

ISSN 0073-8417

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

SEKTION

BIOLOGIE

SERIE 13 · NUMMER 4 · 1980

FILM C 1295

Protoplasmaströmung



INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM · GÖTTINGEN

Angaben zum Film:

Tonfilm (Komm., deutsch od. engl.), 16 mm, farbig, 99 m, 9 min (24 B/s). Hergestellt 1977/78, veröffentlicht 1979.

Der Film ist für die Verwendung im Hochschulunterricht bestimmt.

Veröffentlichung aus dem Botanischen Institut der Universität Salzburg, Prof. Dr. O. KIERMAYER, dem Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Prof. Dr. W. G. URL, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dr. H.-K. Galle; Kamera und Schnitt: Dr. h. c. H.-H. HEUNERT.

Zitierform:

KIERMAYER, O., W. G. URL und H.-K. GALLE (IWF): Protoplasmaströmung. Film C 1295 des IWF, Göttingen 1979. Publikation von O. KIERMAYER und W. G. URL, Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 13, Nr. 4/C 1295 (1980), 13 S.

Anschrift der Verfasser der Publikation:

Prof. Dr. O. KIERMAYER, Botanisches Institut der Universität Salzburg, Lehrkanzel II, Lasserstr. 39, A-5020 Salzburg.

Prof. Dr. W. G. URL, Pflanzenphysiologisches Institut der Universität Wien, Dr.-Karl-Lueger-Ring 1, A-1010 Wien I.

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) 21034

FILME FÜR FORSCHUNG UND HOCHSCHULUNTERRICHT

OSWALD KIEMAYER, Salzburg, WALTER G. URL, Wien, und HANS-KARL GALLE (IWF), Göttingen:

Film C 1295

Protoplasmaströmung

Verfasser der Publikation: OSWALD KIEMAYER, WALTER G. URL

Mit 1 Abbildung

Inhalt des Films:

Protoplasmaströmung. Der für den botanischen Unterricht konzipierte Film zeigt die verschiedenen Typen der Protoplasmaströmung, z. B. Turbulenzströmung, Zirkulationsströmung, Rotationsströmung mit ihren Varianten der Schienenströmung, Mantelströmung und Springbrunnenströmung sowie der Pendelströmung. Die Aufnahmen wurden an den für die Protoplasmaströmung klassischen Objekten (z. B. *Allium cepa*, *Elodea canadensis*, *Nitella flexilis* u. a.), die auch für das botanische und zellbiologische Praktikum leicht verfügbar sind, hergestellt.

Summary of the Film:

Protoplasmic Streaming. This film conceived for botanical instruction shows the various types of protoplasmic streaming, in part turbulence streaming, circulation streaming, rotation streaming with their variations track streaming, mantle streaming and fountain streaming. The pictures were shot on the traditional objects for protoplasmic streaming (e. g. *Allium cepa*, *Elodea canadensis*, *Nitella flexilis* etc.), which are also easily available for botanical and cell biological practical work.

Résumé du Film:

Courant protoplasmatique. Le film, conçu pour l'enseignement botanique, montre les différents types de courant plasmatique, par exemple courant de turbulence, courant de circulation, courant de rotation avec ses variantes que sont le courant en voies parallèles, le courant enveloppant et le courant en jet d'eau, ainsi que le courant pendulaire. Les prises de vues ont été réalisées sur les objets classiques qui illustrent le courant plasmatique (par ex. *Allium cepa*, *Elodea canadensis*, *Nitella flexilis* et autres) qu'il est facile de se procurer pour les travaux pratiques de botanique et de biologie cellulaire.

Allgemeine Vorbemerkungen

Die Protoplasmaströmung, kurz auch „Plasmaströmung“ genannt, ist eine Grundeigenschaft des lebenden Protoplasmas (KAMIYA [7], [8]). Bei vielen Zellen ist diese Strömung besonders dann sehr deutlich zu erkennen, wenn kleine Zellinhaltskörper oder größere Organellen wie Zellkern oder Plastiden vom strömenden Plasma mitbewegt werden. In vielen Fällen scheint das Protoplasma in pflanzlichen Zellen nicht zu strömen. Meist ist die Bewegung des Protoplasmas hier aber nur so langsam, daß sie nicht beobachtet werden kann und sich erst der Zeitraffung erschließt. Oft kann Plasmaströmung in völlig unbehandelten Zellen beobachtet werden, wobei von „spontaner Strömung“ gesprochen wird. In anderen Fällen wird eine deutliche Plasmaströmung erst durch chemische oder physikalische Einwirkungen ausgelöst, wobei dann von „induzierter Plasmaströmung“ gesprochen wird (BIEBL u. GERM [3]). Nach FITTING wird die Auslösung einer Protoplasmaströmung als „Dinese“ bezeichnet. Je nach erfolgter Reizeinwirkung spricht man von „Traumatodinese“, z. B. durch Wundreiz (Abschneiden und Zerschneiden der Blätter) oder von „Photodinese“ bei starker Belichtung. „Chemodinesen“ können z. B. durch Aminosäuren (Histidin) oder andere Stoffe (menschlichen Speichel, Neutralrot, Schwefelsäure u. a.) bewirkt werden. Auf die molekularen Grundlagen der Protoplasmaströmung soll hier nicht eingegangen, sondern auf die entsprechende Literatur (ALLEN [1], [2]; HAUPT [5]; JAHN et al. [6]; KAMIYA [7], [8]; NAGAI et al. [9]) hingewiesen werden.

Ziel des vorliegenden Films ist es, für den Unterricht, in Vorlesung und Praktikum die Plasmaströmung bei den dafür bekanntesten und am häufigsten untersuchten Objekten zu zeigen. Es eignen sich dazu vor allem die bekannten Innenepidermiszellen der Küchenzwiebel (*Allium cepa*) sowie verschiedene großzellige Wasser- und Sumpfpflanzen (*Elodea*, *Vallisneria*, *Nitella*, *Chara*, *Limnobia* u. a.). Fast alle im Film dargestellten Pflanzen sind in jedem Labor leicht verfügbar, so daß vor allem für das botanische und zellbiologische Praktikum der Film auch als Praktikumseinführung verwendet werden kann.

Besondere Bedeutung wurde bei vorliegendem Film den Strömungstypen gewidmet, auf die nachfolgend näher eingegangen werden soll (vgl. BIEBL et al. [3], HAUPT [5], KAMIYA [8]).

Beschreibung der Strömungstypen

1. Turbulenzströmung (Agitation oder Glitschbewegung). Es handelt sich um eine noch wenig geordnete Strömung, bei der sich kleine Plasmaströmchen ungerichtet über kurze Strecken hin bewegen. (Abb. 1a). Beispiel dafür sind Innenepidermiszellen von *Allium cepa*.

2. Zirkulationsströmung. Bei diesem Strömungstyp bewegt sich nicht das gesamte Protoplasma in einer einheitlichen Richtung, sondern es sind viele lokale Ströme festzustellen, die, oft nahe beisammenliegend, gegensätzliche Strömungsrichtungen aufweisen. Oft durchziehen feine Fäden oder Stränge den Zellsaftraum (Abb. 1b). Beispiele dafür sind die Innenepidermiszellen von *Allium cepa* sowie Staubfadenhaare von *Tradescantia albiflora*.

3. Rotationsströmung. Hier strömt das gesamte Protoplasma in einem gleichförmigen Strom entlang der Zellwand (Abb. 1c), wobei Zellinhaltskörper und Organellen (Chloroplasten und Zellkern) mitbewegt werden. Bei Blattzellen von *Elodea canadensis* (FORDE et al. [4]) werden die Chloroplasten mitbewegt, der Zellkern

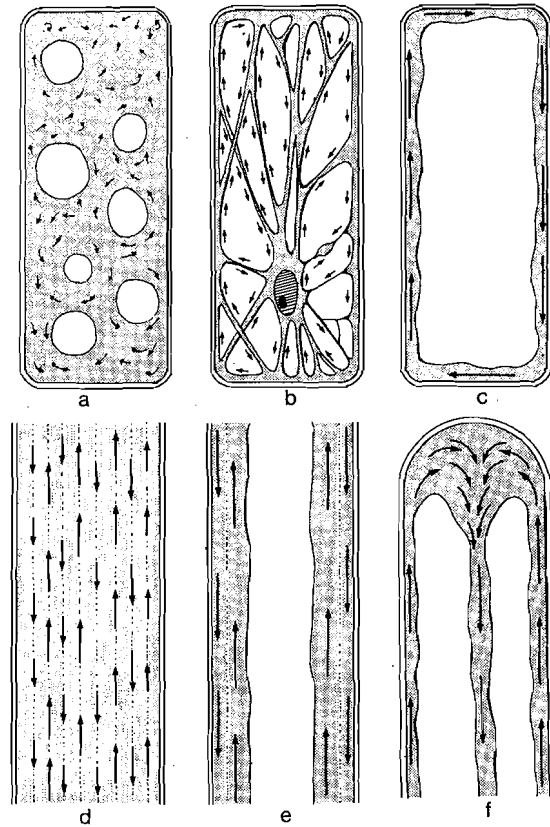


Abb. 1. Typen der Plasmaströmung in schematisch dargestellten Zellen (a–c) bzw. Zellabschnitten (d–f). a: Turbulenzströmung, b: Zirkulation, c: Rotation, d: Schienenströmung, e: Mantelströmung, f: Springbrunnenströmung

verharrt dagegen in Ruhe. Anders verhalten sich Blattzellen von *Vallisneria spiralis*, wo neben den Chloroplasten auch der Zellkern mit der Strömung mitgeführt wird. In beiden Fällen handelt es sich um eine induzierte Strömung. Wieder anders verhält sich das Protoplasma bei Internodialzellen von *Nitella flexilis*. Die hier spontane Rotationsströmung ist auf eine innere dünnflüssige Plasmaschicht begrenzt, während das wandständige Hyaloplasma, in dem die Chloroplasten eingelagert sind, keine Strömung zeigt.

Bei *Nitella* (ALLEN [1], NAGAI et al. [9]) zeigt sich dort, wo der absteigende Strom an dem aufsteigenden Strom vorbeigleitet, ein chloroplastenfreier Streifen, der sog. Indifferenzstreifen.

Varianten der Rotationsströmung

Bei einigen Strömungstypen, die sich von der Rotationsströmung ableiten lassen, findet die Strömung in fest vorgegebenen Strömungsbahnen statt.

a) Schienenströmung (Multi-striate-streaming)

Im Stiel von *Acetabularia*, aber auch z. B. bei verschiedenen Desmidiaceen (*Closterium lunula*), finden sich eng aneinanderliegende Strömungsbahnen; die Richtung der Strömung in jeder Bahn ist entsprechend einer Rotationsströmung genau festgelegt (Abb. 1d).

b. Mantelströmung (Sleeve-type-streaming)

In den Hyphen, z. B. von *Phycomyces*, findet sich ein ebenfalls von der Rotationsströmung abgeleiteter Strömungstyp. Bei diesem Typ strömt das zentrale Protoplasma spitzenwärts, während eine dünne periphere Plasmaschicht basalwärts strömt (Abb. 1e).

c. Springbrunnenströmung (Fountain-streaming)

Dieser Strömungstyp findet sich z. B. in Wurzelhaaren von Wasserpflanzen (*Limnobium*) oder in wachsenden Pollenschläuchen. Ähnlich der Mantelströmung kann ein peripherer und ein zentraler Strom unterschieden werden. Allerdings strömt hier das periphere Protoplasma spitzenwärts und vereinigt sich zu einem dicken, die Vakuole durchziehenden zentralen Strang, der sich basalwärts bewegt (Abb. 1f).

4. Pendelströmung (Shuttle-streaming)

Dieser Strömungstyp (vgl. RHEA [10]), der sich in Plasmodien von Schleimpilzen (z. B. *Physarum polycephalum*) findet, unterscheidet sich deutlich von allen anderen Typen der Plasmaströmung durch die hier wesentlich höhere Strömungsgeschwindigkeit. Auch das Zustandekommen dieser Strömung in den Plasmakanälen des Plasmodiums ist unterschiedlich (RHEA [10]).

Typisch für diesen Strömungstyp ist es, daß sich die Richtung der Strömung entsprechend einem rhythmischen Muster ändert, d. h. hin- und zurück-, „pendelt“. Meist geht diese Strömung mit einer amöboiden Bewegung des Plasmodiums vor sich.

Erläuterungen zum Film

Wortlaut des gesprochenen Kommentars¹

1. *Allium cepa*: Übersichtsaufnahme der Innenepidermis.

Bewegung ist eine Grundeigenschaft des lebenden Protoplasmas.

Die bei Pflanzenzellen auftretenden Plasmaströmungen erkennt man an mitgeführten Partikeln schon bei schwacher Vergrößerung.

Die Strömungen lassen sich in verschiedene Typen untergliedern.

Objektfeldbreite 765 µm; Dunkelfeld; Aufn.-Freq. 24 B/s

¹ Die eingerückten Abschnitte in Kleindruck geben zusätzliche Informationen.

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

Turbulenzströmung (Agitation)

Brownsche Bewegung

Allium cepa

2. *Allium cepa*: Innenepidermiszelle. An einzelnen Zellinhaltskörpern ist die Turbulenzströmung (kurze Strömchen in unterschiedlicher Richtung) deutlich erkennbar. Im Vergleich dazu Brownsche Bewegung.

Die einfachste Form der Plasmaströmung ist die Turbulenz, auch Agitation oder Glitschbewegung genannt.

Das Protoplasma strömt hier weitgehend ungerichtet über kurze Strecken, nicht zu verwechseln mit der Brownschen Bewegung von Partikeln im ruhenden Protoplasma. Hier noch einmal die Turbulenzströmung.

Objektfeldbreite 80 µm; Phasenkontrast (Phako); Aufn.-Freq. 10 B/s

Zirkulationsströmung (Circulation)

Allium cepa, Tradescantia albiflora

3. *Allium cepa*: Innenepidermiszelle bei starker Vergrößerung; in Bildmitte liegt der Zellkern; strömende Plasmastränge durchziehen die Zelle.

Bei der Zirkulation, hier in Zellen von *Allium cepa*, fließt das Protoplasma in Strängen, wobei die Strömungsrichtung unterschiedlich ist.

Häufig findet man gegenläufige Strömungen in einem Strang.

Der Zellkern im Zentrum dieser Plasmastränge wird nicht mitbewegt.

Objektfeldbreite 120 µm; Phako; Aufn.-Freq. 24 B/s

4. *Tradescantia albiflora*: Staubfadenhaar; mehrere Zellen mit deutlich strömenden Plasmasträngen.

In den Staubfadenhaaren von *Tradescantia* läßt sich die Zirkulation an den Protoplasmasträngen, die durch den Zellsaftraum ziehen, gut beobachten.

Objektfeldbreite 155 µm; Interferenzkontrast (Inko); Aufn.-Freq. 24 B/s

5. *Tradescantia albiflora*: Staubfadenhaar; Zellausschnitt bei stärkerer Vergrößerung mit peripherem Protoplasma. Die Plasmastränge zeigen deutliche Zirkulationsströmung.

Deutliche Zirkulation zeigen auch die Strömungsbahnen im protoplasmatischen Wandbelag dieser Zellen.

Objektfeldbreite 155 µm; Phako; Aufn.-Freq. 24 B/s

6. *Tradescantia albiflora*: Staubfadenhaar; Zelle bei starker Vergrößerung, deutliche Zirkulationsströmung im plasmatischen Wandbelag; Elemente des endoplasmatischen Reticulums (netzförmige Gebilde) sind erkennbar.

Bei stärkerer Vergrößerung erkennt man, daß diese Strömungsbahnen plasmatischen Strängen entsprechen.

In ihnen werden die Inhaltskörper des Protoplasmas mitgeführt.

Die hellen schlauchförmigen Gebilde sind Elemente des endoplasmatischen Retikulums.

Objektfeldbreite 96 µm; Phako; Aufn.-Freq. 8 B/s

Rotationsströmung (Rotation)

Elodea canadensis, *Valisneria spiralis*, *Nitella flexilis*

7. *Elodea canadensis*: Übersichtsaufnahme eines Blättchens, Chloroplasten, die von der Plasmaströmung mitbewegt werden, sind erkennbar.

Zellen von *Elodea* zeigen Rotationsströmung.

Objektfeldbreite 295 µm; Hellfeld; Aufn.-Freq. 12 B/s

8. *Elodea canadensis*: Zellen der Mittelrippe eines Blättchens bei stärkerer Vergrößerung.

Hier strömt das Protoplasma einer Zelle nur in einer Richtung, wobei die Chloroplasten mitbewegt werden.

Objektfeldbreite 100 µm; Hellfeld; Aufn.-Freq. 24 B/s

9. *Elodea canadensis*: Blättchen, einige Zellen bei starker Vergrößerung; der Zellkern wird von der Strömung nicht mitbewegt (z. B. Zelle links unten).

Bei *Elodea* verbleiben die Kerne meist am Ort, ohne von der starken Strömung des Plasmas erfaßt zu werden.

Objektfeldbreite 120 µm; Hellfeld; Aufn.-Freq. 12 B/s

10. *Valisneria spiralis*: Flächenschnitt eines Blättchens; einige Zellen bei schwächerer Vergrößerung; Chloroplasten und Zellkern (meist umgeben von Chloroplasten) werden von der Strömung mitgeführt.

Typisch für die Rotationsströmung von *Valisneria* ist der Transport der Kerne mit der Strömung.

Sie sind häufig von zahlreichen Chloroplasten umgeben.

Objektfeldbreite 200 µm; Inko; Aufn.-Freq. 24 B/s

11. *Valisneria spiralis*: Flächenschnitt eines Blättchens; einige Zellen bei stärkerer Vergrößerung; in der oberen Zelle ist die Bewegung des Zellkerns deutlich erkennbar.

In diesem dünnen plasmatischen Wandbelag passen sich die mitgeführten Kerne in ihrer Form den Konturen der Zellwand an.

Objektfeldbreite 96 µm; Hellfeld; Aufn.-Freq. 24 B/s

12. *Nitella flexilis*: Zwei Internodien (Übersichtsaufnahme). Die Rotationsströmung ist in beiden Zellen deutlich erkennbar.

Auch die großen, mehrkernigen Zellen von *Nitella* weisen Rotationsströmung auf.

Objektfeldbreite 385 µm; Inko; Aufn.-Freq. 24 B/s

13. *Nitella flexilis*: Ausschnitt aus einem Internodium bei schwächerer Vergrößerung. Beim Durchfokussieren werden der obere Wandbelag mit Chloroplasten und Indifferenzstreifen, das strömende Protoplasma, der Vakuolenraum mit mitbewegten Inhaltskörpern sowie der untere Wandbelag deutlich sichtbar.

Die Chloroplasten liegen hier in einer äußeren, unbewegten Plasmaschicht. Die chloroplastenfreie Zone, der Indifferenzstreifen, kennzeichnet die Grenze zwischen auf- und abwärtsströmendem Plasma.

Das strömende Protoplasma setzt den Zellsaft mit seinen Inhaltskörpern in Bewegung. Beim Fokussieren durch die Zelle erscheint der untere Wandbelag mit Chloroplasten und Indifferenzstreifen.

Objektfeldbreite 245 µm; Inko; Aufn.-Freq. 24 B/s

14. *Nitella flexilis*: Ausschnitt aus einem Internodium bei starker Vergrößerung. Wandbelag mit chloroplastenfreier Stelle, durch die die darunterliegende strömende Plasmaschicht, in der sich Zellkerne mitbewegen, erkennbar ist.

An chloroplastenfreien Stellen im Wandbelag ist die Zonierung des Plasmas in die ruhige cortikale und die strömende innere Schicht gut zu beobachten.

Objektfeldbreite 160 µm; Inko; Aufn.-Freq. 24 B/s

Varianten der Rotationsströmung

Schienenströmung (Multi-striate-streaming)

Acetabularia mediterranea, Closterium lunula

15. *Acetabularia mediterranea*: Ausschnitt aus dem Stiel der Zelle; oberer Wandbelag. Die Strömungsbahnen sind deutlich erkennbar.

Eine Variante der Rotationsströmung ist die Schienenströmung, hier bei *Acetabularia*.

Objektfeldbreite 195 µm; Inko; Aufn.-Freq. 8 B/s

16. *Acetabularia mediterranea*: Ausschnitt aus dem Stiel der Zelle im Stadium vor der Hutbildung; oberer Wandbelag bei starker Vergrößerung. Strömungsbahnen mit Chloroplasten und Lipidkörpern sind deutlich sichtbar.

Das Protoplasma strömt in unterschiedlicher Geschwindigkeit in vielen schmalen Bahnen, wobei Chloroplasten und Lipidkörper mitbewegt werden.

Objektfeldbreite 80,5 µm; Inko; Aufn.-Freq. 8 B/s

17. *Acetabularia mediterranea*: Ausschnitt aus dem Stiel der Zelle im Stadium nach der Hutbildung (Sekundärkernwanderung). Der von links nach rechts wesentlich schneller als Plasma und Chloroplasten durchwandernde Zellkern ist deutlich sichtbar.

Auffallend ist die schnellere Bewegung der Sekundärkerne in offenbar speziellen Strömungsbahnen.

Objektfeldbreite 65 μm ; Phako; Aufn.-Freq. 24 B/s

18. *Closterium lunula*: Ausschnitt aus der Zellmitte; das im Wandbelag in einzelnen Bahnen strömende Protoplasma ist deutlich sichtbar.

Typische Schienenströmung zeigt auch das Protoplasma von *Closterium lunula*.

Objektfeldbreite 96 μm ; Hellfeld; Aufn.-Freq. 24 B/s

Mantelströmung (Sleeve-type-streaming)

Phycomyces blackesleeenanus

19. *Phycomyces blackesleeenanus*: Hyphe; ein zentraler von rechts nach links sich bewegend Strom ist von einem wandständigen, von links nach rechts sich bewegend Strom deutlich zu unterscheiden.

Eine andere Variante der Rotation ist die Mantelströmung.

In Hyphen von *Phycomyces* strömt das innere Plasma spitzenwärts, eine dünne, wandständige Schicht dagegen basalwärts.

Objektfeldbreite 490 μm ; Hellfeld; Aufn.-Freq. 8 B/s

Springbrunnenströmung (Fountain-streaming)

Limnobium stoloniferum

20. *Limnobium stoloniferum*: Wurzelhaar.

Auch die Springbrunnenströmung ist ein Rotationstyp.

Das Protoplasma, hier in Wurzelhaaren von *Limnobium*, bewegt sich als relativ dünner Wandbelag spitzenwärts und kehrt als dicker zentraler Strom zurück.

Objektfeldbreite 200 μm ; Inko; Aufn.-Freq. 24 B/s

Pendelströmung (Shuttle-streaming)

Physarum polycephalum

21. *Physarum polycephalum*: Plasmodium; Übersichtsaufnahme mit Strängen, in denen das schnell strömende Protoplasma deutlich erkennbar ist.

Ein spezieller Typ der Plasmaströmung findet sich in den Strängen der Plasmodien von Schleimpilzen.

Hier strömt das dünnflüssige Protoplasma im Inneren der Stränge abwechselnd in verschiedenen Richtungen.

Vor der Strömungsumkehr verlangsamt sich die Geschwindigkeit des Protoplasmas, bis es zum völligen Stillstand kommt. Dann beginnt es zunehmend schneller in die entgegengesetzte Richtung zu fließen.

Objektfeldbreite 1,3 mm; Hellfeld; Aufn.-Freq. 8 B/s

22. *Physarum polycephalum*: Plasmodium mit Strängen bei stärkerer Vergrößerung.

Dieser Strömungstyp heißt Pendelströmung. Sie unterscheidet sich von allen anderen Plasmaströmungen durch ihre hohe Geschwindigkeit und durch die große Menge fließenden Protoplasmas.

Objektfeldbreite 600 µm; Hellfeld; Aufn.-Freq. 8 B/s

English Version of the Spoken Commentary¹

Movement is a basic characteristic of living protoplasm. Protoplasmic streaming in plant cells can be identified by its transport of particles, even at low magnification. Streaming can be subdivided into different types.

Turbulenzströmung (Agitation)

Brownsche Bewegung

Allium cepa

The simplest form of protoplasmic streaming is turbulent motion, also called agitation or "Glitschbewegung".

Here, the protoplasm streams in a largely indeterminate manner over short distances. This should not be confused with Brownian movement of particles in stationary protoplasm.

Here again, turbulent motion.

Zirkulationsströmung (Circulation)

Allium cepa, Tradescantia albiflora

With circulation, here in *Allium cepa* cells, protoplasm flows in strands in which the direction of streaming varies.

Frequently, one can see streaming in opposite directions in the same strand.

The nucleus, in the center of these plasma strands, is not moved along by the streaming.

In the stamen hairs of *Tradescantia*, circulation is clearly visible in the protoplasmic strands which pass through the cell sap.

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

Distinct circulation is also seen in the streaming parts of the protoplasm which coats the cell walls.

At higher magnifications, it is evident that these streams represent protoplasmic strands.

In them, the protoplasmic inclusions are carried along.

The bright, tubular structures are elements of the endoplasmic reticulum.

Rotationsströmung (Rotation)

Elodea canadensis, Vallisneria spiralis, Nitella flexilis

Elodea cells show rotation or rotational streaming.

Here the protoplasm of a cell streams in one direction only, wherein the chloroplasts are moved.

In *Elodea*, the nucleus usually remains in place and is not moved by the strong plasma streaming.

Typical of the rotational streaming of *Vallisneria* is the transport of the nuclei by the streaming.

They are frequently surrounded by numerous chloroplasts.

In this thin layer of protoplasm covering the cell wall, the shape of the nucleus conforms to that of the cell wall contour.

The large, multinucleate cells of *Nitella* also demonstrate rotational streaming. Here, the chloroplasts lie in the outer, non-moving protoplasmic layer.

The chloroplast-free zone, the indifferent line designates the boundary between opposing streams of protoplasm.

The streaming protoplasm sets the cell sap with its inclusions in motion.

By focusing through the cell, the lower wall protoplasm with its chloroplasts and the indifferent line appear.

In chloroplast-free areas of this protoplasm, the delineation of the protoplasm into the non-moving cortical and the streaming inner layer can be readily observed.

Varianten der Rotationsströmung

Schienenströmung (Multi-striate-streaming)

Acetabularia mediterranea, Closterium lunula

A variation of rotational streaming is streaming along linear tracks here in *Acetabularia*.

The protoplasm streams with differing speeds in many narrow pathways, through which the chloroplasts and lipid bodies are transported.

Striking is the faster movement of the secondary nucleus, apparently in a special pathway.

Such streaming is also shown in *Closterium lunula* protoplasm.

Mantelströmung (Sleeve-type-streaming)
Phycomyces blackesleeanus

Another variation of rotation is mantle streaming.
 In *Phycomyces* hyphae, the inner protoplasm streams towards the tip, while the thin, wall-adjacent protoplasm streams basally.

Springbrunnenströmung (Fountain streaming)
Limnobium stoloniferum

Fountain streaming is also a rotation-type.
 The protoplasm, here in *Limnobium* root hairs, moves towards the tip – along the relatively thinner wall protoplasm, and returns in the thick central stream.

Pendelströmung (Shuttle-streaming)
Physarum polycephalum

A special type of protoplasmic streaming is found in the protoplasmic strands of slime molds.
 Here, the watery protoplasm within the strands alternately streams in directly opposite directions.
 Before reversing directions, streaming slows until it comes to a complete halt. Then it begins to flow with increasing rapidity in the opposite direction.
 This type of streaming is called shuttle streaming. Its rapidity and the large quantity of flowing protoplasm distinguish it from all other types of protoplasmic streaming.

Literatur

- [1] ALLEN, R. D.: Endoplasmic filaments generate the motive force for rotational streaming in *Nitella*. *J. Cell Biol.* **63** (1974), 270–287.
- [2] ALLEN, R. D., und N. KAMIYA (Hrsg.): *Primitive Motile Systems in Cell Biology*. Academic Press, New York 1964.
- [3] BIEBL, R., und H. GERM: *Praktikum der Pflanzenanatomie*. Wien–New York 1967.
- [4] FORDE, J., and M. W. STEER: Cytoplasmic streaming in *Elodea*. *Can. J. Bot.* **54** (1976), 2688–2694.
- [5] HAUPT, W.: *Bewegungsphysiologie der Pflanzen*. Stuttgart 1977.
- [6] JAHN, T. L., und E. C. BOVEE: Protoplasmic movements within cells. *Physiol. Rev.* **49** (1969), 793–862.
- [7] KAMIYA, N.: Protoplasmic streaming. *Protoplasmatologia* **VII** (1959), 1–199.
- [8] KAMIYA, N.: Protoplasmic streaming; in: *Handbuch der Pflanzenphysiologie* **XVII/2** (1962), 979–1035.
- [9] NAGAI, R., and L. REBHUN: I. Cytoplasmic microfilaments in streaming *Nitella* cells. *J. Ultrastr. Res.* **14** (1966), 571–589.
- [10] RHEA, R. P.: Microcinematographic, electron microscopic and electrophysiological studies on shuttle streaming in the slime mold *Physarum polycephalum*. In: *Dynamics of fluids and plasmas* (PAI, S. I., ed.) S. 35–58, New York–London: Academic Press.

Abbildungsnachweis

Abb. 1: Aus KAMIYA [8].