

# Die technischen Grundlagen der Kinematischen Zellforschung

Vorschläge für eine exakte wissenschaftliche  
Mikrokinematographie

von

**Prof. Dr. phil. habil. Willi Kuhl**

Leiter des Institutes für Kinematische Zellforschung  
zu Frankfurt am Main

Mit 57 Abbildungen  
(118 Einzeldarstellungen)



Springer-Verlag Berlin  
Heidelberg GmbH  
1949

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung  
in fremde Sprachen, vorbehalten.  
Copyright 1949 Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg

Ursprünglich erschienen bei Springer Verlag OHG in Berlin, Göttingen, Heidelberg 1949

ISBN 978-3-642-49583-0      ISBN 978-3-642-49874-9 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-642-49874-9

## Vorwort.

Nachdem durch eine Reihe von Veröffentlichungen aus dem vom Verfasser gegründeten „*Institut für Kinematische Zellforschung*“ der Beweis erbracht worden ist, daß die neue Methodik vielseitig anwendbar ist und fast zwangsläufig zu neuen Erkenntnissen führen *muß*, erscheint es angezeigt, die *technischen Grundlagen* dieser Methodik in ausführlicherer Weise darzustellen, als es in den Arbeiten selbst unter der Schlagzeile „Technik der Untersuchung“ in einzelnen Stichworten möglich ist. Die Fragestellungen der Arbeiten entstammen verschiedenen Gebieten der *Zellforschung* im *weiteren Sinne*, also auch der Entwicklungsgeschichte, Entwicklungsphysiologie und Protozoologie.

Daß diese „*Grundlagen der Kinematischen Zellforschung*“ nach nahezu einem Jahrzehnt ihrer Entwicklung veröffentlicht werden, ist wohl nicht verfrüht, obwohl ursprünglich beabsichtigt war, noch ein weiteres halbes Dezennium damit zu warten.

Für das jetzige Erscheinen waren folgende Gesichtspunkte maßgebend:

1. Zeitbedingte Erschwernisse der experimentellen Arbeit sowie die Unmöglichkeit, an biologischen Meeresstationen die begonnenen und z. T. bereits veröffentlichten Forschungen weiterzuführen, ergaben die unfreiwillige Muße zur Niederschrift.

2. Die „*Kinematische Zellforschung*“ arbeitet *ausschließlich* mit der *lebenden Zelle*, und zwar unter *Änderung des „Zeitmomentes“* des Menschen. Diese ist *nur möglich* durch Anwendung einer hochspezialisierten *mikrokinematographischen* Technik. Ohne langjährige Übung und die sich aus ihr ergebende Erfahrung sind keine brauchbaren wissenschaftlichen Ergebnisse zu erzielen. Das Arbeiten mit mikrokinematographischen Geräten, das Kenntnisse in der allgemeinen Technik der Mikrophotographie in gleichem Maße voraussetzt wie eine genaue Beherrschung der Filmtechnik, schreckte zunächst manche Forscher ab, die die vielen neuen Möglichkeiten einer „*dynamisch*“ denkenden und experimentell arbeitenden Zellforschung klar erkannt haben. Wo sich manuelle Geschicklichkeit mit der Fähigkeit zu experimentellem Arbeiten vereinigt vorfindet, ist die Abschreckung durch die technische Seite der Kinematischen Zellforschung geringer. Bestehen bleibt auch in diesem Fall die Schwierigkeit in der *Beschaffung* der meist sehr kostspieligen Aufnahmegeräte.

Die folgenden Ausführungen sollen die Bedenken gegen die *technische* Seite der hier befürworteten Methode zerstreuen helfen und zeigen, daß auch ohne allzu große Anschaffungskosten Mikrozeitraffer-Aufnahmegeräte zusammengestellt werden können.

3. Da die „*Anlaufzeit*“ zur Einarbeitung in eine neue Untersuchungstechnik erfahrungsgemäß nicht kurz ist, zumal wenn aus „*Etatgründen*“ manche Hilfsgeräte selbst entwickelt und hergestellt werden müssen, erschien es zweckmäßig, die Wege hierzu schon jetzt aufzuzeigen, und zwar an Hand der in unseren Laboratorien seit

vielen Jahren in Betrieb befindlichen Apparaturen. Die Hoffnung erscheint berechtigt, daß dadurch eine größere Zahl von *Mitarbeitern* gewonnen werden kann, als durch die alleinige Bekanntgabe wissenschaftlicher Ergebnisse.

4. Die wenigen Forscher, die zur Zeit den „*gerafften*“ oder „*gedehnten*“ Film als *Mittel* zur Entdeckung verborgener intrazellulärer Bewegungsvorgänge verwenden, beschränken sich zumeist darauf, das *Laufbild* häufig zu beobachten; dann werden die Forschungsfilme ad acta gelegt, obwohl noch unentdeckte „Schätze“ in ihnen stecken, die gehoben werden könnten, sofern die hier dargestellte „*Teilbild-Analyse*“ nach Durchuntersuchung des Laufbildes angewandt würde. Wenn auf Grund der gegebenen Beispiele der völligen wissenschaftlichen „Ausschöpfung“ von Forschungsfilmen das vorhandene ungenutzte Filmmaterial wenigstens z. T. noch nachträglich einer sorgfältigen Teilbild-Analyse unterworfen würde, so wäre ein Zweck des betr. Kapitels erreicht. Ich denke z. B. an das schöne Material über die Darstellung der Mitose von Krebszellen!

5. Die *Änderung des „Zeitmomentes“* sollte in Zukunft als *notwendige Ergänzung* jeder *ernsthaften Untersuchung* lebenden Zellmaterials gefordert werden, denn niemand kann voraussagen, welche *verborgenen Bewegungen* und *Materialverschiebungen* noch vorliegen, die bei normalem Zeitmoment, also der üblichen subjektiven Beobachtungsweise, *nicht sichtbar sein können!*

Voreiligen Serierungsversuchen von *Phasen des Geschehens*, die oft willkürlich gelegt werden, wird dadurch der Boden entzogen.

Je eher eindrücklichst auf diese dringend erforderliche Ergänzung hingewiesen wird, um so früher werden die z. T. noch herrschenden Vorurteile und das bequeme Verharren im Althergebrachten beseitigt werden.

6. Während seit Jahren durch Schrift und Wort die *zukünftige Bedeutung* der von uns entwickelten Methodik sowohl dem engeren Kreise der Fachgenossen wie auch weiteren *naturwissenschaftlich* interessierten Schichten stets ohne Schwierigkeiten nahegebracht werden konnte, war das auf nicht naturwissenschaftlicher Seite leider oft nicht möglich. Dies war zu bedauern, weil dadurch die Entwicklungsmöglichkeit unseres Institutes z. T. gehemmt wurde.

Schon das Wort „Film“ löst hier ein gewisses Unbehagen aus, offenbar bedingt durch gewisse Entgleisungen der anderen Komponente seiner Anwendung.

Es wird immer wieder verkannt, daß *nur* der *Film* das *einzig mögliche Hilfsmittel* der Forschung ist, Vorgänge in oder an der lebenden Zelle sichtbar zu machen, die für unser „normales Zeitmoment“ viel zu *langsam* oder zu *schnell* ablaufen, um beobachtet zu werden!

Dieses Vorurteil zu beseitigen ist nur möglich, indem man die Tatsachen sprechen läßt; auf die Dauer wird diese Sprache verstanden werden.

Die Anwendung des *Filmes* in der *Zellforschung* hat nur Sinn, wenn sie intensiv und planmäßig, nicht aber als „amüsante“ Nebenbeschäftigung und an wahllos aufgegriffenen Objekten erfolgt.

Viele kleine „Erfindungen“, die oft nicht über den Rahmen geschickter Basteleien hinausgehen, sind fast bei jeder gestellten wissenschaftlichen Aufgabe erforderlich; der Kampf mit der „Tücke des Objektes“ ist hier besonders groß.

Den künftigen Mitarbeitern auf dem wissenschaftlichen Neuland der Kinematischen Zellforschung sollen in den folgenden Ausführungen unsere Erfahrungen und

kleinen und großen Hilfsmittel in einer Form unterbreitet werden, daß *ihnen* der *Zeitverlust erspart* bleibt, der bei der ersten Pionierarbeit nicht vermeidbar ist.

Neu entwickelte Hilfseinrichtungen werden in dem „Entwicklungszustand“ geschildert, in dem sie seit Jahren vollwertig in Betrieb sind, gleichgültig, ob sie das Auge des industriellen Fachmannes vielleicht noch beleidigen ob ihrer Einfachheit und ihrer z. T. „unedlen“ Materialien. Dafür sind sie dann auch einem Institut mit niedrigem Etat erschwinglich!

Erfreulich war das Verständnis einiger Großfirmen für unsere mannigfaltigen Abänderungsvorschläge und Sonderwünsche. So habe ich vor allem der Firma E. Leitz, Wetzlar, und den Askania-Werken, Berlin-Friedenau, zu danken.

Für die stete Förderung danke ich herzlich dem Kämmerer i. R. der Stadt Frankfurt, Herrn Professor Dr. FRIEDRICH LEHMANN.

Ich widme diese Schrift meiner unermüdlichen treuen Helferin, meiner Frau GERTRUD KUHL, geb. SEITZ. Sie hat besonderen Anteil an der Entwicklung der „Teilbild-Analyse“.

---

Frankfurt a. M., 1. Juli 1949.

WILLI KUHL

# Inhalt.

Einleitung . . . . .	1
I. Das Arbeitsgebiet der Kinematischen Zellforschung . . . . .	2
II. Die Aufnahmeapparatur nebst Hilfseinrichtungen und Lichtquellen . . . . .	16
1. Eine einfache Zeitrafferapparatur. . . . .	16
a) Der Tragarm des Übersetzungsgetriebes. . . . .	22
b) Die Sektorendoppelscheiben. . . . .	23
2. Die Askania-Z-Kamera mit automatischem Zeitraffer; Erfahrungen und Verbesserungen. . . . .	31
a) Allgemeines. . . . .	31
b) Einzelheiten der leicht auf- und abmontierbaren Aufhängevorrichtung der Z-Kamera. . . . .	38
$\alpha$ ) Die Grundplatte mit der Tragsäule. . . . .	38
$\beta$ ) Die Verankerung der Tragsäule. . . . .	41
c) Anpassungen der Askania-Z-Kamera an die Erfordernisse der Mikrozeitrafferaufnahme. . . . .	43
$\alpha$ ) Die geknickte Einblicklupe. . . . .	43
$\beta$ ) Das seitliche Einblickrohr mit ausschaltbarem Prisma. . . . .	45
$\gamma$ ) Der Beobachtungsspiegel für das Zählwerk. . . . .	47
d) Der automatische Zeitraffer zur Askania-Z-Kamera nebst erprobten Vorschlägen zur weiteren Ausgestaltung. . . . .	47
$\alpha$ ) Zusatzeinrichtungen zum Askania-Zeitraffer zum Schutz des lebenden Objektes gegen unnötige Dauerbeleuchtung. . . . .	48
$\alpha\alpha$ ) Dauerlauf mit Zusatzeinrichtung zum Lichtschutz des Aufnahmeobjektes in den Intervallen. . . . .	49
$\beta\beta$ ) Intermittierender Gang mit Zusatzeinrichtung zum Lichtschutz des Aufnahmeobjektes während der Intervalle. . . . .	53
$\gamma\gamma$ ) Kombination von rotierender Außensektoren-Kontaktscheibe mit intermittierendem Gang des Zeitraffer-Motors. . . . .	53
a') Die Außensektoren-Kontaktscheibe und ihr Antrieb. . . . .	54
b') Einige Einzelheiten zur Kontaktscheiben-Einrichtung. . . . .	58
$\beta$ ) Der elektrische Antrieb des automatischen Zeitraffermotors. . . . .	60
3. Hilfseinrichtungen für die wissenschaftlichen Filmaufnahmen mit der Askania-Z-Kamera. . . . .	61
a) Einrichtungen zur Kennzeichnung des Anfangs und Endes einer Bildfolge. . . . .	61
$\alpha$ ) Allgemeines. . . . .	61
$\beta$ ) Signierung der Bildfolgen durch einfache Mikrophotographie von Zahlen und Zeichen. . . . .	61

γ) Eine Einrichtung zur Signierung der Bildfolgen und zur Zeichengebung unabhängig vom Aufnahmeobjekt. . . . .	63
αα) Das Spiegelgerät. . . . .	63
ββ) Der Vorlagenträger. . . . .	70
γγ) Die Beleuchtungseinrichtung des Vorlagenträgers. . . . .	77
δδ) Der Zeichengeber, ein Zusatzgerät zu Vorlagenträger und Spiegelgerät	78
b) Eine Fernverschiebungsvorrichtung für Aufnahmeobjekte verschiedener Art.	84
α) Allgemeines. . . . .	84
β) Einzelheiten der Fernverschiebungsvorrichtung. . . . .	85
4. Die Lichtquellen für Mikrofilmaufnahmen. . . . .	87
a) Geeignete Lichtquellen für Mikrozeitrafferfilmaufnahmen. . . . .	87
α) Die Niedervoltlampe. . . . .	87
β) Die Punktlichtlampe. . . . .	89
b) Lichtquellen für mikrokinematographische Aufnahmen bei normaler Frequenz (16 Bilder/Sekunde). . . . .	89
III. Anleitungen und Ratschläge zur mikroskopischen Untersuchungstechnik lebender Zellen und Gewebe in Verbindung mit Zeitrafferfilmaufnahmen. . . . .	91
1. Vorbemerkungen. . . . .	91
a) Das Aufnahmepräparat. . . . .	92
α) Der Objektträger. . . . .	92
β) Das Deckglas. . . . .	92
γ) Verdunstungsschutz. . . . .	93
δ) Verhinderung des Durchbiegens des Deckglases. . . . .	94
ε) Die Festlegung des Aufnahmeobjektes. . . . .	95
ζ) Andere Formen von Mikroaufnahmeaquarien. . . . .	96
η) Aufnahme im hängenden Tropfen. . . . .	97
θ) Feuchte Kammern. . . . .	98
ι) Ringpräparate. . . . .	99
b) Mikroaquarien für Zeitrafferfilmaufnahmen. . . . .	99
c) Der Prismenrotator für Objekte in Flüssigkeiten. . . . .	100
d) Das „Durchströmungskompressorium“ von E. LEITZ. . . . .	104
e) Heiz- und abkühlbarer Objektisch . . . . .	105
2. Bemerkungen zur Aufnahmeoptik in Anpassung an die Mikrozeitrafferfilmaufnahme. . . . .	106
a) Das Mikroskop. . . . .	106
b) Die Objektive. . . . .	109
c) Die Okulare. . . . .	110
d) Der Kondensator. . . . .	110
e) Die Irisblende. . . . .	110
f) Der Mikroskopspiegel. . . . .	111
g) Aufnahmen mit dem „einfachen Mikroskop“ (Lupenvergrößerung) . . . .	112
h) Zeitrafferaufnahmen bei schwacher Vergrößerung ohne Deckglas. . . .	114
3. Die Beleuchtung des Objektes . . . . .	115

4. Die Lichtfilter. . . . .	116
5. Der Wärmeschutz. . . . .	117
6. Die Untersuchungsmedien. . . . .	117
a) Natürliche (= arteigene, organische) Medien. . . . .	118
b) Künstliche Untersuchungsmedien. . . . .	119
IV. Die Filmaufnahme zur Änderung des Zeitmomentes. . . . .	119
1. Die Fragestellung. . . . .	120
2. Die Wahl des Objektes. . . . .	120
3. Die Berechnung der Beschleunigung. . . . .	121
4. Die Technik der Aufnahme. . . . .	124
a) Die wissenschaftliche Planung der Mikrozeitrafferaufnahme. . . . .	125
b) Das Aufnahmematerial. . . . .	125
c) Der Probestreifen. . . . .	126
d) Das Aufnahmeprotokoll. . . . .	132
e) Der Gang der Mikrozeitrafferaufnahme. . . . .	135
5. Die Weiterbehandlung der belichteten Negative. . . . .	138
6. Der Schnitt. . . . .	138
V. Die wissenschaftliche Filmauswertung. . . . .	138
1. Das Zeitraffer-Laufbild und seine Auswertung. . . . .	138
2. Die Teilbildanalyse. . . . .	140
a) Allgemeines. . . . .	140
b) Die technischen Hilfsmittel der Teilbildanalyse. . . . .	141
$\alpha$ ) Das Filmlaufwerk des Auswertungsapparates. . . . .	142
$\beta$ ) Der Projektionsrahmen. . . . .	145
$\gamma$ ) Nebeneinrichtungen am Projektionsrahmen. . . . .	149
$\delta$ ) Die Herstellung von photographischen Abzügen mit dem Auswertgerät. . . . .	151
$\epsilon$ ) Die Laufbildanalyse im Auswertungsapparat. . . . .	159
$\zeta$ ) Die Zeichentechnik. . . . .	160
$\eta$ ) Die Weiterverarbeitung der am Auswertgerät gewonnenen Ergebnisse. . . . .	161
$\theta$ ) Beispiele für die Teilbildanalyse aus dem Gebiete der Kinematischen Zell- forschung. . . . .	162
VI. Die Ausgestaltung der Kinematischen Zellforschung. . . . .	178
Anhang. . . . .	183
1. Benennungsfragen. . . . .	183
2. Verzeichnis der erwähnten Firmen. . . . .	183
3. Schriftenverzeichnis. . . . .	184