

# 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 Urheberrechtlichsinhabers. 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.

Aus dem Institut für Küsten- und Binnenfischerei in der BFA für Fischerei,  
Laboratorium Cuxhaven und dem Institut für Meereskunde der Universität Kiel

## Veränderungen der Bakterienflora, des Planktons und einiger chemischer Faktoren während einer Tide in der Elbmündung bei Cuxhaven

Von HEINRICH KÜHL und GERHARD RHEINHEIMER

**Zusammenfassung:** In der Elbmündung erfolgten bei Cuxhaven während einer Tide stündliche Bestimmungen von Gesamtkeimzahlen auf Nährböden mit unterschiedlichem Salzgehalt, sowie der Coliformen- und Hefezahl, und von verschiedenen chemischen und physikalischen Daten. Außerdem wurden in zweistündigem Abstand Vertikalfänge von Phyto- und Zooplankton ausgeführt. Die Untersuchungen erfolgten am 17. VIII. 1964, 26. I. 1965 und 24. VI. 1965 — also zweimal im Sommer und einmal im Winter. Es zeigte sich, daß die Zusammensetzung der Mikroflora- und -fauna während der Tide vor allem in Abhängigkeit vom Salzgehalt beträchtlichen Schwankungen unterliegt. Sehr erheblich ist auch der Einfluß der Cuxhavener Abwässer, der sich besonders  $2\frac{1}{2}$  bis 5 Stunden nach Thw auswirkt. Der Abwassereinfluß ist aber in Abhängigkeit vom jeweiligen Oberwasserabfluß und von den meteorologischen Bedingungen nicht immer gleich, sondern kann recht verschieden sein.

Die Vertikalverteilung von Seston und Bakterien weist die größten Unterschiede bei nachlassender Strömungsgeschwindigkeit, vor allem bei Tnw auf, da es dann durch Sedimentation zu einer Anreicherung derselben im Tiefwasser kommt.

Die Menge der verschiedenen Mikroorganismen läßt große jahreszeitliche Unterschiede erkennen. So nimmt die Gesamtzahl der Bakterien im Winter deutlich zu und die der Phyto- und Zooplankter sehr stark ab. Auch die artenmäßige Zusammensetzung ist sehr verschieden.

**Changes of the bacterial flora, of plancton and of some chemical factors during a tide in the Elbe estuary near Cuxhaven (Summary):** Bacterial counts on media with different salt concentrations, counts of coliforms and yeast cells as well as the estimation of some chemical and physical dates were carried out every hour and vertical net hauls of phyto and zooplankton every two hours during a tide in the Elbe estuary near Cuxhaven, twice in summer (17. VIII. 1964 and 24. VI. 1965) and once in winter (26. I. 1965). Considerable changes in the composition of microflora and microfauna could be observed during the tide, mainly in dependence on the varying salinity. However there was an important influence of sewage contamination, too, especially  $2\frac{1}{2}$ —5 hours after high tide, being quite different according to the freshwater flow and the meteorological conditions. The vertical distribution of seston and bacteria showed the largest differences with decreasing tidal stream. As a result of sedimentation, seston concentrations and bacterial counts were increasing then in the deep water.

Large seasonal changes of the bacterial and plancton counts could be observed. The bacterial counts were significantly increasing in winter while the numbers of phyto and zooplankters were decreasing. The species composition was seasonally changing, too.

### Einleitung

Frühere Untersuchungen im Elbe-Aestuar haben gezeigt, daß im Brackwasserbereich die Mikro- und Makroflora und -fauna in Abhängigkeit von den abiotischen Faktoren starken Veränderungen unterliegen. An der „Alten Liebe“ in Cuxhaven wurden bereits die Veränderungen des Phytoplanktons und des Zooplanktons im Zusammenhang mit einigen chemischen Faktoren im Verlauf einer Tide untersucht (BURSCHE, KÜHL und MANN 1958, KÜHL, 1964, 1965). Beobachtungen in der Nähe von Brunsbüttelkoog ergaben, daß die Bakterienflora vor allem durch die unterschiedlichen Salzgehalte und die Strömungsgeschwindigkeit beeinflußt wird. Bei Flut nimmt mit zunehmendem

Salzgehalt der Anteil der halophilen Meeresbakterien zu — bei Ebbe dagegen erhöht sich mit abnehmendem Salzgehalt der Anteil der Süßwasserbakterien. Zur Zeit der stärksten Strömung ist die Bakterienverteilung im Wasser von der Oberfläche bis zum Grunde annähernd gleich, während es bei Stillwasser durch Sedimentationsvorgänge zu einer Abnahme des Keimgehaltes im Oberflächenwasser und zu einem mehr oder weniger kräftigen Anstieg in der Tiefe kommt (KOSKE, KRUMM, RHEINHEIMER und SZEKIELDA, 1966, RHEINHEIMER 1968a). Die vorliegende Untersuchung hatte nun zum Ziel, gleichzeitig die Veränderungen der Bakterienflora, des Phyto- und Zooplanktons sowie einiger physikalischer und chemischer Daten während einer Tide (von Hochwasser zu Hochwasser) in der Elbmündung an der „Alten Liebe“ in Cuxhaven zu verfolgen. Dieser Platz bot auch die Möglichkeit, den Einfluß der Cuxhavener Abwässer zu beobachten und festzustellen, ob auch unter diesen Bedingungen die geschilderten Gesetzmäßigkeiten noch bestehen. Die Untersuchungen erfolgten zweimal im Sommer (am 17. VIII. 1964 und am 24. VI. 1965) und einmal im Winter (am 26. I. 1965) bei zeitlich etwa gleichem Tidenablauf.

Die Menge des Oberwassers war jedoch sehr verschieden. Diese ist für das biologische Geschehen besonders wichtig (KÜHL 1964, 1966), da hierdurch der Salzgehalt langfristig beeinflußt wird. Die Abflußmengen zeigten an den Untersuchungstagen sehr große Unterschiede. Sie waren am Pegel Neudarchau am

- 17. August 1964 mit 306 m<sup>3</sup>/sec sehr niedrig, am
- 26. Januar 1965 mit 805 m<sup>3</sup>/sec beträchtlich höher, und am
- 24. Juni 1965 mit 1990 m<sup>3</sup>/sec besonders groß.

Unsere Untersuchungen umfaßten die stündliche Ermittlung folgender Daten: Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoffsättigung, Sauerstoffzehrung, Colizahl, Gesamtkeimzahl auf Meerwasser- und Süßwassermedien, Phytoplankton und Zooplankton. Zweimal wurden außerdem bestimmt der Ammoniak-, Nitrit- und Nitratgehalt, und einmal die Ammonifikationspotenz, die Nitritations- und Nitratationspotenz sowie die Hefezahl.

## Methodik

Die Wasserproben wurden von der „Alten Liebe“ aus mit einer Schöpfflasche für die chemischen und mit einem ZoBell-Schöpfer für die bakteriologischen Untersuchungen entnommen. Das Ansetzen der letzteren erfolgte jeweils unmittelbar nach der Probenentnahme im Laboratorium des Instituts für Küsten- und Binnenfischerei in Cuxhaven. Die Auswertung fand im Institut für Meereskunde in Kiel statt. Es fanden folgende Nährböden Verwendung:

### 1. Dreifarbenagar nach Gassner zur Bestimmung der Colizahl

- 5 g Fleischextrakt
- 5 g Pepton
- 2 g NaCl
- 1 g K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>
- 20 g Agar
- 1000 ml Leitungswasser

Dem flüssigen Agar werden zugegeben:

62,5 ml H<sub>2</sub>O mit 1,250 g Metachromgelb II RD, die 2 Minuten gekocht wurden, und 87,5 ml H<sub>2</sub>O mit 0,875 g Wasserblau 6B extra und 50 g Lactose, die sich nach 10 Minuten langem Kochen gelöst hat.

pH 7,3—7,5

30 Minuten bei 112°C und 1/2 Atü sterilisieren.

Auszählung nach 24 stündiger Bebrütung bei 37°C.

### 2. Nähragar

- 5 g Fleischextrakt
- 5 g Pepton

2 g NaCl  
1 g  $K_2HPO_4$   
20 g Agar  
1 000 ml Leitungswasser  
pH 7,3—7,5

Auszählung nach 7tägiger Bebrütung bei 20°C.

Auf diesem Standardnährboden für die Gesamtkeimzahlbestimmung werden vor allem die eiweißabbauenden Süßwasserbakterien erfaßt, die entsprechend ihren relativ großen Nährstoffansprüchen zu einem beträchtlichen Teil aus Abwässern stammen.

3. Hefeextrakt-Pepton-Agar nach ZoBell (2216 E)  
zur Bestimmung der Zahl der halotoleranten und halophilen Bakterien, die hier als „Meeresbakterien“ bezeichnet werden.

5 g Pepton (Difco)  
1 g Hefe-Extrakt (Difco)  
0,01 g Eisenphosphat  
15 g Agar  
750 ml gealtertes Seewasser  
250 ml Aqua dest.  
pH 7,6—7,8

Auszählung nach 14 tägiger Bebrütung bei 20°C.

4. der gleiche Nährboden mit Süßwasser hergestellt  
zur Bestimmung der Zahl der „Süßwasserbakterien“.

5. Nährboden nach Meyers zur Bestimmung der Hefezahl

5 g Pepton  
3 g Fleischextrakt  
20 g Glucose  
1 g Hefe-Extrakt  
15 g Agar  
1 000 ml Leitungswasser

Nach dem Autoklavieren auf pH 4,0—4,5 mit 10%iger Milchsäure einstellen.

Auszählung nach 3 tägiger Bebrütung bei 20°C.

Die Bestimmung der Nitritations- und Nitratationspotenz erfolgte nach RHEINHEIMER, 1965; die des Ammoniakgehaltes nach GILLBRECHT, 1961 und die des Nitrit- und Nitratgehaltes nach GRASSHOFF, 1964. Für die übrigen Untersuchungen wurden die Vorschriften der „Deutschen Einheitsverfahren“ angewendet.

Am 17. VIII. 1964 wurden nur Oberflächenproben (aus etwa 0,5 m Tiefe) entnommen — am 26. I. 1965 alle 2 Stunden und am 24. VI. 1965 jede Stunde auch Tiefenproben — etwa 1 m über Grund.

Die Planktonproben wurden an den Untersuchungstagen zweistündlich als Vertikalfänge mit einem kleinen Netz genommen, dessen obere Öffnung 40 cm betrug, mit einer Maschenweite von 280  $\mu$ . Die Proben wurden im Ganzen ausgezählt, nur für Phytoplankton und den Detritus wurden die Absatzvolumina bestimmt. Das Verfahren hatte sich bei früheren Untersuchungen bewährt (KÜHN, 1965).

## Ergebnisse

1. Am 17. August 1964 erfolgte die erste Probenentnahme um 7<sup>39</sup>, die letzte um 20<sup>11</sup> Uhr, das heißt jeweils bei Tidenhochwasser (Thw). Tidenniedrigwasser (Tnw) war um 14<sup>18</sup> Uhr. Es herrschte folgende Witterung: OSO-Wind um 5 in Böen bis 6, bezogener Himmel — Bewölkung nachmittags zeitweise aufreißend, Lufttemperatur 20—22°C. Entsprechend dem geringen Abfluß (306 m<sup>3</sup>/sec bei Neudarchau) waren die Salzgehalte des Elbewassers relativ hoch. Sie bewegten sich zwischen 17,5 und 25,0‰. Die Sauerstoffsättigung lag zwischen 80 und 100%, die Sauerstoffzehrung (nach 24 Stunden) zwischen 4 und 35% (Abb. 1).

Die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchungen sind in Abb. 2 dargestellt. In den ersten zwei Stunden nach Thw war der Bakteriengehalt relativ gering. Dann stiegen zunächst die Keimzahlen auf allen Nährböden an — während sich der Salzgehalt noch kaum veränderte. Drei Stunden nach Thw hatte die Zahl der auf ZoBell-Agar wachsenden „Meeresbakterien“ ihr Maximum, ging dann aber wieder stark zurück und erreichte zwei Stunden nach Tnw, zur Zeit des geringsten Salzgehaltes, ihr Minimum. Im weiteren Verlauf stiegen die Werte wieder kräftig an und es ließ sich ein zweites Maximum eine Stunde vor Thw beobachten. Die Zahl der auf Nähragar wachsenden Bakterien war von 10<sup>40</sup> Uhr bis 12<sup>40</sup> Uhr, das heißt drei bis fünf Stunden nach Thw, am größten. Die Zahl der Coliformen hatte ein klares Maximum um 12<sup>40</sup> Uhr — also fünf Stunden nach Thw. Die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchungen lassen sehr deutlich den Einfluß der Cuxhavener Abwässer erkennen. 2<sup>1/2</sup> bis 5 Stunden nach Thw passierte relativ stark verunreinigtes Wasser die „Alte Liebe“ und bewirkte sofort einen kräftigen Anstieg der Gesamtkeim- und Colizahlen. Zur Zeit des Tnw hatte der Abwassereinfluß bereits wieder nachgelassen und zwei Stunden später, um 16<sup>20</sup> Uhr, erreichten die Bakterienzahlen ihr Minimum. Hierzu sei bemerkt, daß sich die Abwassereinleitung etwa 300 m oberhalb vom Untersuchungsplatz befindet. Sie liegt 1 m unter Tnw und beträgt ungefähr 18000 bis 20000 m<sup>3</sup>/Tag.

Die Zahl der „Meeresbakterien“ stieg dann mit zunehmendem Flutstrom wieder kräftig an, während die Colizahlen und die Zahl der auf Nähragar wachsenden Bakterien sich nur verhältnismäßig wenig änderten. Die Zahl der „Meeresbakterien“ läßt eine deutliche Beziehung zur Höhe des Salzgehaltes erkennen, wie das auch im Bereich von Brunsbüttelkoog festgestellt wurde (KOSKE et al., 1966).

Die Ergebnisse der Planktonzählungen sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Entsprechend der Jahreszeit und dem höheren Salzgehalt ist die Artenzahl recht groß. Wie bei früheren Untersuchungen schon festgestellt werden konnte, nimmt die Individuenzahl von Thw nach Tnw ab, wobei zu berücksichtigen ist, daß am Untersuchungs-ort die Kurve für den Salzgehalt um etwa zwei Stunden der Pegelkurve nachläuft. Bei Beginn der Probenentnahme sind noch Diatomeen, vorwiegend *Biddulphia sinensis* und *B. mobiliensis*, sowie *Rhizosolenia hebetata* und *R. imbricata*, vorhanden, der Detritus, der aus Pflanzenfasern, Kotpillen und Schmutz (aus dem Sieb) besteht, nimmt gegen Tnw zu, um mit auflaufendem Wasser wieder abzunehmen, was ebenfalls mit den früheren Untersuchungen übereinstimmt (BURSCHE, KÜHL, MANN 1958, KÜHL 1965).

2. Am 26. Januar 1965 erfolgten die erste und letzte Probenentnahme wieder bei Thw um 7<sup>27</sup> bzw. um 20<sup>01</sup> Uhr. Tnw war um 14<sup>15</sup> Uhr. Es herrschte folgende Witterung: NNO-Wind 5,5 bis 7, bedeckt, zeitweise Schneeregen, Lufttemperatur um 0°C.

Die Salzgehalte waren entsprechend dem höheren Abfluß (805 m<sup>3</sup>/sec bei Neudarchau) erheblich niedriger als Mitte August des Vorjahres und bewegten sich zwischen 8,0 bis 15,7‰. Die Wassertemperatur betrug 2,3 bis 2,5°C. Die Sauerstoffsättigung lag zwischen 77 und 128%, die Sauerstoffzehrung (nach 24 Stunden) zwischen 0 und 29,5% (Abb. 3).

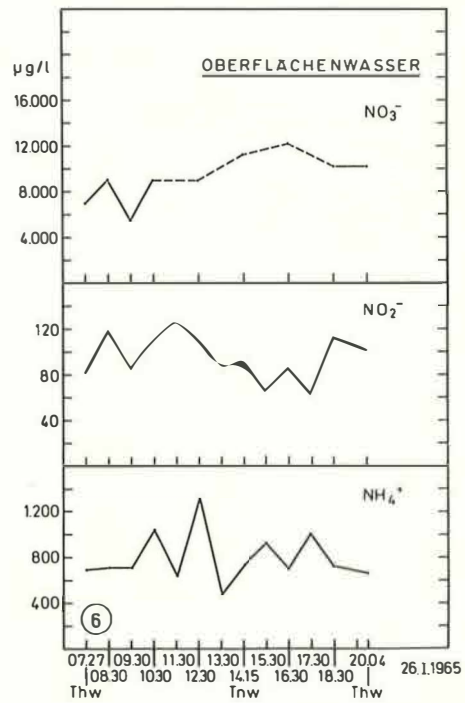
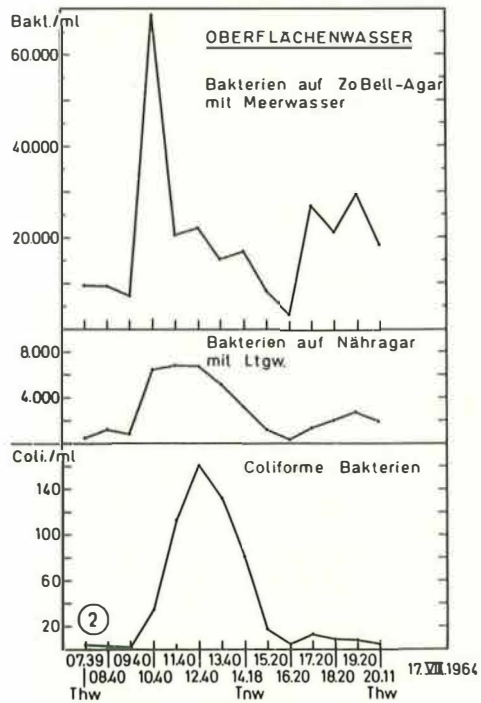
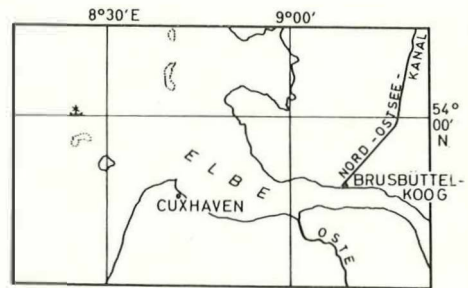
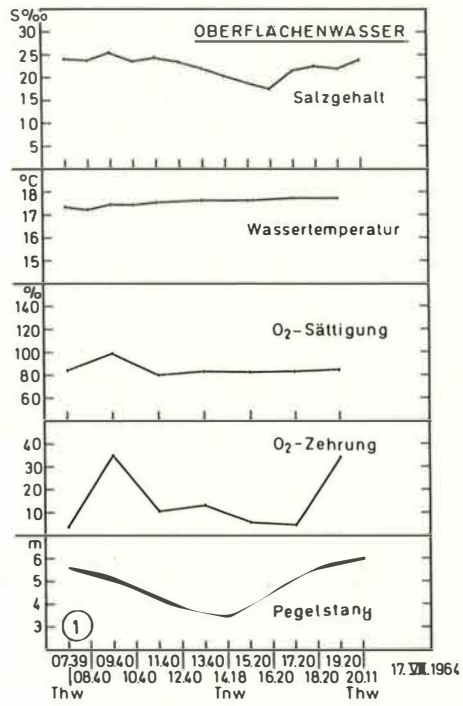
---

#### Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 1)

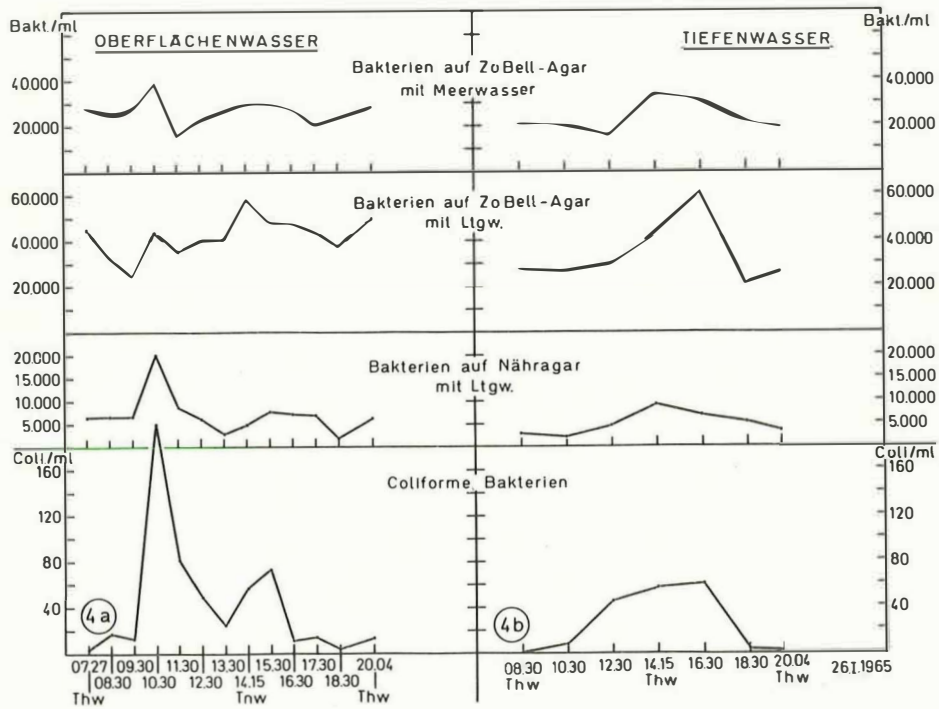
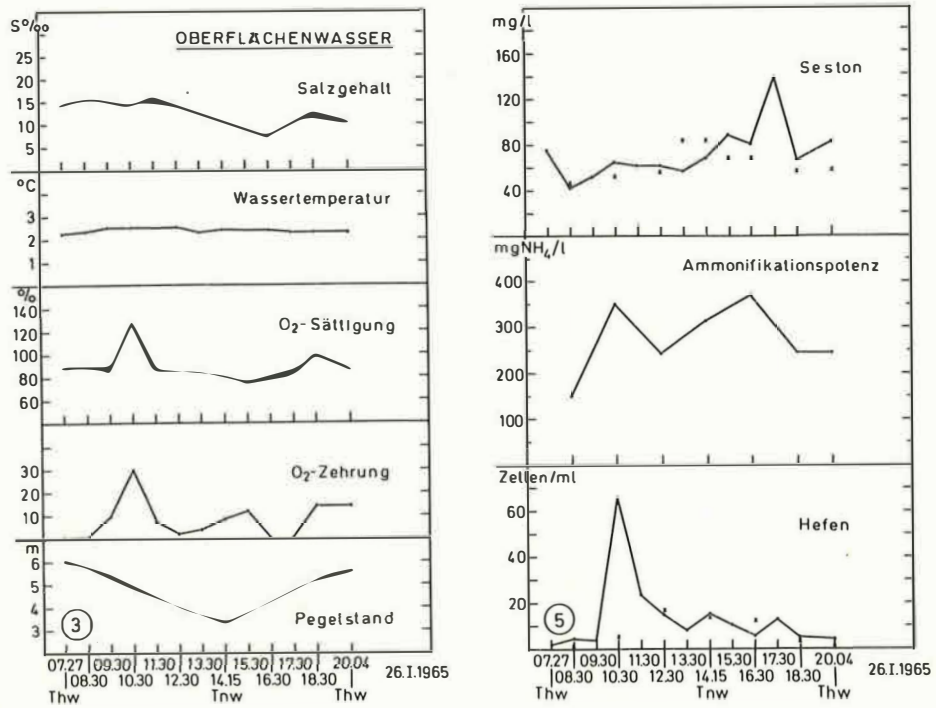
Abb. 1: Salzgehalt, Wassertemperatur, Sauerstoffsättigung und Sauerstoffzehrung nach 24 Stunden des Oberflächenwassers sowie Pegelstand am 17. VIII. 1964 in der Zeit von 07<sup>37</sup> bis 20<sup>11</sup> Uhr.

Abb. 2: Gesamtzahl der auf einem Meerwassermedium (ZoBell-Agar) und auf einem Süßwassermedium (Nähragar) wachsenden Bakterien und Zahl der coliformen Bakterien im Oberflächenwasser am 17. VIII. 1964 in der Zeit von 07<sup>39</sup> bis 20<sup>11</sup> Uhr.

Abb. 6: Nitrat-, Nitrit- und Ammoniakgehalt im Oberflächenwasser am 26. I. 1965.



Tafel 1 (zu H. Kühl u. G. Rheinheimer)



Tafel 2 (zu H. Kühl u. G. Rheinheimer)



Die bakteriologischen Untersuchungsergebnisse sind in Abb. 4a und b wiedergegeben. Neben Oberflächenproben in einstündigem Abstand — wurden diesmal auch alle zwei Stunden Wasserproben 1 m über Grund entnommen. Außerdem erfolgten noch Bestimmungen der Keimzahl auf mit Süßwasser hergestelltem Hefeextrakt-Pepton-Agar („Süßwasserbakterien“) und der Hefezahl (Abb. 5). Auch dieses Mal zeigte sich drei Stunden nach Thw in der Oberflächenzone der Einfluß der Cuxhavener Abwässer durch einen kräftigen Anstieg der Keim- und Colizahlen. Auch die Hefezahl erreichte zu diesem Zeitpunkt ihr Maximum. Im übrigen zeigten alle Werte größere Schwankungen — besonders ausgeprägt war das bei den „Süßwasserbakterien“, deren Zahl zwar ein eindeutiges Maximum bei Tnw hatte — sich sonst aber von Stunde zu Stunde stark änderte. Es war diesmal auch keine so klare Beziehung zwischen der jeweiligen Höhe des Salzgehaltes und der Zahl der „Meeresbakterien“ zu erkennen — so blieb der Anstieg mit der Zunahme des Salzgehaltes drei bis fünf Stunden nach Tnw aus.

Allerdings erfolgte die Salzgehaltszunahme diesmal sehr zögernd. Offenbar verhinderte der starke NNO-Wind einen „normalen Tidenverlauf“. Das Gleiche gilt für den Abfluß der Abwässer, der diesmal nicht so gleichmäßig wie im Sommer des Vorjahres erfolgen konnte. So ist die Colikurve jetzt zweigipfelig und auch die Hefezahl, die ebenfalls ein guter Indikator für die Abwasserbelastung eines Gewässers ist, unterliegt größeren Schwankungen. Die Kurve der alle zwei Stunden bestimmten Ammonifikationspotenz (als Ausdruck für die Zahl der aktiven Fäulnisbakterien — s. RHEINHEIMER 1959, 1965) läßt zwei Maxima erkennen; das erste um 10<sup>30</sup> Uhr — also zur Zeit der höchsten Coli-, „Süßwasserbakterien“- und Hefezahl als Folge des Abwassereinflusses; das zweite um 17<sup>30</sup> Uhr, zur Zeit des Sestonmaximums (Abb. 5). Die Bakterienzahlen im Tiefenwasser zeigen einen anderen Verlauf (Abb. 4b). Hier waren keine großen Schwankungen zu erkennen und die höchsten Werte ließen sich bei allen untersuchten Bakteriengruppen in der Zeit von Tnw bis zwei Stunden danach feststellen. Die Hefezahl war zwei Stunden vor Tnw etwas größer. Die Zunahme des Bakteriengehaltes etwa zur Zeit des Tnw, ist eine Folge der stark verringerten Strömungsgeschwindigkeit und der dadurch verursachten Sedimentation von Detritus und Bakterien, wie das im Bereich von Brunsbüttelkoog festgestellt werden konnte (Koske et al. 1966). Wie Abb. 5 zeigt, lag zu dieser Zeit der Sestongehalt des Tiefenwassers deutlich über dem des Oberflächenwassers — während es sich sonst fast durchweg umgekehrt verhielt.

Im Januar war das Plankton artenarm (Tab. 1), auch die Individuenzahl war gering, die Abnahme zeigte sich auch von Thw zu Tnw deutlich. Nur in der ersten, bei Thw entnommenen Probe, konnte vereinzelt *Actinocyclus Normanii* angetroffen werden, in den folgenden Proben waren Diatomeen kaum noch vorhanden. Der Detritus, der aus groben Fasern, Holzstückchen und Sand bestand, nahm mit ablaufendem Wasser zu (Abb. 11).

In den Oberflächenproben wurde diesmal auch der Ammoniak-, Nitrit- und Nitratgehalt bestimmt (Abb. 6). Der Ammoniakgehalt hatte sein Maximum mit 1325 µg

---

#### Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 2)

- Abb. 3: Salzgehalt, Wassertemperatur, Sauerstoffsättigung und Sauerstoffzehrung nach 24 Stunden des Oberflächenwassers sowie Pegelstand am 26. I. 1965 in der Zeit von 07<sup>27</sup> bis 20<sup>10</sup> Uhr.  
 Abb. 4: Gesamtzahl der auf einem Meerwassermedium (ZoBell-Agar) und auf zwei Süßwassermedien (ZoBell-Agar und Nähragar) wachsenden Bakterien und Zahl der coliformen Bakterien im Oberflächenwasser (a) und im Tiefenwasser (b).  
 Abb. 5: Ammonifikationspotenz und Zahl der Hefezellen im Oberflächenwasser und Sestongehalt im Oberflächen- und Tiefenwasser (Kreuze) am 26. I. 1965.



NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/l um 12<sup>30</sup> Uhr und eine Stunde später mit 475 µg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/l das Minimum. Der Nitratgehalt war gut zwei Stunden nach Tnw mit 12100 µg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l am größten und zwei Stunden nach Thw mit 5450 µg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l am geringsten. Der höchste Nitritgehalt des Tages wurde mit 126 µg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/l um 11<sup>30</sup> Uhr und der niedrigste mit 64 µg NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/l um 17<sup>30</sup> Uhr ermittelt.

Tabelle Artenmäßige Verteilung des Zooplanktons

Datum	Artenmäßige Verteilung des Zooplanktons								
	I: 17. 8. 1964			II: 26. 1. 1965			III: 24. 6. 1965		
Uhrzeit	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	07 <sup>40</sup>	08 <sup>30</sup>	08 <sup>30</sup>	09 <sup>40</sup>	10 <sup>30</sup>	10 <sup>30</sup>	11 <sup>40</sup>	12 <sup>30</sup>	12 <sup>30</sup>
Pegel NN—5 m	5,8	5,8	6,2	5,3	4,8	5,5	4,3	3,9	4,5
Salzgehalt ‰	24,2	15,8	12,3	25,3	14,3	11,0	24,3	14,6	11,7
<i>Rathkea octopunctata</i>			28	1		19			6
<i>Margelopsis haeckeli</i>	1			1 P			2		
<i>Nemopsis bachei</i>	1		1						1
<i>Eucheilota maculata</i>	5			4			1		
<i>Obelia</i> spsp	3		17			16			5
<i>Pleurobrachia pileus</i>	2	1	1						
<i>Paranais litoralis</i>									2
<i>Trochophora</i> spsp	14			3					
Nereid. Larven	13			2					
Spionid. Larven	515	2	760	230	2	250	34		68
Lanice Larven	13		5	4		2			1
Polynoid. Larven							2		
Magelona Larven			2			1			
<i>Daphnia longispina</i>						2			6
Copepoden	389	190	2 600	650	8	2 100	140	5	810
<i>Neomysis integer</i>					1				
<i>Mesopopsis slabberi</i>			1						
<i>Paranysis kervillei</i>			2			2			3
<i>Gammarus</i> spsp	2	1	2	15	5	20	8	4	12
<i>Balanus Nauplien</i>	339		6	32		4	105		1
Cypris Larven	148		7	44		53	20		14
<i>Pseudocuma</i> sp.	12			2					
<i>Carcinus Zoëa</i>	4			3			2		
<i>Carcinus Megalopa</i>				1					
Crangon Larven	2			3			1		
<i>Sagitta setosa</i>	2			3	2		3		
Gastropoden Larven	150			30			10		
Bivalven Larven			80			30			25
<i>Oikopleura dioica</i>			1						
Fischlarven (Osmerus)			12			1			2
Diatomeen ccm	4,0	+	0,5	2,0			0,5		
Detritus ccm	1,3	2,0	2,0	5,0	5,5	3,0	6,9	3,9	4,0

3. Am 24. Juni erfolgten die Probeentnahmen zwischen dem Morgenhochwasser um 8<sup>11</sup> Uhr und dem Abendhochwasser um 20<sup>35</sup> Uhr. Niedrigwasser war um 14<sup>41</sup> Uhr. Es herrschte folgende Witterung: S bis SW-Wind 3, heiter bis bewölkt, Lufttemperatur 14,9° bis 19,4°C. Die Salzgehalte waren noch etwas niedriger als Ende Januar und bewegten sich im Oberflächenwasser zwischen 2,5 und 12,5‰ und im Tiefenwasser

zwischen 4,5 und 16,7‰ (Abfluß bei Neudarchau 1990 m<sup>3</sup>/sec). Die Wassertemperatur betrug 16,6 bis 17,7°C. Die Unterschiede zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser beliefen sich auf maximal 0,8°C. Die Sauerstoffsättigung lag nahe der Oberfläche zwischen 71 und 95% und in der Tiefe zwischen 74 und 94%. Die Sauerstoffzehrung (nach 24 Stunden) bewegte sich im Oberflächenwasser zwischen 0 und 32,3%, im

während der Tide an den drei Untersuchungstagen

I 13 <sup>40</sup>	II 14 <sup>30</sup>	III 14 <sup>30</sup>	I 15 <sup>20</sup>	II 16 <sup>30</sup>	III 16 <sup>30</sup>	I 17 <sup>20</sup>	II 18 <sup>30</sup>	III 19 <sup>00</sup>	I 19 <sup>20</sup>	II 20 <sup>05</sup>	III 20 <sup>30</sup>
3,6	3,5	3,9	3,8	4,2	5,0	5,1	5,3	6,4	5,7	5,6	6,6
22,0	10,2	5,2	18,9	8,4	2,8	21,4	12,6	10,5	21,8	10,9	11,2
					1			16			31
								2			3
			1						2		
			1					20			21
											1
		3			5			1			
1											
53		6	70		3	8		460	210		150
3								4			4
											2
		3			5						
280	30	750	220	117	350	73	22	6 000	290	145	1 500
1				1						2	
		2						1			8
1		4	16	2	9	4		8	6	3	2
18			9			3			52		5
11			24		2	7		5	73		17
1			1								
2											
1			4						7		
10									7		
4									100		70
								4			15
		7			7						2
								0,2	2,5		0,2
4,0	2,0	2,0	3,5	2,0	2,0	3,0	1,7	0,2	0,3	1,7	0,1

Tiefenwasser zwischen 0 und 15,8‰ (Abb. 7a und b).

Die Ergebnisse der bakteriologischen Untersuchungen sind in Abb. 8a und b zusammengefaßt. Auch diesmal machte sich zwischen zwei und drei Stunden nach Thw der Abwassereinfluß durch den starken Anstieg der Coli- und Gesamtkeimzahlen bemerkbar. Die Zahl der „Meeresbakterien“ hatte zwei Stunden, die der Coliformen

und der „Stüßwasserbakterien“ drei Stunden und die der auf Nähragar wachsenden Bakterien vier Stunden nach Thw ihr Maximum.

Bei den Tiefenproben zeigte sich wiederum eine mehr oder weniger große Zunahme der verschiedenen Bakterienzahlen in der Zeit von kurz vor bis zwei bis drei Stunden nach Thw. Die Kurven zeigen zwar keine so klaren Maxima zu dieser Zeit wie im Januar — dennoch war der Bakteriengehalt zu diesem Zeitpunkt auch diesmal in der Tiefe deutlich größer als im oberflächennahen Wasser. Das ist wiederum die Folge der bereits erwähnten Sedimentationsvorgänge bei erheblich verminderter Strömungsgeschwindigkeit.

Im Oberflächenwasser wurden auch die Nitritations- und Nitratationspotenzen bestimmt. Die Nitritationspotenz (die ein Ausdruck für die Zahl der aktiven Nitritbakterien ist — s. RHEINHEIMER 1965) nahm bei ablaufendem Wasser langsam zu — aber erst zur Zeit des geringsten Salzgehaltes, das heißt ein bis zwei Stunden nach Thw kam es zu einem starken Anstieg (Abb. 10). Zu dieser Zeit dürften sowohl die Zahl als auch die Aktivität der Nitritbakterien am größten gewesen sein, so daß es zu einer deutlichen Ammoniakoxydation im Strom kommen konnte — während diese bei Thw nur verhältnismäßig gering war.

Die Unterschiede der Nitratationspotenz (die die Menge der aktiven Nitratbakterien zum Ausdruck bringt) sind weniger eindeutig (Abb. 10). Es läßt sich hieraus nur entnehmen, daß Nitratbakterien sowohl bei Ebbe als auch bei Flut zugegen und in der Lage waren bei den gegebenen Salzgehalten von 2,5 bis 12,5‰ (Abb. 7a) Nitrit zu Nitrat zu oxydieren. Es scheint hier auch nicht zu der, vor allem zwischen Hamburg und Glückstadt beobachteten einseitigen Hemmung der Nitratbakterien zu kommen (s. RHEINHEIMER 1965), da der im Flußwasser festzustellende Nitritgehalt am Untersuchungstag nicht über 75 µg/l hinausging. Die Nitritspitzen laufen allerdings parallel mit den Colispitzen und das Minimum der Nitratationspotenz geht einher mit der höchsten Coli- und Gesamtkeimzahl, während die geringste Nitritationspotenz sich bei Hochwasser — also zur Zeit der höchsten Salzgehalte fand. — Es werden also auch im Bereich von Cuxhaven bei entsprechenden Abwasserbelastungen die Nitratbakterien in der Elbe offenbar stärker gehemmt als die Nitritbakterien.

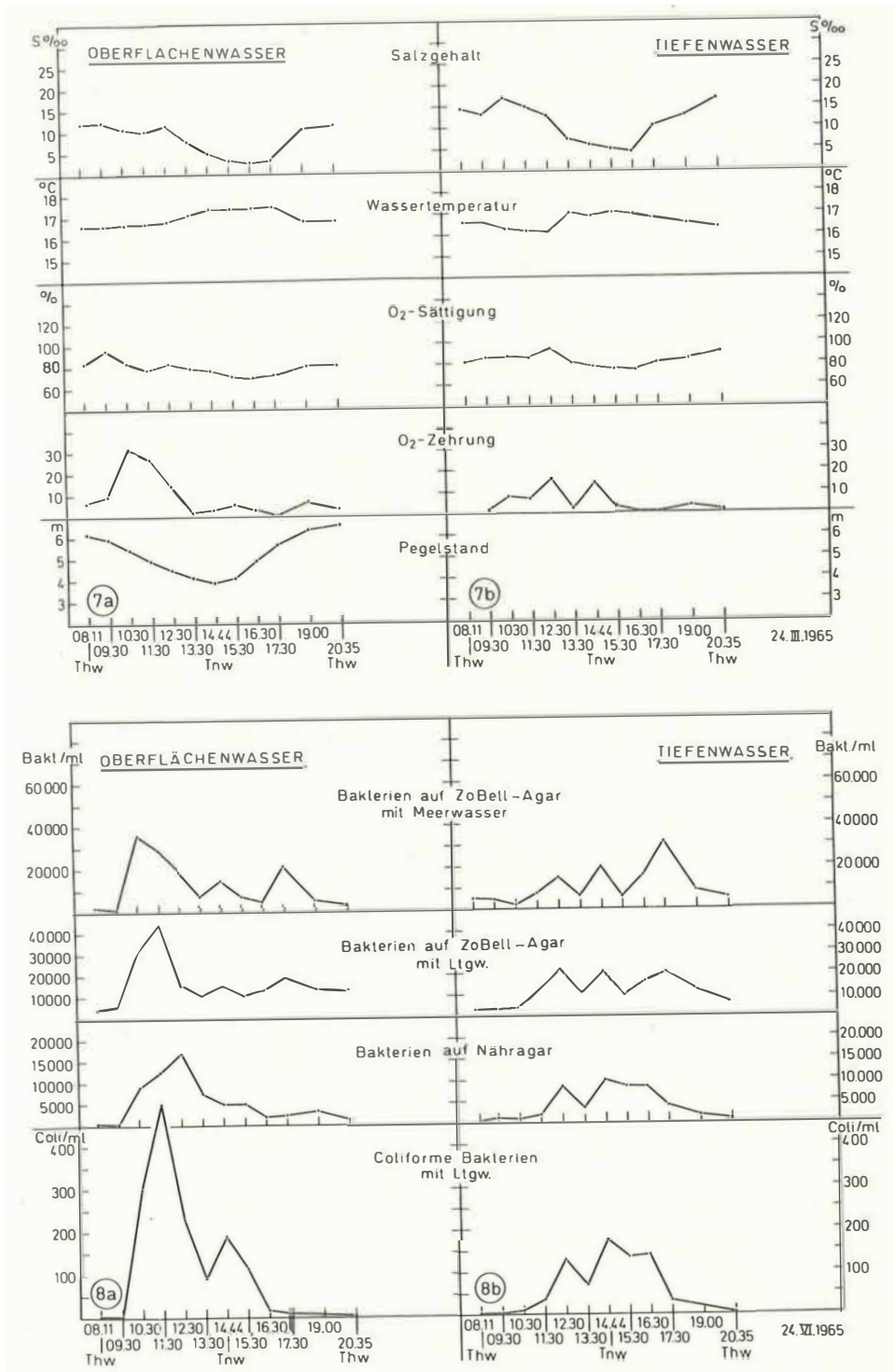
Das Plankton war durch die große Oberwassermenge und den für längere Zeit stark herabgesetzten Salzgehalt am Versuchsplatz beeinflusst (Tab. 1). Die Zahl vieler mariner Plankter hatte kräftig abgenommen. Auffallend war das Auftreten limnischer Arten, wie *Paranais litoralis* und *Daphnia longispina* im Plankton, sowie die großen Mengen an Copepoden, die zum Teil auch aus den oberen Regionen stammen, wie *Eurytemora affinis*, *Biddulphia sinensis* und *B. mobiliensis* kamen nur in sehr geringer Menge um Thw vor. Der Detritus, der aus feinen Pflanzenfasern, vielen Kotpillen und etwas Sand bestand, war wiederum bei Thw anteilmäßig am größten. Der Verlauf der Detrituskurven ist bei allen drei Untersuchungen auffallend ähnlich, wie aus Abb. 11 deutlich wird.

Auf die besonderen Verhältnisse im biologischen Geschehen, die die große Wasserführung in den Monaten März bis Juli 1965 verursachte, wurde früher schon hingewiesen (KÜHL 1966).

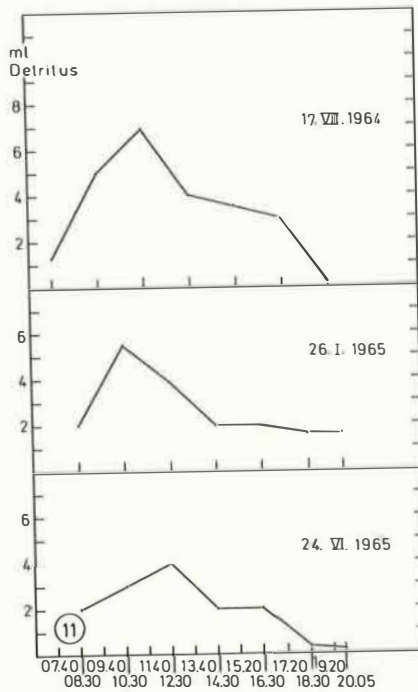
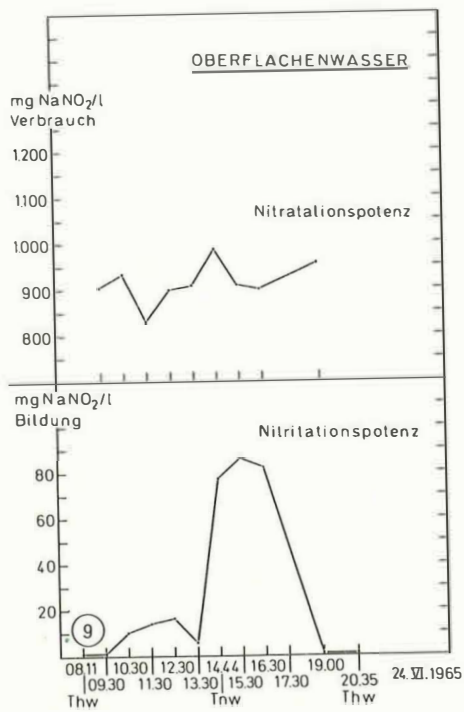
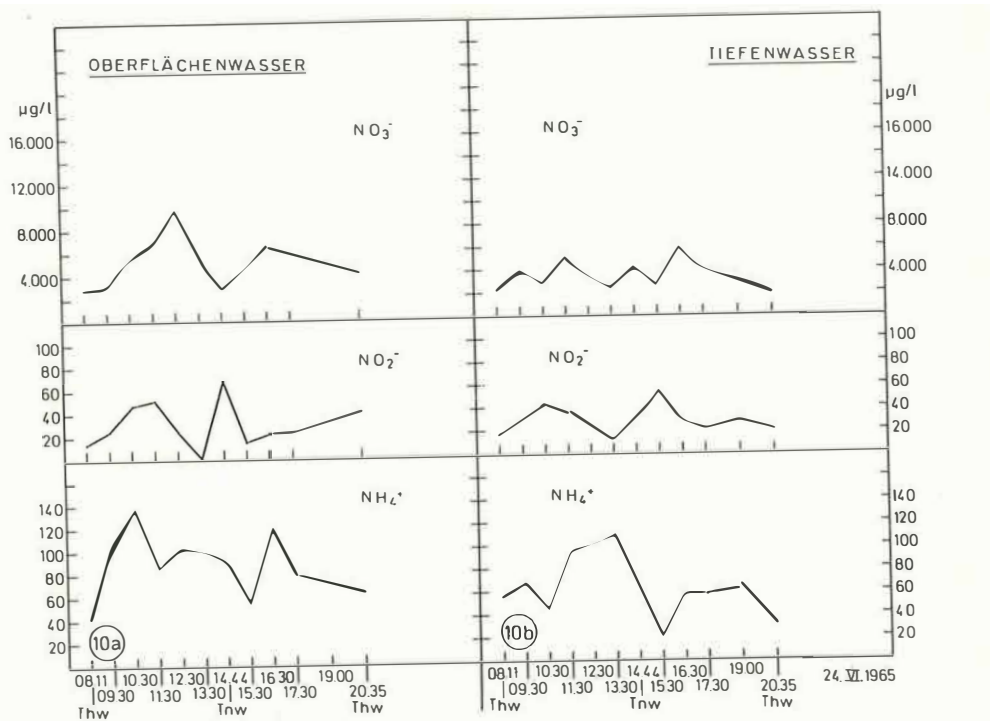
#### Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 3)

Abb. 7: Salzgehalt, Wassertemperatur, Sauerstoffsättigung und Sauerstoffzehrung nach 24 Stunden im Oberflächenwasser (a) und im Tiefenwasser (b) sowie Pegelstand am 24. VI. 1965 in der Zeit von 08<sup>11</sup> bis 20<sup>35</sup> Uhr.

Abb. 8: Gesamtzahl der auf einem Meerwassermedium (ZoBell-Agar) und auf zwei Stüßwassermedien (ZoBell-Agar und Nähragar) wachsenden Bakterien und Zahl der coliformen Bakterien im Oberflächenwasser (a) und im Tiefenwasser (b).



Tafel 3 (zu H. Kühl u. G. Rheinheimer)



Tafel 4 (zu H. Kühl u. G. Rheinheimer)

Die chemischen Untersuchungen ergaben, daß sich auch der Gehalt des Elbewassers an Ammoniak, Nitrit und Nitrat in Abhängigkeit von der Tide sowohl an der Oberfläche als auch in der Tiefe verhältnismäßig stark ändert (Abb. 9a und b). Die Ammoniakkurve des Oberflächenwassers hat ihr Maximum zwei Stunden nach Thw. Zu dem Zeitpunkt stiegen auch die Bakterienzahlen kräftig an (Abb. 8a und b). Aus dieser Übereinstimmung ergibt sich sehr klar der Einfluß der Cuxhavener Abwässer. Eine zweite Spitze zeigte sich um 16<sup>30</sup> Uhr — etwa zwei Stunden nach Tnw. Zu dieser Zeit waren jedoch die Bakterienzahlen auf allen Nährböden verhältnismäßig niedrig. Der Anstieg des Ammoniakgehaltes steht offenbar im Zusammenhang mit dem Auflaufen des Wassers. Möglicherweise werden dabei Nährstoffe wie Ammoniak und Nitrat von den überspülten Wattenflächen mitgeführt. Im Tiefenwasser erreichte der Ammoniakgehalt sein Maximum um 13<sup>30</sup> Uhr — also drei Stunden später als im Oberflächenwasser. Danach ging er kräftig zurück und hatte eine Stunde nach Tnw sein Minimum, eine Stunde später erfolgte dann wieder ein mäßiger Anstieg.

Der Nitratgehalt des Oberflächenwassers stieg nach dem Morgenhochwasser mehrere Stunden lang an, bis er um 12<sup>30</sup> Uhr den höchsten Wert erreichte. Wie beim Ammoniak ließ sich eine Spitze um 16<sup>30</sup> Uhr beobachten. Zu dieser Zeit hatte der Nitratgehalt des Tiefenwassers den höchsten Wert des Tages.

Der Nitritgehalt zeigte einen anderen Verlauf, der vor allem durch die Nitrifikation im Wasser, das heißt durch die bakterielle Oxydation von Ammoniak und Nitrit bedingt wurde. Das Minimum konnte sowohl an der Oberfläche als auch in der Tiefe um 13<sup>30</sup> Uhr, das heißt gut eine Stunde vor Tnw ermittelt werden. Das Maximum zeigte sich in der Oberflächenzone zur Zeit des Tnw um 14<sup>44</sup> Uhr und in der Tiefe um 15<sup>30</sup> Uhr. Im übrigen ist der Nitritgehalt des Tiefenwassers nur relativ wenig von dem an der Oberfläche verschieden.

Im Ganzen gesehen war der Ammoniak-, Nitrit- und Nitratgehalt des Oberflächenwassers größer als der des Tiefenwassers. Das zeigte sich besonders deutlich in den ersten Stunden nach Thw, da die abfließenden Cuxhavener Abwässer zunächst nur den Oberflächenbereich des Flusses beeinflussten. Kurz vor Tnw lagen dann alle drei Werte in der Tiefe höher als an der Oberfläche. Bei auflaufendem Wasser waren die Unterschiede verhältnismäßig gering. Alle Werte der Oberflächenproben waren an diesem 24. Juni 1965 niedriger als am 26. Januar. Das zeigte sich ganz besonders beim Ammoniakgehalt, der mit 40 bis 130  $\mu\text{g NH}_4^+/\text{l}$  nur noch etwa 10% der Winterwerte betrug. Auch der Kurvenverlauf ist durchweg ein anderer (Abb. 6 und 9a).

#### Diskussion der Ergebnisse

Die bakteriologischen Untersuchungen in der Elbmündung bei der „Alten Liebe“ in Cuxhaven zeigten grundsätzlich die gleichen tidebedingten Veränderungen der Bakterienflora, wie sie bereits bei Brunsbüttelkoog gefunden wurden (KOSKE et al., 1965). So kommt es auch hier im Verlauf einer Tide mit den Salzgehaltsschwankungen zu entsprechenden Änderungen in der Zusammensetzung der Bakterienpopulation, das heißt bei auflaufendem Wasser nimmt mit steigendem Salzgehalt im allgemeinen auch der Anteil der „Meeresbakterien“ zu und derjenige der „Süßwasserbakterien“ ab.

#### Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 4)

Abb. 9: Nitratationspotenz und Nitritationspotenz im Oberflächenwasser am 24. VI. 1965.

Abb. 10: Nitrat-, Nitrit- und Ammoniakgehalt im Oberflächenwasser (a) und im Tiefenwasser (b) am 24. VI. 1965.

Abb. 11: Detritusmenge in den Planktonfängen an den drei Untersuchungstagen. Das Maximum findet sich stets 3—4 Stunden nach Thw — also zur Zeit des stärksten Abwassereinflusses.



Auch konnte wieder festgestellt werden, daß bei nachlassender Strömungsgeschwindigkeit, vor allem bei Tnw, durch Sedimentation der Bakteriengehalt des Oberflächenwassers ab — und der des Tiefenwassers zunimmt. Diese tidebedingten Einflüsse auf die Verteilung und Zusammensetzung der Bakterien sind aber bei Cuxhaven weniger deutlich als bei Brunsbüttelkoog. Das ist vor allem die Folge der relativ großen Abwasserbelastung der Elbe bei Cuxhaven, (denn die Einleitung der städtischen und gewerblichen Abwässer befindet sich nur 300 m oberhalb der Probeentnahmestelle). Deren Wirkung ist besonders stark in der Zeitspanne von etwa 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> bis 5 Stunden nach Thw. Der Bakteriengehalt nimmt dann schlagartig zu — zunächst nur im Oberflächenwasser und zwei bis drei Stunden später auch im Tiefenwasser. Der Abwassereinfluß wirkt sich aber in Abhängigkeit vom Oberwasserabfluß und vor allem von den Witterungsverhältnissen — besonders der Windrichtung und -stärke — nicht immer gleich aus — sondern kann recht verschieden sein. So erfolgte am 17. VIII. 1964 ein sehr gleichmäßiger Abfluß der Abwässer. Das kommt in der eingipfeligen Colikurve (Abb. 2) gut zum Ausdruck. Am 26. I. 1965 hingegen erfolgte der Abfluß mehr schubartig — dementsprechend ist die Colikurve diesmal zweigipfelig (Abb. 4 a). Auch am 24. Juni ist die Colikurve zweigipfelig — allerdings ist der zweite Gipfel weniger hoch als im Januar und zeigte sich zwei Stunden später (Abb. 8 a). Am 17. VIII. 1964 herrschte OSO-Wind, der den gleichmäßigen Abfluß des Cuxhavener Abwassers begünstigte — während am 26. I. 1965 starke böige NNO-Winde eine kräftige aber sich häufig ändernde Turbulenz des Wassers bewirkten, so daß die Verteilung der Abwässer im Strom viel ungleichmäßiger war.

Der Vergleich der drei Untersuchungsergebnisse läßt noch einige weitere Unterschiede erkennen. So war im August 1964 der Salzgehalt des Elbewassers besonders

Tabelle 2

Durchschnittliche Keimzahlen der drei Untersuchungstage auf den drei verschiedenen Nährböden

	Nähragar mit Leitungswasser	ZoBell-Agar mit Meerwasser	ZoBell-Agar mit Leitungswasser	
17. 8. 64	2 900	18 400	—	Bakterien/ml
26. 1. 65	7 200	25 700	42 400	Bakterien/ml
24. 6. 65	5 500	12 600	17 800	Bakterien/ml

hoch und lag im Durchschnitt etwa um 10<sup>0</sup>/<sub>00</sub> über dem vom Januar und etwa 12,5<sup>0</sup>/<sub>00</sub> über dem vom Juni 1965. Damit steht im Einklang, daß der Anteil der „Meeresbakterien“ am 17. VIII. 1964 am größten war (Tab. 2) — also an dem Untersuchungstag mit den höchsten Salzgehalten.

Der Einfluß der Wassertemperatur zeigt sich zum Beispiel darin, daß im Januar 1965 die größten Zahlen der auf Nähragar wachsenden Bakterien ermittelt wurden. Auch die Zahlen der „Süßwasserbakterien“ waren an diesem winterlichen Untersuchungstag beträchtlich höher als Ende Juni 1965 (Tab. 2). Das stimmt mit unseren Untersuchungsbefunden in der Schlei überein (RHEINHEIMER 1968b), wo ebenfalls der Anteil der Süß- und Abwasserbakterien im Winter kräftig zunahm.

Mit den bakteriologischen Befunden stimmen recht gut auch die Ergebnisse der Planktonuntersuchungen überein. Bei den hohen Salzgehalten im August 1964 ist der Anteil der marinen Plankter sowohl nach Arten als auch nach der Individuenzahl



besonders groß. Dagegen ist im Juni 1965 entsprechend dem extrem niedrigen Salzgehalt der Anteil der marinen Phyto- und Zooplankter herabgesetzt — ähnlich wie das auch für die „Meeresbakterien“ festgestellt werden konnte. Andererseits traten in dieser Zeit limnische Formen auf, die normalerweise im Cuxhavener Plankton nicht vertreten sind, und die Zahl der Süßwasserbakterien war verhältnismäßig groß.

#### Literaturverzeichnis

- BURSCHE, KÜHL, H. und H. MANN (1958): Hydrochemische Faktoren und Phytoplankton während einer Tide in der Elbmündung. *Gewäss. und Abwäss.* 8, 13—39. — GILBRECHT, M. (1961): Eine Methode zum direkten Nachweis von Ammoniak im Seewasser. *Helgoländer wiss. Meeresuntersuch.* 8, 58—67. — GRASSHOFF, K. (1964): Zur Bestimmung von Nitrat in Meer- und Trinkwasser. *Kieler Meeresforschungen* 20, 5—11. — KOSKE, P. H., KRUMM, H., RHEINHEIMER, G. und K.-H. SZEKIELDA (1966): Untersuchungen über die Einwirkung der Tide auf Salzgehalt, Sedimentation und Bakteriengehalt in der Unterelbe. *Kieler Meeresforschungen* 22, 47—63. — KÜHL, H. (1964): Über die Schwankungen der abiotischen Faktoren in der Elbmündung bei Cuxhaven. *Helgoländer Wiss. Meeresunters.* 10, 202—216. — KÜHL, H. (1965): Veränderungen des Zooplanktons während einer Tide in der Elbmündung bei Cuxhaven. *Botanica Gothoburgensia* III, 113—126. — KÜHL, H. (1966): Der Abfluß der Elbe im Jahre 1965 und seine Wirkung auf Salzgehalt, Plankton und Bewuchsbildung bei Cuxhaven. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven* 10, 61—70. — KÜHL, H. und H. MANN (1953): Beiträge zur Hydrochemie der Unterelbe. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven* 2, 236—268. — KÜHL, H. und H. MANN (1962): Über das Zooplankton der Unterelbe. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven* 8, 53—70. — KÜHL, H. und H. MANN (1967): Untersuchungen über das Plankton der Außenelbe. *Gewässer u. Abwässer* 44 (im Druck). — RHEINHEIMER, G. (1959): Mikrobiologische Untersuchungen über den Stickstoffhaushalt der Elbe. *Arch. Mikrobiol.* 34, 358 bis 373. — RHEINHEIMER, G. (1965): Mikrobiologische Untersuchungen in der Elbe zwischen Schnackenburg und Cuxhaven. *Arch. Hydrobiol./Suppl. Elbe-Aestuar* 29, II, 181—251. — RHEINHEIMER, G. (1968a): Ergebnisse und Probleme einer mikrobiologischen Aestuaruntersuchung. *Mitt. S. I. L.* (im Druck). — RHEINHEIMER, G. (1968b): Beobachtungen über den Einfluß von Salzgehaltsschwankungen auf die Bakterienflora der westlichen Ostsee. *Sarsia* (im Druck). — *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung* (1960). 3. Aufl. Verlag Chemie Weinheim/Bergstr.