

Die Flügelformel der Vögel und ihre Auswertung

Von Jiří Mlíkovský

Zu den wichtigsten Bewegungsorganen der meisten Vögel gehören die Flügel, die in ihrer Form eng an die Flugweise angepaßt sind. Die Flügelform wird einerseits durch die relative Länge einzelner Teile des Flügelskelettes, andererseits durch die relative Länge einzelner Schwingen (Hand- und Armschwingen) bestimmt. Pterylographisch ist für die Flügelform vor allem die gegenseitige relative Länge der acht distalen Handschwingen bedeutend. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Protokollierungsweise dieser Angaben und mit der numerischen Ausdrucksweise der Spitzheit und der Symmetrie des Flügels.

Meinem Vater, Ing. J. Mlíkovský, CSc., möchte ich an dieser Stelle für die umfangreiche Diskussion des zweiten Teils der Arbeit und seine Hilfe bei den mathematisch-statistischen Fragen danken.

Protokollierungsweise der relativen Länge der Handschwingen

Die älteste, klassische Protokollierungsweise der gegenseitigen relativen Länge der Handschwingen ist die sog. qualitative Formel (qualitative formula). Als ein Beispiel für sie (und auch die nächststehenden Formeln) wurde (a) ein realer Flügel der Blaumeise *Parus caeruleus* (stumpfer Flügel) und (b) ein realer Flügel der Uferschwalbe *Riparia riparia* (spitzer Flügel) gewählt:

$$(a) \quad 4 = 5 > 3 = 6 > 7 > 8 > 2 \quad (1a)$$

$$(b) \quad 2 > 3 > 4 > 5 > 6 > 7 > 8 \quad (1b)$$

Mit den Zahlen sind die Handschwingen bezeichnet (Zählung von distal nach proximal). Die Formel sagt allerdings nichts über die Entfernungen zwischen den Spitzen der einzelnen aufgeführten Handschwingen aus. Aus diesem Grunde erwies es sich als notwendig, eine quantitative Formel (quantitative formula) zu entwickeln. Als erster führte dies WILLIAMSON (1960) durch, der folgende Protokollierungsweise wählte:

$$(a) \quad 4 = 5 > 3 = 6(1) > 7(5) > 8(8) > 2(9) \quad (2a)$$

$$(b) \quad 2 > 3(1) > 4(9) > 5(12) > 6(25) > 7(32) > 8(39) \quad (2b)$$

Die in Klammern gesetzten Zahlen geben jeweils an, um wieviel Millimeter die zuvor aufgeführte Handschwinge kürzer als die Flügelspitze ist. Diese Protokollierungsweise eignete sich jedoch wegen ihrer Unübersichtlichkeit nicht für die praktische Anwendung. Deshalb arbeitete BUSSE (1967) eine vereinfachte Schreibweise dieser Formel aus:

(a)	4 = 5	1			9			+8	(3a)
		1	5	8					

(b)	2							—	(3b)
		1	9	12	25	32	39		

Die Zahlen in der ersten großen Rubrik stehen hier für die Schwinge (bzw. Schwingen), die die Flügelspitze bildet (bzw. bilden). Die folgenden Zahlen geben die Entfernung der Spitzen der nächsten Handschwingen von der Flügelspitze an, wobei man in die obere Zeile die von der Flügelspitze distal liegenden, in die untere Zeile die proximal liegenden Handschwingen einträgt. Die Zahl in der letzten großen Rubrik gibt die Entfernung der Spitze der 1. Handschwinge von der Spitze der längsten großen Flügeldecke an. Wenn die 1. Handschwinge kürzer als diese Flügeldecke ist, wird nur ein "—" Zeichen vermerkt. Diese Protokollierungsweise der Flügelformel ist recht übersichtlich und enthält wichtige Informationen, ist aber bidimensional, was einen erheblichen Platzverlust und Schwierigkeiten bei der Eingabe der Daten in die Rechenmaschinen bedeutet. Um diese Nachteile zu beseitigen, wurde unlängst in der Aktion Baltik BUSSES Formel linearisiert (siehe z. B. ZÁRUBA 1975):

$$(a) \quad 45, 1, 1, 5, 8, 09, \quad +8 \quad (4a)$$

$$(b) \quad 2, 1, 9, 12, 25, 32, 39, \quad - \quad (4b)$$

Diese Linearisierung erreichte man durch Einschieben der von der Flügelspitze distal liegenden Handschwingen zwischen die von ihr proximal liegenden, wobei die distalen Handschwingen jeweils mit einer davor geschriebenen Null gekennzeichnet wurden. Diese Null entfällt jedoch, wenn eine distal vor der Flügelspitze befindliche Handschwinge einer proximalen in der Größe entspricht (im Beispiel a sind es die Handschwingen 3 und 6). Zur weiteren Vereinfachung läßt man auch das Gleichheitszeichen zwischen den längsten Handschwingen fort. Durch diese Umwandlung geht allerdings die Übersichtlichkeit von BUSSES Formel verloren.

Keine der oben aufgeführten Schreibweisen ist also befriedigend. Meistens sind sie unübersichtlich, erfordern eine erhebliche Aufmerksamkeit bei dem die Messungen durchführenden Mitarbeiter, der dem Protokollführer sowohl die distal als auch proximal von der Flügelspitze liegenden Handschwingen geordnet nach ihrer relativen Länge melden muß, was

auch mit einem großen Zeitaufwand verbunden ist. Außerdem sind derartige Formeln für die Computerbearbeitung ungeeignet, weil sie zwei heterogene Größen enthalten: Kennzeichnung der längsten Handschwinge (bzw. Handschwingen) und Entfernungen der anderen Handschwingen von der Flügelspitze. Alle diese Nachteile können mit der folgenden neuen Protokollierungsweise umgangen werden:

$$\begin{array}{ll} \text{(a)} & +8; 9, 1, 0, 0, 1, 5, 8 & \text{(5a)} \\ \text{(b)} & -; 0, 1, 9, 12, 25, 32, 39 & \text{(5b)} \end{array}$$

Die Handschwingen sind in dieser Formel von der 1. zur 8. (von distal nach proximal) angeordnet. Anstelle der Nummer der längsten Handschwinge (bzw. Handschwingen) gibt man wie bei den anderen Schwingen ihre Entfernung von der Flügelspitze an, in diesem Fall also Null. Sonst geben die Zahlen dasselbe an wie BUSSES Formel (Gleichung 3a, 3b). Die Formel gewinnt dadurch an Übersichtlichkeit, mathematischer Homogenität und Linearität. Die den Flügel messende Person mißt nacheinander die Schwingen von der distalsten bis zur achten, was vom Zeit- und Arbeitsaufwand her gesehen ideal ist; denn die Ermittlung der Nummer der längsten Handschwinge und die ständige überflüssige Manipulation mit dem Maßstab und dem gemessenen Vogel — dies war bei den früheren Protokollierungsweisen der Flügelformel notwendig — fällt bei der Feststellung der quantitativen Unterschiede in der relativen Länge einzelner Schwingen fort.

Der Spitzheits- und Symmetrie-Index des Flügels

Die im vorigen Kapitel aufgeführten Formeln stellen die eigentliche umfangreiche Beschreibung der Flügelspitze dar. Für ihre Analyse (z. B. geographische oder im Laufe des Jahres) ist es allerdings nötig, die Beschreibung in eine einzige Zahl — den Spitzheits- bzw. Symmetrie-Index des Flügels — zu überführen. HOLYŃSKI (1965) hat als erster einen Spitzheits-Index des Flügels ermittelt¹⁾ Er schlug dabei folgende Indices vor:

$$\begin{array}{ll} a = A - (B2 + B3) & \text{(6)} \\ e = \sum p - \sum d & \text{(7)} \end{array}$$

In der Formel (6) bedeutet „a“ den sog. qualitativen Index (qualitative index), der aus der qualitativen Flügelformel berechnet wird. „A“ beschreibt, welche Schwinge die Flügelspitze bildet, „B2“ die zweite und „B3“ die dritte Handschwinge. Für die Symbole setzt man die Werte an, die den einzelnen möglichen Varianten der qualitativen Längenbeziehungen der 2. bis 8. Handschwinge HOLYŃSKI in seinen Tabellen 1 und 2 zugeschrieben hat. Der qualitative Index hat, gleich wie die qualitative Flügelformel, einen geringen Informationsgehalt und ist recht ungenau, was gegen seine Benutzung spricht.

In der Formel (7) ist „e“ der sog. quantitative Index (quantitative index), der aus der quantitativen Flügelformel einer beliebigen Protokollierungsform berechnet wird. „p“ ist die Summe der Entfernungen aller Schwingenspitzen (bis zur 8. Handschwinge), die proximal von der Flügelspitze liegen; „d“ bedeutet dasselbe für die distal von ihr liegenden Schwingen. Sollen die Spitzheits-Indices dieses Typs von verschiedenen Vogelarten mit verschieden langen Flügeln verglichen werden, geschieht dies nach der Formel (8), wobei „s“ die Flügelgröße bedeutet:

$$\frac{100 e}{s} \quad \text{(8)}$$

BUSSE (1967) hat den Index „e“ diskutiert und festgestellt, daß er zwar die Symmetrie des Flügels annehmbar ausdrückt, für eine Beschreibung seiner Spitzheit aber ungeeignet ist. BUSSE hat deswegen einen neuen „Index I“ entwickelt (Bedeutung der Symbole wie beim Index e):

$$I = \sum p + \sum d \quad \text{(9)}$$

¹⁾ Der Handflügelindex nach KIPP (1959) sollte hier unberücksichtigt bleiben, weil er nur angibt „um wieviel Prozent (bezogen auf die Flügelgröße) die Flügelspitze das Ende der ersten Armschwinge überragt“ (KIPP 1976); da hierbei die gegenseitigen relativen Längen der einzelnen Handschwingen gar nicht betrachtet werden, ist dieser Index recht ungenau und für eine nähere, genaue Analyse der Flügelspitzheit ungeeignet.

Index „I“ ist mit dem Index „e“ nicht korreliert und er drückt die Spitzheit des Flügels tatsächlich besser aus, doch auch diese Formel befriedigt nicht ganz. Meiner Meinung nach sollten für die Darstellung sowohl der Spitzheit als auch der Symmetrie des Flügels am besten die entsprechenden Formeln der mathematischen Statistik angewandt werden, die man für die Beschreibung einer allgemeinen Verteilung diskreter Größen benutzt. Sie sehen nach HÁTLE & LIKEŠ (1974) folgendermaßen aus (leicht geändert):

$$P = \frac{\sum (n_i - \bar{n})^4 \cdot x_i'}{s^4} \quad (10)$$

$$S = \frac{\sum (n_i - \bar{n})^3 \cdot x_i'}{s^3} \quad (11)$$

$$x_i = W - d_i \quad (12)$$

$$\bar{n} = \frac{\sum n_i x_i}{\sum x_i} \quad (13)$$

$$s^2 = \sum (n_i - \bar{n})^2 \cdot x_i' \quad (14)$$

$$x' = \frac{x_i}{\sum x_i} \quad (15)$$

Hierbei bedeuten:

- P = Spitzheit des Flügels (pointness of the wing)
 S = Symmetrie der Flügelspitze (symmetry of the wingtip)
 n_i = Nummer der i-ten Handschwinge minus eins (die Handschwinge sind von distal nach proximal numeriert) (number of the i-th primary without one (primaries are numbered proximad))
 W = Flügellänge (wing length)
 d = Entfernung der Spitze der i-ten Handschwinge von der Flügelspitze (distance of the tip of the i-th primary to the wingtip)

Interpretation der Indices „P“ und „S“: Je größer P ist, um so spitzer ist der Flügel. Wenn S positiv ist, liegt die Flügelspitze distal von der 5. Handschwinge, und das um so mehr, je größer S ist. Wenn S gleich Null ist, wird die Flügelspitze durch die 5. Handschwinge gebildet. Wenn S negativ ist, liegt die Flügelspitze proximal von der 5. Handschwinge, und das um so mehr, je kleiner S ist.

Zusammenfassung

Im ersten Kapitel dieser Arbeit sind verschiedene Methoden der Protokollierungsweise der Flügelformel der Vögel diskutiert. Eine neue Methode der Protokollierungsweise wurde entwickelt (Beispiele 5a, 5b), die im Vergleich zu anderen Methoden eine Reihe von Vorteilen hat: a) sie spart Zeit und Mühe, sie ist b) mathematisch homogen und insofern auch für Computerbearbeitung geeignet, c) linear und d) übersichtlich.

Die erste Nummer in dieser Flügelformel bedeutet die Entfernung der Spitze der 1. Handschwinge von der Spitze der längsten großen Flügeldecke; die nächsten Nummern bedeuten Entfernungen der Spitzen der 2. bis 8. Handschwinge von der Flügelspitze (Handschwinge sind von distal nach proximal numeriert).

Das zweite Kapitel beschäftigt sich mit dem mathematischen Ausdruck der Spitzheit und der Symmetrie des Flügels. Es wird vorgeschlagen, für beide Indices („P“ und „S“) Formeln der mathematischen Statistik anzuwenden (siehe Gleichung 10–15).

Summary

There are various methods of entry of the wing formula of birds discussed in the first chapter of this paper. A new method of entry is developed (examples 5a, 5b), which has a batch of advantages against other methods: a) it saves time and trouble, b) it is mathematically homogenous and suitable for computer elaboration consequently, c) it is linear, and d) it is lucidly.

The first number in this wing formula indicates distance from the tip of the first primary to the tip of the longest greater wing-covert; next numbers indicate distances from tips of the 2nd—8th primary to the wingtop (primaries are numbered and arranged proximad).

The second chapter deals with a mathematical expression of the wing pointness and the wing symmetry. It is proposed to use standart formulas of mathematical statistics for these indices („P“ and „S“) (see eq. 10—15).

Literatur

- Busse, P. (1967): Zastosowanie liczbowych wsपोczynnikੳw kształtu skrzydła. Notatki orn. 8: 1—8. ● Hátle, J., & J. Likeš (1974): Základy počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky. 2. Aufl., Praha. ● Holyński, R. (1965): Metody analzy zmienności formuly skrzydła ptaków. Notatki orn. 6: 21—25. ● Kipp, F. A. (1959): Der Handflügelindex als flugbiologisches Maß. Vogelwarte 20: 77—86. ● Ders. (1976) Das Leben in Flugschwärmen und seine Auswirkungen auf den Flügelbau. Vogelwarte 28: 171—180. ● Williamson, K. (1960): Identification for ringers. I. The genera *Locustella*, *Luscinola*, *Acrocephalus* and *Hippolais*; 1st ed., Oxford. ● Záruba, M. (1975): Metodika kroužkování a získávání některých dat v ornitologii. 1. Aufl., Praha.

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Biol. Jiří Mlíkovský, Department of Evolutionary Biology,
ČSAV, 12000 Praha 2, Na Folimance 5, Czechoslovakia.