Elektrische Momentphotographie.

Von Prof. Dr. Br. Glatzel, Berlin-Charlottenburg.

Die Momentphotographie hat in neuerer Zeit mehr und mehr an Bedeutung gewonnen nicht zum wenigsten dank der glänzenden Entwicklung der praktischen Optik, welcher wir die modernen lichtstarken Objektive verdanken. So lassen sich bei heller Beleuchtung schon gute Aufnahmen in etwa $\frac{1}{1000}$ Sekunde herstellen. Derartige Momentaufnahmen genügen für die Bedürfnisse des praktischen Lebens vollkommen, um auch von den schnellsten vorkommenden Bewegungen, z. B. bei Rennen, noch scharfe Bilder herstellen zu können. Bei wissenschaftlichen Untersuchungen, insbesondere auf dem Gebiete der Ballistik, genügen jedoch diese Methoden der Momentphotographie nicht mehr. Hier haben wir es mit für das Auge unsichtbaren

Fig. 1. Schußauslösung.

Vorgängen zu tun, da sie sich in erheblich kürzeren Zeiträumen abspielen. So bewegt sich z. B. das Geschöß des Infanteriegewehrs mit etwa 890 m/Sek. In der Zeit von $1,1 \cdot 10^{-7}$ Sek. wird dementsprechend ein Weg von $\frac{1}{10}$ mm zurückgelegt. Nimmt man also selbst diese immerhin nicht unbeträchtliche Unschärfe mit in Kauf, so darf bei Abbildung in gleicher Größe die Dauer der Momentbelichtung die Zeit von etwa einer zehnmilliontel Sekunde nicht überschreiten. Es ist ohne weiteres klar, daß sich derartig kurze Belichtungszeiten mit mechanisch betätigten Momentverschlüssen nicht erreichen lassen. Man mußte also, um auch auf dem Gebiete der Ballistik die Momentphotographie anwenden zu können, zu gänzlich anderen Methoden übergehen. Da mechanische Verschlüsse, wie wir gesehen haben, nicht in Frage kommen können, so blieb nur der Weg übrig, an Stelle der Dauerbeleuchtung kurze Lichtblitze zu setzen, welche so kurze Zeit andauern, daß innerhalb ihrer Brenndauer keine merkliche Be-

wegung des aufzunehmenden Gegenstandes eintritt. Blitzpulver, wie sie häufig beim Fehlen einer natürlichen Beleuchtung angewendet werden, kamen ebenfalls nicht in Frage, da deren Brenndauer verhältnismäßig groß ist und je nach der Zusammensetzung zwischen $\frac{1}{100}$ und $\frac{1}{500}$ Sek. liegt. Die für ballistische Zwecke erforderlichen außerordentlich kurzen Lichtblitze kann man dagegen erhalten, wenn man als Lichtquelle den elektrischen Funken verwendet. Es war daher für die wissenschaftliche Forschung von großer Bedeutung, als es zuerst im Jahre 1887 E. Mach gelang, durch geeignete elektrische Anordnung Funkenphotographien herzustellen. Die Funken wurden durch Entladung von Leidener Flaschen erzeugt, wobei Mach durch besondere sehr sinnreiche Vorrichtungen die Auslösung der Beleuchtungsfunken im geeigneten Moment bewirkte. Diese Methoden haben dann im Laufe der Jahre noch zahlreiche Abänderungen und Verbesserungen insbesondere durch C. Cranz¹⁾ erfahren, auf die im einzelnen hier nicht eingegangen werden kann. Eine dieser Auslösmethoden, welche den sich abspielenden Vorgang am besten erkennen läßt, soll jedoch an der Hand der Fig. 1 beschrieben werden. In die Primärleitung eines Induktoriums ist ein Draht eingeschaltet, welcher in der Mitte ein Staniolblättchen A trägt. Dieses wird so vor der Mündung der Waffe aufgestellt, daß es von dem fortfliegenden Geschöß getroffen und zerrissen wird. Die Sekundärwicklung des Induktoriums ist unter Zwischenschaltung einiger Leidener Flaschen zu den Elektroden der Beleuchtungsfunkensstrecke B geführt, die man sich natürlich nicht in der Ebene der Figur, sondern weiter vorn zu denken hat. Hinter der Ebene der Geschößbahn wird der photographische Apparat aufgestellt und zwar so, daß die Auslösvorrichtung sich an der richtigen Stelle im Gesichtsfeld, auf die scharf eingestellt ist, befindet. Sobald nun der Schuß gelöst und der Staniolstreifen von dem fliegenden Geschöß zerrissen wird, entsteht in der Sekundärwicklung des Induktoriums eine hohe elektromotorische Kraft, welche an der Stelle B den Beleuchtungsfunken hervorruft, der seinerseits das Geschöß G im Fluge photographiert. Die in der Abbildung erkennbare Verzögerung zwischen dem Unterbrechen des Primärstromes und dem Auftreten des Beleuchtungsfunkens ist dabei auf die Wirkung der Selbstinduktion des Induktoriums und der Kapazität der sekundär angeschlossenen Leidener Flaschen zurückzuführen. Nach dieser Methode entsteht allerdings nur, im Gegensatz zu den sonst üblichen Momentaufnahmen ein Schattenbild des bewegten Gegenstandes, jedoch war dies zunächst für die ballistischen Untersuchungen vollkommen ausreichend. Nach diesem Verfahren hat Cranz eine große Anzahl interessanter Aufnahmen

¹⁾ C. Cranz, Lehrbuch der Ballistik, Bd. III, experimentelle Ballistik. Leipzig, Teubner, 1913.

gemacht, welche zum ersten Male vollkommenen Aufschluß über die Tätigkeit der Waffen beim Schuß gaben. Eine derartige Aufnahme einer Selbstladepistole, bei welcher nach dem Schuß die Hülse automatisch ausgeworfen wird, ist in Fig. 2¹⁾ wiedergegeben. Dadurch, daß man die Auslösevorrichtung in verschiedenen Entfernungen von der Mündung anbringt, kann man dann, wie es zuerst

Fig. 2. Selbstladepistole, Auswerfen der Hülse.

Cranz und Koch getan haben, eine Reihe von aufeinanderfolgenden Bewegungsmomenten festlegen und auf diese Weise Serienaufnahmen herstellen, welche ein kinematographisches Bild des Vorganges liefern. Allerdings ist hierbei für jede Aufnahme ein Schuß erforderlich, was das Verfahren immerhin etwas kompliziert und naturgemäß auch für die Anfertigung eines kinematographischen Films ungenau macht, da z. B. das Auswerfen der Hülse nicht bei jedem Schuß in gleicher Weise vor sich geht. Wie diese Schwierigkeit beseitigt worden ist, wird weiter unten angegeben werden. Zunächst sollen jedoch noch einige andere Anwendungen des Schattenverfahrens geschildert werden, welche zu physikalisch sehr interessanten Aufnahmen geführt haben. Kombiniert man nämlich die von Töpler angegebene Schlierenmethode mit der Funkenphoto-

Fig. 3. Luftschlieren nach Mach-Töpler.

graphie, so kann man auch die in der Umgebung des fliegenden Geschosses sich ausbildenden Luftwellen und -wirbel photographisch festhalten. Zu diesem Zweck wird z. B. mit Hilfe eines Hohlspiegels ein scharfes Bild des Beleuchtungsfunkens auf dem Objektiv des Aufnahmeapparates entworfen. An

dem Objektiv ist die Töplersche Schlierenblende angebracht, welche fast das ganze direkte Funkenlicht abblendet. Der Apparat selbst ist auf die Ebene der Geschosßbahn eingestellt. Fliegt nun das Geschosß durch den Lichtkegel, so wird in den entstehenden Luftwirbeln das Licht abgelenkt, gelangt über die Schlierenblende hinweg auf die photographische Platte und erzeugt auf dieser ein Bild des fliegenden Geschosses umgeben von den Luftwellen. Fig. 3 zeigt eine derartige Aufnahme, wie sie zuerst von Mach veröffentlicht worden ist. Man sieht nicht nur die Machschen „Kopf- und Schwanzwellen“, sondern auch besonders schön die Luftwirbel, welche sich in dem luftverdünnten Raum hinter dem Geschosß ausbilden. Ein anderes Verfahren, welches nicht so empfindlich ist wie die Töplersche Schlierenmethode, aber doch die Luftschlieren sehr schön wiedergibt, rührt von Dvorschak her und ist zuerst von V. Boys

Fig. 4. Schattenschlieren bei dem S-Geschosß.

im Jahre 1896 für ballistische Zwecke verwendet worden. Man bezeichnet es als das „Schattenschlierenverfahren“. Bei diesem werden keinerlei Linsen benutzt, sondern nur die photographische Platte in einem geeigneten Abstand hinter dem Geschosß aufgestellt. Die Beleuchtung erfolgt hier zweckmäßig mit einer möglichst punktförmigen Lichtquelle, welche man nach dem Vorgange von Töpler dadurch erhält, daß man die Funkenbahn senkrecht zur photographischen Platte anordnet. Man erreicht dann außer einer punktförmigen Lichtquelle bei längeren Funkenstrecken auch noch eine größere Helligkeit, ähnlich wie bei Spektralröhren mit Längsdurchsicht. Nach diesem Verfahren ist Fig. 4¹⁾ hergestellt, auf welcher die Machschen Wellen besonders schön hervortreten.

¹⁾ Ich verdanke diese und die späteren Aufnahmen, welche z. T. in dem Lehrbuch von Cranz veröffentlicht sind, der Liebenswürdigkeit des Herrn Geheimrat Cranz.

¹⁾ Diese Abbildung und die späteren Aufnahmen mit Vorderbeleuchtung Abb. 5 bis 7 sind einer Arbeit von C. Cranz, P. A. Günther, F. Kulp, erschienen in „Schuß und Waffe“, 15. Juli 1913, entnommen.

Bei all den bisher geschilderten Verfahren haben wir es, wie bereits erwähnt, lediglich mit Schattenbildern zu tun. Wenn sich nun auch diese Aufnahmen zur Untersuchung ballistischer Vorgänge als außerordentlich fruchtbar erwiesen hatten, so war es doch für besondere Zwecke wünschenswert, die Erscheinungen auch von der Vorderseite aus beobachten zu können, also Momentaufnahmen mit Vorderbeleuchtung herzustellen, welche in ihrem Aussehen durchaus den üblichen Photographien entsprachen. Zum erstenmal waren derartige Aufnahmen mit Vorderbeleuchtung im Jahre 1909 von C. Cranz¹⁾ hergestellt worden und zwar unter Benutzung einer Quecksilberbogenlampe, durch welche eine Funkenentladung hindurchgeschickt wurde. Später hat dann auch Boas ähnliche Aufnahmen, u. a. ein rotierendes Rad, welches er mittels eines Scheinwerfers durch einen Funken beleuchtete, aufgenommen. Bedingung für die Erzielung guter Aufnahmen ist dabei die Verwendung hinreichend kräftiger Entladungsfunken, welche man nur durch Benutzung sehr großer Kapazitäten bei genügender Funkenlänge erhalten kann. Da nun sehr lange

Fig. 5. Parabellumpistole nach dem Schuß.
(Vorderbeleuchtung.)

Funken bei den sich entladenden großen Elektrizitätsmengen leicht eine im Sinne der ballistischen Momentphotographie zu lange Belichtungsdauer ergeben können, so haben, wenn es sich um die Beleuchtung größerer Flächen handelte, bei ihren neuesten Aufnahmen Cranz, Günther und Külpe²⁾ das Verfahren der Unterteilung langer Funkenstrecken angewendet, wobei sie gleichzeitig noch den Vorteil einer gleichmäßigeren Beleuchtung der gesamten Fläche erreichten. Die Fig. 5 zeigt die Aufnahme einer Parabellum-Selbstladepistole nach dem Schuß, wobei die Auslösung des Beleuchtungsfunkens etwa 350 cm von der Mündung entfernt erfolgte. Auch hier sieht man wiederum das Auswerfen der leeren Patronenhülse. Eine andere Aufnahme, die in Fig. 6a und 6b wiedergegeben ist, veranschaulicht die Explosivwirkung eines modernen S-Geschosses in feuchtem Ton. Fig. 6a zeigt die Tonkugel vor, Fig. 6b nach dem Schuß. In den vier Ecken des Kastens, in welchem die Tonkugel steht, sind die vier Beleuchtungsfunkenstrecken, welche, wie bereits oben erwähnt, hintereinander geschaltet sind, angebracht.

¹⁾ C. Cranz, Zeitschr. f. d. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen 4, p. 323, 1909.

²⁾ C. Cranz, P. A. Günther, F. Külpe, l. c.

Sehr interessant in bezug auf die Explosivwirkung von Geschossen ist auch die Aufnahme der Fig. 7, bei welcher eine mit Wasser gefüllte frei aufgehängte Gummibläse durchschossen wurde. Das Geschöß hat hierbei die Gummibläse von rechts nach links durchdrungen und gerade auf der linken Seite das Gesichtsfeld verlassen. Diese Methode der Vor-

Fig. 6a. Tonkugel vor Schuß.

Fig. 6b. Tonkugel nach Schuß.

derbeleuchtung, für die hier nur einige Beispiele gegeben werden konnten, dürfte noch viele Anwendungsmöglichkeiten auf ballistischem sowohl wie auch auf physikalischem Gebiete haben, so daß diese von Cranz, Günther und Külpe ausgearbeitete Methode eine recht wertvolle Bereicherung unserer experimentellen Hilfsmittel darstellt.

Kehren wir nun zunächst wieder zu der Funkenphotographie nach dem Schattenverfahren zurück, bei welcher wir mit geringeren Energiemengen im Funken arbeiten können. Wir hatten dabei ge-

sehen, daß es möglich ist, durch geeignete Kombination zeitlich verschiedener Aufnahmen die sich abspielenden Vorgänge kinematographisch wiederzugeben. Ein Nachteil dieser zusammengestellten Serienaufnahmen war aber, daß bei ihnen eine große Anzahl von Einzelschüssen ausgeführt wurde. Viel zweckmäßiger mußte es sein, wenn man von einem einzigen Schuß eine größere Reihe von Momentaufnahmen herstellen konnte. Das war möglich, wenn man die ruhende photographische Platte verließ, zum rotierenden Film überging und gleichzeitig an Stelle eines Funkens eine größere Anzahl in regelmäßigen, sehr kurzen Abständen aufeinander folgender Funken verwendete. Der Film selbst konnte dabei verhältnismäßig schnell rotieren, da man die Zeitdauer eines Funkens so kurz machen kann, daß innerhalb derselben der Film als praktisch vollkommen stillstehend anzusehen ist.

Fig. 7. Durchschießung einer wassergefüllten Gummibläse.

Derartige kinematographische Aufnahmen wurden zuerst im Jahre 1903 von *Schwinning* hergestellt, welcher zehn aufeinander folgende Bilder in der Weise erzielte, daß er eine Anzahl Leidener Flaschen nacheinander in bestimmten Zeitabständen über die Beleuchtungsfunkenstrecke entlud und so mehrere Momente desselben Schußvorganges festhalten konnte. Immerhin war die Zahl der Funken pro Sekunde, die „Funkenfrequenz“ noch gering. Zu höheren Werten kam *L. Bull*, welcher in dem Institut von *Marey* zu Paris eine Methode ausarbeitete, bei welcher durch einen geeigneten Unterbrecher im Primärkreis eines Induktoriums 2000 Beleuchtungsfunken pro Sekunde erzeugt werden konnten. *Bull* verwendete diese Methode, um die Vorgänge beim Libellenflug und bei der Durchschießung von Seifenblasen zu studieren. Da aber auch diese Funkenfrequenz für ballistische Zwecke noch zu gering war, so bedeutete es einen erheblichen Fortschritt, als es *Cranz*¹⁾ gelang, mit seinem ballistischen Kinetographen 800 Bilder desselben Vorganges mit

einer Bildfrequenz von 5000 herzustellen. Erst jetzt wurde eine wirkliche kinematographische Wiedergabe ballistischer Vorgänge möglich. *Cranz* erzeugte die hohen Funkenzahlen mit einer von der Firma *Boas* gebauten hochperiodischen Wechselstrommaschine, welche einen Boasschen Resonanzinduktor speiste, der seinerseits die Sekundärkapazität so auflud, daß in einer parallel geschalteten Funkenstrecke pro Halbperiode eine Entladung einsetzte. Da die Wechselstrommaschine 2500 Perioden besaß, erhielt *Cranz* auf diese Weise 5000 Funken pro Sekunde, welche in vollkommen regelmäßigen Abständen entsprechend den Maximis der einzelnen Halbperioden aufeinander folgten. Mit der gleichen Anordnung ließen sich dann auch zur Aufnahme langsamerer Vorgänge 2500 Funken pro Sekunde erzielen, wenn man die Funkenstrecke auf

Fig. 8. Durchschießung einer Tonkugel.

eine etwas größere Länge einstellte, so daß die Überschlagnung stets erst nach Ablauf einer vollen Periode erreicht wurde. Die Filmgeschwindigkeit, mit welcher bei diesen Aufnahmen gearbeitet wurde, betrug etwa 120 m pro Sekunde. Bei den Aufnahmen selbst zeigte sich nun zunächst eine gewisse Unschärfe, welche darauf zurückzuführen war, daß die einzelnen Funken nicht kurz genug waren. Die Funkenstrecke blieb nämlich bei diesen immerhin schon hohen Funkenzahlen und bei der verhältnismäßig großen Energie, welche zur Verwendung gelangte (bis zu 4 KW), etwas ionisiert, so daß die Funken nicht scharf abrissen. Es gelang *Cranz* jedoch auch diese Schwierigkeit dadurch zu beseitigen, daß die Elektroden kräftig gekühlt und von einem starken Luftstrom angeblasen wurden, welcher alle leitenden Metallteilchen schnell aus der Funkenbahn entfernte. Es zeigte sich übrigens später, daß dieses Verfahren des Anblasens der Funkenstrecke auch genügend wirksam ist, wenn man zu noch weit höheren Funkenfrequenzen, bis zu 100 000 hinaufgeht. Ein Beispiel für derartige Aufnahmen stellt Fig. 8 dar. In dieser ist die

¹⁾ *C. Cranz*, Zeitschr. f. d. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen 4, 321, 1909; Deutsche Mechan. Ztg. 1909, S. 173.

Durchschießung einer Tonkugel wiedergegeben. Das Geschöß G tritt in Bild 1 gerade auf der linken Seite in das Gesichtsfeld hinein, erreicht in Bild 2 die Tonkugel (Einschuß) und verläßt sie dann in Bild 3 wieder (Ausschuß). Bild 4 zeigt dann die nach dem Fortfliegen des Geschosses noch weiter fortschreitende Explosionswirkung, welche nach einiger Zeit, wie die späteren Momenten entsprechenden Aufnahmen auf der rechten Seite der Figur zeigen, zu einer völligen Zerstörung der Tonkugel führt.

Aber dieses Verfahren, das immerhin schon vorzügliche Resultate geliefert hatte und für die Mehrzahl aller ballistischen Vorgänge auch durchaus zu reichend war, besaß doch insofern noch einen Mangel, als es nur schwer möglich war, die Bildfrequenz innerhalb weiterer Grenzen zu ändern, da man naturgemäß an die Periodenzahl der Wechselstrommaschine und die durch sie bedingte Abstimmung des Resonanzinduktors gebunden war. Gleichzeitig war noch das Bedürfnis vorhanden, für spezielle Untersuchungen der Geschößbewegung Bildfrequenzen von 80—90 000 herzustellen. Nach längeren Vorversuchen gelang es, eine für diesen Zweck geeignete Methode auszuarbeiten, welche im Jahre 1912 von *Cranz* und mir¹⁾ beschrieben wurde. Ein Hauptvorzug der Anordnung war, daß sie eine Veränderung der Bildfrequenz innerhalb sehr weiter Grenzen, nämlich von 200 bis etwa 100 000, ermöglichte. Bevor ich jedoch auf nähere Einzelheiten eingehe, mag noch der Vollständigkeit halber auf die Methode von *Schatte*²⁾ hingewiesen werden, welche ebenfalls die Erzielung hoher Funkenzahlen gestattet — es wurden Aufnahmen mit Bildfrequenzen bis zu 50 000 ausgeführt. Das Prinzip war folgendes: Eine große Kapazität wird durch eine Influenzmaschine aufgeladen und bildet dann das Reservoir, aus dem ein zweiter Kreis, bestehend aus einer kleinen Kapazität mit parallel geschalteter Funkenstrecke gespeist wird. Je nach der Dimensionierung der elektrischen Größen dieses Kreises kann man dann größere oder kleinere Funkenzahlen erhalten. Die Methode besitzt jedoch praktisch insofern einen großen Mangel, als die zur Verfügung stehende Energie nur begrenzt ist, und man infolgedessen in der Beleuchtungsfunktenstrecke keinen, eine längere Zeit andauernden, Funkenstrom erzeugen kann, so daß die Justierung der Optik und die Einstellung der aufzunehmenden Objekte mit erheblichen Schwierigkeiten verknüpft ist. Daß dagegen die von *Cranz* und mir angegebene Methode einen langdauernden, gleichmäßigen Funkenstrom gestattet, halten wir gerade mit Rücksicht auf ihre praktische Verwendbarkeit für einen besonderen Vorzug, abgesehen von einigen anderen Vorteilen elektrischer Natur.

In Fig. 9 ist das Schaltungsschema der Anordnung wiedergegeben. Der Kreis I dient zur Erzeugung von Hochfrequenzschwingungen nach dem Prinzip der aperiodischen Stoßerregung in der

Weise, wie es zuerst von *Rein*¹⁾ ausgeführt worden ist. C_1 ist eine große Kapazität, ein oder mehrere Glimmerkondensatoren von 25—100 000 cm, L_1 eine möglichst kleine Selbstinduktion von 1 oder 2 Windungen, und F_1 eine Entladestrecke. Die Aufladung der Kapazität C_1 erfolgt mit Gleichstrom von 600 bis 700 Volt Spannung unter Vorschaltung von Widerständen und Drosselspulen. Wählt man die elektrischen Dimensionen richtig und benutzt vor allem eine Entladestrecke F_1 mit ausgezeichneter Löschwirkung, z. B. die von *Scheller* angegebene Entladestrecke, welche in einer Spiritusatmosphäre arbeitet, so erhält man im Primärkreis eine Art aperiodischer Entladung, die man auch als elektrischen „Stoß“ bezeichnen kann. Koppelt man nun mit dem Primärkreis einen Sekundärkreis II, bestehend aus der großen Selbstinduktion L_2 und der entsprechend kleineren Kapazität C_2 , so erhält man im Kreise II elektrische Schwingungen, durch welche C_2 so hoch aufgeladen wird, daß in einer zu ihr parallel geschalteten Funkenstrecke F_2 Funken übergehen. Bei passender Länge der Funkenstrecke kann man es erreichen, daß durch jeden Stoß im Primärkreis eine Entladung in F_2 hervorgerufen

Fig. 9. Elektrische Anordnung, Schaltungsschema.

wird. Da nun in der primären Gleichstromquelle dauernd ein großes Elektrizitätsreservoir zur Verfügung steht, aus welchem die Kapazität C_1 sofort nach der Entladung wieder aufgeladen wird, so hat man es in der Hand, die Zahl der Stöße im Primärkreis beliebig zu erhöhen. Je kleiner man C_1 wählt, und je geringer der Elektrodenabstand der Entladestrecke F_1 gemacht wird, um so schneller erfolgt die jeweilige Aufladung der Kapazität und um so schneller folgen die einzelnen Entladestöße aufeinander. Auch durch Verringerung des Widerstandes und der Größe der Drosselspulen in der Zuleitung läßt sich die Entladezahl steigern. Es gelang uns auf diese Weise die Funkenfrequenz innerhalb der Grenzen 200 und 100 000 zu verändern und dadurch zu ermöglichen, kinematographische Aufnahmen sowohl von sehr langsamen wie auch von sehr schnellen Vorgängen herzustellen. Die verwendete optische Anordnung ist in Fig. 10 wiedergegeben. Die Beleuchtungsfunktenstrecke F_2 war vor einem Hohlspiegel angebracht, welcher ein Bild der Funken-

¹⁾ *C. Cranz* und *Br. Glatzel*, Verhdlg. d. D. phys. Ges. 14, 525, 1912.

²⁾ *J. Schatte*, Zeitschr. f. d. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen, 6, 261, 1911; 7, 65, 1912.

¹⁾ *H. Rein*, Phys. Zeitschr. 11, 591, 1910; Der radiotelegraphische Gleichstromsender. Langensalza, Beyer & Söhne. Vgl. a. *Br. Glatzel*, Methoden zur Erzeugung von Hochfrequenzenergie. Leipzig, Hachmeister & Thal, 1913.

strecke auf dem Aufnahmeobjektiv O entwarf. Dieses bildete seinerseits wieder den an der Stelle P sich abspielenden Vorgang, z. B. bei einem Schuß, auf dem Film ab. Dieser befand sich auf einer

Fig. 10. Optische Anordnung.

rotierenden Trommel, welche mit maximal 9000 Umdrehungen pro Minute betrieben werden konnte. Da, wie bereits erwähnt, durch kräftiges Anblasen der Beleuchtungsfunkensacke dafür gesorgt war, daß die

Fig. 11.
Fallender Tropfen. (250.)

Fig. 12.
Durchschießung eines
Holzstückes. (6400.)

deren sich der Vorgang abspielt, mit einer Bildfrequenz von 250. Man erkennt auf dieser Aufnahme sehr schön die zuerst von *Lenard* gefundene Tatsache, daß ein fallender Tropfen Pendelbewegungen ausführt, wobei seine Form zwischen einem Ellipsoid mit horizontaler und einem solchen mit vertikaler Achse wechselt. Fig. 12, welche mit 6400 Funken pro Sekunde aufgenommen ist, zeigt die Durchschießung eines kleinen Holzstückchens, welches vor der Mündung einer Pistole aufgestellt war. Man sieht deutlich, daß der Vorgang der Zersplitterung sich wesentlich langsamer als der eigentliche Schuß abspielt, da das Geschloß das Holzstück längst verlassen hat, während die Zersplitterung noch immer weiter fortschreitet. Auch erkennt man, daß für das Umfallen des Holzstückes eine relativ große Zeit erforderlich ist. Fig. 13 a, b, c stellen Schußaufnahmen mit verschiedenen Funkenfrequenzen dar und zwar entspricht Fig. 13 a einer Funkenfrequenz von 56 600, 13 b von 72 000, 13 c von 92 200. Am rechten Rande der Bilder, welche naturgemäß bei der hohen Bildfrequenz und der durch die Festigkeit des Films immerhin beschränk-

a) 56 600. b) 72 000. c) 92 200.

Fig. 13 a b c.
Schußaufnahmen mit verschiedenen Funkenfrequenzen.

Zeitdauer jedes Funkens auch gegenüber der schnellsten Filmbewegung noch sehr kurz war, so gelang es, selbst bei den höchsten Bildfrequenzen vollkommen scharfe Bilder zu erzielen. Die Figuren 11 bis 13 geben Beispiele derartig hergestellter Aufnahmen. In Fig. 11 ist ein aus einem Glasrohr fallender Tropfen photographiert und zwar entsprechend der relativ großen Zeitdauer, innerhalb

ten Umfangsgeschwindigkeit sehr schmal ausfallen, sieht man gerade noch die Mündung der Pistole mit dem Korn. Aus ihr tritt das Geschloß samt den Pulvergasen aus, wobei man die bereits früher von *Cranz* gemachte Beobachtung wiederum bestätigt findet, daß bei Stahlmantelgeschossen der Abschluß des gezogenen Laufes keineswegs ein vollkommener ist, sondern daß infolge des hohen Gasdrucks im

Innern ein Teil der Pulvergase sich zwischen Wandung und Geschoß hindurchpreßt und auf diese Weise früher als letzteres den Lauf verläßt. Erst einige Zeit später folgt das Geschoß und auf dieses die Hauptmasse der Pulvergase.

Die physiologische Funktion der Pigmentzellen.

Von Prof. Dr. R. F. Fuchs, Breslau.

Die Färbungen der tierischen Organismen, so wie der bei vielen Tieren auffällige Farbenwechsel haben stets die Aufmerksamkeit der Naturforscher und Laien auf sich gelenkt und die verschiedenartigsten Erklärungsversuche gezeitigt. Die allgemeinste Anerkennung hat sich jener Erklärungsversuch der Tierfärbungen erworben, welcher darauf abzielt, die Tierfarben als ein wertvolles Mittel im Kampf ums Dasein anzusehen, indem sie als *Schutzfarben* dienen, oder aber als *Schreckfarben* gedeutet werden und endlich noch insofern der Erhaltung der Art dienen, indem sie als *Schmuckfarben* bei der geschlechtlichen Auslese von Bedeutung sein sollen.

Der Gedanke der Schutzfärbung wurde bereits von *Aristoteles* klar ausgesprochen, indem der große griechische Naturforscher den Farbenwechsel der Tintenfische als eine Anpassung an die Farbe der jeweiligen Umgebung ansah, um einestells Schutz vor Feinden zu finden, andererseits den Beutetieren unsichtbar zu sein. Außerdem schreibt *Aristoteles* psychischen Erregungen, z. B. Angst und Zorn, einen bedeutenden Einfluß auf die Färbung des Polypen zu. Wenn auch in der Zeit vor *Darwin* dieser Aristotelische Gedanke niemals ganz aus dem Ideenkreis der Naturforscher und Philosophen verschwunden war, so gewann doch erst durch *Darwins* Lehre vom Kampf ums Dasein die Tierfärbung als *Schutzfärbung* eine erhöhte biologische Bedeutung, um das Überleben des am besten an seine Umgebung angepaßten Tieres zu erklären. Die Überzeugungskraft der Darwinschen Selektionslehre war so groß, daß man fast ganz vergaß, sich nach den Fundamenten dieses Auswahlprinzips umzusehen und mit diesem Zaubermittel alle Probleme der Tierfärbung zu lösen hoffte oder schon gelöst zu haben glaubte. Dabei erging es den Naturforschern ähnlich wie den Faustdeutern, von denen *Goethe* in seinen Gesprächen mit *Eckermann* sagte: „Legt ihr nicht aus, so legt ihr unter.“

Befangen in der Zaubergewalt der Darwinschen Selektionsidee hatte man ganz und gar vergessen, daß uns die Selektionshypothese absolut keine Kenntnis von dem *Mechanismus* der Tierfärbung und des Farbenwechsels zu bieten vermag. Denn diese Hypothese konnte niemals eine Erklärung darüber geben, durch welche Faktoren die Tierfärbung zustande kam. Ferner blieb sie uns die Antwort auf die Fragen schuldig, wann und welche Färbungen *Selektionswert* erlangen konnten, und warum andere Färbungen *keinen* Selektionswert er-

langten. Die Anhänger der Selektionslehre begnügten sich damit, die Tierfarben als etwas Gegebenes hinzunehmen und damit weiter zu operieren, um mit Hilfe von *wertenden* Urteilen eine Reihe biologischer Erscheinungen zu erklären. Damit verließen diese Forscher den Boden der rein naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise, welche nach *Rickert* die *wertfreie* Betrachtung der Dinge ist, und wandten sich der *historischen*, wertenden Betrachtung zu, indem sie die Begriffe Gut und Böse, Nützlich und Schädlich in ihren Urteilen verwandten, während die Naturwissenschaft *jen-seits* von Gut und Böse steht. So wurde das ganze Problem zu einem *naturgeschichtlichen*. Die Naturgeschichte selbst kann aber niemals eine *kausal-analytische* Erklärung eines Naturgeschehens geben, da sie die *Mechanik* des Lebensprozesses nicht in den Kreis ihrer Analyse einbezieht.

Trotz des Siegeszuges der Selektionstheorie und der Schutzfärbungshypothese hat es aber nicht an gewichtigen Stimmen — ich nenne nur *Semper* — gefehlt, die mit allem Nachdruck darauf hinwiesen, daß die Zuchtwahl niemals das *Entstehen* der Farben erklären könne, und daß aus inneren physiologischen, allerdings noch unbekannten Ursachen eine bestimmte Anordnung und Ablagerung der Farbstoffe in verschiedenen Teilen der Haut, ganz charakteristische Zeichnungen zustande kommen, mit deren Entstehung die Selektion nichts zu tun haben kann.

Nur die *physiologische* Forschung ist imstande, uns eine befriedigende Grundlage zur *mechanistischen* Erklärung des ganzen großen Fragenkomplexes der Tierfärbung zu bieten. Leider haben die Fachphysiologen mit wenigen Ausnahmen — *Brücke*, *Biedermann*, *Fredricq* und wenige andere — der Physiologie der Tierfärbung viel zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt und das Gebiet den Anatomen und Zoologen fast ganz überlassen, so daß gerade die physiologischen Grundlagen des Färbungsproblems nicht entsprechend ausgebaut worden sind.

Die Tierfärbung kommt durch sehr verschiedene Anordnung der Farbstoffe im Organismus zustande, wobei die einfachste Stufe die zu sein scheint, wo ein *gelöster Farbstoff* alle Elemente oder einzelne Organe des tierischen Körpers *diffus färbt*. Diese Art von Färbung ist von den Einzelligen angefangen bis zum Menschen zu finden, wie die Muskelfarbstoffe und andere Organfarbstoffe lehren. Dazu gehören auch die verschiedensten respiratorischen Farbstoffe, wie z. B. das Hämoglobin des Blutes, ferner wären hier als Abkömmlinge dieses Farbstoffes die Gallen- und Harnfarbstoffe zu nennen. Obgleich zum Beispiel der Blutfarbstoff sehr wesentlich zur Färbung vieler Tiere beiträgt, wie bei der rosenroten Färbung der Grottenolme, so hat doch niemand diesen Farbstoffen einen Selektionswert im Sinne der *Schutzfärbung* zugesprochen, einfach aus dem Grunde, weil eine gesicherte physiologische Funktion dieser Farbstoffe bekannt ist; wäre das aber nicht der Fall, dann hätten wohl auch diese Färbungen als Schutzfärbungen gegolten.