DIE AERODYNAMISCHEN EIGENSCHAFTEN VON CALOPTER YX SPLENDENS (HARRIS) (ZYGOPTERA: CALOPTER YGIDAE)

R. RUDOLPH

Lehrgebiet Biologie, Pädagogische Hochschule, Fliednerstr. 21, D-44 Münster, Bundesrepublik Deutschland

Eingegangen und Angenommen am 8. Juli 1976

AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF CALOPTERYX SPLENDENS (HARRIS) (ZYGOPTERA: CALOPTERYGIDAE). – Lift and drag at different angles of attack of one forewing and the whole animal with wings stretched out horizontally were measured at a wind speed of 1 m. sec.⁻¹. Polar curves of single wings are distinguished by their broad plateau of maximum lift extending from 20° to 40° of angles of attack. Maximum lift coefficient and L/D ratio are greater in single wings.

EINLEITUNG

Die Gattung Calopteryx fällt unter den europäischen Zygopteren wegen ihres relativ guten Flugvermögens und durch eine typische Flügelkinematik auf (RUDOLPH, 1976). Es wurde vermutet, dass neben der Flügelkinematik auch "bessere" aerodynamische Eigenschaften der Schlagflügel von Calopteryx das Flugvermögen bestimmen. Die aerodynamischen Eigenschaften von C. splendens unterscheiden sich tatsächlich von denen anderer Libellen und auch anderer Insekten.

Einzelne Flügel von *C. splendens* und ganze Tiere mit horizontal ausgebreiteten Flügeln wurden an einer Zweikomponentenwaage im Strom eines Windkanals, dessen Geschwindigkeit 1 m.sec⁻¹ betrug, auf die wirkenden Kräfte untersucht. Diese wurden als Auftrieb (A) und Widerstand (W) gemessen und als Funktion des Anstellwinkels (α) graphisch dargestellt (Abb. 1). Auftrieb und Widerstand wurden in die Koeffizienten C_A und C_W umgerechnet, mit denen sich das Polardiagramm konstruieren lässt, dessen Verlauf eine Beurteilung der aerodynamischen Eigenschaften erlaubt. Unter den experimentellen Bedingungen errechnet sich eine Reynolds-Zahl Re = 600 für den Einzelflügel, bzw. Re = 1200 für die ganze Libelle.

ERGEBNISSE

Die gleichseitigen Flügel des Tieres, dessen Daten hier mitgeteilt werden, unterschieden sich in Grösse und Umfang nur durch eine um 0,3 mm geringere maximale Flügeltiefe im Vorderflügel. Deshalb sind die Kennlinien von Vorderund Hinterflügel identisch. Der Verlauf von Auftrieb und Widerstand des linken Vorderflügels als Funktion des Anstellwinkels ist aus Abbildung 1 ersichtlich.



Abb. 1 Calopteryx splendens: Auftrieb (A) und Widerstand (W) des linken Vorderflügels (I) und des ganzen Tieres mit horizontal ausgebreiteten Flügeln (II). Abszisse: Anstellwinkel; Ordinate: Auftrieb und Widerstand gemessen in mp bei der Windgeschwindigkeit 1 m.sec.⁻¹

Der Auftrieb steigt über einen grösseren Bereich von Anstellwinkeln als es beim technischen Tragflügel möglich wäre, wenngleich der biologische Flügel nur weit niedrigere Auftriebskoeffizienten erreicht. Der grösste Quotient A/W beträgt beim Einzelflügel 2,21 und bei $\alpha = 10^\circ$. Bei diesem Anstellwinkel liegt der Punkt der besten Luftkraftausnutzung.

Die Polare des Einzelflügels (Abb. 2) weist nach einem recht steilen Anstieg ein oberes Plateau auf, über das bei Anstellwinkeln von etwa 20°-40° der Auftrieb konstant bleibt, bevor die Strömung bei den grössten Anstellwinkeln abreisst. Dieses Plateau auf der Polare ist bei Schistocerca gregaria überhaupt nicht vorhanden (JENSEN, 1956), ist bei einigen Schmetterlingen noch recht eng und auch noch nicht flach (NACHTIGALL, 1967), wird bei C. splendens schon sehr breit und völlig flach, während es bei Drosophila virilis seine ausgeprägteste Form erreicht. Hier er-

streckt sich das Plateau sogar über $\alpha = 50^{\circ}$ hinaus (VOGEL, 1967). Mit Abnahme der Re-Zahl wird das Plateau deutlicher. Unter den Bedingungen von Re = 600 ist der Flügel von *C. splendens* bis $\alpha = 40^{\circ}$ abrissicher. Bei anisopteren



Abb. 2. Calopteryx splendens: Polardiagramme des linken Vorderflügels (1) und des ganzen Tieres mit horizontal ausgebreiteten Flügeln (II). Parameter: Anstellwinkel; Abszisse: Widerstandskoeffizient C_W; Ordinate: Auftriebskoeffizient C_A. Für den Einzelflügel ist der Gleitwinkel β angegeben.

Libellen reisst die Strömung dagegen eher ab (Rudolph, in Vorber.). Mit ihrem Maximum von C_A = 0,85 liegt die Polare des Vorderflügels von *C. splendens* deutlich unterhalb des Maximums bei *Schistocerca gregaria* (JENSEN, 1956). Der Einzelflügel von *C. splendens* hat einen Gleitwinkel $\beta = 23,5^{\circ}$ bei $\alpha = 10^{\circ}$ (Abb. 2), während anisoptere Libellen kleinere Gleitwinkel bei kleineren Anstellwinkeln erreichten.

Durch höhenversetzte Längsadern im Flügelquerschnitt hat der Libellenflügel eine gewisse "Profilhöhe", die jedoch keinesfalls als echte Profilierung zu deuten ist. Die Kanten der Längsadern bewirken Grenzschichtturbulenz mit ihren im Bereich der niedrigen Re-Zahlen positiven Effekten. Nach PRANDTL (1965) lässt sich die Grenzschicht-

dicke am Flügel von *C. splendens* nach z. B. 2,5 mm Anlauf mit 0.0172 mm berechnen. Die Unebenheiten des Flügels liegen also nicht mehr innerhalb der Grenzschicht und können deshalb als Grenzschichtturbulatoren angesehen werden.

Die Polare des Einzelflügels und des ganzen Tieres (Abb. 2) unterschieden sich innerhalb des physiologischen Bereiches der Anstellwinkel nicht massgeblich. Das ganze Tier erzeugt zwar annähernd viermal so viel Auftrieb wie der Einzelflügel (Abb. 1), der Auftriebkoeffizient des ganzen Tieres ist aber etwas kleiner. Dementsprechend wird nur das Verhältnis A/W = 2,09 bei $\alpha = .15^{\circ}$ erreicht. Die typischen Eigenschaften des Einzelflügels bleiben am ganzen Tier erhalten, denn auch die Gesamtpolare (Abb. 2) zeigt noch deutlich das Plateau, wenn auch verkürzt. Der niedrigere Gipfel der Gesamtpolare gibt wahrscheinlich den Effekt des Spaltes zwischen den gleichseitigen Flügeln wieder. In der angenommenen Tandemkonstruktion unterliegt der hintere Flügel dem negativen Einfluss der Wirbelfelder des vorderen Flügels (Rudolph, in Vorber.).

R. Rudolph

LITERATUR

- JENSEN, M., 1956. Biology and physics of locust flight III. The aerodynamics of locust flight. *Phil. Trans. R. Soc.* (B) 239: 511-552.
- NACHTIGALL, W., 1967. Aerodynamische Messungen am Tragflügelsystem segelnder Schmetterlinge. Z. vergl. Physiol. 54: 210-231.
- PRANDTL, L., 1965. Führer durch die Strömungslehre. Vieweg, Braunschweig.
- RUDOLPH, R., 1976. Some aspects of wing kinematics in Calopteryx splendens (Harris) (Zygoptera: Calopterygidae). Odonatologica 5: 119-127.
- VOGEL, S., 1967. Flight in Drosophila III. Aerodynamic characteristics of fly wings and wing models. J. exp. Biol. 46: 431-443.