

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

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

German copyright law applies.

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

Beiträge zur Kenntnis der Ernährungsphysiologie mariner Blaualgen*)

Von Eva-Maria Kinne-Diettrich

1. Einleitung

Blaualgen sind an den Meeresküsten weit verbreitet. Sie können sogar an bestimmten, ökologisch vielfach besonders charakteristischen Biotopen eine so hervorragende Rolle spielen, daß sie trotz ihrer mikroskopischen Kleinheit zu auffallenden und ausgedehnten Vegetationsfärbungen Anlaß geben (vgl. Warming 1904 und Hoffmann 1942). Trotzdem wissen wir über die Ernährungsansprüche der marinen Formen dieser Algengruppe bisher nur wenig. Das überrascht um so mehr, als limnische Vertreter der Blaualgen außerordentlich häufig zu ernährungsphysiologischen Studien herangezogen wurden (vgl. Literatur bei Allen 1952). Es schien daher lohnend, das Wachstum mariner Blaualgen in Abhängigkeit von den in Seewasser gelösten Nährstoffen näher zu untersuchen.

2. Material und Methodik

Die Untersuchungen wurden an zwei *Lyngbya*-Arten durchgeführt: *Lyngbya maiuscula* (Harvey) und *Lyngbya confervoides* Ag. die beide aus Brackwassertümpeln des Bottsandgebietes östlich der Kieler Förde stammten. Der Salzgehalt in den Tümpeln schwankte im Jahresablauf und zwar für den Fundort von *L. maiuscula* zwischen 4 und 12‰, für den von *L. confervoides* zwischen 8 und 20‰. Von den gesammelten Algenproben wurden in Seewasser von 10 beziehungsweise 15‰ mit einem Zusatz von 0,01 g NaNO₃ und 0,02 g Na₂HPO₄ artreine Rohkulturen angelegt, wobei von einzelnen Fäden, die gründlich durch Waschen in sterilem Seewasser gesäubert waren, ausgegangen wurde. Diesen Rohkulturen entstammten die für die einzelnen Versuchsreihen verwendeten Fäden.

Leider gelang es nicht, völlig bakterienfreie Kulturen zu ziehen, weder nach den von Pringsheim (1914) und Harder (1917) verwendeten Methoden, mit denen auch Allen (1952) guten Erfolg hatte, noch durch Bestrahlungen mit UV-Licht. Die Ursache für alle Fehlschläge ist vermutlich darin zu suchen, daß es sich nicht nur um sehr langsam kriechende Formen handelt, sondern daß auch durch die bei längerer Kultur ausgebildeten Gallertscheiden ein Abstreifen der Bakterien sehr erschwert ist.

Als Kulturgläser dienten kleine Petrischalen aus Jenaer Glas von etwa 4—4,5 cm Durchmesser, die nach sorgfältiger Reinigung und Wässerung durch Erhitzen auf 180° sterilisiert wurden. Auch bei der Herstellung und für die Aufbewahrung der Vorratslösungen kamen gleichfalls nur Geräte aus Jenaer Glas zur Verwendung.

Die verwendeten Salze und organischen Präparate stammten von der Firma Merck. Es handelte sich, wenn nichts anderes vermerkt, stets um Präparate mit Garantieschein. Als Kulturmedium diente einmal natürliches Seewasser, das in der Außenförde geschöpft war und im Aquarium des Instituts als sog. „Vorratswasser“ aufbewahrt wurde, so daß stets das gleiche Wasser zur Verwendung kam (Salzgehalt: 16,7‰, P-Gehalt: 10,8 γ/L, Nitrit-Gehalt: 4 γ/L.). Der größte Teil der Versuche wurde aber mit künstlichem Seewasser durchgeführt, wie es von Levring (1945a) und Henkel (1952) angegeben wird. Das künstliche Seewasser, sowie alle zu seiner Herstellung verwendeten Stammlösungen der Salze und Versuchsstoffe wurden stets mit glasdestilliertem Wasser hergestellt. Alle Kultur- und Versuchslösungen kamen stets steril zur Verwendung (dreimalige Sterilisation an aufeinanderfolgenden Tagen bei 70° C). Die Bestimmungen des pH der Lösungen erfolgte kolorimetrisch nach den Angaben von Pahlitzsch (Indikator: Kresolrot).

Um ein möglichst in Zahlen zu fassendes Maß für den Einfluß der untersuchten Stoffe auf das Wachstum der Algen zu erhalten, wurde von Massenkulturen, wie sie

*) Die Arbeit ist ein Auszug aus der Dissertation. Für die Anregung, sowie für die hilfsbereite Unterstützung bei deren Durchführung danke ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. C. Hoffmann.

meist bei Blaualgen angewendet werden, abgesehen. Es wurden vielmehr bei allen Versuchsreihen Einzelfäden verwendet, deren Längenwachstum jeden 2. Tag gemessen wurde. Da die den Rohkulturen entnommenen Fäden häufig zu lang waren, um exakte Längenmessungen vornehmen zu können, wurden sie nach mehrfachem Waschen in sterilem Vorratswasser vorsichtig mit einem Skalpell in Teilstücke von 50—100 μ Länge zerlegt und jeweils ein solches Teilstück nach nochmaligem Waschen mit Glasnadeln in die Kulturgefäße übertragen. Ein Einfluß auf das Wachstum durch die Behandlung war nicht nachweisbar. Zerschnittene wie auch kurze direkt der Rohkultur entnommene Fäden zeigten unter gleichen Bedingungen gleichen Zuwachs. Der Zuwachs wurde auf die Ausgangslänge des Fadens = 100 bezogen. Das Wachstum der einzelnen Fäden war im allgemeinen ziemlich gleichmäßig. So wurde in einem Versuch mit 9 Parallelproben und einer relativ geringen Wachstumszunahme von 55,5% der mittlere Fehler des Mittelwertes mit $\pm 1,3$ berechnet. Traten einmal größere Schwankungen auf, so wurde durch mehrfache Wiederholung der Serien die Höhe des Zuwachses in den jeweiligen Versuchslösungen sicher gestellt. Da die einzelnen Versuchsserien zu verschiedenen Jahreszeiten und meist nicht konstanten Licht- und Temperaturbedingungen durchgeführt wurden, ist ein Vergleich untereinander nur dann möglich, wenn die Einflüsse der einzelnen geprüften Stoffe relativ zur Wachstumszunahme der Kontrolle ausgedrückt werden. Es wird daher der Wachstumszuwachs der Kontrolle, der in % der Anfangsgröße des Fadens berechnet ist, gleich 100 gesetzt und darauf die prozentualen Zuwachsgrößen der einzelnen Versuchslösungen bezogen.

Ein exaktes Messen der Fäden war nur dann gewährleistet, wenn diese fest an der Unterlage haften. Das konnte nur bei Verwendung einer rauhen Unterlage erzielt werden. Nach längerem Herumprobieren — es wurden Agar-Agar-Blättchen, Gipsplatten, Tonscherben, Quarzglasscheiben versucht — erwiesen sich kleine Filtrierpapierstücke von 1,5 \times 1,5 cm als günstigste Unterlage. Die Stücke müssen allerdings etwa 20 Stunden lang gut gewässert werden, da sich bei der verwendeten Sorte (Schleicher & Schüll, Blauband, hart Nr. 589³) eine Abgabe N-haltiger Stoffe bemerkbar macht, die aber nach 14—16stündigem Auswaschen, wie durch besondere Untersuchungen festgestellt wurde, beendet war. Es ergab sich sehr bald, daß die Fäden dann am besten gedeihen, wenn sie auf der Unterlage gerade von der Kulturflüssigkeit bedeckt sind, wie das auch von anderen Autoren wiederholt festgestellt wird (Maertens 1914, Pringsheim 1914, Allen 1952). Bei der geringen Nährlösungsmenge müssen Eindunstungen aufs sorgfältigste vermieden werden. Doch ergaben Kontrollwägungen der sofort nach dem Beschicken zugedeckten Schalen, daß der Verdunstungseffekt während zweier Tage so gering war, daß er praktisch in keiner Weise ins Gewicht fällt. Trotzdem wurden jeden zweiten Tag die Nährlösungen erneuert.

Die Kulturschalen befanden sich während der Versuche an einem Nordfenster, das durch Glasscheiben regalartig aufgeteilt war. Die zu vergleichenden verschiedenen Lösungen standen stets nebeneinander, wobei jede Reihe 3—5 Parallelkulturen mit je einem Faden umfaßte, aus deren Zuwachsgrößen jeweils ein Mittelwert berechnet wurde. Zum Ausgleich der jahreszeitlichen Schwankungen der Lichtintensität und der Tageslängen erhielten die Kulturen in den Herbst-, Winter- und Frühjahrsmonaten eine Zusatzbeleuchtung durch zwei Neonröhren (HNG 200/40 Watt, warmweiß). Die Temperatur des Kulturraumes war nicht konstant. Sie wurde mit einem Thermographen registriert. Im allgemeinen schwankten die angegebenen Mittelwerte $\pm 2^{\circ}$.

3. Der Einfluß des Salzgehaltes

Die stark wechselnden Salzgehaltsbedingungen im natürlichen Lebensraum der untersuchten Algen lassen eine weitgehende Toleranz beider Formen gegenüber Salinitätsschwankungen erwarten. Die Versuchsreihen mit abgestuften Salzgehaltskonzentrationen wurden daher über einen relativ großen Konzentrationsbereich ausgedehnt.

In den ersten Versuchen, in denen Nordseewasser von 35‰ bzw. Ostseewasser von 16,7‰ durch Verdünnung mit Kieler Leitungswasser oder aqua dest. auf die gewünschten Salzgehaltsstufen gebracht worden war, zeigten die Algen nur sehr schlechtes Wachstum. Teilweise kam es sogar zum völligen Fadenzerfall, und zwar war die Entwicklung bei der gleichen Salzkonzentration um so schlechter, je stärker das Ausgangswasser (Nord- bzw. Ostseewasser) verdünnt wurde. In der folgenden Tabelle 1 ist z. B. ein

Versuch mit 3 Seewasserlösungen von 10⁰/₀₀ angeführt, deren Salzgehaltseinstellung so erfolgte, daß Lösung A und B durch Verdünnung von Nord- bzw. Ostseewasser mit aqua dest. gewonnen, während Lösung C als künstliches Seewasser durch Lösen der einzelnen Salze hergestellt wurde. Alle drei Kulturmedien erhielten einen optimalen Zusatz von N und P (vgl. S. 6 und 8).

Tabelle 1
Wachstum von *L. confervoides* in verschiedenen Versuchslösungen
gleicher Salzkonzentration
Versuchsdauer: 11.9. — 19.9. t⁰ = 17—19° C

Durchsicht nach:	A. Nordseewasser + aqua dest. + P + N 10 ⁰ / ₀₀		B. Ostseewasser + aqua dest. + P + N 10 ⁰ / ₀₀		C. Künstliches Seewasser + P + N 10 ⁰ / ₀₀	
	Teilstr.	%	Teilstr.	%	Teilstr.	%
0 Tagen	59,6	100	50,5	100	39,6	100
4 Tagen	125,6	210	110,0	218	91,3	230,3
6 Tagen	168,6	283	148,6	294	132,2	334,0
Relatives Wachstum		100		104		118

Trotz des gleichen Salzgehaltes ist das Wachstum der Alge in den drei Lösungen verschieden. Am besten bewährt sich die künstliche Seewasserlösung, die dem Verdünnungseinfluß nicht unterliegt. Gleiches wird auch von R. Henkel (1951) für höhere Meeresalgen berichtet. Diese Autorin findet bei 8⁰/₀₀ Salzgehalt in der aus Nordseewasser gewonnenen Seewasserlösung nach 10 Tagen die Zahl der gebildeten Zellen bei *Bangia pumila* mit 12, in der Ostseewasserverdünnung mit 23 und in der künstlichen Seewasserlösung mit 59. Es wurde daher, um die Wirkung des Salzgehaltes auf das Wachstum von unseren Versuchsobjekten ungestört vom Verdünnungseinfluß zu erfassen, nur künstliches Seewasser in verschiedenen Konzentrationen mit einem optimalen Zusatz von N und P verwandt. Das Ergebnis zweier Versuchsreihen, die außerdem bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt wurden, ist in Abbildung 1 Tafel 1 wiedergegeben.

Man sieht, daß *Lyngbya maiuscula* bei 10⁰/₀₀ ihr bestes Wachstum zeigt. Höhere bzw. niedrigere Konzentrationen beeinträchtigen das Gedeihen der Alge in zunehmendem Maße. Bei 20—30⁰/₀₀ tritt eine Gelbfärbung der Fäden ein, die vermutlich von einem Abbau des Chlorophylls herrührt. Auf Nährstoffmangel (vgl. Boresch 1913) kann diese Erscheinung nicht zurückgeführt werden, da N und P optimal vorhanden sind. Für *Lyngbya confervoides* wurde eine ganz ähnliche Abhängigkeit vom Salzgehalt festgestellt, doch liegt, abgesehen davon, daß sie allgemein eine stärkere Wachstumsintensität aufweist, hier das Optimum bei 15⁰/₀₀. Eine Gelbfärbung in höheren Konzentrationen wie bei *L. maiuscula* wurde nicht beobachtet.

Da innerhalb eines ziemlich breiten Salzgehaltsbereiches für beide Algen ein Wachstum, wenn auch in wechselndem Ausmaß, beobachtet wird, erweisen sie sich als relativ euryhalin. Daß aber trotz dieser Euryhalinität eine Empfindlichkeit gegenüber Salinitätsschwankungen besteht, wird besonders deutlich wenn wir das Zusammenwirken von Temperatur und Salzgehalt betrachten. Aus Abb. 1, Tafel 14 geht nämlich weiter hervor, daß ungünstige, d. h. vom Optimum stärker abweichende Salzkonzentrationen von beiden Blaualgen bei tieferen Temperaturen besser ertragen werden als bei höheren. Die Förderung des Wachstums bei hoher Temperatur (19° C) ist um so geringer, je weiter die

Salzkonzentration vom Optimum entfernt ist. Eine Berechnung der Temperaturquotienten für die einzelnen Salzgehaltsstufen bestätigt, wie Abb. 2, Tafel 14 zeigt, das eben Gesagte, ergibt aber zugleich sehr deutlich, daß die Empfindlichkeit der untersuchten Algen abnehmendem Salzgehalt gegenüber größer ist als zunehmendem. Der marine Charakter der beiden Arten wird damit besonders gekennzeichnet.

4. Das Wachstum in Abhängigkeit vom Nährstoffangebot

A. Anorganische Nährstoffe

1. Stickstoff und Phosphor. Stickstoff und Phosphor sind zwei Faktoren, die beide im Seewasser als „Minimumstoffe“ vorliegen, und daher einen entscheidenden Einfluß auf das Wachstum der Algen ausüben. Über das Stickstoff- bzw. Phosphorbedürfnis mariner Cyanophyceen ist nichts bekannt. Lediglich für limnische Arten liegen zahlreiche Untersuchungen vor (z. B. Richter 1911, Pringsheim 1914, Glade 1914, Maertens 1914, Harder 1917, Allen 1952).

a. Stickstoff

Als N-Quelle wurde NaNO_3 , NH_4Cl , NaNO_2 und Harnstoff verwendet. Die Salze wurden in sterilisiertem Vorratswasser, das einen Zusatz von $0,02 \text{ g Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{ H}_2\text{O/L}$ enthielt, gelöst. Das Ergebnis der Versuche, die mehrfach mit stets gleichem Erfolg wiederholt wurden, zeigt Abb. 3 für *L. confervoides*. Für *L. maiuscula* wurde prinzipiell Gleiches gefunden (Abb. 4, Tafel 14), nur liegen entsprechend deren geringerer Wachstumsintensität die Zuwachsgrößen niedriger. In Tabelle 2 sind für beide Arten die N-Konzentrationen, in denen optimales Wachstum gemessen wurde, und die prozentualen Wachstumssteigerungen gegenüber der Kontrolle wiedergegeben.

Tabelle 2
Die wachstumsfördernde Wirkung der untersuchten Stickstoffverbindungen in ihrer optimalen Konzentration

Objekt	Substanz	Optimalkonzentration angegeb. g N/L.	Relative Wachstumssteigerung gegenüber der Kontrolle = 100
<i>L. maiuscula</i>	NaNO_3	$1,65 \times 10^{-3}$	132,3
	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	$4,66 \times 10^{-2}$	108,9
	NH_4Cl	$2,62 \times 10^{-3}$	106,7
	NaNO_2	$2,03 \times 10^{-5}$	105,0
<i>L. confervoides</i>	NaNO_3	$1,65 \times 10^{-3}$	172,4
	NH_4Cl	$2,62 \times 10^{-3}$	138,5
	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	$4,66 \times 10^{-2}$	134,8
	NaNO_2	$2,03 \times 10^{-5}$	120,8

Als beste N-Quelle für beide Algen erweist sich NaNO_3 . Es bewirkt mit zunehmender Konzentration einen steten Anstieg des Wachstums bis zur optimalen Konzentration von $1,65 \times 10^{-3} \text{ g N/L}$, während nach Überschreitung der Optimalkonzentration rasch eine Entwicklungshemmung einsetzt. Geringer ist für beide Arten die Wachstumsförderung durch Harnstoff und Ammoniumchlorid. Die Harnstoffwirkung ist jedoch dadurch charakterisiert, daß sich ihre optimale Wirkung über einen breiteren Konzentrationsbereich erstreckt, als bei Nitrat- und Ammonsalzen, die ein relativ eng begrenztes Optimum zeigen.

Nitritgaben wirken wesentlich ungünstiger. Ein Wachstum kann nur bei einem sehr geringen Nitritzusatz von $2 \times 10^{-5} \text{ g N/L}$ beobachtet werden. Höhere Konzentrationen sind ausgesprochen giftig.

Ein Vergleich unserer Ergebnisse mit den Befunden an limnischen Formen zeigt, daß diese ganz allgemein höhere Stickstoffkonzentrationen bevorzugen. So fand Maertens (1914) für *Oscillatoria*-, *Cylindrospermum*-, *Nostoc*- und *Calothrix*-arten Optima von 0,025 — 0,1% $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ($= 4,22 \times 10^{-3}$ — $1,2 \times 10^{-2}$ g N/L), und auch Allen benutzt für seine Kulturen eine 0,1% NaNO_3 -Lösung mit gutem Erfolg. Sowohl bei Maertens als auch bei uns erwies sich von den untersuchten N-Quellen Nitrat als die günstigste, hinter der die Ammonsalze wesentlich zurückbleiben. Für limnische Formen wird das verschiedene Verhalten der Algen gegenüber Ammonsalzen und Nitraten verständlich, wenn man an die von Pringsheim (1914) geäußerte Auffassung erinnert, daß Ammonsalze als physiologisch saure Salze eine mehr oder weniger starke Acidität der Nährlösung hervorrufen, Blaualgen aber eine Zunahme der H-Ionen im allgemeinen weniger vertragen als eine Abnahme. Für marine Algen kann diese Deutung kaum zutreffen, da durch die ausreichende Pufferung des Seewassers eine Änderung des pH-Wertes vermieden wird.

Kaliumnitrit erwies sich in einer Konzentration von 0,01% ($= 1,6 \times 10^{-3}$ g N/L) für limnische *Oscillatorien* als gute Stickstoffquelle, während es sich auf die Entwicklung von *Cylindrospermum*- und *Calothrix*-Arten ungünstig auswirkt. Es ist in seiner Wirkung aber wesentlich geringer als die Nitrate. Auch für Nitrit ist auffallend, daß die untersuchten marinen *Lyngbya*-Arten sehr viel geringere Konzentrationen bevorzugen.

Inwieweit Süßwasserarten Harnstoff als N-Quelle auszunützen vermögen, ist noch nicht geklärt. Harder (1917) prüfte diese Verbindung im Dunkelversuch nur als Kohlenstoffquelle.

Bei einem Vergleich unserer Ergebnisse mit den Resultaten an höheren marinen Algen (Anderson 1942, 1943, H. Kylin 1946 und Henkel 1952) kann eine Übereinstimmung hinsichtlich der gefundenen Optimalkonzentration für Ammoniumchlorid festgestellt werden, dagegen benötigen die bisher untersuchten höheren Meeressalgen von Nitrit, Nitrat und Harnstoff für eine normale Entwicklung Konzentrationen, die etwa um eine Zehnerpotenz höher liegen, als wir sie für die beiden *Lyngbyen* finden.

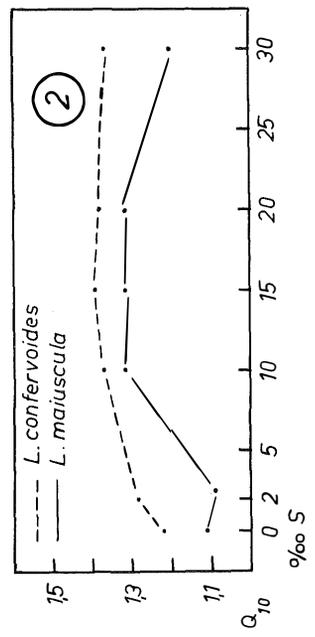
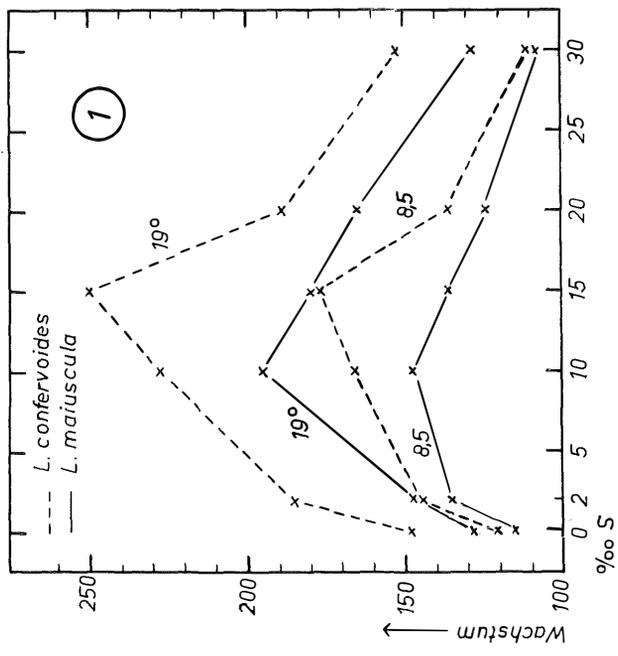
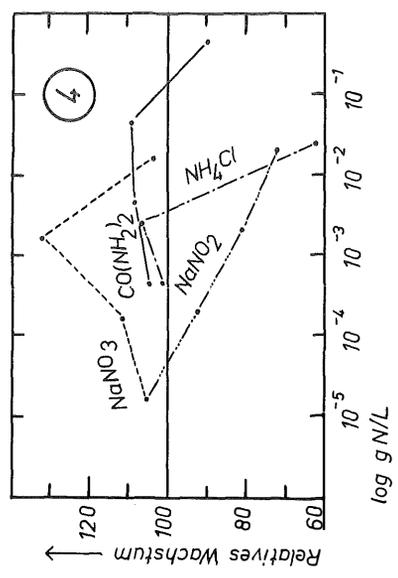
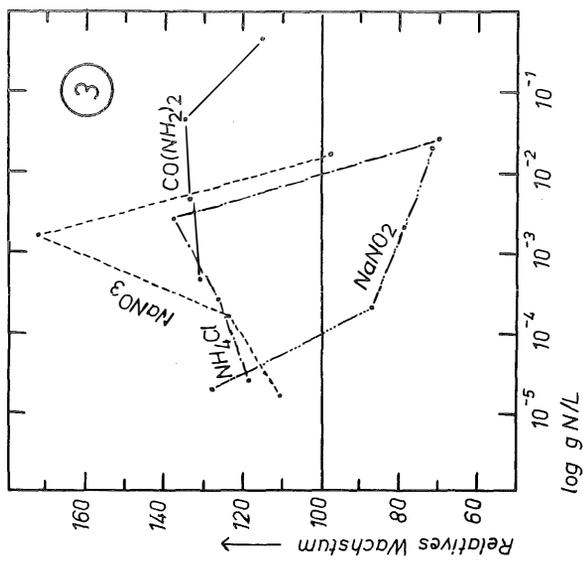
b) Phosphor. Phosphor wird allgemein in Nährlösungen für marine Algen ebenso wie Nitrat in den von Schreiber (1927) angegebenen Konzentrationen verwandt. Da sich jedoch für die von uns untersuchten *Lyngbyen* die „Schreiberlösung“ (0,1 g NaNO_3 + 0,02 g Na_2HPO_4 /L) hinsichtlich ihrer Nitratmenge als ausgesprochen ungünstig für die Entwicklung der Algen erwies (vgl. Abb. 3, Tafel 14), mußte auch die Wirkung der Phosphatkonzentration überprüft werden. Es wurde deshalb eine Versuchsserie in Vorratswasser mit optimalem Stickstoffzusatz (0,01 g NaNO_3 /L) angesetzt, in der die Phosphatkonzentration von 10^{-3} bis 1 g Na_2HPO_4 /L abgestuft waren.

Wie aus Abb. 5 zu ersehen ist, entwickeln sich beide Algen am besten bei einer Zugabe von 0,02 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ /L. Höhere Konzentrationen wirken sich in zunehmenden Maße ungünstig aus. Beide *Lyngbyen* zeigen dann Farbänderungen nach graugrün und zum Teil sogar Zerfall der Fäden.

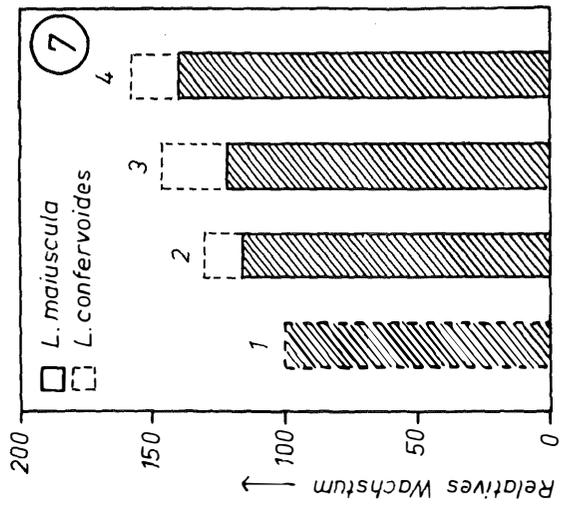
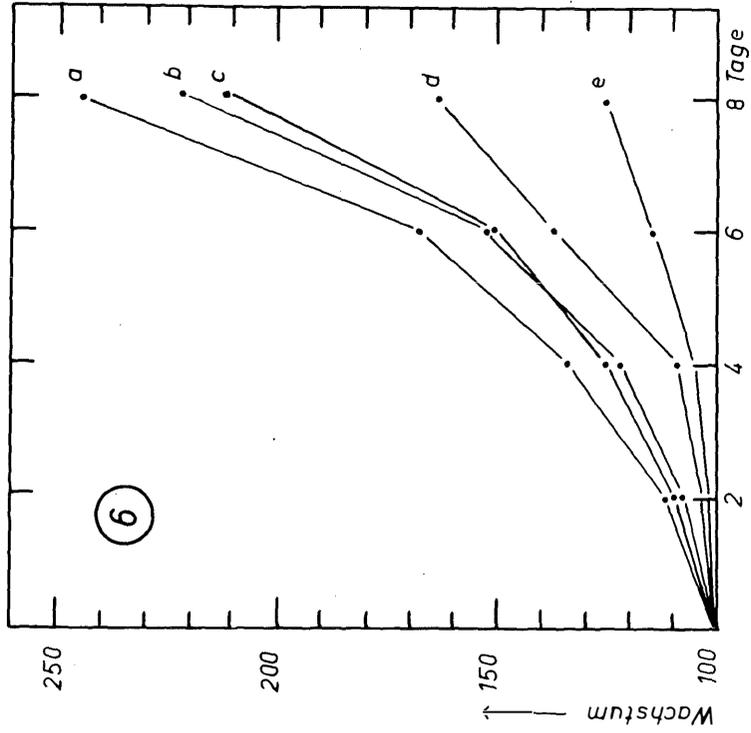
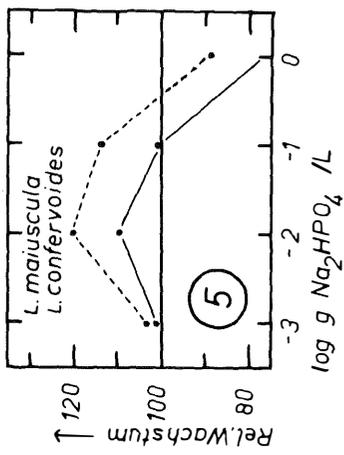
Ein Vergleich mit den Ergebnissen an Süßwasserblaualgen zeigt ebenso wie beim Nitrat, daß limnische Arten vielfach höhere Phosphorgaben für eine optimale Ent-

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Taf. 14)

- Abb. 1: Wachstum von *Lyngbya maiuscula* und *Lyngbya confervoides* nach 8 Tagen bei 19° und 8,5° in abgestuften Seewasserkonzentrationen. Anfangslänge der Fäden = 100.
 Abb. 2: Q_{10} -Werte für das Wachstum von *L. maiuscula* und *L. confervoides* in abgestuften Seewasserkonzentrationen.
 Abb. 3: Relatives Wachstum von *L. confervoides* in Abhängigkeit von verschiedenen N-Quellen bezogen auf das Wachstum der N-freien Kontrolle (= 100) nach 8tägiger Kulturdauer bei $18^\circ \pm 2^\circ$.
 Abb. 4: Wie Abb. 3, aber für *L. maiuscula*.



Tafel 14



Tafel 15

wicklung bedürfen (vgl. Allen 1952). Doch erweist sich im einzelnen der P-Anspruch der verschiedenen Arten sehr wechselnd.

Für höhere Meeresalgen wurde von Henkel für *Bangia pumila* und von Anderson für *Ulva Lactuca* und *Enteromorpha Linza* etwa gleiche Optimalkonzentrationen für Phosphor gefunden. Nur die Braunalge *Scytosiphon lomentarius* erwies sich als etwas weniger anspruchsvoll.

2. Spurenelemente. Der Begriff „Spurenelement“ ist sowohl in der Ernährungsphysiologie als auch in der Ozeanographie gebräuchlich. Während aber die Ozeanographen (Kalle 1945, Sverdrup, Johnson und Fleming 1946) darunter alle die Elemente zusammenfassen, deren Konzentration im Seewasser unter 1 mg/L liegt — also auch N und P mit einschließen —, handelt es sich im ernährungsphysiologischen Sinne um Stoffe, die zum Gedeihen der Organismen nur in sehr geringen Mengen unbedingt nötig sind.

Da die Spurenstoffe bereits im natürlichen Seewasser in praktisch wirksamen Konzentrationen vorhanden sein können, ist es nicht möglich, ihre Wirkung im natürlichen Seewasser, auch wenn es sehr nährstoffarm ist, zu untersuchen. Wir haben daher für die folgenden Versuchsreihen künstliches Seewasser nach Levring (1945 a) benutzt, das praktisch in der gleichen Zusammensetzung auch von Henkel (1951, 1952) angewandt wurde.

Die Brauchbarkeit dieses künstlichen Seewassers auch für Blaualgen ergibt sich aus der folgenden Versuchsserie, in der vier verschiedene Nährmedien nebeneinander geprüft werden. Die Zusammensetzung der Nährlösungen ist folgende.

Kulturmedium	Na ₂ HPO ₄ · 12 H ₂ O	NaNO ₃	Zusatz
a) Natürliches Seewasser (16.7 ⁰ / ₁₀₀)	0,02 g/L	0,01 g/L	Schlickextrakt (15 auf 100)
b) Natürliches Seewasser (16.7 ⁰ / ₁₀₀)	0,02 g/L	0,01 g/L	Erdextrakt (50 auf 1000)
c) Natürliches Seewasser (16.7 ⁰ / ₁₀₀)	0,02 g/L	0,01 g/L	—
d) Künstliches Seewasser (15 ⁰ / ₁₀₀)	0,02 g/L	0,01 g/L	—
e) Künstliches Seewasser (15 ⁰ / ₁₀₀)	—	—	—

Das Ergebnis nach achttägiger Kulturdauer ist in Abb. 6, Tafel 15 dargestellt. Als bestes Nährmedium erweist sich natürliches Seewasser mit einem Zusatz von Schlickextrakt (Lösung a). Es wird in seiner wachstumsfördernden Wirkung auch nicht von der „Erd-schreiberlösung“ (Lösung b), die sich allgemein für viele marine Algen als ausgezeichnetes Kulturmittel eignet, erreicht. Die „Schreiberlösung“ (Lösung c), deren Phosphat- und Nitratgehalt auf die Konzentrationsoptima für *L. maiuscula* abgestimmt wurde, bewirkt eine gute Entwicklung der Alge, die aber nur wenig geringere Wachstumswerte

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Taf. 15)

Abb. 5: Relatives Wachstum von *L. confervoides* und *L. maiuscula* in Abhängigkeit vom P-Gehalt der Nährlösung, bezogen auf das Wachstum der P-frei gezogenen Kontrolle (= 100) nach 8tägiger Kulturdauer bei 18° ± 2°.

Abb. 6: Wachstum von *L. maiuscula* in verschiedenen Nährlösungen. Anfangslänge der Fäden = 100.

- a) Natürliches Seewasser + N + P + Schlickextrakt
- b) Natürliches Seewasser + N + P + Erdextrakt
- c) Natürliches Seewasser + N + P
- d) Künstliches Seewasser + N + P
- e) Künstliches Seewasser

Abb. 7: Relatives Wachstum von *L. maiuscula* und *L. confervoides* nach 8tägiger Kulturdauer in verschiedenen Nährlösungen, bezogen auf das Wachstum der Kontrolle in 1. natürlichem Seewasser + N + P = 100, 2. künstlichem Seewasser + N + P + anorg. Spurenelemente, 3. wie Lösung 2 + org. Stoffe, 4. wie Lösung 3 + Schlickextrakt.

als die Erdschreiberlösung aufweist. Künstliches Seewasser mit N- und P-Zusatz (Lösung d) ruft im Vergleich zu den bisher genannten Medien nur ein geringes Wachstum hervor, während im künstlichen Seewasser (Lösung e) ohne N- und P-Zusatz neben einer durch N-Mangel bewirkten Gelbfärbung Fadenzerfall eintritt, so daß die Algenteile nur mit Mühe gemessen werden können.

Wenn das künstliche Seewasser mit optimalem N- und P-Zusatz in seiner wachstumsfördernden Wirkung hinter anderen Nährlösungen zurückbleibt, so ist das nicht überraschend. Da zu seiner Herstellung nur Präparate von Merk pro analysi verwendet werden, werden auch Spurenstoffe praktisch fast ganz fehlen, die im natürlichen Seewasser mehr oder weniger vorhanden sind. Das künstliche Seewasser ist aber dadurch im besonderen Maße geeignet, die Wirkung einzelner nachträglich zugesetzter Spurenelemente auf das Wachstum zu prüfen.

a) Eisen, Bor, Mangan. Während die Funktion des Eisens als Spurenelement für die Pflanze weitgehend bekannt ist, wissen wir über die Rolle von Bor im Stoffwechsel fast nichts, obwohl seine Notwendigkeit für die Ernährung schon länger bekannt ist. Für Mangan ist vor allem in letzter Zeit von Burström (1939) darauf hingewiesen worden, daß es die Nitratreduktion beeinflusst.

An höheren Algen ist die Bedeutung der genannten Spurenstoffe für das Wachstum wiederholt nachgewiesen worden. Bei Blaualgen fehlen auch für limnische Formen nähere Angaben fast ganz. In unseren Versuchen kamen $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 und MnCl_2 zur Verwendung. Die Salze wurden in Abstufungen von 10^{-5} bis 10^{-2} g/L dem künstlichen Seewasser, das N und P in optimalen Konzentrationen enthielt, zugefügt. Auf die Schwierigkeit, die beim Zusatz von Eisensalzen zum Seewasser dadurch entstehen, daß Eisensalze in alkalischem Medium außerordentlich instabil sind, so daß Angaben über die ional gelösten Fe-Konzentrationen mit Sicherheit nicht möglich sind, wurde wiederholt hingewiesen (vgl. Harvey 1937, H. Kylvin 1943, Henkel 1951, 1952, sowie besonders Wattenberg 1942).

Die Ergebnisse unserer Versuche sind in Tab. 3 für die drei Salze zusammengestellt.

Tabelle 3
Relative Zunahme des Wachstums bezogen auf das Wachstum
der Kontrolle = 100 nach 8 Tagen
(Mengenangabe: g Substanz/L)

Alge	Element	Kontrolle	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}
<i>Lyngbya maiuscula</i>	Fe	100	100,0	109,5	85,6	68,0
	B	100	91,5	118,5	104,7	97,4
	Mn	100	96,6	106,5	96,8	92,7
<i>Lyngbya confervoides</i>	Fe	100	103,2	110,8	102,4	79,9
	B	100	102,4	110,8	100,4	94,8
	Mn	100	103,3	109,8	98,2	96,0

Man erkennt, daß jedes der drei untersuchten Elemente in einer Konzentration von 10^{-4} g Salz/L eine im allgemeinen nicht sehr bedeutende Förderung des Wachstums bewirkt. Lediglich bei *L. maiuscula* ruft der Bor-Zusatz eine nicht unbeträchtliche Wachstumssteigerung der Algenteile hervor. Es überrascht, daß der Eisenzusatz sich nicht stärker auswirkt. Hier muß aber daran erinnert werden, daß gerade Fe-Verunreinigungen auch bei den reinsten Merkschen Präparaten nicht selten relativ hoch sind (z. B. bei NaCl maximal 0,003%). Da NaCl zum mengenmäßig am stärksten vorkommenden Salz des künstlichen Seewassers gehört, ist es also nicht ausgeschlossen, daß schon diese unvermeidbar hereingebrachte Beimengung im Wachstum der Kontrolle sich auswirkt,

und dadurch die Ergebnisse in den Versuchslösungen herabgedrückt erscheinen. Vielleicht liegt beim Mangan etwas ähnliches vor, da seine Wirkung bei *L. maiuscula* nicht sehr ausgeprägt ist, während sie bei *L. confervoides* deutlich hervortritt.

Da nach Noack und Pirson (1939) bei *Chlorella* und nach A. Kylin (1943 und 1945) auch bei *Ulva Lactuca* das Mangan sich im Burströmschen Sinne für die Nitratreduktion als bedeutsam erweist, schien ein orientierender Versuch in dieser Richtung auch bei Blaualgen von Interesse, zumal Henkel (1952) bei entsprechenden Untersuchungen an der marinen Grünalge *Ulothrix implexa* und der Rotalge *Bangia pumila* zu abweichenden Ergebnissen kam. Es wurden daher mit *L. maiuscula* zwei Versuchsreihen angesetzt, wobei in Reihe A Nitrat in optimaler Konzentration ($1,65 \times 10^{-3}$ g N/L) als Stickstoffquelle diente, während in Versuchsreihe B Ammoniumchlorid in einer Konzentration von $2,6 \times 10^{-3}$ g N/L zur Verwendung kam. Beiden Reihen wurden abgestufte Mangan-Gaben von 10^{-5} — 10^{-2} g Mn/L zugefügt. Die Ergebnisse nach achttägiger Kulturdauer sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4
Relatives Wachstum von *L. maiuscula* bei verschiedenen
Stickstoffquellen und wechselndem Mn-Zusatz
Kulturdauer: 11.—18. VI. t° : $17^{\circ} \pm 2^{\circ}$ C

MnCl ₂ g/L	I.	II.
	Rel. Wachstum bezogen auf die Kontrolle (= 100)	Rel. Wachstum bezogen auf die Kontrolle (= 100)
	10^{-2} g NaNO ₃ /L	10^{-2} g NH ₄ Cl/L
0	100,0	100,0
10^{-5}	111,2	100,7
10^{-4}	113,0	101,0
10^{-3}	95,6	82,5
10^{-2}	90,5	74,4

Aus den Werten der Tab. 4 ist zu entnehmen, daß die Nitratausnutzung in Gegenwart von Mangan eine sehr viel bessere ist, als in der Mn-freien Lösung, während sich für die NH₄-Verwertung der Mn-Zusatz nicht auswirkt. Offenbar hat also bei der untersuchten *L. maiuscula* das Mangan entsprechend der Burströmschen Vorstellung Bedeutung.

b) Weitere Spurenelemente. Wie aus den Untersuchungen von A. Kylin (1943), Peters (1948) und Henkel (1952) hervorgeht, haben bei höheren marinen Algen neben Eisen, Bor und Mangan noch eine Anzahl anderer Spurenstoffe für Keimung und Wachstum Bedeutung. Dabei ist allerdings häufig noch nicht festgestellt, inwieweit es sich dabei um Stoffe handelt, die zum Wachstum und Gedeihen unbedingt notwendig sind, also Spurenstoffe im ursprünglichen Sinne darstellen, oder, wie etwa beim Arsen, um Wachstumsstimulatoren handelt. Wir prüften deshalb neben der Wirkung von Kupfer, Aluminium, Molybdän und Zink auch diejenige von Arsen, Cobalt, Nickel, Fluor, Lithium und Jod auf das Wachstum von *L. maiuscula*. Dabei gingen wir von der natürlichen Konzentration dieser Elemente im Seewasser aus und untersuchten mehrere, in Zehnerpotenzen abgestufte Konzentrationen, die die natürliche Konzentration des Elementes im Seewasser umfaßten.

Die Spurenelemente wurden künstlichem Seewasser, das einen optimalen Zusatz von Stickstoff und Phosphor erhielt, in folgender Form zugesetzt: Aluminium und Lithium als Chlorid, Zink, Kupfer, Nickel und Cobalt als Sulfat. Molybdän kam als Ammo-

niummolybdat zur Verwendung, Fluor als Natriumfluorid und Jod in Verbindung mit Kalium. Arsen wurde als Arsensäure zugesetzt. Alle Konzentrationsangaben sind auf g Metall/L berechnet.

Das Ergebnis der verschiedenen Versuchsreihen ist in Tab. 5 zusammengestellt, wobei die Anordnung entsprechend der Wirksamkeit erfolgte.

Tabelle 5
Relative Zunahme des Wachstums bezogen auf das Wachstum
der Kontrolle = 100 nach 8 Tagen
(Konzentration: g Metall/L)

Element	Kontrolle	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Ni	100	116,4	126,4	115,3	98,5	91,2			
Mo	100		111,8	116,2	124,1	92,4			
Co	100	104,9	107,2	120,2	106,8				
Zn	100		110,1	116,8	108,9	103,1	96,1		
J	100	99,3	113,1	107,5	96,0	80,6			
As	100		109,1	112,6	99,8	87,9			
F	100				107,1	111,1	104,1	99,8	94,1
Al	100				99,8	108,6	101,1	97,6	
Li	100				95,0	108,4	94,4	86,8	
Cu	100			99,0	100,9	100,0	92,0		

Mit Ausnahme von Cu üben alle untersuchten Spurenstoffe einen häufig allerdings nur in geringem Maße fördernden Einfluß auf das Wachstum der Versuchsalge aus. Setzt man die für die einzelnen Elemente gefundenen Konzentrationsoptima zu den von Kalle (1945) angegebenen Werten dieser Elemente im natürlichen Seewasser in Beziehung, so kann man im Anschluß an Henkel (1952) die untersuchten Stoffe in drei Gruppen gliedern:

Zu Gruppe I gehören alle Stoffe, die eine optimale Wachstumsleistung in der Konzentration bewirken, die mit der natürlichen, im Seewasser vorhandenen übereinstimmt oder ihr sehr nahe liegt: Ni, Al, Li.

Gruppe II enthält Verbindungen, die in höheren Konzentrationen als der natürlichen wachstumsfördernd sind: Mo, Co.

In Gruppe III schließlich werden die Stoffe zusammengefaßt, die ein Wachstumsoptimum in Konzentrationen hervorrufen, die geringer sind als die für Seewasser angegebenen: J, F, As, Zn.

Gruppe I: Ni, Al, Li.

Den stärksten Einfluß aller untersuchten Spurenelemente überhaupt übt Nickel aus. Schon die geringste der untersuchten Konzentrationen (10^{-8} g Ni/L) zeigt eine starke Wachstumsförderung. Das Optimum liegt bei 10^{-7} g Ni/L und entspricht der natürlichen für Seewasser angegebenen Konzentration (Peters 1948). Bei höheren Algen wurde eine Stimulation des Wachstums erst durch stärkere Nickelzusätze erreicht. So konnte Peters (1948) für *Enteromorpha intestinalis* bei der natürlichen Nickelkonzentration des Seewassers nur eine leichte Förderung des Wachstums nachweisen, während optimale Entwicklung der Alge erst durch Gaben von 10^{-5} g Ni/L hervorgerufen wurde, eine Menge, die bei *Lyngbya* bereits hemmend wirkt.

Aluminium bleibt in seiner Wirkung weit hinter Nickel zurück. Seine Optimalkonzentration wurde mit 1×10^{-4} g Al/L ermittelt, ein Wert, der praktisch mit dem des natürlichen Seewassers ($1,2 \times 10^{-4}$ g Al/L) zusammenfällt. An höheren Meeresalgen kommen A. Kylin (1946), Peters (1948) und Henkel (1952) zu ganz anderen Ergebnissen. Diese Autoren beobachten, daß Aluminium in der natürlichen Konzentration

($1,2 \times 10^{-4}$ g Al/L) und auch in der um eine Zehnerpotenz niedrigeren Stufe eine ausgesprochene Hemmung des Wachstums hervorruft. Eine deutliche Stimulation wird bei *Ulva Lactuca*, *Enteromorpha intestinalis* und *Bangia pumila* erst durch die viel schwächere Konzentration von 1×10^{-6} g Al/L herbeigeführt. Das Element rückt daher bei höheren Algen in die dritte der drei aufgestellten Gruppen.

Der Einfluß von Lithium auf die Entwicklung von *L. maiuscula* ist sehr unbedeutend und ähnelt stark dem des Al. Seine Optimalkonzentration liegt sehr nahe der natürlichen Konzentration im Seewasser, die mit 7×10^{-5} angegeben wird.

Gruppe II: Mo, Co.

Neben Nickel wird auch durch Molybdän eine beachtliche Wachstumssteigerung erzielt. Während ein Zusatz von 10^{-7} g Mo/L bereits wachstumsfördernd wirkt, liegt das Optimum erst bei 10^{-5} g Mo/L, also bei einer Konzentration, die bedeutend höher als die im natürlichen Seewasser ($= 7 \times 10^{-7}$ g Mo/L) ist. Höhere Konzentrationen rufen stets einen starken Rückgang der Wachstumswerte hervor.

Diese Befunde stimmen im Prinzip mit den Ergebnissen von Peters (1948) an *Enteromorpha intestinalis* und Henkel (1952) an *Bangia pumila* überein. Beide Autoren finden ein optimales Wachstum bei 1×10^{-6} g Mo/L. Dabei sprechen aber die untersuchten Algen auf diese Konzentration verschieden an. Während *Enteromorpha* eine Förderung von 75% aufweist, beträgt diese bei *Bangia* nur 15%.

Bortels (1930, 1933 und 1937) fand, daß bei limnischen Cyanophyceen Molybdän als Katalysator bei der Bindung des Luftstickstoffs wirksam ist. Wir untersuchten deshalb, wie sich das Wachstum unserer Algen in N-freien Lösungen in Gegenwart von Mo verhält. Auch jetzt wurde bei einem Zusatz von 1×10^{-5} g Mo/L ein um fast 20% stärkeres Wachstum als in der N-frei gezogenen Kontrolle gemessen. Diese zeigte eine deutliche Gelbfärbung der Fäden, ein Merkmal, das nach Boresch (1913) für N-Mangel charakteristisch ist. Da in den Mo-haltigen Lösungen auch bei längerer Kultur eine solche Verfärbung nie beobachtet wurde, liegt die Vermutung nahe, daß auch bei den untersuchten Arten die Fähigkeit der Bindung des Luftstickstoffs vorhanden ist und das Mo für diesen Vorgang besondere Bedeutung hat. Da jedoch keine bakterienfreien Kulturen vorlagen, ist diese Frage nicht zu entscheiden.

Außer Molybdän gehört auch Kobalt zu den Spurenelementen, die das Wachstum in einer höheren Konzentration als der natürlichen stark fördern. Die Versuche in Tabelle 5 zeigen, daß alle untersuchten Co-Konzentrationen wirksam sind. Das Optimum liegt mit 10^{-6} g Co/L, bei einer höheren Konzentration als der natürlichen ($= 10^{-7}$ g Co/L). Für *Enteromorpha intestinalis* fand Peters (1948) die gleiche Optimalkonzentration. Ähnliche Ergebnisse liegen auch von A. Kylin (1945) für *Ulva Lactuca* vor.

Gruppe III: Zn, J, F, As.

Von den zu dieser Gruppe gehörigen Spurenelementen ruft Zink das beste Wachstum hervor. Seine Wirksamkeit reicht über einen relativ weiten Konzentrationsbereich, wobei das Optimum mit 1×10^{-6} g Zn/L nur wenig unter der natürlichen Konzentration von 5×10^{-6} g Zn/L liegt. Das ist jedoch bei den anderen drei zu dieser Gruppe gehörenden Spurenelementen anders. Sie zeigen eine Wachstumsförderung erst in viel niedrigeren Konzentrationen als den natürlichen. Das gilt besonders für Jod, dessen Gehalt im natürlichen Seewasser mit 5×10^{-5} g J/L angegeben wird, einer Konzentration die in unseren Untersuchungen, in Übereinstimmung mit den von Henkel an höheren Algen gemachten Erfahrungen, einen hemmenden Einfluß auf die Entwicklung ausübt. Erst eine Herabsetzung der Jodkonzentration läßt eine deutliche Förderung des Wachstums der Fäden hervortreten, die bei 1×10^{-7} g J/L ihren höchsten Wert erreicht, während bei 10^{-8} g J/L die Zuwachsgrößen schon wieder rasch abfallen.

Der überraschende Befund, daß die natürliche Jodkonzentration eine Wachstumsdepression ausübt, findet vielleicht darin seine Erklärung, daß die Angaben von Kalle sich auf ein Ozeanwasser von 35 ‰ beziehen. Nach Schulz (1930) nimmt aber mit abnehmenden Salzgehalt auch der Jodgehalt ab, so daß anzunehmen ist, daß der natürliche Jodgehalt des Brackwassers, dem die Lyngbyen entstammen, wesentlich niedriger ist.

Fluor zeigt in seiner Wirkung auf das Wachstum der Blaualgen ein ähnliches Verhalten wie Jod, nur bleibt es in der natürlichen Konzentration ($1,4 \times 10^{-3}$ g F/L) indifferent. Für höhere Meeresalgen wirkt nach Henkel (1952) die natürliche Fluorkonzentration dagegen optimal.

Schließlich ist in dieser Gruppe noch Arsen zu nennen, das nur in relativ großen Verdünnungen wirksam ist. Das Optimum wird bei 1×10^{-6} g As/L ermittelt, während die natürliche Konzentration bei 2×10^{-5} g As/L liegt. Nach Peters (1948) wird für *Enteromorpha intestinalis* das Optimum für As bei 1×10^{-4} g As/L, also wesentlich höher gefunden. Peters sieht das Arsen als ein physiologisch allgemein aktives Element an, das durch seine Giftwirkung den Atmungsverlauf beeinflußt und so stimulierend auf das Wachstum wirkt.

B. Organische Stoffe

Es ist wiederholt gezeigt worden, daß die Fruchtbarkeit eines Seewassers nicht allein von den anorganischen Bestandteilen bestimmt wird, sondern daß vielmehr auch sehr geringe Mengen organischer Substanzen unbekannter Natur vorhanden sind, die eine Wachstumssteigerung über das Angebot der anorganischen Nährstoffe hinaus ermöglichen (z. B. de Valera 1940; Suneson 1942, 1943; H. Kylin 1942, 1943, 1944; Levring 1945 b; Henkel 1952). Da für eine ganze Anzahl Arten unter den limnischen Cyanophyceen die Fähigkeit heterotropher Ernährung nachgewiesen wurde (Harder 1917 u. a.), schien daher eine Untersuchung der Einwirkung organischer Substanzen auf das Wachstum von großem Interesse. Wir prüften die Wirkung von Glukose, Mannit, einigen Aminosäuren (Cystin, Alanin und Asparaginsäure), sowie einiger Wirkstoffe (Aneurin, Ascorbinsäure und Heteroauxin). Da die Kulturen nicht bakterienfrei waren und deshalb über das Ausmaß der Einwirkung keine völlig exakten Aussagen möglich sind, soll nur kurz zusammenfassend über die Ergebnisse berichtet werden. Allgemein sei nur noch bemerkt, daß bei diesen Versuchen besondere Sorgfalt auf die Sterilisation sämtlicher Geräte und Lösungen gelegt wurde.

a) Glukose und Mannit. Beide Stoffe vermögen das Wachstum zu fördern, Glukose mit etwa 20%iger Steigerung besser als Mannit, der das Wachstum um etwa 14—15% steigert. Wenn die stärkste Förderung bei beiden Zusätzen in Lösungen von 1×10^{-5} g/L beobachtet wurde, während stärkere Lösungen das Wachstum rasch herabsetzen, so muß dahingestellt bleiben, ob sich darin schon ein Bakterieneinfluß bemerkbar macht, oder ob wirklich nur geringe Zuckermengen wirksam sind. Für limnische, bakterienfrei kultivierte Arten, ebenso wie für marine Algen sind zum Teil wesentlich höhere Zuckermengen mit einer normalen Wachstumssteigerung beantwortet worden.

In Dunkelversuchen wurde von *Lyngbya maiuscula* nach 4 Tagen, sowohl in glukosehaltigen wie glukosefreien Lösungen das Wachstum eingestellt, doch war das Gesamtwachstum der Zuckerkulturen während dieser 4 Tage wesentlich besser als in den zuckerfreien Kontrollen. Eine heterotrophe Ernährung kann also, wenn überhaupt, nur für kurze Zeit aufrecht erhalten werden. Dann tritt Wachstumseinstellung und Fadenzerfall ein.

b) Aminosäuren. Die drei geprüften Aminosäuren Cystin, Alanin und Asparaginsäure zeigen einen nur geringen wachstumsfördernden Einfluß. Alanin fördert bei $1,1 \times 10^{-6}$ Mol ca. 8% und Asparaginsäure bei $7,5 \times 10^{-8}$ Mol etwa 11—12%, während Cystin in den geprüften Konzentrationsbereichen von $5,3 \times 10^{-7}$ bis $5,5 \times 10^{-10}$ Mol

ohne jeden Einfluß bleibt. Das ist um so überraschender, als bei höheren marinen Algen (Henkel 1952) gerade für diese Aminosäure eine besonders starke wachstumsfördernde Wirkung gefunden wird, die bei 1×10^{-6} Mol ihr Optimum erreichte. Auch für Diatomeen findet Harvey (1938) und Levring (1945 b) bei Cystingegenwart eine erhebliche Steigerung der Vermehrungsquote. Da nach Harvey (1938) Cystin als eine sehr wirksame Komponente des Erdaufgusses angesehen wird, erklärt sich vielleicht aus unseren Befunden auch die Tatsache, daß nicht nur bei den von uns untersuchten Arten, sondern allgemein bei Cyanophyceen eine meist nur sehr geringe Wirksamkeit des Erdextraktes in der Erdschreiberlösung gefunden wird (vgl. Abb. 5, sowie Pringsheim 1914, Maertens 1914, Harder 1917, Allen 1952).

Die Aminosäuren wurden in Gegenwart von optimalen Nitratkonzentrationen untersucht. Es kann daher die Förderung des Wachstums nicht auf den N-Gehalt dieser Substanz zurückgeführt werden, da die geringfügige, durch die Aminosäure zugesetzte N-Menge — bei Asparaginsäure in der am stärksten wirkenden Lösung 1×10^{-7} g N/L — gegenüber dem Stickstoffgehalt des in der Lösung vorhandenen Nitrats in Höhe von $1,6 \times 10^{-3}$ g N/L nicht ins Gewicht fällt.

c) Wirkstoffe. Bei höheren marinen Algen (H. Kylin 1942, 1943, 1945; Levring 1945 a; Henkel 1952), aber auch Diatomeen (Levring 1945 b) wurde eine zum Teil nicht unbeträchtliche Stimulation des Wachstums bei Zusatz von Wirkstoffen zu den anorganischen Nährlösungen beobachtet. Wir können an unseren Versuchsobjekten für Ascorbinsäure in einer Konzentration von 1×10^{-5} g/L gleichfalls eine Wachstumsförderung von etwa 12% nachweisen und etwa in gleicher Stärke für Heteroauxin in einer Lösung von 1×10^{-4} g/L. Ein Zusatz von Aneurin zu künstlichem Seewasser, dem lediglich N und P zugefügt waren, blieb praktisch ohne Einfluß.

C. Kombinierte Nährlösungen

Nachdem wir gezeigt haben, daß die beiden Blaualgen *Lyngbya maiuscula* und *Lyngbya confervoides* auf bestimmte anorganische Spurenstoffe und organische Stoffe, die einem künstlichen mit Stickstoff und Phosphor versehenem Seewasser zugefügt werden, mit einer Wachstumssteigerung antworten, schien es wünschenswert, schließlich auch die Frage zu prüfen, inwieweit es für unsere Versuchsobjekte gelingt, durch Kombination verschiedener wachstumsfördernder Stoffe als Zusätze zum künstlichen Seewasser eine Kulturlösung zu erhalten, in der mindestens ein gleichgutes Wachstum erreicht wird, wie im natürlichen Seewasser. Es wurden die folgenden 4 Lösungen angesetzt:

1. Natürliches Seewasser + N + P
(Vorratswasser)
2. Künstliches Seewasser + N + P
+ Spurenelemente in opt. Konz.: B, Mn, Mo, Zn, Co.
3. Gleiche Lösung wie 2 + org. Stoffe in opt. Konz.: Glukose, Heteroauxin, Ascorbinsäure.
4. Gleiche Lösung wie 3 + Schlickextrakt.

Das Ergebnis nach 8 tägiger Versuchsdauer ist in Abb. 7, Tafel 15 für beide Arten wiedergegeben. Danach ist es ohne weiteres möglich, daß ein künstliches Seewasser mit einem Zusatz von Stickstoff und Phosphor, sowie Spurenstoffen (Lösung 2) ein besseres Wachstum hervorrufen kann als natürliches Seewasser, dem lediglich die gleichen Mengen Stickstoff und Phosphor beigegeben werden (Lösung 1). In Lösung 3 sind mit den anorganischen Spurenstoffen die wirksamen organischen Verbindungen kombiniert. Die Entwicklung ist besonders bei *Lyngbya confervoides*, die allgemein ein kräftigeres Wachstum zeigt, sehr deutlich gefördert. Für diese Art ergibt sich gegenüber der Lösung 1 eine Wachstumssteigerung von etwa 47%, während *Lyngbya maiuscula* eine Zunahme von etwa 23,5% erfahren hat. Wenn nun, wie es in Lösung 4 geschehen ist, noch ein Zusatz

von Schlickextrakt erfolgt, nimmt das Wachstum der Alge weiterhin zu, ein Zeichen dafür, daß die Wirkung des Schlickextraktes auf anderen Komponenten beruhen muß, als die in Lösung zugesetzten organischen Stoffe Glukose, Heteroauxin und Ascorbinsäure.

Zusammenfassung

Das Wachstum zweier mariner Blaualgen, *Lyngbya maiuscula* und *L. confervoides*, wird mit Hilfe von Längenmessung einzelner Algenfäden in Abhängigkeit von Salzgehalt, Temperatur, sowie besonders von Ernährungsfaktoren untersucht.

Hinsichtlich der Salinität des Seewassers erweisen sich beide Arten als relativ euryhalin, das Wachstumsoptimum liegt für *L. maiuscula* bei $10^0/_{00}$, für *L. confervoides* bei $15^0/_{00}$.

Als beste N-Quelle wird NaNO_3 mit der Optimalkonzentration von $0,01 \text{ g NaNO}_3/\text{L}$ ermittelt, während für P sich $0,02 \text{ g Na}_2\text{HPO}_4 \times 12 \text{ H}_2\text{O}/\text{L}$ als günstigste Menge ergibt.

Neben Fe, B und Mn erweisen sich unter den untersuchten Spurenelementen besonders Mo, Ni, Co und Zn als wirksam. Auch J zeigt bei $1 \times 10^{-6} \text{ g J}/\text{L}$ eine wesentliche Wachstumsförderung.

Von organischen Stoffen fördern Glucose und Mannit das Wachstum, während von den untersuchten Aminosäuren Alanin, Cystin und Asparaginsäure nur die letztere einen deutlichen Einfluß auf das Wachstum ausübt. Wirksam sind auch Zusätze von Ascorbinsäure und Heteroauxin.

Werden fördernde Spurenstoffe und organische Komponenten mit künstlichem Seewasser zu einer synthetischen Nährlösung kombiniert, so wird ein wesentlich besseres Wachstum erzielt, als in natürlichem Seewasser, dem N und P in optimalen Mengen beigelegt sind.

Literaturverzeichnis

- Algeus, S., 1946: Untersuchungen über die Ernährungsphysiologie der Chlorophyceen. Bot. Not. 1946, I. — Allen, M. B., 1952: The cultivation of Myxophyceae. Arch. Mikrobiol. Bd. 17, H. I. — Anderson, M., 1942: Einige ernährungsphysiologische Untersuchungen an *Ulva* und *Enteromorpha*. Fysiogr. Sällsk., Lund, 12, 42. — Anderson, M., 1943: Zur Kenntnis der Stickstoffquellen von *Ulva* und *Enteromorpha*. Abd. 13, 176. — Borech, K., 1913: Die Färbung von Chlorophyceen und Cyanophyceen in ihrer Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt des Substrates. Jahrb. wiss. Bot. 1913. — Bortels, H., 1930: Molybdän als Katalysator bei der biologischen N-Bindung. Arch. Mikrobiol. I, 333. — Bortels, H., 1933: Kurze Notiz über die Katalyse der biologischen Stickstoffbindung. Zentralbl. Bakt. II, 87, 476. — Bortels, H., 1937: Weitere Untersuchungen über die Bedeutung von Molybdän, Vanadium und Wolfram und anderen Erdaschenstoffen für N-bindende und andere Mikroorganismen. Zentralbl. Bakt. II, 95, 193. — Burström, H., 1939: Die Rolle des Mangans bei der Nitratreduktion. Planta 30, 129. — Glade, R., 1914: Zur Kenntnis der Gattung *Cylindrospermum*. Cohns Beitr. z. Biol. d. Pfl. 12, 295. — Harder, R., 1917: Ernährungsphysiologische Untersuchungen an Cyanophyceen. Ztschr. f. Bot. 9, 145. — Harvey, W., 1937: Supply of iron to diatom. Journ. Mar. Biol. Assoc. 22, 205. — Harvey, W., 1938: Substances controlling growth of diatom. Journ. Mar. Biol. Assoc. 23, 499. — Henkel, R., 1951: Ernährungsphysiologische Untersuchungen an Meeresalgen insbesondere *Bangia pumila*. Diss. Kiel und 1952: Kieler Meeresforschungen, Bd. VIII, H. 2, S. 192—211. — Hoffmann, C., 1942: Beiträge zur Vegetation des Farbstreifen-Sandwattes. Kieler Meeresforschungen, Bd. IV, S. 85—108. — Kalle, K., 1945: Der Stoffhaushalt des Meeres. Berlin 1945. — Kylin, A., 1943: The influence of trace-elements on the growth of *Ulva Lactuca*. Fysiogr. Sällsk. Förh. Lund, 13, 185. — Kylin, A., 1945: The nitrogen sources and the influence of manganese on the nitrogen assimilation of *Ulva lactuca*. Fysiogr. Sällsk. Förh. Lund, 15, 27. — Kylin, A., 1946: The influence of some cations on *Ulva Lactuca* and a note on its nitrogen source. Fysiogr. Sällsk. Förh. Lund, 16, 30. — Kylin, H., 1942: Über den Einfluß von Glukose, Ascorbinsäure und Heteroauxin auf die Keimlinge von *Ulva* und *Enteromorpha*. Fysiogr. Sällsk. Förh. Lund, 12, 135. — Kylin, H., 1943: Über die Ernährung von *Ulva Lactuca*. Fysiogr. Sällsk. Förh. Lund, 13, 202. — Kylin, H., 1944: Weitere Angaben über die Ernährung von *Ulva Lactuca*. Fysiogr. Sällsk. Förh. Lund, 15, 22. — Kylin, H., 1946: Über den Zuwachs der Keimlinge von *Ulva Lactuca* in verschiedenen Nährflüssigkeiten. Fysiogr. Sällsk. Förh. Lund, 16, 225. — Levring, T., 1945a: Some culture experiments with *Ulva* in artificial seawater. Fysiogr. Sällsk. Förh. Lund, 16, 45. —

Levring, T., 1945b: Some culture experiments with marin plancton diatoms. Göteborgs Vet. och vitterh.-samh. Handl. Sev. B. Bd. 3. Nr. 12. — Maertens, H., 1914: Das Wachstum der Blaualgen in mineralischen Nährlösungen. Beitr. z. Biol. d. Pflanze (Cohn) 12, 419. — Noak, K. und Pirson, A., 1939: Die Wirkung von Eisen und Mangan auf die Stickstoffassimilation von *Chlorella*. Ber. d. dtsh. bot. Ges. 57, 442. — Peters, B., 1948: The influence of some inorganic ions on the growth of *Enteromorpha intestinalis* Medd. fr. Göteb. Bot. Trägd. 18. — Pringsheim, E., 1914: Kulturversuche mit chlorophyllführenden Mikroorganismen. III. Beitr. z. Biol. d. Pflanze 12, 49. — Richter, C., 1911: Die Ernährung der Algen. Monographie und Abhandlung zur intern. Revue d. Ges. Hydrobiol. und Hydrographie, Bd. 2. — Schulz, B., 1930: Die Beziehung zwischen Jod und Salzgehalt des Meerwassers. Ann. d. Hydrogr. und mar. Meteorologie Berlin, 58, 187. — Suneson, S., 1942: Über die wachstumsfördernde Wirkung von Algenextrakten auf *Ulva* und *Enteromorpha*. Fysiogr. Sällsk. Förh. Lund, 12, 138. — Suneson, S., 1943: Weitere Untersuchungen über die wachstumsfördernde Wirkung von Algenextrakten auf *Ulva Lactuca*. Fysiogr. Sällsk. Förh. Lund, 13. — Sverdrup, H. U., Johnson, H. W. und Fleming, R. H., 1946: The oceans their physics, chemistry and general biology. New York 1946. — Schreiber, E., 1927: Die Reinkultur von marinem Phytoplankton. Wiss. Meeresuntersuchungen, Abt. Helgoland, N. F. 16. — Warming, E., 1904: Bidrag til Vadernes, Sandenes og Marskens. Naturhistor. Kgl. Dansk. Vidensk. Selsk. Skrift 7. Raekke naturw. mathem. Afd. II, 1904. — Wattenberg, H., 1942: Das Vorkommen des Eisens im Meer. Arch. f. Lagerstättenforschung, 75, 36.