

Beitrag zum Studium des Fluges der Insekten mit Hilfe der Momentphotographie.

Von

Robert von Lendenfeld.

Zu den wichtigsten Hilfsmitteln des Studiums der Bewegung der Tiere gehört die Anfertigung von Serien von Momentphotographien aufeinanderfolgender Bewegungsphasen, wie solche zuerst von Marey und Muybridge hergestellt worden sind. Die Versuche, diese chrono- und kinematographischen Methoden auf das Studium des Fluges der gut fliegenden, ihre Flügel rasch bewegenden Insekten, der Dipteren, Hymenopteren, Sphingiden etc. anzuwenden, haben jedoch bisher keine wirklich wissenschaftlich brauchbaren Resultate geliefert, weil bei diesen Methoden die Zeitintervalle zwischen aufeinanderfolgenden Aufnahmen viel zu lang sind; dieselben betragen z. B. bei den von Marey 1894¹⁾ und Packard 1898²⁾ veröffentlichten, kinematographischen Insektenaufnahmen $\frac{1}{20}$ Sekunde. Da nun die genannten Insekten 100 bis 300 und noch mehr Flügelschläge in der Sekunde machen, so sind die Bilder solcher Serien verschiedenen Flügelschlägen entnommen und nichts anderes als gewöhnliche, voneinander unabhängige und nicht aus einander hervorgehende Stellungen darstellende Momentbilder, wie ich selbst³⁾ solche schon 1880 hergestellt habe.

Einen wirklich befriedigenden Aufschluss über die Art der Flügelbewegung kann man mit Hilfe der Photographie nur dann erhalten, wenn eine Reihe von aufeinanderfolgenden Phasen der Flügelbewegung eines und desselben Flügelschlages dargestellt werden. Um eine solche Reihe herzustellen, muss man, da, wie oben erwähnt, diese Insekten 100 bis 300 und mehr Flügelschläge in der Sekunde machen, die Zeitintervalle zwischen aufeinanderfolgenden Aufnahmen auf $\frac{1}{1500}$ bis $\frac{1}{2500}$ Sekunde herabsetzen. Es ist mir nun nach längeren Versuchen gelungen, einen Apparat zusammenzustellen, mit welchem Serien von Momentaufnahmen mit derartig kurzen Intervallen hergestellt werden können.

Die Konstruktion dieses Apparates ist aus der umstehenden Skizze (Fig. 1) ersichtlich. Direktes Sonnenlicht (*m*) wird durch den Heliostatspiegel (*a*) auf die große Bikonvexlinse (*b*) geworfen. Hinter dieser Linse ist eine 36 cm im Durchmesser haltende Scheibe mit 50 äquidistanten, 3 cm langen und distal $\frac{1}{2}$ mm breiten, innerhalb des Randes eingeschnittenen Radialspalten senkrecht zur optischen Achse jener Linse (*b*) derart angebracht, dass der Brennpunkt derselben bei (*c*) auf die marginale Spaltenzone dieser Scheibe auffällt. Die

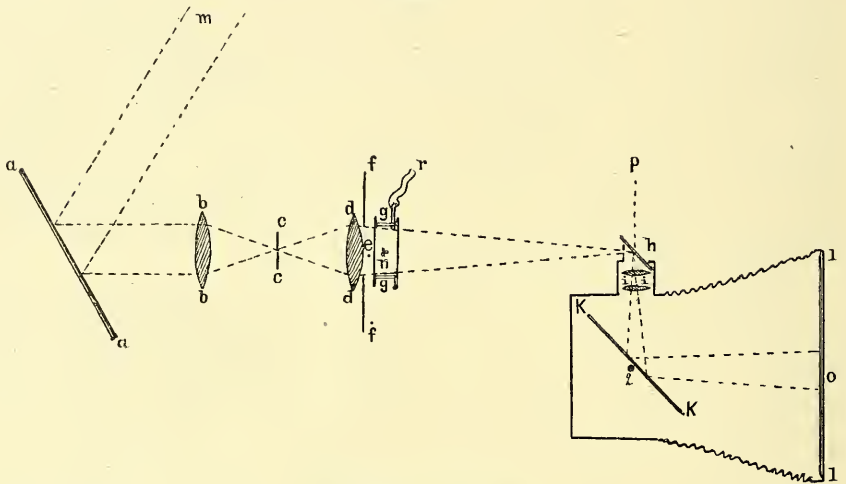
1) Marey, Le Mouvement, Paris 1894, p. 250.

2) Packard, Textbook of Entomology, New-York 1898, p. 151.

3) Sitzber. Akad. Wien, Bd. 83, p. 355.

Scheibe wird mit Hilfe einer Transmission in Bewegung gesetzt und kann auf eine Geschwindigkeit von 50 Umdrehungen in der Sekunde und noch mehr gebracht werden; — bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 50 in der Sekunde werden (in der Sekunde) 2500 Lichtblitze die Scheibe passieren; bei weniger rascher Drehung weniger. Würde die Scheibe nur einmal in der Sekunde gedreht, so würden 50 Lichtblitze in der Sekunde erzeugt werden. Hinter dieser Scheibe ist eine zweite, große Bikonvexlinse (*d*) mit etwas kleinerer Brennweite als die erste angebracht, welche die hinter (*c*) divergierenden Strahlen wieder sammelt und in einiger Entfernung nochmals vereinigt. Dicht hinter dieser Linse steht ein Schirm (*f*) mit einem kreisrunden Loch. Der Schirm hält die

Fig. 1.



Ansicht des Apparates.

Randstrahlen auf, während die mittleren durch das Loch hindurchtreten. Eine kurze Strecke hinter dem Schirm (*f*) befindet sich das zu photographierende Insekt. Dasselbe hier zum Fliegen zu bringen und gleichzeitig daran zu verhindern, sich von dieser Stelle zu entfernen, ist nicht leicht. Einige größere Formen, wie Tipuliden und Libelluliden kann man zwischen Daumen und Zeigfinger am Abdomen festhalten und durch leichten Druck dazu veranlassen, Flucht-Flugversuche zu machen. Besser ist es, das Insekt (*n*) in einem Kästchen (*g*) von entsprechender Größe, dessen vordere und rückwärtige Wand aus Spiegelglas bestehen, unterzubringen und mittelst Einleiten von Sauerstoff oder Dämpfen reizender Substanzen durch das Rohr (*r*), oder mittelst Erwärmen oder Schütteln des Kästchens zum Fliegen zu bringen. Diese Methode bewährt sich namentlich bei Musciden, Culiciden und *Bombus*.

An der Stelle (*h*), wo die Sonnenstrahlen zum zweiten Male konvergieren, ist ein, um die horizontale Achse (*p*) drehbarer Spiegel (Prisma) angebracht. Dieser schließt (in Mittelstellung) mit der optischen Achse des einfallenden Lichtkegels 45 Grad ein und reflektiert dieses Licht daher unter rechtem Winkel. Dicht am Spiegel liegt das Linsensystem (*i*) des photographischen Apparates. Das nun wieder divergierende Strahlenbüschel passiert diese Linsen und fällt dann auf einen zweiten, um die vertikale Achse (*g*) drehbaren Spiegel (*k*), von welchen es (in der Mittelstellung) ebenfalls unter rechtem Winkel zurück und auf das Negativ (*l*) geworfen wird, wo ein kreisrundes Sonnenbild entsteht, in welchem bei entsprechender Einstellung der scharfe Schattenriss des Insektes (*o*) liegt.

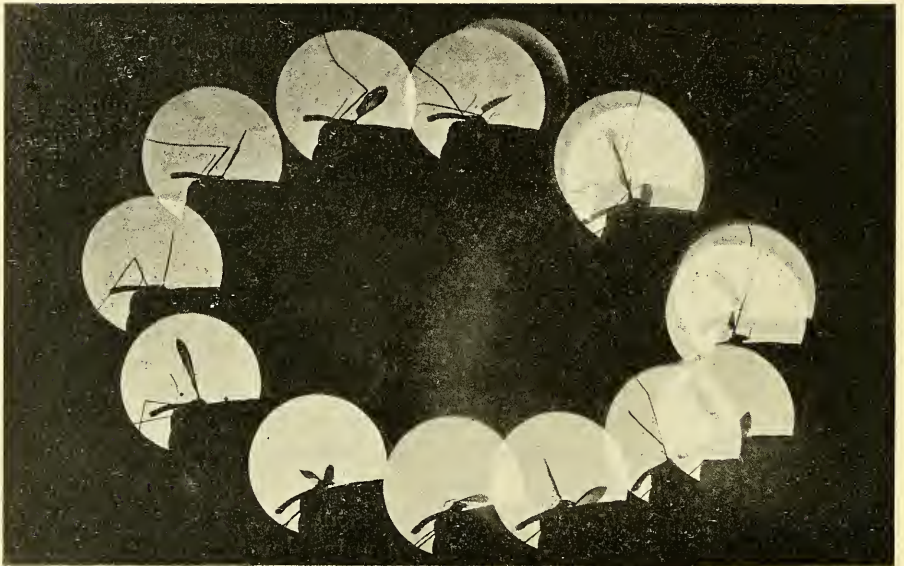
Je nach der Entfernung der Linse (*d*) vom ersten Strahlenkreuzungspunkt bei (*c*), liegt der zweite Kreuzungspunkt bei (*h*) näher oder entfernter, so dass man die Lage des letzteren und damit auch die Entfernung der Camera von dem zu photographierenden Insekte und die relative Größe des Bildes des letzteren innerhalb weiter Grenzen nach Belieben abändern kann. Ich habe die besten Resultate mit einer Verkleinerung von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{3}$ erzielt und die meisten Aufnahmen in diesem Maßstabe gemacht.

Um die zwischen aufeinanderfolgenden Aufnahmen liegenden Zeitintervalle zu bestimmen, habe ich oben an der Rückseite des Schirmes (*f*) einen ganz flachen Trichter angebracht, dessen Boden 459 mm über der optischen Achse des Lichtkegels liegt und von dem ein weites Glasrohr eine Strecke weit senkrecht herabzieht. Während des Photographierens werden Schrotkörner von gleicher und bekannter Größe durch diesen Trichter herabfallen gelassen. Auf dem Wege (von 459 mm) bis zur optischen Achse erlangen diese eine Fallgeschwindigkeit von 3 Metern in der Sekunde: — mit dieser durchfallen sie, dicht hinter dem zu photographierenden Insekt, bei (*e*) den Lichtkegel. Die aus dem Luftwiderstand sich ergebende Retardierung und die Beschleunigung während des Durchfallens des Lichtkegels sind so unbedeutend, dass man sie wohl vernachlässigen kann, ohne dadurch einen irgendwie störenden Fehler in die Intervallsberechnung hinein zu bringen.

Will man mit diesem Apparate Aufnahmen machen, so werden die Linsen (*b* und *d*) und die Camera entsprechend auf- und eingestellt und die Spiegel (*h*) und (*k*) in eine solche Lage gebracht, dass das kreisförmige Sonnenbild, welches je nach den Umständen $1\frac{1}{2}$ bis 5 cm im Durchmesser hält, auf die linke obere Ecke der Platte fällt, worauf man den Verschluss vor (*h*) schließt, die Kassette einschiebt und aufmacht. Nun wird der Scheibe die gewünschte Drehungsgeschwindigkeit gegeben, Schrot durch den Trichter herab-

fallen gelassen und das Insekt zum Fliegen gereizt. Sobald es zu fliegen beginnt, wird der Verschluss vor (*h*) geöffnet und der Spiegel (*k*) sehr rasch nach rechts gedreht, dann der Spiegel (*h*) um ein vorher bestimmtes, durch Einschnappen eines Zeigers in einem Einschnitt reguliertes Stück nach abwärts gedreht, hierauf der Spiegel (*k*) sehr rasch zurück nach links, der Spiegel (*h*) ein Stück nach abwärts, (*k*) wieder nach rechts bewegt und so fort, bis die ganze Platte bedeckt ist. Solcherart bringt man 4 bis 10 Reihen von je 20 bis 40 Aufnahmen auf eine Platte von 18×24 cm Größe.

Fig. 2.



(2. 9. 1902. a.) *Tipula oleracea* L. Sonne. Rotationsspiegel. Expos. $\frac{1}{1.000}$ Sek.
Intervall $\frac{1}{40}$ Sek.

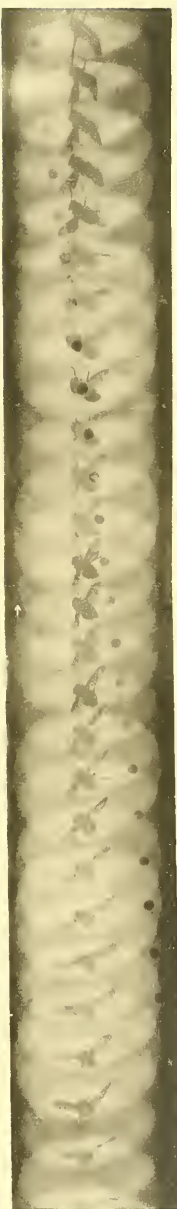
Besonders wichtig ist es, den Spiegel (*k*) recht rasch zu drehen, damit die einzelnen Aufnahmen nicht zu weit übereinander fallen. Damit nun die Bilder trotz dieser raschen Spiegeldrehung und Bildverschiebung auf der Platte nicht verzerrt werden, muss die Belichtung eine sehr kurze sein. Liegt der etwa 1 mm breite Brennpunkt der Linse (*b*) in der maginalen Spaltenzone 157 mm von der Scheibenachse entfernt und ist der Spalt (siehe oben) $\frac{1}{2}$ mm breit, so wird die Dauer eines die Scheibe passierenden Lichtblitzes, die Belichtungsdauer, folgende sein:

Fig. 3.



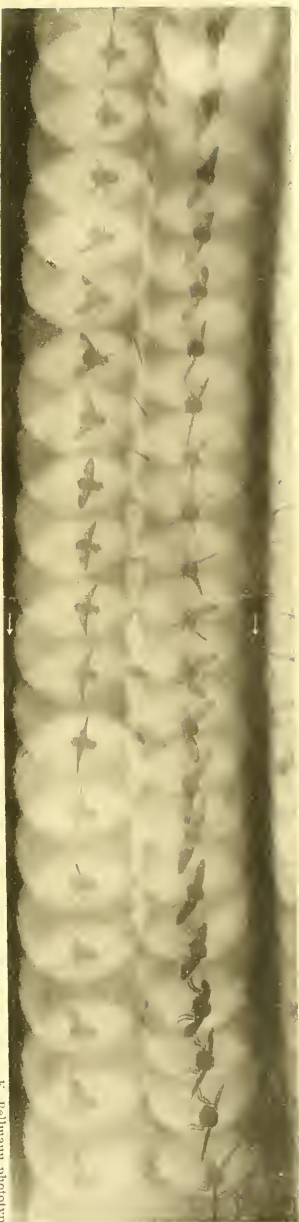
(17. 9. 02. a.) *Calliphora vomitoria* L. Sonne. Doppelspiegel. Expos. $\frac{1}{4000}$ Sek. Intervalle $\frac{1}{1000}$ Sek.

Fig. 4.



(20. 9. 02. c.) *Calliphora vomitoria* L. Sonne. Doppelspiegel. Expos. $\frac{1}{4000}$ Sek. Intervalle $\frac{1}{1000}$ Sek.

Fig. 5.



(21. 9. 02. a.) *Calliphora vomitoria* L. Sonne. Doppelspiegel. Expos. $\frac{1}{4000}$ Sek. Intervalle $\frac{1}{1000}$ Sek.

K. Rehnmann photograph.

Umdrehungen der Scheibe in 1 Sekunde	Volle Belichtung Sekunde	Belichtung überhaupt Sekunde	Wirksame Belichtung ungefähr Sekunde
50	$\frac{1}{100000}$	$\frac{1}{33000}$	$\frac{1}{50000}$
40	$\frac{1}{80000}$	$\frac{1}{27000}$	$\frac{1}{40000}$
30	$\frac{1}{60000}$	$\frac{1}{20000}$	$\frac{1}{30000}$

u. s. w. Ich habe noch bei 42 Umdrehungen der Scheibe in der Sekunde, d. i. also bei einer wirksamen Belichtung von ungefähr $\frac{1}{42000}$ Sekunde an hellen Tagen ganz brauchbare Bilder (Fig. 4—5) bekommen und es hat sich gezeigt, dass bei solchen Expositionszeiten durch die rasche Drehung des Spiegels (k) keinerlei Verzerrung der Bilder hervorgerufen wird.

Der Insektenbewegung selbst wegen ist eine derartige Kürze der Expositionszeit nicht notwendig: die Insekten kann man, auch bei schnellster Bewegung der Flügel, wie Marey¹⁾ schon 1891 gezeigt hat bei einer Expositionsdauer von $\frac{1}{25000}$ Sek. ganz scharf photographieren. Auf den Platten sieht man nach der Entwicklung horizontale Reihen von dunklen, je nach der relativen Geschwindigkeit der Spiegeldrehung mehr oder weniger übergreifenden Kreisen, in denen das fliegende Insekt und die vorüberfallenden Schrote hell erscheinen. Aus den Vertikalabständen der Schrotbilder in aufeinanderfolgenden Aufnahmen, dem aus dem Verhältnis der natürlichen Größe und der Bildgröße der Schrote sich ergebenden Maße der Verkleinerung, und aus der bekannten Bewegungs-(Fall-)Geschwindigkeit der Schrote an der Stelle von 3 m in der Sekunde (siehe oben), lässt sich die Länge des Zeitintervalls zwischen den aufeinanderfolgenden Aufnahmen leicht mit hinreichender Genauigkeit berechnen.

Ich habe bisher die besten Resultate mit Intervallen von $\frac{1}{2150}$ bis $\frac{1}{1600}$ Sekunden an *Calliphora vomitoria* erzielt. In den Figuren 2—5 (auf beiliegender Tafel) sind einige Serien von Bildern solcher fliegender Calliphoren dargestellt. Man sieht, dass in diesen Serien 10 bis 15 Phasen eines und desselben Flügelschlages dargestellt sind, sowie in einer der Figuren (4) auch ein fallendes Schrotkorn.

Zur Aufnahme von Serien mit längeren Zeitintervallen habe ich mich eines einfachen Rotationsspiegels bedient. Derselbe wird in derselben Stellung wie der Spiegel (k) beim Doppelspiegelapparate angebracht und ist unter einem Winkel von ungefähr 80 Grad an das Ende einer drehbaren, horizontalen Achse, welche mit dem ein-

1) Comptes Rendus Paris, Bd. 113, p. 15.

fallenden Licht und der Ebene des Negativs Winkel von 45 Grad einschließt, befestigt. Der Spiegel (*h*) entfällt und die konvergierenden Strahlen gelangen direkt zum Anastigmat. Im übrigen ist die Anordnung dieselbe wie beim Doppelspiegelapparat. Die Achse des Rotationsspiegels wird gedreht und damit auch das von dem (siehe oben) nicht senkrecht an ihrem Ende befestigten Spiegel reflektierte, auf das Negativ auffallende Bild. Sobald das Insekt Flugbewegungen macht, wird der Verschluss geöffnet, um nach einer Drehung des Spiegels wieder geschlossen zu werden. So erhält man hübsche Ringe von aufeinanderfolgenden Aufnahmen (vergleiche die Fig. 2). Diese Methode eignet sich jedoch nicht so gut zur Herstellung von Serien mit kurzen Intervallen, weil mit diesem Rotationsspiegel eine hinreichend rasche Bildverschiebung viel schwerer als mit der Doppelspiegeleinrichtung zu erreichen ist. [81]

Zur näheren Kenntnis des echten Gastverhältnisses (Symphilie) bei den Ameisen- und Termitengästen.

(134. Beitrag zur Kenntnis der Myrmekophilen und Termitophilen.)

Von E. Wasmann S. J.

(Fortsetzung.)

6. *Paussus cucullatus* Westw. (Fig. 7—14).

Eine Anzahl in Alkohol getöteter und später in Alkohol-Formol aufbewahrter Exemplare dieses Käfers, von Dr. Hans Brauns in der Kapkolonie bei *Pheidole megacephala* var. *punctulata* Mayr gesammelt, wurde zu Schnittserien verwandt.

Die äußeren Exsudatororgane dieses Paussiden sind sehr reich und mannigfaltig. Wir können vier Hauptregionen derselben unterscheiden (Fig. 7, I—IV). *I.* Ein dichter, halbkreisförmiger Kranz von dicken, gekrümmten, roten Haarpinseln, der den Unter- rand des Pygidiums umsäumt. *II.* Eine tiefe Mittelgrube (Exsudatgrube) des Prothorax hinter der Mittelfurche, welche den hinteren Prothoraxteil vom vorderen scheidet; in dieser Furche finden sich zu beiden Seiten gelbe Haarbüschel. *III.* Eine doppelte Stimpore (Exsudatpore) auf dem Scheitel; die Oberseite des Kopfes ist ebenso wie der hochaufgerichtete Kragen des Prothorax mit feinen gelben Börstchen dicht besetzt. *IV.* Die Fühler sind oben tief becherförmig ausgehöhlt, die innere Seitenwand des Bechers tief gefurcht, die Oberwand stumpf gezähnt und mit kurzen Börstchen besetzt. Außerdem scheint aber auch die ganze übrige Körperoberfläche des *Paussus* an der Exsudatfunktion beteiligt, speziell die Flügeldecken.

Anfangs glaubte ich das Fettgewebe von *Paussus* als das eigentliche Exsudatgewebe ansehen zu müssen. Bei näherer Untersuchung zeigte sich jedoch, dass gerade in den vorerwähnten vier

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1903

Band/Volume: [23](#)

Autor(en)/Author(s): Lendenfeld Robert Ingaz Lendlmayr

Artikel/Article: [Beitrag zum Studium des Fluges der Insekten mit Hilfe der Momentphotographie. 227-232](#)