

ISSN 0073-8417

# PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

SEKTION

**BIOLOGIE**

SERIE 16 · NUMMER 21 · 1984

FILM C 1466

**Reaktion der Kieselalge *Navicula peregrina*  
auf Belichtung verschiedener Zellabschnitte**



INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM · GÖTTINGEN

*Angaben zum Film:*

Tonfilm (Komm., deutsch oder engl.), 16 mm, farbig, 80 m, 7½ min (24 B/s). Hergestellt 1979-1981, veröffentlicht 1982.

Der Film ist für die Verwendung im Hochschulunterricht bestimmt.

Veröffentlichung aus dem Fachbereich Biologie der Universität Marburg, Dr. K. WENDEROTH, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dr. T. HARD; Kamera: E. POLOCZEK und C. LUDWIG; Schnitt: E. POLOCZEK.

*Zitierform:*

WENDEROTH, K., und INST. WISS. FILM: Reaktion der Kieselalge *Navicula peregrina* auf Belichtung verschiedener Zellabschnitte. Film C 1466 des IWF, Göttingen 1982. Publikation von K. WENDEROTH, Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 16, Nr. 21/C 1466 (1984), 13 S.

*Anschrift des Verfassers der Publikation:*

Dr. K. WENDEROTH, Fachbereich Biologie der Universität Marburg, K.-v.-Frischstraße, D-3550 Marburg/Lahn.

---

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

Sektion BIOLOGIE

Sektion PSYCHOLOGIE · PÄDAGOGIK

Sektion ETHNOLOGIE

Sektion TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN

Sektion MEDIZIN

NATURWISSENSCHAFTEN

Sektion GESCHICHTE · PUBLIZISTIK

Herausgeber: H.-K. GALLE · Schriftleitung: E. BETZ

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. (05 51) 20 22 02

## FILME FÜR FORSCHUNG UND HOCHSCHULUNTERRICHT

KLAUS WENDEROTH, Marburg, und INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM,  
Göttingen:

Film C 1466

### Reaktion der Kieselalge *Navicula peregrina* auf Belichtung verschiedener Zellabschnitte

Verfasser der Publikation: KLAUS WENDEROTH

Mit 3 Abbildungen

#### *Inhalt des Films:*

#### **Reaktion der Kieselalge *Navicula peregrina* auf Belichtung verschiedener Zellabschnitte.**

Die einzellige Kieselalge *Navicula peregrina* ist durch einen Gleitmechanismus beweglich. Die Zellen kehren ohne äußeren Reiz mehr oder weniger regelmäßig um (autonomer Umkehrrhythmus). Jede Bewegungsumkehr ist mit einer physiologischen Umpolarisierung der beiden Zellpole verbunden. Die step-down-Reaktion wird durch eine Beschattung des vorderen Zellpoles (d.h. des Zellpoles, der gerade in Bewegungsrichtung vorn liegt) ausgelöst. Die Bewegungsumkehr erfolgt nach 10 Sekunden. Diese Umkehr kann auch durch die Belichtung des hinteren Zellpoles ausgelöst werden. Wird der vordere Zellpol belichtet, so wird die autonome Umkehr verzögert. Die Zelle kann so durch ein mitgeführtes Lichtfeld „gezogen“ werden. Wird das Lichtfeld in die Zellmitte gesetzt, so ist nur der autonome Umkehrrhythmus wirksam. Bei einer step-down-Reaktion vergleicht die Zelle die Intensitätsunterschiede an den beiden Zellpolen. Eine step-down-Reaktion wird dann ausgelöst, wenn der vordere Zellpol beschattet ist und der hintere mit Licht mittlerer Intensität bestrahlt wird.

#### *Summary of the Film:*

**Reaction of the Diatom *Navicula peregrina* to Illumination of Various Cell Areas.** The unicellular diatom is motile by means of a gliding mechanism. Unstimulated cells move forth and back according to an autonomous rhythm. With every reversal of movement direction there occurs a reversal of physiological polarisation. In a step-down reaction the front pole (i.e. the pole which is just in front of movement direction) is shaded. This induces a reversal of movement direction after 10 seconds. The reversal can also be induced by illumination of the rear pole. Illumination of the front pole, however, extends the time between two returns. In this way it is possible to make the cell follow a light spot. If the centre of the cell is illuminated, then the reaction time is similar to the period of the autonomous reversal rhythm. In a step-down reaction the cell compares the light intensity differences of the two poles. This step-down is induced when the front pole is shaded and the rear pole is illuminated with moderate light.

*Résumé du Film:*

**Réaction de la diatomée *Navicula peregrina* à la illumination des différentes sections de la cellule.** La diatomée unicellulaire *Navicula peregrina* est motile par moyen d'un mécanisme glissant. Un rythme autonome contrôle le renversement plus ou moins régulier par la cellule. Chaque renversement est lié à une inversion des deux pôles qui sont morphologiquement égaux. Dans la step-down réaction le pôle cellulaire avant (c'est à dire, le pôle qui se trouve devant la direction du mouvement) est couvert d'ombre. Après dix secondes un renversement de la direction du mouvement se déclenche. Le renversement peut être induit aussi par l'illumination du pôle arrière. L'illumination du pôle avant retarde le renversement autonome. On peut „tirer“ la cellule à travers un spot. Le rythme autonome est actif seulement dans le cas où on illumine le centre de la cellule. Dans la step-down réaction, la cellule compare les différentes intensités dans les deux pôles. La step-down réaction se déclenche si le pôle cellulaire avant est sombre et le pôle arrière est illuminé par moyen une lumière d'intensité moyenne.

### Allgemeine Vorbemerkungen

Kennzeichnend für ein Lebewesen ist es, Veränderungen in der Umgebung zu registrieren, die empfangenen Signale zu verarbeiten und darauf zu reagieren. Die Reaktionen auf Umweltreize können unterschiedlicher Natur sein. So kann z.B. eine spezifische Bewegungsreaktion erfolgen. Während die höher organisierte Pflanze ortsfest ist und nur mit einzelnen Organen oder Organellen Orientierungsreaktionen durchführen kann, sind viele Fortpflanzungszellen, einzellige Algen, Cyanobakterien und Bakterien zu freien Ortsbewegungen fähig. *Navicula peregrina* ist eine 120 µm lange einzellige Kieselalge (Kl. Bacillariophyceae, Ord. Pennales). Die Bewegung der Zellen erfolgt durch einen Gleitmechanismus. Kieselschalen und Gürtelbänder sind Teile der verkieselten Zellwand (Abb. 1). Median in der Längsachse einer Kieselschale verläuft ein feiner Spalt: die Raphe. Bei der Gleitbewegung wird möglicherweise an dem in Bewegungsrichtung gerade vorn liegenden Endknoten der Raphe Schleim ausgeschieden, der entlang der Raphe geleitet wird. Ob die Ausscheidung und anschließende Hydratisierung des Schleims die Bewegung verursacht oder ob noch andere Mechanismen daran beteiligt sind ist nicht klar (HARPER [3]). Durch den Raphenverlauf in der Längsachse der Zelle kann die Kieselalge nur vor- oder zurücklaufen. Die Zellpole verhalten sich je nach Bewegungsrichtung der Zelle physiologisch unterschiedlich. Bei jeder Bewegungsumkehr erfolgt eine Umpolung. Es ist daher gerechtfertigt, von einem physiologischen Vorderpol bzw. Hinterpol der morphologisch bipolaren Zelle zu sprechen. Vorn und hinten werden also durch die jeweilige Bewegungsrichtung, die die Zelle gerade eingeschlagen hat, definiert.

Weitgehend autonom, also von äußeren Faktoren unabhängig, ist das Bewegungsverhalten der Kieselalgen im Dunkeln oder im homogen ausgeleuchteten Lichtfeld: Die Zellen kehren in bestimmten Zeitabschnitten autonom um. Die Zeit zwischen zwei Umkehrreaktionen (Periodenlänge) beträgt im Durchschnitt 60 s. Es kommen aber auch Periodenlängen zwischen 25 bis 120 s vor. Von den physikalischen Faktoren (Meereszeiten, Salzkonzentration, Schwerkraft, Strahlung), die auf die Zelle in ihrem Lebensraum einwirken, ist Licht für die photoautotrophe Zelle verständlicherweise wichtig. Sieht man von den durch Licht ausgelösten Entwicklungsvorgängen ab, so reagiert die Alge auf Lichteinwirkung entweder durch eine Veränderung der Bewegungsgeschwindigkeit

(Photokinese) oder durch Veränderung der Periodenlänge des Umkehrrhythmus. Zum Licht hin verlängert die Alge die Periodenlänge des Umkehrrhythmus; bewegt sie sich vom Licht weg, so erfolgt eine vorzeitige Umkehr (s. Film C 1496 des IWF [9]). Diese Bewegungsreaktion, die im Bezug zur Lichtquelle steht, wird Phototaxis genannt. Durch

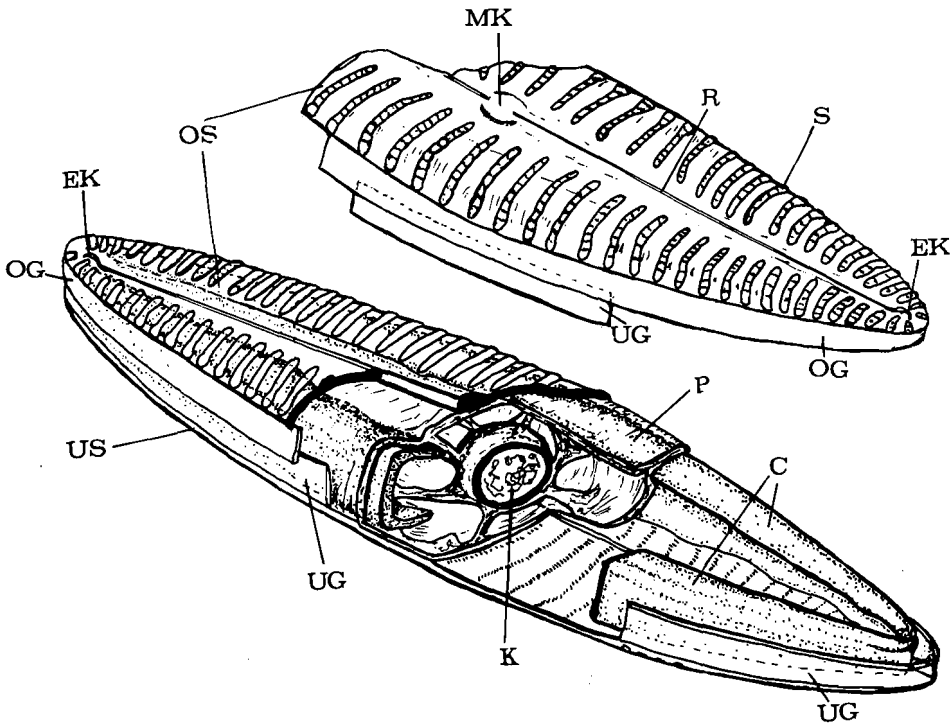


Abb. 1. Schematische Darstellung einer Zelle von *Navicula peregrina*. Teile der oberen Schale und Teile der Gürtelbänder angehoben. Organische Bestandteile der Zellwand sind nicht eingezeichnet. C = Chromatophor, EK = Endknoten der Raphe, K = Kern, MK = Mittelknoten der Raphe, R = Raphe, OG = oberes Gürtelband, OS = Oberschale, P = Cytoplasma, UG = unteres Gürtelband, US = Unterschale

die photophobischen Reaktionen (step-down- und step-up-Reaktion) kann die Kieselalge in einem Lichtareal mittlerer Intensität (200 Lux bis 2000 Lux) verbleiben. Bewegt sich zufällig eine Zelle aus dieser Lichtregion ins Schwachlicht (unter 200 Lux), so kehrt sie 10 s, nachdem die vorderste Zellspitze die Hell-Dunkelgrenze passiert hat, um. Der auslösende Reiz für diese step-down-Reaktion ist also eine zeitliche Intensitätserniedrigung am vorderen Zellpol. Je nach Bewegungsgeschwindigkeit der Zellen ist bei der Umkehr eine unterschiedlich große Fläche des Zellpoles beschattet. Kommt die Zelle aus Schwachlicht in Licht mittlerer Intensität, so erfolgt keine Reaktion. Die Zelle kann also aus dem Schwachlicht in diesen helleren Intensitätsbereich gelangen. Da zu starkes Licht den Photosyntheseapparat schädigen würde, erfolgt beim Übergang vom Licht mittlerer Intensität zu Starklicht (über 2500 Lux) ebenfalls eine Bewegungsumkehr. Diese photophobische Reaktion wird dann step-up-Reaktion genannt (Film C 1388 des IWF [11]).

Der erste Schritt der Reizerkennung ist bei diesen durch Licht induzierten Bewegungen die Absorption des Lichtes durch Photorezeptorpigmente. Diese Photorezeptoren können entweder in bestimmten Organellen der Zelle angeordnet sein, wie z.B. im Parasitkörper von *Euglena* oder in den Plastiden oder aber im Plasmawandbelag. Sie können oft in geringer Konzentration im Organismus vorhanden sein oder durch andere Pigmente verdeckt werden. Aufschluß über die Lage der Photorezeptoren läßt sich durch Beschattung oder Belichtung bestimmter Zellregionen erlangen. Diese Methode wurde zuerst von ENGELMANN ([2]) und später in verfeinerter Form von BUDER ([1]) entwickelt. Partialbeschattungen und Partialbelichtungen an *Navicula peregrina* wurden von WENDEROTH ([7], [8]) und NULTSCH und WENDEROTH ([5]) durchgeführt. Bei der step-down-Reaktion an einer Hell-Dunkelgrenze wird der vordere Zellpol durch die Bewegung der Zelle ins Dunkle von vorn nach hinten beschattet. Entsprechend kann man auch die Umkehr durch Beschatten des vorderen Zellpols durch ein mitgeführtes Dunkelfeld erreichen. Dabei spielt es keine Rolle, ob das Dunkelfeld von vorn oder seitlich auf den vorderen Zellpol geschoben wird. Die Reaktion kann aber auch durch Belichtung des hinteren Zellpols einer zuvor im Dunkeln liegenden Zelle hervorgerufen werden. Der auslösende Reiz bei diesen Partialbelichtungen ist also nicht Beschattung des vorderen Zellpols, sondern die Belichtung des hinteren Zellpols. Um die Umkehr auszulösen, ist die Belichtung eines nur sehr kleinen Zellabschnittes des hinteren Zellpols (unter 2% der Gesamtzellfläche) bzw. Beschattung des vorderen Zellpols nötig. Darüber hinaus spielt das Verhältnis von belichteter zu beschatteter Fläche auch bei kurzen Belichtungszeiten (bis 0,02 s) für die Auslösung der Reaktion keine Rolle. Die relativ lange Reaktionszeit von 10 s ist wahrscheinlich durch das Umschalten des Bewegungsapparates bedingt. Für die Auslösung einer step-down-Reaktion gilt also für die Zelle lediglich die Information: vorn dunkel, hinten hell. Es handelt sich dabei um eine typische Alles-oder-Nichts-Reaktion, zu deren Auslösung lediglich eine bestimmte Anzahl von Photorezeptormolekülen belichtet bzw. beschattet werden müssen. Belichtet man bis zur Umkehr einen Abschnitt in der hinteren Zellregion und läßt den äußersten hinteren Zellpol verdunkelt, so verlängert sich die Reaktionszeit im Vergleich zu der der step-down-Reaktion (Abb. 2 A). Bei Belichtung der Zellmitte stimmt die Reaktionszeit schließlich mit der Periodenlänge des autonomen Umkehrrhythmus überein. Je mehr das Lichtfeld in die vordere Region gesetzt wird, um so länger wird die Reaktionszeit. Sie erreicht schließlich bei Belichtung der äußersten Zellspitze den durchschnittlichen Wert von 480 s. Einige Zellen lassen sich sogar durch das mitgeführte Lichtfeld bis zu 10 min lang „ziehen“. Die durchschnittliche Reaktionszeit ist also 5–8mal so lang wie die autonome Umkehrperiode. Der autonome Umkehrrhythmus kann zwar eine gewisse Zeit lang überspielt werden, er läßt sich jedoch nicht ganz unterdrücken, da nach einiger Zeit trotz Belichtung des vorderen Zellpols eine Umkehr erfolgt. Der autonome Umkehrrhythmus kann als Kippmechanismus aufgefaßt werden. Beide Systeme: autonomer Umkehrrhythmus und step-down-Reaktion sind in gleicher Weise mit dem Bewegungsapparat gekoppelt. Die für die step-down-Reaktion verantwortlichen Photorezeptoren sind bei *Navicula* über die gesamte Zelle verteilt, da auch dann eine Verkürzung oder Verlängerung der Reaktionszeiten erfolgt, wenn die jeweilige Spitzenregion nicht mitbelichtet wird. Die geringere Wirksamkeit der in diesem Bereich absorbierten Lichtquanten erklärt sich nicht daraus, daß hier weniger

Photorezeptormoleküle vorhanden wären. Vielmehr hat es den Anschein, daß nicht die Anzahl der belichteten Photorezeptormoleküle, sondern ihre Lagebeziehung zum Bewegungsapparat (Endknoten der Raphe) entscheidend ist. Durch Partialbelichtungen läßt sich bei *Navicula peregrina* nicht entscheiden, ob die Photorezeptoren in den Chromatophoren oder im Cytoplasma lokalisiert sind. Dies läßt sich aber an Kieselalgen klären, die

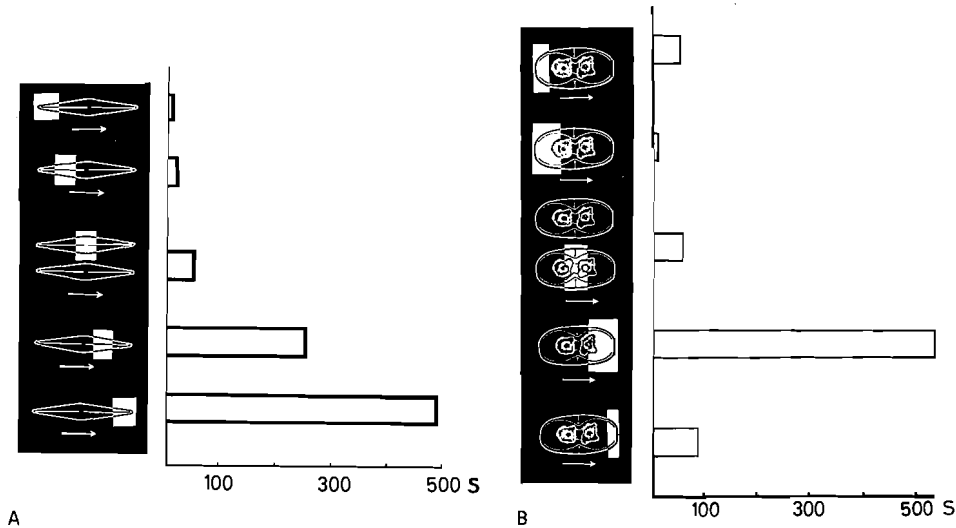


Abb. 2. Durchschnittliche Reaktionszeiten bei Partialbelichtungen von *Navicula peregrina* (A) und *Amphora ostrearia* (B) in Sekunden. Jeweils links ist die Partialbelichtung in einer bestimmten Region der Zelle dargestellt. Lichtfeld 667 nm, Untergrund 560 nm. Der Pfeil gibt die Bewegungsrichtung der Zellen vor der Partialbelichtung an. Zum Vergleich ist auch die durchschnittliche Periodenlänge des autonomen Umkehrrhythmus dargestellt (entspricht der Reaktionszeit bei Belichtung der Zellmitte). Bei *Amphora ostrearia* erfolgt eine Reaktion nur dann, wenn der Phaeoplast mitbelichtet wurde

eine andere Anordnung der Chromatophoren haben. Abb. 2 B stellt die Ergebnisse von Partialbelichtungen an *Amphora ostrearia* dar. Daraus geht hervor, daß Partialbelichtungen nur dann wirksam sind, wenn der in der Mitte der Zelle liegende Chromatophor teilweise belichtet wurde. Aus Aktionsspektren der step-down-Reaktion von *Navicula peregrina* (WENDEROTH [7], Film C 1520 des IWF [10]) kann man schließen, daß die Rezeptorpigmente die gleichen sind wie die der Photosynthese. Diese sind Carotin, Fucoxanthin, Chlorophyll a und c. Aus den Partialbelichtungsversuchen mit *Amphora* und der Tatsache, daß typische Chromatophorenpigmente als Photorezeptoren der step-down-Reaktion in Frage kommen, ergibt sich, daß die Photorezeptoren in den Chromatophoren lokalisiert sind. Damit stimmt auch der Befund von NULTSCH und WENDEROTH ([5]) überein, daß die chromatophorene Kieselalge *Nitzschia alba* keine Reaktionen auf Licht zeigt.

Einige Kieselalgen haben für die step-down-Reaktion offenbar noch zusätzliche Rezeptoren oder nur solche, die auf Blaulicht ansprechen (WENDEROTH [8]). Als mögliche Rezeptoren für diesen Blaulichtreaktionstyp kommen Carotinoide oder Flavine in Frage. Versuche mit *Amphora ostrearia* sprechen dafür, daß diese Rezeptoren ebenfalls in den Chromatophoren lokalisiert sind. Bei der Phototaxis werden bei einer Annäherung an eine Lichtquelle die Wegstrecken zum Licht hin verlängert; vom Licht weg werden sie verkürzt. Bewegt sich eine Zelle auf eine Lichtquelle zu, so ist der vordere Zellpol heller als der durch die Chromatophoren beschattete hintere Zellpol. Kehrt die Zelle um und läuft von der Lichtquelle weg, so ist nun der hintere Zellpol heller als der vordere. Dies wären ähnliche Verhältnisse wie bei Partialbelichtungen des hinteren oder vorderen Zellpols. Man könnte daraus schließen, daß die Phototaxis aus einzelnen phobischen Reaktionen besteht und daß bei dem Blaulichtreaktionstyp der step-down-Reaktion und der Phototaxis die gleichen Photorezeptoren beteiligt sind. Vergleicht man die Aktionsspektren beider Reaktionen miteinander, so stellt man fest, daß zwar in beiden Fällen Blaulicht wirksam ist, jedoch im Bereich unter 440 nm unterscheiden sich beide Aktionsspektren deutlich. Die Photorezeptoren der Phototaxis sprechen wahrscheinlich auch auf einen wesentlich geringeren Intensitätsunterschied an.

#### Zur Entstehung des Films

Die Kieselalge *Navicula peregrina* wurde aus einem Abflußgraben der Kaliwerke in Heringen/Werra isoliert und in Fernbachkolben mit Nährlösung für halophile Diatomeen nach WERNER ([6]) kultiviert. Die Anzucht erfolgte bei 18°C und 1500 Lux (Osramleuchtstoffröhren L 40 W/15-1, Dunkelzeit 12 h). Durch Vorverdunkelung vor Aufnahmebeginn wurde die phobische Reaktionsfähigkeit erhöht.

Für die Filmaufnahmen wurde ein Zeiss Standard Mikroskop umgebaut (Strahlengang: Abb. 3). Der Kondensor wurde durch ein Zeiss Luminar 25 mm ersetzt. Das grüne Untergrundlicht wurde seitlich über einen Strahlungsteiler eingestrahlt. Als Lichtquelle diente eine Zeiss Kugellampe mit Halogenbirne, vorgeschaltetem Wärmefilter und Interferenzfilter mit einer Halbwertsbreite von 15 nm und maximaler Transmission bei 530 nm. Grünlicht mit einer Wellenlänge von 530 nm ist zwar durch die Absorption von Fucoxanthin in diesem Bereich noch wirksam. Die Wirksamkeit gegenüber Rotlicht mit einer Wellenlänge von 680 nm (Absorption von Chlorophyll a) ist jedoch weit schwächer. Das rote Lichtfeld wurde über die eingebaute Beleuchtungsrichtung des Mikroskops eingestrahlt. Eine in der Größe variable Vierkantblende wurde anstelle der Leuchtfeldblende gesetzt und durch das Kondensorobjektiv in die Präparateebene projiziert. Während bei WENDEROTH ([7]) diese Blende fest in der Mitte des Strahlenganges angeordnet war und die Organismen durch Verschieben des Mikroskoptisches auf dem Lichtfeld gehalten wurden, war für die Filmaufnahmen die Vierkantblende durch Gleitischfett auf einer Metallplatte frei beweglich. Somit konnte das Lichtfeld mit den Organismen durch das gesamte Bildfeld geführt werden.



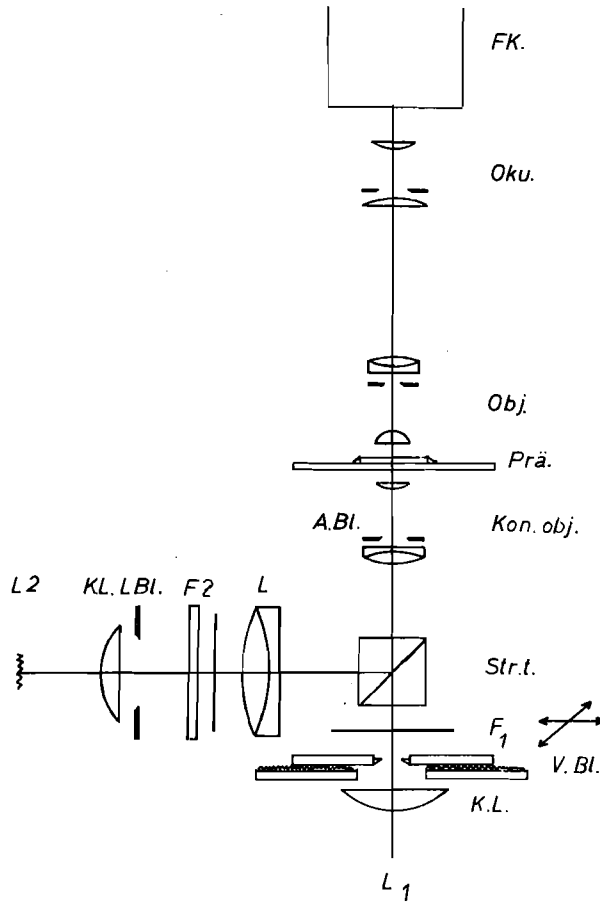


Abb. 3. Strahlengang des für die Aufnahmen benutzten Mikroskopes. A.Bl. = Aperaturblende des Kondensorobjektivs; F<sub>1</sub> = Interferenzfilter  $t_{\max} = 667 \text{ nm}$ , F<sub>2</sub> = Wärmeschutzfilter und Interferenzfilter  $t_{\max} = 530 \text{ nm}$ , FK. = Filmkamera, Kl. = Kondensorlinsen, Kon.obj. = Kondensorobjektiv (Zeiss Luminar 25 mm), L = langbrennweitige Linsenkombination, L<sub>1</sub> = Lichtquelle der eingebauten Beleuchtung des Mikroskops, L<sub>2</sub> = Lichtquelle für das Untergrundlicht, LB1 = Leuchtfeldblende der Untergrundbeleuchtung, Obj. = Aufnahmeobjektiv, Oku. = Okular, Prä. = Präparat, Str.t. = Strahlungsteiler, V.Bl. = auf einem Gleittisch bewegliche Vierkantblende

## Erläuterungen zum Film

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

*Normale Geschwindigkeit*

*6fache Zeitraffung*

*Navicula peregrina* ist eine einzellige Kieselalge. Sie besitzt zwei langgestreckte gelbbraune Chromatophoren, die sie zur Photosynthese befähigen.

BFB 140  $\mu\text{m}$ ; Hellfeld, 24 B/s

Die Zelle gleitet auf dem Untergrund, indem sie Schleim ausscheidet.

Die Zellpole der Alge unterscheiden sich morphologisch nicht, verhalten sich jedoch physiologisch unterschiedlich.

Der jeweils in Bewegungsrichtung liegende Zellpol wird als Vorderpol bezeichnet.

BFB 215  $\mu\text{m}$ ; Hellfeld, 24 B/s

*Navicula* kann ihre Bewegungsrichtung willkürlich umschalten; sie hat einen sog. autonomen Umkehrrhythmus.

Dabei fungiert der bisherige Vorderpol der Zelle als Hinterpol und umgekehrt. Die Bewegungen hier in leichter Zeitraffung.

Die Bewegungsumkehr kann auch von außen induziert werden.

BFB 2500  $\mu\text{m}$ ; Hellfeld, 4 B/s

Gerät der jeweilige Vorderpol ins Dunkle, so bleibt die Zelle stehen und kehrt ins Licht zurück.

Diese Reaktion wird step-down-Reaktion genannt. Eine Beschattung des jeweiligen Vorderpols bewirkt die Umkehr. Die befähigt die Alge, dunkle Bereiche zu meiden, im Hellen zu bleiben und das Licht für die Photosynthese zu nutzen.

BFB 390  $\mu\text{m}$ ; Hellfeld, 4 B/s

Auch im Rotlicht von 670 nm wird die step-down-Reaktion durch Beschatten des Vorderpols induziert. Die rechte Grenze dieser monochromatischen Lichtfalle liegt außerhalb des Bildes.

BFB 390  $\mu\text{m}$ ; Hellfeld, 4 B/s

Auf Grünlicht reagiert die Zelle wie auf Beschattung. Rotlicht nimmt sie als Licht wahr.

Im Augenblick der Induktion der Umkehr erhält der Vorderpol Grünlicht, die übrige Zelle Rotlicht. 10 s später kehrt sie um.

BFB 390  $\mu\text{m}$ ; Hellfeld, 4 B/s

Die Bewegungsumkehr kann man auch im Grünlicht induzieren, wenn nur der Hinterpol Rotlicht erhält.

Ein Umschalten der Bewegungsrichtung kann demnach erreicht werden, wenn sich der Vorderpol im Grünlicht befindet, der Hinterpol jedoch im Rotlicht.

<sup>1</sup>Die *Kursiv*-Überschrift entspricht dem Zwischentitel im Film. – Die eingerückten Zeilen in Kleindruck geben zusätzliche Informationen.

Die Zelle kann offenbar die Belichtung zwischen Vorderpol und Hinterpol vergleichen, die Unterschiede erkennen und entsprechend reagieren.

BFB 1500  $\mu\text{m}$ ; Hellfeld, 4 B/s

Im homogenen grünen Feld kehren die Zellen autonom um. Sie behalten eine einmal eingeschlagene Bewegungsrichtung nicht ständig bei, sondern ändern sie ohne äußere Ursache in unregelmäßigen Zeitabständen. Durch die Belichtung des Hinterpols wird die Periode des Umkehrhythmus extrem verkürzt.

BFB 1500  $\mu\text{m}$ ; Hellfeld, 4 B/s

Wird der vordere Zellpol belichtet, so verlängert sich die Periode des autonomen Umkehrhythmus. Die Zelle kann durch den mitgeführten Lichtfleck gezogen werden. Die autonome Umkehr kann bis zu 6 Minuten lang unterdrückt werden.

BFB 1500  $\mu\text{m}$ ; Hellfeld, 4 B/s

Die Belichtung der Zellmitte ändert den autonomen Umkehrhythmus nicht: Dies beweist, daß die Pole die Orte der Lichtrezeption für die step-down-Reaktion sind.

BFB 150  $\mu\text{m}$ ; Hellfeld, 4 B/s

Belichtung des Hinterpols führt zur vorzeitigen Umkehr, Belichtung des Vorderpols zur Verlängerung der Umkehrperiode.

Die Belichtungsunterschiede zwischen den Polen, die die Zelle zu messen vermag, modifizieren den autonomen Umkehrhythmus.

BFB 1250  $\mu\text{m}$ ; Hellfeld, 4 B/s

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

*Normale Geschwindigkeit*

*6fache Zeitdehnung*

(Normal speed – Time lapse)

*Navicula peregrina* is an unicellular diatom. It has two elongated golden-brown chromatophores which enable it to photosynthesize.

The cells glide over the substrate by secreting mucilage.

Although the cellular poles of the alga are morphologically similar, their behaviour is physiologically different.

The pole facing the direction of movement is termed the anterior pole.

*Navicula* can reverse its direction of movement voluntarily known as an autonomous reversal rhythm.

In such cases the former anterior pole of the cell functions as the posterior pole and vice versa. Motion is filmed at slight time-lapse.

Movement reversal can also be externally induced.

---

<sup>1</sup>The headline in *italics* corresponds with the subtitle in the film.

When the respective anterior pole is shaded, the cell stops moving and returns to the illuminated area.

This is known as a step-down reaction.

Shading the respective anterior pole effects reversal. This enables the alga to avoid darker areas and remain in illuminated zone favourable to photosynthesis.

In red light of 670 nm wavelength the step-down reaction can also be induced by shading the anterior pole.

The right-hand edge of this monochromatic light trap is outside the frame.

Green light causes the cell to react as it does to shading. Red light is perceived as illumination.

At the instant of reversal, the anterior pole receives green light, the rest of the cell being in red light. Ten seconds later it reverses direction.

A movement reversal is also induced in green light if the posterior pole alone receives red light.

Reversal of the direction of motion is therefore induced when the anterior pole is in green light but the posterior pole in red light.

The cell can evidently compare the illumination at its anterior and posterior poles, recognize the difference, and react accordingly.

In a homogeneously green field the cells reverse autonomously. They do not keep the same direction for long but change it, without any appreciable external cause, at irregular intervals. By illuminating the posterior pole the reversal periodicity can be greatly shortened.

When the anterior pole is illuminated, the period between autonomous reversals is lengthened. The cell can be drawn along as it follows the point of light.

Autonomous reversal can be suppressed for up to six minutes.

By illuminating the middle of the cell, no change in the autonomous reversal rhythm is achieved. This proves that the poles are the sites of stimulus perception effecting the step-down reaction.

Illumination of the posterior pole leads to premature reversal; illumination of the anterior pole to lengthening of reversal periodicity.

The cell is able to measure the illumination differences between its two poles and thus modify its autonomous reversal rhythm.

#### Literatur

- [ 1 ] BUDER, J.: Zur Kenntnis des *Thiospirillum* jense und seiner Reaktionen auf Lichtreize. *Jb. wiss. Bot.* **56** (1955), 529–584.
- [ 2 ] ENGELMANN, Th.W.: Über Licht und Farbperception niederster Organismen. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* **28** (1882), 387–400.
- [ 3 ] HARPER, M.A.: Movements. In: WERNER, D.: *The biology of diatoms*. Blackwell Scientific Publications, Oxford 1977, 224–249.
- [ 4 ] NULTSCH, W.: Phototactic and photokinetic action spectra of the diatom *Nitzschia communis*. *Photochem. Photobiol.* **14** (1971), 705–712.
- [ 5 ] NULTSCH, W., und K. WENDEROTH: Phototaktische Untersuchungen an einzelnen Zellen von *Navicula peregrina*. *Arch. Mikrobiol.* **90** (1973), 47–58.

- [ 6] WERNER, D.: Silicoborate als erste nicht C-haltige Wachstumsfaktoren. Arch. Mikrobiol. 65 (1969), 258–274.
- [ 7] WENDEROTH, K.: Untersuchungen der photo-phobotaktischen Reaktionen einzelner Diatomeenzellen. Diss. Marburg, 1975.
- [ 8] WENDEROTH, K.: Photophobische Reaktionen von Diatomeen im monochromatischen Licht. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 92 (1979), 313–321.

#### **Filmveröffentlichungen**

- [ 9] WENDEROTH, K., und INST. WISS. FILM: Phototaxis bei Desmidiaceen und Diatomeen. Film C 1496 des IWF, Göttingen 1983.
- [10] WENDEROTH, K., und INST. WISS. FILM: Wirkungsspektren der step-down Reaktion bei Diatomeen. Film C 1520 des IWF, Göttingen 1984.
- [11] WENDEROTH, K., und INST. WISS. FILM: Photokinese und photophobische Reaktionen der Kieselalge *Navicula peregrina*. Film C 1388 des IWF, Göttingen 1982. Publikation von K. WENDEROTH, Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 16, Nr. 11/C 1388 (1983), 13 S.

#### **Abbildungsnachweis**

Abb. 1–3: K. WENDEROTH.