

MITTEILUNGEN



DES INSTITUTS FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

NR. 9

FEBRUAR

1959

Inhalt dieses Heftes

D. Elle: Einrichtungen zur Kurzzeitphotographie im Institut für den Wissenschaftlichen Film.....	1
Forschungsberichte des Instituts II.....	11
Neue Filme des Instituts.....	15
Mitteilungen.....	19


Einrichtungen zur Kurzzeitphotographie im Institut für den Wissenschaftlichen Film

D. Elle, Göttingen

Besonders im Bereich der Technik und dem der naturwissenschaftlichen Forschung gibt es so schnell verlaufende Vorgänge, daß sie mit dem menschlichen Auge und den Aufnahmeapparaturen der gewöhnlichen Kinematographie nicht verfolgt werden können. In vielen Fällen ist es erwünscht, auch hier zur Untersuchung die photographisch registrierende Methode anzuwenden. Man hat deshalb schon seit Jahrzehnten Apparaturen und Methoden der sog. Kurzzeitphotographie und Hochfrequenzkinematographie entwickelt. Die Tatsache, daß besonders in Amerika und Rußland erhebliche Mittel für solche Apparaturen aufgewandt werden, zeigt, daß diesen Untersuchungsmethoden eine gewisse Bedeutung beigemessen wird. Auch im Institut für den Wissenschaftlichen Film haben wir, soweit das unsere etwas beschränkteren Mittel erlauben, seit einigen Jahren solche Apparaturen aufgebaut und weiterentwickelt. Im folgenden soll hierüber ein Überblick gegeben werden.

Zur Aufnahme schneller Bewegungsvorgänge sind kurze Belichtungszeiten notwendig, denn Bewegungsunschärfen im Bild sind abhängig von der Geschwindigkeit des aufzunehmenden Vorgangs und von der Belichtungsdauer der Aufnahme. Mit den üblichen mechanischen Photoverschlüssen läßt sich eine kürzeste Belichtungszeit von etwa $\frac{1}{1000}$ s erreichen. Bei dieser Belichtungszeit würde z.B. ein Vorgang einer Geschwindigkeit von 1 m/s eine Bewegungsunschärfe (bei Abb. 1:1)

von 1 mm bekommen. Beträgt diese Unschärfe etwa 0,1 % der Abmessungen des Aufnahmegegenstandes, dann wird sie im allgemeinen nicht stören. Das gilt nicht mehr, wenn der Aufnahmegegenstand erheblich kleiner ist (z.B. ein Getreidekorn beim Mahlvorgang, d.h. wenn das genannte Verhältnis wesentlich höher liegt. In jedem Fall muß abgeschätzt werden, welche Bewegungsunschärfe im Verhältnis zur Größe des Aufnahmegegenstandes für den Zweck der Auswertung noch zulässig ist. Danach berechnet sich dann die obere Grenze der Belichtungsdauer der Aufnahme. Kürzere Belichtungszeiten (kleiner als $\frac{1}{1000}$ s) lassen sich mit besonderen Kurzzeitverschlüssen oder mit Hilfe kurzzeitig leuchtender Lichtquellen (Röhrenblitzlampen, Funken, Röntgenblitzrohren und dergl.) erreichen. Je nach Wahl der Kondensatoren des Entladungskreises und der Blitzlampen können verschiedene Leuchtzeiten der Blitzlichtquellen erreicht werden. Im allgemeinen wird man für lange Blitzzeiten (etwa $\frac{1}{1000}$ s) große Entladungskapazitäten und kleinere Spannungen (etwa 1kV) und umgekehrt für sehr kurze Leuchtzeiten kleine Kapazitäten und verhältnismäßig hohe Spannungen (bis 40 kV) benutzen.

Im Institut stehen  Röntgenblitzgeräte zur Verfügung, mit denen Leuchtzeiten von 10^{-3} s, 2×10^{-4} s und 2×10^{-5} s herstellbar sind. Eine Apparatur mit 4 Blitzlampen der letzten Art (Leuchtdauer 2×10^{-5} s) kann in Zeitintervallen zwischen $\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{1000}$ s gesteuert werden. Damit bietet sich die Möglichkeit, Reihenbilder eines Bewegungsvorgangs vor einem dunklen Hintergrund mit einer Kamera auf ein und derselben photographischen Schicht aufzunehmen. Für solche Reihenaufnahmen in noch kürzeren Zeitintervallen (10^{-3} bis 2×10^{-5} s) steht ein Lichtblitz-Stroboskop der Firma Frügel, Hamburg, zur Verfügung.

Noch kürzere Belichtungszeiten (2×10^{-7} s bis 3×10^{-6} s) lassen sich in einfacher Weise mittels Gleitfunkenentladungen herstellen. Mit dieser Beleuchtung konnten z.B. 11fach vergrößerte Aufnahmen von dem Vorgang des Flammenspritzens gemacht werden.

Führt man eine Entladung über einen dünnen Draht oder eine dünne Metallschicht, dann wird diese Schicht explosionsartig unter heller Leuchterscheinung verdampfen. Dieser Vorgang stellt eine weitere, für viele Zwecke sehr brauchbare Lichtquelle von etwa 5×10^{-6} s Dauer dar.

Alle diese durch Entladungen hergestellten Kurzzeitlichtquellen lassen sich zeitlich verhältnismäßig genau durch den aufzunehmenden Vorgang steuern. Ist dessen Ablauf selbst zeitlich gut reproduzierbar, dann können davon verschiedene Bewegungsphasen durch Einzelaufnahmen festgehalten werden, indem man jeweils die Verzögerungszeit zwischen dem Augenblick der Auslösung und der Aufnahme verändert.

Elektrische Entladungen bieten die Möglichkeit, kurzzeitig wirkende und zeitlich gut steuerbare Strahlungsquellen nicht nur im Bereich der sichtbaren Strahlung, sondern auch im Röntgengebiet herzustellen. Durch eine Hochspannungsentladung über ein geeignet konstruiertes Röntgenrohr erhält man sog. Röntgenblitze einer Leuchtdauer von etwa 5×10^{-7} s Dauer. Sehr schnell ablaufende Vorgänge, die nur im Röntgenschattebild erfaßbar sind, z.B. selbstleuchtende Vorgänge, können dadurch im Momentbild festgehalten werden.

Ein solches Röntgenblitzrohr wurde in eigener Konstruktion im Institut hergestellt und an eine Hochvakuumpumpanlage angepaßt. Das Rohr kann geöffnet und entsprechend den Aufnahmebedingungen in seiner Elektrodenanordnung geändert werden. Eine für den Betrieb des Röntgenblitzrohres aufgebaute Hochspannungsstoßanlage erlaubt kurzzeitige Spannungen von 20 kV, 60 kV, 100 kV, 140 kV oder 220 kV anzulegen. Damit ergibt sich die Möglichkeit, Röntgenblitze verschiedener "Härte", d.h. verschiedener Durchdringungsfähigkeit zu erzeugen. Bei 220 kV Entladespannung kann mit einem solchen Röntgenblitz ein Äquivalent von 15 mm Eisen durchstrahlt werden. Die Entladespannung wird man so hoch nehmen, daß der Aufnahmegegenstand durch den Röntgenblitz gerade genügend durchstrahlt wird. Andererseits ist es vorteilhaft, die Röntgenstrahlung so "weich" wie möglich zu wählen, um gute Kontrastverhältnisse zu bekommen. Je nach den Absorptionsverhältnissen des Aufnahmegegenstandes werden die beiden genannten Bedingungen für eine bestimmte Entladespannung am günstigsten erfüllt sein. Anwendungsmöglichkeiten sind gegeben bei Schmelz-, Verdampfungs-, Verbrennungs- und Schweißvorgängen, bei Untersuchungen von schnellumlaufenden Maschinenteilen, Getrieben usw.

Die bisher beschriebenen Aufnahmeanordnungen erlauben nur einzelne oder wenige Momentbilder eines Vorgangs festzuhalten. Da sich hier die Aufnahme mit dem Vorgang verhältnismäßig genau koppeln läßt, können solche Bilder schon einen wertvollen Hinweis auf den Ablauf eines Vorgangs geben, den Verlauf selbst aber nicht darstellen. Diesem Ziel wird man näher kommen, wenn man mehrere solcher Kameras und Blitzlichtquellen kombiniert und damit in geeigneten Zeitintervallen die Bewegungsphasen ein und desselben Vorgangs nacheinander aufnimmt. Voraussetzung ist aber die räumliche und zeitliche Trennung der aufeinanderfolgenden Einzelbilder des Vorgangs. Das erste geschieht durch die einzelnen Kameras. Um die Bilder zeitlich zu trennen, also um nicht mehrfache Belichtungen durch die späteren oder vorangehenden Einzelaufnahmen zu haben, muß jede dieser Kameras mit einem Kurzzeitverschluß versehen sein. Für Aufnahmen in Zeitabständen von 10^{-4} s bis 3×10^{-6} s (Bildfrequenzen von $10^4/s$ bis $3 \times 10^5/s$) steht eine Apparatur für Reihenbildvorderlichtaufnahmen mit 5 Einzelkameras zur Verfügung. Jede dieser Kameras ist mit einem Kurzzeitverschluß (Faraday-Verschluß) einer Öffnungszeit von 2×10^{-6} und mit einer Beleuchtungseinrichtung versehen. Der Verschluß benutzt den magnetooptischen

Faradayeffekt, der in der Drehung der Schwingungsebene des polarisierten Lichtes bei Einwirkung eines Magnetfeldes besteht. Durch eine Entladung über eine kurze Spule wird dieses starke Magnetfeld kurzzeitig erzeugt. Die Faradayzelle, auf deren Aufbau hier nicht näher eingegangen werden kann, ist nur durchsichtig, solange der Entladungsstrom wirksam ist. Die Beleuchtung geschieht durch eine im gleichen Entladungskreis explosionsartig verdampfende Silberschicht synchron mit der Verschußöffnung. Mit dieser im Institut entwickelten Apparatur lassen sich Vorgänge untersuchen, deren Gesamt Ablauf so kurz ist, daß nur wenige Bilder zeitlich unterzubringen sind. Als Beispiele sind zu nennen: Zerreißvorgänge von Fäden, dasselbe an einem Papierblatt oder an einer Aluminiumfolie unter plötzlichem Druck, die Auswölbung einer Aluminiumfolie unter plötzlichem Druck, Zerbersten eines Rohres usw.

Hierbei ist selbstverständlich notwendig, die Aufnahmeapparatur zeitlich genau mit dem aufzunehmenden Vorgang zu koppeln. Das kann geschehen durch Kontakt oder Unterbrechung, d.h. allgemein durch Widerstandsänderung eines Stromkreises oder durch ein Lichtsignal über eine Photozelle mit Verstärker oder durch ein akustisches Signal über einen Piezokristall und Verstärker. Entsprechende Apparaturen und Vorrichtungen sind zu diesem Zwecke aufgebaut worden. Die Auslösung der Verschlüsse und Beleuchtungseinrichtungen der einzelnen Kameras erfolgt in bestimmten Zeitabständen durch elektrische und akustische Schaltmaßnahmen.

Der genannte Faraday-Verschuß kann auch mit dem Entladungskreis einer Röhrenblitzlampe gekoppelt werden. Die Öffnungszeit des Verschlusses entspricht dann etwa der Hälfte der Leuchtdauer der betreffenden Blitzlampe. Durch geeignete Wahl der Kondensatoren und Spannungen des Entladungskreises können Öffnungszeiten des Verschlusses zwischen 2×10^{-6} s und 2×10^{-4} s eingestellt werden. Eine Kombination dieses Kurzzeitverschlusses mit einer Blitzlampe und mit einer Zeitrafferkamera (wie sie gemeinsam mit J. Rieck beschrieben wurde)¹⁾, erlaubt Zeitrafferaufnahmen unabhängig von den Schwankungen des Tageslichts. Unter besonderen Umständen (Entladespannungen von 140 kV) ließ sich mit dem Faraday-Verschuß eine Öffnungszeit von 5×10^{-7} s erreichen. Die mechanische Beanspruchung des Verschlusses ist hierbei allerdings unzulässig hoch. Einzelbilder von der Verdampfung eines durch Entladung explodierenden Drahtes konnten auf diese Weise z.B. aufgenommen werden.

Eine einfache Kamera mit einem Drehspiegel unter 45° Neigung gegen seine Drehachse gestattet unter bestimmten Umständen Aufnahmen in einem Frequenzbereich von 1 000 - 25 000 B/s auf einem feststehenden Film. Die einzelnen aufeinander folgenden Bilder erfahren beim Umlauf des Spiegels eine Drehung um ihren Mittelpunkt, einen sog. Bildsturz. Da ein optischer Ausgleich hier nicht vor-

1) Askania-Warte 12 (1954) Nr. 46, S. 3.

handen ist, können die Bilder nur mit sehr kurzer Blitzbeleuchtung, wie sie das Früngelsche Blitzgerät liefert, aufgenommen werden. Man hat dann etwa 40 Bilder in Normalfilmgröße.

In Konstruktion ist eine weitere Drehspiegelkamera, in welcher der Fehler des Bildsturzes vermieden wird. Hier liegt die Drehspiegelachse in der Drehspiegelachse. Der Aufnahmegegenstand kann verkleinert oder auch vergrößert auf den Drehspiegel abgebildet werden. Dieses Bild wird dann seinerseits mit der Drehung des Spiegels durch eine Reihe von 20 im Halbkreis angeordneter Kameras zeitlich nacheinander aufgenommen. Die Belichtungszeit des Einzelbildes ist hier etwa $\frac{1}{5}$ der Bildwechselzeit. Diese ist abhängig von der Umlaufzeit des Drehspiegels. Bildwechselzeiten von 10^{-4} s bis $1,4 \times 10^{-5}$ s, d.h. Bildfrequenzen von 10^4 /s bis 7×10^4 /s sind erreichbar. Die Bildgröße ist etwa Normalfilmformat. Zur Belichtung dienen zwei hierfür aufgebaute Blitzlampen mit einer Entladungsenergie von je 500 Ws. Die wirksame Leuchtdauer, die durch geeignete Schaltmaßnahmen geändert werden kann, muß etwa die Hälfte der Umlaufzeit des Drehspiegels betragen, um eine mehrfache Überschreibung des Films zu vermeiden.

Um Bilder von 20 mm Durchmesser in zeitlichen Abständen von 2×10^{-6} s auf einem bewegten Film unterzubringen, müßte dieser mit einer Geschwindigkeit von 10 km/s ablaufen. Das ist praktisch unmöglich. Die in folgender Skizze (Abb.1)

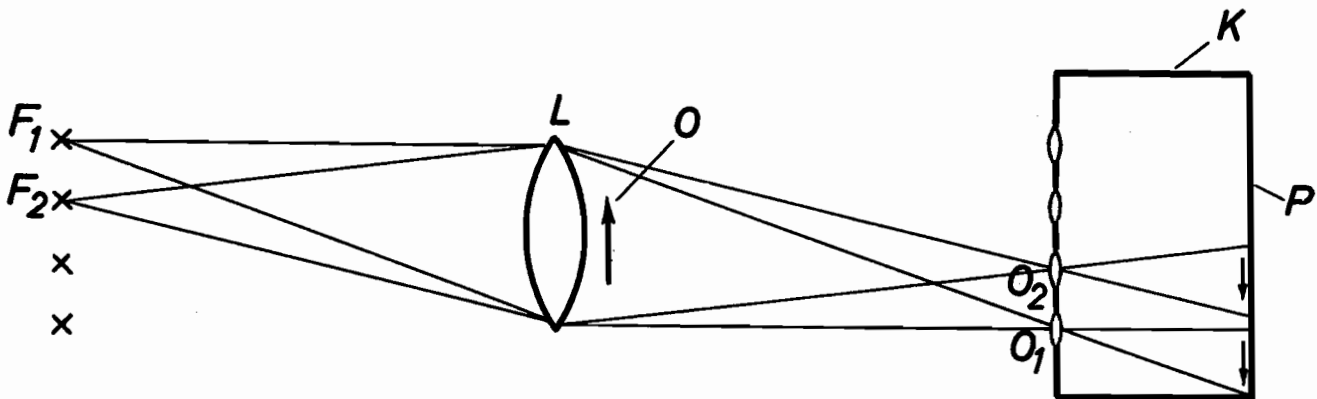


Abb. 1 Anordnung nach Cranz-Schardin

gegebene Anordnung nach Cranz-Schardin gestattet, eine Anzahl verhältnismäßig großer Bilder auf einer ruhenden photographischen Schicht aufzunehmen. Die Bildtrennung ist dadurch bewirkt, daß das Licht von je einem Funken der Reihe F_1, F_2 , usw. durch die Linse L vor dem entsprechenden Objektiv O_1, O_2 , usw. der Kamera gesammelt wird. Im verdunkelten Raum erhält dadurch jedes dieser Objektive nur Licht von dem entsprechenden Funken. Von dem bei O ab-

laufenden Vorgang werden durch die Objektive O_1 , O_2 usw. auf der feststehenden Photoschicht mehrere nebeneinanderliegende Bilder entworfen. Die Aufnahme der Einzelbilder geschieht dann in den Zeitabständen, in denen die einzelnen Beleuchtungsfunken F_1 , F_2 usw. nacheinander gezündet werden.

Die erste im Institut aufgebaute Apparatur erlaubt 20 Bilder von 30 mm Durchmesser. Die Leuchtzeit der einzelnen Funken beträgt $1,4 \times 10^{-7}$ s. Hiermit können schnell ablaufende Vorgänge in Zeitabständen von 3×10^{-6} s bis $1,4 \times 10^{-7}$ s (Bildfrequenzen von 300 000/s bis 7×10^6 /s) photographiert werden. Die Auslösung geschieht durch den aufzunehmenden Vorgang, wie schon vorn erwähnt, durch Kontakt, Unterbrechung oder durch ein Licht- oder Schallsignal. Um den Gegenstand der Aufnahme im richtigen Augenblick zu erfassen, muß die notwendige Verzögerung zwischen dem Signal und dem ersten Beleuchtungsfunken, d.h. dem ersten Bild, berücksichtigt werden. Im allgemeinen gestattet diese Cranz-Schardinsche Anordnung nur Aufnahmen im durchfallenden Licht, also Schattenaufnahmen, spannungsoptische Aufnahmen oder Schlierenaufnahmen. Unter Umständen ist es aber möglich, mit dieser Anordnung mit Hilfe der Schlierenmethode auch Vorgänge an einer spiegelnden Oberfläche zu untersuchen. Aufnahmebeispiele für diese 20-Funken-Apparatur sind: Bruchvorgänge in Gläsern nach verschiedener Vorbehandlung (Laufgeschwindigkeit des Bruches etwa 1 500 m/s), Ausbreitung von Ultraschallimpulsen im Wasser (Geschwindigkeit etwa 1 500 m/s), dargestellt durch das Schlierenverfahren, und Ausbreitung von Spannungswellen in Glas (Geschwindigkeit etwa 5 300 m/s), sichtbar gemacht mittels spannungsoptischer Methode. Es gelang, diesen letztgenannten Vorgang auch mit den heute vorhandenen empfindlichen Farbfilmen aufzunehmen. Von diesen Vorgängen ließen sich kurze vorführfähige Filmstreifen herstellen, indem die 20 in der oben beschriebenen Anordnung aufgenommenen Einzelbilder auf einen Lauffilm umkopiert wurden.

Eine weitere Cranz-Schardinsche Anordnung besteht aus 10 Funken höherer Entladungsenergie, also größerer Helligkeit. Die Leuchtdauer des Einzelfunkens ist hier etwa 6×10^{-7} s. Die zeitlichen Abstände der Bilder können 5×10^{-6} s bis 6×10^{-7} s (Bildfrequenz von 200 000/s bis $1,7 \times 10^6$ /s) sein. Hiermit wurden die ersten spannungsoptischen Aufnahmen durchgeführt. Allerdings zeigen die Vorgänge solcher Geschwindigkeiten schon sehr störende Bewegungsunschärfen, da die Belichtungszeit des Einzelbildes hier bereits zu lang ist. Die große Funkenhelligkeit dieser Apparatur erlaubt z.B. schwach selbstleuchtende Vorgänge auf mäßig empfindlichem Filmmaterial aufzunehmen.

Für den Bildfrequenzbereich von 600/s bis 7 000/s wird im Institut schon seit einiger Zeit der amerikanische Fastax-Zeitdehner benutzt. Hier läuft der Film stetig bis zu Geschwindigkeiten von etwa 50 m/s hindurch. Das Bild wird dem Film durch den sog. optischen Ausgleich nachgeführt. Die Belichtungszeit des Einzelbildes ist etwa $\frac{1}{3}$ der Bildwechselzeit. Für sehr kleine schnellbewegte

Aufnahmeobjekte ist diese Belichtungszeit noch zu lang. Es ergeben sich störende Bewegungsunschärfen. Die Fastax-Kamera wurde deshalb mit einem Funkenblitzgerät der Firma Früngel, Hamburg, gekoppelt. Ein von dieser Firma in diese Kamera eingebauter Impulsgeber steuert die Lichtblitze so, daß jedes Einzelbild im richtigen Moment etwa 10^{-6} s belichtet wird. Damit lassen sich Bewegungsunschärfen weitgehend vermeiden. Diese Apparatur mit Blitzbeleuchtung konnte schon mehrfach mit Erfolg eingesetzt werden, z.B. zur Untersuchung folgender Vorgänge: Schleifen und Polieren von Zähnen, Farbspritzen an Düsen und schließlich Mahlen von kleinen Körnern in einer Hammermühle.

Um die zeitlichen Beleuchtungsverhältnisse der verschiedenen genannten Blitzlichtquellen jederzeit prüfen zu können, ist im Institut eine stetig aufzeichnende Drehspeigelkamera aufgebaut worden (Abb.2)

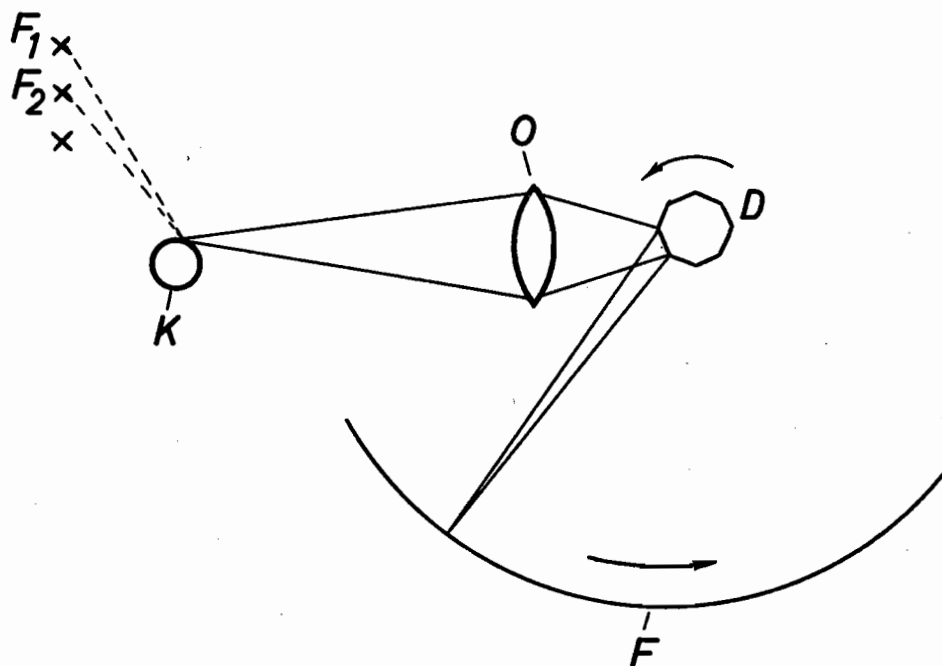


Abb. 2 Schema der Drehspeigelkamera

Hier wird eine Lichtquelle oder ein selbstleuchtender Vorgang unmittelbar oder mittelbar über einen Drehspeigel auf einen feststehenden Film, der im Kreis um den Drehspeigel angeordnet ist, abgebildet. Bei umlaufendem Drehspeigel wird dieses Bild über den Film hinweggeführt und so eine Spur des leuchtenden Vorgangs aufgezeichnet. Aus der Länge dieser Spur und der Schreibgeschwindigkeit des bilderzeugenden Lichtstrahles kann die Zeit des Vorgangs ermittelt werden. Die in unserem Institut hergestellte Kamera besteht aus einem achtfächigen Zylinder als Drehspeigel. Der Filmstreifen gestattet die Aufnahme

über $\frac{1}{4}$ des Umfangs um den Drehspiegel. Kurz bevor das von einer der 8 Drehspiegelflächen geschriebene Bild am Ende des Films verschwindet, erscheint das von der nächsten Spiegelfläche entworfene Bild am Anfang des Films. So kann unabhängig von der augenblicklichen Stellung des Drehspiegels jederzeit eine Aufnahme erfolgen. Eine Synchronisierung des Drehspiegels und der Auslösung des zu messenden leuchtenden Vorgangs ist nicht notwendig. Die Schreibgeschwindigkeit des Drehspiegels beträgt bis zu 5,5 km/s. Hiermit ist eine zeitliche Auflösung von 2×10^{-8} s erreichbar, was für die meisten Zwecke genügt.

Um den zeitlichen Abstand der räumlich auseinanderliegenden Funken F_1 , F_2 usw. einer Funkenzeitlupe messen zu können, wird die Oberfläche einer gut polierten glänzenden Kugel K (Abb.2) über den Drehspiegel D auf den Film F abgebildet. Die einzelnen Beleuchtungsfunken erzeugen am Rande dieser Kugeloberfläche nacheinander je einen Reflex, der über den Drehspiegel mit abgebildet wird. Diese Reflexe hinterlassen auf dem Film schwarze Marken, die ein Abbild des zeitlichen Verlaufs der Funken geben und deren Abstände dort ein Maß für die Zeitintervalle sind.

Diese Kamera kann für sog. Streak-Aufnahmen Verwendung finden. Hierbei wird der leuchtende Vorgang auf einem feinen Spalt abgebildet (in Abb.2 an Stelle von K zu denken), der seinerseits als Bild über den Drehspiegel nochmals auf den Film entworfen wird. Geschieht die Ausbreitung des leuchtenden Vorgangs in Richtung des Spaltes (in Abb.2 senkrecht zur Strichebene), während die Richtung der Schreibgeschwindigkeit des Drehspiegels senkrecht dazu ist, dann entsteht auf dem Film eine Schwärzungskante, deren Neigung in jedem Punkt von dem Verhältnis der Geschwindigkeit des Vorgangs und der Schreibgeschwindigkeit des Drehspiegels abhängt. Damit ergibt sich die Möglichkeit, eine Bewegungskomponente eines sehr schnell verlaufenden leuchtenden Vorgangs ausschnittsweise (durch den Ausschnitt des Spaltes gegeben) zeitlich stetig und verhältnismäßig genau aufzulösen. Als Beispiele sind zu nennen die Ausbreitung der leuchtenden Metalldämpfe, die durch eine Entladung explosionsartig erzeugt wurden, und selbstverständlich alle Funkenentladungen usw. Auch die Bewegung eines mechanischen Vorgangs, durch den der beleuchtete Spalt während dieser Zeit abgedeckt wird, kann auf diese Weise untersucht werden. Die Öffnungszeiten der vorhin genannten Kurzzeitverschlüsse sind ebenfalls mit dieser Kamera gemessen worden.

Die Schwärzung einer photographischen Schicht hängt hauptsächlich von der Beleuchtung und der Belichtungszeit einer Aufnahme ab. Im allgemeinen genügt es, bei konstanter Beleuchtung diese mit Hilfe eines Luxmeters zu bestimmen, um die übrigen Daten danach einzustellen. Bei Blitzlichtbeleuchtung ist diese nicht mehr zeitlich konstant. Hier muß unmittelbar die Belichtung, d.h. das zeitliche Integral der veränderlichen Beleuchtungswerte, gemessen werden. Dies geschieht durch ein lichtelektrisch wirkendes Meßinstrument, das im Institut

für sehr kurzzeitige Lichtquellen wie Funken und Röntgenblitze weiter entwickelt werden konnte (Leuchtzeiten zwischen 10^{-3} s und 2×10^{-7} s). Dieser Belichtungsmesser für Licht- und Röntgenblitze erlaubt schnell die für eine Aufnahme zu erwartende Schwärzung abzuschätzen. Mit diesem Instrument kann außerdem die Wirksamkeit von Reflektoren und Filtern ermittelt werden. Die Lichtausbeuten (in lm/W) verschiedener kurzzeitiger Lichtquellen lassen sich ebenfalls damit bestimmen. Auch Schwärzungseffekte von photographischen Schichten bei Belichtungen mit verschiedener Belichtungszeit können mit diesem Instrument untersucht werden.

Ein in der Kurzzeitphotographie sehr viel angewendetes Verfahren ist das Schlierenverfahren. Diese Methode erlaubt, eine Änderung des Brechungsindex in einem durchsichtigen Körper durch eine Helligkeitsänderung sichtbar zu machen. So lassen sich hauptsächlich Temperatur- und Druckänderungen in Gasen und Flüssigkeiten sehr anschaulich darstellen. Eine solche Schlierenanordnung wurde zum Teil in eigener Konstruktion aufgebaut. Sie ist für funckenkinematographische Zwecke, für Zeitlupenaufnahmen und auch für gewöhnliche Filmaufnahmen mit 24 B/s verwendbar. In den beiden letzten Fällen dient als Lichtquelle eine Xenon-Hochdrucklampe von Osram. Diese leuchtet räumlich und zeitlich einigermaßen konstant, wenn sie an eine genügend geglättete Gleichspannung angeschlossen ist. Die spektrale Lichtverteilung kommt der des Tageslichts sehr nahe. Diese Lampe L (Abb.3) beleuchtet mittels Kondensatorlinse einen Spalt P, der die Lichtquelle für die Schlierenanordnung darstellt. Der Spalt wird seinerseits durch einen sphärischen Schlierenspiegel S an der Stelle einer Schlierenkante

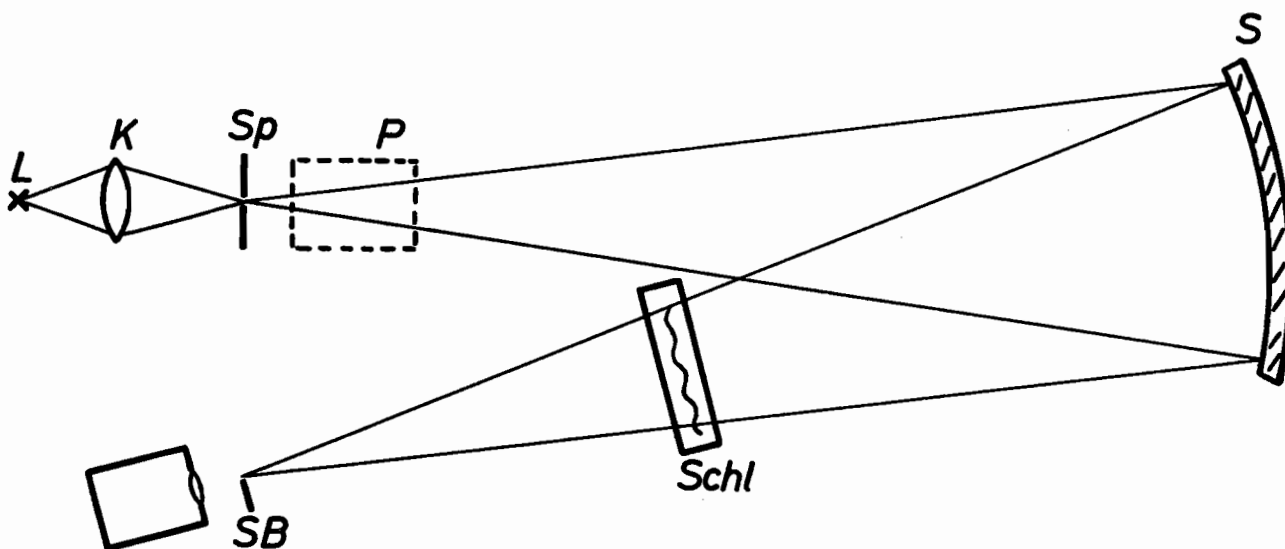


Abb. 3 Einrichtung für Schlierenaufnahmen

oder Schlierenblende SB abgebildet. Hinter dieser Schlierenblende befindet sich die Aufnahmekamera, die auf das Schlierenobjekt Schl scharf eingestellt ist. Tritt hier in einem bestimmten Punkt eine Lichtablenkung ein, so kann diese Ablenkung der Blendenkante zu oder von ihr weg erfolgen. Im ersten Fall wird der entsprechende Bildpunkt auf der Photoschicht der Kamera dunkler und im zweiten Fall heller als die Umgebung erscheinen.

Hinter dem Spalt läßt sich ein Geradsichtprisma P einschalten. Bei der Schlierenblende SB entstehen dann nebeneinander mehrere farbige Spaltbilder. Durch eine Schliere kann das Licht einer Farbe in den Bereich einer anderen abgelenkt werden. Daraus ist die Richtung und die Größe einer solchen Ablenkung verhältnismäßig einfach zu bestimmen.

Durch den zum Schlierenspiegel schiefen Strahlengang treten astigmatische Bildfehler auf. Diese sind durch die sog. Koinzidenzschlierenanordnung zu vermeiden. Dabei wird der Spalt fast vollständig in sich abgebildet. Das Schlierenobjekt Schl steht unmittelbar vor dem Schlierenspiegel und wird vom Licht zweimal durchsetzt. Die Schlierenempfindlichkeit ist deshalb doppelt so groß wie in der anderen Anordnung. Diese Koinzidenzanordnung findet Anwendung bei geringeren Ablenkungen. Die Beleuchtungslampe wird in diesem Fall umgesetzt, so daß über ein Ablenkprisma ein unmittelbar neben der Schlierenkante stehender Spalt beleuchtet werden kann. Die Beleuchtungseinrichtung und die Schlierenblende sind auf einem gemeinsamen Fundament unverrückbar gegeneinander aufgestellt. Dieses ist noch durch Filz- und Korkunterlagen gut gegen Erschütterung vom Boden gesichert. Das gleiche gilt für die Lagerung des Schlierenspiegels. Dieser besteht aus dem sphärisch geschliffenen Glaskörper eines alten astronomischen Spiegels. Die Oberfläche ist mit einem neuen Aluminiumspiegelbelag versehen. In einer dazu hergestellten Eisenfassung ist der Spiegel bequem um eine senkrechte und waagerechte Achse schwenkbar. Das Schlierenverfahren fand z.B. Anwendung bei funkenkinematographischen Aufnahmen der Ausbreitung von Schallimpulsen in Wasser und bei Filmaufnahmen der Wärmeströmungsvorgänge in einem Gewächshausmodell. Ebenso war es möglich, die Atmung von Pflanzen mit Hilfe dieses Verfahrens in einem Film sichtbar zu machen.

In der hier gegebenen Zusammenstellung konnte auf Einzelheiten nicht eingegangen und nur einige der vielfachen hier vorhandenen Probleme gestreift werden. Eine ideale Hochfrequenzkamera müßte

1. möglichst viele Bilder liefern,
2. + 3. in beiden Dimensionen eines jeden Einzelbildes möglichst gut auswertbar sein und
4. möglichst hohe Zeitauflösung haben.

Diese vier Forderungen sind gleichzeitig vorläufig nicht erfüllbar. Wenn man die hier aufgezählten Apparaturen auf ihre Leistungen prüft, so zeigt sich, daß eine Verbesserung einer der vier Forderungen immer eine Vernachlässigung einer der anderen bedingt. So erfüllt z.B. die Fastax Kamera Punkt 1 sehr gut. In den Punkten 2 - 4 sind aber merkliche Grenzen gegeben. Umgekehrt ist bei der Cranz-Schardinschen Anordnung den Forderungen 2 - 4 verhältnismäßig gut Genüge getan, während die Anzahl der Bilder nur sehr klein sein kann. Eine Streak-Kamera gibt eine sehr gute Zeit-Auflösung, aber nur in einer Dimension ausreichende Bildauflösung. Dafür muß auf eine Auswertung des Bildes in der anderen Dimension und auf eine Trennung in einzelne Bilder vollkommen verzichtet werden.

Je nach dem Aufnahmegegenstand und Aufnahmезweck wird man auf den einen oder anderen Punkt mehr Wert legen müssen. Eine "Standard-Apparatur" für hochfrequente Aufnahmen, die allen Forderungen gerecht wird, kann es deshalb nicht geben. Man braucht dafür mehrere Apparaturen, deren jede möglichst so aufgebaut ist, daß sie je nach dem Aufnahmезweck Änderungen ihrer Anordnung zuläßt.

~~Forschungsberichte des Instituts II~~

~~In Fortsetzung der im vorigen Heft gebrachten Liste folgen nachstehend Berichte aus dem Gebiet der Landwirtschaft und der Physiologie.~~

- ~~1. Arbeitsvorgänge bei den Geräten zur Kartoffelbestellung unter besonderer Berücksichtigung des Vielfachgerätes
(Berichts-Nr. 101/47)~~

~~Untersuchungen über die Steuerfähigkeit der Maschinen und Geräte und ihrer Auslenkung aus der Arbeitsrichtung. Messung der Pendelungen - Feststellung der kurzzeitigen Amplitudenschwankungen um eine den Gesamtverlauf der Kurve kennzeichnende Mittelwertkurve - als Maßstab der Steuerungsstabilität.~~

- ~~2. Arbeitsvorgänge beim Eggen
(Berichts-Nr. 102/47)~~

~~Der Arbeitsvorgang beim Eggen kann trotz der geringen Arbeitsgeschwindigkeit von 0,7 bis 1 m/s nicht in allen Einzelheiten durch reine Betrachtung erfaßt werden. Zeitdehneraufnahmen in dreifacher Zeitdehnung führten zu einem genauen Einblick in die Wirkungsweise der einzelnen Eggenzinken.~~

- ~~3. Die schwere Dreiecksegge
(Berichts-Nr. 103/47)~~

~~Aufnahmen über die Wirkungsweise der schweren Dreiecksegge, die nach den Erkenntnissen aus den Untersuchungen des Eggvorgangs (102/47) gebaut wurde.~~