

Über den Gehalt des Meeres an Stickstoffnährsalzen.

Untersuchungsergebnisse der von der Deutschen Südpolar-Expedition (1901—1903) gesammelten Meerwasserproben.

Von

Dr. J. Gebbing (Leipzig, Zoologischer Garten).

Mit 3 Textfiguren.

Inhaltsübersicht: I. Ausgangspunkt der Untersuchung, Anschauung von Brandt über den Stoffwechsel im Meere. — II. Sammeln, Aufbewahren und Untersuchung der Proben. — III. Untersuchungsergebnisse: 1. Gehalt des Meeres an Ammoniakstickstoff. — 2. Gehalt des Meeres an Nitrat- + Nitrit-Stickstoff: a) Südliches Eismeer; b) Indischer Ozean; c) Atlantischer Ozean; d) Verteilung des Nitrat- + Nitrit-Stickstoffes in den gesamten untersuchten Meeresgebieten: α) Oberflächenverteilung; β) Tiefenverteilung und Vertikalzirkulation; γ) Oberflächenströmung; δ) Kurze Zusammenfassung. Minimumgesetz.

I. Ausgangspunkt der Untersuchung, Anschauung von K. Brandt über den Stoffwechsel im Meere.

Die eingehende Darstellung der chemischen Untersuchungsergebnisse von während der deutschen Südpolar-Expedition gesammelten Meeresboden-, Wasser- und Luftproben habe ich in dem soeben erschienenen Hefte, S. 75—234 des VII. Bandes des Werkes „Deutsche Südpolar-Expedition 1901—1903“ herausgegeben von Erich von Drygalski gegeben. In folgendem berichte ich über die Hauptpunkte meiner Arbeit über den Gehalt des Meeres an anorganischen Stickstoffverbindungen.

Einen Gedanken von V. Hensen¹⁾ weiter ausführend, zeigte K. Brandt²⁾, daß die Produktion der Meere von den Polen zum Äquator abnimmt. Wie V. Hensen, glaubte auch er, daß diese Produktionsabnahme durch die gleich gerichtete Nahrungsabnahme bedingt sei und zwar — infolge der gegenseitigen Abhängigkeit der Tier- und Pflanzenwelt — von der Abnahme der Pflanzennährstoffe. Auf dem Lande oder wenigstens auf dem bebauten Lande ist die Pflanzenproduktion dem Gesetz vom Minimum entsprechend von der Menge der vorhandenen Stickstoffnahrung abhängig. Diese auf dem Festlande gefundene

¹⁾ V. Hensen, Die Plankton-Expedition, S. 74 [1891].

²⁾ K. Brandt, Über den Stoffwechsel im Meere. Wissenschaftl. Meeresuntersuch., Abt. Kiel, N. F., Bd. IV, S. 215—230 [1899].

K. Brandt, Desgl. II. Abhandl. Ebenda Bd. VI, S. 23—79 [1902].

Beziehung überträgt K. Brandt in zwei längeren Abhandlungen über den Stoffwechsel im Meere auf das Meer, den angenommenen äquatorialen Stickstoffmangel folgendermaßen begründend.

Die einmal im Meere vorhandene Stickstoffmenge bleibt nicht nur stets erhalten, sie wird sogar stetig durch Zufluß vom Festlande und aus der Atmosphäre durch Regengüsse vermehrt. Die organischen Stickstoffverbindungen werden im Verwesungsprozesse durch Bakterien in Ammoniak und letzteres weiter durch nitrifizierende Bakterien in Nitrite und Nitrate übergeführt. Brandt rechnet aus, daß allein durch die Flüsse der Stickstoffgehalt des Ozeans um 30 g auf 1 cbm in einer Million (!) Jahren gestiegen sein müßte. Dieses wäre aber einem Vergiften des Meeres gleichbedeutend. Folglich wirkt irgend etwas im Meere dem Anwachsen des Stickstoffes entgegen, und dieses Etwas können nach Brandt nur denitrifizierende Bakterien sein. Da die Lebenstätigkeit der Bakterien bis zu einem gewissen Grade mit der Temperatur steigt, findet nach Brandt unter dem Äquator eine stärkere Denitrifikation des Meeres statt als in kälteren Gebieten; und daher soll es rühren, daß in warmen Meeren weniger Stickstoffnahrung vorhanden ist, und somit auch eine geringere Produktion an Pflanzen und Tieren herrscht als in den höheren Breiten. Um diese Ansicht zu beweisen, wurden zahlreiche Forschungen nach Bakterien nitrifizierender und denitrifizierender Natur angestellt, und gleichzeitig ließ Brandt eingehende Bestimmungen der anorganischen Stickstoffverbindungen in Wasserproben aus Ost- und Nordsee ausführen. Die Kongruenz zwischen Produktion und Stickstoffmenge müßte die eine Hälfte der Brandtschen Hypothese bestätigen, und der größere Gehalt der äquatorialen Meere an denitrifizierenden Bakterien gegenüber den kälteren Meeresgebieten die andere Hälfte.

Auf Anregung von Brandt führte der Arzt der deutschen Südpolar-Expedition Herr Dr. H. Gazert¹⁾ eine ständige bakterielle Überwachung der von „Gauß“ durchfahrenen Meere durch. Diese Untersuchungen waren für die Stickstoff-Frage wie die Arbeiten anderer Forscher mit negativem Erfolge begleitet. Auf Grund der bisherigen Untersuchungen wird die ausschlaggebende Tätigkeit denitrifizierender und nitrifizierender Bakterien im Meere sehr zweifelhaft. Solange keine zwingenden Gründe — sei es aus Erklärungs-rücksichten²⁾ oder laut bestimmter positiven Untersuchungsergebnisse, und beides ist zurzeit nicht der Fall — vorliegen, kann die zweite Hälfte der Brandtschen Hypothese, also das Heranziehen bakterieller Tätigkeit, vollständig vernachlässigt werden. Wie es mit der anderen Hälfte steht, werden meine vorliegenden Ausführungen zu zeigen haben. Bestätigt sich auch dieser Teil der Brandtschen Anschauung nicht, so ist damit auch gleichzeitig ein neuer Beweis gegen die ausgleichende Tätigkeit denitrifizierender Bakterien gegeben.

Im Sinne der Brandtschen Anschauung müßte die Stickstoffnahrung von unseren nach den tropischen Breiten zu abnehmen. Um diese Frage zu erledigen, haben wir in den von Gazert gesammelten Meerwasserproben der deutschen Südpolar-Expedition ein umfassendes Material. Gazert hat im ganzen 82 Wasser-

¹⁾ H. Gazert, Untersuchungen über Denitrifikation und Nitrifikation im Meere während der Reise des „Gauß“, sowie Sammlung und Aufbewahrung von Wasserproben für die quantitative Stickstoffbestimmung in der Heimat. Deutsche Südpolar-Expedition 1901—1903, Bd. VII, S. 120—125.

²⁾ Nach Angabe von Brandt werden dem Meere von den Küsten jährlich 0,00003 mg (!) anorganisch gebundener Stickstoff pro Liter zugeführt. Wegen dieser geringen Menge braucht man keine bakterielle Denitrifikation im Meere anzunehmen.

proben aus den verschiedensten Tiefen zwischen 66° südlicher Breite und $48\frac{1}{2}$ nördlicher Breite gesammelt. Berücksichtigt man noch die langjährigen Untersuchungen von E. Raben in Ost- und Nordsee bis zu 67° nördlicher Breite, so muß man zugeben, daß sich auf Grund des gesamten vorliegenden Materials die Stickstofffrage endgültig entscheiden läßt.

II. Sammeln, Aufbewahren und Untersuchen der Proben.

Die mit einem Pettersson-Schöpfer genommenen bzw. mit einer Pütze aufgeschlagenen Wasserproben wurden zum Teil unter Sublimatzusatz in gut gereinigten Flaschen aufbewahrt, die mit Korkstopfen und Schwarzpech verschlossen wurden, zum anderen Teil wurden sie unter Sublimatzusatz in Glas-tuben eingeschmolzen, wie es bei Wasserproben zur Gasanalyse üblich ist.

Die Untersuchung der Proben wurde nach der von E. Raben¹⁾ im Kieler biologischen Laboratorium für Meeresforschung für die Stickstoffbestimmung im Meerwasser ausgearbeiteten Millerschen Methode ausgeführt. Von 100 ccm der zu untersuchenden Flüssigkeit wurden etwa 50 ccm unter Zusatz von Magnesiumoxyd in eine Vorlage von ganz schwach mit Salzsäure angesäuertem destilliertem Wasser abdestilliert. Der jetzt ammoniakfreie Destillationsrückstand wurde mit Aluminiumblech versetzt zur Reduktion der vorhandenen Nitrate und Nitrite und nach einigen Tagen in der gleichen Weise abdestilliert. Da bei der Destillation häufig ein Körper organischer Natur (s. E. Raben l. c.) mit überging, der mit Neßlers Reagens eine Trübung gab, wurden sämtliche Destillate einer zweiten Destillation unterworfen. Die Bestimmung des Ammoniakgehaltes der endgültigen Destillate geschah mit Neßlers Reagens auf kolorimetrischem Wege im Hehnerschen Zylinder durch Vergleich mit einer Lösung von bekanntem Ammoniakgehalt. Außerdem wurde in den Proben noch der „Gesamt-Stickstoff“ bestimmt, d. h. Ammoniak- + Nitrat- + Nitrit-Stickstoff, indem die Proben sofort mit Aluminiumblech versetzt und dann unter Magnesiumoxydzusatz destilliert wurden.

Durch eingehende Kontrollversuche mit Lösungen von bekanntem Stickstoffgehalt wurde gezeigt, daß der Mittelwert aus mehreren Einzelbestimmungen sehr gut mit dem tatsächlichen Gehalt übereinstimmt, daß eine einzige Bestimmung zum mindesten in der Größenordnung richtige Zahlenwerte liefert, und daß die größten Abweichungen vom wirklichen Wert $\pm 0,04$ bis $\pm 0,05$ mg Stickstoff betragen bei einem Gehalte von 0,05 bis 0,70 mg Stickstoff in einem Liter. Die Methode liefert also auch bei nur einer Bestimmung zum Vergleich genügend genaue Werte.

Es wurde weiter noch eine größere Anzahl von Kontrollversuchen angestellt, die entscheiden sollten, ob erstens aus Planktonleichen bei der Destillation mit Magnesiumoxyd Ammoniak abgespalten wird, zweitens durch die Gegenwart von Quecksilberchlorid und Planktonleichen der Gehalt an anorganischen Stickstoffverbindungen bei längerem Aufbewahren der Wasserproben vermehrt wird. Auf diese interessanten Versuche kann hier nicht näher eingegangen werden. Es sei nur erwähnt, daß beide Fragen zwar zu bejahen sind, daß jedoch diese Ver-

¹⁾ E. Raben, Über quantitative Bestimmung von Stickstoffverbindungen im Meerwasser. Wissenschaftl. Meeresunters. Abt. Kiel. N. F. Bd. VIII (1904).

E. Raben, Weitere Mitteilungen über quantitative Bestimmungen von Stickstoffverbindungen usw. im Meerwasser. Ebenda, Bd. VIII (1905).

mehrung des anorganisch gebundenen Stickstoffes bei normal geleiteter Untersuchung außer acht gelassen werden kann.¹⁾

Bei der Untersuchung der „Gauß“-Proben wurde auf eine merkwürdige Erscheinung gestoßen. Wie bereits erwähnt, wurden zum Teil die Proben in mit Korkstopfen, die einen Schwarzpechüberzug erhielten, verschlossenen Flaschen und zum anderen Teil in zugeschmolzenen Glasröhren aufbewahrt. Bei der Untersuchung zeigte sich nun, daß die „Flaschenproben“ wohl im Gehalt an Nitrat + Nitrit-Stickstoff mit den „Röhrenproben“ korrespondierten, daß jedoch der Gehalt an Ammoniak-Stickstoff in den Flaschenproben durchweg diesen Gehalt der Röhrenproben überragte. Offenbar fand in den Flaschenproben während des Aufbewahrens eine Zunahme des Gehaltes an Ammoniak-Stickstoff statt. Die Ursache hierfür erblicke ich in folgendem. Vielfach konnte festgestellt werden, daß die Wasserproben — namentlich wenn sie ursprünglich eine verhältnismäßig niedrige Temperatur besaßen — den Kork durchdrungen und die Schwarzpechsicht, die unter den Tropen ziemlich weich wurde, gehoben hatten. Es fand also eine Kommunikation mit der Außenluft statt. Der Ammoniakgehalt der Flaschenproben konnte erhöht worden sein durch direktes Eindringen von Ammoniak von außen, durch die Art des Konservierens der Flaschenproben, wie aus meiner ausführlichen Arbeit (l. c. S. 155) zu ersehen ist, und vielleicht auch durch Ammoniakabspaltung aus organischer Substanz der Korke und namentlich des Schwarzpeches. Jedenfalls müssen die in den Flaschenproben gefundenen Gehalte an Ammoniak-Stickstoff ganz außer Betracht bleiben. Auf den Gehalt an Nitrat + Nitrit-Stickstoff hatte die Art der Konservierung keinen Einfluß. Sämtliche Untersuchungsergebnisse der Röhrenproben sind als einwandfrei zu bezeichnen. In Zukunft sind demnach die Wasserproben unbedingt einzuschmelzen, wenn zwischen Probenahme und Untersuchung ein größerer Zeitraum liegt.

Tabelle 1.

Zusammenstellung der Mittelwerte aus sämtlichen Wasserproben.

| Datum der Probe- entnahme | Position | | Schöptiefe m | Tem- pera- tur in °C. | I. Ammoniak- Stickstoff mg | II. Nitrat- + Nitrit- Stick- stoff mg | III. Ge- samt- Stick- stoff mg | IV. Addi- tion von Rubrik I u. II | V. Art der Auf- bewahrung der Proben und Anzahl der Bestim- mungen |
|---------------------------------|------------|------------|---------------------|--------------------------------|---|---|---|--|---|
| | Breite | Länge | | | | | | | |
| Südliches Eismeer. | | | | | | | | | |
| 28. 6. 02 Winterquartier | S. 66° 2' | O. 89° 38' | 0 | — 1,9 | 0,05 | 0,46 | 0,42 | 0,51 | R. 1. 1. 1 |
| 17. 2. 03 | S. 65° 42' | O. 87° 32' | 185 | — 1,9 | — | 0,41 | 0,68 | — | R. 0. 1. 1 |
| ” | ” | ” | 550 | — 0,45 | — | 0,48 | — | — | R. 0. 1. 0 |
| 23. 2. 03 | S. 65° 30' | O. 85° 39' | 90 | — 1,8 | 0,50 | 0,52 | 1,09 | 1,02 | F. 3. 4. 2 |
| ” | ” | ” | 455 | — 1,1 | 0,33 | 0,41 | 0,74 | 0,74 | F. 2. 2. 2 |

¹⁾ Sehr interessant war, daß bei Gegenwart von Quecksilberchlorid aus organischen Stickstoffverbindungen der Planktonleichen Ammoniak abgespalten und zu Nitriten bzw. Nitraten oxydiert wurde. Das anorganische Quecksilbersalz führte die katalytische Funktion der in den Bakterien enthaltenen Enzyme aus! Die Nitrifikation geht also auch ohne Bakterien! (S. meine eingehende Arbeit.)

| Datum der Probe- entnahme | Position | | Schöpfungtiefe m | Tem- pera- tur in °C. | I. | II. | III. | IV. | V. |
|------------------------------|------------|------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------------|---|---|
| | Breite | Länge | | | Ammoniak- Stickstoff mg | Nitrat- + Nitrit- Stick- stoff mg | Ge- samt- Stick- stoff mg | Addi- tion von Rubrik I u. II | Art der Auf- bewahrung der Proben und Anzahl der Bestim- mungen |
| 23. 2. 03 | S. 65° 30' | O. 85° 39' | 550 | — 0,3 | 0,29 | 0,58 | 0,79 | 0,87 | F. 1. 1. 1 |
| " | " | " | 1465 | ± 0 | 0,24 | 0,42 | 0,64 | 0,66 | F. 3. 3. 3 |
| " | " | " | 2020 | + 0,3 | 0,13 | 0,59 | 0,81 | 0,72 | F. 2. 2. 1 |
| 4. 3. 03 | S. 65° 19' | O. 85° 7' | 55 | — 1,7 | 0,20 | 0,45 | 0,61 | 0,65 | F. 2. 3. 3 |
| " | " | " | 185 | — 1,9 | 0,21 | 0,47 | 0,76 | 0,68 | F. 2. 1. 1 |
| " | " | " | 275 | — 1,8 | 0,02 | 0,40 | 0,51 | 0,42 | R. 1. 1. 1 |
| " | " | " | 550 | ± 0 | 0,25 | 0,45 | 0,66 | 0,70 | F. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 730 | + 0,6 | 0,14 | 0,48 | 0,63 | 0,62 | F. 3. 2. 2 |
| " | " | " | 915 | + 0,4 | 0,04 | 0,56 | — | 0,60 | R. 1. 1. 0 |
| 5. 3. 03 Diatomeeneis | S. 65° 13' | O. 84° 56' | — | — 1,8 | 0,40 | 0,41 | 0,75 | 0,81 | F. 4. 4. 3 |
| 5. 3. 03 | S. 65° 13' | O. 84° 56' | 0 | — 1,8 | 0,14 | 0,46 | 0,59 | 0,60 | F. 2. 2. 1 |
| " | " | " | 10 | — 1,8 | 0,11 | 0,44 | 0,56 | 0,55 | F. 2. 2. 2 |
| 16. 3. 03 | S. 63° 54' | O. 83° 24' | 5 | — 1,8 | 0,15 | 0,44 | 0,58 | 0,59 | F. 3. 2. 2 |
| 23. 3. 03 | S. 65° 2' | O. 81° 14' | 0 | — 1,8 | 0,14 | 0,43 | 0,59 | 0,57 | F. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 10 | — 1,8 | 0,17 | 0,43 | 0,62 | 0,60 | F. 3. 2. 2 |
| " Diatomeeneis | " | " | — | — | 0,23 | 0,39 | 0,66 | 0,62 | F. 3. 3. 3 |
| 26. 3. 03 | S. 65° 16' | O. 80° 28' | 0 | — 1,8 | 0,30 | 0,51 | 0,70 | 0,81 | R. 1. 1. 1 |
| " | " | " | 110 | — 1,7 | — | 0,45 | 0,50 | — | R. 0. 1. 1 |
| " | " | " | 185 | — 1,6 | 0,02 | 0,48 | 0,62 | 0,50 | R. 1. 1. 1 |
| 2. 4. 03 | S. 65° 15' | O. 80° 19' | 110 | — 1,8 | 0,19 | 0,45 | 0,79 | 0,64 | F. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 365 | ± 0 | 0,16 | 0,46 | 0,76 | 0,62 | F. 3. 2. 2 |

Indischer Ozean.

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|-----|--------|------|------|------|------|------------|
| 26. 4. 03 St. Paul | S. 38° 40' | O. 77° 35' | 0 | + 15,0 | 0,28 | 0,21 | 0,48 | 0,49 | F. 2. 2. 2 |
| 1. 5. 03 | S. 35° 16' | O. 74° 17' | 185 | + 13,1 | 0,22 | 0,33 | 0,58 | 0,55 | R. 1. 1. 1 |
| " | " | " | 915 | + 7 | 0,02 | 0,47 | 0,49 | 0,49 | R. 1. 1. 1 |
| 2. 5. 03 | S. 32° 57' | O. 73° 50' | 10 | + 19,6 | 0,14 | 0,14 | 0,26 | 0,28 | F. 1. 1. 1 |

| Datum der Probe- entnahme | Position | | Schöf- ftiefe m | Tem- pera- tur in °C. | I. Ammoniak- Stickstoff mg | II. Nitrat- + Nitrit- Stick- stoff mg | III. Ge- samt- Stick- stoff mg | IV. Addi- tion von Rubrik I u. II | V. Art der Auf- bewahrung der Proben und Anzahl der Bestim- mungen |
|---------------------------------|-----------|-----------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|---|
| | Breite | Länge | | | | | | | |
| 15. 5. 03 | S. 25° 7' | O. 56° 7' | 730 | + 10,1 | 0,03 | 0,30 | 0,37 | 0,33 | R. 1. 1. 1 |
| " | " | " | 1280 | — | 0,04 | 0,49 | 0,49 | 0,53 | R. 1. 1. 1 |
| " | " | " | 1645 | + 3,1 | 0,04 | 0,41 | — | 0,45 | R. 1. 1. 0 |

Atlantischer Ozean.

| | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|------|--------|------|------|------|------|------------|
| 12. 11. 01 | S. 35° 12' | O. 2° 44' | 700 | + 7,1 | 0,15 | 0,42 | 0,54 | 0,57 | R. 1. 1. 1 |
| 2. 8. 03 Simonsbay | S. 34° 12' | O. 18° 26' | 0 | + 13,2 | 0,15 | 0,22 | 0,37 | 0,37 | F. 2. 2. 2 |
| 11. 8. 03 | S. 28° 46' | O. 10° 17' | 365 | + 10,5 | 0,03 | 0,33 | 0,35 | 0,36 | R. 1. 1. 1 |
| " | " | " | 730 | + 5,4 | 0,03 | 0,44 | — | 0,47 | R. 1. 1. 0 |
| " | " | " | 915 | + 3,8 | 0,02 | 0,52 | — | 0,54 | R. 2. 2. 0 |
| " | " | " | 1100 | + 3 | 0,02 | 0,42 | — | 0,44 | R. 2. 2. 0 |
| " | " | " | 1280 | + 2,8 | 0,06 | 0,42 | — | 0,48 | R. 2. 1. 0 |
| " | " | " | 1465 | + 2,8 | 0,04 | 0,49 | — | 0,53 | R. 1. 1. 0 |
| 17. 8. 03 | S. 28° 22' | O. 5° 19' | 90 | + 17,1 | 0,06 | 0,15 | 0,18 | 0,21 | R. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 185 | + 15,9 | 0,05 | 0,16 | 0,21 | 0,21 | R. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 365 | + 14,9 | 0,04 | 0,20 | 0,21 | 0,24 | R. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 550 | + 11,5 | 0,07 | 0,27 | 0,33 | 0,34 | R. 1. 1. 1 |
| " | " | " | 730 | + 7,4 | 0,04 | 0,36 | 0,41 | 0,40 | R. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 915 | + 5,8 | 0,07 | 0,47 | 0,48 | 0,54 | R. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 1100 | + 5,2 | 0,05 | 0,46 | 0,50 | 0,51 | R. 1. 2. 2 |
| " | " | " | 1280 | + 3,3 | 0,05 | 0,43 | 0,51 | 0,48 | R. 1. 1. 1 |
| " | " | " | 1465 | + 3,1 | 0,09 | 0,48 | 0,56 | 0,57 | R. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 1645 | + 3,1 | 0,06 | 0,54 | 0,56 | 0,60 | R. 1. 1. 1 |
| 19. 8. 03 | S. 27° 18' | O. 2° 51' | 0 | + 16,6 | 0,07 | 0,27 | — | 0,34 | R. 1. 1. 0 |
| 24. 8. 03 | S. 23° 34' | W. 4° 14' | 0 | + 18,7 | 0,15 | 0,13 | 0,27 | 0,28 | F. 2. 2. 1 |
| " | " | " | 160 | + 16,9 | 0,15 | 0,16 | 0,31 | 0,31 | F. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 365 | + 14,2 | 0,25 | 0,35 | 0,55 | 0,60 | F. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 915 | + 5 | 0,17 | 0,44 | 0,61 | 0,61 | F. 3. 3. 2 |
| " | " | " | 1465 | + 3,9 | 0,13 | 0,52 | 0,68 | 0,65 | F. 2. 2. 2 |
| 2. 9. 03 St. Helena | S. 15° 52' | W. 5° 44' | 0 | + 19,8 | 0,16 | 0,17 | 0,37 | 0,33 | F. 1. 1. 1 |

| Datum der Probe-entnahme | Position | | Schöpfungtiefe m | Tem- pera- tur in °C. | I. Ammoniak- Stickstoff mg | II. Nitrat- + Nitrit- Stick- stoff mg | III. Ge- samt- Stick- stoff mg | IV. Addi- tion von Rubrik I u. II | V. Art der Auf- bewahrung der Proben und Anzahl der Bestim- mungen |
|--------------------------|------------|------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|---|
| | Breite | Länge | | | | | | | |
| 21. 9. 03 | N. 0° 16' | W. 18° 7' | 185 | + 14,1 | 0,04 | 0,36 | — | 0,40 | R. 1. 1. 0 |
| 30. 9. 03 | N. 5° 27' | W. 21° 41' | 90 | + 21 | 0,30 | 0,25 | 0,47 | 0,55 | F. 5. 5. 3 |
| " | " | " | 275 | + 12 | 0,17 | 0,41 | 0,54 | 0,58 | F. 1. 1. 2 |
| " | " | " | 825 | + 5,5 | 0,07 | 0,61 | 0,70 | 0,69 | F. 2. 2. 1 |
| " | " | " | 1190 | + 4,8 | 0,06 | 0,42 | 0,51 | 0,48 | F. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 1965 | + 3,6 | 0,07 | 0,39 | 0,46 | 0,46 | F. 2. 2. 2 |
| 2. 10. 03 | N. 7° 26' | W. 22° 44' | 0 | + 27,8 | 0,13 | 0,10 | 0,23 | 0,23 | F. 4. 3. 3 |
| 13. 10. 03 | N. 20° 41' | W. 31° 53' | 0 | + 26,7 | 0,22 | 0,11 | 0,30 | 0,33 | F. 6. 4. 4 |
| " | " | " | 90 | + 25,3 | 0,16 | 0,13 | 0,32 | 0,29 | F. 3. 4. 2 |
| " | " | " | 185 | + 21,9 | 0,04 | — | — | — | R. 1. 0. 0 |
| " | " | " | 275 | + 16 | 0,16 | 0,25 | 0,39 | 0,41 | F. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 550 | + 10,3 | 0,11 | 0,40 | 0,48 | 0,51 | R. 1. 2. 1 |
| " | " | " | 730 | + 7,6 | 0,15 | 0,45 | 0,61 | 0,60 | F. 4. 3. 3 |
| " | " | " | 1095 | + 5,9 | 0,21 | 0,49 | 0,69 | 0,70 | F. 3. 3. 3 |
| " | " | " | 1830 | + 4,2 | 0,13 | 0,39 | 0,51 | 0,52 | F. 2. 3. 2 |
| 20. 10. 03 | N. 28° 41' | W. 34° 29' | 0 | + 24,8 | 0,10 | 0,08 | 0,16 | 0,18 | F. 4. 3. 3 |
| " | N. 28° 51' | W. 34° 26' | 0 | + 24,8 | 0,10 | 0,09 | 0,16 | 0,19 | F. 2. 2. 1 |
| " | N. 28° 42' | W. 34° 33' | 90 | + 22 | 0,11 | 0,11 | 0,21 | 0,22 | F. 4. 4. 2 |
| " | " | " | 365 | + 16,4 | 0,16 | 0,24 | 0,37 | 0,40 | F. 2. 2. 3 |
| " | " | " | 550 | + 13,8 | 0,04 | 0,39 | — | 0,43 | R. 1. 1. 0 |
| " | " | " | 730 | + 10,9 | 0,12 | 0,39 | 0,56 | 0,51 | F. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 1095 | + 7,5 | 0,09 | 0,41 | 0,59 | 0,50 | F. 2. 2. 2 |
| " | " | " | 1830 | + 5,1 | 0,17 | 0,41 | 0,67 | 0,58 | F. 2. 1. 1 |
| 23. 10. 03 | N. 32° 29' | W. 32° 6' | 0 | + 24 | 0,10 | 0,11 | 0,19 | 0,21 | F. 3. 3. 3 |
| 15. 11. 03 | N. 46° 32' | W. 13° 33' | 0 | + 13,3 | 0,10 | 0,13 | 0,22 | 0,23 | F. 5. 5. 4 |
| 19. 11. 03 | N. 48° 47' | W. 6° 56' | 0 | + 11,3 | 0,13 | 0,15 | 0,24 | 0,28 | F. 4. 6. 4 |

III. Untersuchungsergebnisse.

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte aus sämtlichen untersuchten Proben, nach Meeresgebieten geordnet, zusammengestellt. In Kolumne V ist angegeben, ob die betreffende Probe in einer mit Korkstopfen verschlossenen Flasche („F“) oder in

einer zugeschmolzenen Glasröhre („R“) aufbewahrt wurde. Die Zahlen hinter diesen Buchstaben geben an, wieviel Kontrollbestimmungen jeweils ausgeführt wurden. Z. B. „R. 1. 2. 3“ bedeutet, daß die betreffende Probe eine Röhrenprobe war, daß von dieser eine Bestimmung von Ammoniak-Stickstoff, zwei Bestimmungen von Nitrat- + Nitrit-Stickstoff und drei Bestimmungen des Gesamtstickstoffes ausgeführt wurden.¹⁾ Die Gehalte sind immer in mg auf ein Liter angegeben. Eine weitere Erklärung der Tabelle ist überflüssig.

1. Gehalt des Meeres an Ammoniak-Stickstoff.

Wie bereits hervorgehoben wurde, müssen die in Flaschenproben erhaltenen Werte hier außer acht gelassen werden. Ein Blick auf die Tabelle 1 zeigt, wie regellos die Gehalte an Ammoniak-Stickstoff der Flaschenproben schwanken. Anders ist es bei den Röhrenproben, wie Tabelle 2 übersichtlicher zeigt. Datum und Position sind in diese Zusammenstellung nicht aufgenommen, sie sind leicht aus Tabelle 1 zu ersehen. Die Werte sind nach Meeresgebieten in drei Gruppen eingeteilt und in diesen nach fallendem Ammoniak-Stickstoffgehalt aufgeführt. Die in [] gesetzten Werte sind aus der Differenz des Gesamt-Stickstoffes und des Nitrat- + Nitrit-Stickstoffes erhalten.

Nur wenige Zahlenwerte überschreiten den Gehalt von 0,10 mg. Der höchste Wert von 0,30 mg ist in einer antarktischen Probe gefunden worden. Da sich aus der Differenz nur 0,19 mg errechnet, ist diese Zahl bei der Verwertung mit Vorsicht zu benutzen. Der zweithöchste Wert von 0,27 mg entstammt ebenfalls einer Probe des Südlichen Eismeres; auch sie ist nicht maßgebend, da sie nicht direkt, sondern aus der Differenz der Rubriken III und II (Tabelle 1) erhalten ist. Den nächsthöchsten Wert von 0,22 mg hat eine Probe aus dem Indischen Ozean gegeben. Dieser Wert ist sehr wahrscheinlich, da in dieser Probe direkt 0,58 mg und durch Addition 0,55 mg Gesamtstickstoff gefunden wurden (Tabelle 1, Probe vom 1. Mai 1903 aus 185 m). Weiter liegen noch zwei Werte aus dem Atlantischen Ozean vor, die aber nur um ein geringes den Betrag von 0,10 mg überschreiten, nämlich 0,15 und 0,11 mg. Sämtliche andere Werte liegen zwischen 0,09 und 0,02 mg. Entsprechend dem oben über die Genauigkeit der Methode Gesagten kann von einem wesentlichen Unterschiede in dem gefundenen Gehalte der verschiedenen untersuchten Meerwasserproben nicht gesprochen werden. Als Mittelwerte ergeben sich für die verschiedenen Meeresgebiete:

| | | |
|--------------------|-------------|---------|
| Südliches Eismeer | (7 Proben) | 0,11 mg |
| Indischer Ozean | (5 Proben) | 0,07 „ |
| Atlantischer Ozean | (22 Proben) | 0,06 „ |

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß das antarktische Mittel höchst wahrscheinlich zu hoch ist. Ich gebe den zu ziehenden Schluß aus meiner Südpolar-Abhandlung wieder (l. c. S. 160): „Da die Proben verschiedensten Tiefen und Stellen des Südlichen Eismeres, Indischen und Atlantischen Ozeans entstammen, ist aus den untersuchten Gauß-Proben auf eine recht gleichmäßige Verteilung des Ammoniak-Stickstoffes im Meere zu schließen, und zwar durchschnittlich mit einem Gehalt von 0,05 mg im Liter.“

¹⁾ In meiner Arbeit im Südpolarwerk sind auch die Einzelbestimmungen angegeben (l. c. Tab. 11 u. 12 auf S. 138--143).

Tabelle 2.

Gehalt der Röhrenproben an Ammoniak-Stickstoff.

| Südliches Eismeer | | | Atlantischer Ozean | | |
|---|------------|-------------------------|---|------------|-------------------------|
| Tiefe m | Temperatur | Ammoniak- Stickstoff | Tiefe m | Temperatur | Ammoniak- Stickstoff |
| 0 | — 1,8 | 0,30 [0,19] | 700 | + 7,1 | 0,15 |
| 185 | — 1,9 | [0,27] | 550 | + 10,3 | 0,11 |
| 110 | — 1,7 | [0,05] | 1465 | + 3,1 | 0,09 |
| 0 | — 1,9 | 0,05 | 550 | + 11,5 | 0,07 |
| 915 | + 0,4 | 0,04 | 915 | + 5,8 | 0,07 |
| 275 | — 1,8 | 0,02 | 0 | + 16,6 | 0,07 |
| 185 | — 1,6 | 0,02 | 1280 | + 2,8 | 0,06 |
| | | | 90 | + 17,1 | 0,06 |
| Mittelwert: | | 0,11 | 1645 | + 3,1 | 0,06 |
| Größte Abweichungen } vom Mittelwert } | | + 0,19 | 185 | + 15,9 | 0,05 |
| | | — 0,09 | 1100 | + 5,2 | 0,05 |
| | | | 1280 | + 3,3 | 0,05 |
| | | | 1465 | + 2,8 | 0,04 |
| | | | 365 | + 14,9 | 0,04 |
| | | | 730 | + 7,4 | 0,04 |
| | | | 185 | + 14,1 | 0,04 |
| | | | 185 | + 21,9 | 0,04 |
| | | | 550 | + 13,8 | 0,04 |
| | | | 365 | + 10,5 | 0,03 |
| | | | 730 | + 5,4 | 0,03 |
| | | | 915 | + 3,8 | 0,02 |
| | | | 1100 | + 3,0 | 0,02 |
| Indischer Ozean | | | | | |
| 185 | + 13,1 | 0,22 | | | |
| 1280 | — | 0,04 | | | |
| 1645 | + 3,1 | 0,04 | | | |
| 730 | + 10,1 | 0,03 | | | |
| 915 | + 7,0 | 0,02 | | | |
| Mittelwert: | | 0,07 | Mittelwert: | | 0,06 |
| Größte Abweichungen } vom Mittelwert } | | + 0,15 | Größte Abweichungen } vom Mittelwert } | | + 0,09 |
| | | — 0,05 | | | — 0,04 |

Das ist ein sehr auffälliger Befund! Es seien hier gleich die betreffenden Untersuchungsergebnisse aus Ost- und Nordsee angeschlossen, die von E. Raben¹⁾ und von mir erhalten wurden. Ich ziehe nur die Untersuchungen von Raben an, da er und ich nach genau gleichen Methoden und in demselben Laboratorium gearbeitet haben, wodurch die denkbar günstigsten Vergleichsbedingungen gegeben sind. Meine in der Kieler Fördré 1905—1906 erhaltenen Werte sind bereits von H. Lohmann²⁾ veröffentlicht.

E. Raben fand 1904 in einem Liter Oberflächenwasser Ammoniak-Stickstoff:

| Datum | Ostsee | Nordsee |
|----------------------|----------|----------|
| Februar 1904 | 0,068 mg | 0,063 mg |
| Mai " | 0,065 " | 0,065 " |
| August " | 0,057 " | 0,061 " |
| Novemb. " | 0,050 " | 0,044 " |
| Mittel 1904 | 0,061 mg | 0,058 mg |

¹⁾ E. Raben, l. c., S. 279 [1904]; S. 83 [1905].

K. Brandt, Die Beteiligung Deutschlands an der internationalen Meeresforschung. III. Jahresbericht. Berlin 1906. S. 30.

²⁾ H. Lohmann, Untersuchungen zur Feststellung des vollständigen Gehaltes des Meeres an Plankton. Wissenschaftl. Meeresuntersuchungen, Abteil. Kiel, N. F., Bd. X, S. 230 [1908].

Ich selbst fand in der Zeit Mai 1905 bis August 1906 bei Laboe am Ausgang der Kieler Förde im Gesamtmittel:

in 5 m Tiefe 0,08 mg
 „ 15 m „ 0,09 „

Die verschiedenen Monatsmittel schwankten:

bei 5 m Tiefe 0,13 bis 0,03 mg
 „ 15 m „ 0,15 „ 0,02 „

E. Raben fand in verschiedenen Oberflächenproben, die auf der Nordlandreise S. M. Y. „Hohenzollern“ Juli—August 1903 an der Norwegischen Küste gesammelt worden waren:

| Datum | Position | Ammoniak-Stickstoff |
|---------------------|----------------------|---------------------|
| 4. August 1903 . . | N 62° 10'; O 4° 58' | 0,079 mg |
| „ „ „ . . . | „ 63° 7'; „ 7° 37' | 0,091 „ |
| 22. Juli 1903 . . . | „ 65° 17'; „ 11° 59' | 0,074 „ |
| 25. Juli 1903 . . . | „ 67° 32'; „ 14° 21' | 0,074 „ |
| Mittel | | 0,08 mg |

Die zitierten Untersuchungen bestätigen den Schluß, zu dem die Ergebnisse der Gauß-Proben führten, wonach der Gehalt an Ammoniak-Stickstoff im Ozean ziemlich konstant ist und einen durchschnittlichen Betrag von 0,05 mg erreicht.¹⁾

Vielleicht liegt dieses gleichmäßige Auftreten des Ammoniak-Stickstoffes im Meere in dem Umstande begründet, daß das Ammoniak nicht direkt an der Pflanzenernährung beteiligt ist, sondern ein Übergangsglied zwischen organischen Stickstoffverbindungen und Nitriten bzw. Nitraten ist, welche letztere erst wieder den Pflanzen zugänglich sind.

Beim Ammoniak-Stickstoff ist also keinerlei Abhängigkeit von der Breite und damit keine Beziehung zur Produktion der Meere vorhanden. Er kommt demnach für die Brandtsche Auffassung überhaupt nicht in Frage. Es ist jetzt noch zu zeigen, wie es sich mit dem Nitrat- + Nitrit-Stickstoff verhält.

2. Gehalt des Meeres an Nitrat- + Nitrit-Stickstoff.

Wesentlich anders wie beim Ammoniak-Stickstoff liegen die Verhältnisse hier. Von einem einheitlichen Gehalt des Meeres an Nitrat- + Nitrit-Stickstoff kann nicht die Rede sein. Betrachten wir die für verschiedene Meeresgebiete gefundenen Werte vorerst gesondert.

a) Südliches Eismeer.

Es liegen 24 Proben aus offenem Meere vor. Die Werte schwanken zwischen 0,41 und 0,59 mg, jedoch kommen nur 5 über 0,50 mg vor. Trägt man die Werte in Kurven auf, wie dies in meiner ausführlichen Arbeit geschehen ist, so ergibt

¹⁾ Anhangsweise sei wenigstens darauf hingewiesen, daß W. Biltz und E. Marcus (Z. anorg. Chemie, LXII, S. 183—202 [1909]) in der Staßfurter und der Vienenburger Salzlagerstätte einen gleichen Ammoniakgehalt nachgewiesen haben. Ein Meer, aus diesen Salzlagern gebildet mit 3,5% Salzgehalt, würde 0,05 mg Ammoniak-Stickstoff im Liter enthalten. Nitrate und Nitrite waren nur in Salzionen nachzuweisen.

sich nach der Tiefe ein Hin- und Herpendeln um einen mittleren Gehalt. Nach den vorliegenden Daten ist der Gehalt des Südlichen Eismeereres als einheitlich durch die ganze Tiefenerstreckung anzusehen und mit großer Wahrscheinlichkeit auch in horizontaler Richtung, jedoch reichen die vorliegenden Untersuchungen hierfür noch nicht aus. Als Mittel aus sämtlichen Bestimmungen (mit Ausnahme der beiden Diatomeeneisproben) berechnet sich 0,47 mg Nitrat- + Nitrit-Stickstoff im Liter. Das an Diatomeen reiche Eis besaß ebenfalls einen hohen Gehalt an Nitrat- + Nitrit-Stickstoff nämlich 0,40 mg.

b) Indischer Ozean.

Die vorliegenden Proben sind so gering an Zahl (7), daß sich aus ihnen allein keine Schlüsse ziehen lassen. Sie werden später gemeinschaftlich mit den anderen Proben behandelt.

c) Atlantischer Ozean.

50 Bestimmungen aus den verschiedensten Breiten und Tiefen gewähren uns einen tiefen Einblick in die Art der Verteilung des Nitrat- + Nitrit-Stickstoffs.

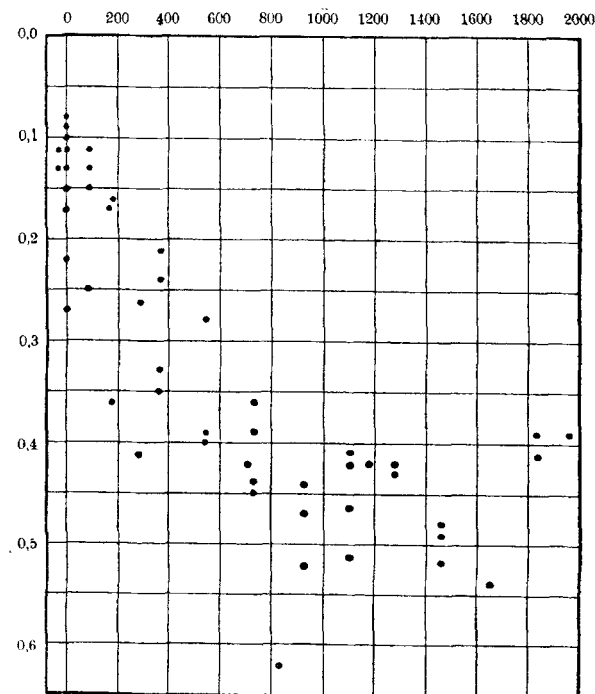


Fig. 1. Abhängigkeit von Stickstoffgehalt und Tiefe im Atlantischen Ozean.

In meiner Abhandlung im Sammelwerk der Deutschen Südpolar-Expedition sind sechs größere Tiefenserien in Kurven dargestellt (l. c. S. 164—169). Ich wiederhole diese hier nicht im einzelnen, da die aus ihnen sich ergebenden

Folgerungen auch aus den gleich zu gebenden Tafeln im großen und ganzen ersichtlich werden. Aus den einzelnen Kurven aus dem Atlantischen Ozean war zu ersehen, daß der Gehalt an Nitrat- + Nitrit-Stickstoff in den Oberflächenproben am geringsten ist, nach der Tiefe zu wächst, um in einer mit der Breite wechselnden Tiefe den höchsten Gehalt zu erreichen, der dem im Südlichen Eismeer gefundenen Wert von durchschnittlich 0,45 bis 0,50 mg gleichkommt. Es ergab sich auch eine gewisse Parallelität zwischen Zunahme des Stickstoff- und Salzgehaltes und Abnahme der Temperatur. Auf alle diese Einzelheiten einzugehen, führt hier zu weit. Die Abhängigkeit des Stickstoffgehaltes wird sehr deutlich aus der beigegebenen Kurventafel Fig. 1, die aus meiner größeren Arbeit (S. 171, Fig. 13) entnommen ist. Hierin sind die Tiefen als Abszissen und die zugehörigen Stickstoffgehalte als Ordinaten aufgetragen. „Alle Werte ordnen sich in einem Bande an, dessen Neigung mit der Tiefe geringer wird. Alle Proben, die aus größeren Tiefen als 400 m stammen, enthalten — bis auf eine mit 0,28 mg — schon 0,35 und mehr Milligramm Nitrat- + Nitrit-Stickstoff. Von 700 bis 800 m an erreicht der Stickstoff seine höchsten Werte, die — wie eben gezeigt wurde — zwischen 0,4 und 0,6 mg schwanken können. Von diesen Tiefen an ist der Stickstoffgehalt des Atlantischen Ozeans dem des Südlichen Eismeres gleich“ (l. c. S. 171).

d) Verteilung des Nitrat- + Nitrit-Stickstoffes in den gesamten untersuchten Meeresgebieten.

a) Oberflächenverteilung.

Wie beim Ammoniak-Stickstoff ziehen wir auch hier Untersuchungen von E. Raben (l. c.) aus Ost und Nordsee und von mir (l. c.) bei Laboe am Ausgang der Kieler Fördrde zum Vergleich an.

E. Raben fand folgende Zahlenwerte in einem Liter Oberflächenwasser:

| Datum | Ostsee | Nordsee |
|---------------------|----------|----------|
| Februar 1904 . . . | 0,199 mg | 0,216 mg |
| Mai „ . . . | 0,170 „ | 0,217 „ |
| August „ . . . | 0,095 „ | 0,079 „ |
| November „ . . . | 0,070 „ | 0,101 „ |
| Mittel 1904 | 0,134 mg | 0,152 mg |

Dieses Ergebnis steht in vollem Einklang mit meinen Bestimmungen in der Kieler Fördrde. Hier fand ich für die Zeit Mai 1905 bis August 1906 im Mittel:

in 5 m Tiefe 0,12 mg
 „ 15 m „ 0,14 „

Die einzelnen Monatsmittel betragen:

in 5 m Tiefe 0,27 bis 0,05 mg
 „ 15 m „ 0,35 „ 0,06 „

In vier von S. M. Y. „Hohenzollern“ 1903 an der norwegischen Küste genommenen Oberflächenproben fand Raben:

| Datum | Position | Nitrat- + Nitrit-Stickstoff |
|-----------------------|----------------------|-----------------------------|
| 4. August 1903 . . | N 62° 10'; O 4° 58' | 0,111 mg |
| " " " " . . . | " 63° 7'; " 7° 37' | 0,116 " |
| 22. Juli " 1903 . . . | " 65° 17'; " 11° 59' | 0,124 " |
| 25. Juli 1903 . . . | " 67° 32'; " 14° 21' | 0,115 " |
| Mittel | | 0,12 mg |

Für diese nördlichen Breiten (54° bis 67°) ergibt sich ein mittlerer Gehalt von 0,13 mg Nitrat- + Nitrit-Stickstoff in einem Liter Oberflächenwasser.

Ist die Anschauung von Brandt richtig, dann müßten wir in den Oberflächenproben am Äquator am wenigsten Stickstoff finden, und der Gehalt hieran müßte nach den Polen hin zunehmen. Die Kurve Fig. 2 (Fig. 15 auf S. 177 in

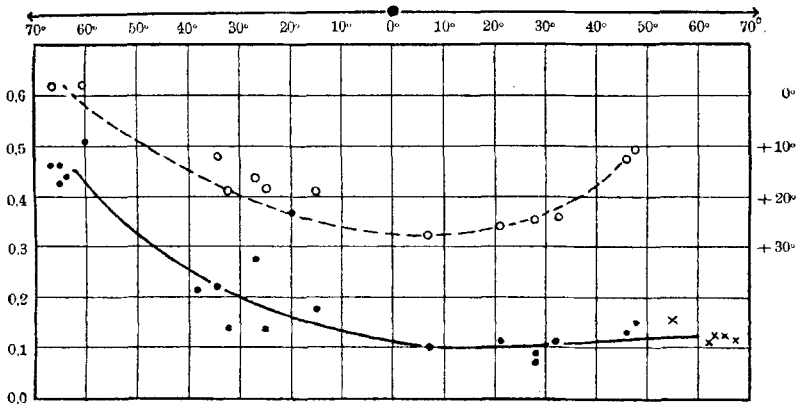


Fig. 2. Abhängigkeit des Stickstoffgehaltes im Oberflächenwasser von der geographischen Breite.

Erklärung: Es bedeuten • und X Nitrat- + Nitrit-Stickstoff, O zugehörige Temperaturen.

Bd. VII des Sammelwerkes der Deutschen Südpolar-Expedition) erledigt sofort diese Frage. In diesem Koordinatennetz sind zwei Kurven eingetragen, eine gestrichelte Temperatur- und eine ausgezogene Stickstoffkurve. Die liegenden Kreuze (X) sind die von E. Raben gefundenen Werte.

Der große Reichtum des Oberflächenwassers der Antarktis mit 0,45 bis 0,50 mg fällt sofort auf. Bei etwa 30° südl. Breite sind durchschnittlich nur noch 0,2 mg vorhanden, und am Äquator ist der Gehalt auf etwa 0,10 mg gesunken. In nördlichen Breiten ist kaum ein Ansteigen der Stickstoffkurve zu beobachten, in 60 bis 70° nördl. Breiten sind nur 0,10 bis 0,15 mg gefunden worden bei 0,45 mg in gleichen südlichen Breiten. Die tropischen Meeresgebiete enthalten also in dem Oberflächenwasser ebensoviel Nitrat- + Nitrit-Stickstoff und demnach überhaupt anorganisch gebundenen Stickstoff wie der nördliche Atlantische Ozean, wie Ost- und Nordsee bis 67° nördl. Breite. Die Temperaturkurve hingegen zeigt einen recht symmetrischen Verlauf für beide Hemisphären.

Wir ziehen hieraus den Schluß, den Brandt¹⁾ selbst für das Eintreten eines derartigen Untersuchungsergebnisses schon gezogen hat: „Sollte wider Erwarten eine solche Untersuchung ergeben, daß die warmen Meere einen ebenso hohen oder gar höheren Gehalt an Nitraten zeigen als die kühleren, so ist meine Hypothese von der ausschlaggebenden Rolle der denitrifizierenden Bakterien in den tropischen Meeren nicht aufrecht zu erhalten.“²⁾ Das ist der eine Schluß, zu dem die vorliegenden Untersuchungen führen.

Als zweiten und wesentlich erheblicheren Schluß ziehen wir: Der gegebene, recht beträchtliche Gehalt an Stickstoff-Nährsalzen ist für die Produktion der untersuchten Meere nicht maßgebend, der Stickstoff ist nicht im Minimum vorhanden. Brandt¹⁾ selbst hat dies schon für Ost- und Nordsee betont: „Infolgedessen werden die Stickstoffverbindungen in den nordischen Meeren im allgemeinen in genügender Menge vorhanden sein, wenn es auch nicht ausgeschlossen ist, daß sie zu manchen Zeiten und unter besonderen Umständen im Minimum vertreten sind.“

Hiermit ist die Frage erledigt, die den Ausgang zur vorliegenden Untersuchung bildete. Die Arbeit hat jedoch zu unvorhergesehenen ganz interessanten Ergebnissen rein ozeanographischer Natur geführt, die zwar an sich durchaus nicht neu sind, aber andere Untersuchungen bestätigen und ergänzen, wie jetzt zu zeigen ist.

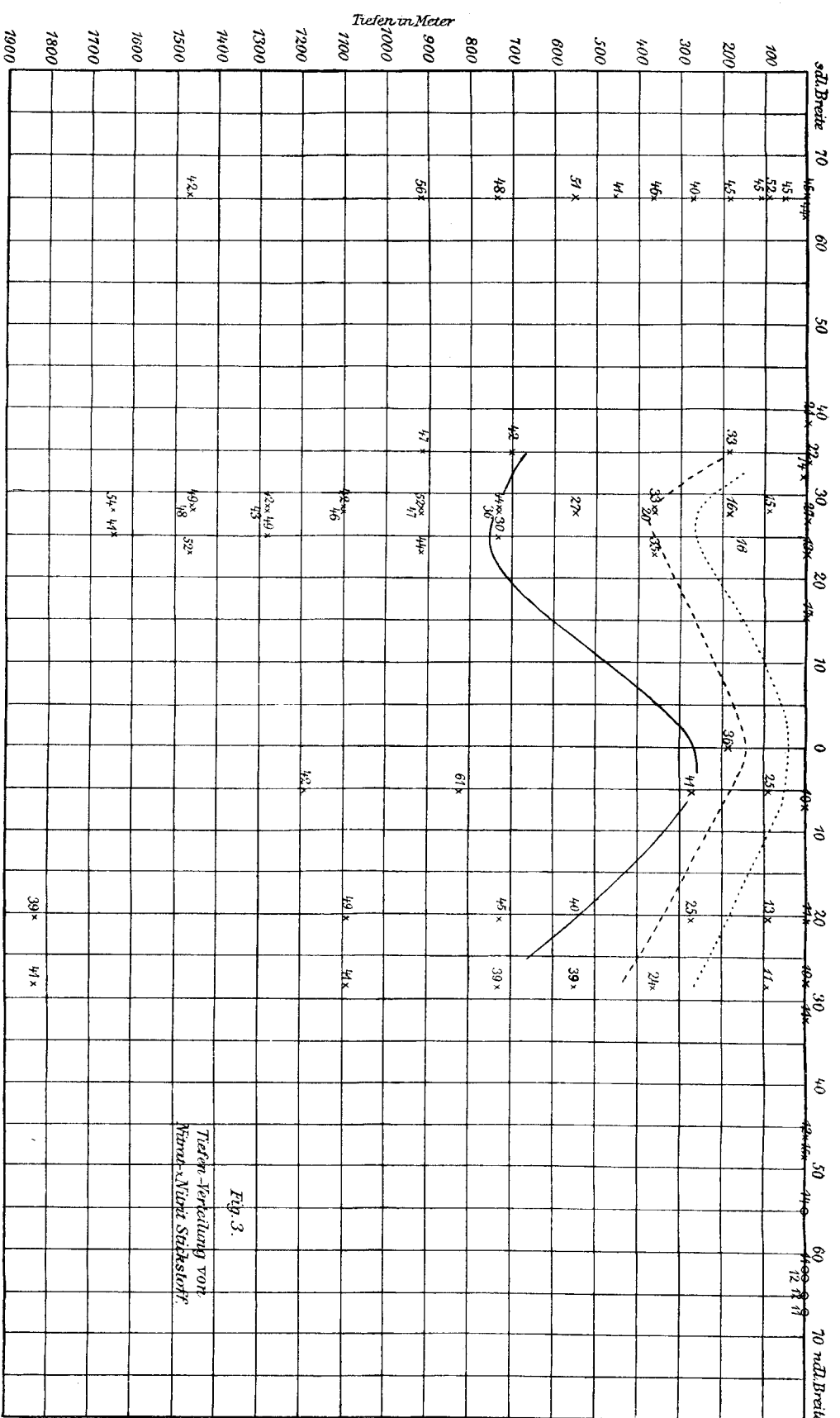
β) Tiefenverteilung und Vertikalzirkulation.

Sämtliche gefundene Stickstoffwerte — d. h. für Nitrat- + Nitrit-Stickstoff — habe ich mit 100 multipliziert in der Kurventafel Fig. 3 zusammengestellt, die Breiten sind in der Abszissenaxe, die Tiefen in der Ordinatenaxe aufgetragen. Lagen mehrere Bestimmungen von gleichen oder sehr benachbarten Punkten vor, dann wurde deren Mittel eingetragen; doch ist dies nur bei mehreren antarktischen Proben geschehen. Selbstverständlich ist immer noch die Zahl der vorhandenen Bestimmungen zu gering, um ein Bild bis in die einzelnen Details und Farbtönen durchzeichnen zu können, aber immerhin läßt sich schon eine einigermaßen umfassende Skizze entwerfen.

Zunächst ist wiederum auf die gleichmäßige Verteilung des Stickstoffes durch die ganze Tiefenerstreckung an den untersuchten antarktischen Stationen hinzuweisen. Mit der Annäherung an tropische Breiten tritt die Tiefenzunahme im Stickstoffgehalte immer deutlicher hervor. Dies zeigen klar die eingetragenen Linien, welche die Punkte mit 0,40 bzw. 0,30 bzw. 0,20 mg Nitrat- + Nitrit-Stickstoff miteinander verbinden. Die Lücken zwischen den einzelnen Tiefenserien ist zu groß, als daß der angegebene Verlauf der Kurven im einzelnen richtig sein kann; auch fallen einige Punkte aus den Kurven heraus. Aber die angegebene Richtung der Kurven ist als richtig anzusehen. Die Kurven steigen nach dem Äquator zu von etwa 30° nördl. bzw. südl. Breite an. Auf der Südhemisphäre steigt die Kurve ebenfalls von etwa 30° an nach Süden hin an. Wie die entsprechenden Verhältnisse auf der Nordhemisphäre liegen, läßt sich zurzeit noch nicht sagen. Jedenfalls gibt sich hier die große Zirkulation des Meerwassers deutlich zu erkennen: von den Polen in Bodenströmung zu niederen Breiten und Aufquellen am Äquator.

¹⁾ K. Brandt, Über die Produktion und die Produktionsbedingungen im Meere. Rapport et procès-verbaux du conseil international pour l'exploration de la mer. Août 1905, Anlage D, S. 10 und 8.

²⁾ Von mir gesperrt.



Tiefen-Verteilung von
Nitr- + Nitr-Stickstoff.

Fig. 3.

Fig. 3 Tiefenverteilung von Nitr- + Nitr-Stickstoff.

Wie aus den Kurven ersichtlich ist, sind die untersuchten antarktischen Punkte und die Tiefen des Ozeans ausgiebige Stickstoffquellen. Dort werden die organischen Stickstoffverbindungen in Nitrate + Nitrite übergeführt, die von den Pflanzen direkt aufgenommen werden können; es ist dies „dieselbe Wirkung wie beim Ackerland die Brache“, wie Al. Nathansohn in seiner Arbeit „Über die allgemeinen Produktionsbedingungen im Meere“ ausführte (Diese Zeitschr., Bd. I, S. 35 [1908]). Infolge der überall im Meere vor sich gehenden Vertikalzirkulation, auf direkte Strömung und Diffusionserscheinungen beruhend, werden die Nährstoffe aus der Tiefe des Ozeans an die Oberfläche transportiert. Das zeigt klar der Abfall der Kurven einer jeden untersuchten Tiefensäule nach der Oberfläche zu; und wo ein Abfall vorhanden ist, muß Strömen bzw. Diffundieren stattfinden. Dies bestätigt die Ansicht von Nathansohn über die Bedeutung der Vertikalzirkulation im Meere.

γ) Oberflächenströmung.

Fig. 2 zeigt das Anwachsen des Stickstoffgehaltes des Oberflächenwassers vom Äquator nach hohen südlichen Breiten im Gegensatz zur Nordhemisphäre. In meiner eingehenden Arbeit (l. c., S. 177) habe ich dieses Ansteigen der Stickstoffkurve als wahrscheinlich auf einen Oberflächenstrom aus hohen südlichen Breiten zurückführen zu sollen geglaubt. In erster Linie kommt in Frage der Benguelastrom, der wenigstens zum Teil aus antarktischen Breiten stammt, zum Teil auch Auftriebwasser führt, das in den subtropischen Breiten in Küstennähe infolge der Winde emporquillt. Auf beiden Wegen — direkte antarktische Strömung und Aufquellen — muß eine Stickstoffvermehrung stattfinden. Auf diese Weise enthalten die hier in Frage kommenden Oberflächenwasser mehr Stickstoff als ihnen durch bloße Vertikalzirkulation zugeführt werden kann. Ja es fließt ihnen auf diesem Wege mehr Stickstoff zu als den äquatorialen Oberflächenschichten durch Aufquellen. So erklärt sich auch, daß die letzteren weniger Stickstoff enthalten als die höheren südlichen Breiten, obwohl am Äquator das Ansteigen nach der Tiefe rascher erfolgt. In dem untersuchten Gebiet der Nordhemisphäre ist eine entsprechende Strömung nicht vorhanden, es herrscht hier überall der Golfstrom. Das Oberflächenwasser ist daher hier allein auf Stickstoffzufuhr aus der Tiefe durch Diffusion und Vertikalströmung angewiesen. Ein voller Einblick läßt sich erst gewinnen, wenn wesentlich mehr Tiefenserien vorliegen, namentlich aus dem nördlichen Atlantischen Ozean und dem Arktischen Meere. Wenn diese Untersuchungen weit genug ausgedehnt werden, ist denkbar, daß an günstigen Stellen namentlich höherer Breiten eine an Stickstoff reichere Schicht über einer ärmeren gefunden wird. Es will mir scheinen, als ob auch von rein ozeanischen Gesichtspunkten aus zur Feststellung von Horizontal- und Vertikal-Strömungen eine Weiterverfolgung der Stickstofffrage am Platze ist.

δ) Kurze Zusammenfassung. Minimumgesetz.

Es ist offensichtlich, daß Meeresbewegung — Vertikal- und Horizontalströmung — einen großen Einfluß auf die Verteilung der Pflanzennährstoffe und damit auch der Produktion ausüben. Meine Untersuchungen haben das für die Stickstoffnährsalze klar gezeigt.

Weiter hat die vorliegende Arbeit dargetan, daß Stickstoff im Meere nicht im Minimum vorhanden ist. Wie es in dieser Beziehung mit anderen Nährstoffen steht, weiß man einstweilen noch nicht. Es scheint mir jedoch viel zu weit ge-

gangen zu sein, wollte man überhaupt die Gültigkeit des Minimumgesetzes für das Meer ablehnen, wie es Al. Nathansohn (l. c.) getan hat. Ich meine, daß das Minimumgesetz allerdings nicht den Ausschlag für die Meeresproduktion gibt, den Brandt ihm zulegt. Aber es ist ein Faktor, der mit vielen anderen gemeinschaftlich wirkt, an einem Ort vielleicht mehr, am anderen weniger in Erscheinung tretend. Eine einheitliche Ursache gibt es in der Natur nicht. In der Verkennung dieser Tatsache ist auch der Hauptfehler von K. Brandt zu suchen. Neuerdings faßt man überhaupt das Minimumgesetz viel zu eng. In dieser engen, auch von Brandt angenommenen Fassung beherrscht es auch die Produktion auf dem bebauten Lande nicht. Liebig (Chemische Briefe, S. 35—50) selbst hat das Produktionsgesetz für den Acker viel weiter gefaßt, mit der Zeit hat man dieses in das für sich allein unfruchtbare „Minimumgesetz“ verkrüppeln lassen. Das ursprüngliche Produktionsgesetz lautete dem Sinne nach etwa: „Der Ertrag (E) eines Bodens ist abhängig von dem im Minimum vorhandenen Nährstoffe (N) und den Widerständen (W), die sich seiner Aufnahme durch die Pflanzen entgegensetzen“:

$$E = N - W \qquad (50. \text{ Brief}).$$

Hier sind alle maßgebenden Faktoren zusammengefaßt. In ihm steckt nicht nur die Produktionsfähigkeit, sondern auch oder gerade die Produktionsgeschwindigkeit. Eingehenderes über dieses interessante Thema, eine genauere Definition von Minimum als bisher üblich usw. ist aus meiner ausführlichen Arbeit zu entnehmen.
