



ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

FILM E 2712

**Aeschna cyanea (Aeschnidae)
Flugverhalten**

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM • GÖTTINGEN

ISSN 0073-8417

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

SEKTION

BIOLOGIE

SERIE 15 · NUMMER 47 · 1982

FILM E 2712

Aeschna cyanea (Aeschnidae)

Flugverhalten



INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM · GÖTTINGEN

Angaben zum Film:

Stummfilm, 16 mm, farbig, 38 m, 3¹/₂ min (24 B/s). Hergestellt 1981, veröffentlicht 1982.
Das Filmdokument ist für die Verwendung in Forschung und Hochschulunterricht bestimmt.
Die Aufnahmen entstanden durch Prof. Dr. G. RÜPPELL. Aus dem Zoologischen Institut der Technischen Universität Braunschweig. Bearbeitet und veröffentlicht durch das Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, Dr. D. HAARHAUS.

Zitierform:

RÜPPELL, G.: *Aeschna cyanea* (Aeschnidae) – Flugverhalten. Film E 2712 des IWF, Göttingen 1982. Publikation von G. RÜPPELL, Publ. Wiss. Film., Sekt. Biol., Ser. 15, Nr. 47/E 2712 (1982), 10 S.

Anschrift des Verfassers der Publikation:

Prof. Dr. G. RÜPPELL, Zoologisches Institut der Technischen Universität Braunschweig, Pockelsstr. 10 a, D-3300 Braunschweig.

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN

Sektion BIOLOGIE
Sektion ETHNOLOGIE
Sektion MEDIZIN
Sektion GESCHICHTE · PUBLIZISTIK

Sektion PSYCHOLOGIE · PÄDAGOGIK
Sektion TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN
NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgeber: H.-K. GALLE · Schriftleitung: E. BETZ, I. SIMON

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN sind die schriftliche Ergänzung zu den Filmen des Instituts für den Wissenschaftlichen Film und der Encyclopaedia Cinematographica. Sie enthalten jeweils eine Einführung in das im Film behandelte Thema und die Begleitumstände des Films sowie eine genaue Beschreibung des Filminhalts. Film und Publikation zusammen stellen die wissenschaftliche Veröffentlichung dar.

PUBLIKATIONEN ZU WISSENSCHAFTLICHEN FILMEN werden in deutscher, englischer oder französischer Sprache herausgegeben. Sie erscheinen als Einzelhefte, die in den fachlichen Sektionen zu Serien zusammengefaßt und im Abonnement bezogen werden können. Jede Serie besteht aus mehreren Lieferungen.

Bestellungen und Anfragen an: Institut für den Wissenschaftlichen Film
Nonnenstieg 72 · D-3400 Göttingen
Tel. (0551) 202202

GEORG RÜPPELL, Braunschweig:

Film E 2712

Aeschna cyanea (Aeschnidae) – Flugverhalten

Verfasser der Publikation: GEORG RÜPPELL

Mit 4 Abbildungen

Inhalt des Films:

Aeschna cyanea (Aeschnidae) – Flugverhalten. Der Flug auf der Stelle und der Kurvenflug werden in mehreren Einstellungen gezeigt. Bemerkenswert sind deutliche Thoraxdrehungen, die beim Flug auf der Stelle dem Stabilisieren des Fluges gegen Eigenschwankungen oder Windböen und beim Kurvenflug dem Ausgleichen der Fliehkraft dienen könnten, wobei die optische Achse immer in der Senkrechten bleibt.

Summary of the Film:

Aeschna cyanea (Aeschnidae) – Flight Behaviour. The flight on the spot and in curves is shown in several scenes. Remarkable are the clear visible rotations of the thorax, probably serving in the flight on the spot to stabilize the flight against selfproduced waving or gusts and in curves to compensate the centrifugal power, whereby the optical axis always remains vertical.

Résumé du Film:

Aeschna cyanea (Aeschnidae) – Comportement au vol. On voit le vol sur place et le vol en virages dans plusieurs scenes. Il est remarquable de voir très clairement la rotation du thorax qui pourrait servir pendant le vol sur place à une stabilisation du vol contre l'oscillation propre de la bête ou contre des variations du vents et pendant le vol en virages elle pourrait servir à egaliser la force centrifuge. L'axe optique reste toujours à la verticale.

Allgemeine Vorbemerkungen

Methodisches

Der Flug der Großlibellen zeichnet sich durch große Schnelligkeit, sehr große Wendigkeit, ausgezeichnetes Brems- und Beschleunigungsvermögen, durch die Fähigkeit zum Flug auf der Stelle, zum Rückwärts- und Steigflug aus. Diese außergewöhnlichen Flugleistungen sind der Grund dafür, daß zeitgedehnte Freilandaufnahmen fliegender Großlibellen noch nicht vorliegen. Da die Libellen andauernd ihren Standort ändern, ist eine ausreichend große und scharfe Abbildung mit Zeitdehnerkameras nur sehr schwer zu erreichen. Wegen der geringen Tiefenschärfe langbrennweitiger Objektive können solche Aufnahmen nur mit dem Spiegelreflexsystem bei fortlaufender Kontrolle des Sucherbildes während der Aufnahme hergestellt werden.

Im Labor ist eine angeklebte Großlibelle mit gefärbten Flügeln von VON HOLST (1950) erstmals zeitgedehnt gefilmt und von ihm und H.U.M. RUSSENBERGER (1959/60) analysiert worden. Die Libelle ist jedoch nie genau von vorn oder von der Seite gefilmt worden, so daß die perspektivische Verzerrung eine Auswertung weitgehend unmöglich macht. Weitere Versuche unternahm CHADWICK ([1]) und NORBERG ([7]) den Flug der Libellen aufzuklären. CHADWICK benutzte angeklebte Tiere, und NORBERG filmte lediglich mit 80 B/s.

Allgemeines zum Libellenflug

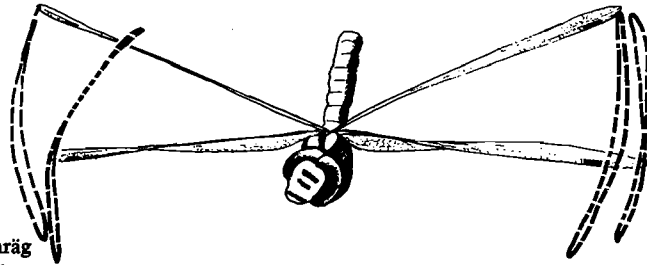
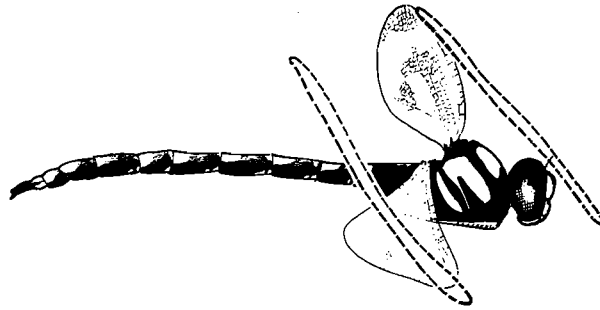
Je kleiner ein Fluginsekt ist, um so weniger Schwierigkeiten hat es, beim Flug nicht an Höhe zu verlieren. Seine relativ große Körperoberfläche und der ungünstige Strömungsbereich (niedrige Reynold-Zahl mit laminarer Grenzschicht) lassen eine schnelle Bewegung ohne effektive Flügelschläge nicht zu. Allgemein gilt: je kleiner ein Fluginsekt, um so schneller muß es seine Flügel bewegen, wenn es schnell fliegen will. Kleine Fluginsekten erreichen nur eine Geschwindigkeit von einigen km/h, große, wie Bremsen oder Libellen dagegen, bis zu 40 km/h (NACHTIGALL [4]).

Der Flug der Libellen ist außerdem sehr wendig. Die sehr gute Flugfähigkeit haben sie zweifellos ihrem Leichtbau, gekoppelt mit den langen, leichten Flügeln, die von mächtigen Flugmuskeln angetrieben werden, zu verdanken. Auch ihr Vierflügelantrieb ist für die Wendigkeit sicherlich von Vorteil. Die Vorder- und Hinterflügel werden gegensinnig bewegt (Ausnahme: Imponierflug der Prachtlibelle [RÜPPELL, BARTELS, SCHULZE, in Vorbereitung]) und erlauben so einen stabilen Flug ohne störende Massenschwankungen wie bei nur einem Flügelpaar. Schwankungen des Körpers um die Querachse werden durch den sehr langen Hinterleib ausgeglichen.

Die direkten Flugmuskeln ermöglichen ein blitzschnelles und effektives Verstellen der Schlagrichtung der Flügel.

Abb. 1. Die Schlagbahnen (gestrichelte Linien) sind durch Verbinden der Flügelspitzenpunkte konstruiert

a: *Aeschna cyanea* schlägt beim Flug auf der Stelle ihre Flügel auf annähernd gleicher Bahn auf und ab



b: Bei der Ansicht von schräg oben wird annähernd der Schlagwinkel deutlich

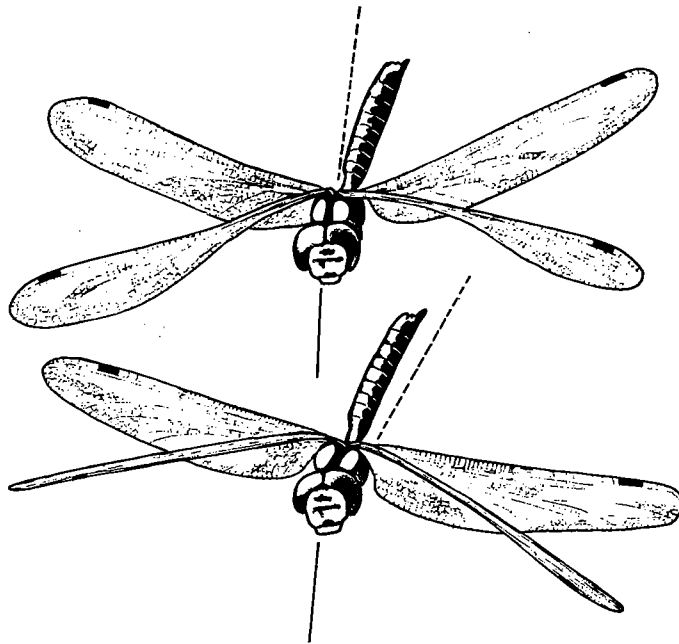


Abb. 2. Durch Thoraxdrehungen wird die Schlagebene seitlich verstellt, die gestrichelte Linie gibt die Richtung der Thoraxlängsachse an. Die Zeit zwischen den beiden Schlagphasen beträgt 50 ms

Kurzbeschreibung von *Aeschna cyanea*

Aeschna cyanea gehört zu den Großlibellen. Sie fliegt in unserem Verbreitungsgebiet von Juli bis Oktober. Zur Jagd fliegt sie auch weit entfernt vom nächsten Gewässer und ernährt sich von Fluginsekten, die sie mit den zu einem Fangkorb ausgebreiteten Beinen ergreift. Die Spannweite beträgt 10 cm, die Hinterflügel sind 45–50 mm lang, der gesamte Körper im Mittel 70 mm. Die Flächenbelastung wird auf 8–9 g/m² geschätzt (HERTEL [3]).

Flug auf der Stelle

Aeschna cyanea ist territorial. Die Libelle partrouilliert an den Ufern oder deutlich abgegrenzten Teilen von verlandeten Seen, wobei sie einige Meter dahinschießt und dann kurze Momente, bis zu einigen Sekunden, auf der Stelle fliegt. Auf diesem Patrouillienflug wird Beute angegriffen, eindringende Männchen werden verjagt und Weibchen zur Paarbildung angefliegen. Beim Flug auf der Stelle werden die Vorderflügel im Winkel von annähernd 50° zur Horizontalen abwärts geschlagen, die Hinterflügel werden um einige Grade steiler abwärts bewegt. NORBERG ([7]) stellt ähnliche Winkel fest.

Die Flügel werden, falls keine Ausgleichsbewegungen nötig sind, annähernd auf der gleichen Bahn ab- und aufwärts geschlagen. Die Schlagfrequenz beträgt im Mittel 36 Hz. Allerdings können die Flügel auch einige Augenblicke angehalten werden, so daß das Tier dann segelt. Auch können die Libellen ihre Flügel zwar mit der normalen Frequenz, jedoch mit einer sehr kleinen Amplitude (= Schlagwinkel) bewegen, so daß dann ebenfalls gesegelt wird. Beides gilt sowohl für beide Flügelpaare gleichzeitig, wie auch für ein Flügelpaar allein. Die Geschwindigkeit der Flügelspitze erreicht in der Mitte des Abschlages ca. 4,4 m/s. CHADWICK ([1]) berechnete 4,07 m/s für *Ladona exusta*, Say. (var. *julia*, Uhler), die mit 3,2 cm Flügellänge 1,2–1,6 cm kürzere Flügel als *Aeschna cyanea* besitzt.

Hinter- und Vorderflügel bewegen sich gegensinnig, jedoch nicht genau gegenphasisch. Wenn die Vorderflügel ihren Abschlag beendet haben, sind die Hinterflügel erst in der Mitte des Aufschlages (Abb. 3). Die Vorderflügel eilen den Hinterflügeln also um 3/4 Phasen voraus, bzw. die Hinterflügel den Vorderflügeln um 1/4 Phase. Diese Phasenbeziehung ist nicht konstant, sondern kann, besonders vor Flugmanövern, schwanken. Dann können beispielsweise die Vorderflügel ihre Aufschlagszeit gegenüber der der Hinterflügel verkürzen. Haben die Hinterflügel den Aufschlag beendet, bewegen sich die Vorderflügel dann in der Mitte des Abwärtsschlages.

Da die Vorderkanten der Flügel die Bewegung immer anführen, müssen die Flügel an den Umkehrpunkten herumgeschwenkt werden. Die distal gelegenen Flügelteile schwenken zuerst und am weitesten herum, so daß die Flügel in sich verwunden sind.

Zu der kombinierten Schlag- Drehschwingung kommt noch eine passive durch die Luftströmung hervorgerufene Wölbung der Flügelflächen, so daß auch Libellenflügel, genau wie die anderer Insekten oder von Vögeln, höchst variable Tragflächen darstellen. Ihre aerodynamischen Wirkungen dürften aus diesen Gründen nur sehr schwer zu erschließen sein.

Wichtig für ein in so einem geringen Reynoldsen Zahlenbereich fliegendes Tier dürften

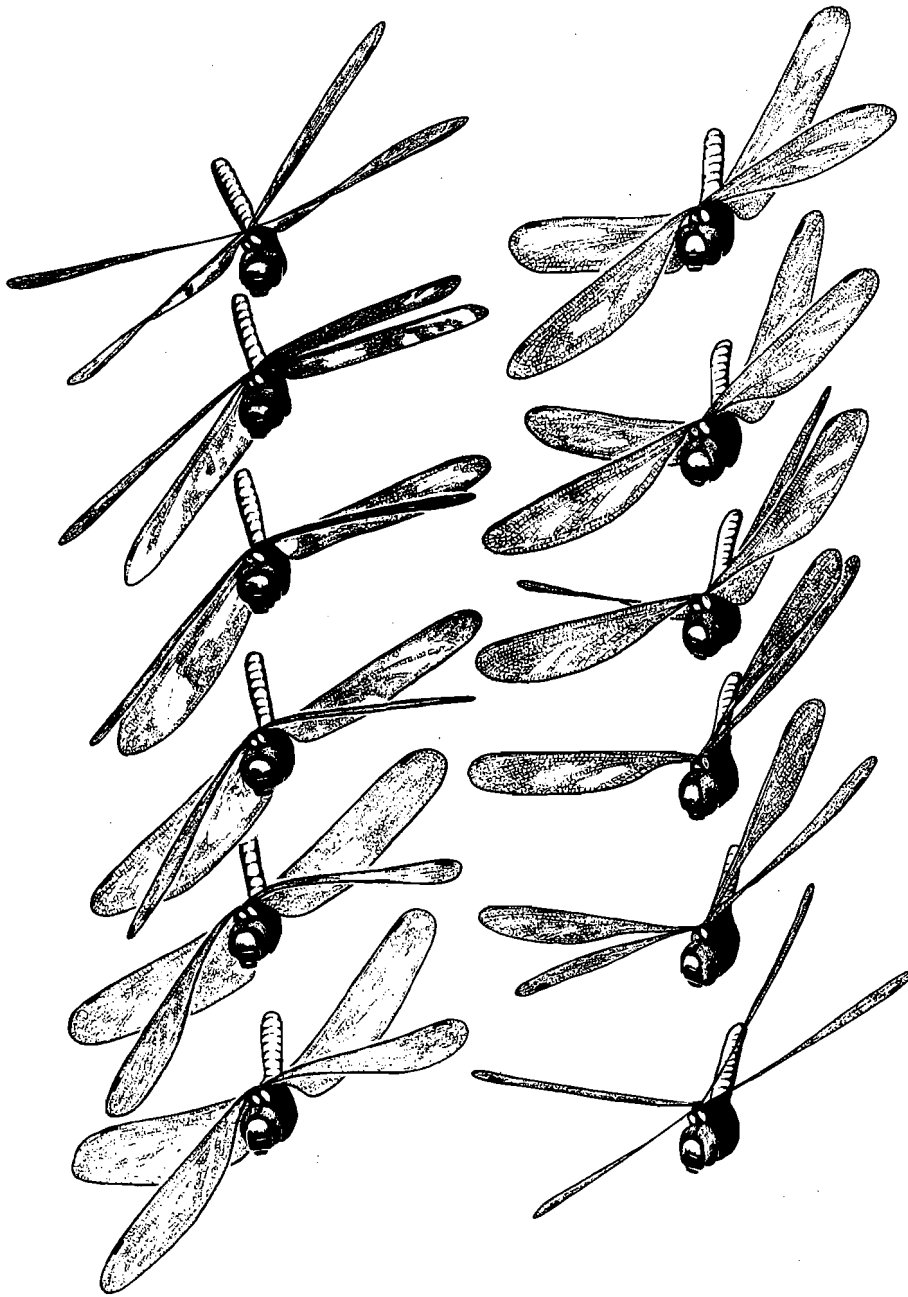


Abb. 3. Aufeinanderfolgende Phasen eines Flügelschlages bei einer Rechtskurve (linke Reihe von oben nach unten, dann rechte Reihe von oben nach unten). Die kurveninneren Flügel sind stärker angestellt als die kurvenäußeren (2.–5. Phase)

die im Querschnitt zickzackartig gebauten Vorderteile der Flügel sein, die zur Erzeugung einer turbulenten Grenzschicht beitragen könnten.

Die sehr groß erscheinenden geometrischen Anstellwinkel der Flügel lassen den Schluß zu, daß nicht nur mit anliegender, sondern auch mit abgerissener Strömung, also mit Widerstand, geflogen wird, besonders bei den Hinterflügeln. Beim Flug auf der Stelle kann die Schlagebene der beiden Flügel aus der Horizontalen plötzlich nach rechts oder links verstellt werden. Dazu wird der Thorax in die gewünschte Richtung gedreht. Der Kopf wird dabei weiterhin horizontal gehalten, er scheint sich optisch an der Umgebung festzuhalten (vgl. Abb. 2).

Ob die seitliche Verdrehung der Schlagebene um die Längsachse des Tieres eigene Instabilitäten oder ungleichmäßige Luftströmungen ausgleichen soll, kann aus den Filmaufnahmen nicht geschlossen werden. Bei allen Aufnahmen herrschte hochsommerliches Wetter mit nur geringem Wind.

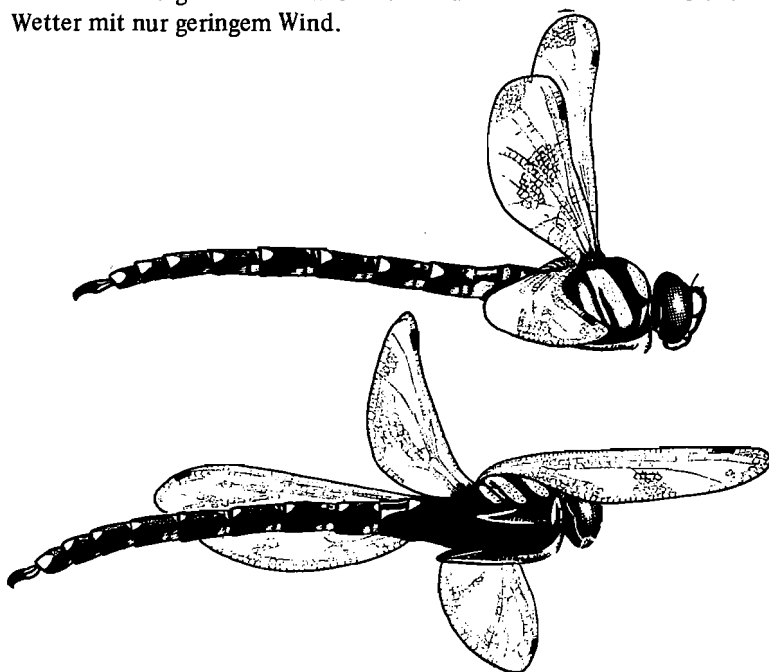


Abb. 4. Nach der Verdrehung der Schlagebene in Richtung der Kurve wird auch der Kopf dorthin verdreht

Kurvenflug

Auch beim Kurvenflug ist eine seitliche Verdrehung der Schlagebene durch Thoraxdrehung zu beobachten. Der Kopf wird kurz nach der Thoraxdrehung (0,035 s) in die neue Richtung um die Hochachse des Tieres gedreht (vgl. Abb. 3).

Die eigentliche Ursache der Kurve ist wahrscheinlich ein höheres Anstellen der kurveninneren Flügel (Abb. 4, 2.–5. Phase).

Dadurch wird die Libelle einseitig gebremst und erreicht den Drehimpuls um die Hochachse. Gleichzeitig wird die auftretende Fliehkraft durch die Kurvenschräglage kompensiert. Die Schlagebene wird um so steiler gestellt, je steiler die Kurve ist.

Zur Entstehung des Films

Der Film wurde im August 1981 an einem Gartenteich nördlich von Braunschweig hergestellt. Kamera: LOCAM mit 24 und 460 B/s mit Objektiv Kern-Switar 16-100 mm auf Fujicolor Negativfilm (22 DIN).

Filmbeschreibung¹

1.-4. Einstellung: *Aeschna* patrouilliert am Rande eines Teiches und fliegt dabei einige Male auf der Stelle (24 B/s).

460 B/s

Alle folgenden Einstellungen 460 B/s. (In einigen Fällen war die Aufnahme­frequenz auch geringfügig geringer. Dies kann aus den Zeitmarken auf der Filmkante entnommen werden. Abstand der Marken 1/100 s.)

5. Flug auf der Stelle, seitliche Ansicht, geringe Thoraxdrehungen.
6. Flug auf der Stelle. Ansicht schräg von vorn, geringe Thoraxdrehungen.
7. Flug auf der Stelle, Ansicht von vorn, erhebliche Ausgleichsdrehungen des Thorax.
8. Flug auf der Stelle mit Abwärtsflug.
9. Flug auf der Stelle und beschleunigter Flug in eine Linkskurve.
10. Flug auf der Stelle und beschleunigter Flug in eine Linkskurve.
11. Rechtskurve bei Ansicht von hinten.
12. Flug auf der Stelle und Rechtskurve.
13. Flug auf der Stelle mit mehrmaligem Flügelanhalten und Rechtskurve.

Literatur

- [1] GHADWICK, L.E.: The wing motion of the dragonfly. Bull. Brooklyn Entom. Soc. 35 (1940), 109-112.
- [2] DALTON, S.: Born on the wings. Readers Digest Press, New York 1975.
- [3] HERTEL, H.: Struktur, Form und Bewegung. Krauskopf, Mainz 1963.
- [4] NACHTIGALL, W.: Gläserne Schwingen. Moos Verlag, München 1968.
- [5] NACHTIGALL, W.: Die Kinematik der Schlagflügelbewegungen von Dipteren. Methodische und analytische Grundlagen zur Biophysik des Insektenfluges. Z. vgl. Physiol. 52 (1966), 155-211.
- [6] NACHTIGALL, W.: Zur Bedeutung der Reynoldzahl und der damit zusammenhängenden strömungstechnischen Phänomene in der Schwimmphysiologie und Flugbiophysik. Fortschr. d. Zoologie 24, H. 2/3 (1977), 13-56.
- [7] NORBERG, R.A.: Hovering flight of the dragonfly *Aeschna juncea* L., Kinematics and aerodynamics in WU, T.Y.T., BROKAW, C.J. and C. BRENNEN: Swimming and Flying in Nature. Plenum Press, New York a. London 1975.
- [8] PFAU, H.K.: Flügelmechanik und -mechanorezeptoren bei Libellen, Verh. Dtsch. Zool. Ges. 1981, S. 253.
- [9] RÜPPELL, G., E. BARTELS u. H. SCHULZE: Zeitliche und räumliche Analyse des Fluges der Prachtlibelle (*Calopteryx virgo*). (In Vorbereitung).

¹ Die *Kursiv*-Überschrift entspricht dem Zwischentitel im Film.

Biol. 15/47 – E 2712

- [10] RUSSENBERGER, H. u. K.: Bau und Wirkungsweise des Flugapparates von Libellen mit besonderer Berücksichtigung von *Aeschna cyanea*. Mitt. Naturforsch. Ges. Schaffhausen XXVII, 1959/62 (1963), 1–88.
- [11] ZARNACK, W.: Flugbiophysik der Wanderheuschrecke (*Locusta migratoria* L.). I. Die Bewegungen der Vorderflügel. J. comp. Physiol. 78 (1972), 356–395.

Abbildungsnachweis

Abb. 1–4: G. RÜPPELL.

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Die internationale ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA (EC) wurde 1952 gegründet. Sie hat die Aufgabe, wissenschaftliche Film- und Videodokumente zu sammeln und für Forschung und Lehre nutzbar zu machen. Über die Aufnahme der Dokumente in die ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA entscheidet unter Vorsitz des Editors der Redaktionsausschuß, ein internationales Gremium von Wissenschaftlern und Fachleuten für den wissenschaftlichen Film. EC-Archive in aller Welt machen die ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA der internationalen Wissenschaft verfügbar.

The international ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA (EC), founded in 1952, has the task to collect scientific film and video documents, and to render them useful to research and teaching. Under the leadership of the editor the editorial board, an international committee of scientists and scientific film experts, decide about the acceptance of documents in order to make them available through EC-archives all over the world.

L'Encyclopédie internationale du film ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA (EC), fondée en 1952, a pour but de collectionner des documents scientifiques du film et de la vidéo et de les rendre utiles à la recherche et à l'enseignement. C'est sous la présidence de l'éditeur que le comité de rédaction, un cercle international de scientifiques et d'experts du film scientifique, décide l'acceptation des documents pour les rendre accessibles dans le monde entier par l'intermédiaire des archives de l'EC.