

H. H. HEUNERT, Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen

Mikrokinematographie lichtempfindlicher Objekte mit Hilfe von Videokameras

Cinemicrography of Light-sensitive Objects by Means of Video Cameras.

When cinemicrographic investigations of light-sensitive objects are carried out the following problem often occurs: The object already responds to the light which is used for recording and by this the phenomena under investigation can be falsified. This is especially the case when the phototropic reaction is to be investigated. Some possibilities to overcome this difficulties are described: Illumination with light of a spectral region the object is insensitive of ("safety light"), furthermore the use of a special recording device allowing to reduce the light sufficiently and, above all, the recording by means of a video camera of high sensibility.

Microcinématographie d'Objets Sensibles à la Lumière, à l'Aide de Vidéo-caméras. Lors d'études microcinématographiques d'objets sensibles à la lumière, il se pose souvent le problème suivant: l'objet réagit à la lumière de prise de vues, ce qui peut déjà fausser les phénomènes à étudier. Ceci est notamment le cas lorsque la réaction phototropique elle-même fait l'objet de l'étude. Diverses possibilités permettant de surmonter cette difficulté sont décrites: l'éclairage au moyen d'un domaine du spectre auquel l'objet n'est pas sensible ("lumière de sécurité"), de plus, l'utilisation d'un équipement spécial de prises de vues qui permette de réduire suffisamment l'éclairage et surtout prises de vues à l'aide d'une vidéo-caméra extrêmement sensible.

Mikrokinematographie lichtempfindlicher Objekte mit Hilfe von Videokameras. Bei mikrokinematographischen Untersuchungen lichtempfindlicher Objekte besteht häufig das Problem, daß das Objekt bereits auf das Aufnahmelicht reagiert und dadurch die zu untersuchenden Phänomene verfälscht werden können. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn die phototropische Reaktion selbst Gegenstand der Untersuchung ist. Mehrere Möglichkeiten zur Überwindung dieser Schwierigkeit werden beschrieben: die Verwendung von Licht aus einem Spektralbereich, für den das Objekt unempfindlich ist („Sicherheitslicht“), ferner die Verwendung einer speziellen Aufnahmeanordnung, die es erlaubt, das Aufnahmelicht genügend zu reduzieren, und vor allem die Aufnahme mit Hilfe einer hochempfindlichen Videokamera.

In der Mikrokinematographie gibt es immer wieder Problemstellungen, die es erforderlich machen, mit geringsten Lichtmengen zu arbeiten, sei es, daß die Objekte größere Lichtmengen nicht vertragen und durch ihre Einwirkung geschädigt werden oder daß die Objekte bei verschiedenen Licht-

quantitäten oder -qualitäten unterschiedliche Reaktionen zeigen. Besonders in der Photobiologie ergibt sich eine Fülle solcher Probleme. Sie machen Filmaufnahmen vielfach unmöglich, da schon die geringste Lichtmenge, die für die Aufnahme nötig ist, unerwünschte Reaktionen der Objekte auslösen kann.

Solche Schwierigkeiten treten auf, wenn es darum geht, lichtmeidende Objekte aufzunehmen, spektrale Empfindlichkeiten von Objekten zu demonstrieren oder phototropische sowie geotropische Phänomene an Objekten zu untersuchen.

Im nachfolgenden sollen einige Möglichkeiten erörtert werden, diese Schwierigkeiten zu umgehen und zu brauchbaren Filmaufnahmen zu kommen.

1. Sicherheitslicht (safety light)

Die einfachste Lösung ist gegeben, wenn das zu untersuchende Objekt auf einen Spektralbereich des sichtbaren Lichtes nicht reagiert. Viele Objekte haben ein Maximum und ein Minimum an Empfindlichkeit gegenüber einzelnen Bereichen des Spektrums. So hat z.B. *Phycomyces* ein Empfindlichkeitsmaximum für phototropische Reaktionen bei 465 nm (BERGMANN u. a. [1]). Dieser Pilz zeigt dagegen oberhalb 600 nm keinerlei Reaktionen mehr. Will man z.B. geotropische Reaktionen von *Phycomyces* ohne störende Lichteinflüsse filmen¹, muß man für das Aufnahmelicht den Spektralbereich oberhalb 600 nm, das sogenannte „Sicherheitslicht“, wählen (Abb. 1).

2. Lichtreduzierung durch spezielle Aufnahmeanordnungen

Einige lichtempfindliche Objekte reagieren nur auf die ihnen dargebotene Lichtquantität. Bei Filmaufnahmen muß das Aufnahmelicht solcher Organismen gedrosselt und der Lichtverlust durch die mikroskopische Anordnung wieder ausgeglichen werden. In anderen Fällen gibt es Versuchsanordnungen, die so lichtabsorbierend sind, daß mit normalen Mitteln keine befriedigenden Aufnahmen zu erzielen sind, so z.B. beim Einprojizieren eines Spektrums ins mikroskopische Bild zur Demonstration der Spektralempfindlichkeit von Bakterien oder Flagellaten².

Beide Situationen erfordern also eine möglichst „lichtstarke“ Aufnahmeanordnung. Neben der Wahl des Schmalfilmformats und eines hochempfindlichen Films sollte man tunlichst auf eine Strahlenteilung (Einstellokular) zwischen Mikroskop und Kamera verzichten und direkt über

¹ Derartige Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit M. DELBRÜCK, California Institute of Technology, Pasadena, durchgeführt [2].

² Untersuchungen in Zusammenarbeit mit B. LÖTSCH, Wien, [4].

den Sucher der Kamera einstellen. Gegebenenfalls kann auch auf die Okularvergrößerung verzichtet werden. Für derartige Fälle hat uns die Firma Carl Zeiss, Oberkochen, für das WL-Stativ einen speziellen Tubus gebaut. Es handelt sich um einen Phototubus mit monokularem Schräg-

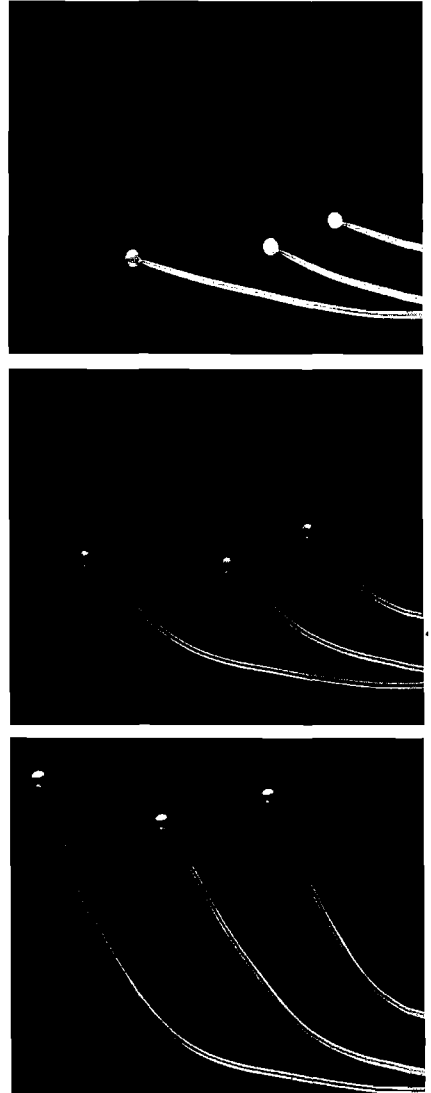


Abb. 1. Geotropische Reaktion der Sporangien von *Phycomyces*. Filmaufnahme mit „Sicherheitslicht“ (630 nm)

einblick und einer Strahlenteilung von 95 : 5% (auf die gegebenenfalls verzichtet werden kann).

Anstelle des Okulars befindet sich im Phototubus eine einfache Linse zur Korrektur der chromatischen Vergrößerungsdifferenz, die sehr viel weniger Licht absorbiert als ein mehrlinsiges Okularsystem.

Am Ende des verkürzten Phototubus befindet sich eine Lichtabschlußmanschette mit C-Gewinde für die Kamera. Der seitliche Tubus ist mit einem Okular $12,5\times$ ausgestattet, in dessen Strichplatte das Filmformat eingraviert ist. Mit dieser Einrichtung läßt sich ein Lichtgewinn von ca. 60% erzielen.

3. Einsatz von hochempfindlichen Videokameras

Die stärkste Lichtreduzierung läßt sich erreichen, wenn man statt einer Filmkamera eine besonders lichtempfindliche Fernsehkamera benutzt und das Bild des Monitors abfilmt. Diese Methode ist natürlich recht aufwendig, doch lassen sich mit ihrer Hilfe Untersuchungen durchführen, die mit konventionellen Mitteln nicht mehr zu verwirklichen wären. So wurden vor kurzem Untersuchungen über die lichtinduzierte Chloroplastenbewegung bei der Grünalge *Mougeotia* mit Hilfe von Videoeinrichtungen durchgeführt und gefilmt (SCHÖNBOHM u. HAUPT [4]). Besonders die Versuche der Schwachlichtreaktionen (Abb. 2) wären mit einer normalen Filmapparatur nicht zu erfassen gewesen.

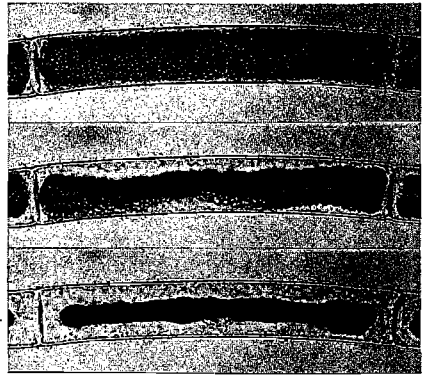
Im folgenden soll der Aufbau einer solchen Fernsehapparatur, wie sie dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung steht, erläutert werden.

a) Kamera

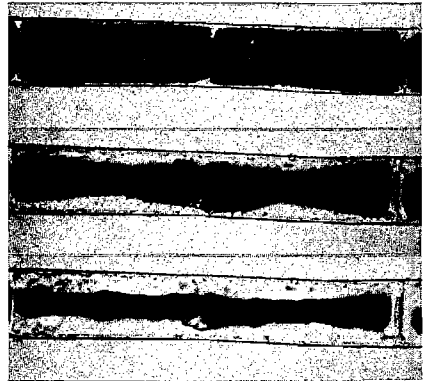
Es sind alle Videokameras mit hoher Lichtempfindlichkeit und ausreichendem Auflösungsvermögen verwendbar. Im Göttinger Institut sind zwei Kameratypen vorhanden: die Image-Orthicon, die zur Bilderzeugung eine Minimalhelligkeit von ca. 1 Lux benötigt und die SEC-Kamera (Secondary-Emission-Conductivity), die eine Minimalhelligkeit von nur 0,001 Lux benötigt. Da durch das mikroskopische System eine gewisse Lichtmenge absorbiert wird, sind die benötigten Lichtmengen in der Objektebene des Mikroskops unterschiedlich. So sind z.B. bei Anwendung höchster Vergrößerungen (z.B. Ölimmersion $100\times$, Okular $6\times$) zur Erzeugung eines brauchbaren Monitorbildes bei Verwendung der SEC-Kamera 3–6 Lux in der Objektebene des Mikroskops erforderlich.

Die spektrale Empfindlichkeit der beiden Kamerasysteme ist unterschiedlich, was für photobiologische Versuche von Wichtigkeit ist. So hat die Image-Orthicon ihr Empfindlichkeitsmaximum bei 450 nm und fällt zum Rot hin stark ab, wogegen die SEC-Kamera bis in den langwelligen Bereich (bis 900 nm) hohe Empfindlichkeit zeigt. Beide Systeme arbeiten mit 625 Zeilen bei 50 Hz.

2 a.
Starkes Weißlicht
Original-Filmaufnahme



2 b.
Starkes Blaulicht (470 nm)
Monitorbild einer Image-Orthicon-
Aufnahme



2 c.
Nach Rotlicht-Induktion (667 nm,
2 min)
Monitorbild einer SEC-Aufnahme
(Secondary-Emission-Conductivity)



Abb. 2. Chloroplastenbewegung bei *Mougeotia*
Starklichtreaktion: Bewegung von Flächen- in Kantenstellung;
Schwachlichtreaktion: Bewegung von Kanten- in Flächenstellung

b) *Mikroskopische Ausrüstung*

Die mikroskopische Ausrüstung für Videoaufzeichnungen ist denkbar einfach. Zu fast allen größeren Mikroskopen gibt es heute sogenannte Fernsehtuben. Für die obengenannten Kameras kann man aber nur solche Einrichtungen verwenden, bei denen der Fernsehtubus horizontal (also über

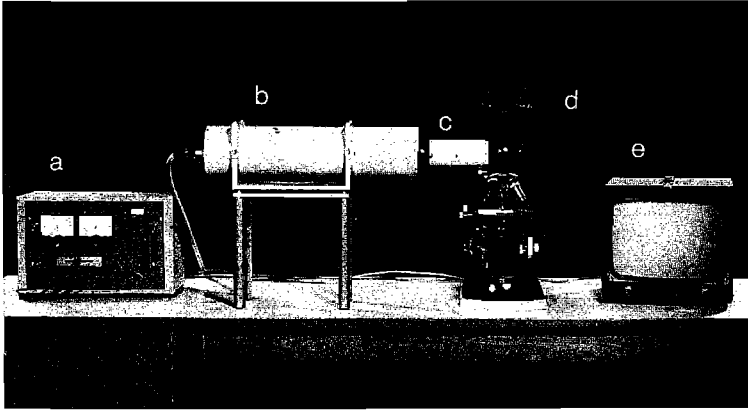


Abb. 3. Aufnahmeanordnung mit SEC-Kamera

a: Steuergerät für die SEC-Kamera; b: SEC-Kamera; c: Fernsehtubus; d: Mikroskop;
e: Beobachtungsmonitor

ein 90°-Prisma) an das Mikroskop angesetzt wird, da beide Kameratypen nur horizontal in Betrieb genommen werden sollten, um Einbrenneffekte durch Staub auf den empfindlichen Photokathoden zu vermeiden.

Ein Strahlenteiler mit Einstellokular zwischen Mikroskop und Videokamera ist nicht erforderlich, da das mikroskopische Bild über den Monitor eingestellt wird und die Helligkeit, besonders bei Verwendung der SEC-Kamera, für eine visuelle Beobachtung sowieso nicht ausreichen würde. Da von der Videokamera keine Erschütterungen ausgehen, kann sie fest mit dem Mikroskoptubus verbunden werden (Abb. 3). Um die Bildröhre vor unbeabsichtigtem grellem Licht, das ihr schadet, zu schützen, ist es zweckmäßig, zwischen Kamera und Mikroskop einen Filterschieber mit einem strengen Graufilter zu bringen. Dieses wird erst dann ausgeschaltet, wenn die Mikroskopleuchte auf kleinster Stufe brennt. Danach wird der Lampentransformator unter Beobachtung des Monitorbildes hochgesteuert.

c) *Monitor*

Neben dem Mikroskop befindet sich ein Monitor mit einer Bilddiagonalen von ca. 28 cm, über den das mikroskopische Bild eingestellt wird.

d) Abfilmeinrichtung

Für Zeitrafferaufnahmen ist der Aufbau einer Abfilmeinrichtung relativ einfach. Es werden ein Monitor guter Qualität (Diagonale 28 cm) und eine Filmkamera mit einem Nahaufnahmeobjektiv, z.B. einem Makrokilar, benötigt. Monitor und Kamera werden in entsprechendem Abstand fest auf

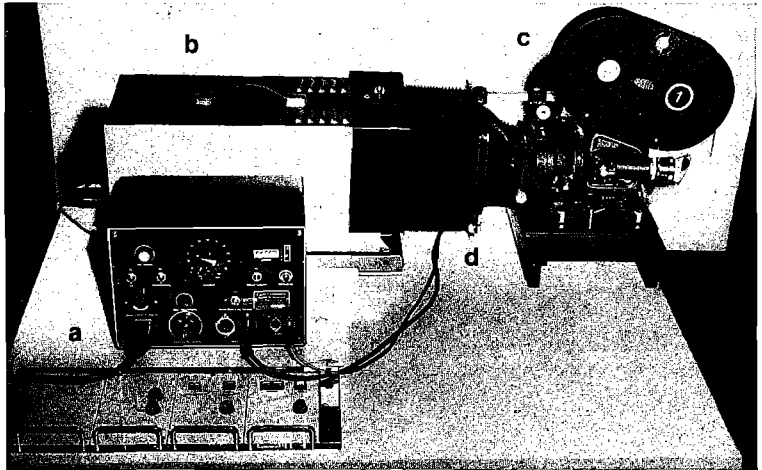


Abb. 4. Vollsynchroner Abfilmeinrichtung

a: Steuerelemente; b: Monitor; c: Filmkamera; d: Lichtabschluß

eine optische Bank montiert. Um Störlicht oder Reflexe auf dem Monitor zu vermeiden, sollte das Ganze in einem abgedunkelten Raum stehen oder der Raum zwischen Kamera und Monitor mit einem Dunkelkanal abgedeckt werden.

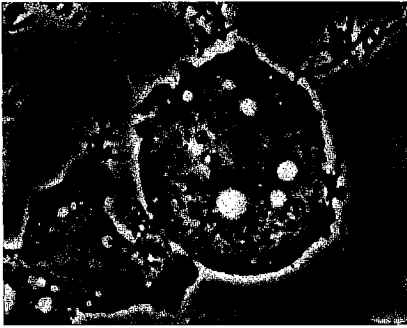
Die Filmkamera wird mit einem Zeitraffermotor versehen, der Belichtungszeiten von $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{2}$ s erlaubt. So werden mehrere Monitorbilder zur Belichtung eines Filmbildes ausgenutzt.

Sollen dagegen zeitgleiche (normalfrequente) Aufnahmen hergestellt werden, ist eine vollsynchronisierte Abfilmeinrichtung erforderlich, so wie sie auch in den Fernseh-Studios zu finden ist (Abb. 4).

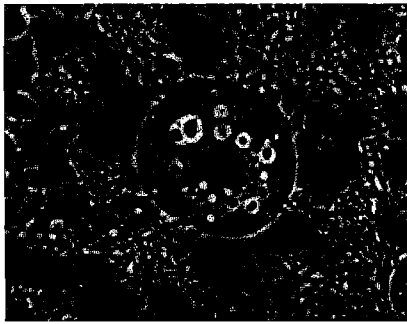
Vollsynchronisiert bedeutet, daß die Filmkamera von der Monitorfrequenz gesteuert wird und pro Filmbild ein halbes Monitorbild (jede 2. Zeile) erfaßt wird. Bei Asynchronität würde man einen wandernden Bildstrich auf den Filmbildern erhalten.

e) *Sondereinrichtungen*

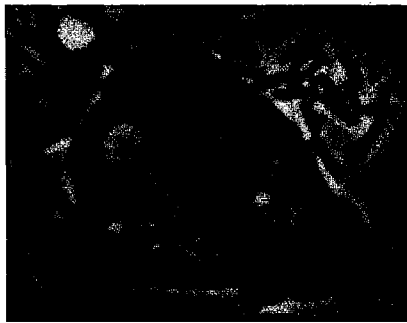
Bei zeitgleichen oder schwach zeitgerafften Aufnahmen kann man zusätzlich ein Magnetaufzeichnungsgerät mitlaufen lassen und die Aufnahmen speichern. Ein solches Aufzeichnungsgerät leistet gute Dienste bei Aufnahmen von Vorgängen, deren Zeitablauf vorher nicht exakt zu be-



5 a.
Original-Filmaufnahme



5 b.
Monitorbild der Image-Orthicon-Aufnahme



5 c.
Monitorbild der SEC-Aufnahme

Abb. 5. Myxamöben und junge Plasmodien von *Stemonitis flavogenita*

stimmen ist und bei denen dadurch häufig die Aufnahme­frequenz falsch gewählt wird. Ist dies der Fall, können die Aufnahmen später vom Magnetband abgespielt und mit der neu ermittelten Frequenz auf Film aufgenommen werden. Die Magnetbänder können wieder gelöscht und neu benutzt werden.

Ein weiteres nützliches Zusatzgerät ist ein Luxmeter mit extrem kleiner Photodiode (3 mm), das es erlaubt, Luxwert-Messungen in der Objektebene des Mikroskops vorzunehmen. Ein solches Gerät ist unerlässlich bei photobiologischen Arbeiten und nützlich beim Einsatz der Videokameras, um die effektiven Luxwerte des Lichtes, mit dem die Objekte bestrahlt werden, ermitteln zu können.

Die Bildqualität der vom Monitor abgefilmten Aufnahmen ist selbstverständlich etwas geringer als die von Original-Filmaufnahmen, doch ist sie noch ohne weiteres ausreichend sowohl für die Demonstration als auch für die Auswertung. Da die Auflösung des Schirmbildes (625 Zeilen) nicht der der Filmemulsion entspricht, werden feinste Struktur­details weniger gut wiedergegeben. Außerdem besteht ein Unterschied in der Qualität der Bilder beider Video-Systeme. Die Detail-Auflösung der Image-Orthicon ist besser als die der SEC-Kamera und reicht fast an die Qualität von Original-Filmaufnahmen heran (Abb. 5).

Diese neuen Methoden der Kinematographie mit geringsten Lichtintensitäten erlauben sowohl im Mikro- als auch im Makrobereich die filmische Bearbeitung einer Fülle von neuen Problemstellungen, so z.B. in der Photobiologie, Verhaltensforschung u.a. Die beschriebenen Apparaturen befinden sich im Institut für den Wissenschaftlichen Film, sind dort erprobt worden und stehen für entsprechend geartete Aufgaben zur Verfügung.

An dieser Stelle möchte ich meinen an diesen Projekten beteiligten Kollegen, FrI. BRIGITTE MILTHALER, Herrn Dipl.-Ing. R. TILKE und den Herren B. FEUCHTER und M. KRÜGER, für die erfolgreiche Zusammenarbeit danken.

Literatur und Filmveröffentlichungen

- [1] BERGMANN, K., u. a.: *Phycomyces*. *Bacteriol. Rev.* (1969), 99—157.
- [2] DELBRÜCK, M., u. H.-K. GALLE: Phototropische und geotropische Reaktionen bei *Phycomyces*. Film des Inst. Wiss. Film, Göttingen (in Vorbereitung).
- [3] LÖTSCH, B.: Photosynthese von Purpurbakterien. Film des Inst. Wiss. Film, Göttingen (in Vorbereitung).
- [4] SCHÖNBOHM, E., u. W. HAUPT: Lichtorientierte Chloroplastenbewegung bei *Mougeotia spec.* Film des Inst. Wiss. Film, Göttingen (in Vorbereitung).