

Meereswissenschaftliche Berichte

MARINE SCIENTIFIC REPORTS

No. 1

**Die Reaktion des Mesozooplanktons,
speziell der Biomasse,
auf küstennahen Auftrieb vor Westafrika**

**The Mesozooplankton Response to
Coastal Upwelling off West Africa
with Particular Regard to Biomass**

by

Lutz Postel

**Institut für Meereskunde
Warnemünde
1990**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen /	
List of Abbreviations	4
Summary	6
Vorwort	9
1. Einleitung	10
2. Material und Methoden	12
2. 1. Meßprogramme, Maßstabsdefinition und Koordinatensystem	12
2. 2. Probenentnahme und -bearbeitung	15
2. 2.1. Probenentnahme	15
2. 2.2. Weitere Bearbeitung der Proben an Bord	15
2. 2.3. Bestimmung der Trockenmasse im Labor	16
2. 2.4. Bestimmung des Phytoplanktonanteils	16
2. 2.5. Auswerteverfahren	16
2. 3. Filterwirkungen durch Fanggerät, Meßfehler und Stichprobeneffekte	16
2. 3.1. Selektive Wirkung des WP-2-Netzes auf die Zusammensetzung der Planktonproben	17
2. 3.2. Meßfehler	18
2. 3.2. 1. Filtrationsleistung des WP-2-Netzes	19
2. 3.2.2. Vergleich von Durchflußzähler und Trossenlänge zur Ermittlung der vom Netz filtrierten Wassermenge	19
2. 3.2. 3. Probenteilung	20
2. 3.2. 4. Spülen der Proben mit Süßwasser	20
2. 3.2. 5. Fixieren	20
2. 3.2. 6. Trocknungsdauer	21
2. 3.2. 7. Massezunahme während des Wägevorganges	21
2. 3.2. 8. Gefriertrocknung im Vergleich zur Trockenschrankmethode	21
2. 3.2. 9. Beobachtungsfehler	22
2. 3.2.10. Phytoplanktonanteil	22
2. 3.2.11. Biomasseanteil von Organismen von über 10 mm Größe an WP-2-Netzproben	22
2. 3.2.12. Absatzvolumen, Trockenmasse und Aschefreie Trockenmasse im Vergleich	23
2. 3.2.13. Zusammenstellung der Meßfehler und Schlußfolgerungen für die Methodik	24
2. 3.3. Stichprobeneffekte	27
2. 3.3.1. Tägliche Vertikalwanderung des Planktons als Stichprobeneffekt	29

3.	Überblick zum küstennahen Auftrieb und seiner Folgeerscheinungen im Epipelagial	30
3. 1.	Mittlere Verhältnisse vor Nord- und Südwestafrika	30
3. 1.1.	Zirkulation	30
3. 1.2.	Nährstoffverhältnisse und Wassermassen	33
3. 1.3.	Folgeerscheinungen im Epipelagial	36
3. 2.	Veränderungen des küstennahen Auftriebs	36
3. 2.1.	Jahresgang	36
3. 2.2.	Zwischenjährliche Variationen	37
3. 2.3.	Grobmaßstäbliche Wirbel	38
3. 2.4.	Mäander	40
3. 2.5.	Lange, kustenparallele Wellen	40
3. 2.6.	Lokales Windfeld	40
3. 2.7.	Küstenform, Meeresboden und Festlandszuflüsse	41
3. 2.8.	Einfluß der Variationen im Vertikaltransport auf die sukzessive Planktonentwicklung	41
4.	Mittlere Reaktion der Zooplanktonbiomasse auf küstennahen Auftrieb	42
4. 1.	Zooplanktonbiomasse-Anderung während der Alterung von Auftriebswasser vor Südwestafrika ($0=20^{\circ}\text{S}$)	42
4. 1.1.	Alterung von Auftriebswasser mit zunehmender Küstenentfernung	43
4. 1.1.1.	Zonation: Küstenentfernung der Maxima von Nährstoff-, Chlorophyll- und Zooplanktonkonzentration	46
4. 1.1.2.	Sukzession: Zeitliche Aufeinanderfolge der Maxima von Nährstoff-, Chlorophyll- und Zooplanktonkonzentration	48
4. 1.1.2.1.	Mittlere küstensenkrechte Geschwindigkeitskomponente des Stromes und mittlere Geschwindigkeit des EKMAN-offshore-Transportes	48
4. 1.1.2.2.	Mittlere Zooplanktonzusammensetzung und Berechnung der Entwicklungszeit dominanter, taxonomischer Gruppen	49
4. 1.1.3.	Vergleich der raum-zeitlichen Skalen	50
4. 1.2.	Anstieg der mittleren Zooplanktonbiomasse nach Auftrieb vor Südwestafrika und Nettozuwachsrate	52
4. 2.	Charakteristische Zooplanktonbiomasse der Klimaxgemeinschaft im subtropisch-tropischen Zentralatlantik	53
4. 3.	Jahreszeitliche Veränderlichkeit der Zooplanktonbiomasse vor Nordwestafrika ($10^{\circ}\text{N}<0<25^{\circ}\text{N}$)	55
4. 3.1.	Jahreszeitliche, meridionale Pulsation der Zone mit auftriebstypischer Zooplanktonbiomasse	56
4. 3.1.1.	Klassifikation der Daten	56
4. 3.1.2.	Ozeanischer Bereich ($H>200\text{ m}$, $\Lambda<20^{\circ}\text{W}$), gegliedert in die Tiefenstufen $0 <z< 200\text{ m}$ sowie $0 <z< 25\text{ m}$, $25 <z< 75\text{ m}$ und $75 <z< 200\text{ m}$	59
4. 3.1.2.1.	Auftriebstypische Biomasse und jahreszeitliche, meridionale Pulsation	59
4. 3.1.2.2.	Reaktionszeit	63
4. 3.1.2.3.	Jahreszeitlich intensivierter Auftrieb und Zooplanktonbiomasse	64

4. 3.1.3.	Neritischer Bereich, gegliedert in schelfkantennahe (200 m >H> 75 m) und küstennahe Zone (H< 75 m)	65
4. 3.2.	Jahreszeitliche Extremsituationen	67
4. 3.2.1.	Meridionale Vertikalverteilung der Zooplanktonbiomasse in ozeanischer und neritischer Zone	67
4. 3.2.2.	Zonale Vertikalverteilung der Zooplanktonbiomasse	69
4. 3.2.3.	Schwankungsbreite der Zooplanktonbiomasse	72
4. 3.3.	Auftriebsdauer, Zooplanktonbiomasse-Maximum und Nettozuwachsrate	74
4. 3.4.	Vergleich der Ergebnisse	77
5.	Zusammenfassung	81
	Literaturverzeichnis	83
	List of Figures	95
	List of Tables and Tables of Annex	98
	Anlage (Annex)	103

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abbreviations

p	Irrtumswahrscheinlichkeit	level of error
N	Anzahl der Werte	number of data
x	Mittelwert	mean value
($\bar{\quad}$)	Kennzeichnung eines speziellen Mittelwertes	symbol for a specific mean value
S.D.	Standardabweichung	standard deviation
C.I.	Vertrauensintervall	confidence interval
C.V.	Variationskoeffizient	coefficient of variation
n.s.	nicht signifikant	not significant
r	Korrelationskoeffizient	correlation coefficient
a	absolutes Glied bei linearer Regression	absolute term in linear regression
b	Anstieg bei linearer Regression	slope in linear regression
ϵ	Meßfehler	measuring error
k	Korrekturwerte für Meßfehler	correction values for measuring errors
USG	Untersuchungsgebiet	investigation area
USZ	Untersuchungszeitraum	investigation period
L	Meßlänge	measured length
D	Meßabstand	sampling interval
x	Koordinate, senkrecht zur mittleren Küstenlinie	coordinate vertical to the mean coastline
y	Koordinate, parallel zur mittleren Küstenlinie	coordinate parallel to the mean coastline

	Küstenlinie	coastline
z	vertikale Koordinate	perpendicular coordinate
t	Zeit	time
UTC	Weltzeit	Universal Time Coordinated
KE	Küstenentfernung	distance from coast
NWA	Nordwestafrika	Northwest Africa
SWA	Südwestafrika	Southwest Africa
\varnothing	geographische Breite	latitude
λ	geographische Länge	longitude
T	Periode	oscillation period
λ	Wellenlänge	wave length
H	Wassertiefe	water depth
E	EKMAN-Tiefe	EKMAN depth
h	Wasserstand	water level
v_w	Windgeschwindigkeit	wind velocity
τ_y	küstenparallele Komponente des Windschubspannungsvektors	along-shore component of the wind shear vector
f	CORIOLIS-Parameter	CORIOLIS parameter
ρ	Dichte	density
u bzw. v	küstensenkrechte bzw. küstenparal- lele Geschwindigkeitskomponente des Stromes	across-shore and along-shore velocity component of the current
SST	Wasseroberflächentemperatur	sea surface temperature
NACW	Nordatlantisches Zentralwasser	North Atlantic Central Water
SACW	Südatlantisches Zentralwasser	South Atlantic Central Water
S	Salzgehalt	salinity
σ_t	Dichteparameter	density parameter
O_2	Sauerstoffgehalt	oxygen concentration
PO_4-P	Phosphatgehalt	phosphate concentration
NO_3-N	Nitratgehalt	nitrate concentration
SiO_4	Silikatgehalt	silicate concentration
Chl.a	Chlorophyll-a-Gehalt	chlorophyll a concentration
ZPB	Zooplanktonbiomasse	zooplanktonbiomass
AV	Absetzvolumen	sediment volume
NM	Naßmasse	fresh weight
TM	Trockenmasse	dry weight
AFTM	Aschefreie Trockenmasse	ash-free dry weight
Ind.	Individuenzahl	number of individuals
ad.	adult	adult
juv.	juvenil	juvenile
G	Generationszeit	generation time

Summary

The coastal upwelling regions in the paths of the Canaries and Benguela Currents are characterized by large amounts of zooplankton. Economic considerations relating particularly to fisheries and marine geology led to an upsurge of exploratory activity in these areas during the seventies. The CINECA (Cooperative Investigations of the Northern Part of the Eastern Central Atlantic) programme alone involved 14 countries and around 100 research cruises between 1970 and 1977, including eight by the r/v 'Alexander von Humboldt' of the GDR's Academy of Sciences. In 1976 and 1979, the region investigated by this vessel was extended to include the sea area off Namibia.

During the 'Meteor' expedition from 1925 to 1927, HENTSCHEL attempted to concentrate on the quantitative aspects of plankton research in order to identify factors governing the variations in time and space of the 'properties of life'. Complete comparability of the methods used was regarded as an indispensable condition for such studies. Owing to the large number of separate studies undertaken by different institutions, this requirement has still not been fully fulfilled in the West African upwelling regions.

Since 1970, the r/v 'Alexander von Humboldt' has used the WP-2-standard net type to collect mesozooplankton (0.2 to 10 mm body length) distribution data based on dry weight. Such data are now available in space-time scales ranging from hundreds of metres and minutes to several thousand kilometres and years. In the present work, these data are used to investigate the characteristic effects of coastal upwelling on zooplankton biomass (ZPB) after a single upwelling event off Namibia and a whole upwelling season off Northwest Africa and their dependence on water depth and distance from the shore. Measurements in the Central Atlantic north of the equator permitted comparison with conditions in which the absence of a biomass surplus indicated the climax of a planktonic community.

The ageing of the water in the direction of the current permitted the development of the plankton succession and biomass to be observed during upwelling events. The transformation of the space axis into a time axis and the estimation of the cumulative seasonal biomass increase allowed the calculation of net growth rates.

Initial considerations were devoted to the filter effects influencing the objective identification of distribution patterns, such as

- net selectivity in terms of
 - the biomass of the small mesozooplankton relative to that of the plankton as a whole, as taxonomic groups, as feeding types and their development times, and the importance of the net fraction as prey for commercial fish species,
- errors associated with field and laboratory conditions, and
- sampling errors.

The main results are:

1. The samples yielded by the standard WP-2 UNESCO net represent about one third of the total plankton in the top 200 m of the water column in the coastal upwelling region off West Africa. This fraction consists of almost identical proportions of fine filter feeders, coarse filter feeders and carnivores with development times of between 20 and 40 days. It reflects the food spectrum of commercial fish species to varying degrees, i.e. to 70 % in the case of *Scomber colias*, 60 % for *Trachurus spec.* and 50 % for *Sardinella spec.* These estimates are based on a comparison of plankton body lengths with the length ranges within which the organisms were quantitatively represented in the catches.

2. Measuring errors can be broken down into the categories 'deterministic (constant and quasi-constant)' and 'random'. The deterministic errors varied between -48 % and 21 %. The values were used with opposite signs to ensure the homogeneity of the data. The highest losses arose when cold-stored samples were defrozen and the supernatants decanted before drying. Random errors varied between ± 2 and ± 13 %. They were highest when a plankton splitter was used.
3. Sampling errors may stem from the use of finite measuring series and discrete sampling. In the former case, interannual variations had to be considered off Northwest Africa, but these are probably minimal because all investigations were performed during a positive Ekman transport anomaly (e.g. off Cap Blanc, $\theta = 20^{\circ} 55'$ N). The diurnal vertical plankton migration was regarded as a sampling error of the latter category and assumed to be a fixed phase process. Except in two cases, its influence could be ignored in the oceanic region off Northwest Africa, possibly owing to the damping effect of the vertically integrated sampling method. A negative anomaly existed for the whole duration of the study. Other meso and coarse scale energy rich signals were attenuated during the consideration of mean values. In the cross-shore vertical distributions, the eddy influence on the zooplankton biomass was of the order of magnitude of the upwelling signal.
4. On average, the zooplankton biomass doubled after an upwelling event. In the EKMAN layer off Southwest Africa, a maximum increase from about 40 to 80 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ was recorded from the locality of the upwelling to about 130 - 160 km from the coast across-shore. Off Northwest Africa, the onset of the upwelling season was signified by values of about 20 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ up to 20° W, whereas values of about 10 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ were typical of the upwelling-free Central Atlantic. The biomass values rose from 23 to 50 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ in the topmost 25 m, from 18 to 30 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ between 25 and 75 m and from 6 to 10 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ from 75 to 200 m depth. On the shelf, the coming upwelling season was signalled by values exceeding 40 - 50 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$.
5. In the water column down to a depth of 200 m, the net growth rate off Northwest Africa increased from 14 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{month}^{-1}$ in the coastal zone ($H < 75$ m) to 38 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{month}^{-1}$ near the shelf edge and then decreased in the oceanic region ($< 20^{\circ}$ W) to 7 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{m}^{-1}$. There it decreased from 29 ($0 < z < 25$ m) through 12 ($25 < z < 75$ m) to 7 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{month}^{-1}$ ($75 < z < 200$ m) as the depth increased. The analogous vertical break-down is not available for the shelf region. Comparison of the results for Southwest Africa with corresponding Northwest African data taken from the literature, the net growth rates are the same in both regions. Off Namibia, 1.56 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ and 47 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{month}^{-1}$ in the top 75 m from the upwelling site to the biomass maximum.
6. According to the net growth rates, the year-round upwelling of nutrient-rich water leads to a cumulative increase in mean zooplankton biomass to 250 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ in the coastal zone ($H < 75$ m) off Northwest Africa, 500 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ near the shelf edge and 100 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ in the oceanic region up to 20° W, where the vertical gradation is 400, 150 and 30 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Drastic deviations from these values indicate local peculiarities. For instance, a 2.5-fold positive anomaly was found over the broad, shallow shelf off Cabo Verga. An apparent 1.5-fold 'loss' in the shelf edge region off Cap Blanc was accounted for as the calculated food requirement of chub mackrel.
7. Seasonal variations were observed particularly seaward of the shelf. Off Northwest Africa, the elevated biomass zone in this area extended southward for 15 degrees of latitude from 24° N, vertically to a depth of 200 m, and seaward for a distance of over 400 km in the first half of the year. In October/November, the

- zone contracted and was limited to between 20° N and 22° N, the top 25 m of the water column and a distance of 100 to 200 km from the coast.
8. Off Southwest Africa, the biomass in the top 75 m of the water column peaked 23 days after the upwelling event. At greater depths, the lag increased to 8 - 10 weeks at $z < 200$ m in the oceanic region off Northwest Africa
 9. North of Cap Blanc, the upwelling water consisted predominantly of nutrient-rich North Atlantic central water (NACW). In this area, the ZPB response typical of predominantly nutrient-rich South Atlantic central water (SACW) did not materialize. The biomass differences reflected the position of the internal NACW/NASW water front at the water surface. In the oceanic part of the investigation area, its position changed distinctly from 24° N in the first half-year to $21/22^{\circ}$ in the second.
 10. A region of considerable biomass variability that was independent of coastal upwelling activity coincided in space with an active eddy zone seaward of the shelf edge north of the Cape Verde Islands. The ZPB in this region was higher than that of the Central Atlantic for almost the whole year. Horizontal gradients were expressed in an extreme case in a decrease from 257 to 3 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ in a distance of less than 40 km. ZPB and nutrient concentrations correlated negatively in sample cyclonic and anticyclonic eddies with diameters of 40 to 70 km.
 11. The absolute maximum of 1096 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ was recorded seaward of the shelf in the top 25 m of the water column in the sea region off Cap Blanc ($\varnothing = 20^{\circ}55'$ N) during the main upwelling season in May (1974). In February (1976), when the northern boundary of the trade wind zone was reached, oceanic conditions predominated even over the shelf off Bahia de Garnet ($\varnothing = 25^{\circ}$ N).
 12. During the period of most intensive EKMAN transport (June), downwelling in the shelf edge region led to a reduction in biomass to values below those typical of upwelling activity in the area affected by the cross circulation of the Canary Current ($\varnothing > 20^{\circ}$ N).

Vorwort

Der Arbeit ging eine vieljährige Probenentnahme an Bord des Forschungsschiffes "Alexander von Humboldt" der Akademie der Wissenschaften der DDR voraus. Sie war mit der Sammlung von Erfahrungen auf See und der Erschließung interdisziplinärer Zusammenhänge verbunden. Ohne kollegiale Zusammenarbeit und viel Geduld hätte die Analyse unvollständiger bleiben müssen. Allen die daran direkt oder indirekt mitgewirkt haben möchte ich sehr danken, besonders Kapitän Herzig für die Unterstützung auf See sowie Herrn Prof. Dr. habil. Arndt, Herrn Dr.sc. Hagen, Herrn Dr.sc. Lass, Herrn Dr.sc. Schulz und Herrn Dr. Weiß für wichtige Hinweise.

Die qualitativen Zooplanktonanalysen wurden von Frau Rodbertus an der Sektion Biologie der W.-Pieck-Universität, Rostock durchgeführt. Die Berechnungen im Zusammenhang mit dem Vergleich unterschiedlicher Biomasseangaben (2.3.2.12.) erfolgte mit wesentlicher Unterstützung durch Herrn Dr.habil. Sager und Herrn Sammler.

An dieser Stelle möchte ich meine besondere Verbundenheit mit Herrn Dr.Alfred Schubert, meinem Lehrer an der Erweiterten Oberschule in Zittau, zum Ausdruck bringen, dem ich das Interesse für die Hydrobiologie verdanke.

Den größten Dank schulde ich meiner Frau für die stetige Unterstützung und das anhaltende Verständnis.

1. Einleitung

Die küstennahen Auftriebsgebiete im Bereich des Kanaren- oder Benguelastromes zeichnen sich in der ozeanweiten Verteilung der Zooplanktonbiomasse (ZPB) (HENTSCHEL, 1942; FRIEDRICH, 1950; BOGOROV et al., 1968, zit.n. CHROMOV, 1986) als besonders reichhaltig aus. Wirtschaftliche Gründe ließen in den siebziger Jahren das Interesse an diesen Regionen sprunghaft anwachsen. Die Forschungstätigkeit wurde auf dem gesamten Sektor der Meereskunde, einschließlich der Geologie und der Fischereiforschung, verstärkt. Allein im Rahmen des CINECA -Programmes (Cooperative Investigations of the Northern Part of the Eastern Central Atlantic) beteiligten sich zwischen 1970 und 1977 14 Länder mit etwa 100 Schiffseinsätzen (SMED, 1982). Dazu zählen 8 Expeditionen von FS "Alexander von Humboldt" der Akademie der Wissenschaften der DDR. Mehrere Symposien fanden statt, deren Ergebnisse z.T. geschlossen, unter der Herausgeberschaft von LETACONNOUX und WENT (1970), KLEKOWSKI (1977), BARBER (1977), BOJE und TOMCZAK (1978), HEMPEL (1982), RICHARDS (1981), VINOGRADOV und FLINT (1983), SUESS und THIEDE (1983), THIEDE und SUESS (1983), SHANNON (1985), BAS et al. (1985) sowie ANONYM (1971, 1974, 1983a), veröffentlicht wurden. Die Bibliographie von ANTO und VARADACHARI (1978) informiert über Einzelarbeiten zwischen 1890 und 1977.

FURNESTIN (1970) faßte den Stand der Zooplanktonforschung im nordwestafrikanischen Auftriebsgebiet zusammen, wobei faunistische Untersuchungen, besonders der Chaetognathen und Copepoden, im Vordergrund standen. THIRIOT (1977, 1978) bezog die Ergebnisse aus der gesamten westafrikanischen Region in seinen Überblick ein, die inzwischen auch das Feld von Leistungsparametern umfaßten. VIVES (1985) vervollständigte um die jüngeren Arbeiten in der Region des Kanarenstromes. Die

Auswertung des "A.v.Humboldt"-Materials betraf vorwiegend faunistisch-ökologische und z.T. nahrungsbiologische Aspekte der Chaetognatha (KÖLLER et al., 1976; ARNDT und KÖLLER, 1977), der Thaliacea (ARNDT und WRANIK, 1977; WRANIK und ARNDT, 1978), der Calanoidea (BRENNING und FADSCHILD, 1979; BRENNING, 1980; 1981a,b; 1982a,b; 1983; 1984; 1985a, b; 1986) und der Branchiostoma-Larven (GOSSELCK, 1975; GOSSELCK und KÜHNER, 1973; GOSSELCK und HAGEN, 1973; GOSSELCK und SPITTLER, 1979; GOSSELCK et al., 1978; FLOOD et al., 1982). Quantitative Aspekte richteten sich auf die jahreszeitliche Variabilität der Verdrängungsvolumina (ARNDT und BRENNING, 1977), die zeitliche Variationen der Trockenmasse im Bereich mehrerer Tage (POSTEL, 1982; HAGEN et al. 1981), und die täglichen Veränderungen im Bereich eines Canons (POSTEL, 1987). Die Suche nach Beziehungen zum Fischereiverlauf spielten dabei eine dominierende Rolle. Die Abhängigkeit der Biomasse von der Alterung des Auftriebswassers (POSTEL, in: HAGEN et al., 1981), der Vergleich der küstennäheren Verhältnisse zum Zentralatlantik (KAISER und POSTEL, 1979) sowie die Auswirkungen der jahreszeitlichen Pulsation des Auftriebsgebietes (POSTEL, 1985) werden in dieser Arbeit vertieft.

HENTSCHEL (1932) versuchte während der "Meteor" - Expedition den quantitativen Charakter mit dem Ziel in den Vordergrund zu stellen, Gesetzmäßigkeiten in der raumzeitlichen Änderung von "Eigenschaften des Lebens" zu erkunden. Dafür wurde die Anwendung vergleichbarer Methoden als notwendige Voraussetzung angesehen, eine Forderung, die sowohl von FURNESTIN (1970) als auch von THIRIOT (1978) erneuert

werden mußte. Darüber haben die zahlreichen Einzelarbeiten nicht hinweggeholfen, wie z.B. FURNESTIN (1957), SEMENOVA (1960), EVANS (1961), CHROMOV (1962, 1965), SEGUIN (1966), CORCORAN und MAHNKEN (1969), GREZE et al. (1969), WIKTOR (1969), BINET (1973), LE BORGNE und BINET (1974), GOY und THIRIOT (1974), GRALL et al. (1974), GROUPE MEDIPROD (1974), VIVES (1974), RUBIES (1976), WEIKERT (1977, 1982, 1984), HAGRAVES (1978), BLACKBURN (1979), ALCARAZ (1982), ANDREWS und HUTCHINGS (1980) und SHANNON und PILLAR (1986).

Auf FS "A.v.Humboldt" wurde seit 1970 mit einheitlichem Netztyp und auf der Basis von Trockenmasse ein breiter Ausschnitt des ZPB-Verteilungsspektrums erfaßt. Von Meßabstand und Meßlänge festgelegt, reicht er von 3 Minuten bis 66 Monate bzw. von Metern bis ca. 2000 km.

Mit einer Auswahl wird die Wirkung des küstennahen Auftriebs auf die ZPB unter Berücksichtigung der raum-zeitlichen Gegebenheiten während eines mittleren Auftriebsereignisses bzw. einer ganzen Auftriebssaison untersucht. Die gerichtete Alterung von Auftriebswasser (CUSHING, 1971) wird zur Beobachtung der sukzessiven Planktonentwicklung und Biomasseänderung während des Vorganges genutzt. Die Umformung der Raum- in eine Zeitachse und die Abschätzung der jahreszeitlichen, kumulativen Biomassezunahme soll die Bestimmung der Zuwachsraten in Abhängigkeit zur Küstenentfernung und Tiefe ermöglichen. Zu Beginn werden die Selektivität des Fanggerätes hinsichtlich Biomasseanteil des Mesozooplanktons am Gesamtplankton, Erfassung taxonomischer Gruppen, Ernährungstypen und deren Entwicklungszeiten sowie die Bedeutung der Fraktion als Nahrung für kommerziell genutzte Fische geprüft. Darüberhinaus werden Fehler der Feld- und Laborpraxis bestimmt, Stichprobenfehler abgeschätzt sowie ein Überblick zur Natur des Auftriebsvorganges gegeben.

2. Material und Methoden

2.1. Meßprogramme, Maßstabsdefinition und Koordinatensystem

Zur Lösung der Aufgaben wurden hauptsächlich drei Programme benutzt:

- die im Oktober/November 1979 bis zu einer Küstenentfernung von 170 km reichenden Untersuchungen in Richtung EKMAN- offshore-Transport vor Dune Point / SWA (Abb.1),
- die Arbeiten im Zentralatlantik, die sich auf 30° westlicher Länge von 3°S bis 15°N auf die Extremlagen der äquatorialen Auftriebsintensität im Februar (1973) und August (1972) orientierten (KAISER und POSTEL, 1979) sowie
- die Aufnahmen vor NWA, die sich zwischen 10°N und 25°N vom küstennahen Bereich bis etwa 20°W erstreckten und im Zeitraum von 1970 bis 1976 verschiedene Jahreszeiten umfaßten (Abb.2).

Vertikalhols sorgten für eine Integration des Planktons bis maximal 200 m Tiefe. Das entspricht etwa der Mächtigkeit des Epipelagials. Schließnetzfränge erlaubten eine Untergliederung dieses Bereiches. Die jeweiligen raum-zeitlichen Gegebenheiten sind in den Tabellen 1 und 2 enthalten.

Für die Abschätzung von Meßfehlern (s.2.3.2.) wurden darüberhinaus Daten einer Ankerstation vor Bahia de Gorrei / NWA ($\varnothing = 23^{\circ}\text{N}$, $\Lambda = 16^{\circ}59'\text{W}$) vom 19.3.1976 (13.55-15.09 UTC) sowie aus küstennahen Untersuchungen vor Mauretania vom März/April 1984 (POSTEL, 1987) herangezogen.

Über die Küstenentfernungen und Tiefen der Standardstationen der Meßprogramme vor Namibia und vor NWA informieren die Tabellen A1 und A2. (Alle mit "A" gekennzeichneten Tabellen sind in der Anlage enthalten.) Die Positionen der Stationen sowie meteorologische und ozeanologische Daten der in Tabelle 1 unter 2. aufgeführten Programme sind den "Beiträgen der DDR zur Erforschung der küstennahen Wasser-auftriebsprozesse" zu entnehmen (SCHEMAINDA et al., 1972; NEHRING et al., 1973; NEHRING et al., 1974; SCHULZ et al., 1975; NEHRING et al., 1975; SCHULZ et al., 1977; NEHRING et al., 1977).

Die benutzten Maßstabsbezeichnungen sind in Anlehnung an HAURY et al. (1978) und ANGEL (1984) wie folgt definiert:

	(original)	räumlich	zeitlich
makromaßstäblich	(macro scale)	1000-3000 km	Jahre -10 Jahre
meso-	" (meso scale)	100-1000 km	Monat - 1 Jahr
grob-	" (coarse scale)	1- 100 km	Tage - 1 Monat
fein-	" (fine scale)	1 -1000 m	Minuten- 1 Tag.

Bei den verwendeten Koordinatensystemen weist die x-Achse nach Westen, die y-Achse polwärts und die z-Achse zum Erdmittelpunkt. Dabei erfolgte eine Drehung, bis die y-Achse der mittleren Küstenlinie parallel folgt (z.B. Abb.1).

Abb.1: Lage des küstensenkrechten Meßprofils vor Dune Point (SWA) im Jahre 1979 (n.HAGEN et al.,1981; vgl. Tab.1, lfd.Nr.1.1.)

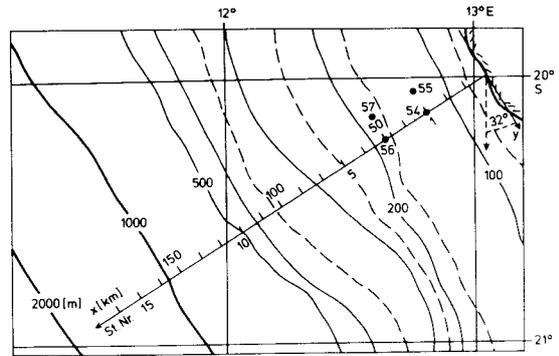
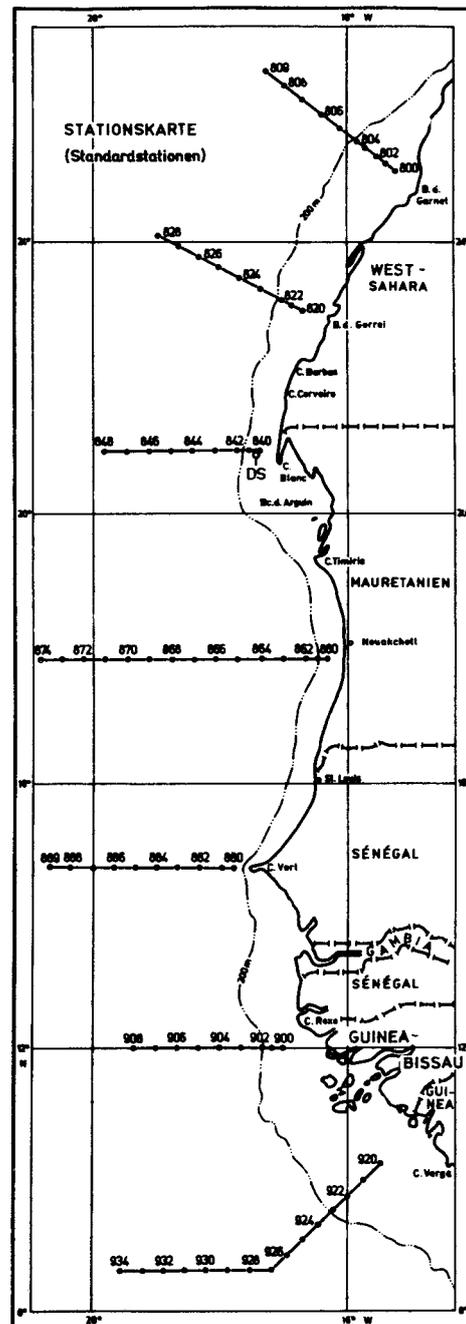


Abb.2: Standardstationen vor der nordwestafrikanschen Küste (vgl. Tab.1, lfd.Nr. 2.1.1.- 2.1.3.)



Tab.1: Untersuchungsgebiete und -zeiten der hauptsächlich benutzten Meßprogramme vor der südwest- und nordwestafrikanischen Küste

Lfd. Nr.	Gebiet	Zeitraum
1.	SWA	
1.1.	küstensenkrechter Schnitt vor Dune Point (20°08,6' S, 12°48,2' E bis 20°48,6' S, 11°38' E)	16.10. bis 7.11.1979
2.	NWA	
2.1.	Bahia de Garnet (25° N) bis Cap Vert (14°45' N)	27. 8. bis 8. 9.1970 28.10. bis 8.11.1970
2.2.	Bahia de Garnet (25° N) bis Cabo Verga (10° N)	20. 6. bis 8. 7.1972 24.12.1972 bis 10. 1.1973 23. 2. bis 14. 3.1973 14. 5. bis 30. 5.1974
2.3.	Bahia de Garnet (25° N) bis Cap Blanc (20°55' N)	12. 2. bis 17. 2.1976

Tab.2: Raum-zeitliche Meßabstände D und Meßlängen L der in Tab.1 aufgeführten Untersuchungsprogramme. Quasisaisonal bedeutet, die zwischen 1970 und 1976 in verschiedenen Jahreszeiten durchgeführten Messungen auf ein Jahr zu beziehen.

Lfd.Nr. (entsprechend Tab. 1)	räumlich					zeitlich	
	küstenparallel		küstensenkrecht		vertikal integriert		
	L (km)	D (km)	L (km)	D (km)	L (m)	L real (quasi-saisonal)	D real (quasi-saisonal)
1.1.	-	-	140	10	0 < z < 30 30 < z < 75	22.5 d	36 h
2.1.	ca.1300	ca. 200	ca.300	H < 200m: 18.5. H > 200m 37	0 < z < 200 0 < z < 25 25 < z < 75 75 < z < 200	45 (12) Monate	2-15 (1-3) Monate
2.2.	ca.2000	s.2.1.		s.2.1.	s.2.1.	23 (12) Monate	2-15 (1-6) Monate
2.3.	ca.600	s.2.1.		s.2.1.	s.2.1.	66 (12) Monate	2-15 (1-3) Monate

2.2. Probenentnahme und -bearbeitung

2.2.1. Probenentnahme

Alle Planktonproben wurden durch Vertikalhols gewonnen. Dazu fand das von der UNESCO empfohlene WP-2-Schließnetz Verwendung (TRANTER, 1968). Bei Hols bis zur Oberfläche wurde oft die nicht schließbare Variante zweier gekoppelter Netze ("Doppelnetz") benutzt. Die Gaze besteht aus Polyesterweben (Monodur, Krefeld) mit einer Maschenweite von 200 μm . Die Fläche der Netzöffnung beträgt 0.25 m^2 . Der Netzbecher besteht aus oberflächenveredeltem Messing, besitzt zylindrische Form und vier rechteckige Gazefenster (200 μm Maschenweite). Er faßt etwa 400 ml, das Filtrationsverhältnis (Fläche der Öffnung zu filtrierender Oberfläche) ist mit 1 : 2.6 anzugeben. Es beträgt beim Netz 1 : 6.

Ab Dezember 1972 ermöglichte ein Durchflußzähler, Modell T.S.K. (Tsurumi-Seiki-Kosakusho Co., Ltd., Yokohama), die Bestimmung der filtrierten Wassermenge. Bis dahin erfolgte eine Schätzung über die ausgefahrene Drahtlänge, multipliziert mit der Fläche der Netzöffnung. Der Durchflußzähler wurde innerhalb der Netzöffnung, ca. 14 cm vom Rand ($\approx 1/2$ Radius) angebracht. Laut Testergebnis besitzt das Netz dort 100 %ige Durchflußeigenschaften, währenddessen im Zentrum durch Leinen und Schließvorrichtung verursacht, eine Minderung eintritt (TRANTER und HERON, 1968). Die Durchflußzähler wurden vor den Expeditionen im Strömungskanal der W.-Pieck-Universität Rostock, Sektion Schiffstechnik, geeicht (Tab. A7), die Ergebnisse gelegentlich auf See, bei ruhigem Wetter überprüft. Ein 30 kg-Gewicht zur Beschwerung der Netze richtete sich gegen das Entstehen zu großer Drahtwinkel. Winkel von $>10^\circ$ wurden durch die trigonometrisch bestimmte Trossenzugabe korrigiert. Versuche, die Tiefe des Netzes mit einer Sonde (FNZ-5N, Furuno Electric Co., Ltd., Kobe) aktuell einzustellen, schlugen gerade im Bedarfsfall fehl. Bei zu großen Drahtwinkeln waren Sender und Empfänger des Gerätes für die Signalübermittlung nicht ausreichend aufeinander gerichtet.

Die Hievgeschwindigkeit des Netzes lag in der Regel bei 45 $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$. Nach jedem Hol wurde von außen mit Seewasser gespült, um den Fang im Netzbecher zu konzentrieren. Dazu diente ein 3/4"-Schlauch. Mit Beendigung eines Programmabschnittes, nach etwa 200 Hols, wurden Netz und Durchflußzähler unter Zusatz von Waschmitteln gereinigt und mit Süßwasser gespült.

2.2.2. Weitere Bearbeitung der Proben an Bord

Für quantitative Planktonanalysen wurden sowohl vollständige als auch geteilte Proben verwendet (Tab.4). Die Teilung erfolgte mit einem FOLSOM-Teiler (Mc EWEN et al., 1954). Proben für die taxonomische Bearbeitung erfuhren eine Formolfixierung (GRIFFITHS et al., 1976). Das zur Bestimmung der Biomasse vorgesehene Plankton wurde zunächst, um anhaftendes Meersalz zu entfernen, in einer Filtrationseinrichtung mit ca. 250 ml Süßwasser etwa 5 Minuten lang gespült (LOVEGROVE, 1966). Darauf folgte bei einem Unterdruck von etwa 50 kPa (0.5 $\text{kp} \cdot \text{m}^{-2}$ bzw. at) die Einengung der Proben auf einem 200 μm -Gazefilter. Auf einigen Expeditionen (Tab.4) schloß sich nun eine 24stündige Trocknung bei 60 $^\circ\text{C}$ (LOVEGROVE, 1966) im Trockenschrank des Schiffslabors an. Sie wurde an Land durch eine Nach Trocknung bis zur Massekonstanz vervollständigt. Zeitmangel für diese Bearbeitungsart bei engabständiger Stationsfolge sowie die Absicht, Proben in der Gefriertrockenanlage schonend zu bearbeiten, gaben schließlich der Frostprobe (-20 $^\circ\text{C}$) als Transportform den Vorrang (Tab.4). In beiden Fällen wurde das Material in Polyäthylenfolie eingeschweißt.

2.2.3. Bestimmung der Trockenmasse im Labor

Eine rasche Behandlung bei 60°C im Trockenschrank kommt im Ergebnis dem zwar schonenderen, aber Wochen in Anspruch nehmenden Verfahren im Exsikkator sehr nahe (LOVEGROVE, 1962, 1966). Das gilt sowohl für das Endgewicht als auch für die chemische Zusammensetzung der Proben. Im Gegensatz dazu verlieren z.B. Kopepoden bei der ebenfalls üblichen Anwendung von 105°C etwa 8 % ihres Fettgehaltes (LOVEGROVE, 1966). Die Massekonstanz trat stets in weniger als 24 h ein (s.2.3.2.6.). Das gilt auch für den Teil der Proben, der in einer Gefriertrockenanlage (LGA 05, Zentrifugengebäude, Engelsdorf) bearbeitet wurde (Tab.4). Zur Adaptation an die Temperatur im Wageraum wurden die Proben dort etwa 1 h lang im Exsikkator aufbewahrt (LOVEGROVE, 1966). Die benutzte Halbmikrowaage (AV IV S/3, Nagema, Berlin) zeigte 0.1 mg als Schätzwert an. Nach der Wägung wurden die benutzten Gazefilter gewaschen, getrocknet und ihre Masse bei der Berechnung berücksichtigt. Als Maßeinheit wurde stets $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ verwendet. Angaben im Mikrogrammbereich haben nur als Rechengröße Bedeutung.

2.2.4. Bestimmung des Phytoplanktonanteils

Besonders im neritischen Bereich stört gelegentlich ein starkes Phytoplanktonaufkommen die ZPB-Bestimmung. Eine geeignete Methode zur schnellen, quantitativen Eliminierung gibt es zur Zeit nicht. In einigen Arbeiten über das Seegebiet vor NWA schätzte man die pflanzliche Biomasse aus dem Chlorophyll-a-Gehalt der Netzproben (HERBLAND et al., 1973; BLACKBURN, 1976, 1979; SMITH und WHITLEDGE, 1977). von dieser Möglichkeit wurde bei der Bearbeitung des eigenen Materials unter Einbeziehung des Phaeopigmentanteils zum Teil Gebrauch gemacht (Tab.4). Der Chlorophyll-a- und Phaeopigmentgehalt wurde nach LORENZEN (1967) bestimmt. Beide Komponenten lassen sich zunächst in Kohlenstoff angeben (LORENZEN, 1968) und anschließend unter Verwendung der Äquivalente von CUSHING et al. (1958) in Phytoplankton-Trockenmasse ausdrücken. Die Subtraktion von der Masse der WP-2-Netzprobe führte zur korrigierten Zooplankton-Trockenmasse.

2.2.5. Auswerteverfahren

Die Anwendung statistischer Verfahren konzentrierte sich auf den Vergleich von Mittelwerten, der Berechnung von Vertrauensbereichen, Variations- sowie linearer Korrelations- und Regressionskoeffizienten (TAUBENHEIM, 1968). Infolge des meist geringen Freiheitsgrades und unter Annahme einer nahezu normalverteilten Grundgesamtheit, basierte die Teststatistik auf der t-Verteilung.

2.3. Filterwirkungen durch Fanggerät, Meßfehler und Stichprobeneffekte

Die beobachteten ZPB-Verteilungsmuster weichen von den in der Natur existierenden ab. Die Ursachen dafür liegen in

- der Wahl der Maschenweite des Planktonnetzes,
- Fehlern der Feld- und Laborpraxis und
- Stichprobeneffekten begründet.

Eine generelle Darstellung der Problematik erfolgte beispielsweise bei HAURY et al. (1978) und POSTEL (1983). Im folgenden wird die Spezifik der Probenentnahme und -bearbeitung zur Abschätzung dieser Einflüsse behandelt.

2.3.1. Selektive Wirkung des WP-2-Netzes auf die Zusammensetzung der Planktonproben

Das WP-2-Netz filtert aus dem gesamten Planktonspektrum die Fraktion des Kleinen Mesozooplanktons, von 0.2 - 10 mm Größe, quantitativ heraus (TRANTER und SMITH, 1968). Die Auswahl nach Größe beeinflusst die Zusammensetzung des Planktons (SHELDON et al., 1972). Die Proben verkörpern daher, gemessen am gesamten Plankton, nur einen Teil hinsichtlich

- Biomasse,
- Ernährungstypen,
- Entwicklungszeiten,
- taxonomischer Stellung und
- Bedeutung als Nahrung für kommerziell genutzte Fische.

Welche Charakteristika für die vorliegende Planktonfraktion zutreffen, läßt sich zum Teil aus Ergebnissen von VINOGRADOV und SHUSHKINA (1978) sowie VINOGRADOV et al. (1973) grob ableiten. Die Autoren gliederten das Plankton der oberen 200 m des küstennahen Auftriebsgebietes vor Peru nach ernährungstypischen und taxonomischen Gesichtspunkten. Sie versahen die einzelnen Gruppen mit Größenangaben (Tab.A3). Modellrechnungen führten zur zeitlichen Entwicklung der Biomasse dieser Klassen. Tab. A4 enthält die maximal erreichte Biomasse je Gruppe und die Zeitdauer, die zu ihrer Entwicklung nach Auftrieb erforderlich war. Die Bezeichnung der Ernährungstypen weicht in beiden Arbeiten (bzw. in Tab.A3 und A4) geringfügig voneinander ab. Der Vergleich der zusammengestellten Ergebnisse mit dem vom WP-2-Netz vermutlich erfaßten Größenspektrum des Planktons führt zu folgenden Charakteristika:

- Das Kleine Mesozooplankton verkörpert in den oberen 200 m der Wassersäule eines küstennahen Auftriebsgebietes etwa 1/3 der Biomasse des gesamten Planktons. Die ergänzenden 2/3 bilden das Phytoplankton, das Bakterioplankton, die Protozoen, die Feinfiltrierer (<0.2 mm Größe), die großen Euphausiden und Chaetognathen.
- Bezüglich der Ernährungstypen handelt es sich um eine Mischung aus Kleinen und Großen Herbivoren, d.h. aus Fein- und Grobfiltrierern, sowie aus einer Gruppe karnivoren Zooplanktons. Im Mittel bilden die drei Gruppen zu gleichen Teilen die Biomasse des Kleinen Mesozooplanktons.
- Die Entwicklungszeiten dieser Organismen liegen etwa zwischen 25 und 40 Tagen. Das erste Drittel, die Feinfiltrierer, erreichen etwa nach 26 d ihr Biomassemaximum, die Grobfiltrierer ca. 3 d später. Die dritte Gruppe entwickelt sich in den letzten 10 Tagen der genannten Schwankungsbreite optimal.
- Unter den Feinfiltrierern dominieren das Meroplankton, Appendikularien, Dolioliden und kleine Calaniden. Die Grobfiltrierer bestehen aus mittelgroßen Calaniden sowie aus juvenilen Euphausiden. Die Gruppe mit räuberischer Ernährung wird hauptsächlich von Cyclopiden, größeren Calaniden, kleineren Coelenteraten, Chaetognathen und Polychaeten gebildet.

Eine Spezifizierung hinsichtlich des vor NWA gefundenen Planktons erlaubt ein Vergleich der von HAUSMANN et al. (1972) aufgeführten taxonomischen Gruppen mit Größenangaben von WICKSTAEDT (1965) für tropisches Plankton und RIEDL (1963) für mediterrane Fauna (Tab. A5). Danach werden vom WP-2-Netz vermutlich vollständig erfaßt:

- von den Protozoa der Flagellat *Noctiluca miliaris* sowie die Foraminifera,
- von den Metazoa die Trachymedusae, juvenile Ctenophora, die Cladocera, Ostracoda,

die meisten Calanoidea, die Harpacticoida und Cyclopoidea (Oncaeidae, Sapphirinidae, Coryceidae) sowie juvenile Euphausiacea, Appendicularia sowie Larvenstadien der Actinaria, Bivalvia, Cirripedia, Malacostraca (einschließlich Brachyura), Echinodermata, (z.B. Ophioplutei, Echinoplutei) und Branchiostoma, gleichfalls die Eier und Larven von Teleostei.

Unvollständig erfaßt werden:

- die meisten Protozoa,
- vom Metazoa-Plankton die Hydromedusae, Siphonophora, adulte Ctenophora, die Gastropoda (Heteropoda, Pteropoda), die Embryonen der Cephalopoda, adulte Polychaeta, die Nauplienstadien, die großen Calanoidea, die Peracaridea (Mysidacea, Amphipoda, Cumacea, Isopoda), von den Eucarida die größeren Euphausiacea und Penaeidae, des weiteren große Chaetognatha, extrem große Appendicularia sowie adulte Thaliacea und Pyrosomida.

Eine mögliche Verwendung der ZPB-Verteilungsmuster zur Lösung von Fragen, die mit der Nahrungsgrundlage wirtschaftlich genutzter Fische verbunden sind, setzt die Relevanz der WP-2-Netzfraktion für diese Konsumenten voraus. Der Vergleich jener quantitativ erfaßbaren taxonomischen Gruppen (Tab.A5) mit dem Nahrungsspektrum der Fische liefert dafür einen Anhaltspunkt. In den Monaten März, Mai und Juni 1958 untersuchte SEMENOVA (1960) im Seegebiet vor Takoradi und im Juni 1957 in der Region vor Dakar 2529 Sardinella-, 675 Schildmakrelen- und 305 Thunmakrelenmägen. Die jeweilige mittlere Zusammensetzung, bezogen auf das Magenvolumen, beruht auf visueller Einschätzung und ist in Tab.A6 der qualitativen Fangeigenschaft des WP-2-Netzes gegenübergestellt. Unter der Voraussetzung, daß es sich bei Copepoda bzw. Dikopleura nicht um die größten Calanoidea bzw. Appendicularia handelt, spiegelt das kleine Mesozooplankton das Nahrungsspektrum von *Scomber colias* etwa zu 70 %, von *Trachurus spec.* zu 60 % und von *Sardinella spec.* zu 50 % wider. Vergleichbare Zahlen liefern die Ergebnisse von WEISS (1974). *Scomber colias* - Mägen enthalten demnach vor NWA zwischen 60 bis 65 % Copepoden und kleinere Euphausiden, die vom WP-2-Netz nahezu quantitativ erfaßt werden.

In den oberen 200 m eines küstennahen Auftriebsgebietes, so läßt sich abschließend feststellen, fängt ein WP-2-Netz im Mittel etwa 1/3 der Biomasse des gesamten Planktons. Sie setzt sich zu gleichen Teilen aus drei Ernährungstypen zusammen, aus Feinfiltrierern, Grobfiltrierern und Zooplankton mit räuberischer Ernährungsweise. Die typischen Entwicklungszeiten betragen etwa 25 bis 40 Tage. Ungefähr die Hälfte der vom Netz gefangenen taxonomischen Gruppen liegt quantitativ vor. Vor NWA wird das Nahrungsspektrum kommerziell genutzter Fische am besten für *Scomber colias* widergespiegelt.

2.3.2. Meßfehler

Die Amplitude eines Signals x wird als Näherung a gemessen. Die Differenz zwischen beiden Größen verursacht der Meßfehler ε (GELLERT et al., 1965; JUNGE, 1981). Er ist ein Maß für die Güte des Näherungswertes. Abgesehen von sogenannten groben Fehlern, die auf falscher Handhabung von Methoden und Geräten basieren, sind Meßfehler nicht vermeidbar. Nach ihrer Ursache ist in regelmäßige und unregelmäßige (zufällige) zu unterscheiden.

Regelmäßige Fehler können konstant oder systematisch sein, ihr Vorzeichen positiv oder negativ. Sie werden durch Geräte und Methoden verursacht, sind bestimmbar und

zu eliminieren.

Unregelmäßige Fehler sind im Einzelfall nicht und im allgemeinen ungenau erfaßbar. Sie haben den subjektiven Einfluß des Beobachters sowie schwer kontrollierbare Ereignisse während des Meßvorganges zum Inhalt. Sie äußern sich in der Streuung der Meßwerte innerhalb eines Intervalls. Betrag und Vorzeichen sind veränderlich. Damit besitzen sie den Charakter von echten Schwankungen. Ihre Abschätzung bedarf statistischer Methoden. Treten dabei Gesetzmäßigkeiten auf, können sie unter gleichmäßigen Bedingungen den regelmäßigen Abweichungen zugeordnet werden.

Die Bestimmung der ZPB setzte sich aus vielen Teilschritten mit Fehlermöglichkeiten zusammen. Darüberhinaus wurde die Methodik im Laufe der Zeit modifiziert. Das erforderte eine Fehlerbetrachtung und die Korrektur der Daten. Im Ergebnis wird einerseits die günstigste Bearbeitungsvariante deutlich. Andererseits macht eine Korrektur die Daten vergleichbar und verringert die methodisch verursachte Abweichung der Beobachtungen von den natürlichen Verhältnissen.

2.3.2.1. Filtrationsleistung des WP-2-Netzes

Die Filtrationsleistung wird auf direktem Weg, durch den Vergleich zweier Durchflußzähler bestimmt, die innerhalb und außerhalb des Netzes anzubringen sind. Diese Variante ließ sich nicht realisieren, denn das äußere Gerät ist nur ungenügend gegen Verlust zu schützen. Die folgende Betrachtung ermöglicht jedoch die Größenordnung des Einflusses abzuschätzen.

Die Filtrationsleistung liegt nach Untersuchungen von TRANTER (1968) im günstigsten Fall bei 94 % . Sie sank im küstennahen, planktonreichen Gebiet vor Kalifornien bei horizontaler Schleppvariante auf 85 % . Der Wert wurde über eine Distanz von 250 m erzielt. Um eine entsprechende Minderung im ozeanischen Bereich zu erreichen, mußte der Weg auf 700 m verlängert werden.

Die eigenen Ergebnisse basieren auf Vertikalhols. Im biomassereichen Gebiet vor Cap Blanc wurden die von TRANTER (1968) zugrunde gelegten 250 m in nur 3 von 30 Fällen mit jeweils 50 m überschritten (Dezember, 1972). So ist im ozeanischen Bereich des USG nicht mit mehr als 6 % Fangminderung zu rechnen. Vermutlich vergrößert sich der Wert bei Hols über dem Schelf auf etwa 15 % . Es wurde stets der gleiche Netztyp verwendet, insofern sind diesbezüglich keine Unterschiede zwischen den einzelnen Programmen auszugleichen. Im Bestreben, den natürlichen Gegebenheiten näher zu kommen, wurden die Daten jedoch im Rahmen des Korrekturmodus insgesamt um eine mittlere Minderung der Filtrationsleistung von 11 % erhöht (vgl. 2.3.2.13.).

2.3.2.2. Vergleich von Durchflußzähler und Trossenlänge zur Ermittlung der vom Netz filtrierte Wassermenge

T.S.K.-Durchflußzähler messen die vom Netz filtrierte Wassermenge im Bereich der Hievgeschwindigkeit von $45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ mit einem durchschnittlichen Fehler von C.V. = 4.1 % (Tab.A7).

Ohne derartige Registriergeräte wird die Schätzung mittels Produkt aus Netzöffnungsfläche und ausgefahrener Trossenlänge vorgenommen. In diesem Fall bleibt eine herabgesetzte Filtrationsleistung des Netzes einerseits bzw. das Filtrieren durch die Bewegung des Schiffes bei Drift und Krängen andererseits unkontrolliert. Das führt zu einer Über- bzw. Unterschätzung des filtrierte Wasservolumens und folglich zu einer entgegengesetzt unrichtigen Berechnung der mittleren ZPB.

52 Vertikalhols, während der Auftriebsperiode vor NWA über die oberen 200 m der Wassersäule ausgeführt (Tab.1, lfd.Nr.2.2.), erlauben den Vergleich der nach beiden

Methoden auf das filtrierte Volumen bezogenen ZPB-Werte. Es zeigte sich eine mittlere Überschätzung der Biomasse um 21 % , wenn die Trossenlänge gegenüber den Durchflußzählerergebnissen als Berechnungsgrundlage gewählt wird (Tab.A8). Der Unterschied zwischen den Mittelwerten beider Meßreihen ist infolge der Inhomogenität der Daten statistisch nicht zu belegen (p etwa 0.2). Er wird jedoch in Anbetracht seiner Höhe in den Korrekturmodus einbezogen.

2.3.2.3. Probenteilung

Die Ergebnisse einer fünfmaligen Teilung einer Zooplanktonmischprobe mit FOLSOM-Teiler weichen nach VAN GUELPEN et al. (1982) um C.I. = 12.8 % vom Mittelwert ab ($p < 0.05$). Folglich muß (bei 95 %) der geteilten Proben ein mittlerer Fehler von $\xi = \pm 13$ % in Kauf genommen werden.

2.3.2.4. Spülen der Proben mit Süßwasser

Das Spülen der Proben dient der Beseitigung des anhaftenden Salzes. Nach HOPKINS (1971, zit.n. HOPKINS,1982) liegt dieser Anteil bei 2 - 7 % der Planktontrockenmasse. Ergebnissen von PLATT et al. (1969) zufolge verändert die Spülung der Proben mit 1 l destilliertem Wasser den organischen Gehalt des Materials nicht. Das gilt für die Behandlungszeit von 30 Sekunden bis zu 1 Stunde. Demgegenüber verringerte sich bei OMORI (1978) die Trockenmasse von Calaniden zwischen 8 und 19 %, in Abhängigkeit von der Menge des benutzten destillierten Wassers. Vermutlich wird der Masseverlust innerhalb der ersten 30 Sekunden verursacht.

Auf der Grundlage dieser Beobachtungen lassen sich die Bedingungen bei der Bearbeitung des vorliegenden Materials nachträglich abschätzen. Entsprechend Tab.A9 verliert sich der Masseverlust mit steigender ZPB. Er wird deshalb im ozeanischen Bereich etwa 11 % betragen und in Küstennähe abnehmen. Die Überlegung fußt auf gleichbleibender Spülmenge. Danach wird jedoch nicht in jedem Fall verfahren, vorallem, wenn der Umfang einer Probe extrem zu- oder abnimmt. Der mittlere Masseverlust von 6 % wird deshalb als eine realistische Korrekturgröße angesehen.

2.3.2.5. Fixieren

Die Haltbarkeit der Proben für den Transport wurde im Laufe der Untersuchungen auf drei verschiedenen Wegen erzielt (Tab.4):

- mit 4 %igem, gepufferten Formalin,
- durch Tiefkühlen bei -18°C oder
- durch sofortiges Trocknen der Frischproben.

Im Labor schloß sich eine Trocknung bzw. Nach Trocknung an. Die Verwendung eines Trockenschrankes erforderte im Fall tiefgekühlter Proben ein Auftauen. Damit verbundene Effekte entfallen bei der Soforttrocknung bzw. der Bearbeitung gefrosteten Materials in einer Gefriertrockenanlage.

Der Einfluß des Fixierens mit 4 %igem, gepuffertem Formalin ist mehrfach untersucht worden. AHLSTROM und THRAILKILL (1962) sowie ANDREU (1977) beobachteten gegenüber Frischproben einen 31 - 40 %igen Volumenschwund des Planktons. WILLIAMS und ROBINS (1982) stellten auch bei Trockenmasse verschiedener Entwicklungsstadien von *Calanus helgolandicus* einen mittleren Verlust von 38 % fest (N = 9 bis 62 je Gruppe). Im Vergleich zu frischem Chaetognathen- und Copepodenmaterial fand OMORI (1978) nach 6monatiger Formolfixierung eine um 27 % bzw. 23 % verringerte AFTM. Bezüglich des Tiefkühleinflusses gehen die Befunde auseinander. Während BEERS (1976)

die Trockenmasseergebnisse von Frost- und Frischproben für vergleichbar hält, stellten FUDGE (1968) und OMORI (1970, zit. n. WILLIAMS und ROBINS, 1982) leichte Erhöhungen der Masse nach Aufbewahrung bei -25°C fest. Im ersten Fall wurden 7 % genannt, gemessen an *Neomysis integer*, die zweite Feststellung ist qualitativer Natur und bezieht sich auf *Calanus cristatus*. WILLIAMS und ROBINS (1982) beobachteten bei Frostproben im Vergleich zu frischem Material eine um 57 % niedrigere Trockenmasse. Das begründeten die Autoren mit einem Substanzverlust, der beim Auftauen des Materials vor der Überführung in den Trockenschrank eintritt. Dabei entweicht Körperflüssigkeit aus geplatzten äußeren Membranen und inneren Gewebestrukturen. Zu vergleichbaren Ergebnissen führte ein Versuch mit 15 Proben aus dem USG vor Mauretania. Das Material stammte aus verschiedenen Tiefenhorizonten bis maximal 200 m und aus dem Zeitraum vom 15. - 18.3.1984 (POSTEL, 1987). Die tiefgefrosten Proben wurden ohne aufzutauen in die Gefriertrockenanlage überführt. An eine folgende Wägung schloß sich für das gleiche, jetzt als "aufgetaut" betrachtete Material, eine Spülung mit ca. 250 ml Süßwasser an. Ihr folgte eine erneute Gefriertrocknung und Wägung. Das Spülwasser trübte sich dabei sichtbar. Der mittlere Masseverlust lag mit 48 % (Tab.A10) in dem von WILLIAMS und ROBINS (1982) beobachteten Bereich. Der Unterschied zwischen der ZPB-TM beider Meßreihen ist mit $p < 0.001$ signifikant.

2.3.2.6. Trocknungsdauer

LOVEGROVE (1962, 1966) empfiehlt eine 16stündige Trocknung. Bei den eigenen Untersuchungen wurden aus praktischen Gründen 24 Stunden gewählt. Damit war die gewünschte Massekonstanz sicher zu erzielen, so daß sich eine Korrektur erübrigte. Das zeigten fünf Versuche an Proben aus dem USG, bei denen die Konstanz zwischen 18 und 22 Stunden eintrat (Tab.A11). Gegenüber der 16stündigen Trocknung wäre im günstigsten Fall eine Verbesserung um etwa 1 % zu erzielen.

2.3.2.7. Massezunahme während des Wägevorganges

LOVEGROVE (1966) gibt eine 2 %ige Massezunahme der Proben für eine 5 Minuten dauernde Wägung an. Dieser Wert übertrifft eigene Untersuchungen am Material aus dem USG vor Mauretania vom März 1984 (POSTEL, 1987) um ein Vielfaches. Bei einem Test mit 16 Proben nahm die Masse nach 30 Sekunden im Mittel um nur 0.05 % zu, bezogen auf durchschnittlich 300 mg. Das Ergebnis wurde auf der Mikrowaage ME 22 in einem abgeschlossenen Wägeraum erzielt. Der Wägevorgang auf der generell benutzten Halbmikrowaage AV IV S/3, ebenfalls mit abgeschlossenem Wägeraum, nahm etwa die doppelte Zeit in Anspruch. Die Massezunahme blieb jedoch bei einer Probengröße bis zu 1000 mg im Bereich der Waagenungenauigkeit (s. 2.2.3.). Eine Korrektur erübrigte sich, denn von 210 Proben waren nur 2 mit höherer Masse zu verzeichnen.

2.3.2.8. Gefriertrocknung im Vergleich zur Trockenschrankmethode

OMORI (1978) stellte bei der Gefriertrocknung im Vergleich zur Trockenschrankmethode, trotz der parallel verwendeten, geforderten 60°C , eine um 2 % höhere Masse fest. Dieser Unterschied gilt mit 3 % ebenfalls für den organischen Anteil (AFTM) sowie den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt eines mittleren Individuums von *Calanus sinicus*. Nach FUDGE (1968) ist die Gefriertrocknung besonders schonend in bezug auf den Fettgehalt. Dort macht der Unterschied ebenfalls 3 % aus, bei Protein, Chitin und Asche 1 %. Kohlehydrate hingegen verlieren 1 %.

Die Ergebnisse sprechen insgesamt für die Gefrier Trocknung und für die Korrektur des vermutlich im Trockenschrank zu verzeichnenden 2 %igen Masseverlustes.

2.3.2.9. Beobachtungsfehler

Die vielfältigen Handgriffe der Probenentnahme und -bearbeitung führen zu Beobachtungsfehlern. Dieser subjektive Fehler sollte durch Parallelbestimmungen zu ermitteln sein. Das erfordert eine Serie von Planktonhols zu vergleichbaren Bedingungen. Kleinskalige Planktonflecken stören die dazu notwendige Homogenität (ANONYM, 1983b). Dieser Umstand läßt sich durch die Benutzung zweier gekoppelter Netze ("Doppelnetz") dämpfen. Damit wurden am 19.3.1976 innerhalb von 74 Minuten 10 Parallelhols auf einer Ankerstation vor NWA (s. 2.1.) durchgeführt. Im Ergebnis weichen die Mittelwerte beider Meßreihen nicht voneinander ab. Der geringfügige Unterschied beträgt 1 % der Mittelwerte und ist statistisch nicht signifikant (Tab.A12). Das erlaubt den subjektiven Fehler zu vernachlässigen.

2.3.2.10. Phytoplanktonanteil

Auf den störenden Charakter des Phytoplanktonanteils an einigen Proben wurde unter 2.2.4. hingewiesen. Nicht bei allen Messungen war die ebenfalls an dieser Stelle beschriebene Korrektur vorzunehmen. Über den Anteil pflanzlichen Materials an den Zooplanktonproben geben die Ergebnisse aus den oberen 30 m des küstensenkrechten Schnittes vor SWA (Tab.1, lfd.Nr.1.1.; Abb.1) Auskunft.

Im Mittel enthielten 200 ZPB-Proben 3.6 ± 5.4 % Phytoplankton als Trockenmasse. In 15 Fällen stieg der Gehalt auf über 5 %, im Einzelfall auf 46 % an. Dabei trat die Kontamination am häufigsten zwischen 70 und 90 km Küstenentfernung auf, seltener im ozeanischen Bereich (Tab.A13). Etwa die Hälfte der Proben enthielten reines Zooplankton. Deshalb wurde von einer Einbeziehung des Sachverhaltes in den generellen Korrekturmodus abgesehen.

2.3.2.11. Biomasseanteil von Organismen über 10 mm Größe an WP-2-Netzproben

Das WP-2-Netz erfaßt Plankton einer Größe zwischen 0.2 und 10 mm, das sogenannte "Kleine Mesozooplankton", quantitativ (s. 2.3.1.). Organismen unterhalb und oberhalb dieses Ausschnittes werden sporadisch mitgefangen. Größere Plankter können bereits einzeln die Masse der Probe maßgeblich beeinflussen. VIVES (1974) versuchte diese Organismen mit einem 5 mm Sieb zurückzuhalten. ANDREU (1977) benutzte dazu ein Sieb mit WP-2-Netzgaze. Der nachträgliche Vergleich von ANDREUS (1977) filtrierter Meßreihe zur unbehandelten ergab bei 36 Proben einen mittleren Verlust um etwa die Hälfte ($p < 0.001$) und macht auf die Problematik einer solchen Behandlung aufmerksam. Bei eigenen Untersuchungen wurden Myctophiden von vornherein ausgeschlossen, ebenfalls Quallen (>5 cm) und Pyrosomida. Euphausiacea >1 cm blieben enthalten. Der Einfluß, den sie auf das Probengewicht nehmen können, wurde abzuschätzen versucht. Dazu dienten 131 Proben aus dem USG vor Nouakchott (Mauretania) vom März/April 1984 (POSTEL, 1987). Sie stammten von Stationen über Wassertiefen von etwa 50 - 1500 m. Die Trockenmasse der Probe und der dazugehörigen Euphausiden wurde mit der Mikrowaage ME 22 bestimmt. Im Ergebnis enthielten 16 % der Proben 1 - 10, durchschnittlich 3 Exemplare. Die Individuen wogen durchschnittlich $14,7 (\pm 8,1)$ mg und waren $2,4 (\pm 0,4)$ cm lang, die Schwankungsbreite lag bei 0.1 - 31.2 mg bzw. 1.5 - 3.0 cm. Sie machten im Mittel 10 % (± 10 %; 0.1 - 42.5 %) der Trockenmasse einer solchen Probe aus. Unter Einbeziehung des gesamten Materials besaßen die enthaltenen

Euphausiden einen mittleren Masseanteil von 2 % . Wie im Fall der Kontamination der Proben mit Phytoplankton, sind auch hier nur eine geringe Anzahl der Proben deutlich betroffen, so daß von der Korrektur aller Werte abgesehen wird.

2.3.2.12. Absetzvolumen, Trockenmasse und Aschefreie Trockenmasse im Vergleich

KÖHLER (1972) wendete sich anhand des Probenmaterials vom Nordsommer und -herbst 1970 (Tab.1, lfd. Nr 2.1.) der Aufgabe zu, spezielle Äquivalente für die Berechnung der Aschefreien Trockenmasse (AFTM) aus dem Absetzvolumen (AV) zu erstellen. Er wählte die Kette AV - NM (Naßmasse) - TM -AFTM und verwarf wegen sehr hoher Variationskoeffizienten des Verhältnisses NM / AV die Verwendung der gewonnenen Faktoren. Damit wurde gleichzeitig die Unsicherheit bestätigt, mit der die Bestimmung des AV verbunden ist. Sie basiert vorallem auf den vielfältigen Unterschieden des Planktons in Form und Konsistenz.

Die Frage nach der Fehlerhaftigkeit der Bestimmung des Absetzvolumens gegenüber der Trockenmasse tauchte erneut mit dem Bemühen auf, mit zwei weiteren, gegenüber den in Tab.1 verzeichneten Aufnahmen der küstennahen Zone vor NWA (Abb.2) die Datendichte in dieser Region für die folgenden Untersuchungen zu erhöhen. Die in Betracht kommenden Biomassewerte vom April und September/Oktober 1971 liegen als Absetzvolumina vor. Die Möglichkeit ihrer direkten Umformung in Trockenmasse sollte mit einem Verfahren von WIEBE et al.(1975) wiederholt geprüft werden. Es erlaubt den Fehler des zu berechnenden TM-Wertes nach einem Algorithmus von RICKER (1973, zit.n.WIEBE et al.;1975) anzugeben. Damit kann auch die Frage nach der Fehlerhaftigkeit der Bestimmung des Absetzvolumens gegenüber der Trockenmasse direkt und quantitativ ausgedrückt werden. Folgende Potenzfunktion ließ sich aus 166 Wertepaaren von KÖHLER (1972) ableiten, wobei das Absetzvolumen in ml, die Trockenmasse in g vorlag:

$$TM = 0.006 * AV^{1.15} \text{ bzw.}$$

$$\lg TM = 1.150 * \lg AV - 2.292$$

Der Fehler für $\lg TM$ mit $p < 0.05$ (t-Verteilung) ist wie folgt zu berechnen:

$$\pm t_{p < 0.05} * (\text{var } \lg TM)^{1/2},$$

$$\text{var } \lg TM = s^2_{\lg TM; \lg AV} * (1 + N^{-1} + (\lg AV_i - \overline{\lg AV})^2 * (SS \lg AV)^{-1}),$$

wobei

$t_{p < 0.05}$	= 1.976	Tafelwert der t-Verteilung bei N-2 und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0.05$,
$s^2_{\lg TM; \lg AV}$	= 0.0478	Varianz der mittleren quadratischen Abweichung,
N	= 166	
$\lg AV_i$	=	Logarithmus (\log_{10}) eines AV - Wertes i, für den $\lg TM$ berechnet wird,
$\overline{\lg AV}$	= 1.915	Mittelwert von $\lg AV$,
SS $\lg AV$	= 20.758	Summe der Abweichungsquadrate von $\lg AV$.

Die Berechnung von Beispielen zeigte, daß die realen Werte zwischen 170 und -60 % von den berechneten abweichen. Der Fehlerbereich nimmt demnach eine Spanne von 230 % ein, innerhalb der sich die Bestimmung des Absetzvolumens in ihrer Genauigkeit von

der der Trockenmasse unterscheidet. Damit erübrigte sich auch die beabsichtigte Umrechnung und Nutzung der Absatzvolumina aus dem Jahre 1971. Darüberhinaus zielte die Untersuchung des Datenmaterials darauf, die Fehlerhaftigkeit der Bestimmung der Trockenmasse gegenüber der Aschefreien Trockenmasse, der organischen Substanz, zu beurteilen. Analog der benutzten Verfahrensweise zeigte sich eine Abweichung der Trockenmassebestimmung gegenüber der AFTM von $\pm 9\%$. Für diese vergleichsweise günstige Abweichung ist der wechselnde anorganische Anteil des Planktons verantwortlich. Aus der Berechnung von Beispielen ließ sich aus KOHLER's (1972) Daten ein mittlerer Ascheanteil für das küstennahe Auftriebsgebiet vor NWA und die zweite Jahreshälfte von 1970 von $16\pm 9\%$ ableiten. Generell erlaubte die beabsichtigte weitere Verwendung des Materials nicht die direkte Bestimmung der organischen Substanz. Im Bedarfsfall gestattet folgende Gleichung die Berechnung in g:

$$\text{AFTM} = 0.838 * \text{TM}^{1.005} \text{ bzw.} \\ \lg \text{AFTM} = 1.005 * \lg \text{TM} - 0.07655$$

unter Berücksichtigung eines mittleren Fehlers von

$$\pm 1.9796 * \frac{0.039 * (1 + 166^{-1} + (\lg \text{TM}_i - 0.090)^2 * (27.472)^{-1})^{1/2}}{1.005}$$

und $p < 0.05$.

2.3.2.13. Zusammenstellung der Meßfehler und Schlußfolgerungen für die Methodik

Die Fehlerbetrachtung diente in erster Linie der Feststellung, welche methodischen Modifikationen im Laufe der mehrjährigen Probenentnahme und -bearbeitung zu gravierenden Abweichungen führten und eine Angleichung erforderlich machten. Der Korrekturmodus besteht aus einer Summe konstanter Fehler, die unter gleichmäßigen (bzw. mittleren) Bedingungen von unregelmäßigen Fehlern mit bekanntem, statistischen Gesetz ergänzt werden können (s.2.3.2.). Die letztere Gruppe wird im folgenden als quasikonstant bezeichnet. Die Fehler sollten von generellem und deutlichem Einfluß sein. Deshalb gingen z.B. die zeitweilig mitgefangenen Organismen von > 10 mm Größe (s.2.3.2.11.) ebensowenig in den allgemeinen Korrekturmodus ein, wie das gelegentlich bis zu einem Probenanteil von 46 % aufgetretene Phytoplankton (s.2.3.2.10.). Unter diesem Aspekt betrachtet, erscheint die generelle Berücksichtigung einer um $> 6\%$ geminderten Filtrationsleistung des Netzes (s.2.3.2.1.; Tab.4) nachträglich als ungerechtfertigt.

Korrekturen hinsichtlich der Trocknungsdauer (s.2.3.2.6.), der Massezunahme während des Wägevorganges (s.2.3.2.7.) und des Beobachtungsfehlers (s.2.3.2.9.) erubrigten sich wegen ihres unbedeutenden Einflusses auf die Ergebnisse. Das zeigt die Tabelle 3, die alle Meßfehler der untersuchten Bearbeitungsschritte enthält.

Tab.3:

Zusammenstellung der untersuchten Meßfehler ϵ , die während der Gewinnung von ZPB-TM-Daten auftraten.

Lfd.Nr. 1. Beträge regelmäßiger (konstanter und quasikonstanter) Meßfehler

Lfd.Nr. 2. Intervall unregelmäßiger Meßfehler

Lfd. Nr.	methodischer Schritt	ϵ (%)	Bemerkung	Hinweis	Autor
1.1	Filtrationsleistung des WP-2-Netzes	- 6	im ozeanischen Bereich	Abschnitt 2.3.2.1.	eigene Abschätzung, n. TRANTER (1968)
		- 15	im neritischen Bereich		
		- 11	im Mittel		
1.2	Trossenlänge zur Schätzung der filtrierten Wassersäule	+21		Abschnitt 2.3.2.2. Tab.A8	eigene Untersuchung
1.3	Spülen der Proben mit Süßwasser	-11	im ozeanischen Bereich	Abschnitt 2.3.2.4., Tab.A9	eigene Abschätzung, n. OMORI (1978)
		0	im neritischen Bereich		
		- 6	im Mittel		
1.4	Fixieren in 4%iger, gepufferter Formalin-Lösung	-38	bei Calanus helgolandicus	Abschnitt 2.3.2.5.	WILLIAMS und ROBINS (1982)
1.5	Auftauen gefroreter Proben vor der Trocknung	- 48	N = 15, unterschiedliche Tiefenhorizonte, z \leq 200 m; p < 0,001	Abschnitt 2.3.2.5. Tab. A10	eigene Untersuchungen
1.6	Trocknungsdauer 16 h < t < 24 h	- 1	N = 5	Abschnitt 2.3.2.6., Tab.A11	eigene Untersuchungen
1.7	Massezunahme während des Wägevorganges	+0,1	N = 16 ZPB(TG) \approx 300 mg	Abschnitt 2.3.2.7.	eigene Untersuchungen
1.8	Gefriertrocknung im Vergleich zur Trockenschrankmethode	+ 2	bei 60 °C	Abschnitt 2.3.2.8.	OMORI (1978)
1.9	Phytoplanktonanteil	+ 4	SWA(Tab.1;1.1.) N = 200 im Mittel	Abschnitt 2.3.2.10., Tab.A13	eigene Untersuchung
1.10	ZPB-Anteil der Euphausiden > 10mm am TG einer Probe	+ 2	Mauretaniien 1984 (POSTEL,1987) N = 131 im Mittel	Abschnitt 2.3.2.11.	eigene Untersuchung
Lfd. Nr.	methodischer Schritt	ϵ (%)	Bemerkung	Hinweis	Autor
2.1	Präzision des Durchflußzählers	\pm 4		Tab. A7	Eichlabor -T.S.K.Co.Ltd. Yokohama -W.-Pieck-Universität Rostock
2.2	Probenteilung (FOLSOM-Teiler)	\pm 13	p < 0,05	Abschnitt 2.3.2.3.	v.GUELPHEN et al. (1982)
2.3	Beobachtungsfehler	\pm 1	Unterschied der ZPB zweier, paralleler Meßreihen (WP-2-Doppelnetz), nicht signifikant	Abschnitt 2.3.2.9.	eigene Untersuchung
2.4	Trockenmasseberechnung aus dem Absatzvolumen	-180 + 65	N = 166	Abschnitt 2.3.2.12.	eigene Untersuchung, nach Daten von KOHLER (1972)
2.5	Berechnung der aschefreien Trockenmasse aus der Trockenmasse	\pm 9	N = 166	Abschnitt 2.3.2.12.	eigene Untersuchung, nach Daten von KOHLER (1972)

Anhand des Überblicks lassen sich Schlußfolgerungen für den günstigsten Bearbeitungsmodus ableiten.

Die Trocknung formalinfixierter Proben allgemein und tiefgefrosteten Materials im Trockenschrank führen zu starken Biomasseverlusten von 38 bzw. 48 %. Die Gefrierdrying eingefrorenen Planktons stellt das geeignetste Bearbeitungsverfahren dar. Die Berechnung der Trockenmasse aus dem schnell bestimmbareren Absatzvolumen ist wegen der Fehlerspanne von 245 % ebenfalls nicht vertretbar, währenddessen sich der organische Anteil mit ± 9 % aus der Trockenmasse ableiten läßt.

Die filtrierte Wassermenge, Bezugsbasis der mittleren ZPB, sollte mit einem Durchflußzähler ($\bar{\epsilon} = \pm 4$ %) anstelle der Trossenlänge ($\bar{\epsilon} = 21$ %) ermittelt werden. Ein zweites, außerhalb des Netzes und gegen Verlust geschützt angebrachtes Gerät ermöglicht die aktuelle Bestimmung der Filtrationseffektivität ($\bar{\epsilon} = 6-15$ %, TRANTER, 1968).

Im Bedarfsfall muß zur Korrektur des Phytoplanktonanteils nach wie vor der unter 2.2.4. beschriebene Weg beschrritten werden. Organismen von >10 mm Größe, die im Einzelfall bis zu 10 Individuen je Probe enthalten waren (2.3.2.11.), sollten vor der Wägung, spätestens im getrockneten Zustand aus dem Material herausgesammelt werden. In dem Zusammenhang mußte untersucht werden, ob die allgemeine Benutzung des von VIVES (1974) verwendeten 5 mm-Siebes als die zweckdienlichste Methode empfohlen werden kann.

Den Proben haften im Mittel 2 - 7 % ihrer Trockenmasse als Salz an (HOPKINS, 1971; zit.n. HOPKINS, 1982). Dem steht ein mittlerer Masseverlust von 6 % durch Spülen des Planktons gegenüber. Hier müßte geprüft werden, inwieweit sich der Fehler beider Arbeitsgänge aufhebt.

Nach Möglichkeit sollte eine Teilung der Proben ($\bar{\epsilon} = \pm 13$ %) an Bord eines Schiffes unterbleiben.

Gegenüber den Empfehlungen von GRIFFITHS et al. (1976) stellen die Korrektur um den Anteil des Phytoplanktons und der Organismen >10 mm Größe sowie die Überlegung, gegebenenfalls auf die Spülung der Proben zu verzichten, Veränderungen dar.

In der Tabelle 4.1. sind die berücksichtigten Korrekturwerte k für die jeweiligen Untersuchungszeiträume gemäß der benutzten Methodik zusammengestellt. Die k entsprechen den Meßfehlern mit umgekehrtem Vorzeichen. Sie umfassen die konstanten und quasikonstanten, jeweils in der Korrektursumme S_k addierten Beträge. Korrigierte Meßwerte weichen nach wie vor um die in der Tab.3 enthaltenen Intervalle unregelmäßiger Fehler von der Amplitude eines Signals ab.

Tab.4: Korrekturwerte k für regelmäßige (konstante und quasikonstante) Meßfehler und Korrektursumme S_k für die jeweiligen Untersuchungszeiträume (s.Tab.1)

Lfd. Nr. nach Tab. 3	methodischer Schritt	k (%)	Lfd. Nr. und USZ, nach Tab. 1						
			1.1. 16.10. - 7.11.1979	2.1. 27. 8. - 8. 9.1970	28.10. - 8.11.1970	20. 6. - 8. 7.1972	24.12.1972-10. 1.1973	23. 2. -14. 3.1973	14. 5. -30. 5.1974
1.1.	Filtrationsleistung des WP-2-Netzes	+11	x	x	x	x	x	x	x
1.2.	Trossenlänge zur Schätzung der filtrierten Wassersäule	-21		x	x	x			
1.3.	Spülen der Proben	+ 6	x	x	x	x	x	x	x
1.4.	Fixieren mit Formalin	+38		x	x				
1.5.	Auftauen der Proben	+48				x	x	x	x
	frisch trocknen	0							x
1.8.	Gefriertrocknung	- 2	x						
	S_k (%)		+	+	+	+	+	+	
			15	35	45	65	17		

2.3.3. Stichprobeneffekte

Die ZPB-Verteilung unterliegt einer Abhängigkeit von Raum und Zeit. Zur Behandlung orts- und zeitabhängiger Meßgrößen wird sich der Theorie der Zufallsprozesse bedient. Zufallsprozesse bestehen aus einer unendlichen Zahl unendlicher Realisierungen, wobei meist die Kenntnis einer einzigen genügt (TAUBENHEIM,1968). Ihre korrekte Erfassung würde die unendlich lange, kontinuierliche Messung erfordern. Die technischen Voraussetzungen gestatten jedoch nur die Beobachtung eines Bandauschnittes, festgelegt durch Meßlänge und Meßabstand. Dabei kann die endliche,

diskrete Registrierung zur fehlerhaften Aufzeichnung führen. Die endliche Meßlänge enthält einen Trend, wenn ein energiereiches Signal weniger als eine Wellenlänge bzw. Periode lang registriert wird. Der Effekt der diskreten Abtastung beruht auf der Informationslücke zwischen den Meßpunkten. Dazwischenliegende, energiereiche Signale täuschen eine längerperiodische Variation vor. Dieser Vorgang wird als "Aliasing" oder "Mehrdeutigkeit von Frequenzen bzw. Wellenzahlen" bezeichnet (TAUBENHEIM,1968). Aus dem Abtasttheorem geht hervor, daß Signale unterhalb des doppelten Meßabstandes dafür verantwortlich sind, soweit ihr Einfluß nicht durch eine Bandbegrenzung unterbunden wird. Dafür sorgen beispielsweise die Probeentnahmetechnik durch integrierte Proben, phasenfeste Entnahme (Jahreszeit, Tageszeit) bzw. das "weiße Rauschen" infolge methodischer Fehler.

Die Abbildung 3 vermittelt einen groben Überblick, welche Vorgänge die dreidimensionalen ZPB-Verteilungsmuster vom Sekunden- bis zum 1000-Jahre- und vom Zentimeter bis zum 10 000 km-Bereich erzeugen. In Verbindung mit Tab.2 läßt sich grob überlegen, welche der Stichprobeneffekte in den benutzten Beobachtungsprogrammen zum tragen kommen.

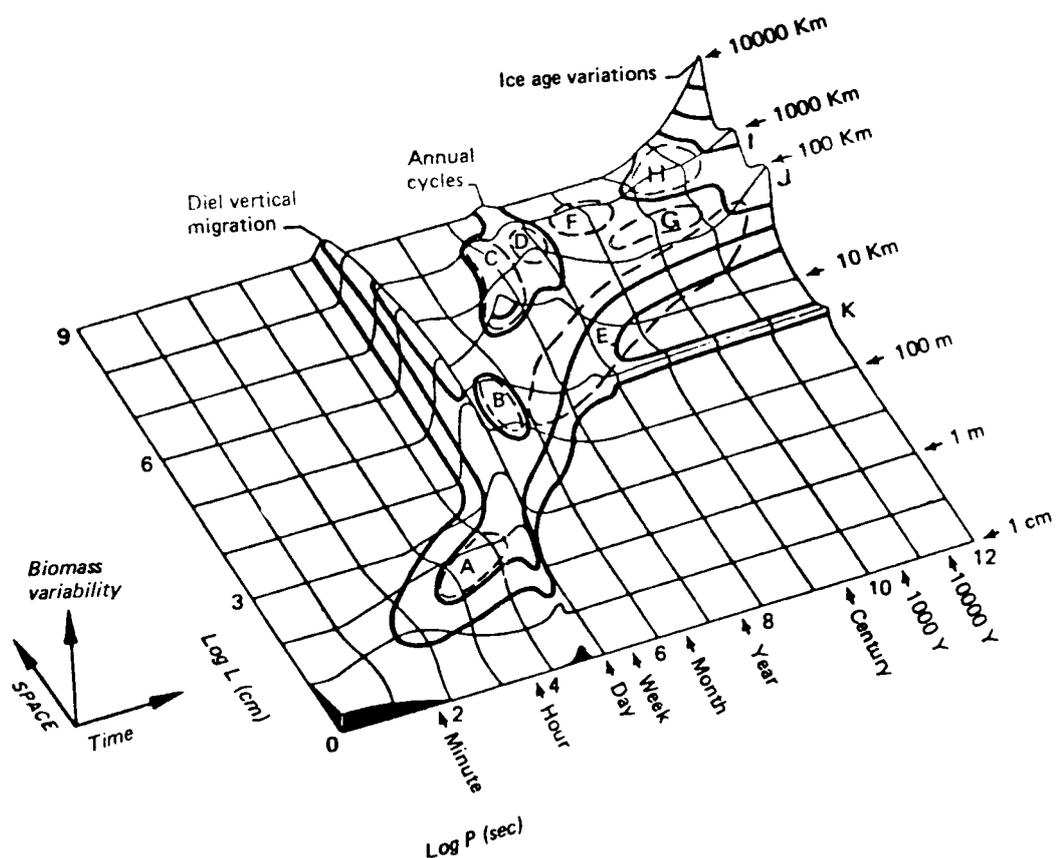


Abb.3: Semi-quantitative, dreidimensionale Darstellung relativer ZPB-Variabilität nach HAURY et al.(1978). Darin bedeuten: A "Mikropatche", B Schwärme, C Auftrieb, D Wirbel und Ringe, E Inseleffekte, F El Niño-artige Vorgänge, G Nebenmeere, H tiergeographische Regionen, I Länge von Strömungen und ozeanischen Fronten, J Breite von Strömungen, K Breite von Fronten.

Als Trend kommen im makro- bis mesomaßstäblichen Programm 2. (s.Tab.1) zwischenjährliche Variationen in Frage (s.3.2.2.). Bei der Planung des grobmaßstäblichen Programmes 1.1. (s.Tab.1) war darüberhinaus der jahreszeitliche Wechsel der Auftriebsintensität (s. 3.2.1.) zu berücksichtigen.

Aliasing wird in den Programmen 1. und 2. im wesentlichen durch Wirbel (s.3.2.3.), Meander (s.3.2.4.), lange Wellen (s.3.2.5.), Fronten (s.3.1.1.) und tageszeitliche Variationen, beispielsweise durch tägliche Vertikalwanderungen des Planktons, verursacht.

2.3.3.1. Tägliche Vertikalwanderung des Planktons als Stichprobeneffekt

Die tägliche Vertikalwanderung der Plankter beeinflusst Abb.3 zufolge den gesamten räumlichen Maßstabsbereich. Licht- und Nahrungsangebot, Änderungen der vertikalen Temperatur- und Sauerstoffverteilung sowie endogene Rhythmik der Organismen werden als ausschlaggebende Faktoren, als "Zeitgeber" (PEARRE, 1979) angesehen (VINOGRADOV und TSEITLIN, 1983; ROE et al., 1984; ENRIGHT, 1977; PEARRE, 1979; SMITH et al., 1981; SAMEOTO, 1986). Es werden Amplituden von wenigen Metern (z.B. HUNTLEY und BROOKS, 1982), mehreren 10 m (z.B. ROE, 1972; SMITH et al., 1981) sowie von mehr als 100 m beschrieben (z.B. ROE, 1972; HOPKINS, 1982; ROE et al., 1984). Die Amplituden können bei zunehmender Wassertiefe größer werden und umgekehrt (RUDJAKOV, 1970; zit. n. HUNTLEY und BROOKS, 1982). Vertikal migrierende Copepoden entwickeln Geschwindigkeiten von $30 - 150 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ (ROE, 1984). Dem Vorgang wird eine Regelmäßigkeit zugeschrieben, mit aufwärtsgerichteter Bewegung nach der Abenddämmerung und umgekehrter Orientierung am Morgen (z.B. ENRIGHT und HONEGGER, 1977). HARDY und GUNTHER (1936, zit. n. HUNTLEY und BROOKS, 1982) berichteten über "day time swarming" von Calaniden in oberflächennahen Schichten. Darüberhinaus wurde auch spontanes Verhalten beobachtet (MARSHALL und ORR, 1927; RUSSEL, 1928; zit. n. HUNTLEY und BROOKS, 1982). Ferner tritt die Vertikalwanderung nicht für alle Migranten synchron auf. Es existieren interspezifische (z.B. WILLIAMS und CONWAY, 1980; WEIKERT, 1982; HOPKINS, 1982; ROE et al., 1984), ontogenetische sowie geschlechtsspezifische Unterschiede (z.B. HUNTLEY und BROOKS, 1982). Dadurch verwischen unter Umständen die von der Vertikalwanderung im Verlauf eines Tages erzeugten Biomasseunterschiede in einer Mischplanktonprobe. Mit vertikal integrierenden Planktonnetzholts können potentielle tageszeitliche Biomasseunterschiede methodisch aufgehoben werden. Andererseits soll die seit FRANZ (1910, zit.n. FRIEDRICH, 1965) diskutierte Scheuchwirkung des Fanggerätes diesen Unterschied künstlich verstärken (z.B. STAR und MULLIN, 1981; CLUTTER und ANRAKU, 1968, zit. n. GREENBLATT et al., 1982). Das betrifft HOPKINS (1982) zufolge besonders die vom WP-2-Netz jedoch nur sporadisch erfaßten Individuen von $> 10 \text{ mm}$ Größe.

Der Einfluß der täglichen Vertikalwanderung der Plankter auf die ZPB - Werte ist daher von vornherein weder anzunehmen noch auszuschließen. Unter der Annahme einer phasenfesten Beziehung werden zur Prüfung dieser Frage die nächtlichen und die am Tag gemessenen ZPB - Werte in den Abschnitten 4.1. und 4.3. verglichen.

3. Überblick zum küstennahen Auftrieb und seiner Folgeerscheinungen im Epipelagial

Plankton unterliegt neben der Dynamik seiner eigenen Entwicklung als das "Treibende" den Bewegungen des Wassers. Die Untersuchung der ZPB - Reaktion auf küstennahen Auftrieb erfordert, sich zunächst mit dem Auftriebsvorgang und den speziellen Gegebenheiten im USG vertraut zu machen.

3.1. Mittlere Verhältnisse vor Nord- und Südwestafrika

3.1.1. Zirkulation

Die Auftriebsgebiete vor der westafrikanischen Küste zählen zu den "Passatstromregionen mit stark äquatorwärtsgerichteter Bewegungskomponente" (DIETRICH et al., 1975). Entsprechend der Richtungsangabe des Hauptstromes, das betrifft in den Untersuchungsgebieten den Kanaren- bzw. den Benguelastrom, wird aus höheren Breiten, im Vergleich zur subtropischen bis tropischen Umgebung, relativ kaltes Wasser herangeführt. Damit zeichnet sich das Epipelagial dieser Regionen durch eine negative Temperaturanomalie aus. Sie wird durch den küstennahen Auftrieb kalten Tiefenwassers verstärkt. Dafür ist großräumig vornehmlich der beständig wehende Passat verantwortlich. Die äquatorwärts und küstenparallel orientierte Windkomponente ruft einen Driftstrom hervor, der unter dem Einfluß der CORIOLIS-Kraft gegenüber der Windrichtung eine 90° Ablenkung erfährt. Das führt zum seewärts gerichteten EKMAN-Transport. Es stellt sich eine (küstensenkrecht orientierte) Quercirkulation ein (Abb.4). Das Auftriebswasser stammt aus 100 bis 300 m Tiefe. Die Vertikalgeschwindigkeiten liegen zwischen 10^{-1} und $10^{-2} \text{ cm*s}^{-1}$ (MITTELSTAEDT, 1983).

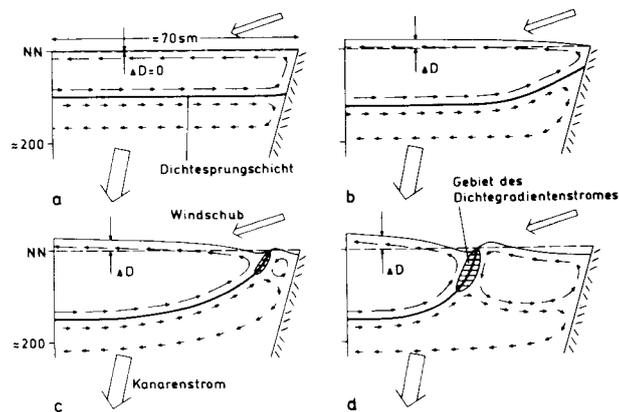


Abb.4: Schema zur Entwicklung der Quercirkulation nach Einsetzen des auftriebswirksamen Windes in vier sukzessiven Stadien vor NWA. D bedeutet dynamische Tiefenanomalie (nach HAGEN, 1974)

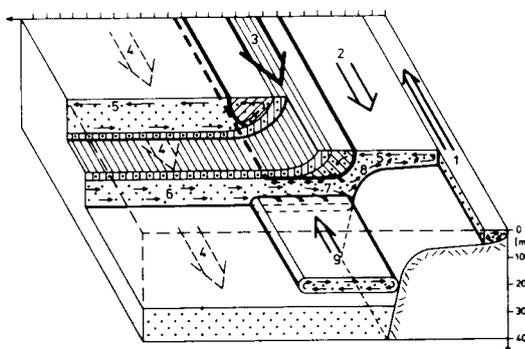
Mit zunehmender Intensität und Dauer des auftriebswirksamen Windes soll sich die Struktur der Querkirkulation ändern, bis sich eine Aufeinanderfolge von küstennahem Primärauftrieb, "downwelling" an einer Dichtefront und Sekundärauftrieb eingestellt habe. Die küstensenkrechte Ausdehnung des Gebiets mit Primärauftrieb beschreibt der ROSSBY- Deformationsradius (CHARNEY,1955; YOSHIDA,1967; zit.n. BARBER und SMITH,1981). Darin gehen neben Wassertiefe und Schichtung die Breitenabhängigkeit in Form des CORIOLIS-Parameters ein. Die Werte steigen mit abnehmender geographischer Breite, bleiben jedoch unter 100 km Küstenentfernung. Vor Cap Blanc / NWA reicht diese Zone bis ca. 50...70 km, gleichfalls vor Dune Point / SWA (Abb.7). Der Bereich des Sekundärauftriebs ist durch geringere Intensität gekennzeichnet.

PETERSON et al.(1979) zogen diese Form der küstensenkrechten Zweizellzirkulation zur Erklärung der Planktonverteilung in der x-z-Ebene vor Oregon / NW - Amerika heran. Andererseits bedurfte es zur Erzeugung der gleichen Muster in Modellrechnungen von WROBLEWSKI (1980) nicht dieses Kriteriums. BARBER und SMITH (1981) gaben zu bedenken, daß sich diese Art der Querkirkulation bislang in keinen Strömungsmessungen im mittleren Schelfbereich eines der Ostrandstrom-Gebiete deutlich niederschlug. Die Mächtigkeit der Schicht mit seewärtsgerichtetem Transport (EKMAN-Schicht) beträgt im Mittel über dem NWA-Schelf etwa 33 m (BARBER und SMITH,1981) und vor Dune Point / SWA 62 m (HAGEN et al.,1981). Nach BARBER und SMITH (1981) reicht die Windmischungsschicht im nordwestafrikanischen Auftriebsgebiet in den Bereich der Kompensationsströmung, des intermediären, auflandigen Transportes hinein. Die Autoren sahen darin, neben dem Aussinken und der Vertikalwanderung von Organismen, eine weitere Möglichkeit, das Plankton beider Schichten zu mischen und seine Verdriftung aus dem küstennäheren Bereich zu verhindern ("reseeding").

Einen qualitativen Überblick zur küstennahen Zirkulation vor NWA vermittelt Abbildung 5. Darin ist, wie auch in den Abbildungen 6 und 7 ein Unterstrom zu erkennen. Er läuft vorwiegend unterhalb von 200 m Tiefe, vor der Schelfkante der Hauptströmung entgegen und ist einer zeitlichen Variabilität unterworfen (HAGEN und SCHEMAINDA, 1988). Seine Bedeutung liegt im meridionalen "reseeding" (RICHERT,1975) sowie im Transport eines hohen Anteils an nährstoffreichem Wasser (Abbildungen 8a - 8b bei SCHEMAINDA et al.,1975).

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen mittlere Strömungsmuster in der x-z-Ebene vom 10.3. - 17.4.1974 im Gebiet 21°40' N vor NWA und vom 16.10. - 8.11.1979 auf der geographischen Breite von 20°30' S vor SWA.

Abb.5: Elemente des mittleren Stromsystems im küstennahen Auftriebsgebiet vor NWA (nach HAGEN, 1981): 1 küstennaher Gegenstrom, 2 küstennaher Kaltwassergürtel, 3 Dichtefront, parallel zur Schelfkante, 4 Kanarenstrom, 5 EKMAN-offshore-Drift, 6 intermediärer Kompensationsstrom, 7 abwärtsgerichteter Zweig von 6, 8 aufwärtsgerichteter Zweig von 6, 9 Unterstrom



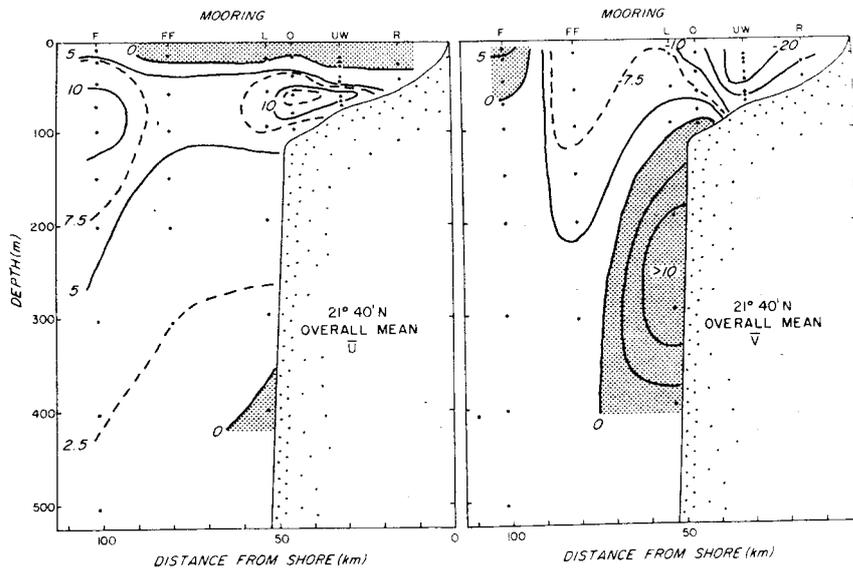
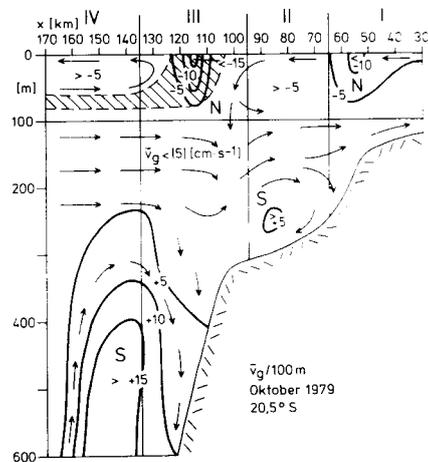


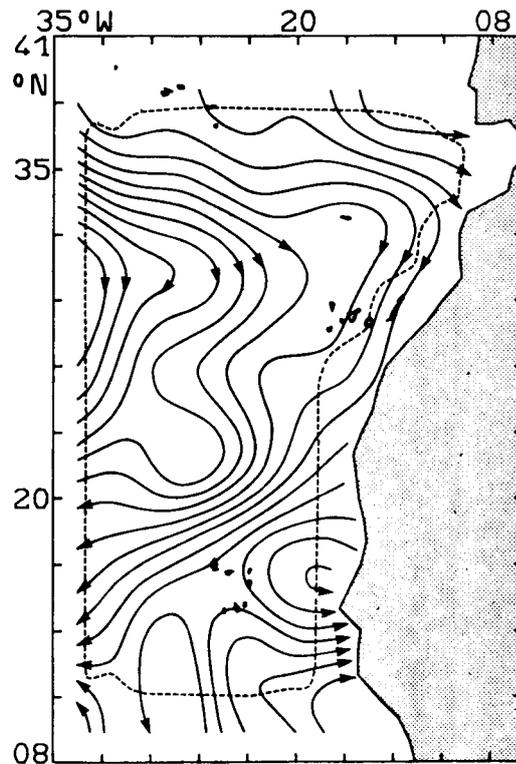
Abb.6: Mittlere Strömungsmuster (Isotachen in cm s^{-1}) senkrecht (u) und parallel (v) zur Küste vor NWA nach MITTELSTAEDT u.a., 1975. Die markierten Gebiete zeigen ablandigen bzw. polwärts gerichteten Strom

Abb.7: Mittleres Muster des küstenparallelen geostrophischen Stromes (v_g) vor SWA, mit schematisierter Querzirkulation und Oberflächenfront (nach HAGEN et al., 1981)



Im folgenden mittleren Bild des makromaßstablichen, geostrophischen Transportes vor NWA (Abb.8) kommt eine meridionale Untergliederung des nordwestafrikanischen Untersuchungsgebietes zum Ausdruck. Der Kanarenstrom verläßt etwa bei 20°N die Küstenregion. Die daran gekoppelte Querzirkulation muß demnach südlich von Cap Blanc für den küstennahen Auftrieb an Bedeutung verlieren. Übrig bleibt der windabhängige, der EKMAN-Auftrieb. Gleichfalls zeichnet sich dieses Gebiet bis etwa Cap Vert (14°N) durch eine relativ hohe Neigung zur Wirbelbildung aus (Abb.19, DANTZLER, 1977). In dem sich südlich, etwa bis 11°N anschließenden Bereich, reicht der Einfluß des nördlichen Zweiges vom Äquatorialen Gegenstrom hinein (VOITURIEZ und HERBLAND, 1982).

Abb.8: Integrierter, geostrophischer Transport pro Einheitsmasse in der 200 m-Deckschicht, aus mittleren Dichteprofilen und variablem Bezugsniveau nach STRAMMA (1984). Die Isolinien repräsentieren $0.5 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.



3.1.2. Nährstoffverhältnisse und Wassermassen

Auftrieb erzeugt an der Wasseroberfläche nicht nur eine negative Temperaturanomalie. Mit der Zuführung von Tiefenwasser verändern sich gegenüber den ozeanologischen Bedingungen der angrenzenden Seegebiete weitere Parameter. Beispielsweise nehmen der Salz- und Sauerstoffgehalt ab. Fast monatlich ist in die euphotische Zone ein Nährstoffschub von der Größenordnung des Eintrages zu verzeichnen, der in den gemäßigten Breiten einmal im Jahr erfolgt. Dazwischen liegen Ereignisse mit geringerer Intensität (BARBER und SMITH, 1981). Vor NWA ließen sich an der Oberfläche Konzentrationen von maximal $1.40 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^3 \text{ PO}_4\text{-P}$ und $>18.00 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^3 \text{ NO}_3\text{-N}$ nachweisen (SCHEMAINDA et al., 1975). HAGEN et al. (1981) registrierten vor SWA Maxima von $1.85 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^3 \text{ PO}_4\text{-P}$ und $20.69 \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^3 \text{ NO}_3\text{-N}$. Gegenüber dem offenen Ozean bedeuten diese Werte eine Erhöhung um eine Größenordnung. Etwa ein Drittel bis zur Hälfte des Nährstoffangebotes stammt aus dem Auftrieb neuer Nährstoffe, der andere Teil aus der Regeneration (WHITLEDGE, 1981). Im Schelfbereich mit weniger als 20 m Wassertiefe ist mit einem geschlossenen Nährstoffkreislauf zu rechnen (WEICHART, 1980). Seewärts, über größeren Tiefen, sedimentieren 10 - 20 % des organischen Materials (ROWE, 1980; zit.n. BARBER und SMITH, 1981). Die Herkunftstiefe und der dort zu verzeichnende Nährstoffgehalt sind für die Wirkung des Auftriebswassers auf das epipelagische Plankton von entscheidender Bedeutung. Das illustrieren die Ergebnisse eines küstenparallelen Schnittes von Nouakchott bis nördlich von Cap Barbas vom Juli/August 1972 in Abb.9.

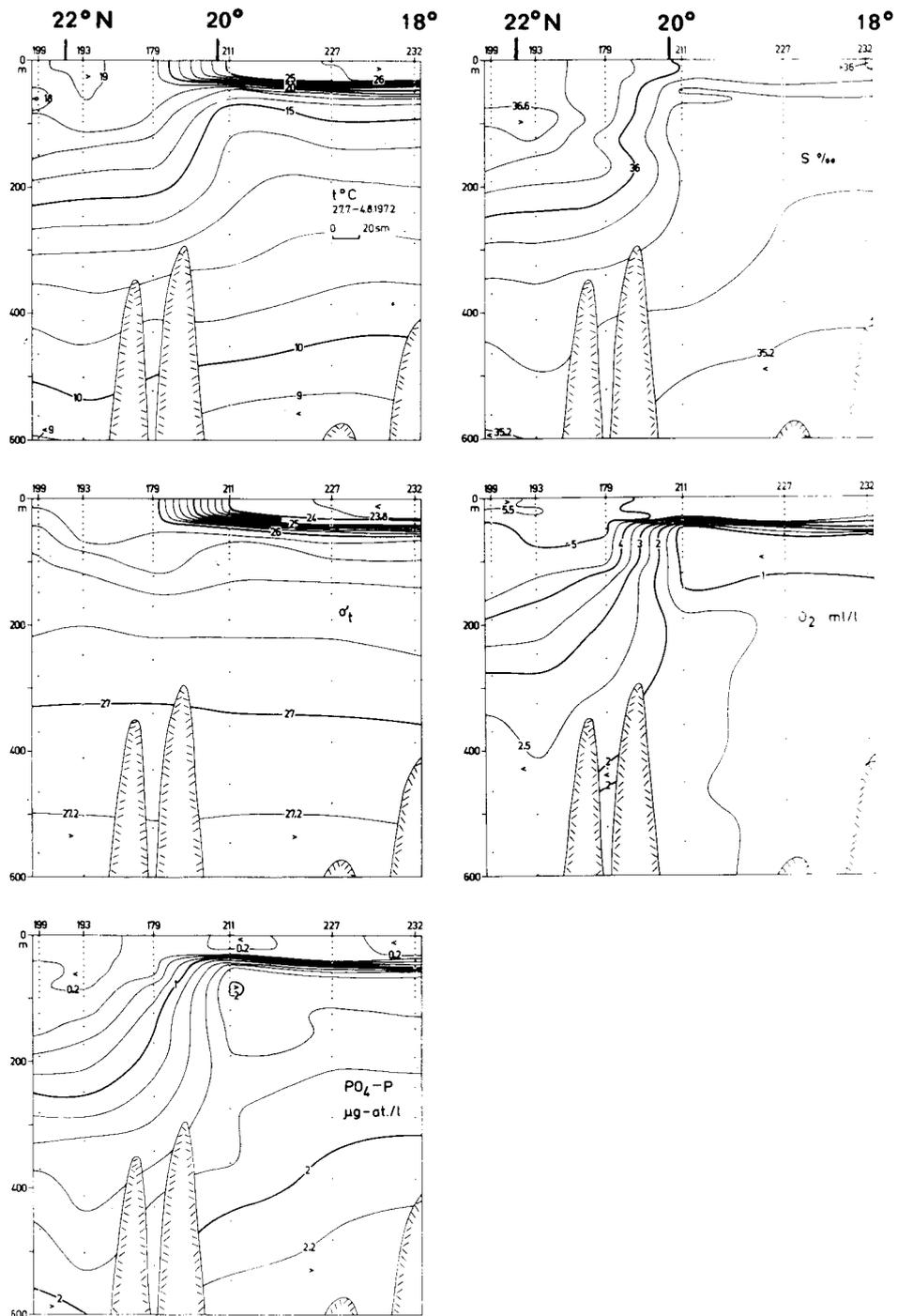


Abb.9: Vertikale Verteilung von Temperatur t (°C), Salzgehalt S , Dichte-parameter σ_t (kg·m⁻³), Sauerstoff O_2 (cm³·dm⁻³) und Phosphat PO_4-P (μmol·dm⁻³) auf einem Schnitt entlang der Schelfkante von 17°50'N bis 22°25'N, vom 27.7. - 4.8.1972 (nach SCHEMAINDA et al., 1975)

Darin kommen zwei Beobachtungen zum Ausdruck. Im Bereich der 50-100 m starken Deckschicht dringt während des Nordsummers die Front zwischen salzärmerem, tropischen Oberflächenwasser und salzreichem, kälteren Auftriebswasser in der Cap

Blanc -Region am weitesten polwärts vor (s.Abb.10). Im intermediären Bereich, so beschreibt z.B. WILLENBRINK (1982), grenzt das relativ leichte, nährstoffreiche Südatlantische Zentralwasser (SACW) an das, aus einer nährstoffarmen Mischung von Zwischen- und Sargassoseewasser bestehende, Nordatlantische Zentralwasser (NACW). Die Grenze wird durch das Absinken der Isohalinen, Isothermen und Linien gleichen Sauerstoff- und Nährstoffgehaltes zwischen 20°N und 22°N gekennzeichnet. Sie soll dort ganzjährig ausgebildet sein (FRAGA, 1973 sowie TOMCZAK, 1977; zit.n. MINAS et al., 1982). Die Front fällt gleichsam zusammen

- mit einer biogeographischen Grenze (FURNESTIN, 1970),
- der seewärts gerichteten Orientierung des Kanarenstromes (s.Abb.8) und,
- im Bereich vor der Schelfkante, mit dem Abtauchen des Unterstromes auf Tiefen von mehr als 200 m (SHAFFER, 1976).

NACW und SACW dominieren nördlich und südlich dieser Grenze im unterschiedlichen Maße im Auftriebswasser. Entsprechend dem Mischungsverhältnis fällt die Planktonentwicklung nördlich von 22°N schwächer als südlich davon aus.

3.1.3. Folgeerscheinungen im Epipelagial

Auftrieb verändert im Epipelagial die Umweltgrößen. Das führt zu einer Veränderung der ökologischen Gesamtsituation: "Upwelling areas ... represents a local deformation of ecological fields" (MARGALEF, 1978). Eine hohe Produktivität wird, dank des subtropisch - tropischen Klimas, von einer günstigen Effektivität des Energie- und Stofftransportes begleitet (RYTHER, 1969). Das drückt sich im Verhältnis von Nettoproduktion zu Assimilation aus. Es beträgt bei jungen, tierischen Organismen (Gemeinschaften) 30 %, selten mehr. Mit zunehmender Reife bewegen sich die Werte gegen 0 %. RYTHER (1969) veranschlagte für ozeanische Ökosysteme 10 %, für neritische 15 % und für küstennahe Auftriebsgebiete niedriger Breiten 20 % .

Darüberhinaus kommt es gegenüber der stabilen Endphase eines Ökosystems, wie es vom subtropisch - tropischen Klima geprägt wird, zu Änderungen in der Planktonstruktur (CUSHING, 1971). Hohe Individuendichte (Abundanzen), niedrige Artendichte, hohe Dominanz und geringe Mannigfaltigkeit (Diversity) kennzeichnen die verjüngte Auftriebsgemeinschaft. Gelangt sie advektiv aus der unmittelbaren Auftriebszone heraus, setzt im Sinne der THIENEMANN'schen, biozönotischen Grundgesetze eine gerichtete Entwicklung zur stabilen Endphase des Ökosystems, zum Klimaxstadium ein. Auf das Auftriebseignis folgt eine Serie, eine Sequenz von Gemeinschaften. Der Vorgang ist zeitlich als Sukzession bekannt. Seine Dauer müßte von der Reaktions- und Entwicklungszeit der höchsten Trophiestufe festgelegt werden (s.Tab.A4). Der Transport des Mediums sorgt gegenüber dem zeitlichen Nacheinander für ein räumliches Nebeneinander, für eine Zonation. Sie reicht nach CUSHING (1971) um den Faktor 3 über die Ausdehnung des Gebietes mit Kaltwasserauftrieb hinaus.

Während des Transportes ändern sich außer der Planktonstruktur die Eigenschaften des Auftriebswassers mit zunehmender Entfernung vom Auftriebsort, durch Wärmetransport, Verdunstung, Vermischung oder Schichtung und Beeinflussung des Lichtklimas. Die Gesamtheit dieser Änderungen von Umwelt und Lebewelt wird begrifflich unter der "Alterung des Auftriebswassers" verstanden.

Bezüglich der Maßstabsfrage handelt es sich um eine grobmaßstäbliche Reaktion des Ökosystems auf eine makromaßstäbliche Anregung.

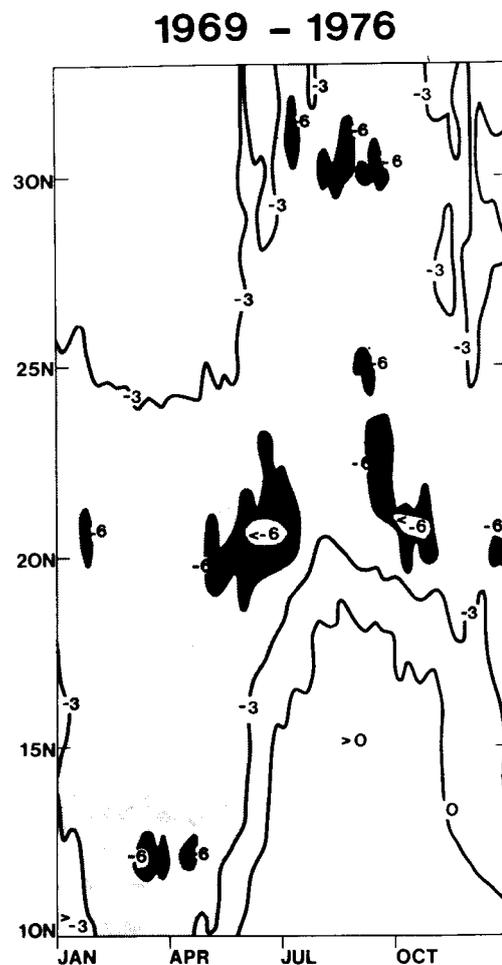
3.2. Veränderungen des küstennahen Auftriebs

3.2.1. Jahresgang

Dieses Signal ist die Folge der jahreszeitlichen Meridionalverlagerung des Passatwindsystems (WOOSTER und REID, 1963; SHAFFER, 1972; SCHEMAINDA et al., 1975; WOOSTER et al., 1976). SPETH et al. (1978) sowie DETLEFSEN und SPETH (1980) stellten diesen Einfluß am Beispiel der Temperaturanomalie dar, indem sie die langjährig gemittelten Temperaturdifferenzen an der Meeresoberfläche, zwischen den küstennahen Gebieten und den zentralen Teilen des Atlantiks bildeten (Abb. 10a und b). Danach ergibt sich folgendes Bild:

- Zwischen 20°N und 25°N herrscht ganzjährig Auftrieb, mit größter Intensität im April bis Juni sowie im September / Oktober.
- Das Gebiet südlich von 20°N bis etwa 10°N wird in der ersten Jahreshälfte vom Auftrieb erfaßt.
- Nördlich von 25°N reicht die Auftriebsregion im zweiten Halbjahr bis etwa 40° nördlicher Breite. Im Juli / August stellt sich ein Intensitätsmaximum nahe 30°N ein.

Abb.10: Jahresgang der mittleren Differenzen der Oberflächentemperaturen (K) zwischen dem küstennahen Raum und dem Zentralatlantik im Zeitraum von 1969 - 1976, im Bereich von 10°N und 33°N (nach SPETH et al., 1978)



Die Verhältnisse für SWA gaben HAGEN et al. (1981) nach einer Literaturstudie von SCHEMAINDA (1974, zit. n. HAGEN et al., 1981) wider. Das Auftriebsgebiet pulsiert dort im Verlauf eines Jahres. Es erstreckt sich zu Beginn des Jahres von $17^{\circ} 30' S$ bis $35^{\circ} S$ über etwa 2000 km und kontrahiert auf etwa 1600 km im Juli / August. Es reicht dann von $15^{\circ} S$ bis $30^{\circ} S$. Vor $20^{\circ} S$ schwanken die 15-jährigen Mittel der Oberflächentemperatur zwischen $13^{\circ} C$ im August und $18^{\circ} C$ im Februar / März.

3.2.2. Zwischenjährliche Variationen

Die Untersuchungen zum jahreszeitlichen ZPB-Signal erstreckten sich über den Zeitraum von 1970 bis 1976. Dadurch muß mit dem Einfluß zwischenjährlicher Variationen im Auftrieb gerechnet werden. Vor Kalifornien z.B. konzentrierten sich etwa 50 % der Gesamtvariabilität einer räumlich gemittelten, langjährigen ZPB-Zeitreihe auf den Periodenbereich von >608 d, währenddessen sich das jahreszeitliche Signal auf 20 % beschränkte (BERNAL, 1981). Andererseits unterschied sich vor SWA die mittlere ZPB in der Auftriebssaison dreier aufeinanderfolgender Jahre um weniger als 20 %. Eine statistische Signifikanz lag nicht vor (ANDREWS und HUTCHINGS, 1980).

Vor NWA sind zwischenjährliche Variationen im Auftrieb bislang anhand von Wasseroberflächentemperaturen (SST) (MERLE, 1980; PICAULT et al. 1984) und meteorologischen Feldern (SEDYKH, 1978; MICHELCHEN, 1981; ARFI, 1985, 1987) analysiert worden. Während die zwischenjährliche SST-Amplitude gegenüber der jahreszeitlichen im Mittel um den Faktor 2 geringer ausfällt (PICAULT et al., 1984), scheinen sich die EKMAN-Transportwerte beider Zeibereiche gemäß den Abb. 7 und 8 von ARFI (1985) zu entsprechen. Die Meßreihen umfaßten meist den Zeitraum ab Mitte der 50er bis Ende der 70er Jahre. Die SST-Analysen von PICAULT et al. (1984) sowie die Angaben zum EKMAN - offshore -Transport nach SEDYKH (1978), beschreiben die mittlere Situation für das Seegebiet von der Küste bis $20^{\circ} W$ und von 8 bzw. $10^{\circ} N$ bis 20 bzw. $25^{\circ} N$. Die räumlichen Gegebenheiten ähneln sehr dem ZPB- Untersuchungsgebiet (Abb. 2).

Langjährige Variationen betreffen nicht nur einen bestimmten Zeitbereich. Der Meßreihe des EKMAN -Transportes von ARFI (1985) sind neben kurzfristigeren Variationen visuell eine deutliche 15-jährige Periode zu entnehmen. MICHELCHEN (1979) stellte für meteorologische Felder vor NWA Perioden von 2 und 5-6 Jahren fest.

Angesichts diese Umstandes ist zunächst festzustellen, daß die Untersuchungen zwischen 1970 und 1976 insgesamt in einen Zeitraum vornehmlich negativer, monatlicher SST-Anomalien (PICAULT et al., 1984) fielen. Umgekehrt war für den EKMAN -Transport ein wachsender Trend zu beobachten, sowohl im gesamten Seegebiet (SEDYKH, 1978) als auch in der Cap Blanc -Region (ARFI, 1985). Die Werte von ARFI (1985) liegen als Monatsmittel vor und schwanken insgesamt zwischen >0 und $<60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (bezogen auf 10km Küstenlinie). Im Gegensatz zu den 60er Jahren fielen sie im Untersuchungszeitraum jedoch verhältnismäßig gering aus und blieben unter $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Die kurzfristigen zwischenjährlichen Schwankungen bleiben in einem mehrjährigen Zeitraum allgemein schwachen EKMAN-Transportes ebenfalls gering. Der Intensität nach geordnet, ergibt sich für die jeweiligen Meßtermine folgendes Bild:

November/1970 (<10), Januar/1973 (<10)
September/1970 (10), Februar/1976 (10)
März/1973 (10-20),
Mai/1974 (20) und
Juni/1972 (20-30).

Die in Klammer gesetzten Werte sind Schätzungen aus ARFI's (1985) Abb.5 in m^3*s^{-1}
 $*10 km^{-1}$ Küstenlinie.

3.2.3. Grobmaßstäbliche Wirbel

Im Zeitbereich unterhalb des Jahresganges besitzen Wirbelbildungen mit relativ eigenständiger Dynamik Einfluß auf die Folgeerscheinungen windabhängigen Auftriebs. Im Hinblick auf die Wirbelenergie sind die Auftriebsgebiete vor NWA und SWA nach der globalen Übersicht von WYRTKI et al. (1976, zit. n. EMERY, 1983) mit dem vor Kalifornien vergleichbar. Vor Kalifornien sind, einem 16jährigen Mittel von OWEN (1980) zufolge, pro Jahr über 200 solcher Erscheinungen bis zu einer Küstenentfernung von 560 km zu registrieren.

Ihre Größe reicht von 20 bis >200 km Durchmesser, 65 % sind größer als 100 km. HAGEN (1977) vermerkte für den Schelfkantenbereich vor NWA Größen von 20-80 km. Bedingt durch ihre eigenständige Dynamik wird eine Lebensdauer erzielt, die über die Reaktions- und Entwicklungszeit des Planktons hinausreicht. Für Schelfkantenwirbel vor Kalifornien nannte OWEN (1980) im Durchschnitt 14 d. Vor Cap Barbas / NWA schrieben TOMCZAK und HUGHES (1980) einem Wirbel außerhalb des Schelfbereiches ein Alter von >30 d zu.

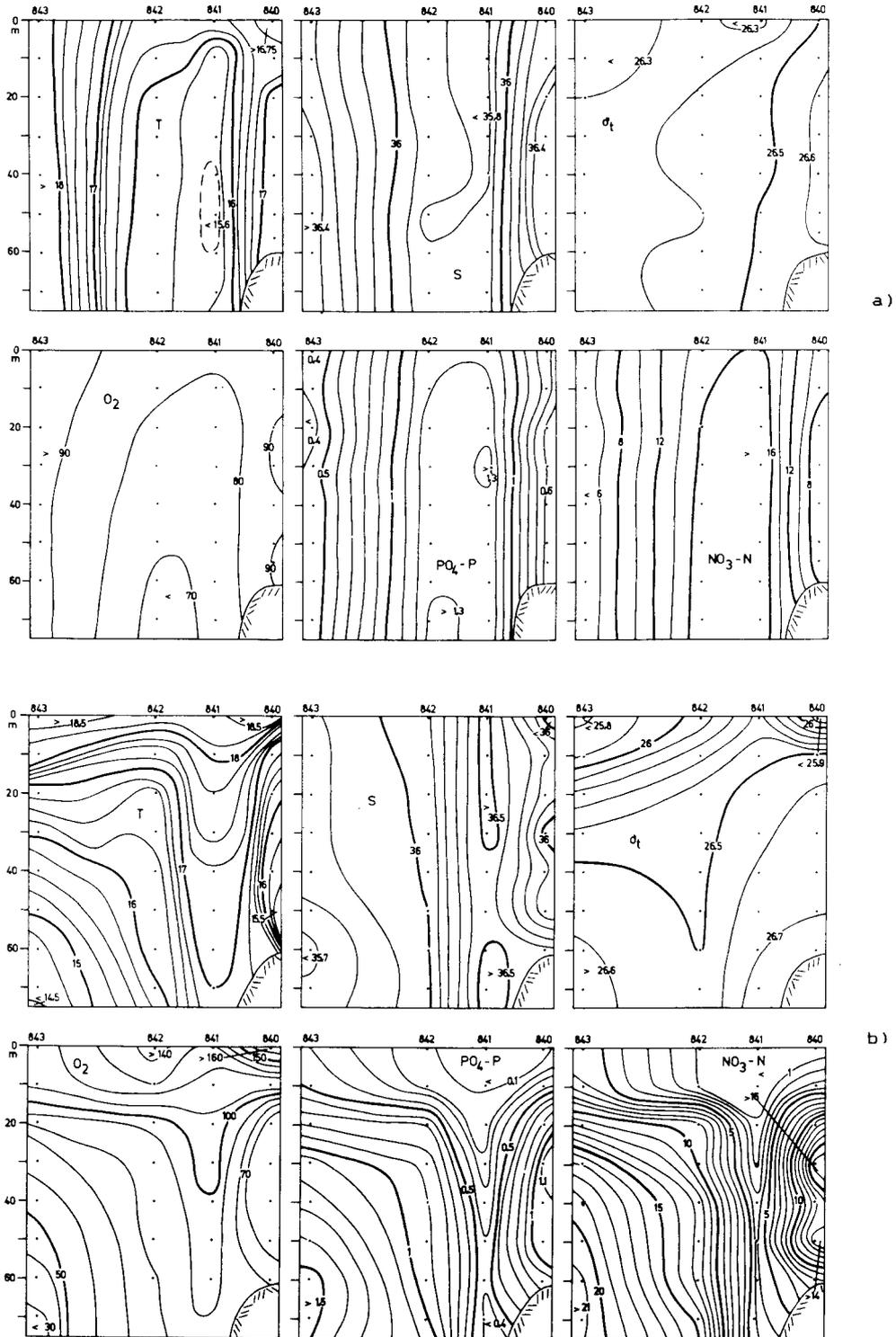
Die Entstehungsursachen sind verschiedenartig, besitzen jedoch Einfluß auf die Wirbelmuster (vgl. ROBINSON, 1983).

Die Eigenschaften der Wirbel sind neben ihrer Energie abhängig vom Drehsinn, zyklonale verstärken lokal den Auftrieb, antizyklonale wirken dämpfend (Abb.11). OWEN's (1980) Statistik zufolge, sind 60 % der jährlich vor Kalifornien zu beobachtenden Wirbel zyklonal, d.h. auftriebsfördernd. Das betrifft vor allem die größeren, bei Einheiten <100 km Durchmesser bildet dieser Anteil nur 35 % . Zyklonale Wirbel fallen bei ausreichender Existenz durch eine erhöhte Bioproduktivität auf. Das verdanken sie nicht nur dem Nährstoffeintrag aus der Tiefe, sondern auch dem erschwerten Aussinken organischen Materials, denn nach OWEN (1980) heben sich die Geschwindigkeit des Aussinkens und der Aufwärtsbewegung etwa auf. Ferner wurde die Bedeutung von Wirbeln als Transportmechanismus für Plankton über Fronten hinweg diskutiert (BANG, 1973; GARRET und LODER, 1981). Die Transportgeschwindigkeit verringert sich auf Grund der Eigenständigkeit gegenüber der großräumigen Massendrift, vor NWA auf ca. $4 cm.s^{-1}$ (HAGEN, 1977).

Wirbelbildungen stehen mit Mäandern und langen, küstenparallelen Wellen im engen Zusammenhang.

Abb.11:

Vertikalverteilung von Temperatur ($T, ^\circ\text{C}$), Salzgehalt (S), Dichteparameter ($\sigma_t, \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), Sauerstoffsättigung (%), Phosphat ($\text{PO}_4\text{-P}, \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) und Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}, \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) in einem zyklonalen Wirbel vom 3.1.1973 (Abb.11a) und in einem antizyklonalen Wirbel vom 8.3.1973 (Abb.11b) vor Cap Blanc/NWA nach HAGEN (1977). Die Stationen 840 - 843 sind küstensenkrecht orientiert, ihre Abstände betragen 10 bzw. 20 sm. Die Küstenentfernung ist Tab.A2 zu entnehmen.



3.2.4. Mäander

Modellrechnungen von IKEDA und EMERY (1984) zufolge, erzeugt die Scherung zwischen äquatorwärts setzendem Ostrandstrom und polwärts gerichtetem Unterstrom über den Weg einer mäandrierenden Front Wirbel. Die Mäander bilden sich in Übereinstimmung mit Satellitenbeobachtungen (Coastal Zone Color Scanner, CZCS) vor British Columbia und Kalifornien im Abstand von 80 km. Unter dem Einfluß der Bodentopographie nimmt jeder zweite über den Zeitraum von 6 Wochen eine T-förmige Gestalt an, erstreckt sich über mehrere 100 km in die offene See und bildet selbständige Wirbel von ebensolcher Beständigkeit. Strukturen mit vergleichbarer Geometrie lassen sich ebenfalls vor NWA auf zwei Abbildungen von STURM (1983) erkennen. Sie wurden mit CZCS vor der Küste, etwa zwischen 10° und 16° bzw. $13^{\circ}30'$ und 16° nördlicher Breite im März 1981 bzw. Februar 1982 aufgenommen. Die zeitliche Variabilität, mit der Mäander auftreten, richtet sich nach der des Stromsystems (IKEDA und EMERY, 1984).

3.2.5. Lange, küstenparallele Wellen

Meteorologische Kraftfelder, d.h. Wind und Luftdruck, sind oft die Ursache für lange Wellen. Schwerkraft, Erdrotation, geographische Breite und Tiefenänderungen wirken zusätzlich auf die angeregte Wasserteilchen und führen zu verschiedenen Wellentypen, zu KELVIN- bzw. ROSSBY- und topographischen ROSSBY-Wellen. Vom Schelf "eingefangen", werden sie als Doppel-KELVIN-Welle bzw. Randwellen parallel zur Küste polwärts geführt (vgl. DIETRICH et al., 1975). Dabei werden durch den mittlern Küstenverlauf und die Bodengestalt, deren Irregularitäten sowie durch die Breitenabhängigkeit des CORIOLIS-Parameters u.a. Einflüsse bestimmte Formen energetisch begünstigt.

MYSAK (1980) klassifizierte in drei Typen von "coastal trapped waves", in Randwellen ("edge waves"), KELVIN-Wellen und Schelfwellen. Während für "edge" - Wellen Perioden im Bereich von Minuten bis Stunden, unterhalb der Trägheitsperiode (s. 3.2.6.) typisch sind, liegen die Perioden der beiden anderen Typen oberhalb davon (MYSAK, 1980). HAGEN et al. (1981) gaben dafür eine äußerste Grenze von etwa 30 d an, die eine typische Schwankung des Passatwindes festgelegt. Die Wellenlängen betragen bis zu 1000 km, die Amplituden erreichen wenige Zentimeter und nehmen mit wachsender Küstenentfernung ab. Der Wirkungsbereich bleibt auf Schelf und schelfnahen Bereich beschränkt. Sie modifizieren den Auftrieb (GILL und CLARK, 1974; zit. n. MYSAK, 1980). Mit Wellentälern sind upwelling- und mit Wellenbergern downwelling-Effekte verbunden, die in der Größenordnung des EKMAN-Auftriebs liegen (HAGEN, 1979). Im weitesten Sinn führt das zu schachbrettartigen Mustern von Feldverteilungen ozeanologischer Größen (vgl. HAGEN et al., 1981).

3.2.6. Lokales Windfeld

Im Zeitbereich von 5 - 10 d, im "event scale", liegen charakteristische Perioden des auftriebswirksamen, lokalen Windes (WALSH et al., 1977). Die untere Grenze, bei der eine Aufwärtsbewegung erzeugt wird, ist breitenabhängig und wird durch die Trägheitsperiode $= 11.967 \text{ h} / \sin \theta$ (DIETRICH et al., 1975) festgelegt. In Breiten $\theta < 22^{\circ}$ N bzw. S werden demzufolge nur Windereignisse mit Perioden von $T > 33 \text{ h}$ in dieser Hinsicht wirksam. Die Verikalbewegung reagiert über dem Schelf in wenigen Stunden auf die Windanregung und erfaßt die gesamte Wassersäule innerhalb eines Tages (vgl. BADAN DAGON, 1980; zit. n. MITTELSTAEDT, 1983).

Windfeldvariationen in diesem Zeitbereich sind für die pelagischen Lebensgemeinschaften von z.T. entgegengesetzter Wirkung. Neben dem günstigen Einfluß durch die Anreicherung allochthoner Nährstoffe in der euphotischen Zone wirken sich Windereignisse über die Verschlechterung des Lichtklimas nachteilig auf die Produktion aus. Das geschieht durch die zunehmende Rauigkeit der Meeresoberfläche und durch den Transport des Phytoplanktons bis unter die euphotische Zone, infolge tiefgreifender Durchmischung. Deshalb sind Stagnationsperioden erforderlich, in denen sich eine Temperaturschichtung entwickeln kann. Günstigstenfalls sollte die Nährstoffanreicherung wieder einsetzen, bevor die "neue Produktion" (WITHELEDGE, 1981) zum Erliegen kommt (HUNTSMAN und BARBER, 1977).

Auch für die Ernährung, vor allem von Fischlarven, sind nach Windereignissen Stagnationsperioden notwendig, in denen sich die nötige Nahrungsdichte entwickelt (MULLIN et al., 1985). Windereignisse, die zur Dispersion der Nahrung führen, sollten nicht über die zuträgliche Hungerperiode solcher Organismen hinaus andauern (WROBLEWSKI und RICHMAN, 1987).

3.2.7. Küstenform, Meeresboden und Festlandzuflüsse

Neben mittleren Küstenverlauf und Schelfgeometrie (vgl. BARBER und SMITH, 1981) beeinflussen die lokale Küstenkonfiguration (z.B. CRÉPON et al., 1984) und Bodentopographie (z.B. CRUZADO und SALAT, 1981; FREELAND und DENMAN, 1982; MACKAS und SEFTON, 1982; MITTELSTAEDT, 1983) das Auftriebsgeschehen und dessen Folgeerscheinungen im Ökosystem. Sie wirken permanent bzw. in Verbindung mit den erörterten anderen Einflüssen im Bereich von deren zeitlicher Variabilität. So kann z.B. die komplexe Wirkung zwischen Bodentopographie, Strömung und täglicher Vertikalwanderung des Zooplanktons die nächtliche Verdopplung der ZPB unmittelbar auf der Leeseite des Canons vor Nouakchott / Mauretania erklären (POSTEL, 1987). Im Schelfbereich vor Cap Verga (10° N) und Cap Roxo (12° N) sorgen Festlandzuflüsse für eine erhöhte Produktivität, auch zu Jahreszeiten ohne Auftrieb (SCHEMAINDA et al., 1975). Nach dem langjährigen Mittel tritt das jahreszeitliche Niederschlagsmaximum zwischen Banjul und Freetown vom Juni/Juli bis September auf (ANONYM, 1949). Zur Trockenzeit beschränkt sich dieser Einfluß, wie die bereits erwähnte CZCS-Aufnahme von STURM (1983) im Februar 1982 zeigt, auf das unmittelbare Mündungsgebiet.

3.2.8. Einfluß der Variationen im Vertikaltransport auf die sukzessive Planktonentwicklung

Die beschriebenen Vorgänge, die Variationen im mittleren Bild des küstennahen Auftriebs hervorrufen, führen zur Änderung der unter 3.1.3. skizzierten sukzessiven Entwicklung des Planktons, die nach der Anreicherung der euphotischen Zone mit Nährstoffen einsetzt. Davon abgesehen, daß EKMAN-Auftrieb jahreszeitlich völlig zum Erliegen kommen kann, nehmen die übrigen Vorgänge über die Veränderung der vertikalen Bewegungskomponente Einfluß. Eine Verstärkung muß die Sukzession verzögern, eine Dämpfung verkürzen. Im Fall von Wirbeln, mit gewisser Eigenständigkeit und Existenz über Wochen und länger, wird die Verzögerung, wie Beispiele aus der Golfstromregion zeigen, besonders deutlich. Eine ausreichend starke, abwärtsgerichtete Komponente wird die Sukzession beenden. Der Weg der Planktongemeinschaft führt nicht zum klimatisch, sondern lokal bedingten Klimaxstadium. In der terrestrischen Ökologie wird von einer edaphischen Klimax gesprochen.

4. Mittlere Reaktion der Zooplanktonbiomasse auf küstennahen Auftrieb

4.1. Zooplanktonbiomasse-Änderung während der Alterung von Auftriebswasser vor Südwestafrika ($\theta = 20^{\circ} \text{ S}$)

Dem Auftrieb nährstoffreichen Wassers in die euphotische Zone folgt mit der Änderung der Umweltgrößen zunächst ein Anstieg der ZPB. Unter dem Vorgang wird, wie im Kapitel 3.1.3. beschrieben, die Alterung von Auftriebswasser verstanden. Die Merkmalsänderung läuft in einer charakteristischen Sequenz mit typischen Zeitskalen ab (CUSHING, 1971; VINOGRADOV und SHUSHKINA, 1973). Unter dem Einfluß der Änderungsgeschwindigkeiten einzelner Faktoren und der Transportgeschwindigkeit des Wassers entstehen typische räumliche Muster. Die zeitlichen Veränderungen werden meßtechnisch wie folgt zu erfassen versucht:

- LAGRANGE'sche Beobachtungen, d.h. Zeitreihenmessungen während der Drift, im alternden Auftriebswasser (HEMPEL und NELLEN, 1972; TOMCZAK, 1973; HERBLAND et al., 1973; BINET, 1973; HEMPEL et al., 1975),
- Ordnung der Beobachtungsergebnisse nach einer Bezugsgröße, die sich im Alterungsprozeß stetig ändert, beispielsweise der Temperatur (WEICHART, 1980; ANDREWS und HUTCHINGS, 1980),
- Zeitreihenuntersuchungen an eingeschlossenen Wasserproben (GRICE und REEVE, 1982; SCHULZ et al., 1988) oder
- Beobachtungen entlang eines Strömungsvektors, beispielsweise senkrecht zur Küste (BARBER und HUNTSMAN, 1977; VINOGRADOV und SHUSHKINA, 1978; ANDREWS und HUTCHINGS, 1980; POSTEL, in: HAGEN et al., 1981).

Die eigenen Untersuchungen entlang eines Strömungsvektors basieren auf dem großmaßstäblichen Programm vor SWA vom 16.10. - 7.11.1979 (Tab.1, lfd.Nr.1. und Abb.1). Sie orientieren auf das Geschehen oberhalb der mittleren EKMAN-Tiefe (s.3.1.1.). Dort setzt sich der Transport aus äquatorwärtsgerichteter Hauptströmung und EKMAN-offshore-Transport zusammen. Die Eignung dieser Meßanordnung zur raumzeitlichen in situ - Beobachtung der Alterung von Auftriebswasser wurde in HAGEN et al. (1981) prinzipiell beschrieben. Die folgende Einbeziehung von Strukturparametern zur Beurteilung der Ökosystementwicklung, die Überprüfung der Verträglichkeit von gegebenen räumlichen und abgeschätzten zeitlichen Skalen sowie der Vergleich ozeanologischer Charakteristika von Auftriebswasser verschiedener Alterungsstufen mit den Angaben anderer Autoren, stellt demgegenüber eine Vertiefung dar.

Während die ZPB-Daten aus vertikal integrierenden Netzholz über die oberen 30 m bzw. die darunterliegende Schicht bis 75 m Tiefe stammen, werden die meisten übrigen Parameter durch Oberflächenwerte repräsentiert.

Die Verwendung von Oberflächenwerten zur Beschreibung der Veränderlichkeit in der gesamten euphotischen Zone ist nach den Ergebnissen von JONES und HALPERN (1981) bei der hier vorliegenden Datendichte (Tab.2, lfd.Nr. 1.) zulässig. Die Mittelwerte für Nitrat und Chlorophyll-a der oberen 30 m sowie für die potentielle Primärproduktion der euphotischen Zone bilden den Autoren zufolge mit den jeweiligen Mittelwerten an der Oberfläche ein Verhältnis um 1. Die Angaben basieren auf 50-150 Messungen im Auftriebsgebiet vor Cabo Coveiro ($\theta = 21^{\circ}40' \text{ N}$) vom März /April 1974.

Im Meßmaterial sind Variationen mit Perioden bzw. Wellenlängen unterhalb des Auftriebssignals zu erwarten (vgl. 3.2.3 - 3.2.8.), die bei den Untersuchungen der 15 mal erfaßten und über 22.5 d gemittelten, küstensenkrechten Struktur vermutlich gedämpft sind. Die störenden, infolge der Vertikalwanderung des Planktons auftretenden tageszeitlichen ZPB-Unterschiede, können bereits dank der vertikal integrierenden Probenentnahme fehlen (vgl. 2.5.3.1.). Um die Wirksamkeit der Methode zu überprüfen, wurde der ZPB-Anteil der 30 m - Schicht am Gesamtaufkommen der oberen 75 m, stationsweise gegen die Tageszeit aufgetragen. Das Ergebnis ist in Abb.12 enthalten und weist auf keine phasenfeste Beziehung hin. Zum gleichen Resultat führt der Mittelwertsvergleich der am Tag (7.00 - 19.00 Uhr Ortszeit) und der in der Nacht gewonnenen Proben. Das gilt gemäß Tab.A20 für beide analysierten Schichten, sowohl im gesamten, als auch im küstensenkrecht untergliederten USG.

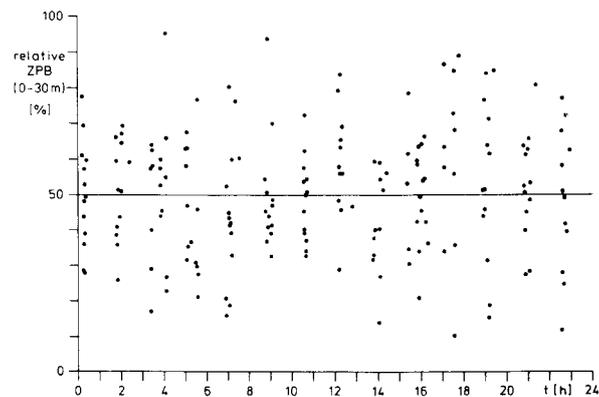


Abb.12: ZPB-Anteil der 30 m - Deckschicht am Gesamtaufkommen der oberen 75 m aller Stationen im USG vor SWA (vgl. Tab.1, lfd.Nr. 1. und Abb.1) in Abhängigkeit von der Tageszeit

4.1.1. Alterung von Auftriebswasser mit zunehmender Küstenentfernung

Über den USZ gemittelt, zeichnet sich innerhalb der Meßlänge von $L_x = 140$ km ($30 < x < 170$ km) und mit zunehmender Küstenentfernung der Alterungsvorgang in Richtung EKMAN-offshore-Transport folgendermaßen ab:

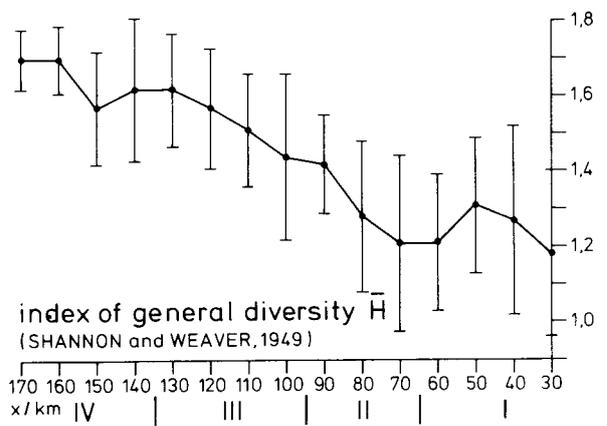
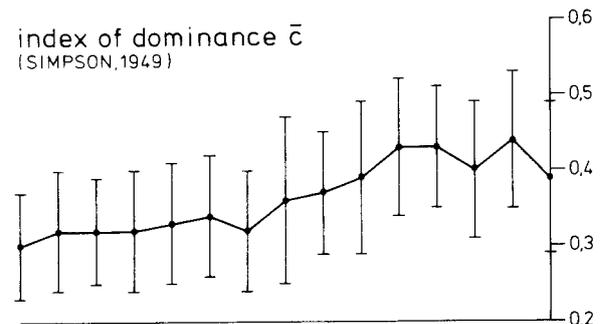
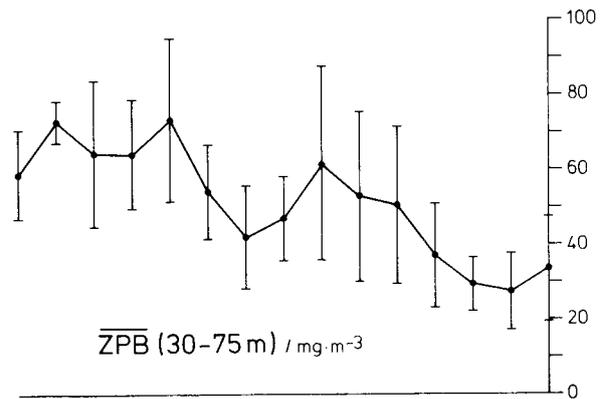
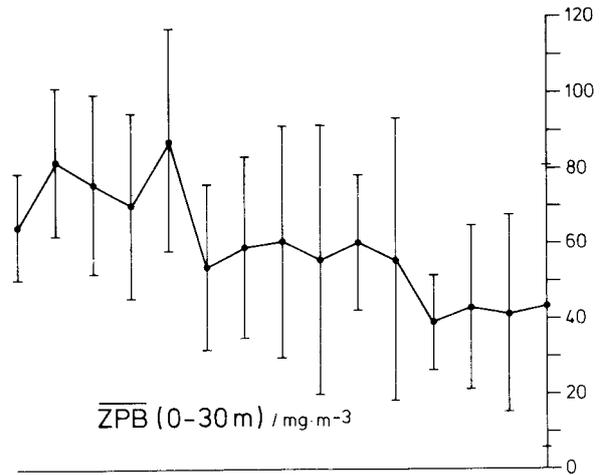
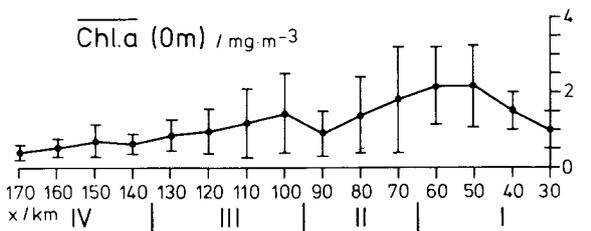
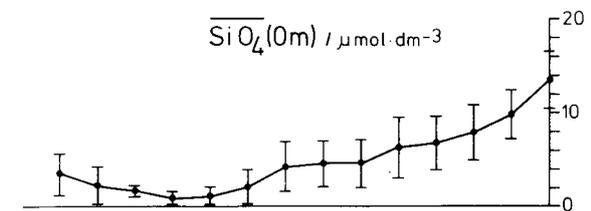
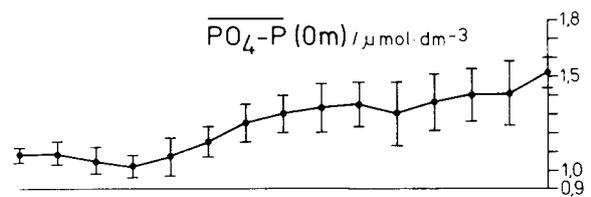
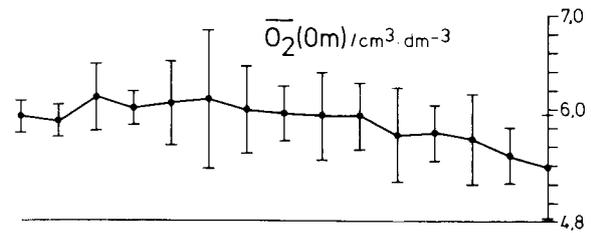
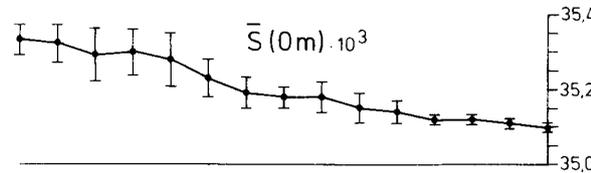
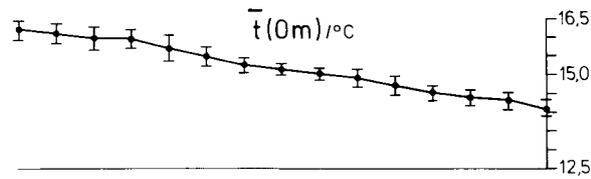
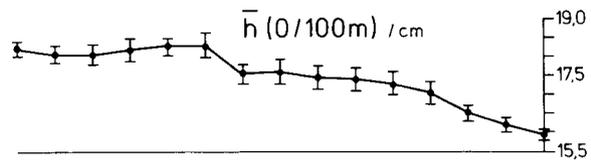
Das Oberflächenwasser erwärmt sich ($r=0.996$, $p<0.001$), wie Abb.13 zeigt, unter zunehmender Wasserstands anomalie ($0/100m$, $r=0.921$, $p<0.001$). Es wird salz- und sauerstoffreicher ($r=0.978$ bzw. $r=0.786$, $p<0.001$). Andererseits verringert sich mit abnehmender Nährstoffkonzentration (PO_4 : $r=-0.946$, $p<0.001$; SiO_4 : $r=-0.813$, $p<0.01$) und nach einem anfänglichen Anstieg die Menge an Chlorophyll-a ($r=-0.776$, $p<0.001$). Die ZPB nimmt während dieser Alterung sowohl in den oberen 30 m der Wassersäule als auch in der darunterliegenden Schicht bis 75m Tiefe zu ($r=0.826$ bzw. $r=0.834$, $p<0.001$).

Größen, die eine sukzessive Entwicklung des Kleinen Mesozooplanktons anzeigen können, ließen sich diesen Ergebnissen für die 30 m - Deckschicht hinzufügen. So steigen mit zunehmender Küstenentfernung die zeitlichen Mittelwerte des Diversity-Index nach SHANNON und WEAVER (1949, zit. n. ODUM, 1980) an ($r=0.950$, $p<0.001$). Die

mittleren Dominanz-Indizes nach SIMPSON (1949, zit. n. ODUM, 1980) verhalten sich dazu invers ($r = -0.900$, $p < 0.001$). Die Berechnungen der Indizes basieren auf Abundanzen der in Tab. A5 aufgeführten taxonomischen Gruppen. Ihrer Tendenz nach vergrößert sich, wie es die biozönotischen Grundgesetze im Fall einer Sukzession verlangen (vgl. ODUM, 1980), die Mannigfaltigkeit in der Planktonzusammensetzung in Richtung offene See, während die dominierende Rolle einiger taxonomischer Gruppen zurückgeht. Ein Vergleich der küstennächsten mit der küstenfernsten Station zeigt in Tabelle A15, wie sich die Zahl der taxonomischen Gruppen im Bestand von 16 auf 25 erhöht. Auch der Dominanzgrad auf der Basis von Abundanzen (SCHWERTFEGER, 1978) erfährt Verschiebungen. Er verringert sich für Kopepoden von 93.2 % auf 57.3 %. Thaliacea, die bis auf 120 km Küstenentfernung nach SCHWERTFEGER's (1978) Dominanzgradklassen vereinzelt als Subrezentente auftreten, werden mit 20.9 % zu einer eudominanten Gruppe (vgl. auch Abb. 14). Insgesamt reduziert sich der Bestandteil der Eudominanten um fast ein Drittel, vor allem zugunsten der Gruppen mit einem Dominanzgrad von 2 - 10 %.

Abb. 13: Zeitlich über $L_t = 22.5$ d ($D = 1.5$ d) gemittelte küstensenkrechte Struktur (einschließlich Vertrauensbereiche, $p < 0.05$) der Wasserstandsdifferenz \bar{h} (0/100 m), der Temperatur \bar{t} , des Gehaltes an Salz \bar{S} , Sauerstoff \bar{O}_2 , Nährstoffen $\bar{P}O_4$, $\bar{Si}O_4$ und Chlorophyll-a Chl.a an der Meeresoberfläche sowie der Zooplanktonbiomasse \bar{ZPB} für $0 < z < 30$ m und $30 < z < 75$ m, nach HAGEN et al. (1981) sowie die Diversity- und Dominanzindizes für Kleines Mesozooplankton der oberen 30 m der Wassersäule im USG vor SWA (vgl. Tab. 1; lfd. Nr. 1. und Abb. 1). Die ZPB-Werte müssen der Tab. 4 entsprechend mit $k = 15$ % korrigiert werden.

(nächste Seite)



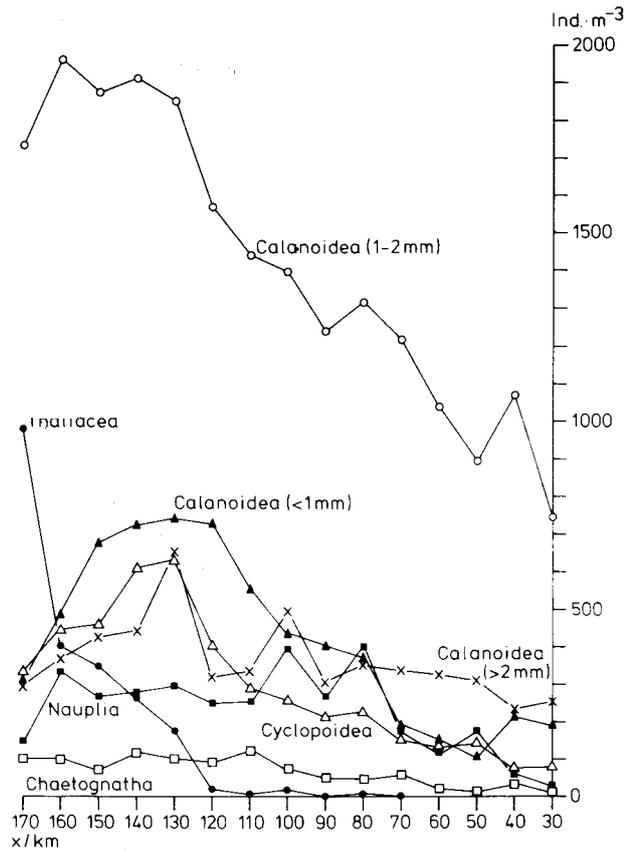


Abb.14: Zeitlich über $L=22.5$ d ($D=1.5$ d) gemittelte küstensenkrechte Struktur der Calanoidea verschiedener Größe, Cyclopoidea, Nauplia, Thaliacea und Chaetognatha aus WP-2-Netzproben von $0 < z < 30$ m im USG vor SWA (vgl. Tab.1, lfd.Nr.1. und Abb.1). 10 km auf der Abszisse entsprechen gemäß der Umrechnung in Kapitel 4.1.1.3. einem Zeitraum von 2 d. Die Vertrauensintervalle der Mittelwerte (C.I.) sind Tab.A16 zu entnehmen.

4.1.1.1. Zonation: Küstenentfernung der Maxima von Nährstoff-, Chlorophyll- und Zooplanktonkonzentration

Unter Zonation wird das einem Faktorengefälle entsprechende Nebeneinander verschiedener Biotope mit jeweils spezifischen Biozönosen verstanden. Im vorliegenden Fall ließ sich der Sachverhalt mittelbar, in Form aufeinanderfolgender Maxima von Nährstoffkonzentrationen, des Chlorophyll-a-Gehaltes und der ZPB beschreiben.

Die Maxima des zeitlich gemittelten Gehaltes an Phosphat, Nitrat und Silikat an der Meeresoberfläche befinden sich auf der küstennächsten Station des USG bei $x=30$ km (Abb.14). Die mittleren Konzentrationen von

$$\begin{aligned} & 1.52 \pm 0.19 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ PO}_4 \text{ (N=16),} \\ & 14.86 \pm 3.67 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ NO}_3 \text{ (N=15) und} \\ & 13.47 \pm 5.3 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ SiO}_4 \text{ (N=15)} \end{aligned}$$

entsprechen der für Auftrieb vor SWA typischen Größenordnung. Das zeigt der Vergleich mit Auftriebswasser der südlichen Benguelastromregion vom Januar 1969 nach Angaben aus ANDREWS und HUTCHINGS' (1980) Abb.16. Die Mittelwerte dieser Autoren stellen tiefenunabhängig eine Funktion der Temperatur dar und schwanken zwischen folgenden Extrema: 1.4 ± 0.4 bis $1.3 \pm 0.4 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ PO}_4$ (N=33 bzw.48), 16.5 ± 5.5 bis $15.0 \pm 5.0 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ NO}_3$ (N=33 bzw.50) und 17.0 ± 6.0 bis $14.5 \pm 6.5 \text{ } \mu\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ SiO}_4$ (N=21 bzw.5).

Der höchste, mittlere Chlorophyllgehalt schließt sich im USG dem Nährstoffmaximum in einer Küstenentfernung zwischen 50 und 60 km an. Auf diesem Wege verdoppelt sich die Chlorophyllkonzentration (Tab.A17, $p < 0.05$). Die Mittelwerte von

$$\begin{aligned} & 2.18 \pm 1.89 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \text{ (N=15) bzw.} \\ & 2.16 \pm 1.69 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \text{ (N=15)} \end{aligned}$$

befinden sich ebenfalls im Bereich des von ANDREWS und HUTCHINGS (1980) genannten Maximums vor Cape Peninsula von $1.85 \pm 2.10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (N=23).

Die mittleren, gemäß Tab.4 mit $k=15$ % korrigierten ZPB-Werte verhalten sich im USG invers zur küstensenkrechten Struktur des Chlorophyll-a-Gehaltes an der Meeresoberfläche. Das betrifft sowohl die oberen 30 m der Wassersäule ($r=-0.695$, $p < 0.05$), als auch die sich vertikal anschließende Schicht bis 75 m Tiefe ($r=-0.730$, $p < 0.01$). Die ZPB-Minima fallen in den Bereich der Chlorophyllmaxima, im oberen Untersuchungshorizont bei $x=60$ km und im unteren bei $x=40$ km, mit

$$43 \pm 23 \text{ bzw. } 32 \pm 21 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Die ZPB-Maxima stellen sich in beiden Schichten gleichzeitig ein, jeweils bei 130 und 160 km Küstenentfernung, in den oberen 30 m mit

$$101 \pm 56 \text{ bzw. } 94 \pm 36 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$$

und in der Schicht $30 < z < 75$ m mit

$$84 \pm 43 \text{ bzw. } 84 \pm 10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Der höchste Gehalt an Mesozooplankton ist damit seewärts der in Abb.7 dargestellten und bei HAGEN et al.(1981) beschriebenen Oberflächenfront zu beobachten. Der Chlorophyll-a-Gehalt sinkt bei dieser Küstenentfernung, entsprechend ANDREWS und HUTCHINGS' (1980) Klassifikation, auf ozeanische Verhältnisse. Die mittleren Extremwerte unterscheiden sich im USG sowohl für Chlorophyll-a als auch für die ZPB sehr deutlich voneinander ($p < 0.05$ bis $p < 0.001$; s.Tab.A17), im Fall der ZPB um den Faktor 2.2 bis 2.6. Ein Vergleich dieses Verhältnisses mit den Gegebenheiten im südlichen Benguelastromgebiet fällt günstig aus. Es beträgt dort 1 : 2.3. ANDREWS und HUTCHINGS (1980) benutzten gleichfalls ein WP-2-Netz, bestimmten die ZPB als

Trockenmasse, bezogen auf einen Quadratmeter und ordneten die Beobachtungen aus den Jahren 1971 bis 1973 verschiedenen Temperaturklassen zu. Das Minimum fällt dabei in die Kategorie, welche die Autoren als typisch für Auftrieb angeben, das Maximum wird, wie hier, nach einer Erhöhung um ca. 2°C erreicht. Einem direkten Vergleich der Meßwerte, wie im Fall von Nährstoff- und Chlorophyll-a-Gehalt, steht der Unterschied in der Maßeinheit entgegen.

Nimmt man auf Grund dieser Vergleiche die beobachteten Küstenentfernungen der Konzentrationsmaxima für Nährstoffe, Chlorophyll-a und ZPB als gerechtfertigt an, so folgt das Phytoplanktonmaximum der "Auftriebsquelle" in einer Distanz von 20 - 30 km und der maximale Gehalt an Mesozooplankton nach 100 - 130 km.

4.1.1.2. Sukzession: Zeitliche Aufeinanderfolge der Maxima von Nährstoff-, Chlorophyll- und Zooplanktonkonzentration

Gegenüber der Zonation, dem räumlichen Nebeneinander von Biozönosen, steht die Sukzession für das zeitliche Nacheinander (vgl. 3.1.3.). Zur Beschreibung des Vorganges macht sich im vorliegenden Fall eine Umformung der gegebenen Raumkoordinate in eine Zeitachse erforderlich. Das geschieht mit Hilfe einer küstensenkrechten Geschwindigkeitskomponente, die sich unabhängig voneinander aus der mittleren küstensenkrechten Stromgeschwindigkeit, dem mittleren EKMAN-offshore-Transport sowie der mittleren Entwicklungszeit dominanter Zooplanktongruppen abschätzen läßt.

4.1.1.2.1. Mittlere küstensenkrechte Geschwindigkeitskomponente des Stromes und mittlere Geschwindigkeit des EKMAN-offshore-Transportes

Strömungsmessungen liegen nach HAGEN et al. (1981) von vier rechteckig angeordneten Bojen, aus einem Feld über 120 bis 150 m Wassertiefe und 30 bis 50 km Küstenentfernung vor (s. Abb. 1, Nr. 54, 55, 56, 57). Der küstenparallele Abstand betrug etwa 12 km. Ununterbrochene Meßreihen stehen in 10 m Tiefe von zwei und in 40 m Tiefe von drei Bojen zur Verfügung. Zwischen beiden Tiefen besteht ein Geschwindigkeitsgradient, der küstensenkrecht in dem Verhältnis der 10 m - zu den 40 m-Werten von etwa 2.5 : 1 und küstenparallel von 13 : 1 seinen Ausdruck findet. Das machte die Einbeziehung beider Horizonte für eine realistische Abschätzung des mittleren Planktontransportes in der 30 m-Deckschicht erforderlich. Aus den zeitlichen Mittelwerten von HAGEN et al. (1981) ergeben sich vertikal gemittelte Geschwindigkeitskomponenten, senkrecht zur Küste von $u_{10m,40m} = 5.8 \text{ cm*s}^{-1}$ und parallel zur Küste von $v_{10m,40m} = 10.7 \text{ cm*s}^{-1}$.

Mit dieser mittleren u-Komponente der Stromgeschwindigkeit vergleichbar und zugleich über den Schelf in die offene See hinaus gültig, ist die über die halbe EKMAN-Tiefe (vgl. 3.1.1.) $E/2 = 31 \text{ m}$ gemittelte Transportgeschwindigkeit $u_{E/2}$. Ihre Berechnung basiert auf der Zusammenstellung der mittleren Charakteristika für Auftrieb auf 20°30' südlicher Breite und den Zeitraum von Oktober bis Dezember nach HAGEN et al. (1981):

$$u_{E/2} = \frac{2\tau_y}{\rho * f * E}$$

$$\begin{aligned} \tau_y &= -0.92 \text{ dyn*cm}^{-2} \\ f &= 5.1 * 10^{-5} \text{ rad*s}^{-1} \\ \rho &= 1 \text{ kg*m}^{-3} \\ E &= 6.2 * 10^3 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$u_{E/2} = 5.8 \text{ cm*s}^{-1}.$$

Die Übereinstimmung mit der mittleren küstensenkrechten Geschwindigkeitskomponente des Stromes über dem Schelf $u_{10 \text{ m}, 40 \text{ m}}$ überrascht nicht, denn nach HAGEN et al. (1981) geht in die Stromgeschwindigkeit dieser Schicht hauptsächlich der Winddriftanteil, aus dem großräumigen und über dem USG homogenen Windfeld ein.

Folgt das ZPB-Maximum, wie unter 4.1.1.1. festgestellt, der Nährstoffquelle in einer Distanz von 100 - 130 km, dann beträgt die Entwicklungszeit auf der Basis von $u_{10 \text{ m}, 40 \text{ m}} = u_{E/2} = 5.8 \text{ cm*s}^{-1}$ 20 - 26 Tage.

4.1.1.2.2. Mittlere Zooplanktonzusammensetzung und Berechnung der Entwicklungszeit dominanter taxonomischer Gruppen

Den Dominanzverhältnissen entsprechend (Tab.A15) bilden die Kopepoden zahlenmäßig den Hauptanteil der Planktonproben. Davon gehören die Calanoidea, besonders die Gruppe der 1 - 2 mm großen, und die Cyclopoidea zu den Eudominanten bzw. Dominanten.

Die küstensenkrechte Struktur zeitlich gemittelter Copepodenabundanzen ist eng mit der ZPB ($0 < z < 30 \text{ m}$) korreliert, die der Calanoidea mit $r=0.924$ ($p < 0.001$), speziell Größenklasse 1 - 2 mm ($r=0.901$; $p < 0.001$), und die der Cyclopoidea mit $r=0.749$ ($p < 0.01$). Das zahlenmäßige Maximum fällt, wie der Vergleich der Abbildungen 13 und 14 veranschaulicht, in den Bereich des ZPB-Maximums.

Die vornehmlich temperaturabhängigen Entwicklungszeiten der Calaniden lassen sich mit Hilfe der BĚLEHRÁDEK-Funktion (BĚLEHRÁDEK, 1935; zit.n. CORKETT und Mc LAREN, 1978) berechnen:

$$G = a*(T+\alpha)^{-b}$$

Die Parameter a , α und b basieren auf autökologischen Untersuchungen. Sie sind nach einer Zusammenstellung von Mc LAREN (1978) in Tab.A18 für Arten enthalten, die in Auftriebsgebieten vor der westafrikanischen Küste als Art, Gattung bzw. Familie nachgewiesen wurden (HAUSMANN et al., 1971; BRENNING, 1980). Unter Verwendung einer mittleren Oberflächentemperatur von 14.32°C , für den zwischen 30 und 60 km Küstenentfernung liegenden Bereich des USG und von 16.06°C für die 140 - 170 km-Zone, sind Entwicklungszeiten zwischen 18 und 33 Tagen zu berechnen (Tab.A18).

Die Begriffe Entwicklungszeit ("development time"), Entwicklungsdauer ("duration of development"), Generationslänge oder Generationszeit ("generation lenght" bzw. "generation time") werden generell für die Periode zwischen Eiablage bzw. Geburt und Reife bzw. erster Eiablage oder Nachkommenschaft der nächstfolgenden Generation benutzt (z.B. TRANTER, 1976; Mc LAREN, 1978; CORKETT und Mc LAREN, 1978; SCHAEFER und TISCHLER, 1983). Vergleichshalber wurden Reifezeit, Reifealter und Vermehrungsmaximum ("time to maturity", "age of maturity" und "reproductive peak") von CORKETT und Mc LAREN (1978) synonym verwendet.

Wird das der Entwicklungszeit gleichbedeutende Vermehrungsmaximum dem ZPB-Maximum gleichgesetzt, dann läßt sich aus der durchschnittlichen Entfernung zwischen Nährstoff- und ZPB-Maximum von 115 km und den berechneten 18 - 33 d Generationszeit eine Entwicklungs- bzw. Transportgeschwindigkeit von $3.5 - 6.4 \text{ cm*s}^{-1}$ abschätzen. Dieser Wert harmoniert mit der bereits aus dem Strom- und Windfeld stammenden

Größenordnung.

4.1.1.3. Vergleich der raum-zeitlichen Skalen

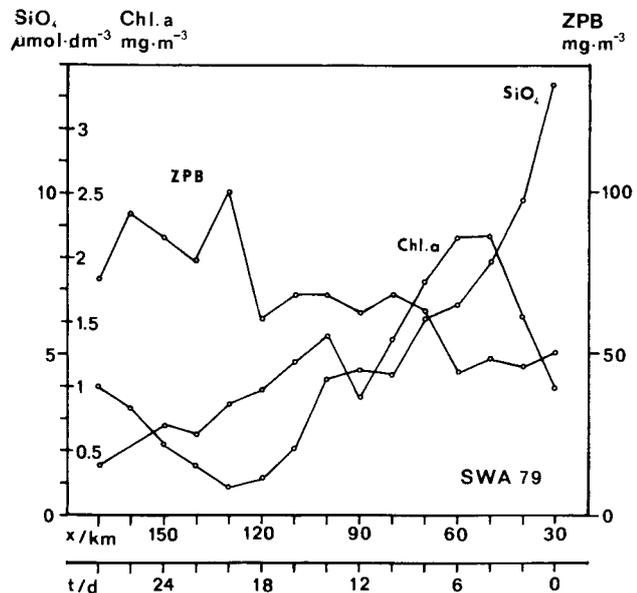
Aus der zweifach erhaltenen, mittleren küstensenkrechten Geschwindigkeitskomponente für die oberen 30 - 40 m der Wassersäule von $5.8 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ läßt sich der Stationsabstand im USG von $x = 10 \text{ km}$ in eine zeitliche Differenz von $t = 2 \text{ d}$ umwandeln. Der "Auftriebsquelle" folgt das Chlorophyllmaximum dementsprechend nach 20 - 30 km bzw. 4 - 6 d. Nach 100 - 130 km bzw. 20 - 26 d wird das ZPB-Maximum erreicht. Mit Ergebnissen, die mit z.T. anders angelegten Untersuchungskonzepten erzielt wurden, besteht eine differenzierte Übereinstimmung. Für diesen Vergleich lassen sich neben Untersuchungen senkrecht zur Küste, Driftexperimente, die Behandlung von Chlorophyllwerten als Funktion der Temperatur und Modellrechnungen heranziehen, die verschiedene Auftriebsgebiete betreffen, wie die vor NWA, SWA, Peru sowie den äquatorialen Bereich des Pazifischen Ozeans, nördlich von Neuguinea. Angaben zur Entwicklungszeit des Phytoplanktons machten RYTHER et al. (1971), WEICHART (1980), JONES und HALPERN (1981) und indirekt über die Nährstoffentwicklung DUGDALE (1972). HEMPEL und NELLEN (1972) sowie Mc ISAAC et al. (1985) ergänzten um die Entfernung des Phytoplanktonmaximums zum Auftriebsort. SOROKIN (1978) und SUKANOVA et al. (1978) betrachteten ausschließlich räumliche Aspekte. Die zeitliche Entwicklung bis zum karnivoren Zooplankton wurden in den Berechnungen von VINOGRADOV et al. (1973) berücksichtigt. Auf ihnen basiert Tab.A4. ANDREWS und HUTCHINGS (1980) sowie HUTCHINGS (1981) sind die Angaben zur Entfernung des ZPB-Maximums vom Auftriebsort zu entnehmen, raum-zeitliche Aspekte beinhalten die Arbeiten von HERBLAND et al. (1973) und BINET (1973). VINOGRADOV und SHUSHKINA (1978) behandelten die Planktongemeinschaft insgesamt. Die Angaben zur zeitlichen Verzögerung zwischen dem Auftriebsereignis und der Phytoplanktonblüte schwanken zwischen 0 und 9 Tagen, bis zum Erreichen des ZPB-Maximums werden Zeiträume zwischen 5.5 und 33 Tagen genannt. Speziell temperaturabhängige Angaben existieren in guter Übereinstimmung zu den auf der Basis der BĚLEHRÁDEK-Funktion vorgenommenen Berechnungen. Sie stammen aus Laborversuchen an *Calanoides carinatus* (KRØYER, 1849) des Benguelastromgebietes. Für Temperaturen zwischen 13° und 15°C gaben BORCHERS und HUTCHINGS (1985) eine Entwicklungsdauer von 25 d an.

Besondere Beachtung verdient die Ähnlichkeit zwischen den eigenen Untersuchungen und den nach gleichem Konzept durchgeführten Beobachtungen während des JOINT-I-Programmes vor NWA. Dabei handelte es sich um eine vom März bis Mai 1974 dauernde Zeitreihe küstensenkrechter Schnitte auf $21^{\circ}40'$ nördlicher Breite (BARBER, 1977). Speziell in den über einen Auftriebszyklus währenden Untersuchungen von JONES und HALPERN (1981) vergingen zwischen dem Nährstoff- und Chlorophyll-a-Maximum an der Meeresoberfläche ebenfalls 6 Tage. Dabei verdoppelte sich, wie vor SWA (vgl. 4.1.1.1.), die Chlorophyllkonzentration. Übereinstimmung besteht darüberhinaus räumlich, im küstensenkrechten Abstand beider Maxima von etwa 20 - 30 km. Diese Entfernung findet sich im Mittel unter Einbeziehung des vollen JOINT-I-Untersuchungszeitraumes und der gesamten euphotischen Zone bei HUNTSMAN und BARBER (1977) mit $x=30 \text{ km}$ bestätigt. Das läßt auf vergleichbare Geschwindigkeiten des offshore-Transportes vor SWA ('79) und während JOINT-I schließen.

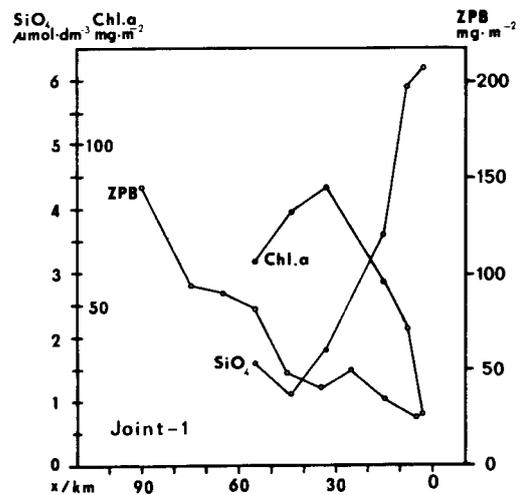
Die dazugehörige zonal gemittelte ZPB-Struktur wurden aus Werten von BLACKBURN's (1979) Abb.2 erstellt. Wie im Fall der eigenen Untersuchungen ergibt sich ein linear

anwachsender Trend ($r=0.698$, $p<0.001$). Eine dem südwestafrikanischen USG vergleichbare Transportgeschwindigkeit vorausgesetzt, ist das ZPB-Maximum jedoch erst seewärts des Beobachtungsausschnittes zu erwarten. Die Abbildungen 15a und 15b gestatten den prinzipiellen Vergleich der auf einem Konzept beruhenden Untersuchungen vor SWA und vor NWA.

Abb.15: Zonation und Sukzession nach küstennahen Auftrieb am Beispiel der zeitlich gemittelten, küstensenkrechten Nährstoff-, Chlorophyll-a- und ZPB-Änderung
a) vor SWA (vgl. Tab.1; lfd. Nr.1. und Abb.1), aus Abb.13 übernommen, und



b) vor NWA ($\theta=21^{\circ}40'$ N, März - Mai, 1974). Die mittlere Nährstoff- und Chl.-a-Konzentrationen sind HUNTSMAN und BARBER (1977) entnommen. Die ZP-Naßmasse stammt aus Abb.2 von BLACKBURN (1979) und ist nachträglich über den USZ in 10 bzw. 20 km - Schritten gemittelt worden. Die Anzahl der Werte schwankt zwischen 2 und 9. Der "Aufquellort" auf den Abszissen differiert um 30 km, der zeitliche Maßstab der Abszisse basiert auf den Ergebnissen des Abschnitts 4.1.1.3.



4.1.2. Anstieg der mittleren Zooplanktonbiomasse nach Auftrieb und Nettozuwachsrate

Die "Auftriebsquelle" wird vom Beobachtungsausschnitt in Küstennähe erfaßt, das ZPB-Maximum nahe der seewärtigen Begrenzung. Die sukzessive Entwicklung des Planktons nach Auftrieb führt über das Anwachsen der zeitlich gemittelten Biomasse mit zunehmender Küstenentfernung zu einem linearen Trend in der Meßreihe. Die Beziehung läßt sich in beiden untersuchten Wasserschichten durch eine strenge Korrelation belegen (s.4.1.1.) und mittels linearer Regression quantifizieren. Das Verfahren minimiert Abweichungen, die von kleinmaßstäblicheren Vorgängen verursacht werden. Die Tabelle A19 enthält die errechneten Werte für jeden Meßpunkt. Daraus folgt für beide Tiefenstufen:

$\overline{\text{ZPB}}$ für "Auftriebsquelle"

bei $x = 30 \text{ km}$: $46 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ und $37 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$

$\overline{\text{ZPB}}$ -Maximum nach Auftrieb

bei $x = 145 \text{ km}$

bzw. $t = 23 \text{ d}$: $82 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ und $73 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Durch Auftrieb vor Namibia wird demnach in der Deckschicht bis $z < 75 \text{ m}$ ein maximaler Nettozuwachs an ZPB etwa um den Faktor 2 bewirkt. Unter Berücksichtigung einer 23-tägigen Entwicklungsdauer ergeben diese Zahlen eine durchschnittliche Nettozuwachsrate von etwa $2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ bzw., wie in Tab.A19 durch die b-Koeffizienten ausgedrückt, von $0.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{km}^{-1}$.

Die Biomasseänderung pro Zeiteinheit stellt keine Produktionsgröße dar. Dazu wäre die Kenntnis der Elimination erforderlich, die sich auf Populations- und ökosystemebene aus dem Verlust durch natürliche Sterblichkeit und Fraß zusammensetzt. Import und Export führen zu zusätzlichen Unsicherheiten (z.B. STRÁSKRABA und GNAUCK, 1983). Insofern sind Vergleiche zu entsprechenden Nettoänderungsraten schwer möglich.

Beispielsweise geben HERBLAND et al.(1973) auf der Basis von WP-2-Netzproben, die sie aus einem Driftexperiment während der jährlichen Auftriebsperiode vor Mauretania gewonnen hatten, eine durchschnittliche Zunahme der ZPB von $16.8 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ Trockenmasse an. Allerdings erweckt das synchrone Auftreten des Phyto- und Zooplanktonmaximums nach 6 Tagen von sich aus Bedenken gegen das durch ausschließlich küstennah geführte Untersuchungen erzielte Ergebnis.

Gleiche Größenordnungen ergeben hingegen die Meßwerte von TOURE (1972) aus den bis in ca. 100 km Küstenentfernung reichenden Untersuchungen vor Dakar ($14^{\circ}\text{N} < \theta < 15^{\circ}\text{N}$). Die Abb.27 enthält die mittlere küstensenkrechte Struktur der ZPB zur Auftriebsperiode, vom Februar bis Mai. Der küstenfernste Wert übersteigt den küstennächsten um $0.3 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ($p < 0.05$). Das entspricht nach vorheriger Umformung des Verdängungsvolumens in Trockenmasse (Faktor 160; CUSHING et al., 1958) einer Änderungsrate von $0.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{km}^{-1}$.

Zusammenfassend bleibt festzustellen:

Die Übereinstimmung der voneinander unabhängig auf verschiedenen Wegen abgeschätzten Entwicklungs- bzw. Transportgeschwindigkeiten des Planktons ermöglichte die reelle Umwandlung der senkrecht zur Küste untersuchten räumlichen Distanz in eine

zeitliche. Die Eignung der Meßanordnung zur raum-zeitlichen in situ - Beobachtung der Alterung von Auftriebswasser über die Entwicklung des Phytoplanktons hinaus, wird zusätzlich durch Hinweise aus der Literatur gestützt, wie der Vergleich von Abb.15 a und b zeigt.

Entsprechend den über 22.5 d gemittelten, senkrecht zur Küste Namibias erfolgten Beobachtungen altert Auftriebswasser unter Zunahme der Oberflächentemperatur, des Salz- und Sauerstoffgehaltes sowie einer synchronen Nährstoffabnahme. Die Phytoplanktonbiomasse erreicht nach 6 d ihr Maximum. Parallel zu dieser Entwicklung kommt im Mesozooplankton eine sukzessive Veränderung in der abnehmenden Dominanz einiger taxonomischen Gruppen und einer zunehmenden Mannigfaltigkeit zum Ausdruck. Die Zahl der taxonomischen Gruppen nimmt von 16 auf 25 zu, Thaliacea, die bis 18 d nach Auftrieb als Subrezendente auftreten, zählen 10 d später zu den Eudominanten. Gleichzeitig verdoppelt sich die ZPB in 23 Tagen in den oberen 75 m der Wassersäule auf etwa $80 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Das entspricht einer durchschnittlichen Nettozuwachsrate von $0.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{km}^{-1}$ bzw. $2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, die vor SWA und vor NWA vergleichbare Werte anzunehmen scheint.

4.2. Charakteristische Zooplanktonbiomasse der Klimaxgemeinschaft im subtropisch-tropischen Zentralatlantik

Vor SWA reichten die küstensenkrechten Untersuchungen bis in eine Küstenentfernung von 170 km. Sie schlossen die Zooplanktonentwicklung bis zum Biomassemaximum ein. Damit wurde keinesfalls das Gebiet berührt, in dem der Einfluß des küstennahen Auftriebs ausgeglichen ist. Der Gleichgewichtszustand einer Planktongemeinschaft und die dafür typische ZPB sind deshalb in klimatisch vergleichbaren Regionen ohne diese "Störung" zu suchen. ELLENBERG (1973) zufolge kommt ein Klimaxstadium u.a. in der Balance zwischen Primärproduzenten und Konsumenten zum Ausdruck. Es wird ständig neue organische Substanz produziert, jedoch ohne nachweisbaren Überschuß.

Diese Situation fanden KAISER und POSTEL (1979) für den subtropisch-tropischen Zentralatlantik auf 30° westlicher Länge bestätigt. Dazu wurden die Ergebnisse von sieben Expeditionen mit FS "Alexander von Humboldt" in diese Region (SCHEMAINDA et al., 1976), zwischen 1970 und 1973, aus den Monaten Februar, März, Mai, Juni, August, Oktober und November geprüft. Die Untersuchungen erstreckten sich von 15° N bis 3° S. Sie erfolgten auf jedem Breitengrad (ergänzt durch 30° N bzw. S) und

reichten bis in 200 m Tiefe.

Lediglich in unmittelbarer Äquatornähe ist als Folge des sich jahreszeitlich ändernden turbulenten Austausches (LASS und HAGEN, 1980) ein ZPB-Jahresgang zu beobachten. Das Minimum fällt in die erste, das Maximum in die zweite Jahreshälfte. Die ZPB-Extremwerte, vom Februar 1973 und August 1972 unterscheiden sich um den Faktor 2 ($p < 0.05$, vgl. Tab.A14). Dieses jahreszeitliche Signal verliert sich in der ZPB mit zunehmender geographischen Breite und vermutlich auch im aufwärtsgerichteten Nährstoffstrom. Die zwischen 1° N und 15° N gemittelten ZPB-Werte betragen während der äquatorialen Extremsituationen gleichermaßen $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (Tab.A14).

Vergleichbare Untersuchungen in anderen Seegebieten führten zu ähnlichen Ergebnissen. Langjährige, mittlere küstensenkrechte Beobachtungen vor Kalifornien zufolge beginnen die ozeanischen Bedingungen (Nordpazifisches Zentralwasser) seewärts von 800 km Küstenentfernung. Dort liegen die ZPB-Werte als Verdrängungsvolumina nahezu einheitlich um $50 \text{ ml} \cdot 10^3 \cdot \text{m}^{-3}$. Sie basieren auf Hols bis in 140 m Tiefe, die Maschenweite des Netzes betrug $505 \mu\text{m}$ (BERNAL, 1981). Mit dem Faktor 160 multipliziert (CUSHING et al., 1958) ergeben sich daraus $8 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ Trockenmasse. In einem zweiten Beispiel betrug die Trockenmasse an der seewärtigen Begrenzung der "upwelling monitoring line" vor der Kap-Halbinsel / SWA (ANDREWS und HUTCHINGS, 1980) zwischen 1970 und 1973 ebenfalls $< 10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Diese Werte basieren auf WP-2-Netzholz ($200 \mu\text{m}$ Maschenweite) und repräsentieren als Mittel etwa die oberen 100 m der Wassersäule. Im Februar 1973 wurde die 200 m-Deckschicht zusätzlich in mehrere Tiefenstufen gegliedert. Die Beobachtung hinsichtlich des zwischen 1° und 15° N fehlenden Jahresganges lassen sich vermutlich auf diese Schichten übertragen. Das ermöglicht folgende, meridional gemittelten ZPB-Werte für eine sich im Klimaxstadium befindliche Planktongemeinschaft des tropischen Atlantiks anzugeben:

0 <z< 200 m	$10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$
0 <z< 25 m	$23 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$
25 <z< 75 m	$18 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$
75 <z< 200 m	$6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Vertikal betrachtet, unterscheiden sich die Mittelwerte der oberen und intermediären Schicht nicht signifikant. Erst zur unteren Schicht existiert ein nachweisbarer Gradient ($p < 0.05$) von 3 : 1. Die Statistik zu dieser übersicht enthält Tab.A14.

4.3. Jahreszeitliche Veränderlichkeit der Zooplanktonbiomasse vor Nordwestafrika (10° N \leq 25° N)

Küstennaher Auftrieb besitzt im Bereich der Meridionalverlagerung des Passatwindsystems jahreszeitlichen Charakter. Das trifft, wie unter 3.2.1. beschrieben, sowohl für NWA als auch für SWA zu. Die Auswirkungen auf die raum-zeitlichen Muster und die Höhe der ZPB lassen sich anhand des vor NWA gewonnenen Datenmaterials untersuchen. Aus mehreren Jahren liegen bis zu sieben Meßtermine aus verschiedenen Jahreszeiten vor (Tab.1 und 2, lfd.Nr.2. sowie Abb.2).

Auf der Basis der unkoordinierten Daten der Schicht von 0 - 200 m untersuchte POSTEL (1985) die jährliche zonale und meridionale Pulsation des nordwestafrikanischen Auftriebsgebietes. Als Kriterium diente der Verlauf der für Klimaverhältnisse typischen 10 mg*m⁻³-Isoplankte (s. 4.2.).

Das Gebiet erreicht, wie Abb.16 zeigt, zonal eine Ausdehnung von 200 - 400 km und kontrahiert maximal bis zur Schelfkante. Dabei scheint die für physikalisch definierten Auftrieb begründete Breitenabhängigkeit (s.3.1.1.) auch hier vorzuliegen. Im südlichen Teil wirkt sich darüberhinaus vermutlich der flache und relativ breite Schelf (vgl.Tab. A2) in dieser Hinsicht aus. Meridional erstreckt sich die vom Auftrieb und seinen Folgeerscheinungen erfaßte Zone über das gesamte USG.

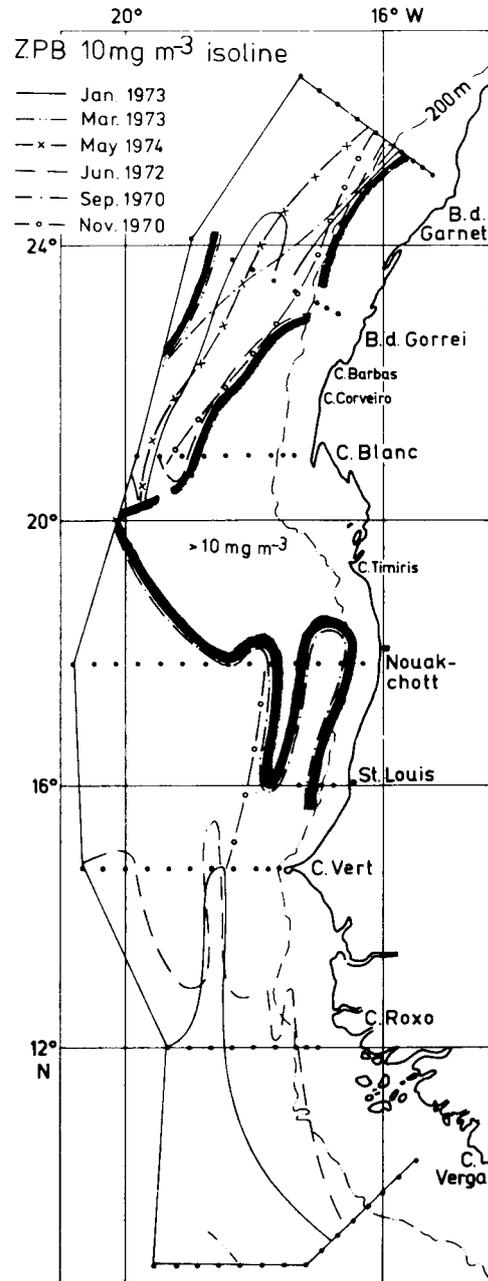


Abb.16: Pulsation der Zone mit einer ZPB von mehr als 10 mg*m⁻³ in den oberen 200 m der Wassersäule vor NWA zu verschiedenen Jahreszeiten zwischen 1970 und 1974 nach POSTEL (1985). Die verstärkten Isolinien kennzeichnen die küstenfernste bzw. -nächste Position der 10 mg*m⁻³-Isoplankte

Das gilt streng genommen für den Schelf und dort ganzjährig. Im offshore - Bereich kontrahiert die Zone auf ein Gebiet zwischen der geographischen Breite von Nouakchott und Cap Blanc / Bahia de Gorrei. Das geschieht im zweiten Halbjahr, in Abhängigkeit von der jährlichen Meridionalverlagerung des küstennahen Auftriebsgeschehens (vgl. 3.2.1.). Vor Cap Blanc bleibt die ZPB bis 20°W ganzjährig oberhalb des kritischen Wertes von 10 mg*m⁻¹ erhalten.

Gegenüber dieser Bearbeitung werden im folgenden

- die korrigierten Daten (vgl. Tab.4) benutzt,
- die Analyse der jahreszeitliche Variation der Auftriebszone räumlich auf drei Dimensionen erweitert sowie
- die ZPB - Amplitude hinsichtlich des auftriebstypischen Signals und der Schwankungsbreite untersucht.

4.3.1. Jahreszeitliche, meridionale Pulsation der Zone mit auftriebstypischer Zooplanktonbiomasse

4.3.1.1. Klassifikation der Daten

Im Abschnitt 3. wurde auf die inhomogene Struktur des nordwestafrikanischen USG hinsichtlich der mustererzeugenden Vorgänge aufmerksam gemacht. Zur Dämpfung der kleinskaligen Variabilität soll die Analyse auf der Basis von gemittelten Werten vorgenommen werden. Die Einzelmessungen wurden zu diesem Zweck entsprechend den natürlichen Gegebenheiten klassifiziert. Vom Variationskoeffizienten der Gesamtdatenmenge

$$C.V. = S.D. * \overline{ZPB}^{-1}$$

ausgehend, erfolgte die Untergliederung in Teilmengen, wobei die abnehmende Variabilität orientierend wirkte (CASSIE, 1971). Sie wurde solange vorgenommen, bis wenigstens einer der daraus zu berechnenden Variationskoeffizienten nicht mehr zu senken war (Abb.17). Die Analyse basierte auf Daten der 200 m - Deckschicht und aus Meßzeiträumen, in denen das gesamte Gebiet zwischen 10°N und 25°N bearbeitet wurde (Tab.1, lfd.Nr.2.2.).

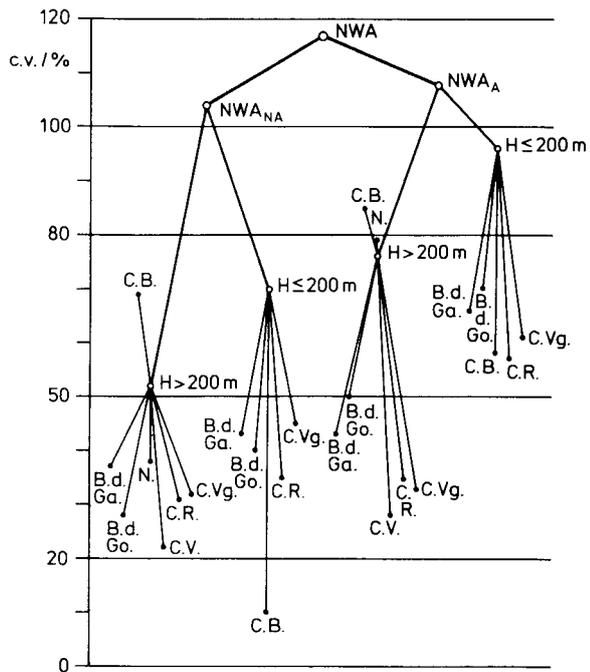
Die Klassifikation führt zur sukzessiven Untergliederung in auftriebsarme (24.12.1972 - 10.1.1973) und auftriebsintensive Saison (23.2. - 14.3.1973; 14. - 30.5.1974), in Schelf und ozeanische Zone sowie meridional in einzelne Seegebiete. Die Gesamtvariabilität reduziert sich dadurch von 117 % auf Beträge zwischen 85 und 10 % . Der Begriff "auftriebsintensive Saison" wird im Sinne der größten, meridionalen Ausdehnung des Auftriebsgebietes verwendet (und v.v.).

Abb.17:

Graphische Darstellung der Variationskoeffizienten aus Tab.A21 auf der Basis sukzessiv klassifizierter ZPB-Daten der Deckschicht bis 200 m Tiefe:

NWA = NA + A, NA = auftriebsarme Zeit (24.12.1972-10.1.1973), A = auftriebsintensive Saison (23.2.-14.3.1973 und 14.5.-30.5.1974), H < 200 m = Schelf, H > 200 m = ozeanische Zone bis 20° W, meridionale Untergliederung in einzelne Seegebiete:

- B.d.Ga. = Bahia de Garnet,
- B.d.Go. = Bahia de Gorrei,
- C.B. = Cap Blanc,
- N. = Nouakchott,
- C.V. = Cap Vert,
- C.R. = Cabo Roxo,
- C.Vg. = Cabo Verga.

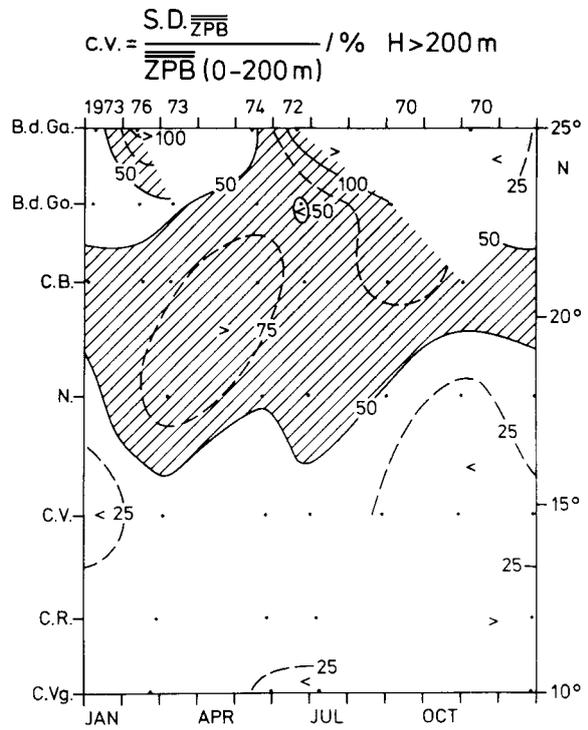


Die verbleibende Restvariabilität weist über die benutzten Klassifikationsmerkmale hinaus auf andere Ursachen hin. Sie liegt über dem Schelf zur Auftriebszeit mit 57 - 70 % am höchsten und läßt sich in fast allen übrigen Fällen auf 50 bis 20 % reduzieren. Demgegenüber bilden der ozeanische Bereich vor Cap Blanc ganzjährig und vor Nouakchott während der Auftriebssaison mit 70 bis 80 % Restvariabilität eine Ausnahme.

Eine weitere Untergliederung in Tages- und Nachtmessungen führt, soweit es die Datendichte in den ozeanischen Bereichen der Seegebiete zuläßt, kaum zu einer neuen Variabilitätssenkung (Tab.A22). Lediglich vor Cap Blanc verkleinert dieses Vorgehen die Variationskoeffizienten beider Tageszeiten geringfügig während der Auftriebsperiode. Der Vergleich der dazugehörigen Mittelwerte signalisiert eine signifikante Biomasseerhöhung während der Nacht um mehr als den Faktor 3. Damit muß die tägliche Vertikalwanderung des Planktons (vgl.2.3.3.1.) in dieser Region zu den mustererzeugenden Vorgängen gerechnet werden.

Eine Erklärung für den dennoch im ozeanischen Bereich, speziell vor Cap Blanc und Nouakchott, verbleibenden hohen Variationsanteil bietet die Übereinstimmung der meridionalen Ausdehnung dieser Zone im Verlauf eines Jahres in Abbildung 18 mit der räumlichen Verteilung der Maxima potentieller Wirbelenergie nach DANTZLER (1977) in Abbildung 19. Das Zentrum hoher Variabilität von >50 % liegt wie der Vergleich mit Abb.10 zeigt, im Bereich der negativen SST-Anomalie und verlagert sich mit ihr im zweiten Halbjahr in Richtung Nord.

Abb.18:
 Meridionale Ausdehnung der Zone hoher ZPB-Variabilität (C.V. >50 %) im ozeanischen Bereich vor NWA im Verlauf eines Jahres, zwischen 10° N und 25° N bzw. der Küste und <20° W, für die Tiefenstufe von 0 bis 200 m. Die Kurzbezeichnungen für die bearbeiteten Seegebiete (B.d.Ga. u.s.w.) sind in der Legende von Abb.17 erläutert.



EDDY POTENTIAL ENERGY DENSITY
 Isopleths of potential energy density ($cm^2 s^{-2}$)
 • Fewer than 4 observations

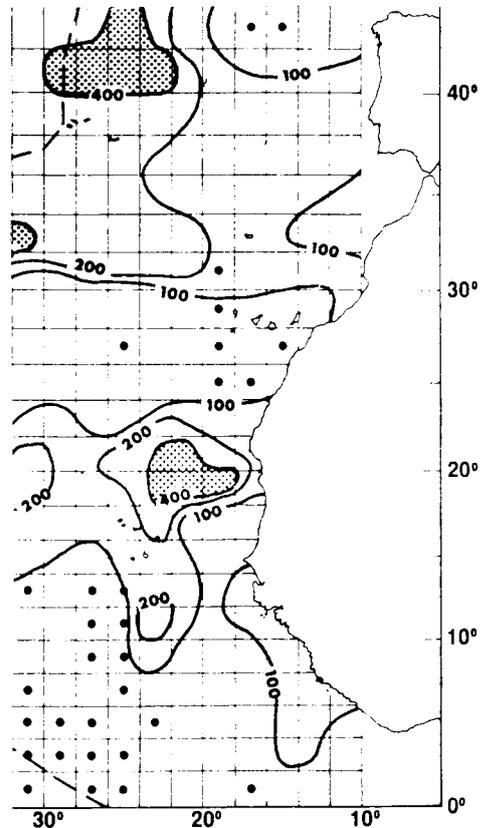


Abb.19: Dichte potentieller Wirbelenergie ($cm^2 s^{-2}$) im nördlichen Atlantik nach DANTZLER (1977). Vergleichsweise dazu dehnte sich das USG meridional von 10° N bis 25° N und zonal bis maximal 20° W aus.

Die Datenklassifikation zeigt, daß die Betrachtung auf der Basis von zonal gemittelten Werten nicht in jedem Fall zu der beabsichtigten Elimination kleinskaliger Vorgänge führt. Dadurch können die Unterschiede zwischen der mittleren ZPB der auftriebsarmen und auftriebsintensiven Periode in Tab.A21 nicht zur Grundlage der Abschätzung des ZPB-Auftriebssignals vor NWA gemacht werden. Darüberhinaus repräsentiert die "auftriebsarme Periode" keinesfalls das absolute Minimum. Das ist Abb.10 entsprechend im dritten Quartal zu erwarten, in dem das USG nur unvollständig bearbeitet wurde (s. Tab.1; lfd.Nr.2.1.).

Im folgendem wird deshalb zuerst die Ähnlichkeit zwischen dem physikalisch definierten Auftriebsgebiet und dem ZPB-Muster gesucht. Daraus sollte sich anschließend die Höhe der auftriebstypischen Biomasse ablesen lassen.

Das geschieht, den Ergebnissen der Datenklassifizierung folgend, für die ozeanische und neritische Zone getrennt. In Anlehnung an ARNDT und BRENNING (1977) sowie BLACKBURN (1979) wird in der neritischen Zone der Schelfkantenbereich (75 m <H< 200 m) und das küstennähere Gebiet (H <75 m) unterschieden. Neben der Berücksichtigung der gesamten Wassersäule bis z <200 m gestatten die Daten aus dem ozeanischen Bereich eine schichtweise Auflösung in die Stufen von 0 <z< 25 m, 25 <z< 75 m und 75 <z< 200 m (vgl.Tab.2, lfd.Nr.2.). Die Abbildungen 20a, 21 und 22 enthalten die zonal gemittelte ZPB als Funktion der geographischen Breite und der Jahreszeit. Die Tabelle A23 informiert über die Meßdichte.

4.3.1.2. Ozeanischer Bereich (H <200 m, λ <20° W), gegliedert in die Tiefenstufen 0 <z< 200 m sowie 0 <z< 25 m, 25 <z< 75 m und 75 <z< 200 m

4.3.1.2.1. Auftriebstypische Biomasse und jahreszeitliche, meridionale Pulsation

Die 200 m-Deckschicht zeichnet sich gegenüber den übrigen durch eine relativ hohe Datendichte aus und wird deshalb zum Ausgangspunkt der Betrachtung gemacht.

Hier ändert sich die mittlere ZPB im Verlauf eines Jahres im engen Zusammenhang mit der Meridionalverlagerung der Südgrenze des physikalisch definierten Auftriebsgebietes. Zu diesem Ergebnis führt der Vergleich von Abb.20a mit dem Jahresgang der Temperaturdifferenz an der Meeresoberfläche zwischen dem küstennahen und dem offenen Atlantik (SST), nach SPETH et al.(1978) in Abb.20b.

Beide Untersuchungen stammen aus einem vergleichbaren Zeitraum. Diese Feststellung ist notwendig, denn Beobachtungen von ARFI (1985) zufolge, ändert sich durch niederfrequente Schwankungen im Windfeld der mittlere Jahresgang im EKMAN-offshore-Transport etwa aller 8 Jahre in Amplitude und Gestalt. Deshalb wurde der Vergleich mit SPETH et al.(1978) den prinzipiell ähnlichen Untersuchungen aus weitergefaßten Meßreihen, wie den von WOOSTER et al.(1976), SPETH und KÖHNE (1983) oder HISARD und HENIN (1983) vorgezogen.

$\overline{ZPB} (0-200m) / mg \cdot m^{-3} \quad H > 200m$

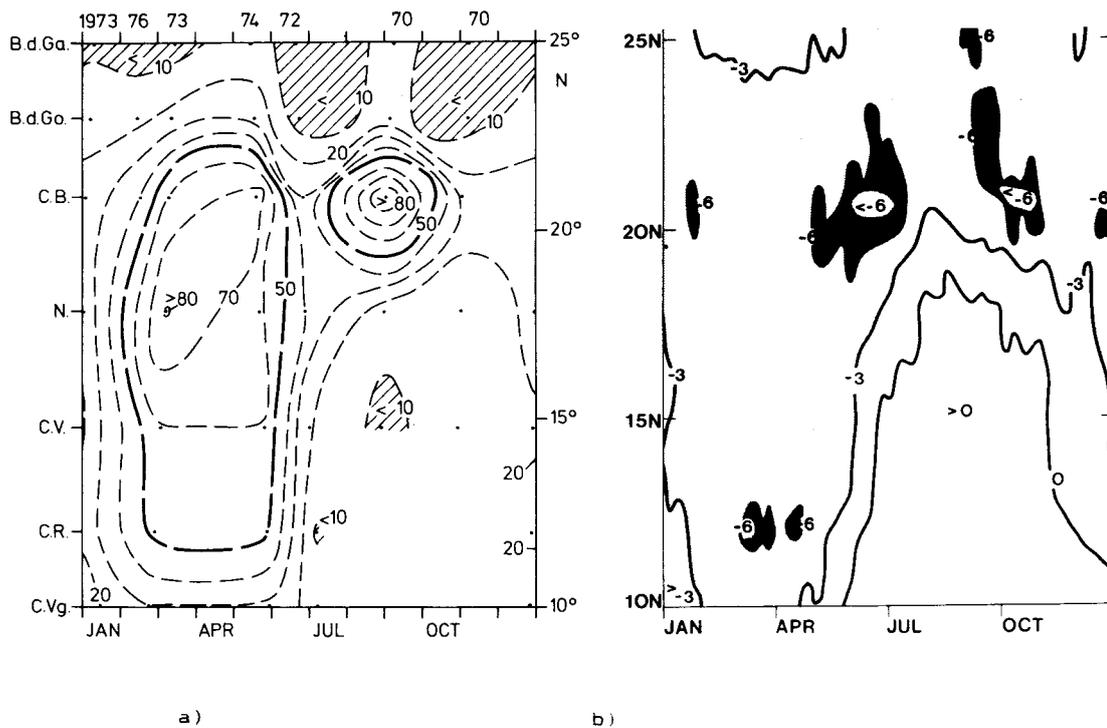


Abb.20: a) Küstensenkrecht gemittelte ZPB der 200 m-Deckschicht im ozeanischen Bereich vor NWA ($H < 200m$, $\Lambda < 20^\circ W$, vgl. Tab.1; lfd.Nr.2. und Abb.2) als Funktion der geographischen Breite und der Jahreszeit. Die Kurzbezeichnungen für die bearbeiteten Seegebiete (B.d.Ga. u.s.w.) sind in der Legende von Abb.17 erläutert.
 b) Ausschnitt der Abb.10: Jahresgang mittlerer Differenzen der Oberflächentemperatur $\Delta SST / K$, zwischen dem Zentralatlantik und den Küstengebieten im Zeitraum von 1969 - 1976, nach SPETH et al.(1978).

Der Verlauf der

$20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ - Isoplankte

ähnelt dem Muster der jahreszeitlich variierenden Auftriebsintensität (ΔSST) mehr als alle anderen. Deshalb werden die Werte oberhalb dieser Konzentration als Folge von küstennahem Auftrieb nährstoffreichen Wassers angesehen. Sie fällt im südlichen Teil des USG zum Ende des ersten Halbjahres mit der Änderung von negativer zu positiver Temperaturdifferenz zusammen und grenzt im zweiten Halbjahr bei 19° bis $20^\circ N$ an das Gebiet, in dem wie im Abschnitt 3.2.1 beschrieben, ganzjährig Auftrieb herrscht. Gleichzeitig trennt die Konzentration im Bereich von $21/22^\circ < \theta < 24^\circ N$ diese Zone in zwei Regionen mit differenzierter Auftriebsfolgeerscheinung. Nördlich von dieser Begrenzung bleibt die ZPB durch das Aufquellen von nährstoffarmen NACW (s. 3.1.2.) stets unter Werten von $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Die Zone erhöhter ZPB reicht in der ersten Jahreshälfte meridional von 24° N bis <10° N. Sie kontrahiert im zweiten Halbjahr bis auf 19/20° <0< 21/22° N. Die maximale Ausdehnung über mindestens 14 Breitengrade, d.h. über etwa 1500 km, fällt in die Zeit zwischen März und Mai, das Minimum von etwa zwei Breitengraden, entsprechend 200 bis 250 km, in den Oktober/November eines Jahres.

Die jahreszeitliche Umstellung der Verhältnisse im südlichen Teil des USG geht in der gesamten 200 m-Deckschicht in vermutlich weniger als zwei Wochen vonstatten (Abb.20a). Das Geschehen verlangsamt sich im Wendepunktsbereich zwischen 16° N und 20° N. Das führt in den südlich gelegenen Arbeitsgebieten zu ähnlich langen, biomassereichen Perioden (Tab.5). Die sich über derartige Küstenabschnitte nahezu gleichzeitig vollziehende Änderung gilt für das gesamte hydrographische Regime und findet in der Oberflächentemperatur seinen Ausdruck (Abb.20b). Die Beobachtung ist aus anderen küstennahen Auftriebsgebieten, z.B. vor Oregon ebenfalls bekannt (HUYER et al., 1979).

In Tabelle 5 sind jährliche Dauer und Zeitraum einer ZPB-Reaktion in der gesamten 200 m-Deckschicht von >20 mg*m⁻³ nach Auftrieb nährstoffreichen Wassers für die einzelnen Seegebiete zusammengestellt. Die Angaben sind visuelle Schätzungen und fußen auf Abb.20a.

Tab.5: Jährliche Dauer (D_A) und Zeitraum einer ZPB-Reaktion von >20 mg*m⁻³ nach Auftrieb nährstoffreichen Wassers in der gesamten 200 m-Deckschicht der einzelnen Seegebiete vor NWA, seewärts der 200 m-Isobathen bis 20°W. Die Kurzbezeichnungen für die bearbeiteten Seegebiete (B.d.Ga. u.s.w.) sind in der Legende von Abb.17 erläutert.

Seegebiet	B.d.Ga.	B.d.Go.	C.B.	N.	C.V.	C.R.	C.Vg.
D _A / Monate	0	3	12	8	6	6	5
Zeitraum	-	Anfang März	ganz- jährig	Mitte Dez.	Anfang Jan.	Ende Dez.	Mitte Jan.
		bis		bis	bis	bis	bis
		Ende Mai		Mitte Aug.	Ende Juni	Ende Juni	Mitte Juni

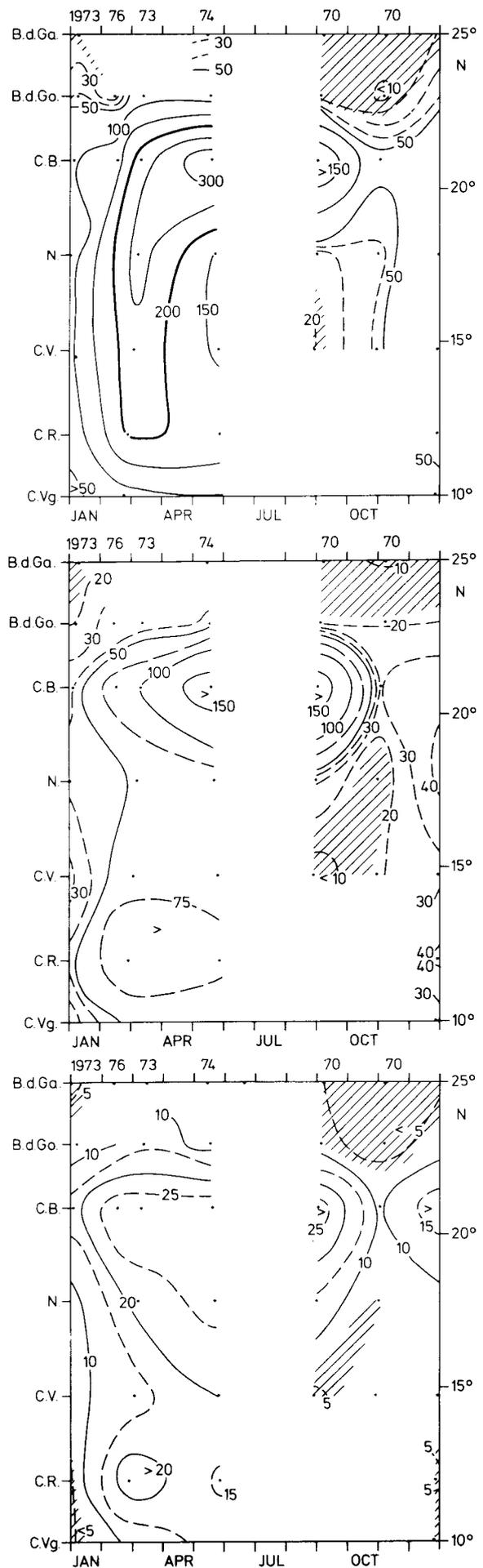
Die Abbildungen 21a - c enthalten die zonal gemittelte ZPB für die in drei Tiefenstufen aufgeschlüsselte 200 m-Deckschicht, analog zur Abb.20a als Funktion der geographischen Breite und der Jahreszeit.

Abb.21:
 Küstensenkrecht gemittelte
 ZPB der in 3 Tiefenstufen
 aufgeschlüsselten 200 m-Deck-
 schicht im offshore-Bereich
 des USG vor NWA ($H > 200$ m,
 $\Lambda < 20^\circ$ W; vgl.Tab,1; lfd. Nr.
 2. und Abb.2), als Funktion
 der geographischen Breite und
 der Jahreszeit. Die Kurzbe-
 zeichnungen für die bearbei-
 teten Seegebiete (B.d.Ga.
 u.s.w.) sind in der Legende
 von Abb.17 erläutert.

a) $0 < z < 25$ m

b) $25 < z < 75$ m

c) $75 < z < 200$ m



Der Vergleich mit Abb.20 ergibt in allen vier Tiefenstufen nahezu übereinstimmende ZPB-Muster. Das betrifft sowohl die Dauer mit der die ZPB in den einzelnen Seegebieten auf Auftrieb reagiert, als auch den Zeitpunkt und die regionalen Unterschiede der Amplituden. Die Mittelwerte von $>20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ beschreiben in der 200 m-Deckschicht raum-zeitlich den von nährstoffreichen Auftriebswasser beeinflussten Sektor. Dem Muster nach entsprechen dieser Biomasse in den nach zunehmender Tiefe geordneten Schichten Konzentrationen von mehr als

50, 30 und $10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Der sich vertikal abschwächenden Intensität ist es zu verdanken, daß in den oberen 25 m der Wassersäule die deutlichste Korrelation zu den Mustern der 200 m-Deckschicht auftritt.

SPETH et al.(1978), DETLEFSEN und SPETH (1980) sowie SPETH und KÖHNE (1983) betrachten nicht den Vorzeichenwechsel, sondern eine negative Temperaturanomale von 3 K als Ausdruck für Auftrieb, um Effekte, wie meridionalen Wärmetransport und Einstrahlung sicher vernachlässigen zu können. Mit der -3 K -Differenz-Isotherme deckt sich in der 200 m-Schicht die $50 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ -Isoplankte. In der vertikal gegliederten 200 m-Deckschicht steigen die geordneten Werte unter diesem Aspekt auf 150, 50 und $15 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Entsprechend der Untersuchung im subtropisch - tropischen Zentralatlantik (s.4.2.) sollte die auftriebsfreie Periode durch eine ZPB von $<10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ in der gesamten und von <23 , <18 und $<6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ in der vertikal gegliederten 200 m- Deckschicht charakterisiert sein. Die Gebiete, in denen die Voraussetzung zutrifft, sind in den Abbildungen 20a und 21a-c schraffiert dargestellt. Es ist festzustellen, daß die Bedingungen im Seegebiet vor Bahia de Garnet, im Einflußbereich des nährstoffarmen NACW, eher erfüllt sind, als zur auftriebsfreien Jahreszeit, südlich von Cap Blanc. Den Abb. 21a-c entsprechend, macht sich der Auftrieb von nährstoffarmen NACW in allen Stufen der vertikal gegliederten 200 m-Deckschicht bemerkbar. Südlich von Cap Blanc ist in den oberen 200 m, speziell in den oberen 25 m der Wassersäule, selbst zu Zeiten ohne windabhängigen Auftrieb eine ZPB vorhanden, die zwischen den ozeanischen Verhältnissen des subtropisch - tropischen Atlantiks und den typischen Auftriebsverhältnissen vor NWA liegt. Seine Ursache muß in Vorgängen zu suchen sein, die auch für die im Zusammenhang mit Abb.17 erörterten Variabilität in auftriebsarmer Zeit verantwortlich sind. Sie sind dem windabhängigen Auftrieb überlagert und werden vorallem in den oberen 25 m wirksam.

4.3.1.2.2. Reaktionszeit

Die Wendepunkte der Meridionalverlagerung von Auftrieb ($\Delta \text{ SST} / \text{K}$) und ZPB - Folgeerscheinung ($\text{ZPB} >20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) decken sich räumlich und unterscheiden sich zeitlich um etwa 1.5 bis 2 Monate. Das entspricht etwa der Zeit, in der das Zooplankton nach wieder einsetzendem Auftrieb südlich von Nouakchott die auftriebstypische Biomasse erreicht.

Die Verzögerung läßt sich mit der Entwicklungsdauer des Planktons begründen, wobei die Länge auf das Dominieren von Organismen höherer Trophieniveaus im ozeanischen Bereich, der bis in 200 m Tiefe reicht, hinweist (vgl.Tab.A4 und Abb.14).

Im Gegensatz dazu sinkt die ZPB in der Mitte des Jahres nahezu synchron mit der Beendigung des Auftriebszustandes auf das Niveau unterhalb von $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Ein gleichzeitig an den Ausklang der Auftriebssaison gekoppelter Wechsel der Wasserart könnte diese verhältnismäßig abrupte Änderung erklären, denn der Meridionalverlagerung der südlichen Passatgrenze folgt die Ausbreitung von nährstoffarmen, tropischen Oberflächenwasser (Abb.9). Sie reicht, wie dem zonalen Isothermenverlauf bei SCHEMAINDA et al.(1975) oder den Ergebnissen von ROSSIGNOL und ABOUSSOAN (1965) zu entnehmen ist, über die gesamte Breite des USG.

Die Reaktionszeiten lassen sich für die drei Tiefenstufen der vertikal gegliederten 200 m-Deckschicht präzisieren. Dazu dient der visuelle Vergleich des Verlaufs der 50, 30 bzw. $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ -Isoplankten in Abb.21a-c mit dem Muster der negativen SST-Anomalie in Abb.20b. Der Übergang zu ZPB-Auftriebsbedingungen südlich von Nouakchott verzögert sich nach Einstellung der negativen Temperaturanomalie mit zunehmender Tiefe. Während sich in den oberen 25 m nur eine geringe Tragheit zwischen einsetzendem Auftrieb und Erhöhung der ZPB ablesen läßt, dehnt sie sich in den sich anschließenden Tiefenstufen über 4 - 6 auf etwa 8 Wochen aus. Südlich von Nouakchott beginnt demzufolge die Periode erhöhter ZPB in den oberen 25 m Ende Oktober, erreicht im Dezember den intermediären Bereich und im Januar die Wassersäule unterhalb von 75 m. Die Erklärung dafür ist in der charakteristischen Vertikalverteilung verschiedener Ernährungstypen mit länger werdenden Entwicklungszeiten bei zunehmender Tiefe zu suchen. Nach VINOGRADOV und TSEITLIN (1983) wächst in 200 m Tiefe der Bestandteil an Plankton mit räuberischer Ernährungsweise und fraglichen Entwicklungszeiten (vgl.Tab.A4) auf über 50 % an.

4.3.1.2.3. Jahreszeitlich intensivierter Auftrieb und Zooplanktonbiomasse

Perioden von intensivem Auftrieb werden von SPETH et al. (1978) mit einer negativen Temperaturdifferenz von mehr als 6 K beschrieben. Sie erstrecken sich speziell vor Cap Blanc, in der Zeit von April bis Juni und September bis Oktober, über einen beträchtlichen Teil des Jahres. In beide Abschnitte fallen sowohl Perioden maximaler als auch verminderter ZPB (Abb.20a), wobei die Reaktionszeit nicht in erwarteter Form erkennbar ist. Das erklärt sich aus den großen zeitlichen Abständen der Planktonuntersuchung, kann aber auch auf den Einfluß der länger andauernden Starkwindperioden zurückzuführen sein. Nach HUNTSMAN und BARBER (1977) wirken sie hemmend auf die Entwicklung der Primärproduzenten, der Nahrungsgrundlage des Zooplanktons (vgl. 3.2.6.). Die Autoren berichten über 6 Tage währende Windgeschwindigkeiten von mehr als $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, in deren Folge die Assimilationszahlen von 7 auf 3.5 sinken. Nach ARFI (1985, 1987) liegt die für den Zeitraum von 1970 bis 1982 gemittelte Windgeschwindigkeit vom April bis zum Juni mit etwa $11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ weit über diesem kritischen Wert. Die jahreszeitlichen Intensitätsunterschiede im meteorologisch - hydrographischen Milieu können im vorliegenden Fall noch durch zwischenjährliche Variationen verstärkt worden sein. Nach 3.2.2. fällt der Meßtermin vom Juni 1972 mit niedriger ZPB in ein Maximum des EKMAN-offshore-Transportes, während die Messung im August/ September 1970 mit hoher ZPB von einem Minimum begleitet ist.

Folglich könnten Windintensität und -dauer über die Nahrungskette die bereits von der Trophieebene abhängige Reaktionszeit des Zooplanktons modifizieren.

4.3.1.3. Neritischer Bereich, gegliedert in schelfkantennahe
(200 m >H> 75 m) und küstennahe Zone (H< 75 m)

Unter fischereilichen Gesichtspunkten ist der Schelf der interessantere Teil des USG. Das zeigen die erneuten, intensiven Prospektierungen zwischen Marokko und Ghana, aus den Jahren 1981/82 (ANONYM, 1984).

Im küstennahen Teil des USG liegen jedoch im Vergleich zum bisher behandelten ozeanischen Bereich sowohl meridional als auch zeitlich eine vierfach geringere Datenmenge vor (Tab.A23). Vom Nouakchott - Gebiet existieren nur aus der zweiten Jahreshälfte Meßwerte. Vor Cap Vert ist der Schelf schmal und wird von den Untersuchungen nicht erfaßt, während in der Cabo Roxo / Cabo Verga - Region die Messungen kaum in das zweite Halbjahr, in die Periode der Regenzeit (vgl.3.2.7.), hineinreichen. Diese Fehlstellen schränken eine dem ozeanischen Bereich vergleichbare Aussage zur jährlichen raum-zeitlichen Variabilität ein. Die Meßdichte reduziert sich zusätzlich im Fall einer Untergliederung der bis zum Boden reichenden Untersuchungen in die im vorangegangenen Abschnitt benutzten Tiefenstufen. Im folgenden konzentriert sich deshalb die Untersuchung auf die jahreszeitliche Veränderlichkeit in der gesamten Schicht bis $z < 200$ m. Sie wird in der Region mit dem stärksten Gradienten der Bodentopographie ($75 < H < 200$ m) und in dem von dort aus küstenwärtsgelegenen Bereich ($H < 75$ m) getrennt vorgenommen (Abb. 22a und b).

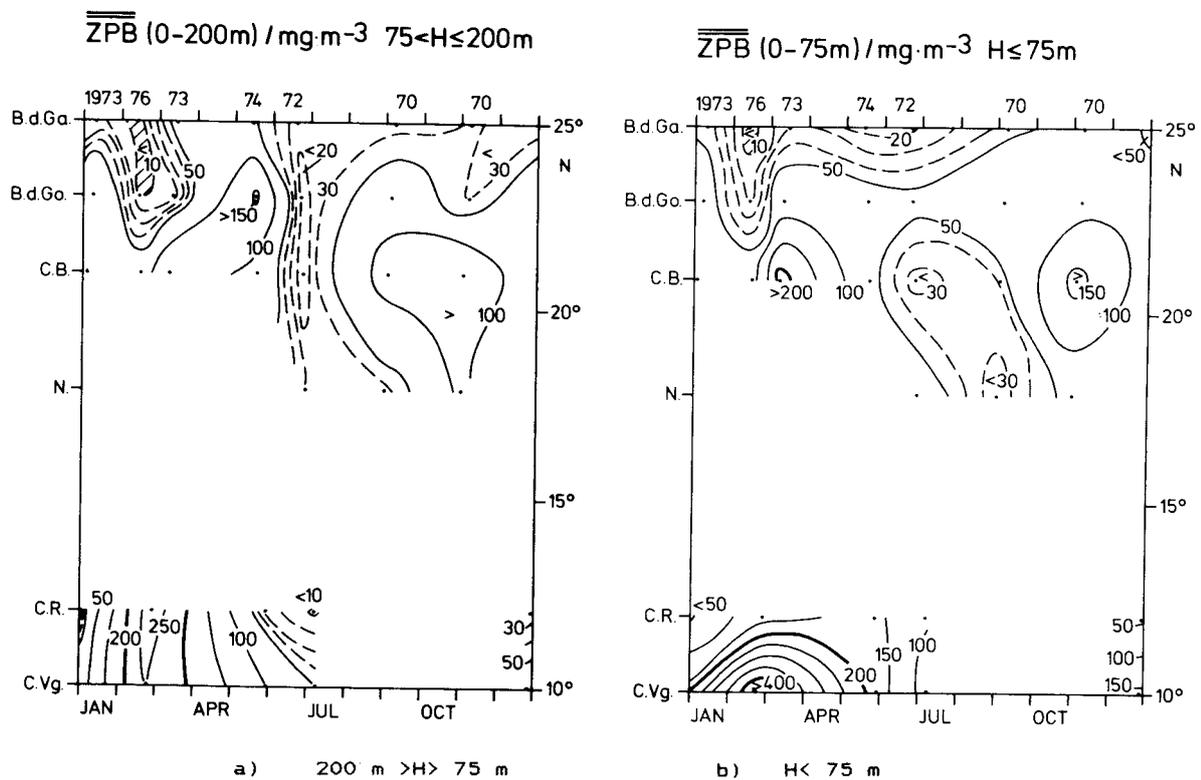


Abb.22: Küstensenkrecht gemittelte ZPB in der Schicht von 0 m $< z < 200$ m über dem Schelf vor NWA (vgl. Tab.1.; lfd. Nr.2. und Abb.2), als Funktion der geographischen Breite und der Jahreszeit. Die Kurzbezeichnungen für die bearbeiteten Seegebiete (B.d.Ga. u.s.w.) sind in der Legende von Abb.17 erläutert.

Zur Beurteilung der Situation werden eigene Ergebnisse aus Untersuchungsprogrammen mit höherer Datendichte herangezogen. Es handelt sich um die Schelfbereiche von $16^{\circ}\text{N} < \theta < 19^{\circ}\text{N}$ (POSTEL und ZAHN, 1987), $22^{\circ}\text{N} < \theta < 26^{\circ}\text{N}$ (NEHRING und HOLZLOHNER, 1982) sowie um 22°S (Tab.1; lfd. Nr.1. bzw. Abb.1 und 7). Tabelle A24 enthält Meßtermine, Lottiefen, Anzahl der Werte und raum-zeitliche Mittelwerte. Alle drei Untersuchungen führten, auf die gesamte Wassersäule bezogen, zu einer mittleren ZPB von etwa $40 - 50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Im Kapitel 4.2. wird die Ansicht vertreten, daß sich diese Größenordnung auftriebsunabhängig, als typische ZPB über dem Schelf einstellt (s.auch 4.3.4.).

In den Schelfbereichen von Bahia de Garnet bis Cap Blanc / Nouakchott und Cabo Roxo / Cabo Verga liegt die ZPB fast ganzjährig oberhalb von $40 - 50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (Abb.22).

Zwei Zeiten im Jahr sind von diesem generellen Bild ausgenommen. Im Februar sinken die ZPB-Werte nördlich von 23°N , besonders im schelfkantennahen Bereich, auf das Niveau des Zentralatlantiks. Darin kommt vermutlich, wie im offshore-Bereich, die Annäherung der nördlichen Passatgrenze zum Ausdruck.

Im Sommer scheint das Gebiet südlich von Cap Blanc unter dem Einfluß der Sudgrenze zu stehen. Das zeigt sich besonders im küstennahen Bereich ($H < 75 \text{ m}$), wo dem Schema in Abb.5 sowie anderen Darstellungen (z.B. MITTELSTAEDT, 1983) zufolge, mit einer polwärtsgerichteten, oberflächennahen Ausgleichströmung zu rechnen ist, die für die Ausbreitung des biomassearmen, tropischen Oberflächenwassers sorgt (s.3.1.1.).

Vor Cap Blanc tritt im Juni (1972) sowohl vor der Schelfkante, als auch in küstenwärtiger Richtung eine Erniedrigung der Biomasse ein. Im vorangegangenen Kapitel wird in diesem Zusammenhang die Möglichkeit einer Hemmung der Planktonentwicklung durch langanhaltende hohe Windgeschwindigkeiten entsprechend HUNTSMAN und BABER's (1977) Ergebnissen diskutiert.

Die küstensenkrecht differenzierte Betrachtung über dem Schelf macht auf einen weiteren windabhängigen Aspekt aufmerksam. Die Biomasse sinkt besonders im schelfkantennahen Bereich vor Cap Blanc und nördlich davon auf Werte unter $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Das kann von downwelling an einer Schelfkantenfront verursacht worden sein (Abb.4). Der Vorgang ist Bestandteil der Querkirkulation und entwickelt sich im Rahmen des Auftriebsgeschehens ebenfalls unter dem Einfluß länger andauernder, höherer Windgeschwindigkeiten (Abb.4d). Downwelling wird z.B. von WEIKERT (1977), PETERSON et al. (1979) und RICHERT (1975) als wesentliche Komponente für den Planktontransport in tiefere Schichten und Teil einer Rezirkulation zur Erhaltung des Planktonbestandes innerhalb der Küstenzone angesehen (s.3.1.1.). Die Beschränkung der Beobachtung auf das Gebiet nördlich von 20°N könnte ein Hinweis dafür sein, daß es für den Mechanismus noch der Intensität der geostrophisch bedingten Querkirkulation des Kanarenstromes bedarf, der südlich dieser Region den küstennahen Bereich verläßt (Abb.8). Eine Bestätigung dieser Ergebnisse durch mehr Daten würde die Feststellung erlauben, wo und zu welcher Jahreszeit in diesem Bereich "downwelling" zur Besiedlung des Schelfs durch Organismen mit meroplanktischer Phase beitragen könnte. Die Überlegungen von GOSSELCK und HAGEN (1973) zur Verdriftung der Lanzettfischlarven (*Branchiostoma senegalense*), die bis zu 65 % am Nahrungsspektrum der Thunmakrele (*Scomber japonicus*) beteiligt sein kann (TRUMBLE et al., 1981), kennzeichnen die Bedeutung des Problems (vgl. auch 4.3.2.2. und Abb.24a).

Im nördlichen Teil des Schelfkantenbereiches erstreckt sich im ersten Halbjahr eine positive Anomalie ($ZPB > 100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) über das USG hinaus (Abb. 22a). Die Beobachtung steht mit der Ausbreitung von nährstoffreichem SACW im Einklang, die hier im Gegensatz zur offshore-Zone noch polwärts verläuft und den Bereich der Schelfkante

bevorzugt (WILLENBRINK,1982).

Eine weitere lokale Besonderheit wird im südlichen Teil des USG deutlich. Dort reicht im Vergleich zu den Gegebenheiten vor der Schelfkante die Zone hoher ZPB südwärts, über das Gebiet von Cabo Verga hinaus. Die Werte übersteigen diejenigen vor Cap Blanc etwa um den Faktor 2. Dafür sorgt vermutlich der, wie Tab.A1 zu entnehmen ist, vergleichsweise flache und breite Schelf. Das trifft besonders auf den Zeitraum des jahreszeitlichen Auftriebsmaximums in dieser Region zu, bleibt jedoch darüberhinaus bestehen. Begünstigend wirkt oberhalb von 20 m Wassertiefe die Existenz geschlossener Nährstoffkreisläufe (s.3.1.2.). Ab Jahresmitte ist durch die Steigerung der Niederschlagsmengen, z.B. in Conakry von <100 mm im ersten Jahresdrittel auf 1300 mm im Juli (ANONYM, 1949), ein erneuter Nährstoffeintrag über die Flüsse zu erwarten. Damit ist in der küstennahen Zone dieser Breiten nahezu ganzjährig mit einer hohen Primärproduktion, der Grundlage jeder weiteren Planktonentwicklung, zu rechnen (SCHEMAINDA et al.,1975; vgl. auch Abb. 24).

4.3.2. Jahreszeitliche Extremsituationen

4.3.2.1. Meridionale Vertikalverteilung der ZPB in ozeanischer und neritischer Zone

Die Extremsituationen in denen das USG meridional mit größter und geringster Ausdehnung vom küstennahen Auftrieb erfaßt wird, sind den Abb. 20 bzw. 21 zu entnehmen. Die auftriebsintensive Saison umfaßt die Meßtermine vom 23.2. - 14.3.1973 und 14. - 30.5.1974. Die auftriebsarme, in der das gesamte USG bearbeitet wurde, fällt in den Zeitraum vom 24.12.1972 -10.1.1973. Bereits Abb. 17 basierte auf dieser Gliederung. Das absolute ZPB-Minimum liegt jedoch fast überall am Ende des dritten Quartals (28.10. - 8.11.1970), als die Seegebiete vor Cabo Roxo / Cabo Verga nicht untersucht wurden. Als Kompromiß enthält Abb. 23a-c die ZPB-Verteilung aller drei Termine, getrennt in ozeanische und neritische Zone. Um für die mittlere Vertikalverteilung die Anzahl der Werte zu erhöhen, wurde keine der Abb.22 vergleichbare Trennung der Schelfzone vorgenommen. Die rechnerisch zonal und z.T. zeitlich sowie vom Planktonnetz vertikal gemittelten Daten wurden in der Mitte jeder Tiefenstufe an den jeweiligen Positionen eingetragen. Tab.A25 informiert über die Anzahl der benutzten Einzelwerte. Mit Hilfe der linearen Interpolation ließ sich daraufhin die prinzipielle meridionale ZPB-Verteilung zwischen 12.5 m und 125 m darstellen.

Die ZPB $>50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ gilt in den oberen 25 m der Wassersäule nach den Untersuchungen in 4.3.1.2.1. als typisch für windabhängigen Auftrieb. Über dem Schelf war mit wenigen Ausnahmen eine mittlere Biomasse von mehr als $40 - 50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ anzutreffen (s. Abb.22). Zum Vergleich der Muster in Abb.23 werden deshalb $50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ zur Orientierung verwendet.

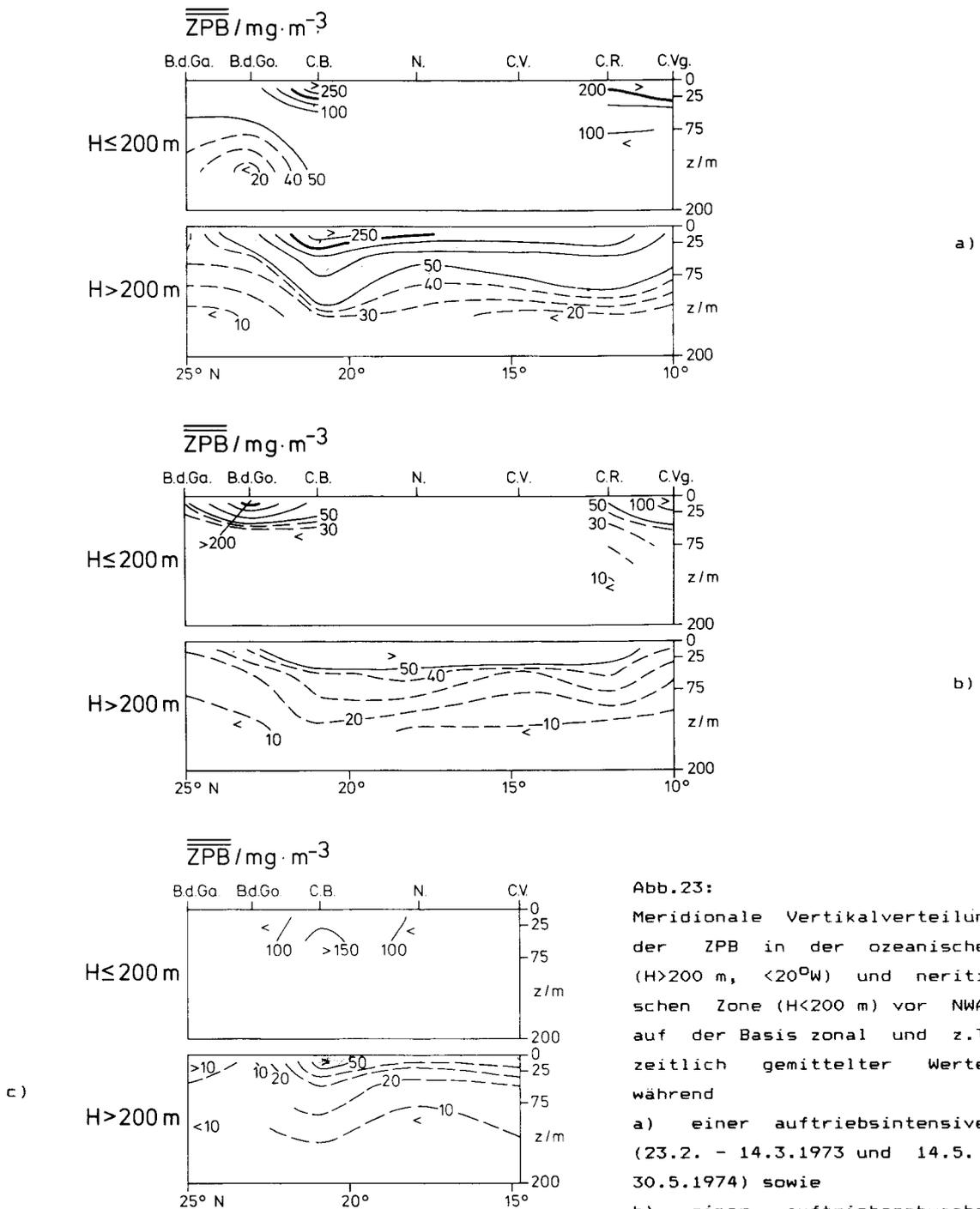


Abb.23:
 Meridionale Vertikalverteilung
 der ZPB in der ozeanischen
 ($H > 200 \text{ m}$, $< 20^\circ \text{ W}$) und neritischen
 Zone ($H < 200 \text{ m}$) vor NWA,
 auf der Basis zonal und z.T.
 zeitlich gemittelter Werte,
 während
 a) einer auftriebsintensiven
 (23.2. - 14.3.1973 und 14.5. -
 30.5.1974) sowie
 b) einer auftriebsschwachen
 Periode (24.12.1972- 10.1.1973)
 und
 c) eines Zeitraumes minimalen
 Auftriebs (28.10. -8.11.1970).
 Die Kurzbezeichnungen für die
 bearbeiteten Seegebiete
 (B.d.Ga. u.s.w.) sind in der
 Legende von Abb.17 erläutert.

Unter dem Einfluß der Meridionalverlagerung des Auftriebsgebietes pulsiert der Bereich mit mehr als $50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ auch vertikal. Während der auftriebsintensiven Periode reicht die Konzentration, mit Ausnahme des Seegebietes nördlich der internen Wassermassenfront, bis in die Schicht von $75 < z < 200 \text{ m}$. In der gegensätzlichen Extremlage bleibt im ozeanischen Bereich nur das ganzjährig vom Auftrieb erfaßte Seegebiet vor Cap Blanc in den oberen 25 m der Wassersäule davon betroffen. In der neritischen Zone ist oberhalb von $25 < z < 75 \text{ m}$ stets eine Konzentration von $> 50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ zu verzeichnen.

Die Isoplankten steigen im ozeanischen Bereich in allen drei Situationen zwischen Bahia de Gorrei und Cap Blanc zur Oberfläche auf. Sie verhalten sich invers zum Verlauf der in Abb.9 zur Charakterisierung der inneren NACW / SACW - Front verwendeten Isodensen sowie Linien gleicher Sauerstoffsättigung und Phosphatkonzentration. Die ZPB projiziert damit die interne Wasserartenfront an die Oberfläche. Die $50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ -Konzentration schneidet zwischen 21°N und 24°N die Oberfläche, im ersten Halbjahr an der nördlicheren und im zweiten an der südlicheren Position. Meridionale Schwankungsbreite und Zeitpunkte harmonisieren mit der von MANRIQUES und FRAGA (1982) zu drei Episoden festgestellten jährlichen Variationen der internen NACW - SACW - Front (s.3.1.2.). Übereinstimmung besteht auch zur meridionalen Verlagerung der $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ -Isoplankten, der auftriebskritischen ZPB der gesamten Schicht von $0 < z < 200 \text{ m}$, in Abbildung 20a. Ihr Verlauf, der nahezu ganzjährig bekannt ist, könnte deshalb als Ausdruck der jährlichen, meridionalen Fluktuation dieser internen Front im offshore-Bereich angesehen werden.

Trotz der vertikalen ZPB-Abnahme in der auftriebsschwachen Phase bleibt der Isolinienverlauf im offshore-Gebiet generell bestehen. Neben den aufsteigenden Isoplankten im nördlichen Teil des USG reicht die relativ biomassereiche Zone vor Cap Blanc am tiefsten. Sie steigt vermutlich unabhängig von der Jahreszeit zunächst äquatorwärts an und besitzt vor Nouakchott / Cap Vert die geringste Mächtigkeit. Darin kommt eine Ähnlichkeit zur mittleren Ausbreitung der Zentralwassermassen zum Ausdruck, wie sie z.B. bei DIETRICH et al. (1975) oder TOMCZAK (1984) beschrieben ist.

4.3.2.2. Zonale Vertikalverteilung der Zooplanktonbiomasse

Die Darstellung des Sachverhaltes beruht auf dem gleichen Prinzip, wie im vorangegangenen Abschnitt. Im Gegensatz dazu wurde sich jedoch innerhalb der auftriebsintensiven Periode auf den Februar/März 1973 festgelegt. Nur vor Bahia de Garnet mußte der Termin, aus Mangel an Werten, mit dem Mai 1974 vertauscht werden. Die Abbildungen 24a-c enthalten die Ergebnisse auf der Basis von Einzelmessungen. Damit ist im Vergleich zu den Darstellungen in Abb.20-23 mit einem starken Einfluß von Ereignissen kleineren Maßstabs zu rechnen (s. 3.2.3). Zum Vergleich der küsten-senkrechten Vertikalverteilungen ist, wie im meridionalen Fall, die ZPB $> 50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ als Orientierung zu benutzen. Im Mittel ist sie über dem Schelf auftriebsunabhängig vorhanden (s.4.3.1.3.) und begrenzt seewärts die vom windabhängigen Auftrieb beeinflusste Zone an ihrem Schnittpunkt mit der "Wasseroberfläche". Aus Abb. 24 sind die Küstenentfernungen der Schnittpunkte sowie die maximale Tiefenlage der Isoplankten abgeschätzt und in Tab. 6. zusammengestellt worden.

Abb.24: Zonale Vertikalverteilung der ZPB vor NWA auf der Basis von Einzel-
messungen während

- a) einer auftriebsintensiven (23.2.-14.3.1973) sowie
- b) einer auftriebsschwachen Periode (24.12. - 10.1.1973) und
- c) einem Zeitraum minimalen Auftriebs (28.10. -8.11.1970). Die
geographische Breite der Seegebiete von Bahia de Garnet bis Cabo
Verga sind den Abb. 20-23 zu entnehmen und die Stationsentfernungen
zur Küste der Tab.A2, "day" and "night" bezeichnen die Tageszeit der
Probenentnahme.

(Abb. s. vorhergehende Seite)

Tab.6: Seewärtige Begrenzung des Gebietes mit ZPB $>50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ und maximale
Tiefenlage der $50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ - Isoplankten (m) im USG vor NWA zu drei
Situationen unterschiedlicher Auftriebsintensität entsprechend
Abb.24a-c. Bei den Angaben zur Tiefenlage der Isoplankten bedeuten:
0 = keine ZPB $>50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$; >25 = mehr zu 25 m tendierend als zu 75 m;
 $>>75$ = mehr zu 200 m tendierend, z.T. darunter.

USZ	Küstenentfernung				
	0 - 100 km	100 - 200 km	200 - 300 km	>USG (300 km)	>>USG (400 km)
23.2. - 14.3.1973		>75	75 >75	>75 >>75	>75 >>75
24.12.1972- 10. 1.1973	0	>25 >25 75			>25 >75
28.10. - 8.11.1970	<25 >25 75	75			

Die Tiefenlage der $50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ - Isoplankte verringert sich generell mit zunehmender
Entfernung zur Küste (Abb.24). Die Übersicht in Tab.6 verdeutlicht ferner die
abnehmende zonale und vertikale Ausdehnung der biomassereichen Schicht bei
nachlassender Auftriebswirkung.

Die ozeanischen (zentralatlantischen) Verhältnisse werden oberhalb von 25 m durch
die $23 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ -Konzentration vom übrigen Gebiet abgegrenzt (s.4.2.). Während der
auftriebsintensiven Saison schneidet die $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ -Isoplankte vor Bahia de Garnet
bei ca. 170 km Küstenentfernung die Oberfläche. In den anderen Seegebieten liegt
diese Grenze außerhalb der untersuchten Region. Sie reicht im Oktober / November
(1970), zur Zeit der geringsten Meridionalausdehnung der vom windabhängigen Auftrieb

beeinflußten Zone (s. Abb. 21a, 23a), vor Bahia de Gorrei und Cap Blanc bis in 100 bzw. 220 km Küstenentfernung. Bis hierher decken sich die Beobachtungen etwa mit Abb. 16, die auf der ZPB der gesamten 200 m- Deckschicht basiert. Davon abweichend reicht die ZPB von $>20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ in den obersten 25 m vor Nouakchott und Cap Vert auch zu dieser Zeit weit über das USG hinaus (s. Abb. 24c). Das kann einerseits vom Untersuchungstermin verursacht worden sein, denn speziell vor Cap Vert ist die niedrigste ZPB früher, im August/September, zu verzeichnen (s. Abb. 20, 21 und 27). Andererseits muß an den Transport und der Entwicklung des Planktons in Meandern (s. 3.2.4.) sowie großmaßstäblichen Wirbeln (s. 3.2.3.; 4.3.1.) gedacht werden. Die vorrangige Bedeutung von Wirbeln für die ZPB-Variabilität der oberen 25 bis 75 m wurde bereits unter 4.3.1.2. erörtert.

Die Abbildungen 11a und b enthalten zwischen den Stationen 840 und 843, bis 75 m Tiefe dargestellt, Beispiele für einen zyklonalen und antizyklonalen Wirbel. Beide Ereignisse werden von den Abbildungen 24a und b vor Cap Blanc wiedergegeben, der zylonale in der auftriebsschwachen Periode deutlicher, als der von den Folgen windabhängigen Auftriebs überlagerte antizyklonale Wirbel. Bemerkenswert ist die negative Korrelation zwischen Nährstoffgehalt (Abb. 11) und ZPB (Abb. 24).

Im Februar/März 1973 sind in der offshore-Zone vor Nouakchott, Cap Vert und Cabo Roxo Bereiche mit einer dem Schelf vergleichbaren maximalen ZPB auszumachen (Abb. 24a). Darin kann von der Struktur her, besonders der zonalen Ausdehnung von 40 - 70 km, die Wirkung von Wirbel vermutet werden. Deutlicher fällt der Vergleich der aufgewölbten Isoplankten im Januar 1973 vor Nouakchott mit denen des gleichzeitig vor Cap Blanc identifizierten zyklonalen Wirbels in Abb. 24b aus.

Während der Periode intensiven Auftriebs ist ein Schneiden der Isoplankten im Schelfkantenbereich vor Bahia de Garnet und Bahia de Gorrei in Abb. 24a zu beobachten. Im Abschnitt 4.3.1.3. wurde bereits die Wirkung der in Abb. 4 gezeigten Quercirkulation auf die Planktonverteilung diskutiert. Ihr Einfluß scheint nicht nur von der Intensität des auftriebsfördernden Windes abzuhängen, sondern wegen der Beschränkung auf die beiden nördlichen Schnitte, zusätzlich vom Beitrag der geostrophisch bedingten Quercirkulation des Kanarenstromes (vgl. 3.1.1. und Abb. 8).

4.3.2.3. Schwankungsbreite der Zooplanktonbiomasse

Auf der Suche nach charakteristischen ZPB-Signalen wurde die Schwankungsbreite der Werte im Untersuchungszeitraum vor NWA bisher ausgeklammert. Tab. A26 enthält die Extremwerte der in Abb. 20 und 21 benutzten zonal gemittelten ZPB einzelner Seegebiete. Es wird in den ozeanischen und neritischen Bereich sowie in die gesamte bzw. die in drei Tiefentufen gegliederte Schicht von 0 - 200 m unterschieden. Zur Erhöhung der Datendichte für die beabsichtigte vertikale Betrachtung wurde wie unter 4.3.2.1. keine Trennung der Schelfzone vorgenommen. In der Tab. A27 sind die korrespondierenden Schwankungsbreiten der Einzelmessungen aufgeführt. Übersichtshalber wurden daraus die größten und kleinsten Maxima bzw. Minima, versehen mit Seegebiets- und Zeitangaben, in die Tabellen 7 und 8 übertragen.

Tab.7: Größte (1) und kleinste (2) regionale Extremwerte der im ozeanischen ($H > 200$ m, $\lambda < 20^{\circ}W$) und im neritischen Bereich ($H < 200$ m) zonal gemittelten ZPB ($mg \cdot m^{-3}$) in der gesamten und der in 3 Tiefenstufen gegliederten Schicht von 0-200 m. Die Werte sind in Klammern mit den Abkürzungen des dazugehörigen Seegebietes (vgl. Legende Abb.17) und der Zahl des jeweiligen Monats versehen.

Tiefen- stufen	Maximum		Minimum	
	H > 200 m	H < 200 m	H > 200 m	H < 200 m
(1)				
0 < z < 200 m	90 (C.B.,9)	391 (C.Vg.,2)	23 (C.B.,1)	73 (C.Vg.,8)
0 < z < 25 m	344 (C.B.,5)	782 (C.B.,3)	61 (C.R.,12)	121 (C.Vg.,12)
25 < z < 75 m	191 (C.B.,9)	257 (C.R.,2)	42 (C.R.,12)	89 (C.R.,5)
75 < z < 200 m	30 (C.B.,3)	-	10 (C.B.,11)	-
(2)				
0 < z < 200 m	13 (B.d.Ga,5)	45 (B.d.Ga,3)	4 (B.d.Ga,2)	5 (B.d.Ga,2)
0 < z < 25 m	27 (B.d.Ga,5)	61 (B.d.Ga,3)	8 (B.d.Go,11)	16 (B.d.Ga,2)
25 < z < 75 m	32 (B.d.Ga,5)	60 (B.d.Ga,3)	4 (C.V.8)	4 (B.d.Ga,2)
75 < z < 200 m	6 (B.d.Ga,5)	-	3 (B.d.Ga,11)	B.d.Go,11)

Tab.8: Größte (1) und kleinste (2) regionale ZPB, analog Tab.7, auf der Basis von Einzelmessungen.

Tiefen- stufen	Maximum		Minimum	
	H > 200 m	H < 200 m	H > 200 m	H < 200 m
(1)				
0 < z < 200 m	266 (N.,3)	502 (C.Vg.,2)	10 (C.Vg.,7,12)	51 (C.Vg.,7)
0 < z < 25 m	1096 (C.B.,5)	782 (C.B.,3)	30 (C.R.,12)	40 (C.B.,5)
25 < z < 75 m	455 (C.B.,9)	257 (C.R.,2)	33 (C.R.,12)	41 (C.Vg.,12)
75 < z < 200 m	257 (C.B.,5)	-	3 (B.d.Go, 1,9,11)	-
(2)				
0 < z < 200 m	19 (B.d.Ga,6)	96 (B.d.Ga,5)	1 (B.d.Ga,2,6)	3 (B.d.Ga,2)
0 < z < 25 m	51 (B.d.Ga,5)	111 (B.d.Ga,5)	7 (B.d.Ga, 11,1)	2 (B.d.Ga,2)
25 < z < 75 m	54 (B.d.Ga,5)	101 (N.,11)	1 (C.V.,8)	1 (B.d.Ga,2)
75 < z < 200 m	12 (B.d.Ga,5)	-	1 (C.R.,12)	-

Im Fall der Maxima übersteigen die Einzelwerte die zonalen Mittel um mehr als das Doppelte. Bei den Minima ist das Verhältnis umgekehrt (Tab.7,8). Die kleinsten Maxima erreichen bis auf eine Ausnahme nicht die für Auftrieb nährstoffreichen Wassers typische ZPB (s.4.3.1.2.1.). Andererseits liegen die größten Minima oberhalb der auftriebsfreien (zentralatlantischen) Verhältnisse (s.4.2.).

Nach Tab.7 treten sowohl die größten, als auch die geringsten jährlichen Maxima während der auftriebsintensiven Zeit auf. Umgekehrt fallen die Minima in die auftriebsschwache Periode. Beides gilt sowohl im offshore-Bereich als auch über dem Schelf.

In der ozeanischen Zone sind die größten Maxima und Minima vor Cap Blanc und über dem Schelf vor Cabo Verga, Cabo Roxo und Cap Blanc zu verzeichnen. Die geringsten Extremwerte treten sowohl im neritischen als auch ozeanischen Bereich im nördlichsten Seegebiet auf.

Meridionale Unterschiede in der Schwankungsbreite werden in beiden Tabellen nahezu gleichartig widergespiegelt. Der Unterschied zwischen den gemittelten Extremwerten ist nördlich der internen NACW - SACW - Front (s.3.1.2. und 4.3.2.1.), sowohl im ozeanischen als auch im neritischen Teil, am geringsten und nicht signifikant (Tab. A26). Die höchsten Differenzen treten seewärts der Schelfkante in allen Tiefenstufen vor Cap Blanc auf, im Seegebiet mit der längsten Auftriebsdauer (Tab.5). Unter Verkürzung der Auftriebsperiode verringert sich die Schwankungsbreite in südlicher Richtung. Das erklärt sich aus der drastischen Senkung der Biomasse mit Abschwächung bzw. Beendigung von SACW-Auftrieb und nachfolgender Ausbreitung tropischen Oberflächenwassers einerseits (s.4.3.1.2.2.) und dem Anwachsen der ZPB mit der Dauer des Auftriebs andererseits. Die Differenzen sind in der Regel vor Cap Vert und Nouakchott, in Bereichen mit ausgeprägtem Jahresgang und relativ hoher zeitlicher Meßdichte (s.Tab.A23) am meisten signifikant.

In der neritischen Zone treten die maximalen Unterschiede dort auf, wo zur Auftrieb Wirkung die Schelfbreite fördernd hinzukommt, wie vor Cabo Verga und Cabo Roxo. Auf dem Cap Blanc - Schelf kann in dieser Hinsicht der Einfluß der Banc d'Arguin (PETERS, 1976; WOLF und KAISER, 1978) von Bedeutung sein.

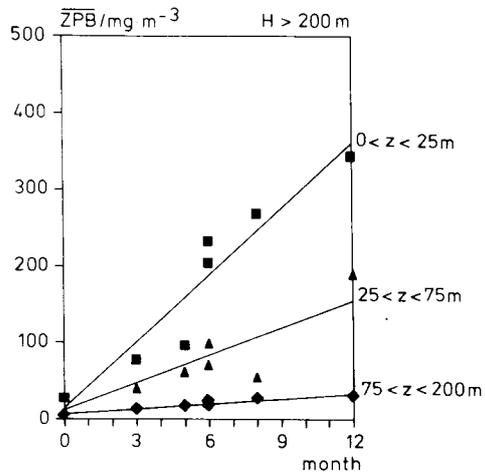
Die neritische, mittlere ZPB übersteigt die ozeanische, bei 12 Vergleichsmöglichkeiten in Tab.7, um durchschnittlich mehr als das Doppelte. Das ist kein Effekt zonaler Mittelwertbildung, denn das Ergebnis wiederholt sich bei nahezu allen Einzelmessungen. Nur im Fall der größten Maxima, in der auftriebsintensiven Periode vor Cap Blanc, kehren sich die Verhältnisse um (Tab.8). Die Küstenentfernung dieser Maxima beträgt 130 km in der gesamten bzw. 200, 160 und 240 km in der vertikal gegliederten 0-200 m-Schicht. Die Angaben sind nach zunehmender Tiefe geordnet.

Tab.A27 macht noch auf bemerkenswerte Gradienten aufmerksam. Beispielsweise liegen vor Cap Blanc im Mai 1974 der größte Wert ($257 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$), der zwischen 1970 und 1976 in der Schicht von 75 <z< 200 m gemessen wurde, und das Schnitt-Minimum ($3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) auf den küstenfernten, benachbarten Stationen. Ihre Distanz beträgt weniger als 40 km. Weitere Beispiele sind im Januar 1973 vor Nouakchott in 25 <z< 75 m-Schicht und im Oktober 1970 vor Cap Vert unterhalb von 75 m Tiefe zu finden. Die Entfernung dieser Extremwerte beträgt jeweils <70 km.

4.3.3. Auftriebsdauer, Zooplanktonbiomasse - Maximum und Nettozuwachsrate

Im Abschnitt über die Schwankungsbreite der ZPB-Mittelwerte und -Einzelmessungen wurden allgemein die höchsten Beträge im Seegebiet mit der längsten Periode einer auftriebstypischen Biomasse registriert. Sie verringerten sich mit abnehmender SACW-Auftriebsdauer.

Tab.5 enthält die Zeiträume, in denen zwischen Bahia de Garnet bis Cap Verga jährlich eine ZPB oberhalb der auftriebskritischen Größe in der gesamten 200 m-Deckschicht des ozeanischen Bereiches zu erwarten ist. Die Angaben werden näherungsweise auf die anderen Tiefenstufen sowie auf die neritischen Zonen übertragen und der jeweils größten, zonal gemittelten ZPB aus Tab.A26 gegenübergestellt. Abb.25a zeigt die vertikale Veränderung dieses Zusammenhanges im ozeanischen Bereich und Abb.25b das Ergebnis in Abhängigkeit von der Küstenentfernung.



a)

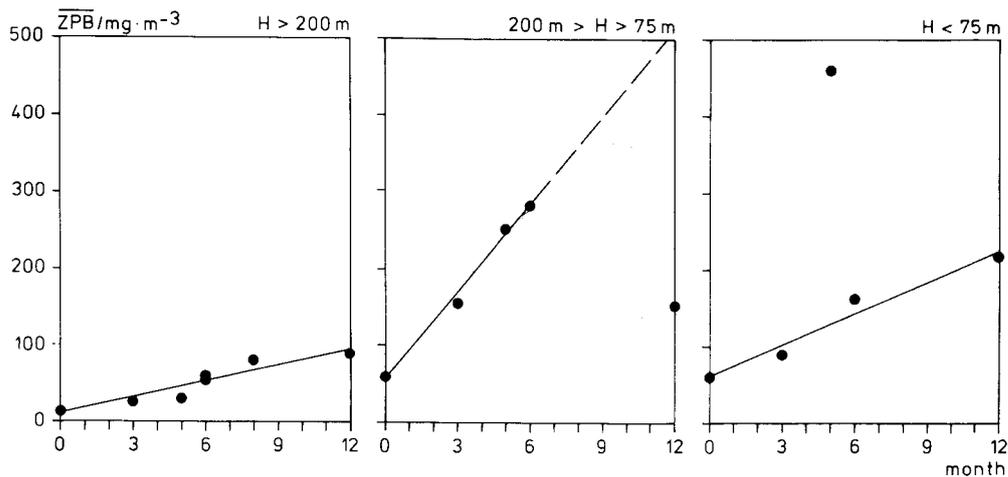
Abb.25:

Vergleich der größten, zonal gemittelten ZPB (mg·m⁻³) mit Zeiträumen (Monate), in denen oberhalb von 200 m Tiefe der ozeanischen Zone mehr als die auftriebstypische ZPB zu erwarten ist,

a) in der vertikal gegliederten 200 m Deckschicht des ozeanischen Bereiches (H > 200 m) und

b) in der gesamten Schicht bis maximal 200 m, küstensenkrecht in ozeanischen (H > 200 m), Schelfkanten- (200 > H > 75 m) und küstennahen Bereich (H < 75 m) getrennt

b) ↓



Der Versuch einer Quantifizierung mittels linearer Regression führt zu den in Abb.25 eingetragenen Ausgleichsgeraden. Sie basieren auf den in Tab.9 aufgeführten Parametern.

Tab.9: Parameter des linearen Zusammenhanges ($ZPB_{Max} = b \cdot D_A + a$) zwischen der größten, zonal gemittelten ZPB (ZPB_{Max}) und den Zeiträumen (D_A), in denen oberhalb von 200 m Tiefe der ozeanischen Zone mehr als die auftriebstopische Biomasse zu erwarten ist

Wasser- tiefe	Tiefenstufe	a $mg \cdot m^{-3}$	b $mg \cdot m^{-3} \cdot Mon.^{-1}$	Bemerkungen
H>200 m	0 <z< 25 m	13.98	28.87792	
	25 <z< 75 m	9.51	12.13545	
	75 <z< 200 m	7.65	2.11204	
	0 <z< 200 m	9.29	7.22408	
200 m>H >75 m	0 <z< 200 m	55.00	37.57142	ohne $D_A=12$ Monate
H<75 m	0 <z< 75 m	60.80	13.65714	ohne $D_A= 5$ Monate

Die zwischen 0.716 und 0.992 schwankenden Korrelationskoeffizienten sind bei der geringen Anzahl geglätteter Werte schwer als Gütekriterium zu betrachten. Hier spricht die Größenordnung der Regressionskoeffizienten für den Zusammenhang. Im ozeanischen Bereich liegen die absoluten Glieder, die a-Koeffizienten, in der Nähe der Werte, mit denen im Abschnitt 4.2. der Grundzustand beschrieben wird. Das gilt besonders für die gesamte 200 m-Deckschicht sowie den tiefsten Untersuchungsbereich, wo die Mittelwerte nicht von drastisch variierenden Einzelmessungen abhängig sind. Auch im schelfkantennahen und neritischen Bereich treffen die a-Werte die über dem Schelf übliche Größenordnung (s.4.3.1.3.).

Die b-Koeffizienten beinhalten die Nettoänderungsrate der ZPB. Sie liegen an der Schelfkante am höchsten, werden in den oberen 25 m der ozeanischen Zone nahezu beibehalten und zeigen mit 1.25 bzw. $0.96 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ eine deutliche Ähnlichkeit zur Nettozuwachsrate der 30 m-Deckschicht vor SWA. Den Ergebnissen in Tab.A19 zufolge, beträgt sie dort $b/2 = 1.56 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$.

Vor SWA beruht die lineare Betrachtung auf der Approximation des sich allgemein in einer Glockenkurve vollziehenden ZPB-Zuwachses bis zu seinem Maximum, wobei der Ursprung im Auftriebsort bzw. -zeitpunkt liegt. Im Fall von NWA besteht der jahreszeitlich andauernde Auftrieb aus einer Reihe solcher Einzelereignisse. Das wird zu einer Serie kumulativ aufeinanderfolgender Zuwachskurven führen, die in erster Näherung eine lineare Abhängigkeit gegenüber der Zeit ergibt. Beide Vorgänge basieren auf der nach Auftrieb einsetzenden Ökogenese (STUGREN,1986; s. 3.1.3). Auf

Grund dessen wird der Anstieg der Geraden in Abb.25, wie vor SWA, als Nettozuwachsrate interpretiert.

Unter dem Gesichtspunkt einer in Richtung EKMAN-Transport orientierten, glockenförmigen ZPB-Zuwachskurve, erscheint die mit zunehmender Küstenentfernung unterschiedlich starke Änderung der Biomasse in Abb.25 sinnvoll. Die Nettozuwachsrate erreicht im Schelfkantenbereich den höchsten Wert und verringert sich seewärts davon durch steigenden Umweltwiderstand.

Mit Hilfe der in Tab.9 verzeichneten Regressionsbeziehungen lassen sich für ein Seegebiet mit bekannter Auftriebsdauer der zu erwartende Biomasseüberschuß abschätzen und deutliche Anomalien erkennen.

So sind im schelfkantennahen und im neritischen Bereich (Abb.25b) jeweils eine deutliche Ausnahme zu beobachten. In beiden Zonen kommen infolge der geringen Datendichte (Tab. A23) lokale Einflüsse besonders zum Tragen. Reelle Ursachen vorausgesetzt, sind sie Ausdruck eines überdurchschnittlichen Zuwachses oder Verlustes. Gegenüber dem zu erwartenden Wert ist in der neritischen Zone vor Cabo Verga, wo infolge des breiten, flachen Schelfs mit geschlossenen Nährstoffkreisläufen sowie mit zusätzlichen Einträgen von Land zu rechnen ist, eine vierfach höhere ZPB zu verzeichnen.

Die negative Abweichung betrifft den Schelfkantenbereich vor Cap Blanc und kann in einer hohen Freßrate pelagischer Fische ihre Ursache haben. Vergleiche mit Berechnungen von WEISS (1983) berechtigen zu dieser Annahme. Demnach beträgt der Nahrungsbedarf 4-7 jähriger Thunmakrelen 5 bzw. 4 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$. Das gilt grob für das Seegebiet zwischen Cap Blanc und Cap Barbas, im Bereich der 30 bis 200 m-Isobathen und den September bzw. Oktober 1970. Vergleichsweise dazu läßt sich aus der Differenz zwischen theoretisch nach 12 Monaten Auftrieb zu erwartenden und der im Schelfkantenbereich vor Cap Blanc vorhandenen mittleren ZPB_{Max} (Abb.25b) ein Verlust von 1 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ errechnen. Das gilt für die gleiche Jahreszeit. Unter dem Aspekt, daß vom WP-2-Netz nur etwa 65 % des Nahrungsspektrum der Thunmakrele erfaßt werden (s.2.3.1.) und die Ergebnisse auf sehr unterschiedlicher Basis beruhen, ist die Übereinstimmung zufriedenstellend.

4.3.4. Vergleich der Ergebnisse

Die zwangsläufige Verteilung der Probengewinnung über den Zeitraum mehrerer Jahre und die großen Meßabstände können zu Stichprobeneffekten führen (s.2.3.3.). Das macht die Überprüfung der Ergebnisse mit den Resultaten von Programmen mit zeitlich höherer Meßdichte erforderlich. Vor NWA gilt der Raum von Dakar für am besten untersucht. Neben sporadischen Messungen (SEMENOVA, 1960; CHROMOV, 1962; 1965) existieren Ergebnisse von ganzjährigen Untersuchungen mit weniger als 1 Monat Meßabstand. Sie stammen von SEGUIN (1966) und von TOURE (1972), aus Messungen nahe der 20 m-Isobathen vor der Ile de Gorée bzw. aus einem etwa 100 km^2 großen Areal um die Cap Vert - Halbinsel. Darüberhinaus erlauben weitere Arbeiten mit mindestens zwei Meßterminen in verschiedenen Monaten die Ergebnisse im übrigen Teil des USG zu beurteilen, so von HARGRAVES (1978) aus dem Seegebiet vor Bahia de Garnet und Bahia de Gorree sowie von PAVLOV (1968) und BLACKBURN (1979) aus dem Raum vor Cap

Blanc / Cap Coveiro. TRUMBLE et al. (1981) schlossen aus verschiedenen Untersuchungen indirekt auf den Jahrgang vor Cap Blanc. Alle Ergebnisse beruhen auf untereinander schwer vergleichbaren Methoden, unterschiedlichen Planktonfraktionen und Tiefenstufen. Während die Maschenweite der Netze zwischen 102 und 330 μ m schwanken, die Untersuchungen von den oberen 25 m bis in 500 m Tiefe reichen, unterscheiden sich alle Methoden von der hier benutzten Trockenmassebestimmung. Sie fußen auf Absetz- und Verdrängungsvolumen sowie Naßmasse, die auf direktem Wege oder über Individuenzählung und Nomogramme bestimmt wurde. In diese Gruppe gehören auch die Untersuchungen von ARNDT und BRENNING (1977) zum Jahrgang des Absetzvolumens auf der Basis des "A.v.Humboldt"-Materials, entsprechend Tab.1, lfd.Nr.2., wobei die raum-zeitlichen Muster denen in Abb. 20a und 22 in groben Zügen ähneln. Generell bestätigen auch die übrigen, zitierten Arbeiten mehr oder weniger deutlich die Ergebnisse zur jahreszeitlichen Verteilung zwischen 10° N und 25° N:

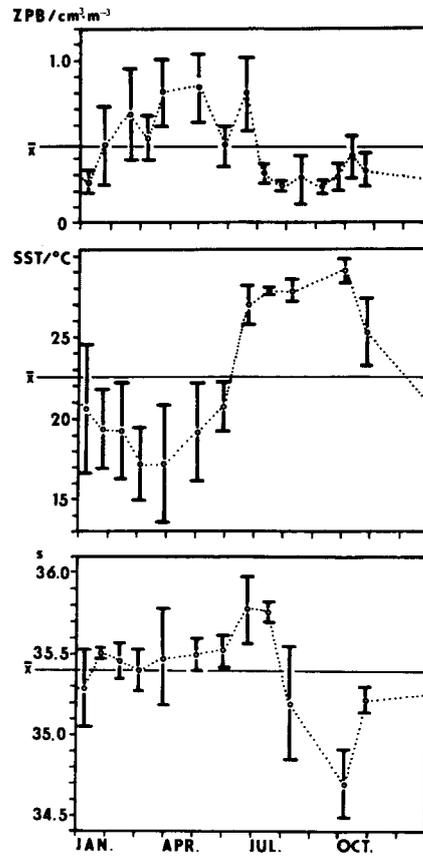
- Im Seegebiet vor Bahia de Garnet und Bahia de Gorrei ist vor der Schelfkante ganzjährig eine niedrige Biomasse zu verzeichnen. Über dem Schelf selbst fallen die Werte höher aus und erreichen vor Bahia de Gorrei eine Größe, die derjenigen im biomassereichen Cap Blanc-Gebiet gleichkommt.
- Vor Cap Blanc ist im Frühjahr und im Herbst eine höhere ZPB festzustellen, als in den übrigen Jahreszeiten.
- Die Maxima vor Cap Vert beschränken sich auf die erste Jahreshälfte, obwohl in Küstennahe, infolge der Regenzeit, auch im Herbst eine Planktonanreicherung zu beobachten ist. Daneben wird im neritischen Bereich vor Dakar ganzjährig ein günstiges Nahrungsangebot, speziell für Sardinella, vermutet.

Zur Prüfung eines möglichen Einflusses von Stichprobeneffekten wird mit den über ein Jahr reichenden monatlichen Beobachtungen von TOURE (1972) kontrolliert. Daraus liegen Verdrängungsvolumina von 5 Zonalschnitten zwischen 13°55' N und 14°55' N vor, wobei zwei von jeweils 4 Stationen auf dem Schelf liegen. Parallel dazu stehen Oberflächentemperatur- und Salzgehaltswerte von einem dieser Schnitte zur Verfügung. Für das von der Küste bis etwa 18° W reichende Areal lassen sich zu den einzelnen Meßterminen Mittelwerte berechnen, die in Abb.26 die jahreszeitlichen Veränderungen dieser Größen wiedergeben. Ihr Vergleich führt zu folgenden Ergebnissen:

- Die Temperaturen an der Wasseroberfläche (SST) unterhalb des Jahresdurchschnittes indizieren, in Übereinstimmung mit SPETH et al. (1978), im ersten Halbjahr Auftrieb.
- Die ZPB ist mit der Oberflächentemperatur negativ korreliert. Ihre Werte liegen 5 Monate lang, von Ende Januar bis Ende Juni, über dem Jahresdurchschnitt. Das stellt gegenüber Tab.5 einen späteren Beginn und die Verkürzung der Saison um einen Monat dar.
- Die ZPB reagiert mit einer etwa sechswöchigen Verzögerung. Das betrifft die Einstellung überdurchschnittlicher Verhältnisse ebenso, wie die zeitliche Verschiebung zwischen den Temperatur- und ZPB-Extrema im ersten Halbjahr. Der Übergang zur negativen ZPB-Anomalie vollzieht sich nicht synchron zur Beendigung der Auftriebsperiode, wie das die eigenen Untersuchungen im offshore-Bereich in Abb.20 zeigen. Hier wird erst 1 Monat nach der Oberflächentemperatur der Jahresdurchschnitt erreicht.
- Der nochmalige Anstieg im Herbst befindet sich in zeitlicher Übereinstimmung mit der Salzgehaltserniedrigung nach der Regenzeit.

Abb.26:

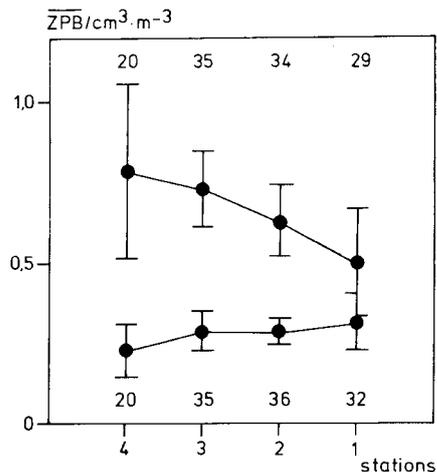
Mittlere, jahreszeitliche Variation der ZPB als Verdrängungsvolumen von 5 küstensenkrechten Schnitten zu je 4 Stationen aus dem Seegebiet vor Cap Vert, mit einer Ausdehnung von 13°55'N bis 14°55'N und von der Küste bis etwa 18°W, im Vergleich mit Temperatur (SST) und Salzgehalt (S) an der Oberfläche, von einem dieser Schnitte vor M'Bour (Ø ca.14°25'N), vom September 1970 bis August 1971. Die Vertrauensintervalle basieren auf $p < 0.05$, \bar{x} gibt den Jahresdurchschnitt aus 241 (ZPB) und 48 (SST bzw. S) Einzelmessungen nach TOURE (1972) an.



Die Biomassereaktion nach Auftrieb ist prinzipiell ablandig orientiert. Sie steigt im Mittel zunächst an, unabhängig ob wenige Auftriebsereignisse ("events"), wie vor SWA (s.4.1.2.), oder die gesamte Auftriebssaison eines Jahres in die Betrachtung eingehen. In Abb. 27 sind beispielsweise die küstensenkrechte Struktur der Auftriebsperiode und der auftriebsfreien Jahreszeit vor Dakar enthalten. Die Mittelwerte basieren ebenfalls auf TOURE's (1972) Verdrängungsvolumina. Dabei steigt die von Januar bis Juni gemittelte ZPB bis in 100 km Küstenentfernung mit dem gleichen Nettozuwachs, wie im Fall des großmaßstäblichen Programmes vor SWA an (s.4.1.2.). Die Gegenüberstellung beider Situationen belegt ferner den gedämpften Jahresgang über dem Schelf (s.4.3.1.). Auf der küstennächsten Station machen die überlappenden Vertrauensbereiche ($p < 0.05$) auf die fehlende statistische Signifikanz des Unterschiedes aufmerksam.

Abb.27:

Mittlere ZPB und Vertrauensbereiche ($p < 0.05$) aus Verdrängungsvolumina nach TOURE (1972) in Abhängigkeit zur Küstenentfernung, nach Abb.26 unterschieden in Auftriebs- und auftriebsfreie Saison. Station 1 befindet sich in Küstennähe, Station 4 in etwa 100 km Entfernung dazu. Zwischen Nummer 2 und 3 liegt die 200 m-Isobathe. Im oberen und unteren Teil der Abb. sind die Anzahl der Messungen vermerkt.



Die Ergebnisse in Abschnitt 4.3. führen zu folgendem Bild:

Auftrieb nährstoffreichen Wassers sorgt für die Verjüngung des pelagischen Ökosystems und bewirkt u.a. einen ZPB-Überschuß. Der Vorgang ist prinzipiell küstensenkrecht orientiert, so daß jahreszeitliche Unterschiede besonders seewärts der Schelfkante zum Tragen kommen. Dort zeigen die Mittelwerte von mehr als $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ in der gesamten bzw. von über 50, 30 und $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ in der vertikal gegliederten oberen 200 m-Schicht die beginnende ZPB-Reaktion an. Die Biomasse reagiert in den oberen 25 m gegenüber der negativen SST-Anomalie mit einer nicht abzuschätzenden Verzögerung. Die Reaktionszeit verlängert sich mit zunehmender Tiefe über 4 -6 Wochen auf etwa 2 Monate, in Abhängigkeit von der Entwicklung sukzessiver Trophiestufen.

Die Höhe des Überschusses hängt vom Nahrungsangebot ab. Nördlich von Cap Blanc trennt die interne Front zwischen nährstoffreichem SACW und nährstoffarmen NACW das USG. Im Bereich mit hohem NACW-Anteil bleibt der Auftrieb ohne Wirkung auf die ZPB. Dadurch wird der jahreszeitliche, meridionale Schwankungsbereich der inneren Front an die Oberfläche projiziert. Er bewegt sich zwischen 24°N im ersten und $21/22^{\circ}\text{N}$ im zweiten Halbjahr.

Südlich von Cap Blanc pulsiert das biomassereiche Gebiet saisonal mit der Auftriebszone, zwischen 10°N und $19/20^{\circ}\text{N}$. Dadurch erstreckt sich die positive ZPB-Anomalie zwischen März und Mai über 14 Breitengrade (ca. 1500 km) und kontrahiert im Oktober/ November auf die Cap Blanc-Region (200-250 km). Dort beschränkt sie sich in dem Moment auf die obere 0-25 m-Schicht und dehnt sich im ersten Halbjahr wieder bis in 200 m Tiefe aus.

Südlich von Cap Blanc steigen die Isoplankten, vermutlich vom Auftrieb unabhängig, äquatorwärts an. Selbst mit lokalen Werten von $>500 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ konzentriert sich die biomassereiche Schicht in der auftriebsintensiven Saison vor Nouakchott auf die oberen 75 m Tiefe. Das begründete Aufsteilen der Isoplankten im nördlichen Teil des USG führt zur Annahme, daß auch die äquatorwärtsgerichtete Struktur von der stationären Verteilung der Zentralwassermassen abhängt und sich die Biomasseänderungen auf den Deckschichtbereich beschränken.

Zonal betrachtet, verringert sich die Mächtigkeit der planktonreichen Schicht generell mit zunehmender Küstenentfernung. Beide Parameter sind im Mittel von der Auftriebsintensität abhängig. Je nach Situation schwankt die Ausdehnung zwischen $>75 \text{ m}$ Tiefe und $>400 \text{ km}$ Küstenentfernung bzw. $<25 \text{ m}$ und $<100 \text{ km}$.

Im neritischen Bereich kündigt sich die ZPB-intensive Jahreszeit durch mehr als $40 - 50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ an, denn während der Annäherung der Nord- bzw. Südgrenze der Passatregion sinkt sie unter diese Konzentration.

An der Schelfkante ist mit $38 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Monat}^{-1}$ die höchste Zuwachsrate in der gesamten Wassersäule zu verzeichnen (SWA, $0 < z < 30 \text{ m}$: $47 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Monat}^{-1}$). Sie bleibt in den oberen 25 m der ozeanischen Zone mit $29 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Monat}^{-1}$ nahezu in dieser Größenordnung erhalten, sinkt dort unterhalb von 75 m Tiefe auf $1/15$ und verringert sich küstenwärts der 75 m-Isobathen auf die Hälfte. Unter Annahme einer ganzjährigen Auftriebsaison können deshalb in den oberen 200 m des schelfkantennahen Bereiches ca. $500 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ erwartet werden. Die Zahlen verringern sich küstenwärts auf ca. 250 und im offshore-Bereich auf ca. $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Dort ist von den oberen 25 m aus bis

unterhalb von 75 m mit einer vertikalen Abstufung von etwa 400, über 150 zu 30 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ zu rechnen. Extreme Abweichungen machen auf lokale Besonderheiten aufmerksam, wie z.B. der intensive Zuwachs über dem flachen Schelf vor Cabo Verga bzw. den außergewöhnlichen Verlust im Schelfkantenbereich vor Cap Blanc, der nahezu vom Nahrungsbedarf der Thunmakrelen ausbalanciert wird.

Nördlich der Kapverdischen Inseln existiert seewärts der Schelfkante und vom küstennahen Auftrieb unabhängig, ein Gebiet hoher Biomasse-Variabilität, das sich räumlich mit einer wirbelaktiven Zone deckt. Beispiele für zyklonale und antizyklonale Wirbel im Seegebiet vor Cap Blanc zeigen eine negative Korrelation zwischen Nährstoffgehalt und ZPB. Dort existieren horizontale Gradienten, die im Extremfall über <40 km Entfernung durch Unterschiede zwischen >200 und $3 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ zum Ausdruck kommen.

Downwelling im Schelfkantenbereich kann zur Senkung der Biomasse führen, vermutlich jedoch nur in der Saison intensivsten EKMAN-Transportes (Juni) und in Verbindung mit der Quercirkulation des Kanarenstromes, nördlich von 20°N .

5. Zusammenfassung

1. Das WP-2-UNESCO-Standardnetz erfaßt in den oberen 200 m der küstennahen Auftriebsgebiete vor Westafrika etwa 1/3 des gesamten Planktons quantitativ. Diese Fraktion besteht nahezu aus gleichen Teilen von Feinfiltrierern, Grobfiltrierern und Karnivoren, mit Entwicklungszeiten zwischen mehreren 20 und 40 Tagen. Sie spiegelt das Nahrungsspektrum kommerziell genutzter Fische teilweise wider, im Fall von *Scomber colias* zu 70 %, von *Trachurus spec.* zu 60 % und von *Sardinella spec.* zu 50 %.
2. Die regelmäßigen Meßfehler schwankten zwischen -48 % und 21 %. Die Werte wurden mit umgekehrtem Vorzeichen zur Schaffung methodisch homogener Daten verwendet. Den größten Verlust erzeugte das Auftauen gefrosteter Proben und anschließendes Verwerfen des Überstandes vor Trocknung des Materials. Die unregelmäßigen Fehler lagen zwischen ± 1 und ± 13 %. Der höchste Betrag entstand bei Verwendung eines Planktonteilers.
3. Das Zooplankton reagierte nach einem Auftriebsereignis im Mittel mit der Verdopplung seiner Biomasse.
In der EKMAN-Schicht vor SWA vollzog sich vom Auftriebsort aus bis in 130 / 160 km Küstenentfernung ein maximaler Zuwachs von etwa 40 auf $80 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Vor NWA wurde die einsetzende Auftriebssaison in den oberen 200 m des ozeanischen Bereiches bis 20°W durch das Auftreten von $20 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ erkennbar, währenddessen im auftriebsfreien Zentralatlantik $10 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ typisch waren. Vergleichsweise dazu wuchsen die Mittelwerte in den oberen 25 m von 23 auf $50 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, zwischen 25 und

- 75 m von 18 auf $30 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ und anschließend bis 200 m Tiefe von 6 auf $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. über dem Schelf kündigte sich die Auftriebssaison durch mehr als $40 - 50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ an.
4. Die Nettozuwachsrate stieg vor NWA, auf die Wassersäule bis maximal 200 m bezogen, von $14 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Monat}^{-1}$ in der küstennahen Zone ($H < 75 \text{ m}$) auf $38 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Monat}^{-1}$ in Schelfkantennähe an und fiel im ozeanischen Bereich bis 20° W auf $7 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Monat}^{-1}$ ab. Dort verringerte sie sich mit zunehmender Tiefe von 29 ($0 < z < 25 \text{ m}$) über 12 ($25 < z < 75 \text{ m}$) auf $2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Monat}^{-1}$ ($75 < z < 200 \text{ m}$).
 5. Ganzjähriger Auftrieb nährstoffreichen Wassers bewirkt demnach in der küstennahen Zone ($H < 75 \text{ m}$) vor NWA ein kumulatives Anwachsen der mittleren ZPB auf $250 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, nahe der Schelfkante auf $500 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ und im ozeanischen Bereich bis 20° W auf $100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Dort beträgt die vertikale Abstufung 400, 150 und $30 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Drastische Abweichungen von den erwarteten Mengen wiesen auf lokale Besonderheiten hin. So wurde über dem breiten und flachen Schelf vor Cabo Verga eine 2.5fache positive Anomalie erzielt. Ein 1.5facher "Verlust" im Schelfkantenbereich vor Cap Blanc konnte rechnerisch durch den Nahrungsbedarf der Thunmakrelen ausbalanciert werden.
 6. Jahreszeitliche Unterschiede traten besonders seewärts der Schelfkante in Erscheinung. Dort erstreckte sich vor NWA die Zone erhöhter Biomasse im ersten Halbjahr von 24° N aus über 14 Breitengrade nach Süden, vertikal bis maximal 200 m Tiefe und küstensenkrecht über 400 km hinaus. Im Oktober/November kontrahierte das Gebiet und beschränkte sich zwischen 20° N und 22° N auf die oberen 25 m der Wassersäule sowie auf 100 - 200 km Küstenentfernung.
 7. Vor SWA folgte das Biomassemaximum in den oberen 75 m dem Auftriebsereignis mit einer 23tägigen Verzögerung. Unterhalb dieser Tiefe verlängerte sich dieser Zeitraum im ozeanischen Bereich vor NWA bis $z < 200 \text{ m}$ auf etwa 8 Wochen.
 8. Nördlich von Cap Blanc dominiert nährstoffarmes NACW im Auftriebswasser. Die für SACW-Dominanz typische ZPB-Reaktion bleibt aus. Die Unterschiede projizieren die Position der internen Wasserartenfront an die Oberfläche. Im ozeanischen Bereich des USG wurde ihre Lageänderung zwischen 24° N im ersten und $21 / 22^\circ \text{ N}$ im zweiten Halbjahr deutlich.
 9. Nördlich der Kapverdischen Inseln existiert, seewärts der Schelfkante und vom küstennahen Auftrieb unabhängig, ein Gebiet hoher Biomassevariabilität das sich mit einer wirbelaktiven Zone räumlich deckt. Hier war fast ganzjährig eine mittlere ZPB oberhalb der zentralatlantischen Verhältnisse zu verzeichnen. Es traten horizontale Gradienten auf, die im Extremfall über $< 40 \text{ km}$ Entfernung durch einen Unterschied zwischen > 200 und $3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ zum Ausdruck kamen. Beispiele für zyklonale und antizyklonale Wirbel mit 40 - 70 km Durchmesser, zeigten eine negative Korrelation zwischen Nährstoffgehalt und ZPB.
 10. Das absolute Maximum war im Mai (1974) mit $1096 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ seewärts der Schelfkante, in den oberen 25 m des Seegebietes vor Cap Blanc ($\varnothing = 20^\circ 55' \text{ N}$) zu verzeichnen. Im Februar (1976) herrschten vor Bahia de Garnet ($\varnothing = 25^\circ \text{ N}$) selbst über dem Schelf ozeanische Bedingungen.
 11. Downwelling im Schelfkantenbereich führte in der Saison intensivsten EKMAN-Transportes (Juni) und im Wirkungsbereich der Querkirkulation des Kanarenstromes ($\varnothing > 20^\circ \text{ N}$) zur lokalen Senkung der Biomasse unter die auftriebstypischen Werte.

Literaturverzeichnis

- AHLSTROM, E.H. and J.R. THRAILKILL: Plankton volume loss with time of preservation. Rapp. P. - v. Réun. Cons. int. Explor. Mer 153, 78 (1962)
- ALCARAZ, M.: Zooplankton biomass and its relation to total particulate carbon and nitrogen off Northwest Africa. Rapp. P. - v. Reun. Cons. int. Explor. Mer 180, 270-273 (1982)
- ANDREU, P.: Valores de biomasa zooplanctonica de la zona costera de Cabo Blanco (NW de Africa). Res. Exp. Cient. B/O Cornide 6, 205-210 (1977)
- ANDREWS, W.R.H. and L. HUTCHINGS: Upwelling in the southern Benguela Current. Prog. Oceanog. 9, 1-81 (1980)
- ANGEL, M.V.: Deep water biological processes in the northwest region of the Indian Ocean. Deep-Sea Res. 31, 935-950 (1984)
- ANONYM: Weather on the west coast of tropical Africa from 20°N to 20°S including the Atlantic Ocean to 25°W. Meteorological Office, Air Ministry by His Majesty's Stationary Office. 281 pp. (1949)
- ANONYM: Analysis of upwelling systems. Inv. Pesqu. 35, 1-362 (1971)
- ANONYM: Analyse de l' écosystème des "upwellings", deuxième conférence, Marseille 28-30 Mai 1973. Tethys 6, 1-464 (1974)
- ANONYM: The physical environment in coastal upwelling regions. Prog. Oceanog. 12, 221-381 (1983a)
- ANONYM: Second biological intercalibration workshop. Baltic Sea Environ. Proc. 9, 1-95 (1983b)
- ANONYM: Report on the r/v Dr. Fridtjof Nansen fish resource surveys off West Africa: Morocco to Ghana, and Cape Verde May 1981-March 1982, CEECAF/ECAF Series 84/29, 1-190 (1984)
- ANTO, A.F. and V.V. VARADACHARI: Bibliography on upwelling. 67pp. Dona Paula: National Institute of Oceanography 1978
- ARFI, R.: Variabilité interannuelle d'un indice d'intensité des remontées d'eau dans le secteur du Cap Blanc (Mauritanie). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42, 1969-1978 (1985)
- ARFI, R.: Variabilité interannuelle de l'hydrologie d'une région d'upwelling (bouée Bayadère, Cap Blanc, Mauritanie). Oceanol. Acta 10, 151-159 (1987)
- ARNDT, E.A. and U. BRENNING: The zooplankton biomass and its relation to abiotic and biotic factors in the upper 200 m of the upwelling region off North West Africa. Wiss. Z. W.-P.-Univ. Rostock 26, Math. Nat. R. 2, 137-146 (1977)
- ARNDT, E.A. and S. KÖLLER: The taxonomy and ecology of the Chaetognaths in the epipelagial of the NWA upwelling region. ICES, C.M. 1977 L:24, 1-4 (1977)
- ARNDT, E.A. and W. WRANIK: Studies on the taxonomy and distribution of Thaliaceans off NWA. ICES, C.M. 1977 L:23 1-4 (1977)
- BANG, N.D.: Characteristics of an intense ocean upwelling regime west of Cape Town. Tellus 15, 256-265 (1973)
- BARBER, R.T.: The JOINT-I expedition of the Coastal Upwelling Ecosystem Analysis programme. Deep-Sea Res. 24, 1-6 (1977)
- BARBER, R.T. and R.L. SMITH: Coastal upwelling ecosystem. In: Analysis of marine ecosystems, pp 31-68. Ed. by A.R. LONGHURST. London, New York, Toronto: Academic Press 1981
- BARTON, E.D., A. HUYER and R.L. SMITH: Temporal variation observed in the hydrographic regime near Cabo Coveiro in the Northwest African upwelling region, February to April 1974. Deep-Sea Res. 24, 7-23 (1977)
- BAS, C., R. MARGALEF, P. RUBIES (Eds.): Simp. Int. Afr. O. Afr. 1, 2. 1114 pp. Barcelona: Inst. Inv. Pesq. 1985

- BEERS, J.R.: Determination of zooplankton biomass. In: Zooplankton fixation and preservation, pp 35-84. Ed. by H.F. STEEDMAN. Paris: UNESCO Press 1976
- BERNAL, P.A.: A review of the low-frequency response of the pelagic ecosystem in the California Current. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. (Ser.Repts.) 22, 49-62 (1981)
- BINET, D.: Note sur l'évolution des populations de copepodes belgiques de l'upwelling Mauretaniaien (Mars-Avril 1972). Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan 4, 77-90 (1973)
- BLACKBURN, M.: Distribution of zooplankton biomass in an upwelling area of North West Africa: Preliminary results from expedition JOINT-I. CUEA-Newsletters 5(1), 13-19 (1976)
- BLACKBURN, M.: Zooplankton in an upwelling area off northwest Africa: composition, distribution, and ecology. Deep-Sea Res. 26, 41-56 (1979)
- BOJE, R. and M. TOMCZAK (Eds.): Upwelling ecosystems. 303 pp. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1978
- BORCHERS, P. and L. HUTCHINGS: Starvation tolerance, development time and egg production of *Calanoides carinatus* in the Southern Benguela Current. J. Plankt. Res. 8, 855-874 (1986)
- Le BORGNE, R. et D. BINET: Biomasse, production et excrétion du zooplancton de l'upwelling de Mauritanie. Evolution des populations de copépodes. Téthys 6, 321-322 (1974)
- BRENNING, U.: Zur Struktur und Dynamik von Calanoidenpopulationen (Crustacea, Copepoda) in den Aufquellgebieten vor Nordwest- und Südwestafrika. Dissertation B, W.-Pieck-Universität, Rostock, 394 S. (1980)
- BRENNING, U.: Beiträge zur Calanoidenfauna (Crustacea, Copepoda), vor Nordwest- und Südwestafrika. I. Die Vertreter der Familie Calanoidae. Wiss. Z. W.-P.-Univ. Rostock 30, Math. Nat. R. 4/5, 1-12 (1981a)
- BRENNING, U.: Beiträge zur Calanoidenfauna (Crustacea, Copepoda) vor Nordwest- und Südwestafrika. II. Die Vertreter der Familie Eucalanidae. Wiss. Z. W.-P.-Univ. Rostock 30, Math. Nat. R. 4/5, 13-21 (1981b)
- BRENNING, U.: Beiträge zur Calanoidenfauna (Crustacea, Copepoda) vor Nordwest- und Südwestafrika. III. Die Vertreter der Familie Paracalanidae. Wiss. Z. W.-P.-Univ. Rostock 31, Math. Nat. R. 6, 1-9 (1982a)
- BRENNING, U.: Beiträge zur Calanoidenfauna (Crustacea, Copepoda) vor Nordwest- und Südwestafrika. IV. Die Vertreter der Familie Pseudocalanidae. Wiss. Z. W.-P.-Univ. Rostock 31, Math. Nat. R. 6, 9-17 (1982b)
- BRENNING, U.: Beiträge zur Calanoidenfauna (Crustacea, Copepoda) vor Nordwest- und Südwestafrika. V. Die Vertreter der Familie Actiteidae. Wiss. Z. W.-P.-Univ. Rostock 32, Math. Nat. R. 5, 1-8 (1983)
- BRENNING, U.: Beiträge zur Calanoidenfauna (Crustacea, Copepoda) vor Nordwest- und Südwestafrika. VI. Die Vertreter der Familie Euchaetidae, Phaennidae und Scolecithricidae. Wiss. Z. W.-P.-Univ. Rostock 33, Math. Nat. R. 6, 1-9 (1984)
- BRENNING, U.: Beiträge zur Calanoidenfauna (Crustacea, Copepoda) vor Nordwest- und Südwestafrika. VII. Die Vertreter der Familie Centropagidae und Temoridae. Wiss. Z. W.-P.-Univ. Rostock 34, Math. Nat. R. 6, 5-16 (1985a)
- BRENNING, U.: Structure and development of Calanoid populations (Crustacea, Copepoda) in the upwelling regions off North and South West Africa. Beitr. Meeresk. 52, 3-33 (1985b)
- BRENNING, U.: Beiträge zur Calanoidenfauna (Crustacea, Copepoda) vor Nordwest- und Südwestafrika. VIII. Die Vertreter der Familie Metridiidae, Lucicutiidae, Heterorhabdidae, Augaptilidae und Arietellidae. Wiss. Z. W.-P.-Univ. Rostock 35, Math. Nat. R. 5, 5-16 (1986)

- BRENNING,U. und K.FADSCILD: Untersuchungen über die Calanoidenpopulation (Crustacea, Copepoda) auf einer Dauerstation vor Cap Blanc (NWA) im März 1973. *Wiss.Z. W.-P.-Univ.Rostock* 35, *Math. Nat.R.6*, 515-524 (1979)
- CASSIE,R.M. Sampling and statistics. In: *A manual of methods for the assessment of secondary production in fresh waters*, pp 174-209. Ed.by W.T.EDMONDSON and G.G.WINBERG. Oxford: Blackwell 1971
- CHROMOV,N.S.:Raspredelenie i dinamika planktona i pitanie sardinelli v promylovych rajonach zapadnyh beregov Afriki. *Trudy VNIRO* 46, 214-235 (1962)
- CHROMOV,N.S.: Nekotorye dannye o planktone rajona Dakar-Freetown. *Trudy VNIRO* 57, 393-404 (1965)
- CHROMOV,N.S.: Nekotorye osobennosti količestvennogo raspredelenija planktona v Atlantičeskom Okeane. In: *Biologičeskije resursy Atlantičeskogo Okeana*, pp 157-175. Ed.by D.E. GERZANOVIĆ, V.I.SAUSKAN, O.A.SKARLATO. Moskva: Nauka 1986
- CORKETT,C.J. and I.A.McLAREN: The biology of Pseudocalanus. In: *Adv.Mar.Biol.* 15, pp. 1-231. Ed. by F. S. RUSSEL and M. YONGE. London, New York: Academic Press 1978
- CREPON,M.C.RICHEEZ and M.CHARTIER: Effects of coastline on upwellings. *J.Phys. Oceanogr.*14, 1365-1382 (1984)
- CRUZADO,A. and J.SALAT: Interaction between the Canary Current and bottom topography. In: *Coastal and estuarine series 1. Coastal upwelling*, pp 167-175. Ed.by F.A.RICHARDS. Washington: American Geophysical Union 1981
- CUSHING,D.H.: Upwelling and the production of fish. In: *Adv. Mar.Biol.* 9, pp. 255-334. Ed. by F. S. RUSSEL and M. YONGE. London, New York: Academic Press 1971
- CUSHING,D.H., G.H.HUMPHREY, K.BANSE and T.LAEVASTU: Report of committee on terms and equivalents. *Rapp. P. - v. Réun. Cons. int. Explor. Mer* 144, 15-16 (1958)
- DANTZLER,H.L.: Potential energy maxima in the tropical and subtropical North Atlantic. *J.Phys.Oceanogr.*7, 512-519 (1977)
- DETLEFSEN,H. and P.SPETH: Investigations on coastal upwelling off Northwest Africa and Portugal with empirical orthogonal functions. *Dt.hydrogr.Z.*33, 210-221 (1980)
- DIETRICH,G., K.KALLE, W.KRAUSS und G.SIEDLER: *Allgemeine Meereskunde*. 593 S.Berlin, Stuttgart: Gebrüder Borntraeger 1975
- DUGDALE,R.C.: Chemical oceanography and primary production in upwelling regions. *Geoforum* 11, 47-61 (1972)
- ELLENBERG,H.: *Ökosystemforschung.Ergebnisse von Symposien der Deutschen Botanischen Gesellschaft und der Gesellschaft für Angewandte Botanik in Innsbruck, Juli 1971*. 280 S. Berlin, Heidelberg,New York:Springer Verlag 1973
- EMERY,W.J.: Review of eddy phenomena as expressed in temperature measurements. In: *Marine science*, pp 354-375. Ed. by A.R. ROBINSON. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 1983
- ENRIGHT,J.T.: Diurnal vertical migration: Adaptive significance and timing. Part 1. Selective advantage: A metabolic model. *Limnol.Oceanogr.*22, 856-886 (1977)
- ENRIGHT,J.T. and H.W.HONEGGER: Diurnal vertical migration: adaptive significance and timing. Part 2. Test of the model: Details of timing. *Limnol.Oceanogr.*22, 873-886 (1977)
- EVANS,F.: Planktonic crustacea: Petula transatlantic expedition. *Proc. Linne. Soc. Lond.* 172, 189-207 (1961)
- McEVAN,G.F.,M.W.JOHNSON,T.R.FOLSOM: A statistical analysis of the FOLSOM sample splitter based upon test observations. *Arch.Meteorol.Geophys.Bioklimatol.,Ser A* 6, 502-527 (1954)
- FLOOD,P.R.,F.GOSSELCK and J.G.BRAUN: Branchiostoma larvae in the upwelling area off Northwest Africa. *Rapp.P.-v.Réun. Cons. int. Explor. Mer* 180, 307-314 (1982)
- FRAGA,F.:Distribution des masses d'eau dans l'upwelling de Mauretanie. *Téthys* 6, 5-

10 (1974)

- FREELAND, H.J. and K.L.DENMAN: A topographically controlled upwelling center off Southern Vancouver Island. *J. mar. Res.* 40, 1069-1093 (1982)
- FRIEDRICH, H.: Versuch einer Darstellung der relativen Besiedlungsdichte des Atlantischen Ozeans. *Kieler Meeresforsch.* 7, 108-121 (1950)
- FRIEDRICH, H.: *Meeresbiologie*. 436 S. Berlin: Gebrüder Borntraeger 1965
- FUDGE, H.: Biochemical analysis of preserved zooplankton. *Nature* 219, 380-381 (1968)
- FURNESTIN, M.-L.: Rapport sur le plancton. *Rapp. P.- v. Réun. Cons. int. Explor. Mer* 159, 90-115 (1970)
- GARRET, C.J.R. and J.W.LODER: Dynamical aspects of shallow sea fronts. *Phil.Trans. R.Soc.(A)* 302(1472), 563-581 (1981)
- GELLERT, W., H.KÜSTNER, M.HELLWICH und H.KASTNER (Hrsg.): *Kleine Enzyklopädie Mathematik*. 846 S. Leipzig: Bibliographisches Institut 1965
- GOSSELCK, F.: The distribution of *Branchiostoma senegalense* (Acrania, Branchiostomidae) in the offshore shelf region off North West Africa. *Int.Rev.ges.Hydrobiol.* 60, 199-207 (1975)
- GOSSELCK, F. und E.HAGEN: Vorkommen und Verbreitung der Larven von *Branchiostoma senegalense* (Acrania, Branchiostomidae) vor NW Afrika. *Fisch.Forsch.* 11, 101-106 (1973)
- GOSSELCK, F., V.KELL and P.SPITTLER: Feeding of *Branchiostoma senegalense* (Acrania, Branchiostomidae). *Mar.Biol.* 46, 175-181 (1978)
- GOSSELCK, F. and E.KÜHNER: Investigations on the biology of *Branchiostoma senegalense* larvae off Northwest African coast. *Mar.Biol.* 22, 67-73 (1973)
- GOSSELCK, F. and P.SPITTLER: Age structure, growth and weight of *Branchiostoma senegalense* (Acrania, Branchiostomidae) off NW Africa. *Int.Rev.ges.Hydrobiol.* 64, 541-550 (1979)
- GOY, J. et A.THIRIOT: Distribution d'espèces carnivores planctoniques dans la région sud de l'Atlantique marocain. Résultats des campagnes CINECA-CHARCOT I, II et III. *Téthys* 6, 291-302 (1974)
- GRALL, J. R., P. LABORDE, P. LeCORRE, J. NEVEUX, P. TREGUER et A. THIRIOT: Caractéristiques trophiques et production planctonique dans la région sud de l'Atlantique marocain. Résultats des campagnes CINECA-CHARCOT I, II et III. *Téthys* 6, 11-28 (1974)
- GREENBLATT, P.R., E.SHULENBERGER and J.H.WORMUTH: Small-scale distribution of zooplankton biomass. *Deep-Sea Res.* 29, 443-457 (1982)
- GREZE, V.N., K.T.GORDEJEVA and A.H.SHMELEVA: Distribution of zooplankton and biological structure in the tropical Atlantic. In: *Proc.Symp.Oceanogr.Fish.Resour.Trop. Atlantic*, pp 85-90. Paris: UNESCO 1969
- GRICE, G.H. and M.R.REEVE (Eds.): *Marine mesocosms. Biological and chemical research in experimental ecosystems*. 430pp. New York, Heidelberg, Berlin: Springer Verlag 1982
- GRIFFITHS, F.B., A.FLEMINGER, B.KIMOR and M.VANNUCCI: Shipboard and curating techniques. In: *Zooplankton fixation and preservation*, pp 13-31. Ed. by H.F. STEEDMAN. Paris: UNESCO Press 1976
- GROUPE MEDIPROD: Généralités sur la campagne CINECA-CHARCOT II (15 Mars-29 Avril 1971). *Téthys* 6, 33-42 (1974)
- v.GUELPEL, L., D.F.MARKLE and D.J.DUGGAN: An evaluation of accuracy, precision, and speed of several zooplankton subsamples techniques. *J.Cons.int.Explor.Mer* 40, 226-236 (1982)
- HAGEN, E.: Ein einfaches Schema der Entwicklung von Kaltwasserauftriebszellen vor der nordwestafrikanischen Küste. *Beitr.Meeresk.* 33, 115-125 (1974)
- HAGEN, E.: Zur Problematik mesoskalier Verwirblungen in den Schelfgebieten des

küstennahen Kaltwasserauftriebs. Beitr. Meeresk. 39, 61-87 (1977)

HAGEN,E.: Zur Dynamik charakteristischer Variationen mit barotropem Charakter in mesoskalen ozeanologischen Feldverteilungen küstennaher Auftriebsgebiete. Geodät. Geophys. Veröff.,R.IV,H.29, 1-77 (1979)

HAGEN,E.: Mesoscale upwelling variations off the West African coast. In: Coastal and estuarine series 1.Coastal upwelling, pp 72-78. Ed.by F.A.RICHARDS. Washington: American Geophysical Union 1981

HAGEN,E. und R.SCHEMAINDA: Mittlere und jahreszeitliche Strukturen im Unterstrom (UUC) des Auftriebsgebietes vor Nordwestafrika. Beitr.Meeresk. im Druck (1988)

HAGEN,E., R.SCHEMAINDA, N.MICHELCHEN, L.POSTEL, S.SCHULZ UND M.BELOW: Zur küstensenkrechten Struktur des Kaltwasserauftriebs vor der Küste Namibias. Geod. Geophys. Veröff., R.IV,H.36, 1-99 (1981)

HARGRAVES,P.M.: Relative abundance of zooplankton groups in the Northwest African upwelling region during 1968 and 1972. In: Upwelling Ecosystems, pp 62-72. Ed.by R. BOJE and M. TOMCZAK. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1978

HAURY,L.R., J.A.McGOWAN and P.H.WIEBE: Patterns and processes in the time-space scales of plankton distributions. In: Spatial pattern in plankton communities, pp 277-327. Ed.by J.STEELE. New York:Plenum Press 1978

HAUSMANN,A., L.POSTEL und W.WOSKA: Grobquantitative und grobqualitative Untersuchungen am Zooplankton des küstennahen (onshore) und küstenfernen (offshore) Auftriebsgebiet im östlichen Mittelatlantik (FS "Alexander von Humboldt" August-November 1970).Diplomarbeit,Universität Rostock, 78 S. (1971)

HEMPEL,G.(Ed.): The Canary Current:studies of an upwelling system. Rapp.P.-v.Réun. Cons. int. Explor. Mer 180, 455 pp. (1982)

HEMPEL,G. und W.NELLEN: Bericht über den Verlauf der Roßbreitenexpedition 1970. "Meteor"Forsch.Ergebn.A10 51-78 (1972)

HEMPEL,G., W.NELLEN und M.TOMCZAK jr.: Bericht über den Verlauf der Expedition "Auftrieb'72"."Meteor"Forsch.Ergebn. A16,44-64 (1975)

HENTSCHEL,E.: Die biologischen Methoden und das biologische Beobachtungsmaterial der "Meteor"-Expedition. In: Wissenschaftliche Ergebnisse der Deutschen Atlantischen Expedition auf dem Forschungs- und Vermessungsschiff "Meteor" 1925-1927. 10, 1-274. Hrsg.: A.DEFANT. Berlin und Leipzig: Walter de Gruyter und Co. 1932

HENTSCHEL,E.: Eine biologische Karte des Atlantischen Ozeans. Zool.Anzeiger 137, 103-123 (1942)

HERBLAND,A.,R.LeBORGNE et B.VOITURIEZ: Production primaire, secondaire et regeneration des sels nutritifs dans l'upwelling de Mauritanie. Doc.Scient.Centre Rech.Océanogr. Abidjan 4, 1-75 (1973)

HISARD,P. and C.HENIN: The 1982-83 warm water upwelling season in the Canary Current off Dakar. Trop.Ocean-Atmosph.Newsletter 19, 12-13 (1983)

HOPKINS,T.L.: The vertikal distribution of zooplankton in the eastern Gulf of Mexico. Deep-Sea Res. 29, 1069-1083 (1982)

HUNTLEY,M. and E.R.BROOKS: Effect of age and food availability on diel vertical migration of *Calanus pacificus*. Mar. Biol.71,23-31 (1982)

HUNTSMAN,S.A. and R.T.BARBER: Primary production off Northwest Africa:the relationship to wind and nutrient conditions. Deep-Sea Res. 24, 25-33 (1977)

HUTCHINGS,L.: The formation of plankton patches in the southern Benguela Current. In: Coastal and estuarine series 1.Coastal upwelling, pp 496-506.Ed.by F.A.RICHARDS. Washington: American Geophysical Union 1981

HUYER,A.E., J.C.SOBEY and R.L.SMITH: The spring transition in currents over the continental shelf. J.geophys.Res.84, C11, 6995-7011 (1979)

- IKEDA, M. and W.J. EMERY: Satellite observations and modelling of meanders in the California Current system off Oregon and northern California. *J. phys. Oceanogr.* 14, 1434-1450 (1984)
- McISAAC, J.J., R.C. DUGDALE, R.T. BARBER, O. BLASCO and T.T. PACKARD: Primary production cycle in an upwelling centre. *Deep-Sea Res.* 32, 503-529 (1985)
- JONES, B.H. and D. HALPERN: Biological and physical aspects of a coastal upwelling event observed during March-April 1974 off Northwest Africa. *Deep-Sea Res.* 28, 71-81 (1981)
- JUNGE, H.D.: Messung, Meßgröße, Maßeinheit. 355 S. Leipzig: Bibliographisches Institut 1981
- KAISER, W. and L. POSTEL: The importance of the vertical nutrient flux for the biological production in the Equatorial Undercurrent region at 30°W. *Mar. Biol.* 55, 23-27 (1979)
- KLEKOWSKI, R.Z. (Ed.): Pelagic ecosystems of the Eastern Pacific upwellings, 17th Cruise of the r/v "Akademik Kurčatov". *Pol. Archs. Hydrobiol.* 24 (Suppl.), 1-524 (1977)
- KÖHLER, G.: Untersuchungen zur Zooplankton-Biomasseverteilung in mittelatlantischen Gewässern im Zeitraum von 1970 bis 1971 auf der Grundlage von Probenmaterial von DDR-Forschungsschiffen. Diplomarbeit, Universität Rostock, 96 S. (1972)
- KÖLLER, S., G. BREUEL und E.A. ARNDT: Untersuchungen zur geographischen Verbreitung und Ökologie der Chaetognathen vor Nordwestafrika unter besonderer Berücksichtigung ihrer Indikatorarten. *Wiss. Z. W.-P.-Univ. Rostock* 25, Math. Nat. R. 3, 239-247 (1976)
- McLAREN, I.A.: Generation length of some temperate marine copepods: estimation, prediction, and implications. *J. Fish. Res. Board. Can.* 35, 1330-1342 (1978)
- LASS, U. and E. HAGEN: Seasonal variation of the Atlantic Undercurrent at 30°W. *Gerlands Beitr. Geophys.* 89, 1-14 (1980)
- LETACONNOUX, R. et A.E.J. WENT (Eds.): Symposium sur les ressources vivantes du plateau continental Atlantique Africain du Détroit de Gibraltar au Cap Vert. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer* 159, 289pp (1970)
- LIBBERT, E. (Hrsg.): Allgemeine Biologie. 485 S. Jena: Gustav Fischer Verlag 1982
- LORENZEN, C.J.: Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12, 343-346 (1967)
- LORENZEN, C.J.: Carbon/chlorophyll relationship in an upwelling area. *Limnol. Oceanogr.* 13, 202-204 (1968)
- LOVEGROVE, T.: The effect of various factors on dry weight values. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer* 153, 86-91 (1962)
- 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*, pp 462-467. Ed. by H. BARNES. London: Allen and Unwin Ltd. 1966
- MACKAS, D.L. and H.A. SEFTON: Plankton species assemblages off southern Vancouver Island: Geographic pattern and temporal variability. *J. Mar. Res.* 40, 1173-1200 (1982)
- MANRIQUES, M. and F. FRAGA: The description of water masses in the upwelling region off Northwest Africa in November. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer* 180, 39-47 (1982)
- MARGALEF, R.: What is an upwelling ecosystem? In: *Upwelling Ecosystems*, pp 12-14. Ed. by R. BOJE and M. TOMCZAK. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1978
- MERLE, J.: Variabilité thermique annuelle et interannuelle de l'Océan Atlantique Equatorial Est: l'hypothèse d'un 'El Niño' Atlantique. *Oceanol. Acta* 3, 209-220 (1980)
- MICHELCHEN, N.: Estimates of large-scale atmospheric pressure variations in the upwelling area off Northwest Africa. In: *Coastal and estuarine series 1. Coastal upwelling*, pp 17-20 Ed. by F.A. RICHARDS. Washington: American Geophysical Union 1981

- MINAS, H.J., L.A. CODISPOTI and R.C. DUGDALE: Nutrients and primary production in the upwelling region off Northwest Africa. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer* 180, 148-183 (1982)
- MITTELSTAEDT, E.: The upwelling area off Northwest Africa. *Prog. Oceanog.* 12, 307-331 (1983)
- MITTELSTAEDT, E., D. PILLSBURY and R.L. SMITH: Flow patterns in the northwest African upwelling area. *Dt. Hydrogr. Z.* 28, 145-167 (1975)
- MULLIN, M.M., E.R. BROOKS, F.M.H. REID, J. NAAP and E.F. STEWART: Vertical structure of nearshore plankton of southern California: a storm and a larval fish food web. *Fishery Bull. natn. mar. Fish. Serv., U.S.* 83, 151-170 (1985)
- MYSAK, L.A.: Topographically trapped waves. *A. Rev. Fluid Mech.* 12, 45-76 (1980)
- NEHRING, D. and S. HOLZLOHNER: Investigations on the relationship between environmental conditions and distribution of *Sardina pilchardus* in the shelf area off Northwest Africa. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer* 180, 342-344 (1982)
- NEHRING, D., R. SCHEMAINDA und S. SCHULZ: Beiträge der DDR zur Erforschung der küstennahen Wasserauftriebsprozesse im Ostteil des nördlichen Zentralatlantiks. Teil II: Das ozeanographische Beobachtungsmaterial der Meßfahrt vom 23.3. bis 25.6.1971. *Geod. Geophys. Veröff., R. IV, H. 9*, 62 S. (1973)
- NEHRING, D., R. SCHEMAINDA und S. SCHULZ: Beiträge der DDR zur Erforschung der küstennahen Wasserauftriebsprozesse im Ostteil des nördlichen Zentralatlantiks. Teil IV: Das ozeanographische Beobachtungsmaterial der Meßfahrt vom 7.6. bis 7.9.1972. *Geod. Geophys. Veröff., R. IV, H. 12*, 61 S. (1974)
- NEHRING, D., R. SCHEMAINDA und S. SCHULZ: Beiträge der DDR zur Erforschung der küstennahen Wasserauftriebsprozesse im Ostteil des nördlichen Zentralatlantiks. Teil Vb: Das ozeanographische Beobachtungsmaterial des Reiseabschnittes vom 4.2. bis 18.4.1973. *Geod. Geophys. Veröff., R. IV, H. 15*, 52 S. (1975)
- NEHRING, D., R. SCHEMAINDA und S. SCHULZ: Beiträge der DDR zur Erforschung der küstennahen Wasserauftriebsprozesse im Ostteil des nördlichen Zentralatlantiks. Teil VII: Das ozeanographische Beobachtungsmaterial der Meßfahrt vom 28.1. bis 14.4.1976. *Geod. Geophys. Veröff., R. IV, H. 12*, 88 S. (1977)
- ODUM, E.P.: Grundlagen der Ökologie (übersetzt und bearbeitet von J. u. E. OVERBECK), 836 S. Stuttgart, New York: Thieme Verlag 1980
- OMORI, M.: Some factors affecting on dry weight, organic weight and concentrations of carbon and nitrogen in freshly prepared and in preserved zooplankton. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 63, 261-269 (1978)
- OWEN, R.W.: Eddies of the California Current system: physical and ecological characteristics. In: *The California Islands. Proc. of a multidiscipl. symposium*, pp 237-263. Ed. by D. POWER. Santa Barbara: Museum of Natural History (Calif.) 1980
- PAVLOV, V.Y.: On the distribution of plankton in the vicinity of Cap Blanc. *Okeanologija* 7, 479-486 (1968)
- PEARRE, S.: Problems of detection and interpretation of vertical migration. *J. Plankt. Res.* 1, 2-44 (1979)
- PETERS, H.: The spreading of the water masses of the Banc d'Arguin in the upwelling area off the northern Mauritanian coast. *"Meteor" Forsch. Ergebn.* A18, 78-100 (1976)
- PETERSON, W.T., C.B. MILLER and A. HUTCHINGSON: Zonation and maintenance of copepod populations in the Oregon upwelling zone. *Deep-Sea Res.* 26, 467-494 (1979)
- PICAUT, J., J. SERVAIN, A.J. BUSALACCHI and M. SEVA: Interannual variability versus seasonal variability in the tropical Atlantic. *Geophys. Res. Letters* 11, 787-790 (1984)
- PLATT, T., V.M. BRAUN and B. IRWIN: Caloric and carbon equivalents of zooplankton biomass. *J. Fish. Res. Board Can.* 26, 2345-2349 (1969)

- POSTEL, L.: Mesoscale investigations on space-temporal variability of the zooplankton biomass in the upwelling regions off Northwest and Southwest Africa. Rapp.P.-v. Réun.Cons. int.Explor. Mer 180, 274-279 (1982)
- POSTEL, L.: Problems in identifying distribution patterns of oceanological parameters. Medd.Havsfiskelab.Lysekil 293, 1-16 (1983)
- POSTEL, L.: The pelagic cross-shelf and alongshore boundaries of the North West African upwelling region and their annual variability in terms of zooplankton biomass. In: Simp.Int.Afl. O Afr.1, pp 479-487. Ed.by C.BAS, R.MARGALEF and P.RUBIES. Barcelona: Inst.Inv.Pesq. 1985
- POSTEL, L.: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanië) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 6. Zooplanktonbiomasse. Beitr. Meeresk. 57, 85-94 (1987)
- POSTEL, L. und W.ZAHN: Einfluß des Nouakchott-Cañons (Mauretanië) auf ozeanologische Feldverteilungen im März 1984. 1. Einführung und Meßprogramm. Beitr.Meeresk. 57, 45-50 (1987)
- REMANE, A., V.STORCH und U.WELSCH: Systematische Zoologie. 678 S. Jena: Gustav Fischer Verlag 1976
- RICHARDS, F.A.(Ed.): Coastal and estuarine series 1. Coastal upwelling, 529 pp. Washington: American Geophysical Union 1981
- RICHERT, P.: Die räumliche Verteilung und zeitliche Entwicklung des Phytoplanktons mit besonderer Berücksichtigung der Diatomèen im norwestafrikanischen Auftriebswassergebiet. Dissertation, C.-Albrechts-Universität, Kiel, 140 S. (1975)
- RIEDL, R.(Hrsg.): Fauna und Flora der Adria. 640 S. Hamburg, Berlin: Paul Parey 1963
- ROBINSON, A.R.(Ed.): Eddies in marine sciences. 609 pp. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer Verlag 1983
- ROE, H.S.: The vertical distribution and diurnal migration of Calanoid Copepods collected on the SONDA cruise 1965. I. The total population and general discussion. J.Mar.Biol.Ass.U.K. 52, 277-314 (1972)
- ROE, H.S.: The diel migrations and distributions within a mesopelagic community in the North East Atlantic. 4. The Copepods. Prog.Oceanog. 13, 353-388 (1984)
- ROE, H.S., M.V.ANGEL, J.BADCOCK, P.DOMANSKI, P.T.JAMES, P.R.PUGH and M.H.THURSTON: The diel migrations and distributions within a mesopelagic community in the North East Atlantic. Prog.Oceanog. 13, 245-511 (1984)
- ROSSIGNOL, M. et M.T.ABOUSSOUAN: Hydrologie marine Côtière de la presquîle du Cap Vert. Centre Océanogr. de Dakar-Thiaroye. ORSTOM. 1-156 (1965)
- RUBIES, P.: Distribucion de la biomasa zooplanktonica entre C.Bojador y C.Blanco (campana "Altor V", Abril-Mayo 1974). Resultados preliminares. Res.Exp.Cient.B/O Cornide 5, 209-216 (1976)
- RYTHER, J.H.: Photosynthesis and fish production in the sea. Science 166, 72-76 (1969)
- RYTHER, J.H., D.W.MENZEL, E.M.HULBURT, C.J.LORENZEN and N.CORWIN: The production and utilization of organic matter in the Peru Coastal Current. Inv.Pesq. 35, 43-59 (1971)
- SAMEOTO, D.D.: Influence of the biological and physical environment on the vertical distribution of mesozooplankton and micronekton in the eastern tropical Pacific. Mar.Biol. 93, 263-279 (1986)
- SCHAEFER, M. und W.TISCHLER: Wörterbuch der Biologie: ökologie. 354 S. Jena: Gustav Fischer Verlag 1983
- SCHEMAINDA, R., W.KAISER, D.NEHRING und S.SCHULZ: Ozeanologische Untersuchungen im tropischen Nordatlantik auf 30°W zwischen 2°N-15°N. Geod. Geophys. Veröff., R.IV, H.17, 56 S. (1976)
- SCHEMAINDA, R., D.NEHRING und S.SCHULZ: Ozeanologische Untersuchungen zum Produktionspotential der nordwestafrikanischen Wasserauftriebsregion 1970-1973.

- Geod.Geophys.Veröff.,R IV, H.16, 88 S. (1975)
- SCHEMAINDA,R., S.SCHULZ und D.NEHRING: Beiträge der DDR zur Erforschung der küstennahen Wasserauftriebsprozesse im Ostteil des nördlichen Zentralatlantiks.Teil I:Das ozeanographische Beobachtungsmaterial der Meßfahrt 1970. Geod.Geophys.Veröff., R.IV,H.7,57 S. (1972)
- SCHULZ,S., F.GEORGI, A.IRMISCH and W.ZAHN: Changes in oceanological fields downstream of the Cap Timiris Canyon (Mauritania, Northwest Africa). Invest.Pesqu., in press (1988)
- SCHULZ,S., R.SCHEMAINDA und D.NEHRING: Beiträge der DDR zur Erforschung der küstennahen Wasserauftriebsprozesse im Ostteil des nördlichen Zentralatlantiks.Teil Va: Das ozeanographische Beobachtungsmaterial des Reiseabschnittes vom 16.11.1972 bis 3.2.1973. Geod.Geophys.Veröff.,R.IV,H.14,79 S.(1975)
- SCHULZ,S., R.SCHEMAINDA und D.NEHRING: Beiträge der DDR zur Erforschung der küstennahen Wasserauftriebsprozesse im Ostteil des nördlichen Zentralatlantiks.Teil VI: Das ozeanographische Beobachtungsmaterial der Meßfahrt vom 26.4. bis 18.7.1974 Geod.Geophys.Veröff.,R.IV,H.21,70 S.(1977)
- SCHWERDTFEGGER,F.: Lehrbuch der Tierökologie. 384 S. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey 1978
- SEDYKH,U.A.: The coastal upwelling off Northwest Africa. ICES C.M.1978/C:12,1-20 (1978)
- SEGUIN,G.: Contribution à l'étude de la biologie du plancton de surface de la Baie de Dakar. Etude quantitative, qualitative et observations ecologiques au cours d'un cycle annuel. Bull.Inst.Fond.d'Afrique noire 28,Sér A1,1-30 (1966)
- SHAFFER,G.: A theory of time-dependent upwelling induced by a spatially and temporally varying wind with emphasis on the effects of a seabreeze - landbreeze cycle. Kieler Meeresforsch.28, 139-161 (1972)
- SHAFFER,G.: A mesoscale study of coastal upwelling variability off NW Africa. "Meteor"Forsch.Ergebn.A17, 21-72 (1976)
- SHANNON,L.V.(Ed.): South African ocean colour and upwelling experiment. 270 pp. Cape Town: Sea Fisheries Inst.1985
- SHANNON,L.V. and S.C.PILLAR: The Benguela ecosystem.Part III. Plankton. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 24, 65-170 (1986)
- SHELDON,R.W., A.PRAKASH and W.H.SUTCLIFFE JR.: The size distribution of particles in the ocean. Limnol.Oceanogr.17, 327-340 (1972)
- SEMENOVA,G.V.: Isučenie planktona i pitanija planktonojadnych ryb v vodach srednej i ekvatorial'noi Afriki.Trudy BaltNIRO 5,110-117 (1960)
- SMED,J.: The oceanographic data base for the CINECA region. Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer 180, 11-28(1982)
- SMITH,S.L., K.H.BRINK, H.SANTANDER, T.J.COWLES and A.HUYER: The effect of advection on variation in zooplankton at a single location near Cabo Nazca, Peru. In:Coastal and estuarine series 1.Coastal upwelling,pp400-410.Ed.by F.A.RICHARDS. Washington: American Geophysical Union 1981
- SMITH,S.L. and T.E.WHITLEDGE: The role of zooplankton in the regeneration of nitrogen in a coastal upwelling system of Northwest Africa. Deep-Sea Res.24, 49-56 (1977)
- SOROKIN,Y.I.: Primary production and heterotrophic microplankton in Peruvian upwelling. Okeanologia 18, 97-110 (1978)
- SPETH,P., H.DETLEFSEN and H.W.SIERTS: Meteorological influence on upwelling off Northwest Africa. Dt.hydrogr.Z.31, 95-104 (1978)
- SPETH,P. and A.KÖHNE: The relationship between sea surface temperatures and winds

off Northwest Africa and Portugal. *Oceanogr.trop.* 18, 69-80 (1983)

STAR, J.L. and M.M.MULLIN: Zooplanktonic assemblages in three areas of the North Pacific as revealed by continuous horizontal transects. *Deep-Sea Res.* 28, 1303-1322 (1981)

STRAMMA, L.: Geostrophic transport in the warm water sphere of the Eastern subtropical North Atlantic. *J.Mar.Res.* 42, 537-558 (1984)

STRAŠKRABA, M. und A.GNAUCK: *Aquatische Ökosysteme*. 279 S. Jena: Gustav Fischer Verlag 1983

STUGREN, B.: *Grundlagen der Allgemeinen Ökologie*. 356 S. Jena: Gustav Fischer Verlag 1986

STURM, B.: Selected topics of Coastal Zone Colour Scanner (CZCS) data evaluation. In: *Remote sensing applications in marine science and technology*, pp 137-167. Ed. by A.P.CRACKNELL. Dordrecht, Boston, Lancaster: Reidel Publ.Co. 1983

SUESS, E. and J.THIEDE: Coastal Upwelling. Its sediment record. Part A: Responses of the sedimentary regime to present coastal upwelling. 604 pp. New York and London: Plenum Press 1983

SUKANOVA, I.N., G.V.KONDOVALOVA and T.N.RATIKOVA: Phytoplankton numbers and species structure in the Peruvian upwelling. *Okeanologija* 18, 111-117 (1978)

TAUBENHEIM, J.: *Statistische Auswertung geophysikalischer und meteorologischer Daten*. 373 S. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest und Portig K.-G. 1969

THIEDE, J. and E.SUESS: Coastal upwelling. Its sediment record. Part B: Sedimentary records of ancient coastal upwelling. 610 pp. New York and London: Plenum Press 1983

THIRIOT, A.: Peuplements zooplanktonique dans la régions de remontées d'eau du littoral Atlantique africain. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr.* Abidjan 8, 1-72 (1977)

THIRIOT, A.: Zooplankton communities in the West African upwelling area. In: *Upwelling Ecosystems*, pp 32-61. Ed. by R. BOJE and M. TOMCZAK. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1978

TOMCZAK, M.: An investigation into the occurrence and development of cold water patches in the upwelling region off NW Africa, "Meteor" cruise No.19. *"Meteor" Forsch.Ergebn.* A13, 1-42 (1973)

TOMCZAK, M.: On the spreading and mixing of central water in the tropical areas of the oceans. 1. Atlantic Ocean. *Oceanologica Acta* 7, 145-158 (1984)

TOMCZAK, M. and P.HUGHES: Three dimensional variability of water masses and currents in the Canary Current upwelling region. *"Meteor" Forsch.Ergebn.* A21, 1-24 (1980)

TOURE, D.: Variations quantitatives du zooplancton dans la région du Cap Vert de Septembre 1970 à Aout 1971. *Doc.Sci. Prov.Centr.Rech.Océanogr.* Dakar-Thiaroye 39, 1-25 (1972)

TRANter, D.J. (Ed.): *Monographs on oceanographic methodology 2. Zooplankton sampling*. 174pp. Paris: UNESCO 1968

TRANter, D.H.: Herbivore production. In: *The ecology of the seas*, pp 186-224. Ed. by D.H.CUSHING and J.J.WALSH. Oxford, London, Edingurgh, Melbourne: Blackwell Scientific Publications 1976

TRANter, D.H. and A.HERON: Hydrodynamic tests on the prototyp net of Working Party 2. In: *Monographs on oceanographic methodology 2. Zooplankton sampling*. pp 170-172. Ed. by D.J.TRANter. Paris: UNESCO 1968

TRANter, D.J. and P.E.SMITH: Filter performance. In: *Monographs on oceanographic methodology 2. Zooplankton sampling*. pp 27-56. Ed. by D.J.TRANter. Paris: UNESCO 1968

TRUMBLE, R.J., O.A.MATHISEN and D.W.STUART: Seasonal food production and consumption

by nekton in the Northwest African upwelling system. In: Coastal and estuarine series 1. Coastal upwelling, pp 458-463. Ed. by F.A.RICHARDS. Washington: American Geophysical Union 1981

VINOGRADOV, M.E. i M.W.FLINT: Bioproduktivnosti ekosistem upwellingov. 190 S. Moskva: IOAN 1983

VINOGRADOV, M.E., V.F.KRAPIVIN, V.V.MENSHUTKIN, B.S.FLEISHMAN and E.A.SHUSHKINA: Mathematical model of the functions of the pelagic ecosystem in tropical regions (from the 50th voyage of the r/v "Vityaz"). Okeanologija 13, 852-866 (1973)

VINOGRADOV, M.E. and E.A.SHUSHKINA: Some development patterns of plankton communities in the upwelling areas of the Pacific Ocean. Mar.Biol.48, 357-366 (1978)

VINOGRADOV, M.E. and V.B.TSEITLIN: Deep-Sea pelagic domain (Aspects of bioenergetics). In: The Sea 8. Deep-sea biology, pp 123-165. Ed. by G.T. ROWE. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley 1983

VIVES, F.: Le zooplancton et les masses d'eau des environs du Cap Blanc. Téthys 6, 313-318 (1974)

VIVES, F.: Sobre las poblaciones del zooplancton del Atlántico africano. In: Simp. Int. Afr. 1, pp 449-470. Ed. by C.BAS, R.MARGALEF and P.RUBIES. Barcelona: Inst. Inv. Pesq. 1985

VOITURIES, B. et A.HERBLAND: Comparaison des systèmes productifs de l'Atlantique tropical est: domes thermiques, upwellings cotiers et upwelling équatorial. Rapp. P.-v. Réunion. Cons. int. Explor. Mer 180, 114-130 (1982)

WALSH, J.J., T.E.WHITLEDGE, J.C.KELLEY, S.A.HUNTSMAN and R.D. PILLSBURY: Further transition states of the Baja California upwelling ecosystem. Limnol.Oceanogr.22, 264-280 (1977)

WEICHART, G.: Chemical changes and primary production in upwelled water off Northwest Africa. Dt.hydrogr.2.33, 192-198 (1980)

WEIKERT, H.: Copepod carcasses in the upwelling region south of Cap Blanc, N.W. Africa. Mar.Biol.42, 351-355 (1977)

WEIKERT, H.: The vertical distribution of zooplankton in relation to habitat zones in the area of the Atlantis II deep, central Red Sea. Mar.Ecol.Prog.Ser.8, 129-143 (1982)

WEIKERT, H.: Zooplankton distribution and hydrography in the Mauritanian upwelling region off Northwest Africa, with special reference to the calanoid copepods. Meeresforsch. (Repts.Mar.Res) 30, 155-171 (1984)

WEISS, R.: Feeding behavior and formation of fish concentrations in the chub mackerel (*Scomber colias*) in the Northwest African fishing grounds. ICES C.M.1974/J:15, 1-17 (1974)

WEISS, R.: Untersuchungen zur Biologie und ökologie der Thunmakrele (*Scomber japonicus* HOUTTUYN 1782) in den gewässern vor der Küste NW-Afrikas. Dissertation A, W.-Pieck-Universität, Rostock, 228 S. (1983)

WHITLEDGE, T.E.: Nitrogen recycling and biological populations in upwelling ecosystems. In: Coastal and estuarine series 1. Coastal upwelling, pp 257-273. Ed. by F.A.RICHARDS. Washington: American Geophysical Union 1981

WIEBE, P.H., S.BOYD and J.L.COX: Relationships between zooplankton displacement volume, wet weight, dry weight, and carbon. Fish.Bull. 73, 777-786 (1975)

WICKSTEAD, J.H.: An introduction to the study of tropical plankton. 160 pp. London, Melbourne, Sydney, Auckland, Bombay, Toronto, Johannesburg, New York: Hutchinson and Co.Ltd. 1965

WIKTOR, K.: Zooplankton przybrzeżnych wód północno-zachodniej Afryki. Prace Morsk. Inst.Ryb. 15A, 55-76 (1969)

WILLENBRINK, E.: Analysis of water masses in the tropical and subtropical northeast

- Atlantic. Ber.Inst.Meeresk.Christian-Albrechts-Univ.Kiel 96,1-72 (1982)
- WILLIAMS,R. and D.V.P.CONWAY: Vertical distribution, and seasonal and diurnal migration of *Calanus helgolandicus* in the Celtic Sea. Mar.Biol.79, 63-73 (1984)
- WILLIAMS,R. and D.B.ROBINS: Effects of preservation on wet weight, dry weight, nitrogen and carbon contents of *Calanus helgolandicus* (Crustacea:Copepoda). Mar.Biol.71, 271-281 (1982)
- WOLF,G. und W.KAISER: Über den Jahreszyklus der T-S-Eigenschaften quasipermanenter Wasserarten und Variationen produktionsbiologischer Parameter auf dem Schelf vor Cap Blanc. Geod.Geophys.Veröff.,R.IV,H.24,81 S.(1978)
- WOOSTER,W.S., A.BAKUN and D.McLAIN: The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the north Atlantic.J.Mar. Res. 34, 131-141 (1976)
- WOOSTER,W.S. and J.L.REID: Eastern boundary currents In:The sea, pp 253-280.Ed.by M.N.HILL.New York and London:John Wiley 1963
- WRANIK,W. und E.A.ARNOLD: Untersuchungen zur Systematik und Verbreitung der Thaliaceen vor Nordwestafrika.Wiss.Z. W.-P.-Univ.Rostock 27, Math. Nat.R.4, 381-388 (1978)
- WROBLEWSKI,J.S.: A simulation of the distribution of *Acartia clausi* during Oregon upwelling, August 1973. J.Plankt.Res.2, 43-68 (1980)
- WROBLEWSKI,J.S. and J.G.RICHMAN: The non-linear response of plankton to wind mixing events - implications for survival of larval northern anchovy. J.Plankt.Res.9, 103-123 (1987)

Lists of Figures

Fig. 1

Position of the cross-shore measuring profile off Dune Point (Southwest Africa) investigated 15 times every 36 hours during 21 days in 1979 (after HAGEN et al. 1981; c.f. Table 1, no. 1.1) .

Fig. 2

Standard stations off Northwest Africa (c.f. Table 1, nos. 2.1.1 - 2.1.3).

Fig. 3

Semiquantitative three dimensional diagram showing relative zooplankton biomass variability (after HAURY et al. 1978).

Fig. 4

Diagram illustrating four successive stages in the development of cross-circulation following the onset of the wind needed for upwelling off the Northwest African coast (after HAGEN et al. 1974).

Fig. 5

Elements of the average current system in the coastal upwelling region off Northwest Africa (after HAGEN 1981).

Fig. 6

Mean cross-shore (u) and along-shore (v) current patterns (isotachs in $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$) off Northwest Africa (after MITTELSTAEDT et al. 1975).

Fig. 7

Average pattern of the along-shore geostrophic current (v_g) off Southwest Africa with a generalized representation of the cross circulation and surface front (after HAGEN et al. 1981).

Fig. 8

Integrated geostrophic transport per unit mass in the 200 m surface layer calculated from mean density profiles and various reference levels (after STRAMMA 1984).

Fig. 9

Vertical temperature (t , $^{\circ}\text{C}$), salinity (S), density parameter (σ_t , $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), oxygen concentration (O_2 , $\text{cm}^3\cdot\text{dm}^{-3}$) and orthophosphate concentration ($\text{PO}_4\text{-P}$, $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) distribution along a profile following the continental shelf edge from $17^{\circ}50'$ N to $22^{\circ}25'$ N from 27th July to 4th August 1972 (after Schemainda et al. 1975).

Fig. 10

Seasonal variation in the mean difference between surface temperatures (K) in the near-shore region and the Central Atlantic between 10° N and 33° N from 1969 to 1976 (after SPETH et al. 1978).

Fig. 11

Vertical temperature (T, $^{\circ}\text{C}$), salinity (S), density parameter (σ_t , $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), oxygen saturation (%), phosphate concentration ($\text{PO}_4\text{-P}$, $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) and nitrate concentration ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) in a cyclonic eddy on 3rd January 1973 (Fig. 11a) and an

anticyclonic eddy on 8th March 1973 (Fig. 11b) off Cap Blanc, Northwest Africa (after HAGEN 1977).

Fig. 12

Diurnal variation in zooplankton biomass in the 30 m surface layer as a percentage of total zooplankton biomass in the 75 m surface layer for all stations in the investigation area off Southwest Africa (c.f. Table 1, no. 1, and Fig. 1).

Fig. 13

Mean across-shore distribution (including confidence range, $p < 0.05$) of the water level difference h (0/100 m), temperature, salinity, oxygen concentration (O_2), nutrient concentrations (PO_4 , SiO_4) and chlorophyll a concentration (Chl. a) at the surface and zooplankton biomasses (ZPB) in the $0 < z < 30$ m and $30 < z < 75$ m water layers (after HAGEN et al. 1981) and the diversity and dominance indexes for small mesozooplankton in the 30 m surface layer of the investigation area off Southwest Africa for $L_t = 22.5$ d ($D = 1.5$ d) (c.f. Table 1, no. 1, and Fig. 1).

Fig. 14

Time averaged across-shore distribution of calanoids of various sizes, Cyclopoids, Naupliae, Thaliaceans and Chaetognaths in WP-2 net samples from the $0 < z < 30$ m water layer in the investigation area off Southwest Africa for $L = 22.5$ d ($D = 1.5$ d) (c.f. Table 1, no. 1, and Fig. 1).

Fig. 15

Zonation and succession following near-shore upwelling as indicated by time-averaged variations in nutrient concentration, chlorophyll a concentration and zooplankton biomass

a) off Southwest Africa (c.f. Table 1, no. 1, and Fig. 1)

b) off Northwest Africa ($\emptyset = 21^{\circ}40'$ N, March - May 1974).

Fig. 16

Seasonal pulsation of the zone containing over $10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-1}$ zooplankton biomass in the 200 m surface layer of the water column off Southwest Africa between 1970 and 1974 (after POSTEL 1985).

Fig. 17

Graph of the coefficient of variation of the values in Table A21 based on successively grouped zooplankton biomass data for the 200 m surface layer off Northwest Africa.

NWA = NA + A, NA = season with weak upwelling activity (24.12.1972 to 10.1.1973), A = season with intensive upwelling activity (23.2 to 14.3. 1973 and 14.5 to 30.5. 1974).

$H < 200$ m = shelf, $H > 200$ m = offshore region up to 20° W.

Meridional subdivision into subregions: B.d.Ga. = Bahia de Garnet, B.d.Go. = Bahia de Gorrei, C.B. = Cap Blanc, N. = Nouakchott, C.V. = Cap Vert, C.R. = Cabo Roxo, C.Vg. = Cabo Verga.

Fig. 18

Meridional extent of the zone of high annual zooplankton biomass variability (coefficient of variation > 50 %) in the oceanic region off Northwest Africa

Fig. 19

Density of potential eddy energy ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$) in the North Atlantic (after DANTZLER, 1977).

Fig. 20

a) Mean across-shore zooplankton biomass density in the 200 m surface layer of the oceanic region off Northwest Africa ($H < 200 \text{ m}$, $\lambda < 20^\circ \text{ W}$, c.f. Table 1, no. 2, and Fig. 2) as a function of latitude and season.

b) Part of Fig. 10: Seasonal variation in mean surface temperature variation difference (SST/K) between the Central Atlantic and coastal regions from 1969 to 1976 (after SPETH et al. 1978).

Fig. 21

Mean across-shore zooplankton biomass in the three sublayers of the 200 m surface layer in the offshore part of the investigation area off Northwest Africa ($H > 200 \text{ m}$, $\lambda < 20^\circ \text{ W}$; c.f. Table 1, no. 2, and Fig. 2) as a function of latitude and season.

Fig. 22

Mean across-shore zooplankton biomass in the surface layer ($0 < z < 200 \text{ m}$) above the continental shelf off Northwest Africa (see Table 1, no. 2, and Fig. 2) as a function of latitude and season.

a) $200 \text{ m} > H > 75 \text{ m}$

b) $H < 75 \text{ m}$

Fig. 23

Vertical meridional zooplankton distribution in the oceanic ($H > 200 \text{ m}$) and neritic ($H < 200 \text{ m}$) zones off Northwest Africa as reflected in zonal and in some cases time-averaged values during

a) a period of intensive upwelling (23rd February - 14th March 1973 and 14th May - 30th May 1974),

b) a period of weak upwelling (24th December 1972 - 10th January 1973) and

c) a period of minimal upwelling (28th October - 8th November 1970).

Fig. 24

Vertical zonal distribution of zooplankton biomass off Northwest Africa as shown by single measurements during

a) a period of intensive upwelling (23rd February - 14th March 1973),

b) a period of weak upwelling (24th December - 10th January 1973) and

c) a period of minimal upwelling (28th October - 8th November 1970).

Fig. 25

The highest mean zonal zooplankton biomasses ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) lasting for periods (months) in which zooplankton biomasses higher than those typically associated with upwelling can be expected at depths smaller than 200 m

a) in the three defined sublayers of the 200 m surface layer in the oceanic region ($H > 200 \text{ m}$) and

b) separately for the whole layer down to a depth of 200 m in the oceanic ($H > 200 \text{ m}$), shelf-edge ($200 > H > 75 \text{ m}$) and near-shore ($H < 75 \text{ m}$) regions.

Fig. 26

Mean seasonal variation in zooplankton displacement volumes for 5 across-shore

profiles with 4 stations each in the sea area off Cap Vert extending from 13°55' N to 14°55' N and from the coast to about 18° W and the surface temperature (SST) and salinity (s) along one of these profiles off M'Bour (0 about 14°25' N) from September 1970 to August 1971.

Fig. 27

Mean zooplankton biomasses and confidence ranges ($p < 0.05$) calculated from displacement volumes by TOURE's (1972) equation as a function of distance from the coast and separately for seasons with and without upwelling activity as shown in Fig. 26.

List of Tables

Table 1

Investigation areas and periods of the main measuring programmes off Southwest and Northwest African coast used for the present study.

Table 2

Measuring distances D and measuring lengths L in time and space for the programmes given in Table 1.

Table 3

List of methodological activities involved in zooplankton dry weight estimation and studied as potential error sources and the corresponding error magnitudes.

Table 4

Correction values k for deterministic (constant or quasiconstant) measuring errors and correction sum S_k for the different investigation periods (see Table 1).

Table 5

Annual duration (D_A) and period of a ZPB response exceeding $20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ after the upwelling of nutrient-rich water in the whole 200 m surface layer of the different sea areas seaward of the 200 m isobath up to 20° W off Northwest Africa.

Table 6

Seaward boundary of the region with $\text{ZPB} > 50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ and maximum depth of the $50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ isoplankte (m) in the investigation area off Northwest Africa in three situations marked by the different upwelling intensities shown in Fig. 24a-c. Highest (1) and lowest (2) regional extreme values of the ZPB ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) in the whole 0 - 200 m water layer and its three depth ranges after zonal averaging for the

oceanic ($H > 200$ m, up to 20° W) and neritic ($H < 200$ m) regions respectively.

Table 8

Highest (1) and lowest (2) regional ZPB (analogous to Table 7) on the basis of individual measurements.

Table 9

Parameters of the linear relationship ($ZPB_{max} = b \cdot D_A + a$) between the highest zonally averaged ZPB (ZPB_{max}) and the annual duration (D_A) in which a biomass higher than that typical of upwelling activity can be expected above the 200 m isobath in the oceanic region.

List of tables in the annex

Table A1

Distance from the coast (KE) and water depth at stations along the across-shore profile off Southwest Africa (Table 1, no. 1.1; Fig. 1)

Table A2

Distance from the coast (KE) and water depth (H) at the standard stations off the Northwest African coast (Table 1, no. 2.1; Fig. 2)

Table A3

Planktonic groups in the 200 m surface layer of the coastal upwelling region off Peru and their size ranges (after VINOGRADOV and SHUSHKINA, 1978)

Table A4

Maximum biomasses and development times of planktonic groups in the 200 m surface layer of the coastal upwelling region off Peru according to model calculations by VINOGRADOV et al. (1973)

Table A5

Taxonomic groups into which the zooplankton collected by r/v 'Alexander von Humboldt' in the West African upwelling regions since 1970 (HAUSMANN et al., 1971) was broken down after a first analysis, their systematic positions and sizes, and remarks on the quantitative sampling accuracy of the WP-2-net

Table A6

Food composition (%) of *Sardinella spec.*, *Scomber colias* and *Trachurus spec.* according to SEMENOVA (1960) and remarks (x) concerning the quantitative sampling accuracy of the WP-2 net for prey groups based on Table A5.

Table A7

Mean measuring error (C.V.) of the T.S.K. flow meter on the basis of four calibrations at three different hauling speeds (s = distance in meter, U = number of revolutions)

Table A8

Effect of the water volume filtered by the net as shown by the flow meter (FM) and estimated from the rope length (TL) respectively on the mean calculated ZPB from 52 vertical hauls ($0 < z < 200$ m). Samples were taken on a drifting ship off Northwest Africa between May, 14 and 30th in 1974 (c.f. Table 1; no. 2).

Table A9

Effect of about 250 ml of fresh water used to rinse differently sized samples on the dry weight compared with data from OMORI (1978)

- (1) Zooplankton dry weight ($\text{mg} \cdot 0.25 \text{ m}^{-2}$)
- (2) Number of values
- (3) Amount of rinsing water ($\text{ml} \cdot \text{mg}^{-1}$ dry mass)
- (4) Loss of mass of *Acartia tonsa* according to OMORI (1978), in brackets: comparable amounts of rinsing water ($\text{ml} \cdot \text{mg}^{-1}$)

Table A10

Simulated effect of defreezing cold-stored samples before drying

ZPB₁: dry mass ($\text{mg} \cdot 0.25 \text{ m}^{-2}$) after freeze drying of frozen samples

ZPB₂: dry mass ($\text{mg} \cdot 0.25 \text{ m}^{-2}$) of samples after simulated defreezing (c.f. chapter 2.3.2.5.)

Samples were taken off Mauritania from March, 15 to 18th in 1984 (POSTEL, 1987)

Table A11

Weight variation in 5 samples collected during the investigation period off Northwest Africa and dried for different durations (hours) and the achievable weight (%) improvement relative to drying for 16 h. Constant values are marked.

Table A12

Observation error (%) calculated from 10 successive hauls ($0 < z < 25$ m) with a WP-2-net at an anchor station off Northwest Africa ($\varnothing = 23^\circ \text{ N}$, $16^\circ 59' \text{ W}$) and subsequent dry weight measurement

Table A13

a) Phytoplankton fraction of the ZPB dry weight and frequencies of zooplankton samples contaminated to various degrees in 200 hauls examined on an across-shore profile off Southwest Africa (Table 1, no. 1.1; Fig. 1)

b) Frequency of samples containing over 5 % and less than 5 % (in brackets) phytoplankton and the effects of distance from the shore

Table A14

Mean ZPB ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) in the tropical Central Atlantic at 30° W (KAISER and POSTEL, 1979); statistically significant differences exist between means marked with brackets.

Table A15

Changes in individuals dominance (%) of different small mesozooplankton groups and the dominance degree classes (SCHWERTFEGGER, 1978) in the 30 m surface layer between 30 and 170 km off Southwest Africa (Table 1, no. 1.1; Fig. 1) together with remarks (x) concerning the sampling accuracy of the WP-2-net for these groups on the basis of the remarks in Table A5.

Table A16

Confidence range ($p < 0.05$) for mean abundances of the taxonomic groups given in Fig. 14 from the investigation area off Southwest Africa (Table 1, no. 1.1; Fig. 1).

Table A17

Mean chlorophyll (Chl. a) concentrations at the surface and mean zooplankton biomasses ($0 < z < 30$ m, $30 < z < 75$ m, corrected according to Table 4 using $k = 15$ %), averaged over 21 days at stations located at various distances from the shore in the investigation area off Southwest Africa (Table 1, no. 1.1; Fig. 1). The symbols have the following meanings:

x = 30 km	nutrient maximum, z = 0 m
x = 40 km	zooplankton biomass minimum, $30 < z < 75$ m
x = 50 km	chlorophyll a maximum 1, z = 0 m
x = 60 km	chlorophyll a maximum 2, z = 0 m
	zooplankton biomass minimum, $0 < z < 30$ m
x = 130 km	zooplankton biomass maximum 1, $0 < z < 30$ m and $30 < z < 75$ m
x = 160 km	zooplankton biomass maximum 2, $0 < z < 30$ m and $30 < z < 75$ m

The bottom part of the table contains remarks on significant statistical differences between means that are of interest in connection with chapter 4.1.2.

Table A18

Parameter a and the BĚLEHRÁDEK temperature (T) function $G = a(t-\alpha)^b$ determined by autecological methods for the constant $b = -2.05$ for calculating the generation time G in days of selected calanoids and cyclopoids after McLAREN (1978) and the corresponding generation times for $T_1 = 14.32$ °C and $T_2 = 16.06$ °C.

Table A19

Zooplankton biomasses ZPB (Y_1) averaged over time (22.5 d) for the depth ranges $0 < z < 30$ m and $30 < z < 75$ m at different distances KE (X_1) off the Southwest African coast (Table 1, no. 1.1; Fig. 1).

The correlation and regression coefficients (a, b) and significance level (p) refer to the straight line $ZPB = b * KE + a$ from which the regressive ZPB values (y_1) were calculated for each KE.

Table A20

Comparison of mean zooplankton biomasses ($mg * m^3$, numbers of values N and standard deviations S.D.) for all zooplankton samples collected at two depths ranges at different distance ranges KE from the shore (x) collected during the day (0700 - 1900 hrs local time) and night in the sea region off Southwest Africa.

Table A21

Number of values, mean value, standard deviation and coefficient of variation for successively grouped zooplankton biomass data ($mg * m^3$) from the 200 m surface layer in the Northwest African investigation area used as a basis for Fig. 17 (see Fig. 17

for abbreviations)

Zooplankton data corrected according to Table 4.

Table A22

Mean zooplankton biomasses ($\text{mg}\cdot\text{m}^3$, number of values N and standard deviation S.D.) and coefficients of variation (%) for all plankton samples collected during the day (0700 - 1900 hrs local time) and night in the 200 m surface layer of the offshore region ($H < 200 \text{ m}$, $\lambda < 20^\circ \text{ W}$) off Northwest Africa (Table 1, no. 2.1; Fig. 2). A distinction is drawn between seasons with slight upwelling (NA) and intensive upwelling (A) activity in the different subregions. See Fig. 17 for abbreviations denoting subregions time periods. The means differ at the $p < 0.05$ and $p < 0.001$ in two cases (+ and ++ respectively).

Table A23

Number of measurements used as a basis for the means at the support points in Fig. 20 to 22. Numbers 1 - 12 represent months. See Fig. 17 for abbreviations denoting subregions.

Table A24

Mean zooplankton biomasses above the shelf ($H < 200 \text{ m}$) off Northwest Africa (Mauretania, West Sahara) and Southwest Africa with particulars of investigation periods and regions, numbers of values (N) and standard deviations (S.D.). ZPB data corrected according to Table 4.

Table A25

Number of measurements used to calculate the mean values at the support points in Fig. 23. The values are in order of increasing depth range (0 to 25, 25 to 75 and 75 to 200 m). See Fig. 17 for abbreviations denoting subregions.

Table A26

Range of variation of the zonally averaged regional zooplankton biomasses off Northwest Africa (Table 1, no. 2.1; Fig. 2)

a) in the 200 m surface layer of the offshore region ($H > 200 \text{ m}$, $< 20^\circ \text{ W}$) and the shelf region ($H < 200 \text{ m}$)

b) in the three specified sublayers of the 200 m surface layer of the offshore zone.

Entries include number of values (N), standard deviation (S.D.) and, in brackets, month and year. See Fig. 17 for abbreviations denoting subregions. The ZPB data corrected according to Table 4.

Table A27

Regional ranges of variation in the zooplankton biomass based on individual measurements in the 200 m surface layer and the three specified sublayers down to a maximum depth of 200 m off Northwest Africa (Table 1, no. 2.1; Fig. 2)

a) in the offshore zone ($H > 200 \text{ m}$, $< 20^\circ \text{ W}$)

b) above the shelf ($H < 200 \text{ m}$)

Standard station numbers as given in Table A2 and month and year in brackets. See Fig. 17 for abbreviations denoting subregions. The ZPB data corrected according to Table 4.

Anlage

ANNEX

Tab.A 1:

Küstenentfernung
(KE) und Tiefe der
Stationen des
küstensenkrechten
Schnittes vor SWA
(Tab.1, lfd.Nr.
1.1.; Abb.1)

Station	KE (km)	Tiefe (m)
1	30	120
2	40	129
3	50	145
4	60	220
5	70	269
6	80	289
7	90	305
8	100	315
9	110	436
10	120	615
11	130	750
12	140	885
13	150	1040
14	160	1220
15	170	1370

Tab.A 2:

Küstenentfernung
(KE) und Tiefe (H)
der Standardsta-
tionen vor der
nordwestafrikani-
schen Küste (Tab.1
lfd.Nr.2.1.;
Abb.2)

Stations- nummer	KE (km)	H (m)	Stations- nummer	KE (km)	H (m)
800	23	43	880	5	> 1000
1	41,5	51	1	42	
2	60	76	2	79	
3	78,5	92	3	117	
4	97	143	4	154	
5	134	> 1000	5	191	
6	171		6	228	
7	208		7	265	
8	245		8	302	
820	24	45	900	40	16
1	42,5	56	1	58,5	42
2	61	88	2	77	108
3	98	> 1000	3	114	> 1000
4	135		4	151	
5	172		5	188	
6	209		6	225	
7	246		7	262	
8	283		8	299	
840	16	62	920	46	21
1	34,5	98	1	83	31
2	53	779	2	120	51
3	90	> 1000	3	157	257
4	127		4	194	927
5	164		5	231	> 1000
6	201		6	268	
7	238		7	305	
8	275		8	332	
860	14	68			
1	32,5	125			
2	51	455			
3	89	> 1000			
4	126				
5	163				
6	200				
7	237				
8	274				
9	311				
870	348				
1	385				
2	422				

Tab.A 3: Planktongruppen der oberen 200 m im küstennahen Auftriebsgebiet vor Peru und ihre Größenbereiche (nach VINOGRADOV und SHUSHKINA, 1978)

Planktongruppe	Größe (mm)
Phytoplankton	
Nannophytoplankton	0,004 - 0,007
kleines Phytoplankton	0,008 - 0,02
mittelgroßes "	0,021 - 0,1
großes "	> 0,1
Bakterien	
einzellige Heterotrophe	0,001 - 0,005
Flagellaten	0,003 - 0,005
Ciliaten	0,01 - 0,1
herbivores und omnivores	
Metazooplankton	
Feine Filtrierer	
Meroplankton	0,1 - 3,5
Appendicularia	0,1 - 2,5
Doliolum spec.	1,0 - 2,5
kleine Calanoidea	< 1,0
Grobe Filtrierer	
mittelgroße Calanoidea	> 1,0
juvenile Euphausiacea	< 10,0
Karnivores Zooplankton	
Cyclopoidea	0,2 - 1,5
Calanoidea	1,0 - 4,0
kleine Tomopteris spec.	3,0
kleine Coelenterata	5,0
Chaetognatha	< 20,0
Polychaeta	> 3,0

Tab.A 4: Maximale Biomasse und Entwicklungszeiten von Planktongruppen der oberen 200 m im küstennahen Auftriebsgebiet vor Peru nach Modellrechnungen von VINOGRADOV et al. (1973)

	Planktongruppe	Reaktionszeit (d)	Biomasse	
			(cal·m ⁻²)	(%)
	Phytoplankton	8	4180	29
	Bakterioplankton	10	3410	23
	Nauplii	15	1840	12
	Protozoa	16	530	4
WP-2-Netz-Fraktion	Kleine Herbivore	26	1590	11
	Große Herbivore	29	1410	10
	Cyclopoidea	32	720	5
	Karnivore Calanoidea	39	620	4
	Chaetognatha und Polychaeta	51	270	2

1) Zeit vom Auftriebsereignis bis zur maximal entwickelten Biomasse

Tab.A 5: Taxonomische Gruppen, in welche das von FS "Alexander von Humboldt" in den westafrikanischen Auftriebsgebieten gewonnene Zooplankton seit 1970 (HAUSMANN et al., 1971) in erster Analyse unterschieden wird, ihre systematische Stellung und Größe sowie Vermerk über die vermutlich quantitative Erfassung durch das WP-2-Netz (+). Es bedeuten: UR: Unterreich, St: Stamm, USt: Unterstamm, K: Klasse, UK: Unterklasse, O: Ordnung, UO: Unterordnung, ÜF: Überfamilie, F: Familie)

taxonomische Gruppe	Stellung im System ¹⁾	Größe (mm) n.Wicksteedt (1965)	n.Riedl (1963)	quantitativ im WP-2-Netz zu erwarten (0,2-10 mm)
	1.UR : Protozoa			
	einziger St: Protozoa			
	1.K : Flagellata			
Noctiluca	0 : Dinoflagellata Noctiluca miliaris	1	0,8	x
	2.K : Rhizopoda			
Foraminifera	3.0 : Foraminifera	1	0,5 - 3	x
Radiolaria	5.0 : Radiolaria	0,2 1 mm als Kolonie	0,1 - 1,8	-
	2.UR : Metazoa			
	2.St : Cnidaria			
	1.K : Hydrozoa			
	1.0 : Hydroidea			
Leptomedusae	1.UO : Thecata(=Thecophorae, =Lepto- medusae) ²⁾	0,2 - 0,5	4 - 50	-
Anthomedusae	2.UO : Athecata(=Antho- medusae) ³⁾	2 - 10	0,4 - 30	-
	2.0 : Trachylina			
Trachymedusae	1.UO : Trachymedusae	1 - 2	4 - 10	x
Siphonophora	3.0 : Siphonophora	1 - 5 (Kolonien einige cm)	3 - 20 (max. 1 m)	-
	3.K : Anthozoa			
	2.UK : Hexacorallia			
Aktinienlarven	4.0 : Actinaria (Larven)	-	1 - 3,5	x
Ctenophora	3.St : Acnidaria(=Ctenophora)	1 - 10(juv.) 10-1500(ad.)	10(juv.) 10-1000(ad.)	x -
	10.St : Mollusca			
	2.USt : Conchifera			
	2.K : Gastropoda			
	1.UK : Prosobranchia			
	2.0 : Mesogastropoda			
Heteropoda	8.ÜF : Heteropoda	2 - 15 (max. 250)	6 - 300	-
	2.UK : Ophistobranchia			
Pteropoda	2.0 : Pteropoda	0,5 - 30	4 - 100	-
	3.K : Lamellibranchiata (= Bivalvia)	0,5 - 3	0,3 - 2	x
Bivalvialarven	5.K : Cephalopoda	10 - 20	4	-
*Cephalopoda(Embryos)	12.St : Annelida			
Polychaeta(+Larven)	1.K : Polychaeta	0,2 - 5	0,2 - 1(juv.) 0,2 - 30(ad.)	-
	17.St : Arthropoda			
	3.USt : Diantennata (Brachiata)			
Nauplia	einzig K : Crustacea (1.Larve=Nauplius)	0,5	0,5	-
	2.UK : Phyllozoa			
	2.0 : Onychura			
Cladocera	2.UO : Cladocera	0,5 - 1	0,5 - 1,1	x
Ostracoda	4.UK : Ostracoda	1 - 2	0,5 - 5	x
	5.UK : Copepoda			
Calanoidea	1.0 : Calanoidea ⁴⁾	0,4 - 17	1,1 - 4	-
Harpacticoidea	2.0 : Harpacticoidea	0,5 - 2	0,4 - 1	x
Cyclopoidea	3.0 : Cyclopoidea	0,5 - 7	0,6 - 4,5	x
Oithonidae	1.F : Oithonidae	0,5 - 1,5	0,6 - 1,2	x
Oncaeiidae	2.F : Oncaeiidae	0,5 - 1,5	1,3	x
Sapphirinidae	3.F : Sapphirinidae	1,5 - 7	4,5	x
Corycaeiidae	4.F : Corycaeiidae	0,5 - 3	0,8	x

Tab. A5: Fortsetzung

taxonomische Gruppe	Stellung im System ¹⁾	Größe (mm) n.Wickstaedt (1965)	n.Riedl (1963)	quantitativ im WP-2-Netz zu erwarten (0,2-10 mm)
Cirripeden-Larven	9.UK : Cirripedia (Larven)	0,5 - 2	0,5	x
Malacostraca-Larven	10.UK : Malacostraca (Larven)		1 - 9	x
	5.0 : Peracaridea			
Mysidacea	1.UO : Mysidacea	2 - 10	meist 10 - 20	-
Amphipoda	2.UO : Amphipoda	2 - 20	3 - 20	-
Cumacea	3.UO : Cumacea	3 - 6	3 - 12	-
Isopoda	5.UO : Isopoda		2 - 30	-
	6.0 : Eucarida			
Euphausiacea	1.UO : Euphausiacea	0,5- 2(juv.)	3 - 5,5(juv.) meist 5 - 10 (ad.)	x x
	2.UO : Natantia	8(ad.)	max. 30 (ad.)	-
Penaeidae	F : Penaeidae (Luciferspec.)	1-1500	1-1500	-
	3.UO : Reptantia			
Brachyura-Larven	4.0F : Brachyura (Larven)	2 - 5	1 - 5	x
	20.St : Echinodermata			
Ophioplutei	8.K : Ophiuroidea (Larven)	0,2 - 0,4	0,4	x
Echinoplutei	9.K : Echinoidea (Larven)	0,4	1 - 6	x
Chaetognatha	22.St : Chaetognatha	0,2-0,3(juv.) meist 10 max. 80	meist 5 - 25	-
	23.St : Chordata			
	1.USt : Tunicata			
Appendicularia	1.K : Appendicularia (Larvacea)	1 - 3 max. 20	1 - 10	x -
Thaliacea(ohne Pyrosomida)	3.K : Thaliacea	1 - 2 (juv.) 2 -250	4 - 100	x -
Pyrosomida	1.0 : Pyrosomida		100	-
Branchiostoma-Larven	2.USt : Acrania(Branchiostoma spec.)	3 - 5	1 - 4	x
	3.USt : Vertebrata			
	2.ÜK : Gnathostoma			
	4.K : Osteichthyes			
	1.UK : Actinopterygii			
Fischeier	3.00 : Teleostei	0,5 - 2	1,5 - 2,2	x
Fischlarven		1,3 - 25	4 - 8	x

- 1) nach LIBBERT (1982); Einheiten < Ordnungen nach REMANE et al. (1976) und RIEDL (1963)
- 2) nach RIEDL (1963) nur für die Medusengeneration der Thecata (=Thecophorae) gebräuchlich
- 3) nach RIEDL (1963) nur für die Medusengeneration der Athecata gebräuchlich
- 4) nach BRENNING (1980) bis auf meiste Nauplienstadien sowie Copepoditstadien kleiner Calaniden (z.B. Paracalanus spec., 0.53-1.02 mm) vom WP-2-Netz quantitativ erfaßt

Tab.A 6:
Zusammensetzung
der Nahrung (%)
von Sardinella
spec., Scomber
colias und
Trachurus spec.
nach SEMENOVA
(1960) und, unter
Verwendung von
Tab.A5, Vermerk
über die vermut-
lich quantitative
Erfassung der
Nährtiere durch
das WP-2-Netz (+)

	(1)	Sardinella spec.	Scomber colias	Trachurus spec.
Copepoda	x	38,4	36,6	21,5
Amphipoda	-	2,1	3,3	2,0
Euphausiacea	-	2,1	3,3	2,0
Ostracoda	x	-	3,3	-
Decapoda-Larven	x	-	-	4,0
Garnelen	-	1,0	3,3	-
Crustacea(i.w.S.)	-	1,5	-	9,0
Sagitta spec.	-	14,2	11,6	4,5
Oikopleura spec.	x	7,0	-	7,8
Polychaeta-Larven	-	0,5	1,6	-
Bivalvia-Larven	x	3,7	13,3	4,0
Fischeier	x	1,5	-	-
Fischlarven	x	2,1	14,9	23,5
Siphonophora	-	1,0	5,0	4,5
Phytoplankton	-	24,2	1,6	8,5
Rest		0,5	1,6	2,0
(2)		52,7 %	68,1 %	60,8 %

Tab.A 7: Mittlere Meßfehler der T.S.K.-Durchflußzähler (C.V.) auf Grund von 4
Eichergebnissen im Bereich von 3 verschiedenen Hievgeschwindigkeiten, s:
Strecke (m), U: Umdrehungen

Lfd.Nr.	v (m·min ⁻¹)	v			Eichlabor
		36	48	60	
1	s·U ⁻¹ (m)	0,1540	0,1505	0,1515	Wilhelm- Pieck-Univer- sität Rostock
		0,1545	0,1530		
		0,1570	0,1540		
	c.v. (%)	± 1,12	± 1,18	-	
2	s·U ⁻¹ (m)	0,1490	0,1430	0,1470	Wilhelm- Pieck-Univer- sität Rostock
		0,1500	0,1490	0,1480	
		0,1540	0,1520	0,1490	
	c.v. (%)	± 1,75	± 3,10	± 0,68	
3	s·U ⁻¹ (m)	0,1530	0,1500	0,1520	Wilhelm- Pieck-Univer- sität Rostock
		0,1540	0,1510		
		0,1550	0,1540		
	c.v. (%)	± 0,65	± 1,37	-	
4	s·U ⁻¹ (m)	0,1684	0,1662	0,1650	Nakai, T.S.K.Co.Ltd, Yokohama
		0,1656	0,1640	0,1633	
		0,1628	0,1619	0,1616	
		0,1600	0,1600	0,1600	
	c.v. (%)	± 2,20	± 1,64	± 1,33	
	c.v. (%)	± 3,74	± 4,09	± 4,59	

Tab.A 8: Auswirkung der mit Durchflußzähler (FM) bzw. Trossenlänge (TL) erfolgten Bestimmung des vom Netz filtrierten Wasservolumens auf die Berechnung der mittleren ZPB von 52 Vertikalholz (0 <z< 200 m). Die Proben wurden vom 14.-30.5.1974 vom driftend arbeitenden Schiff aus vor NWA (vgl.Tab.1, lfd.Nr.2.) gewonnen.

Stations-Nr.	ZPB _{FM} mg·m ⁻³	ZPB _{TL} mg·m ⁻³	Stations-Nr.	ZPB _{FM} mg·m ⁻³	ZPB _{TL} mg·m ⁻³
211	19	34	288	71	84
212	5	7	289	21	42
213	10	12	291	26	23
215	2	5	292	37	37
216	5	8	293	12	12
216	11	13	296	30	38
217	4	4	297	40	65
218	8	12	298	46	51
219	10	12	299	54	70
220	56	35	300	30	38
263	23	31	301	36	40
264	24	26	302	40	51
265	12	15	303-1	26	26
267	4	4	304	19	21
270	23	62	305	49	61
272	7	12	306	32	36
273	88	122	307	19	19
274	113	113	308	39	30
275	40	90	317	18	16
276	3	5	318	17	16
280-1	13	23	319	18	18
281	28	22	320	16	14
284	47	56	321	15	18
285	41	46	322	22	20
286	18	18	323	21	21
287	45	65	324	31	26

N = 52

$$\overline{ZPB}_{FM} = 27.77 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\overline{ZPB}_{TL} = 33.56 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$S.D._{FM} = \pm 21.54 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$S.D._{TL} = \pm 26.93 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\Delta \overline{ZPB}_{TL,FM} = 5.79 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \quad (p \approx 0.2)$$

$$\frac{\Delta \overline{ZPB}_{TL,FM}}{\overline{ZPB}_{FM}} \cdot 100 = 21 \%$$

Tab. A 9:

Einfluß der Spülmenge von ca. 250 ml Süßwasser auf die Trockenmasse unterschiedlich großer Ausgangsproben im Vergleich zu Untersuchungen von OMORI (1978)

(1) Zooplankton-TM ($mg \cdot 0.25 m^{-2}$)

(2) Anzahl der Werte

(3) Spülmenge in $ml \cdot mg^{-1}$ TM

(4) Masseverlust von *Acartia tonsa* nach OMORI (1978), in Klammer:

vergleichbare Spülmenge ($ml \cdot mg^{-1}$)

Cap Blanc, NWA
ozeanisch
 $0 < z < 200$ m

(1) 500^{a)}
(2) -
(3) 0,5
(4) -11 %
(0,4)

Cap Blanc, NWA
neritisch
 $0 < z < 60$ m

ca. 900^{b)}
66
0,29
-6 %
(0,2)

Walvis Bay, SWA
neritisch
 $0 < z < 75$ m

ca. 3000^{b)}
121
0,08
1 %
(0,04)

a) Annahme einer ZPB für ozeanische Verhältnisse von $10 mg \cdot m^{-3}$ (s. 4.2.)

b) nach POSTEL (1982)

Tab. A10:

Simulierter Effekt des Auftauens gefrosteter Proben vor der Trocknung:

ZPB₁: Trockenmasse, nach der Gefriertrocknung gefrosteter Proben bestimmt,

ZPB₂: Trockenmasse nachbehandelter Proben (s. 2.3.2.5.), aus dem Untersuchungsgebiet vor Mauretania, vom 15.-18.3.1984 (POSTEL, 1987), in $mg \cdot 0.25 m^{-2}$

Tiefenstufe m	ZPB ₁	ZPB ₂
20 - 120	334	173
25 - 93	540	263
0 - 30	432	200
0 - 20	181	87
0 - 20	478	279
25 - 100	330	195
0 - 25	250	128
0 - 25	338	156
45 - 80	334	187
20 - 115	655	372
25 - 200	176	79
0 - 20	204	103
45 - 90	291	149
25 - 110	193	99
40 - 70	208	85

N = 15

$\overline{ZPB}_1 = 329,60$

S.D.₁ = $\pm 142,80$

N = 15

$\overline{ZPB}_2 = 170,33$

S.D.₂ = $\pm 83,44$

$\Delta \overline{ZPB}_{1,2} = 159,27$ ($p < 0,01$)

$\frac{\Delta \overline{ZPB}_{1,2}}{\overline{ZPB}_1} \cdot 100 = 48 \%$

Tab.A11: Masseentwicklung von 5 Proben aus dem USG vor NWA bei unterschiedlicher Trocknungsdauer und Masseverbesserung, die gegenüber einer 16stündigen Trocknung erreicht werden kann. Masseskonstante Werte sind unterstrichen.

Zeit/h	16	18	20	22	24	Masse- verbesserung/ %
Masse /g	1,622	<u>1,620</u>	1,620	1,620	1,620	0,12
	1,810	1,809	1,807	<u>1,805</u>	1,805	0,28
	1,863	1,861	1,857	<u>1,853</u>	1,853	0,59
	2,136	2,130	<u>2,126</u>	2,126	2,126	0,47
	2,782	2,769	2,763	<u>2,757</u>	2,757	0,90

Tab.A12: Beobachtungsfehler (%), aus 10 auf einer Ankerstation vor NWA ($\theta=23^\circ$ N, $\lambda=16^\circ59'W$) mit einem WP-2-Doppelnetz sukzessiv durchgeführten Holz ($0 < z < 25$ m) und anschließender Trockenmassebestimmung ermittelt

Zeit (UTC)	ZPB ₁	ZPB ₂	[...]
13.55	20,54	21,15	0,00
14.04	20,86	19,07	0,00
14.11	17,66	19,72	2,00
14.17	20,84	21,96	1,00
14.29	20,29	21,00	0,00
14.37	20,00	17,68	2,00
14.45	21,79	20,97	0,00
14.53	21,79	19,14	2,00
15.01	20,95	20,75	0,00
15.09	24,85	25,77	0,00
<hr/>			
\overline{ZPB}_1	= 20,98	\overline{ZPB}_2	= 20,72
S.D. ₁	= $\pm 1,79$	S.D. ₂	= $\pm 2,18$
<hr/>			
$\Delta \overline{ZPB}_{1,2}$	= 0,26	(p > 0,2)	
<hr/>			
$\frac{\Delta \overline{ZPB}_{1,2}}{\overline{ZPB}_1 \text{ bzw. } 2} \cdot 100$	= 1,24 % bzw. 1,25 %		
<hr/>			

Tab.A13: a) Phytoplanktonanteil a der Zooplankton-TM und Häufigkeit der zu verschiedenen Prozentsätzen verunreinigten Zooplanktonproben aus 200 Untersuchungen auf einem küstensenkrechten Schnitt vor SWA (Tab.1., lfd.Nr.1.1., Abb.1)
 b) Häufigkeit der Proben mit einem Phytoplanktonanteil von >5 %, im Vergleich zu denen mit <5 % (in Klammer), in Abhängigkeit zur Küstentfernung (KE)

Phytoplankton-TM-Anteil %	Häufigkeit verunreinigter Proben	aktueller Phytoplankton-TM-Anteil > 5 %	
0	89		a)
>0 - <5	96		
>5 - <10	7	6, 6, 6, 7, 8, 9, 9	
>10 - <15	2	11, 12	
>15	6	18, 23, 26, 28, 30, 46	

KE/km	30 - 60	70 - 90	100 - 130	140 - 170	
relative Häufigkeit	4(59)	6(40)	4(52)	1(49)	b)

Tab.A14: Mittlere ZPB ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) im tropischen Zentralatlantik auf 30°W (KAISER und POSTEL, 1979) und Signifikanzvermerk für den statistischen Unterschied der durch Klammer markierten Mittelwerte

USG	USZ	Tiefe (m)	N	$\overline{\text{ZPB}}$	S.D.	Signifikanzvermerk
$1^{\circ}\text{S} \geq \emptyset \leq 1^{\circ}\text{N}$	Feb.1973	$0 < z < 200$	5	14,00	6,40	} $p < 0,05$
	Aug.1972		5	26,80	5,07	
$1^{\circ}\text{N} < \emptyset \leq 15^{\circ}\text{N}$	Feb.1973	$0 < z < 25$	14	10,50	3,98	} n.s.
	Aug.1972		14	10,50	9,15	
	Feb.1973		$25 < z < 75$	15	18,40	7,46
	$75 < z < 200$	15	5,67	2,53	} $p < 0,05$	

Tab.A15: Veränderungen der Individuendominanz (%) einzelner taxonomischer Gruppen des Kleinen Mesozooplanktons und der Dominanzgrad - Klassen (SCHWERTFEGER, 1978) in den oberen 30 m, zwischen 30 km und 170 km Küstenentfernung vor SWA (Tab.1, lfd. Nr. 1.1.; Abb.1) sowie, unter Verwendung von Tab.A5, Vermerk über die vermutlich quantitative Erfassung dieser Gruppen durch das WP-2-Netz (+)

Dominanzgrad- klassen (SCHWERTFEGER, 1978)	Lfd. x = 30 km		Lfd. x = 170 km			
	Nr.	%	Nr.	%		
Eudominante (10 %)	1	x Calanoidea(1-2 mm)	53,0	1	x Calanoidea(1-2 mm)	31,7
	2	x Calanoidea(2 mm)	18,1	2	Thaliacea	20,9
	3	x Cyclopoidea	13,7			
Dominante (10 - 5 %)	4	x Calanoidea(1 mm)	5,7	3	x Calanoidea(1 mm)	7,1
				4	x Cyclopoidea	6,6
				5	x Calanoidea(2 mm)	6,2
Subdominante (5 - 2 %)	5	x Harpacticoidea	2,7	6	x Foraminifera	3,9
	6	x Fischeier	2,1	7	x Fischeier	3,2
				8	Nauplia	3,0
Rezendente (2 - 1 %)	7	Pteropoda	1,4	9	Pteropoda	2,3
	8	Nauplia	1,0	10	Chaetognatha	2,2
				11	Appendicularia	1,9
Subrezendente (1 %)	9	Chaetognatha	0,6	12	x Cladocera	1,7
	10	Euphausiacea	0,6	13	Radiolaria	0,7
	11	x Foraminifera	0,4	14	Polychaeta-Larven	0,6
	12	x Cladocera	0,3	15	Polychaeta	0,5
	13	Mysidacea	0,2	16	Euphausiacea	0,5
	14	Radiolaria	0,1	17	x Trachymedusae	0,4
	15	Siphonophora	0,1	18	x Harpacticoidea	0,3
	16	Polychaeta-Larven	0,1	19	Siphonophora	0,2
				20	x Ophioplutei	0,2
			21	x Ostracoda	0,1	
			22	Anthomedusae	0,1	
			23	x Bivalvia-Larven	0,1	
			24	Mysidacea	0,0	
			25	x Malacostraca-Larven	0,0	
Eudominante		84,8			58,0	
Dominante		5,7			19,9	
Subdominante		4,8			14,6	
Rezendente		2,4			3,6	
Subrezendente		2,4			3,7	

Tab.A16: Vertrauensbereiche ($p < 0.05$) von mittleren Abundanz der in Abb.14 dargestellten taxonomischen Gruppen aus dem USG vor SWA (Tab.1, lfd.Nr.1.1.;Abb.1)

taxonomische Gruppe	Küstenentfernung / km															
	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	
Calanoidea (< 1mm)	404	390	534	854	762	358	369	246	215	315	167	144	181	71	110	
Calanoidea (1-2mm)	569	720	870	817	472	482	479	520	487	397	440	400	398	556	431	
Calanoidea (> 2mm)	131	228	210	247	263	168	152	286	239	197	290	278	228	169	168	
Cyclopoidea	143	252	370	431	310	338	286	294	289	295	174	80	40	123	104	
Nauplia	83	214	197	236	169	106	171	230	167	284	146	86	193	33	19	
Thalioidea	813	454	419	287	295	24	6	33	6	9					17	
Chaetognatha	79	51	61	87	66	64	74	28	26	29	34	21	15	28	6	

Tab.A17: Vergleich der mittleren Chlorophyllkonzentration (Chl.a) an der Meeroberfläche bzw. der mittleren ZPB (0 < z < 30 m, 30 < z < 75 m, entsprechend Tab.4 mit k=15 % korrigiert) zwischen Stationen verschiedener Küstentfernung im USG vor SWA (Tab.1, lfd. Nr.1.1.; Abb.1) mit folgender Bedeutung:

- x= 30 km Nährstoffmaximum (z=0 m)
- x= 40 km ZPB-Minimum (30 < z < 75 m)
- x= 50 km Chl.a-Maximum 1 (z=0 m)
- x= 60 km Chl.a-Maximum 2 (z=0 m) bzw. ZPB-Minimum (0 < z < 30 m)
- x=130 km ZPB-Maximum 1 (0 < z < 30m und 30 < z < 75m)
- x=160 km ZPB-Maximum 2 (0 < z < 30m und 30 < z < 75m).

Der untere Teil enthält Signifikanzvermerke für statistische Unterschiede von Mittelwerten, die für die Fragestellung in Abschnitt 4.1.2. von Interesse sind.

KE (km)	$\overline{\text{Chl.a}}$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) z=0 m			$\overline{\text{ZPB}}$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) 0 < z < 30 m			$\overline{\text{ZPB}}$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) 30 < z < 75 m		
	N	\bar{x}	S.D.	N	\bar{x}	S.D.	N	\bar{x}	S.D.
30	15	1.01	0.87	14	49	72	13	39	27
40							15	32	21
50	14	2.18	1.89						
60	13	2.16	1.69	14	43	23			
130	13	0.88	0.70	13	101	56	13	84	43
160	12	0.55	0.66	12	94	36	12	84	10
30/50	p < 0.05								
50/160	p < 0.01								
60/130	p < 0.05			p < 0.01					
60/160				p < 0.001					
40/130							p < 0.001		
40/160							p < 0.001		

Tab.A18: Autökologisch ermittelte Parameter a und der BĚLEHRÁDEK- Temperatur (T) - Funktion $G=a(t-\alpha)^b$, bei konstantem $b=-2.05$, zur Berechnung der Generationszeiten G in Tagen für ausgewählte Beispiele der Calanoidea und Cyclopoidea nach McLAREN (1978) sowie $T_1=14.32^\circ\text{C}$ und $T_2=16.06^\circ\text{C}$

Beispiel	a	α	G T_1	G T_2	Nachweis im USG vor	
					NWA	SWA
Calanoidea					nach BRENNING (1980) als:	
Pseudocalanus minutus (= P.eolongatus BOECK, 1964)	20025	-11.45	26	22	Familie	Familie
Calanus finmarchicus GUNNER, 1765	31630	-14.10	33	29	Gattung	Familie
Temora longicornis MÜLLER, 1792	16988	-10.40	24	21	Art	-
Acartia clausi GIESBRECHT, 1894	14748	-10.49	20	18	Art	Gattung
Cyclopoidea					nach HAUSMANN et al.(1971) als:	
Oithona similis CLAUS, 1864	12482	- 5.00	29	24	Gattung	Gattung

Tab.A19: Zeitlich über 22.5 d gemittelte ZPB (Y_i), entsprechend Tab.4 mit $k=15\%$ korrigiert, für die Tiefenstufen $0 < z < 30\text{m}$ bzw. $30 < z < 75\text{m}$, in Abhängigkeit zur Küstenentfernung KE (X_i). Die Korrelations- (r) und Regressionskoeffizienten (a , b), einschließlich Irrtumswahrscheinlichkeit p beziehen sich auf die Gerade $ZPB=b*KE+a$, aus der die regressiven ZPB- Werte (y_i) für jede KE berechnet wurden. Die Angaben betreffen das USG vor SWA (Tab.1, lfd. Nr.1.1.;Abb.1).

KE (km)	\overline{ZPB} ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)			
	$0 \leq z \leq 30\text{ m}$		$30 < z \leq 75\text{ m}$	
X_i	Y_i	y_i	Y_i	y_i
30	51	46	39	37
40	47	50	32	40
50	49	53	34	43
60	45	56	43	46
70	64	59	59	50
80	69	62	61	53
90	64	65	71	56
100	69	68	54	59
110	68	71	48	62
120	62	75	62	66
130	101	78	34	69
140	80	81	74	72
150	87	84	74	75
160	94	87	84	78
170	74	90	68	81
r	0.8264		0.8341	
p	< 0.001		< 0.001	
a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	37.0524		27.2405	
b ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}\cdot 10\text{km}^{-1}$)	0.3121		0.3189	

0,3121 $\text{mg}/\text{m}^3/2\text{d}$

0,3189 $\text{mg}/\text{m}^3/2\text{d}$

Tab.A20: Gegenüberstellung der mittleren ZPB ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, einschließlich Anzahl der Werte N und Standardabweichung S.D.) aller am Tag (7.00 - 19.00 Uhr Ortszeit) bzw. während der Nacht im Seegebiet vor SWA (Tab.1, lfd.Nr.1.1.;Abb.1) in zwei Tiefenstufen gewonnenen Planktonproben, in Abhängigkeit zur Küstenentfernung KE (x). Zwischen beiden Kategorien liegt kein statistischer Unterschied vor. Es wurde keine Korrektur der Werte entsprechend Tab.4 vorgenommen.

KE (x) (km)		0 < z < 30 m		30 < z < 75 m	
		Tag	Nacht	Tag	Nacht
30 ≤ x ≤ 170	N	82	82	81	78
	ZPB	61.07	61.49	53.66	52.23
	S.D.	46.05	46.43	32.71	28.59
30 ≤ x ≤ 60	N	21	18	20	19
	ZPB	36.42	47.94	30.46	36.08
	S.D.	34.69	57.58	22.10	20.60
70 ≤ x ≤ 90	N	15	24	15	21
	ZPB	63.84	53.05	56.96	53.96
	S.D.	64.79	41.54	43.14	32.41
100 ≤ x ≤ 130	N	18	19	18	19
	ZPB	77.87	57.85	58.62	51.14
	S.D.	48.56	42.88	31.74	27.83
140 ≤ x ≤ 170	N	28	19	28	19
	ZPB	67.28	87.05	65.29	65.16
	S.D.	33.22	35.13	25.76	25.72

Tab.A22: Gegenüberstellung der mittleren ZPB ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, einschließlich Anzahl der Werte N und Standardabweichung S.D.) sowie der Variationskoeffizienten (%) aller am Tag (7.00 - 19.00 Ortszeit) bzw. während der Nacht in den oberen 200 m des offshore-Bereiches ($H > 200 \text{ m}$, $< 20^\circ\text{W}$) vor NWA (Tab.1, lfd.Nr. 2.1.; Abb.2) gewonnenen Planktonproben. Es wird in einzelne Seegebiete sowie in auftriebsschwache (NA) und auftriebsintensive (A) Saison unterschieden. Kurzbezeichnungen für Seegebiete und Zeitraum für A bzw. NA enthält die Legende der Abb.17. Die ZPB-Daten wurden entsprechend Tab.4 korrigiert. Die Mittelwerte unterscheiden sich nur in 2 Fällen mit $p < 0.05$ (+) bzw. $p < 0.001$ (++).

Seegebiet		NA		Signifikanz- vermerk	A		Signifikanz- vermerk
		Tag	Nacht		Tag	Nacht	
B.d.Ga	N <u>ZPB</u> S.D. C.V.						
B.d.Go.	N <u>ZPB</u> S.D. C.V.				3 18.67 15.31 82 %	6 28.17 11.02 39 %	n.s.
C.B.	N <u>ZPB</u> S.D. C.V.	3 16.67 7.51 45 %	4 28.00 19.98 71 %	n.s.	7 31.57 24.42 77 %	6 110.50 56.64 51 %	++
N.	N <u>ZPB</u> S.D. C.V.	3 22.33 13.05 58 %	4 21.25 4.99 23 %	n.s.	7 60.29 24.47 41 %	10 79.90 71.63 91 %	n.s.
C.V.	N <u>ZPB</u> S.D. C.V.	2 18.00 2.83 16 %	3 20.00 5.29 26 %	n.s.	9 58.78 18.85 32 %	8 60.50 15.31 25 %	n.s.
C.R.	N <u>ZPB</u> S.D. C.V.	2 15.00 0.00 0 %	3 26.33 3.51 13 %	+	7 49.86 19.59 39 %	5 57.00 18.15 32 %	n.s.
C.Vg.	N <u>ZPB</u> S.D. C.V.	3 14.67 5.69 39 %	4 10.75 1.50 14 %	n.s.	9 28.56 11.71 41 %	6 29.50 5.79 20 %	n.s.

Tab.A23: Anzahl der Messungen, auf denen die Mittelwerte an den Stützstellen der Abbildungen 20 bis 22 basieren. Ziffern von 1 bis 12 symbolisieren die Monate eines Jahres. Kurzbezeichnungen für Seegebiete enthält die Legende der Abb.17.

See- gebiet	0 < z < 200 m																																			
	H > 200 m						200 > H > 75 m						H < 75 m																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
B.d.Ga.	4	2	3	4	3	4	1	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2												
B.d.Go.	5	4	5	4	6	6	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2												
C.B.	7	7	7	6	6	6	4	4	4	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
N.	7	9	8	10	7	6	7	6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
C.V.	8	9	8	4	4	6	4	6	5																											
C.R.	6	6	4	4	5	5	4	5	5				1	1	1	1	1	1	2	2	2	1		2												
C.Vg.	8	7	4	4	7	7	4	7	7				1	1	1	1	1	1	2	2	2	2		2												
H > 200 m																																				
See- gebiet	0 < z < 25 m												25 < z < 75 m												75 < z < 200 m											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	B.d.Ga.	4	3	3	4	5	6	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
B.d.Go.	5	3	5	5	6	6	4	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
C.B.	5	7	7	6	6	6	4	4	4	6	1	1	7	7	7	7	7	7	4	4	4	4	4	4	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
N.	7	8	10	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
C.V.	8	8	8	4	4	5	4	6	5				8	8	8	8	8	8	4	4	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		
C.R.	5	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
C.Vg.	8	6	6	6	6	8	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6	6	6	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8		

Tab.A24: Mittlere ZPB über dem Schelf (H<200 m) vor NWA (Mauretanien, Westsahara) und SWA mit Angaben zu Untersuchungszeiträumen, -gebieten, Anzahl der Werte (N) und Standardabweichungen (S.D.). Die ZPB-Daten wurden entsprechend Tab.4 korrigiert.

NWA		N	$\overline{\text{ZPB}}$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	S.D. ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)
Mauretanien $16^{\circ}\text{N} < \varnothing < 19^{\circ}\text{N}$ 15.-18.3.1984 $26 \leq H \leq 240 \text{ m}$	Deckschicht $0 < \bar{z} < a$ ($a = 45 \pm 15\text{m}$)	43	67.2	25.9
	Tiefenschicht $a < \bar{z} < b$ ($b = a + 28 \pm 10\text{m}$)	42	34.4	20.1
	$0 < z < 240\text{m}$		<u>51</u>	(geschätzt)
Westsahara $22^{\circ}\text{N} < \varnothing < 26^{\circ}\text{N}$ 25.-31.3.1976 $0 < z < 200 \text{ m}$	$H < 75 \text{ m}$	20	38.3	29.9
	$200 > H > 75 \text{ m}$	29	52.7	39.1
	gesamt	75	<u>42.8</u>	30.8
SWA $\varnothing = 22^{\circ}\text{S}$ 16.10.-7.11.1979 $120 \leq H \leq 220 \text{ m}$	$0 \leq z \leq 30 \text{ m}$	54	48.1	50.0
	$30 \leq z \leq 75 \text{ m}$	52	36.9	22.2
	$0 \leq z \leq 75 \text{ m}$		<u>43</u>	(geschätzt)

Tab.A25: Anzahl der Messungen, auf denen die Mittelwerte an den Stützstellen der Abb.23 basieren. Sie wurden nach zunehmender Tiefe geordnet ($0 < z < 25$ m, $25 < z < 75$ m, $75 < z < 200$ m) und durch Komma getrennt aufgeführt. Kurzbezeichnungen für Seegebiete enthält die Legende der Abb.17.

Seegebiet	H > 200 m		H < 200 m	
	23.2.-14.3.1973 14.5.-30.5.1974	24.12.1972- 10.1.1973	23.2.-14.3.1973 14.5.-30.5.1974	24.12.1972- 10.1.1973
B.d.Ga.	3, 3, 3	4, 4, 4	9, 8, 1	5, 5, 2
B.d.Go.	10, 9, 8	5, 4, 4	6, 4, 1	2, 3, 1
C.B.	13, 10, 10	5, 7, 7	3, 4, 2	2, 2
N.	18, 18, 18	7, 6, 7		2, 2
C.V.	16, 17, 17	5, 4, 5		2, 2
C.R.	11, 11, 10	4, 4, 4	6, 3, 2	3, 1, 1
C.Vg.	14, 14, 15	8, 8, 9	6, 2	3, 1
				28.10.- 8.11.1970
				28.10.- 8.11.1970

Tab.A26: Schwankungsbreite der zonal gemittelten, regionalen ZPB-Werte vor NWA (Tab.1, lfd.Nr. 2.1.;Abb.2)
a) in den oberen 200 m der offshore-Zone ($H > 200$ m, $\Lambda < 20^\circ W$) und des Schelfbereiches ($H < 200$ m) sowie
(s. nächste Seite)

See- gebiet		0 < z < 200 m			
		H > 200 m		H < 200 m	
		Max.	Min.	Max.	Min.
B.d.Ga.	N	3	2	4	5
	\overline{ZPB}	13,33	3,50	44,75	5,20
	S.D.	5,69	3,53	20,69	2,49
	t	(5,74)	(2,76)	(3,73)	(2,76)
B.d.Go.	N	4	1	3	3
	\overline{ZPB}	26,25	5,00	92,00	15,33
	S.D.	15,67	-	55,97	5,51
	t	(5,74)	(6,72)	(5,74)	(2,76)
C.B.	N	4	7	2	2
	\overline{ZPB}	89,50	23,14	185,50	18,50
	S.D.	71,37	15,97	45,96	9,19
	t	(9,70)	(1,73)	(3,73)	(6,72)
N.	N	9	7	2	2
	\overline{ZPB}	80,78	13,14	81,00	24,00
	S.D.	72,71	6,36	33,94	0,00
	t	(3,73)	(8,70)	(11,70)	(9,70)
C.V.	N	9	4		
	\overline{ZPB}	59,89	7,25		
	S.D.	16,68	1,71		
	t	(5,74)	(8,70)		
C.R.	N	6	4	3	2
	\overline{ZPB}	53,50	9,50	184,00	43,00
	S.D.	19,47	3,42	91,00	11,31
	t	(2,73)	(7,72)	(2,73)	(12,72)
C.Vg.	N	8	4	3	3
	\overline{ZPB}	29,75	15,00	390,67	72,67
	S.D.	11,84	3,37	127,88	32,47
	t	(2,73)	(12,72)	(2,73)	(8,72)

b) in der in 3 Tiefenstufen gegliederten 200 m Deckschicht der offshore-Zone.

Die Angaben enthalten ferner Wertebereich (N), Standardabweichung (S.D.) und Zeitpunkt (Monat, Jahr) in denen die Extrema zu verzeichnen waren. Kurzbezeichnungen für Seegebiete enthält die Legende der Abb.17. Die ZPB-Daten wurden entsprechend Tab.4 korrigiert.

See- gebiet		H > 200 m					
		0 < z < 25 m		25 < z < 75 m		75 < z < 200 m	
		Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
B.d.Ga.	N	3	2	3	1	3	3
	ZPB	26,67	14,00	32,33	12,00	6,00	2,67
	S.D.	22,05	0,00	22,01	-	5,20	1,53
	t	(5,74)	(9,70)	(5,74)	(9,70)	(5,74)	(11,70)
B.d.Go.	N	5	1	4	4	5	1
	ZPB	78,00	8,00	41,50	19,00	12,60	3,00
	S.D.	36,72	-	37,53	18,05	4,22	-
	t	(3,73)	(11,70)	(5,74)	(9,70)	(4,73)	(11,70)
C.B.	N	6	6	5	6	7	7
	ZPB	344,50	54,83	191,00	29,50	29,71	9,86
	S.D.	380,50	46,20	159,32	25,21	15,50	4,78
	t	(5,74)	(11,70)	(9,70)	(11,70)	(3,73)	(11,70)
N.	N	8	7	9	6	10	6
	ZPB	269,25	27,14	54,89	11,83	27,00	6,00
	S.D.	188,22	9,64	26,79	6,97	21,71	1,55
	t	(3,73)	(8,70)	(5,74)	(10,70)	(5,74)	(10,70)
	N	8	4	9	4	9	4
	ZPB	232,75	17,50	70,78	4,50	19,56	4,25
	S.D.	88,34	2,38	40,12	2,89	7,94	2,50
	t	(3,73)	(8,70)	(5,74)	(8,70)	(5,74)	(8,70)
C.R.	N	5	4	5	4	4	4
	ZPB	204,60	60,75	100,40	42,50	23,50	4,50
	S.D.	84,97	41,93	51,02	7,14	17,71	1,91
	t	(2,73)	(12,72)	(2,73)	(12,72)	(2,73)	(12,72)
C.Vg.	N	6	8	6	8	7	9
	ZPB	97,17	39,00	62,00	21,63	17,86	4,33
	S.D.	29,93	22,58	46,60	4,78	12,93	2,40
	t	(5,74)	(12,72)	(5,74)	(12,72)	(5,74)	(12,72)

Tab.A27: Regionale Schwankungsbreite der ZPB auf der Basis von Einzelwerten in der gesamten oberen Wassersäule bis maximal 200 m Tiefe, die in 3Tiefenstufen untergliedert sein kann,
a) in der offshore-Zone ($H > 200 \text{ m}$, $\Delta < 20^\circ \text{W}$) und
(s. nächste Seite)

See- gebiet	H > 200 m																
	0 < z < 200 m		0 < z < 25 m		25 < z < 75 m		75 < z < 200 m										
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.					
B.d.Ga.	19 (808; 6,72)	1 (806;276; 6,72)	51 (805; 5,74)	7 (805;11,70; 808; 1,73)	54 (806; 5,74)	5 (807;11,70; 808; 1,73)	12 (806; 5,74)	1 (806; 11,70)	40 (824; 5,74)	3 (824; 828;6,72)	150 (823; 5,74)	8 (825; 9,70; 823;11,70)	96 (824; 5,74)	9 (825; 826; 11,70)	19 (823; 2,76)	3 (825;826;9,70; 823; 11,70; 824; 1,73)	
C.B.	186 (846;5,74; 845;9,70)	5 (848; 5,74)	1096 (846; 5,74)	7 (848; 11,70)	455 (845; 9,70)	7 (848; 1,73)	257 (847; 5,74)	3 (848; 5,74)	266 (864; 3,73)	7 (863; 9,70)	620 (864; 3,73)	11 (863; 9,70)	101 (863; 1,73)	5 (863;11,70; 865; 1,73)	82 (869; 5,74)	3 (868; 11,70)	
C.V.	91 (887; 3,73)	5 (883; 8,70)	403 (884; 3,73)	15 (882; 8,70)	152 (885; 5,74)	1 (883; 8,70)	43 (884; 10,70)	1 (886; 10,70)	91 (905; 2,73)	5 (906; 7,72)	340 (908; 2,73)	30 (907; 12,72)	185 (903; 2,73)	33 (905; 12,72)	50 (903; 2,73)	3 (904; 905; 12,72)	
C.Vg.	50 (924; 2,73)	10 (925;7,72; 924;927; 12,72)	142 (923; 5,74)	20 (925; 12,72)	147 (926; 5,74)	13 (923; 12,72)	43 (925; 5,74)	2 (927; 12,72)									

b) im Schelfbereich (H<200 m) vor NWA (Tab.1, lfd. Nr.2.1.; Abb.2) .
 Position (Standard-Stationennummer entsprechend Tab.A2 bzw. Abb.2) und
 Zeitpunkt des Auftretens (Monat, Jahr) sind in Klammer vermerkt. Kurz-
 bezeichnungen für Seegebiete enthält die Legende der Abb.17. Die ZFB-
 Daten wurden entsprechend Tab.4 korrigiert.

See- gebiet	H < 200 m					
	0 < z < 200 m		0 < z < 25 m		25 < z < 75 m	
	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.
B.d.Ga.	96 (804; 5,74)	<u>3</u> (800;802; 2,76)	111 (804; 5,74)	<u>2</u> (801; 2,76)	116 (802; 3,73)	<u>1</u> (800,801; 2,76)
B.d.Go.	155 (822; 5,74)	9 (822; 2,76)	256 (822; 1,73)	11 (821; 2,76)	125 (822; 5,74)	6 (822; 2,76)
C.B.	165 (840; 11,70)	12 (841; 6,72)	<u>782</u> (840; 3,73)	40 (840; 5,74)	202 (841; 9,70)	16 (840; 1,73)
C.R.	280 (902; 2,73)	9 (902; 7,72)	549 (902; 2,73)	35 (901; 12,72)	257 (901; 2,73)	26 (902; 12,72)
C.Vg.	<u>502</u> (921; 2,73)	51 (922; 7,72)	502 (921; 2,73)	38 (922; 12,72)	188 (922; 2,73)	41 (922; 12,72)

Meereswissenschaftliche Berichte
MARINE SCIENTIFIC REPORTS

Verzeichnis der veröffentlichten Arbeiten
(List of Published Contributions)

1 (1990) Postel, Lutz:

Die Reaktion des Mesozooplanktons, speziell der Biomasse, auf küstennahen Auftrieb vor Westafrika (The Mesozooplankton Response to Coastal Upwelling off West Africa with Particular Regard to Biomass)