

ISSN 0073-8417

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

SEKTION

BIOLOGIE

SERIE 15 · NUMMER 14 · 1982

FILM C 1384

**Stadienspezifische Protoplasmaströmung
im Stiel von *Acetabularia mediterranea***



INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM · GÖTTINGEN

Angaben zum Film:

Tonfilm (Komm., deutsch oder engl.), 16 mm, schwarzweiß, 126 m, 11 1/2 min (24 B/s).
Hergestellt 1979, veröffentlicht 1980.

Der Film ist für die Verwendung im Hochschulunterricht bestimmt. Veröffentlichung aus dem Institut für Pflanzenphysiologie und Zellbiologie der Freien Universität Berlin, Dr. H.-U. KOOP, dem Botanischen Institut der Universität Salzburg, Prof. Dr. O. KIEMAYER, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dr. T. HARD; Kamera: Dr. h. c. H.-H. HEUNERT†; Schnitt: Dr. h. c. H.-H. HEUNERT† und B. MILTHALER.

Zitierform:

KOOP, H.-U., O. KIEMAYER und INST. WISS. FILM: Stadienspezifische Protoplasmaströmung im Stiel von *Acetabularia mediterranea*. Film C 1384 des IWF, Göttingen 1980. Publikation von H.-U. KOOP und O. KIEMAYER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 15, Nr. 14/C 1384 (1982), 15 S.

Anschrift der Verfasser der Publikation:

Dr. H.-U. KOOP, Max-Planck-Institut für Zellbiologie, Rosenhof, D-6802 Ladenburg.
Prof. Dr. O. KIEMAYER, Botanisches Institut der Universität Salzburg, A-5020 Salzburg.

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

Sektion BIOLOGIE

Sektion ETHNOLOGIE

Sektion MEDIZIN

Sektion GESCHICHTE · PUBLIZISTIK

Sektion PSYCHOLOGIE · PÄDAGOGIK

Sektion TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN

NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgeber: H.-K. GALLE · Schriftleitung: E. BETZ, I. SIMON

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN sind die schriftliche Ergänzung zu den Filmen des Instituts für den Wissenschaftlichen Film und der Encyclopaedia Cinematographica. Sie enthalten jeweils eine Einführung in das im Film behandelte Thema und die Begleitumstände des Films sowie eine genaue Beschreibung des Filminhalts. Film und Publikation zusammen stellen die wissenschaftliche Veröffentlichung dar.

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN werden in deutscher, englischer oder französischer Sprache herausgegeben. Sie erscheinen als Einzelhefte, die in den fachlichen Sektionen zu Serien zusammengefaßt und im Abonnement bezogen werden können. Jede Serie besteht aus mehreren Lieferungen.

Bestellungen und Anfragen an: Institut für den Wissenschaftlichen Film
Nonnenstieg 72 · D-3400 Göttingen
Tel. (0551) 202202

FILME FÜR FORSCHUNG UND HOCHSCHULUNTERRICHT

HANS-ULRICH KOOP, Berlin, OSWALD KIERMAYER, Salzburg, und INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM, Göttingen:

Film C 1384

Stadienspezifische Protoplasmaströmung im Stiel von *Acetabularia mediterranea*

Verfasser der Publikation: HANS-ULRICH KOOP und OSWALD KIERMAYER

Mit 6 Abbildungen

Inhalt des Films:

Stadienspezifische Protoplasmaströmung im Stiel von *Acetabularia mediterranea*.¹ Die Protoplasmaströmung im Stiel von *Acetabularia mediterranea* wird im Verlaufe des Entwicklungsganges zu folgenden Stadien dargestellt: 1. keimende Zygote, 2. Keimlinge vor der Ausbildung von Rhizoid und Apex, 3. junge Zellen mit Rhizoid und Apex, 4. vegetative Zellen vor der Hutbildung, 5. Zellen mit maximalem Hut und wandernden Sekundärkernen, 6. Zellen nach der Zystenbildung.

Intrazellulärer Transport wird entlang einem Netzwerk dünner „zytoplasmatischer Filamente“ gefunden sowie in einem unterschiedlichen System „schnell strömender Plasmabänder“. Chloroplasten bewegen sich entlang den zytoplasmatischen Filamenten mit einer Geschwindigkeit von 1–2 $\mu\text{m/s}$. Schnell strömende Plasmabänder, welche sich ebenfalls entlang den zytoplasmatischen Filamenten bewegen, können ohne Unterbrechung vom Rhizoid bis zur Spitze der Zelle führen. Die Front dieser Bänder wird von einer führenden Tropfenstruktur eingenommen. Die vorherrschenden Partikel in den schnell strömenden Plasmabändern sind kleine Vesikel, Polyphosphatkörner und Sekundärkerne. Ihre Geschwindigkeit ist 3–11 $\mu\text{m/s}$.

Das Netzwerk zytoplasmatischer Filamente findet sich zu allen Stadien der Entwicklung. Schnell strömende Plasmabänder treten zuerst als kleine zytoplasmatische Tropfen in jungen Keimlingen auf und entwickeln sich zu breiten Bändern in der riesigen vegetativen Zelle. Transport von Sekundärkernen erfolgt in schnell strömenden Plasmabändern, ist jedoch nicht zu beobachten während mitotischer Teilungen und nach der Zystenbildung, obwohl schnell strömende Plasmabänder noch mehrere Wochen nach der Zystenbildung vorhanden sind.

Summary of the Film:

Stage Specific Protoplasm Streaming in the Stalk of *Acetabularia mediterranea*. The analysis of protoplasmic streaming in the stalk of *Acetabularia mediterranea* is focussed on the aspect of changes of intracellular transport systems in the course of cell differenti-

¹ Unterstützt durch eine Sachmittelbeihilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Ko 632/4).

ation. The following stages are studied: 1. germinating zygotes, 2. germlings before the differentiation of rhizoids and apices, 3. young cells with rhizoids and apices, 4. vegetative cells prior to cap formation, 5. cells with a maximum sized cap, containing secondary nuclei, and 6. cells after cyst formation.

Intracellular transport is found to occur at a network system of "thin cytoplasmic filaments" and at a different system of "headed streaming bands". At the network of thin cytoplasmic filaments chloroplasts are moving at a velocity of 1-2 $\mu\text{m}/\text{sec}$. Headed streaming bands move along the filaments and may lead without interruption from the rhizoid to the apex of the cell and vice versa. The front zone of streaming bands is occupied by a leading "head"-structure. Small vesicles, polyphosphate granules and secondary nuclei are the predominant moving structures in headed streaming bands. The velocity of these particles is found to be 3-11 $\mu\text{m}/\text{sec}$.

The filament system is found during all developmental stages. Headed streaming bands are undetectable in zygotes and develop from small cytoplasmic droplets in germlings to broad bands in the huge vegetative cell. Transport of secondary nuclei is found in headed streaming bands, but not during mitotic divisions and after cyst formation, though headed streaming bands are present for several weeks after cyst formation.

Résumé du Film:

Les courants cytoplasmiques au cours du développement chez *Acetabularia mediterranea*.

Les courants cytoplasmiques sont analysés dans le siphon d'*Acetabularia mediterranea* au cours du développement afin de mettre en relief les variations des capacités de transport. Les stades étudiés sont les suivants: 1. zygotes en voie de germination, 2. germinations avant la formation des rhizoïdes et de l'apex, 3. jeunes cellules ayant élaboré rhizoïdes et apex, 4. cellules végétatives avant la genèse du chapeau reproducteur, 5. algues avec un chapeau à sa taille maximum et contenant des noyaux secondaires, 6. cellules après la formation des cystes.

Les courants cytoplasmiques sont organisés en un réseau de fins filaments auquel est associé un système de filets plus rapides à «tête mobile». Dans le réseau, on observe les chloroplastes qui se déplacent à une vitesse de 1-2 $\mu\text{m}/\text{sec}$. Les filets rapides circulent le long des filaments et peuvent être suivis des rhizoïdes à l'apex et vice-versa. La zone frontale de ces filaments est structurée: on y trouve des petites vésicules, des granules des polyphosphates, et des noyaux secondaires s'il y a lieu. Leur vitesse de déplacement varie de 3 à 11 $\mu\text{m}/\text{sec}$.

Le système filamenteux est visible à tous les stades. Par contre, les filets rapides n'existent pas dans les zygotes en début de développement; ils apparaissent comme de petites plages cytoplasmiques dans les germinations et forment des bandes plus larges dans l'énorme cellule végétative. Ce sont eux qui transportent les noyaux secondaires en dehors des phases de mitose; ils persistent plusieurs semaines après la formation des cystes, mais alors n'entraînent ces noyaux.

Allgemeine Vorbemerkungen

Gegenstand des Films

Acetabularia mediterranea ist eine einzellige marine Grünalge aus der Ordnung der *Dasycladales*. Acetabularien sind siphonal gebaut, d. h. die bis zu 7 cm langen Zellen bestehen im wesentlichen aus einem nicht durch Querwände unterteilten zylindrischen Stiel. Die ausgewachsene Zelle trägt an ihrem apikalen Ende einen der Reproduktion dienenden gekammerten Hut. Die Zelle ist mit einem Rhizoid an ihrem Substrat verankert. Der zylindrische Stiel (Durchmesser bis zu mehr als 1 mm) ist

innen mit einer etwa 10 µm dicken Plasmaschicht ausgekleidet. Die Strömung in dieser Plasmaschicht zu verschiedenen Stadien des Entwicklungsganges von *Acetabularia* ist Gegenstand des vorliegenden Films.

Der Entwicklungsgang

Der Entwicklungsgang von *Acetabularia* ist Gegenstand zweier wissenschaftlicher Filme, die kürzlich im IWF entstanden sind (KOOP und INST. WISS. FILM [16], [17]).

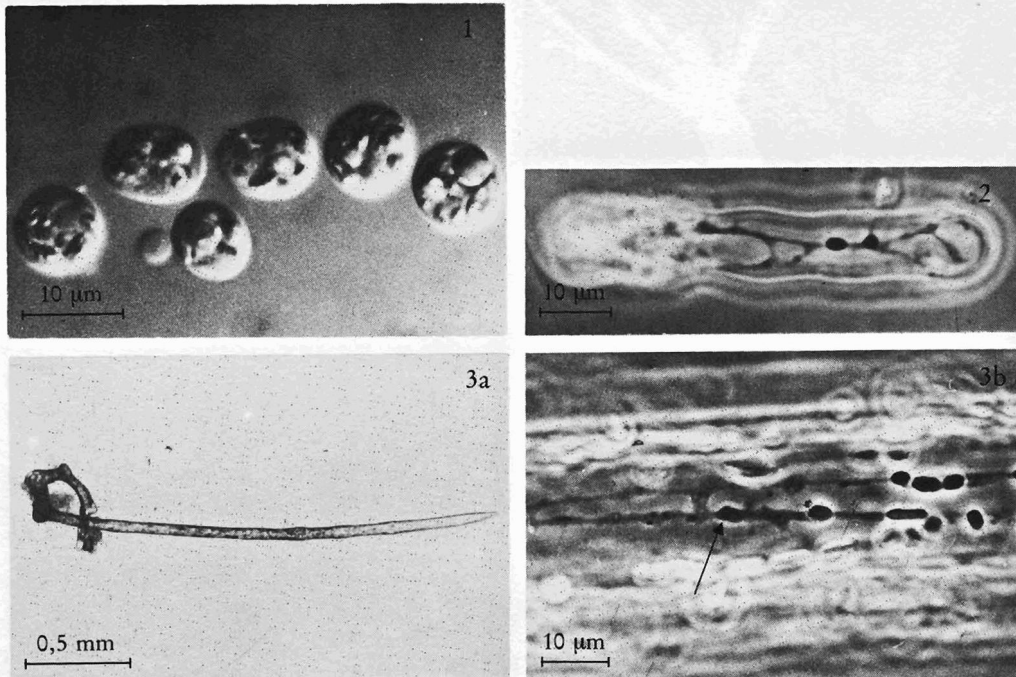


Abb. 1. Zygoten von *Acetabularia mediterranea*

Abb. 2. 4 Tage alter Keimling von *Acetabularia mediterranea*. Einige wenige dünne cytoplasmatische Filamente sind entstanden

Abb. 3a. 5 Wochen alter Keimling von *Acetabularia mediterranea*. Links ist das Rhizoid, rechts die Zellspitze zu erkennen

Abb. 3b. Wandständiger Cytoplasmabelag eines 5 Wochen alten Keimlings von *Acetabularia mediterranea*. Ein cytoplasmatischer Tropfen, welcher sich auf dem Netzwerk cytoplasmatischer Filamente schneller bewegt als die Chloroplasten, ist durch einen Pfeil gekennzeichnet

Eine Zusammenfassung des derzeitigen Kenntnisstandes findet sich auch (weitere Literatur siehe dort) bei KOOP ([7]). Die diploide Zygote (Abb. 1) entsteht aus der Verschmelzung zweier zweigeißeliger Isogameten. Die Zygote keimt unmittelbar zu einer schlauchförmigen Zelle aus (Abb. 2). Nach etwa 2–3 Wochen sind eine Zellspitze und ein Rhizoid (Abb. 3a) deutlich zu erkennen. Die diploide Zelle wächst für etwa 2–3 Monate in die Länge. Dabei entstehen an der Zellspitze in regelmäßigen Abständen Wirtel von Haaren (Abb. 4a). Ist die maximale Zelllänge erreicht, so wird an der Zellspitze ein gekammerter Hut gebildet (Abb. 5a). Der im Rhizoid befind-

liche riesige (150 μm Durchmesser) Zellkern teilt sich. Es entstehen zunächst zwei kleine (5 μm Durchmesser) Tochterkerne und in einer Folge von vielen mitotischen Kernteilungen schließlich mehrere tausend generative Kerne. Diese wandern durch

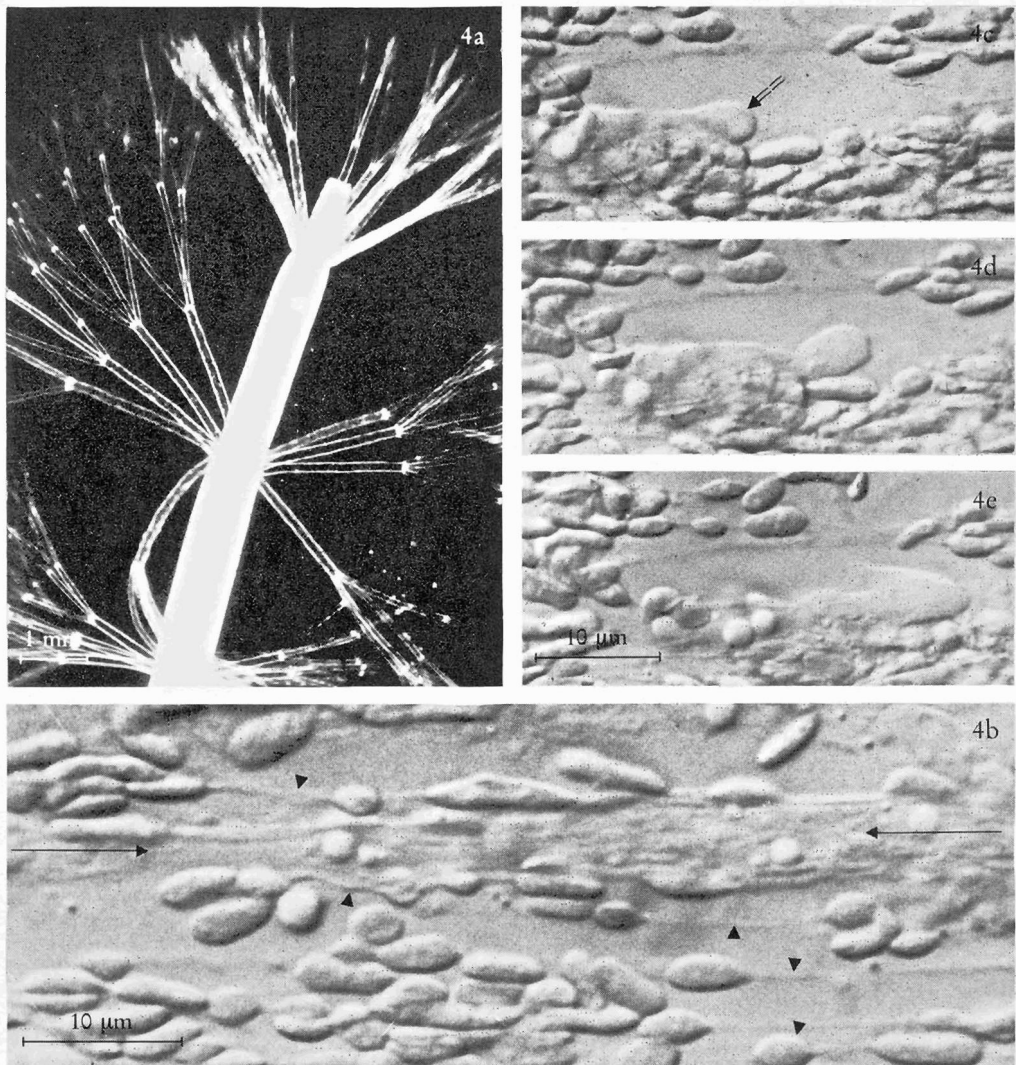


Abb. 4a. Spitze einer mehrere Zentimeter großen vegetativen Zelle von *Acetabularia mediterranea* mit mehreren Haarwirteln. Dunkelfeld-Aufnahme

Abb. 4 b–e. Wandständiger Cytoplasmabelag einer mehrere Zentimeter großen vegetativen Zelle von *Acetabularia mediterranea*. Neben dünnen cytoplasmatischen Filamenten (\blacktriangle) ist ein schnell strömendes Plasmaband zu erkennen ($\rightarrow\leftarrow$), welches von einer tropfenförmigen Leitstruktur (\Rightarrow , Fig. 4c–e) angeführt wird. Zeitabstand zwischen den Aufnahmen in Fig. 4c–e: 4 Sekunden

den Stiel in die Hutkammern ein (Abb. 5b). Hier grenzt sich von jedem dieser Kerne eine Plasmaportion ab, es entstehen Zysten (Abb. 6). Diese Zysten sind später Ort der Entstehung der Gameten (Gametangien).

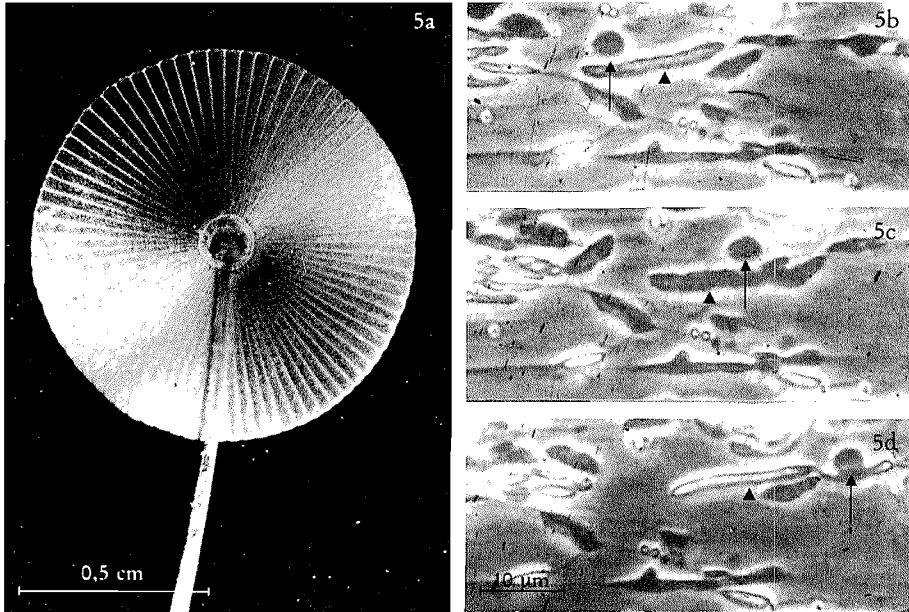


Abb. 5a. Apikales Ende einer Zelle von *Acetabularia mediterranea* mit voll entwickeltem Hut. Dunkelfeld-Aufnahme

Abb. 5b–d. Wandständiger Cytoplasmabelag einer Zelle von *Acetabularia mediterranea* mit voll entwickeltem Hut.

Ein Sekundärkern (→) ist zu erkennen, welcher einen Chloroplasten (▲), der mit langsamerer Geschwindigkeit auf der gleichen Bahn transportiert wird, überholt. Zeitabstand zwischen den Aufnahmen in Fig. 5b–d: 5 Sekunden

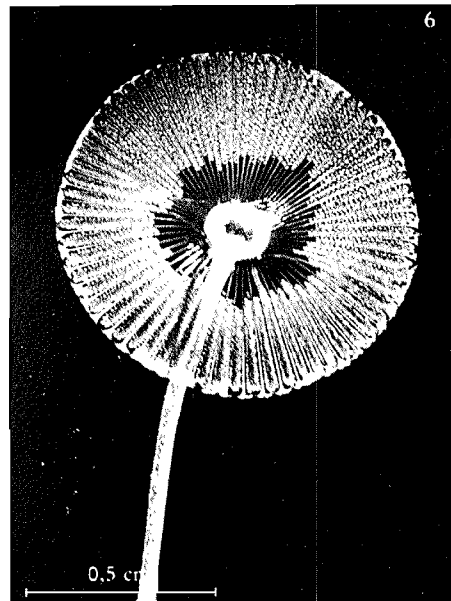


Abb. 6. Apikales Ende einer Zelle von *Acetabularia mediterranea* mit einem Cysten enthaltenden Hut. Dunkelfeld-Aufnahme

Protoplasmaströmung in *Acetabularia*

Die ersten Untersuchungen zur Protoplasmaströmung in *Acetabularien* stammen von N. KAMIYA (KAMIYA [5], KAMIYA und KURODA [6]). Der in *Acetabularia* gefundene Strömungstyp (vgl. auch KIERMAYER, URL und INST. WISS. FILM [15]), als „multistriate streaming“ bezeichnet (KAMIYA [5]), zeichnet sich dadurch aus, daß Plasmaströmung in vielen Bahnen und gegensätzlichen Richtungen gleichzeitig gefunden wird.

Weitere Untersuchungen zeigten bereits 1961 (TAKATA [13]), daß Strömung in einem glycerinierten Zellmodell von *Acetabularia* durch ATP zumindest kurzfristig reaktiviert werden konnte. Dies war der erste Hinweis, daß in einer grünen Pflanzenzelle ähnliche Komponenten oder Moleküle für Bewegungsphänomene verantwortlich sein mochten wie in der Muskelbewegung tierischer Systeme. Die Einführung von Cytochalasin B als Probe für Acto-Myosin abhängige Bewegung (WESSELS et al. [14]) erbrachte die breite Anerkennung der molekularen Verwandtschaft von Bewegungsprozessen in pflanzlichen und tierischen Systemen. Auch in *Acetabularia* wurde mehrfach gezeigt, daß Strömung durch Cytochalasin B blockiert werden konnte und demnach Acto-Myosin abhängig sein dürfte (HERTH et al. [3], BRACHET und TENCER [1]).

Während Strömung in *Acetabularia* immer als ein einheitliches System betrachtet wurde, verdanken wir HEUNERT ([4]) die Erkenntnis, daß mindestens zwei Systeme zu unterscheiden sind. Die Arbeiten an diesem Film dienen der detaillierten Untersuchung dieser zwei Strömungssysteme in verschiedenen Stadien der Entwicklung. Die erzielten Ergebnisse sind ausführlich publiziert (KOOP und KIERMAYER [9]), ebenso wie die Ergebnisse eines zweiten Films zum Thema, welcher die Beteiligung von Mikrofilamenten und Mikrotubuli an den Strömungssystemen von *Acetabularia* untersucht (KOOP, KIERMAYER und INST. WISS. FILM [18], KOOP und KIERMAYER [10]). Eine Übersicht über die derzeit publizierte Literatur und den heutigen Kenntnisstand zur Plasmaströmung in *Acetabularia* findet sich bei KOOP [8].

Stadienspezifische Strömung Zygotenkeimung

Zygoten (vgl. Abb. 1) zeigen nur leichte Pendelbewegungen der Zellorganellen. Eine spezifische zytoplasmatische Differenzierung für intrazelluläre Bewegung ist nicht erkennbar. Bereits im frühen Keimlingsstadium (Abb. 2) findet man jedoch ein Netzwerk dünner zytoplasmatischer Filamente, an denen entlang langsamer Transport von Chloroplasten zu beobachten ist. Die Anordnung der Filamente im Netzwerk verändert sich ständig. Wenn der Keimling heranwächst, kommt es im wesentlichen zu einer Vermehrung der Anzahl der zytoplasmatischen Filamente, deren Anordnung parallel zur Längsachse der Zelle ausgeprägter wird.

Junge Zellen mit ausgeprägtem Rhizoid und Zellspitze

Sobald der Keimling eine Länge von etwa 2 mm erreicht hat und deutlich differenzierte Pole (Rhizoid und Apex) erkennen läßt (Abb. 3a), findet man einen zweiten

Typus von intrazellulären Bewegungen in *Acetabularia*. Neben langsamem Transport von Chloroplasten entlang den beschriebenen dünnen zytoplasmatischen Filamenten sind schneller sich bewegende Plasmotropfen zu entdecken, welche sich ebenfalls entlang dem Filamentnetzwerk bewegen (Abb. 3b). Die Tropfen führen in der Regel etwa 0,5 μm große Vesikel mit sich.

Mehrere Zentimeter große vegetative Zelle

Während des Wachstums der vegetativen Zelle mit einer entsprechenden Zunahme des Zytoplasmas und weiteren Ausdehnung des Netzwerkes zytoplasmatischer Filamente, beobachten wir, daß das schnellere Transportsystem – Plasmotropfen im Keimlingsstadium – immer ausgeprägter wird. Die Tropfen nehmen an Größe zu und werden zu einer Struktur, welche lange, breite Bänder schnell strömenden Plasmas anführen. In einer voll entwickelten vegetativen Zelle (Abb. 4a) finden wir dann neben dem Netzwerk dünner zytoplasmatischer Filamente breitere Plasmabahnen (Abb. 4b, c), die eine Geschwindigkeit von bis zu 11 $\mu\text{m/s}$ aufweisen. Neben kleinen Vesikeln finden wir in ihnen Polyphosphate und Lipidtropfen, während Chloroplasten in diesem Stadium in der Regel nicht in ihnen mitgeführt werden („chloroplastenfreies Plasma“, HEUNERT [4]). Einzelne schnellströmende Plasmabänder können ohne Unterbrechung vom Rhizoid bis in die Zellspitze verfolgt werden und umgekehrt. Schnellströmende Plasmabänder mit akropetaler und basipetaler Strömungsrichtung werden gleichzeitig in verschiedenen Bahnen des Netzwerkes dünner zytoplasmatischer Filamente gefunden. An beiden Zellpolen können Umkehrpunkte von Plasmabändern beobachtet werden.

Zelle mit maximalem Hut und wandernden Sekundärkernen. Während der letzten Stadien des vegetativen Wachstums kommt es zu einer deutlichen Aufhellung des Stieles (HAMMERLING [2], SCHULZE [12]). Ein großer Anteil des Zytoplasmas und der darin enthaltenen Chloroplasten wird aus dem Stiel in die Hutkammern transportiert. Der im Rhizoid gelegene Primärkern teilt sich (KOOP et al. [11]) unter Bildung von zunächst zwei etwa 5 μm großen Sekundärkernen. Diese teilen sich vielfach mitotisch, so daß etwa 15000 Kerne entstehen, welche durch den Stiel in die Hutkammern einwandern, wo später die Zystenbildung stattfindet.

Sekundärkerne werden mit schnellströmenden Plasmabändern transportiert (Abb. 5b–d). In diesem Entwicklungsstadium findet man auch Transport von Chloroplasten auf schnellströmenden Plasmabändern. Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Kerne ist dabei deutlich größer als die der Chloroplasten, so daß ein Überholen der Chloroplasten durch Kerne häufig zu beobachten ist (vgl. KOOP und INST. WISS. FILM [16], [17]). Es finden während der Sekundärkernwanderung noch weitere Mitosen statt. Diese sind auf den unteren Stielabschnitt beschränkt. Kerne, welche sich in einem Mitosestadium befinden, werden nicht in schnellströmenden Plasmabändern transportiert. Man findet sie während der gesamten Mitose, die etwa 7–10 Stunden dauert, zwischen schnellströmenden Plasmabändern. In der späten Telophase kommen die Tochterkerne wieder in Kontakt mit benachbarten Plasmabändern, werden von diesen mitgeführt und vom Spindelrest abgerissen.

Transport von Kernen wird gleichzeitig in apikopetaler und basipetaler Richtung beobachtet. Aus der Tatsache, daß die Kerne schließlich in den Hutkammern akkumulieren, kann geschlossen werden, daß der apikopetale Transport überwiegt. Bei der Zystenbildung sind stets noch Kerne zu finden, die im Stiel zurückbleiben.

Zellen nach der Zystenbildung

Auch im später absterbenden Zytoplasma des Stieles von Zellen, die bereits Zysten gebildet haben (Abb. 6), finden wir dünne zytoplasmatische Filamente und schnell strömende Plasmabänder. Kerne, die im Stiel verblieben sind, werden nicht mehr mit schnell strömenden Plasmabändern transportiert.

Erläuterungen zum Film

Wortlaut des gesprochenen Kommentars¹

Acetabularia ist eine einzellige Grünalge. Die etwa 6 cm große Zelle besteht aus einem zylindrischen Stiel, der einen schirmartigen Hut trägt. Die Plasmaströmung innerhalb der Zelle setzt sich aus zwei Transportsystemen zusammen.

1. Stadium: Keimende Zygote

Zeitraffung 1:24 und 1:12

Die winzigen Zygoten zeigen noch keine Struktur, die eine Protoplasmaströmung zuläßt. Bei starker Zeitraffung werden lediglich leichte Pendelbewegungen der Zellorganelle sichtbar.

Wenn die Zygote zu einem Schlauch ausgewachsen ist, bewegen sich die Chloroplasten und andere Zellorganelle auf einem Netzwerk cytoplasmatischer Fäden, die ihre Lage verändern können. In dieser und den folgenden Einstellungen ist die Protoplasmaströmung durch leichte Zeitraffung beschleunigt dargestellt.

2. Stadium: Zelle vor Ausbildung von Rhizoid und Spitze

Zeitraffung 1:6

Der etwa drei Wochen alte Keimling läßt weder ein deutliches Rhizoid noch eine Spitze erkennen.

Er enthält in seinem wandständigen Plasma eine größere Anzahl cytoplasmatischer Fäden, die vor allem längs orientiert sind. Die Chloroplasten bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen und können kurzfristig umkehren.

Im Phasenkontrast sieht man bei stärkerer Vergrößerung, daß der Raum zwischen den Plasmasträngen mit runden Vesikeln und – in der oberen Bildhälfte – von länglichen Mitochondrien erfüllt ist.

3. Stadium: Zelle nach Ausbildung von Rhizoid und Spitze

Zeitraffung 1:6 und 1:3

Nach einigen Wochen bildet der Keimling von *Acetabularia* ein deutliches Rhizoid aus – rechts im Bild – und eine ausgeprägte Zellspitze, an der das Hauptwachstum erfolgt.

¹ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

Cytoplasmatropfen bewegen sich entlang der schon vorher beschriebenen Plasmafäden. Diese Art der Bewegung tritt erstmals in diesem Entwicklungsstadium auf.

Die Tropfen sind deutlich schneller als die Chloroplasten.

Rechts unten ein Überholvorgang. Ein anderer Tropfen – links oben – ändert seine Bewegungsrichtung.

4. Stadium: Zelle vor der Hutbildung 1–5 cm

Normale Geschwindigkeit; Zeitraffung 1:3 bis 1:24

Die vegetative Zelle ist schließlich mehrere Zentimeter groß. Das basale Rhizoid geht über in einen langen Stiel. An seinem apikalen Ende bilden sich in regelmäßiger Folge Wirtel von Haaren.

Der Stiel enthält in diesem Stadium größere Cytoplasmatropfen, die an den Fäden entlang gleiten und denen ein kurzes Plasmaband nachfolgt. Ihre Bewegung ist zeitgleich dargestellt.

Je stärker die vegetative Zelle heranwächst, um so größer werden die Cytoplasmatropfen und ihre nachgezogenen Plasmabänder.

Die Tropfen ändern ihre Form, während sie an den Plasmafäden entlanggleiten: hier wieder leichte Zeitraffung.

In noch größeren Zellen folgen den Tropfen zytoplasmatische Bänder, die Lipidtropfen und große Polyphosphatgranula mit sich führen. Die Chloroplasten werden – wie in den jüngeren Stadien – auf den Plasmafäden langsamer transportiert.

Diese Bänder enthalten besonders viele große Granula. Der Unterschied der Geschwindigkeit zwischen Chloroplasten und schnellen Bändern ist hier deutlich zu beobachten.

Mehrere Plasmabänder ziehen am Riesenkern der Zelle vorbei ins Rhizoid, das sich rechts anschließt, während andere das Rhizoid verlassen.

Wird das Rhizoid entfernt, so kehren die Plasmabänder vor der Amputationsstelle um. Ihre Bewegung setzt sich dann gradlinig durch den Stiel bis in die wachsende Zellspitze fort.

Ein schnellströmendes Plasmaband nähert sich der Zellspitze, es ist durch große Partikel markiert.

Es erreicht die Zellspitze und verweilt dort etwa 6 bis 10 Minuten.

Schließlich werden die Partikel wieder in Richtung Rhizoid zurücktransportiert.

Ein anderes Band in der oberen Bildhälfte befördert kleine Partikel in die äußerste Zellspitze.

Jetzt beginnt die rückläufige Bewegung. In kurzen Abständen gelangen neue schnelle Ströme an die Spitze.

5. Stadium: Zelle mit ausgewachsenem Hut

Zeitraffung 1:3 und 1:96

Bei der ausgewachsenen Zelle hat sich an der Spitze des Stiels ein schirmförmiger Hut gebildet. Der Stiel enthält mehrere tausend Fortpflanzungskerne.

Sie wandern mit der Geschwindigkeit der schnellströmenden Plasmabänder vom Rhizoid her in den Hut ein. In diesem Stadium können die Plasmabänder Chloroplasten enthalten, die aber langsamer mitgeführt werden als die Kerne.

Bisweilen drehen sich die Kerne bei ihrer Wanderung.

Häufig findet man mehrere Kerne in Gruppen auf derselben Bahn. Die Kerne wandern entlang der Zellachse in beiden Richtungen. Am unteren Bildrand ist erkennbar, daß auch in diesem Stadium langsamerer Chloroplastentransport auf cytoplasmatischen Fäden erfolgt.

Noch während ihrer Wanderung zum Hut teilen sich die Kerne. Kerne befinden sich während ihrer Teilungen außerhalb der schnell strömenden Plasmabänder und werden daher nicht transportiert. Durch die starke Zeitraffung erscheinen die intrazellulären Bewegungen besonders unruhig.

Am Ende der Mitose, die mehrere Stunden dauert, erkennt man die Tochterkerne an den Polen der verlängerten Teilungsspindel.

Die Tochterkerne werden wieder an die schnell strömenden Plasmabänder angeknüpft und schließlich vom Spindelrest abgerissen.

6. Stadium: Zelle nach der Cystenbildung

Zeitraffung 1: 6

Cysten haben sich gebildet, nachdem fast alle Fortpflanzungskerne in die Hutkammern eingewandert waren.

Auch dann ist im Stiel noch Protoplasmaströmung zu beobachten.

Sie besteht aus schnellströmenden Plasmabändern mit tropfenförmiger Leitstruktur und langsamerer Chloroplastenbewegung.

Im Stiel zurückgebliebene Kerne zeigen in diesem späten Stadium keine Wanderung mehr, obwohl schnell strömende Plasmabänder durchaus noch vorhanden sind.

Auch der Kern links im Bild bleibt fast auf der Stelle. Das im Stiel verbleibende Plasma geht in der Regel später zugrunde, wenn die Mutterzelle zerfällt und dadurch die Cysten frei werden.

English Version of the Spoken Commentary¹

Acetabularia is a unicellular green alga. The cell measures several centimeters and consists of a cylindrical stalk which forms a cap at its apical end.

The protoplasmic streaming inside the cell comprises two separate transport systems.

1. Stadium: Keimende Zygote

Zeitraffung 1: 24 und 1: 12

Only several micrometers small, the zygotes exhibit no structures for intracellular movements. At greater time lapse frequency we see only shuttle movements of the cell organelles over short distances.

When the zygotes have grown out to a small tube, chloroplasts and other cell organelles move along a meshwork of cytoplasmic filaments, the arrangement of which changes rapidly.

¹ The headlines in *italics* correspond with the subtitles in the film.

Protoplasmic streaming is shown at a slightly enhanced velocity, due to time lapse, in this and the following sequences.

2. Stadium: Zelle vor Ausbildung von Rhizoid und Spitze

Zeitraffung 1:6

After about three weeks, the germling shows neither a prominent rhizoid nor an apex.

The cytoplasmic layer adjacent to the cell wall consists of a greater number of cytoplasmic filaments, predominantly in longitudinal orientation. The chloroplasts move in opposite directions and may change their directions after a while.

As visible in phase contrast under higher magnification – the regions between the cytoplasmic filaments contain small vesicles and – in the upper part of the frame – long mitochondria.

3. Stadium: Zelle nach Ausbildung von Rhizoid und Spitze

Zeitraffung 1:6 und 1:3

After several weeks, the germling forms a clearly visible rhizoid – in the right part of the frame – and a cell apex, which is the major site of cell growth.

Cytoplasmic droplets are seen to move along the filamentous structures, which have been described before. This type of movement is first seen at this developmental stage.

The velocity of the droplets is clearly higher than that of the chloroplasts.

In the lower right corner overtaking of chloroplasts is shown. Another droplet – upper left corner – changes its direction.

4. Stadium: Zelle vor der Hutbildung 1–5 cm

Normale Geschwindigkeit; Zeitraffung 1:3 bis 1:24

Finally, the vegetative cell measures several centimeters. The basal rhizoid is followed by a long stalk. At its apical end whirls of hairs are formed at regular intervals.

At this stage we observe bigger cytoplasmic droplets moving along the filaments and followed by a short band of streaming cytoplasm. These sequences have been taken in real time.

As the cell increases in size, the droplets and their following cytoplasmic bands increase also.

The shape of the droplets changes during the movement along cytoplasmic filaments. Here, again, slight time lapse.

In still bigger cells, long cytoplasmic bands containing predominantly lipid droplets and polyphosphate granula are preceded by cytoplasmic droplets. As in the earlier stages – the chloroplast movement along cytoplasmic filaments is slower.

When the streaming cytoplasmic bands contain a great number of granula, the difference in the velocities of these rapidly moving bands and of the chloroplasts becomes quite evident.

Several streaming bands pass the nucleus and enter the rhizoid, which would follow on the right, while other bands are leaving the rhizoid.

When the rhizoid has been removed from the cell, it is possible to demonstrate a “u-turn” of streaming band at the basal end of the cell. The movement proceeds straight ahead and uninterruptedly into the apex.

A fast-moving cytoplasmic band, marked by big particles, approaches the cell apex. It reaches the tip and stays there for about 6 to 10 minutes.

Finally, the particles are moved back towards the rhizoid again.

Another band – visible in the upper part of the frame – moves smaller particles into the apex.

Now, the onset of the backward movement is seen. New streaming bands reach the apex after short intervals.

5. Stadium: Zelle mit ausgewachsenem Hut

Zeitraffung 1:3 und 1:96

The fully-grown cell has a cap at the apical end of the stalk. Several thousands of generative nuclei have been formed.

Coming from the rhizoid, they are transported into the chambers of the cap. At this stage chloroplasts are also moved by cytoplasmic bands. Their velocity is however lower than that of the nuclei.

The nuclei may rotate, occasionally, while they are moving.

Small groups of nuclei, migrating together are frequently found. They travel up and down the main cell axis in both directions. In the lower part of the frame it can be seen that slower transport of chloroplasts is also occurring at this developmental stage.

Mitotic divisions are still occurring, when migration of the nuclei has already started. Mitotic nuclei are not transported by streaming bands. They hardly change their position. Extreme time lapse in this sequence gives the impression of very fast movements.

At the end of mitosis, lasting for several hours, the daughter nuclei are seen at the poles of the elongated spindle.

The daughter-nuclei come into contact with fast streaming bands and are finally torn off the spindle residue.

6. Stadium: Zelle nach der Cystenbildung

Zeitraffung 1:6

After nearly all of the nuclei have migrated into the cap, cysts have formed.

Protoplasmic streaming is still found in the stalk even at this stage.

Faster streaming bands, preceded by a cytoplasmic droplet, are seen as well as thin cytoplasmic filaments with slower moving chloroplasts.

Some nuclei are still found in the stalk. However, they are no longer transported by the faster protoplasmic streaming.

The nucleus visible in the left part of the frame is hardly moving at all. The cytoplasm which has remained in the stalk will later decompose, when the mother-cell falls apart, thereby liberating the cysts.

Literatur

- [1] BRACHET, J., and R. TENCER: Effects of cytochalasin B on morphogenesis in tunicate and amphibian eggs and in the unicellular alga *Acetabularia*. *A. Embryol. Exp.* 1973, 83–104.
- [2] HÄMMERLING, J.: Entwicklung und Formbildungsvermögen von *Acetabularia mediterranea*. *Biol. Zentralbl.* 51 (1931), 633–647.
- [3] HERTH, W., W. W. FRANKE, and W. VANDERWOUDE: Cytochalasin stops tip growth in plants. *Naturwissenschaften* 59 (1972), 38–39.
- [4] HEUNERT, H.-H.: Beobachtungen über die Plasmaströmung der Grünalge *Acetabularia*. *Protoplasma* 93 (1978), 477–479.
- [5] KAMIYA, N.: Protoplasmic streaming. In: *Protoplasmatologia VIII/3a* (L. V. HEILBRUNN und F. WEBER eds.), Wien 1959.
- [6] KAMIYA, N., and K. KURODA: Some observations of protoplasmic streaming in *Acetabularia*. *Bot. Mag. Tokyo* 79 (1966), 706–713.
- [7] KOOP, H.-U.: The life cycle of *Acetabularia* (Dasycladales, Chlorophyceae). A compilation of evidence for meiosis in the primary nucleus. *Protoplasma* 100 (1979), 353–366.
- [8] KOOP, H.-U.: Protoplasmic streaming in *Acetabularia*. *Protoplasma* 109 (1981), 143–158.
- [9] KOOP, H.-U., and O. KIEMAYER: Protoplasmic streaming in the giant unicellular green alga *Acetabularia mediterranea*. I. Formation of intracellular transport systems in the course of cell differentiation. *Protoplasma* 102 (1980), 147–166.
- [10] KOOP, H.-U., and O. KIEMAYER: Protoplasmic streaming in the giant unicellular green alga *Acetabularia mediterranea*. II. Differential sensitivity of movement systems to substances acting on microfilaments and microtubuli. *Protoplasma* 102 (1980), 295–306.
- [11] KOOP, H.-U., R. SCHMIDT, H.-H. HEUNERT, and H. SPRING: Spindle formation and division of the giant primary nucleus of *Acetabularia* (Chlorophyta, Dasycladales). *Differentiation* 14 (1979), 135–146.
- [12] SCHULZE, K. L.: Cytologische Untersuchungen an *Acetabularia mediterranea* und *Acetabularia wettsteinii*. *Arch. Protistenk.* 92 (1939), 179–225.
- [13] TAKATA, M.: Studies on the protoplasmic streaming in the marine alga *Acetabularia calyculus*. *Am. Rep. Scient. Works Fac. Sci. Osaka Univ.* 9 (1961), 63–70.
- [14] WESSELS, N. K., B. S. SPOONER, J. F. ASH, M. O. BRADLEY, M. A. LUDUENA, E. L. TAYLOR, J. T. WRENN, and K. M. YAMADA: Microfilaments in cellular and developmental processes. Contractile microfilament machinery of many cell types is reversibly inhibited by cytochalasin B. *Science* 171 (1971), 135–143.

Filmveröffentlichungen

- [15] KIEMAYER, O., W. G. URL und H.-K. GALLE (IWF): Protoplasmaströmung. Film C 1295 des IWF, Göttingen 1979. Publikation von O. KIEMAYER und W. G. URL, *Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 13, Nr. 4/C 1295* (1980), 13 S.
- [16] KOOP, H.-U., und INST. WISS. FILM: Entwicklung von *Acetabularia* (Dasycladales). Film C 1298 des IWF, Göttingen 1978. Publikation von H.-U. KOOP, *Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 13, Nr. 31/C 1298* (1980), 23 S.
- [17] KOOP, H.-U., und INST. WISS. FILM: Strukturveränderungen des Primärkerns und Kernteilungen bei *Acetabularia cliftonii*. Film C 1392 des IWF, Göttingen 1981. Publikation von H.-U. KOOP, *Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 15, Nr. 3/C 1392* (1982), 20 S.

Biol. 15/14 – C 1384

- [18] KOOP, H.-U., O. KIERMAYER und INST. WISS. FILM: Wirkung von Cytochalasin B und Anti-Mikrotubuli-Stoffen auf die Plasmaströmung von *Acetabularia mediterranea*. Film C 1385 des IWF, Göttingen 1980. Publikation von H.-U. KOOP, Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 15, Nr. 15/C 1385 (1982), 14 S.

Abbildungsnachweis

Abb. 1–6: Einzelbilder aus dem Film.