

INSTITUT FÜR FILM UND BILD IN WISSENSCHAFT UND UNTERRICHT  
HOCHSCHULFILM C 575/1950

Aus dem Max-Planck-Institut für Meeresbiologie, Wilhelmshaven

**Flugbewegungen bei Insekten**

Von Prof. Dr. E. VON HOLST

(Mit 2 Abbildungen)

Aus dem Max-Planck-Institut für Meeresbiologie. Wilhelmshaven

## Flugbewegungen bei Insekten

Von Prof. Dr. E. von HOLST

(Mit 2 Abbildungen)

Der Film enthält Zeitdehneraufnahmen von vier verschiedenen Insektenflugtypen: Heuschrecke, Schlupfwespe, Tagfalter und Libelle. Die gezeigten Tiere, die am Thorax mittels einer Borste oder einem feinen Stahldraht fixiert sind, nehmen bei Anblasung von vorn etwa mit Fluggeschwindigkeit die typische Flughaltung ein und führen Bewegungen mit den Flügeln (und zum Teil mit dem Hinterleib) aus, die für ihre Flugweise charakteristisch sind. Man erkennt die von Fall zu Fall verschiedene Art des Zusammenspiels von Vorder- und Hinterflügeln und kann die Bewegungsbahn des Flügels und die für Insekten charakteristische starke, mit der Schlagschwingung gekoppelte Drehschwingung des Flügels um seine Längsachse verfolgen.

Der Film ist für den Hochschulunterricht bestimmt. Die Schmalfilmkopie (16 mm-Stummfilm) hat eine Länge von 40 m entsprechend einer Vorfuhrdauer von 4 Minuten bei einer Vorfuhrgeschwindigkeit von 24 B/s.

### I. Allgemeine Vorbemerkungen

Die Flugbewegungen der Insekten entziehen sich vollkommen der direkten Beobachtung. Sie sind aber für das Verständnis des Schwingenfluges überhaupt in mehrfacher Hinsicht von besonderem Interesse. Die mit der Schlagschwingung gekoppelte Drehschwingung tritt hier besonders stark hervor. Das hängt mit den niedrigen Reynolds'schen Zahlen (Größenordnung 1000) zusammen, die für den Insektenflug gelten. Eine kleine Reynolds'sche Zahl bedeutet: Auftreten erheblicher Zähigkeitskräfte im Vergleich zu den Trägheitskräften.

Nach Messungen an künstlichen schwingenden Flügeln [1]<sup>1)</sup> können die Insekten Fortschrittsgrade<sup>2)</sup> von nicht viel über 1 erreichen,

<sup>1)</sup> Siehe Literaturverzeichnis am Ende des Textes.

<sup>2)</sup> Fortschrittsgrad heißt das Verhältnis von Länge (in Flugrichtung) und Höhe der Bahnkurve eines Flügelschlages, wobei die Flügelspitze maßgeblich ist.

während gute Flieger unter den Vögeln (Falken, Tauben, Mauersegler) Fortschrittsgrade von über 5 erzielen. Anschaulich bedeutet das, daß die Spitze des Insektenflügels auch bei schnellem Vorwärtsflug immer auf einer steil auf- und abführenden Bahn sich bewegt, der Flügel also stets eine relativ hohe Schlagfrequenz besitzt (siehe Abb. 1). Dieser Bahnkurve muß sich nun die Flügel-

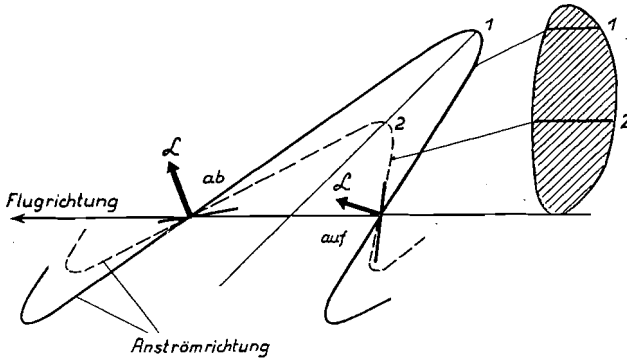


Abb. 1. Schema der Flugbahn eines schwingenden Insektenflügels mit einer gegen die Lotrechte um  $45^\circ$  geneigten Schwingenebene (Fortschrittsgrad etwa 1).

Es ist die Bewegungsbahn eines Flügelschnitts nahe der Spitze (1) und eines zweiten in Flügelmitt (2) angegeben. Die Stellung der Fläche ist für den Aufschlag (auf) und den Abschlag (ab) eingezeichnet. Der Pfeil deutet die Richtung der Gesamtluftkraft (Resultierende aller Teilkräfte) an.

fläche jeweils genau anpassen, um ein Maximum an Luftkräften mit einem Minimum an Muskelkraft zu gewinnen.

Exakte Untersuchungen haben im einzelnen klargestellt, daß für jeden gewünschten Flugzustand dem Flügel sehr bestimmte Bewegungen vorgeschrieben sind, wenn der Wirkungsgrad günstig bleiben soll. So darf z.B. der Anstellwinkel, d.h. der Winkel zwischen der jeweiligen Anströmrichtung und dem Flügelquerschnitt eine gewisse Größe (etwa  $30^\circ$ ) nicht überschreiten, sonst „reißt“ die Strömung unter Bildung energiezehrender größerer Wirbelmassen „ab“.

Die Anpassung an steile Bewegungsbahn (d.h. an geringen Fortschrittsgrad) bedingt starke Drehschwingung des Flügels um die Längsachse. Sie ist in allen Aufnahmen sehr deutlich zu sehen, mit Ausnahme der vom Tagfalter, wo besondere, gleich zu erörternde Verhältnisse vorliegen.

Eine weitere allgemeine Eigentümlichkeit ist die schräge Lage der Schlagebene: Die Flügelbahn geht von hinten-oben nach vorne-unten und zurück. Der besondere Nutzen dieses Bewegungsverlaufs

liegt darin, daß er eine sehr weite Geschwindigkeitsspanne mit günstigem Wirkungsgrad zuläßt. Er steht zwischen dem Ideal für schnelle Vorwärtsbewegung — senkrechte Bewegungsbahn (viele große Vögel) — und dem Ideal für den Flug auf der Stelle — waagerechte Bewegungsbahn (Kolibri) — gerade in der Mitte.

## II. Erläuterungen zum Film

### *Schnarrheuschrecke (Schlagfrequenz ca. 50 pro Sek.)<sup>1)</sup>*

Die blaue Schnarrheuschrecke (*Oedipoda sp.*) gehört unter unseren heimischen Heuschrecken zu den besseren Fliegern; sie kann bei genügend warmer Temperatur längere Strecken in wendigem Fluge zurücklegen. Der Start beginnt mit einem Sprung, und erst der Anblaswind verursacht ein Aufschnellen der Flügel in winzigem Sekundenbruchteil und anschließendes Einsetzen der Bewegungen.

Der Film zeigt das Tier zunächst mit zusammengelegten Flügeln, die erst im Moment, wo der Anblaswind einsetzt, aufklappen. Gleichzeitig sieht man die Beine in Flughaltung übergehen, die Vorderbeine werden nach vorn angelegt, die Mittelbeine nach hinten, und nur die Hinterbeine bleiben als bewegliche Balancierstangen halbgebeugt hängen. Die Flügel bewegen sich gemeinsam auf und ab. Der derbe schmale Vorderflügel wird als Ganzes um seine Längsachse gedreht; der Hinterflügel ist nur an der Vorderkante hart, im übrigen aber fächerartig elastisch und wird nicht als Ganzes um seine Längsachse gedreht, sondern mehr unter Vorangehen der aktiven Vorderkante wie ein elastisches Segel nach oben und unten geschwungen, das sich abwechselnd im Luftstrom nach der einen und nach der anderen Seite aufbläht.

### *Schlupfwespe (Schlagfrequenz ca. 80 pro Sek.)*

Die Schlupfwespe (*Ichneumon sp.*) gehört zu einer Gruppe ausgezeichnet fliegender Insekten, bei der Vorder- und Hinterflügel fest zusammengeheftet sind und als einheitliche Fläche betätigt werden. Man sieht die typische Flughaltung der Beine und die ziemlich schräge Bewegungsbahn der Flügel. Die Flügelspitze umschreibt eine halb liegende, sehr flach zusammengedrückte Acht. Der Flügel wird während des Ab- und Aufschlages um mehr als 90° um seine Längsachse gedreht, jedoch nicht als starre Fläche, sondern man sieht die Stellungsänderung besonders deutlich am unteren Umkehrpunkt der Schlagrichtung wie eine Welle von der Vorderkante des Flügels über die Fläche nach hinten wandern.

<sup>1)</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

*Zitronenfalter (Schlagfrequenz ca. 8 pro Sek.)*

Der Zitronenfalter (*Monopteryx* sp.) gehört zu den sehr großflächigen und verhältnismäßig langsam schlagenden leicht-flächenbelasteten Tagfaltern, die durch die Besonderheit ausgezeichnet sind, daß auch der Hinterleib in den Dienst der Flugbewegung gestellt wird. Die Aufnahme zeigt ein am Thorax fixiertes Tier zunächst ohne Anströmung, später mit Anblaswind (Verschwinden der hinter dem Tier sichtbaren hängenden Papierstreifen) in maximaler Aktion, wobei sofort zwei Besonderheiten auffallen: Das Abdomen schwingt mit einer gewissen Phasenverschiebung gegenüber der Flügelbewegung um mehr als  $90^\circ$  nach oben und wieder zurück, und die breiten Flügel zeigen, mit Ausnahme der Vorderkante der Vorderflügel, eine nur sehr geringfügige Dreh-schwingung um die Flügelängsachse.

Diese beiden Eigentümlichkeiten hängen miteinander zusammen: Der Falter kann aus mechanischen Gründen seine breiten Flügel nur wenig um ihre Längsachse drehen und dreht infolgedessen den ganzen Thorax sinnentsprechend um seine Querachse. Zu dieser Bewegung ist ihm das Abdomen behilflich, das durch kräftiges Auf- und Abschwngen ein entsprechendes Drehmoment erzeugt. Filmaufnahmen an nicht-fixierten, freiliegenden Faltern — die Bildfolgen sind zur Vorführung zu kurz — zeigen, daß die Tiere besonders beim Start tatsächlich im ganzen eine kräftige Auf- und Abkippung ausführen, wie sie Abb. 2 zeigt. Dabei macht der Kopf aktiv eine Gegenbewegung, so daß er und die Fühler ihre Stellung im Raum ziemlich genau beibehalten.

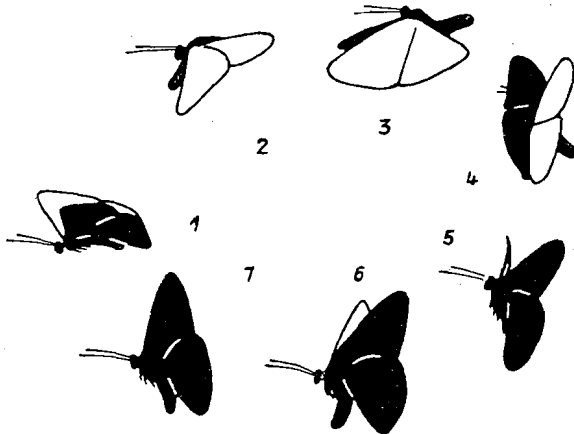


Abb. 2 Bewegung eines freiliegenden Kohlweißlings (nach Filmaufnahmen) kurz nach dem Start. Die Bilder folgen sich im Uhrzeigersinn (nach Bild 7 kommt wieder Bild 1). Man beachte die Schlag-schwingung des Abdomens (Bild 3—6) und die Drehung des ganzen Tieres um seine Querachse. Der Kopf macht aktiv eine — optisch gesteuerte — kompensatorische Gegenbewegung.

Der am Thorax fixierte Falter wird an dieser aktiven Kippbewegung mechanisch gehindert; die Aufnahme ist also in dieser Hinsicht unnatürlich. Um so deutlicher ist dafür die aktive Hinterleibsbewegung zu erkennen. Ferner sieht man, wie hier Vorder- und Hinterflügel nur locker übereinander liegen und nicht aneinander befestigt sind, sondern sich mehr oder weniger übereinander schieben können.

*Libelle (Schlagfrequenz ca. 30 pro Sek.)*

Die Libelle (*Libellula sp.*), berühmt durch ihre Fluggeschwindigkeit und Fluggeschicklichkeit, hat, wie man seit längerem weiß, eine besondere Flugart entwickelt, indem Vorder- und Hinterflügel mehr oder weniger genau alternierend schwingen, was flugtechnisch einen Vorteil bedeutet (so wie zwei um die gleiche Achse gegenläufig rotierende Propeller mit lesserem Wirkungsgrad arbeiten als bei gleichsinnigem Umlauf). Diese Bewegungsweise ist nicht obligatorisch; vorübergehend können die Flügel auch gemeinsam schwingen (auf kurze Strecken kommt auch relative Koordination vor), und bei einzelnen Formen ist gemeinsame Bewegung die Regel (Hüpfflug von *Calopteryx*).

Die alternierende Bewegung der Flügelpaare bringt die Gefahr eines Wackelns um die Querachse mit sich, da bald die Vorder-, bald die Hinterflügel allein oder überwiegend das Gewicht des Körpers tragen. Diesem Moment wirkt der charakteristische, enorm in die Länge gestreckte Hinterleib, der als stabilisierender Hebelarm wirkt, entgegen. (Florfliegen, die mit ihren Flügeln ebenfalls nahezu alternierend schlagen, aber keine ausreichend stabilisierende Körpermasse besitzen, wackeln tatsächlich mit jedem Flügelschlag um die Querachse hin und zurück.)

Die Aufnahme zeigt, wie kurz nach Beginn des Startes die zunächst mit geringer Amplitude bewegten Flügel sich nach und nach immer genauer in alternierende Schwingbewegung einschaukeln. Man erkennt ferner deutlich eine sehr kräftige Drehung der ziemlich elastischen Flügel um ihre Längsachse. Um die Bewegung in ihrem ganzen Verlauf sichtbar werden zu lassen, wurden die durchsichtigen Flügel mit einem feinen weißen Farbüberzug versehen, der das freigelassene Tier in seinem Flug nicht behinderte.

**Literatur:**

1. v. HOLST, E., Untersuchungen über Flugbiophysik I. Biol. Zbl. **63** (1943), S. 289.

Vgl. zur Einführung auch:

2. v. HOLST, E., u. D. KÜCHEMANN, Biologische und aerodynamische Probleme des Tierflugs. Naturwiss. **29** (1941), S. 348.
3. v. HOLST, E., Neue Forschungen zum Schwingenflugproblem. Forsch. u. Fortschr. **20** (1944).
4. v. HOLST, E., Vom Flug der Tiere und vom Menschenflug der Zukunft. Schriften d. Univ. Heidelberg 1948, S. 95. J. Springer, Berlin und Heidelberg.

*(Eingegangen am 17. 3. 1950)*

Die Herstellung des Films erfolgte im Jahre 1941  
Für den Hochschulunterricht bearbeitet und veröffentlicht durch das  
Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht  
Abteilung Hochschule und Forschung, Göttingen (Dir.: Dr.-Ing. G. WOLF)