

ISSN 0073-8417

# PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

SEKTION

**BIOLOGIE**

SERIE 15 · NUMMER 15 · 1982

FILM C 1385

**Wirkung von Cytochalasin B und  
Anti-Mikrotubuli-Stoffen  
auf die Plasmaströmung 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 1978, 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. KIERMAYER, 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. 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 und O. KIERMAYER, Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 15, Nr. 15/C 1385 (1982), 14 S.

*Anschrift der Verfasser der Publikation:*

Dr. H.-U. KOOP, Max-Planck-Institut für Zellbiologie, Rosenhof, D-6802 Ladenburg.  
Prof. Dr. O. KIERMAYER, 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 KIEMAYER, Salzburg, und INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM, Göttingen:

Film C 1385

**Wirkung von Cytochalasin B und Anti-Mikrotubuli-Stoffen auf die Plasmaströmung von *Acetabularia mediterranea***

Verfasser der Publikation: HANS-ULRICH KOOP und OSWALD KIEMAYER

Mit 4 Abbildungen

*Inhalt des Films:*

**Wirkung von Cytochalasin B und Anti-Mikrotubuli-Stoffen auf die Plasmaströmung von *Acetabularia mediterranea*.**<sup>1</sup> Im Stiel der riesigen Grünalge *Acetabularia mediterranea* findet man zwei verschiedene Systeme von Protoplasmaströmung: „dünne zytoplasmatische Filamente“ und „schnell strömende Plasmabänder“. Die Empfindlichkeit dieser Systeme gegen Cytochalasin B (CB,  $10^{-5}$  mol), Colchicin (Col,  $10^{-2}$  mol), Chlorisopropyl-N-Phenylcarbammat (CIPC,  $2 \cdot 10^{-4}$  mol) und Amiprophosmethyl (APM,  $3 \cdot 10^{-5}$  mol) wurde untersucht. Die Experimente wurden mit vegetativen Zellen (2–3 cm lang, vor der Hutbildung) und Zellen mit maximalem Hut (ca. 6 cm lang, mit wandernden Sekundärkernen) durchgeführt. Unter dem Einfluß von CB kommt es zum Stillstand aller Bewegungen in den Zellen. Col, CIPC und APM hemmen jedoch nur die schnell strömenden Plasmabänder und die Wanderung der Sekundärkerne, während das System der dünnen zytoplasmatischen Filamente unbeeinträchtigt erscheint.

Alle beobachteten Hemmwirkungen erreichten ihre volle Stärke innerhalb von weniger als 10–20 min nach Zugabe der Hemmstoffe. Nach Auswaschung der Hemmstoffe erfolgte in der gleichen Zeit die völlige Erholung der gehemmten Strömungssysteme.

Die Ergebnisse bedeuten, daß Mikrofilamente (Acto-Myosin-System) an beiden Strömungssystemen in *Acetabularia* beteiligt sein dürften, während schnell strömende Plasmabänder und damit auch die Wanderung der Sekundärkerne zusätzlich auf der Funktion von Mikrotubuli zu beruhen scheinen.

*Summary of the Film:*

**Effects of Cytochalasin B and Mikrotubule Inhibitors on Protoplasmatic Streaming in *Acetabularia mediterranea*.** Two different systems of protoplasmatic streaming are found in the stalk of the giant green alga *Acetabularia mediterranea*: “thin cytoplasmatic filaments” and “headed streaming bands”.

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

The sensitivity of these systems to cytochalasin B (CB,  $10^{-5}$  mol), colchicine (Col,  $10^{-2}$  mol), chlorisopropyl-N-phenylcarbamate (CIPC,  $2 \cdot 10^{-4}$  mol), and amiprophosmethyl (APM,  $3 \cdot 10^{-5}$  mol) has been studied. Vegetative cells before cap formation, 2–3 cm in length, and cells with a maximum sized cap, containing secondary nuclei, were used for the experiments. All intracellular movements ceased under the influence of CB, while in contrast to headed streaming bands and to the migration of secondary nuclei, the movement of chloroplasts at thin cytoplasmic filaments was found to be insensitive to Col, CIPC, and APM. All inhibitory effects were fully established within less than 10–20 min after the addition of the inhibitors. Full recovery of the streaming systems was found within the same time period after the removal of the drugs.

The results suggest an involvement of microfilaments (actomyosin-system) in all intracellular movements in *Acetabularia*, while, in addition, microtubules seem to be involved in headed streaming bands, including the migration of secondary nuclei.

#### Résumé du Film:

**Effets de la Cytochalasin B et des substances «antimicrotubulaires» sur les courants cytoplasmiques d'*Acetabularia mediterranea*.** Les courants cytoplasmiques chez l'algue unicellulaire géante *Acetabularia mediterranea* sont organisés en deux ensembles: un réseau des filaments cytoplasmiques et des filets rapides à «tête mobile».

La sensibilité de ces deux systèmes à la cytochalasine B (CB,  $10^{-5}$  mol), colchicine (Col,  $10^{-2}$  mol), au chlorisopropyl-N-phenylcarbamate (CIPC,  $2 \cdot 10^{-4}$  mol) et à l'amiprophosmethyl (APM,  $3 \cdot 10^{-5}$  mol) a été étudiée. Des cellules végétatives de 2 à 3 cm de long, sans chapeau reproducteur ont été traitées ainsi que des cellules ayant un chapeau reproducteur à sa taille maximum et contenant des noyaux secondaires.

La cytochalasine B inhibe tous les mouvements cytoplasmiques. Le colchicine, le CIPC et l'APM n'ont pas d'effets sur les déplacements du réseau de filaments; par contre, ils agissent sur les filets rapides et la migration des noyaux secondaires. Dans tous les cas, les inhibitions apparaissent après 10 à 20 minutes et sont réversibles dans des temps comparables.

Ces résultats suggèrent que l'hydrodynamique cytoplasmiques chez *Acetabularia* repose sur un système de microfilaments du type actomyosine. En outre des microtubules doivent jouer un rôle au niveau des filets rapides, en particulier lors de la migration des noyaux secondaires.

## Allgemeine Vorbemerkungen

### Strömungstypen

Klassische Untersuchungen über die Protoplasmaströmung beschäftigten sich vor allem mit der Charakterisierung der in den verschiedenen Organismen auftretenden Strömungstypen (KAMIYA [10], vergl. auch KIERMAYER et al. [22]).

### Mikrofilamente

Vor allem am Beispiel des Schleimpilzes *Physarum polycephalum* konnte dann gezeigt werden, daß wie für die Muskelkontraktion ein Actomyosin-System die molekulare Grundlage auch für Plasmaströmung darstellt (Review: BRITZ [3]). Seither konzentriert sich die Forschung auf dem Gebiet der Plasmaströmung auf die Untersuchung von Acto-Myosin-Systemen in anderen Nicht-Muskelzellen. Das Actin

liegt dabei in der Form von „Mikrofilamenten“ vor (Review: WAGNER [20]), wogegen über die strukturelle Organisation des Myosins bisher wenig bekannt ist. Mikrofilamente werden nicht nur im Zusammenhang mit Plasmaströmung, sondern auch mit vielen anderen Bewegungsphänomenen in tierischen und pflanzlichen Zellen diskutiert.

Als wichtiges Instrument zur Untersuchung verschiedener Bewegungen erwies sich der Hemmstoff Cytochalasin B (CARTER [5], WESSELS et al. [21]). Die Hemmbarkeit einer Bewegung durch Cytochalasin weist auf die Abhängigkeit der Bewegung von der Funktion von Mikrofilamenten hin.

### Mikrotubuli

Eine Reihe von intrazellulären Bewegungen, wie die Bewegung der Chromosomen in der Mitosespindel, die Bewegung von Pigmentgranula in Fisch-Chromatophoren (SCHLIWA und BEREITER-HAHN [19], BYERS und PORTER [4]), die Kern- und Chloroplasten-Migration bei Algen (MEINDL und KIERMAYER [16]), sowie viele „saltatorische Bewegungen“ (REBHUN [18]) hängen von der Funktion von Mikrotubuli ab (Review: FILNER und YADAV [7]). Mikrotubuli werden hierbei sowohl als mechanomotorische Ursache für Bewegungen als auch als lediglich deren mechanische Leitstruktur („Schiene“) diskutiert.

Als Instrument zur Untersuchung der Abhängigkeit zellulärer Bewegungen von Mikrotubuli dienen verschiedene Hemmstoffe (Reviews: DUSTIN [6], BORGERS und de BRABANDER [1]) wie Colchicin, CIPC, APM und Vinblastin (MEINDL und KIERMAYER [16]).



Abb. 1. Zellen von *Acetabularia mediterranea* in natürlicher Größe. Vegetative Zellen (Abb. 1a) und Zellen mit maximalem Hut (Abb. 1b) wurden für die vorliegenden Experimente verwendet

### Protoplasmaströmung in *Acetabularia*

Die ersten Untersuchungen zur Protoplasmaströmung in *Acetabularia* stammen von N. KAMIYA (KAMIYA [10], KAMIYA und KURODA [11]). Der in *Acetabularia* gefundene Strömungstyp, als „multistriate streaming“ bezeichnet (KAMIYA [10]), zeichnet sich dadurch aus, daß Plasmaströmung in vielen Bahnen und gegensätzlichen Richtungen gleichzeitig gefunden wird.

Nachdem der Nachweis von Mikrofilamenten als molekulare Ursache für Bewegung in anderen grünen Pflanzenzellen erbracht war (NAGAI und REBHUN [17]), konzentrieren sich die Untersuchungen an *Acetabularia* darauf, durch die Anwendung von

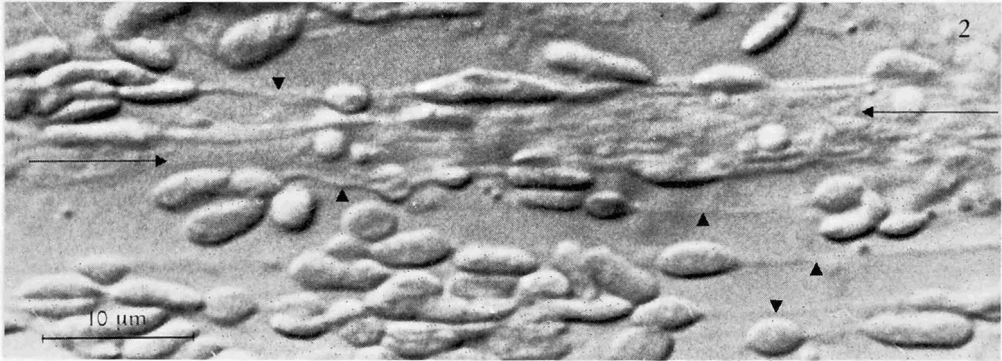


Abb. 2. Wandständiger Cytoplasmabelag einer vegetativen Zelle von *Acetabularia mediterranea*.

Beide Protoplasmaströmungssysteme sind erkennbar. System I (cytoplasmatische Filamente) ist durch ▲ gekennzeichnet, System II (schnell strömende Plasmabänder) trägt die Markierung → ←

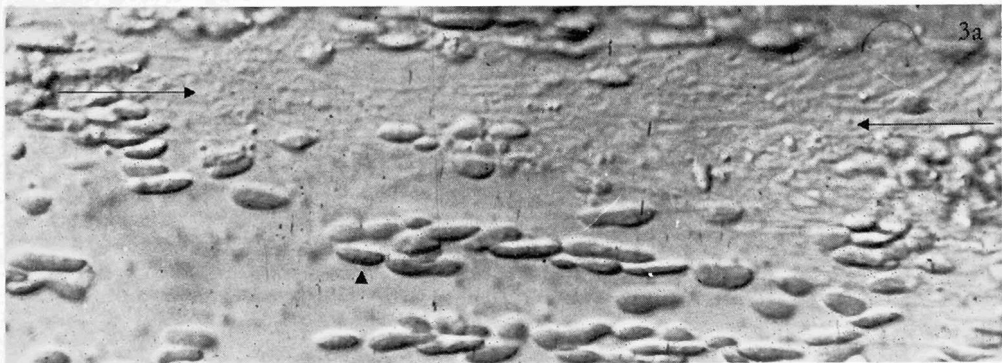


Abb. 3a, b. Wandständiger Cytoplasmabelag einer vegetativen Zelle von *Acetabularia mediterranea* nach Einwirkung von  $10^{-2}$  mol Colchicin für einige Minuten. Während System I (▲) ungehindert bleibt, ist in System II (→ ←) keine Bewegung mehr festzustellen. Zeitabstand zwischen den Aufnahmen: 25 Sekunden

Originalaufnahmen aus dem Film

Cytochalasin B, die Bedeutung von Mikrofilamenten für die Plasmaströmung auch in *Acetabularia* zu demonstrieren (HERTH et al. [8], BRACHET und TENCER [2]). Während Strömung in *Acetabularia* immer als ein einheitliches System betrachtet wurde, wissen wir heute (HEUNERT [9], KOOP und KIERMAYER [14], [15], KOOP, KIERMAYER und INST. WISS. FILM [25]), daß mindestens zwei unterschiedliche Systeme vorliegen (Abb. 2, 3) (eine Übersicht über den derzeitigen Kenntnisstand sowie die Literatur zur Protoplasmaströmung in *Acetabularia* findet sich bei KOOP [13]). Die Systeme – System I: dünne zytoplasmatische Filamente, System II: schnell strömende Plasmabänder – unterscheiden sich in ihrer Morphologie, im Zeitpunkt des Auftretens während der Zelldifferenzierung (zum Entwicklungsgang von *Acetabularia* siehe KOOP [12], KOOP und INST. WISS. FILM [23], [24]), in der Art der bewegten Partikel und in der Bewegungsgeschwindigkeit. Im System I finden wir den Transport von Chloroplasten mit etwa 1–2  $\mu\text{m/s}$  und über Entfernungen von etwa 100  $\mu\text{m}$ . System II besteht aus breiten Plasmabändern, welche 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 generative Kerne („Sekundärkerne“). Die gemessenen Geschwindigkeiten liegen zwischen 3 und 11  $\mu\text{m/s}$ .

#### Zielsetzung des vorliegenden Forschungsfilms

Durch Einsatz verschiedener Hemmstoffe sollte die Beteiligung von Mikrofilamenten und Mikrotubuli an den intrazellulären Transportsystemen in *Acetabularia* untersucht werden.

Da die generativen Kerne als gut erkennbare Marker für die schnell strömenden Plasmabänder (System II) dienen können, wurden die Untersuchungen sowohl an etwa 3 cm großen vegetativen Zellen (Abb. 1a) als auch an Zellen mit ausgewachsenem Hut, welche Sekundärkerne enthalten (Abb. 1b), durchgeführt. Für die Hemmstoffe sollten Konzentrationen ermittelt werden, bei denen die volle Wirkung innerhalb weniger als 10 Minuten eintritt. Nach Entfernung der Hemmstoffe sollte die Reversibilität der Hemmwirkung untersucht werden.

#### Ergebnisse

##### Cytochalasin B (CB, $10^{-5}$ mol)

In vegetativen Zellen kommt es innerhalb von 2 Minuten nach Zugabe von CB zu einem Stillstand der schnell strömenden Plasmabänder. Chloroplastenbewegung an dünnen zytoplasmatischen Filamenten kommt etwa eine Minute später zum Erliegen. Nach dem Auswaschen des Hemmstoffes finden sich zunächst wieder Bewegungen im System II und dann im System I. Die Erholung ist nach etwa 4 Minuten vollständig. Die Wanderung der Sekundärkerne ist ebenfalls durch CB reversibel hemmbar. Damit scheinen Mikrofilamente an beiden Systemen intrazellulärer Bewegungen in *Acetabularia* beteiligt zu sein.

Colchicin (Col,  $10^{-2}$  mol), Chlorisopropyl-N-Phenylcarbamat (CIPC,  $2 \cdot 10^{-4}$  mol), Amiprophosmethyl (APM,  $3 \cdot 10^{-5}$  mol)

Alle untersuchten Mikrotubulihemmstoffe führen zu einer reversiblen Hemmung der schnell strömenden Plasmabänder sowie der Sekundärwanderung (System II), während die langsame Bewegung von Chloroplasten an dünnen zytoplasmatischen Filamenten (System I) unbeeinflusst blieb (Abb. 4). Im einzelnen traten folgende Zeiten für die volle Wirkung und die vollständige Erholung auf: Col (1 Minute bzw. 2–4 Minuten), CIPC (2 Minuten bzw. 2 Minuten) und APM (12–17 Minuten bzw. 9–12 Minuten).

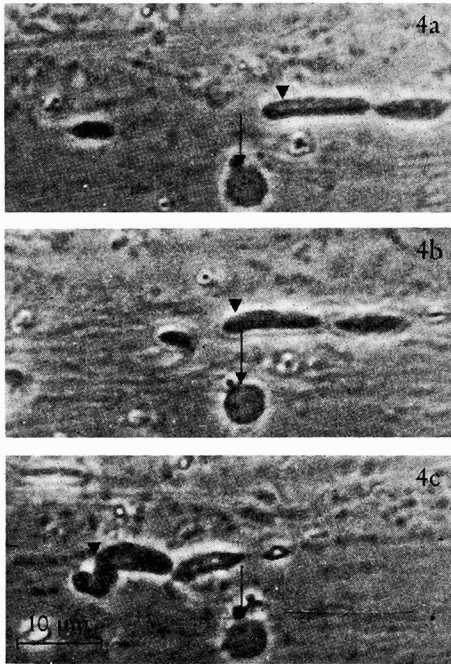


Abb. 4. Wandständiger Cytoplasmabelag einer Zelle von *Acetabularia mediterranea* mit maximalem Hut einige Minuten nach Zugabe von  $10^{-2}$  mol Colchicin zum Nährmedium. Während die Bewegung der Chloroplasten ungehindert weiterläuft (System I, —), ist der Transport eines Sekundärkernes (System II, —) vollständig zum Erliegen gekommen.

Zeitabstand zwischen den Aufnahmen 4a und 4c: 25 Sekunden

Damit scheinen am Protoplasmaströmungssystem II von *Acetabularia* neben Mikrofilamenten auch Mikrotubuli beteiligt zu sein. Da in der Regel Protoplasmaströmung nur im Zusammenhang mit Mikrofilamenten verstanden wird, muß dies als besondere Situation verstanden werden. Für die Beteiligung von sowohl Mikrofilamenten als auch Mikrotubuli an der Protoplastenströmung von *Acetabularia* ließen sich inzwischen weitere Indizien finden (Koop [13]).

### Erläuterungen zum Film

#### Wortlaut des gesprochenen Kommentars<sup>1</sup>

*Acetabularia mediterranea* ist eine ca. 6 cm große Grünalge, deren zylindrischer Stiel apikal einen Hut trägt. Im folgenden wird die Protoplasmaströmung im Mittelabschnitt des Stiels von ausgewachsenen Zellen mit Hut und an jungen vegetativen Zellen untersucht.

<sup>1</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.



Rechts das Rhizoid, mit dem die Zelle am Substrat festhaftet. Der zylindrische Stiel hat einen dünnen Wandbelag, in dem das Cytoplasma strömt. Die jungen untersuchten Zellen sind 3 cm lang und haben an der Spitze eine Folge von Haarwirteln.

Die Protoplasmaströmung der vegetativen Zelle enthält zwei Komponenten: langsame Bewegung der Chloroplasten an dünnen Cytoplasmafäden und schnell strömende Plasmabänder.

Auch während der Wanderung der Fortpflanzungskerne – in der ausgewachsenen Zelle – finden sich beide Komponenten der Plasmaströmung wieder. Die Kerne werden durch die schnellströmenden Plasmabänder bewegt und überholen dabei die gleichzeitig mitgeführten Chloroplasten.

*Cytochalasin B (CB)  $10^{-5}$  mol*

*Zeitraffung 1:6*

Die Protoplasmaströmung einer vegetativen Zelle vor Zugabe des Hemmstoffes. Die Geschwindigkeiten der beiden Komponenten sind unbeeinflusst.

15 Sekunden nach Einwirkung von Cytochalasin B kommt es rasch zu einer Hemmung der schnell strömenden Plasmabänder. Cytochalasin B beeinflusst die Mikrofilamente des Protoplasmas.

Etwas später kommt auch die langsamere Chloroplastenbewegung zum Erliegen. – Die verbleibenden Pendelbewegungen der Chloroplasten ähneln einer Agitationsbewegung.

Nach Auswaschen von Cytochalasin B beginnen sich zuerst die schnellströmenden Plasmabänder zu organisieren.

Nach etwa 4,5 Minuten haben beide Komponenten der Protoplasmaströmung wieder ihre normale Geschwindigkeit erreicht.

In ausgewachsenen Zellen werden die Fortpflanzungskerne auf den schnell strömenden Plasmabändern mitgeführt. Dabei überholen sie Chloroplasten, die ebenfalls auf den Bändern transportiert werden.

Cytochalasin B hemmt auch die Kernmigration.

Schließlich werden alle Bewegungsvorgänge mehr oder weniger unterbunden.

Nach Auswaschen von Cytochalasin B setzt die Kernmigration wieder ein.

Die Querverbindungen zwischen den cytoplasmatischen Fäden sind in dieser Phasenkontrastaufnahme gut zu erkennen.

Jetzt haben die Kerne ihre ursprüngliche Geschwindigkeit wieder erreicht.

*Colchicin (Col)  $10^{-2}$  mol*

*Zeitraffung 1:6*

Die unbehandelte, junge Zelle mit den schnell laufenden Plasmabändern und der langsamen Chloroplastenbewegung.

Eine Minute nach Zugabe von Colchicin ist das Plasmaband fädig aufgelöst und zum Stillstand gekommen. Die langsame Chloroplastenbewegung läuft ungehindert weiter. Colchicin beeinträchtigt die Funktion der Mikrotubuli.

Nach Auswaschen setzt die schnelle Strömung erneut ein.

Nach 7 Minuten haben die Plasmabänder ihre Ausgangsgeschwindigkeit erreicht.

Die Kontrolle eines Experiments an einer ausgewachsenen Zelle. Es soll die Wanderung einer Gruppe von 3 Kernen untersucht werden.

Unmittelbar nach Zugabe von Colchicin ist die Kerngruppe zunächst noch in Bewegung. Die Kerne lösen sich voneinander und stellen ihre Wanderung ein. Die Kernmigration scheint in gleicher Weise von Mikrotubuli abhängig wie die Bewegung der Plasmabänder.

Nach Entfernung des Colchicins wird die Kernwanderung der Dreiergruppe unverzüglich in entgegengesetzter Richtung aufgenommen.

*Chlorisopropyl-N-phenylcarbamate (CIPC)*  $2 \times 10^{-4}$  mol

Zeitraffung 1 : 6

Die Kontrolle für ein Experiment mit CIPC an einer jungen Zelle. Diese Substanz beeinflusst ebenfalls die Mikrotubuli.

Das schnell strömende Plasmaband stellt ähnlich wie bei Colchicin seine Bewegung ein. Die langsamere Chloroplastenbewegung läuft unbeeinflusst weiter.

Auch bei CIPC ist die Wirkung auf die Plasmabänder reversibel.

Einige Minuten später entspricht das Bild wieder vollständig der Kontrolle.

Im folgenden wird geprüft, wie CIPC auf die Wanderung der Sekundärkerne wirkt.

2 Minuten nach Zugabe des Hemmstoffes wandern die Kerne deutlich langsamer und stellen schließlich ihre Bewegung ein. Die Wirkung des CIPC entspricht der des Colchicins.

Nach Entfernung des CIPC wandern die Kerne in der ursprünglichen Richtung weiter.

Kurz darauf haben die Kerne wieder die Geschwindigkeit der unbehandelten Kontrolle erreicht.

*Amiprophosphomethyl (APM)*  $3 \times 10^{-5}$  mol

Zeitraffung 1 : 6

Hier die Kontrolle mit den beiden Komponenten der Protoplasmaströmung in einer jungen Zelle. Amiprophosphomethyl ist eine weitere Substanz, die die Mikrotubuli beeinflusst.

Nach einigen Minuten Einwirkungszeit zeigt sich dieselbe Reaktion wie nach Colchicin und CIPC.

Die still stehenden Plasmabänder sind an den großen Inhaltskörpern zu erkennen. Die Chloroplastenbewegung auf den Plasmafäden bleibt auch nach langer Einwirkungszeit des Mikrotubuli-Hemmstoffes unbeeinflusst.

Reorganisation der schnell strömenden Plasmabänder.

Die Ausgangsgeschwindigkeit ist erreicht.

Kontrolle für den Versuch in einer ausgewachsenen Zelle mit wandernden Kernen. Auch nach Zugabe von APM verlangsamt sich die Kernmigration; die Chloroplastenbewegung behält ihre Geschwindigkeit bei.

Die Kernwanderung hört schließlich ganz auf. Unter dem Einfluß von APM kann das Cytoplasma verklumpen.

Die Kernwanderung hört schließlich ganz auf. Unter dem Einfluß von APM kann das Cytoplasma verklumpen.

Selbst in diesem Zustand ist noch Chloroplastenbewegung – am oberen Bildrand – zu beobachten.

Nach Entfernung des Giftes nimmt das Plasma eine blasige Struktur an. Die Kernwanderung wird langsam wieder aufgenommen.

Die fädige Struktur des strömenden Plasmas wird in zunehmendem Maße reorganisiert.

Am Ende des Versuchs ist wiederum Kernwanderung an schnell strömenden Plasmafäden und langsamere Chloroplastenbewegung an dünnen Cytoplasmafäden zu erkennen.

### English Version of the Spoken Commentary<sup>1</sup>

*Acetabularia mediterranea* is a unicellular 6 cm long green alga, with a cylindrical stalk and an apical reproductive cap. The protoplasmic streaming in the central section of the stalk will be investigated in mature specimens with a cap and in young vegetative cells.

A rhizoid is visible on the right hand side. The cylindrical stalk is covered on the inside with a very thin layer of cytoplasm, showing active protoplasmic streaming.

The young cells under investigation are 3 cm long and have several whorls of hairs at their apices.

Protoplasmic streaming of the vegetative cell consists of two different components: slow movement of chloroplasts on thin cytoplasmic filaments, and faster streaming cytoplasmic bands.

A similar situation is found in the fully developed cell. Chloroplast movements on thin filaments and streaming bands are present. In addition, generative nuclei and some of the chloroplasts are transported by the streaming bands. The velocity of the nuclei is higher than that of the chloroplasts.

*Cytochalasin B (CB) 10<sup>-5</sup> mol*

*Zeitraffung 1:6*

(Cytochalasin B (CB) 10<sup>-5</sup> mol;

time lapse 1:6)

Protoplasmic streaming in a vegetative cell prior to the addition of the inhibiting agent. Both components reveal normal velocities.

15 seconds after the addition of cytochalasin B, the movement of streaming bands is strongly inhibited. Cytochalasin affects cytoplasmic microfilaments.

A little later, the slower chloroplast-movement also stops. Some shuttle movements reminiscent of agitation remain visible for a while.

The first change to be seen after removal of the agent is a reinstatement of the faster moving cytoplasmic bands.

4 1/2 minutes after recovery, both of the components reveal normal speeds again.

Protoplasmic streaming in a fully developed cell prior to the addition of cytochalasin B. Note the faster nuclei, overtaking chloroplasts while moving along streaming cytoplasmic bands.

Nuclear migration is also inhibited by cytochalasin B.

Finally all movements have come to an arrest.

<sup>1</sup> The headlines in *italics* correspond with the subtitles in the film.

*Biol. 15/15 – C 1385*

After removal of cytochalasin B, nuclear migration starts again.  
The meshwork of cytoplasmic filaments is reinstated as this phase contrast image clearly shows.

The nuclei have regained their normal velocity.

*Colchicin (Col)  $10^{-2}$  mol*

*Zeitraffung 1:6*

(Colchicine (Col)  $10^{-2}$  mol;  
time lapse 1:6)

An untreated vegetative cell displaying both types of intracellular movements. One minute after the addition of colchicine, the cytoplasmic band is arrested and only some fibrillar remainders of it are still visible. Slower chloroplast movement is not inhibited. Colchicine interferes with the function of microtubules.

After removal of the drug, the faster movements reappear.

After 7 minutes, the cytoplasmic bands have regained their velocities.

An untreated, fully developed cell. The migration of a group of 3 nuclei is analysed.

Directly after the addition of colchicine, the nuclei are still migrating. They become separated, and finally stop moving. Like the fast movement of cytoplasmic bands, nuclear migration seems to depend on the function of microtubules.

Nuclear migration is taken up again, retrogressively after the removal of the agent.

*Chlorisopropyl-N-phenylcarbamate (CIPC)  $2 \times 10^{-4}$  mol*

*Zeitraffung 1:6*

(Chlorisopropyl-N-phenylcarbamate (CIPC)  $2 \times 10^{-4}$  mol;  
time lapse 1:6)

A vegetative cell, prior to the treatment with CIPC. This substance is also known to affect microtubules.

As already observed in a colchicine-treated cell, faster cytoplasmic bands come to an arrest, while slower chloroplast movements along thin filaments continue.

Removal of the agent demonstrates the fast reversibility of the inhibition by CIPC.

A few minutes later, streaming is again as in an untreated cell.

The following sequences will show whether nuclear migration is influenced by CIPC.

Two minutes after the addition of the inhibiting agent, nuclear movement slows down, and finally it is completely, arrested. CIPC exhibits the same effect on nuclear migration as colchicine.

Removal of CIPC leads to reappearance of nuclear movement in the original direction.

A few minutes later the same velocities as in untreated cells are found.

*Amiprophosmethyle (APM)  $3 \times 10^{-5}$  mol*

*Zeitraffung 1:6*

(Amiprophosmethyle (APM)  $3 \times 10^{-5}$  mol;  
time lapse 1:6)

A vegetative cell prior to the treatment with amiprophosmethyl, another agent which influences microtubules. Both components of protoplasmic streaming are visible.

Several minutes after the addition of APM, we find the same reaction as with colchicine and CIPC.

Arrested cytoplasmic bands can be recognised by their content of big granules. Slow movements of chloroplasts along thin cytoplasmic filaments are found even after prolonged treatment with the inhibitor.

Faster moving bands are reinstated after removal of the inhibitor.

The initial velocity is reached again.

An untreated cell with nuclear migration.

After the addition of the inhibitor, nuclear migration slows down, while the movement of chloroplasts continues.

Contraction of the cytoplasm in some regions leads to a severe distortion of the arrangement of cytoplasmic components.

But still, chloroplast movement – visible at the upper margin of the image – is going on, whereas nuclear migration has completely stopped.

After removing the inhibitor, the cytoplasm attains a “foamy” appearance. Nuclear migration slowly reappears.

The longitudinal arrangement of cytoplasmic striations is progressively organised again.

Finally, fast migration of nuclei along cytoplasmic bands and slower movements of chloroplasts along thin cytoplasmic filaments again become visible.

#### Literatur

- [1] BORGERS, M., and M. de BRABANDER (eds.): Microtubules and microtubule inhibitors. North Holland, Elsevier, Amsterdam: 1975.
- [2] BRACHET, J., und 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.
- [3] BRITZ, S.-J.: Cytoplasmic streaming in *Physarum*. In: *Encyclopedia of plant physiology, New Series Vol. 7 (1979)*, 127–149 (W. HAUPT, M. E. FEINLEIB, eds.), Berlin – Heidelberg – New York.
- [4] BYERS, H. R., and K. R. PORTER: Transformations in the structure of the cytoplasmic ground substance in erythrocytes during pigment aggregation and dispersion. *J. Cell. Biol.* 75 (1977), 541–558.
- [5] CARTER, S. B.: Effects of Cytochalasin in mammalian cells. *Nature* 213 (1967), 261–264.
- [6] DUSTIN, P.: Microtubules. Berlin – Heidelberg – New York 1978.
- [7] FILNER, P., and N. S. YADAV: Role of microtubules in intracellular movements. In: *Encyclopedia of plant physiology, New Series Vol. 7 (1979)*, 95–113 (W. HAUPT, M. E. FEINLEIB, eds.), Berlin – Heidelberg – New York.
- [8] HERTH, W., W. W. FRANKE, and W. VANDERWOUDE: Cytochalasin stops tip growth in plants. *Naturwissenschaften* 59 (1972), 38–39.
- [9] HEUNERT, H.-H.: Beobachtungen über die Plasmaströmung der Grünalge *Acetabularia*. *Protoplasma* 93 (1978), 477–479.
- [10] KAMIYA, N.: Protoplasmic streaming. In: *Protoplasmatologia VIII/3a* (L. V. HEILBRUNN, F. WEBER eds.), Wien 1959.

- [11] KAMIYA, N., and K. KURODA: Some observations of protoplasmic streaming in *Acetabularia*. *Bot. Mag. Tokyo* **79** (1966), 706–713.
- [12] 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.
- [13] KOOP, H.-U.: Protoplasmic streaming in *Acetabularia*. *Protoplasma* **109** (1981), 143–158.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] MEINDL, U., and O. KIEMAYER: Biologischer Test zur Bestimmung der Antimikrotubuli-Wirkung verschiedener Stoffe mit Hilfe der Grünalge *Micrasterias denticulata*. *Mikroskopie* (Wien) **38** (1981), 325–336.
- [17] NAGAI, R., and L. J. REBHUN: Cytoplasmic microfilaments in streaming *Nitella* cells. *J. Ultrastr. Res.* **14**, 571–589.
- [18] REBHUN, L. J.: Polarized intracellular particle transport: Saltatory movements and cytoplasmic streaming. *Int. Rev. Cytol.* **32** (1972), 93–137.
- [19] SCHLIWA, M., and J. BEREITER-HAHN: Pigment movements in fish melanophores: morphological and physiological studies. II Cell shape and microtubules. *Z. Zellforsch.* **147** (1973), 107–125.
- [20] WAGNER, G.: Actomyosin as a basic mechanism of movement in animals and plants. In: *Encyclopedia of plant physiology, New Series, Vol 7* (1979), 114–126 (W. HAUPT, M. E. FEINLEIB, eds.), Berlin – Heidelberg – New York.
- [21] WESSELS, N. K., B. A. SPOONER, J. F. ASH, M. O. BRADLEY, M. H. 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**

- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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, *Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 15, Nr. 14/C 1384* (1982), 15 S.

#### **Abbildungsnachweis**

Abb. 1: Foto S. BERGER; Abb. 2–4: Einzelbilder aus dem Film.