Morphologische und zellphysiologische Untersuchungen an *Chaetomorpha linum*[1])

Von Hanswerner Kesseler

Aus der Biologischen Anstalt Helgoland

(Mit 14 Abbildungen im Text)

1. Einleitung

Die zu den Cladophorales gehörige Grünalge *Chaetomorpha linum* (Müller) Kützing eignet sich, wie die meisten Vertreter dieser Ordnung, wegen ihres einfachen Baues und ihrer relativ großen, zu monosiphonen Fäden aneinandergereihten vielkernigen Zellen, nicht zuletzt aber auch wegen ihrer geringen Empfindlichkeit gegenüber Versuchsbedingungen, die bei vielen anderen Algen bereits sichtbare Schädigungen verursachen, sehr gut zu morphologischen und zellphysiologischen Studien (Drews 1896; Miehe 1905; Kotte 1914; Höfler 1932; Christensen 1957; Kesseler 1957, 1958, 1959). Gleiches gilt für *Chaetomorpha aerea* (Dillwyn) Kützing, über die ebenfalls Beobachtungsergebnisse verschiedener Autoren vorliegen (Rosenvinge 1892; Buchheim 1915; Hartmann 1929; Hoffmann 1932 a, b, 1936; Küster 1952; Köhler 1956; 1957).

Trotz dieses verhältnismäßig umfangreichen Beobachtungsmaterials ist jedoch bis heute noch nicht geklärt, ob diese beiden Algen selbständige Arten repräsentieren oder ob es sich bei den lose treibenden Watten von *Ch. linum* nur um abgerissene Thallusstücke von *Ch. aerea* handelt, welche die Fähigkeit zur geschlechtlichen Fortpflanzung verloren haben und sich nur noch vegetativ vermehren. So nimmt z. B. Christensen (1957) an, die „Wuchsform" *linum* könne jederzeit dadurch aus der „Stammform" *aerea* entstehen, „... that pieces of filament occasionally break off from *Ch. aerea,* perhaps after formation of swarmers in cells farther down, and are carried by the tide to sheltered places where they are able to persist in the loose state. Like most other algae *Ch. aerea* will remain steril under such conditions, and the short bits, having lost their polatrity, will gradually grow into the entangled masses known as *Ch. linum*" (p. 314).

Diese auf unbewiesene Annahmen gestützte Hypothese klingt zwar überzeugend; aus den im folgenden dargelegten Gründen kann ich mich ihr jedoch nicht anschließen.

---

[1]) Herrn Professor Dr. A. Bückmann zum 60. Geburtstag gewidmet.

2. Eigene Beobachtungen

a) Versuche an *Chaetomorpha aerea*

In List (Sylt), wo festgewachsene und treibende *Chaetomorpha* nebeneinander vorkommen, bestand trotz vieler habitueller Ähnlichkeiten der am Wattstrand gewachsenen Exemplare eigentlich nie ein Zweifel darüber, daß zwei verschiedene Arten vorliegen.

Trotzdem wurde zur Prüfung der Hypothese CHRISTENSENS folgender Versuch gemacht: Etwa 2 cm lange Teilstücke zerschnittener *aerea*-Pflanzen wurden in eine 20×20 cm große Kulturschale aus durchsichtigem Kunststoff gebracht und zur Verhinderung des sonst unvermeidlichen Schwärmens in eine Zimmerecke gestellt, die nur schwaches Tageslicht empfing. Unter diesen Umständen wuchsen die Teilstücke zwar zu langen Fäden heran, die in ihrem Habitus von *Ch. linum* nicht zu unterscheiden waren. Diese Fäden konnten jedoch — entgegen der Annahme CHRISTENSENS — unter geeigneten Bedingungen durch Licht- oder Temperaturreize alle wieder leicht zur Fruktifikation gebracht werden.

b) Zoosporenbildung und Keimlingsentwicklung bei *Ch. linum*

Über Schwärmerbildung bei *Ch. linum* liegen, soweit ich dies übersehen kann, bis auf eine Mitteilung HARTMANNS (1929), keine Literaturangaben vor. HARTMANN gibt an, von März bis Juni 1928 auf Teneriffa eine große Anzahl Pflanzen von *Ch. linum* gefunden zu haben, die Gameten und Zoosporen bildeten. Ob es sich bei diesem Material jedoch tatsächlich um *Ch. linum* handelte, darf im Hinblick auf die Einmaligkeit dieser Beobachtung und in Ermangelung näherer Angaben wohl in Zweifel gezogen werden, zumal auch *Ch. aerea* an geeigneten Standorten zu langen Fäden auswachsen kann, die von *Ch. linum* kaum zu unterscheiden sind.

Die Bildung von Zoosporen bei *Ch. linum* habe ich selbst erst ein einziges Mal beobachtet, und zwar an der Terminalzelle eines Fadens, der zwei Monate vorher durch Überführung aus Seewasser von 3‰ (in dieses Medium war er eine Woche vorher aus normalem Seewasser von 30‰ zur Anpassung übertragen worden) in solches von 30‰ plasmolysiert worden war. Aus dem Inhalt dieser Zelle bildeten sich viergeißlige Zoosporen von unterschiedlicher Größe, deren Keimlinge (Abb. 1 bis 3) in natürlichem Seewasser nur sehr langsam heranwuchsen. Dies mag vielleicht auf den zu Anfang ziemlich starken Diatomeenbefall der Kulturen zurückzuführen sein, durch den der größte Teil der Keimlinge bereits während der ersten drei Wochen abstarb. Späterhin wurde das Wuchern der Kieselalgen durch eine kleine, nicht näher bestimmte Harpactizidenart in erträglichen Grenzen gehalten.

Während die restlichen 12 Keimlinge einer normalen Seewasser-Kultur erst nach ca. drei Monaten das zweizellige Stadium erreichten, hatte der einzige überlebende Keimling einer mit Erdschreiber-Lösung angesetzten Kultur bereits sieben Zellen gebildet. Er war zu dieser Zeit $3^1/_2$ mm lang und ähnelte mit seinen tonnenförmig aufgetriebenen Zellen *Ch. aerea* (Abb. 5). Da der „Erdschreiber-Keimling" im Gegensatz zu den übrigen, die auf einem Objektträger ausgekeimt waren, bereits in einem sehr frühen Entwicklungsstadium

(nach 1 Woche) von seiner Unterlage abgelöst und in ein sauberes Gefäß übertragen worden war, hatte er an Stelle des zunächst gebildeten Basalscheibchens einen Rhizoidfortsatz getrieben. Genau so verhielten sich die Keimlinge der Seewasser-Kultur, als sie nach 3½ Monaten von ihrem Objektträger abgelöst wurden (vgl. Abb. 3).

Demgegenüber bildete der in Erdschreiber-Lösung kultivierte Keimling als einziger auch am Apikalpol einen rhizoidähnlichen Fortsatz, ein Verhalten, das nach KORNMANNS (1956) Beobachtungen bei der Entwicklung von *Percursaria percursa* in vielen Fällen beobachtet wurde.

Von den in normalem Seewasser aufgezogenen Keimlingen gingen im Laufe der Zeit noch weitere ein. Nach 6 Monaten waren nur noch drei am Leben, deren größter eine Länge von 5,4 cm erreicht hatte. Die weitere Entwicklung konnte nicht mehr beobachtet werden, da alle Keimpflanzen infolge eines Mißgeschicks verlorengingen.

c) Polarität von *Ch. linum*

Die Beobachtungen an den Keimlingen von *Ch. linum* machen es wahrscheinlich, daß die polare Struktur der Zelle nicht unabänderlich präformiert ist, sondern daß — zumindest bei der jungen Pflanze — noch eine Polaritätsumkehr erfolgen oder durch endo- oder exogene Faktoren die ursprüngliche polare Tendenz umgestimmt werden kann. Normalerweise wird die polare Differenzierung einer Zelle bei deren Teilung nicht aufgehoben, sondern geht unverändert auf die beiden Tochterzellen über, so daß alle Zellen eines Fadens stets die gleiche Polarität aufweisen. Dies läßt sich an jedem Faden von *Ch. linum* unschwer nachprüfen: Tötet man nämlich im Verbande eines Fadens Zellpartien durch Plasmolyse, mechanische oder andere schädliche Eingriffe ab, so erfolgt die Regeneration der abgestorbenen Zonen immer nur von den basal gelegenen Zellen der unversehrt gebliebenen Fadenstücke aus, und zwar in genau der gleichen Weise, wie dies schon ROSENVINGE (1892), BRAND (1905), MIEHE (1905) und LEIB (1935) für *Cladophora* sowie KÖHLER (1956) für *Ch. aerea* beschrieben haben: Nur die in akropetaler Richtung von der Schädigungszone gelegene Zelle beginnt sich an ihrem basalen Ende zu strecken, was sich zunächst durch eine Aufhellung der unteren Zellhälfte bemerkbar macht. Plasma und Chromatophoren dieser Zellregion wandern nämlich zur Basalwand und sammeln sich dort als dunkle Masse an. Als nächstes wird die ursprüngliche Basalwand gedehnt, so daß sich die Zelle strecken und in die abgestorbene Zone hineinwachsen kann, bis sie wieder auf eine gesunde Zelle trifft. Sie kann sich dabei oft beachtlich strecken, bevor Anzeichen einer Zellteilung wahrzunehmen sind. Hierzu sind alle Zellen eines Fadens befähigt. Von einem Polaritätsverlust (vgl. das obige Zitat CHRISTENSENS) kann also nicht die Rede sein.

Nicht selten geschieht es auch, daß die sich rasch streckende Zelle abstirbt. Dann übernimmt die nächstfolgende Zelle die Aufgabe der Regeneration des abgestorbenen Fadenstückes. Diese Art der Regeneration wurde zuerst von ROSENVINGE (1892) an der Basalzelle von *Ch. aerea* beobachtet, die sich schon durch ihre hellgrüne Farbe von den übrigen Fadenzellen unterscheidet. Sie besitzt überdies, wie sich durch Plasmolyse zeigen läßt, einen geringeren Turgor als die Nachbarzellen und stirbt in der Regel nach einiger Zeit ab,

um dann von der nächstfolgenden Zelle, die über kurz oder lang das gleiche Schicksal erleidet, in der beschriebenen Weise ersetzt zu werden.

d) Rhizoid- und Membranbildung bei *Ch. linum*

Wie von ihrer Unterlage abgerissene *aerea*-Fäden, so vermag auch jedes Fadenstück von *Ch. linum* an einem Ende Rhizoide zu bilden und sich an anderen Fäden oder an den Wänden der Kulturgefäße festzuheften. Wenn man an frisch gesammelten Fäden von *Ch. linum* im allgemeinen keine Rhizoidzellen beobachten kann, so liegt das einfach daran, daß die anfangs sehr zarten Gebilde von Amphipoden und Isopoden, die in großer Zahl in den *linum*-Polstern leben, abgefressen werden, bevor sich eine Möglichkeit zur Festheftung bot. Grundsätzlich wohnt die Fähigkeit zur Rhizoidbildung jedoch allen Zellen beider Pflanzen inne. Für *Ch. aerea* haben dies bereits KÜSTER (1952) und KÖHLER (1956) festgestellt. Die Ausdifferenzierung zum Rhizoid hat nach KÜSTER bei *Ch. aerea* den Verlust der Teilungsfähigkeit zur Folge.

Bei *Ch. linum* ist dies jedoch nicht der Fall; so habe ich nicht selten sogar an sehr dünnen Rhizoiden Querwandbildungen beobachten können, wonach die abgeteilten Rhizoidabschnitte wieder ergrünten und zu — meist allerdings wesentlich dünneren — Zellen anschwollen (Abb. 5). In einem Falle konnte ich an einem stoloartigen Rhizoidschlauch sogar die Bildung eines neuen Sprosses beobachten (Abb. 6).

Demgemäß weist also *Ch. linum* eine größere Plastizität ihrer Zellstruktur und eine weniger ausgeprägte Tendenz zu irreversiblen Differenzierungen auf als *Ch. aerea.* Diese Eigenschaften machen es auch verständlich, daß Schwärmerbildung bei dieser Alge nur ausnahmsweise und erst nach starken Reizen stattfindet, und der Unterschied zwischen Basis und Spitze nicht so deutlich in Erscheinung tritt, wie bei *Ch. aerea,* wo er schon durch die unterschiedliche Färbung dieser Fadenabschnitte ins Auge fällt.

Aus diesen Gründen kann ich mich der Auffassung CHRISTENSENS *Ch. linum* und *Ch. aerea* seien nur verschiedene Wuchsformen ein und derselben Art, nicht anschließen und die von ihm gebrachten Abbildungen (pp. 312 u. 314), die *Ch. linum* in angewachsenem Zustand zeigen, nicht als Beweis für die Identität der beiden Algen gelten lassen.

Den Vorgang der Rhizoidbildung kann man am besten an frisch zerschnittenen Fäden von *Ch. linum* beobachten. Hierbei tritt zunächst in den der Schnittstelle benachbarten Zellen der Teilstücke Traumatotaxis des Zellinhaltes ein, an dem jedoch nicht das gesamte Zytoplasma teilnimmt. Die neue Apikalzelle gibt sich durch eine hellere, ringförmige Zone in ihrem oberen Teil zu erkennen, die dadurch zustande kommt, daß ein Teil des Protoplasmas samt Chromatophoren zur ursprünglichen Querwand hin wandert. Durch diese Plasmaverlagerung wird offenbar ein Prozeß eingeleitet, welcher die Verfestigung der ehemaligen Querwand zum Ziele hat. Es bildet sich eine abgerundete Kuppe, der oft noch lange Zeit Reste der durchschnittenen Zellwand als Ring aufsitzen.

Bei der neuen Basalzelle wird dagegen ungefähr die Hälfte des Zellinhaltes von der Traumatotaxis ergriffen. Diese Zelle wird zur Rhizoidinitiale und beginnt sich in der gleichen Weise zu strecken, wie dies schon bei der intrafilaren Regeneration beschrieben wurde. Die Dehnung der ursprünglichen Quer-

wand kann dabei offenbar nur durch enzymatische Erweichung der betreffenden Membranpartie erfolgen. Andernfalls müßte nämlich auch die neue Apikalmembran in der gleichen Weise gedehnt werden, da in allen Zellen annähernd gleicher Turgordruck (ca. 15 Atm.) herrscht.

Nicht selten bläht sich das Ende der Rhizoidzelle, deren Membran an dieser Stelle zunächst noch sehr zart ist, nach Durchwachsung des alten Membranzylinders ballonartig auf. Wegen der größeren Dehnbarkeit der jungen Membran ist nämlich jetzt das osmotische Gleichgewicht der Zelle, welches durch die Gleichung

1) $$\pi_Z - p_T = \pi_A$$ [2])

charakterisiert wird, gestört. Da nämlich die den Turgor als Newtonsche Reaktionskraft bedingende Zentripetalkomponente der Membranspannung (σ_M) bei der jungen Membran kleiner ist, muß auch der Turgor kleiner sein als in den dickbehäuteten Zellen. Demgegenüber ist das osmotische Potential des Zellsaftes (π_Z) zunächst noch in etwa gleich dem der übrigen Zellen. Es folgt also:

2) $$\pi_Z - p_T < \pi_A$$

3) oder $$\pi_Z - p_T - \pi_A = \triangle_W.$$

Mit anderen Worten: Es tritt an dem System Zelle—Medium, das sich zunächst im osmotischen Gleichgewicht befand, als Ausdruck der Störung dieses Gleichgewichtes eine positive hydromotorische Potentialdifferenz $\triangle_W$ in Erscheinung, die so lange einen Einstrom von Wasser bedingt, bis durch die damit verbundene Verdünnung des Zellsaftes (und Aufblähung der Zelle) π_Z so klein geworden ist, daß Gleichung 1 wieder Gültigkeit hat.

In Wirklichkeit tritt jedoch schon vorher der atmungsabhängige Turgorregulationsmechanismus in Kraft, der dafür sorgt, daß in allen Zellen annähernd gleicher Turgor herrscht. Durch diesen Mechanismus werden unter Ausnutzung der Atmungsenergie aus dem umgebenden Medium Ionen in die Zelle gepumpt mit dem Ziel, p_T wieder auf den alten Wert zu bringen (vgl. Kesseler 1957, 1959). Dieser Zustand kann aber erst erreicht werden, wenn die Membran wieder die gleiche Stabilität besitzt, wie in den übrigen Zellen des Fadens. Solange dies nicht der Fall ist, „wächst" die Zelle weiter bzw. treibt an den Stellen geringsten Membranwiderstandes Rhizoidschläuche aus, bei denen sich dann der geschilderte Vorgang in verkleinertem Maßstabe wiederholt.

Die dünnsten Membranbezirke befinden sich nun immer dort, wo die stärksten Plasmaansammlungen zu beobachten sind. Hier erfolgt dann — je nach der lokalen Ausdehnung der Plasmaansammlung — die Ausstülpung dickerer oder feinerer Rhizoidschläuche. Auch hier muß es sich also um eine enzymatische Erweichung mehr oder weniger ausgedehnter Membranbezirke handeln.

Die eigentliche Membranbildung scheint demnach erst in den äußeren Bezirken der Zellwand durch Verfestigung zunächst plastischer Substanzen zu erfolgen. Möglicherweise spielt hierbei die ionale Zusammensetzung des Außen-

[2]) Definition der Symbole:

π_Z = osmotisches Potential des Zellsaftes

π_A = osmotisches Potential des Außenmediums

P_T = Zellturgor (bei *Ch. linum* ca. 15 Atm.). Näheres vgl. Kesseler (1957).

mediums eine wichtige Rolle. Besonders die Ca-Ionen können hierbei von großer Wichtigkeit sein, da deren membran-stabilisierende Wirkung bekannt ist und die Membran bei deren Fehlen stark destruktive Veränderungen erleidet, was den völligen Zusammenbruch des osmotischen Potentials und schließlich den Tod der Zelle zur Folge hat (vgl. KESSELER 1957, 1959).

Diese Hypothese der Membranbildung steht im Einklang mit elektronenoptischen Befunden FREY-WYSSLINGS und STECHERTS (1951), deren eindrucksvolle Bilder von der Innenfläche der Keimwurzel-Parenchymzellen von *Zea mays* elliptische Bezirke starken „Wachstums" erkennen lassen, in denen, wie die Autoren es deuten, die Bildung neuer Zellulose-Mikrofibrillen für kurze Zeit unterbleibt. Meiner Ansicht nach handelt es sich hier jedoch um lokale Auflösung bereits verfestigter Membranschichten von innen her, wodurch die Membran wieder plastisch und damit eine erneute Streckung der Zelle ermöglicht wird.

e) Anomale Wuchsformen von *Ch. linum*

Die allseitig mit dem Außenmedium in Kontakt stehenden monosiphonen Fäden von *Ch. linum* reagieren hinsichtlich ihres Habitus verhältnismäßig stark auf alle schädigenden Einflüsse, zumal die einfache Fadenform auch die geringste Wachstumsunregelmäßigkeit sofort erkennen läßt. Ein Beispiel geben die Abbildungen 7—10. Es handelt sich hier um Fäden, die aus normalem Seewasser von ca. 30‰ in solches von 15‰ übertragen wurden und darin 6 Wochen verblieben. Das 15‰-Wasser wurde aus gleichen Teilen Seewasser und Süßwasser hergestellt. Letzteres wurde aus destilliertem Wasser und Leitungswasser der ehemaligen Lister Außenstation der Biologischen Anstalt Helgoland auf dem Sylter „Ellenbogen" in folgenden Verhältnissen gemischt:

	Teile aqua dest.	Teile Leitungswasser
Abbildung 7	3	0
Abbildung 8	2	1
Abbildung 9	1	2
Abbildung 10	0	3

Das Leitungswasser der Station wurde von einer Pumpe gefördert, deren Saugkopf ein Kupfersieb enthielt. Der Gehalt des Wassers an schädlichen Kupfersalzen dürfte demgemäß relativ hoch gewesen sein. Die starke Kräuselung der Fäden — besonders auf den Bildern 9 und 10 — ist in diesem Falle also ohne Zweifel dem schädigenden Einfluß dieser Salze zuzuschreiben. Auch in künstlichem Seewasser zeigt *Ch. linum* nach etwa 14 Tagen deutlich solche Knäuelbildung, was ebenfalls auf schädigende Wirkungen von Schwermetallionen zurückzuführen sein dürfte[3]). Diese können nämlich selbst bei der Benutzung von p.a.-Substanzen für die Bereitung künstlichen Seewassers gemäß den Reinheitsforderungen für diese Reagenzien noch in relativ hoher Konzentration in solchen Versuchsmedien vorhanden sein (Blei z. B. in etwa 45 mal so hoher Konzentration wie in natürlichem Ozeanwasser, wenn man die Angaben KALLES [1956] zugrunde legt).

[3]) Untersuchungen über die Giftwirkung von Schwermetallen sind im Gange.

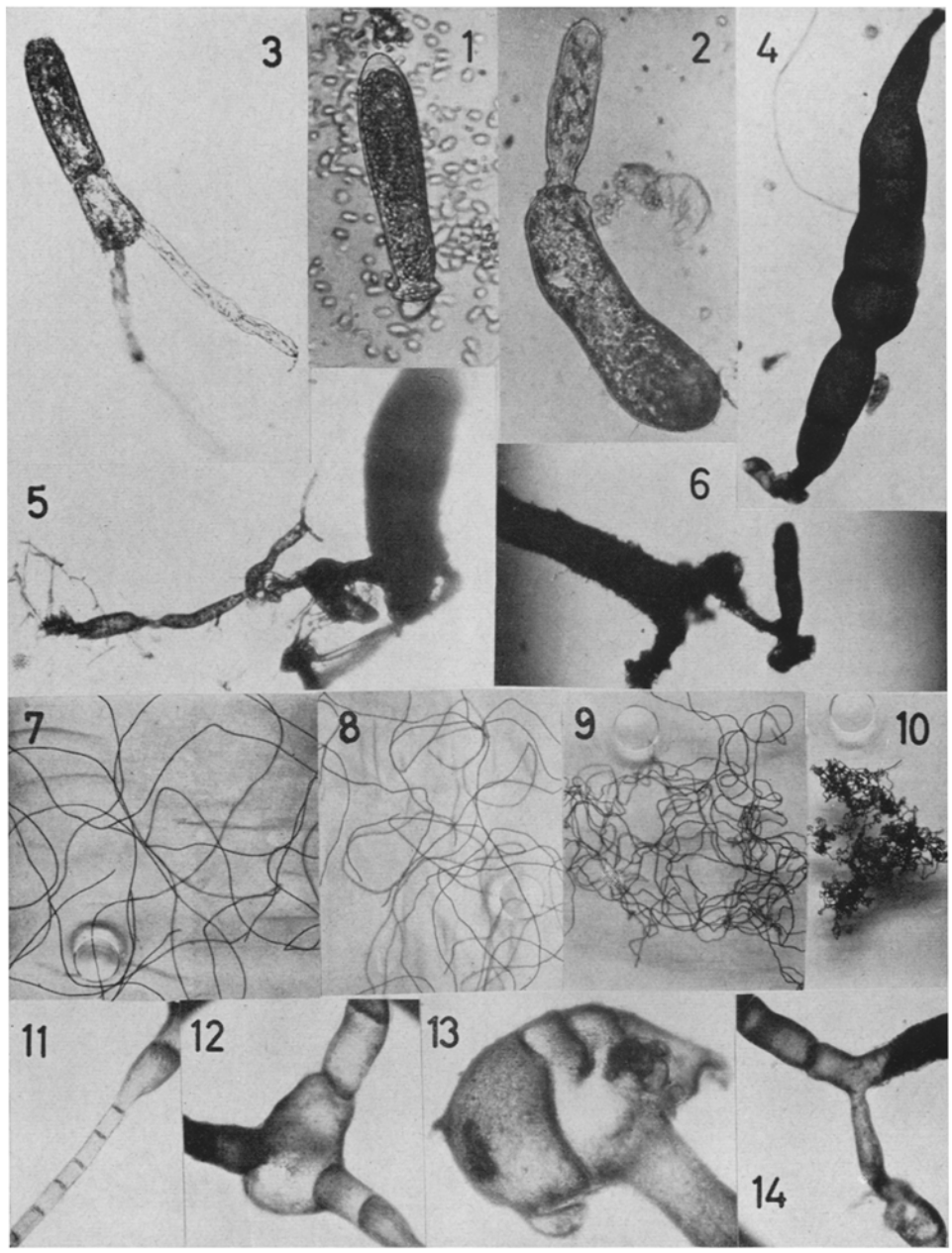

Abb. 1. Keimling aus einer Zoospore von *Chaetomorpha linum* im Alter von 3 Monaten. Nach Ablösung von der Unterlage beginnt sich die Basalmembran vorzuwölben
Abb. 2. Derselbe Keimling sieben Tage später mit „Rhizoidblase" am Basalende
Abb. 3. 3½ Monate alter, zweizelliger Keimling mit Rhizoiden
Abb. 4. In Erdschreiber-Lösung kultivierter Keimling von *Chaetomorpha linum* im Alter von 3½ Monaten. An beiden Enden Rhizoidbildung
Abb. 5. Rhizoid mit durch Querwände abgegliederten, ergrünten, keulenförmigen Abschnitten
Abb. 6. Basalende eines Fadens von *Ch. linum* mit neuem, zweizelligem Sproß
Abb. 7—10. In 15 ‰ Seewasser-Süßwasser kultivierte Fäden mit Schwermetallschädigung durch Cu-Gehalt des Leitungswassers
Abb. 11. Faden von *Ch. linum* mit verschieden dicken Abschnitten
Abb. 12. Anomal verformte *Chaetomorpha*-Zelle mit drei Ästen
Abb. 13. Pathologisch verformte *Chaetomorpha*-Zelle mit unregelmäßig angelegten Querwänden
Abb. 14. *Chaetomorpha*-Zelle mit seitlicher, nicht durch eine Querwand abgegliederter Protuberanz

Ähnliche Verknäuelungen sind auch an frei wachsenden Fäden von *Ch. linum* ziemlich häufig zu beobachten. Die Vermutung liegt daher nahe, daß die zuerst von DILLWYN (1809) als *Conferva tortuosa* beschriebene und später von KÜTZING (1849) in *Chaetomorpha tortuosa* umbenannte Art, die auch von späteren Systematikern noch genannt wird (HAUCK 1885; VAN GOOR 1923; LAKOWITZ 1929; NEWTON 1931), lediglich eine abweichende Wuchsform von *Ch. linum* ist. Dies um so mehr, als die Lebensbedingungen an den Standorten von *Ch. linum* (ruhige Wattbuchten mit — besonders im Sommer — sehr schroffem Temperaturwechsel, häufigem gezeitenbedingten Trockenfallen. Ansammlungen von Faulschlamm, Ölanschwemmungen usw.) z. T. sehr extrem sind, so daß es verwunderlich wäre, an solchen Biotopen ganz einheitliches Material vorzufinden.

Demgemäß nehme ich an, daß es sich bei vielen, wenn nicht den meisten der von KÜTZING (1845, 1849) beschriebenen marinen „Arten" von *Chaetomorpha* (in „Species Algarum" werden 45 genannt) um nichts anderes handelt als um Standortmodifikationen oder irgendwie geschädigte Exemplare von *Ch. linum.*

Diese Vermutung liegt besonders bei den „Arten" nahe, bei denen lediglich so außerordentlich variable Merkmale wie die Größe der Zellen oder die Tiefe der Färbung, die man in Kulturversuchen durch die Qualität und Intensität des gebotenen Lichtes beinahe nach Wunsch verändern kann, als systematische Merkmale dienten.

Die Änderung der Farbtiefe kann man übrigens auch in freier Natur beobachten. So fand ich z. B. im Sommer 1956 an einem sehr heißen Julitag nach einer voraufgegangenen 14tägigen Schönwetterperiode im Großen Salzensee auf der Ostseeinsel Fehmarn an seichten Uferstellen ausgedehnte Watten von *Ch. linum,* die bei einer Flächenausdehnung von mehreren Quadratmetern bis zu 30 cm Dicke aufwiesen. Die oberste, der direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzte Schicht dieser Polster war fast gelb, während die darunterliegenden Pflanzen mit zunehmender Tiefe immer dunkler wurden. Die untersten, am meisten beschatteten Fäden waren tief dunkelgrün und auch nicht so kraus wie die Fäden der obersten Lage, die vielleicht schon eine Licht- oder thermische Schädigung erlitten hatten, da die Temperatur in dem flachen, ruhigen Wasser an diesem Tage 27° C betrug. Eine an Ort und Stelle durchgeführte pH-Messung (Taschen-pH-Meter der Firma WTW, Weilheim Ob.-Bayern mit Glaselektrode) ergab den relativ hohen Wert von pH 9,6 als Folge der starken Assimilationstätigkeit der Algen.

Von welch geringem systematischen Wert Länge und Breite der Zellen sind, zeigt sehr deutlich die Abb. 11: Hier hat ein Faden ohne erkennbare Ursache plötzlich seine Dicke geändert und wächst nun als *„Ch. gracilis"* weiter. Eine ähnliche, allerdings nur auf vier Zellen beschränkte Dickenänderung eines *linum*-Fadens zeigt auch WAERNS Fig. 30 (1952, p. 70). Auch er ist daher der Ansicht, daß alle diejenigen „Arten" mit Vorbehalt betrachtet werden müßten, die ihren Namen lediglich den unterschiedlichen Abmessungen ihrer Zellen verdanken.

Diese Auffassung vertritt auch HAMEL (1930), welcher über *Ch. linum* schreibt: „Elle a été désignée sous un grand nombre de noms différents, notamment par KÜTZING suivant la grosseur des filaments" (p. 125).

Wie dieser Autor, so betrachten auch andere moderne Systematiker nur wenige der von KÜTZING aufgeführten 45 marinen „Arten" von *Chaetomorpha*

als wirklich gesichert. Von diesen werden am häufigsten genannt: *Ch. aerea, Ch. linum* und *Ch. melagonium.* HAMEL (1930) und KYLIN (1949) geben überhaupt nur diese drei Arten für die schwedische Westküste bzw. für die französischen Gestade an. Auch mir scheint dieser Standpunkt für die deutschen Meeresgebiete am besten vertretbar zu sein, solange keine zwingenden Gründe vorliegen, welche eine Erweiterung der Artenliste für diese Meeresräume rechtfertigen.

Die große Resistenz von *Ch. linum* gegenüber schädigenden Einflüssen läßt es auch zu, daß man diese Alge ohne Bedenken für Versuche verwenden kann, die kaum eine andere Meeresalge überleben würde. So habe ich z. B. Fäden bis zu 14 Tagen in Meerwasser-isotonischer Rohrzuckerlösung gehalten, die lediglich etwas Ca^{++} zur Membranstabilisierung enthielt und durch geringen Bikarbonatzusatz auf pH 8 gebracht worden war. Nach Ablauf dieser Zeit hatten alle Zellen ihren Turgor verloren, und die Membranen waren stark gequollen. Die Protoplaste hatten innerhalb der Zellen Kugel- oder ovale Form angenommen.

Der Turgorverlust der Zellen, der in dem isotonischen, salzfreien Milieu jedoch nur ganz langsam vonstatten ging, kann nur durch einen diffusionsbedingten Salzverlust erklärt werden, da in Seewasser-Rohrzucker-Lösungen kein Turgorschwund zu beobachten war. Nach Rückübertragung in Seewasser wurden diejenigen Zellen, die keine irreversiblen Schädigungen in dem völlig unnatürlichen Medium erlitten hatten — es waren immerhin noch rund 65 % —, wieder voll turgeszent.

Das Ergebnis dieses einfachen Versuches bildet einen weiteren Beweis für die Richtigkeit der Annahme, daß der Umwandlung von photosynthetisch gebildeten Speicherprodukten in osmotisch aktive Substanzen (bspw. von Stärke in Zucker) keinerlei Bedeutung für den Prozeß der Turgorrelation zukommt, sondern daß diese allein durch Ionenverschiebungen zwischen Zelle und Außenmedium erfolgt. Dies vermutete auch schon BUCHHEIM (1915), der bei Plasmolyseversuchen an *Ch. aerea* fand, daß in Rohrzuckerlösungen kein Plasmolyserückgang zu beobachten war, wohl aber in Seewasser-Rohrzuckergemischen.

Die durch solche, bis an die Grenze der physiologischen Belastbarkeit der *Chaetomorpha*-Zelle gehenden experimentellen Eingriffe latent geschädigten Zellen zeigen später häufig Wachstumsunregelmäßigkeiten, durch welche besonders die Polarität der Zellen gestört wird. Solche Zellen zeigen dann ballonartige Auftreibungen (Abb. 12), unregelmäßige Anlage der Querwände (Abb. 13) und zuweilen auch seitliche Protuberanzen (Abb. 14), die nach Abklingen des schädlichen Reizes zu regelrechten, völlig normal erscheinenden Fäden auswachsen können. Aus solchen pathologisch bedingten Wachstumsunregelmäßigkeiten irgendwelche weiterreichenden Schlüsse in systematischer Hinsicht zu ziehen, dürfte jedoch sehr gewagt sein.

3. Zusammenfassung der Ergebnisse

1. Für die von verschiedenen Autoren (HAUCK 1885; REINBOLD 1892; LAKOWITZ 1929; CHRISTENSEN 1957) geäußerte Ansicht einer Identität von *Ch. linum* und *Ch. aerea* lassen sich keine stichhaltigen Beweise erbringen. Vielmehr führten meine bisherigen experimentellen Nachprüfungen dieser Frage zu Ergebnissen, welche die auch von VAN GOOR (1923) und TAYLOR (1937) ver-

tretene Auffassung, es handele sich hier um zwei verschiedene Arten, nur bestätigen.

2. Auf Grund der bei der Rhizoidbildung von *Ch. linum* beobachteten Vorgänge wird angenommen, daß der Zellstreckung ein enzymatisch bedingter, lokal begrenzter Abbau bereits verfestigter Membranschichten voraufgeht. Dies führt zu erhöhter Dehnbarkeit der betreffenden Membranpartien und damit zu einer Störung des osmotischen Gleichgewichtes der Zelle, die einen Einstrom von Wasser verbunden mit Volumzunahme zur Folge hat. Diese Annahme wird gestützt durch elektronenoptische Befunde FREY-WYSSLINGS und STECHERTS (1951) an Keimwurzelparenchymzellen von *Zea mays*.

3. Es konnte gezeigt werden, daß viele der von KÜTZING (1849) als Artmerkmale benutzten morphologischen Besonderheiten nicht zur Unterscheidung von Arten in der Gattung *Chaetomorpha* dienen können, da sie sich, wie am Beispiel von *Chaetomorpha linum* demonstriert wurde, je nach den Kulturbedingungen als sehr variabel erwiesen.

4. Ana- bzw. Katatonose des Zellsaftes durch Umwandlung von Speicherprodukten in osmotisch aktive Substanzen und umgekehrt spielen bei der Turgorregulation von *Ch. linum* keine Rolle. Diese erfolgt ausschließlich durch Ionenverschiebungen zwischen Zelle und Außenmedium.

Literatur

Brand, F., 1905: Über die Anheftung der Chladophoraceen. Beih. z. Bot. Zentralbl. **18**, 165—193.

Buchheim, A., 1915: Der Einfluß des Außenmediums auf den Turgordruck einiger Algen. Mitt. d. Naturf. Ges. i. Bern.

Dillwyn, L. W. 1802—1809: British Convervae. London.

Drevs, P., 1896: Die Regulation des osmotischen Druckes in Meeresalgen bei Schwankungen des Salzgehaltes im Außenmedium. Arch. d. Freunde d. Naturgesch. i. Mecklenbg. **49**, 91—135.

Frey-Wyssling, A. u. H. Stechert, 1951: Das Flächenwachstum der pflanzlichen Zellwände. Experientia (Basel). **7**, 420—421.

Hamel, G., 1930: Chlorophycées des côtes Francaises. Paris.

Hartmann, M., 1929: Untersuchungen über die Sexualität und Entwicklung von Algen III. Ber. Dtsch. Bot. Ges. **47**, 485—495.

Hauck, F., 1885: Die Meeresalgen Deutschlands und Österreichs. Leipzig.

Höfler, K., 1932: Plasmolyseformen bei *Chaetomorpha* und *Cladophora*. Protoplasma **16**, 189—214.

Hoffmann, C., 1932a: Zur Bestimmung des osmotischen Druckes an Meeresalgen. Planta (Berlin) **16**, 413—432.

— 1932b: Zur Fage der osmotischen Zustandsgrößen bei Meeresalgen. Planta (Berlin) **17**, 805—809.

— 1936: Beiträge zur Physiologie der Meeresalgen. Permeabilitätsuntersuchungen an der Grünalge *Chaetomorpha aerea*. Kieler Meeresf. **1**, 125—166.

Kalle, K., 1956: Das Meerwasser. In Handb. d. Pflanzenphysiologie III. Springer; Berlin, Göttingen, Heidelberg.

Kesseler, H., 1957: Mikrokryoskopische Untersuchungen an Meeresalgen . . . Dissertation. Kiel.

— 1958: Eine mikrokryoskopische Methode zur Bestimmung des Turgors von Meeresalgen. Kieler Meeresf. **14**, 23—41.

— 1959: Mikrokryoskopische Untersuchungen zur Turgorregulation von *Chaetomorpha linum*. Kieler Meeresf. **15**, 51—73.

Köhler, K., 1956: Entwicklungsgeschichte, Geschlechtsbestimmung und Befruchtung bei *Chaetomorpha*. Arch. f. Protistenkunde **101**, 223—268.

— 1957: Neue Untersuchungen über die Sexualität bei *Dasycladus* und *Chaetomorpha.* Ibid. **102**, 209—217.
Kornmann, P., 1956: Zur Morphologie und Entwicklung von *Percursaria percursa.* Helgol. Wiss. Meeeresunters. **5**, 259—272.
Kotte, H., 1914: Turgor und Membranquellung bei Meeresalgen. Wiss. Meeresunters. N. F. Abt. Kiel **17**, 119—167.
Küster, E., 1952: Zytomorphologische Beobachtungen an *Chaetomorpha.* Protoplasma (Wien) **41**, 467—475.
Kützing, F. T., 1845: Phycologia germanica. Nordhausen.
— 1849: Species Algarum. Lipsiae.
Kylin, H., 1949: Die Chlorophyceen der schwedischen Westküste. Lunds Univ. Arsskr., Lund.
Lakowitz, K., 1929: Die Algenflora der gesamten Ostsee. Danzig.
Leib, E., 1932—1935: Beiträge zur Physiologie und Pathologie der Cladophorazelle. Wiss. Meeresunters. N. F. Abt. Helgoland **19**, 1—19.
Miehe, H., 1905: Wachstum, Regeneration und Polarität isolierter Zellen. Ber. Dtsch. Bot. Ges. **23**, 257—264.
Newton, Lily, 1931: A Handbook of the British Seaweeds. London.
Reinbold, Th., 1889—91: Die Chlorophyceen der Kieler Förde. Schr. d. Naturwiss. Vereins f. Schleswig-Holstein, Kiel.
Rosenvinge, L. K., 1892: Om nogle vaextforhold hos Slaegterne *Cladophora* og *Chaetomorpha.* Bot. Tidskrift (Copenhagen) **18**, 29—64.
Taylor, W. R., 1937: Marine Algae of the Northeastern Coast of North America. Univ. of Michigan Press.
Van Goor A. C. J., 1923: Die holländischen Meeresalgen. Amsterdam.
Wærn, M., 1952: Rocky-Shore Algae in the Öregrund Archipelago. Uppsala.