

# Die Verteilung der organischen Substanz in den Sedimenten des Brackwassergebietes der Ems

Von Heinrich Rudolf Krause

## Inhalt

I. Einleitung . . . . .	102
II. Untersuchungsgebiet . . . . .	103
III. Methodik . . . . .	105
IV. Untersuchungsergebnisse . . . . .	106
1. Organischer Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt . . . . .	106
2. Sauerstoffverbrauch . . . . .	109
V. Besprechung der Ergebnisse . . . . .	111
VI. Zusammenfassung . . . . .	113
VII. Schriftenverzeichnis . . . . .	113

## I. Einleitung

Die Verteilung der organischen Substanz in marinen Sedimenten ist mehrfach Gegenstand umfassender Untersuchungen gewesen. Hier mögen nur die Arbeiten von WAKSMAN (18), CORRENS (3) und ANDERSON (1) aus dem Raum des Atlantik, von BOYSEN JENSEN (2) und GRIPENBERG (5) aus Gebieten der Nord- und Ostsee, von TRASK (16, 17) und REVELLE (15) aus pazifischen Distrikten, von WISEMAN und BENNETT (21) aus dem Arabischen Meer und schließlich von MOHAMED (11) aus dem Roten Meer erwähnt werden. Aus diesen Arbeiten ist ersichtlich, daß die unterschiedliche Verteilung der organischen Substanz durch eine Vielzahl von Faktoren bedingt wird. Da letztlich die abgestorbenen Lebewesen des Wassers und des Meeresbodens als Quellen für die in den marinen Ablagerungen nachweisbare organische Substanz zu betrachten sind, hängt deren regionale Verteilung ursprünglich direkt oder indirekt mit der marinen Produktion eines Gebietes zusammen. Ferner ist sie von der Intensität der zersetzenden Einflüsse, denen die toten Organismen vor und nach der Sedimentation ausgesetzt sind, in erheblichem Maße abhängig. Hierbei spielen neben Bakterien auch Sauerstoffgehalt und Temperatur von Wasser und Boden eine entscheidende Rolle. Neben Produktion und Zersetzung steht die Verteilung der organischen Substanz noch zu weiteren Gegebenheiten wie Strömungen, Bodengestaltung, Kornzusammensetzung, Tiefe und Alter der Sedimente, Entfernung von der Küste und anderem in Beziehung.

Aus den Untersuchungen von GRIPENBERG (5) im Ostseeraum geht hervor, daß diese Faktoren grundsätzlich auch in einem Gebiet mit niedrigem Salzgehalt gelten. Unter den Brackwasserregionen nehmen jedoch die gezeitenbeeinflussten Strommündungen nach BROCKMANN (2a) eine bemerkenswerte Sonderstellung ein, da für diese nicht allein der verringerte Salzgehalt, sondern die durch Gezeiten- und Dichteströmungen bewirkte Vermischung von zwei Wasserkörpern mit sehr verschiedenen chemischen und physikalischen Eigenschaften, Meerwasser einerseits und Flußwasser andererseits, als Hauptkriterium zu gelten haben [BROCKMANN (2a), LÜNEBURG (9), HENSEN (6), LUCHT (8)]. Da ferner die Brackwasserzonen der Tideflüsse periodischen, aperiodischen und jahreszeitlichen Verlagerungen unterliegen und sich außerdem durch einen hohen

Trübungsgrad und eine beträchtliche Sedimentation auszeichnen, kann hier mit weiteren Besonderheiten bei der Verteilung der organischen Substanz in den Sedimenten gerechnet werden. — Bisher liegen von keiner Stelle der deutschen Nordseeküste eingehende Untersuchungen über den Fragenkomplex vor, obwohl nicht zu verkennen ist, daß die dabei zu erzielenden Ergebnisse auch praktische Bedeutung erlangen können<sup>1)</sup>.

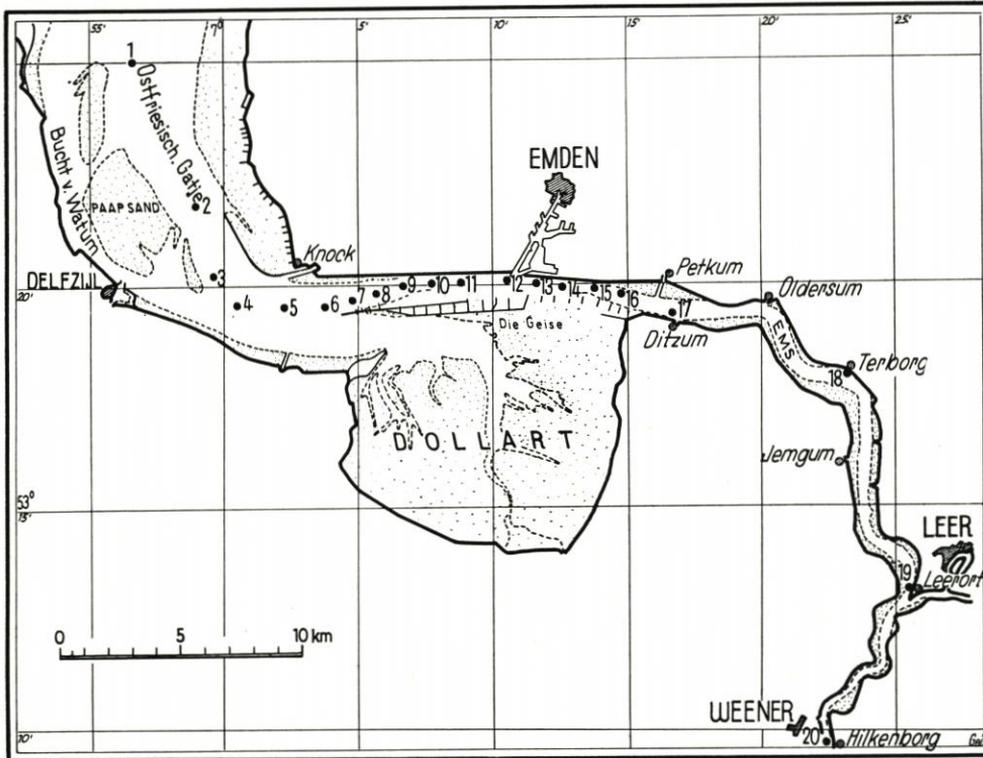


Abb. 1. Lage der Stationen im untersuchten Abschnitt des Mündungsgebiets der Ems

## II. Untersuchungsgebiet

Das untersuchte Gebiet (Abb. 1) umfaßt die 56,7 km lange Strecke der Ems vom Ostfriesischen Gatje, etwa in Höhe der Ortschaft Manslagt, bis zur alten Fährstelle bei Hilkenborg, unweit von Weener. Der im ostfriesischen Wattenraum und nördlich des Dollarts gelegene Abschnitt der Außenems enthält die Stationen 1 bis 16, der sich vom Ostrand des Dollarts flußaufwärts erstreckende Abschnitt der Unterems die Stationen 17 bis 20.

Bei einer Peilung des Gebietes im April 1953 wurden die folgenden, auf mittleres Springtideniedrigwasser bezogenen Tiefen ermittelt. Die Ausgleichung der Tiefen im Fahrwasser bis zum Emdener Außenhafen (Stat. 12) ist auf Baggerung zurückzuführen.

<sup>1)</sup> Die vorliegende Arbeit entstand im Zusammenhang mit langjährigen und vielseitigen Bemühungen des Wasser- und Schiffsamtes Emden zur Klärung der Sedimentationsbedingungen im Mündungsgebiet der Ems. Diesem Amt schulde ich großen Dank für die mir entgegengebrachte Unterstützung, für die Beschaffung der erforderlichen Sedimentproben und für die freundliche Überlassung aller benötigten Unterlagen. Gleichfalls danke ich dem Leiter der Forschungsstelle Norderney, Herrn Diplomingenieur KRAMER, und mehreren Mitarbeitern dieser Dienststelle für die mir zuteil gewordene Hilfe.

## Die Tiefen der Ems im April 1953

Station Nr.	Lage (Bezeichnung der Tonne)	Tiefe (m)	Station Nr.	Lage (Bezeichnung der Tonne)	Tiefe (m)
1	G/1a	8,1	11	E/17	7,2
2	G/3	13,0	12	E/R	7,0
3	G/5	7,0	13	1—A	5,7
4	G/6	7,2	14	2—B	7,5
5	E/12	7,2	15	2a—C	5,4
6	E/13	7,0	16	3—D	3,6
7	E/13a	7,4	17	4—E	5,0
8	E/14	7,1	18	K	8,9
9	E/15	7,1	19	alte Fährstelle Leerort	3,7
10	E/16	7,1	20	alte Fährstelle Hilkenborg	3,0

Im gesamten Gebiet macht sich der Gezeiteneinfluß sehr deutlich bemerkbar. Der mittlere Tidehub beträgt am Paapsand (Stat. 2) 2,7 m, an der Knock (Stat. 5) 2,8 m, an der neuen Emdener Seeschleuse (Stat. 12) 3,0 m, bei Terborg (Stat. 18) 2,8 m und bei Weener (oberhalb Stat. 20) 2,2 m.

Obwohl im Tidebereich eines Flusses kein stationäres Salzgehaltsgefälle vorliegt, ist eine Unterteilung dieses Gebiets nach dem Schema von REDEKE (13), modifiziert durch REMANE (14), in eine polyhaline (16,5 — 30 ‰ S), eine mesohaline (3 — 16,5 ‰ S) und eine oligohaline Zone (0,5 — 3 ‰ S) zweckdienlich, auch auf die Gefahr hin, daß eine derartige Zonierung bis zu einem gewissen Grade anfechtbar ist. — Nach den Feststellungen von KÜHL und MANN (7) kann der Emsabschnitt von Borkum bis zur Knock (Stat. 5) als polyhaline Brackwasserzone gelten. Weiter flußaufwärts, etwa bis in die Gegend unterhalb von Oldersum (Stat. 17), erstreckt sich die mesohaline Region, in welcher sich der „Schwerpunkt der Brackwasserzone“ [LUCHT (8)] mit den größten tidebedingten Salzgehaltsschwankungen befindet. Die sich anschließende oligohaline Zone grenzt im Raum von Kritzum-Terborg (unweit Stat. 18) an den eigentlichen Süßwasserbereich des Emsflusses. Im oberen Abschnitt der oligohalinen Zone ist ein ziemlich rapider Abfall des Salzgehalts auf kurzer Strecke, der sogenannte Salzgehaltssprung, nachweisbar. — Bei Berücksichtigung der Tatsachen, daß die gesamte Brackwasserregion ständigen Lageveränderungen unterliegt und daß ferner das Wasser in Bodennähe im allgemeinen einen höheren Salzgehalt als das Oberwasser besitzt, wird mit einer solchen Festlegung der Zonengrenzen naturgemäß nur deren grobe Mittellage bezeichnet. Immerhin kommt deutlich zum Ausdruck, daß in der Ems die meso- und oligohaline Zone nur einen verhältnismäßig engen Raum beanspruchen — eine charakteristische Eigenart dieses Flusses, welche von KÜHL und MANN (7) auf die besondere Morphologie seiner Mündung zurückgeführt wird und auch weitere chemisch-physikalische Verhältnisse beeinflussen soll.

Eine im Rahmen dieser Untersuchung besonders interessierende Folgeerscheinung ist die Ausbildung von nur e i n e m Trübungs- und Sinkstoffmaximum innerhalb der oligohalinen und der oberen mesohalinen Region. Unter dem Einfluß der Tiden und der jeweiligen Oberwasserführung verlagert sich die Zone des größten Sinkstoffgehalts ungefähr im Bereich Terborg—Emdener Außenhafen [HENSEN (6)].

Da die Ausbildung von Trübungsmaxima im Brackwassergebiet der Tideflüsse durch die koagulierende Wirkung des elektrolytreichen Meerwassers beim Zusammentreffen mit dem

kolloidreichen Flußwasser, wenigstens zum Teil, erklärt werden kann, sei hier abschließend auf die bedeutende Zunahme des Elektrolytgehalts zwischen Unterems und Außenems hingewiesen. Nach den Angaben von WILDEVANG (20), die allerdings nur auf einer einmaligen Untersuchung des Oberflächenwassers im Juli 1918 basieren und somit nicht verallgemeinert werden dürfen, nimmt auf der Strecke von Bingum (unweit Stat. 19) bis Emden (Stat. 12) der Natriumgehalt um das 47fache, der Kaliumgehalt um das 36fache, der Magnesiumgehalt um das 28fache, der Calciumgehalt um das 6fache, der Chloridgehalt um das 44fache und der Sulfatgehalt um das 26fache zu. Diese Angaben beziehen sich auf die Zeit des ablaufenden Wassers. Zur Flutzeit dagegen sind die Werte erwartungsgemäß niedriger und betragen auf der erwähnten Strecke nur den dritten bis vierten Teil. BROCKMANN (2a) gliedert die Sedimente in der Ems mit Hilfe der in den Schlickablagerungen gefundenen *Diatomeen*. *Coscinodiscus normani* und *Cyclotella striata* bilden die Leitformen in den Schlickablagerungen des oberen Brackwassers in der Höhe von Leer, während *Coscinodiscus normani* die schlickigen Sedimente des unteren Brackwassers im Dollart und im seewärtigen Mündungsgebiet der Ems kennzeichnen.

### III. Methodik

Die erforderlichen Sedimentproben von den genannten zwanzig Stationen wurden in den Monaten November 1952, Februar 1953, Mai 1953 und Juli 1953, jeweils bei auflaufendem und bei ablaufendem Wasser, von Bord eines Motorboots aus mit Hilfe eines kleinen, nur  $\frac{1}{40}$  qm fassenden Bodengreifers nach VAN VEEN entnommen. Da es unmöglich war, die gesamte Untersuchungsstrecke während der gleichen Tidephase abzufahren, mußte die Probenentnahme auf mehrere Tage ausgedehnt werden.

Im Laboratorium wurden volumengleiche Teile des an jeder Station bei Flut und bei Ebbe entnommenen Sediments vermischt, auf Membranfilter mit destilliertem Wasser entsalzen und anschließend zwei bis drei Tage bei 105° getrocknet. Das gepulverte Material kam dann, nach kurzer vorhergehender Nach-trocknung, für die Bestimmungen des organischen Kohlenstoffs und des Gesamt-Stickstoffs zur Verwendung.

Der organische Kohlenstoff wurde nach der von MOHAMED (11) angewendeten Modifikation der Methoden von MORGAN (12) und DIXON (4) ermittelt. Die aus etwa 5 g Trockensediment mittels Phosphorsäure und Chromsäureanhydrid in Freiheit gesetzten Mengen Kohlendioxyd, das teils aus den Carbonaten stammte, teils sich bei der Verbrennung der organischen Substanz bildete, wurden nacheinander in Absorptionsröhren an Natronasbest gebunden und ausgewogen. Aus den gefundenen Werten für organischen Kohlenstoff wurde der Gehalt an organischer Substanz durch Multiplikation mit dem Faktor 1,724 berechnet. Dieser in der agrikulturnchemischen Bodenanalyse gebräuchliche Faktor setzt einen Gehalt von 58 % C im Humus voraus und wurde von GRIPENBERG (5) auch für die Brackwassersedimente der Ostsee verwendet.

Die Stickstoffbestimmungen erfolgten nach einer Halbmikromodifikation der üblichen KJELDAHL-Methode. Ungefähr 5 g genau eingewogenes Trockensediment wurden vier Stunden lang mit rauchender Schwefelsäure, unter Benutzung eines Tröpfchens Quecksilber als Katalysator, behandelt. Zur Destillation des gebildeten Ammoniaks fand die Apparatur von PARNAS-WAGNER Anwendung. Der nicht durch Ammoniak gebundene Anteil der vorgelegten 25 ccm n/100-Schwefelsäure wurde mit n/100-Natronlauge gegen „Mischindikator 5“ (Firma E. MERCK, Darmstadt) zurücktitriert.

Durch zahlreiche Analysen mit der gleichen Probe konnte die Zuverlässigkeit der Kohlenstoff- und Stickstoffbestimmungen bewiesen werden. Die Resultate stimmten bei den erstgenannten auf  $\pm 0,05\%$ , bei den letztgenannten auf  $\pm 0,006\%$  überein. Bisweilen vorkommende größere Abweichungen ließen sich in fast allen Fällen auf eine ungenügende Nach-trocknung der äußerst leicht wasseranziehenden Trockensedimente zurückführen.

Von jeder Probe der gemischten frischen Sedimente wurde außerdem der Sauerstoffverbrauch im Verlauf von zehn Tagen nach der Methode von ANDERSON (1) festgestellt. In den nachfolgenden Analy-sentabellen ist der Sauerstoffverbrauch sowohl in mg O<sub>2</sub> je 100 g Trockensediment als auch in ccm O<sub>2</sub> je Gramm organischen Kohlenstoffs angegeben.

## IV. Untersuchungsergebnisse

Aus den Tabellen 1 bis 4 sind die Prozentanteile des organischen Kohlenstoffs und des Gesamt-Stickstoffs, das hieraus berechnete C/N-Verhältnis und der in zweifacher Form ausgedrückte Sauerstoffverbrauch von allen Proben der vier, zu verschiedenen Jahreszeiten entnommenen Sedimentserien zu ersehen. Die höchsten und niedrigsten Werte sind jeweils besonders kenntlich gemacht.

## 1. Organischer Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt (Abb. 2)

Im untersuchten Raum schwankt, je nach Ort und Jahreszeit, die Menge des organischen Kohlenstoffs von 0,111 ‰ bis 2,143 ‰ und des Gesamt-Stickstoffs von 0,010 ‰ bis 0,191 ‰. Bei beiden Komponenten der organischen Substanz liegen die begrenzenden Werte etwa im Verhältnis von 1 : 20 auseinander. Die durch Anwendung des Faktors 1,742 aus dem organischen Kohlenstoffgehalt berechnete Menge an organischer Substanz bewegt sich somit zwischen 0,191 ‰ und 3,695 ‰.

Tabelle 1

Organische Substanz (org. Kohlenstoff, Stickstoff, C/N-Verhältnis) und Sauerstoffverbrauch in den Sedimenten des Brackwassergebiets der Ems; 11.—13. November 1952

Station	Organischer Kohlenstoff ‰	Stickstoff ‰	C/N	Organische Substanz ‰	Sauerstoffverbrauch in 10 Tagen	
					mg O <sub>2</sub> /100 g	ccm O <sub>2</sub> /g C
1	0,160	0,014	11,4	0,276	3,32	14,53
2	<b>0,112</b>	<b>0,010</b>	11,2	<b>0,193</b>	—	—
3	0,129	0,016	8,1	0,222	4,53	24,60
4	0,221	0,021	10,5	0,381	8,74	<b>27,68</b>
5	0,469	0,053	8,8	0,809	7,54	11,25
6	0,568	0,051	11,1	0,979	8,37	10,32
7	0,305	0,023	13,3	0,526	5,28	12,12
8	0,461	0,063	<b>7,3</b>	0,795	10,28	15,26
9	0,561	0,045	12,5	0,967	8,81	10,99
10	0,611	0,061	10,0	1,053	10,94	12,54
11	0,544	0,051	10,7	0,938	11,27	14,17
12	0,328	0,027	12,2	0,566	6,96	14,86
13	0,508	0,059	8,6	0,876	10,67	14,70
14	0,575	0,057	10,1	0,991	10,72	13,05
15	0,576	0,055	10,5	0,993	11,42	13,88
16	0,611	0,068	9,0	1,053	<b>13,92</b>	15,94
17	0,656	0,065	10,1	1,131	8,07	8,61
18	<b>0,675</b>	0,068	9,9	<b>1,164</b>	7,77	<b>8,06</b>
19	0,154	<b>0,010</b>	<b>15,4</b>	0,266	<b>2,25</b>	10,25
20	0,118	<b>0,010</b>	11,8	0,203	<b>2,25</b>	13,37

Betrachtet man die Verteilung der organischen Substanz im Raum, so stimmen alle Sedimentserien dahingehend überein, daß im mittleren Untersuchungsabschnitt, der die meso- und oligohaline Brackwasserzone umfaßt, durchweg größere organische Substanzmengen als im oberen polyhalinen und im oberen, bereits Süßwasser führenden Bereich der Ems vorliegen. Die jahreszeitlichen Unterschiede betreffend kann festgestellt werden, daß im Herbst und Frühjahr durchschnittlich kleine, im Winter und Sommer dagegen allgemein größere Mengen organischer Substanz anzutreffen sind.

In der November-Serie wurde im Mittel aus allen Proben 0,417 % C und 0,041 % N nachgewiesen. Mehr oder weniger deutlich ausgeprägte Kohlenstoffmaxima lagen in dieser Serie mit ihren Spitzen bei den Stationen 6, 10 und 18. Obwohl die räumliche Verteilung des Stickstoffs demgegenüber nur unwesentliche Gangabweichungen zeigte, ergab das C/N-Verhältnis

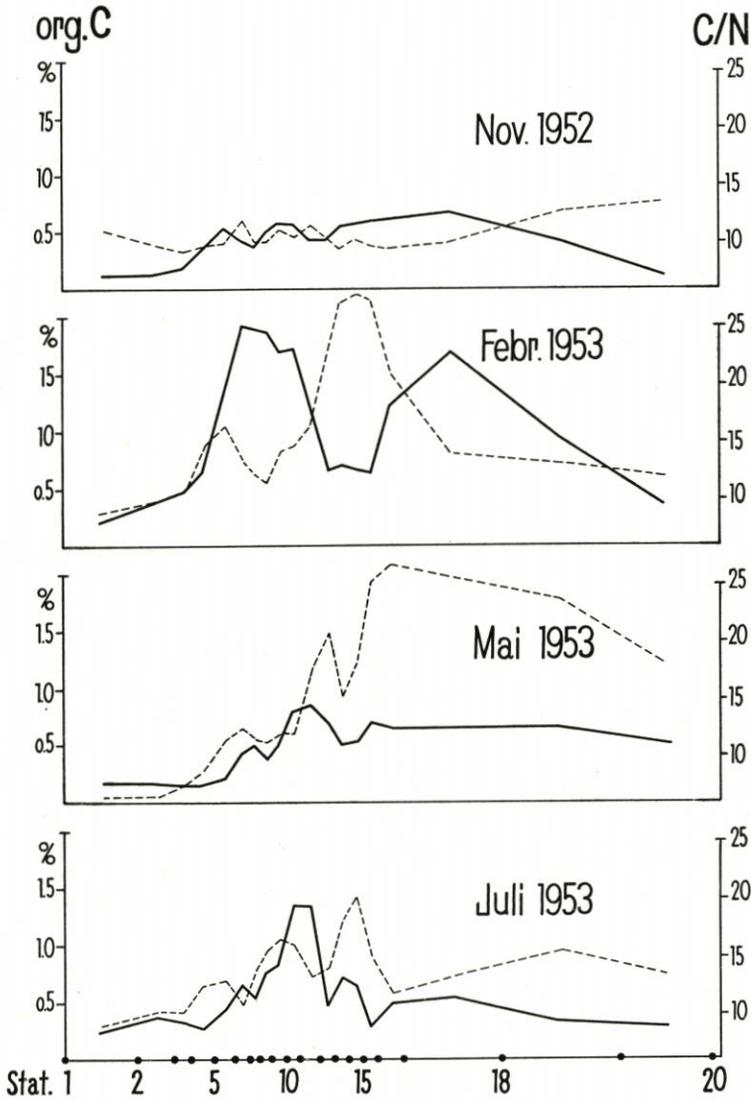


Abb. 2. Organischer Kohlenstoffgehalt und C/N-Verhältnis im Brackwassergebiet der Ems (überlappende Mittelwerte). — Dicke, durchgehende Linie: organischer Kohlenstoff; dünne, unterbrochene Linie: C/N-Verhältnis

eine Schwankungsbreite von 7,3 bis 15,4, jedoch einen Mittelwert von 10,6. — Die im Februar entnommene Winterserie enthielt im Durchschnitt aller Proben 1,026 % C und 0,072 % N. Als besonders kennzeichnend in dieser Serie verdienen zwei stark hervortretende Maxima im Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt erwähnt zu werden, von denen das eine im Bereich der Außen-Ems

Tabelle 2

Organische Substanz (org. Kohlenstoff, Stickstoff, C/N-Verhältnis) und Sauerstoffverbrauch in den Sedimenten des Brackwassergebiets der Ems; 24.—27. Februar 1953

Station	Organischer Kohlenstoff %	Stickstoff %	C/N	Organische Substanz %	Sauerstoffverbrauch in 10 Tagen	
					mg O <sub>2</sub> /100 g	ccm O <sub>2</sub> /g C
1	<b>0,111</b>	<b>0,013</b>	<b>8,5</b>	<b>0,191</b>	4,10	<b>25,86</b>
2	0,358	0,039	9,2	0,617	4,57	8,94
3	0,400	0,037	10,8	0,690	7,27	12,72
4	0,567	0,054	10,5	0,934	9,43	11,64
5	0,728	0,037	19,7	1,255	8,65	8,32
6	<b>2,076</b>	0,154	13,5	<b>3,579</b>	19,92	6,72
7	1,783	0,130	13,7	3,074	19,53	7,67
8	2,015	<b>0,191</b>	10,6	3,474	22,97	7,98
9	1,739	0,144	12,1	2,998	19,06	7,67
10	1,669	0,101	16,5	2,877	15,82	6,64
11	1,776	0,139	12,8	3,062	17,14	6,76
12	0,520	0,026	20,0	0,897	2,63	3,54
13	0,752	0,029	25,9	1,296	3,23	3,01
14	0,654	0,023	<b>28,4</b>	0,113	3,09	3,31
15	0,627	0,023	27,3	1,081	3,43	3,83
16	0,630	0,023	27,4	1,086	4,65	5,17
17	1,891	0,132	14,3	3,260	<b>29,60</b>	10,96
18	1,511	0,111	13,6	2,605	<b>1,72</b>	<b>0,80</b>
19	0,395	0,031	12,7	0,681	3,91	6,93
20	0,319	0,029	11,0	0,550	4,65	10,21

Tabelle 3

Organische Substanz (org. Kohlenstoff, Stickstoff, C/N-Verhältnis) und Sauerstoffverbrauch in den Sedimenten des Brackwassergebiets der Ems; 18.—21. Mai 1953

Station	Organischer Kohlenstoff %	Stickstoff %	C/N	Organische Substanz %	Sauerstoffverbrauch in 10 Tagen	
					mg O <sub>2</sub> /100 g	ccm O <sub>2</sub> /g C
1	0,164	0,025	6,6	0,283	17,24	73,60
2	0,193	0,029	6,6	0,333	17,62	63,91
3	0,141	0,023	<b>6,2</b>	0,243	17,19	85,34
4	<b>0,130</b>	<b>0,015</b>	8,1	<b>0,224</b>	18,50	<b>99,62</b>
5	0,156	0,017	9,2	0,269	18,75	84,14
6	0,256	0,019	13,5	0,441	18,04	49,33
7	0,583	0,050	11,7	1,005	20,79	24,97
8	0,426	0,038	11,2	0,583	17,36	28,53
9	0,318	0,028	11,4	0,548	18,07	39,78
10	0,690	0,055	12,5	1,190	25,91	26,29
11	<b>0,915</b>	<b>0,078</b>	11,7	<b>1,577</b>	<b>30,71</b>	23,49
12	0,785	0,034	23,1	1,353	16,92	15,09
13	0,633	0,034	18,6	1,091	14,80	16,37
14	0,347	0,031	11,2	0,598	16,78	33,85
15	0,702	0,028	25,1	1,210	14,87	<b>14,83</b>
16	0,709	0,022	25,3	1,222	17,08	16,86
17	0,566	0,020	<b>28,3</b>	0,976	15,89	19,65
18	0,712	0,031	23,0	1,228	17,36	17,07
19	0,590	0,024	24,6	1,017	15,00	17,80
20	0,407	0,036	11,3	0,702	<b>11,43</b>	19,66

zwischen den Stationen 6 bis 11 und das andere in der Unter-Ems bei den Stationen 17 und 18 ausgebildet war. Auffallend ist ferner, daß der Ems-Abschnitt zwischen diesen Maximalbereichen durch ein ungewöhnlich hohes C/N-Verhältnis, mit einem Extremwert von 28,4 in Station 14, ausgezeichnet war. Aus allen Proben dieser Serie wurde ein mittleres C/N-Verhältnis von 16,2 berechnet. — Die Verteilung der organischen Substanz in den Ablagerungen der Mai-Serie zeigte eine gewisse Ähnlichkeit mit jener in der November-Serie, auch kamen ziemlich übereinstimmende Durchschnittsmengen — 0,471 % C und 0,032 % N — zur Feststellung. Kleinere Bereiche mit relativ hohem Kohlenstoffgehalt lagen diesmal mit ihren Gipfelpunkten bei den

Tabelle 4

Organische Substanz (org. Kohlenstoff, Stickstoff, C/N-Verhältnis) und Sauerstoffverbrauch in den Sedimenten des Brackwassergebiets der Ems; 27.—29. Juli 1953

Station	Organischer Kohlenstoff %	Stickstoff %	C/N	Organische Substanz %	Sauerstoffverbrauch in 10 Tagen	
					mg O <sub>2</sub> /100 g	ccm O <sub>2</sub> /g C
1	<b>0,126</b>	0,018	<b>7,0</b>	<b>0,217</b>	<b>4,00</b>	<b>8,21</b>
2	0,371	0,034	10,9	0,640	11,13	21,00
3	0,396	0,041	9,7	0,683	22,69	<b>41,04</b>
4	0,245	0,023	10,7	0,422	5,76	16,46
5	0,299	0,021	14,2	0,516	5,54	12,97
6	0,594	0,051	11,7	1,024	19,40	22,86
7	0,695	0,072	9,7	1,198	22,01	22,17
8	0,382	0,022	17,4	0,659	9,00	16,12
9	1,184	0,086	13,8	2,041	21,16	12,51
10	0,531	0,028	19,0	0,915	12,22	16,11
11	<b>2,143</b>	<b>0,164</b>	13,1	<b>3,695</b>	<b>47,29</b>	15,45
12	0,585	0,044	13,3	1,009	15,65	18,73
13	0,399	0,027	14,8	0,688	6,38	11,19
14	1,047	0,048	<b>21,8</b>	1,805	18,13	12,12
15	0,280	0,015	18,7	0,483	4,93	12,33
16	0,321	0,028	11,5	0,553	12,18	26,56
17	0,671	0,056	12,0	1,157	20,64	21,53
18	0,416	0,029	14,3	0,717	10,97	18,46
19	0,230	<b>0,014</b>	16,4	0,397	5,42	16,50
20	0,339	0,033	10,3	0,584	8,09	16,71

Stationen 7, 11, 16 und 18. Eine gute Parallelität zur räumlichen Stickstoffverteilung fand sich nur im unteren Abschnitt bis etwa zur Station 11, während sich weiter flußaufwärts stärkere Gangunterschiede zwischen C und N bemerkbar machten. Im letztgenannten Bereich wurden wieder extreme C/N-Werte, bis zu 28,3 in Station 17, bestimmt. Auch das mittlere C/N-Verhältnis dieser Serie von 15,0 muß als reichlich hoch angesehen werden. — Eine beträchtlich abweichende Verteilung der organischen Substanz kam schließlich in der Juli-Serie zum Ausdruck, wo auf engem Raum, zwischen den Stationen 6 und 14, mehrfach bedeutende Quantitätsunterschiede, im Kohlenstoffgehalt von 0,382 % bis 2,143 % und im Stickstoffgehalt von 0,022 % bis 0,164 %, nachgewiesen wurden. Außerdem trat bei Station 17 ein weiteres, allerdings kleineres Maximum in Erscheinung. Diese Sommerserie erbrachte 0,562 % C, 0,043 % N und ein C/N-Verhältnis von 13,5 als Mittelwerte aus allen Proben.

## 2. Sauerstoffverbrauch (Abb. 3)

Der experimentell ermittelte Sauerstoffverbrauch der Sedimente in zehn Tagen unterliegt ebenfalls recht erheblichen jahreszeitlichen und lokalen Schwankungen, deren Ausmaß durch

die Extremwerte von 1,72 mg und 47,29 mg  $O_2$ , bezogen auf 100 g Trockensediment, zu kennzeichnen ist. In den einzelnen Serien wurden folgende Mittelwerte bestimmt: November 8,06 mg, Februar 10,27 mg, Mai 18,02 mg und Juli 14,13 mg. Demnach verbrauchen die Sedimente in der kalten Jahreszeit weniger Sauerstoff als im Frühjahr und Sommer. Beim Vergleich der beiden Serien mit relativ hohem  $O_2$ -Verbrauch waren im Mai die kleinsten, im Juli dagegen die größten räumlichen Amplituden zu bemerken. Die jeweils höchsten jahreszeitlichen Einzelwerte wurden im November und Februar an der Grenze von Außen- und Unter-Ems (Stat. 16 und 17), im Mai und Juli westlich vom Emdener Außenhafen (Stat. 10 und 11) gefunden.

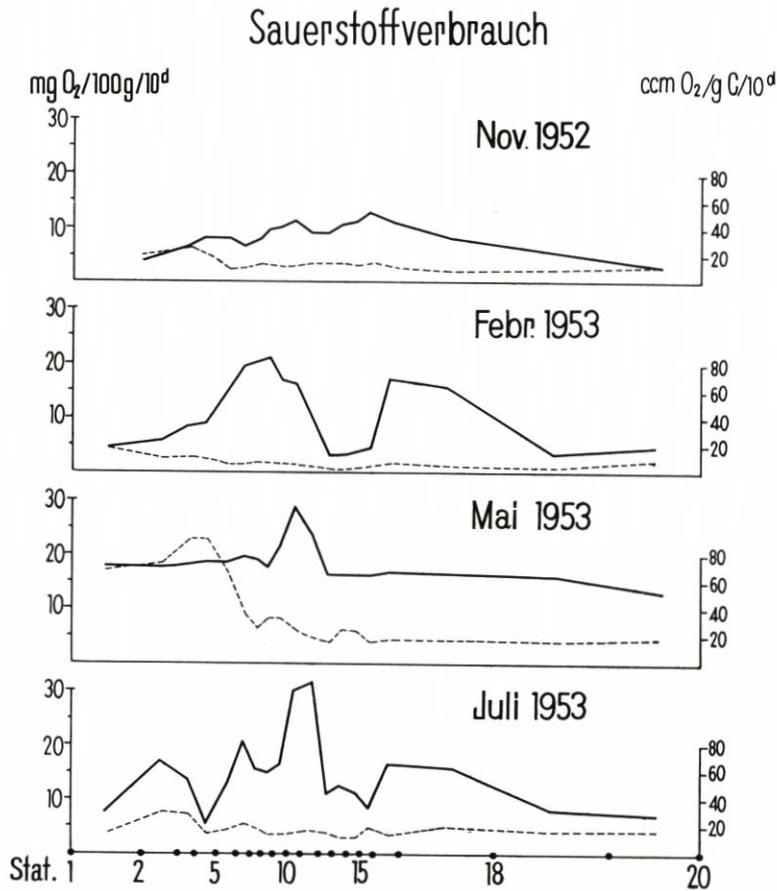


Abb. 3. Sauerstoffverbrauch der Sedimente aus dem Brackwassergebiet der Ems (überlappende Mittelwerte). — Dicke, durchgehende Linie:  $O_2$ -Verbrauch in mg  $O_2$ /100g/10<sup>d</sup>; dünne, unterbrochene Linie:  $O_2$ -Verbrauch in ccm  $O_2$ /g C/10<sup>d</sup>

Wird dagegen der  $O_2$ -Verbrauch auf organischen Kohlenstoff bezogen, so fluktuieren die Werte von 0,80 ccm bis 99,62 ccm je Gramm C. Die durchschnittlich niedrigsten Werte wurden dabei in der Februar-Serie, die entsprechend höchsten in der Mai-Serie festgestellt. Alle Sedimentserien sind durch einen typischen Anstieg des  $O_2$ -Verbrauchs im polyhalinen Bereich der untersuchten Strecke charakterisiert. Dieser war im Mai am ausgeprägtesten und lieferte hier, in Station 4, den oben genannten Maximalwert. Ein weiteres Maximum fand sich in der Fe-

bruar- und Juli-Serie im Gebiet der Stationen 16 und 17, während die Mai-Serie noch bemerkenswerte Spitzen bei den Stationen 9 und 14 aufwies

### V. Besprechung der Ergebnisse

Nach den vorliegenden Ergebnissen muß der Anteil, den die organische Substanz an der Zusammensetzung der oberflächlichen Sedimente zu einem beliebigen Zeitpunkt einnimmt, als gering bezeichnet werden, obwohl gerade im Brackwassergebiet eines Tideflusses eine sehr intensive Sedimentation herrscht. Nahezu alle einleitend genannten Verfasser berichten über einen durchschnittlich höheren organischen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt in den rein marinen Ablagerungen, nur CORRENS (3) und MOHAMED (11) geben für den maximalen C-Gehalt stets Werte unter 1 % an. Zwar handelt es sich bei den meisten Arbeiten um Meeresgebiete mit vollem Salzgehalt, doch fand auch GRIPENBERG (5) in den Sedimenten der salzärmeren Ostsee eine Schwankungsbreite im organischen C-Gehalt von 0,23 % bis 4,64 % und im N-Gehalt von 0,021 % bis 0,590 %, somit also Minimal- und Maximalwerte, die mehr als doppelt so hoch wie die entsprechenden eigenen Ergebnisse sind.

In der Regel erstreckt sich das C/N-Verhältnis in marinen Ablagerungen über eine Spanne von etwa 7,5 bis 16,0. GRIPENBERG (5), WISEMAN und BENNETT (21) und MOHAMED (11) haben allerdings auch abweichende Extremwerte, bis zu 2,0 einerseits und bis zu 34,2 andererseits, namhaft gemacht. Die im Emsgebiet ermittelte Schwankungsbreite von 6,2 bis 28,4 und das mittlere C/N-Verhältnis von 13,6 sind daher nicht als völlig ungewöhnlich zu betrachten.

Bei der charakteristischen Kürze der Brackwasserregion in der Ems und unter Berücksichtigung der hier herrschenden Strömungsgeschwindigkeiten ist es sehr unwahrscheinlich, daß ein nennenswerter Anteil der organischen Substanz von den selbstverständlich auch hier vorkommenden spezifischen Brackwasserorganismen des Wassers und des Bodens entstammt. Der weitestgehende Teil der organischen Substanz kann als allochthon gelten und besitzt zweifellos seinen Ursprung teils in fluviatilen, teils in marinen Organismen, die mit den Strömungen in Bereiche mit einem nicht mehr verträglichen Salzgehalt gelangen und dort absterben. Demnach werden im untersuchten Gebiet zwei letal wirkende „Vernichtungsschranken“ zu suchen sein: eine obere, wo der Salzgehalt bereits eine Höhe besitzt, die für die eigentlichen Flußorganismen lebensbegrenzend ist, und eine untere, wo durch die Verminderung des Salzgehaltes der größte Teil der mit dem Meerwasser herbeigeführten Lebewesen nicht mehr existieren kann [vgl. BROCKMANN (2a)].

Alle Analysenserien lassen übereinstimmend einen auffallenden Anstieg im organischen Gehalt bei den Stationen 17 bis 18 erkennen. Bei Kritzum, unweit von Station 18, liegt nach den Befunden von KÜHL und MANN (7) der sogenannte Salzgehaltsprung. Die hier auf engem Raum auftretende Zunahme der Salinität von etwa 0,5 ‰ auf 2 bis 3 ‰ ist für die mit dem Flußwasser herbeigeschafften Organismen nicht mehr verträglich. Eine räumlich schwer festzulegende Zone oberhalb und innerhalb des Salzgehaltsprungs stellt folglich die „obere Vernichtungsschranke“ dar. — Im unteren Untersuchungsabschnitt macht sich ebenfalls in allen Serien ein Anstieg in den Mengen der organischen Substanz im Bereich der Stationen 5 bis 7 bemerkbar. Gemäß den Angaben von HENSEN (6) handelt es sich hier um einen Raum, in dem der Salzgehalt im Kenterpunkt des Flutstroms von 13 ‰ bis 26 ‰ und im Kenterpunkt des Ebbstroms von 6 ‰ bis 14 ‰ schwanken kann. KÜHL und MANN (7) verlegen in dieses Gebiet die „mittlere“ Grenze zwischen der polyhalinen und der mesohalinen Brackwasserzone, die bekanntlich nach der REDEKE-REMANESCHEN Einteilung einen mittleren Salzgehalt von 16,5 ‰ zur Voraussetzung hat. Offenbar befindet sich unterhalb und innerhalb dieser Grenze die „untere Vernichtungsschranke“,

der alle an einen höheren Salzgehalt angepaßten marinen Lebewesen — und nach REMANE (14) sind die Lebewesen der polyhalinen Brackwasserzone als echte marine Organismen zu betrachten — in kurzer Zeit zum Opfer fallen.

Die Anzahl der an den Vernichtungsschranken zu Grunde gehenden Lebewesen, damit aber auch die Menge der von ihnen gelieferten organischen Substanz in den Sedimenten, hängt von zwei Größen ab, von denen die eine in der Höhe der marinen beziehungsweise fluviatilen Produktion und die andere in der Intensität der Wasserführung zu suchen ist. Demnach kann es vorkommen, daß zu Zeiten, in welchen die Produktion im allgemeinen gering ist, auch dann eine beträchtliche Vernichtungsrate erzielt werden kann, wenn durch eine hohe Strömungsgeschwindigkeit große Wassermengen bewegt werden. Das scheint besonders im Winter der Fall zu sein, da der gerade im Februar festgestellte hohe organische Gehalt der Ablagerungen keineswegs mit der zu dieser Jahreszeit niedrigen Produktion im Einklang steht. Aus den von HENSEN (6) und KÜHL und MANN (7) vermerkten Abflußmengen am Emswehr bei Herbrum (Ems km 214) kann jedoch ersehen werden, daß im Winter und Frühjahr ziemlich regelmäßig mit einer verhältnismäßig hohen Oberwasserführung zu rechnen ist. Damit würde jedenfalls das Wintermaximum der organischen Substanz in der Unter-Ems erklärbar sein. Analoge Vorgänge können auch die Bildung des anderen Maximalbereichs in der Außen-Ems bedingt haben. Unter entsprechenden hydrographischen und meteorologischen Gegebenheiten zur Flutzeit auflaufende große Wassermengen würden dafür Voraussetzung sein. — Es ist nicht angängig, die erzielten Befunde mit wenigen Daten der Wasserstände, Strömungsgeschwindigkeiten und Durchflußmengen erhärten zu wollen, da die bereits abgelagerte organische Substanz Gegenstand dieser Arbeit ist und die Sedimentierung fortlaufend über längere Zeiträume erfolgt, für die eine Analyse der bereits schon während eines Tages stark wechselnden Bedingungen von vornherein aussichtslos erscheinen muß.

Der mehrgipfelige organische Maximalbereich im Sommer kann ohne Schwierigkeiten mit der hohen marinen und fluviatilen Produktion zu dieser Jahreszeit erklärt werden.

Ganz allgemein steht die Längenausdehnung der brackwasserwärts von den Vernichtungsschranken gelegenen Maximalbereiche an organischer Substanz und wahrscheinlich auch deren lokale Anhäufung mit dem transportierenden Effekt der verschiedenen nach Richtung und Geschwindigkeit wechselnden Strömungen im Zusammenhang, doch stößt auch hier jeder Versuch einer Erforschung der speziellen Ursachen zunächst noch auf unüberwindliche Hemmnisse. —

Wie einführend zum Ausdruck gebracht wurde, bestimmt auch der Zersetzungsgrad maßgeblich die Verteilung der organischen Substanz. Da in den oberflächlichen Ablagerungen flacher Gewässer grundsätzlich Sauerstoff bei den Zersetzungsprozessen benötigt wird, kann der  $O_2$ -Verbrauch der Sedimente, allerdings mit einigen Vorbehalten, als Maßstab für den oxydativen Abbau der organischen Stoffe gewertet werden. — Beim Vergleich der Kurven in Abbildung 2 und 3 ist leicht zu ersehen, daß zwischen der räumlichen Verteilung der organischen Substanz, ausgedrückt durch den C-Gehalt, und dem Sauerstoffverbrauch, bezogen auf das Sedimentgewicht, eine ziemlich gute Parallelität besteht. Ablagerungen mit einem hohen organischen Gehalt besitzen folglich im allgemeinen auch eine verhältnismäßig hohe oxydative Zersetzungsrate. Es ist jedoch nicht möglich, aus dem experimentell festgestellten  $O_2$ -Verbrauch unmittelbar auf den Anteil organischer Stoffe an der Sedimentzusammensetzung zu schließen. So wurde in der Mai-Serie durchschnittlich wenig organischer Kohlenstoff und Stickstoff gefunden, während der  $O_2$ -Verbrauch, bei guter Gangparallelität zum C-Gehalt, beachtlich hohe Werte erbrachte. Diese Tatsache ist weiter nicht verwunderlich, da bekanntermaßen der oxydative Abbau organischer Stoffe temperaturabhängig ist.

Seit den Untersuchungen von WAKSMAN und HOTCHKISS (19) und ANDERSON (1) kann als gesichert gelten, daß die organische Substanz in den Sedimenten in sehr unterschiedlichem Maße

der bakteriellen Zersetzung in Gegenwart von Sauerstoff anheimfällt. Dem letztgenannten Verfasser folgend, wurde als Maßstab für die Verfügbarkeit der organischen Stoffe, oxydativen Prozessen gegenüber, der  $O_2$ -Verbrauch der Sedimente auf die Gewichtseinheit des darin enthaltenen organischen Kohlenstoffs berechnet. — Die gefundenen Werte sind im Durchschnitt bedeutend kleiner als jene, die ANDERSON (der in seinen Tabellen allerdings nur die Ergebnisse des  $O_2$ -Verbrauchs in 15 Tagen aufführt) von rein marinen, teilweise sogar aus großen Tiefen entnommenen Sedimenten berichtet. Wie aus den Kurven in Abbildung 3 zu erkennen ist, liegt der  $O_2$ -Verbrauch je Gramm Kohlenstoff im größten Teil des untersuchten Emsgebietes durchgängig auf etwa gleicher Höhe. Alle Serien zeigen jedoch im Bereich der Stationen 3 bis 6 einen  $\pm$  höheren  $O_2$ -Verbrauch, der besonders im Mai beträchtliche Werte ergab. Es verdient erwähnt zu werden, daß KÜHL und MANN (7) gerade an dieser Stelle eigenartig abweichende chemische Verhältnisse im Wasser, unter anderem auch zeitweilig ein enormes  $O_2$ -Defizit, bemerkt haben und zu dem Schluß gelangen, „daß hier in der Tiefe irgendwelche sauerstoffzehrenden Vorgänge stattgefunden haben“. Aus den eigenen Befunden ist nur der Hinweis möglich, daß die organischen Stoffe, die nahe der Grenze der polyhalinen Brackwasserregion abgelagert sind, offenbar leichter der oxydativen und bakteriellen Zersetzung unterliegen als jene aus dem Innern der meso- und oligohalinen Zone.

## VI. Zusammenfassung

1. In den verschiedenen Jahreszeiten (November 1952; Februar, Mai und Juli 1953) von zwanzig Stationen des Brackwassergebiets der Ems entnommenen Sedimenten wurde der Gehalt an organischer Substanz durch Bestimmung des organischen Kohlenstoffs und des Gesamt-Stickstoffs ermittelt.

2. Der Anteil der organischen Substanz an der Zusammensetzung der Sedimente ist nicht so beträchtlich, wie auf Grund der herrschenden intensiven Sedimentation angenommen wird. Je nach Ort und Zeit schwankt der organische Kohlenstoffgehalt von 0,111 % bis 2,143 %, entsprechend organischen Substanzmengen von 0,191 % bis 3,695 %. Der Stickstoffgehalt bewegt sich in den Grenzen von 0,010 % bis 0,191 %. Das C/N-Verhältnis variiert von 6,2 bis 28,4 und beträgt im Mittel 13,6.

3. In der meso- und oligohalinen Zone gelangt zu jeder Jahreszeit mehr organische Substanz zur Ablagerung als in der polyhalinen Zone oder im süßwasserführenden Flußabschnitt. — Im Winter und Sommer finden sich durchschnittlich größere Mengen organische Substanz als im Herbst und Frühjahr.

4. Die räumliche Verteilung der organischen Substanz beweist das Vorhandensein von lebensbegrenzenden Vernichtungsschranken in der Brackwasserregion. Eine obere Vernichtungsschranke, der die Flußorganismen zum Opfer fallen, liegt oberhalb und innerhalb des Salzgehaltssprungs in der oligohalinen Zone. Eine untere Vernichtungsschranke, welche die Existenzgrenze für die marinen Organismen darstellt, befindet sich unterhalb und innerhalb der Grenze zwischen polyhaliner und mesohaliner Zone.

5. Es wird gefolgert, daß die Mengen organischer Substanz und ihr Verteilungszustand im Innern der Brackwasserregion zu einer bestimmten Zeit einerseits mit der marinen bzw. fluviatilen Produktion und andererseits mit hydrischen Faktoren, im besonderen der Oberwasserführung und den Strömungsverhältnissen, in Beziehung stehen.

6. Der Sauerstoffverbrauch der Sedimente in zehn Tagen variiert von 1,72 bis 47,29 mg  $O_2$ /100 g Trockensediment und zeigt eine deutliche Gangparallelität zur räumlichen Verteilung der organischen Substanz. Im Frühjahr und Sommer ist ein höherer  $O_2$ -Verbrauch als im Herbst und Winter nachweisbar.

7. Die Verfügbarkeit der organischen Substanz für oxydative Zersetzungsprozesse, geschlossen aus dem Sauerstoffverbrauch je Gewichtseinheit des vorhandenen organischen Kohlenstoffs, ist im Grenzgebiet der polyhalinen und mesohalinen Zone stets größer als innerhalb der meso- und oligohalinen Zone.

## VII. Schriftenverzeichnis

1. ANDERSON, D. Q.: Distribution of organic matter in marine sediments and its availability to further decomposition. J. Mar. Research **2**, 225—235, 1939.
2. BOYSEN JENSEN, P.: Studies concerning the organic matter of the sea bottom. Rep. Dan. Biol. Stat. **22**, 1—39, 1914.

- 2a. BROCKMANN, Christoph: Das Brackwasser der Flußmündungen als Heimat und Vernichter des Lebens. *Natur und Museum*, 8, 1929.
3. CORRENS, C. W.: Die Verfahren der Gewinnung und Untersuchung der Sedimente. In: *Wiss. Ergebn. d. deutsch. Atlant. Exped. a. d. Forsch. u. Vermess.-Schiff „Meteor“*. 3. Band, 3. Teil, 1937.
4. DIXON, B. E.: The determination of carbon in rocks and minerals. *Analyst* **59**, 739—743, 1934.
5. GRIPENBERG, S.: A study of the sediments of the North Baltic and adjoining seas. *Fennia* **60**, No. 3, 1—231, 1934.
6. HENSEN, W.: Das Eindringen von Salzwasser in die Gezeitenflüsse und ihre Nebenflüsse, in Seekanäle und in Häfen. *Mitt. Hann. Versuchsanst.*, Heft 3, 20—50, 1953.
7. KÜHL, H. u. MANN, H.: Über die Hydrochemie der unteren Ems. *Veröffentl. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven* **3**, 126—158, 1954.
8. LUCHT, F.: Hydrographische Untersuchungen in der Brackwasserzone der Elbe. *Deutsch. Hydrograph. Z.* **6**, 18—32, 1953.
9. LÜNEBURG, H.: Hydrochemische Untersuchungen in der Elbmündung mittels Elektrokolorimeter. *Arch. Deutsch. Seewarte* **59**, Nr. 5, 1—27, 1939.
10. LÜTTMER, J.: Zur Schlickbildung im Mündungsgebiet der Ems. *Kolloid-Z.* **131**, 38, 1953.
11. MOHAMED, A. F.: The distribution of organic matter in sediments from the northern Red Sea. *Amer. J. Science* **247**, Nr. 2, 116—127, 1949.
12. MORGAN, G. T.: The estimation of carbon by oxidation with chromic acid. *J. Chem. Soc.* **85**, 1004—1005, 1904.
13. REDEKE, H. C.: Über den jetzigen Stand unserer Kenntnisse der Flora und Fauna des Brackwassers. *Verh. Intern. Ver. Limnol.* **6**, 1933.
14. REMANE, A.: Einführung in die zoologische Ökologie der Nord- und Ostsee. In: GRIMPE u. WAGLER: *Die Tierwelt der Nord- und Ostsee*, Band I a, 1940.
15. REVELLE, R.: Marine bottom samples collected in the Pacific Ocean by the Carnegie on its seventh cruise. *Dissert. Univ. Calif.* 1936.
16. TRASK, P. D.: Sedimentation in the Channel Islands Region, California. *Econ. Geol.* **26**, 24—43, 1931.
17. TRASK, P. D.: Organic matter of recent marine sediments. In: *Recent marine sediments*. *Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, Tulsa, 428—453, 1939.
18. WAKSMAN, S. A.: On the distribution of organic matter in the sea bottom and the chemical nature and origin of marine humus. *Soil Science* **36**, 125—147, 1933.
19. WAKSMAN, S. A. u. HOTCHKISS, M.: On the oxidation of organic matter in marine sediments by bacteria. *J. Mar. Research* **1**, 101—118, 1938.
20. WILDVANG, D.: *Das Reiderland*. Aurich 1920.
21. WISEMAN, J. D. H. u. BENNETT, H.: The distribution of organic carbon and nitrogen in sediments from the Arabian Sea. *John Murray Exped. 1933/34, Scient. Results* **3**, 193—221, 1940.