

# Copyright ©

---

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Schrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

## Die mittlere Tiefenverteilung von Seston, Mikrobiomasse und Detritus im nördlichen Nordatlantik<sup>1)</sup>

Von JOHANNES KREY

Herrn Prof. Dr. W. v. Buddenbrock zum achtzigsten Geburtstag gewidmet

**Zusammenfassung:** Aus einem Material von je 1600 Seston- und Eiweißbestimmungen, die im Rahmen der deutschen Beteiligung am Polarfront-Programm des IGY gewonnen wurden, werden hier mittlere Tiefenverteilungswerte für diese beiden Komponenten der partikulären Substanz errechnet. Dabei ergeben sich Mittelwerte des Sestons für die Oberfläche zwischen 580 und 1810  $\mu\text{g/l}$  und für das Eiweiß von 28 bis 65  $\mu\text{g/l}$ . Beide unterliegen in den obersten 50—100 m einer starken Reduktion (27—75%), die z. T. auf Akkumulation, z. T. auf Mineralisation zurückzuführen ist. Die Einzelwerte für große Tiefen (> 1000 m) bewegen sich oft an der Grenze der Nachweisbarkeit; die Mittel betragen für das Südgebiet bei 1480 m Tiefe 100 bzw. 80  $\mu\text{g}$  Seston und 6 bzw. 17  $\mu\text{g}$  Eiweiß/l. Aus den Eiweißanalysen wird mit Hilfe tiefenvariabler Faktoren der Gehalt an lebender Substanz errechnet und daraus wieder durch Differenzbildung die mittleren Werte für den Detritusgehalt im hohen Ozean. Dieser beträgt an der Oberfläche 520 und 1190  $\mu\text{g/l}$  und sein Anteil im Spätwinter bzw. Spätsommer am Seston 76 und 79%. Ferner wird ein Vergleich zwischen Mittelwerten der gelösten organischen Substanz (n. Duursma) und denen der lebenden Substanz angestellt. Die Relation beider zu einander beträgt während der Sommeruntersuchungen 14.0 : 1 (51—100 m) bis 48.1 : 1 (401—500 m).

**The average vertical distribution of seston, microbimass and detritus in the northern North Atlantic (Summary):** From 1600 determinations each of seston and albumen, obtained during the German participation in the Polar Front Survey of IGY, mean values of vertical distribution for both of the components of particulate matter are being calculated here. By that mean surface values for seston are being found between 580 and 1810  $\mu\text{g/l}$  and for albumen from 28 to 65  $\mu\text{g/l}$ . Both of them are liable to a considerable reduction (27—75%) in the upper 50—100 m, being due partly to accumulation and partly to mineralisation. Single values for large depths (> 1000 m) are moving at the boundaries of methods; the means for the southern area at a depth of 1480 m are amounting respectively to 100 and 80  $\mu\text{g}$  for seston and 6 and 17  $\mu\text{g/l}$  for albumen. From the albumen analyses the contents of living substance is being calculated by means of factors variable to depth, and from that mean values for the content of detritus in the central ocean are found out by difference. The content at the surface is amounting to 520 and 1190  $\mu\text{g/l}$  and its share of seston in late winter and late summer respectively to 76 and 79%. Furthermore a parallel is drawn between the mean values of the organic matter in solution (after Duursma) and those of the living substance. The relation of both of them is amounting from 14.0 : 1 (51—100 m) to 48.1 : 1 (401—500 m) during summer investigations.

Im Rahmen der deutschen Beteiligung am Polarfront-Programm im IGY 1958 konnten neben den ozeanographischen Untersuchungen auf FVS „Gauss“ und FFS „Anton Dohrn“ in begrenztem Umfange auch produktionsbiologische Untersuchungen vorgenommen werden. Sie erstreckten sich auf eine Bestimmung des Bestandes an Seston, Mikrobiomasse und Chlorophyll sowie einzelne Serien zur Feststellung der Produktionskapazität mit der  $\text{C}^{14}$ -Methode im Tankversuch. Diese Bemühungen fanden eine Ergänzung durch eine sehr große Anzahl von Planktonzählungen, die von Dr. Gillbricht geplant und durchgeführt wurden, sowie durch die Bestimmung der gelösten organischen Substanz von Dr. Gillbricht und Dr. Duursma. Es muß dankbar hervor-

<sup>1)</sup> Diese Untersuchung wurde fast ausschließlich mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt, der auch hier für diese Förderung herzlich gedankt sei.

gehoben werden, daß nur infolge der großzügigen Planung und Durchführung der vier Fahrtabchnitte ein umfangreiches Material von je 1600 Seston- und Eiweißproben gewonnen werden konnte. Gleichfalls muß betont werden, daß die Gewinnung und Verarbeitung der großen Probenzahl nur dank des restlosen Einsatzes meiner Mitarbeiter auf beiden Schiffen, insbesondere Dr. Diesfeld, cand. Wellershaus und Mag. Hantschmann bei größtenteils schweren Arbeitsbedingungen erfolgte.

Die Probennahme erstreckte sich über den nördlichen Nordatlantik in vier verschiedenen Fahrtabchnitten. Einzelheiten über Fahrtprogramm und besonders die Stationslage sind in den von BÖHNECKE und BÜCKMANN (1959) herausgegebenen Sammelberichten verzeichnet. Hier seien nur die vier Fahrtabchnitte kurz charakterisiert (s. auch Abb. 1): die Abschnitte G<sub>w</sub> und AD<sub>w</sub> wurden in der Zeit vom 6. 3. bzw. 27. 2. bis zum 7. 5. bzw. 22. 4. 1958 befahren. Die befahrenen Kurse lagen in dem Raum zwischen 39° N—55° N und 25° W—48° W („Gauss“) sowie zwischen 57° N—67° N und 25° W—44° W. Die Abschnitte G<sub>s</sub> und AD<sub>s</sub> fielen in die Zeit zwischen 27. 7. bzw. 4. 8. und 25. 9. bzw. 27. 9. 1958. Hier wurden annähernd die gleichen Kurse wie im Spätwinter befahren, wobei von „Gauss“ ein Abstecher nach Neufundland gemacht wurde und „Anton Dohrn“ zusätzlich im Seegebiet unmittelbar vor der ostgrönländischen Küste arbeiten konnte.

Das hier zusammengefaßte Material wurde auf insgesamt 281 Stationen und zahlreichen Oberflächen-Schöpfungspunkten gesammelt. Es besteht aus 1646 Seston- und 1605 Eiweißproben. Davon stammen aus der biologischen Tiefsee, also aus Tiefen von 1000 m und darüber 77 Seston- und 76 Eiweißproben.

#### Methodik

Auf den Stationen wurden mit schwermetallfreien Wasserschöpfern (nach Gehlsen) von 5 l Inhalt Wasserproben aus verschiedenen Tiefen entnommen. Auf „Gauss“ konnten außer oberflächennahen noch sogenannte gezielte Proben aus Tiefen um 100—200 m gefördert werden dank enger Zusammenarbeit mit Dr. Joseph, der bis zu 500 m Tiefe Registrierungen der Lichtextinktion vornahm. Diese Proben wurden je nach verfügbarer Zeit durch Tiefenproben ergänzt, wobei in einigen Fällen solche aus über 4000 m Tiefe gewonnen wurden. Auf „Anton Dohrn“ war eine gezielte Probennahme nicht möglich; hier wurden die Proben nach vorher festgelegtem Tiefenschema gewonnen. Auf beiden Schiffen wurden die Tiefenproben durch Oberflächenproben ergänzt. Diese wurden während der Fahrt am Bug des Schiffes mit einem Plastikgefäß, das an einem glatten Plastikdraht befestigt war, geschöpft. Dadurch wurde eine Verschmutzung der Proben durch das Schiff vermieden.

Die Aufarbeitung erfolgte möglichst sofort nach der Probennahme, spätestens jedoch nach zwei Stunden. Das Wasser wurde über feinporige, sogenannte geglättete Papierfilter (Schleicher & Schüll Nr. 1575) mit einer mittleren Porenweite von 1,8  $\mu$  bei Unterdruck von 0,5—0,9 atm filtriert. Das nach der Filtration noch anhaftende Meersalz wurde durch dreimalige Zugabe von je 5 ml aqua bidest. und anschließendem sorgfältigen Abspritzen der Filterränder entfernt. Die Filter wurden dann bei ca. 50° in einem kleinen Trockenofen zur Lufttrocknung gebracht und zu etwa 50 in luftdichte Plastikdosen verpackt. Die Dauer des gesamten Filtrationsvorganges betrug für oligotrophes Wasser ca. 15 Minuten bei einer Menge von 4 l Wasser, für relativ eutrophes Wasser ca. 2—3 Stunden bei 4 l Wasser.

Die endgültigen Aufarbeitungen wurden im Institut für Meereskunde in Kiel durchgeführt. Dank der sehr genauen Arbeitsweise der beteiligten Helfer konnte eine zuverlässige Empfindlichkeit von  $\pm 100 \mu\text{g}$  für die Sestonbestimmung und von  $10 \mu\text{g}$  für

die Eiweißbestimmung erreicht werden. Einzelheiten des Analysenvorganges sind bei KREY, BANSE und HAGMEIER (1957) beschrieben. Für den Einzelwert kann man also, da fast immer 4-l-Proben verarbeitet wurden, eine Genauigkeit von  $\pm 25 \mu\text{g/l}$  Seston und  $\pm 2,5 \mu\text{g}$  Eiweiß angeben. Alle Werte sind hier als Trockensubstanz  $\mu\text{g/l}$  l aufgeführt.

Die hier angewendete Methode der Eiweißbestimmung an sehr kleinen Substanzmengen ( $> 10 \mu\text{g}$  Eiweiß) findet eine wesentliche Bestätigung durch die mikroskopischen Planktonzählungen und Berechnungen, die GILLBRICHT (noch unveröffentlicht) an denselben Wasserproben durchgeführt hat. In Tabelle 1a sind Mittelwerte aus den Planktonzählungen von GILLBRICHT und von unseren Eiweißanalysen, beide berechnet auf  $\mu\text{g C/l}$ , zusammengestellt worden. Die zueinander gehörigen Wertepaare ergeben besonders in der Deckschicht oft eine erstaunliche Übereinstimmung. Wenn die aus den Eiweißanalysen errechneten C-Werte hier immer etwas höher als die durch mikroskopische Auszählung ermittelten liegen, so liegt der Grund dafür sehr wahrscheinlich in dem Bakterienbesatz, der aus technischen Gründen nicht mit ausgezählt werden konnte. Daß in Tiefen über 50 m die Wertepaare stärker divergieren, ist wahrscheinlich in der Zählstatistik begründet. Aber auch die Umrechnungsfaktoren, mit denen die Ausgangswerte (Zählungen wie Eiweißanalysen) versehen werden mußten, mögen hier mit-spielen.

Tabelle 1  
Mittelwerte der Menge der lebenden Substanz  
a) nach der Zählmethode von GILLBRICHT  
b) nach der Eiweißmethode  
Angaben in  $\mu\text{g C/l}$ ; Nordatlantik 1958

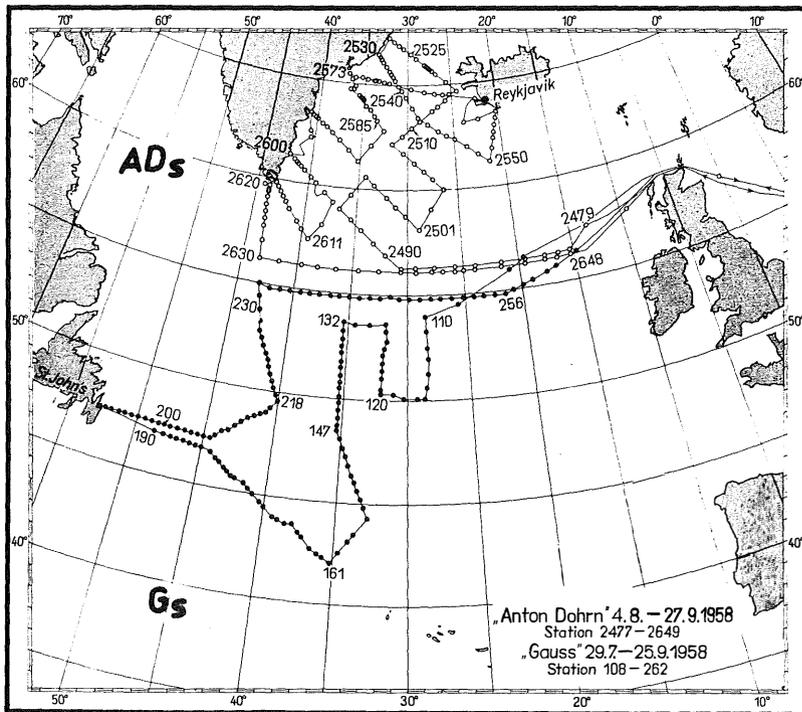
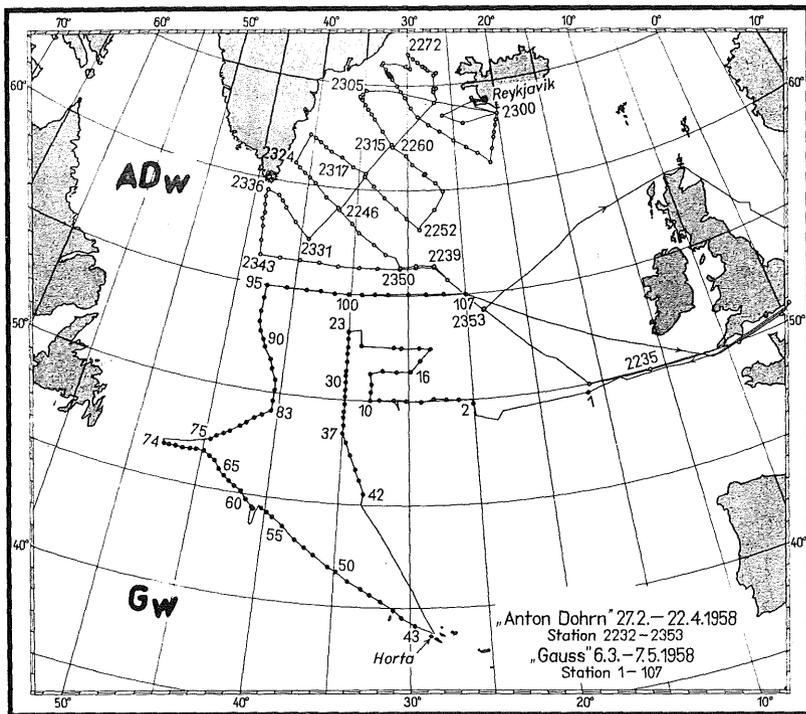
Gs = Südliches Gebiet VIII/IX  
ADs = Nördliches Gebiet VIII/IX

Tiefenstufe	Gs				ADs			
	a) $\mu\text{g C/l}$	n	b) $\mu\text{g C/l}$	n	a) $\mu\text{g C/l}$	n	b) $\mu\text{g C/l}$	n
0	—	—	55	68	42,2	48	65	188
1—20	41,1	66	53	65	42,1	44	54	35
21—30	29,2	77	32	77	35,5	54	43	60
31—40	32,6	12	26	14	25,0	47	37	32
41—50	16,0	8	7	6	18,9	48	31	31
51—100	4,6	95	22	101	9,3	117	35	64
101—150	3,7	16	15	16	6,1	50	22	26
151—200	1,9	3	5	1	3,6	47	13	24
201—300	1,9	3	25	1	3,2	61	16	15
301—400	1,9	3	6	1	3,3	42	—	—
401—500	—	—	—	—	5,3	37	19	8
501—600	2,1	5	15	65	4,6	1	—	—

#### Mittelwerte von Seston und Eiweiß:

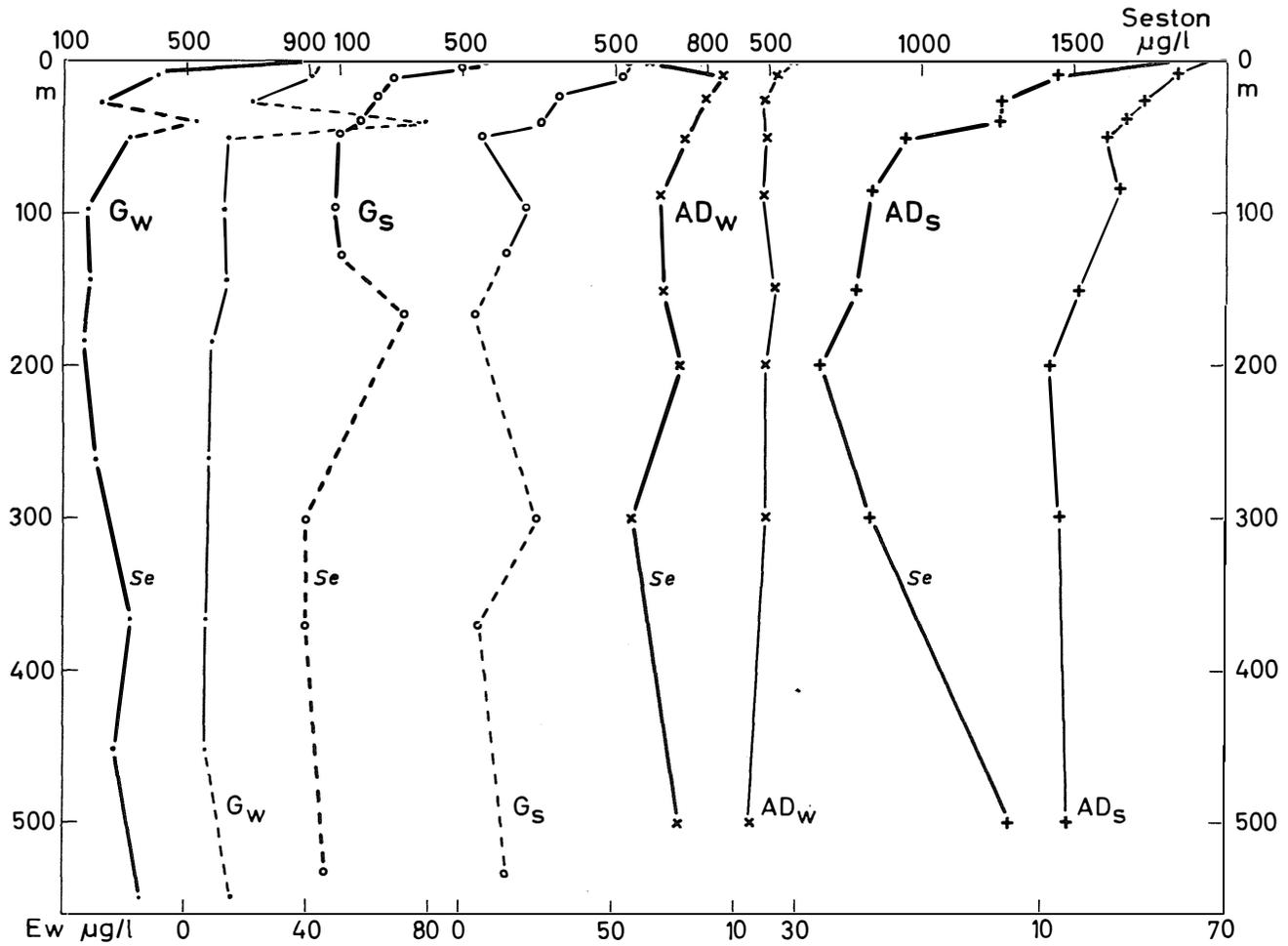
Auf der Grundlage eines Materials von über 1600 Proben sollen hier zunächst Mittelwertberechnungen für Seston und Eiweiß angestellt werden. Derartige Mittelwerte geben einem unabhängig von Einzelsituationen einen allgemeinen Eindruck von der Verteilung dieser Meßgrößen und zwar auch dann, wenn der errechnete Wert selbst

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 1)  
Stationskarten der Spätwinter- und Spätsommerfahrten von „Gauss“ und „Anton Dohrn“  
im IGY 1958.



Tafel 1 (zu J. Krey)

Tafel 2 (zu J. Krey)



unter natürlichen Verhältnissen nicht auftritt. Der Wert solcher Rechnungen liegt — und das gilt besonders für derartige Analysen, wie sie hier erstmalig im Ozean angestellt wurden — in einer Charakterisierung von Verteilungszuständen. Wir wissen sehr wohl um deren räumliche und zeitliche Heterogenität und müssen gerade deswegen durch die Methode der generalisierenden Mittelbildung die allgemeinen Grundzüge zu erarbeiten suchen. Auf eine rein statistische Bearbeitung wurde verzichtet, weil die Anzahl der Beobachtungen innerhalb einzelner Tiefenstufen zu gering und zu verschieden ist.

In Tabelle 2 und 3 sind die Ergebnisse dieser Mittelwertberechnungen zusammengefaßt. Sie wurden hier ergänzt durch die Angaben über die mittlere Tiefe, die Grenzwerte und die der jeweiligen Mittelwertbildung zugrundeliegenden Probenanzahl. Wenn in diesen Tabellen oft Minimalwerte erscheinen, die kleiner als 25 bzw. 2,5  $\mu\text{g}$  sind, so liegt der Grund dafür ausschließlich in der rechnerischen Behandlung des Analysenmaterials.

In der Sestonverteilung ist zunächst auffällig, daß im südlichen Untersuchungsgebiet ( $G_w$  und  $G_s$ ) die Oberflächenwerte des Sestons mehr als zweimal so hoch liegen als die in 9 bzw. 10 m. Auch im nördlichen Gebiet zeigt sich im Sommer ( $AD_s$ ) ein höherer Oberflächenwert (1810  $\mu\text{g}$  in 0 m gegen 1450  $\mu\text{g}$  in 9 m). Dagegen findet man hier im Winter ( $AD_w$ ) den Oberflächenwert niedriger als den der 10-m-Stufe. Die Ursachen dafür können wegen der großen Unterschiede in der Probenanzahl und wegen der stark differierenden Grenzwerte (maximal 1:222) in rein statistischen Gründen liegen. Es wurde jedoch schon von anderen Autoren beobachtet (u. a. HAGMEIER, 1963), daß am Oberflächenhäutchen eine Akkumulation von Partikeln erfolgt. Wenn auch wir hier eine solche annehmen, dann können wir aufgrund der Eiweißanalysen sagen, daß vorwiegend lebloses Material am Oberflächenhäutchen angesammelt wurde.

Die mittlere Tiefenverteilung des Sestons ist recht unterschiedlich: im südlichen Gebiet ergibt sich im Winter eine unregelmäßige Abnahme bis zu 261 m; es folgt ein Zwischenmaximum, das jedoch statistisch nur schwach gesichert ist. Der Tiefenwert für 1484 m liegt mit 100  $\mu\text{g/l}$  im Rahmen des methodisch und statistisch Gesicherten. Die Sommerwerte dieses Gebietes ( $G_s$ ) weisen einen gleichmäßigen vertikalen Abfall auf, wenn man von einem Einzelwert in 165 m Tiefe absieht. Die Reduktion der Sestonwerte hat im wesentlichen bereits in 50 m ihren Abschluß gefunden. Der vorläufige Endwert liegt hier bei 100  $\mu\text{g/l}$ , also bei ca. 36% des Wertes in 10 m. Diese Reduktion ist vorwiegend durch biotische Vorgänge erklärbar, die sowohl zu einer Akkumulation in größere — hier nicht erfaßte — Lebewesen führt als auch in einer Mineralisation bedingt ist. Die weitergehende Reduktion läßt den Wert von 100  $\mu\text{g/l}$  in 50 m auf 30  $\mu\text{g/l}$  in 4420 m sinken. Es ist wahrscheinlich, daß in diesem Abschnitt in stärkerem Maße chemische und bakteriologische Prozesse für das Absinken um weitere 30% verantwortlich sind.

Im Winter zeigt sich im nördlichen Untersuchungsgebiet ( $AD_w$ ) ebenso wie im südlichen ( $G_w$ ) ein unregelmäßiger Abfall, wobei im Norden die Stufenmittelwerte etwa zweimal so hoch liegen wie im südlichen. Die Erklärung für diesen Unterschied ist kaum allein in biologischen Vorgängen zu finden. Wie schon früher (KREY 1961) angedeutet, liegt eine Erklärungsmöglichkeit für den im Verhältnis zum südlichen Untersuchungsgebiet sehr hohen Sestongehalt in dem von abtauenden Gletschern bzw. Eisbergen zugeführten feinputikulärem anorganischen Material.

---

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 2)

Mittlere Vertikalverteilung von Seston und Eiweiß in  $\mu\text{g/l}$  auf den vier Fahrtabschnitten im IGY.

Während des Sommerabschnittes der Untersuchungen (ADs) findet zwar eine erhebliche Reduktion des Sestons von 1450  $\mu\text{g/l}$  in 9 m Wassertiefe auf 950  $\mu\text{g/l}$  in 50 m, das sind 66%, statt. Der hier erfaßte „Endwert“ für 1000—1625 m liegt mit 580 bzw. 400  $\mu\text{g/l}$  noch immer vier- bis zehnmal so hoch wie die vergleichbaren Werte im südlichen Untersuchungsgebiet. Die entsprechenden Eiweißwerte beider Fahrtabschnitte bestärken die Ansicht, daß hier abiotische Vorgänge den Sestongehalt stark erhöht haben.

Die Mittelwerte für die Eiweißgewichte, die hier auch Mikrobiomasse genannt werden (s. dazu KREY, 1961), zeigen von der Oberfläche bis zu den größten Tiefen den zu erwartenden Abfall, wenn man von kleinen, statistisch bedingten Schönheitsfehlern absieht (s. Abb. 2). Im Einzelnen schwanken die Grenzwerte besonders in der biologisch stark aktiven Deckschicht oft im Verhältnis 1:100, ja es wurden z. B. im Abschnitt Gs Grenzwerte in 0 m zwischen 0 und 1230  $\mu\text{g Ew/l}$  beobachtet. Im südlichen Gebiet treffen wir mit 44  $\mu\text{g/l}$  eine 9 m mächtige Wasserschicht relativ hoher Werte an. Es folgt eine Schicht zwischen 10 und 150 m mit mittleren Gehalten (21—13  $\mu\text{g}$ ), und darunter bis 1484 m niedrige Werte zwischen 9 und 6  $\mu\text{g/l}$ . Während des Sommers (Gs) können wir gleichfalls eine Deckschicht (0—10 m) mit hohen Werten ( $> 50 \mu\text{g/l}$ )

Tabelle 2  
Seston- und Eiweiß-Werte der Fahrten Gw und Gs

Tiefenstufe	Mittl. Tiefe	Seston $\mu\text{g/l}$			n	Eiweiß $\mu\text{g/l}$			n
		Mittelwert	min.	max.		Mittelwert	min.	max.	
Gw 0	0	900	50	5190	44	44	0	106	44
1— 20	9	400	90	900	11	41	4	173	11
26— 30	26	220	0	940	53	21	1	157	53
31— 40	39	530	250	560	3	78	20	115	3
41— 50	50	310	90	640	38	14	0	95	37
51— 100	97	180	0	620	39	13	6	54	39
101— 150	144	190	10	440	35	14	0	24	35
151— 200	184	170	50	540	20	9	2	22	20
201— 300	261	210	10	470	22	8	1	28	21
301— 400	366	320	210	500	7	7	2	14	7
401— 500	452	270	150	350	5	7	4	17	5
601—1000	550	350	—	—	1	15	—	—	1
1001—2000	1484	100	20	360	11	6	2	10	11
Gs 0	0	580	10	2220	74	55	0	1230	68
1— 20	10	280	10	830	69	53	4	600	65
21— 30	22	230	40	740	80	32	1	677	77
31— 40	39	170	40	550	14	26	8	62	14
41— 50	47	100	60	150	6	7	2	60	6
51— 100	96	90	0	310	105	22	1	190	101
101— 150	127	110	10	350	17	15	3	39	16
151— 200	165	320	—	—	1	5	—	—	1
201— 300	300	0	—	—	1	25	—	—	1
301— 400	370	0	—	—	1	6	—	—	1
501— 600	533	60	0	360	66	15	2	58	65
601—1000	950	110	—	—	1	10	—	—	1
1001—2000	1480	80	0	300	43	17	3	75	42
2001—3000	2525	50	20	110	6	14	3	40	6
3001—4000	3340	100	0	190	5	20	9	51	5
4001—5000	4420	30	0	50	6	6	0	14	6

von einer Zwischenschicht (20—100 m) mit 32—22  $\mu\text{g}$  und der Tiefenschicht mit relativ gleichbleibenden Werten zwischen 14 und 17  $\mu\text{g}$  unterscheiden. Die Anzahl der Beobachtungen in Bodennähe ist verhältnismäßig gering und ergibt einen Mittelwert von 5  $\mu\text{g}$  in 4420 m. Es ist auffällig, daß die Grenzwerte in der Tiefe eine geringere Spanne umfassen als in der Deckschicht.

Tabelle 3  
Seston- und Eiweißwerte der Fahrten AD<sub>w</sub> und AD<sub>s</sub>

Tiefenstufe	Mittl. Tiefe	Mittelwert	Seston $\mu\text{g/l}$ Grenzwerte		n	Mittelwert	Eiweiß $\mu\text{g/l}$ Grenzwerte		n
			min.	max.			min.	max.	
AD <sub>w</sub> 0	0	610	40	2460	130	28	0	152	127
1— 20	10	850	30	1650	25	23	0	122	26
21— 30	25	800	210	2350	49	19	0	77	49
31— 40	—	—	—	—	—	—	—	—	—
41— 50	50	730	130	3120	25	20	0	39	24
51— 100	87	650	110	2160	49	19	0	59	50
101— 150	150	660	150	1460	21	23	0	147	23
151— 200	200	720	0	2420	24	20	2	57	24
201— 300	300	560	0	1710	20	20	0	86	20
301— 400	—	—	—	—	—	—	—	—	—
401— 500	500	710	20	1200	12	15	0	54	14
501— 600	—	—	—	—	—	—	—	—	—
601—1000	850	950	340	1980	6	6	3	10	6
1001—2000	1250— 1450	620	370	860	2	2	1	3	42
AD <sub>s</sub> 0	0	1810	170	7860	203	65	0	186	188
1— 19	9	1450	210	3390	35	54	0	161	35
20— 30	25	1260	100	2990	61	43	0	185	60
31— 40	39	1260	120	7000	34	37	0	103	32
41— 50	50	950	20	2910	31	31	0	121	31
51— 100	84	840	90	5530	69	35	0	653	64
101— 150	150	790	0	3330	25	22	0	253	26
151— 200	200	670	60	1530	23	13	0	44	24
201— 300	300	840	230	3370	16	16	0	31	15
401— 500	500	610	0	1110	7	19	0	51	8
501—1000	1000	580	210	950	2	33	32	34	2
1001—2000	1625	400	0	800	2	24	21	27	2

Im nördlichen Gebiet liegen im Winter (AD<sub>w</sub>) die Werte der  $\bullet$ berschicht bis zu 300 m Tiefe annähernd in gleicher Höhe um 19—28  $\mu\text{g}$ ; in größeren Tiefen (850 m und mehr) nähert sich der Mittelwert der methodischen Grenze. Die höchsten Mittelwerte der gesamten Untersuchung findet man im Sommer im nördlichen Gebiet mit 65 bzw. 54  $\mu\text{g}$  in 0 und 9 m Tiefe. Darunter findet ein schneller Abfall statt, der jedoch eine weitergehende Zonierung nicht zuläßt: Die Tiefenwerte streuen in Tiefen >50 m zwischen 13 und 35  $\mu\text{g}$  mit einer eindeutigen Tendenz zur Annäherung der Grenzwerte.

Für die Mikrobiomasse ergibt sich, daß im Winter im nördlichen Gebiet in der Deckschicht und der gesamten Oberschicht verglichen mit dem südlichen Gebiet ein kleiner Bestand (25 gegen > 40  $\mu\text{g}$ ) beobachtet wurde. Die Ursache dafür liegt in der geringeren Energieversorgung, die, verstärkt durch die größere Turbulenztiefe, zu dieser Jahreszeit im Norden nur das Anfangsstadium einer Planktonentwicklung zuließen. Dagegen

lagen im Sommer die Verhältnisse umgekehrt: im Süden des Untersuchungsgebietes waren in der Deckschicht die Nährstoffe schon stark erschöpft, so daß das höhere Energieangebot für die Planktonentwicklung weniger ausgenutzt werden konnte als im Nordteil ( $> 50$  gegen  $60 \mu\text{g}$ ). Eine Berechnung der Mikrobiomasse unter  $1 \text{ m}^2$  in der Deckschicht von  $0-100 \text{ m}$  läßt diese Unterschiede besonders hervortreten:

Tabelle 4

Mittelwerte des Seston- und des Eiweißgehaltes in  $\text{g}/\text{m}^2$  in der Schicht  $0-100 \text{ m}$

	Seston	Eiweiß		Seston	Eiweiß
Gw . . . . .	31	1,94	ADw . . . . .	73	2,02
Gs . . . . .	16	3,01	ADs . . . . .	109	3,91

Vergleichsweise sei erwähnt, daß von BRAND (1935) im Sargassomeer einen Mittelwert für die Mikrobiomasse von etwa  $4 \text{ g Eiweiß}/\text{m}^2$  fand.

In Tabelle 5 ist der Schwund der Mikrobiomasse in der Deckschicht für die vier Fahrtabschnitte zusammengefaßt. Um diesen Schwund festzustellen, wurden die Mittelwertkurven (Abb. 2) ausgeglichen und darauf ein wahrscheinlicher Mittelwert für  $0$  bzw. für  $100 \text{ m}$  ermittelt. Von diesen Werten geben die aus  $0 \text{ m}$  klar den verschiedenen Trophiezustand der vier Fahrtabschnitte. Die entsprechenden Absolutwerte in  $100 \text{ m}$  lassen auch Schlüsse auf die seegangsbedingte vertikale Homogenisierung der Konzentration der Mikrobiomasse zu: zumindest für den Abschnitt ADw kann man eine wesentlich stärkere Vertikaldurchmischung als bei den anderen Abschnitten annehmen. In diesen liegt der Mittelwert der vertikalen Abnahme auf fast gleicher Absoluthöhe mit  $33-40 \mu\text{g}/\text{l}$ . Wenn man diesen Wert in Beziehung zum Ausgangswert ( $0 \text{ m}$ ) setzt, erhält man den relativen Schwund. Dieser gibt Auskunft über den Doppelvorgang, dem die Mikrobiomasse unterworfen ist: der biologischen Akkumulation und der Remineralisation. Dieser Wert ist bedeutungsvoll für alle filtrierenden Plankter, da er angibt, in welchem Maße deren Nahrungsmenge reduziert wird. Diese Größe bleibt gleichfalls relativ zum Oberflächenwert in allen Fahrtabschnitten mit Ausnahme von ADw etwa in der gleichen Höhe von  $62-75\%$ .

Tabelle 5

Schwund der Mikrobiomasse von  $0-100 \text{ m}$  in  $\mu\text{g Eiweiß}/\text{l}$

	Gw	Gs	ADw	ADs
$0 \text{ m}$ . . . . .	44	55	26	65
$100 \text{ m}$ . . . . .	11	20	19	25
d . . . . .	33	35	7	40
% vom $0\text{-m}$ -Wert . .	75	64	27	62

#### Mittlere Detrituswerte

Ein Vergleich der Sestonwerte mit den Eiweißwerten läßt die Höhe der letzteren erstaunlich gering im Verhältnis zur gesamten partikulären Substanz erscheinen. Selbst wenn man unter der Annahme, daß alles Eiweiß an Diatomeen gebunden ist, aus den Eiweißwerten die Menge der Lebendsubstanz errechnet, kommt man zu Werten für das Nicht-Lebende, also den Detritus, die anteilmäßig und absolut sehr hoch sind.

Schon früher hat HAGMEIER (Diss. 1960) aufgrund gravimetrischer und mikroskopischer Analysen auf hohe Detrituswerte (90% und mehr) in der Nordsee hingewiesen. Selbst im Seegebiet um Island fand er im küstenfernen Oberflächenwasser während der Frühjahrsblüte des Phytoplanktons 44—57% Detritus im Seston. Dieser Anteil stieg auf 80—90% in Tiefen von 100—200 m.

Da es noch an einer mikroskopischen Probenanalyse des hier zusammengefaßten Materials fehlt, soll mit Hilfe von empirischen Umrechnungsfaktoren versucht werden, Durchschnittswerte des Detritusgehaltes zu berechnen. Diese Faktoren, mit deren Hilfe die Analysenwerte für Eiweiß in Werte für trockene Lebendsubstanz übertragen wurden, bewegen sich gleitend vom Faktor 5, der für den Fall gewählt wurde, daß alles Eiweiß in Diatomeenzellen vorliegt, bis zum Faktor 2,5, der in dem Fall angewendet wurde, daß alles Eiweiß an Dinoflagellaten bzw. Protozoen gebunden ist. Es ist selbstverständlich, daß mit dieser ersten groben Überschlagsrechnung nur die Größenordnung der Detrituswerte erfaßt werden kann. Etwas anderes liegt auch nicht in der Absicht dieser Zusammenfassung. Bei der Wahl dieser Umrechnungsfaktoren ist es unvermeidbar, daß zumindest für die Oberflächenwerte des Detritus nur Minimalangaben gemacht werden können, da nur in Einzelfällen eine reine Diatomeenbesiedlung zu erwarten ist.

In den Tabellen 6 und 7 sind zunächst die Mittelwerte für Seston und Eiweiß in den bislang gewählten Tiefenstufen des gesamten Untersuchungsgebietes, jedoch getrennt nach Jahreszeiten zusammengefaßt. Dieses ist trotz relativ großer lokaler Unterschiede durch die überlagernden jahreszeitlichen Einflüsse gerechtfertigt. Im Spätwinter (Tab. 6) zeigen die Seston- und Eiweißwerte für das Gesamtgebiet die gleichen vertikalen Verteilungsmerkmale wie für die einzelnen Fahrabschnitte: verhältnismäßig hohe und homogen verteilte Sestonwerte, mittlere Eiweißwerte in der Deckschicht, niedrige bis 600 m Tiefe. Im Spätsommer (Tab. 7) liegen die Sestonwerte in der Oberschicht ähnlich denen des Spätwinters, zeigen aber in Tiefen unter 500 m eine starke Reduktion auf  $\frac{1}{5}$  bis  $\frac{1}{10}$  der Werte der Oberschicht. Gegenüber dem Spätwinter sind die Eiweißwerte in der Deckschicht bis zu 100 m wesentlich erhöht und bleiben dann bis 4000 m Tiefe innerhalb enger Grenzen von 13—25 $\mu$ g/l.

Tabelle 6

Mittelwerte für Seston, Mikrobiomasse und Detritus für den nördlichen Nordatlantik von März bis Mai 1958

Tiefenstufe m	Seston $\mu$ g/l	Eiweiß $\mu$ g/l	Faktor	trockene Lebend- substanz $\mu$ g/l	Detritus $\mu$ g/l
0 . . . . .	680	32	5	160	520
1— 20 . . . . .	710	29	5	145	565
21— 30 . . . . .	500	20	5	100	400
31— 40 . . . . .	530	78	5	390	140
41— 50 . . . . .	470	17	4	68	402
51— 100 . . . . .	440	17	4	68	372
101— 150 . . . . .	360	18	4	72	288
151— 200 . . . . .	470	15	3	45	425
201— 300 . . . . .	370	14	3	42	328
301— 400 . . . . .	320	7	3	21	299
401— 500 . . . . .	580	13	2,5	33	547
501— 600 . . . . .	350	15	2,5	38	312
601— 1000 . . . . .	830	6	2,5	15	815

Bei der Wahl der Umrechnungsfaktoren wurde davon ausgegangen, daß im Spätwinter die Deckschicht bis 40 m vorwiegend von Diatomeen bevölkert wird, im Spätsommer dagegen diese nur bis 20 m vorherrschen, während jeweils darunter ein zunehmender Anteil von Dinoflagellaten, Protozoen und anderen kleinen Zooplanktern sowie Bakterien den Faktor langsam von 5 auf 3 fallen läßt. In beiden Fällen wurde angenommen, daß in Tiefen über 400 m die Diatomeen der Menge nach keine wesentliche Rolle spielen, selbst wenn im Einzelfall noch größere Zahlen zu finden sein sollten.

Tabelle 7

Mittelwerte für Seston, Mikrobiomasse und Detritus für den nördlichen Nordatlantik von August bis September 1958

Tiefenstufe m	Seston µg/l	Eiweiß µg/l	Faktor	trockene Lebens- substanz µg/l	Detritus µg/l
0 . . . . .	1500	62	5	310	1190
1— 20 . . . . .	670	54	5	270	400
21— 30 . . . . .	680	37	4	148	532
31— 40 . . . . .	960	34	4	136	824
41— 50 . . . . .	810	31	4	124	686
51— 100 . . . . .	390	27	3	81	209
101— 150 . . . . .	520	19	3	57	463
151— 200 . . . . .	660	13	3	39	621
201— 300 . . . . .	790	17	3	51	739
301— 400 . . . . .	—	—	—	—	—
401— 500 . . . . .	610	19	2,5	48	562
501— 600 . . . . .	60	15	2,5	38	12
601—1000 . . . . .	420	25	2,5	63	357
1001—2000 . . . . .	80	18	2,5	45	35
2001—3000 . . . . .	50	14	2,5	35	15
3001—4000 . . . . .	100	20	2,5	50	50
4001—5000 . . . . .	30	6	2,5	15	15

Die mit diesen Faktoren errechneten Werte für die Lebenssubstanz ergeben einen offenbaren Sprung in der Vertikalverteilung in 40 bzw. 50 m Tiefe: während darüber Werte zwischen 100 und 300 µg/l errechnet wurden, liegen die entsprechenden Werte in den tieferen Wasserschichten ausnahmslos unter 100 µg/l und fallen zum Boden in 4000—5000 m auf 15 µg/l ab.

Die letzte Spalte beider Tabellen gibt die aus der Differenz von Sestongewicht und Lebenssubstanz gewonnenen minimalen Detritusgewichte. Diese sind nicht nur in den Tiefenschichten erstaunlich hoch, sondern auch in der Deckschicht. Dort betragen sie z. T. das Drei- bis Vierfache des Gewichtes der Lebenssubstanz. Dieses Verhältnis läßt die Vermutung auftreten, daß das Ergebnis der primären Aufbauprozesse und der bakteriellen Neubildung von Eiweiß, also die Mikrobiomasse, wesentlich kurzlebiger ist als der Detritus. Vor Kenntnis der mikroskopischen Analysen dieses Detritus ist es jedoch müßig, nähere Erörterungen über dessen Art und Herkunft anzustellen. Jedenfalls muß man bedenken, daß im nördlichen Untersuchungsgebiet anorganogene Partikel, die von abtauenden Eisbergen stammen, eine wesentliche Rolle spielen können.

In der Tabelle 8 ist der Versuch unternommen worden, den Mittelwert für den Gehalt an lebender Substanz und an Detritus aus den Werten der Tabelle 6 zu errechnen. Die Umrechnungsfaktoren wurden für die Extremfälle, daß alles Lebendmaterial aus Diatomeen ( $f = 5$ ) oder aus Dinoflagellaten ( $f = 2,5$ ) besteht, gewählt. So erhält man

Maximal- und Minimalwerte für die Lebendsubstanz und weiterhin solche für den Detritusgehalt durch Differenzbildung mit den entsprechenden Sestonwerten der Tabelle 6. Meist beträgt die Menge des Detritus ein Vielfaches der Quantität der lebenden Substanz. Das Verhältnis schwankt zwischen 1:2,7 ( $G_w$ -Maximalwert 1. S.) bis 1:12,5 ( $AD_w$ -Minimalwert 1. S.). Allein für den Fahrtabschnitt Gs liegen sowohl für die Maximal- als auch für die Minimalannahme die Detrituswerte weit unter denen, die für die lebende Substanz errechnet wurden. Es ist unwahrscheinlich, daß hier eine ganz junge Phytoplanktonpopulation, die noch nicht abgebaut wurde, vorherrscht; dadurch bleibt nur die Annahme, daß der Detritus hier wesentlich schneller als während der anderen Fahrtabschnitte abgebaut wurde. Dafür sprechen sowohl die Absolutwerte des Detritus als auch dessen Relation zur Menge der lebenden Substanz. Es muß hier ungeklärt bleiben, ob diese Abnahme durch bakteriellen Abbau oder durch Zehrung seitens der Filtrierer verursacht wurde.

Tabelle 8

Mittelwerte des Gehaltes an lebender Substanz (1. S.) und an Detritus in  $g/m^2$  in der Schicht von 0—100 m

	1. S.		Detritus			1. S.		Detritus	
	max.	min.	max.	min.		max.	min.	max.	min.
$G_w$	9,7	4,9	26	21	$AD_w$	10,1	5	68	63
$G_s$	15,0	7,5	8	1	$AD_s$	19,6	9,8	99	89

Tabelle 9

Mittelwerte der Menge der

a) gelösten organischen Substanz n. DUURSMAN (1960)

b) Mikrobiomasse (Mb)

Angaben in  $\mu g$  C/kg bzw. /l

Tiefenstufe m	a)		b)		C : Ew
	gelöster org. C $\mu g/kg$	n	gef. Eiweiß (Mb) $\mu g/l$	n	
0 . . . . .	1260	1	60	5	21,0 : 1
1— 20 . . . . .	709	10	47	8	15,1 : 1
21— 30 . . . . .	692	4	44	10	15,7 : 1
31— 40 . . . . .	—	—	35	6	—
41— 50 . . . . .	672	5	63	3	20,0 : 1
51— 100 . . . . .	558	9	40	13	14,0 : 1
101— 150 . . . . .	655	4	25	4	26,2 : 1
151— 200 . . . . .	578	7	27	3	21,4 : 1
201— 300 . . . . .	558	9	24	2	23,2 : 1
301— 400 . . . . .	502	4	—	—	—
401— 500 . . . . .	385	7	8	2	48,1 : 1
501— 600 . . . . .	453	3	15	8	31,4 : 1
601—1000 . . . . .	477	9	15	8	31,4 : 1
1001—2000 . . . . .	483	13	24	2	20,1 : 1
2001—3000 . . . . .	448	5	15	5	32,4 : 1
3001—4000 . . . . .	460	5	15	5	32,4 : 1
4001—5000 . . . . .	570	4	15	5	32,4 : 1

## Gelöste organische Substanz und Mikrobiomasse

Es war ein glücklicher Umstand, daß während der sommerlichen Fahrten von „Gauss“ und „Anton Dohrn“ auf einem Schnitt, der fast meridional von Cap Farewell nach Süden führte, eine große Menge von Wasserproben zur Analyse der gelösten organischen Substanz gesammelt werden konnte. Hier kann das umfangreiche, von DUURSMa (1960) bearbeitete Analysenmaterial zum Vergleich mit den entlang desselben Schnittes gewonnenen Eiweißproben herangezogen werden. Man erhält bei der Berechnung der Mittelwerte beider Größen für die einzelnen Tiefenstufen die Möglichkeit, die Relation des geformten organischen C zum gelösten organischen C aufzustellen. Da die Analysen von Duursma mit einer Genauigkeit von  $\pm 30 \mu\text{C/l}$  ausgeführt wurden und damit in keinem Fall 10% des gefundenen organischen C ausmachen, ist eine ausreichende Beantwortung dieser Frage möglich.

U. a. hat KAY (1952, 1954) das Verhältnis des gelösten Kohlenstoffs zum geformten organisch gebundenen aufgrund eigener Analysen und unter Verwertung fremder Beobachtungen einer näheren Berechnung unterzogen. Er kommt zu einem Wert von 100:1, was mit den Analysen von Krogh (300:1) sowie Bigelow u. Sears (100:1 bis 4000:1) größenordnungsmäßig übereinstimmt.

Die in Tabelle 9 zusammengefaßten Werte ergeben demgegenüber ein anderes Bild: die Relation gelösten zu partikulärem organisch gebundenem C liegt zwischen 15:1 bis 48:1, also zwischen 2 und 7% gegenüber 0,3—1% bei Kay und Krogh. Dieser Unterschied ist sicherlich einmal in der wesentlich verbesserten Analysenmethodik, die niedrigere Werte für den gelösten organisch gebundenen C ergibt, bedingt. Ein weiterer Grund für das Auftreten der niedrigen Werte liegt gewiß darin, daß hier ein küstenfernes und meist biologisch recht altes Wasser untersucht wurde. Vergleichsweise fand KAY (1954) im Küstenwasser der Kieler Bucht an 134 Einzelanalysen Werte zwischen 2000 und 4600  $\mu\text{g C/l}$  mit einem Mittelwert von 330  $\mu\text{g C/l}$ .

Man soll jedoch nicht außerachtlassen, daß die Angaben für den geformten organisch gebundenen C nur die lebende Substanz erfassen. Der gesamte organische Detritus bleibt bei diesen Rechnungen unberücksichtigt. Es ist sehr wahrscheinlich, daß dieser organische Detritus ein Mehrfaches der lebenden Substanz ausmacht. Unter dieser Voraussetzung wird man zu einer Relation von 10:1 bis 5:1 kommen. Entsprechende Analysen des gesamten geformten organisch gebundenen C befinden sich in Vorbereitung.

## Literaturverzeichnis

BÖHNECKE, G. und A. BÜCKMANN (1959): Die Expeditionen von FFS „Anton Dohrn“ und VFS „Gauss“ im Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/1958. Erg. Heft Reihe B, Nr. 3 zur DHZ, 107 S. — v. BRAND, TH. (1935): Methods for the determination of nitrogen and carbon in small amounts of plankton. Biol. Bull. Woods Hole, Vol. 69. — DUURSMA, E. K. (1960): Dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus in the sea. J. B. Wolter, Groningen, 1—147. — HAGMEIER, E. (1960): Untersuchungen über die Menge und die Zusammensetzung von Seston und Plankton in Wasserproben von Reisen in die Nordsee und nach Island. Diss. Kiel, 168 + 36 S. — HAGMEIER, E. (1964): Zum Gehalt an Seston und Plankton im Indischen Ozean, zwischen Australien und Indonesien. Kieler Meeresforsch., 20 (1). — KAY, H. (1952): Eine Methode zur chemischen Bestimmung der organischen Substanz im Meerwasser und ihre Anwendung in der Kieler Bucht. Diss. Kiel, 100 S. — KAY, H. (1954): Untersuchungen zur Menge und Verteilung der organischen Substanz im Meerwasser. Kieler Meeresforsch., 10, 202—214. — KAY, H. (1954): Eine Mikromethode zur chemischen Bestimmung der organischen Substanz im Meerwasser. Kieler Meeresforsch., 10, 26—53. — KREY, J., K. BANSE und E. HAGMEIER (1957): Über die Bestimmung von Eiweiß im Plankton mittels der Biuretreaktion. Kieler Meeresforsch., 13, 35—40. — KREY, J., D. HANTSCHMANN und St. WELLERSHAUS (1960): Der Seston Gehalt entlang eines Schnittes von Kap Farvel bis zur Flämischen Kappe im April und September 1958. Dtsch. Hydrogr. Zeitschr., Erg. Heft Reihe B, Nr. 3, 73—81. — KREY, J. (1961): Der Detritus im Meere. Journ. Cons. Intern., 26, 263—280. — KREY, J. (1961): The vertical distribution of seston in the northern North Atlantic as observed during the cruises of „Gauss“ and „Anton Dohrn“ in late winter and late summer of 1958. Rapp. Proc. Verb., 149, 194—199. — KREY, J. (1961): Beobachtungen über den Gehalt an Mikrobiomasse und Detritus in der Kieler Bucht 1958—1960. Kieler Meeresforsch., 17, 2, 163—175.