

Beiträge zur Meereskunde

Contributions to Marine Scientific Research

Heft 57 · 1987

Contents

W. FENNEL, M. STURM, R. HELM: Response patterns of the western Baltic	3
W. MATTHÄUS: The history of the Conference of Baltic Oceanographers	11
H. PRANDKE, A. STIPS: Sound scattering layers in the Baltic — sound reflection at the pycnocline or sound scattering at suspended material? (in German)	27
G. SAGER: Mathematical approximations of the growth in length of the lantern fish (<i>Benthosema glaciale</i> , REINHARDT) in Norwegian fjords after data from GJØSAETER (1972—1975)	37
<i>The influence of Nouakchott submarine canyon (Mauritania) on oceanological distribution patterns in March 1984 (in German)</i>	
1. Introduction and programme design (L. POSTEL, W. ZAHN)	45
2. NE trade-winds and upwelling intensity (G. WOLF)	51
3. Bottom topography and mass field (W. ZAHN)	59
4. Field distributions of some oceanological parameters (D. NEHRING, W. ZAHN, F. GEORGI)	67
5. Structure of the phytoplankton communities (E. KÜHNER, V. KELL, A. KRÄMER)	77
6. The zooplankton biomass (L. POSTEL)	85
7. Fishing biological aspects (S. HOLZLÖHNER)	95
Scientific Notes	104

Akademie-Verlag Berlin

Beiträge zur Meereskunde

Contributions to Marine Scientific Research

Heft 57 · 1987



Akademie-Verlag Berlin

Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Meereskunde

Beiträge zur Meereskunde

Contributions to Marine Scientific
Research

Die „Beiträge zur Meereskunde“ erscheinen in unregelmäßiger Folge und in fortlaufender Nummerierung ihrer Hefte. Publiziert werden Originalbeiträge zur wissenschaftlichen Meeresforschung, insbesondere zu meeresphysikalischen, -chemischen, -geologischen und -biologischen Problemen sowie zur Entwicklung der Meeresforschungstechnik. Manuskriptsendungen werden erbeten an den Herausgeber: Prof. Dr. sc. Klaus Voigt, Institut für Meereskunde, DDR-2530 Rostock-Warnemünde. Es können Originalarbeiten in deutscher, englischer und russischer Sprache eingereicht werden. Von jedem Beitrag werden 70 Sonderdrucke kostenfrei geliefert. Um Beachtung der Hinweise für Autoren auf der 3. Umschlagseite wird gebeten.

*

The „Beiträge zur Meereskunde“ is published at irregular intervals and numbered consecutively. It is a medium for the publication of original articles on the marine scientific research: the physical and chemical oceanography, the marine geology and biology as well as the marine research technology. Manuscripts should be submitted to the editor: Prof. Dr. sc. Klaus Voigt, Institut für Meereskunde, DDR-2530 Rostock-Warnemünde,

Begründet von ERICH BRUNS

Herausgegeben von KLAUS VOIGT

unter Mitwirkung von HANS-JÜRGEN BROSN,
LUTZ BRÜGMANN, DIETER LANGE, WOLFGANG
MATTHÄUS, DIETWART NEHRING, KLAUS STRIGGOW
und MANFRED STURM (Schriftleitung)

German Democratic Republic. Original contributions are accepted in German, English or Russian. 70 reprints of each article published will be supplied free of charge. See the last page for Note to Contributors which will be printed alternately in English and Russian.

*

Журнал „Beiträge zur Meereskunde“ не является периодическим изданием, но с порядковой нумерацией. В журнале публикуются оригинальные статьи, посвященные научным исследованиям морей и океанов, в частности физическим, химическим, геологическим и биологическим проблемам моря, а также развитию технических средств исследования морей. Авторские рукописи просим высылать в адрес издателя: Prof. Dr. sc. Klaus Voigt, Institut für Meereskunde, DDR-2530 Rostock-Warnemünde, Германская Демократическая Республика. Статьи принимаются на немецком, английском или русском языках. Автору высылается бесплатно 70 отдельных экземпляров-оттисков. Просим обратить внимание на инструкцию для авторов, находящуюся на последней странице. Инструкция печатается попеременно на английском и русском языках.



Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Meereskunde

Beiträge zur Meereskunde

Contributions to Marine Scientific Research

Heft 57 · 1987

in Auftrag für Meereskunde
253 Warnemünde
Deutsche Demokratische Republik

1
1987. 7/85

Inhalt

W. FENNEL, M. STURM, R. HELM: Reaktionsmuster der westlichen Ostsee (in Englisch) . . .	3
W. MATTHÄUS: Die Geschichte der Konferenz der Ostseeoceanographen (in Englisch) . . .	11
H. PRANDKE, A. STIPS: Echostruschichten in der Ostsee — Schallreflexion am Dichtesprung oder Schallstreuung an suspendiertem Material?	27
G. SAGER: Mathematische Approximationen des Längenwachstums des Laternenfisches (<i>Benthosema glaciale</i> , REINHARDT) in norwegischen Fjorden nach Daten von GJØSAETER (1972—1975) (in Englisch)	37

Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretaniien) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984

✓ 1. Einführung und Meßprogramm (L. POSTEL, W. ZAHN)	45
2. Nordost-Passat und Auftriebsintensität (G. WOLF)	51
3. Bodentopographie und Massenfeldaufbau (W. ZAHN)	59
✓ 4. Feldverteilungen ausgewählter ozeanologischer Größen (D. NEHRING, W. ZAHN, F. GEORGI)	67
✓ 5. Struktur der Phytoplanktongemeinschaften (E. KÜHNER, V. KELL, A. KRÄMER)	77
✓ 6. Zooplanktonbiomasse (L. POSTEL)	85
✓ 7. Fischereibiologische Aspekte (S. HOLZLÖHNER)	95
Wissenschaftliche Kurzmitteilungen	104

W. FENNEL, M. STURM, R. HELM: Response patterns of the western Baltic 3

W. MATTHÄUS: The history of the Conference of Baltic Oceanographers 11

H. PRANDKE, A. STIPS: Sound scattering layers in the Baltic — sound reflection at the pycnocline or sound scattering at suspended material? (in German) 27

G. SAGER: Mathematical approximations of the growth in length of the lantern fish (*Bentho-sema glaciale*, REINHARDT) in Norwegian fjords after data from GJØSAETER (1972—1975) . . . 37

The influence of Nouakchott submarine canyon (Mauritania) on oceanological distribution patterns in March 1984 (in German)

1. Introduction and programme design (L. POSTEL, W. ZAHN) 45

2. NE trade-winds and upwelling intensity (G. WOLF) 51

3. Bottom topography and mass field (W. ZAHN) 59

4. Field distributions of some oceanological parameters (D. NEHRING, W. ZAHN, F. GEORGI) 67

5. Structure of the phytoplankton communities (E. KÜHNER, V. KELL, A. KRÄMER) 77

6. The zooplankton biomass (L. POSTEL) 85

7. Fishing biological aspects (S. HOLZLÖHNER)

Scientific Notes 104

ISBN 3-05-500266-0
ISSN 0067-5148

Erschienen im Akademie-Verlag Berlin, DDR-1086 Berlin, Leipziger Straße 3—4
© Akademie-Verlag Berlin 1987
Lizenznummer: 202 · 100/442/87
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer“, 5820 Bad Langensalza
Lektor: Dipl.-Phys. Helga Müller
Umschlaggestaltung: Michael Schmidt
LSV 1465
Bestellnummer: 763 682 3 (2105/57)
02800

В. Феннель, М. Штурм, Р. Хельм: О пространственной структуре западной части Балтийского моря (на английском языке) 3

В. Маттэус: История Конференции балтийских океанографов (на английском языке) 11

Х. Прандке, А. Штипс: Звукорассеивающие слои в Балтийском море — отражение звука переходными слоями плотности или рассеяние звука взвешенными веществами? (на немецком языке) 27

Г. Загер: Математические аппроксимации развития длины миктофида (*Bentho-sema glaciale*, REINHARDT) в норвежских фьордах с помощью данных GJØSAETER (1972—1975) (на английском языке) 37

Влияние подводного желоба в районе Нуакшотта (Мавритания) на распределение океанологических полей в марте 1984 г. (на немецком языке)

1. Введение и измерительная программа (Л. Постель, В. Цан) 45

2. Северовосточный пассат и интенсивность апвеллинга (Г. Вольф) 51

3. Рельеф дна и поле плотности (В. Цан) 59

4. Распределение выбранных океанологических параметров (Д. Неринг, В. Цан, Ф. Георги) 67

5. Структура сообществ фитопланктона (Ой. Кюнер, Ф. Келл, А. Крэмер) 77

6. Биомасса зоопланктона (Л. Постель) 85

7. Ихтиологические аспекты (З. Хольцлэнер) 95

Научные сообщения 104

WOLFGANG FENNEL, MANFRED STURM, ROLAND HELM

Response patterns of the western Baltic

With 12 figures

Abstract: The western Baltic is a part of the transition zone between the North Sea and the Baltic, and it is subject to three types of external forces, (1) barotropic pressure gradient (sea level differences between North Sea and Baltic), (2) baroclinic pressure gradient (sustained by salt water inflow and fresh water outflow), and (3) local winds. This paper is concerned with the responses to forces (2) and (3). Based on an idealized channel model the response patterns are analyzed theoretically and compared with the results of a special oceanographic programme. Due to the superposition of winddriven currents and the motion induced by the baroclinic pressure gradient there appears an asymmetry of the responses with regard to the direction of the alongshore wind. Moreover, the theoretical studies reveal a strong barotropic portion of the responses which should be of importance for the discussion of water exchange processes between North Sea and Baltic. The observational results show more complex structures than predicted from the idealized model and give rise to further investigations.

Zusammenfassung: Die westliche Ostsee gehört zur Übergangszone zwischen Nord- und Ostsee und wird durch drei Typen von externen Kräften angeregt: den barotropen Druckgradienten (Wasserstandsschwankungen zwischen Nord- und Ostsee), den baroklinen Druckgradienten (Salzgehaltsgradient durch Süßwasserausstrom und Salzwassereinstrom) und den lokalen Wind. Die Arbeit untersucht insbesondere die Reaktionen auf die letzten beiden Anregungstypen. Anhand eines Kanalmodells werden die charakteristischen Reaktionsmuster theoretisch analysiert und mit den Resultaten eines speziellen ozeanologischen Meßprogramms verglichen. Auf Grund der Überlagerung von windgetriebenen Strömungen mit den durch den baroklinen Druckgradienten angeregten Bewegungen entsteht eine Asymmetrie der Reaktionsmuster bezüglich der Richtung des küstenparallelen Windes. Die theoretische Untersuchung zeigt außerdem, daß die Reaktionsmuster einen erheblichen barotropen Bewegungsanteil be-

sitzen, der bei der Beurteilung von Wasseraustauschprozessen zwischen Nord- und Ostsee von Bedeutung sein dürfte. Die experimentellen Resultate zeigen gegenüber dem vereinfachten theoretischen Modell komplexere Strukturen und geben somit Anlaß zu neuen Fragestellungen.

Резюме: Наблюдаемая область исследования в западной части Балтийского моря относится к переходной зоне между Северным и Балтийским морями. Здесь действуют 3 типа внешних сил: баротропный градиент давления (колебание уровня воды между Северным и Балтийским морями), бароклиный градиент давления (градиент солёности за счёт стока пресной и притока солёной воды) и локальный ветер. В работе особенно подробно исследуются результаты реакций на 2 последние типа воздействий. На основе модели канала теоретически анализируются характерные пространственные структуры и сравниваются с результатами специальной океанологической измерительной программы. Главным результатом исследования является доказательство асимметрии пространственной структуры по отношению направления прибрежного ветра. Экспериментальные результаты выявили целый ряд структур, которые не исходят из упрощённой теоретической модели и могут служить исходным пунктом для новой постановки вопроса.

1. Introduction

Many features of the response patterns of the Baltic to wind stress can be understood theoretically in terms of channel models and so several areas of the Baltic may serve as natural laboratories where phenomena such as inertial waves, Kelvin waves, geostrophic

adjustment, formation of eddies, and topographic Rossby waves could be studied synoptically by observations with one or few ships involved. It seems, however, that compared to the activities concerned with long term investigations, for example by means of seasonal cruises and by monitoring in the frame of HELCOM, there are relatively few process orientated experiments.

This paper is concerned with a theoretical and observational study of the dynamics of a part of the transition area between the North Sea and the Baltic, particularly the western Baltic. The considered area is relatively small and so it can be investigated synoptically with only one ship. Process orientated studies in other areas may require more than one ship and can be achieved through cooperation between the countries bordering the Baltic.

Basically the transition zone between North Sea and Baltic is subject to three kinds of external forcings, namely a barotropic pressure gradient imposed by the sea level differences between the North Sea and the Baltic, a baroclinic pressure gradient sustained by the balance of seawater inflow and freshwater outflow, and by local winds.

The forcing through variations in the sea levels has been considered in various papers dealing with the water exchange of the Baltic and the North Sea. We quote for example the report of WITTSTOCK (1982) and a recent article of LASS et al. (1987). The bibliographies of these publications can be used to branch out further into this field.

This paper is devoted to the investigation of the response of the western Baltic to both the local wind and the baroclinic external pressure gradient.

It is well known, see e.g. CSANADY (1982), that water masses in a channel respond to a longshore wind with downwind coastal jets and the associated up- and downwelling fronts parallel to the coasts. After a reversal of the wind the jets change their signs and the up- and downwelling occurs at the opposite shores.

However, in the presence of a more or less permanent external pressure gradient the

response can be expected to be strongly modified.

In the following section we summarize the theory based on the linear Boussinesq equations, which describes the response of a channel model to these kinds of forces. In the third section the theoretical results are compared with observational findings obtained in June 1983 with the r/v "Prof. A. Penck".

2. Theory

We consider a simple flat-bottomed channel bordered by straight walls as sketched in Fig. 1 and we use the linearized Boussinesq

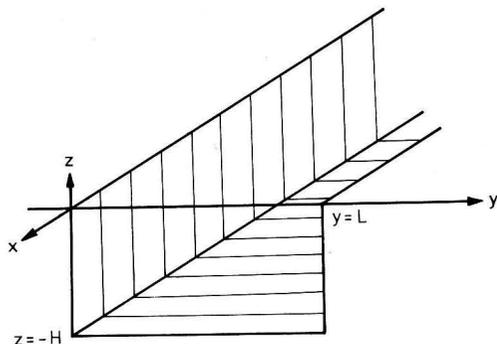


Fig. 1
The model geometry

equations on the f -plane in the hydrostatic approximation.

$$u_t + ru - fv + p_x = X$$

$$v_t + rv + fu + p_y = Y$$

$$N^2w + p_{zt} + rp_z = 0$$

$$u_x + v_y + w_z = 0.$$

The subscripts $x, y, z,$ and t denote partial differentiation, p is the perturbation pressure divided by a standard density, X and Y are the accelerations imposed by external body

forces, f is the inertial frequency, $f = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, N the Brunt-Väisälä-frequency, BVF henceforth, and r is a dissipation parameter, Rayleigh friction and Newtonian cooling with the same relaxation constant, just for simplicity. Otherwise the notation is standard. We have the following boundary conditions

$$v(x, 0, z, t) = v(x, L, z, t) = 0$$

i.e., the cross current vanishes at the coasts. For definiteness we choose $y = 0$ to be the southern and $y = L$ the northern coast. Moreover, we have for the vertical velocity

$$w(x, y, -H, t) = 0,$$

$$w(x, y, 0, t) = \frac{1}{g} p_t(x, y, 0, t).$$

The external forces we wish to consider are a longshore wind acting like a body force evenly distributed over the upper wind mixed layer of thickness H_{mix} ,

$$X^w = \frac{u_*^2}{H_{\text{mix}}} \theta(z + H_{\text{mix}}) \theta(t),$$

and an external baroclinic pressure gradient linearly increasing with depth

$$X^p = -cz$$

where u_* is the usual friction velocity, θ is the step function and c is a constant.

A general solution theory of the forcing problem was presented recently by FENNEL (1986) on the basis of a Green's function technique. Thus we use here the results and refer to that paper for mathematical details.

Ignoring the inertial waves the complete subinertial response to the forces X^w and X^p is

$$u(y, z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{F_n(z)}{r} \left(\frac{u_*^2}{h_n} + ca_n \right)$$

$$\times \frac{\cosh \left(\frac{L}{2R_n} \left(1 - \frac{2y}{L} \right) \right)}{\cosh (L/2R_n)}$$

$$v(y, z, t) = - \frac{X^w}{f} - \frac{X^p}{f} + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{F_n(z)}{f} \left(\frac{u_*^2}{h_n} + ca_n \right) \times \frac{\cosh \left(\frac{L}{2R_n} \left(1 - \frac{2y}{L} \right) \right)}{\cosh (L/2R_n)}$$

$$w(y, z, t) = - \sum_{n=0}^{\infty} \frac{f}{N^2} \frac{d}{dz} F_n(z) \left(\frac{u_*^2}{h_n} + ca_n \right) \times \frac{\sinh \left(\frac{L}{2R_n} \left(1 - \frac{2y}{L} \right) \right)}{\cosh (L/2R_n)}.$$

Here $F_n(z)$ is the vertical eigenfunction, λ_n is the associated eigenvalue, and R_n is the Rossby radius, $R_n = (f\lambda_n)^{-1}$. Moreover, $1/h_n$ and a_n are the projection coefficients of the wind forcing and of the external pressure gradient onto the $F_n(z)$'s, respectively. For simplicity in the following we assume a constant BVF.

This implies

$$F_0(z) \approx 1/\sqrt{H}, \quad F_n(z) = \left(\frac{2}{H} \right)^{1/2} \cos \left(\frac{n\pi}{H} z \right)$$

for $n \geq 1$, where orders of N^2H/g have been neglected.

For the derivative of $F_0(z)$ we have to the same approximation

$$\frac{d}{dz} F_0(z) \approx - \frac{N^2}{g\sqrt{H}} \left(1 + \frac{z}{H} \right).$$

The eigenvalues are given by $\lambda_0 = 1/\sqrt{gH}$ and

$$\lambda_n = \frac{n\pi}{NH} \text{ for } n \geq 1.$$

To this approximation the projection coefficients a_n and $1/h_n$ are

$$a_0 = \frac{H^{3/2}}{2}, \quad a_n = \left(\frac{2}{H} \right)^{1/2} \left(\frac{H}{n\pi} \right)^2 ((-1)^n - 1) \text{ for } n \geq 1$$

and

$$\frac{1}{h_0} = \frac{1}{\sqrt{H}}, \quad \frac{1}{h_n} = \left(\frac{2}{H} \right)^{1/2} \text{Sp} \left(\frac{n\pi}{H} H_{\text{mix}} \right) \text{ for } n \geq 1$$

with $Sp(x) = \frac{\sin x}{x}$. Adopting the following numerical values,

$$\begin{aligned} N &= 2\pi \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}, & r &= 10^{-5} \text{ s}^{-1}, \\ L &= 40 \text{ km}, & H &= 20 \text{ m}, & H_{\text{mix}} &= 10 \text{ m}, \\ u_* &= 1 \text{ cm/s}, & c &= 7 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-2}, \\ R_0 &\approx 140 \text{ km}, & R_1 &\approx 3 \text{ km}, & R_n &= R_1/n \\ \text{for } n &\geq 1, \end{aligned}$$

the observables u , v and w have been computed separately for the wind forcing and for the forcing through the pressure gradient. The response to the wind is depicted in Figs. 2 to 4, and the response to the external pressure gradient is shown in Figs. 5 to 7.

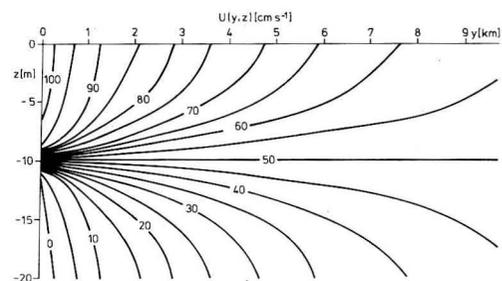


Fig. 2
The alongshore current near the southern coast, $y = 0$, in response to a western wind showing the usual coastal jet confined to the upper layer

In Fig. 2 the coastal jet at the southern coast, i.e. $y = 0$, is shown. The jet is coastally trapped with the scale R_1 and is confined to the upper layer. For offshore distances larger than R_1 a barotropic downwind current remains. The associated cross-current and the vertical velocity are plotted in Fig. 3 and Fig. 4, respectively.

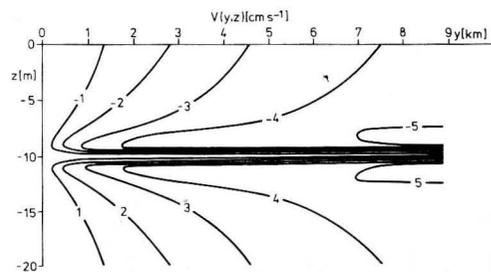


Fig. 3
The same as in Fig. 2 for the cross-current

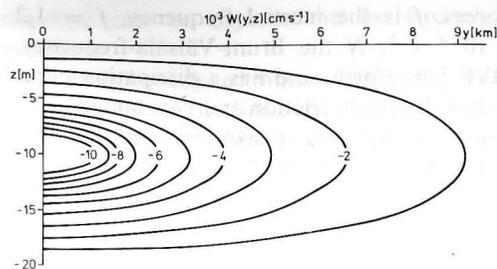


Fig. 4
The same as in Fig. 2 for the vertical velocity

tively. Note that the currents change their signs if the wind reverses its direction.

From Fig. 5 it can be seen that the external pressure gradient drives also a coastally trapped jet which, however, assumes its maximum value near the bottom. The corresponding cross circulation and the vertical

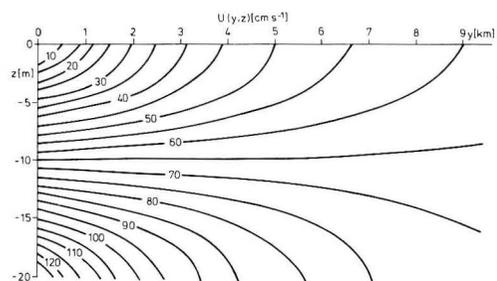


Fig. 5
The alongshore current near the southern coast in response to an external baroclinic pressure gradient showing a coastal jet with maximum values close to the bottom

velocity are shown in Fig. 6 and Fig. 7, respectively. At the southern coast, $y = 0$, we observe the occurrence of upwelling, while at the opposite shore, $y = L$, downwelling occurs.

Thus, in the case of a longshore wind blowing from the west the wind induced and pressure gradient induced vertical motions compensate each other more or less. Conversely, in the case of an eastern wind, i.e. blowing from the east, both kinds of vertical motions add and we can expect strong upwelling at the southern coast and downwelling

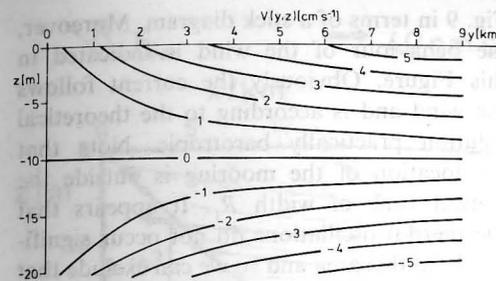


Fig. 6
The same as in Fig. 5 for the cross-current

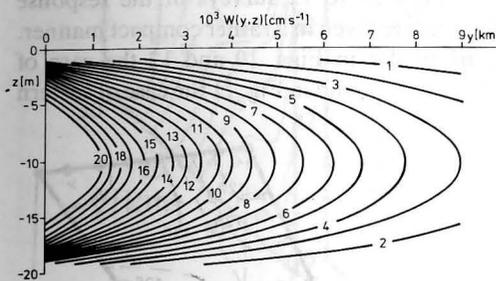


Fig. 7
The same as in Fig. 5 for the vertical velocity

at the northern coast. Consequently, eastern winds are favourable to generated well developed coastal up- and downwelling with the associated coastal fronts.

From Fig. 2 and Fig. 5 it follows that in the case of western wind the two coastal jets yield a resulting flow which extends from the surface to the bottom with little variation in the vertical. In the case of eastern wind, however, the wind driven jet changes its sign and the resulting current consists of a downwind flow in the upper layer and a countercurrent below.

Furthermore from Fig. 2 and Fig. 5 it can be seen that outside the coastal strip of the width R_1 relative strong barotropic currents occur. With regard to the transition zone of North Sea and the Baltic this implies relative strong inflow driven by the external baroclinic pressure gradient and inflow or outflow driven by local winds. Since these currents affect the water balance of the Baltic, they are likely to be compensated by the barotropic

currents forced by the sea level variations between North Sea and Baltic. Although these processes are beyond the scope of the present studies we may conclude that the dynamics of water exchanges are also influenced significantly by local winds and the baroclinic pressure gradient.

3. Experimental results

A special programme to measure the response patterns of the western Baltic was conducted in June 1983. The hydrographic sections worked in this area are shown in Fig. 8. Each of these were worked several times with the r/v "Prof. A. Penck" of the Academy of Sciences of the GDR. The locations of the stations are indicated by the dots. The crosses

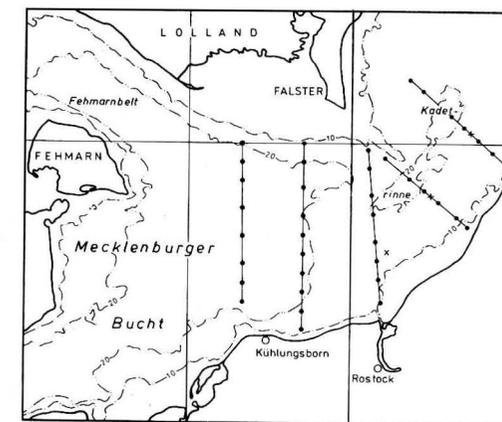


Fig. 8
The sections in the western Baltic investigated in June 1983. The dots indicate the CTD-stations, the crosses mark positions of moored current meters. Concerning the model in Fig. 1 the stations closest to the shores are attributed to the model coasts.

mark the positions of three moorings with current meters.

The local winds may be characterized by an alternating sequence of western, eastern and again western wind episodes. Each of these lasted a few days.

The time series of the current at the mooring located on the fourth section is shown in

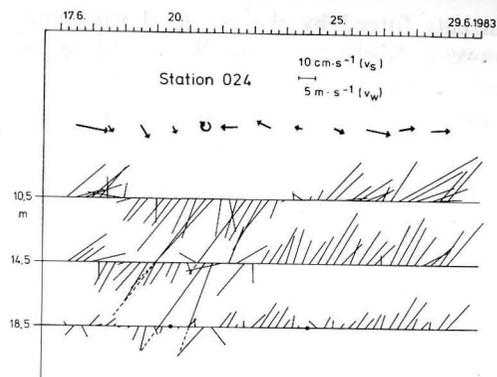


Fig. 9
Variation of the wind with time (upper panel) and six-hours mean vector time series from the mooring located at the fourth section.

Fig. 9 in terms of a stick diagram. Moreover, the behaviour of the wind is indicated in this Figure. Obviously the current follows the wind and is according to the theoretical solution practically barotropic. Note that the location of the mooring is outside the coastal zone of width R_1 . It appears that the inertial oscillations do not occur significantly in this area and so we can exclude that the subinertial pattern described below could be an artificial product of poorly sampled inertial motions.

In Figs. 10 to 12 surveys of the response patterns are given in a rather compact manner. In particular in Figs. 10 and 12 the case of western wind, and in Fig. 11 the case of eastern

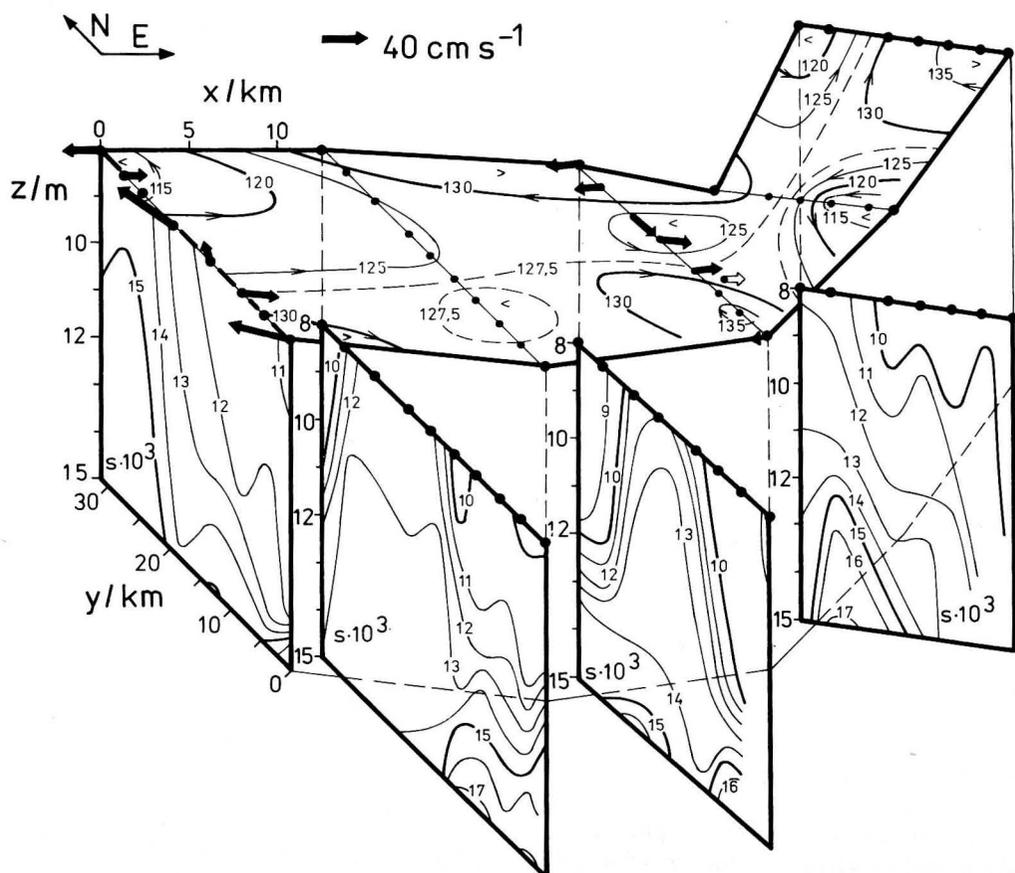


Fig. 10
Geopotential anomaly in 8 m relative to 15 m in $10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}$ and vertical salinity distributions along the sections between 8 m and 15 m. The arrows refer to current measurements in 8 m depth with a current meter lowered from the ship. Shown is the response during the first western wind episode, compare upper panel of Fig. 9.

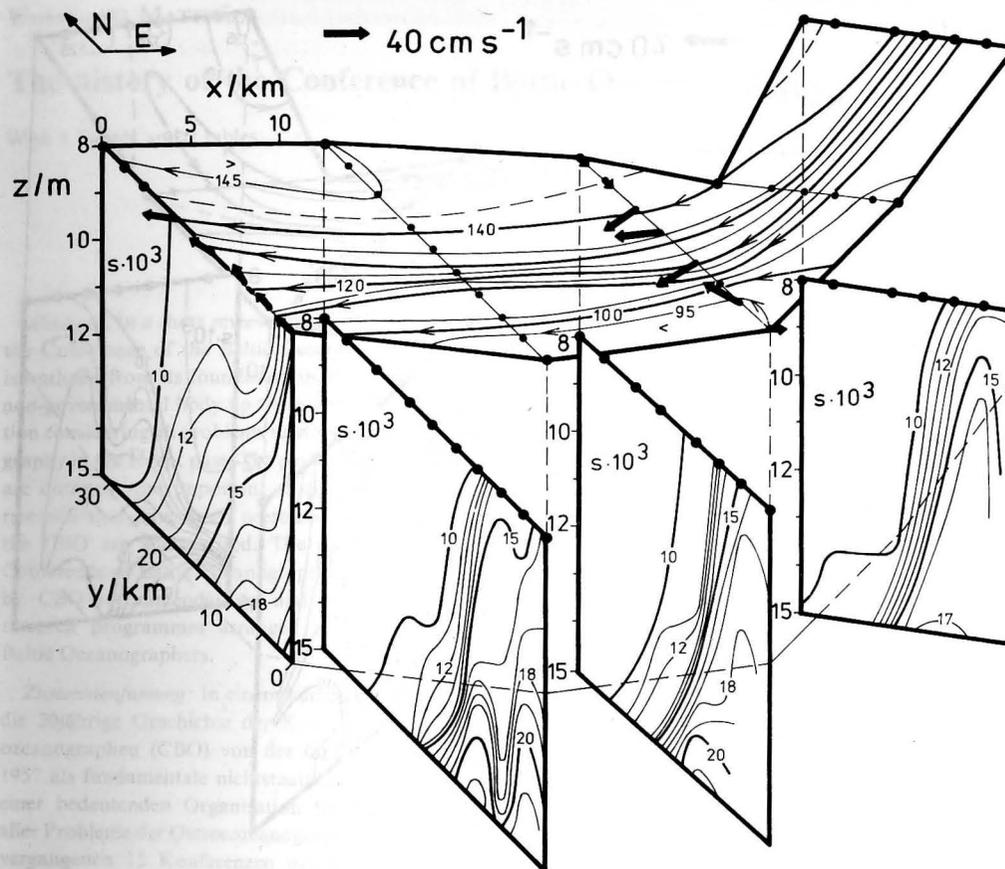


Fig. 11
Same as in Fig. 10 for the eastern wind episode.

wind are mapped. The figures show the geopotential anomaly in 8 m relative to 15 m. Moreover the corresponding salinity sections between 8 m and 15 m have been depicted. The arrows indicate currents in 8 m depth obtained with a current meter which was lowered from the ship. Obviously the current was quite close to a geostrophic adjustment.

From Fig. 11 it can be seen that the response to the eastern wind is dominated by a coastal jet.

By contrast, in the case of western wind, compare Fig. 10 and Fig. 12, well established coastal jets cannot be observed. Rather there has developed a sequence of eddies. Thus the observations reveal an asymmetry in the response patterns with regard to the direction

of the alongshore wind as outlined theoretically in the foregoing section.

The details of these complex eddy-patterns are, of course, not predicted by the theory. These patterns may be attributed to the irregularities in both bottom topography and coastline geometry, and so they can not follow from an idealized model with flat bottom and straight side-walls.

In the natural system processes such as Kelvin waves excited by the coastal cusps and topographically controlled motions, e.g. topographic Rossby waves, may come into play. The investigation of these complex patterns, however, is beyond the scope of this article and is to be addressed to future investigations.

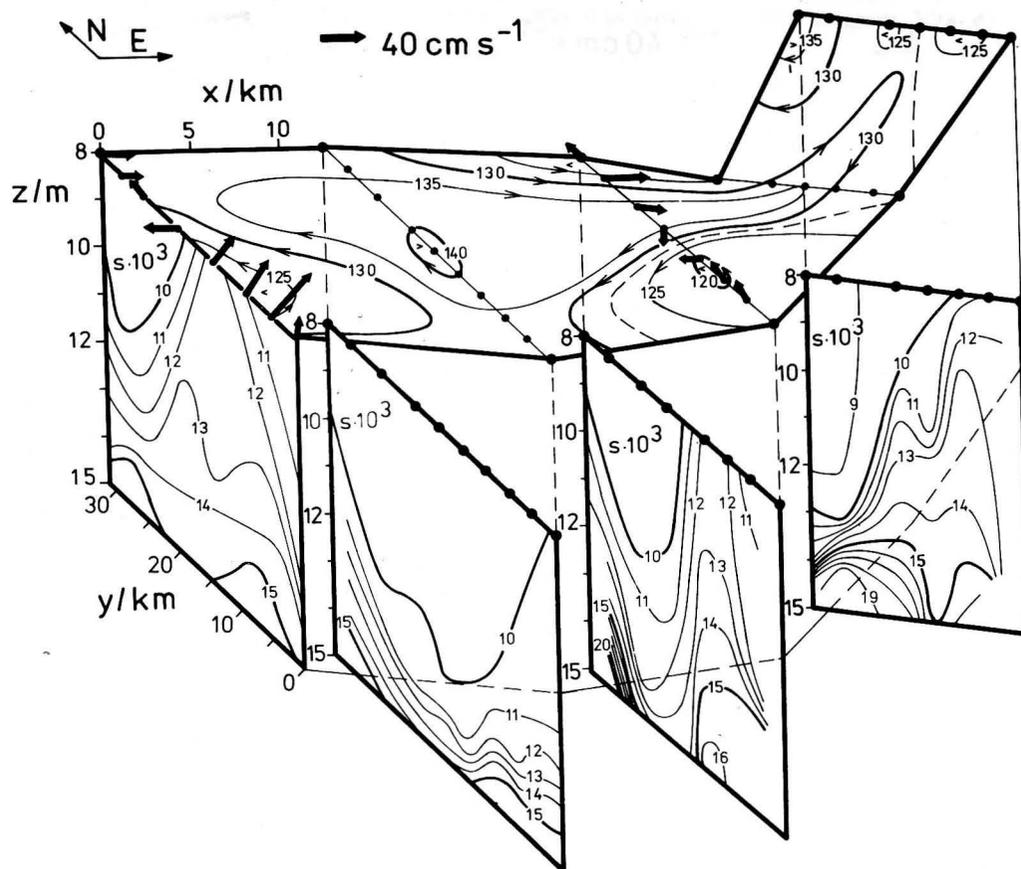


Fig. 12
Same as in Fig. 10 for the second western wind episode.

Our basic result is the striking asymmetry in the response patterns which depends on the direction of the alongshore wind and which we attribute to the role of the external baroclinic pressure gradient.

References

- CSANADY, G. T.: Circulation in the coastal ocean. — Dordrecht: Reidel Publ. Co., 1982.
 FENNEL, W.: Theory of the inertial response of channel models. — Beitr. Meereskd. 54 (1986), 3—18.
 LASS, H. U.; SCHWABE, R.; MATTHÄUS, W.; FRANCKE, E.: On the dynamics of water exchange between

Baltic and North Sea. — Beitr. Meereskd. 56 (1987), 27—49.

WITTSTOCK, R. R.: Zu den Ursachen bodennaher Strömungsschwankungen in der nordöstlichen Kieler Bucht. — Ber. Inst. Meereskd. Kiel 107 (1982).

Address of the authors:

Dr. sc. nat. W. FENNEL, Dr. rer. nat. M. STURM,
 Dipl.-Met. R. HELM
 Akademie der Wissenschaften der DDR
 Institut für Meereskunde
 DDR-2530 Rostock-Warnemünde

Received: June 3, 1986

Accepted: June 25, 1986

WOLFGANG MATTHÄUS

The history of the Conference of Baltic Oceanographers

With 8 figures and 2 tables

Abstract: In a short review the thirty year history of the Conference of the Baltic Oceanographers (CBO) is outlined from its foundation in 1957 as a basically non-governmental body up to an important organization considering all problems relating to Baltic oceanography in the recent past. The past fifteen Conferences are outlined, and important results in Baltic marine research that have been presented and discussed at the CBO are summarized. The significance of the Conference of Baltic Oceanographers is characterized by CBO recommendations and cooperative Baltic research programmes arranged or assisted by the Baltic Oceanographers.

Zusammenfassung: In einem kurzen Überblick wird die 30jährige Geschichte der Konferenz der Ostseeozeanographen (CBO) von der Gründung im Jahre 1957 als fundamentale nichtstaatliche Einrichtung zu einer bedeutenden Organisation für die Diskussion aller Probleme der Ostseeozeanographie dargelegt. Die vergangenen 15 Konferenzen werden umrissen und wesentliche Resultate der Ostsee-Meeresforschung, die auf den Konferenzen vorgetragen und diskutiert wurden, zusammenfassend dargestellt. Die Bedeutung der Konferenz der Ostseeozeanographen wird an Hand der Empfehlungen und Ostsee-Forschungsprogramme, die durch die Ostseeozeanographen organisiert oder unterstützt wurden, charakterisiert.

Резюме: В кратком обзоре излагается 30-летняя история развития Конференции балтийских океанологов (CBO), начиная с основания в 1957 году до формирования ее в важную внеправительственную организацию, предназначенную для обсуждения всех вопросов океанологии Балтийского моря. Обрисовывая прошедшие 15 конференций, автор дает обобщенный обзор о главных результатах исследования Балтийского моря, представленных и обсужденных на конференциях. Важность Конференции балтийских океанологов характеризуется на основании рекомендаций и международных программ исследования Балтийского моря, организуемых или поддерживаемых балтийскими океанологами.

Thirty years have passed since the First Conference of Baltic Oceanographers (CBO) took the fundamental step of uniting the efforts of the Baltic oceanographers to help solve the basic problems of Baltic oceanography. This anniversary has been taken as an occasion to acknowledge the part played by the CBO in encouraging international cooperation between all Baltic countries in marine scientific research. During its thirty years of successful work the CBO has developed into a fundamental body that considers all problems of Baltic oceanography and into an important advisor of international organizations.

1. Introduction

The Baltic Sea is a unique sea area, and belongs to those areas that have been most thoroughly investigated in respect of their oceanography. It must be also regarded as a limited experimental basin for fundamental oceanographic research.

The earliest available oceanographical data from the Baltic dates back as far as the second half of the last century. Most of the existing substantial body of data, however, was collected after the turn of the century and especially after World War II. Numerous well known marine scientists as well as both intergovernmental and non-governmental organizations have contributed to the international coordination of oceanographic research in the Baltic Sea and have promoted cooperation in such research.

The development of international cooperation in the Baltic Sea area is closely connected with the foundation of the International Council for the Exploration of the Sea (ICES) in 1902 (cf. WENT 1972, for the history of ICES). Within the framework of ICES the leading oceanographers of that generation organized with great enthusiasm the first complex oceanographic research programmes in the Baltic Sea before the First World War (cf. FRANCKE, MATTHÄUS 1984).

In the period between the two world wars, hydrologists from the Baltic countries held meetings to discuss hydrological problems of the Baltic Sea and to organize international cooperation. Those meetings are well known as Baltic Hydrological Conferences. Six of them were arranged between 1926 and 1938, taking place in Riga, Tallinn, Warsaw, Leningrad, Helsinki, and Berlin. Their main tasks concerned questions of the hydrometeorological station network, of the levelling of tide gauges, and of data processing. Moreover, they discussed problems concerning the water balance of the Baltic and its elements and considered certain marine aspects.

The Second World War abruptly stopped this useful international cooperation for a long period. It was again the ICES Hydrographical Committee (cf. LEE 1984, for the activities of this committee since 1945) which took the first step to resume cooperation in oceanographic investigations in the Baltic Sea region and to coordinate such activities.

2. The foundation of the Conference of the Baltic Oceanographers

The post-war situation in the Baltic region continued to obstruct coordinated cooperation between the countries bordering the Baltic Sea for a considerable time. However, the marine scientists of the Baltic countries felt the urgent need for international cooperation and for the coordination of efforts to solve the most important basic problems of Baltic oceanography.

At the 44th Meeting of the International Council for the Exploration of the Sea, held in Copenhagen in 1956, the Hydrographical Committee discussed the problem of coordinating hydrographical investigations in the Baltic area and recommended, on the basis of preliminary discussions between Finland, FRG, Sweden, and USSR,

"... that detailed plans be settled at a meeting of the interested parties in Helsinki on a suitable date in March 1957.

For this purpose a Sub-Committee consisting of Messrs. HELA (Chairman), KREY, KULLENBERG, and LEDNEV was appointed." (Anon. 1957a, p. 35)

These four well known marine scientists ILMO HELA, JOHANNES KREY, BÖRJE KULLENBERG, and V. A. LEDNEV must be regarded as the actual "fathers" of the Conference of the Baltic Oceanographers. Indeed, as a result of the indefatigable initiative of ILMO HELA, 30 marine scientists actually engaged in hydrographic investigations in the Baltic Sea were invited to the Baltic Hydrographic Meeting in Helsinki from 20—22 March, 1957. It was recognized that

"The interest in the Baltic Sea, as a limited experimental basin, is growing fast. Through efforts, co-ordinated whenever possible, better results and much sooner will be reached than through completely independent efforts." (HELA 1957a, p. 4)

Therefore,

"... the Helsinki meeting may decide to establish a more permanent, new body to carry out the actual work, ..." (HELA 1957a, p. 3)

For the foundation of this new body the Baltic Hydrological Conferences served at least indirectly as a model.

The main tasks discussed during the Helsinki meeting were characterized as

"(a) Most important and basic problems of the Baltic hydrography for the solution of which international co-operation or co-ordinated efforts are urgently needed.

(b) The present situation, including an inventory of all the existing facilities.

- (c) Possibilities to approach or solve some of the basic problems through proper co-ordination of the efforts in different countries.
- (d) Practical measures to be taken towards co-ordination of the hydrographic studies." (Anon. 1957b; HELA 1957a).

In his opening words HELA outlined the status of the Conference:

"... this gathering here must be considered above all *The Conference of the Baltic Oceanographers*. Our discussions will refer to our own work. And our resolutions will be given mainly for ourselves." (HELA 1957b).

During this Conference, oceanographers from all the countries around the Baltic Sea had for the first time after the war an opportunity to discuss their problems and to plan future joint activities in Baltic research. The Conferences were intended to cover only problems of the physical and chemical oceanography of the Baltic Sea (HELA 1957a, p. 3), but later on, aspects of the biological oceanography that impinged upon marine chemistry were also included in the discussions (WÜST 1959, p. 2). The importance of marine biological and fisheries studies was stressed. Possible coordination in these research fields was, however, considered to be a matter for another meeting and another body (HELA 1957a, p. 3).

The results of the First Conference of the Baltic Oceanographers, attended by 26 marine scientists, were summarized in seven recommendations covering the measures considered necessary and desirable for the coordination of oceanographic research in the Baltic Sea area. Water balance studies were already included among the important basic problems documented in the recommendations. Such studies were a subject at nearly all later Conferences because oceanographical conditions in the Baltic Sea are governed to a large extent by the water balance.

"*The 1st Conference of the Baltic Oceanographers* ... has agreed that the Conferences of the Baltic Oceanographers, started now, will be called every second year, alternating in the different institutions of

the Baltic area, according to an agreement made between the correspondents ..." (Rec. 1957-7).

Between the Conferences, correspondents or senior scientists act as a steering committee of the Baltic Oceanographers for discussing problems of joint interest. The first correspondents were I. HELA (Finland), B. KULLENBERG (Sweden), J. V. PREOBRAŽENSKY (USSR), K. SCHNEIDER-CARIUS (GDR), H. THOMSEN (Denmark), G. WÜST (FRG), and K. ZAGRODSKI (Poland).

During the 45th Meeting of ICES, held in Bergen, 1957, the Sub-Committee on the Coordination of Hydrographic Investigations in the Baltic, established by the Hydrographical Committee in 1956, reported on the CBO-I and

"... it was agreed that the Sub-Committee should continue as a liaison committee between the Conferences of the Baltic Oceanographers and the Hydrographical Committee." (Anon. 1958, p. 47).

This Sub-Committee, in the late sixties established as a Working Group, reported on the efforts and progress in Baltic marine research at the annual Statutory Meetings of ICES and must be regarded as the permanent link connecting CBO and ICES.

3. The Conferences of Baltic Oceanographers 1957—1986

The foundation of the CBO marked the establishment of a non-governmental body that serves as a forum for all Baltic oceanographers. Every second year, since 1970 alternating with the Symposium of the Baltic Marine Biologists (BMB), the Baltic Oceanographers have organized conferences to present results of Baltic marine scientific research, to discuss current problems of the Baltic Sea, and to plan or assist in joint international investigations. During its thirty years of successful work, the CBO has developed into an important body dealing with all problems of Baltic oceanography. The results of

Table 1
Conferences of the Baltic Oceanographers, 1957–1986

No.	Year	Country	City	Date	Numbers of		
					Papers/ Posters	Participants	Recommendations
I	1957	Finland	Helsinki	20–22 March	2	26	7
II	1959	FRG	Kiel	3–4 March	12	45	6
III	1962	Sweden	Göteborg	16–17 April	4	16	7
IV	1964	GDR	Warnemünde	22–24 April	11	20	16
V	1966	USSR	Leningrad	24–28 May	20	30 (?)	9
VI	1968	Poland	Sopot	6–8 June	42	50	7
VII	1970	Finland	Helsinki	11–15 May	32	92	7
VIII	1972	Denmark	Copenhagen	2–4 Oct	29	72	6
IX	1974	FRG	Kiel	17–20 April	31	41	8
X	1976	Sweden	Göteborg	2–4 June	31	56	8
XI	1978	GDR	Rostock	24–27 April	62	112	9
XII	1980	USSR	Leningrad	14–17 April	70	133	10
XIII	1982	Finland	Helsinki	24–27 Aug	59	90	10
XIV	1984	Poland	Gdynia	28 Sept–2 Oct	97	187	13
XV	1986	Denmark	Copenhagen	18–21 Nov	53	101	14

scientific discussions held within the framework of CBO became an important basis for measures taken by intergovernmental organizations like the International Council for the Exploration of the Sea and the Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission – (HELCOM).

During the past 30 years, fifteen Conferences have been held in all countries around the Baltic Sea. Altogether about 560 papers

and posters have been presented, and 137 recommendations have been made. Table 1 shows details of the Conferences. The development of the numbers of participants is given in Fig. 1, and Fig. 2 shows the numbers of papers and posters presented dealing with physical, chemical, and biological oceanography and with marine geology.

During the First CBO, the status of the Conferences had already been outlined by

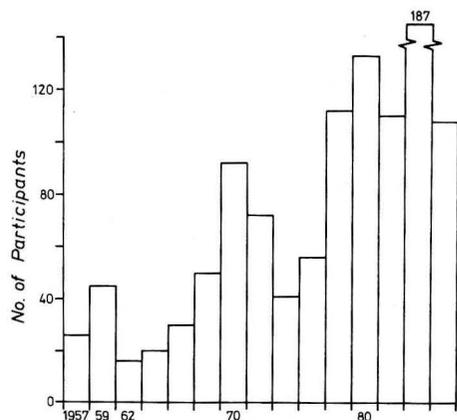


Fig. 1
Numbers of participants in the Conferences of the Baltic Oceanographers, 1957–1986

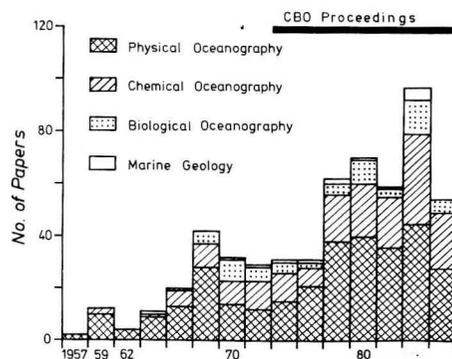


Fig. 2
Numbers of papers and posters presented during the Conferences of the Baltic Oceanographers, categorized as physical, chemical, biological, and marine geological

HELA (1957b, p. 2) in his opening address and in Rec. 1957-7 (cf. paragraph 2). Up to 1966, the CBO was organized mainly as a platform for problem discussions and joint research efforts. The number of papers presented was small (not more than 20 presentations; cf. Table 1 and Fig. 2). Because of

“... the great interest shown by the Baltic oceanographers in the scientific symposia arranged in connection with the Conference of the Baltic Oceanographers, considering the significance of such symposia to the further progress of oceanographic work and to the mutual exchange of scientific information,”

the Conference

“decides to ask the future hosts of the Conferences to arrange an appropriate symposium in connection with each Conference of the Baltic Oceanographers, ...” (Rec. 1966-8).

All of the following Conferences were accompanied by symposia with at least 30 and sometimes almost 100 papers which, since 1978, have been presented partly as lectures and partly as posters.

Since the CBO-VI in 1968

“... recommends all senior scientists of the Conference to report to the next Conference on efforts and further proposals for international cooperation ...” (Rec. 1968-1; cf. also Rec. 1970-1)

all countries always submit national reports during the Conferences. Efforts to publish the scientific papers can be traced back to the CBO-V (Rec. 1966-8), but the CBO-IX in 1974 started for the first time with the publication of the papers as “Proceedings of the Conference of the Baltic Oceanographers”. During former Conferences only working materials or the abstracts of the papers had sometimes been printed.

Since the CBO-V, when four research vessels participated, it has become a useful tradition to support the Conferences by visits of research vessels to the host cities.

During the CBO-X in 1976 the status of the Conference of Baltic Oceanographers was again a subject of discussion: the question of future affiliation to ICES (Rec. 1976-7) or

to other competent bodies (Rec. 1978-8) was debated. The CBO-XII in 1980

“... came to the conclusion that at present such an affiliation seems not to be possible and that the present organization should be continued, feels, however, it necessary to continue efforts for finding a firm institutional basis for future activities by elaborating the terms of reference and status for the Baltic Oceanographers ...” (Rec. 1980-9).

The CBO-I in 1957 had the difficult task “to find out the vital problems of the Baltic oceanography” (HELA 1957b, p. 2) and of taking the first steps towards the **coordination of oceanographical investigations** in the Baltic Sea area. Noting the immediate need for the resumption of seasonal cruises

“... to be used both for the study of the renewal of Baltic deep and bottom water and for productivity studies ...” (Rec. 1957-2)

it performed an extremely valuable work for joint international investigations. The First CBO recommended 17 standard deep basin stations (Fig. 3) and 13 standard cross sections (Fig. 4) which

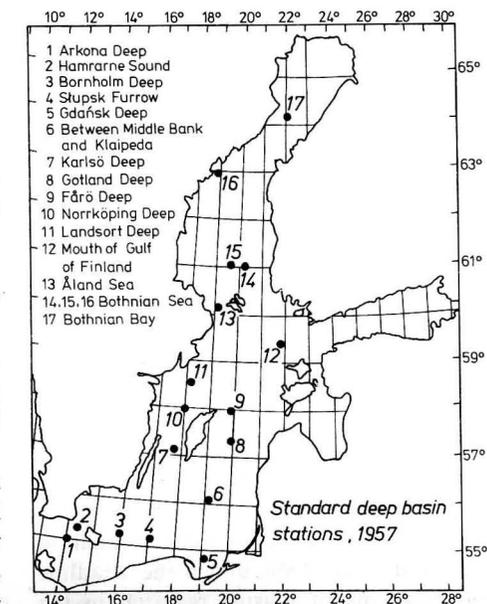


Fig. 3
Standard deep basin stations recommended by the First CBO in 1957 (Rec. 1957-2)

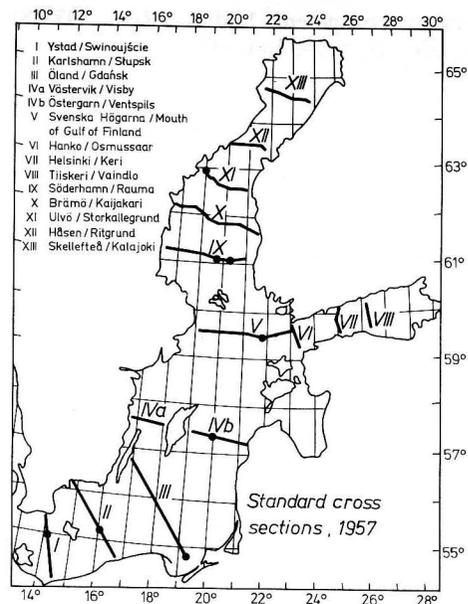


Fig. 4
Standard cross sections recommended by the First CBO in 1957 (Rec. 1957-2)

“... should be occupied as many times a year as possible and preferably during the following synoptic periods:

- February 10—20
- March 25—April 5.
- May 10—20
- August 1—10
- October 25—November 5...” (Rec. 1957-2).

These were agreed upon by all Baltic countries.

Besides temperature, salinity, and oxygen the factors to be determined at the stations should also include, for example, inorganic phosphorus, total phosphorus, and nitrate as well as phytoplankton and chlorophyll. Regular micronutrient analyses in the Baltic deep basins, for instance, were started at that time. The importance of the seasonal cruise programme has since been confirmed by nearly all Conferences as recommendation 1 or 2, and since 1966 under the headline “Basic problems of marine research in the Baltic”.

Of the most important basic problems of Baltic oceanography listed during the CBO-I

(HELA 1957a), the problems of the **water budget** of the Baltic Sea and its sea level were intensively discussed. During all Conferences, the water balance and its elements have received special attention. In 1964 the continuation of former studies was recommended in connection with the International Hydrological Decade (IHD) 1965—1974 (Rec. 1964-8). At the CBO-V in 1966 the State Hydrometeorological Institute in Warsaw was asked to prepare the resumption of intensive studies on the water balance of the Baltic Sea (FALKENMARK, MIKULSKI 1974; MIKULSKI 1974) and to report at the next Conference on the first results of calculations of the river inflow based on material forwarded by all Baltic countries for the period 1951—1960 (Rec. 1966-6). The CBO-VI in 1968 recommended the continuation of the river inflow calculations and the start of investigations into other balance elements (Rec. 1968-6, 1970-4). Later on, the water balance studies were continued under the UNESCO International Hydrological Programme (IHP), and the CBO-XII notes that the

“regional cooperation on Baltic hydrography achieved considerable and important results which is significant for future investigations of the Baltic environment and its protection...” (Rec. 1980-8)

(cf. also MIKULSKI 1984). During the CBO-XIV MIKULSKI reported on the final results of the project “Water Balance of the Baltic Sea” and it was decided to publish a joint international summary report (HELCOM 1986).

Concerning **sea level problems**, a few recommendations have been given. First of all an agreement on the tide gauge stations important for sea level studies had to be attained (Rec. 1957-7, 1959-5, 1962-4). Later, the CBO-III recommended the analysis of periods of the 1958 sea level records based on 31 tide gauges along the Baltic coast (Rec. 1962-4, 1964-9). This was carried out by MAGAARD and KRAUSS (1966). The CBO-IV in 1964 discussed the possibility of hourly sea level recordings along the Baltic coast during the international oceanographic survey

in August 1964 (Anon. 1964, p. 12) and noted that the sea level records have special significance in connection with the Cooperative Synoptic Investigation 1964 (Rec. 1964-9):

The CBO has always stressed the importance of the comparability of physical, chemical, and biological data for the assessment of the environmental state of the Baltic Sea. Therefore, the **standardization and intercalibration** of marine physical and chemical methods between the Baltic countries and marine institutions involved in joint Baltic research programmes have already been recommended (Rec. 1964-10) or even assisted (Rec. 1966-4, 1966-5; cf. also GRASSHOFF 1966) and arranged by the CBO in the sixties (Rec. 1968-3; cf. Anon. 1968b; CARLBERG 1972). Since the CBO-VII in 1970, the recommendations concerning intercalibration have been extended to some analytical techniques for the determination of pollutants and some biological components (Rec. 1970-6, 1972-5, 1974-4, 1986-11) also with regard to the Baltic Monitoring Programme (BMP) of the HELCOM (Rec. 1978-5, 1980-5).

Starting with the CBO-VII in 1970, the problem of **pollution** of the Baltic Sea has developed, among others, into an important topic of the discussions among the Baltic Oceanographers (HELA 1971; Rec. 1970-2). The Conferences recommended that the marine scientific institutions of the Baltic countries represented by the Conference of Baltic Oceanographers intensify their activities in pollution research in the Baltic ecosystem (Rec. 1972-2, 1974-3, 1978-4) and participate in joint pollution studies (Rec. 1974-3, 1976-3).

In the eighties, the CBO recommendations obtained a more complex character. The CBO recommended efforts into investigations regarding exchange processes between the coastal zone and the open sea (Rec. 1978-6, 1980-6) as well as into coastal transport and mixing processes (Rec. 1982-1, 1984-2). Since the CBO-XII in 1980, the Conference has paid special attention into the ecosystem analysis and mathematical modelling of the Baltic ecosystem (Rec. 1980-1, 1982-5, 1984-6,

1986-10) and recommended a session for assessing progress in this field at the CBO-XV in 1986. In this connection intensified long-term eutrophication studies, including the consequences for the Baltic Sea area, have been recommended (Rec. 1984-8, 1986-2). Moreover, a joint CBO—BMB session on “Coastal fluxes and their biological implications” has been planned (Rec. 1984-11). In order to obtain multidisciplinary data on the variability of physical, chemical, and biological processes in the Baltic Sea, it is intended to organize synoptic meso- and macroscale dynamical experiments (Rec. 1980-3, 1982-3, 1986-3).

Cooperation between the CBO and other relevant intergovernmental and non-governmental institutions and international bodies is very close. To ICES there have been links since the foundation of the CBO, above all by the “Working Group on the Coordination of Hydrographic Investigations in the Baltic” (cf. paragraph 2). This contact has been augmented by cooperation in pollution problems under the auspices of the “Working Group on Pollution of the Baltic Sea” and the “ICES/SCOR Working Group on the Study of Pollution of the Baltic” established in 1968 and 1971, respectively. Since 1986 the cooperation CBO-ICES is practised by the new “ICES/SCOR Working Group on the Baltic Marine Environment”. ICES has always supported CBO by publication of the oceanographical data collected during international programmes and experiments initiated by CBO (cf. for instance Anon. 1968a, 1975; CARLBERG 1972; FONSELIUS 1978). Concerning the BMB, regular links have existed since the foundation of the BMB in 1968. Close cooperation between CBO and HELCOM was already practised during the elaboration of the “Assessment of the Effects of Pollution on the Natural Resources of the Baltic Sea, 1980” (MELVASALO et al. 1981) and the “First Periodic Assessment of the State of the Marine Environment of the Baltic Sea Area, 1980—1985” (HELCOM 1987), and is specially documented in the recommendations 1984-12 and 1986-12.

The research vessels of the Baltic countries have played an important and useful role in most CBO activities like conferences, joint research programmes and intercalibration exercises arranged or assisted by the Baltic Oceanographers during the past 30 years. Thanks must therefore be expressed to the masters and crews of the research vessels mainly engaged in this task from Denmark ("Dana", "Martin Knudsen"), Federal Republic of Germany ("Alkor", "Gauss", "Littorina", "Poseidon", "Hermann Wattenberg"), Finland ("Aranda"), German Democratic Republic ("Alexander von Humboldt", "Karl Liebknecht", "Professor Otto Krümmel", "Professor Albrecht Penck"), Poland ("Baltyk", "Birkut", "Hydromet", "MIR I"), Sweden ("Argos", "Skagerak", "Thetis"), and Soviet Union ("Aju Dag", "A. Smirnov", "Bespokojny", "Mazirbe", "Okeanograf").

4. Joint Baltic research programmes

One of the tasks of the Baltic Oceanographers is to discuss, plan, and arrange joint international activities in Baltic marine research. Since the existence of the CBO, several important joint international investigations in the Baltic Sea region have been organized or assisted by the Baltic Oceanographers (cf. Table 2).

The first of these international research undertakings was the **Cooperative Synoptic Investigation of the Baltic** in August 1964. At the CBO-III in 1962 ERICH BRUNS proposed

„... für die Zeit des Jahres der ruhigen Sonne 1964/65 und weiter zu den Min. und Max. der Sonnentätigkeit bzw. alle 5 Jahre ... eine 10- bis 15tägige synoptische Aufnahme des Kattegats und der Ostsee ... als ein internationales Unternehmen ... durchzuführen ...“ (Anon. 1962, p. 7).

The CBO-III recommended that such a synoptic investigation of the Baltic Sea be carried out in August 1964 (Rec. 1962-7). BRUNS was named as the liaison scientist for this survey. The CBO-IV in 1964 continued with the discussion of the research programme

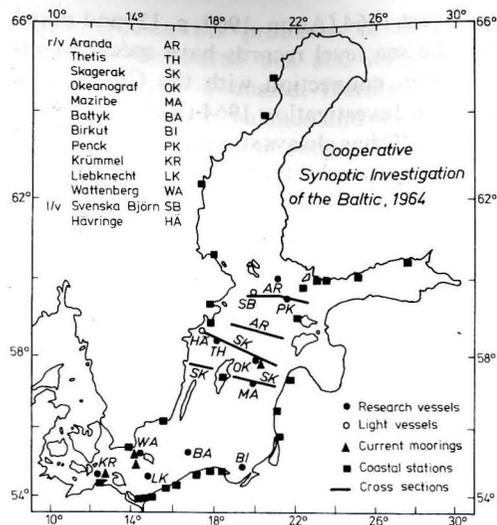


Fig. 5 Positions of the research vessels, current moorings, cross sections, and coastal stations during the Cooperative Synoptic Investigation of the Baltic 1964 (after Anon. 1968a)

(Anon. 1964, pp. 8–14) and fixed the timetable for the investigations (Rec. 1964-14).

From 1 to 12 August 1964 a total of 11 research vessels, nine of them at anchor stations, 2 light vessels, 4 current moorings, and 28 coastal stations (cf. Fig. 5) were engaged in the oceanographic survey. Two research vessels carried out cross sections in the northern Baltic proper. Six countries (Finland, FRG, GDR, Poland, Sweden, and USSR) took part. ERICH BRUNS was requested to undertake the overall coordination of the activities relating to the whole project, and the GDR r/v "Professor Albrecht Penck" acted as head office. The senior scientists were responsible for the activities at national level. The main objectives of the Cooperative Synoptic Investigation were to study the short time variations in dynamic, physical, and chemical parameters in the Baltic proper caused by meteorological processes.

Some principal results were presented at the CBO-V in 1966. Further results have been published on the kinetic energy distribution in the seiches range and at the inertial fre-

quency on the basis of current and temperature fluctuations (ZYKOV, POMERANEZ 1967; KIELMANN et al. 1969) and on latent periodicities of temperature and salinity variations (SERGEEV, STARIZYN 1974). Also, later, the observation data were used for investigations into specific aspects of Baltic oceanography, such as the study of eddy genesis (SUSTAVOV et al. 1978, 1980) and short-term variability (MATTHÄUS, FRANCK 1978, 1979). The data collected during the Cooperative Synoptic Investigation were published in the ICES Oceanographic Data Lists (Anon. 1968a).

The CBO-V observed

“... with satisfaction that the oceanographic survey of 1964 ... was carried out successfully ...”

and emphasized

“... the significant role played by the initiator of the project, Prof. E. Bruns, ... and also that of Prof. W. Krauss who prepared the final scheme used in the operations.” (Rec. 1966-2).

The CBO-V was also the starting point of a further international oceanographic survey of the Baltic Sea, the **International Baltic Year (IBY) 1969/70**:

“The Conference ... recommends to the marine institutes of the Baltic Sea the repetition of analogous international oceanographic survey ... under different meteorological and hydrological conditions, decides to ask the Swedish oceanographers to be in charge of the organization of the Second International Survey of the Baltic Sea and to submit ... a draft programme ... for ... consideration ... at the sixth Conference, of 1968.” (Rec. 1966-3).

After circulation of a draft programme to the senior scientists, ARTUR SVANSSON and STIG H. FONSELIUS (1968) presented a proposal for a “Baltic Year” in 1969/70 to serve as a basis for discussion at the CBO-VI. The Sixth Conference recommended

“... the members to participate according to a special instruction to be circulated by the Swedish Oceanographers during the summer of 1968 ... The conference believes that the programme is an example for better standard observations by careful planning of all efforts of Baltic institutes involved in standard observational programmes of the Baltic ...” (Rec. 1968-2).

The programme of the International Baltic Year was planned to take place from January 1969 to April 1970 (SVANSSON, FONSELIUS 1968, p. 2), and, because of its successful course, it was continued by decision of the CBO-VII in 1970 up to December 1970. Twelve research vessels from all Baltic countries participated in the programme (cf. Table 2), which was subdivided into periods of 3 weeks each (Anon. 1968b). During each of these periods one research vessel was responsible for the measuring programme. The working period was divided into three different parts. Part 1 included chemical-biological investigations at a network of 39 standard stations of categories A (compulsory) and B (voluntary) in the Baltic proper (cf. Fig. 6).

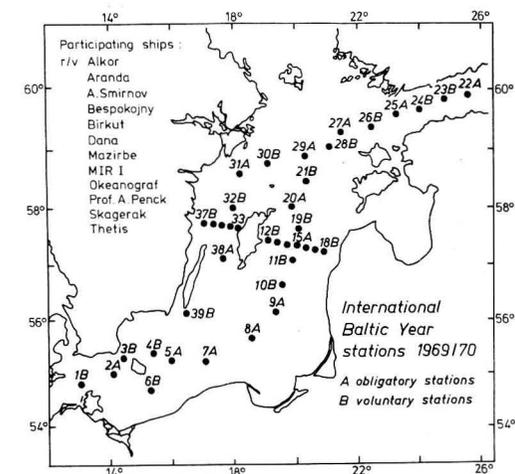


Table 2
Joint international investigations of the Baltic Sea arranged or assisted by the Baltic Oceanographers

Project	Time period	Participating research vessels	Area of investigation	Station network	Adequate CBO-recommendations	Arranging organizations
Cooperative Synoptic Investigation 1964	1—12 Aug 1964	11	Baltic proper	9 anchor stations 4 current moorings 4 cross sections 28 coastal stations	Rec. 1962-7 Rec. 1964-14 Rec. 1966-2	CBO with assistance of ICES
International Baltic Year 1969/1970 (IBY)	Jan 1969—Dec 1970	12	Baltic proper and Gulf of Finland	39 stations 38 Baltic cruises 20 further nonofficial IBY cruises	Rec. 1966-3 Rec. 1968-2 Rec. 1970-3 Rec. 1972-3	CBO with assistance of ICES and BMB
Baltic Open Sea Experiment 1977 (BOSEX-77)	5—22 Sept 1977	12	Southern Gotland Basin	30 × 30 km square 10 current moorings	Rec. 1974-3 Rec. 1976-3 Rec. 1978-4	ICES/SCOR with assistance of CBO and BMB
Patchiness Experiment 1986 (PEX-86)	20 Apr—10 May 1986	14	Southern Gotland Basin	40 × 20 nms eddy grid (4 nms station spacing) 20 × 10 nms slope grid (2 nms station spacing) 2 anchor stations 14 current moorings	Rec. 1982-7 Rec. 1984-7 Rec. 1986-4	ICES with assistance of CBO and BMB

late sixties. Therefore the IBY project paid special attention to chemical-biological phenomena.

Results of the IBY were presented at the CBO-VII in 1970, at the Second BMB Symposium in 1971, and at the CBO-VIII in 1972. During the Baltic Year programme in February 1969, a major inflow of saline water into the Baltic occurred (FONSELIUS 1970; FRANCKE, NEHRING 1971). The whole event and the process of turnover in the deep basins was observed very intensively and carefully (NEHRING et al. 1971). Biological investigations have been carried out only by Finland, Sweden and GDR. The GDR results were published in the "Beiträge zur Meereskunde" (SCHULZ et al. 1973). Summarized IBY results have been presented by NEHRING and FRANCKE (1971a, 1973) and FONSELIUS (1971, 1978).

The data collected during the IBY cruises were published in the "Meddelande från Havsfiskelaboratoriet Lysekil" (Anon. 1970, 1971), by NEHRING and FRANCKE (1971b), and in the ICES Oceanographic Data Lists and Inventories (Anon. 1975). Cruise reports of IBY have been compiled and published by CARLBERG (1970). The fact that for the first time a unique body of observation data covering the whole Baltic proper was obtained to study temporal and spatial variations in chemical-biological characteristics must be regarded as an important result of the International Baltic Year 1969/70.

The CBO-VII in 1970 drew

"... attention to the successful execution of the IBY programme ...",

considered

"... that further appropriate observations are of utmost importance ...",

and recommended

"... that cruises in the future ... should be coordinated in order to have as many months of a year as possible covered ..." (Rec. 1970-3).

In 1974, the joint "ICES/SCOR Working Group on the Study of the Pollution of the Baltic" formulated research tasks which were

considered to be important for the better understanding of the Baltic Sea system in relation to pollution (Anon. 1974). One of these tasks requiring international cooperation was the **Baltic Open Sea Experiment (BOSEX)**. From the beginning of the discussions concerning joint interdisciplinary pollution studies in the Baltic Sea, the CBO recommended

"... that the scientific countries represented by the Conference of Baltic Oceanographers contribute to these activities ..." (Rec. 1974-3).

and

"... especially to support and contribute actively to the multiship interdisciplinary Baltic Open Sea Experiment planned for September 1977 ..." (Rec. 1976-3).

In 1976 and the beginning of 1977 the Working Group and a Coordination Group worked out a framework for the BOSEX experiment (Anon. 1977) with the objectives of obtaining simultaneous observations of physical, chemical, and biological parameters covering basic parts of the ecosystem while simultaneously carrying out observations of pollutant levels in practically all compartments and to study a number of specific processes (KULLENBERG 1984a). GUNNAR KULLENBERG acted as main coordinator of the whole project with enthusiasm and initiative.

The BOSEX-77 experiment was carried out from 5 to 22 September 1977 with 12 research vessels from 14 institutions representing all Baltic countries (cf. Table 2). The experimental area was situated in the southern Gotland Basin and defined as a square with 30 km sides. The position of the square was so adjusted that IBY station 9 was the easternmost corner station (cf. Fig. 7). The experiment was planned with 2 research vessels positioned at the central station of the box. The environmental mapping of the conditions in the box was carried out by four moving vessels, while additional research vessels performed special experiments. Ten current moorings at the centre and corners of the box and along

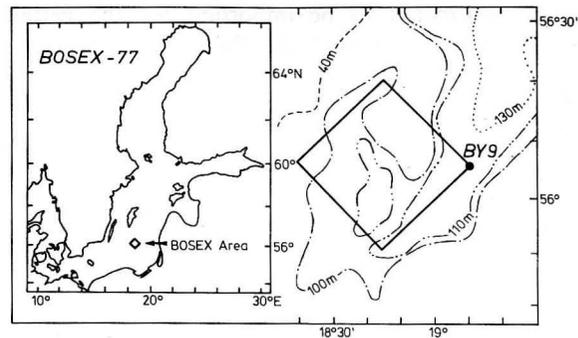


Fig. 7
Location and topography of the BOSEX area (after KULLENBERG 1984a)

the diagonals were used to detect mesoscale current variations.

Due to the extremely bad weather conditions during the field phase the results of this experiment were only limited. The observation of the response of the Baltic Sea in the BOSEX area to the severe storms, however, led to very interesting results (KRAUSS 1978, 1981; FENNEL 1978; KULLENBERG 1984b). Some of the results were presented in 16 papers during the CBO-XI in 1978. The whole of the results, including some general experiences, are summarized in the ICES Cooperative Research Report (KULLENBERG 1984c).

The recent joint international experiment planned and arranged by ICES and assisted by CBO among others was the **Patchiness Experiment (PEX)**. The major aims consisted of observing spatial and temporal scales of property fields in the Baltic, of investigating the mechanisms and processes generating patchiness, and of determining the significance of patchiness for processes affecting pollution, pollution monitoring, and fisheries research. Main coordinator for this project was BERNT I. DYBERN from Sweden.

The importance of studying the inhomogeneous distribution of physical, chemical, and biological parameters in the Baltic Sea and the corresponding steps taken by ICES to study the patchiness problem in a major joint experiment was noted by the CBO-XIII and CBO-XIV (Rec. 1982-7, 1984-7). The

CBO supported this experiment and recommended

“... that the investigations be planned and carried out as a cooperative undertaking...” (Rec. 1982-7) and

“... that the international part... be carried out in 1985–1986 within the framework of the relevant international organizations, as suggested by the ICES/SCOR Study Group on Patchiness.” (Rec. 1984-7).

The PEX-86 experiment was carried out from 20 April to 10 May 1986 as a polygon experiment. A total of 14 research vessels representing all Baltic countries without Denmark were engaged in the field phase (cf. Table 2). The PEX polygon was located in the southern Gotland Basin. The field experiment was performed in two changing polygon variants: The eddy grid covering an area of 40 × 20 nautical miles with a station spacing of 4 nms and the nested slope grid covering an 20 × 10 nms area with a station spacing of 2 nms (cf. Fig. 8). The mapping of the conditions inside the two boxes were carried out by six moving vessels and two fixed stations positioned on the slope at depths between 60 and 80 m. Fourteen current moorings in the investigation area were used to detect mesoscale current patterns.

Due to the favourable weather conditions the PEX experiment was very successful in investigating physical, chemical, and bio-

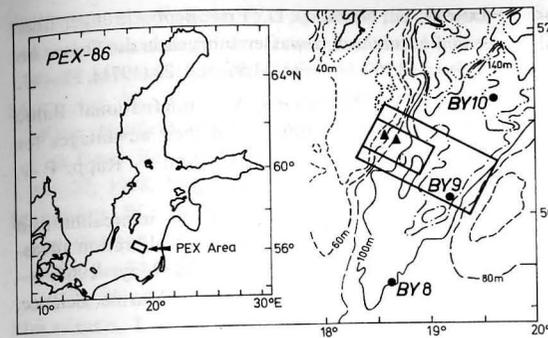


Fig. 8
Location and topography of the PEX area

logical patchiness in time and space during the phytoplankton spring bloom period in the southern Gotland Basin (DYBERN 1986). At present the results are still in preparation. Among other platforms, the Conference of the Baltic Oceanographers will be a suitable and useful forum for the presentation and discussion of the results obtained during the joint Baltic research programme PEX-86.

5. Concluding remarks

Summarizing this brief retrospective view of the history of the Conference of the Baltic Oceanographers, we must state that the foundation of the CBO in the post-war period was indeed the most important step towards the reorganization of coordinated joint marine scientific research in the Baltic Sea area. Merit for these efforts must be given to the “fathers” of the CBO, and especially to the indefatigable initiative of ILMO HELA. The development of this non-governmental body into a basic forum of the Baltic oceanographers for all problems relating to the oceanography of the Baltic Sea must be attributed, however, to all those Baltic oceanographers who energetically and effectively supported the activities of the CBO by presenting papers and statements, by discussing problems and projects, by organizing the Conferences, by coordinating joint research programmes, and by participating in the field experiments in the course of the past 30 years.

Acknowledgements

I wish to express my gratitude to my colleagues Prof. Dr. K. VOIGT, Prof. Dr. D. NEHRING, and Dr. H.-J. BROSIN from the Institute of Marine Research Warnemünde for support concerning the preparation of this contribution by numerous discussions and hints. For making available CBO documents I would like to thank Prof. Dr. A. VOIPIO and Dr. P. ALENUS, Institute of Marine Research Helsinki, as well as Dr. S. H. FONSELIUS, Oceanographical Laboratory Göteborg of the Swedish Meteorological and Hydrological Institute.

References

All details of this historical review have been taken from official documents and publications of the CBO like protocols, lists of participants, programmes, proceedings, and recommendations as well as from the abstracts of the papers. Moreover, reference must be made to the following publications:

- Anonymous; Forty-fourth Meeting of the International Council for the Exploration of the Sea, Copenhagen, 1st–9th October, 1956. — Rapp. P.-v. Réun. CIEM 142 (1957a).
- Anonymous; Agenda (1st draft) of the Helsinki Meeting, 20–22 March 1957. — 28 January 1957 (1957b).
- Anonymous; Forty-fifth Meeting of the International Council for the Exploration of the Sea, Bergen, 30th September–8th October, 1957. — Rapp. P.-v. Réun. CIEM 145 (1958).
- Anonymous; Protokoll der 3. Konferenz der Baltischen Ozeanographen, Göteborg, 16. und 17. April 1962, 10 pp.

- Anonym; Protokoll der IV. Konferenz der Ozeanographen der Ostsee, Warnemünde, 22.—24. April 1964, 16 pp.
- Anonymous; Cooperative Synoptic Investigation of the Baltic 1964, Vol. 1—5. — ICES Oceanographic Data Lists, Copenhagen: 1968a.
- Anonymous; The Baltic Year 1969—70. Program Manual. — Göteborg: 1968b, 63pp.
- Anonymous; Hydrographical Data 1969. — Medd. Havsfiskelab. Lysekil, Hydrogr. avdeln., No. 80 and 93 (1970).
- Anonymous; Hydrographical Data 1970. — Medd. Havsfiskelab. Lysekil, Hydrogr. avdeln., No. 104 and 112 (1971).
- Anonymous; Research programmes for investigations of the Baltic as a natural resource with special reference to pollution problems. — ICES Coop. Res. Rep., No. 42 (1974) 45 pp.
- Anonymous; International Baltic Year 1969—1970, Data Vol. 1—4. — ICES Oceanographic Data Lists and Inventories, No. 20—23 (1975).
- Anonymous; Report on the Meeting of the ICES/SCOR Working Group on the Study of Pollution of the Baltic. — ICES paper C. M. 1977/E:3.
- CARLBERG, S. R.: Compiled cruise reports from the Baltic Year 1969—1970. — Medd. Havsfiskelab., Lysekil, Hydrogr. avdeln., No. 87 (1970) 61 pp.
- CARLBERG, S. R.: New Baltic manual with methods for sampling and analyses of physical, chemical, and biological parameters. — ICES Coop. Res. Rep. No. 29 A (1972) 145 pp.
- DYBERN, B. I.: The Patchiness Experiment in the Baltic in April—May 1986. — ICES Paper C. M. 1986/E: 3a (1986) 14 pp.
- FALKENMARK, M.; MIKULSKI, Z.: Hydrology of the Baltic Sea — general background to the international project. — Water balance of the Baltic Sea, a regional cooperation project of the Baltic countries, Project Doc. No. 1, Stockholm—Warszawa: 1974, 51 pp.
- FENNEL, W.: Some remarks on the vertical momentum transport during BOSEX-77. — ICES paper C.M. 1978/C:30.
- FONSELIUS, S. H.: On the stagnation and recent turnover of the water in the Baltic. — Tellus 22 (1970), 533—544.
- FONSELIUS, S. H.: Sections through the eastern Gotland Basin showing oxygen and hydrogen sulphide variations during the International Baltic Year (IBY) 1969—1970. — Medd. Havsfiskelab. Lysekil, Hydrogr. avdeln., No. 114 (1971) 19 pp.
- FONSELIUS, S. H.: International Baltic Year 1969 to 1970 — Atlas. — ICES Oceanographic Data Lists and Inventories, No. 37 (1978) 409 pp.
- FRANCKE, E.; NEHRING, D.: Erste Beobachtungen über einen erneuten Salzwassereintrich in die Ostsee im Februar 1969. — Beitr. Meereskd. 28 (1971), 33—47.
- FRANCKE, E.; MATTHÄUS, W.: International Baltic observation programmes and their advantages for baseline studies of the Baltic Sea. — Rapp. P.-v. Réun. CIEM 185 (1984), 30—38.
- GRASSHOFF, K. (ed.): Report on intercalibration measurements. Part 1: The intercalibration measurements at Leningrad, 24—28 May, 1966. — UNESCO Technical Papers in Marine Science, No. 9 (1966), 7—39.
- HELA, I.: Letter of Invitation to the Baltic Hydrographic Meeting in Helsinki, 20—22 March, 1957. — 28 January 1957. (1957a), 7 pp.
- HELA, I.: Opening words, 1st Conference of the Baltic Oceanographers, Helsinki, March 20—22, 1957. (1957b), 3 pp.
- HELA, I.: Opening address. 7th Conf. Baltic Oceanographers, Helsinki, May 11—15, 1970, Second part. — Helsinki: 1971, p. 4—11.
- HELCOM: Water balance of the Baltic Sea — a regional cooperation project of the Baltic Sea states. — Baltic Sea Environm. Proc. No. 16, Helsinki: 1986, 174 pp.
- HELCOM: First periodic assessment of the state of the marine environment of the Baltic Sea Area, 1980—1985. — Baltic Sea Environm. Proc. No. 17B, Helsinki: 1987.
- KIELMANN, J.; KRAUSS, W.; MAGAARD, L.: Über die Verteilung der kinetischen Energie im Bereich der Trägheits- und Seichesfrequenzen der Ostsee im August 1964 (Internationales Ostseeprogramm). — Kieler Meeresforsch. 25 (1969), 245—254.
- KRAUSS, W.: Inertial waves and mixing in the thermocline. — Proc. 11th Conf. Baltic Oceanographers, Rostock, April 24—27, 1978, Vol. 2 (1978), 709 to 728.
- KRAUSS, W.: The erosion of a thermocline. — J. Phys. Oceanogr. 11 (1981), 415—433.
- KULLENBERG, G.: BOSEX-77: Planning, implementation and experiences. — ICES Coop. Res. Rep., No. 127 (1984a), 1—9.
- KULLENBERG, G.: Air-sea interaction and mixing conditions during BOSEX-77. — ICES Coop. Res. Rep. No. 127 (1984b), 41—48.
- KULLENBERG, G. (ed.): Overall Report on the Baltic Open Sea Experiment 1977 (BOSEX). — ICES Coop. Res. Rep., No. 127 (1984c), 82 pp.
- LEE, A.: The ICES Hydrography Committee: A review of its activities since 1945. — Rapp. P.-v. Réun. CIEM 185 (1984), 7—29.

- MAGAARD, L.; KRAUSS, W.: Spektren der Wasserstandsschwankungen der Ostsee im Jahre 1958. — Kieler Meeresforsch. 22 (1966), 155—162.
- MATTHÄUS, W.; FRANCK, H.: Short-term variations of the stratification in the Darß Sill area. — Proc. 11th Conf. Baltic Oceanographers, Rostock, April 24—27, 1978, Vol. 2 (1978), 391—402.
- MATTHÄUS, W.; FRANCK, H.: Zur kurzzeitigen Veränderlichkeit der Schichtungsverhältnisse im Seegebiet der Darßer Schwelle. — Beitr. Meereskd. 42 (1979), 95—110.
- MELVASALO, T.; PAWLAK, J.; GRASSHOFF, K.; THORELL, L.; TSIBAN, A. (eds.): Assessment of the effects of pollution on the natural resources of the Baltic Sea, 1980. — Baltic Sea Environm. Proc., No. 5 B, Helsinki: 1981, 426 pp.
- MIKULSKI, Z.: Water balance of the Baltic Sea (cooperation of the Baltic countries). — J. Hydrol. Sciences 2 (1974) 3/4, 89—107.
- MIKULSKI, Z.: Current status of the research on the water balance of the Baltic Sea. — Proc. 13th Conf. Baltic Oceanographers, Leningrad, April 14—17, 1980. — Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984, p. 16 to 26.
- NEHRING, D.; FRANCKE, E.: Hydrographisch-chemische Veränderungen in der Ostsee seit Beginn dieses Jahrhunderts und während des Internationalen Ostseejahres 1969/70. — Fischerei-Forschung 9 (1971 a) 1, 35—42.
- NEHRING, D.; FRANCKE, E.: Beiträge der DDR zur internationalen Ostseeforschung. Das ozeanographische Beobachtungsmaterial des Internationalen Ostseejahres 1969/70. — Geod. Geophys. Veröff. R. IV (1971 b), No. 4 und 6.
- NEHRING, D.; FRANCKE, E.: Zusammenfassende Darstellung der hydrographisch-chemischen Veränderungen in der Ostsee 1969/70. — Fischerei-Forschung 11 (1973) 1, 31—43.
- NEHRING, D.; FRANCKE, E.; BROSI, H.-J.: Beobachtungen über die ozeanologischen Veränderungen im Gotlandtief während der Wasserumschichtung im Oktober 1969. — Beitr. Meereskd. 28 (1971), 75—82.
- SCHULZ, S.; KAISER, W.; ARNDT, E. A.; STEIN, H.: Biologische Untersuchungen während des Internationalen Ostseejahres (International Baltic Year, IBY) 1969/70 (Teil I—IV). — Beitr. Meereskd. 32 (1973), 5—74.
- SERGEEV, YU. N.; STARIZYN, D. K.: Latent periodicity of thermohaline variations of the Baltic Sea in the high frequency range of the spectrum (in Russ.). — Vestn. Leningr. Univ., No. 6 (1974), 141—150.
- SUSTAVOV, YU. V.; CHERNYSHEVA, E. S.; MICHAILOV, A. E.: On the synoptic eddy genesis in the Baltic Sea. — Proc. 11th Conf. Baltic Oceanographers, Rostock, April 24—27, 1978, Vol. 2 (1978), 795 to 805.
- SUSTAVOV, YU. V.; CHERNYSHEVA, E. S.; MICHAILOV, A. E.: Latent eddies of the Baltic Sea (in Russ.). — Trudy Gos. Okeanogr. Inst., No. 152 (1980), 17 to 37.
- SVANSSON, A.; FONSELIUS, S. H.: Letter to the Baltic Oceanographers. — Göteborg, March 13, 1968, 3 pp., 3 app.
- WENT, A. E. J.: Seventy years agrowing — a history of the International Council for the Exploration of the Sea 1902—1972. — Rapp. P.-v. Réun. CIEM 165 (1972), 252 pp.
- WÜST, G.: Eröffnungsansprache auf der Konferenz der Baltischen Ozeanographen in Kiel. — Protokoll der 2. Konf. Balt. Ozeanographen, Kiel, 3.—4. März 1959, Anhang 1, 4 pp.
- ZYKOV, I. D.; POMERANEZ, K. S.: Current spectra of the central part of the Baltic Sea (in Russ.). — Izv. AN SSSR, Fiz. Atmosf. i Okeana 3 (1967), 1110—1115.

Address of the author:

Dr. sc. nat. W. MATTHÄUS
Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Meereskunde
DDR-2530 Rostock-Warnemünde

Received: December 5, 1985

Accepted: May 23, 1986

HARTMUT PRANDKE, ADOLF STIPS

Echostreuschichten in der Ostsee — Schallreflexion am Dichtesprung oder Schallstreuung an suspendiertem Material?

Mit 5 Abbildungen

Zusammenfassung: Mit Hilfe einer frei sinkenden Mikrostruktursonde und einem mikrorechnergekoppelten Echolot wurden die in der westlichen Ostsee häufig auftretenden Echostreuschichten untersucht. Ziel der Untersuchung war die Bestimmung der Ursachen der Streuschichten. Es wurde festgestellt, daß die Schallreflexion an Sprüngen im Vertikalprofil der Schallgeschwindigkeit und die Schallstreuung an kleinskaliger Turbulenz nicht die Ursachen der beobachteten Streuschichten sind. Die Echostreuschichten waren an feine Sprünge innerhalb der einige Meter dicken Dichtesprungschichten gebunden und standen im Zusammenhang mit signifikanten Konzentrationserhöhungen von suspendiertem Material. Es wurde gefolgert, daß Gasblasen, entstanden durch chemische bzw. biologische Zersetzungsprozesse, in diesen Schichten höherer Konzentration von Schwebstoffen möglicherweise die eigentliche Ursache der Echostreuschichten sind.

Abstract: Sound scattering layers have been investigated in the Baltic using a free sinking microstructure probe and an echosounder equipped with a microcomputer. The aim of the investigations was to determine the origin of those layers. It appears that sound scattering layers occur in density sheets within the pycnoclines and that they are closely related to enhanced concentrations of suspended material. There were, however, no indications that sound reflection at sheets in the vertical profile of sound velocity or that sound scattering at small scale turbulence would generate sound scattering layers. We assume, that small gas bubbles resulting from biological/chemical rottenness of the suspended material are the reason for the observed sound scattering layers.

Резюме: С помощью свободно падающего микроструктурного зонда и эхолота, связанного с микрокомпьютером, мы исследовали звуко-рассеивающие слои в западной части Балтийского моря. Цель исследования состояла в определении причин звуко-рассеивающих слоев. Мы нашли, что отражение звука при скачках вертикального

профиля скорости звука и рассеивание звука турбулентцией не вызывают звуко-рассеивающих слоев. Звуко-рассеивающие слои были связаны со скачками вертикального профиля плотности в глубине термохалинных переходных слоев и имели корреляцию с высокими концентрациями взвешенных веществ. Мы предполагаем, что маленькие газовые пузыри в слоях высоких концентраций взвешенных веществ, которые возникают в результате гниения в этих слоях, являются причиной звуко-рассеивающих слоев.

1. Einleitung

Echostreuschichten (ESS) sind in Schelfgebieten der Ozeane und in stark geschichteten Meeren, z. B. in der westlichen Ostsee, eine häufig beobachtete Erscheinung. Diese ESS unterscheiden sich von breiten akustischen Streuschichten im offenen Ozean (Deep Scattering Layer — DSL) dadurch, daß sie eine sehr geringe Anzeigendicke auf dem Echogramm haben und grundsätzlich an Dichtesprungschichten gebunden sind. Damit stellt sich die Frage, ob die ESS für eine „akustische Fernerkundung“ von Dichtesprungschichten geeignet sind. Wenn dies der Fall ist, lassen sich horizontale Ausdehnung und Tiefenlage der Sprungschichten vom fahrenden Schiff aus bestimmen. Dieses „Mapping“ wäre eine wirksame Methode zur Erfassung der Schichtung und von dynamischen Prozessen im Meer. Auch aus biologisch/chemischer Sicht sind die ESS von Interesse, da diese möglicherweise mit hohen Konzentrationen von aufgestautem suspendiertem Material in Verbindung stehen. Hieraus ergibt sich die Frage, ob durch die Erfassung der ESS

Aussagen zur Konzentrationsverteilung von Schwebstoffen in einem Seegebiet gewonnen werden können.

Grundlage für die Beantwortung dieser Fragen ist die Klärung der eigentlichen Ursachen der ESS. In der internationalen Fachliteratur werden verschiedene, einander widersprechende Standpunkte vertreten. Eine Reihe von Autoren erklärt die Schallreflexion mit dem Aufstau von absinkendem suspendiertem Material (Plankton) oberhalb der Dichtesprungschicht (TROUT et al. 1952; WÜST, BROGMUS 1955; CUSHING et al. 1956; WESTON 1958; OLSEN 1960; FRASSETTO et al. 1962). Direkte Messungen der Planktonkonzentration, die die beobachtete ESS bewirken sollen, wurden jedoch meist nicht durchgeführt. Diese Autoren geben nur als indirekte Begründung ihrer Annahme an, daß physikalische Diskontinuitäten aus den verschiedensten Gründen nicht die Schallreflexion bewirken können. In anderen Arbeiten (HASHIMOTO, MANIWA 1956; LENZ 1965; PENROSE, BEER 1981) wird der Dichtesprung selbst als Ursache der Schallreflexion angesehen. Die von HASHIMOTO und MANIWA (1956) durchgeführten Laborexperimente zeigten, daß ein idealer Temperatursprung von 5 °C noch akustisch geortet werden kann. Da es im Meer aber keine idealen Temperatursprünge, sondern immer nur Sprungschichten mit endlicher Ausdehnung gibt, sind bei gleicher Gesamtänderung der Temperatur (und damit auch der Schallgeschwindigkeit) deutlich geringere Reflexionskoeffizienten zu erwarten. Eine einfache Abschätzung zeigt, daß bei einem idealen Temperatursprung von 5 °C ein Schallreflexionskoeffizient von -43 dB auftritt, während bei einem „weichen“ Temperatursprung gleicher Größe über einen Tiefenbereich von 10 cm der Reflexionskoeffizient nur noch einen Wert von -76 dB aufweist. Die von HASHIMOTO und MANIWA (1956) publizierten Ergebnisse von Laborexperimenten sind also noch kein Beweis dafür, daß die ESS auf einfache Schallreflexion an einem Dichtesprung im Meer zurückzuführen sind.

Als weitere mögliche Ursache der ESS

werden hochfrequente interne Wellen und durch sie erzeugte Turbulenzen innerhalb der Dichtesprungschicht diskutiert (KRAUSS et al. 1973). Aus zahlreichen Mikrostrukturuntersuchungen, auch aus der Ostsee (PRANDKE, STIPS 1984a), ist bekannt, daß aktive Mikrostruktur (kleinskalige Turbulenz) in thermohalinen Sprungschichten konzentriert auftreten kann. Von THORPE und BRUBAKER (1983) wurde experimentell nachgewiesen, daß es möglich ist, die Schallstreuung an aktiver Mikrostruktur mit einem Echolot zu registrieren. Es ist bisher jedoch nicht nachgewiesen, daß in den untersuchten ESS aktive Mikrostruktur konzentriert auftritt und die Intensität der an diesen Strukturen gestreuten Schallenergie ausreicht, um eine deutlich erkennbare Streuschicht zu erzeugen.

Zusammenfassend muß eingeschätzt werden, daß aus den international bekannten Ergebnissen keine zweifelsfreien Rückschlüsse auf die Ursachen der ESS gezogen werden können. Das Ziel der hier publizierten Untersuchungen bestand darin, die Ursachen der ESS in der Ostsee zu klären. Damit sollen die Möglichkeiten für eine eventuelle Auswertung der ESS für physikalische oder biologische Untersuchungen geklärt werden. Die von uns durchgeführten Untersuchungen konzentrierten sich dabei auf die westliche Ostsee (Arkonasee bis Mecklenburger Bucht), da in diesem Seegebiet die größte Häufigkeit von ESS beobachtet wurde.

2. Meßstrategie/Meßgeräte

Ein grundsätzliches Problem bei allen bekannten Untersuchungen von ESS liegt darin, daß die verwendete Meßtechnik zur Analyse der Streuschichten (STD-Sonden, Planktonnetze, diverse Wasserschöpftechnik) nicht die notwendige hohe vertikale Auflösung besaß, um die Tiefenbereiche der Echostruschichten exakt zu vermessen. Die verwendete Technik besaß bestenfalls eine vertikale Meßwertauflösung von 0,5 m, meist war sie noch weitaus

ungünstiger. Die an die Dichtesprungschichten gebundenen ESS haben jedoch charakteristische vertikale Abmessungen im Bereich von Zentimetern bis einige Dezimeter. Dies läßt sich leicht aus der Anzeigendicke der Streuschichten auf dem Echogramm abschätzen, die zumeist einige Dezimeter beträgt. Wegen der endlichen Länge der vom Echolot ausgesendeten Schallimpulse und dem endlichen Öffnungskegel des Schallstrahles haben auch ideal dünne Grenzschichten eine Anzeigendicke auf dem Echogramm, die in der Größenordnung einiger Dezimeter liegt. Damit wird deutlich, daß für eine erfolgversprechende Untersuchung der Ursachen der ESS eine spezielle Meßtechnik notwendig ist, die eine hohe vertikale Meßwertauflösung der Schichtungsstrukturen und der Verteilung des suspendierten Materials ermöglicht. Gleichzeitig muß eine hochauflösende Registrierung der ESS erfolgen.

Die Untersuchung der ESS wurde deshalb im Zusammenhang mit Untersuchungen der Mikrostruktur der vertikalen Dichteschichtung durchgeführt. Im ersten Abschnitt der Untersuchungen der ESS wurden die Mikrostruktursonde MSS (vertikale Meßwertauflösung ca. 2 mm) in ihrer ersten Version (Kopplung der Meßsonde an den in der Ozeanologischen Meßkette OM 75 integrierten Kleinsteuerrechner KSR 4100 — siehe PRANDKE et al. 1985) und das Echolot DESO 10 eingesetzt. Bedingt durch die für die Untersuchung von Echostruschichten optimale Konstruktion der Mikrostruktursonde MSS (Tiefenbestimmung mittels Echolot) war es möglich, gleichzeitig mit der Registrierung eines Vertikalprofils von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit die in dem untersuchten Tiefenbereich auftretenden ESS aufzuzeichnen. Damit konnte eine Zuordnung von Schichtungsstruktur und Echostruschicht mit einer Genauigkeit von ca. 5 cm erfolgen. Zur Untersuchung des Zusammenhangs Mikrostruktur/Echostruschichten wurden aus den Profilen der Temperatur und der elektrischen Leitfähigkeit die Mikrostrukturprofile der Schallgeschwindigkeit und der Dichte berechnet. Die Zuord-

nung der ESS erfolgte dann zu den kleinskaligen Schichtungsstrukturen dieser beiden Parameter. Die Bestimmung der Stärke der ESS erfolgte in dieser Phase der Untersuchung durch eine visuelle Bewertung der Aufzeichnung auf dem Echogramm, analog dem von LENZ (1965) angewendeten Verfahren. In den Jahren 1981 bis 1984 wurden bei den auf verschiedenen Expeditionen durchgeführten Untersuchungen 88 Mikrostruktursondierungen mit gleichzeitiger Aufzeichnung von ESS gewonnen. Dabei wurden insgesamt 181 ESS registriert.

Im zweiten Abschnitt der Untersuchungen wurden komplexe Messungen im Tiefenbereich der ESS zur Erfassung der Mikrostruktur der Dichteschichtung, der Feinstruktur der Vertikalverteilung des suspendierten Materials und des hochauflösenden Profils der rückgestreuten bzw. reflektierten Schallenergie (Echostärke) durchgeführt. Das Ziel dieser Messungen bestand darin, aus dem Vergleich des durch die Dichteschichtung bedingten Profils der Echostärke (berechnet aus den Mikrostrukturprofilen von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit) mit dem tatsächlich gemessenen Profil der Echostärke Aussagen zu gewinnen, ob die Schallreflexion am Dichtesprung oder ob eine andere Ursache (partikuläre Streuzentren) zur Entstehung der ESS führt. Die Überprüfung dieser Aussagen erfolgt anhand der Vertikalprofile der Konzentration des suspendierten Materials.

Für die Durchführung der komplexen Messungen wurden ein zum In-situ-Streulichtphotometer umgerüstetes Impulslichtfluorometer vom Typ „Variosens“ zur Messung des Vertikalprofils der Lichtstreuintensität als Maß für die Konzentration des suspendierten Materials und das in Abb. 1 dargestellte mikrorechnergestützte Meßsystem eingesetzt. Dieses Meßsystem gestattet die schnelle Messung, Abspeicherung und graphische Darstellung von Vertikalprofilen der Mikrostruktur von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit sowie des hochauflösenden Profils der Echostärke. Das bei diesem Meßsystem angewendete Prinzip der Messung der

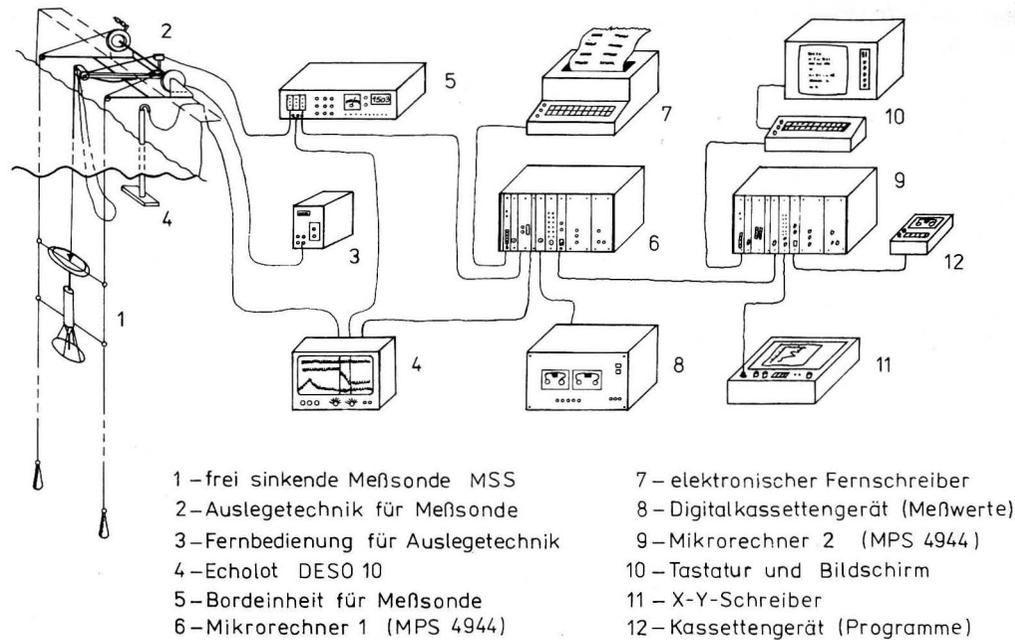


Abb. 1
Schematische Darstellung des mikrorechnergestützten Meßsystems zur Messung der Mikrostruktur der Dichteschichtung und des hochaufgelösten Vertikalprofils der Echostärke

Echostärke wird von PRANDKE et al. (1986) im Detail beschrieben.

Die komplexen Messungen wurden im Sommer 1985 auf 3 Stationen in der Mecklenburger Bucht durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 7 ESS untersucht. Die Experimente erfolgten in folgenden Arbeitsschritten:

1. Suche und Echolotbeobachtung von typischen ESS, die mittelstark bis stark waren und längere Zeit (einige Stunden) stabil am Beobachtungsort vorhanden waren.
2. Zeitlich engabständig wiederholte Messungen des Vertikalprofils der rückgestreuten bzw. reflektierten Schallenergie mit dem mikrorechnergekoppelten Echolot (30 kHz und 210 kHz) im Wechsel mit ebenfalls zeitlich engabständig wiederholten Messungen der Mikrostruktur der vertikalen Schichtung mit der Mikrostruktursonde. Meist wurden insgesamt 4 Zeitreihen von je 10 Sondierungen mit dem mikrorechnergekoppelten Echolot (je 2 bei 30 kHz und 210 kHz) und eine Zeit-

reihe von 5 Sondierungen mit der Mikrostruktursonde durchgeführt.

3. Zeitlich engabständig wiederholte Messungen (10 bis 16 mal) des Vertikalprofils der Konzentration des suspendierten Materials mit dem Variosens.
4. Wiederholung des 2. Arbeitsschrittes.

Der 2., 3. und 4. Arbeitsschritt wurden so schnell wie möglich durchgeführt, um Änderungen der Stärke und der Tiefenlage der untersuchten ESS während des Meßprogramms so klein wie möglich zu halten. Die Zeitdauer für die Durchführung einer komplexen Messung betrug insgesamt ca. 5 bis 6 Stunden. Während dieser Zeitdauer erfolgte eine ständige Beobachtung der Echostruschichten mit dem Echolot.

Bei der Auswertung des umfangreichen Datenmaterials der komplexen Untersuchungen zeigte sich, daß die mit dem mikrorechnergekoppelten Echolot und der Mikrostruktursonde während eines Meßprogrammes auf-

genommenen Profile der rückgestreuten bzw. reflektierten Schallenergie und der Mikrostruktur der Wasserschichtung nur geringe zeitliche Änderungen innerhalb einer Zeitreihe zeigten. Damit war es möglich, anhand ausgewählter Einzelprofile die Echostärke und die Mikrostruktur in den Tiefenbereichen der ESS zu charakterisieren. Bei der Bearbeitung der mit dem Variosens gewonnenen Profile zeigte sich, daß zufällig auftretende, einzelne große optische Streuzentren die Vertikalprofile der Lichtstreuintensität erheblich beeinflussen können, so daß schwächere Signale praktisch im „Rauschen“ untergehen. Erst die aus allen Sondierungen einer Zeitreihe berechneten mittleren Profile lieferten eine statistisch gesicherte Information über die vertikale Konzentrationsverteilung des suspendierten Materials.

3. Meßergebnisse und Diskussion

3.1. Echostruschichten und Mikrostruktur der Sprungschichten

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse des ersten Abschnitts der Untersuchung der ESS in der westlichen Ostsee dargelegt. Dabei wurde der Zusammenhang zwischen dem Auftreten und der Stärke der ESS und der Mikrostruktur der Schallgeschwindigkeit und der Mikrostruktur der Dichte getrennt untersucht.

Schallgeschwindigkeits-Mikrostruktur und ESS

Die Untersuchung dieses Zusammenhangs ergab folgende Ergebnisse:

1. Von den 181 ESS, die gleichzeitig mit einer MSS-Registrierung aufgezeichnet wurden, waren 100, das sind 55,2% an einen im Vertikalprofil deutlich erkennbaren Sprung in der Schallgeschwindigkeit gebunden. 81 ESS (= 44,8%) traten in Tiefenbereichen ohne Schallgeschwindigkeitssprünge auf.

2. Bei 78 der 88 MSS-Sondierungen mit gleichzeitiger ESS-Registrierung, das sind 88,6%, traten in dem mit der MSS sondierten Tiefenbereich weitere deutliche Schallgeschwindigkeitssprünge auf, die keine ESS aufwiesen.
3. Bei zahlreichen weiteren MSS-Sondierungen in allen Teilen der Ostsee wurden starke und scharfe Sprünge in der Schallgeschwindigkeit festgestellt, ohne daß ESS in diesen Tiefenbereichen auftraten.
4. Zwischen der Stärke der ESS und dem lokalen Schallgeschwindigkeitsgradienten bzw. dem durch die Schichtungsstruktur bedingten Schallreflexionskoeffizienten in dem entsprechenden Tiefenbereich existiert kein nachweisbarer Zusammenhang, wie aus dem Korrelogramm zwischen der Stärke der ESS und dem lokalen Schallgeschwindigkeitsgradienten im Tiefenbereich der ESS erkennbar ist (s. Abb. 2).

Für die Punkte 1. und 2. ist in Abb. 3 ein charakteristisches Beispiel gegeben. Im Tiefenbe-

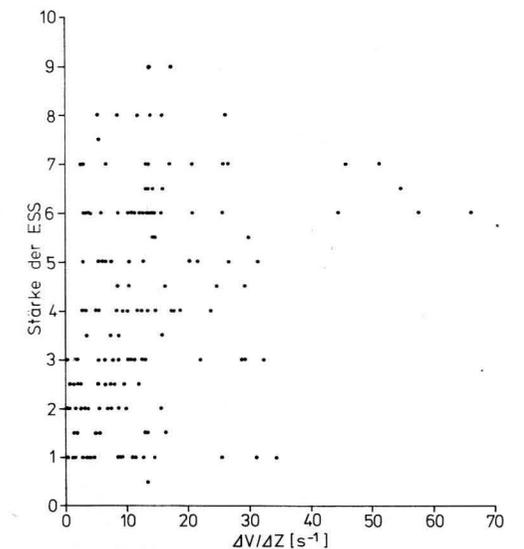


Abb. 2
Korrelogramm zum Zusammenhang zwischen dem lokalen Schallgeschwindigkeitsgradienten im Tiefenbereich der ESS und der Stärke der Echostruschichten. Der Korrelationskoeffizient hat den Wert $r = 0,38$.

reich der obersten ESS tritt ein scharfer Sprung in der Schallgeschwindigkeit auf, während die beiden unteren ESS in einem Tiefenbereich ohne signifikante Änderung der Schallgeschwindigkeit liegen. Der markante Schallgeschwindigkeitssprung in ca. 16 m Tiefe hingegen bewirkt keine Echostreuschicht.

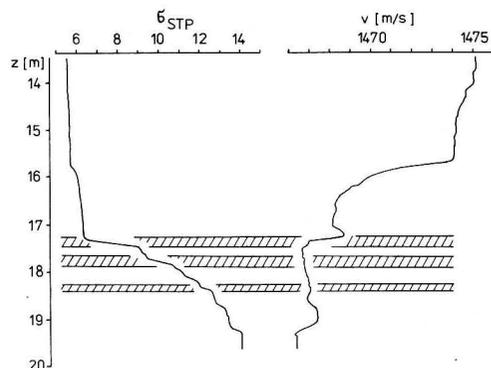


Abb. 3
Vertikalprofile der Dichte und der Schallgeschwindigkeit auf einer Station im Gebiet der Darßer Schwelle, gemessen am 9. Juli 1983. Die Tiefenbereiche der Echostreuschichten sind durch Schraffur gekennzeichnet.

Die hier dargelegten Ergebnisse zeigen, daß die Echostreuschichten in der westlichen Ostsee nicht durch eine einfache Schallreflexion an einem Sprung im Vertikalprofil der Schallgeschwindigkeit verursacht sind. Auch wenn ein derartiger Sprung im Tiefenbereich einer ESS auftritt, ist er nicht die entscheidende Ursache dieser Streuschicht.

Dichte-Mikrostruktur und ESS

Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Auftreten und Stärke der ESS und der Mikrostruktur der Dichteschichtung führte zu folgenden Ergebnissen:

1. Von den 181 ESS, die gleichzeitig mit einer MSS-Sondierung registriert wurden, waren 180, das sind 99,5%, an einen deutlich erkennbaren Dichtesprung gebunden.

Die Bindung der Echostreuschichten erfolgte dabei in den meisten Fällen an einen Sheet (feiner Sprung) im Dichteprofil. Nur eine schwache ESS (=0,5%) trat in einem Tiefenbereich ohne erkennbaren Dichtesprung (und auch ohne Sprung in der Schallgeschwindigkeit) auf.

2. Bei 68 von 88 MSS-Sondierungen mit gleichzeitiger ESS-Registrierung, das sind 77,3%, traten in dem untersuchten Tiefenintervall weitere kleinskalige Dichtesprünge ohne ESS auf.
3. Bei zahlreichen weiteren MSS-Sondierungen in allen Teilen der Ostsee wurden starke und scharfe Sprünge im Dichteprofil festgestellt, ohne daß ESS in diesen Tiefenbereichen auftraten.
4. Zwischen der Stärke der ESS und dem lokalen Dichtegradienten in dem entsprechenden Tiefenbereich existiert kein nachweisbarer Zusammenhang, wie aus dem Korrelogramm in Abb. 4 zu ersehen ist.

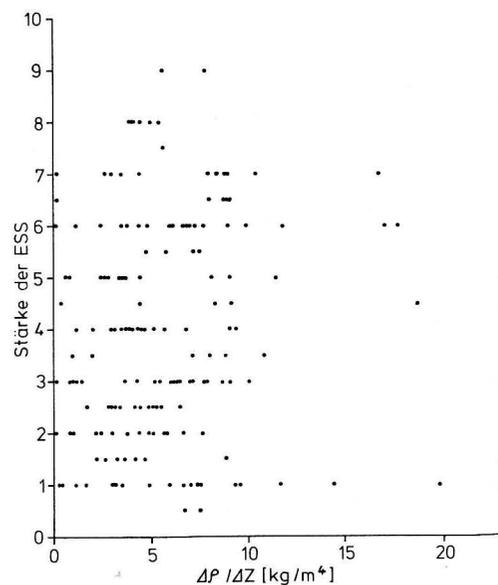


Abb. 4
Korrelogramm zum Zusammenhang zwischen dem lokalen Dichtegradienten im Tiefenbereich der ESS und der Stärke der Echostreuschichten. Der Korrelationskoeffizient hat den Wert $r = 0,24$.

5. In den Tiefenbereichen von 39 ESS, das sind 21,5% der gleichzeitig mit einer MSS-Sondierung registrierten Echostreuschichten, wurde aktive Mikrostruktur (kleinskalige Turbulenz) festgestellt.

Für die Punkte 1. und 2. ist in Abb. 3 ein charakteristisches Beispiel gegeben. Das Dichteprofil der Sprungschicht zeigt die für die Ostsee-Sprungschichten typische Sheet-Layer-Struktur (s. PRANDKE, STIPS 1984b). Die ESS sind an klar erkennbare Sheets gebunden. Daneben treten weitere Sheets ohne ESS auf.

Aus den hier dargelegten Ergebnissen wird deutlich, daß die ESS in der westlichen Ostsee in nahezu allen Fällen an kleinskalige Dichtesprünge innerhalb der meist einige Meter dicken Dichtesprungschichten gebunden sind. Dabei ist das Auftreten eines Sheets im Dichteprofil noch keine hinreichende, wohl aber eine notwendige Bedingung für die Existenz einer ESS. Die Stärke der ESS ist unabhängig von der Stärke des Dichtesprungs, an den sie gebunden ist.

Aus dem Punkt 5. läßt sich folgern, daß kleinskalige Turbulenz keine entscheidende Ursache für das Auftreten von Echostreuschichten sein kann. Diese Aussage wird auch durch das aus umfangreichen Mikrostrukturuntersuchungen bekannte Erscheinungsbild aktiver Schichtungsgebiete in den Dichtesprungschichten der Ostsee (s.

PRANDKE, STIPS 1984a) unterstützt. Diese Bereiche kleinskaliger Turbulenz haben charakteristische vertikale Ausdehnungen von ca. 0,5 m und treten mit unterschiedlicher Häufigkeit sporadisch auf. Sie können praktisch keine dünnen schichtenförmigen ESS-Anzeigen mit horizontalen Ausdehnungen von mehreren Kilometern erzeugen.

3.2. Komplexe Messungen

In Abb. 5 sind die Ergebnisse der komplexen Untersuchungen in Form der Vertikalprofile der Echostärke (30 kHz und 210 kHz), der Dichte, der Schallgeschwindigkeit, der aus der Schichtungsstruktur resultierenden Schallreflexionskoeffizienten für 30 kHz und 210 kHz sowie der Konzentrationsverteilung des suspendierten Materiales dargestellt. Folgende Aussagen sind diesen Darstellungen zu entnehmen:

1. Bis auf eine Ausnahme (Abb. 5a, oberste Streuschicht) zeigten alle untersuchten ESS eine deutliche Frequenzabhängigkeit ihrer Anzeigenstärke bzw. waren teilweise nur bei einer Frequenz sichtbar.
2. Alle ESS waren an deutlich erkennbare Sheets im Dichteprofil gebunden.
3. Markante Sprünge in der Schallgeschwindigkeit, die auch als signifikante Maxima der Schallreflexionskoeffizienten $Re1$ und $Re2$ sichtbar waren, traten im Tiefenbe-

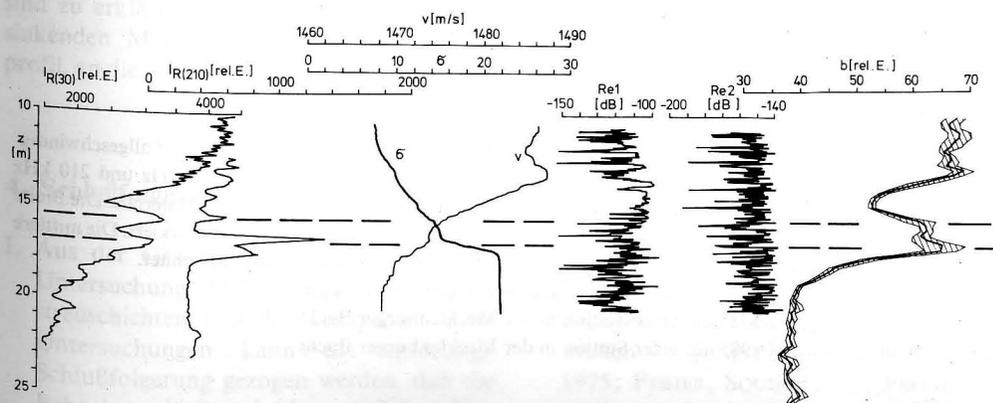


Abb. 5a

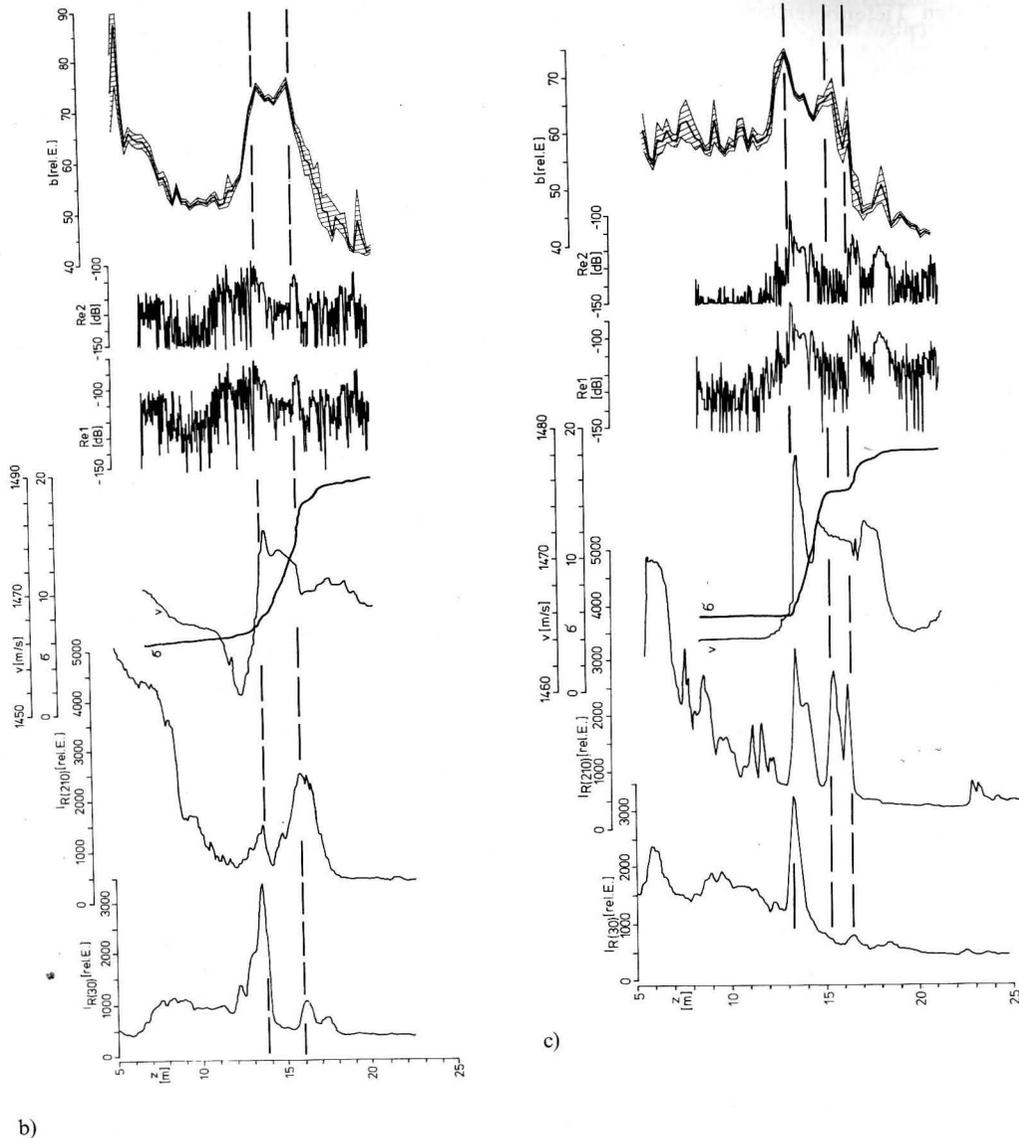


Abb. 5
 Vertikalprofile der Echostrusstärke für 30 kHz und 210 kHz ($I_{R(30)}$, $I_{R(210)}$), der Dichte σ , der Schallgeschwindigkeit v , der aus der Schichtungsstruktur resultierenden Schallreflexionskoeffizienten für 30 kHz und 210 kHz ($Re1$, $Re2$) sowie der Lichtstreuintensität b als Maß für die Konzentration des suspendierten Materials. Die Breite des Konfidenzintervalles des gemittelten Profils der Lichtstreuintensität ist durch Schraffur markiert. Die mittlere Tiefenlage der Echostruschichten ist durch die waagerechten gestrichelten Linien gekennzeichnet.

- Gemessen am 2. August 1985 auf einer Station in der Mecklenburger Bucht
- Gemessen am 20. August 1985 auf einer Station in der Mecklenburger Bucht
- Gemessen am 21. August 1985 auf einer Station in der Mecklenburger Bucht

reich von 4 ESS auf (beide ESS in Abb. 5b sowie die oberste und die unterste ESS in Abb. 5c). 3 ESS lagen in Tiefenbereichen mit geringen $Re1$ - und $Re2$ -Werten (beide ESS in Abb. 5a, mittlere ESS in Abb. 5c). Bei den komplexen Untersuchungen am 20. und 21. August 1985 (Abb. 5b und 5c) traten neben den Tiefenbereichen mit ESS noch weitere Tiefenbereiche mit hohen, durch die Schichtungsstruktur bedingten Schallreflexionskoeffizienten auf, die nicht durch eine ESS gekennzeichnet waren, z. B. bei ca. 12 m in Abb. 5b und ca. 18 m in Abb. 5c.

- Alle ESS traten in Tiefenbereichen mit signifikant höheren Konzentrationen von suspendiertem Material auf, als im benachbarten Wasserkörper.

Diese Ergebnisse zeigen, daß die untersuchten Echostruschichten nicht durch eine einfache Schallreflexion an einem Sprung in der Schallgeschwindigkeit verursacht sein können. Zwischen den Vertikalprofilen der gemessenen Echostärke bei 30 kHz und bei 210 kHz und den Vertikalprofilen der aus der Schichtungsstruktur resultierenden Schallreflexionskoeffizienten für 30 kHz und 210 kHz besteht kein eindeutiger Zusammenhang. Die ESS müssen folglich mit Konzentrationserhöhungen von suspendiertem Material, die eindeutig in den Tiefenbereichen der ESS mit dem Variens nachgewiesen wurden, im Zusammenhang stehen. Die Konzentrationserhöhungen sind zu erklären durch den Aufstau des absinkenden Materials an Sheets im Dichteprofil, an die die ESS gebunden sind.

4. Schlußfolgerungen

- Aus der Gesamtheit der Ergebnisse der Untersuchung Mikrostruktur — Echostruschichten und der komplexen ESS-Untersuchungen kann die eindeutige Schlußfolgerung gezogen werden, daß die Echostruschichten in der westlichen Ostsee nicht durch eine einfache Schallrefle-

xion an einem Sprung im Vertikalprofil der Schallgeschwindigkeit verursacht sind. Extrem starke und scharfe Sprünge in der Schallgeschwindigkeit können nur zu vergleichsweise schwachen ESS führen. Ebenso ist auch Schallstreuung an kleinskaliger Turbulenz und an hochfrequenten internen Wellen nicht die Ursache der starken Echostruschichten in der westlichen Ostsee.

- Die Existenz von ESS steht offensichtlich im Zusammenhang mit schichtenförmigen hohen Konzentrationen von suspendiertem Material, das an feinen Dichtesprüngen innerhalb der breiten Sprungschichten aufgestaut wird. Es ist auch möglich, daß feine Gasblasen im aufgestauten Material, die durch biologisch/chemische Abbauprozesse entstehen können, einen wesentlichen Beitrag zur Entstehung von Echostruschichten leisten. Für diese Hypothese spricht die bei den meisten ESS beobachtete Frequenzabhängigkeit der Anzeigenstärke (Gasblasen im Wasser werden in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser nur von Schallwellen bestimmter Frequenz zu resonanten Schwingungen angeregt). Mit dieser Hypothese kann die Tatsache erklärt werden, daß auch bei starken ESS meist nur geringe Konzentrationserhöhungen von partikulärem Material festgestellt wurden (s. z. B. PENROSE und BEER, 1981). Durch die verwendete Probennahmetechnik (Wasserschöpfer, Planktonnetze) können Gasblasen nicht erfaßt werden.
- Die Ergebnisse der ESS-Untersuchungen zeigen, daß die Ortung von Dichtesprungschichten mittels Echoloten nicht als ein Standardverfahren zur Untersuchung der Schichtungsverhältnisse im Meer betrachtet werden kann. Insbesondere die Tatsache, daß nicht jeder scharfe und starke Dichtesprung durch eine ESS gekennzeichnet ist, zeigt, daß diese Methode nur in Ausnahmefällen, bei speziellen Untersuchungen (z. B. Registrierung von internen Wellen — s. beispielsweise CURTIN, MOOERS 1975; FISHER, SQUIER 1975; PRONI, APEL 1975 sowie PRONI, OSTAPOFF 1978) sinnvoll als Ergänzung zu der vorhandenen Stan-

dardmeßtechnik (insbesondere STD-Sonden) eingesetzt werden kann. Voraussetzung dafür ist, daß die interessierende Dichtesprungschicht auch durch eine deutlich erkennbare ESS gekennzeichnet ist.

4. Die Frage, ob durch die Erfassung der ESS Aussagen zur Konzentrationsverteilung von suspendiertem Material in einem Seegebiet gewonnen werden können, kann zur Zeit noch nicht eindeutig beantwortet werden. Hierfür ist insbesondere die Rolle von Gasblasen bei der Entstehung von ESS zu klären.

Literatur

- CURTIN, T. B.; MOOERS, C. N.: Observation and interpretation of a high-frequency internal wave packet and surface slick pattern. — *J. Geophys. Res.* **80** (1975), 882—894.
- CUSHING, D. H.; LEE, A. J.; RICHARDSON, I. D.: Echo traces associated with thermoclines. — *J. Mar. Res.* **15** (1956), 1—13.
- FISHER, F. H.; SQUIER, E. D.: Observation of acoustic layering and internal waves with a narrow-beam 87,5 kHz echosounder. — *J. Acoust. Soc. Amer.* **58** (1975), 1315—1317.
- FRASSETTO, R.; BACKUS, R. H.; HAYS, E.: Sound-scattering layers and their relation to thermal structure in the Strait of Gibraltar. — *Deep-Sea Res.* **9** (1962), 69—72.
- HASHIMOTO, T.; MANIWA, Y.: Result of experiment on reflecting of ultrasonic wave due to differences of water temperature and density. — *J. Tokyo Univ. Fish.* **42** (1956), 133—138.
- KRAUSS, W.; KOSKE, P.; KIELMANN, J.: Observations on scattering layers and thermoclines in the Baltic Sea. — *Kieler Meeresforsch.* **29** (1973) 2, 85—89.
- LENZ, J.: Zur Ursache der an die Sprungschicht gebundenen Echostreuschichten in der Westlichen Ostsee. — *Ber. Dt. Wiss. Komm. Meeresforsch.* **18** (1965) 2, 111—161.
- OLSEN, S.: Observation on Sound-Scatters in Newfoundland Waters. — *J. Fish. Res. Bd. Canada* **17** (1960), 211—219.
- PENROSE, J. D.; BEER, T.: Acoustic reflection from estuarine pycnoclines. — *Estuarine, Coastal and Shelf Sci.* **12** (1981), 237—249.
- PRANDKE, H.; ROEDER, W.; KRÜGER, S.: Aufbau und Funktion einer frei fallenden Sonde zur Untersuchung der Mikrostruktur der thermohalinen Schichtung im Meer. — *Acta hydrophys.* **29** (1985) 2/3, 165—210.
- PRANDKE, H.; STIPS, A.: Microstructure patches in the Baltic pycnoclines. — *Proceedings of the XIV Conference of Baltic Oceanographers, Gdynia*, 28. Sept.—2. Oct. (1984a), 343—357.
- PRANDKE, H.; STIPS, A.: The step-like structure of the Baltic pycnoclines. — *Proceedings of the XIV Conference of Baltic Oceanographers, Gdynia*, 28. Sept.—2. Oct. (1984b), 359—369.
- PRANDKE, H.; STIPS, A.; KRÜGER, S.: Mikrorechnergekoppeltes Echolot. — *Materialien des 5. Symposiums Maritime Elektronik, Rostock*, 10.—11. April (1986) (im Druck).
- PRONI, J. R.; APEL, J. R.: On the use of high-frequency acoustics for the study of internal waves and microstructure. — *J. Geophys. Res.* **80** (1975), 1147—1151.
- PRONI, J. R.; OSTAPOFF, F.: Acoustical Observations of reflecting layer depth variations in GATE. — *Deep-Sea Res.* **25** (1978), 299—307.
- THORPE, S. A.; BRUBAKER, J. M.: Observation of sound reflection by temperature microstructure. — *Limnol. Oceanogr.* **28** (1983), 601—613.
- TROUT, G. C.; LEE, A. J.; RICHARDSON, I. D.; HARDEN JONES, F. R.: Recent echo sounder studies. — *Nature* **170** (1952), 71—72.
- WESTON, D. E.: Observations on a scattering layer at the thermocline. — *Deep-Sea Res.* **5** (1958), 44—50.
- WÜST, G.; BROGMUS, W.: Ozeanografische Ergebnisse einer Untersuchungsfahrt mit Forschungskutter „Südfall“ durch die Ostsee Juni/Juli 1954 (anlässlich der totalen Sonnenfinsternis auf Öland). — *Kieler Meeresforsch.* **11** (1955), 3—21.

Anschrift der Autoren:

Dr. H. PRANDKE, Dipl.-Phys. A. STIPS
Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Meereskunde
DDR-2530 Rostock-Warnemünde

Eingereicht: 1. April 1986

Zur Veröffentlichung angenommen: 23. Mai 1986

GÜNTHER SAGER

Mathematical approximations of the growth in length of the lantern fish (*Benthoosema glaciale*, REINHARDT) in Norwegian fjords after data from GJØSAETER (1972—1975)

With 2 figures and 3 tables

Abstract: A contribution by GJØSAETER (1981) from the Department of Fisheries Biology, University of Bergen, about growth, production and reproduction of the myctophid fish *Benthoosema glaciale* in the fjords of western Norway is taken up with the aim of analysing the growth in length with different mathematical approaches. As often practiced the Pütter/Bertalanffy growth function was applied in the original investigations yielding a a posteriori hatching value L_0 which is in most cases quite different from nature. Complementing the analysis of GJØSAETER two forms of the Richards function and one by the author are added and results compared with the Bertalanffy values. In all cases the data were used twofold in the nonlinear regressions, i.e. without and with the numbers N of animals as weights. Results are listed in tables and given graphically for growth and growth velocity.

Zusammenfassung: In einem Beitrag über Wachstum, Produktion und Reproduktion des Laternenfisches *Benthoosema glaciale* aus den Fjorden seines Landes hat der Norweger GJØSAETER (1981) die Längenentwicklung mit der Pütter/Bertalanffy-Funktion verfolgt. Dabei haben sich wie meistens nachträgliche Schlüpfwerte L_0 ergeben, die nicht mit der Natur übereinstimmen. Deshalb werden 3 weitere Analysen mit der Richards-Funktion und ihrer Erweiterung sowie einem Ansatz des Verfassers unternommen, die mit den Ergebnissen von GJØSAETER verglichen werden. Diesmal sind alle Rechnungen über nichtlineare Regressionen abgewickelt worden, wobei die Ausgangsdaten einmal direkt und zum ändern mit der Anzahl N der Tiere gewichtet eingegeben wurden. Die Resultate sind in Tabellen zusammengefaßt und für die Länge und die Geschwindigkeit ihres Wachstums graphisch dargestellt.

Резюме: В статье о приросте, продукции и репродукции миктофида *Benthoosema glaciale* в норвежских фьордах GJØSAETER (1981) исследовал развитие длины с помощью функции ПÜТТЕР/БЕРТАЛАНФФУ. При этом он получил данные, которые

не совпадали с естественными величинами. Поэтому автором были выполнены три расчета на основе функции РИЧАРДС и вычисления автора. Полученные величины сравниваются с результатами GJØSAETER. Все вычисления были выполнены по методу нелинейной регрессии с учетом, а также без учета числа индивидов. Результаты находятся в таблицах, длины и скорость развития изображены в рисунках.

1. Introduction

In a contribution by GJØSAETER (1981) age, growth, mortality, production and reproduction of *Benthoosema glaciale* (REINHARDT) from some fjords of western Norway and the adjacent ocean were studied. It was stated that the lantern fish is the most abundant mesopelagic fish in large parts of the North Atlantic north of about 35° N (BOLIN 1959; BACKUS et al. 1970; JAHN, BACKUS 1976). GJØSAETER adds that in this area *Benthoosema glaciale* is an important part of the pelagic ecosystem and may also be a promising resource for future fisheries.

B. glaciale has been much studied compared to other lanternfish. TÄNING (1918) and JOHNSEN (1923, 1945) investigated aspects of its life history and ecology. In more recent times HALLIDAY (1970) engaged in studies of growth and vertical distribution of the species in the northwestern Atlantic, and GJØSAETER (1973a) of growth and mortality in a population from a fjord system in western Norway. Moreover the reproduction was briefly dealt with by GJØSAETER (1970) and the food and feeding habits by GJØSAETER (1973b) and by KINZER (1977). From these studies it can be deduced that *B. glaciale* may attain a maximum size of about 70 mm after 4 years approxi-

mately. Its natural mortality amounts to more than 50%, spawning occurs during spring and summer, mainly in June and July.

It was indicated that at least 50% of the females spawn at an age of two years. The decisive factor for spawning seems to be the length demanding a lower limit between 45 and 50 mm standard value. Some males also spawn first when two years old. In the samples gained, fecundity covered a wide range between 162 and 1940 eggs ripening per female with a mean of 781 adjuncted to length values from 45 to 75 mm. The largest oocyte in mature ovaries had a diameter of about 0.75 mm. With a few exceptions there were more females than males in the catches. In total, the females had a share of 54.8% in the adult fish. In the series used for calcula-

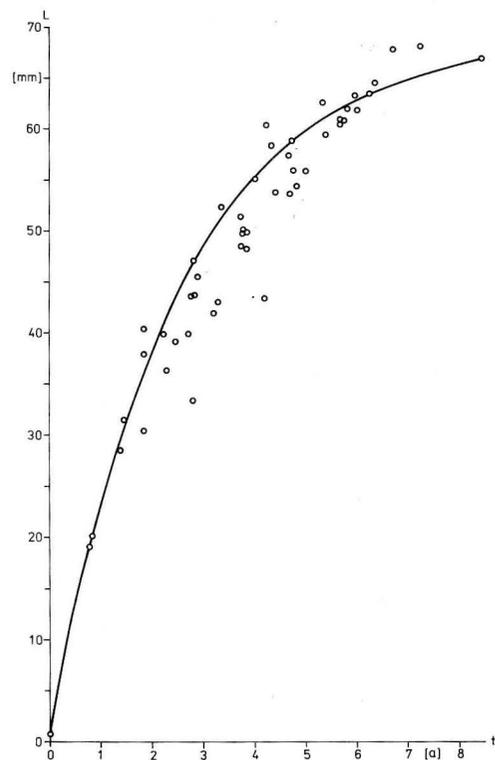


Fig. 1
Measured data and approximated PÜTTER/BERTALANFFY function weighted with the number of individuals of the lantern fish in Norwegian fjords after series from GJØSAETER

tion of growth sexes were not separated. Distribution of length values did not allow the tracing of seasonal variations (see Fig. 1).

2. Gaining and treatment of the material

A brief characteristic of gaining and treatment of the samples was given by GJØSAETER (1981) as follows. The collection of samples for the age and growth studies was mainly gained by vessels of the Institute of Marine Research, Bergen. Some of the cruises were conducted in the first line to collect mesopelagic fish in the fjords, but most samples are from cruises where the primary aim was centered on other fish or euphausiids. Samples were collected with a pelagic fish trawl or a three foot Isaacs-Kidd midwater trawl. Depth was usually monitored using a Benthos depth recorder or an acoustic net sonde.

The samples used for age and growth studies were, with a few exceptions, frozen on board and taken back to the laboratory for examination. Standard length was recorded on all specimens. After RICKER (1970) it is defined as the greatest length of a fish from its most anterior extremity (mouth closed) to the hidden base of the median tail fin rays where these meet the median hypural plate. The length measurements used for growth studies were made on frozen and thawed material while GJØSAETER (1973a) used fresh fish. It was found that the change in length due to freezing was probably within the error of measurement for all the size groups involved.

Otoliths were removed, cleaned and stored in 80% ethanol. For age reading they were transferred to creosote and viewed by binocular microscope using reflected light and black background. The diameter parallel to the longest axis of the otoliths and the corresponding diameters of the hyaline zones were measured using an ocular micrometer. All otoliths were read by two persons. In cases where disagreement (less than 10%) arose, the otoliths were read again and discussed. In a few cases (less than 2%) agreement was still not reached, and these otoliths were rejected. Judging from this proceeding, the

input data in Fig. 1 can be expected to have a high degree of reliance.

3. Mathematical handling after GJØSAETER

GJØSAETER (1981) divided the samples of *B. glaciale* in oceanic and fjord populations. Here only the latter will be followed up further for their more compact concentration between about 60 and 62 degrees north latitude in the fjords of western Norway, whereas the oceanic samples are widely distributed over the Norwegian Sea, around the Hebrides, the Faroes, west of Ireland and east of Iceland. From Table 1 in GJØSAETER's contribution there result 1122 single values arranged in 50 groups after averaging the data for the same time and location of sampling. Moreover GJØSAETER subdivided the material according to the different fjords if the number of measurements was considered to be sufficient.

The calculations of the development were carried out by GJØSAETER in the conventional manner by using the equation of organismic growth set up by PÜTTER (1920) and solidified by v. BERTALANFFY (1934, 1938). Explanations about the origin and properties of this meanwhile almost classical function have recently been given by SAGER (1985, 1986). In fisheries biology the diction

$$L = L_{\infty}[1 - e^{-K(t-t_0)}],$$

$$L_0 = L_{\infty}(1 - e^{Kt_0}) \quad (1)$$

is preferred with L_{∞} being the final asymptotic and L_0 the hatching length.

It must be a disadvantage that L_0 does not enter equation (1) but results from it after nonlinear regressions have been exercised. Thus in most cases the resulting L_0 is far from the real hatching value even if this has been

Parameter	Sogn/Møre-Fjord		Byfjord		By-/Herdle-Fjord
	All samples 1973-75	1971-74	1975	1974	1968-72
L_{∞}	83.063	86.954	79.243	70.221	73.149
K	0.204	0.189	0.238	0.392	0.445
t_0	-0.640	-0.647	-0.632	-0.103	+0.252
L_0	10.17	10.10	11.12	2.69	-8.92

added to the data ensemble as it should be done. The most severe restriction to the application of the Bertalanffy is the lack of an inflexion point for the growth in length. Thus its use is only justified when the development shows a monotonious course. As a consequence the increase in length or growth velocity must follow the falling exponential function. Nevertheless these conditions for applying the Bertalanffy are still often ignored although more flexible functions are available.

GJØSAETER condensed his results with the Bertalanffy into the following results for 5 groups of data here complemented by the back calculation of L_0 : (see Table below) Except for the 1974 Byfjord samples with $L_0 = 2.69$ mm all other results for L_0 are far out of reach from the real hatching values. In the case of the Byfjord and Herdlefjord the Bertalanffy is even unreal because of the negative value of L_0 . With better growth functions available and adequate methods for their calculation a revision of the mathematical treatment should be taken into consideration, which is carried out here for the all-samples example.

4. Properties of some more flexible growth functions

As a direct extension of the Bertalanffy RICHARDS presented his function in 1959, consisting of the Bertalanffy proper taken to the power of n . As this function fails to give the true hatching value too, SAGER (1980b) transformed it to a so called bound function reading in this case

$$L = L_0 \left(\frac{1 - d e^{-ct}}{1 - d} \right)^n, \quad L(0) = L_0, \quad (2)$$

$$L_{\infty} = L_0 / (1 - d)^n.$$

By this step an inflexion point (t_w, L_w) is secured with a range of the quotient $Q = L_w/L_\infty$ from zero to e^{-1} or 0 to 0.3679, respectively. The coordinates of the inflexion point can exactly be calculated following rather simple formulae.

A further extension coupled with a still augmented flexibility has the form

$$L = L_0 \left(\frac{1 - d e^{-ct^p}}{1 - d} \right)^n, \quad L(0) = L_0, \quad (3)$$

$$L_\infty = L_0/(1 - d)^n$$

as proposed by SAGER (1980b). It has proved its applicability in a number of examples for fishes often outranging other functions. Handling of this function is more difficult concerning the calculation of the inflexion point from the parameters resulting from nonlinear regression. There are no explicit formulae for the coordinates which means that t_w and L_w must be gained by iterative methods. Of course the Richards and the Richards extended allow for a growth curve without an inflexion point too.

Quite another form was derived from an ansatz for the growth velocity by SAGER (1980a) in the shape

$$dL/dt = \dot{L} = kL^m/(t + t_0)^p \quad \text{with} \\ p > 1 \quad \text{and} \quad m > 0 \quad \text{but} \quad \neq 1. \quad (4)$$

Integration leads to

$$L = L_0 \left\{ 1 + \left[1 - \left(\frac{L_\infty}{L_0} \right)^{m-1} \right] \times \left[\left(\frac{t}{t + t_0} \right)^{p-1} - 1 \right] \right\}^{1/(m-1)}. \quad (5)$$

In this case explicit formulae for the coordinates of the inflexion point are available. This function has been applied to forms of growth in mussels and fish with good success. In this diction t_0 is a parameter as well as L_∞ but far more sensible. Again the parameters L_∞ , m , p and t_0 are determined by nonlinear regressions after evaluated values (starting parameters) have been gained by means of special formulae given in the original contributions (see literature).

5. Application of nonlinear regressions

The input data are listed in Table 2 showing the chronological age in years, number of fish in the samples and the length in millimeters. The nonlinear regressions were performed with a slightly changed variant of the Paul method (PAUL 1975). This method allows minimization of the sums of the squares [2] as well as of the absolute values of the deviations [1]. This offers the advantage of being more secure in avoiding secondary minima when both variants are applied. Furthermore the method allows to take into account the number of individuals as weight factors. In the calculations absolved both possibilities have been considered. The results are found in Table 1 for the characteristic values concerning the summed up and the mean single deviations, and in Table 2 for the approximations proper.

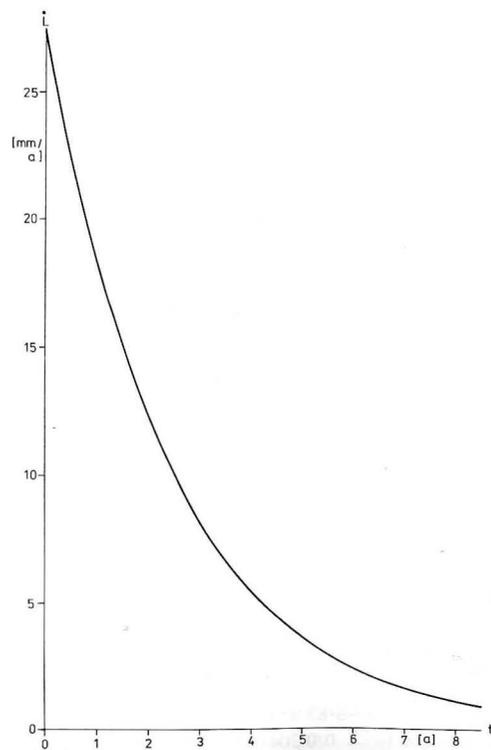


Fig. 2
Curve of length velocity for figure 1

Table 1
Sums of deviations f , mean single amount in brackets and final theoretical value L_∞ (data see table 2)

Function and speciality	Approximation [2]			Approximation [1]		
	Σf^2	$\Sigma f $	L_∞	Σf^2	$\Sigma f $	L_∞
Bertalanffy with L_0 added		(2.512)			(2.496)	
unweighted	584.2	128.1	77.964	592.0	127.3	75.860
weighted with N	11730	2883.9	71.834	14446	2649.7	69.230
		(2.360)			(2.168)	
Richards bound unweighted	589.0	128.5	76.289	603.4	127.4	73.954
weighted with N	11187	2647.4	72.909	11721	2560.7	72.140
		(2.166)			(2.095)	
Richards extended and bound unweighted	539.1	118.5	94.379	562.9	120.8	80.345
weighted with N	9840.9	2440.2	99.119	11522	2456.2	80.345
		(2.038)			(2.010)	
Sager bound unweighted	629.9	136.6	78.900	685.9	135.2	80.400
weighted with N	12288	2890.5	69.150	10956	2509.8	72.525
		(2.365)			(2.054)	

A certain difficulty may arise when the hatching value is incorporated into the collection of the samples. When data are unweighted, L_0 — which should be known from experience or special experiments — can just be added. Its influence depends upon the number of input data and may almost vanish in large samples. It will surely do so if the data are multiplied with their numbers thus gaining a vast majority against L_0 . It will be more realistic giving L_0 an artificial weight in the order of the data following next. In this case a weight of 100 was taken as the approximate mean of the first 5 values. A higher weight would give more influence to L_0 , but no rule can be given to this end.

6. Results of nonlinear regressions

In Table 1 the results of nonlinear regressions are given for the sums of the deviations between real and approximated data, the mean

single amount in brackets and the final theoretical value L_∞ . All results keep more or less within the same range although they differ in the two ways of minimization [2] and [1] and the growth functions selected. In all cases, however, the series weighted with the number of individuals N yield better results which must not necessarily be so. As a case of accident the Bertalanffy weighted with $N = 100$ for the birth value practically gives an a posteriori value equivalent to the real amount. It is therefore presented graphically in Figure 1 with respect to its rather appropriate final value. The other functions keep in the vicinity of the Bertalanffy but may differ in L_∞ as can be seen from Tables 1 and 2.

In Table 2 results of the nonlinear regressions are listed together with the input data for length and the mathematical weight factor N . Table 3 contains the parameters of the functions as derived by the nonlinear

Table 2
Results of nonlinear regressions for the approximation with four functions (weighted with N)

Input data			Bertalanffy, L_0 added	Richards, bound	Richards, exten- tended and bound	Sager, bound
t years	N number	L length	[1]	[1]	[1]	[1]
0	100	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
0.78	10	19.0	19.01	19.08	20.96	19.04
0.83	43	20.0	19.99	20.01	21.83	19.92
1.38	108	28.4	29.67	29.08	30.17	28.64
1.46	296	31.4	30.90	30.24	31.22	29.77
1.82	100	30.3	36.02	35.07	35.58	34.51
1.82	34	37.9	36.02	35.07	35.58	34.51
1.82	23	40.4	36.02	35.07	35.58	34.51
2.22	11	39.8	40.90	39.74	39.81	39.12
2.30	5	36.2	41.79	40.60	40.59	39.97
2.46	10	39.4	43.48	42.24	42.09	41.59
2.71	11	39.8	45.91	44.63	44.29	43.95
2.77	21	33.2	46.46	45.17	44.80	44.48
2.79	20	43.6	46.64	45.35	44.96	44.66
2.80	2	47.0	46.73	45.44	45.04	44.75
2.80	24	43.7	46.73	45.44	45.04	44.75
2.88	11	45.4	47.44	46.14	45.70	45.43
3.19	14	41.9	49.96	48.68	48.08	47.92
3.27	10	42.9	50.57	49.29	48.66	48.51
3.35	18	52.3	51.15	49.89	49.23	49.09
3.72	18	51.3	53.62	52.44	51.70	51.56
3.75	2	48.5	53.81	52.64	51.89	51.75
3.76	2	50.0	53.87	52.70	51.96	51.81
3.76	5	49.8	53.87	52.70	51.96	51.81
3.80	3	49.7	54.11	52.95	52.20	52.06
3.86	12	48.2	54.47	53.33	52.57	52.41
4.00	3	55.0	55.27	54.17	53.41	53.22
4.18	9	43.4	56.23	55.21	54.44	54.20
4.23	7	60.3	56.49	55.48	54.72	54.46
4.33	55	58.3	56.98	56.02	55.27	54.97
4.40	19	53.8	57.32	56.38	55.64	55.32
4.66	11	57.4	58.49	57.67	56.98	56.52
4.67	11	53.6	58.53	57.72	57.03	56.57
4.71	7	58.9	58.70	57.90	57.23	56.74
4.75	6	55.8	58.87	58.09	57.42	56.92
4.80	9	54.2	59.07	58.32	57.66	57.13
5.00	4	55.8	59.85	59.19	58.60	57.94
5.32	56	62.5	60.97	60.48	60.00	59.13
5.39	17	59.5	61.19	60.74	60.30	59.37
5.65	6	60.5	61.98	61.66	61.34	60.22
5.70	3	61.0	62.13	61.83	61.54	60.38
5.75	6	60.8	62.27	62.00	61.73	60.53

Table 2 (continued)

Input data			Bertalanffy, L_0 added	Richards, bound	Richards, exten- tended and bound	Sager, bound
t years	N number	L length	[1]	[1]	[1]	[1]
5.80	2	62.0	62.40	62.16	61.92	60.68
5.95	6	63.2	62.80	62.64	62.47	61.11
6.00	4	61.8	62.92	62.79	62.66	61.25
6.24	31	63.5	63.50	63.49	63.50	61.89
6.33	12	64.5	63.70	63.74	63.80	62.12
6.66	5	67.8	64.38	64.60	64.86	62.90
7.22	14	68.1	65.35	65.85	66.48	64.05
7.31	4	73.0	65.48	66.03	66.73	64.22
8.40	2	67.0	66.80	67.85	69.32	65.91

Table 3

Values of the parameters gained from nonlinear regressions [2] and [1] for unweighted and weighted series (data see table 2)

Function and speciality	L_{∞}, d	n, t_0	c, K, m	p
Bertalanffy with L_0 added				
unweighted [2]	77.963901	-0.271198	0.260211	—
unweighted [1]	75.860107	-0.277645	0.272717	—
weighted with N [2]	71.833891	-0.105164	0.335326	—
weighted with N [1]	69.230044	-0.027394	0.397632	—
Richards bound				
unweighted [2]	0.993800	0.909309	0.270596	—
unweighted [1]	0.993800	0.902234	0.291912	—
weighted with N [2]	0.993800	0.900393	0.307598	—
weighted with N [1]	0.983800	0.898309	0.323175	—
Richards extended and bound				
unweighted [2]	0.993800	0.951724	0.252128	0.789744
unweighted [1]	0.993800	0.919500	0.285167	0.891445
weighted with N [2]	0.993800	0.960812	0.250357	0.762035
weighted with N [1]	0.993800	0.919500	0.317645	0.841368
Sager bound				
unweighted [2]	78.899980	0.019858	3.505591	3.082978
unweighted [1]	80.399978	0.020599	3.493400	3.070000
weighted with N [2]	69.149977	0.018175	3.465980	3.077891
weighted with N [1]	72.524977	0.011429	3.604439	2.995005

regressions exercised for the approximations [2] and [1] of the unweighted and weighted series. In Figure 2 the velocity in length or the increase is given for the growth curve of Figure 1, i.e. the Pütter/Bertalanffy function with its first derivative

$$dL/dt = \dot{L} = KL_{\infty} e^{-K(t-t_0)} \quad (6)$$

By definition this function lacks an inflexion point in the equations (1) and (6) as well. That is a reason for abandoning the function in many cases as it was eventually expected by V. BERTALANFFY in 1964.

BACKUS, R. H.; CRADDOCK, J. E.; HAEDRICH, R. L.; SHORES, D. L.: The distribution of mesopelagic fishes in the equatorial and western North Atlantic Ocean. — *J. Mar. Res.* **28** (1970), 179—201.

BERTALANFFY, L. v.: Untersuchungen über die Gesetzlichkeit des Wachstums. I. Allgemeine Grundlagen der Theorie. — *Roux' Arch Entw. Mech. Org.* **131** (1934), 613—652.

BERTALANFFY, L. v.: A quantitative theory of organic growth. — *Human Biol.* **10** (1938), 181—213.

BERTALANFFY, L. v.: Basic concepts in quantitative biology of metabolism. — *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **9** (1964), 5—37.

BOLIN, R.: Iniomi. Myctophidae from the "Michael Sars" North Atlantic deep-sea expedition 1910. — *Rep. sci. Results Michael Sars N. Atlantic deep Sea Exped. 1910*, 4 pt 2, 7 (1959), 1—45.

GJØSAETER, J.: Age, growth, reproduction and feeding of *Benthoosema glaciale* (Myctophidae) from western Norway. — *Int. Counc. Explor. Sea* **5** (1970), 1—8.

GJØSAETER, J.: Age, growth and mortality of the myctophid fish, *Benthoosema glaciale* (REINHARDT), from western Norway. — *Sarsia* **52** (1973a), 1—14.

GJØSAETER, J.: The food of the myctophid fish, *Benthoosema glaciale* (REINHARDT), from western Norway. — *Sarsia* **52** (1973b), 53—58.

GJØSAETER, J.: Growth, production and reproduction of the myctophid fish *Benthoosema glaciale* from western Norway and adjacent seas. — *Fisk. Dir. Skrifter, Ser. Havunders.* **17** (1981), 79—108.

HALLIDAY, R. G.: Growth and vertical distribution of the glacier lanternfish, *Benthoosema glaciale*, in the North-western Atlantic. — *J. Fish. Res. Board Canada* **27** (1970), 105—116.

JAHN, A. E.; BACKUS, R. H.: On the mesopelagic fish fauna of Slope Water, Gulf Stream, and northern Sargasso Sea. — *Deep-Sea Res.* **23** (1976), 223—234.

JOHNSON, S.: Remarks on the distribution and the biology of *Myctophum glaciale* (REINH.). — *Bergens Mus. Arb.*, 1921—22, *Naturvid. rekke* **6** (1923), 1—50.

JOHNSON, S.: Studies on the variation in fish in North European waters. I. Variation in size. — *Bergens Mus., Arb.*, 1944, *Naturvid. rekke* **4** (1945) 1—129.

KINZLER, J.: Observations on feeding habits on the mesopelagic fish *Benthoosema glaciale* (Myctophidae) off NW Africa. — In: ANDERSEN, N. R.; ZAHURANCE, B. J. (ed.): *Oceanic Sound scattering Prediction*. — New York: Plenum Press, 1977.

PAUL, W.: Ein direktes numerisches Verfahren zur Bestimmung der Parameter nichtlinearer Ausgleichsfunktionen. — *Biomet. Z.* **17** (1975), 487—500.

PÜTTER, A.: Studien über physiologische Ähnlichkeit. VI. Wachstumsähnlichkeiten. — *Pflügers Arch.* **180** (1920), 298—340.

RICKER, W. E.: *Methods for Assessment of Fish Production in Fresh Waters*. — Oxford, Edinburgh: Blackwell Sci. Publ., 1968.

SAGER, G.: Zuwachsfunktionen vom Typ $dW/dt = kW^m/(t + t_0)^p$ und ihre Integrale. — *Anat. Anz.* **147** (1980a), 445—457.

SAGER, G.: Die Erprobung von Wachstumsfunktionen am Beispiel *Siliqua patula* (Bivalvia). — *Anat. Anz.* **148** (1980b), 446—461.

SAGER, G.: Die Wachstumsfunktionen von PÜTTER und BERTALANFFY — Anwendung und Grenzen. — *Fischerei-Forschung* **23** (1985), 69—73.

SAGER, G.: Zur Darstellung der Laichmasseverluste bei Fischen. — *Fischerei-Forschung* **23** (1985), 74—76.

SAGER, G.: Die Lösung für die Interpretation des Parameters K in der Gleichung des Längenwachstums von PÜTTER und v. BERTALANFFY. — *Fischerei-Forschung* (zum Druck eingereicht).

TÄNING, V.: Mediterranean Scopelidae (*Saurus*, *Aulopus*, *Chlorophthalmus* and *Myctophum*). — *Rep. Danish oceanogr. Exped. Mediterr.* **2** (Biology A7) (1918), 1—54.

Anschrift des Autors:

Dr. rer. nat. habil. G. SAGER
Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Meereskunde
DDR-2530 Warnemünde

Received: June 15, 1986

Accepted: July 3, 1986

LUTZ POSTEL, WOLFGANG ZAHN

Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretaniens) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984

1. Einführung und Meßprogramm

Mit 2 Abbildungen und 1 Tabelle

Zusammenfassung: Im März 1984 wurden mit dem Forschungsschiff „A. v. Humboldt“ der Akademie der Wissenschaften der DDR Untersuchungen im küstennahen Auftriebsgebiet vor Mauretaniens durchgeführt. Das besondere Interesse galt dem Einfluß des Nouakchott-Cañons auf die Feldverteilungen ozeanologischer Größen sowie den hydroakustischen Anzeigen für pelagische Fische. Ichthyologische Paralleluntersuchungen auf dem Fang- und Verarbeitungsschiff „Arnold Zweig“ ergänzten die Beobachtungen.

Abstract: Investigations in the upwelling region off Mauritania were carried out with the r/v "A. v. Humboldt" of the Academy of Sciences of the GDR in March 1984. The studies were especially focused to the influence of the Nouakchott submarine canyon on oceanological parameter distribution patterns as well as the hydroacoustic characteristics of pelagic fish. Ichthyological results got from the fishing vessel "Arnold Zweig" completed the observations.

Резюме: Научно-исследовательское судно Академии наук „А. фон Гумбольдт“ вело океанологические исследования в марте м-це 1984 года в прибрежной зоне апвеллинга Мавритании. Особое внимание уделялось влиянию нуакшотского каньона на распределение полей различных факторов, включая гидроакустические записи пелагических рыб. Ихтиологические параллельные исследования на рыбопромысловом судне „Арнольд Цвейг“ дополнили наблюдения.

1. Einführung

Das mittlere Schelfprofil beeinflusst die Intensität des Auftriebs. Das zeigten BARBER und SMITH (1981) anhand des Vergleichs dreier, topographisch unterschiedlicher Auftriebsgebiete im Bereich der pazifischen und atlantischen Ostrandströmungen. HAGEN et al.

(1986) begründeten die Herausbildung mesomaßstäblicher Auftriebszentren vor Mauretaniens mit der Reaktion des Massenfeldes auf die küstenparallelen barotropen Luftdruckgegensätze unter dem Einfluß der großen zonalen Änderung der Bodentopographie. Darüber hinaus modifizieren kleinmaßstäbliche Änderungen des Meeresbodens, wie Cañons oder Erhebungen, ebenfalls die vertikale Bewegungskomponente (OWEN 1981). Für die Intensität sind sowohl die Geometrie der Unebenheit als auch die Anströmverhältnisse ausschlaggebend. Das zeitliche Verhalten wird von der Variabilität des Strom- und Massenfeldes bestimmt (SHEPARD 1976; SHEPARD, DILL 1966; SHEPARD et al. 1974; zitiert nach KOSLOW, OTA 1981). FREELAND und DENMAN (1982) beobachteten unter dem Einfluß eines Cañons vor Vancouver Island das Aufquellen besonders nährstoffreichen Wassers aus Horizonten unterhalb der EKMAN-Tiefe. Dieses Wasser stammte aus dem Bereich des Auftriebsunterstromes und führte auf der Leeseite des Cañons zur Erhöhung der Bioproduktivität. Der einhergehende Anstieg der Zooplanktonbiomasse erfolgte nach MACKAS und SEFTON (1982) ohne Änderung in der Struktur der Planktongemeinschaft.

Seegebiete mit örtlichen Störungen der Bodentopographie gelten auch als Komfortbereiche für pelagische Fische und andere Konsumenten höherer Ordnung. Als Ursache werden Besonderheiten im Milieu bzw. im Nahrungsangebot angesehen (MAIS 1974; OMORI 1975; zitiert nach KOSLOW, OTA 1981; HOLZLÖHNER, NEHRING 1978; FREELAND, DENMAN 1982). Speziell KOSLOW und OTA (1981) untersuchten den Mechanismus der Konzentrierung von Plankton durch Cañons

und führten den Begriff der „natürlichen Planktonfalle“ ein.

Vor Mauretaniens ist der höchste Gehalt an nährstoffreichem Wasser unterhalb von 100 m, im Bereich der Kerntiefe des polwärts setzenden Unterstromes anzutreffen. Er enthält bis zu 90% Südatlantisches Zentralwasser (SACW) (HAMANN et al. 1981). Dieser Umstand läßt bei topographisch begünstigtem Auftrieb lokal begrenzte Gebiete erhöhter Bioproduktivität erwarten. Tatsächlich wurde das Aufquellen besonders nährstoffreichen Wassers am Cap-Timiris-Cañon in zwei aufeinanderfolgenden Jahren nachgewiesen und dazu genutzt, die sich anschließende Planktonentwicklung raum-zeitlich zu verfolgen (HERBLAND, VOITURIEZ 1974). Auf die Konzentration pelagischer Fische im Bereich des Nouakchott-Cañons machten LAMBERT et al. (1983) aufmerksam.

Im März 1984 wurden mit dem Forschungsschiff „A. v. Humboldt“ der Akademie der Wissenschaften der DDR gezielte Feldarbeiten zur Problematik des topographisch begünstigten Auftriebs im Seegebiet vor Mauretaniens durchgeführt. Sie richteten sich zunächst auf den Schelfbereich zwischen 16° N und 19° N, vorrangig zur Einschätzung der aktuellen Auftriebssituation. Das besondere Interesse galt anschließend dem Einfluß des Nouakchott-Cañons auf die Feldverteilungen ozeanologischer Größen sowie den hydroakustischen Anzeigen für pelagische Fische. Ichthyologische Paralleluntersuchungen auf dem Fang- und Verarbeitungsschiff „Arnold Zweig“ ergänzen die Beobachtungen.

2. Meßprogramm

Das Meßprogramm gliederte sich entsprechend der Aufgabenstellung in zwei Abschnitte, die mit „Vorprogramm“ und „Cañonprogramm“ bezeichnet wurden. Tabelle 1 enthält Angaben über die Untersuchungszeiträume, Meßgrößen und Meßtiefen. Die geographische Lage der Untersuchungsgebiete ist aus den Abbildungen 1 und 2 zu sehen.

Vor Mauretaniens herrscht im Beobachtungszeitraum erfahrungsgemäß EKMAN-Auftrieb (SCHEMAINDA et al. 1975). Die Zone des Primärauftriebs beschränkt sich in der Regel auf den Schelfbereich. Das Vorprogramm diente in erster Linie der Erfassung der aktuellen meteorologischen und ozeanologischen Situation. Eine quasistationäre Betrachtungsweise erforderte einen Bearbeitungszeitraum, der deutlich geringer war, als die von WALSH et al. (1977) nachgewiesene Periode des windabhängigen Auftriebs von 6–10 Tagen. Darüber hinaus sollte generell nach Hinweisen auf lokal intensivierten Auftrieb gesucht werden. Entsprechend den Ergebnissen von HERBLAND und VOITURIEZ (1974) besteht dazu die Wahrscheinlichkeit in einem engen Bereich über der 30–50 m-Isobathe. Der Stationsabstand trug diesem Umstand Rechnung und berücksichtigte die Angaben von TOMCZAK (1973) über den Durchmesser von Kaltwasserinseln innerhalb des EKMAN-Regimes. Sie liegen in der Größenordnung von 30–60 km. Die Beachtung dieser Aspekte führte zu einem zwischen den Territorialgewässern Mauretaniens und der 200 m-Isobathe pendelnden Schnitt, der mit 10 km Stationsabständen innerhalb von 3 Tagen zu bewältigen war.

Das Cañonprogramm umfaßte spezielle Feldarbeiten zur Frage des Einflusses kleinskaliger topographischer Irregularitäten auf das pelagische Ökosystem. Für diese Untersuchungen wurde das Schelfgebiet vor Nouakchott ausgewählt (Abb. 1). Der dort gelegene Cañon gehört zu den ausgeprägtesten Senken zwischen 16° N und 19° N vor Mauretaniens und wird von einem relativ ungestörten Schelfprofil umgeben.

Das Untersuchungsgebiet bildet ein meridional orientiertes Rechteck von 40 × 30 sm und ist nahezu symmetrisch um die in erster Näherung zonal orientierte Cañonachse gelegen. Die Stationen sind in zentraler bzw. meridionaler Richtung in einem Abstand von 2,5 bzw. 5 sm zueinander angeordnet. Nach ZAHN (1987, Abb. 1) ist ersichtlich, daß das Untersuchungsgebiet den küstennahen Cañonabschnitt (im weiteren „Cañonkopf“ ge-

Tabelle 1
Raum-zeitliche Charakteristika des Meßprogramms und Verzeichnis der Meßgrößen

Programmabschnitt	Stationsnummern	Zeit*	maximale Meßtiefe z	Stationsabstand	Meßgrößen des Vor- und Cañonprogramms	Meßhorizonte/Bemerkungen
Vorprogramm (Abb. 1)	148–190	15. 3. 84/ 15.00 UTC bis 18. 3. 84/ 15.00 UTC	26 m $\leq z \leq$ 240 m	10 km	CTD Sauerstoff Phosphat Nitrat Nitrit Ammonium Silikat	Vertikalprofile bis maximal 1000 m Vorprogramm: jede 3. Station: 1, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 200 m bzw. Bodentiefe, dazwischen Oberflächenproben Cañonprogramm: Phosphat: 1, 10, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 400, 600, 800, 1000 m bzw. Bodentiefe, übrige Größen: Mischprobe aus 1, 10, 30 m
Cañonprogramm (Abb. 2)	191–295	21. 3. 84/ 21.00 UTC bis 29. 3. 84/**** 17.00 UTC	35 m $\leq z \leq$ 1000 m	9,3 km (5 sm) bzw. 4,6 km** (2,5 sm)	Chlorophyll-a Fluoreszenz Phytoplanktonvollprobe Zooplankton (WP-2-Netzholz) Echogrammaufnahmen	10 m und eine variable Tiefe aus Nährstoffniveau bis maximal 75 m kontinuierliche Vertikalprofile bis maximal 75 m Mischprobe aus 1 und 10 m integrierte Proben: 0 m bis Temperatursprungschicht Temperatursprungschicht bis maximal 200 m

*) Ortszeit = UTC + 1 h

**) Verwendung zweier Referenzbojen im Radar-Ortungsbereich als Navigationshilfe

****) einschließlich Spezialuntersuchungen bis 30. 3. 1984

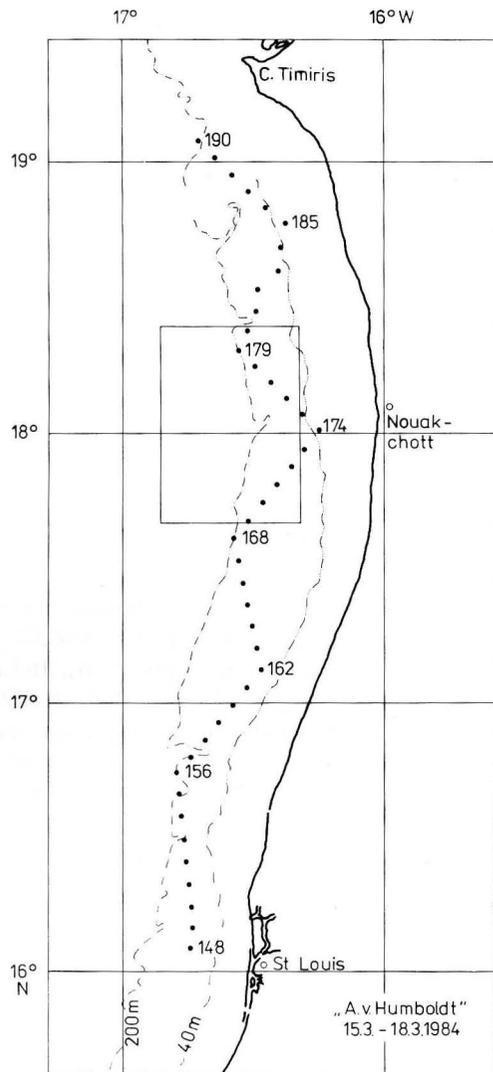


Abb. 1
Stationsfolge des Vorprogramms (Stationen 148 bis 190). Das Rechteck vor Nouakchott bezeichnet die geographische Lage des Cañonprogramms (siehe Abb. 2)

nant) vollständig erfaßt, während der ablandige „Cañonmund“ auf dem küstenentferntesten Meridionalabschnitt noch deutlich als Senke erkennbar ist. Die Vertikalsondierungen erfolgten quasikontinuierlich von der Oberfläche bis in Nähe des Meeresgrundes.

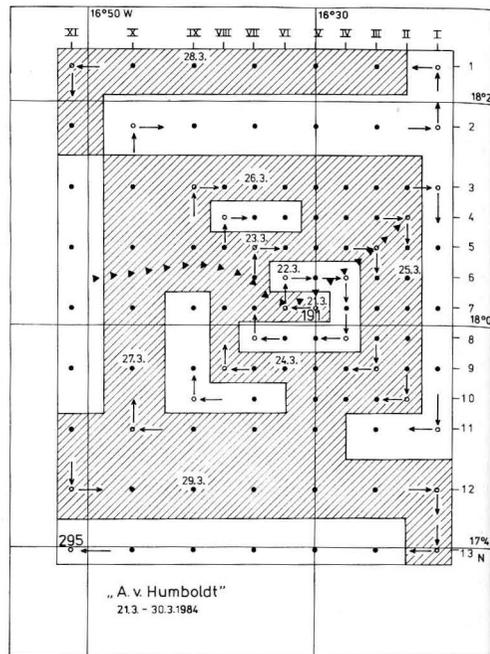


Abb. 2
Cañonprogramm vor Nouakchott. Stationsnummern 191 bzw. 295 und Pfeile kennzeichnen die räumliche Stationsfolge. Stationen der schraffierten Fläche wurden nachts bearbeitet (18.00–6.00 Uhr UTC). I bis XI bezeichnen die Meridionalschnitte, 1 bis 13 die Zonalschnitte (▶▶▶ Cañonachse)

Die Feldarbeiten wurden im Zentrum des Untersuchungsgebietes auf Station 191 begonnen (Abb. 2). Die Lottiefe auf dieser Position deckte sich mit der Kerntiefe des vor der Schelfkante polwärts setzenden Unterstromes. Es ist der Bereich, in dem der stärkste Einfluß der topographischen Störung auf die Auftriebsdynamik erwartet wurde. Um die Auswirkungen dieses Prozesses auf die ozeanologischen Feldverteilungen möglichst rasch erfassen zu können, wurde die in Abb. 2 dargestellte Stationsfolge gewählt. Die Abbildung zeigt ferner das Datum und eine tageszeitliche Differenzierung der Stationsarbeiten in Tag und Nacht.

Die Synoptik der mit einem Schiff gewonnenen Beobachtungen ist naturgemäß fehler-

behaftet. Es ist prinzipiell nicht möglich, die räumlichen von den zeitlichen Variationen zu entkoppeln. Aus diesem Grunde können die resultierenden Fehler nur dann gering sein, wenn die anregenden Prozesse Perioden aufweisen, die größer als die Meßprogrammdauer sind. Ausgehend von dem Grundkonzept des Einflusses des Nouakchott-Cañons auf das Massen- und Stromfeld spielt die Dynamik des Unterstromes im Schelfkantenbereich eine große Rolle. Über den winderzeugten großräumigen meridionalen internen Druckgradienten ist das Unterstromsystem vor Nordwestafrika eng mit der Dynamik des Nordostpassates verbunden. Die zeitlichen Variationen dieses großräumigen Windsystems liegen jedoch nach MITTELSTAEDT et al. (1975) im Periodenbereich von 10 bis 14 d. Mit dem Windsystem steht die großräumige Luftdruckverteilung in enger Verbindung. Ein Maß dafür sind die lokalen Luftdruckgegensätze, die im Verlauf eines Jahres unterschiedliche Amplituden annehmen. Im Untersuchungszeitraum weist die Luftdruckdifferenz zwischen Nouadhibou und Nouakchott ein Minimum auf. Das ergeben die langjährigen, monatlichen Mittelwerte von MICHELCHEN (1979), und dies kommt der angewendeten quasisynoptischen Betrachtungsweise entgegen.

Literatur

- BARBER, R. T.; SMITH, R. L.: Coastal upwelling ecosystem. — In: Analysis of marine ecosystems, ed. by A. R. LONGHURST, pp. 31–68. — London [u. a.]: Academic Press, 1981.
- FREELAND, H. J.; DENMAN, K. L.: A topographically controlled upwelling center off southern Vancouver Island. — *J. Mar. Res.* **40** (1982), 1069–1093.
- HAGEN, E.; SCHEMAINDA, R.; MICHELCHEN, N.; ZAHN, W.; WOLF, G.; NEHRING, D.; BRENNING, U.: Quasistationäre Strukturen im Wasserauftrieb vor Mauretania im März/April 1983. — *Beitr. Meereskd.* **54** (1986), 19–31.
- HAMANN, I.; JOHN, H.-CH.; MITTELSTAEDT, E.: Hydrography and its effect on fish larvae in the Mauritanian upwelling area. — *Deep-Sea Res.* **28 A** (1981), 561–575.
- HERBLAND, A.; VOITURIEZ, B.: La production primaire dans l'upwelling mauritanien en mars 1973. — *Cah. ORSTOM sér. Océanogr.* **12** (1974) 3, 187 to 201.
- HOLZLÖHNER, S.; NEHRING, D.: Untersuchungen über den Einfluß der Umweltfaktoren auf die Sardinenverteilung im nordwestafrikanischen Schelfgebiet. II. Die Sardinenverteilung in Abhängigkeit von den abiotischen Umweltfaktoren. — *Fischerei-Forschung* **16** (1978) 2, 47–71.
- KOSLOW, J. A.; OTA, A.: The ecology of vertical migration in three common zooplankters in the La Jolla Bight, April–August, 1967. — *Biol. Oceanogr. J.* **1** (1981), 107–134.
- LAMBERT, K.; GÖTZE, E.; BAST, H. D.; BERTH, U.; BLEIL, W.; DANKE, L.; WEISS, R.: Bericht über Forschungsprogramme von FFS „Eisbär“ (84. Reise), ROS 414 „Walter Barth“ und FS „A. v. Humboldt“ im Seegebiet vor Mauretania vom 19. 2. bis 10. 4. 1983. — Unveröff. Ber. Inst. Hochseefischerei u. Fischverarbeitung Rostock-Marienehe, 1983.
- MACKAS, D. L.; SEFTON, H. A.: Plankton species assemblages off southern Vancouver Island: Geographic pattern and temporal variability. — *J. Mar. Res.* **40** (1982), 1173–1200.
- MICHELCHEN, N.: Zur Analyse langperiodischer meteorologischer Feldverteilungen in küstennahen Auftriebsgebieten vor Nordwestafrika bezüglich signifikanter langperiodischer Variationen küstennaher Stromsysteme. — Unveröff. Ber. Inst. Meereskd. 1979.
- MITTELSTAEDT, E.; PILLSBURY, D.; SMITH, R. L.: Flow patterns in the northwest African upwelling area. — *Dt. Hydrogr. Z.* **28** (1975), 145–167.
- OWEN, R. W.: Fronts and eddies in the sea: Mechanisms, interactions and biological effects. — In: Analysis of marine ecosystems, ed. A. R. LONGHURST, pp. 197–233. — London [u. a.]: Academic Press, 1981.
- SCHEMAINDA, R.; NEHRING, D.; SCHULZ, S.: Ozeanologische Untersuchungen zum Produktionspotential der nordwestafrikanischen Auftriebsregion 1970 bis 1973. — *Geod. Geoph. Veröff.*, R. IV, **16** (1975), 1–88.
- TOMCZAK, M. jr.: An investigation into the occurrence and development of cold water patches in the upwelling region off NW Africa (Rossbreiten-Expedition 1970). — „Meteor“-Forsch.-Ergebn., R. A, **13** (1973), 1–42.

WALSH, J. J.; WHITLEDGE, T. E.; KELLEY, J. C.; HUNTSMAN, S. A.; PILLSBURY, R. O.: Further transition states of the Baja California upwelling ecosystems. — *Limnol. Oceanogr.* **22** (1977), 264 to 280.

ZAHN, W.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretaniens) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 3. Bodentopographie und Massenfeldaufbau. — *Beitr. Meereskd.* **57** (1987), 59–66.

Anschrift der Autoren:
Dipl.-Biol. L. POSTEL, Dipl.-Phys. W. ZAHN
Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Meereskunde
DDR-2530 Rostock-Warnemünde

Eingereicht: 29. April 1986
Zur Veröffentlichung angenommen: 31. Mai 1986

GERHARD WOLF

Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretaniens) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984

2. Nordost-Passat und Auftriebsintensität

Mit 4 Abbildungen und 2 Tabellen

Zusammenfassung: Der Luftdruck im Frühjahr 1984 variierte in den Grenzen zwischenjähriger Anomalien. Azorenhoch und Saharatief veränderten mehrmals ihre Positionen. Die Auswirkungen auf den NE-Passat beeinflussen die Richtung stärker als die Geschwindigkeit. Die mittlere Auftriebswirksamkeit des NE-Passats im Untersuchungsgebiet betrug während des Vorprogrammes (15. 3.—18. 3. 1984) 68,1% und während des Cañonprogrammes 74,2% des definierten optimalen Wertes.

Abstract: In the spring of 1984 the air pressure varies within the range of inter-annual fluctuations. The air pressure maximum (Azores region) and the air pressure minimum (Sahara region) alternate their positions. The direction of the trade wind field has been more effected than the velocity of the wind. The mean efficiency of NE-trade winds on upwelling in the area of investigation during the outline-program (15. 3.—18. 3. 1984) has been 68,1% and during the Cañonprogram 74,2% in regard of a defined optimum.

Резюме: Весной 1984 года давление воздуха колебалось в пределах межгодовых аномалий. Позиции Азорского антициклона и циклона в области Сахары изменились в несколько раз. Это влияет на направление северо-восточного пассата больше, чем на окорость ветра. Среднее влияние северо-восточного пассата на интенсивность апвеллинга составлялось во время предварительной программы (15. 3.—18. 3. 1984) 68,1% и во время измерений в области желоба 74,2% теоретической оптимальной величины.

1. Datengewinnung und Bearbeitung

Luftdruck und Wind wurden mit dem schiffseigenen Datenerfassungssystem OM 75 registriert, das MÖCKEL (1980) beschrieben hat. Der mittlere Gerätefehler der Luftdruckmes-

sung beträgt maximal $\approx 0,2$ hPa, der für die Windgeschwindigkeit $\approx 0,1$ ms⁻¹. Die Windrichtungsmeßwerte sind infolge eines technischen Fehlers nicht verwendbar. Ein Näherungswert dafür ergibt sich jedoch aus der Kombination von anliegendem Schiffskurs und der Einwirkung von Wind, Wellen und Strömung. Während der Stationsarbeiten wird stets die Steuerbordseite in den Wind gedreht. Durch einen Vergleich der gemessenen Winddaten mit dem registrierten Kurs an 120 Stationen der Meßfahrt des FS „A. v. Humboldt“ im März/April 1983 (HAGEN et al. 1986) ergab sich für das gleiche Seegebiet die empirische Beziehung:

Windrichtung (wohin?) = Kurs — $(70^\circ \pm 8^\circ)$.

Dieser Schätzwert bestimmt in Verbindung mit der gemessenen Geschwindigkeit den Windvektor.

Zur Beurteilung der aktuellen meteorologischen Situation standen die täglichen Wetterkarten des Deutschen Wetterdienstes Offenbach am Main (1984), die monatliche Wetterkarte des Deutschen Wetterdienstes, Seewetteramt Hamburg (1984) sowie die täglichen, gleichzeitigen Terminbeobachtungen des Luftdrucks an den Flughäfen Nouadhibou und Nouakchott vom 1. 2. bis 31. 5. 1984 (unveröff.) zur Verfügung. Für die Jahre 1941 bis 1978 hat MICHELCHEN (1979) die Luftdruckbeobachtungen dieser Stationen bearbeitet.

Die daraus resultierenden Mittelwerte wurden im Sinne klimatologischer Daten verwendet. In den Luftdruckmessungen ist die halbtägige barometrische Druckschwankung in den Subtropen eine regelmäßige Erscheinung. Ihr Verlauf wurde anhand von Mittel-

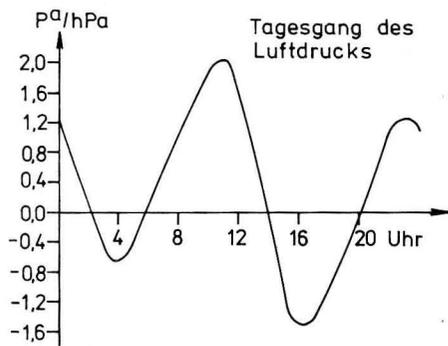


Abb. 1

Doppelte barometrische Welle (Mittlerer Tagesgang für das Untersuchungsgebiet in der Zeit vom 21. 3. bis 29. 3. 1984)

werten gezeichnet, die für das Cañonprogramm gültig sind (Abb. 1). Der tägliche Luftdruckgang wurde aus den Beobachtungen eliminiert. Die gemittelten Amplituden der täglichen Doppelwelle sind ca. 1 hPa kleiner als die, die im Lehrbuch „Wetterkunde“ als typisch dargestellt sind (BERTH et al. 1965).

2. Luftdruck und Wind

Veränderungen des Kerndruckes sowie Lageänderungen des Azorenhochs und des Saharatiefs bewirken Fluktuationen im NE-Passat, die auch im Kaltwasserauftrieb nachweisbar sind. Die Variationen des NE-Passats besitzen ein breites Periodenspektrum. Ganzjährig dominieren Windschwankungen im Periodenbereich von 10 d bis 14 d (MITTELSTAEDET et al. 1975; COLIN 1977). Sie erzeugen entsprechende Schwankungen im Strom- und auch im Temperaturfeld. Beispielsweise ergab die Analyse der Oberflächentemperaturen während der Dauerstation vom 10. 4. bis 22. 4. 1984 (ZAHN et al. 1984) eine ca. 10tägige Periode. Ebenso sind Perioden von ca. 5 d im Wind der Subtropen eine bekannte Erscheinung (HAHN-SÜRING 1943).

Bedingt durch die auf die Analyse quasistationärer Strukturen ausgerichtete Versuchs-

planung, ist ein Vergleich benachbarter Stationen in der Anordnung des Stationsnetzes beim Cañonprogramm nicht uneingeschränkt möglich (vgl. POSTEL, ZAHN 1987, Abb. 2). Die zeitlichen Unterschiede zwischen den Stationen waren teilweise sehr groß und der Trend zur Zeit des Experiments bei Luftdruck und Wind stark ausgeprägt. Die meridionalen Luftdruckdifferenzen im Arbeitsgebiet lassen sich anhand der gleichzeitigen Beobachtungen von Nouadhibou und Nouakchott annähernd abschätzen und ermöglichen Vergleiche zur zonalen Windkomponente im Arbeitsgebiet.

In der Zeit vom 1. 2. bis 31. 5. 1984 war die maximale Druckdifferenz zwischen den Stationen $\Delta P^a = 4,4$ hPa. Bei einer meridionalen Distanz des Arbeitsgebietes von 45 sm ergab sich eine Druckdifferenz von $\Delta P^a = 1,1$ hPa bzw. $\Delta P^a = 0,2$ hPa bei 10 sm. Das entspricht dem Grenzwert der Meßgenauigkeit. Einen Schätzwert für die zeitlichen (regelmäßigen) Druckschwankungen erhält man anhand des Tagesganges. Die größte stündliche Druckänderung (BERTH et al. 1965) betrug 1 hPa, was bei einer Schiffsgeschwindigkeit von 10 sm h^{-1} dem doppelten Stationsabstand entspricht. Die zeitlichen Druckänderungen waren mindestens um den Faktor 5 größer als die räumlichen.

Der Vergleich der Terminbeobachtungen an beiden Landstationen vom Frühjahr 1984 mit den klimatologischen Mittelwerten von MICHELCHEN (1979) ermöglichten es festzustellen, ob die aktuellen Monatsmittel von den Langzeitbeobachtungen signifikant abweichen.

Zur besseren Vergleichbarkeit mit den klimatologischen Mittelwerten ist in Abb. 2 die Trendfunktion 2. Grades für die täglichen Druckdifferenzen zwischen Nouadhibou und Nouakchott (12 Uhr UTC) eingezeichnet (Kurve d). Die Kurve c verbindet die klimatologischen Mittelwerte. Die Zeitabschnitte für das Vorprogramm, das Cañonprogramm und die Dauerstationsbeobachtungen sind durch Schraffur gekennzeichnet. Die Trendfunktion erreicht im Beobachtungszeitraum des Cañonprogrammes ihr Minimum. Die

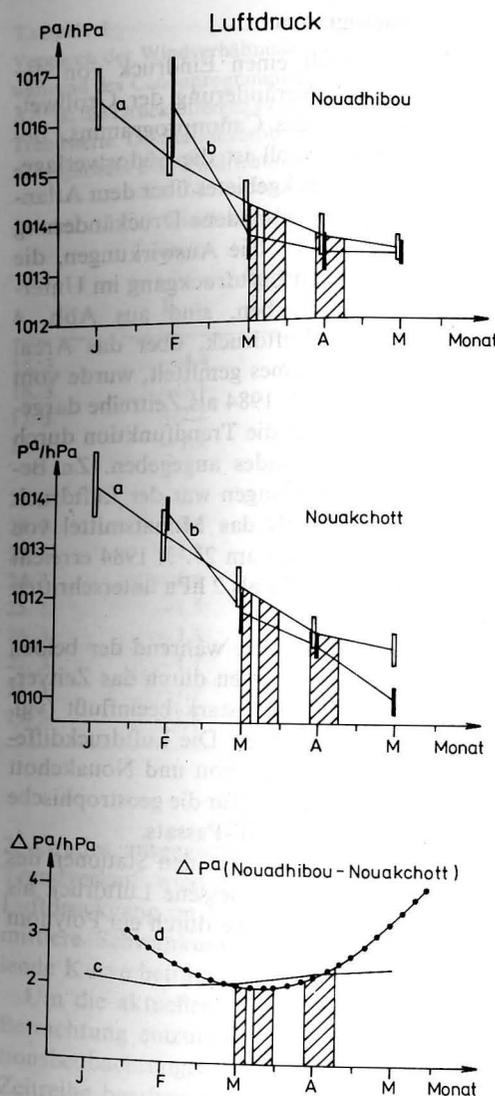


Abb. 2

Vergleich der Monatsmittelwerte des Luftdrucks P^a vom Januar bis Mai 1984 auf den Flughäfen Nouadhibou und Nouakchott (Kurven b) mit den klimatologischen Daten nach MICHELCHEN (1979), dargestellt durch die Kurven a. Die Kurve c verbindet die Monatsmittelwerte der langjährigen Luftdruckdifferenz ΔP^a , und Kurve d charakterisiert den Trendverlauf der Funktion 2. Grades, die aus den täglichen Differenzen berechnet wurde. Die schwarzen und weißen senkrechten Säulen grenzen den statistischen Erwartungswert um den Mittelwert P^a für $p = 0,05$ ab. Die Beobachtungsabschnitte für das Vor- und Cañonprogramm und für die Ankerstation wurden schraffiert.

zeitlichen Änderungen während des Vor- und Cañonprogrammes sind zu dieser Zeit gering. Vergleicht man aber die Varianzen der Luftdruckdifferenzen zwischen Nouadhibou und Nouakchott von März und Februar, so sind sie im März dreimal so groß und im Vergleich zum April doppelt so groß wie im Februar.

Die mittlere langjährige Druckdifferenz zwischen Nouadhibou und Nouakchott unterscheidet sich im Sommer mit $1,2 \text{ hPa} \pm 0,5 \text{ hPa}$ stark von den größeren Gradienten ($2,2 \text{ hPa} \pm 0,2 \text{ hPa}$) im Winterhalbjahr. Der Betrag der Druckdifferenz vom März 1984 war gegenüber dem der Langzeitbeobachtungen um 20% geringer. Das ist durch den Trendverlauf bedingt, dessen sekundäres Minimum im Winter ca. 1 Monat später eintritt als das der Langzeitbeobachtungen. In Abb. 2 sind außerdem die aktuellen Monatsmittel (Februar bis Mai 1984) an den Küstenstationen durch die Kurven b und die klimatologischen Mittelwerte (Januar bis Mai) durch die Kurven a verbunden. Die schwarzen und weißen senkrechten Säulen kennzeichnen die Vertrauensbereiche der Mittelwerte ($p = 0,05$).

Für den Untersuchungszeitraum März 1984 wichen die aktuellen Werte um $-0,6 \text{ hPa}$ (Nouadhibou) und $-0,5 \text{ hPa}$ (Nouakchott) von den Langzeitbeobachtungen ab. Sie lagen innerhalb der Vertrauensbereiche um den Mittelwert und sind als Beitrag zum nicht-signifikanten Rauschen aufzufassen. Die monatliche Weltkarte der mittleren Luftdruckverteilung und ihre Anomalien vom Normalwert (Deutscher Wetterdienst, März 1984) bestätigen die Abweichungen mit wesentlich höheren Werten, die für das Arbeitsgebiet im März auf ca. -2 hPa geschätzt werden.

2.1. Vorprogramm

Die Wetterlage zu Beginn der Voruntersuchung war durch ein umfangreiches Hoch über dem Westatlantik charakterisiert, mit einem Kern von 1025 hPa bei den Azoren. Der Luftdruck im Norden des Arbeitsgebietes war niedriger, als es dem Mittelwert

entspricht. Die Hochdruckzelle über den Azoren verlagerte sich weiter nach Westen, und der Keil hohen Druckes, der sich bis in das Arbeitsgebiet erstreckte, wurde vorübergehend abgeschwächt. Stellt man den an den Stationen gemessenen Luftdruck als Zeitreihe dar und berechnet die Trendfunktion 2. Grades, so betrug der ausgeglichene Luftdruck am 15. 3. 1984 bei Arbeitsbeginn 1011,6 hPa. Bis zum 17. 3. 1984 gegen 9 Uhr fiel der Druck auf 1009,4 hPa und stieg danach bis zum Ende der Untersuchungen auf 1010,1 hPa an.

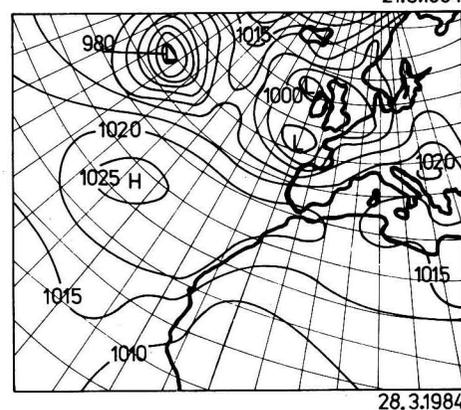
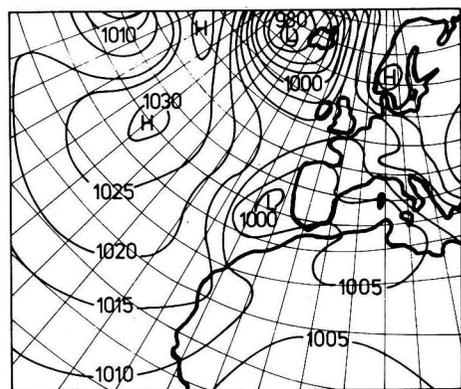


Abb. 3

Vergleich zweier Luftdrucksituationen zu Beginn und am Ende des Cañonprogrammes (Luftdruck im Meeresniveau; Teilkarten des Deutschen Wetterdienstes (1984); H kennzeichnet die Zellen mit hohem, L die mit tiefem Luftdruck)

2.2. Cañonprogramm

Abb. 3 vermittelt einen Eindruck von der druchgreifenden Veränderung der Großwetterlage während des Cañonprogramms. Besonders eindrucksvoll ist die Südostverlagerung des Hochdruckgebietes über dem Atlantik und die daran gebundene Druckänderung im Mittelmeerraum. Die Auswirkungen, die sich daraus für den Luftdruckgang im Untersuchungsgebiet ergaben, sind aus Abb. 4 ersichtlich. Der Luftdruck, über das Areal des Cañonprogrammes gemittelt, wurde vom 21. 3. bis zum 30. 3. 1984 als Zeitreihe dargestellt. Außerdem ist die Trendfunktion durch ein Polynom 2. Grades angegeben. Zu Beginn der Untersuchungen war der Luftdruck ca. 5 hPa höher als das Monatsmittel von etwa 1012,5 hPa, das am 27. 3. 1984 erreicht und danach um mehr als 2 hPa unterschritten wurde.

Die Windverhältnisse während der beiden Arbeitsabschnitte wurden durch das Zeitverhalten des Luftdrucks stark beeinflusst (vgl. auch SPETH et al. 1978). Die Luftdruckdifferenz zwischen Nouadhibou und Nouakchott ergibt einen Schätzwert für die geostrophische Ostkomponente des NE-Passats.

In Abb. 4 wurde der an den Stationen des Cañonprogrammes gemessene Luftdruck als Zeitreihe dargestellt. Die durch ein Polynom

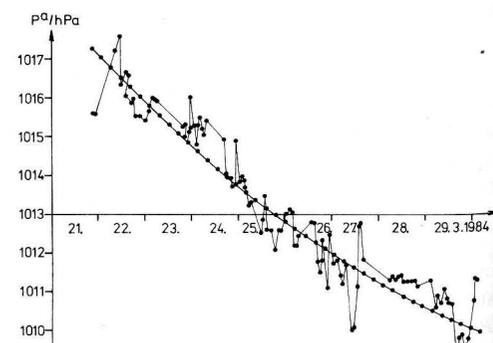


Abb. 4

Zeitliche Änderung des Luftdrucks während des Cañonprogrammes. Die Meßwerte P^a der Seestationen wurden als Zeitreihe dargestellt und durch ein Polynom 2. Grades ausgeglichen (Trendverlauf)

Tabelle 1

Vergleich der Windverhältnisse während des Vorprogrammes (15. 3. bis 18. 3. 1984, jeweils 12 Uhr UTC) und während des Cañonprogrammes (21. 3. bis 29. 3. 1984, jeweils 12 Uhr UTC)
 ΔP^a ist die Druckdifferenz zwischen Nouadhibou und Nouakchott zum gleichen Termin. Die Komponenten sind Trendwerte. Die Stationsbeobachtungen auf See wurden als Zeitreihe behandelt und durch ein Polynom 2. Grades ausgeglichen. Die Windrichtung, in die der Wind weht, ist auf das nautische System bezogen.

Datum	Windkomponenten (m/s)		Windvektor		Druck-Diff. ΔP^a (hPa)
	E	N	Richtg. (Grad)	Geschw. (m/s)	
15. 3.	-4,4	-3,2	234	5,4	3,6
16. 3.	-3,1	-3,5	222	4,7	2,4
17. 3.	-2,2	-3,6	220	4,2	1,6
18. 3.	-1,9	-3,6	208	4,1	1,6
21. 3.	-2,5	-6,0	202	6,5	1,7
22. 3.	-2,1	-5,9	200	6,3	2,8
23. 3.	-1,8	-5,7	198	6,0	4,0
24. 3.	-1,6	-5,4	197	5,6	3,4
25. 3.	-1,5	-5,1	196	5,3	2,8
26. 3.	-1,5	-4,6	198	4,8	3,8
27. 3.	-1,7	-4,0	205	4,4	1,2
28. 3.	-1,9	-3,4	209	3,9	1,8
29. 3.	-2,3	-2,7	220	3,6	2,6

2. Grades ausgeglichenen Werte geben den Trendverlauf wieder. Er kennzeichnet den Luftdruckgang im Untersuchungsgebiet. Die mittlere Schwankung um die degressiv fallende Kurve beträgt $\pm 0,7$ hPa.

Um die aktuellen Windverhältnisse in die Betrachtung einzubeziehen, wurden die Stationsbeobachtungen des Windes ebenso als Zeitreihe bearbeitet wie die Luftdruckdaten. Die Tabelle 1 enthält neben dem Datum die um 12 Uhr UTC anhand des Trends berechneten Windkomponenten und die daraus resultierende Richtung und Geschwindigkeit des Passats. Außerdem ist die zur gleichen Zeit beobachtete Druckdifferenz ΔP^a zwischen Nouadhibou und Nouakchott angegeben. Unter Berücksichtigung der Einzelwerte ergeben sich grundsätzliche Unterschiede im Windfeld der beiden Arbeitsabschnitte. Während des Vorprogrammes bestand gute Übereinstimmung zwischen der Druckdifferenz ΔP^a und der Ostkomponente

des Windes, deren Beträge beide jedoch zeitlich stark abnahmen. Die zeitlichen Änderungen der Nordkomponente waren gering. Anfangs wich die Windrichtung stark von der mittleren Passatrichtung für März ab, am Ende des Untersuchungszeitraumes war die Windgeschwindigkeit unter den Normalwert gesunken (vgl. Tab. 2). Die Varianz der Ostkomponente war doppelt so groß wie die der auftriebswirksamen Nordkomponente. Auch während des Cañonprogramms dominierte die Nordkomponente gegenüber der Ostkomponente, und die Fluktuationen waren entsprechend gering. Aus dem Ergebnis der Bearbeitung der räumlich gemittelten Daten läßt sich eine größere Beständigkeit für die auftriebswirksame Windkomponente ableiten. Die Varianzen verhalten sich wie 1:3. Ein Zusammenhang zwischen Ostkomponente des Windes und der Druckdifferenz ΔP^a ist nicht mehr klar erkennbar und auch nicht signifikant. Die Passatrichtung stimmte gut

mit dem langjährigen Mittelwert überein; die Windgeschwindigkeit war vom 21. bis zum 24. 3. 1984 höher als der Durchschnittswert für März und nahm erst danach bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes stark ab. Die anfänglich für Kaltwasserauftrieb günstigen Windverhältnisse verschlechterten sich dadurch.

3. Einschätzung der winderzeugten Auftriebsintensität

Um den Passateinfluß auf den Kaltwasserauftrieb abzuschätzen, wird der Auftriebsprozeß auf den Anteil begrenzt, der durch den Ekman-offshore-Transport erzeugt wird (EKMAN 1905). Die Wirksamkeit wird durch die Festlegung einer für die Jahreszeit „optimalen Windrichtung und -stärke“ normiert. In Tab. 2 sind die Vektorgrößen für das Windfeld der atlantischen Passatregion im März (nach HANN-SÜRING 1943) sowie die für das Vor- und Cañonprogramm berechneten statistischen Mittelwerte angegeben.

Die Küste des Untersuchungsgebietes weicht um 10° von der Nord-Südrichtung ab und erstreckt sich in Richtung 190° . Als „optimale Windrichtung“ wurde 212° gewählt. Nach HIDAOKA (1954) wird die größte Auftriebsintensität bei einer Windrichtung erzielt, die um $21,5^\circ$ vom Küstenverlauf in Offshore-Richtung abweicht. Das entspricht

dem angegebenen Wert für die Richtung, obwohl im Arbeitsgebiet die Modellvoraussetzungen nicht erfüllt sind.

Wird an einer Station die Windrichtung von 212° gemessen, dann wird der Intensitätsanteil, der aus der Richtung resultiert, $I_R = 100\%$ gesetzt. Windvektoren, die um $\pm 90^\circ$ von diesem Wert abweichen, tragen nicht zum Ekman-offshore-Transport bei. Für den Intensitätsanteil I_V , der sich aus der Geschwindigkeit ergibt, wird der Mittelwert für März $|\bar{V}| = 5,6 \text{ m s}^{-1}$ zugrunde gelegt und ebenfalls mit 100% bewertet. Die gemessenen Geschwindigkeiten können 100% überschreiten. Die Gesamtwirkung I_g auf den Ekman-offshore-Transport bezieht beide Anteile ein. $I_g = I_R \cdot I_V$ (in %) bewertet die Windwirksamkeit insgesamt.

Der Mittelwert für den Zeitraum des Vorprogrammes beträgt $I_g = 68,1\%$ der definierten optimalen Bedingungen. Der mittlere Intensitätsanteil der Geschwindigkeit beträgt $I_V = 85,3\%$, wobei die Extremwerte der Windgeschwindigkeit an der Station 150 mit $8,0 \text{ m s}^{-1}$ und mit $0,2 \text{ m s}^{-1}$ an der Station 157 gemessen wurden. Der mittlere Anteil, der sich aus der Richtung ergibt, ist mit $I_R = 81,7\%$ fast ebenso groß wie der der Geschwindigkeit. Die größten Richtungsunterschiede wurden zwischen der Station 148 mit 265° bzw. der Station 188 mit 185° beobachtet. Für das Cañonprogramm ergab sich eine mittlere Gesamtintensität $I_g = 74,2\%$, die sich nicht wesentlich von der des Vorprogram-

Tabelle 2

Vektorgrößen für den NE-Passat während des Vor- und Cañonprogrammes im Vergleich zum klimatologischen Mittel für März (nach HANN-SÜRING, 1943). Die Windrichtung, in die der Wind weht, ist auf das nautische System bezogen

Vektorgrößen	Atlantische Passatregion	Vorprogramm 15. 3.—18. 3.	Cañonprogramm 21. 3.—30. 3.
Geschw. (m/s)	5,6	4,4	4,9
Richtg. (Grad)	200	216	199
STD	Mittelwert für März;	1,68	1,72
VAR	HANN-SÜRING 1943)	2,81	2,96
COV		-0,738	0,581

mes unterscheidet. Der Anteil $I_R = 80,3\%$ und $I_V = 90,3\%$ sind ebenfalls nur wenig höher. Die größte Windgeschwindigkeit wurde mit $11,5 \text{ m s}^{-1}$ an der Station 193, die geringste mit $0,2 \text{ m s}^{-1}$ an der Stationen 249, 250 und 251 gemessen. Aus dem Vergleich der mittleren Anteile wird erkennbar, daß in beiden Programmen die Richtungsschwankungen die Wirksamkeit des Windes für den Ekman-offshore-Transport stärker beeinflußt haben als die Fluktuationen der Windgeschwindigkeit.

Literatur

- Anonymus: Tägliche Beobachtungen des Luftdrucks vom 1. 2. bis 31. 5. 1984 an den Küstenstationen Nouadhibou und Nouakchott (unveröff.).
- BERTH, W.; KELLER, W.; SCHARNOW, U.: Wetterkunde, 4. Aufl. — Berlin: Transpress Verl. für Verkehrswesen, 1965, S. 151—153.
- COLIN, C.: A spectral analysis of wind data from meteorological stations along the West African Coast. — In: The GARP Atlantic Tropical Experiment (GATE). Rep. of the internat. workshop on the GATE Equatorial Experiment, Miami, 28. Febr. to 10. March 1977. — Genf (1977), S. 127—138.
- Deutscher Wetterdienst: Monatliche Wetterkarte des Deutschen Wetterdienstes, Seewetteramt Hamburg, März 1984.
- Deutscher Wetterdienst: Tägliche Wetterkarten vom März 1984 — Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, März 1984.
- EKMAN, V. W.: On the influence of the earth's rotation on ocean-currents — Ark. Math. Astron. Fys. 2 (1905) 11, S. 1—53.
- HAGEN, E.; SCHEMAINDA, R.; MICHELCHEN, N.; ZAHN, W.; WOLF, G.; NEHRING, D.; BRENNING, U.:

Quasistationäre Strukturen im Wasserauftrieb vor Mauretanien im März/April 1983 — Beitr. Meereskd. 54 (1986), S. 19—31.

HALPERN, D.: Description of Wind and of upper ocean current and temperature variations on the continental shelf off Northwest Africa during March and April 1974. — J. Phys. Oceanogr. 7 (1977), S. 422—430.

HANN-SÜRING: Lehrbuch der Meteorologie (Hrsg. v. R. SÜRING, Bd. 2, 5. Aufl. — Leipzig, 1943, S. 633.

MICHELCHEN, N.: Zur Analyse langperiodischer meteorologischer Feldverteilungen in küstennahen Auftriebsgebieten vor Nordwestafrika bezüglich signifikanter langperiodischer Variationen küstennaher Stromsysteme. — Unveröff. Ber. Inst. für Meereskd., Warnemünde, 1979, 55 Seiten.

MÖCKEL, F.: Die ozeanologische Meßkette OM 75, eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe. — Beitr. Meereskd. 43 (1980), S. 5—14.

POSTEL, L.; ZAHN, W.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanien) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. — 1. Einführung und Meßprogramm — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 45—50.

SPETH, P.; DETLEFSON, H.; SIERTS, H. W.: Meteorological influence on upwelling off Northwest Africa. — Dt. hydrogr. Z. 31 (1978), S. 95—104.

ZAHN, W.; WOLF, G.; HAGEN, E.: Eine zehntägige Periodizität in der Wassertemperatur im Wasserauftrieb vor Mauretanien im April 1984. — Unveröff. Ber. Inst. für Meereskd., Warnemünde, 1984, 15 Seiten.

Anschrift des Autors:

Dipl.-Met. G. WOLF

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Meereskunde

DDR-2530 Rostock-Warnemünde

Eingereicht: 29. April 1986

Zur Veröffentlichung angenommen: 31. Mai 1986

WOLFGANG ZAHN

Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanien) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984

3. Bodentopographie und Massenfeldaufbau

Mit 6 Abbildungen

Zusammenfassung: An den vom FS „A. v. Humboldt“ gewonnenen hydrologischen Parametern über dem Nouakchott-Cañon konnte gezeigt werden, daß der kleinskalige Schelfeinschnitt die internen Druckgegensätze so stark stören kann, daß dies zu einer lokalen Intensivierung des vertikalen Wassertransports aus dem Unterstrombereich auf den Schelf führt.

Abstract: It could be shown with the sampled hydrological data by r/v „A. v. Humboldt“ in the region of the Nouakchott submarine canyon, that a microscale submarine canyon is able to disturb the internal pressure gradients and it results a local more intensively vertical water transport from the region of undercurrent on the shelf.

Резюме: С помощью гидрологических данных полученных на рейсе исследовательского судна „А. фон Гумбольдт“ в районе подводного желоба Нуакшота, мы нашли, что он может изменить внутренние градиенты давления, что вызывает местное повышение вертикального транспорта воды из района в шельф.

1. Einleitung

In mehreren Arbeiten zur Problematik der Auftriebsdynamik konnte der unmittelbare Zusammenhang zwischen den Strukturen des mesoskalen Kaltwasserauftriebs und einem „mittleren“ mesoskalen Schelfprofil erbracht werden (BARBER, SMITH 1981; HAGEN 1981). Es konnte gezeigt werden, daß die großräumigen Auftriebsmuster, ausgedrückt durch die ozeanologischen Feldverteilungen, im wesentlichen dem lokalen Schelfprofil angepaßt sind. Daraus wurde gefolgert, daß kleinskalige bodentopographische Unregelmäßigkeiten, wie z. B. ein Cañon, lediglich in der Lage sind,

den großräumig angeregten Kaltwasserauftrieb zu modifizieren.

Das Anliegen dieses Beitrages besteht darin, die Reaktion des Massenfeldes auf den untersuchten Cañon anhand der im März 1984 vor Nouakchott aufgenommenen Kaltwasserauftriebssituation nachzuweisen und den daraus resultierenden Einfluß auf den Auftriebsprozeß abzuleiten. Ausgehend von dem generellen, windinduzierten Kaltwasserauftriebsprozeß soll gezeigt werden, daß bereits geringe Störungen der internen Druckverhältnisse dazu führen können, lokale Zentren erhöhter Auftriebsintensität entstehen zu lassen.

2. Meßwertgewinnung und -genauigkeit

Die Gewinnung der physikalischen Meßgrößen Druck, Temperatur, Sauerstoff, Leitfähigkeit und Schallgeschwindigkeit erfolgte mit dem ozeanologischen Gerätesystem OM-75 (MÖCKEL 1980). Die Datenbearbeitung wurde in der gleichen Weise durchgeführt, wie sie bei HAGEN et al. (1985) beschrieben wurde. Der Fehler der korrigierten Salzgehaltswerte beträgt in dem Tiefenbereich 0 bis 600 m etwa $1 \cdot 10^{-5}$. Bis 1000 m nimmt er auf $3 \cdot 10^{-5}$ zu. Die Sauerstoffkonzentrationen weisen einen mittleren Fehler von $\pm 0,1 \text{ cm}^3 \text{ dm}^{-3}$ auf. Beim Temperatursensor wurde eine Langzeitdrift von $\Delta\theta = +0,044 \text{ K}$ innerhalb des Zeitraumes vom 1. 11. 1983 bis zum 23. 5. 1984 registriert. Aus diesen Gründen konnte lediglich eine Meßwertkorrektur durchgeführt werden, die eine zeitlich lineare Fehlerkorrektur berücksichtigte. Wegen der fehlenden Temperaturkontrollmessungen

konnte keine Korrektur der gemessenen Druckwerte vorgenommen werden.

3. Die Bodentopographie

Die sehr kleinskaligen und komplizierten bodentopographischen Bedingungen des Untersuchungsgebietes machten es erforderlich, eine möglichst genaue und detaillierte Tiefenkarte der untersuchten Schelfregion anzufertigen. Die Grundlage dafür bildeten die während des gesamten Expeditionszeitraumes aufgezeichneten Echogramme der bordeigenen Echolotanlage. Durch Markierungen der Dauer der Stations- und Fahrzeiten und durch die genaue Positionsbestimmung mit Hilfe zweier zuvor verankerter Referenzbojen, konnte die entsprechende räumliche Zuordnung der gemessenen Wassertiefe vorgenommen werden. Die ermittelten Isobathenverläufe sind in Abb. 1 dargestellt. Sie zeigt, daß

der untersuchte Cañon einen sehr schmalen, tief in den Schelfhang hineinreichenden Einschnitt in den sonst relativ ungestörten Schelfhang darstellt. Im Schelfkantenbereich beträgt die Cañonweite, d. h. der Abstand der 200-m-Isobathe quer zur Cañonachse, etwa 5 km. In Richtung offener Ozean nimmt sie auf lediglich 10 km zu, legt man beispielsweise die 1000-m-Isobathe in gleicher Weise zugrunde (Abb. 1).

Eine lineare Beschreibung der im Meer vermessenen Prozesse ist dann gerechtfertigt, wenn die ROSSBY-Zahl R_0 , das Verhältnis der relativen Vorticity ($v_x - u_y$) zur CORIOLIS-Frequenz f , sehr viel kleiner als eins ist. In Gebieten mit großen Gradienten der Bodentopographie kann es zu einer topographisch bedingten Erhöhung der relativen Vorticity kommen. Als Konsequenz ergibt sich daraus eine Zunahme der ROSSBY-Zahl. Nach PORTER und RATTRAY (1964) ist bereits bei Gradienten der Bodentopographie der Größenordnung von 10^{-3} die Möglichkeit gegeben, daß infolge der topographisch induzierten Advektion nichtlineare Prozesse Bedeutung erlangen können. Schließt man zunächst den unmittelbaren Cañonbereich aus, dann ist die Bedingung $R_0 \ll 1$ im untersuchten Schelfabschnitt im allgemeinen erfüllt. Folglich kann davon ausgegangen werden, daß die wesentlichsten Prozesse der vorgefundenen Auftriebssituation einer linearen Dynamik folgen. Die küstenparallelen Gradienten sind zwar um den Faktor 2–5 kleiner, doch es ist bemerkenswert, daß sie die gleiche Größenordnung wie die zonalen Gradienten aufweisen. Ursache dafür ist die bereits bei HAGEN et al. (1985) erwähnte Richtungsänderung des mesoskalen Isobathenverlaufs vor der mauretischen Küste auf 18.00° N.

Der unmittelbare Bereich des Cañons ist dadurch ausgezeichnet, daß sich die Absolutbeträge der bodentopographischen Gradienten drastisch erhöhen. Das trifft sowohl für die meridionalen als auch für die zonalen Gradienten zu. An den „Wänden“ des Cañons und entlang der Cañonachse können die Gradienten des Bodenprofils die Größenordnung von 10^{-1} erreichen. Diese hohen

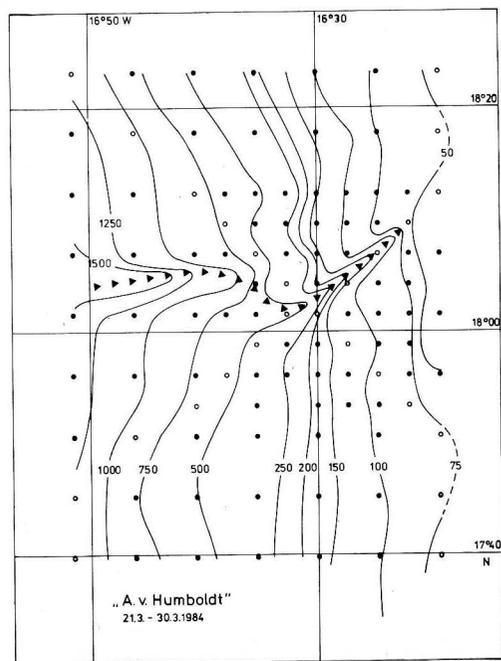


Abb. 1
Bodentopographie

Werte bedeuten aber, daß die im Cañon ablaufenden Prozesse hochgradig nichtlinear sind, d. h., daß hier die Advektion das Strömungsfeld in seinen Strukturen bestimmt.

4. Der lokale Cañoneinfluß

4.1. Das Grundkonzept

Eine Zusammenfassung der wesentlichsten Eigenschaften der Dynamik des Kaltwasserantriebs ist bei HAGEN et al. (1981) aufgeführt. Zu den charakteristischen Erscheinungen des Auftriebsprozesses gehört der im Bereich der Schelfkante zwischen 100 m und 300 m von Süd nach Nord setzende Unterstrom. Im wesentlichen durch großräumige meridionale interne Druckgegensätze angelegt, führt er aus den Gebieten des Nordäquatorialen Gegenstromes Südatlantisches Zentralwasser (SACW) in die Kaltwasserantriebsregion vor Mauretanien heran. Das SACW zeichnet sich durch relativ geringe Temperaturen, niedrigen Salzgehalt und hohe Nährstoffkonzentrationen aus (WILLENBRINCK 1982). Spezielle Untersuchungen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, zeigen, daß nur 0,63% der vermessenen bodentopographischen Variationen auf den Nouakchott-Cañon entfallen. Trotz dieses geringen Anteils führen die drastischen Tiefenänderungen im Cañon zu einer lokalen Störung des großräumigen meridionalen internen Druckgradienten. Eine Folge davon ist, daß es auch zu einer Änderung des zonalen internen Druckgradienten entlang der Cañonachse kommt, der im Cañoninneren barokline Kompensationsströme anregt. Diese Verhältnisse konnten KLINCK et al. (1981) mit Hilfe eines Fjordmodells nachweisen, wobei ein küstenparalleler Strom am Fjordmund zur Isopyknenverlagerung führte.

Einem von HICKEY (1983) ausgeführten Experiment zur Strömungsdynamik in und um einen Cañon lag ebenfalls die einfache Modellvorstellung zugrunde, daß eine Impulsbilanz zwischen dem internen achsen-

parallelen Druckgradienten und der Bodenreibung besteht. Dabei stellte sich heraus, daß die tiefpaßgefilterten Zeitreihen der auf verschiedenen Positionen und in verschiedenen Tiefen gewonnenen Strömungsmessungen im wesentlichen in zwei Typen eingeteilt werden können:

1. in den geostrophischen Strom in und über Bereichen mit großer Cañonweite und
2. in den „kanalisierten“ Strom in den sehr engen Bereichen des Cañons.

Der Strom, geostrophisch den Isobathen folgend, unterliegt im Inneren des Cañons der oben genannten Kräftebalance zwischen dem achsenparallelen Druckgradienten und der Reibung, die ihn parallel zur Cañonachse führt. Dies bestätigten die Strömungsmessungen sowohl von SHAFER (1974) als auch von HICKEY (1983). In Bodennähe mit starker Reibung ist es möglich, daß der Strom quer zu den Isobathen setzt. Das ist aber gleichbedeutend mit einer durch den Cañon hervorgerufenen Vertikalbewegung der Wasserteilchen. Unter vereinfachten äußeren geometrischen Bedingungen und unter Berücksichtigung der Reibung, der Advektion und des achsenparallelen Druckgradienten konnten FREELAND und DENMAN (1982) durch eine Abschätzung zeigen, daß infolge des internen achsenparallelen Druckgradienten Wasser aus dem Tiefenbereich von einigen hundert Metern auf den Schelf, d. h. in den Deckschichtbereich gelangen kann. Die weitere Ausbreitung des Tiefenwassers unterliegt dann der lokal wirkenden Deckschichtdynamik.

4.2. Der Einfluß des Cañons auf das Massenfeld

Der barokline Deformationsradius, in erster Näherung durch

$$R_{bc} = \frac{NH}{f} \quad (1)$$

mit der BRUNT-VÄISÄLÄ-Frequenz N , der mittleren Wassertiefe H und dem CORIOLIS-Parameter f ausgedrückt, ist ein Maß für die horizontale „Wirkweite“ barokliner Prozesse,

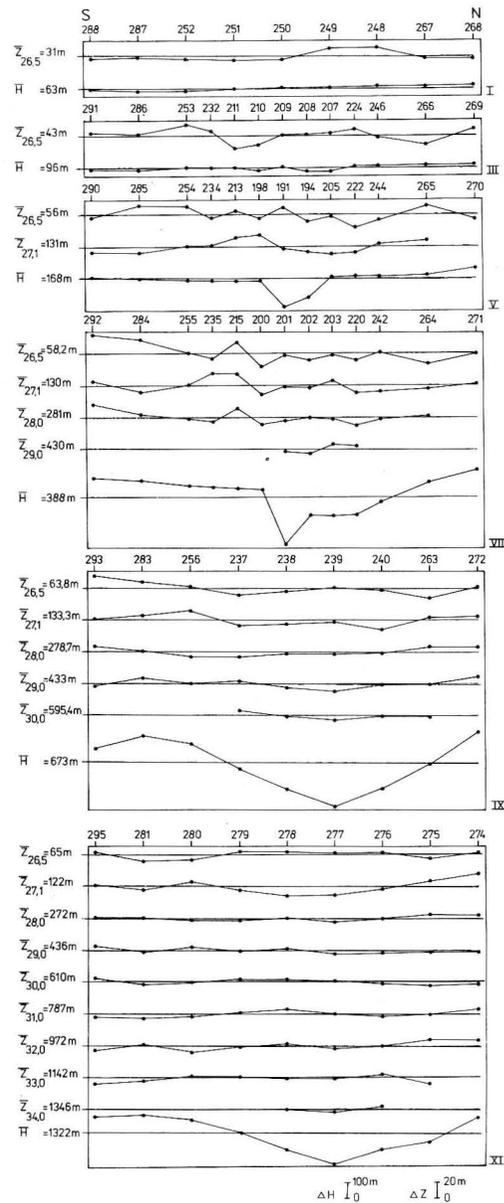


Abb. 2

Die lokalen Abweichungen ausgewählter $\sigma_{s,T,p}$ -Flächen bzw. der Bodentopographie von den entsprechenden meridional gemittelten Tiefenlagen \bar{z} bzw. \bar{H} auf ausgewählter Schnitten (s. POSTEL, ZAHN 1987, Abb. 2)

die durch die Schichtung begrenzt sind. Ähnlich der Beziehung (1) kann die Größenordnung eines vertikalen Maßstabes der „Ein-

flußweite“ H_B bodentopographischer Ereignisse mit der horizontalen Ausdehnung L unter Berücksichtigung der Schichtung durch

$$H_B = \frac{Lf}{N} \quad (2)$$

abgeschätzt werden.

In Abb. 2 sind die meridional gemittelten Tiefenlagen ausgewählter $\sigma_{s,T,p}$ -Flächen und die Abweichungen der auf den einzelnen Stationen vorgefundenen Tiefen der jeweiligen $\sigma_{s,T,p}$ -Fläche dargestellt. Für jeden Schnitt ist in der gleichen Weise die Bodentopographie für den unmittelbaren qualitativen Vergleich zum Massenfeldaufbau eingetragen. Deutlich ist auf den Schnitten III bis VI das Absinken der Isopyknen über dem Cañon als Reaktion des Massenfeldes auf den Meeresgrundverlauf zu erkennen. Es ist aber auch erkennbar, daß nicht die gesamte Wassersäule dem Cañoneinfluß unterliegt. Ein Vergleich dieser Darstellung mit Abb. 3, in der die nach Formel (2) berechneten Tiefen H_B dargestellt sind, zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen der näherungsweise ermittelten „Einflußweite“ H_B und der vermessenen vertikalen Dichtestruktur über

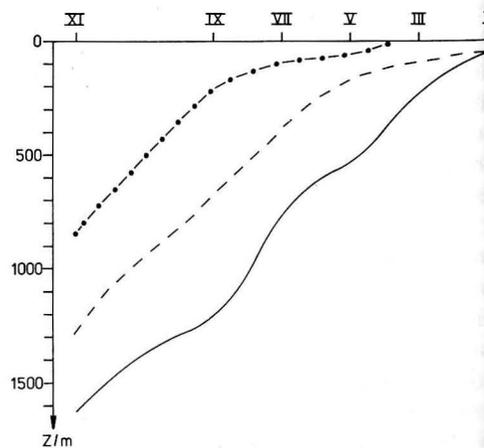


Abb. 3

Das mittlere meridionale Schelfprofil innerhalb des Untersuchungsgebietes (— — —), die maximalen Cañontiefen (—) und die vertikale „Einflußweite“ H_B (— · — ·)

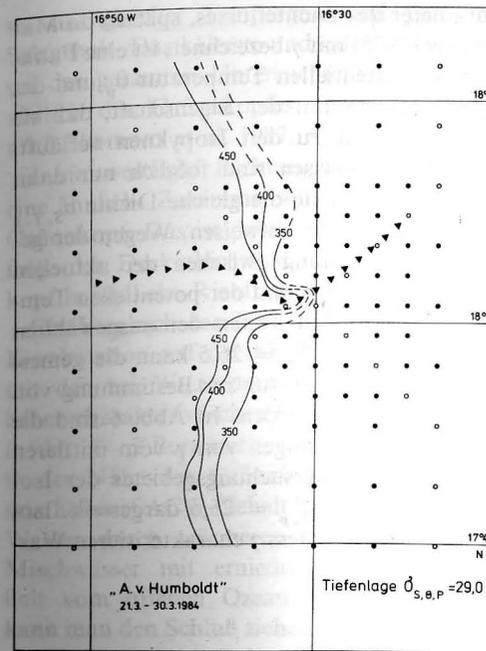


Abb. 4

Horizontale Verteilung der Tiefenlage in m der Dichtefläche $\sigma_{s,T,p} = 29,00$ (▶▶▶ Cañonachse)

dem Cañon. Oberhalb der in Abb. 2 gekennzeichneten Linie H_B ist das Massenfild nicht mehr in der Lage, die topographischen Änderungen zu „spüren“. Deshalb ist es insbesondere in den küstenentfernteren Regionen nicht möglich, daß der Cañon unmittelbar den Deckschichtbereich beeinflusst. In Abb. 3 ist deutlich zu erkennen, daß die Reaktion des Massenfeldes und damit die Deformation des großräumigen meridionalen Druckgradienten im wesentlichen auf den Cañon beschränkt bleibt. Dies unterstreicht die Abb. 4, eine Horizontalardarstellung der Tiefenlage der als Beispiel ausgewählten Isopyknenfläche $\sigma_{s,T,p} = 29,00$. Die wesentlichste Eigenschaft der Isopyknenverläufe ist, daß sie im Bereich des Schelfhanges nahezu identisch den Isobathen folgen (siehe Abb. 1). Das ist nachweisbar bis in den Cañon hinein. Für den küstenentfernteren Bereich ist diese Aussage nicht mehr zutreffend, da der Cañon in dieser Tiefe infolge des Schichtens nicht mehr wirksam werden kann.

4.3. Das geostrophische Stromfeld

Aus der linearen Theorie der potentiellen Vorticity folgt für den Fall homogener Dichte, daß die räumlichen Verläufe der Stromlinien mit den f/H -Konturen infolge der Erhaltung der potentiellen Vorticity zusammenfallen. Wenn für das relativ kleine Untersuchungsgebiet in erster Näherung $f = \text{const}$ gilt, dann gibt ein Vergleich der Isopyknenverläufe mit den Isobathen Auskunft darüber, inwieweit eine lineare Betrachtungsweise die Strömungsvorgänge hinreichend genau beschreibt. Die im Abschnitt 4.2. erwähnten nahezu identischen Verläufe der Isopyknen und Isobathen im Bereich des Schelfhanges außerhalb des Cañons rechtfertigen eine grobe Abschätzung des geostrophischen Stromanteils um und über dem Cañon vorzunehmen. Methodische Fragen zur Berechnung des geostrophischen Stromfeldes unter Einbeziehung der dynamischen Methode sind bei FOMIN (1964) ausführlich behandelt. Der in Abb. 5 dargestellte

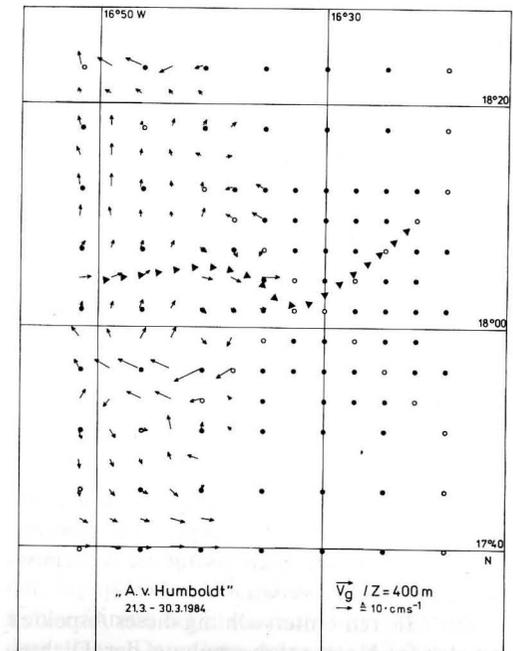


Abb. 5

Geostrophischer Strom in $z = 400$ m Tiefe, relativ zu $p = 1000$ dbar (▶▶▶ Cañonachse)

geostrophische Strom in $z = 400$ m wurde relativ zu 1000 dbar berechnet. Qualitativ sind zwei Erscheinungen des Strombildes im Bereich des Schelfhanges von Bedeutung. Es sind einmal die beiden Wirbel nördlich und südlich des Cañons, ein Ergebnis der durch den Cañon geprägten Dichteverteilung (siehe Abb. 2). Zum anderen setzt zwischen den beiden Wirbeln entlang der Cañonachse ein eng begrenzter Strom in Richtung Küste, der Wasser aus dem Bereich vor dem Schelfhang in den Cañon hineintransportiert. Eine Abschätzung der ROSSBY-Zahl R_0 im Inneren des Cañons aufgrund der vermessenen Dichteverteilung ergab Werte der Größenordnung von 10^{-1} bis 1. Das bedeutet, daß die Strömungsverhältnisse im Cañon nicht mehr mit der einfachen geostrophischen Balance unterliegen.

Theoretische und experimentelle Untersuchungen zeigten (vgl. Kap. 2.), daß nicht-lineare Prozesse bewirken können, daß nährstoffreiches Wasser aus mehreren hundert Metern Tiefe durch den Cañon auf den Schelf gelangt.

4.4. Analyse der Wasserzusammensetzung im Deckschichtbereich

Trotz des relativ geringen Abstandes von 2,5 m zwischen den Stationen war die lokale Auflösung der Feldverteilungen zu gering, um einen direkten Nachweis der unmittelbar im Cañon ablaufenden Prozesse mit Hilfe des von dem FS „A. v. Humboldt“ gewonnenen Meßmaterials zu erbringen. Es sollen deshalb die ozeanologischen Feldverteilungen des Meßmaterials zu erbringen. Es sollen deshalb die ozeanologischen Feldverteilungen des Deckschichtbereiches herangezogen werden, um den Einfluß des Cañons auf die Auftriebsintensität nachzuweisen.

Zur näheren Untersuchung dieses Aspektes wurde die Horizontalverteilung der Dichteflußfunktion γ auf der Dichtefläche $\sigma_{s,T,p} = 26,5$ herangezogen. Der erstmals von VERONIS (1972) eingeführte physikalische

Parameter des Dichteflusses, später von MAYEWE (1975) mit γ bezeichnet, ist eine Funktion der potentiellen Temperatur θ_p und des Salzgehaltes S mit der Eigenschaft, daß sie stets senkrecht zu den Isopyknen verläuft. Zwei Wassermassen sind folglich nur dann identisch, wenn sie die gleiche Dichte $\sigma_{s,T,p}$ und das gleiche γ aufweisen. Wegen der geringen Abweichung zwischen der aktuellen Wassertemperatur und der potentiellen Temperatur θ_p in den Tiefen der ausgewählten Dichtefläche $\sigma_{s,T,p} = 26,5$ kann die gemessene Wassertemperatur zur Bestimmung von γ herangezogen werden. In Abb. 6 sind die lokalen Abweichungen von γ vom mittleren Wert $\bar{\gamma}$ des Untersuchungsgebietes der Isopyknenfläche $\sigma_{s,T,p} = 26,5$ dargestellt. Isolinien des Parameters γ charakterisieren Was-

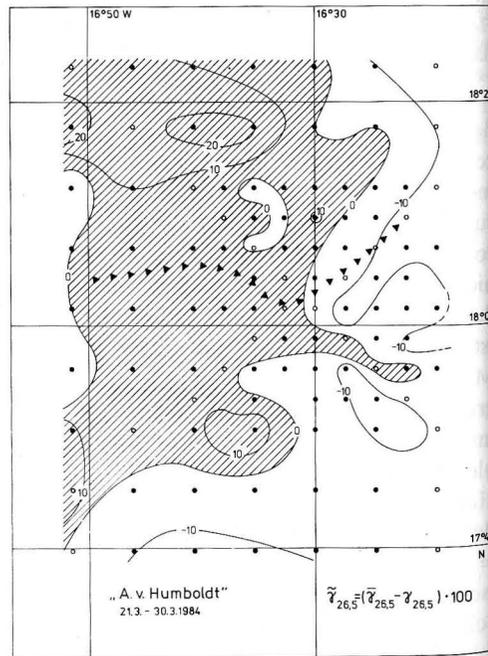


Abb. 6 Horizontale Verteilung der lokalen Abweichungen von γ vom Mittelwert des Untersuchungsgebietes $\bar{\gamma}$ der Isopyknenfläche $\sigma_{s,T,p} = 26,50$ (▶▶▶ Cañonachse)

ser mit gleicher Temperatur und gleichem Salzgehalt. Das kälteste und salzärmste Wasser des gesamten Untersuchungsgebietes ist südlich des Cañonkopfes anzutreffen (vgl. auch NEHRING et al. 1987, Abb. 4.1).

In süd-westlicher Richtung weist das Wasser eine ähnliche Zusammensetzung auf, wie am Cañonkopf. Das ist durch den Transport infolge der Deckschichtdynamik vom Cañonkopf in südliche Richtung begründet.

Ein Vergleich der Temperatur-Salzgehalts-Kombination auf der Fläche $\sigma_{s,T,p} = 26,5$ mit der bei WILLENBRINCK (1982) angegebenen charakteristischen Geraden des SACW in der $T-S$ -Beziehung weist aus, daß sich in der Nähe des Cañonkopfes Wasser mit sehr hohem SACW-Gehalt befindet. Da dieses Wasser durch wärmeres und salzreicheres Mischwasser mit erniedrigtem SACW-Gehalt vom offenen Ozean abgetrennt wird, kann man den Schluß ziehen, daß das SACW nur durch den im Cañon begünstigten Vertikaltransport aus dem Unterstrombereich auf den Schelf gelangen konnte.

5. Schlußfolgerungen

Die untersuchte Situation in der Region des Nouakchott-Cañons im Frühjahr 1984 war dadurch gekennzeichnet, daß eine lokale Intensivierung des Kaltwasserauftriebs zu verzeichnen war. Aus der Tatsache, daß die mesoskale Auftriebsituation zu diesem Zeitraum nach WOLF (1987) mit ungefähr 80% der Auftriebsintensität relativ zum langjährigen Mittel des Monats März gekennzeichnet ist, leitet sich daraus die Fragestellung ab, ob auch zu auftriebsintensiveren Zeiten der Nouakchott-Cañon die Ursache lokal intensiver Auftriebszentren ist. Nach Untersuchungen PEDLOVSKYS (1974) mit einem stationären, linearen, geschichteten dreidimensionalen Modell resultiert aus der Zunahme der küstenparallelen Windkomponente, die einhergeht mit der Intensivierung des auftriebswichtigen ablandigen EKMAN-Deckschichttransports, eine Abnah-

me der Stromstärke des polwärts gerichteten Bodenstromes. Aus diesem Zusammenhang läßt sich ableiten, daß bei Zunahme des großräumigen Auftriebs der durch den Cañon örtlich intensivierte vertikale Wassertransport reduziert wird. Bei einer derartigen Situation wird eine geringere bzw. keine lokale Wirksamkeit des Cañons zu erwarten sein. Im Gegensatz dazu, sollte in auftriebsschwachen Situationen mit einem erhöhten Transport von kaltem, nährstoffreichem Wasser aus dem Unterstrombereich auf den Schelf im Cañonbereich zu rechnen sein. Daraus resultieren die Voraussetzungen für örtlich günstige biologische Entwicklungsbedingungen. Die hier erörterten prinzipiellen Wirkmechanismen sind in Zusammenhang mit Variationen der großräumigen Windfelder von mehreren Monaten zu sehen, dabei bleiben örtlich begrenzte, hochfrequenter Windfluktuationen unberücksichtigt.

Um im Zusammenhang mit dem generellen mesoskalen Auftriebsprozeß ein genaueres Bild über die dynamischen Prozesse im und an einem Cañon zu erhalten, ist ein „Einschiffprogramm“ nicht ausreichend (HAGEN et al. 1985). Neben dem von SHAFFER (1976) vorgeschlagenen Meßregime ist eine genaue Kenntnis der jahreszeitlichen Auftriebsituation, einschließlich mehrmonatiger Zeitreihen meteorologischer Parameter vor und nach dem Experiment aus der NW-afrikanischen Auftriebsregion, notwendig. Die einzelnen, nach Möglichkeit mehrere Forschungsschiffe sollten auf küstensenkrechten bzw. auf cañonachsenparallelen Schnitten Sondierungen aufnehmen, die in bestimmten Zeitabständen zu wiederholen sind. Achsenparallele Schnitte weisen den Vorteil gegenüber küstensenkrechten auf, daß in einfachster Weise die achsenparallelen und achsenkrechten internen Druckgradienten bestimmt werden können, erfordern aber eine stärkere Berücksichtigung der komplizierten Bodenstrukturen des Cañons während der Stationsarbeiten. Mit einem derartigen Datensatz wäre es möglich, die räumlichen und zeitlichen Variationen zu entkoppeln und somit ein tieferes Verständnis der Cañondynamik zu erarbeiten.

Literatur

- BARBER, R. T.; SMITH, R. L.: Coastal upwelling ecosystem. — In: Analysis of marine ecosystems, ed. by A. R. LONGHURST. — London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco: Academic Press 1981, pp. 31—68.
- FOMIN, L. M.: The dynamic method in oceanography. — Amsterdam—London—New York: Elsevier 1964, 212 pp.
- FREELAND, K. J.; DENMAN, K. L.: A topographically controlled upwelling center off southern Vancouver Island. — J. Mar. Res. **40** (1982) 4, 1069—1093.
- HAGEN, E.: Mesoscale upwelling variations off the West African coast. — In: Coastal Upwelling, Coastal and Estuarine Sciences 1, ed. by F. A. RICHARDS. — Amer. geophys. Union (1981), 72—78.
- HAGEN, E.; SCHEMAINDA, R.; MICHELCHEN, N.; POSTEL, L.; SCHULZ, S.: Zur küstensenkrechten Struktur des Kaltwasserauftriebs vor der Küste Namibias. — Geod. Geoph. Veröff., R. IV, H. 36 (1981), 99 S.
- HAGEN, E.; SCHEMAINDA, R.; MICHELCHEN, N.; ZAHN, W.; WOLF, G.; NEHRING, D.; BRENNING, U.: Quasistationäre Strukturen im Wasserauftrieb vor Mauretania im März/April 1983. — Geod. Geoph. Veröff., R. IV, H. 42 (1985), 1—64.
- HICKEY, B. M.: Axial Coherence In and Over Quinault Submarine Canyon. — In: Pollutant transport and sediment dispersal in the Washington—Oregon coastal zone. — Techn. Rep. Univ. Washington, Contrib. VIII. — Seattle, Washington, 1983, p. 24.
- KLINCK, J. M.; O'BRIEN, J. J.; SVENDSEN, H.: A simple Model of Fjord and Coastal Circulation Interaction. — J. Phys. Oceanogr. **11** (1981) 12, 1612 to 1626.
- MÖCKEL, F.: Die ozeanologische Meßkette OM-75, eine universelle Datenerfassungsanlage für Forschungsschiffe. — Beitr. Meereskd. **43** (1980), 5—14.
- NEHRING, D.; ZAHN, W.; GEORGI, F.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretania) auf ozeanolo-

gische Feldverteilungen im März 1984. — 4. Feldverteilungen ausgewählter ozeanologischer Größen. — Beitr. Meereskd. **57** (1987), 67—75.

- PEDLOVSKY, J.: Longshore Currents, Upwelling and Bottom Topography. — J. Phys. Oceanogr. **4** (1974) 2, 214—226.
- PORTER, G. H.; RATTRAY, M.: The influence of variable depth on steady zonal barotropic flow. — Dt. hydrogr. Z. **17** (1964) 4, 164—174.
- POSTEL, L.; ZAHN, W.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretania) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. — 1. Einführung und Meßprogramm. — Beitr. Meereskd. **57** (1987), 45—50.
- SHAFFER, G.: On the northwest African coastal upwelling system. — 1974. — Kiel, Inst. für Meereskunde der Christian-Albrecht-Univ., Diss., 178 S.
- SHAFFER, G.: On Quasi-Steady, Three Dimensional Coastal Upwelling Circulation. — Coastal Upwelling Ecosystem Analysis (CUEA) Newsletter **5** (1976) 1, 25—32.
- VEŘONIS, G.: On properties of seawater defined by temperature, salinity and pressure. — J. Mar. Res. **30** (1972), 227—255.
- WILLENBRINCK, E.: Analysis of Watermasses in the Tropical and Subtropical North-East Atlantic. — Ber. Inst. für Meereskunde Kiel **96** (1982), 1—72.
- WOLF, G.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretania) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. — 2. Nordostpassat und Auftriebsintensität. — Beitr. Meereskd. **57** (1987), 51—57.

Anschrift des Autors:

Dipl.-Phys. W. ZAHN

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Meereskunde

DDR-2530 Rostock-Warnemünde

Eingereicht: 29. April 1986

Zur Veröffentlichung angenommen: 10. Juni 1986

DIETWART NEHRING, WOLFGANG ZAHN, FRANK GEORGI

Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretania) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984

4. Feldverteilungen ausgewählter ozeanologischer Größen

Mit 10 Abbildungen und 1 Tabelle

Zusammenfassung: Die Oberflächenwerte der Wassertemperatur sowie des Phosphat- und Nitratgehaltes im Schelfgebiet vor Mauretania entsprachen im März 1984 den mittleren jahreszeitlichen Bedingungen. Der Nouakchott-Cañon bewirkte eine lokale Intensivierung des Kaltwasserauftriebs und die verstärkte Zufuhr von Südatlantischem Zentralwasser aus dem Unterstrombereich in die Deckschicht. Das Phytoplankton reagierte zeit- und ortsversetzt auf die damit verbundene Nährstoffzufuhr.

Abstract: In March 1984 the surface values of the water temperature and the phosphate and nitrate concentrations in the shelf area off Mauritania met the mean seasonal conditions. The Nouakchott-Canyon caused a local intensification of the upwelling process and the increasing transport of South Atlantic Central Water from the Undercurrent into the surface layer. The phytoplankton response to the nutrient input connecting with this process was displaced in time and space.

Резюме: Поверхностные величины температуры воды, фосфата и нитрата в области мавретанского шельфа в марте 1984 года соответствовали средним сезонным условиям. Подводный желоб в районе Нуакшота вызвал региональное усиление апвеллинга холодных вод и усиление притока югоатлантических центральных вод из подповерхностного течения в поверхностный слой. Реакция фитопланктона на повышение концентрации биогенных микроэлементов показала временную и пространственную пересадку.

stören und den Massenfeldaufbau zu modifizieren. Im vorliegenden Beitrag wird der Einfluß dieses Cañons auf die Feldverteilungen der Wassertemperatur und des Sauerstoffgehalts sowie der Nährstoffe Phosphat, Nitrat und Silikat untersucht. Neben diesen physikalischen und chemischen Größen werden auch die Fluoreszenz und das Chlorophyll a in die Betrachtungen einbezogen. Dabei wird das Hauptaugenmerk auf die euphotische Schicht gerichtet, weil hier als Reaktion auf den lokal modifizierten Kaltwasserauftrieb auch örtlich begrenzte Veränderungen des biologischen Produktionspotentials zu erwarten sind. Bei den nachfolgenden Untersuchungen wird ein quasistationäres Zeitverhalten vorausgesetzt (vgl. hierzu POSTEL, ZAHN 1987).

2. Feldverteilungen physikalischer und chemischer Größen

Angaben über die Gewinnung und Genauigkeit der verwendeten Temperatur- und Sauerstoffmeßwerte wurden von ZAHN (1987) gemacht. POSTEL und ZAHN (1987) behandelten die Gewinnung der Wasserproben zur Nährstoffbestimmung. Der Phosphat-, Nitrat- und Silikatgehalt wurde gemäß ROHDE und NEHRING (1979) analysiert, eine Fehlerabschätzung erfolgte bei HAGEN et al. (1985b).

2.1. Das Vorprogramm

Während des Vorprogramms, das der Charakterisierung der Auftriebssituation im März 1984 diente (POSTEL, ZAHN 1987), wurden an der Meeresoberfläche im Schelfgebiet vor Mauretania Wassertemperaturen zwischen

1. Einleitung

ZAHN (1987) zeigte am Beispiel des Nouakchott-Cañons, daß auch sehr kleinskalige Schelfeinschnitte in der Lage sind, den großräumigen internen Druckgradienten lokal zu

16,8 °C und 18,8 °C gemessen. Die Phosphat- und Nitratkonzentrationen lagen zwischen 0,6 und 1,2 $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ bzw. 3,5 und 13,9 $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$, wenn man von den niedrigen Werten in der flachen Schelfregion vor Nouakchott mit nur 0,3 $\mu\text{mol} \text{PO}_4^{3-} \cdot \text{dm}^{-3}$ und 1,4 $\mu\text{mol} \text{NO}_3^- \cdot \text{dm}^{-3}$ absieht.

Die Existenz quasistationärer Strukturen im Kaltwasserauftrieb, die bei früheren Untersuchungen nachgewiesen wurde (HAGEN et al. 1985a), konnte teilweise bestätigt werden. Während des Vorprogramms wurde darüber hinaus relativ kaltes, sauerstoffarmes Wasser mit höheren Nährstoffkonzentrationen beiderseits des Nouakchott-Cañons sowie südlich des Cap-Timiris-Cañons (18°45' N) festgestellt.

Die Oberflächenwerte der Wassertemperatur sowie des Phosphat- und Nitratgehalts, die im März 1984 während des Vorprogramms im Schelfgebiet vor Mauretania gemessen wurden, entsprachen denen früherer Untersuchungen zur gleichen Jahreszeit (SCHEMAINDA et al. 1985; NEHRING et al. 1975, HAGEN et al. 1985). WOLF (1987), der die Auftriebssituation in Abhängigkeit von den klimatologischen Bedingungen untersuchte, konnte ebenfalls zeigen, daß die Abweichungen im März 1984 im Bereich zwischenjähriger Variationen lagen.

2.2. Das Cañon-Programm

Zur Charakterisierung des Cañoneinflusses auf den Deckschichtbereich wurden die Feldverteilungen der untersuchten physikalischen und chemischen Größen an der Meeresoberfläche bzw. als Mittel zwischen Meeresoberfläche und 30 m Tiefe dargestellt. Abb. 1 zeigt, daß sich unter dem Einfluß der großräumigen Deckschichtdynamik kälteres Wasser vom Cañonkopf süd- bis südwestwärts ausbreitet. Es ist gegenüber dem Cañonumfeld, dessen Eigenschaften vorrangig durch den EKMAN-Auftrieb bestimmt werden, durch die 17,5°-Isotherme abgegrenzt. Da die Dichte im Untersuchungsgebiet entscheidend durch die Temperatur geprägt wird, zeigen die

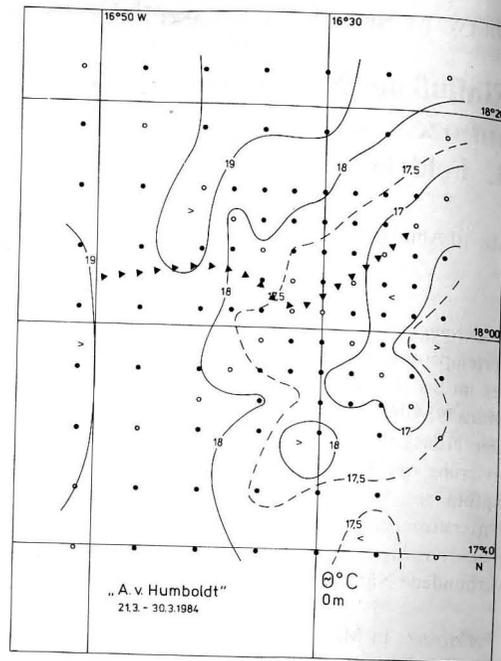


Abb. 1
Feldverteilung der Wassertemperatur im Deckschichtbereich des Nouakchott-Cañons (▶▶▶ Cañonachse)

Isopyknen einen ähnlichen Verlauf wie die Isothermen.

Die nährstoffreicheren und sauerstoffärmeren Wassermassen im Deckschichtbereich des Cañonkopfes sind von denen des Cañonumfeldes durch die Isolinien

$$\text{PO}_4^{3-} = 0,8 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3},$$

$$\text{NO}_3^- = 7 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3},$$

$$\text{SiO}_4^{4-} = 3 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ und}$$

$$\text{O}_2 = 5 \text{ cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$$

abgegrenzt (Abb. 2 bis 5). Abweichend von der Temperaturverteilung sind diese Wassermassen keilförmig und annähernd symmetrisch zur Cañonachse angeordnet. Ihre größte meridionale Ausdehnung erreicht in Höhe des Cañonkopfes 20 bis 25 Seemeilen. In Richtung Küste nehmen die Nährstoffkonzentrationen sprunghaft um den Faktor 4 bis 6 ab, während die Sauerstoffsättigung von 62 bis 92% auf 164% ansteigt. Die Isolinien verlaufen über dem Tiefenbereich von 50 bis

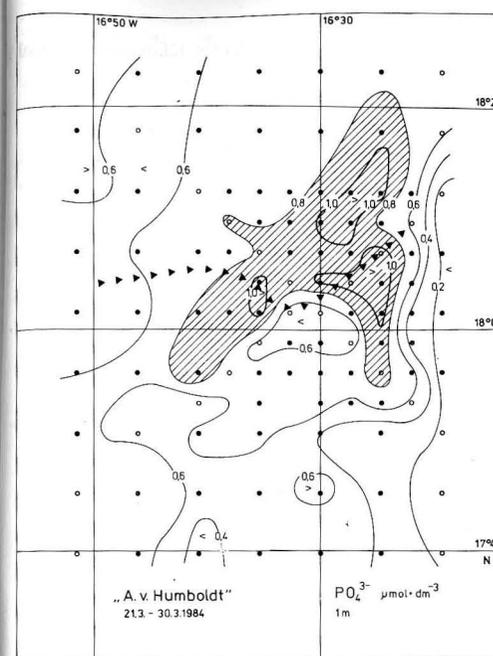


Tabelle 1

Mittelwerte im Deckschichtbereich des Cañonumfeldes (M_1) und des Cañonkopfes (M_2) (in Klammern Anzahl der Werte)

Parameter	Tiefe	M_1	M_2
θ in $^{\circ}\text{C}$	Oberfläche	$18,34 \pm 0,62$ (61)	$17,12 \pm 0,35$ (42)
PO_4^{3-} in $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	1 m	$0,55 \pm 0,18$ (77)	$0,97 \pm 0,10$ (25)
PO_4^{3-} in $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	0–30 m	$0,61 \pm 0,16$ (72)	$0,97 \pm 0,12$ (32)
NO_3^- in $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	0–30 m	$4,96 \pm 1,56$ (71)	$9,05 \pm 2,00$ (33)
SiO_4^{4-} in $\mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$	0–30 m	$1,94 \pm 1,35$ (72)	$3,57 \pm 1,09$ (29)
O_2 in $\text{cm}^3 \cdot \text{dm}^{-3}$	5 m	$5,88 \pm 0,85$ (74)	$4,50 \pm 0,37$ (21)

100 m nahezu isobathen- und küstenparallel. Im flachen Schelfbereich vor Nouakchott scheinen daher Wassermassen vorhanden zu sein, die sich in ihren chemischen, nicht jedoch in ihren physikalischen Eigenschaften deutlich von denen des Cañonkopfes sowie des Cañonumfeldes unterscheiden.

Auch in den Mittelwerten des Cañonumfeldes und des Cañonkopfes, deren Wassermassen durch die oben definierten Grenzkonzentrationen voneinander getrennt sind, spiegelt sich der Einfluß des Cañons auf den Deckschichtbereich deutlich wider. Die in Tab. 1 für beide Gebiete zusammengefaßten Mittelwerte ausgewählter physikalischer und chemischer Parameter unterscheiden sich signifikant ($p < 0,001$) voneinander.

Als Ergänzung zu den Feldverteilungen im Deckschichtbereich wurden für die Temperatur und den Phosphatgehalt Meridionalschnitte angefertigt (Abb. 6 und 7). Der Einfluß des Cañons auf die tieferen Wasserschichten wird nur in den Schnitten III und V sichtbar. Sie zeigen eine Aufwölbung der Isolinien unmittelbar über dem Trichter des Cañons. In Übereinstimmung damit treten hier die stärksten Störungen im Deckschichtbereich auf.

3. Feldverteilungen von Fluoreszenz und Chlorophyll a

Die In-situ-Fluoreszenz wurde mit einer „Variosen“-Sonde gemessen (Angaben in mV);

detaillierte Informationen über Bau und Funktion der Sonde sind bei STIENEN (1981) enthalten. Die Fluoreszenzmessungen erfolgten kontinuierlich bei allen Fier- und Hievserien von 0 bis 75 m Wassertiefe. Den vorgestellten Ergebnissen liegen die Hievserien zugrunde.

Der Chlorophyll-a-Gehalt (Chl a, Angaben in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) wurde nach Filtration von 2 dm^3 Meerwasser (Standardhorizonte 1, 10, 20, ..., 60 m) über Glasfaserfilter nach Azeton-Extraktion photometrisch bestimmt.

Für die Horizontalverteilungen beider Parameter wurden die Daten des 10-m-Horizontes ausgewählt, so daß stärkere Lichthemeffekte im unmittelbaren Oberflächenbereich weitgehend auszuschließen sind.

3.1. Das Vorprogramm

Fluoreszenzwerte von 87 bis 687 mV und Chl-a-Gehalte von <1 bis $18 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ belegen die große Variabilität im Schelfgebiet vor Mauretaniens. Bemerkenswert sind, wie auch später beim Cañonprogramm gezeigt wird, große Änderungen innerhalb weniger Seemeilen. Die Cañons, deren Lage aus dem Verlauf der 200-m-Isobathe ersichtlich ist, scheinen einen gewissen Einfluß auf die Verteilung der Fluoreszenz und des Chlorophylls auszuüben. Die niedrigsten Werte dieser Größen wurden als Folge frischeren Auftriebswassers jeweils südlich der topographischen Störung angetroffen. Am Nouakchott-Cañon wurde eine solche Feldverteilung nicht beobachtet, die Fluoreszenzwerte waren in diesem Gebiet lediglich durch eine größere

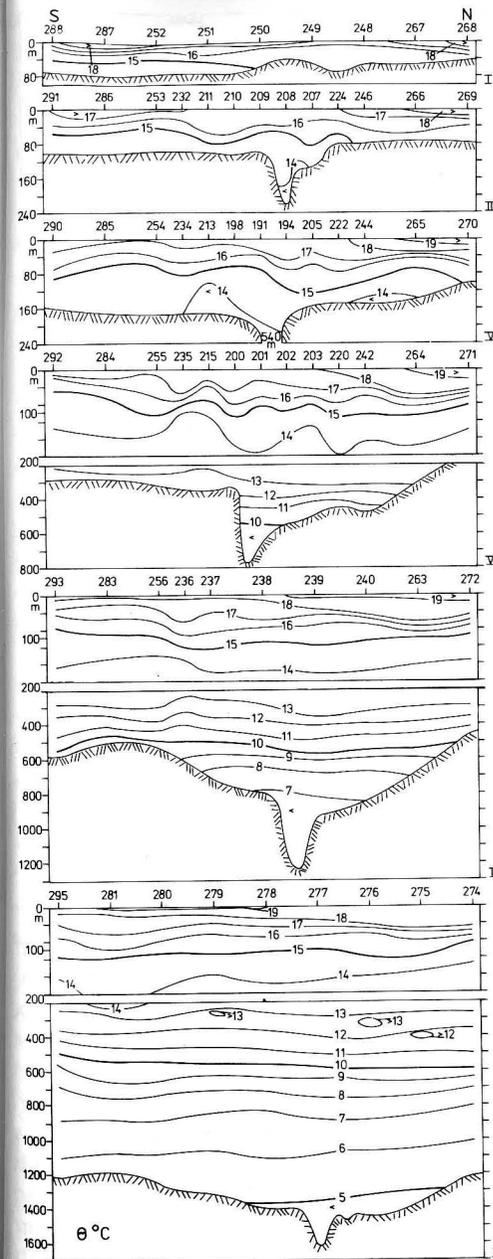


Abb. 6
Meridionalschnitte der Wassertemperatur im Gebiet des Nouakchott-Cañons

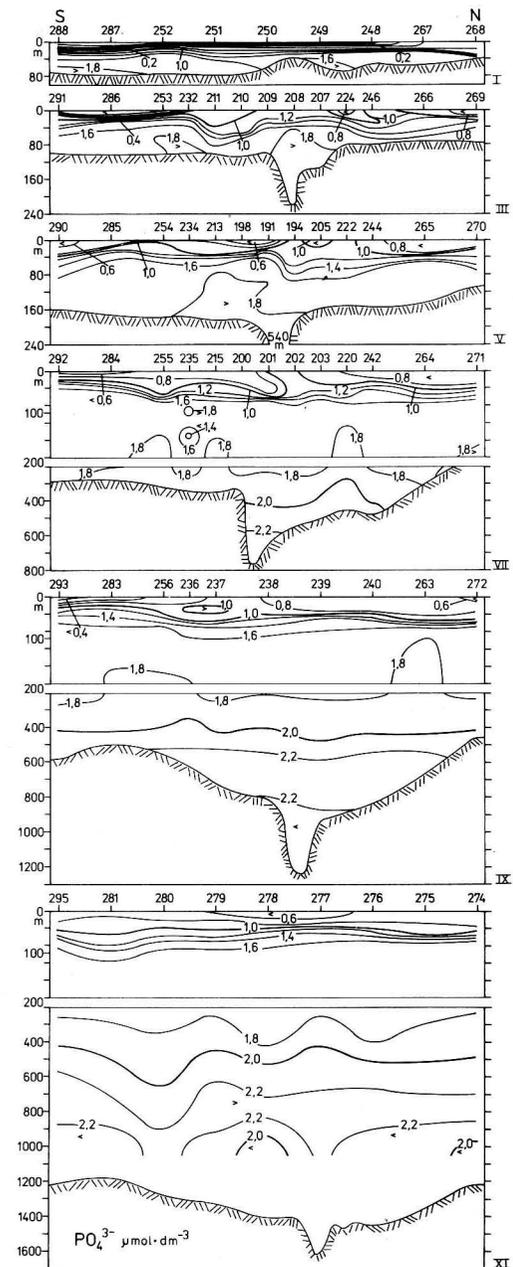


Abb. 7
Meridionalschnitte des Phosphatgehaltes im Gebiet des Nouakchott-Cañons

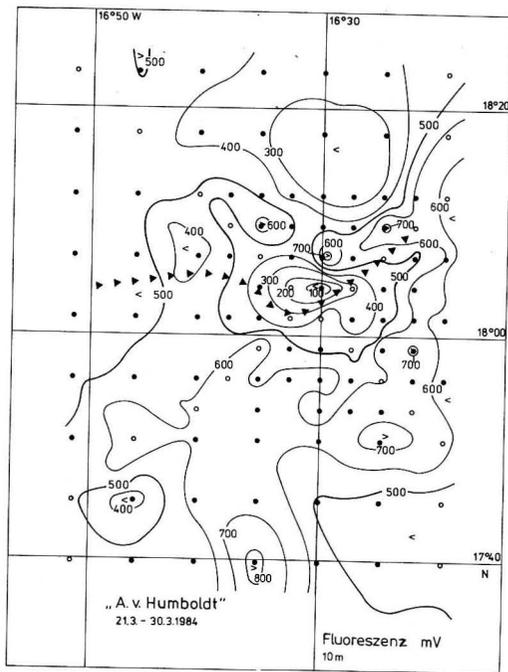


Abb. 8
Feldverteilung der Fluoreszenz im 10-m-Horizont des Nouakchott-Cañons (▶▶▶ Cañonachse)

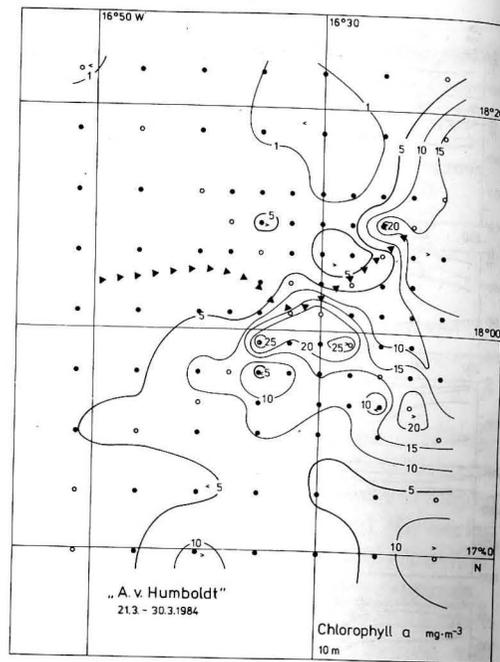


Abb. 9
Feldverteilung des Chlorophyll-a-Gehaltes im 10-m-Horizont des Nouakchott-Cañons (▶▶▶ Cañonachse)

Variabilität gekennzeichnet. Der Gang des Chl-a-Gehaltes zeigt eine gute Übereinstimmung mit der quantitativen Phytoplanktonanalyse (KÜHNER et al. 1987).

3.2. Das Cañon-Programm

Die Auswertung der Daten ergab im Gebiet des Nouakchott-Cañons eine deutliche Zunahme der Fluoreszenz (Abb. 8) und des Chl a (Abb. 9) von Nord nach Süd und von Ost nach West. Im Falle der Fluoreszenz wurden im nordwestlichen Teil zumeist Werte unter 500 mV gemessen. Im übrigen Untersuchungsgebiet lag die Fluoreszenz bis auf einige Ausnahmen über 500 mV und erreichte teilweise die Leistungsgrenze der „Variosen“-Sonde (etwa 800 mV). Die beträchtlichsten Änderungen ließen sich im Bereich des Cañonkopfes nordwestlich des Zentrums des untersuchten Gebietes feststellen, wo innerhalb

von 2,5 sm die Fluoreszenz von 27 auf 717 mV anstieg.

Das Fluoreszenzmuster in Abb. 8 deutet darauf hin, daß während der Untersuchungen ein Schub frischen Tiefenwassers bis in die Nähe der Wasseroberfläche gelangte, Fluoreszenzwerte < 100 mV belegen dies. Das ist auch aus der linsenförmigen Ausbreitung der Fluoreszenzgradienten bis zur 500-mV-Isolinie ersichtlich. Die über den 500-m- und 750-m-Tiefenlinien und am Cañonkopf zwischen 150 m und 200 m Tiefe auftretenden Gradienten wurden auch für die Mehrzahl der untersuchten biologischen und chemischen Parameter festgestellt.

Der Chl-a-Gehalt zeigt großräumig betrachtet eine ähnliche Verteilung wie die Fluoreszenz. Eine gute Übereinstimmung zwischen Fluoreszenz- und Chl-a-Gradienten ist im nordöstlichen Bereich küstenparallel zwischen der 50-m- und 100-m-Tiefenlinie

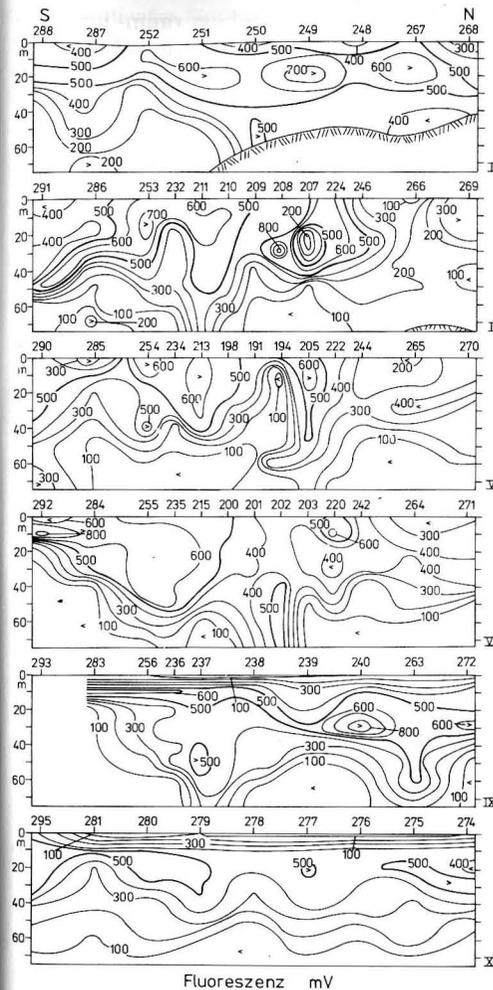


Abb. 10
Meridionalschnitte der Fluoreszenz im Gebiet des Nouakchott-Cañons

zu beobachten. Dies wird auch im Vergleich mit anderen Parametern (Nährstoffe, Phytoplankton) deutlich. Nahezu deckungsgleich verlaufen im nördlichsten Teil Bereiche geringer Fluoreszenz und extrem niedrigem Chl-a-Gehalt ($< 1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$). Auch zeigten die 500-mV-Isolinie und die $5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ -Isolinie des Chlorophylls im nördlichen Teil kongruentes Verhalten, südlich des Cañons ist dafür eine Deckung zwischen Fluoreszenz und der $1000 \text{ Ind.} \cdot \text{ml}^{-1}$ -Isolinie des Gesamtphytoplanktons (KÜHNER et al. 1987) feststellbar.

Der intensivierte Auftrieb wird im Schnitt V von Abb. 10 deutlich. Das belegt ein Wasserkörper mit niedriger Fluoreszenz (< 100 mV), der allerdings nicht unmittelbar bis zur Wasseroberfläche vorstößt, sondern zum Zeitpunkt der Messungen nur bis etwa in 5 m Tiefe verfolgt werden konnte. Auch die horizontale Ausbreitung dieses fluoreszenzarmen Wassers ist gering. Aus dieser Meridionaldarstellung werden darüber hinaus abrupte Änderungen im Cañonbereich sichtbar. Im Gegensatz dazu sind der küstennächste Schnitt (I) und der küstenfernste (XI) durch relativ ruhige Strukturen gekennzeichnet; letzterer zeigt die typisch abnehmende Fluoreszenz in seewärtiger Richtung.

4. Diskussion

Die Feldverteilungen der untersuchten ozeanologischen Größen zeigten, daß die großräumige Auftriebssituation während des Vorprogramms im März 1984 als normal eingeschätzt werden kann. Der Jahreszeit entsprechend (SCHEMAINDA et al. 1975) bedeckte Auftriebswasser, das durch den EKMAN-Auftrieb, lokal intensiviert durch topographische Störungen (HAGEN et al. 1985a), in den Deckschichtbereich gelangt war, das Schelfgebiet vor Mauretania.

Südatlantisches Zentralwasser (SACW), das durch den Unterstrom in 100 bis 300 m Tiefe polwärts transportiert wird (TOMCZAK 1973), ist vor allem durch relativ niedrige Temperaturen und Sauerstoffgehalte sowie durch erhöhte Nährstoffkonzentrationen gekennzeichnet (WILLENBRINCK 1982). Im Bereich des Nouakchott-Cañons zeichnete sich die verstärkte Zufuhr von SACW in die Deckschicht anhand der physikalischen und chemischen Feldverteilungen deutlich ab. Diese Beobachtung unterstützt die Annahme von ZAHN (1987), daß mit der topographischen Modifikation des Schelfprofils durch den Cañon intern eine lokale Störung des großräumigen meridionalen Druckgradienten und des Massenfeldaufbaus verbunden ist. Aus den veränderten Druckgegensätzen resultieren auf-

landige Kompensationsströmungen. Durch die Konvergenz an den Cañonhängen sowie durch die zunehmende Bedeutung der nicht-linearen Beschleunigungsterme infolge der Bodenreibung und der großen bodentopographischen Gradienten (ZAHN 1987) wird ein verstärkter aufwärts gerichteter Massentransport längs der Cañonachse induziert. Dieser Prozeß bewirkt, daß SACW aus dem Unterstrombereich am Cañonkopf in die Deckschicht eingespeist und der Kaltwasserauftrieb lokal intensiviert wird.

Darüber hinaus wirkt sich dieser Prozeß infolge des ablandigen, südwärts gerichteten EKMAN-Deckschichttransports auch auf das Cañonumfeld aus. Obwohl nach WOLF (1987) die Auftriebsintensität während des Experiments von ungefähr 80% auf 50% des langjährigen Monatsmittels im März zurückging, wurden gerade auf den zeitlich später bearbeiteten Stationen südlich des Cañons SACW-haltigeres Wasser (ZAHN 1987) und wie unten gezeigt wird, eine erhöhte Bioproduktivität (vgl. auch KÜHNER et al. 1987) registriert.

Die lokale Intensivierung des Kaltwasserauftriebs im Gebiet des Nouakchott-Cañons zeigt, daß auch kleinskalige Störungen im Schelfprofil zu örtlich begrenzten Veränderungen in der Feldverteilung ozeanologischer Größen führen können. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die starke Erhöhung des Phosphat-, Nitrat- und Silikatgehalts in der euphotischen Schicht, weil dadurch günstige Voraussetzungen für die Phytoplanktonentwicklung geschaffen werden.

Die Verteilungsmuster der Fluoreszenz- und Chlorophyll-a-Werte verhalten sich aufgrund der raum- und zeitversetzten Reaktion des Phytoplanktons invers zu den Feldverteilungen der Nährstoffe. Der lokal intensivierte Kaltwasserauftrieb im oberen Bereich des Nouakchott-Cañons verhindert die Entwicklung der Phytoplanktongemeinschaft. Hohe Fluoreszenz- und Chlorophyll-a-Werte sind dagegen im Küstenwasser sowie südlich des Cañons vorhanden. Diese Verteilung steht im Einklang mit der großräumigen

Deckschichtdynamik und der raum- und zeitversetzten Reaktion des Phytoplanktons auf den verstärkten Nährstoffeintrag durch den Cañon.

Die seewärtige Ausdehnung des lokal intensivierten Auftriebs wird durch die Dichteschichtung bestimmt, die den vertikalen Einfluß des Cañons begrenzt. Unterhalb der bei ZAHN (1987) diskutierten „Einflußweite“ H_B ist das Massengebiet nicht mehr in der Lage, die kleinskalige topographische Störung im Schelfprofil zu „spüren“. Der Cañon gewinnt erst dort Einfluß auf die ozeanologischen Feldverteilungen des Deckschichtbereiches, wo diese Größe die Meeresoberfläche erreicht. Die Aufwölbung der Isothermen und der Phosphatisolinien unmittelbar über dem Cañontrichter ist im Einklang damit auf die dargestellten Meridionalschnitte III und V beschränkt.

Die zonale Feldverteilung im Deckschichtbereich zeigt ferner, daß im flachen Schelfgebiet vor Nouakchott Wassermassen vorhanden sind, die sich in ihren chemischen und biologischen Eigenschaften deutlich von denen des Cañonkopfes sowie des Cañonumfeldes unterscheiden. Da die physikalischen Eigenschaften dieser Wassermassen einander ähnlich sind, ist keine Dichtefront vorhanden. Entsprechend dem großräumigen Massentransport in der küstennahen Deckschicht, der im Mittel äquatorwärts gerichtet ist, kann es sich um ehemals kälteres Auftriebswasser handeln, das auf seinem Wege nach Süden unter Erwärmung und Nährstoffverarmung bei gleichzeitiger Zunahme der Planktonbiomasse (vgl. auch HERBLAND, VOITURIEZ 1974; POSTEL 1987) einen Alterungsprozeß durchgemacht hat.

Literatur

- HAGEN, E.; SCHEMAINDA, R.; MICHELCHEN, N.; ZAHN, W.; WOLF, G.; NEHRING, D.; BRENNING, U.: Quasistationäre Strukturen im Wasserauftrieb vor Mauretania im März/April 1983. — Beitr. Meereskd. 54 (1985a), 19—31.
- HAGEN, E.; SCHEMAINDA, R.; MICHELCHEN, N.; ZAHN, W.; WOLF, G.; NEHRING, D.; BRENNING, U.:

Quasistationäre Strukturen im Wasserauftrieb vor Mauretania im März/April 1983. — Geod. Geoph. Veröff., R. IV, 42 (1985b), 1—64.

HERBLAND, A.; VOITURIEZ, B.: La production primaire dans l'upwelling de Mauretania en mars 1973. — Cah. ORSTOM, sér. Océanogr. 12 (1974), 187—201.

KÜHNER, E.; KELL, V.; KRÄMER, A.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretania) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 5. Struktur der Phytoplanktongemeinschaften. — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 77—83.

NEHRING, D.; SCHEMAINDA, R.; SCHULZ, S.: Beiträge der DDR zur Erforschung der küstennahen Wasserauftriebsprozesse im Ostteil des nördlichen Zentralatlantiks. Teil Vb: Das ozeanographische Beobachtungsmaterial der Meßfahrt vom 4. 2.—18. 4. 1973. — Geod. Geoph. Veröff., R. IV, 15 (1975), 1—52.

POSTEL, L.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretania) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 6. Zooplanktonbiomasse. — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 85—94.

POSTEL, L.; ZAHN, W.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretania) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 1. Einführung und Meßprogramm. — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 45—50.

ROHDE, K.-H.; NEHRING, D.: Ausgewählte Methoden zur Bestimmung von Inhaltsstoffen im Meer- und Brackwasser. — Geod. Geoph. Veröff., R. IV, 27 (1979), 1—68.

SCHEMAINDA, R.; NEHRING, D.; SCHULZ, S.: Ozeanologische Untersuchungen zum Produktionspotential der nordwestafrikanischen Auftriebsregion 1970

bis 1973. — Geod. Geoph. Veröff., R. IV, 16 (1975), 1—85.

STIENEN, CH.: Die Anwendung von optischen in situ Meßmethoden für produktionsbiologische Fragestellungen. — 1981. — Kiel, Univ., Inst. Meereskd., Diplomarb.

TOMCZAK, M.: An investigation into the occurrence and development of cold water patches in the upwelling region of NW-Africa. — „Meteor“-Forschungsergebnisse, R. A, 13 (1973), 1—42.

WILLENBRINCK, E.: Analysis of water masses in the tropical and subtropical north-east Atlantic. — Ber. Inst. Meereskd. Kiel 96 (1982), 1—72.

WOLF, G.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretania) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 2. Nordostpassat und Auftriebsintensität. — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 51—57.

ZAHN, W.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretania) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 3. Bodentopographie und Massengebietaufbau. — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 59—66.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. sc. D. NEHRING, Dipl.-Phys. W. ZAHN,
Dr. F. GEORGI
Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Meereskunde
DDR-2530 Rostock-Warnemünde

Eingereicht: 29. April 1986

Zur Veröffentlichung angenommen: 12. Juni 1986

EUGEN KÜHNER, VOLKBERT KELL, ANNETTE KRÄMER

Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanien) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984

5. Struktur der Phytoplanktongemeinschaften

Mit 4 Abbildungen

Zusammenfassung: Es wurden 114 Taxa gefunden. Darunter waren 79 Bacillariophyceae, 32 Dinophyceae, 2 Silicoflagellineae und 1 Coccolithineae. Die Verbreitung des Phytoplanktons ist verbunden mit dem Auftriebsgeschehen über dem Nouakchott-Cañon. Es zeigt sich deutlich die Tendenz, daß die Zahl der Diatomeen von Norden nach Süden und von Westen nach Osten zunimmt. Das Gebiet der maximalen Phytoplanktonentwicklung befindet sich im südöstlichen Sektor des Untersuchungsgebietes.

Abstract: 114 taxa have been identified. Among these were 79 Bacillariophyceae, 32 Dinophyceae, 2 Silicoflagellineae and 1 Coccolithineae. The distribution of the phytoplankton is connected with the upwelling above the Nouakchott submarine canyon. The tendency is clearly, that the number of diatoms increases from the North to the South and from the West to the East. The region of the greatest abundances was found in the South-East of the research area.

Резюме: Выявлено было 114 таксонов, среди которых оказалось 79 Bacillariophyceae, 32 Dinophyceae, 2 Silicoflagellineae и 1 Coccolithineae. Распределение фитопланктона связано в явлениями подъема глубинных вод над подводным желобом в районе Нуакшота. Очевидно, что количество диатомовых с севера до юга и с запада до востока увеличивается. Зона максимального развития фитопланктона находится в юго-восточном секторе исследуемого района.

1. Material und Methoden

Die Entnahme des Probenmaterials erfolgte mit der Sonde OM 75 des Instituts für Meereskunde Warnemünde. Diese Schöpfproben dienten gleichzeitig für Phytoplankton-, Chlorophyll- und Nährstoffuntersuchungen (vgl. auch POSTEL, ZAHN 1987). Zur qualitativen und quantitativen Untersuchung des Phytoplanktons wurden an der Wasseroberfläche und in 10 m Tiefe Proben entnommen und als Mischprobe in 250-ml-Glasflaschen abgefüllt. Das Fixieren dieser Phytoplanktonvollproben erfolgte mittels einer modifizierten konzentrierten Lugolschen Lösung, von der 8 bis 10 Tropfen pro Flasche genügten. Nach Beendigung der Forschungsreise wurden die Proben nochmals mit Lugolscher Lösung nachfixiert. Zur qualitativen und quantitativen Auswertung des Phytoplanktons diente ein umgekehrtes Mikroskop nach UTERMÖHL. Jeweils 50 ml wurden zur Sedimentation in Verbundkammern gegeben. Die Sedimentationszeit betrug mindestens 24 Stunden. Für die quantitativen Untersuchungen wurden die Individuen einer jeden Art auf einer Fläche von 25 mm², was einem Probevolumen von 2,5 ml entspricht, gezählt, was ausreichte, um von den dominanten Arten mehr als 100 Individuen zu erfassen und damit eine Genauigkeit von $\pm 20\%$ zu erreichen. Nähere Angaben zur quantitativen Phytoplanktonmethodik sind UTERMÖHL (1958) zu entnehmen.

2. Ergebnisse und Diskussion

2.1. Qualitative Untersuchungen

Artenliste

Chrysophyceae

Coccolithineae

Emiliana huxleyi (LOHM.) HAY et MOHLER
= *Gephyrocapsa huxleyi* (LOHM.) REINH.

Silicoflagellineae

Dictyocha fibula EHR.
D. speculum var. *septenarius* (EHR.) JOERG.

Bacillariophyceae

Centrales

Actinocyclus octonarius EHR.
Actinoptychus senarius (EHR.) EHR.
Bacteriastrum hyalinum LAUD.
Biddulphia aurita (LYNGB.) BREB.
B. mobiliensis (BAIL.) GRUN.
Cerataulina pelagica (CL.) HEND.
Chaetoceros affinis LAUD.
Ch. affinis var. *willei* (GRAN) HUST.
Ch. brevis SCHÜTT
Ch. cinctus GRAN
Ch. compressus LAUD.
Ch. constrictus GRAN
Ch. convolutus CASTR.
Ch. curvisetus CL.
Ch. danicus CL.
Ch. debilis CL.
Ch. decipiens CL.
Ch. densus CL.
Ch. didymus EHR.
Ch. didymus var. *anglica* (GRUN.) GRAN
Ch. diversus CL.
Ch. holsaticus SCHÜTT
Ch. gracilis SCHÜTT
Ch. lacinosus SCHÜTT
Ch. lorentzianus GRUN.
Ch. peruvianus BRIGHTW.
Ch. pseudocrinitus OSTENF.
Ch. rostratus LAUD.
Ch. teres CL.
Ch. wighamii BRIGHTW.
Corethron criophilum CASTR.
Coscinodiscus africanus JAN.
C. asteromphalus EHR.
C. anguste-lineatus A. SCHMIDT

Coscinodiscus gigas EHR.
C. granii GOUGH
C. nodulifer A. SCHMIDT
C. radiatus EHR.
Cyclotella striata (KÜTZ.) GRUN.
Dactyliosolen mediterraneus PARAG.
Ditylum brightwellii (WEST) GRUN.
Eucampia cornuta (CL.) GRUN.
E. zoodiacus EHR.
Guinardia flaccida (CASTR.) PERAG.
Hemiaulus hauckii GRUN.
H. sinensis GREV.
Leptocylindrus danicus CL.
Planktoniella sol (WALL.) SCHÜTT
Rhizosolenia alata BRIGHTW.
Rh. alata f. *gracillima* (CL.) GRAN
Rh. alata f. *indica* (PERAG.) GRAN
Rh. alata f. *inermis* (CASTR.) HUST.
Rh. delicatula CL.
Rh. fragilissima BERG.
Rh. hebetata f. *semispina* (HENS.) GRAN
Rh. imbricata BRIGHTW.
Rh. imbricata var. *shrubssolei* CL.
Rh. robusta NORM.
Rh. stouterfothii PERAG.
Roperia tessellata (ROP.) GRUN.
Skeletonema costatum (GREV.) CL.
Schroederella delicatula (PERAG.) PAVILL.
Stephanopyxis palmeriana (GREV.) GRUN.
St. turris (GREV. et ARN.) RALFS
Thalassiosira decipiens (GRUN.) JOERG.
Th. eccentrica (EHR.) CL.
Th. rotula MEUN.
Th. subtilis (OSTENF.) GRAN

Pennales

Asterionella japonica CL.
Cylindrotheca closterium (EHR.) REIM.
Nitzschia delicatissima CL.
N. kerguelensis (O'MEARA) HASLE
N. longissima (BREB.) RALFS
N. pacifica CUPP

Dinophyceae

Ceratium buceros ZACH.
C. buceros f. *molle* (KOF.) JOERG.
C. candelabrum f. *depressum* POUCHET
C. concilians JOERG.
C. furca (EHR.) CLAP et LACHM.
C. fusus var. *seta* (EHR.) JOERG.
C. gibberum GOURRET
C. gibberum f. *dispar* (POUCHET) JOERG.
C. lineatum (EHR.) CL.
C. hexacantum f. *spirale* GOURRET
C. longirostrum GOURRET
C. massiliensis (GOURRET) JOERG.
C. minutum JOERG.
C. trichoceros (EHR.) KOF.
C. tripos (O. F. MÜLLER) NITZSCH
Dinophysis acuminata CLAP. et LACHM.

2.2. Quantitative Ergebnisse

Eine Reihe von Autoren beschäftigte und beschäftigt sich mit den Fragen, welche Abhängigkeit zwischen Auftriebsgeschehen und Phytoplanktonentwicklung bestehen, welche Phytoplanktongemeinschaften sich entwickeln und wie diese charakterisiert sind. Bereits GRAN (1931), SVERDRUP et al. (1942) sowie SCHEMAINDA et al. (1971) bezeichnen eine genügende Stabilisierung der Wassermassen neben einer ausreichenden Nährstoffversorgung der euphotischen Schicht als entscheidende Voraussetzung für eine intensive Phytoplanktonentwicklung. KELL (1975) kommt zu der Feststellung, daß die günstigsten Voraussetzungen für die Entwicklung des Phytoplanktons im Auftriebsgebiet vor Nordwestafrika dann vorhanden sind, wenn jeweils ein Auftrieb von nährstoffreichem Wasser von einer Beruhigung der Wetterlage abgelöst wird, eine starke Phytoplanktonentwicklung nur bei einer relativen Stabilisierung

Nitzschia pungens var. *atlantica* CL.
N. seriata CL.
Thalassionema nitzschioides (GRUN.) GRUN.
Thalassiothrix frauenfeldii GRUN.
Th. mediterranea var. *pacifica* CUPP

Dinophysis caudata SAV. et KENT
D. ovum SCHÜTT
D. tripos GOURRET
Glenodinium lenticula (BERGH.) SCHILL.
Gyrodinium fusiforme KOF. et SWEZY
Oxytoxum scolopax STEIN
Peridinium brevipes STEIN
P. conicum (GRAN) OSTENF. et SCHMIDT
P. crassipes KOF.
P. depressum BAIL.
P. granii OSTENF.
P. pedunculatum SCHÜTT
P. pellucidum (BERGH.) SCHÜTT
P. subinermis PAULSEN
Prorocentrum micans EHR.
P. rotundatum SCHILL.

des Oberflächenwassers stattfindet. Nach Auswertung der Forschungsreisen der „Alexander von Humboldt“ in den Jahren 1971 bis 1972 stellen KÜHNER und KELL (1975) folgende Beziehungen zwischen Auftriebsgeschehen und Phytoplanktonentwicklung her:

1. Während einer andauernden Auftriebsphase finden nur die Gruppe der μ -Algen und andere sehr kleine Peridineen entsprechende Entwicklungsbedingungen.
2. Große Diatomeenpopulationen können sich im Anschluß an eine Auftriebsperiode in der Phase einer Stabilisierung des Wasserkörpers entwickeln. Besonders im Seegebiet vor Nouakchott wird die enge Beziehung zwischen Auftriebsgeschehen, nachfolgender Stabilisierung der Wassermassen und Entwicklung der Diatomeen deutlich. Hier wurden die weitaus höchsten Zellzahlen (bei einer deutlichen Dominanz der Diatomeen) des gesamten nw-afrikanischen Untersuchungsgebietes gefunden.

3. Gealterte Wasserkörper zeichnen sich durch einen großen Peridineenanteil bei fast völligem Verzehr der Nährstoffe aus.

MARGALEF (1978), der mehrere Auftriebsgebiete untersucht, weist insbesondere auf die Bedeutung der Turbulenz für das Artenspektrum und als Ursache ständigen Mischens potentiell getrennter Populationen hin. Der Autor beschreibt das Phytoplankton der Auftriebsgebiete als Aufeinanderfolge von Populationen, die sich rund um den Auftriebskern entwickeln und stellt folgendes Sukzessionsmodell auf:

1. Bei starkem Auftrieb kommt es zu einer rapiden Entwicklung relativ kleiner Zellen, wie *Thalassiosira*- und kleiner *Chaetoceros*-Zellen, also Zellen, die sich auf Grund ihres Oberflächen-Volumenverhältnisses sehr schnell teilen können. Sie sind an hohe Nährstoffkonzentrationen und starke Turbulenzen angepaßt.

2. Größere Zellen (z. B. *Rhizosolenia*- und große *Chaetoceros*-Arten), die bei schwächerem Auftrieb dominieren können, werden an die Peripherie des Auftriebsgebietes gedrängt. Sie können sich dort gut entwickeln, liegen allerdings nicht in großen Abundanzen vor.

3. Peridineen und andere Flagellaten entwickeln sich in großer Zahl rund um die Auftriebsplätze. Sie sind an geringe Nährstoffkonzentrationen angepaßt.

RICHERT (1975) stellt ein Transportmodell von gallertkolonienbildenden Diatomeen für das Auftriebsgebiet vor Kap Blanc auf. Danach bilden sich in jungem Auftriebswasser große Kolonien, die in süd- bis südwestliche Richtung verdriften. Während dieser Zeit (3–7 Tage) nehmen die Nährstoffe ab, und die Kolonien zerfallen, wodurch deren Sinkgeschwindigkeit erhöht wird. Absinkvorgänge des Wassers unterstützen den Transport in den Unterstrom. Dieser transportiert dann sowohl die Einzelzellen als auch die kurzen Zellketten über größere Entfernungen nord-

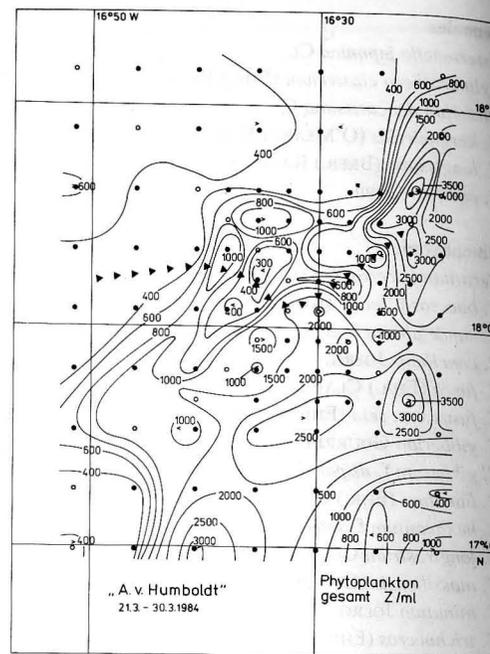


Abb. 1
Verteilung der Abundanzen des Gesamtphytoplanktons in der Deckschicht (▶▶▶ Cañonachse)

wärts bis die Diatomeen durch stärkere Vertikalbewegungen wieder in die euphotische Schicht aufgetrieben werden.

Unsere Untersuchungen ergaben, daß das Phytoplankton von Ost nach West und von Süd nach Nord abnimmt (vgl. Abb. 1). Das Gebiet maximaler Diatomeenabundanzen befindet sich demnach im SO-Sektor des Untersuchungsgebietes. Dieser Sektor ist gleichzeitig gekennzeichnet durch die niedrigen Temperatur- und Salzgehaltswerte. In diesem Gebiet dominieren *Thalassiosira decipiens*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia*- und kleine *Chaetoceros*-Arten. Diese Arten machen mehr als 94% der Gesamtzellzahl aus. Wir bezeichnen diese Vergesellschaftung als Diatomeengemeinschaft I. In weitaus geringeren Abundanzen sind zu finden: *Coscinosira* spp., *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides*, *Asterionella japonica*, *Cerataulina pelagica*, *Guinardia flaccida*, *Rhizosolenia* spp., *Eucampia* spp., *Hemiaulus* spp., *Ditylum brightwellii*, *Bacteriastrum hyalinum*, *Schroederella*

delicatula, *Thalassiosira rotula*, *Dactyliosolen mediterranea*, *Coscinodiscus* spp. und *Planktoniella* sol.

Um den Kern des Auftriebsgebietes (NW, NO, SW-Sektor) kommt es zu einer bedeutend geringeren Ausbildung des Diatomeenplanktons. Gleichzeitig treten die Peridineen verstärkt auf. Während einerseits die Temperatur und der Salzgehalt höher, der Nährstoffgehalt geringer sind als im SO-Sektor, hat sich auch die Artenzusammensetzung verändert. Es dominieren *Thalassiothrix mediterranea* var. *pacifica* und *Rhizosolenia imbricata* var. *shrubsolei* (Diatomeengemeinschaft II). Weiterhin kommen vor: große *Chaetoceros*-Arten (vor allem *Chaetoceros peruvianus* und *Chaetoceros convolutus*), *Rhizosolenia*-Arten (vor allem *Rh. stolterfothii* und *Rh. alata*), *Cerataulina pelagica*, *Guinardia*

flaccida. Mit nur äußerst geringer Zellzahl kommen auf einigen Stationen auch *Nitzschia*- und *Eucampia*-Arten sowie *Leptocylindrus danicus* vor. Auffallend ist, daß die dominierenden Diatomeenarten dieser Gemeinschaft eine im Rahmen der Zellgrößenvariation geringe Größe aufweisen. Eine Erklärung für diese Erscheinung könnte bei WIMPENNY (1966) zu finden sein, der die Größenvariationen bei *Rhizosolenia styliformis* untersuchte. Er stellte fest, daß in unvorteilhaften Gebieten (geringe Nährstoffmengen, hohe Temperaturen) größere Zellen, in Seegebieten mit erhöhten Nährstoffwerten dagegen kleinere Zellen mit einer höheren Wachstumsrate auftreten.

Die beiden Diatomeengemeinschaften, die im Untersuchungsgebiet auftreten, lassen sich folgendermaßen charakterisieren:

	Gemeinschaft I	Gemeinschaft II
dominante Arten	<i>Thalassiosira decipiens</i> <i>Leptocylindrus danicus</i> <i>Chaetoceros</i> spp. <i>Nitzschia</i> spp.	<i>Thalassiothrix</i> spp. <i>Rhizosolenia</i> spp.
Diatomeen gesamt (in Z · ml ⁻¹)	200–3300	< 500
Peridineen (in Z · ml ⁻¹)	< 200	100–500
Chlorophyll a (in mg · m ⁻³)	2–30	< 5
Salzgehalt (in ‰)	35,5–35,75	> 35,7
Temperatur (in °C)	16–18	> 17,5
NO ₃ ⁻ (in µmol · l ⁻¹)	0,4–13,4	4–7
SiO ₄ ⁴⁻ (in µmol · l ⁻¹)	0,4–6	0,4–2

Um einen Überblick über die großräumige Verteilung zu erhalten, summierten wir die Zellzahlen der dominierenden Arten der einzelnen Gemeinschaften für die Stationen eines jeden Sektors und bildeten den Mittelwert:

	Sektor			
	NW	NO	SW	SO
Diatomeengemeinschaft I	89,8	493,5	514,0	1345,6
Diatomeengemeinschaft II	107,3	54,0	33,3	6,7
Peridineen	212,8	144,3	143,8	64,2

Das Gebiet des SO-Sektors stellt sich deutlich als das Gebiet heraus, in dem die relativ kleinen Arten der Diatomeengemeinschaft I dominieren. Vertreter der Diatomeengemeinschaft II, z. B. *Thalassiothrix frauenfeldii*, *Th. mediterranea* var. *pacifica* kommen nur vereinzelt vor. Auch die Peridineen erreichen keine so großen Abundanzen wie in den übrigen Sektoren.

Völlig anders sieht das Bild im küstenfernen NW-Sektor aus. Es dominieren die Peridineen und die großen Diatomeen der Gemeinschaft II. Etwas verwischt sind die Verhältnisse in den NO- und SW-Sektoren. Um nicht nur das großräumige Geschehen, sondern

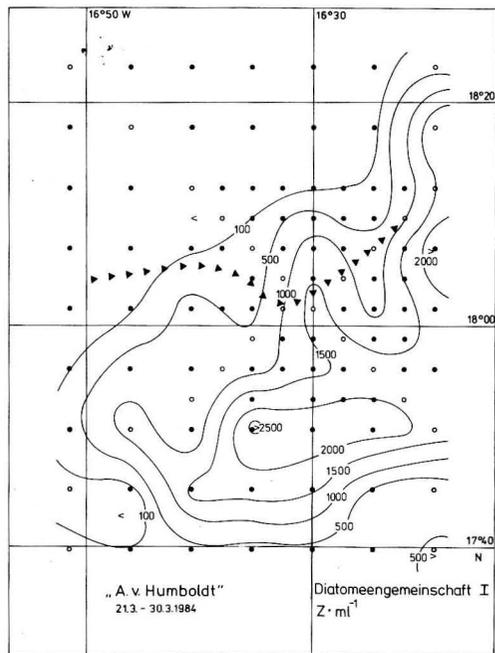


Abb. 2
Verteilung der Phytoplanktonabundanzen der Diatomeengemeinschaft I in der Deckschicht (▶▶▶ Cañonachse)

auch den Einfluß des Cañons und des Schelfs sichtbar zu machen, wird in den Verteilungskarten (Abb. 2, 3, 4) die Verteilung der drei im Untersuchungsgebiet dominierenden Phytoplanktongemeinschaften für das weitabständige Stationsnetz dargestellt. Zur Darstellung der Zellzahlen pro Milliliter werden für die Diatomeengemeinschaft I als typische Vertreter *Thalassiosira decipiens*, *Leptocylindrus danicus*, *Chaetoceros*- und *Nitzschia*-Arten herangezogen, für die Gemeinschaft II *Thalassiothrix frauenfeldii*, *Th. mediterranea* var. *pacifica* und *Rhizosolenia imbricata* var. *shrubsolei*. Es zeigt sich ein deutliches Maximum der Diatomeengemeinschaft I, verbunden mit einem Minimum der Peridineen und der Diatomeengemeinschaft II, auf den küstennahen Stationen und den Stationen südlich und südöstlich des Cañon. Den physikalischen und chemischen Werten ist zu entnehmen (NEHRING, ZAHN, GEORGI 1987), daß das

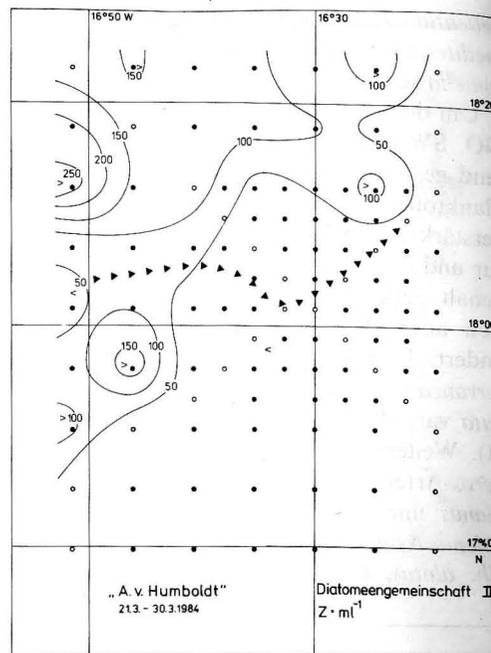


Abb. 3
Verteilung der Phytoplanktonabundanzen der Diatomeengemeinschaft II in der Deckschicht (▶▶▶ Cañonachse)

Abtriebswasser während seiner Süddrift über dem Cañon nochmals einen Schub aufquellenden Tiefenwassers erhält. Das aufquellende Tiefenwasser vermischt sich mit dem umgebenden Wasserkörper, was einerseits zu einer zusätzlichen Zufuhr von Nährstoffen, andererseits zu einer Ausdünnung des Phytoplanktons führt. Dieser Schub nährstoffreichen Tiefenwassers ermöglicht im Seegebiet südlich des Cañon eine reiche Phytoplanktonentwicklung der Gemeinschaft I, wie sie für Gebiete frisch aufgequollenen Tiefenwassers typisch ist.

Literatur

GRAN, H. H.: On the conditions for the production of phytoplankton in the sea. — Cons. Perm. Int. Explor. Mer. Rapp. et Proc. — Verb 75 (1931), 37—46.

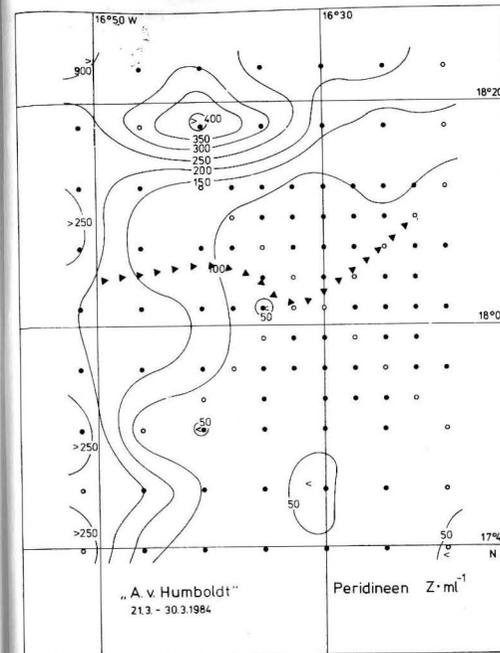


Abb. 4
Verteilung der Phytoplanktonabundanzen der Peridineengemeinschaft in der Deckschicht (▶▶▶ Cañonachse)

KELL, V.: Über die Durchführung quantitativer und qualitativer Untersuchungen am Phytoplankton des nördlichen Zentralatlantiks. — Forschungsber. Sect. Biol. Univ. Rostock 1975.

KÜHNER, E.; KELL, V.: Untersuchungen am Phytoplankton des nördlichen Zentralatlantiks. III. Phytoplanktonentwicklung in Abhängigkeit von den ozeanografischen Verhältnissen. — Wiss. Z. Univ. Rostock, Math.-nat. R. 23 (1975), 767—774.

MARGALEF, R.: Phytoplankton communities in upwelling areas. The example of NW-Africa. — Oecologia aquatica 3 (1978), 97—132.

POSTEL, L.; ZAHN, W.: Einfluß des Noukchott-Cañons (Mauretania) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. — 1. Einführung und Meßprogramm. — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 45—50.

NEHRING, D.; ZAHN, W.; GEORGI, F.: Einfluß des Noukchott-Cañons (Mauretania) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. — 4. Feldverteilungen ausgewählter ozeanologischer Größen. — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 67—75.

RICHERT, P.: Die räumliche Verteilung und zeitliche Entwicklung des Phytoplanktons mit besonderer Berücksichtigung der Diatomeen im NW-afrikanischen Auftriebswassergebiet. — 1975. — Kiel, Univ., Diss.

SCHEMAINDA, R.; NEHRING, D.; WOLF, G.; KAISER, W.: Weitere ozeanologische Untersuchungen im nördlichen Zentralatlantik unter besonderer Berücksichtigung der 2. atlantischen Expedition mit dem FS „Alexander von Humboldt“ vom 23. März bis 25. Juni 1971. — Unveröff. Ber. Inst. f. Meereskunde Warnemünde 1971.

SVERDRUP, H. U.; JOHNSON, M. W.; FLEMING, R. H.: The oceans: their physics, chemistry and general biology. — New York 1942.

UTERMÖHL, R.: Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. — Verh. int. Ver. Limnol. 9 (1958), 1—38.

WIMPENNY, R. S.: The size of diatoms. IV.: The cell diameter in *Rhizosolenia styliformis* var. *oceanica*. — J. mar. biol. Ass. U.K. 46 (1966), 541—546.

Anschrift der Autoren:
Dr. sc. nat. E. KÜHNER, Dr. rer. nat. V. KELL,
Dipl.-Biol. A. KRÄMER
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock
Sektion Biologie
Wissenschaftsbereich Spezielle Botanik
Doberaner Str. 143
DDR-2500 Rostock

Eingereicht: 29. April 1986
Zur Veröffentlichung angenommen: 18. Juni 1986

LUTZ POSTEL

Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanien) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984

6. Zooplanktonbiomasse

Mit 3 Abbildungen und 4 Tabellen

Zusammenfassung: Das Mesozooplankton-Trockengewicht von WP-2-Netzproben (UNESCO-Standard) aus dem mauretanischen Auftriebsgebiet entsprach im März 1984 der jahreszeitlichen Norm. Zentren lokal erhöhter Biomasse über dem Schelf lagen wie ein Jahr zuvor bei etwa 17°25' N, 18°00' N und 18°50' N. Der Cañon vor Nouakchott könnte als „Planktonfalle“ im Sinne von KOSLOW und OTA (1981) gewirkt haben. Die Biomasse verdoppelte sich in der 30-m-Deckschicht nachts im Vergleich zum Tagesmittel. Die Änderungen traten auf der Leeseite des Cañons innerhalb einer 10 m breiten Zone und Lottiefen von weniger als 500 m auf. Vergleichbare Erhöhungen wurden im Flachwasserbereich über ca. 40 m Tiefe festgestellt. Sie waren vermutlich das Ergebnis einer zeit- und ortsversetzten Reaktion auf die Aktivierung des Auftriebs in der nördlich gelegenen Cap-Timiris-Region.

Abstract: Mesozooplankton dry weight was measured after WP-2-net sampling (UNESCO standard) in Mauretanian upwelling waters in March 1984. Biomass amplitudes met the annual mean situation. Local increased values were on 17°25' N, 18°00' N and 18°50' N as one year before. The Nouakchott submarine canyon could be served as natural trap for migratory zooplankton mentioned by KOSLOW and OTA (1981). Biomass was doubled during night time in the surface layer inside of the next 10 n.m. under the canyon's lee and at smaller depths than 500 m. Comparable increasing of biomasses were detected in shallow areas at about 40 m depth. They were probable a result of dislocated biomass responds to intensive upwellings in the northern area off Cap Timiris.

Резюме: Сухой вес мезозoopланктона из проб сети WP 2 (стандартная сеть ЮНЕСКО) мавританской зоны апвеллинга в марте 1984 г. соответствовал норме сезона. Центры местной повышенной биомассы на шельфе находились как и год тому назад в районах 17°25' с.ш., 18°00' с.ш. и 18°50' с.ш. Нуакшоттский каньон действовал бы в качестве

„планктонной ловушки“ в смысле Козлова и Ота (1981). Ночью биомасса в слое до 30 метров от поверхности выросла в два раза по сравнению со светлым временем дня. Такие различия встречались в зоне шириной 10 м.м. и глубиной меньше 500 м в ножной стороне каньона. Сравнимые повышения наблюдались в зоне мелководья над глубинами около 40 м. Они являлись, по-видимому, результатом сдвига реакции по времени и месту на активизацию подъема глубинных вод в районе севернее мыса Тимирис.

1. Material und Methoden

Die Planktonproben stammen aus den küstennahen Untersuchungsgebieten zwischen 16° und 19° N und speziell dem etwa 40 × 30 m großen Umfeld eines Cañons vor Nouakchott (siehe POSTEL, ZAHN 1987, Abb. 1 und 2). Sie wurden im März 1984 mit einem WP-2-Netz (TRANter 1968) aus dem Epipelagial bis maximal 200 m Tiefe gewonnen. Vertikalholts integrierten das Mesozooplankton über zwei Tiefenstufen, der Deck- und der Tiefenschicht. Die Trennung beider Stufen richtete sich jeweils nach der Tiefenlage der Temperatursprungschicht. Damit sollte die mustererzeugende Wirkung interner Wellen gedämpft werden, die im Fall von Festhorizonten auftreten kann. Während die Deckschicht bei 43 m über dem mauretanischen Schelf im Mittel 28 ± 10 m betrug, verstärkte sie sich mit der seewärtigen Ausdehnung der Untersuchungen im Bereich des Nouakchott-Cañons bei insgesamt 98 Stationen auf 45 ± 15 m. Die Durchflußmenge wurde mit einem TSK-Flowmeter (Tsurumi-Seiki Kosakusho Co., Ltd.) re-

gistriert, die Tiefe durch ein Meterrad angezeigt und trigonometrisch korrigiert. Die mit Folsom-Teiler erzielte halbe Probe für quantitative Zwecke wurde anschließend mit Süßwasser gespült, bei einem Vakuum von etwa 50 kPa auf einer Netzgaze (0,2 mm Maschenweite) eingengt und bei -18°C tiefgefrostet. Ohne sie aufzutauen, schloß sich später die Gefriertrocknung bei 60°C (LOVEGROVE 1966) an. Für die Trockengewichtsbestimmung stand eine Mettler-Waage ME 22 zur Verfügung. Die Summe aller regelmäßigen Fehler betrug nach POSTEL (in Vorbereitung) -15%

und setzte sich zusammen aus der von vornherein nicht vollständig gewährleisteten Filtrierleistung des Netzes (-11%), der Spülung der Proben mit Süßwasser (-6%) und der Anwendung der Gefriertrocknung ($+2\%$). Der unregelmäßige Fehler betrug $\pm 21\%$ resultierend aus der Verwendung des Durchflußzählers ($\pm 2\%$), des Folsom-Teilers ($\pm 13\%$) und aus dem Beobachtungsfehler ($\pm 6\%$). Eine Korrektur um $+15\%$ wird nur in Tab. 1(b) zu Vergleichszwecken berücksichtigt.

Gemäß der Ausdehnung des Beobachtungs-

Tabelle 1

Grundlagen für den Vergleich der mittleren Zooplanktonbiomasse ($\overline{\text{ZPB}}$ in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) der Auftriebssaison 1973, 1974 und 1984 vor Nouakchott, Mauretanien

(a) Auftriebssaison 1973, 1974, $\Phi = 17^{\circ}50' \text{N}$; $\overline{\text{ZPB}}$ (regelmäßiger Fehler korrigiert)

(b) Cañonumfeld vom 21.—29. 3. 1984; $\overline{\text{ZPB}}$ (regelmäßiger Fehler korrigiert), mit Anzahl der Werte (N) und Standardabweichung (S.D.)

geographische Länge	Lottiefe (m)	Termin	Originaltiefenstufen (m)			an (b) angepaßte
			0—25	25—75	75—200	Tiefenstufen (m)
$16^{\circ}39' \text{W}$	455	III, 73	69	23	12	46
			106	51	35	78
		$\overline{\text{ZPB}}$		24	62	
$17^{\circ}00' \text{W}$	1000	III, 73	292	41	25	166
			304	69	10	187
		$\overline{\text{ZPB}}$		18	176	

Lottiefe H (m)	mittlere Tiefenstufe (m)		
	45—200	0—45	
$200 < H < 500$	N	17	17
	$\overline{\text{ZPB}}$	18	65
	S.D.	20	30
$1000 < H$	N	14	14
	$\overline{\text{ZPB}}$	11	111
	S.D.	4	63

ausschnittes ist im Umfeld des Nouakchott-Cañons als Trend die Planktonsuccession nach Auftrieb zu erwarten. Der zeitliche Meßabstand zwischen den Stationen erreichte Werte bis zu 48 Stunden. Aliasing ist von einem starken Signal mit kürzerer Periode zu erwarten. Während der Einfluß von Gezeiten, Trägheitsbewegungen etc. durch die Wahl variabler Tiefenhorizonte voraussichtlich gedämpft wurde, kommt dafür die tägliche Vertikalwanderung des Planktons in Frage.

Die Datenanalyse richtete sich vor allem auf den Vergleich von Mittelwerten (TAUBEN-

HEIM 1969), wobei die Ausgangswerte der jeweiligen Fragestellung entsprechend klassifiziert wurden.

2. Ergebnisse

2.1. Vergleich zu früheren Messungen

Die mittlere Zooplanktonbiomasse (ZPB) erreichte im März 1984 die jahreszeitliche Norm, wie sie aus vergleichbaren Messungen vom März 1973 und Mai 1974 im Untersuchungs-

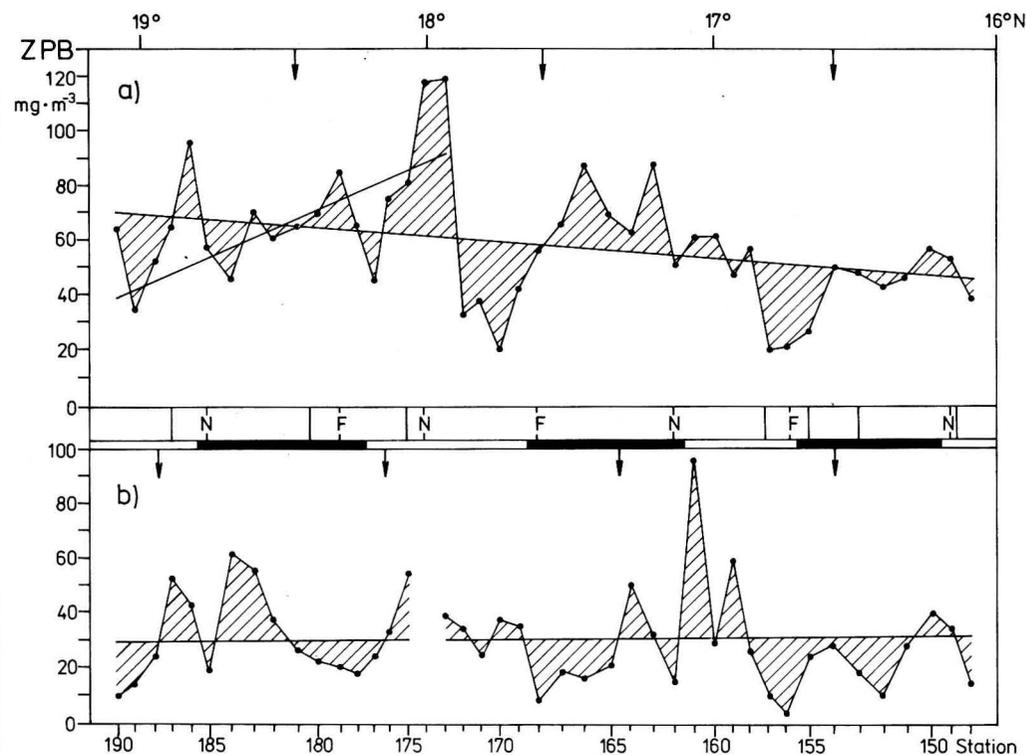


Abb. 1

Zooplanktonbiomasse (ZPB in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) der Deckschicht (a) und Tiefenschicht (b) auf den Stationen 148—190, zwischen 16° und 19°N , vom 15.—18. 3. 1984. Schraffiert sind die Abweichungen vom linearen Trend der gesamten Meßreihe. (a) enthält ferner den Trend zwischen Station 190 und 173. Zwischen (a) und (b) symbolisieren schwarz/weiße Felder den Nacht/Tag-Wechsel in der Probenentnahme (Nacht: 19.00—7.00 Uhr Ortszeit), N (nah) bzw. F (fern) die Eckpunkte des um 30 km senkrecht zur Küste pendelnden Schnittes sowie senkrechte Striche die Lage der markantesten Cañons. Pfeile an den oberen Kanten symbolisieren etwa die Wellenlänge der dem Trend überlagerten, dominanten Zooplanktonbiomasse-Variationen

gebiet bekannt ist (Tab. 1). In beiden Monaten liegt die Region im Bereich des EKMAN-Auftriebs (SCHEMAINDA et al. 1975). Gegenüber dem klimatologischen Mittel zeichneten sich 1973 und 1974 vor Mauretanien als Jahre mit normalen bzw. intensivierten Auftriebsgeschehen aus (MICHELCHEN 1985).

2.2. Lokal intensiverer Auftrieb zwischen 16° N und 19° N

Regelmäßigkeiten in den Biomassevariationen traten in der Meßreihe aus dem Schelfbereich zwischen 16° und 19° N deutlich in Erscheinung, nachdem durch lineare Regression eine Trendbestimmung vorgenommen wurde (Abb. 1). Während in der Deckschicht die Biomasse von Nord nach Süd von 71 auf 46 mg · m⁻³ abfällt ($p < 0,05$), fehlt diese Abnahme in der Tiefenschicht. Lokale Abweichungen vom Trend treten etwa im Abstand von 90 bis 100 km auf. Die geschätzten Wellenlängen der markantesten ZPB-Variationen sind jeweils aus den Abständen der Pfeile am oberen Rand der Abb. 1 zu entnehmen. Obwohl weder zwischen den Originaldaten, noch den enttrenteten Werten beider Schichten eine Korrelation gegeben ist, treten fast übereinstimmend Zentren lokal erhöhter ZPB auf. Sie liegen in 3 von 4 Fällen auf einer geographischen Breite, auf der ein Jahr zuvor ebenfalls überdurchschnittliche ZPB-Werte registriert wurden (HAGEN et al. 1986):

Deckschicht		Tiefenschicht	
1983	1984	1983	1984
18°50' N	18°50' N	18°50' N	18°50' N
18°00' N	18°00' N	18°10' N	18°00' N
17°10' N	17°25' N	17°30' N	17°10' N
—	16°10' N	—	16°10' N

Zwischen der Darstellung der Deck- bzw. Tiefenschicht in Abb. 1 sind auf einer Leiste als mögliche Ursachen, die Zeit der Probenentnahme (Tag bzw. Nacht) eingetragen, ferner die Eckpunkte des um 30 km senkrecht

zur Küste pendelnden Schnittes sowie die Positionen der ausgeprägtesten Cañons. Die lokalen, dem Trend überlagerten Biomassevariationen zeigen visuell keine Abhängigkeit zu einer bestimmten Tageszeit. Auch Mittelwerte aus den tags oder nachts gewonnenen Daten unterscheiden sich in beiden untersuchten Schichten statistisch nicht voneinander. Dagegen tritt im unteren Untersuchungshorizont die Küstenentfernung der Stationen als Probenentnahmeeffekt auf. In 5 von 7 Beispielen werden dort Maxima an der küstennächsten bzw. Minima an der küstenfernsten Station verzeichnet. Dieser Zustand ist in der Deckschicht in nur 2 von 7 Fällen anzutreffen. Ferner läßt sich oberhalb der Temperaturschicht in 4 von 7 Fällen eine Erhöhung der ZPB in der Nähe von Cañons registrieren. Die Peaks sind, gemäß dem äquatorwärts setzenden Massentransport (WOLF 1987), jeweils auf der Leeseite der

Tabelle 2

Mittlere Zooplanktonbiomasse (\overline{ZPB} in mg · m⁻³), einschließlich Anzahl der Werte (N) und Standardabweichung (S.D.) für

- (a) das Cañonumfeld vor Nouakchott (Stationen 169—172, 176—178, 180) am 17. 3. 1984,
 (b) das restliche Vorprogramm (Stationen 148—190, ohne die unter (a) genannten), vom 15.—18. 3. 1984 sowie
 (c) das Cañonumfeld (Stationen mit Lottiefen $H < 200$ m), vom 21.—29. 3. 1984

Klasse		Deckschicht	Tiefenschicht*
(a)	N	8	8
	\overline{ZPB}	48,50	28,38
	S.D.	19,47	7,15
(b)	N	35	34
	\overline{ZPB}	60,71	30,24
	S.D.	22,78	19,58
(c)	N	50	46
	\overline{ZPB}	85,62	41,22
	S.D.	48,66	22,60

topographischen Unebenheit zu verzeichnen (Abb. 1). Das gilt im wesentlichen für den Bereich von 18° bis 19° N. In der Tiefenschicht tritt diese Beobachtung bei 18°00' N und bei etwa 18°50' N ein.

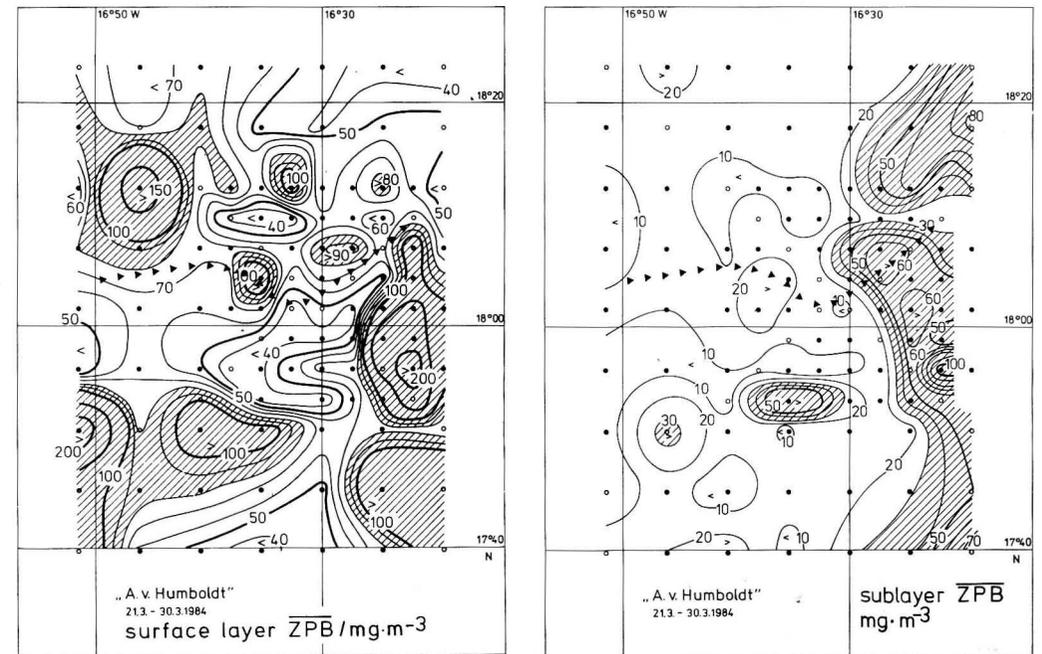
2.3. Nouakchott-Cañon

Das Umfeld des Cañons bei 18° N, auf den sich schließlich das Hauptaugenmerk der Untersuchungen konzentrierte, erstreckte sich von der Cañonachse aus gerechnet ca. 15 sm nach Norden und etwa 25 sm nach Süden. In der Zeit vom 15. bis 18. 3. 1984, dem Vorprogramm, blieb die mittlere ZPB in diesem Cañonumfeld geringfügig unter derjenigen im übrigen mauretanischen Schelf (Tab. 2). Das traf für die gesamte Wassersäule bis maximal 200 m Tiefe zu. Zur Zeit des Cañonprogramms, etwa 8 Tage später, stellte sich die Wetter- und Auftriebssituation um (WOLF

1987). Gleichzeitig stieg die ZPB in der Deckschicht des Cañonumfeldes fast um den Faktor 2 ($p < 0,05$), in der Tiefenschicht etwa um die Hälfte ($p < 0,2$).

Innerhalb des Cañonprogramms zeigen die mit Hilfe des Mittelwertes in Abb. 2 zentrierten Verteilungsmuster der Deckschicht einen Probeentnahmeeffekt. Es tritt eine Abhängigkeit zur Tageszeit auf und damit, wie der Vergleich mit Abb. 2 bei POSTEL und ZAHN (1987) veranschaulicht, zum Bearbeitungsmodus der Stationen. Der Effekt zeigt sich in der Nähe der Cañonachse deutlicher als im peripheren Bereich. Als Funktion der täglichen Bearbeitungszeit geben die Deckschichtdaten den Tag-Nacht-Rhythmus in Abb. 3 wieder.

Die Mittelwerte für bestimmte Intervalle der Lottiefen liegen in der Deckschicht tags visuell unter denen der Nacht (Tab. 3). In der Tiefenschicht sind die Verhältnisse bis 500 m Lottiefe umgekehrt, die Unterschiede ver-



a)

Abb. 2
 Horizontale Verteilungsmuster der Zooplanktonbiomasse in der Deck- (a) und Tiefenschicht (b) im Umfeld des Cañons vor Nouakchott

b)

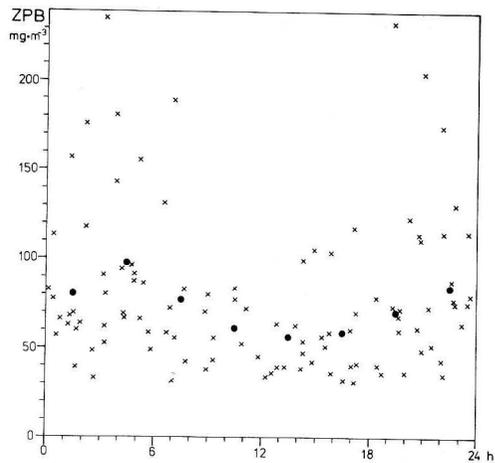


Abb. 3
Zooplanktonbiomasse-Deckschichtdaten im Umfeld des Cañons vor Nouakchott in Abhängigkeit zur täglichen Bearbeitungszeit. Punkte verkörpern 3stündige Mittelwerte

Tabelle 3
Mittlere Zooplanktonbiomasse (\overline{ZPB} in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$), Anzahl der Werte (N) und Standardabweichung (S.D.) für 5 Lottiefen-Intervalle, insgesamt sowie getrennt in Nacht (19.00–7.00 Uhr, Ortszeit) und Tag, für die Deck- und Tiefenschicht im Cañonumfeld vor Nouakchott, vom 21.–29. 3. 1984

Intervall der Lottiefe H (m)	Nacht		Tag			
	N	\overline{ZPB}	S.D.	N	\overline{ZPB}	S.D.
(a) Deckschicht						
$H \leq 100$	21	115,0	58,0	9	67,0	25,6
$100 < H \leq 200$	10	73,8	27,3	10	52,6	19,2
$200 < H \leq 500$	9	71,7	27,1	8	39,6	7,9
$500 < H \leq 1000$	16	74,2	24,3	7	62,4	21,4
$1000 < H$	8	115,1	62,4	6	70,8	30,8
(b) Tiefenschicht						
$H \leq 100$	21	48,2	21,5	6	56,0	22,4
$100 < H \leq 200$	9	24,6	18,5	10	32,6	17,9
$200 < H \leq 500$	9	11,3	5,1	8	20,1	24,6
$500 < H \leq 1000$	15	15,3	8,7	7	15,0	6,8
$1000 < H$	8	9,9	3,4	6	9,5	3,1

lieren sich seewärts vollständig. Statistisch lassen sich die Differenzen zwischen Tag und Nacht in der Deckschicht sichern, im Bereich mit Lottiefen unter 100 m mit $p < 0,05$ und zwischen 200 und 500 m mit $p < 0,01$.

Für die Tiefenschicht kommt sowohl in Abb. 2 als auch in Tab. 3 die Abnahme der ZPB mit zunehmender Küstenentfernung zum Ausdruck.

Im folgenden wurde innerhalb des Cañonumfeldes nach Abhängigkeiten der ZPB-Verteilung zur Entfernung der topographischen Störung gesucht. Dafür wurden die Daten klassifiziert in:

- einen Schelfbereich, mit Lottiefen unter 200 m,
- einen dem Schelf vorgelagerten Abschnitt sowie
- meridional in Zonen unterschiedlicher Entfernung zur Cañonachse, jeweils kleiner und größer als 10 sm nach Nord bzw. Süd.

Die Deckschichtdaten mußten infolge der beobachteten Abhängigkeit von der Tageszeit zusätzlich in Tag- bzw. Nachtwerte getrennt werden. Der Vergleichbarkeit halber wurde im Fall der Tiefenschichtdaten analog vorgefahren. Die Klassenmittelwerte enthält Tab. 4.

Die bisher auf Lottiefen von weniger als 100 m sowie den Bereich zwischen 200 und 500 m eingegrenzte Abhängigkeit der ZPB von der Tageszeit bleibt weiterhin auf die Deckschicht beschränkt. Meridional konzentrieren sich diese Unterschiede über dem Schelf auf den Bereich unmittelbar südlich der Cañonachse ($p < 0,05$), seewärts der Schelfkante werden sie nördlich davon wirksam ($p < 0,01$). In beiden Fällen verdoppelt sich etwa die Biomasse während der Nacht (Tab. 4).

Die tageszeitlich abhängigen Änderungen ziehen vornehmlich in der Deckschicht Abweichungen horizontaler Verteilungsmuster nach sich. Hier sind beispielsweise tags weder meridionale noch zonale Unterschiede in der ZPB einzelner Klassen feststellbar. Nachts hingegen verstärkt sich das Muster, entsprechend der Verteilung, wie sie in den Größen Temperatur, Nährstoff-, Chlorophyll-

Tabelle 4
Mittlere Zooplanktonbiomasse (\overline{ZPB} in $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$), Anzahl der Werte (N) und Standardabweichung (S.D.) für verschiedene Klassen im Cañonumfeld vor Nouakchott vom 21.–29. 3. 1984

Entfernung, meridional zur Cañonachse	Nacht			Tag								
	Lottiefe H			Lottiefe H								
	$H > 200$ m	$H \leq 200$ m		$H > 200$ m	$H \leq 200$ m							
	N	\overline{ZPB}	S.D.	N	\overline{ZPB}	S.D.	N	\overline{ZPB}	S.D.	N	\overline{ZPB}	S.D.
(a) Deckschicht												
> 10 sm nach N	5	73,4	11,5	2	39,5	4,9	3	66,0	19,3	3	41,3	11,7
< 10 sm nach N	10	83,1	23,3	7	71,0	16,2	6	49,3	18,2	2	56,5	21,9
< 10 sm nach S	9	53,2	15,3	10	126,1	50,7	6	50,3	10,2	5	62,4	26,6
> 10 sm nach S	8	110,9	52,7	8	123,2	67,0	5	73,0	38,9	5	74,6	21,8
(b) Tiefenschicht												
> 10 sm nach N	5	16,2	5,1	2	16,5	3,5	3	13,0	4,3	2	41,0	33,9
< 10 sm nach N	6	10,8	5,5	9	40,8	17,8	10	13,0	5,4	3	51,0	27,2
< 10 sm nach S	8	11,2	8,1	10	43,9	21,8	7	21,0	26,1	4	32,2	23,9
> 10 sm nach S	8	12,5	9,5	8	40,2	30,3	5	14,4	8,6	5	41,8	21,9

gehalt, Phytoplanktonabundanz etc. zu finden ist (NEHRING et al. 1987; KÜHNER et al. 1987).

In der Tiefenschicht dominiert nachts bis auf den am nördlichsten gelegenen Bereich ein zonaler Gradient ($p < 0,01$ bis $p < 0,05$), die Biomasse liegt über dem Schelf etwa um den Faktor 3–4 über den seewärts gelegenen Mittelwerten. Tags tritt dieser Unterschied unmittelbar nördlich der Cañonachse deutlicher in Erscheinung ($p < 0,001$) und verschwindet im weniger als 10 sm südlich gelegenen Abschnitt.

3. Diskussion

Die ZPB-Werte liegen im März 1984 vor Nouakchott in der jahreszeitlichen Norm.

Zwischen 16° N und 19° N lassen sich Zentren lokal erhöhter ZPB etwa auf Positionen feststellen, die sich bereits ein Jahr

zuvor als Regionen mit positiven ZPB-Anomalien und örtlich intensiviertem Auftrieb erkennen ließen (HAGEN et al. 1986). Ihre Ursache wurde in einem starken Abfall im küstensenkrechten Bodenprofil und einer daraus resultierenden erhöhten Wirbelaktivität gesehen. Die Tatsache der gleichfalls erhöhten ZPB wurde als Hinweis für die Stationarität solcher Zentren über die Reaktionszeit des Zooplanktons hinaus interpretiert (ebd.). Der regelmäßige, meridionale Abstand dieser Ereignisse von 90 bis 100 km macht andererseits auf eine Hypothese von IKEDA und EMERY (1984) als Erklärungsmöglichkeit aufmerksam. Sie begründet sich auf Satellitenbeobachtungen vor der nordwest-amerikanischen Küste und entsprechende Modellrechnungen. Demnach entstehen vor der Schelfkante infolge vertikaler Strömungsscherung gegenläufig rotierende Wirbelpaare. Das führt zum Meandrieren der Schelfkantenfront, die in der Regel neritisches und ozeanisches Wasser trennt.

Der Abstand dieser Meander beträgt etwa 80 km, ihre Lebensdauer einen Monat. Über diesen Zeitpunkt hinaus soll jeder zweite bevorzugt eine T-förmige Gestalt annehmen und mit seiner Streckung neritisches Wasser bis zu 200 km seewärts transportieren. Coastal Zone Color Scanner-Aufnahmen von STURM (1983) belegen für das Seegebiet nördlich von Cap Vert die Existenz von Meandern dieser Form.

Ein Einfluß der Probenentnahme, etwa die Abhängigkeit zur Tageszeit (Tag/Nacht) oder zur Küstenentfernung der Stationen, scheidet in der Deckschicht im allgemeinen aus. In der Tiefenschicht hingegen ist der Einfluß des Pendelkurses infolge genereller zonaler ZPB-Unterschiede (Abb. 2b) nicht auszuschließen.

Unter den Gegebenheiten des gleichermaßen vom EKMAN-Auftrieb erfaßten Schelfbereiches zwischen 16° N—19° N sollte der Meßreihe kein Trend aufgeprägt sein. Das trifft für die Tiefenschicht zu. In der Deckschicht bedeutet der von 19° N nach Süden fallende Trend (Abb. 1a) eine Intensivierung des Auftriebs und seiner Folgeerscheinungen im Nordteil des Gebietes. Der Temperatur, dem Nitrat- und Phosphatgehalt an der Oberfläche sowie dem Chlorophyllgehalt in 10 m Tiefe (NEHRING et al. 1987) nach zu urteilen, scheint ein derartiges Zentrum im Cañonbereich vor Cap Timiris zu liegen. Das steht im Einklang mit Ergebnissen von HERBLAND und VOITURIEZ (1974) vom März 1972 und 1973. Diesen Autoren zufolge schließt sich von dort aus eine äquatorwärts gerichtete Alterung des Auftriebswassers an. Sie erreicht vor Nouakchott das Stadium der Nährstoffverarmung und massiver Planktonentwicklung über der 40 m Isobathen. Auch während unserer Untersuchungen sind Nährstoffminima und Chlorophyllmaxima an dieser Position anzutreffen (NEHRING et al. 1987). Parallel dazu erhöht sich die ZPB zwischen 19° N und 18° N, wie der partielle Trend in Abb. 1a zeigt, um den Faktor 2, eine ebenfalls mit HERBLAND und VOITURIEZ (1974) vergleichbare Größenordnung.

Der Einfluß des Cañons vor Nouakchott bewirkte innerhalb des räumlichen und zeit-

lichen Beobachtungsausschnittes keine dauerhafte Erhöhung der ZPB. Das ergab der Vergleich der Mittelwerte aus dem Cañonumfeld mit denen des übrigen mauretanischen Schelfs. Änderungen im Bereich dieser topographischen Störung, wie sie mit einer Differenz von etwa 8 Tagen zu verzeichnen waren, gehen mit der zeitlich typischen Umstellung der Wetter- und Auftriebsituation (WOLF 1987), im sogenannten „event scale“ (WALSH et al. 1977), einher.

Im Cañonumfeld ließen sich Tag-Nacht-Unterschiede in der ZPB bis zu einer Lottiefe zwischen 200 und 500 m signifikant nachweisen. Vor der Schelfkante, im Bereich des polwärts setzenden Unterstromes (MITTELSTAEDT 1983), wurden sie unmittelbar nördlich der Cañonachse wirksam ($p < 0,01$). Über dem Schelf, im Bereich des ausschließlich äquatorwärts gerichteten Massentransportes, verdoppelte sich die Biomasse nachts, innerhalb der nächsten 10 m südlich der Cañonachse ($p < 0,05$). Die Begünstigung der täglichen Konzentrationsunterschiede des Zooplanktons durch den Nouakchott-Cañon wird durch das Ergebnis sehr wahrscheinlich, kann aber nicht für erwiesen angesehen werden. KOSLOW und OTA (1981) belegten durch gezielte Untersuchungen dieses Problems am Scripps-Cañon (Kalifornien) einen Mechanismus, den sie als „natürliche Planktonfalle“ bezeichneten. Danach sucht vertikal wanderndes Plankton am Tage innerhalb des Cañons den optimalen Lichthorizont auf und wird infolge der trichterförmigen Gestalt des Einschnittes konzentriert. Nachts verlagert sich diese Planktonkonzentration in oberflächennahe Schichten. Passiver Transport durch Wasserbewegungen parallel und senkrecht zur Cañonachse fördert den Vorgang.

KOSLOW und OTA (1981) führten ihre Untersuchungen mit der Absicht, die fischereilich bekannte Wirksamkeit von Cañons zu erklären. Für die Untersuchungen am Nouakchott-Cañon galt die gleiche Zielstellung (POSTEL, ZAHN 1987), nachdem Hinweise auf fangwürdige Konzentrationen pelagischer Fische im näheren Cañonumfeld von LAMBERT et al. (1983) vorlagen. Nach HOLZ-

LÖHNER (1987) wurden die stärksten akustischen Anzeigen über dem Schelf dort registriert, wo sich auf der Leeseite des Cañons die ZPB nachts verdoppelte. Es handelte sich um grundnahe, pelagische Fische, vornehmlich um die Schildmakrele *Trachurus trachurus*. Die hier vorliegende Zooplanktonfraktion widerspiegelt im Mittel 70% der Biomasse des Nahrungsspektrums dieser Fischart (POSTEL, in Vorbereitung). Damit wird ein direkter Zusammenhang zwischen Cañon, Vertikalwanderung des Zooplanktons und Konzentration pelagischer Fische wahrscheinlich.

Generell wird die Schwierigkeit deutlich, mit dem benutzten Untersuchungsmodus die Ursachen der ZPB-Variationen in einem derart komplexen Wirkungsgefüge sicher herauszufiltern.

Literatur

- HAGEN, E.; SCHEMAINDA, R.; MICHELCHEN, N.; ZAHN, W.; WOLF, G.; NEHRING, D.; BRENNING, U.: Quasistationäre Strukturen im Wasserauftrieb vor Mauretanien im März/April 1983. — Beitr. Meereskd. 54 (1986), 19—31.
- HERBLAND, A.; VOITURIEZ, B.: La production primaire dans l'upwelling mauritanien en mars 1973. — Cah. ORSTOM sér. Océanogr. 12 (1974) 3, 187—201.
- HOLZLÖHNER, S.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanien) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 7. Fischereibiologische Aspekte. — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 95—103.
- IKEDA, M.; EMERY, W. J.: Satellite observations and modeling of meanders in the California Current System off Oregon and Northern California. — J. Phys. Oceanogr. 14 (1984), 1434—1450.
- KOSLOW, J. A.; OTA, A.: The ecology of vertical migration in three common zooplankters in the La Jolla Bight, April—August, 1967. — Biol. Oceanogr. J. 1 (1981), 107—134.
- KÜHNER, E.; KELL, V.; KRÄMER, A.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanien) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 5. Struktur der Phytoplanktongemeinschaft. — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 77—83.
- LAMBERT, K.; GÖTZE, E.; BAST, H. D.; BERTH, U.; BLEIL, W.; DANKE, L.; WEISS, R.: Bericht über Forschungsprogramme von FFS „Eisbär“ (84. Reise), ROS 414 „Walter Barth“ und FS „A. v. Humboldt“ im Seegebiet vor Mauretanien vom 19. 2. bis 10. 4. 1983. — Unveröff. Ber. Inst. für Hochseefischerei u. Fischverarbeitung Rostock-Marienehe, 1983.
- LOVEGROVE, T.: The determination of dry weight of plankton and the effect of various factors on the values obtained. — In: Some contemporary studies in marine science, ed. by H. BARNES, pp. 462—467. — London: Allen and Unwin, 1966.
- MICHELCHEN, N.: About inter-annual coastal upwelling variations off NW-Africa with reference to changes of "Southern Oscillation". — Int. Symp. Upw. W. Afri., Inst. Inv. Pesq., Barcelona 1 (1985), 93—100.
- MITTELSTAEDT, E.: The upwelling area off Northwest Africa — A description of phenomena related to coastal upwelling. — Progr. Oceanogr. 12 (1983), 307—331.
- NEHRING, D.; ZAHN, W.; GEORGI, F.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanien) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 4. Feldverteilungen ausgewählter ozeanologischer Größen. — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 67—75.
- POSTEL, L.: Fein- bis makromaßstäbliche Verteilungsmuster der Zooplanktonbiomasse im nord- und südwestafrikanischen Auftriebsgebiet. — (in Vorbereitung).
- POSTEL, L.; ZAHN, W.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanien) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 1. Einführung und Meßprogramm. — Beitr. Meereskd. 57 (1987), 45—50.
- SCHEMAINDA, R.; NEHRING, D.; SCHULZ, S.: Ozeanologische Untersuchungen zum Produktionspotential der nordwestafrikanischen Auftriebsregion 1970 bis 1973. — Geod. Geoph. Veröff., R. IV 16 (1975), 1—88.
- STURM, B.: Selected topics of Coastal Zone Color Scanner (CZCS) data evaluation. — In: Remote sensing applications in marine science and technology, ed. by A. P. CRACKNELL, pp. 137—167. — Dordrecht, Boston, Lancaster: D. Reidel Publ. Co., 1983.
- TAUBENHEIM, J.: Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten. — Leipzig: Geest & Portig, 1969.
- TRANIER, D. H. (Ed.): Zooplankton sampling. — Paris: The UNESCO Press, 1968.

WALSH, J. J.; WHITLEDGE, T. E.; KELLEY, J. C.; HUNTSMAN, S. A.; PILLSBURY, R. O.: Further transition states of the Baja California upwelling ecosystems. — *Limnol. Oceanogr.* **22** (1977), 264—280.

WOLF, G.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanie) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 2. Nordostpassat und Auftriebsintensität. — *Beitr. Meereskd.* **57** (1987), 51—57.

Anschrift des Autors:
Dipl.-Biol. L. POSTEL
Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Meereskunde
DDR-2530 Rostock-Warnemünde

Eingereicht: 29. April 1986
Zur Veröffentlichung angenommen: 18. Juni 1986

SIEGHARD HOLZLÖHNER

Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanie) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984

7. Fischereibiologische Aspekte

Mit 3 Abbildungen und 4 Tabellen

Zusammenfassung: Die hydroakustischen Aufnahmen des mauretanieischen Schelfs zwischen 16 und 19° N vom 15. bis 18. 3. 1984 (Vorprogramm) und des Nouakchott-Cañons vom 21. bis 30. 3. 1984 (Cañonprogramm) wurden ausgewertet. Während des Vorprogramms traten die besten schwarmartigen Anzeigen am Cap-Timiris-Cañon und südlich des Nouakchott-Cañons bei ca. 30—100 m Wassertiefe auf. Im Gebiet des Nouakchott-Cañons standen die schwarmartigen Registrierungen südlich der Cañonachse über den 100- und 300-m-Isobathen in Grundnähe. Entsprechend den Vergleichen der Echogramme des FS „A. v. Humboldt“ und des Fangschiffes „Arnold Zweig“ sowie Bestandsanalysen auf dem Fischereifahrzeug wurden die Anzeigen im Gebiet des Nouakchott-Cañons hauptsächlich als 2jährige Exemplare der Schildmakrelenart *Trachurus trachurus* L. interpretiert. Die während des Vorprogramms auf dem Schelf in der Nähe der Cañons angetroffenen Anzeigen wurden nach analogen Vergleichen als *Trachurus trecae* CADENAT und teilweise als *Sardinella*-Arten angesehen.

Die hydroakustischen Ergebnisse sprechen für eine aktivierende Wirkung der Cañons auf die Bildung von Fischkonzentrationen. Die Südseite der Cañons wird bevorzugt besiedelt.

Abstract: The echo traces during the survey on the mauritanian shelf between 16 and 19° N from 15. to 18. 3. 1984 and during the detail programme round the Nouakchott submarine Canyon from 21. to 30. 3. 1984 were processed. During the survey the best fish echo traces were met in the region of Cap Timiris submarine Canyon and southerly of the Nouakchott submarine Canyon in water depths of about 30—100 m. In the region of Nouakchott-Canyon the best shoal indications were southerly of the canyonaxis above the isobaths of 100—300 m near the bottom. Comparing the echo traces of RV „A. v. Humboldt“ and of the fishing vessel „Arnold Zweig“ as well as the stock analyses on the factory trawler, the indications southerly of the Nouakchott-Canyon mainly were interpreted as two years old horse mackerel of the species *Trachurus trachurus* L. The indications registered on

the shelf near the canyons by analogous comparisons were interpreted as *Trachurus trecae* CADENAT and partly as species of the genus *Sardinella*.

The hydroacoustic results indicate an intensifying effect of the canyons in forming fish concentrations. The fish shoals prefer the southern side of the canyons.

Резюме: Были анализированы эхограммы НИС „А. фон Гумбольдт“, собранные во время съемки мавританского шельфа в период с 15 по 18 марта 1984 г. в районе от 16 до 19 с.ш. (предварительная программа), а также в течение детальной съемки нуакшотского подводного желоба в период с 21 по 30 марта 1984 г. (желобная программа). Наилучшие рыбные запасы во время предварительной программы встречались в районе м. Тимирис и южнее нуакшотского желоба на глубине 30 до 100 метров. В регионе нуакшотского желоба наилучшие косякообразные запасы находились южнее оси каньона в районе 100 метровой до 350 метровой изобаты вблизи грунта. Из сравнений эхограмм НИС „А. фон Гумбольдт“ с эхограммами промыслового судна „Арнольд Цвейг“, а также с анализами состояния запасов следует, что рыбные запасы в регионе нуакшотского желоба главным образом состоялись из двухлетних особей вида ставриды *Trachurus trachurus* L. Записи замеченные в предварительной программе на шельфе ближе желобов по аналогичным сравнениям были *T. trecae* CADENAT и частично виды рода *Sardinella*.

Гидроакустические результаты указывают на активизирующее действие каньона на образование рыбных скоплений. Стайки предпочитают южную каньона.

1. Methoden

Die schwarmartigen Registrierungen während der hydroakustischen Aufnahme mit FS „A. v. Humboldt“ im Vorprogramm und Cañonprogramm wurden zwecks Kartierung

(vgl. Abbildungen 2 und 3) in drei Intensitätsgrade eingeteilt:

Grad	Benennung	Definition (Anzahl strichartiger Strukturen pro Seemeile)
1	stark	>8
2	mittel	4—8
3	schwach	1—3

Neben den schwarmartigen traten fast über die Gesamtstrecke der Aufnahme im Vorprogramm und Cañonprogramm schichtartige Registrierungen auf, die wahrscheinlich Plankton bzw. mesopelagischen Fischen zuzuordnen sind.

Die Arteninterpretation der hydroakustischen Anzeigen erfolgte nach der Form und Tiefenlage in Verbindung mit den Fang/Echogramm-Vergleichen, die vom Autor an Bord des Fangschiffes „Arnold Zweig“ kurz vor der Aufnahme mit „A. v. Humboldt“ vorgenommen worden waren. Dadurch war es auch möglich, die Echostrukturen der Hauptobjekte während des Cañonprogramms *Trachurus trachurus* L. und *Trichiurus lepturus* L., die oft stark aufgelockerte Schwärme darstellen, von den echten schichtartigen Registrierungen zu differenzieren.

Die Längenmessung an *T. lepturus* hat L_t (total length) und die an den anderen Arten L_f (fork length) zur Grundlage. Die Altersanalyse basiert bei den *Carangidae* auf Otolithen und bei den *Sardinella*-Arten auf Schuppen.

Die Reifegradsbestimmung der Gonaden erfolgte nach einem für Portionslaicher modifizierten 8stufigen Schlüssel:

Stadien	Definition
1	juvenil
2	Beginn der Erstreifung
3	erstmalige und in den Folgejahren wiederholte Reifeentwicklung der ersten Eiportion
4	
5	
6	laichend
7	eine bzw. weitere Portionen abgelaicht, noch Eier der Stadien 2—5 vorhanden
8	Ruhestadium

Die Magenfüllung wurde nach einem 5stufigen Schlüssel bestimmt:

Füllungsgrad	Definition
0	leer
1	etwa 1/4 gefüllt
2	etwa 1/2 gefüllt
3	vollständig gefüllt ohne Magenweite
4	vollständig gefüllt mit Magenweite

Die wissenschaftlichen Benennungen der Fischarten entsprechen denen im FAO-Schlüssel für den Ostzentralatlantik (FISCHER et al. 1981). Darüberhinaus wurden die DDR-Handelsnamen nach TGL 3361 benutzt (Anon. 1983). Letztere wurden durch in der Fischereipraxis gebräuchliche Zusätze zwecks Artbenennung ergänzt.

2. Ergebnisse

2.1. Ergebnisse zur Artenzusammensetzung, zur Bestandsstruktur und zum physiologischen Zustand der Hauptfischarten

Im März 1984 dominierte die Schildmakrelenart *Trachurus trachurus* in den Fängen der DDR-Schiffe vor Mauretania. Im Vergleich zum Vorjahr zeigte *T. trachurus* im Gegensatz zu den anderen Schildmakrelenarten einen starken Anstieg des mengenmäßigen Anteils. Eine beachtliche Fangerhöhung lag auch bei den *Sardinella*-Arten vor, insbesondere bei *S. maderensis* (HOLZLÖHNER 1983, 1984).

Die Schildmakrelenart *Trachurus trachurus* gehört zu den mediterranatlantischen Fischarten analog *Sardina pilchardus* (WALB.). Beide Arten dringen in der kalten Jahreszeit (Januar bis April) von Norden in das Seegebiet vor Mauretania ein, wandern jedoch kaum südlicher als bis 18° N. In den übrigen Monaten stehen die Hauptkonzentrationen vor Westsahara.

Tabelle 1

Artenzusammensetzung der Fänge vor Mauretania im März 1983 und 1984

Art	Anteil der Arten (in %)	
	1983	1984
<i>Carangidae</i>		
<i>Trachurus trachurus</i> L.		
(„Schwarze“ Schildmakrele)	6	29
<i>Trachurus trecae</i> CADENAT		
(„Schwarze“ Schildmakrele)	56	12
„ <i>Decapterus</i> “ <i>rhonchus</i> (GEOFFR.		
ST. HIL. („Gelbe“ Schildmakrele)	9	7
<i>Clupeidae</i>		
<i>Sardinella aurita</i> VAL.		
(„Runde“ Sardinelle)	20	24
<i>Sardinella maderensis</i> LOWE		
(„Flache“ Sardinelle)	2	18
<i>Scombridae</i>		
<i>Scomber japonicus</i> HOUTTUYN		
(Thunmakrele)	+	1
<i>Trichiuridae</i>		
<i>Trichiurus lepturus</i> L.		
(Degenfisch)	3	5
Andere Arten	4	4

Trachurus trecae ist dagegen südlicher orientiert und zeigt Analogien zu der auf Grund geringer Fänge vor Mauretania im I. Quartal hier nicht weiter behandelten *Scomber japonicus* HOUTTUYN (Thunmakrele). Die genannten Arten wandern in der kalten Jahreszeit in die Seegebiete von Südmauretania und Senegal/Guinea Bissau. In den Übergangsjahreszeiten stehen sie vor Mauretania und besiedelten in den wärmsten Monaten Juli bis Oktober vor allem das Seegebiet vor Westsahara.

Die *Sardinella*-Arten und „*Decapterus*“ *rhonchus* GEOFFR. ST. HIL. sind in der Regel noch südlicher als *Trachurus trecae* und *Scomber japonicus* verbreitet. Die kalten Monate verbringen sie meist südlich des mauretaniaischen Seegebietes, während sie in den übrigen Jahreszeiten hauptsächlich vor Mau-

retania anzutreffen sind. Über die saisonalen küstenparallelen Wanderungen von *Trichiurus lepturus* ist noch wenig bekannt.

Im März 1984 zeigte sich gegenüber dem Vergleichszeitraum des Vorjahres eine Abnahme der Längen bei allen pelagischen Hauptfischarten außer bei *T. lepturus* (HOLZLÖHNER 1983, 1984).

Analog dem Längenbild herrschten im März 1984 relativ junge Jahrgänge vor (HOLZLÖHNER, KLOXIN 1985; HOFFMANN 1986a, b).

Das dominierende Auftreten von *Trachurus trachurus* ist durch den starken Jahrgang von 1982 zu erklären.

Als Ausdruck des physiologischen Zustandes wurde der Reifegrad der Gonaden herangezogen. Obwohl im Gegensatz zu borealen Meeren in den tropisch-subtropischen Auftriebswassergebieten kein markanter Jahreszyklus der Reifeentwicklung vorliegt, bestehen doch Intensitätsunterschiede in der Laichtätigkeit. Laichportionen werden verstärkt in Phasen intensiven Wasserauftriebs abgelegt (JOHN 1982). Eine Besonderheit gegenüber borealen Seegebieten ist ferner, daß keine markante jahreszeitliche Differenzierung in Laich- und Weidekonzentrationen vorliegt. In Perioden intensiven Kaltwasserauftriebs fallen häufig sogar beide Konzentrationstypen zeitlich zusammen.

T. trachurus befand sich im März 1984 in einem hohen Reifezustand der Gonaden sowohl beim Laichen und zum Teil bereits in der abgelaichten Phase. Während im Vergleichszeitraum des Vorjahres Altbestand vorherrschte, handelte es sich 1984 um Erstlaicher.

Im Gegensatz zu *T. trachurus* befand sich *T. trecae* im Reifestadium 2 und hatte wahrscheinlich noch nie gelaicht. Hier zeigt sich ein auffälliger Unterschied zu der verwandten Art *T. trachurus*, die bei etwa gleichem Alter bereits im Laichprozeß stand. Der im Vergleichszeitraum von 1983 vorhandene Altbestand von *T. trecae* wies ähnlich wie der von *T. trachurus* hohe Reifegrade auf.

„*Decapterus*“ *rhonchus* zeigte analog dem Vorjahr einen mittleren Entwicklungszustand der Gonaden (nur Stadien 2 bis 4). *Sardinella*

im gleichen Tiefenbereich der Cañons lebenden adulten Exemplaren von *Trachurus trachurus* bestand, festgestellt.

2.2. Fischereiverlauf

Der Zeitraum vom 1. 1. bis 17. 4. 1984, der entsprechend der Artenzusammensetzung die kühle Jahreszeit vor Nordwestafrika repräsentiert, zeigte Variationen der Einheitsfanghöhe mit einer mittleren Amplitude von 4 Tagen ($\delta n - 1 = 1,4$). Es ergaben sich starke Unterschiede im Fang pro Fangtag mit wiederholt auftretenden Maxima zwischen 80 und 100 t sowie Minima von 10 t im Mittel der im Einsatz befindlichen 2 bis 3 Fang- und Verarbeitungsschiffe Typ III (3880 PS, ca. 2850 kW). Abbildung 1 enthält den Verlauf der Einheitsfänge für den ausgewählten Zeitraum vom 3. 3. bis 17. 4. 1984.

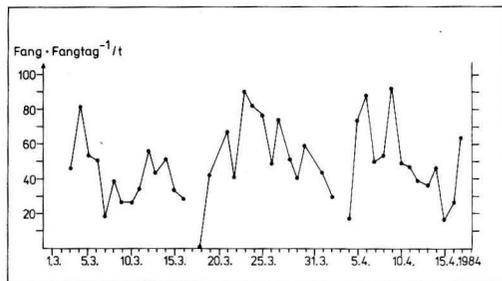


Abb. 1
Variation der Einheitsfänge während der Fischerei der DDR-Fang- und Verarbeitungsschiffe Typ III vor Mauretaniens 3. 3.—17. 4. 1984

Bis Mitte März war das Leitobjekt der Fischerei im wesentlichen der Nachwuchsjahrgang 1982 von *T. trachurus*. Hauptkonzentrationsgebiet waren die Hänge des Cap-Timiris-Cañons bei 18°45' N, wo tagsüber in Grundnähe bei Bodentiefen von 100 bis 200 m die besten Fänge erzielt wurden.

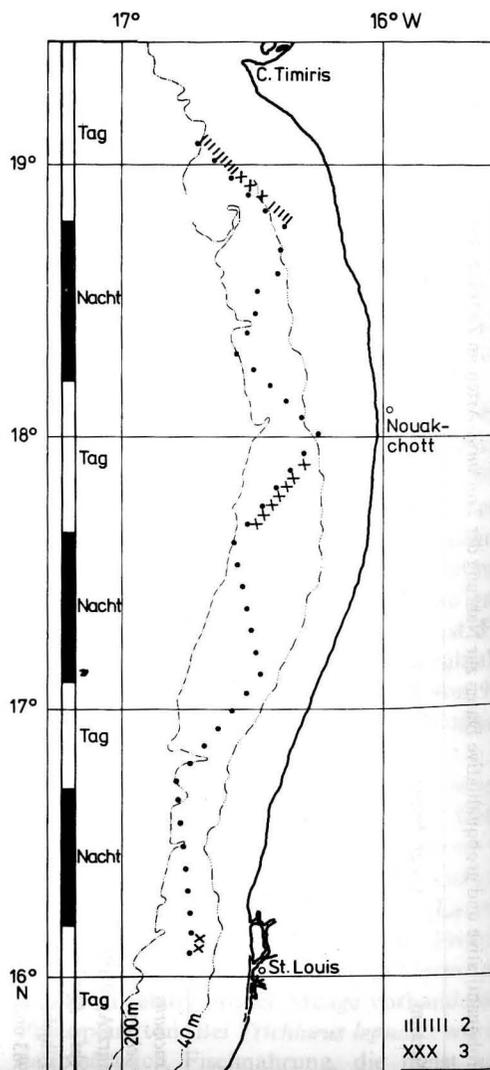
Nach Rückgang der Konzentrationen von *T. trachurus* ab zweite Märzhälfte, der wahrscheinlich mit dem Überschreiten des Höhepunkts des Laichens und Dekonzentrationsprozessen in Zusammenhang stand (vgl. Abschn. 2.1.), wurde im wesentlichen im Cap-Blanc-Gebiet nahe der Grenze zum Seegebiet

vor Westsahara auf *Sardinella aurita* und *Trachurus trecae* gefischt. Gelegentlich wurden auch die aus dem Seegebiet vor Westsahara eingewanderten Schwärme von *Sardinella pilchardus* genutzt.

2.3. Hydroakustische Ergebnisse

2.3.1. Ergebnisse auf dem Schelf zwischen 16 und 19° N (Vorprogramm)

Die besten Anzeigen auf dem Pendelkurs von 16 bis 19° N zwischen der 12-sm-Grenze und



der Schelfkante im Zeitraum vom 15. bis 18. 3. 1984 waren oberhalb Cap-Timiris-Cañon bei Wassertiefen von 30—100 m anzutreffen. Schwarmartige Anzeigen geringerer Intensität wurden noch bei 17°40'—17°50' N südöstlich des Nouakchott-Cañons bei Wassertiefen von 50—100 m gefunden.

Entsprechend der unter Abschnitt 1 genannten Methodik zur Anzeigeninterpretation sowie unter Beachtung der unter 2.1. und 2.2. enthaltenen Zusatzinformationen bestanden die schwarmartigen Registrierungen während des Vorprogramms meist aus *Trachurus trecae* und teilweise auch aus den beiden Arten der Gattung *Sardinella*.

2.3.2. Ergebnisse im Umfeld des Nouakchott-Cañon bei 18° N (Cañonprogramm)

Wie Abbildung 3 demonstriert, wurden sämtliche schwarmartigen Echoregistrierungen südlich der Cañonachse zwischen den Isobathen 100 und 200 m angetroffen. Innerhalb dieses Bereiches war eine Tendenz zur Zunahme der Anzeigenstärke mit der Tiefe festzustellen. Die registrierten Objekte standen meist in Grundnähe.

Wie oben gezeigt wurde, setzten sich die schwarmartigen Registrierungen während des Cañonprogramms hauptsächlich aus *Trachurus trachurus* und zum Teil aus *Trichiurus lepturus* zusammen.

Abb. 2

Hydroakustische Registrierungen von Fischschwärmen auf FS „A. v. Humboldt“ auf dem Pendelkurs über dem Schelf zwischen 16 und 19° N 15.—18. 3. 1984

2 — mittlere schwarmartige Anzeigen, 3 — schwache schwarmartige Anzeigen

Die mit 1 in Abb. 3 gekennzeichneten starken schwarmartigen Registrierungen des Cañons traten auf dem Schelf nicht auf.

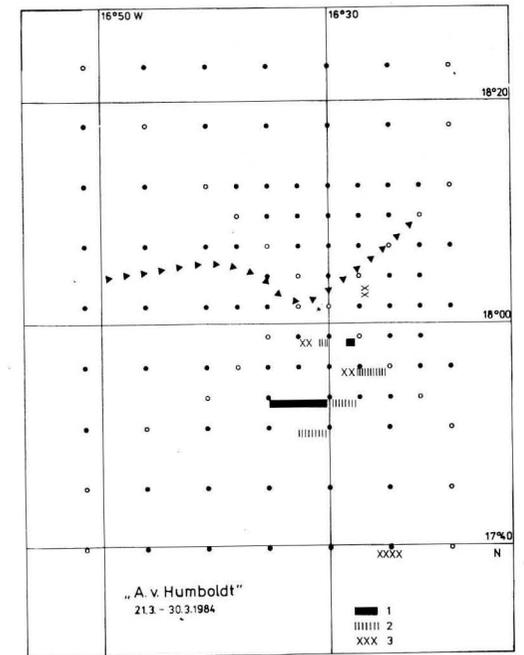


Abb. 3

Hydroakustische Registrierungen von Fischschwärmen am Nouakchott-Cañon während der Aufnahme mit FS „A. v. Humboldt“ 21.—30. 3. 1984
1 — starke schwarmartige Anzeigen, 2 — mittlere schwarmartige Anzeigen, 3 — schwache schwarmartige Anzeigen (▶▶▶ Cañonachse)

3. Diskussion

Die Arbeitsgebiete lagen innerhalb des für März typischen Bereichs mit Auftriebswasser und Konzentrationsbildung der Fangobjekte. Belegt wird diese Aussage von der ozeanologischen Seite durch die Analysen von SCHEMAINDA et al. (1975) und aus fischereilicher Sicht durch die Ergebnisse von HOLZLÖHNER und WEISS (1978), HOLZLÖHNER et al. (1983) sowie HOLZLÖHNER und KLOXIN (1982, 1985).

Im Untersuchungszeitraum war die Auftriebsintensität nach den meteorologischen Werten von WOLF (1987) etwa unterdurchschnittlich. Sie lag im Bereich der bisher vorliegenden zwischenjährlichen Variationen.

Nach den Ergebnissen von WOLF (1987), ZAHN (1987) sowie NEHRING et al. (1987) wird eingeschätzt, daß dem cañonbedingten Aufquellen von Südatlantischem Zentralwasser aus dem Unterstrom im Vergleich zum Emporsteigen dieser Wassermasse durch den EKMAN-Transport anteilige Bedeutung beige-messen werden kann.

Die Verteilung schwarmartiger Fischanzei-gen während des Vorprogramms (vgl. Abb. 2) ergab positive Beziehungen zur Verteilung der Zooplanktonbiomasse (POSTEL 1987). So-wohl die Zooplanktonbiomasse in der Deck-schicht als auch die Schwarmdichte der Fische zeigten einen Abfall von Nord nach Süd, wo-bei schwarmartige Anzeigen nur im Bereich des lokal intensivierten Kaltwasserauftriebs bei den Cañons südlich 19° N und südlich 18° N vorgefunden wurden.

Neben der überdurchschnittlichen Zoo-planktonbiomasse deuten auch die niedrigen Wassertemperaturen sowie der erhöhte Ni-trat- und Phosphatgehalt an der Meeresober-fläche und die Chlorophyllkonzentrationen in 10 m Tiefe (NEHRING et al. 1987) auf ein Zentrum intensivierten Wasserauftriebs im Bereich des Nouakchott-Cañons hin.

Die Pendelschnitte im Gebiet des Nouak-chott-Cañons, die während des Vorpro-gramms sein nordöstliches und südöstliches Vorfeld streiften, ergaben nur im südöstlichen Vorfeld schwarmartige Registrierungen (vgl. Abb. 2). Die Detailaufnahme des Nouakchott-Cañons und dessen Umfeld bestätigt dieses Ergebnis. Sämtliche während der Aufnahme angetroffenen schwarmartigen Registrierungen befanden sich südlich der Cañonachse. Die Zooplanktonbiomasse war hier im Ver-gleich mit dem Gebiet nördlich der Achse deutlich höher (POSTEL 1987).

Die Ergebnisse der hydroakustischen Auf-nahme mittels Echointegrator in Verbindung mit Kontrollhols des FFS „Eisbär“ und des Fangschiffes „Walter Barth“ im Vergleichs-zeitraum des Vorjahres erhärten die Aussagen des Vor- und Cañonprogramms 1984. Wäh-rend der Aufnahme vom 16. 3. bis 10. 4. 1983, die das mauretische Seegebiet zwischen 16°10' und 20°30' N sowie zwischen der 80-m-

Tiefenlinie und der 80-sm-Küstenabstands-linie umfaßte, wurden die besten Nutzfisch-vorkommen im Bereich 18°00' bis 18°30' N bei einer Wassertiefe von ca. 180 m, vorzugs-weise im Bereich cañonartiger Strukturen, festgestellt. Im Teilgebiet III der Aufnahme (18°10' bis 18°50' N) lag gegenüber den übrigen 4 Teilgebieten die Nutzfischbiomasse deutlich am höchsten. Von den 181,1 · 10³ t in der Summe der 5 Teilgebiete wurden 58,67 · 10³ t im Teilgebiet III ermittelt. In diesem Teilgebiet lag der Anteil von *Trachurus trachurus* bei 67% und der von *Trichiurus lepturus* bei 21% (LAMBERT et al. 1983).

Nach Analysen der artenmäßigen Zusam-mensetzung und Altersstruktur (vgl. Tabel-len 1 und 3) sowie der Einheitsfänge (HOLZ-LÖHNER 1983, 1984) sind Biomasse und rela-tiver Anteil von *Trachurus trachurus* im Früh-jahr 1984 gegenüber dem Vergleichszeitraum von 1983 noch angewachsen.

Aus den Ergebnissen von FREELAND und DENMAN (1982) über das Zusammenspiel des Kalifornienstromes und des Juan-de-Fuca-Cañon auf die räumliche Verbreitung der Seehechtkonzentrationen und -fischerei lassen sich Analogien zum System Kanaren-strom/Nouakchott-Cañon und dessen Einfluß auf die Schildmakrelenverteilung ableiten. In beiden Fällen konzentrierten sich die Nutzfische an der Leeseite der Cañons, also süd-lich der Cañonachse. Hier wird unter dem Einfluß der topographischen Störung ver-stärkt kaltes Tiefenwasser auf den Schelf transportiert und entsprechend der groß-räumigen Deckschichtdynamik südwärts ver-frachtet.

Nach dem Vergleich mit der Wassertem-peratur (NEHRING et al. 1987) lagen die Werte im Gebiet des Nouakchott-Cañons unmittel-bar in den von der Schildmakrelenart *Trachu-rus trachurus* sowie von *Trichiurus lepturus* besiedelten kälteren Bodenwasserkörpern bei 13,7 bis etwa 15 °C. Die Temperaturen an der Meeresoberfläche direkt über den Fisch-konzentrationen betragen 16,5–17,8 °C. Diese relativ niedrigen Temperaturen sind die Folge des lokal durch den Cañon inten-sivierten Kaltwasserauftriebs.

Literatur

- Anonymus: Seefische frisch, gekühlt oder gefroren. — DDR-Standard TGL 3361, Dezember 1983.
- FISCHER, W.; BIANCHI, G.; SCOTT, W. B. (Herausg.): FAO species identification sheets for fishery purposes. Eastern Central Atlantic; fishing areas 34, 47 (in part). — Canada Funds-in-Trust. Ottawa, Department of Fisheries and Oceans Canada, by arrangement with the FAO 1–7 (1981).
- FREELAND, H. J.; DENMAN, K. L.: A topographically controlled upwelling center off southern Vancouver Island. — J. Marine Res. **40** (1982) 4, 1069–1093.
- HOFFMANN, U.: Ergebnisse zu Untersuchungen an *Trachurus trachurus* (Linnaeus, 1758) vor Mauret-anien 1980 bis 1984. — Fischerei-Forschung **24** (1986a).
- HOFFMANN, U.: Ergebnisse zu Untersuchungen an *Decapterus rhonchus* (GEOFFROY SAINT-HILAIRE, 1817) vor Mauretanie 1980 bis 1984. — Fischerei-Forschung **24** (1986b).
- HOLZLÖHNER, S.; KLOXIN, G.: On the species composi-tion and length/age structure of important pelagic fish species off northwest Africa in 1981. — ICES C.M./H:55, 1982, 1–8.
- HOLZLÖHNER, S.: Fischereibiologische Untersuchun-gen auf Produktionsschiffen vor Mauretanie im Frühjahr 1983 und 1984. — Unveröff. Ber. Inst. für Hochseefischerei und Fischverarbeitung, 1983 und 1984.
- HOLZLÖHNER, S.; WEISS, R.: Fischereiforschung der DDR vor Nordwestafrika. — Seewirtschaft **10** (1978) 10, 508–509.
- HOLZLÖHNER, S.; KLOXIN, G.; PINGEL, CH.; HOFF-MANN, U.: On the species composition and length/age structure of the most important pelagic fish species off Mauritania in 1982. — ICES C.M./H:53, 1983, 1–12.
- HOLZLÖHNER, S.; KLOXIN, G.: Stock results of the important pelagic fish species off Mauretania in 1983 and 1984. — ICES C.M./H:72, 1985, 1–12.
- LAMBERT, K.; GÖTZE, E.; BAST, H. D.; BERTH, U.; BLEIL, W.; DANKE, L.; WEISS, R.: Bericht über die biologischen Forschungsprogramme von FFS „Eis-bär“ (84. Reise) und ROS 414 „Walter Barth“ im Seegebiet vor Mauretanie vom 19. 2. bis 11. 4. 1983. — Unveröff. Ber. Inst. für Hochseefischerei und Fischverarbeitung, 1983.
- JOHN, H. C.: Horizontal and vertical distribution of sardine and other fish larvae. — Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer **180** (1982), 359–364.
- NEHRING, D.; ZAHN, W.; GEORGI, F.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanie) auf ozeanolo-gische Feldverteilungen im März 1984. — 4. Feld-verteilungen ausgewählter ozeanologischer Größen. — Beitr. Meereskd. **57** (1987), 67–75.
- POSTEL, L.: Lokale Störungen der Bodentopographie und ozeanologische Feldverteilungen vor Mauret-anien. — 6. Zooplanktonbiomasse. — Beitr. Meereskd. **57** (1987), 85–94.
- SCHEMAINDA, R.; NEHRING, D.; SCHULZ, S.: Ozeano-logische Untersuchungen zum Produktionspoten-tial der nordwestafrikanischen Auftriebswasserre-gion 1970–1973. — Geod. Geophys. Veröff., R. IV, H. 16 (1975), S. 85.
- WOLF, G.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauret-anien) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. — 2. Nordost-Passat und Auftriebs-intensität. — Beitr. Meereskd. **57** (1987), 51–57.
- ZAHN, W.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauret-anien) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. — 3. Bodentopographie und Massen-feldaufbau. — Beitr. Meereskd. **57** (1987), 59–66.

Anschrift des Autors:

Dr. agr. S. HOLZLÖHNER
Institut für Hochseefischerei und
Fischverarbeitung
An der Jägerbäk 2
DDR-2510 Rostock-Marienehe

Eingereicht: 29. April 1986

Zur Veröffentlichung angenommen: 31. Mai 1986

HARTMUT PRANDKE, ADOLF STIPS, TORSTEN SEIFERT, DIETER LANGE, RUDOLF ENDLER

Zur Anwendung der digitalen Bildverarbeitung bei der Analyse von Sonaraufnahmen des Meeresbodens

In den von einem Echolot empfangenen Echos vom Meeresboden sind mehr Informationen enthalten, als aus der Aufzeichnung der Echos auf dem Echogramm zu entnehmen ist. Dies ist insbesondere durch die geringe Empfindlichkeit und den begrenzten Dynamikbereich des bei Echoloten üblicherweise angewendeten Registrierungsverfahrens (Funkenerosionsverfahren) bedingt. Bei der Analyse der Meeresbodenechos zur Untersuchung der Schichtung der Sedimente, insbesondere bei längeren Echolotprofilen, bietet sich daher die Anwendung von Verfahren der digitalen Bildverarbeitung an, wie sie vor allem für die geophysikalische Fernerkundung sowie für astrophysikalische Untersuchungen entwickelt wurden. Am Institut für Meereskunde der AdW der DDR wurden Untersuchungen durchgeführt, um diese Methode der Analyse von Echolotprofilen zu testen. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden im vorliegenden Artikel vorgestellt.

Zur digitalen Registrierung der Meeresbodenechos wurde ein kommerzielles Echolot mit einem Mikrorechner gekoppelt. Die vom Echolot empfangenen Einzelechos (10 pro Sekunde) wurden in einem konstanten zeitlichen Abstand abgetastet und digitalisiert, der Tiefenstufen von 10 cm (im Wasser) entspricht. Die in Schlickgebieten der Ostsee empfangenen Einzelechos zeigten in ihrem vertikalen Intensitätsverlauf sehr starke stochastische Schwankungen, so daß für ein repräsentatives gemittelt Echo ca. 50 Einzelechos registriert und gemittelt werden mußten. Für die akustische Aufnahme des Meeresbodens bedeutet das, daß jeweils für eine bestimmte Wegstrecke (Länge ist abhängig von der Schiffsgeschwindigkeit) ein mittleres Echoprofil registriert wird. Der zeitliche Abstand zwischen aufeinanderfolgenden Echoregistrierungen betrug bei den von uns durchgeführten akustischen Aufnahmen ca. 10 s, er läßt sich aber durch Optimierung der Software für den an das Echolot gekoppelten Mikrorechner auf einen Bruchteil dieses Wertes reduzieren. Die Erstellung pseudokolorierter Bilder der akustischen Aufnahmen erfolgte nach einer entspre-

chenden Aufbereitung der auf Digitalkassette vorliegenden Daten auf einem Bildverarbeitungssystem vom Typ robotron A 6471.

Für unsere Untersuchungen wurden mehrere akustische Aufnahmen des Meeresbodens in der westlichen Ostsee (Arkonabecken) durchgeführt. Der Meeresboden besteht hier aus mehrere Meter mächtigen Schlicksedimenten. Die Auswertung der akustischen Aufnahmen zeigte, daß die pseudokolorierten Darstellungen eine wesentlich bessere Auflösung spätglazialer und holozäner Schichtenkomplexe als die herkömmlichen Echolotaufnahmen ermöglichen. Regionale Fazieswechsel und Störungszonen im Schichtenverband lassen sich exakter erfassen. Sedimentpetrographische und stratigraphische Horizonte lassen sich wesentlich besser verfolgen und voneinander abgrenzen, wobei auch akustisch sehr schwache Reflektoren an Schichtgrenzen, die auf herkömmlichen Echolotaufnahmen nicht mehr sichtbar sind, deutlich hervortreten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß durch die Anwendung von digitalen Bildverarbeitungsverfahren hochauflösende akustische Abbildungen der Schichtungsstruktur des Meeresbodens gewonnen werden können, die einen breiteren Informationsgehalt als herkömmliche Echogramme aufweisen. Insbesondere bietet dieses Verfahren auch den Vorteil, die teure und zeitaufwendige geologische Probennahmetechnik zielgerichteter und effektiver einzusetzen und Schiffseinsatzzeit zu sparen.

Anschrift der Autoren:

Dr. sc. H. PRANDKE, Dipl.-Phys. A. STIPS,

Dr. T. SEIFERT, Prof. Dr. sc. D. LANGE,

Dipl.-Geol. R. ENDLER

Akademie der Wissenschaften der DDR

Institut für Meereskunde

DDR-2530 Rostock-Warnemünde

Eingereicht: 8. Januar 1987

Zur Veröffentlichung angenommen: 14. Januar 1987

KLAUS VOIGT

Bericht über ein Kolloquium zum 65. Geburtstag von Dr. RUDOLF SCHEMAINDA

Mit einem Sonderkolloquium würdigte im Oktober 1986 das Institut für Meereskunde den langjährigen Bereichsleiter und Stellvertretenden Direktor (1966 bis 1974), Dr. RUDOLF SCHEMAINDA, zu seinem 65. Geburtstag. Herzlich begrüßten zahlreiche Gäste und vor allem die langjährigen Mitarbeiter den Jubilar und diskutierten mit ihm Fortschrittsberichte zu neueren Forschungsergebnissen auf den von ihm über Jahrzehnte persönlich geleiteten Arbeitsrichtungen des Instituts (s. Vortragsfolge am Schluß dieser Mitteilung).

Hauptgegenstand meiner Laudatio war das beispielhafte Engagement des Jubilars für die Entwicklung der Meeresforschung der Deutschen Demokratischen Republik, das auch in der auf rund 60 angewachsenen Zahl international geschätzter Publikationen zum Ausdruck kommt. Im Jahre 1921 in Breslau (Wroclaw) geboren, studierte RUDOLF SCHEMAINDA, nach dem Überleben als Seemann und Matrose im zweiten Weltkrieg, an der Universität Halle von 1947 bis 1951 das Fach Geographie und erwarb die Lehramtsberechtigung. Sodann war er bis 1954 Dozent für Geographie an der Arbeiter- und Bauernfakultät der Hallenser Universität und promovierte 1955 zum Dr. rer. nat. mit der Arbeit „Die hydrographischen Veränderungen im Bornholmtief durch den großen Salzwassereinbruch im Dezember 1951“.

Professor Dr. ERNST NEEF (Leipzig, später Dresden) schrieb im Juni 1955 über seinen außerplanmäßigen Aspiranten: „... Herr SCHEMAINDA wird in diesen Wochen seine Arbeit abschließen. Ich bin sicher, daß es nur wenige Fälle geben dürfte, deren Abschluß so zufriedenstellend erscheint wie im vorliegenden Falle.“

Von 1955—1961 übernahm Dr. RUDOLF SCHEMAINDA die Leitung des ozeanographischen Laboratoriums im Institut für Hochseefischerei und Fischverarbeitung in Rostock-Marienehe. Sein damaliger Leiter, Dr. HERMANN RITZHAUPT, urteilte im Dezember 1960 über ihn: „... er ist ein außerordentlich begabter Wissenschaftler, der nicht nur enge ozeanographische Spezialkenntnisse besitzt, sondern darüberhinaus über ein breites Allgemeinwissen auf den verschiedensten naturwissenschaftlichen Gebieten und den Hilfswis-

senschaften verfügt. Seine Kenntnisse und Fähigkeiten im Erkennen der wesentlichen Zusammenhänge biologischer und hydrographischer Vorgänge ermöglichen es ihm, auf dem kürzesten Wege das Ziel der ihm gestellten Aufgaben zu erreichen“.

Ende 1961 übernahm Dr. RUDOLF SCHEMAINDA die Leitung verschiedener Struktureinheiten beim Aufbau des Instituts für Meereskunde der AdW der DDR. Als im Jahre 1965 nach Erreichen der Altersgrenze von Prof. Dr. ERICH BRUNS (1900—1978) mir die Leitung des Instituts übertragen wurde, unterstützte ich aus persönlicher Erfahrung voll und ganz die Empfehlung von ERICH BRUNS an die Akademieleitung, „... den für die Arbeit allgemein und speziell auf See zielbewußten und beseelten Wissenschaftler Dr. RUDOLF SCHEMAINDA wegen seiner Gründlichkeit, Zuverlässigkeit und größten Umsicht zu meinem Stellvertreter zu berufen“.

Aus der wissenschaftlich so fruchtbaren Forschungs- und Leitungstätigkeit von Dr. RUDOLF SCHEMAINDA beim weiteren Aufbau der Meeresforschung der DDR möchte ich hier nur an drei Höhepunkte erinnern, die durch den Einsatz seiner ganzen Person trotz komplizierter Bedingungen erfolgreich durchgeführt wurden. Von Oktober 1962 bis Januar 1963 leitete er die Arbeiten der DDR-Gruppe (mit Dr. H. J. BROSN und Dipl.-Ing. E. BENGELSDORFF) auf der 12. Expeditionenreise des UdSSR-Forschungsschiffes „Michail Lomonossow“.

Als Leiter der ersten ozeanographischen DDR-Expedition in den Golf von Guinea von April bis Juli 1964 mit dem Logger „Prof. A. Penck“ (36 m, 311 t) verstand er es, das junge Kollektiv von Seeleuten und Meereswissenschaftlern umsichtig für die praktische Durchführung und wissenschaftliche Auswertung zu begeistern. Eine neue große Aufgabe wurde ihm von Juli bis November 1970 mit der Leitung der ersten Atlantikexpedition auf dem Trawler „A. v. Humboldt“ (58 m, 1011 t) übertragen.

Im Mai 1971 erlitt Dr. RUDOLF SCHEMAINDA seinen ersten Herzinfarkt und mußte auf ärztlichen Rat zunächst die Expeditionstätigkeit einstellen. Nach weiteren schweren Erkrankungen trat er im Dezember 1980

in den Ruhestand. Seine Erfahrung und Kraft widmete er fortan dem wissenschaftlichen Nachwuchs als Betreuer und Ko-Autor, und er ist mir und allen Mitgliedern des Leitungskollektivs bis heute stets ein kollegialer Ratgeber.

Abschließend das Vortragsprogramm des von Prof. Dr. DIETWART NEHRING vorzüglich organisierten Sonder-Kolloquiums:

VOIGT, K.: Laudatio

VOIGT, K.: Beobachtungen und Ergebnisse aus dem tropischen Atlantik von Zeitgenossen JOHANN REINHOLD FORSTERS (1729–1798), auch eines Studenten und Hochschullehrers der Universität Halle
NEHRING, D.: Ist die Phosphatakkumulation im Tiefenwasser der zentralen Ostsee reversibel?
SCHULZ, S.: Zur Eutrophierung der Ostsee

BRÜGMANN, L., und K. H. ROHDE: Zur Verunreinigung der Ostsee

MICHELCHEN, N.: Anomale Jahre im küstennahen Wasserauftrieb des zentralen Ostatlantiks

KAISER, W.: Über raumzeitliche Variationen der Primärproduzenten vor Nordwest-Afrika

HAGEN, E.: Gibt es einen stationären Auftriebsunterstrom vor NW-Afrika?

ZAHN, W.: Zur Identifikation intermediärer Wassermassenausbreitung

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. sc. KLAUS VOIGT

Direktor

des Instituts für Meereskunde

der Akademie der Wissenschaften der DDR

DDR-2530 Rostock-Warnemünde



Dr. RUDOLF SCHEMAINDA

23. September 1921—18. April 1987

Nur wenige Monate nach dem zu seinem 65. Geburtstag veranstalteten Kolloquium verstarb unser langjähriger leitender Meereswissenschaftler. Seiner hervorragenden wissenschaftlichen Leistung und seines hohen persönlichen Einsatzes beim Aufbau der Meeresforschung in der Deutschen Demokratischen Republik werden wir stets ehrend gedenken.

Das Herausgeberkollektiv

WOLFGANG KAISER, INA-MARIE TOPP

Eine modifizierte „Schindler-Methode“ zur Bestimmung der Primärproduktion

Die Primärproduktion des Phytoplanktons wird heute vorwiegend mit der Radiokohlenstoff-Methode (^{14}C -Methode) bestimmt. Dabei werden die Planktonproben über Membranfilter filtriert und die Impulsraten der ^{14}C -markierten Algen dann mit einem Geiger-Müller-Zählrohr oder mittels der Flüssigkeitsszintillator-Technik bestimmt. Die Anwendung dieser Filtrationsmethode ist jedoch problematisch. Sie ist wegen der zahlreichen Fehlerquellen häufig kritisiert worden (STEEMANN-NIELSEN 1977, WASMUND 1982).

Als wichtigste Störquellen werden genannt:

- Ein Teil der Zellen kann durch den Filtrationsprozeß zerstört werden. Der Zellinhalt gelang dann ins Filtrat (ARTHUR, RIGLER 1967) und Zählausbeuten werden dadurch erniedrigt.
- Durch Eindringen von markiertem Zellmaterial in die Filter erfolgt ebenfalls eine Unterbestimmung der Primärproduktion (THEODORSSON 1975, GARGAS 1975).
- Bei hohen Biomassen kann es zu erheblichen Schichtdicken auf den Filtern kommen, was ebenfalls zu einer Unterbestimmung der Produktion führt (STRICKLAND, PARSONS 1966).
- Exkretiertes radioaktives Material kann auf den Filtern zurückgehalten werden (SCHINDLER et al. 1972). Dadurch wird dann die Höhe der Exkretion unterbestimmt.
- Ein Teil des nicht fixierten anorganischen $^{14}\text{CO}_2$ kann auf und in den Filtern haften bleiben (ALLEN 1971).
- Eine weitere Unterbestimmung der Primärproduktion kann durch Verlust von markiertem Material während der Trocknung und Aufbewahrung der Filter verursacht werden (WALLEN, GEEN 1968).

Um diese Nachteile zu umgehen, entwickelten SCHINDLER et al. (1972) eine Methodik, bei der der Filtrationsprozeß entfällt. Der Grundgedanke dabei ist folgender: Zu der mit $^{14}\text{CO}_2$ versetzten Planktonprobe wird nach beendeter Expositionszeit HCl gegeben und die Probe dann einige Zeit belüftet. Der nicht fixierte Radiokohlenstoff wird dadurch ausgetrieben; in der Probe

verbleibt dann nur der in den Zellen festgelegte und der während des Experiments in Form organischer Verbindungen exkretierte Kohlenstoff-14. Danach wird ein Teil der Probe in einen entsprechenden Flüssigkeitsszintillator gegeben und die Impulsrate bestimmt. Die Vorteile dieser Methode sind ausführlich bei BÖRNER (1984) dargelegt.

Bei Arbeiten auf See und besonders bei hohem Probenanfall erwies sich das Umfüllen der Probe oder einer Teilprobe in eine entsprechende Belüftungsapparatur und danach in die Szintillationsküvetten als ungünstig. Es wurde deshalb folgende Modifikation entwickelt:

Nach beendeter Expositionszeit werden 3 ml der Planktonprobe in die Szintillationsküvette gegeben und mit 0,2 ml verdünnter HCl (1:1) versetzt. Auf einer Schüttelmaschine wird diese Probe dann in der unverschlossenen Küvette 1 Stunde geschüttelt. Danach werden 13 ml Dioxanzsintillator (10 ml Szintillator + 3 ml Triton X-100) zugegeben, die Küvette fest verschlossen, kühl und dunkel aufbewahrt.

Der Vorteil dieser Modifikation besteht im folgenden:

- Die Teilprobe kann sofort in die Meßküvette abgefüllt werden. Der Gebrauch einer Belüftungsapparatur entfällt.
- Bei Benutzung eines entsprechend gebauten Gestells für die Küvetten ist die parallele Bearbeitung sehr vieler Proben möglich (bis zu 80 Proben).

Da bei dieser Methodik auch der exkretierte organisch gebundene Radiokohlenstoff erfaßt wird, müssen die Impulsraten höher als bei der Filtermethode sein.

In unseren Experimenten im Standardtank (konstantes Licht, konstante Temperatur) betrug diese Differenz 22%. Diese Größe ist jedoch nicht konstant, sie kann in weiten Grenzen variieren. In der Literaturübersicht von SHARP (1977) kann die exkretierte Substanz 0–75% der Primärproduktion betragen.

Daß das Schütteln der angesäuerten Probe ebenso effektiv ist wie das Belüften, zeigen die geringen Differenzen (< 5%) zwischen parallelen Experimenten.

Literatur

- ALLEN, H. L.: Primary productivity, chemo-organotrophy, and nutritional interactions of epiphytic algae and bacteria on macrophytes in the littoral of a lake. — *Ecol. Monogr.* **41** (1971), 97–127.
- ARTHUR, C. R.; RIGLER, F. H.: A possible source of error in the C^{14} method of measuring primary productivity. — *Limnol. Oceanogr.* **12** (1967), 121–124.
- BÖRNER, R.: Produktionsbiologisch-ökologische Untersuchungen am Phytoplankton des Zingster Stroms. — 1984. — Rostock, Univ., Diss.
- GARGAS, E.: A manual for phytoplankton primary production studies in the Baltic. — BMB-Publ., No. 2 (1975), 1–88.
- SCHINDLER, D. W.; SCHMIDT, R. V.; REID, R. A.: Primary production and phytoplankton in the Experimental Lakes Area, north-western Ontario, and other low carbonate waters, and a liquid scintillation method for determining ^{14}C activity in photosynthesis. — *J. Fish. Res. Board Canada* **28** (1971), 189–201.
- SHARP, J. H.: Excretion of organic matter by marine phytoplankton: Do healthy cells do it? — *Limnol. Oceanogr.* **22** (1977), 381–399.

- STEEMAN-NIELSEN, E.: The carbon-14 technique for measuring organic production by plankton algae: A report on the present knowledge. — *Folia Limnol. Scand.* **17** (1977), 45–48.
- STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R.: A practical handbook of seawater analysis. — *Bull. Fish. Res. Board Canada* **167** (1966), 1–311.
- THEODORSSON, P.: The study of ^{14}C penetration into filters in primary productivity measurements using double site counting. — *Limnol. Oceanogr.* **20** (1975), 288–291.
- WALLEN, D. G.; GEEN, G. H.: Loss of radioactivity during storage of ^{14}C -labelled phytoplankton on membrane filters. — *J. Fish. Res. Board Canada* **25** (1968), 2219–2224.
- WASMUND, N.: Probleme der ^{14}C -Methode. — *Wiss. Z. Univ. Rostock, Naturwiss. R.* **31** (1982), 37–41.

Anschrift der Autoren:

Dr. W. KAISER, I.-M. TOPP
Akademie der Wissenschaften der DDR
Institut für Meereskunde
DDR-2530 Rostock-Warnemünde

Eingereicht: 30. 9. 1986

Zur Veröffentlichung angenommen: 10. 10. 1986

BERNT I. DYBERN

PEX-86 — The International Patchiness Expedition in the Baltic

With 4 figures

In former times it was thought that the water masses in the open sea were fairly homogenous, but it has later been discovered that they most often are quite inhomogenous. Thus the concentration of, e.g., a nutrient substance may vary with more than 50% within only a few hundred meters distance while shortly afterwards the difference may be much less (or bigger) depending on the season, the region and the depth studied.

It is said that such parameters have a patchy distribution. The patchiness is 4-dimensional since it is found also in the vertical direction and since it varies with time. Rather than using the word patchiness one should talk about *inhomogeneity in space and time*, but in everyday scientific language patchiness is the word which is most widely used.

The patchiness is primarily caused by movements of the water mass giving rise to parameter-distribution patterns of different scales from microstructures to megastructures (see e.g. POSTEL 1983). Bigscaled phenomena as fronts or large eddies can be seen on satellite images (HORSTMANN 1983) while microstructures can only be investigated by means of special instruments. The dynamics of all the structures is poorly known but has an important bearing on the success of monitoring programmes and on the distribution of nutrients for commercial and other fish. Thus there are also important economic aspects involved in the patchiness problem.

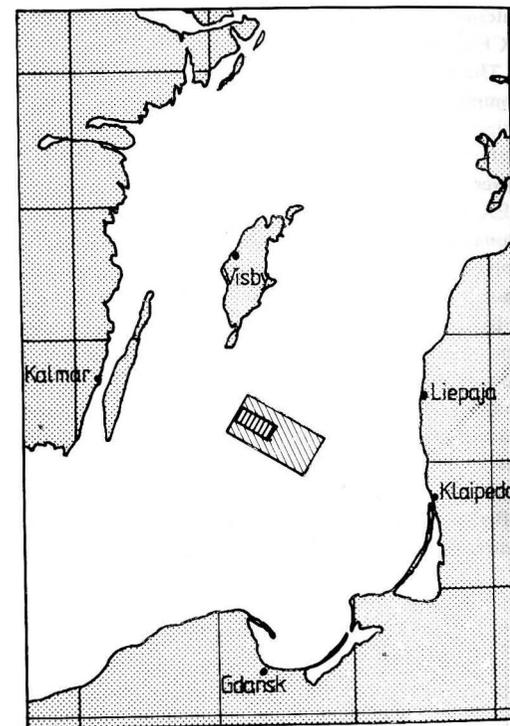


Fig. 1
Central Baltic. PEX area shown by the two polygons

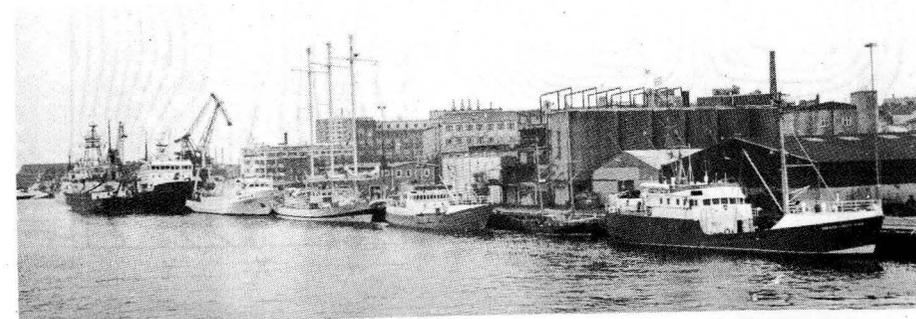


Fig. 2
Some of the research vessels taking part in PEX in the harbour of Karlskrona

Under certain conditions, the open Baltic Sea shows clear patchiness for a great number of parameters and after some two years intensive planning an international multiship cruise was carried out in the central part to investigate the distribution of the parameters in a limited area (Fig. 1). The cruise designation was PEX-86 and it occurred between 20 April and 10 May 1986 (some ships staying out longer). 14 ships from the German Democratic Republic, the Federal Republic of Germany, Sweden, Finland, the Sovietunion and Poland took part under the common umbrella of the International Council for the Exploration of the Sea (ICES). Some are shown in Fig. 2.

The big number of ships was necessary due to the complexity of the investigation. Only the use of several ships can give a fairly simultaneous picture of the water conditions in an area which is large enough to cover also some of the macrostructures. In the case of PEX some ships investigated a number of stations along six lines, alternatively in a large and a small polygon, and some other ships made samplings at two fixed stations (Fig. 3).

By taking parallel stations on the lines at the same time a series of simultaneous cross-sections were obtained during the time it took for the ships to complete a line (15–16 hours). The fixed-station ships made studies the other way around, viz. on the water passing them. Special studies were made by two ships which among other things followed drifters set out on different depths. In addition a great number of current-meter stations were established (1–13 on Fig. 3).

Obligatory parameters were temperature, salinity, sight depth, oxygen, phosphate, nitrate + nitrite, chlorophyll, primary production, phytoplankton, zooplankton and meteorological factors. Some of the ships made additional investigations, e.g., on light,

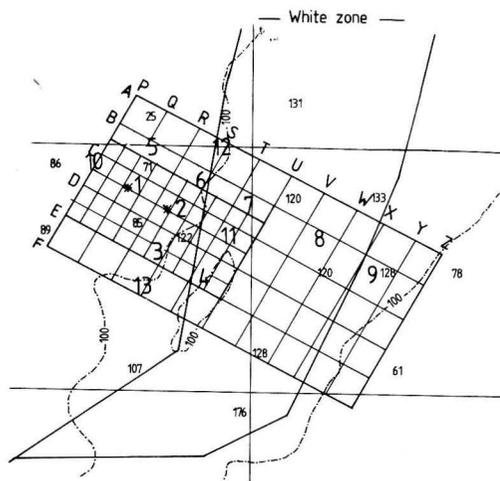


Fig. 3

The two polygons. Distance between stations in the big polygon was 4 nautical miles and in the small polygon 2 nautical miles. The two stars show the fixed stations and the numbers show positions for current-meter stations. The large polygon stretched across the so-called white zone in Central Baltic.

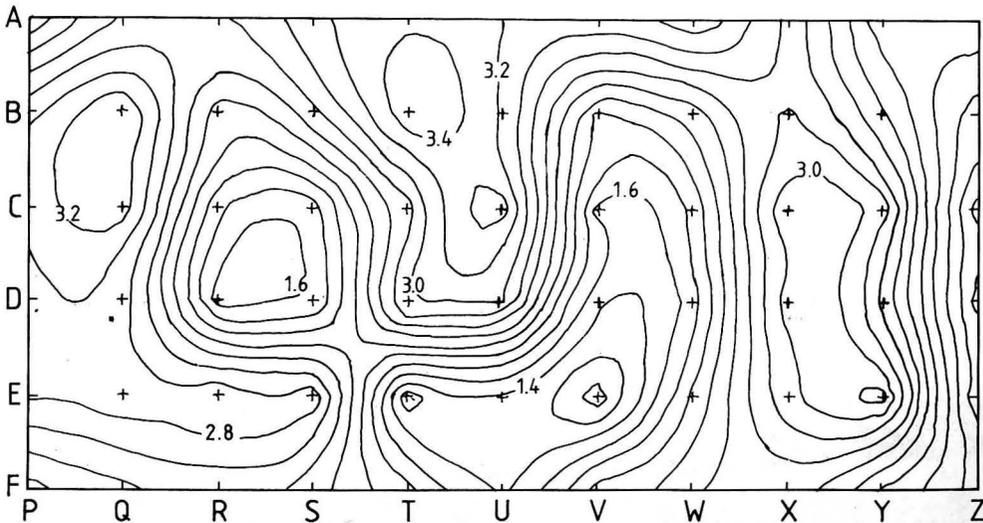


Fig. 4
Concentrations of $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$ at 10 m depth on April 25, 1986. Horizontal view in the large polygon, calculated from data provided by seven polygon-ships to R/V "Arnold Veimer"

pH, alkalinity, silicate, total phosphorus and nitrogen, particle concentration and microstructure. Remote sensing using the new SLAR technique was carried out by a Swedish aeroplane and it was assured that satellite images be available at the working up and interpretation of the data. — Before the field measurements started an intercalibration exercise was carried out in the harbour of Karlskrona.

The large polygon was measured 4 times and the small one 8 times. The weather was calm during the whole period and the preliminary results indicate a very clear patchiness for most parameters with a slight day-to-day change. A typical result showing horizontal patchiness for nitrate + nitrite at 10 m depth is shown in Fig. 4. The timing of the investigation showed to be perfect, beginning before the end of the yearly spring plankton bloom and thus being suitable for studies of both nutrient and plankton concentrations at the same time as well as the dynamic relation of the two factors. It will also be possible to state relations between other parameters. By means of the results of the fixed-station ships and the current-meter stations it is hoped that the dynamics can be further elucidated.

The huge amount of data obtained during PEX-86 will require quite a time to be compiled and interpreted. The first working-up steps have been taken by the ICES data center in Copenhagen. When the data have been compiled in a readable form a workshop will be arranged in late spring 1987, during which the outlines for the final report will be drawn up and agreements made on which data should be included. There will be a large amount of data beyond this, and these data will be worked up by the individual scientists who took part in PEX. Later on it is planned to arrange a Patchiness Symposium (probably during the first half of 1988) mainly dealing with papers based on PEX

results. At that time it should be evident which additional investigations on Baltic patchiness are required.

PEX-86 is an expression for the cooperation of more than 150 scientific administrators, scientists and scientific personnel of different expertise around the Baltic. In addition some 190 persons belonging to the ship crews of the 14 research vessels took part. This cooperation has been excellent, with no exception, and is clearly pointing to an extraordinary potential for future international work in the field of marine sciences in the Baltic. This should be taken care of.

References

- HORSTMANN, U.: Distribution patterns of temperature and water colour in the Baltic Sea as recorded in satellite images indicators for phytoplankton growth. — Ber. Inst. Meereskd. Kiel, No. 106 (1983).
 POSTEL, L.: Problems in identifying distribution patterns of oceanological parameters. — Medd. Havsfiskelab. Lysekil, No. 293 (1983), 12 pp.

Address of the author:

Dr. BERNT I. DYBERN
 Fiskeristyrelsen
 Havsfiskelaboratoriet
 Lysekil
 Box 4
 Sweden

Received: November 14, 1986
 Accepted: December 2, 1986

Note to Contributors:

Manuscripts should be typed in double-spacing and submitted in three copies on white paper of size A4 (297 × 210 mm). Only one side of each sheet should be used. The margins should be 3.5 cm wide at the left side and 2.5 cm wide at the top. Manuscripts should not be longer than 20 pages (including figures). Authors will receive one proof copy for correction. Belated insertions or major changes to the text can not be considered.

Authors are requested to pay special attention to the subsequent notes regarding the preparation of the manuscripts. The following sequence should in general be used:

Title: Full name(s) of the author(s). Below it the complete title of the contribution in English, German and Russian.

Abstract, Zusammenfassung, Резюме: A brief but cogent summary in English, German and Russian must precede each contribution. It should contain informations regarding the methods used and the most important conclusions reached by the author.

Text: Pages belonging to the manuscript must be numbered consecutively. The contribution should be clearly arranged, and the chapters should be consecutively numbered. The following print instructions are to be inserted by the author (in pencil!): spaced print: underlined with dashes; small print: vertical line in the left margin; italics: underlined with undulating line. The names of all authors cited must be written in capitals with the year of publication in brackets after the name. The recommendations given in

the IAPSO-SUN report should be taken into account when presenting measured data (S.I. units). Mathematical symbols, formulae and letters that cannot be typed must be entered carefully and clearly by hand.

Abbreviations should be used only if required repeatedly in the text and should, if necessary, be explained separately at the end of the contribution.

References: The authors cited in the text should be listed alphabetically at the end of the contribution in the following way:

Books: LEBLOND, P. H.; MYSAK, L. A.: *Waves in the Ocean*. — Amsterdam: Elsevier 1978.

Journals: VERONIS, G.; MORGAN, G. W.: *A study of the time-dependent wind-driven ocean circulation*. — *Tellus* 7 (1955) 2, 232—247.

Abbreviations for journal titles should conform to the procedure of libraries; for non-periodicals, add "No." (of the issue) to avoid confusions.

Author's address: The date on which the contribution was concluded, the full name(s) of the author(s) and their affiliation should be typed at the end of the manuscript.

Figures, tables, legends: Figures must be submitted in printable form drawn on tracing paper with black Indian ink or as photographic copies (black and white). Figures and tables should be numbered according to their sequence in the text and identified on the reverse side by their appropriate number and the author's name. Their desired position in the text should be noted in the left margin. All tables and descriptive captions to figures and tables to be typed on a separate sheet.

Hinweise für Autoren:

Die Manuskripte sind in Maschinenschrift (zweizeilig) auf weißem, einseitig beschriebenem Papier im A4-Format (297 × 210 mm) mit jeweils 3,5 cm (links) und 2,5 cm (oben) breiten Rändern sowie in dreifacher Ausfertigung einzureichen. Der Umfang eines Beitrags sollte 20 Manuskriptseiten (einschließlich Abbildungen) nicht überschreiten. Dem Autor wird zur einmaligen Korrektur ein Umbruch-Exemplar seines Beitrags zugesandt; nachträgliche Einfügungen oder größere Textveränderungen sind daher nicht möglich.

Bei der formellen Gestaltung des Beitrags wird um die Beachtung folgender Richtlinien und um die Einhaltung der Abfolge nachstehend aufgeführter Details des Manuskripts gebeten:

Titel: Vor- und Zuname(n) des Autors (der Autoren). Darunter: Vollständiger Titel des Beitrags in deutscher, englischer und russischer Sprache.

Zusammenfassung, Abstract, Резюме: Jedem Beitrag ist eine kurzgefaßte, aber aussagekräftige Zusammenfassung in deutscher, englischer und russischer Sprache voranzustellen. Sie sollte Informationen über die angewandten Untersuchungsmethoden sowie die wichtigsten Ergebnisse und Schlußfolgerungen beinhalten.

Textteil: Die Seiten des Manuskripts sind fortlaufend zu nummerieren. Der Beitrag sollte eine klare Gliederung mit fortlaufend nummerierten Kapitelüberschriften aufweisen. Folgende Auszeichnungen sind vom Autor (mit Bleistift!) vorzunehmen: Sperrdruck: unterbrochene Linie; Kleindruck: senkrechte Linie am linken Rand; kursiv: Wellenlinie. Zitierte Autorennamen werden grundsätzlich in Großbuchstaben und das Jahr der Publikation in Klammern angegeben. Für die Wiedergabe von Meßwerten sind die Empfehlungen des IAPSO-

SUN Reports (SI-Einheiten) zu beachten. Mathematische Symbole, Formeln und Buchstaben, die nicht in Maschinenschrift ausgeführt werden können, sind sorgfältig und deutlich lesbar mit der Hand einzutragen.

Abkürzungen sollten nur bei wiederholtem Gebrauch im Text verwendet und erforderlichenfalls am Ende des Beitrags gesondert erläutert werden.

Literaturverzeichnis: Die im Textteil zitierten Autoren werden nach folgendem Muster in alphabetischer Reihenfolge aufgeführt:

Bücher: LEBLOND, P. H.; MYSAK, L. A.: *Waves in the Ocean*. — Amsterdam: Elsevier 1978.

Zeitschriften: VERONIS, G.; MORGAN, G. W.: *A study of the time-dependent wind-driven ocean circulation*. — *Tellus* 7 (1955) 2, 232—247.

Die Abkürzung der Zeitschriftentitel ist wie in Bibliotheken üblich vorzunehmen. Bei nichtperiodisch erscheinenden Zeitschriften sollte „H.“ (Heft) ergänzt werden, um Verwechslungen zu vermeiden.

Anschrift des Autors: Am Ende des Manuskripts sind das Abschlußdatum der Arbeit, der (die) vollständige(n) Name(n) des Autors (der Autoren) sowie die Anschrift der Institution(en) anzugeben.

Abbildungen, Tabellen, Legenden: Abbildungen sind in reproduktionsfähigem Zustand auf Transparentpapier (in schwarzer Tusche) oder auf Fotopapier (schwarz-weiß) einzureichen. Abbildungen und Tabellen müssen durchlaufend nummeriert und auf der Rückseite mit dem Namen des Autors und der Abbildungs-/Tabellenummer versehen werden. Ihre gewünschte Platzierung im Text ist jeweils auf dem linken Rand anzugeben. Tabellen, Tabellenüberschriften sowie Abbildungsunterschriften (-legenden) sind grundsätzlich gesondert als Manuskript zu schreiben.