

# ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

---

*E 1035/1966*

## **Chromatium okenii (Thiorhodaceae)** **Geißelbewegung**

Mit 1 Abbildung

GÖTTINGEN 1968

---

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Der Film ist ein Forschungsdokument und wurde zur Auswertung in  
Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht.  
Stummfilm, schwarzweiß, 64 m, 6 min (Vorführgeschw. 24 B/s)

#### **Inhalt des Films**

Der Film zeigt die Geißelbewegung von *Chromatium okenii*. Die unterschiedliche Wirkungsweise der Geißel als Zug- oder Schubgeißel wird in Zeitdehnung dargestellt. Es wird sichtbar, daß der Schwingungsraum der Geißel bei Schubwirkung wesentlich enger ist als bei Zugwirkung.

Der Film wurde im Jahre 1965 vom Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. WOLF), aufgenommen, Sachbearbeitung: Dr. K.-H. HÖFLING; Aufnahme: H. D. KUSMIERZ. Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. N. PFENNIG, Institut für Mikrobiologie der Universität Göttingen (Direktor: Prof. Dr. H. G. SCHLEGEL).

Abgedruckt in Publ. Wiss. Film., Bd. 2A, H. 3

## Chromatium okenii (Thiorhodaceae)

### Geißelbewegung

N. PFENNIG, Göttingen

### Allgemeine Vorbemerkungen

#### Systematische Stellung, Vorkommen in der Natur und allgemeine Merkmale von *Chromatium okenii*

Chromatien und Thiospirillen sind die Prototypen der roten Schwefelbakterien (Thiorhodaceae, van NIEL [11]), einer physiologisch-ökologischen Gruppe von streng anaeroben, photosynthetisch lebenden Mikroorganismen. In der Natur kommen die Thiorhodaceae im lichtoffenen oder mit Wasserpflanzen überdeckten schwefelwasserstoffhaltigen Wasser und Schlamm aller Gewässerarten vor. Sie bilden gelegentlich mit bloßem Auge sichtbare Massenanhäufungen in Form von rosa- oder purpurroten Überzügen auf faulenden Pflanzenresten oder eine das Wasser purpurrot färbende Wasserblüte.

Die Kohlensäure-Assimilation der photosynthetischen Bakterien verläuft im Gegensatz zu den grünen Pflanzen ohne Sauerstoffbildung und nur unter anaeroben Verhältnissen. Darüber hinaus ist die bakterielle Photosynthese der Thiorhodaceae von der Gegenwart reduzierter Schwefelverbindungen, wie Schwefelwasserstoff, Thiosulfat oder elementarem Schwefel, abhängig. Bei der Reduktion der Kohlensäure zu Zellsubstanz werden die reduzierten Schwefelverbindungen im Lichte zu Sulfat oxydiert (van NIEL, [10]). Als Zwischenprodukt tritt dabei elementarer Schwefel in Tröpfchenform in den Zellen gespeichert auf.

*Chromatium okenii* PERTY wurde zusammen mit *Thiospirillum jenense* WINOGRADSKY von EHRENBERG [5] entdeckt und zu Ehren von LORENZ OKEN als *Monas okenii* beschrieben. Die Einzelzellen sind 5 bis 6,5  $\mu$  dick und 8 bis 15  $\mu$  lang (WINOGRADSKY [19]). Der Zellkörper ist stäbchen- bis tonnenförmig, manchmal schwach gekrümmt bis nierenförmig; er trägt an einem Ende einen langen, starren Geißelschopf (in gestrecktem Zustand 20 bis 30  $\mu$ m lang), der aus bis zu 40 Einzelgeißeln besteht

(BUDER [2]), aber als Einheit wirkt. Die schraubenförmig gewundene Geißel von *Chromatium okenii* ist ebenso wie die kurze Geißel von *Thiospirillum jenense* im Lichtmikroskop gut sichtbar und wurde deshalb auch schon von BUDER [2] und METZNER [9] als ein Schulbeispiel für die von BÜTSCHLI [1] aufgestellte Theorie der Geißelbewegung ausführlich beschrieben. In schwefelwasserstoffhaltigen Medien sind die Zellen von *Chromatium okenii* gleichmäßig mit stark lichtbrechenden Schwefeltröpfchen angefüllt.

Die klassischen Untersuchungen an *Chromatium okenii* wurden an Zellen angestellt, die vom natürlichen Standort entnommen waren. Die Lebensbedingungen von *Chromatium okenii* sind ebenso wie von *Thiospirillum jenense* erst vor einigen Jahren aufgeklärt worden (SCHLEGEL u. PFENNIG [17], PFENNIG [12], [13], [14]). Deshalb ist es heute möglich, diese Organismen in synthetischer Nährlösung in Reinkultur im Laboratorium zu kultivieren. Vitamin B<sub>12</sub> wurde als notwendiger Wachstumsfaktor erkannt.

#### Assimilationspigmente

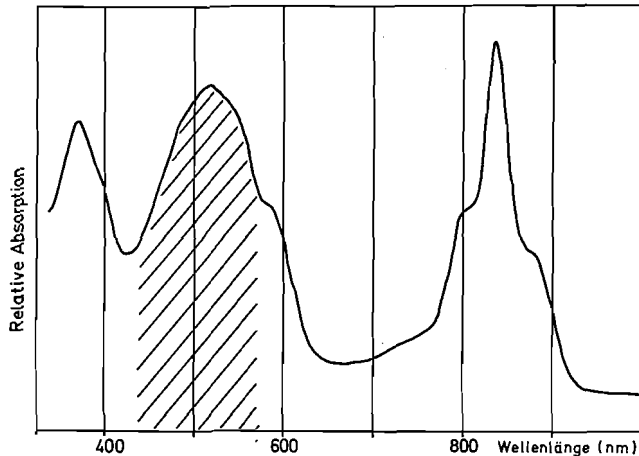
*Chromatium okenii* enthält ebenso wie die übrigen roten Schwefelbakterien Bakteriochlorophyll a und Carotinoide (Okenon) als Assimilationspigmente (JENSEN et al. [8], SCHMIDT [18]). Die kräftig purpurrote Eigenfarbe der Zellen ist durch das Hauptcarotinoid Okenon bedingt, das die blaugrüne Chlorophyllfärbung ganz überdeckt. An einer spektralen Absorptionskurve lebender Zellen von *Chromatium okenii* sind die Absorptionsmaxima des Bakteriochlorophylls a (375, 590 und 800 bis 890 nm) und des Okenons (520 nm) gut zu erkennen (vgl. Abb.).

#### Phobische Phototaxis

Sowohl die von Bakteriochlorophyll a als auch von den Carotinoiden absorbierte Strahlung sind photosynthetisch und phototaktisch wirksam. Ein eigenartiger Mechanismus, auf eine Herabsetzung der Lichtintensität mit einer Schlagumkehr der Geißel und damit mit einer Bewegungsumkehr der Zelle zu reagieren, führt die planlos umher schwimmenden Zellen immer wieder in das Licht zurück. Diese phobophototaktische Reaktionsweise ist seit ihrer Entdeckung durch ENGELMANN [6], [7] auch als „Schreckreaktion“ bekannt und an verschiedenen photosynthetischen Bakterien mehrfach untersucht worden (BUDER [2], METZNER [9]; SCHLEGEL [16], CLAYTON [4]).

Da nur diejenige Strahlung physiologisch wirksam ist, die von den Assimilationspigmenten absorbiert wird, bedeuten alle nicht absorbierten Spektralbereiche „Dunkelheit“ für die Zellen. Das Absorptionsspektrum der lebenden Zellen (Abb.) stellt also zugleich ein Wirkungsspektrum der Photosynthese und Phototaxis dar (CLAYTON [4]). ENGEL-

MANN hatte dies bereits 1883 [6] an seinem *Bacterium photometricum* entdeckt: Bestrahlte er eine Suspension von beweglichen Zellen dieses Organismus mit einem Spektrum, so sammelten sich die Zellen phobophototaktisch in denjenigen Spektralbereichen an, die dem Absorptionsspektrum der Zellen entsprachen.



Spektrale Absorptionskurve lebender Zellen von *Chromatium okenii*, gemessen in gesättigter Rohrzuckerlösung. Das Absorptionsmaximum über der schraffierten Fläche ist durch das Carotinoid Okenon bedingt, alle übrigen Absorptionsmaxima und die Schulter bei 590nm gehören zu Bakteriochlorophyll a

Die roten Schwefelbakterien reagieren aber nicht nur auf Lichtreize durch eine phobische Reaktion, sondern zeigen auch eine negative Aerotaxis an der Diffusionsgrenze der Luft im Kulturmedium und eine positive oder negative Chemotaxis. CLAYTON [4] hat unsere Kenntnisse über die Taxien der photosynthetischen Bakterien zusammenfassend dargestellt.

#### Geißelbewegung und Zellbewegung bei *Chromatium okenii*

Anknüpfend an die Beobachtungen von BUDER [2] hat METZNER [9] die Geißelbewegung von *Chromatium okenii*, auch an Hand von Modellen genauer untersucht und beschrieben. Die Geißel von *Chromatium okenii* ist in der Ruhelage eine starre, rechtsläufige Schraube mit 1 bis  $1\frac{1}{2}$  Windungen. Rotiert die rechtsläufige Geißelschraube von rechts nach links, so wirkt sie als Schubgeißel und treibt den sich von links nach rechts drehenden Zellkörper vorwärts. Der Schwingungsraum der Geißel ist dabei eng und langgestreckt glockenförmig. Im Dunkelfeld ist die

schwingende Geißel nur als „ein eleganter Lichtschweif zu sehen, der hinter den Bakterien herzieht“ (BUDER [2]). Erhält die Zelle einen Reiz (etwa indem sie in ein dunkleres Lichtfeld schwimmt), so kehrt die Geißel plötzlich ihre Rotationsrichtung um. Dabei wird für einen Augenblick die Geißelspirale sichtbar, wenn nämlich die eine Rotationsrichtung ausklingt und die Bewegung in der neuen Richtung einsetzt. Der Wechsel der Rotationsrichtung des Zellkörpers geht mit der der Geißel — wenn auch gegenläufig — Hand in Hand. Anders als bei *Thiospirillum jenense* bleibt der Schwingungsraum der Geißel von *Chromatium okenii* in der gleichen vom Zellkörper abgewandten Lage erhalten, wenn die Zelle nach der Umkehr der Rotationsrichtung der Geißel mit der Geißel voran (Zuggeißel) in entgegengesetzter Richtung in das hellere Lichtfeld zurückschwimmt. Bei ihrer Funktion als Zuggeißel vor dem Vorderende der Zelle wird die langgestreckte Form des Schwingungsraumes der Geißel ein wenig breiter und offener, und die Zelle schwimmt etwa um die Hälfte langsamer. Im horizontal liegenden mikroskopischen Präparat mit dünner Flüssigkeitsschicht kehrt sich die Rotationsrichtung der Geißel bald wieder — ohne sichtbaren äußeren Reiz — um, so daß METZNER [9] die Vorstellung entwickelte, daß die Funktion der Geißel als Schubgeißel die „normale“ Bewegungsform sei.

#### **Biokonvektion**

Im vertikal gestellten mikroskopischen Präparat mit nicht zu dünner Flüssigkeitsschicht läßt sich beobachten, daß *Chromatium okenii*, ebenso wie *Thiospirillum jenense*, vertikale Schwimmrichtungen bevorzugt einnimmt. Man sieht dann, daß bei Zellen, die von oben nach unten schwimmen, die Geißel als Schubgeißel wirkt, während die Geißel bei den mit geringer Geschwindigkeit von unten nach oben schwimmenden Zellen als Zuggeißel fungiert. Man hätte also dann als „normal“ anzusehen, daß die Zellen von *Chromatium okenii* im freien Wasser überwiegend mit der Geißel nach oben orientiert sind, wobei sich dann die Schubgeißelfunktion bei der Abwärtsbewegung, die Zuggeißelfunktion bei der Aufwärtsbewegung ergibt. Die vorwiegend vertikalen Schwimmbewegungen der Zellen führen in den Kulturgefäßen oder in den „Organismenwolken“ am natürlichen Standort zur Bildung von Biokonvektionsströmungen und -mustern (PLATT [15], PFENNIG [13]). In vertikalen Streifen höherer Zelldichte strömen und schwimmen die Zellen abwärts, in den dazwischen liegenden größeren Bereichen steigen die Zellen aufwärts. Nur unter optimalen Entwicklungsbedingungen bilden sich solche Biokonvektionsmuster aus.

#### **Herkunft des *Chromatium okenii*-Stammes**

Der für die Filmaufnahmen verwendete Stamm von *Chromatium okenii* PERTY wurde 1959 aus einem Teich des Schloßparkes Ostrau

bei Halle isoliert und wird seit 1961 vom Verfasser in Reinkultur in synthetischer Nährlösung gehalten. Eine genaue Beschreibung des Kulturmediums und der Kulturbedingungen ist bei PFENNIG [13], [14] angegeben. Alle im Film gezeigten Vorgänge wurden an Zellen in diesem Kulturmedium mit Phasenkontrastoptik aufgenommen.

## **Filminhalt**

### *Bewegung der Einzelzellen*

*24 und 48 B/s<sup>1</sup>*

1. Es wird zunächst die ungerichtete Bewegung einzelner Zellen gezeigt. Der langgestreckt glockenförmige Schwingungsraum der Geißel ist am Hinterende der Zellen sichtbar: Die Geißel wirkt als Schubgeißel.

2. Wie 1., jedoch sieht man eine einzelne Zelle bei stärkerer Vergrößerung.

### *Vorwärtsbewegung*

#### *Schubwirkung der Geißel*

*600 bis 1000 B/s*

1. Am unteren Rand des Bildes in der Mitte und unten rechts schwimmen zwei Zellen vorwärts, wobei die Geißel als Schubgeißel wirkt. (Eine Zelle in der Bildmitte und eine am unteren Bildrand links schwimmen rückwärts, wobei die Geißel als Zuggeißel wirkt.)

2. Man sieht eine einzelne Zelle in Vorwärtsbewegung von rechts nach links schwimmen.

3. Wie 2., jedoch Bewegung der Zelle von unten nach oben.

### *Rückwärtsbewegung*

#### *Zugwirkung der Geißel*

*400 B/s*

1. Eine Zelle schwimmt von unten nach oben, eine zweite Zelle von oben nach unten; beide Zellen schwimmen mit der Geißel voran. Die Geißel wirkt als Zuggeißel.

### *Enger Schwingungsraum der Geißel bei Schubwirkung*

*48 B/s*

1. Bei einer einzelnen Zelle in Vorwärtsbewegung erkennt man deutlich den engen, schlanken Schwingungsraum.

---

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

## *Weiter Schwingungsraum der Geißel bei Zugwirkung*

48 B/s

1. Bei einer einzelnen Zelle in Rückwärtsbewegung mit Geißel voran, ist der Schwingungsraum der Geißel deutlich breiter und am Vorderende glockenförmig geöffnet.

## *Umkehr des Geißelschlages bei einer festliegenden Zelle*

500 B/s

1. Zunächst schwingt die schraubenförmige Geißel so, als ob eine Wellenbewegung von links nach rechts erfolgt. Nachdem dann die Geißel eine Zeitlang in Ruhestellung stehen blieb, erfolgt die Rotation der Geißel in der entgegengesetzten Richtung. Man beachte, daß nun die Wellenbewegung von rechts nach links zu gehen scheint.

## *Drehbewegung einer festliegenden Zelle*

1000 B/s

1. Der Zellkörper ist am Vorderende etwas eingeklemmt. Die Geißel wirkt als Schubgeißel und führt deshalb zu einer Drehbewegung der Zelle.

### **Literatur (Auswahl)**

- [1] BÜTSCHLI, O.: Protozoa. In: Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreichs, 1, Abt. 2, Leipzig 1889, 857.
- [2] BUDER, J.: Zur Kenntnis des Thiospirillum jenense und seiner Reaktionen auf Lichtreize. Jb. wiss. Bot. 56 (1915), 529—584.
- [3] BUDER, J.: Zur Biologie des Bakteriopurpurins und der Purpurbakterien. Jb. wiss. Bot. 58 (1919), 525—628.
- [4] CLAYTON, R.: Phototaxis of purple bacteria. In: Hb. Pflanzenphysiol. 17, 1. Teil (1957), 371—387.
- [5] EHRENBERG, C. G.: Die Infusionstierchen als vollkommene Organismen. L. Voss, Leipzig 1838.
- [6] ENGELMANN, Th. W.: Bacterium photometricum. Pflügers Arch. 80 (1883), 95—124.
- [7] ENGELMANN, Th. W.: Die Purpurbakterien und ihre Beziehungen zum Licht. Bot. Z. 46 (1888), 661.
- [8] JENSEN, A., O. AASMUNDRUD & K. E. EIMHJELLEN: Chlorophylls of photosynthetic bacteria. Biochim. Biophys. Acta 88 (1964), 466.
- [9] METZNER, P.: Zur Mechanik der Geißelbewegung. Biol. Zbl. 40 (1920), 49—87.
- [10] NIEL, C. B. van: On the morphology and physiology of the purple and green sulphur bacteria. Arch. Mikrobiol. 3 (1931), 1—112.



- [11] NIEL, C. B. van: Thiorhodaceae. In: Bergey's Manual of Determinative Bacteriology. (Hrsg. BREED, R. S., E. G. D. MURRAY & N. R. SMITH.) 7. Aufl. The Williams and Wilkins Co., Baltimore 1957, 38—53.
- [12] PFENNIG, N.: Eine vollsynthetische Nährlösung zur selektiven Anreicherung einiger Schwefelpurpurbakterien. Naturwiss. 48 (1961), 136.
- [13] PFENNIG, N.: Beobachtungen über das Schwärmen von Chromatium okenii. Arch. Mikrobiol. 42 (1962), 90—95.
- [14] PFENNIG, N.: Anreicherungskulturen für rote und grüne Schwefelbakterien. Zbl. Bakt., 1. Abt., Orig. Suppl. 1 (1965), 179—189 und 503—504.
- [15] PLATT, J. R.: Bioconvection patterns in cultures of free swimming organisms. Science 133 (1961), 1766—1767.
- [16] SCHLEGEL, H. G.: Vergleichende Untersuchungen über die Lichtempfindlichkeit einiger Purpurbakterien. Arch. Protistenkde. 101 (1956), 69—97.
- [17] SCHLEGEL, H. G., u. N. PFENNIG: Die Anreicherungskultur einiger Schwefelpurpurbakterien. Arch. Mikrobiol. 38 (1961), 1—39.
- [18] SCHMIDT, K.: Die Carotinoide der Thiorhodaceae. II. Carotinoidzusammensetzung von Thiospirillum jenense Winogradsky und Chromatium okenii Winogradsky. Arch. Mikrobiol. 46 (1963), 127.
- [19] WINOGRADSKY, S. N.: Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Bakterien. A. Felix, Leipzig 1888, 1—120.