

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Wissenschaftlicher Film C 924/1966

**Differenzierung und Wachstum von
Micrasterias denticulata (Conjugatae)**

Begleitveröffentlichung von
Priv.-Doz. Dr. O. KIERMAYER

Mit 3 Abbildungen

GÖTTINGEN 1966

Der Film ist für die Verwendung im Hochschulunterricht
bestimmt

Länge der Kopie (16-mm-Tonfilm, schwarzweiß): 114 m
Vorfuhrdauer: 10 $\frac{1}{2}$ min — Vorführgeschwindigkeit: 24 B/s

Inhalt des Films

Der Film zeigt neben der normalen Morphogenese von *Micrasterias denticulata* die Morphogenese unter veränderten osmotischen Bedingungen: die vom Zellmuster abhängige Plasmolyseform sowie die Zellwandbildung bei reduziertem Turgor. (Aus den bei Turgormangel auftretenden Wachstumsänderungen können Rückschlüsse auf die Mechanik der normalen Morphogenese gezogen werden.)

Die Aufnahme des Films erfolgte in den Jahren 1964 und 1965
Veröffentlichung aus dem Institut für Entwicklungsphysiologie
der Universität Köln

(Direktor: Prof. Dr. CORNELIA HARTE)

Priv.-Doz. Dr. O. KIERMAYER

und dem

Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen

(Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. WOLF)

Sachbearbeitung: Dr. H.-K. GALLE

Aufnahme: E. HEYSE

Differenzierung und Wachstum von *Micrasterias denticulata* (Conjugatae)

O. KIERMAYER, Köln

Allgemeine Vorbemerkungen

Charakteristik des Versuchsobjektes

Micrasterias denticulata gehört zur Familie der Desmidiaceen [3]. Die einzellige Alge ist biradial gebaut; ihre Größe beträgt im Mittel $200 \times 170 \times 60 \mu$. Die Zelle weist median eine tiefe Einschnürung auf, die sie in zwei Zellhälften unterteilt. In dem schmalen Verbindungsstück zwischen den Halbzellen, dem Isthmus, liegt der etwa 30μ große Zellkern, der mehrere Nukleolen enthält. Jede Zellhälfte ist durch mehrere charakteristische Einschnitte symmetrisch in Lappen unterteilt. Man unterscheidet den Polarlappen und die Seitenlappen (Abb. 1). In jeder Zellhälfte liegt ein großer, grüner Chloroplast mit zahlreichen Pyrenoiden. Die Zelle ist umkleidet von einer dicken Zellwand, der „Folgewand“ [2], die zahlreiche Poren enthält, in denen kompliziert gebaute „Porenapparate“ stecken. Das Protoplasma, welches verschiedene Inhaltskörper aufweist, befindet sich stets in Strömung; zu beiden Seiten der Chloroplastenplatte liegt je ein großer Vakuolenraum.

Micrasterias denticulata findet sich in der Natur vor allem in mäßig sauren Hochmooren, meist vergesellschaftet mit anderen Desmidiaceen. Die Alge vermehrt sich fast ausschließlich vegetativ durch fortgesetzte mitotische Teilungen; sehr selten tritt eine Konjugation und die Bildung von Zygoten ein.

Durch sterile Übertragung von Zellen in eine anorganische Nährlösung (nach WARIS [6]) lassen sich relativ einfach Algenreinkulturen herstellen. Werden die Algen in einem bestimmten Hell-Dunkel-Rhythmus gehalten, so tritt die Kern- und Zellteilung zu einem experimentell bestimmten Zeitpunkt ein (genaue Methodik vgl. [4]). Solche Kulturen lieferten das Material für die kinematographischen Aufnahmen.

Kernteilung, Septumbildung und Neubildung einer Halbzelle

Die normalen Formbildungsprozesse wurden in einem anderen Film der Encyclopaedia Cinematographica dargestellt und in der dazuge-

hörigen Begleitveröffentlichung genau beschrieben [9]. Es soll deshalb hier nur kurz darauf eingegangen werden.

Der Kernteilungsbeginn zeigt sich darin, daß im Zellkern typische Veränderungen an den Nukleolen eintreten: Das in der Interphase des Zellkerns globuläre Nukleolenmaterial nimmt eine granuläre Form an („cloud-stage“ [6]), später wieder eine globuläre, traubenförmig geballte („grape-stage“ [6]), wobei letztere ein Prophase-Stadium darstellen dürfte [6]. Am Ende des „grape-stage“ erkennt man eine starke Bewegung der Nukleolen („nucleolar mobilisation“ [6]), verbunden mit einer Größenzunahme des Zellkerns. In der Folge löst sich die Kernmembran auf; es bildet sich die Kernspindel aus, in der nach einiger Zeit zahlreiche Chromosomen in der Metaphaseplatte sichtbar werden. Nach der Anaphase erfolgt eine Neuformierung der Kerne; gleichzeitig trennt das irisblendenartig einwachsende Septum am Isthmus die beiden Halbzellen voneinander. Aus den Septumwänden bildet sich in der Folge je ein Bläschen (Bulbus), das mit stark strömendem Plasma erfüllt ist. Die Bläschen nehmen rasch an Größe zu (Zellstreckung) und zeigen bald die für *Micrasterias* typische Lappenbildung. Nach Beendigung des Zellstreckungswachstums wird auf die Innenfläche der dünnen „Erstlingswand“ [2] eine sekundäre Wand, die „Folgewand“ [2] aufgetragen, während die Erstlingswand verquillt.

Zu den Experimenten

Zum Verständnis der im vorliegenden Film C924 dargestellten Vorgänge ist es notwendig, etwas ausführlicher auf die von uns durchgeführten Versuche einzugehen (genaue Beschreibung der Experimente s. [4], [5]).

Zweck der Untersuchung war es, nähere Einblicke in die Mechanik der Formbildung von Desmidiaceen zu gewinnen. Da sich das Einbringen in hypo- und hypertonsche Medien zur Untersuchung des Zellwachstums besonders bewährt hat (vgl. z. B. [1] und [8]), führten wir mit unserem Material folgende Versuche durch:

Zellen von *Micrasterias denticulata* im Zustand der Halbzellen-Neubildung — und deshalb intensiven Wachstums — wurden in Glukose-Lösungen verschiedener Molarität eingelegt. Durch das Osmoticum wird der Zelle Wasser entzogen, was sich in einer sofortigen Volumenverkleinerung äußert. Der Turgordruck wird je nach Molarität des Osmoticums verringert bzw. vollkommen aufgehoben.

Die Reduktion des Turgors bewirkt ab einem bestimmten Schwellenwert eine vollkommene Hemmung des Zellstreckungs-Wachstums. Vom Augenblick des Wasserentzugs an ist das Flächenwachstum der Zellwand unterbunden. Trotzdem wird aber die Produktion von Zellwandmaterial fortgesetzt, wodurch eine Verdickung der Erstlingswand erfolgt.

Hierbei ist nun von besonderem Interesse, daß sich das Zellwandmaterial nicht gleichmäßig, sondern in einem bestimmten Muster anlagert. In Abb. 1 sind die Muster der Wandverdickungen, wie sie nach Turgorverringerung bei verschiedenen Stadien der Halbzellenentwicklung entstehen, wiedergegeben. An Hand dieser Abbildung ist erkennbar, daß jeweils die Zone mit der geringsten Zellwandsubstanz-Ablagerung (Minimum-Zone) jenem prospektiven Ort der Zellwand entspricht, an dem bei der normalen Morphogenese ein Lappeneinschnitt entstehen würde.

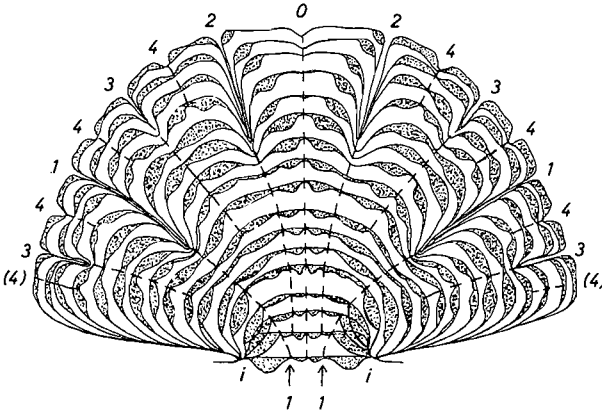


Abb. 1. Darstellung der einzelnen Entwicklungsstadien von *Micrasterias denticulata*

Die Zahlen bezeichnen die Lappeneinschnitte entsprechend ihrer Entstehungsfolge bei der Morphogenese; 0 stellt den Polarlappeneinschnitt dar, 1 den Isthmusrand. Punktirt eingezeichnet sind die bei Turgormangel entstehenden, musterartigen Zellwandverdickungen. Die Zahlen bezeichnen hier gleichzeitig die Fixationszonen (FZ)

Die Darstellung wurde durch Abzeichnen von 17 unterschiedlich alten Halbzellen gewonnen. Die gestrichelten Linien veranschaulichen den Zusammenhang zwischen der Fixationszone und dem Ort der Lappeneinschnürung

Mit Hilfe einer experimentell verursachten Turgorverminderung läßt sich somit das artspezifische Entwicklungsmuster bereits in einem jungen, formmäßig noch undifferenzierten Bulbusstadium (vgl. Abb. 1) nachweisen. Verfolgt man die Bildung der Zellwandanlagerungen bei jüngsten Entwicklungsstadien, so kann man bereits am Septum ein charakteristisches Anlagerungsmuster („Septum-Initialmuster“ [4]) erkennen (Abb. 2). Das Entwicklungsmuster der *Micrasterias*-Zelle ist, zumindest in seinen Grundzügen, bereits im Septumstadium präformiert.

Wichtig ist nun die Frage, inwieweit eine Differenzierung der Plasmagrenzschicht für die Entstehung der musterartigen Zellwandverdickungen verantwortlich ist. Hierzu haben Plasmolyseversuche weitere Aufschlüsse

gebracht. Bei Anwendung stark hypertonischer Osmotica löst sich der Protoplast sehr rasch von der Zellwand ab. Dabei erkennt man, daß die prospektiven und die schon vorhandenen Zonen der Lappeneinschnitte „negative Plasmolyseorte“ [7] darstellen. Das heißt, daß der Protoplast bei Plasmolyse an den Orten schwächerer Wandsubstanz-Ablagerung („Fixationszonen“ [4]) ein geringeres Kontraktionsvermögen aufweist als an den Zonen starker Substanzablagerung. Bei Betrachtung solcher plasmolysierter Zellen im Phasenkontrast sieht man zahlreiche HECHT-sche Fäden von der Innenseite der Erstlingswand zum kontrahierten

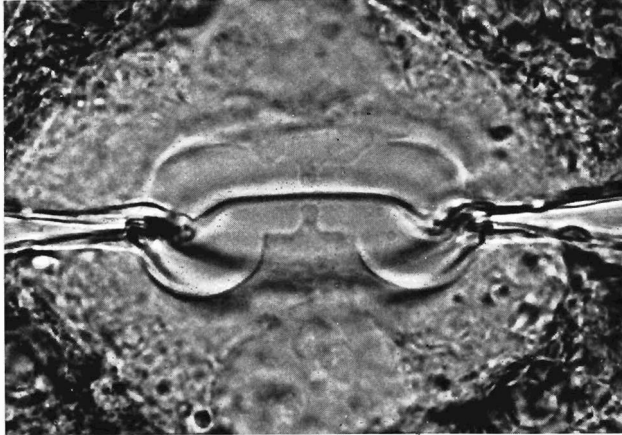


Abb. 2. Das „Septum-Initialmuster“ von *Micrasterias denticulata*

Die Zelle wurde im Septumstadium in 0,22 m Glukose eingelegt und nach 2 h 40 min lebend fotografiert. Die Anlagerungsminima bei den FZ O, l und i (vgl. Abb. 1) sind deutlich erkennbar

Protoplasten ziehen. Es ist deshalb möglich, daß die HECHT-schen Fäden an den „Fixationszonen“ ein geringeres Dehnungsvermögen aufweisen und die in Abb. 3 dargestellten Plasmolyseformen als „Hängemuster“ zu verstehen sind.

Es ist nicht bekannt, worauf diese Dehnungsunterschiede beruhen. Es läßt sich jedoch zeigen, daß der Grad der Dehnungsfähigkeit eine gesetzmäßige Beziehung zur Entstehungsfolge der Lappeneinschnitte aufweist. Die geringste Dehnungsfähigkeit, also den höchsten Fixationsgrad, zeigt der sich in der Entwicklung als erster bildende Lappeneinschnitt (Abb. 1); die prospektive Zone des 2. Lappeneinschnittes hat bereits einen geringeren Fixationsgrad usw. Eine Ausnahme bildet der Polarlappen (O), worauf hier jedoch nicht weiter eingegangen werden kann.

Das unterschiedliche Dehnungsvermögen der HECHTSchen Fäden ist besonders dann deutlich zu beobachten, wenn Zellen im Zustand der Halbzellen-Neubildung in ein schwach hypertonisches Osmoticum eingelegt und darin mehrere Stunden belassen werden. Nach anfänglich schwacher Plasmolyse tritt in dem mit Vaseline abgeschlossenen Präparat eine allmähliche Zunahme des Plasmolysegrades („fortschreitende Plasmolyse“) bei andauernder Absonderung von Zellwandmaterial ein. Hierbei führt das stärkere oder geringere Dehnungsvermögen der HECHTSchen Fäden an den Zonen der prospektiven Lappeneinschnitte zur Bildung verschiedener Plasmolyseformen. Abb. 3 zeigt eine schematische

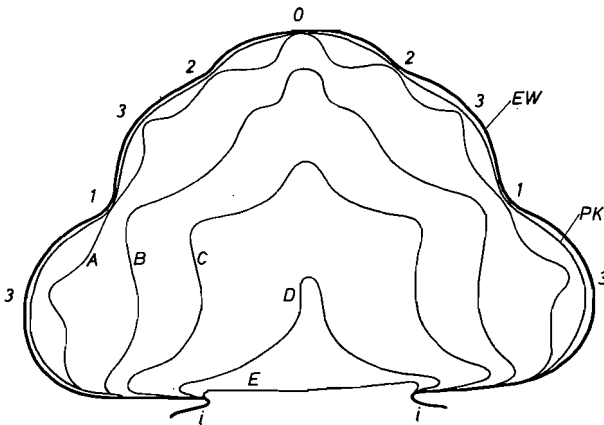


Abb. 3. Schematische Darstellung der Plasmolyseformen bei „fortschreitender Plasmolyse“

Fünflappenstadium einer Halbzelle von *Micrasterias denticulata*

Der Zusammenhang zwischen der Ausdehnung der HECHTSchen Fäden (Fäden nicht eingezeichnet) und der Rangnummer der Fixationszone ist mit Ausnahme von FZ 0 erkennbar. Die Zahlen bezeichnen die Fixationszonen; A, B, C, D und E stellen die Protoplastenkonturen bei verschiedenen Plasmolysegraden dar; PK ist die Protoplastenkontur bei anfänglicher Plasmolyse; EW Erstlingswand; i Isthmusrand

Darstellung derartiger Muster. In Film E 869 [10] ist dieses Phänomen im Teil „Turgorentzug — Plasmolyse — Musterartige Wandverdickungen“ dargestellt.

Die Versuche mit experimentell verursachter Turgorreduktion haben somit zum Problem der Mechanik der Morphogenese von *Micrasterias* unter anderem gezeigt, daß die Plasmagrenzschicht bereits im Septumstadium eine dem späteren Zellmuster entsprechende Differenzierung

aufweist. Diese offenbart sich in Form räumlich bestimmter und in ihrer Stärke gesetzmäßig abgestufter Dehnungsunterschiede des peripheren Protoplasmas.

Es muß ferner noch auf die als „Turgomorphosen“ [5] bezeichneten, teratogenen Zellbildungen eingegangen werden. Diese treten nur bei geringfügiger Turgorniedrigung, d. h. in einem Osmoticum schwächerer Konzentration, auf.

Legt man Zellen, die sich in Teilung befinden, in ein Osmoticum geringer Molarität (0,12—0,14 mol) ein, so wird, wie bereits früher beschrieben, das Streckungswachstum blockiert und Zellwandmaterial in einem bestimmten Muster abgelagert. Aus nicht näher bekannten Gründen erhöht sich jedoch nach einer bestimmten Zeit der Turgordruck in diesen Zellen. Dadurch reißt schließlich die verdickte Zellwand auf, was gelegentlich zur Plasmoptyse und zum Zelltod führt. In den meisten Fällen überleben die Zellen jedoch dieses Aufplatzen der Wand und setzen ihr Wachstum mit erhöhter Geschwindigkeit, aber stark aberrant, fort. Hierbei werden entweder die bei der anfänglichen Hemmung des Wachstums entstandenen Wandsubstanz-Polster als „Baumaterial“ für die wachsende Zellwand wiederverwendet, oder sie bleiben als Verdickungspolster erhalten. Das Aufplatzen der Zellwand erfolgt unterschiedlich: entweder nur an den Seitenlappen, während der Polarlappen gehemmt bleibt und Wandverdickungen aufweist (Bildung von „Schmetterlingsformen“), oder aber am Polarlappen, wobei die Seitenlappen gehemmt bleiben und weiterhin Anlagerungen bilden (Bildung „aradiater“ Formen). Vielfach wachsen auch alle Lappen nach dem Aufplatzen wieder weiter. Das Ergebnis eines solchen teratogenen Wachstums sind stets große Halbzellen mit einem geringen Differenzierungsgrad. Im Abschnitt „Schwache Turgorverminderung — Atypische Zellentwicklung (Turgomorphyse)“ ist dieses Phänomen in Film E 869 [10] dargestellt.

Da die Bildung der festen „Sekundärwand“ (Folgewand [2]) unabhängig vom Differenzierungsgrad der Halbzelle nach einer bestimmten Zeit einsetzt, werden auch „Turgomorphosen“ von dieser Wand umkleidet; dadurch wird die abnorme Form fixiert. Häufig kann man an solchen Zellen nach der Ausbildung der Folgewand ein Ablösen der Erstlingswand, zusammen mit den an bestimmten Zellwandbereichen noch vorhandenen Wandverdickungen, feststellen. Bei der Ablösung der Erstlingswand erkennt man deutlich deren elastische Eigenschaften. Im Teil „Sekundärwand-Bildung bei Turgomorphyse“ sind diese Phänomene in Film E 869 [10] dargestellt.

Den Präparaten wurde in einigen Fällen algenhaltiger Moordetritus¹⁾ beigegeben, um ein normales Wachstum in dem mit Vaseline abgeschlos-

¹⁾ Aus Hochmooren in Sauerfeld bei Tamsweg (Österreich).

senen Raum zwischen Deckglas und Objektträger zu gewährleisten. Das „Durchwandern“ von Mikroorganismen, z.B. Diatomeen, beruht auf der Zugabe von Moordetritus.

Erläuterungen zum Film¹⁾

Normale Entwicklung

Zeitraffung 1:12

und 1:100 bis 1:360

(2 B/s, 15 B/min bis 4 B/min)

1. Übersichtsaufnahme mehrerer *Micrasterias*-Zellen in Nährlösung. Bildfeldbreite 0,8 mm; Zeitraffung 1:12.

Die Desmidiacee *Micrasterias denticulata* kommt in Gewässern saurer Hochmoore vor. Die symmetrisch gebauten Zellen sind, wie an einer der Zellen in Seitenansicht erkennbar, scheibenförmig und haben im Mittel eine Größe von 200 bis 300 μ .

2. Übersichtsaufnahme einer *Micrasterias*-Zelle in der Interphase. Bildfeldbreite 0,15 mm; Zeitraffung 1:1,5.

Tiefe Einschnitte unterteilen die Zelle in zwei Hälften; jede Hälfte enthält einen Chloroplasten mit Pyrenoiden. Im Isthmus, dem Verbindungsstück beider Halbzellen, liegt der Zellkern.

3. Kernteilung und Septumbildung. Bildfeldbreite 0,04 mm; Zeitraffung 1:100.

Die Kernteilung beginnt mit Kernvergrößerung, Verschwinden der Nukleolen und Auflösung der Kernmembran. Die zahlreichen, punktförmigen Chromosomen ordnen sich zur Metaphaseplatte an. — In der Anaphase weichen die Chromosomen auseinander; gleichzeitig wandern Kristalle in den Isthmus ein.

Vom Isthmusrand her wächst das Septum irisblendenartig zusammen und trennt die Halbzellen voneinander. — Nach abgeschlossener Septumbildung beginnt das Zellstreckungswachstum.

4. Entwicklung der neuen Halbzellen nach der Septumbildung. Einwandern der Zellkerne und der Chloroplasten in die jungen Halbzellen; Golgi-Körper liegen um den Kern herum. Bildfeldbreite 0,08 mm; Zeitraffung 1:100.

¹⁾ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film. Der kleingedruckte Text gibt den Wortlaut des im Film gesprochenen Kommentars wieder.

Bei dieser Zelle sind Kernteilung und Septumbildung bereits abgeschlossen; das Septum ist als dünne Linie sichtbar. — Nun beginnt das Wachstum der jungen Halbzellen.

Die jungen Halbzellen sind von strömendem Protoplasma erfüllt, das zahlreiche Kristalle enthält. — Die Plasmaströmung erscheint durch die Zeitraffung unnatürlich. — Die jungen Zellhälften sind von einer Schleimhülle umgeben.

Die Zellkerne beginnen, von den alten Halbzellen in die jungen einzuwandern. Den Kern umgibt eine Zone von träge strömendem Protoplasma, das zahlreiche Golgi-Körper enthält. Die Nukleolen sind deutlich zu erkennen. — Jetzt beginnen die Chloroplasten in die jungen Halbzellen einzuwandern.

5. Entwicklung der Halbzellen, in Seitenansicht dargestellt. Bildfeldbreite 0,18 mm; Zeitraffung 1:360.

Hier wird in Seitenansicht die Bildung der jungen Halbzellen gezeigt. — Die Zellkerne und die Chloroplasten wandern in die jungen Halbzellen ein; die Kerne werden von den Chloroplasten umfaßt.

6. Entwicklung der Halbzellen; Chloroplastendifferenzierung, Zellwandbildung. Bildfeldbreite 0,20 mm; Zeitraffung 1:180.

Nun wird die Formbildung in einer Übersichtsaufnahme gezeigt. Zwischen den Einschnitten wandern in Hüllgallerte eingebettete Porenapparate ab. — Langsam weitet sich der Isthmus. Das Streckungswachstum setzt ein, und die Ausbildung der neuen Halbzellen beginnt. — Zellkern und Chloroplast wandern in die junge Halbzelle ein; gleichzeitig vollzieht sich die erste Lappeneinschnürung.

Jetzt entsteht die zweite Lappeneinschnürung. Die beiden jungen Halbzellen hängen nur noch an den Polarlappen zusammen. Die fünf Lappen jeder Halbzelle wachsen weiter, so daß die Halbzellen tiefer eingeschnitten erscheinen. Nun folgen die Lappeneinschnürungen dritter Ordnung. Die Polarlappen beider Halbzellen platten sich gegeneinander ab. Die Bildung der Seitenlappen vierter Ordnung und des Polarlappeneinschnittes beginnt. Die jungen Halbzellen wachsen nun zur vollen Größe heran. Die bisher unförmige Chloroplastenmasse erfährt in jedem Lappen eine Abplattung; im Protoplasma sind Vakuolen sichtbar. Der Chloroplast bildet Zipfel aus, die sich entlang der Zellwand in Richtung der Lappenden bewegen.

Die jungen Halbzellen sind während ihres Wachstums von einer dünnen Wand, der Erstlingswand, umgeben. Erst nachdem die Halbzellen ihre endgültige Form ausgebildet haben, wird der Erstlingswand eine zweite, feste und starre Wand, die Folgewand, angelagert; diese Folgewand stellt die bleibende Zellwand dar.

*Osmotische Versuche zur
Mechanik der Formbildung*

*Zeitraffung 1:180 und 1:720
(8 B/min und 2 B/min)*

*Plasmolyseform
abhängig vom Zellmuster*

7. Plasmolyse mit 0,21 m Glucose. Bildfeldbreite 0,13 mm; Zeit-
raffung 1:180.

Zum Verständnis der normalen Entwicklung wird die Differenzierung unter veränderten osmotischen Bedingungen gezeigt. — Nun wird ein Plasmolyticum durch das Präparat gesaugt. — Durch den Wasserentzug treten Volumenverkleinerung, Plasmolyse und Hemmungen des Zellstreckungswachstums ein.

8. Plasmolyse mit 0,22 m Glucose. Bildfeldbreite 0,12 mm; Zeit-
raffung 1:180.

Diese Zellen liegen bereits im Plasmolyticum und zeigen fortschreitende Plasmolyse. Hierbei erkennt man, daß an den Fixationszonen, das sind die Zonen vorhandener und prospektiver Lappeneinschnitte, sich der Protoplast langsamer zurückzieht, wodurch charakteristische Plasmolyseformen entstehen. — Dieses unterschiedliche Zurückweichen des Protoplasten beweist, daß im peripheren Plasma eine dem Zellmuster entsprechende Differenzierung vorliegt.

Zellwandbildung bei reduziertem Turgor

9. Entstehung von Zellwandanlagerungen entsprechend dem Zell-
muster (Zellen in 0,20 m Glucose). Bildfeldbreite 0,06 mm; Zeitraffung
1:180.

Die Zellen liegen in einem isotonischen Medium. Das Zellstreckungs-
wachstum ist sistiert; das Protoplasma produziert jedoch weiterhin
Zellwandsubstanz, wodurch die vorhandene Wand verstärkt wird. Das
charakteristische Anlagerungsmuster wird auch hier durch die Fixations-
zonen bestimmt.

10. Entstehung von Zellmißbildungen (Turgomorphosen) in schwach
hypotonischem Osmoticum (0,16 m Glucose). Bildfeldbreite 0,1 mm;
Zeitraffung 1:720.

Im hypotonischen Osmoticum entstehen wieder die charakteristischen Zellwandanlagerungen. Teile der Halbzellen wachsen offenbar durch Turgorerhöhung weiter, wodurch Zellmißbildungen, sogenannte Turgomorphosen, entstehen. In den weiterwachsenden Lappen werden die gebildeten Wandanlagerungen aufgebraucht, in den gehemmten Lappen bleiben sie erhalten.

An den Zellwandanlagerungen wird eine kräftige Kontur sichtbar, die Folgewand. Die Form der Halbzelle wird durch die Erstlingswand bestimmt, wogegen die Folgewand zu einer Festlegung und Erstarrung der Form führt. Nun beginnen die beiden Halbzellen auseinanderzuweichen, wobei sie sich von der verdickten Erstlingswand ablösen. Erstlingswand und Anlagerungspolster ziehen sich dabei elastisch zusammen. Die abgelöste, verdickte Erstlingswand läßt das Muster der Zellwandanlagerungen nun deutlich erkennen. Langsam verquillt die abgestoßene Wand.

Literatur und Filmveröffentlichungen

- [1] BOYSEN-JENSEN, P.: Untersuchungen über Determination und Differenzierung. 2. Über die Wachstumsvorgänge in der Spitze der Wurzelhaare von Phleum. Kgl. Danske Biol. Medd. **22** (1954), 1—33.
- [2] DRAWERT, H., und M. MIX: Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen an Desmidiaceen. X. Beiträge zur Kenntnis der „Häutung“ von Desmidiaceen. Arch. Mikrobiol. **42** (1962), 96—109.
- [3] FRITSCH, F. E.: The structure and reproduction of the algae, vol. 1. Cambridge University Press 1961.
- [4] KIERMAYER, O.: Untersuchungen über die Morphogenese und Zellwandbildung bei *Micrasterias denticulata* Bréb. Protoplasma **59** (1964), 97—132.
- [5] KIERMAYER, O., und R. JAROSCH: Die Formbildung von *Micrasterias rotata* Ralfs und ihre experimentelle Beeinflussung. Protoplasma **56** (1962), 382—420.
- [6] WARIS, H.: Cytophysiological studies on *Micrasterias*. I. Nuclear and cell division. Physiol. Plantarum **3** (1950), 1—16.
- [7] WEBER, F.: Plasmolyse-Ort. Protoplasma **7** (1929), 279—284.
- [8] ZACHARIAS, S.: Über das Wachstum der Zellwand bei Wurzelhaaren. Flora, N. F., **49** (1891), 466.
- [9] KIERMAYER, O.: *Micrasterias denticulata* (Desmidiaceae) — Morphogenese. Film E 868 der Enc. Cin., Göttingen 1965.
- [10] KIERMAYER, O.: *Micrasterias denticulata* (Desmidiaceae) — Morphogenese bei reduziertem Turgor. Film E 869 der Enc. Cin., Göttingen 1965.