

**RESEARCH FILM**

**LE FILM DE RECHERCHE**

**FORSCHUNGSFILM**

**VOL. 8** NR. 5 1. HALBJAHR 1975

---

EDITORS: G. WOLF GÖTTINGEN – R. ROBINEAUX PARIS

**Research Film**  
**Le Film de Recherche**  
**Forschungsfilm**

Bulletin of the Research Film Section of the INTERNATIONAL SCIENTIFIC FILM ASSOCIATION and of the ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Bulletin de la Section du Film de Recherche de l'ASSOCIATION INTERNATIONALE DU CINÉMA SCIENTIFIQUE et de l'ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Nachrichtenblatt der Sektion Forschungsfilm der INTERNATIONAL SCIENTIFIC FILM ASSOCIATION und der ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

---

July — Juillet — Juli 1975

Published about twice a year with a total of some 180 pages. The annual subscription is 20,— DM for non-members of the Research Film Section. Orders should be sent to the Institut für den Wissenschaftlichen Film, 72, Nonnenstieg, Göttingen — Germany.

Publication semestrielle à ca. 180 pages par année. Les prix d'abonnement s'élève à 20,- DM pour les non-membres de la Section du Film de Recherche. Adressez s. v. p. vos commandes à: Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Nonnenstieg 72 -- Allemagne.

Erscheint halbjährlich mit etwa 180 Seiten pro Jahr. Der Bezugspreis beträgt 20,- DM pro Jahr für Nichtmitglieder der Sektion Forschungsfilm. Bestellungen sind zu richten an: Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Nonnenstieg 72.

---

Editors: Prof. Dr. G. Wolf, Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen; Dr. R. ROBINEAUX, Centre de Physiologie et d'Immunologie Cellulaires, Paris

© Institut für den Wissenschaftlichen Film · Göttingen 1975

## Index • Inhalt

Colloquium "Automatic Film Analysis" at the Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, 19th December 1973 .....	407
Colloque "Analyse Automatique de Films" à l'Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, le 19 décembre 1973 .....	407
Kolloquium „Vollautomatische Filmanalyse“ im Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, 19. Dezember 1973 .....	408
H.-K. GALLE: Die Methodik der herkömmlichen Filmauswertung .....	409
J. BEREITER-HAHN: Der Film als Forschungsmittel - Grundlagen der Nutzbarmachung .....	421
G. MORAWE und J. BEREITER-HAHN: Ein programmiertes Verfahren zur Identifizierung zweidimensionaler Objekte nach ihrer Form .....	430
C. P. BOND: Television Image Analysis: Hardwired and Software Analysis .....	439
H. P. HOUGARDY: Quantitative Bildanalyse in der Metallkunde .....	444
V. PŮŽA: Mikrokinematische Methodik zur quantitativen Feststellung der geschädigten Zellen bei Zellkulturen in vitro .....	451
ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA (G. WOLF)	
Activities of the ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA	458
Biology .....	458

Ethnology .....	459
Technical Sciences .....	460
Activités de l'E. C. ....	461
Biologie .....	461
Ethnologie .....	462
Sciences Techniques .....	463
Aus der Arbeit der E. C. ....	464
Biologie .....	464
Ethnologie .....	466
Technische Wissenschaften .....	467
 <i>New Films    Films Nouveaux    Neue Filme</i>	
Biology    Biologie .....	468
Ethnology    -    Ethnologie .....	495
Technical Sciences    -    Sciences Techniques    -    Tech- nische Wissenschaften .....	525
 <i>Communications    Mitteilungen</i>	
The XXIXth Congress of the ISFA .....	533
Le XXIX <sup>e</sup> Congrès de l'A. I. C. S. ....	533
Der XXIX. Kongreß der ISFA .....	533
ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA:	
Meeting of the Editorial Board 1975 .....	533
Session du Comité de Rédaction 1975 .....	533
Redaktionsauschußsitzung 1975 .....	533
INTER NAVEX 75, London .....	534
Günther Bauch zum 65. Geburtstag, 3. 7. 1975 ...	534
Authors    -    Les Auteurs    Autoren .....	538

---

Abstracts preceding the articles are not under responsibility of the authors.

Les résumés précédant les articles sont rédigés par la rédaction de la revue.

Die den einzelnen Artikeln vorangestellten Zusammenfassungen fallen nicht unter die Verantwortung der Verfasser.

J. Bereiter-Hahn, Arbeitsgruppe Kinematische Zellforschung, Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt a.M.

### **Der Film als Forschungsmittel — Grundlagen seiner Nutzbarmachung<sup>1</sup>**

**Film as a Means of Research — Fundamentals of Its Utilization.** The film's importance as metrological method corresponds to the relevancy of motion phenomena within the scope of scientific problems to be solved. The methods of analysis so far used leave a great part of the information stored in the film unutilized and require, moreover, much time; owing to this, the analysis is mostly left undone. The automation of the analysis procedure calls for an adaptation of the shooting conditions and problem setup to the specific characteristics of the analysis technique. Various complexity stages of motion phenomena are explained in respect of a modified way of consideration as it must be brought about in the preparation of problems to be handled by picture analysis hardware.

**Le Film comme Moyen de Recherche Fondamentale — Bases de ses Possibilités d'Exploitation.** Au titre de méthode de mesure, la signification du film correspond à l'importance des déplacements et de leur analyse dans le cadre des problèmes scientifiques étudiés. Les procédés d'analyse appliqués jusqu'à présent ne permettent pas d'exploiter une grande partie des informations contenues dans le film et exigent par ailleurs beaucoup de temps, de telle sorte qu'on renonce le plus souvent à cette analyse. Une automatiser de l'analyse suppose toutefois une adaptation des conditions de prise de vues et des problèmes énoncés aux propriétés spécifiques du procédé d'analyse. L'exposé commente divers degrés de complexité des phénomènes dynamiques sous le rapport d'un mode de visionnage modifié, qui doit résulter du traitement des problèmes considérés pour l'examen avec des analyseurs d'images.

**Der Film als Forschungsmittel — Grundlagen seiner Nutzbarmachung.** Die Bedeutung des Films als Meßmethode entspricht der Relevanz von Bewegungsvorgängen im Rahmen der wissenschaftlichen Problemstellungen. Die bisherigen Auswertverfahren lassen einen großen Teil der im Film gespeicherten Information unausgenutzt und sind zudem sehr zeitaufwendig, weshalb die Analyse meist unterbleibt. Eine Automatisierung des Auswertvorganges setzt eine Anpassung von Aufnahmebedingungen und Problemstellung an die spezifischen Eigenschaften des Analyseverfahrens voraus. Verschiedene Stufen der Komplexität von Bewegungsphänomenen werden erläutert im Hinblick auf eine veränderte Betrachtungsweise, wie sie für die Aufbereitung von Problemen zur Bearbeitung durch Bildanalysegeräte erfolgen muß.

<sup>1</sup> Referat, gehalten innerhalb des Kolloquiums „Vollautomatische Filmanalyse“ in Göttingen, 19. Dezember 1973.

## Einleitung

Noch bevor sich die Vergnügungsindustrie des Mediums Film bemächtigte, wurde versucht, dieses Mittel für die Erforschung von Bewegungsvorgängen nutzbar zu machen (MAREY [3] 1894; MUYBRIDGE [4] 1902). Es wurden sowohl Vorgänge aufgezeichnet, die zur genauen Erfassung für unser Auge zu schnell ablaufen (z. B. Laufbewegungen eines Pferdes — MAREY), als auch sehr langsame Bewegungen durch Zeitrafferfilme erfaßt (z. B. Bewegung von Pflanzen W. PFEFFER [5] 1898 — 1900). Trotz der Pionierarbeiten von COMANDON, W. H. LEWIS, KÜHL und anderen blieb der Einsatz des Filmes als Instrument für den nicht nur beschreibend, sondern vorwiegend kausal arbeitenden Wissenschaftler sehr begrenzt. Ein wichtiger Grund hierfür sind Schwierigkeiten in der Filmanalyse. Unter diesem Gesichtspunkt sollen hier Grundlagen der Anwendung des Filmes für quantitative Analysen zusammengefaßt werden.

## Einsatzmöglichkeiten des Filmes als Forschungsmittel

### 1. Dokumentation

Ein kinematographisch aufgezeichneter Vorgang ist durch die beliebige Reproduzierbarkeit sowohl dokumentarisch fixiert, als auch für weitere Untersuchungen jederzeit zugänglich.

### 2. „Sichtbarmachen von Vorgängen“

Durch Hochfrequenzkinematographic, Zeitraffung, Infrarotaufnahmen oder Ultraschallaufzeichnungen können Vorgänge sichtbar gemacht werden, die einer direkten Beobachtung nicht zugänglich sind.

### 3. Meßmethode

Der Film kann zur quantitativen Erfassung und Analyse von Vorgängen dienen. Filmaufnahmen zeigen gewöhnlich Formen und deren Veränderungen; der Film als Meßmethode wird damit grundsätzlich Hilfsmittel einer *Morphometrie* sein. Aus diesem Grund sind bei einer Verwendung des Filmes als „Meßinstrument“ primär die Kriterien einer Morphologie im weitesten Sinne anzuwenden. Hier läßt sich grob unterscheiden zwischen beschreibender und funktioneller Morphologie. Die Anwendung dieser beiden Begriffe im Bereich der Filmanalyse sei kurz erläutert:

#### a) Filmanalyse als Hilfsmittel der Beschreibung

Formveränderungen lassen sich durch Vermessen des Objektes über mehrere Einzelbilder (und damit einen bestimmten Zeitraum hinweg) in Kurvenform ausdrücken. Beispielhaft wurde dieses Verfahren etwa von KÜHL zur Beschreibung der Dynamik der Keimesentwicklung von *Sagitta*

verwandt (W. u. G. KUHL [2]). Hier wird Dynamik als morphologische Kategorie aufgefaßt und dementsprechend beschrieben. Im genannten Beispiel wird diese Beschreibung erst durch die Zwischenschaltung eines Bildträgers möglich, da die Vorgänge zur direkten Beobachtung zu langsam ablaufen.

b) Filmanalyse als Hilfsmittel der Kausalanalyse

Hier wird nicht mehr nur die Beschreibung eines Vorganges angestrebt, sondern versucht, die Grundlagen des Vorganges selbst zu erfassen. Forschungsgegenstand in diesem Bereich wird also stets die Dynamik, die Bewegung selbst sein. Im Gegensatz zur nur klassifizierenden Beschreibung ist für jede Kausalanalyse eine klar definierte Fragestellung nach Funktion und Ablauf Voraussetzung.

Der Filmanalyse kommt als Meßmethode zur quantitativen Erfassung der Bewegung im Sinne eines physiologischen Parameters Bedeutung im Rahmen der Bedeutsamkeit der Bewegung als Forschungsgegenstand zu. Im Bereich der Biologie hat sich insbesondere durch die zahlreichen Arbeiten aus dem Bereich der Biochemie inzwischen die Auffassung der belebten Struktur als ein dynamisches Gebilde durchgesetzt; trotzdem ist die Beziehung von Strukturen und den an und mit ihnen ablaufenden Bewegungen nur sehr bruchstückhaft bisher bekannt. Als Beispiel sei die Bewegung der Chromosomen während der Zellteilung genannt, deren morphologischer Ablauf seit fast hundert Jahren bekannt ist und deren feinstrukturelle Grundlagen sehr früh elektronenmikroskopisch untersucht wurden. Trotz all dieser Bemühungen gibt es derzeit kein Modell, das überzeugend unser Faktenwissen um diesen grundlegenden Vorgang zusammenfaßte und erklärte.

Dieses Problem besteht für alle intrazellulären Bewegungen. Von ihnen sind weder Funktion noch Zustandekommen derzeit bekannt. Es gibt Hinweise darauf, daß solche intrazelluläre Bewegungen in engem Zusammenhang mit Stoffwechselfvorgängen und deren Steuerung stehen und damit Ausdruck bzw. Folge intrazellulärer Regelvorgänge sind. Dies sei kurz an einem Beispiel aus dem eigenen Arbeitsbereich erläutert.

Zeitrafferaufnahmen tierischer Gewebekulturzellen im Phasenkontrastmikroskop lassen lebhaft Form- und Ortsveränderungen von Mitochondrien sichtbar werden. Hier ist zunächst die Frage zu stellen, ob es sich um eine eigenständige Bewegung dieser Organelle handelt oder ob sie durch Plasmaströmungen verformt und mitgenommen werden, wie dies für die ebenfalls in den Zellen vorhandenen Lysosomen angenommen werden darf (BEREITER-HAHN u. MORAWA [1]). Die Frage wird durch Vergleich der Bewegungsintensität von Mitochondrien und Cytosomen unter verschiedenen Bedingungen, die die Atmungsaktivität verändern, gelöst. Es zeigt sich, daß die Bewegungen der beiden Organellgruppen unabhängig von-

einander beeinflussbar sind, es sich also um zwei verschiedene Bewegungsformen handeln muß.

Voraussetzung für ein solches Ergebnis ist eine genaue Erfassung der einzelnen Bewegungen während einer bestimmten Zeitspanne. Die Einzelwerte können weiter statistisch bearbeitet werden, z. B. in Form von Häufigkeitsverteilungskurven; hierdurch lassen sich zwei physiologisch voneinander unterscheidbare Mitochondrienpopulationen wahrscheinlich machen. Hypothesenbildung über das Zustandekommen der Bewegungserscheinungen und ihren Zusammenhang mit verschiedenen Teilschritten der Atmung sind der Weg für eine weitere Bearbeitung. In diesem Beispiel dient der Film lediglich als Informationsspeicher, der durch die Einzelbildanalyse in Form genauer Vermessung nutzbar gemacht wird und damit eine Meßmethode darstellt, durch die physiologisch bedingte morphologische Veränderungen quantifiziert werden.

In dem genannten Beispiel konnten durch die Einzelbildanalyse Ergebnisse gewonnen werden, die weder durch direkte Beobachtung des Objektes noch des laufenden Filmes erfaßt werden konnten. Hier wird — und es ist lediglich ein Beispiel - - die Filmanalyse zur Forschungsmethode.

### **Probleme der Einzelbildauswertung**

Im Rahmen der oben erwähnten Untersuchungen, die hier auch im folgenden als Beispiel dienen sollen, wurde die Auswertung schrittweise durchgeführt:

#### *1. Datengewinnung von Hand*

Nachzeichnen der Objekte, Vermessen der Wegdifferenzen.

#### *2. Datenverarbeitung*

- a) Bildung von Durchschnittswerten mit dem Ziel der Darstellung der Aktivitäten in Form von Kurven und Möglichkeit statistischer Sicherung.
- b) Untersuchung der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Geschwindigkeitswerte.

Wegen des sehr hohen Zeitaufwandes bei der Auswertung von Hand (für eine Einstellung von 1200 Bildern ca. 4 Wochen) wurden folgende Untersuchungen nicht durchgeführt:

#### *3. Kontinuierliche Verfolgung der Bewegungsvorgänge*

Es wurde von je hundert Bildern stets nur eine Gruppe von 32 Bildern bearbeitet; hierdurch ist die Genauigkeit der Angaben in Relation zur Zeitachse vermindert.

#### 4. *Erfassung von Formparametern*

Da Formveränderungen der Mitochondrien in Zusammenhang mit der Atmungsaktivität bereits mehrfach beobachtet wurden, wäre es notwendig, sie mit zu erfassen und sie zur Bewegungsaktivität in Beziehung zu setzen.

#### 5. *Allgemeine Bewegungsaktivität*

Analyse der Bewegungsaktivität innerhalb verschiedener Zellbereiche, etwa in Kernnähe oder Kernferne.

#### 6. *Sicherung der Aussage*

Eine höhere Anzahl von Versuchen pro Bedingung würde die Sicherheit der Aussage erhöhen. Derzeit ist nur jeweils eine Bezugsmöglichkeit im Verhalten der Organelle jeweils einer Zelle vor und nach Änderung des Milieus gegeben.

Die umständliche Auswertung von Hand wirkt begrenzend auf die Anzahl der Auswertungen und die Menge an verarbeitbarer Information, d. h. ein großer Teil der im Film gespeicherten Information bleibt ungenutzt.

In der mangelhaften Nutzung der gespeicherten Information liegt wohl das Haupthindernis in der experimentellen Erforschung von all den Bewegungsvorgängen, die nur mit dem Film direkt erfaßt werden können. Die Untersuchung von Bewegungen, die anderen Meßverfahren gut zugänglich sind, etwa über mechano-elektrische Umwandler, werden hiervon nicht berührt. Aus diesen Erwägungen erscheint eine Mechanisierung der Auswertarbeit und damit eine Automatisierung dringend erforderlich.

### **Automatische Filmanalyse**

Zur Automatisierung der Filmauswertung bietet sich technisch die Verwendung von Bildanalyse-Geräten an, wie sie in mehr oder weniger vollkommener Ausführung seit vielen Jahren auf dem Markt sind. Diese Geräte haben gemeinsam, daß sie das Filmbild mit einer Videoeinrichtung aufnehmen und die Bildinhalte nach Zahl und Grauwert erfassen können. Alle weiteren Messungen müssen auf Zählvorgänge zurückführbar sein, wie beispielsweise die Erfassung einer Fläche. Dies ist prinzipiell möglich, da sich das Bild bei diesem Verfahren auf den Fernseh-Bildschirm übertragen läßt.

Die Anwendung solcher Geräte für die Untersuchung und Erfassung realer Vorgänge in beliebigen Wissenschaftsbereichen erfordert vom Anwender gegenüber den herkömmlichen Verfahren grundlegendes Umdenken. Er muß versuchen, zunächst seinen Erkenntnisprozeß selbst zu erforschen und das Untersuchungsobjekt abstrakt als Bildkomponente bzw. optisch faß-

bare Differenz eines Teiles zu seiner Umgebung anzusehen. Unter diesem Gesichtspunkt erweist sich auch der umfassende Begriff „Bewegung“ als vielschichtig und uneindeutig.

Zur Erläuterung des Gesagten und als Ansatz für ein Umdenken in dem skizzierten Sinne seien die verschiedenen Formen der Bewegung von Objekten im Hinblick auf eine automatische Erfassung von Bewegung schematisch vorgestellt.

### 1. *Wachstumsbewegungen (Abb. 1)*

In diesem Falle tritt lediglich eine Vergrößerung des vom Objekt überdeckten Areals auf, es handelt sich hier nicht um eine Bewegung im strengen Sinne. Sie ist durch fortlaufende Flächenbestimmung des in seiner Umgebung erkannten und aus ihr selektierten Objektes möglich. Grundlagen eines derartigen Erkennens sind z. B. Grauwert und eine bestimmte Größenordnung oder ein Umfang-Flächenverhältnis.

Zur Messung derartiger Vorgänge ist kein Bildvergleich notwendig, der Apparat muß also nur jeweils ein Bild „kennen“.

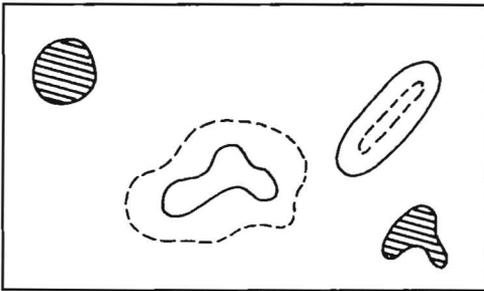


Abb. 1. Wachstumsbewegung  
Das interessierende Objekt wird selektiert, die übrigen Bildinhalte (schraffiert) bleiben unberücksichtigt

Durchgezogene und unterbrochene Linien je zwei aufeinanderfolgende Zustände (Wachstum bzw. Verkleinerung)

### 2. *Fortbewegung (Abb. 2)*

Ein oder wenige gut voneinander unterscheidbare und auf ihrem Hintergrund als Objekte erkennbare Teilchen verändern ihren geometrischen Ort. Die Erkennung und Selektion erfolgt wie unter (1). Es müssen die Koordinaten eines charakteristischen Punktes jeweils gespeichert werden und mit den Koordinaten desselben Teilchens auf dem nachfolgenden Einzelbild verglichen werden.

### 3. *Analyse von Fortbewegung mehrerer Teilchen gleichzeitig (Abb. 3)*

In diesem Falle ist zusätzlich eine Identifizierung bzw. Unterscheidung der einzelnen Teilchen erforderlich. Handelt es sich um wenige, voneinander nach Formparametern oder Grauwert leicht unterscheidbare Objekte, so

kann deren Selektion sukzessive erfolgen, und dem jeweils charakterisierten Objekt können seine Koordinaten zugeordnet werden. Sind zahlreiche Teilchen vorhanden, die individuell erkannt und identifiziert werden müssen, so wird für die Identifizierung außer Formparametern noch die Lage im Bildfeld in Form einer Nachbarschaftsanalyse berücksichtigt werden müssen.

Abb. 2. Fortbewegung  
Jedem Objekt (A, B) werden Koordinaten  $(x, y)$  zugeordnet. Die Objekte müssen nach einfachen Parametern unterscheidbar sein

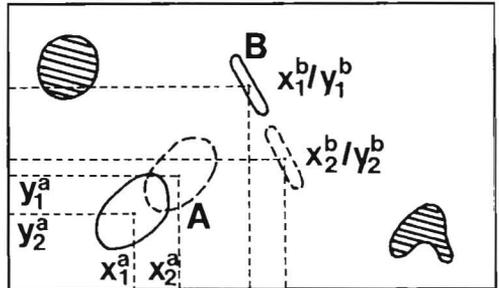


Abb. 3. Fortbewegung mehrerer ähnlicher Objekte  
Zur Identifizierung ähnlicher Objekte (A und C) ist neben den für Abb. 2 genannten Kriterien eine Nachbarschaftsanalyse erforderlich

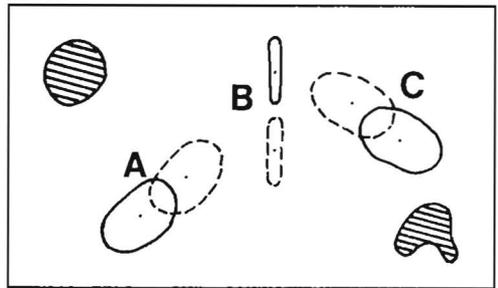
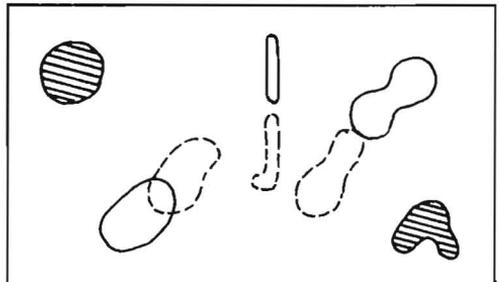


Abb. 4. Fortbewegung und Formveränderung mehrerer Objekte  
Zur Identifizierung ist für jedes Objekt neben den für Abb. 2 und 3 genannten Kriterien eine Ähnlichkeitsbestimmung aufeinanderfolgender Stadien erforderlich



#### 4. Gleichzeitige Analyse der Fortbewegung mehrerer Teilchen, die ihre Form verändern (Abb. 4)

In diesem Falle bereitet die Identifizierung der Teilchen besondere Schwierigkeiten. Die theoretischen Grenzen einer Identifizierung von Objekten, die ihre Form ändern, sind durch die Größe der Änderungsschritte gegeben. Auch ein menschlicher Betrachter kann eine Identifizierung von solchen Objekten nur durchführen, wenn die beiden zu vergleichenden Formen so ähnlich sind, daß eine eindeutige Zuordnung möglich ist oder sich nur einige sehr charakteristische Stellen des Objektes in mehr oder weniger vorhersehbarer Weise ändern (z. B. bei der Rotation einer Scheibe). Diese Form der Bewegungsanalyse ist zweifellos die schwierigste und gleichzeitig umfassendste Form der Bildanalyse, deren Problemlösung die Möglichkeit zur Bearbeitung aller einfacheren Aufgaben einschließt.

Formal gesehen ist hier die Aufgabe gestellt, *Individuen*, die ihre Form und ihren Ort wechseln, Koordinaten zuzuordnen. Hierzu ist außer der Ortsbestimmung eine Definition der Ähnlichkeit und ein Vergleich von Objekteinheiten auf zwei Bildern notwendig. Es müssen also zwei Bilder oder zumindest Abschnitte zweier Bilder gespeichert werden. Formale Überlegungen zu diesem Problem wurden von uns am Beispiel der Mitochondrienbewegung angestellt. Sie erscheinen als günstiger Modellfall für die Erstellung eines allgemeinen Formerkennungs-Programmes und Formvergleichs-Programmes auf dem Wege zu einer automatischen Bildanalyse.

Bei den Wünschen in bezug auf die automatische Filmanalyse muß bedacht werden, daß nicht nur von der Technik verlangt werden kann, Geräte den Problemen der Benutzer anzupassen, sondern umgekehrt der Benutzer in der Bilderzeugung häufig den gewohnten Weg wird verlassen müssen, um eine Strukturdarstellung „automatengerecht“ zu gestalten. Dies ist ein Teil des Umdenkens, das besonders Biologen und Mediziner leisten müssen, wenn sie auf breiter Basis Bildanalyse-Geräte, gleich für welche Aufgaben, einsetzen wollen.

In der Praxis heißt dies für den Biologen, daß bisher nur begrenzt eingesetzte mikroskopische Verfahren, wie Fluoreszenz-, Interferenz- und Polarisationsmikroskopie, zur Hervorhebung bestimmter Strukturdetails verstärkt herangezogen werden und damit auch außerhalb ihrer Aufgabe als Meßgeräte Verwendung finden müssen. Weiterhin ist bei jeder Fragestellung zu klären, welche Informationen wirklich notwendig sind, ob eine genaue Kenntnis von Einzelobjekten bzw. bestimmter Strukturen verlangt werden muß oder ob mit statistischen Werten oder höheren Abstraktionsstufen, wie z. B. Beugungsbildern, die interessierenden Ergebnisse gewonnen werden können. Jede Identifizierung von Einzelindividuen bedeutet großen technischen und zeitlichen Aufwand.

**Literatur und Film**

- [1] BEREITER-HAHN, J., und G. MORAWE: Stoffwechsellabhängige mitochondriale Bewegungen in epithelialen Kaulquappenherzzellen in Gewebekulturen. *Cytobiologie* **6** (1972), 447-467.
  - [2] KUHL, W., und GERTRUD KUHL: Die Dynamik der Frühentwicklung von *Sagitta setosa*. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **12** (1965), 260-301.
  - [3] MAREY, E. J.: *Le mouvement*. Masson, Paris 1894.
  - [4] MUYBRIDGE, E.: *Animals in motion*. London 1902.
- 
- [5] Kinematographische Studien an *Impatiens*, *Vicia*, *Tulipa*, *Mimosa* und *Desmodium* von W. Pfeffer (1898-1900). Bearb. v. F. BACHMANN. Film B 450 des Inst. Wiss. Film, Göttingen. Berlin 1940.