

JOURNAL FÜR ORNITHOLOGIE

Sechshundachtzigster Jahrgang

Heft 4

Oktober

1938

(Aus der Ornithologischen Abteilung des Zoologischen Museums Berlin.)

Die flugmechanische Bedeutung des Daumenfittichs am Vogelflügel.

Von M. Stolpe und K. Zimmer.

Mit der Aufgabe des Daumenfittichs (Alula) hat sich in den letzten Jahrzehnten eine ganze Reihe von Autoren beschäftigt.

Eine der ältesten funktionellen Deutungen ist die Schranken-
theorie von AHLBORN (1896). Sie baut sich auf der Annahme auf,
daß sich die Luft beim Flügelschlag unter dem Flügel staut, so daß
der Vogel sich daran abstoßen kann. Dem Daumenfittich schrieb
AHLBORN dabei die Aufgabe zu, das Ausweichen der Luft nach
vorn oben um den Vorderrand des Flügels herum zu verhindern.
Er wirkt also nach dieser Theorie als Schranke für die nach vorn
abströmende Luft. Aus den neuesten experimentellen Untersuchungen
wissen wir aber, daß es gerade die über die *Oberseite* des Flügels
hinwegstreichende Luft ist, die infolge ihrer Sogwirkung den Vogel
trägt (s. STOLPE & ZIMMER 1937).

FRANZ (1918) meint, daß der abgespreizte Daumenfittich die Trag-
fläche vergrößere und der Flug dadurch gebremst werde. Diese Vor-
stellung gründet sich auf die Beobachtung, daß die Alula herausgestellt
wird, wenn der Vogel sich niedersetzen will. Dabei muß er die Flug-
geschwindigkeit abstoppen und gleichzeitig sich aufrichten. SEILKOPF
(1922) stellt fest, daß der Stirnwiderstand nur unbedeutend vergrößert
werden kann, wenn der Daumenfittich abgespreizt wird. Seiner Ansicht
nach ist die Steuerwirkung wesentlicher. Beim Heraustreten des Daumen-
fittichs aus der Flügelfläche ergebe sich ein aufrichtendes Drehmoment.
Die Flügelfläche sei nach vornhin vergrößert, der Luftwiderstand ver-
ändert. Das müsse einen Einfluß auf die Gleichgewichtslage haben.
Druckpunkt der Flügelfläche und Schwerpunkt liegen seiner Meinung

nach beim Fluge übereinander. Werde die Fläche einseitig nach vorn vergrößert, dann werde damit auch der Druckpunkt verlagert und die Schwerkraft drehe den Körper des Vogels weiterhin so, daß er mit den Füßen landen könne. SEILKOPF weist darauf hin, daß die Alulae nicht nur nach vorn, sondern auch nach oben bewegt werden können. Damit werden sie seiner Vermutung nach zu Steuerflächen, die den Verwindungsflächen beim Flugzeug entsprechen. Allerdings sind diese Klappen beim Flugzeug *hinten* am Flügel angebracht und wirken als Querruder, indem sie dem Flugzeug die für den Kurvenflug nötige Schräglage geben. SEILKOPF schließt seine Betrachtung mit der Fragestellung, ob die Alulae nicht vielleicht entgegengesetzt wie die Endklappen des Flugzeuges bewegt würden. Dann hätten sie nicht nur die Aufgabe, als Steuerflächen zu dienen, sondern sie wären auch als Quersteuer anzusprechen.

Ganz andere Gesichtspunkte liegen der neuerdings entwickelten Theorie von GRAHAM (1930) zugrunde. Eine englische Firma hat ein Flugzeug herausgebracht, das bei der Landung kleine Hilfsflügel von der Tragfläche abheben kann. Beim Streckenflug liegen diese Hilfsflügel dem Hauptflügel dicht an. Sie können aber bei der Landung schräg nach vorn oben abgehoben werden. Die Strömungstheorie lehrt nun, daß die hebende Kraft des Luftstromes, der beim Flug über und unter der Flügelfläche hinstreicht, nur dann wirksam ist, wenn der Anstellwinkel, d. h. der Winkel, den die Profilschneide des Flügels mit der Richtung des Luftstromes hat, nicht zu groß ist. Ueberschreitet der Anstellwinkel ein gewisses Maß, dann kann die Luft den Flügel nicht mehr frei umströmen, die „Strömung“ reißt ab, es entstehen Wirbel, und die hebende Kraft des Fahrtwindes hört auf, so daß das Flugzeug zu Boden fällt. Bei normaler Geschwindigkeit des Flugzeuges behält der Flügel gegenüber dem Fahrtwind einen Anstellwinkel bei, der ein Abreißen der Strömung ausschließt. Will dagegen das Flugzeug landen, dann wird infolge Senkung des Schwanzes der Anstellwinkel so weit vergrößert, daß die Luftströmung über der Tragdecke abreißt. Das soll nun durch den Hilfsflügel vermieden werden, durch den die Luft so abgelenkt wird, daß sie auch bei großem Anstellwinkel des Flügels ohne Wirbelbildung über die Oberseite der Tragdecke hinstreicht. GRAHAM zieht den Vergleich mit dem Hilfsflügel des Vogels, der Alula, und schließt, daß auch hier die entsprechende Wirkung zu erwarten sei. Denn man könne beobachten, daß auch der Vogel bei der Landung seine Alulae ausstreckt, wenn der Anstellwinkel, den sein Flügel mit der vorbeistreichenden Luft bildet, zu groß wird.

GLADKOW (1937) schließt sich dieser Vorstellung im großen und ganzen an und findet, daß Vögel, die häufig mit großem Anstellwinkel fliegen, einen großen Daumenfittich haben. So sei der Daumenfittich gut entwickelt bei Gebüschvögeln und bei Rüttelfliegern, bei denen das Hervortreten der Alulae beim Landen und beim Auffliegen beobachtet werden kann. Daraus schließt GLADKOW, es werde durch die Alula die Hubkraft verstärkt. Dagegen leugnet er die Bremswirkung des Daumenfittichs, da dieser ja auch beim Auffliegen benutzt wird.

Angesichts so widersprechender Theorien schien es uns angezeigt, das Problem erneut in Angriff zu nehmen und uns dabei sowohl auf die anatomischen Gegebenheiten wie auf Beobachtungen und Versuche zu stützen. Hinsichtlich der Anatomie stützen wir uns auf die Angaben von SV (1936). Ein schematisches Bild (Abb. 1) gibt das wieder, was zur Darstellung der Lage des Daumens notwendig ist. Er sitzt auf auf dem mit der distalen Reihe der Handwurzelknochen verwachsenen Mittelhandknochen auf und besteht nur aus einem Grundglied. Seine

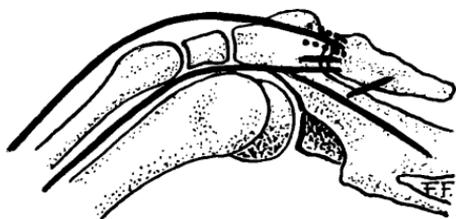


Abb. 1. Handgelenk und Daumen eines Vogels. Die Muskeln sind durch rote Linien dargestellt, die ausgezogenen Linien sind die Muskeln der Oberseite, die unterbrochenen Linien die der Unterseite.

Gestalt wird wie die aller Finger durch die Befestigung der starken Schwungfedern bestimmt. Die Fingerknochen sind breit und flach, wenn die Spulen der Handschwingen mehr oder weniger senkrecht zur Längsrichtung der Knochen angeordnet sind. Sie zeigen dagegen eine mehr runde zylindrische Form, wenn die Spulen in Längsrichtung befestigt sind. Die Federn des Daumenfittichs verlaufen in Längsrichtung des Daumens, der Daumenknochen hat daher eine rundliche Gestalt. Er trägt meist vier kleine, sehr steife Schwingen, zu denen noch Deckfedern hinzukommen.

Daumen und Mittelhandknochen sind durch ein Sattelgelenk miteinander verbunden. Die Gelenkachse liegt in der Flügелеbene. Die beiden Abschnitte des Gelenkes haben verschiedene Krümmungsradien, und zwar ist der vom Flügel aus weiter vorn liegende Krümmungsradius größer als der dem Flügel näher liegende. Bei einer Bewegung des Daumens in der Flügелеbene, d. h. bei Abduktion und Adduktion spielt diese Verschiedenheit der Krümmungsradien keine Rolle. Wird aber

der Daumen senkrecht zur Flügelsebene bewegt, dann hat der weiter außen liegende Teil eine größere Fläche zu überstreichen als der näher liegende. Es muß also mit dem Heben und Senken eine zwangsläufige Rotation verbunden sein, und zwar beim Heben eine Supination, beim Senken eine Pronation.

Der Daumen ist mit dem Mittelhandknochen durch eine Synovialkapsel verbunden. Zur Festigung dieser Verbindung dient das Ligamentum pollicare, das vom Daumenhöcker des Metacarpus medialwärts zu dem dem Metacarpus nahegelegenen Teil des Daumens sich erstreckt (Sy: Abb. 42).

Eine ganze Reihe von Muskeln bewirkt die Bewegung des Daumens. Es soll hier nur in Kürze darauf eingegangen werden; wir verweisen wieder auf die Arbeit von Sy. Fasern des propatagialen Bandes und

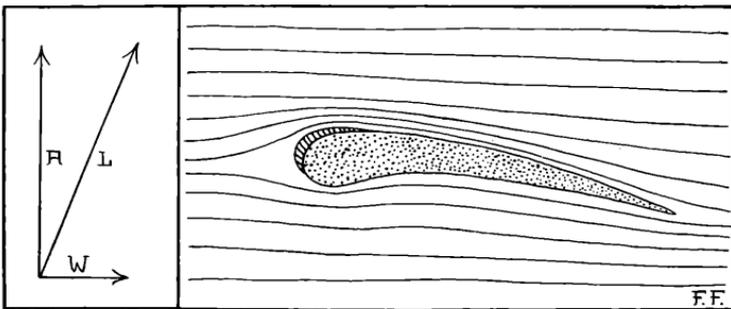


Abb. 2. Flügelprofil von der Hand eines Vogel mit anliegendem Daumenfittich. Die S-Linien zeigen bei kleinem Anstellwinkel den wirbelfreien Verlauf der umströmenden Luft. L = Luftkraft, A = Auftrieb, W = Widerstand.

des M. abductor pollicis bewirken die Abduktion des Daumens. Das Senken des Fingers übernimmt der M. flexor pollicis, der durch den oben erwähnten M. abductor pollicis unterstützt wird. Das Heben besorgt der M. extensor pollicis brevis und eine Sehne des M. extensor dig. comm. Wir erinnern daran, daß mit dieser Hebung auch gleichzeitig Abduktion und Supination verbunden ist. Die Adduktion, das Anlegen des Daumens, ruft der M. adductor pollicis hervor, der besonders kräftig gebildet ist.

Um nicht nur auf theoretischen Ueberlegungen zu fußen, haben wir folgenden Versuch angestellt. In den wirbelfreien Luftstrom eines Windkanals wird der ausgestreckte Flügel eines Vogels gehalten. Mit einer Fadensonde wird die den Flügel umströmende Luft abgestastet und die Strömungsrichtung festgestellt. Wie die Luft den Flügel umströmt, soll durch Abb. 2 wiedergegeben sein. Wirbelfrei legt sich die

Luft dem Flügelprofil an und wird gleichzeitig etwas nach hinten unten abgelenkt. Danach lassen sich die Kraftwirkungen, die auf den Flügel ausgeübt werden, einzeichnen. Es tritt ein Sog auf der Profiloberseite und ein Ueberdruck auf der Unterseite auf, deren Größe zeichnerisch durch die Kraft dargestellt ist. Die Komponente dieser Kraft, die senkrecht nach oben zeigt, bezeichnen wir als Auftrieb A . Die andere Komponente, die in Richtung der Profilselne nach rückwärts gerichtet ist, ist in Größe und Richtung durch W dargestellt. Die Resultierende dieser Kräfte (die Luftkraft L) gibt die Richtung an, in der das Profil ohne die Einwirkung der Schwerkraft ausweichen würde. Die Größe und Richtung der Luftkraft ändert sich mit der Größe des Anstellwinkels. Mit der Fadensonde kann man die durch Aenderung des Anstellwinkels bewirkte Aenderung der Luftströmung verfolgen.

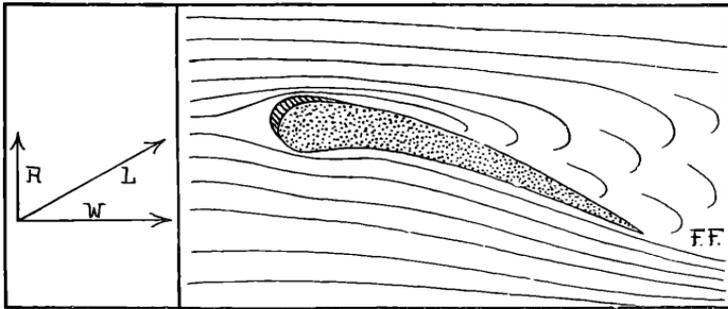


Abb. 3. Flügelprofil von der Hand eines Vogels mit anliegendem Daumenfittich. Bei großem Anstellwinkel und angelegtem Daumenfittich bilden sich auf der Flügeloberseite Wirbel aus.

Die bisher beschriebenen Verhältnisse treffen zu, wenn der Anstellwinkel nicht zu groß wird. Ueberschreitet er dagegen einen gewissen Betrag, dann läßt sich mit der Fadensonde feststellen, daß die Luft das Profil nicht mehr wirbelfrei umströmt. Der Faden setzt sich in drehende Bewegung, woraus sich eine Luftströmung erschließen läßt, wie sie in Abb. 3 wiedergegeben ist. Damit sind auch die Kraftwirkungen nicht mehr gegeben, die durch den glatten Strömungsverlauf hervorgerufen wurden. Die Wirbelbildung bewirkt, daß die saugenden Kräfte der vorbeistreichenden Luft aufhören. Darüber hinaus wird Energie zur Wirbelbildung verbraucht, die zu dem Widerstand als aktiv nach hinten ziehendes Moment noch hinzu kommt.

Uebertragen wir die am Vogelflügel gefundenen Ergebnisse auf den fliegenden Vogel, dann besagt das folgendes. Im ersten Fall, d. h.

bei kleinem Anstellwinkel des Flügels, wirken auf den Vogel vermittels des Fahrtwindes Kräfte ein, die ihn in der Luft tragen. Uebersteigt aber der Anstellwinkel ein gewisses Maß, dann verringert sich der Auftrieb so stark, daß der Vogel sich nicht mehr in der Luft halten könnte. Großen Anstellwinkel haben viele Vögel beim Start und bei der Landung. Es ist nun oft beobachtet worden, daß Vögel in diesem Augenblick den Daumenfittich aus der Flügelfläche herausstellen.

In unserem Windkanal-Versuch haben wir die Flügelhaltung des Vogels bei Start und Landung nachgeahmt. Wir drehten die Alula aus der Flügelebene heraus und verfolgten mit der Fadensonde die Luftströmung. Es zeigte sich nun, daß trotz des großen Anstellwinkels auf der Profiloberseite keine Wirbelbildung mehr auftrat. Die Luft umströmte wirbelfrei das Profil, wie es durch Abb. 4 wiedergegeben

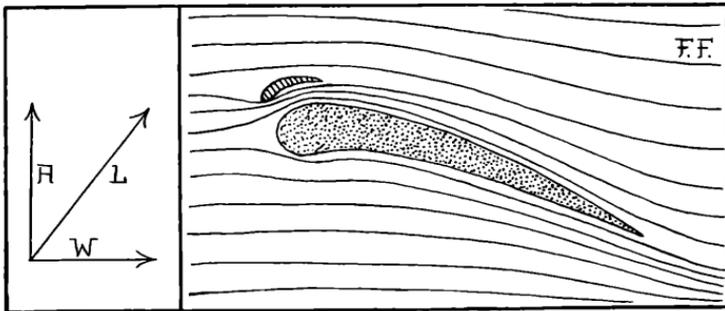


Abb. 4. Flügelprofil von der Hand eines Flügels mit abgespreiztem Daumenfittich. Trotz des großen Anstellwinkels umströmt die Luft den Flügel wirbelfrei, da der abgespreizte Daumenfittich die Luft so über die Handschwingen leitet, daß die Luftströmung nicht abreißt.

ist. Ergänzt wird dieses Bild noch durch Abb. 5, aus der hervorgeht, daß der Daumenfittich die Luft über die Handschwingen schräg nach außen leitet, was eine Folge der Bewegungsmöglichkeiten des Daumens ist. Da nämlich der Daumenfittich nicht wie der Hilfsflügel des Flugzeuges parallel zur Fläche des Flügels herausgehoben werden kann, sondern in seinem proximalen Teil angeheftet ist, sind seine distalen Teile weiter geöffnet, und daher wird die Luftströmung in der oben erwähnten Weise geführt.

Wie Abb. 5 zeigt, verhindert der Daumenfittich also nur ein Abreißen der Luftströmung über der Hand. Die Handschwingen, die bei freiem Fluge im wesentlichen einen Vortrieb erzeugen, wirken beim Fliegen mit großem Anstellwinkel (z. B. beim Bremsgleiten) als Tragflächen, die einen Auftrieb erzeugen und das Durchsacken verhindern.

Die Armschwingen dagegen, die bei freiem Fluge als Tragflächen wirken, werden bei Aufdrehung der Flügel als Bremsflächen benutzt. Wichtig für die beim Landen zu erfüllende Aufgabe der Handschwingen ist die Tatsache, daß sie bei den meisten Vögeln nicht nur in Quer-, sondern auch in Längsrichtung gewölbt sind. Da die Hand bei abgespreiztem Daumenfittich fast immer etwas zurückgenommen ist, so streicht nämlich die Luft über die Handschwingen ungefähr in deren Längsrichtung hinweg. Die Wölbung der Handschwingen auch in Längsrichtung gewährleistet die Anwendung des Prinzips der gewölbten Fläche auch bei zurückgenommener Hand. Die Handschwingen haben jetzt im Verhältnis zum Luftstrom eine Stellung, wie sie sonst nur die Armschwingen haben, und üben nun, wie eben gesagt, auch die Funktionen der Armschwingen aus.

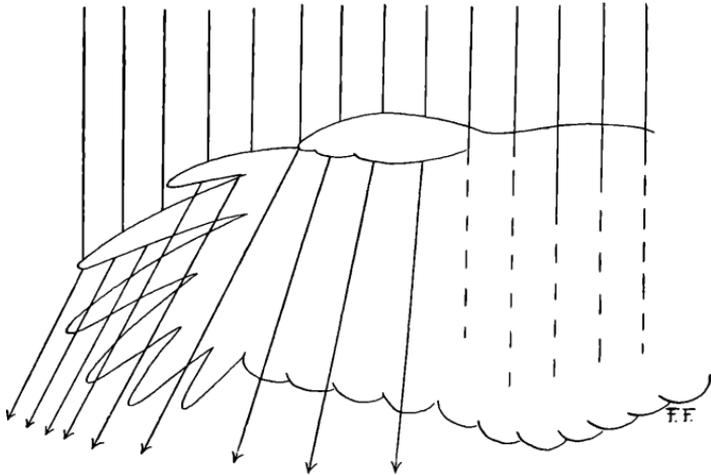


Abb. 5. Stromlinienverlauf auf der Oberseite des Flügels mit abgespreiztem Daumenfittich. Unterbrochene Linien sollen Verwirbelung andeuten.

Nach diesen Ergebnissen können wir uns ein Bild machen von den Kraftwirkungen, die am Flügel des landenden Vogels herrschen. Sog und Ueberdruck sind weiterhin vorhanden und bewirken den Auftrieb. Der Widerstand aber hat sich stark vergrößert. Daraus folgt eine Größe und Richtung der Luftkraft L , wie sie in Abb. 4 dargestellt ist.

Ganz dieselben Verhältnisse, wie wir sie eben im Windkanal festgestellt haben, finden wir bei einem Vogel, der gezwungen ist, mit großem Anstellwinkel zu fliegen. Er hat in dem Daumenfittich ein Werkzeug, das es ihm ermöglicht, die für seinen Flug notwendigen Kräfte

zu erhalten. Die Luftkraft ist infolge des großen Anstellwinkels weiter nach hinten geneigt. Es ergibt sich daraus ein stark vergrößerter Widerstand, was für den bremsenden Vogel von Vorteil ist. Inwieweit sich dabei die Größe des Auftriebs ändert, ist kaum festzustellen. Unter eine gewisse Größe darf allerdings der Auftrieb nicht sinken, da sonst der Vogel unsanft zur Erde fallen würde. Er hat außerdem durch Vergrößerung bzw. Verkleinerung seiner Flügelflächen Möglichkeiten, den Auftrieb auf das erforderliche Maß zu bringen: etwas kleiner als die Schwerkraft, wenn er landen will, gleich groß, wenn er auf



Abb. 6. Niedergehender Kolkrahe mit abgespreiztem Daumenfittich
(LORENZ, 1933, S. 188).

gleicher Höhe bleiben will, und größer, wenn er noch steigen will. Der vergrößerte Widerstand wird dem Vogel dann von Nutzen sein, wenn er landen will, denn dann gilt es ja, Bewegungsenergie zu vernichten. Will er aber trotz vergrößertem Widerstand die Bewegung nicht verlangsamen oder sie gar noch vergrößern (z. B. beim Start), dann müssen seine Vortriebsfedern diese Verzögerung wettmachen bzw. vermehren. Aus diesen Ueberlegungen lassen sich die uns zur Verfügung stehenden Photographien und Beobachtungen eindeutig erklären. Abb. 6 zeigt einen auf den Erdboden niedergehenden Kolkrahen (LORENZ S. 188 a).

Wir bemerken den großen Anstellwinkel des Flügels, der den Luftwiderstand des Tieres erhöhen und damit Vorwärtsbewegung des Tieres

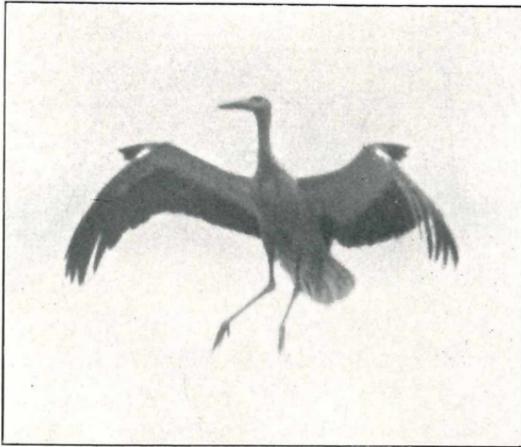


Abb. 7. Bremsgleitender Storch mit abgespreiztem Daumenfittich
(LORENZ, 1933, S. 204).

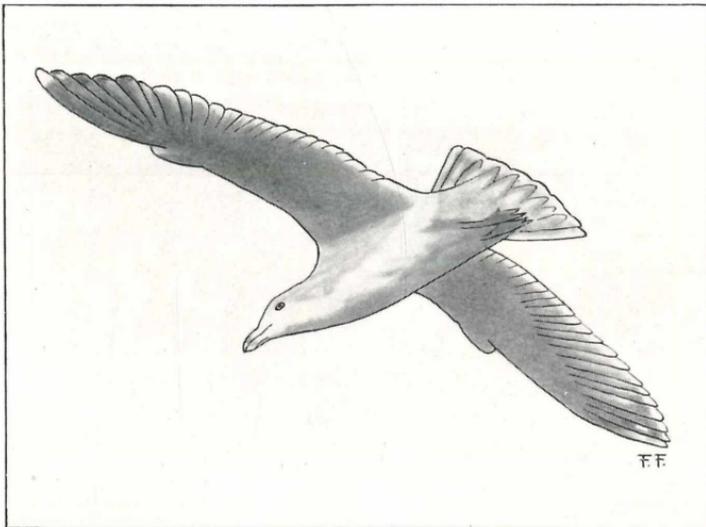


Abb. 8. Segelnde Möwe mit abgespreizten Daumenfittichen. (Zeichnung nach einer Photographie SCHACK, LEEGE, FOCKE, 1937, S. 79).

verringern soll. Wir sehen auch deutlich den herausgestreckten Hilfsflügel, der dafür sorgt, daß die Luftströmung über den Handschwingen nicht abreißt.

Abb. 7 (LORENZ S. 204) zeigt einen Storch, der sich in hoher Luft befindet und bei steilem Abwärtsgleiten bremst. Die abgespreizten Daumenfittiche sollen ein Abreißen der Strömung verhindern.

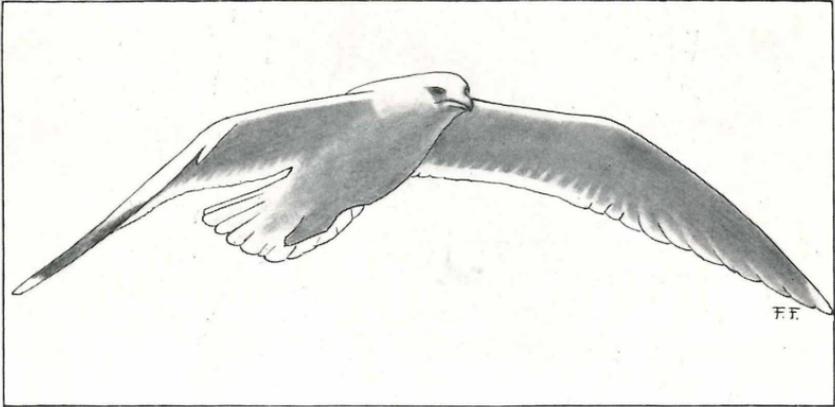


Abb. 9. Steuernde Möwe mit abgespreiztem rechten Daumenfittich (Zeichnung nach einer Photographie aus SCHACK, LEEGE, FOCKE, 1937, S. 75).

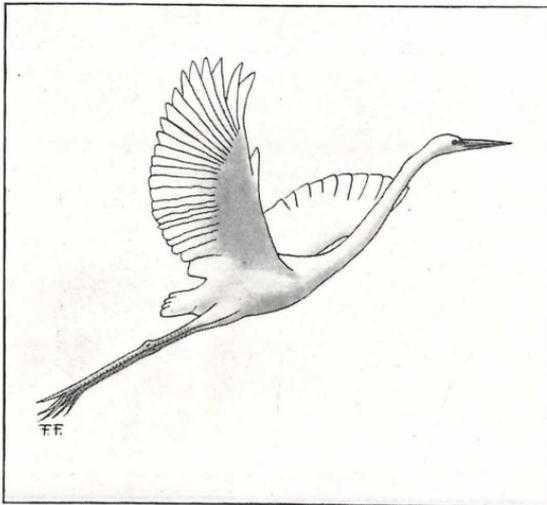


Abb. 10. Vom Boden abfliegender Reiher mit abgespreiztem Daumenfittich (Zeichnung nach einer Photographie aus G. C. AYMAR, 1935).

Abb. 8 gibt zeichnerisch die Photographie einer segelnden Möwe aus FOCKE (S. 79) wieder. Die Möwe hat die Daumenfittiche abgespreizt. Das wird z. B. nötig, wenn durch plötzlich auftretenden Auf-

wind der Anstellwinkel so groß wird, daß die Strömung ohne Benutzung des Daumenfittichs abrisse. Auch auf Abb. 9 (Focke S. 75) sehen wir den Hilfsflügel, aber hier erkennen wir ihn nur auf einer Seite. Das bedeutet, daß nur auf dieser Seite der Anstellwinkel des Flügels größer ist. Diese Flügelhaltung ist dadurch zu erklären, daß entweder eine Böe den Vogel in eine Körperlage gebracht hat, die zum Ausgleich diese Flügelreaktion hervorruft, oder aber es könnte sich um eine aktive Steuerbewegung handeln: durch den einseitigen großen Anstellwinkel wird diese Seite gehemmt, woraus ein Kurvenflug resultieren würde. Der große Anstellwinkel würde aber wieder eine Benutzung des Daumenfittichs erfordern. Ob die Verhältnisse tatsächlich so liegen, müßten weitere Aufnahmen und Beobachtungen erhärten.

Viele Vögel benutzen beim Abflug den Daumenfittich als Hilfsorgan. Sehr schön zeigt dies Abb. 10, die einen vom Boden abfliegenden Reiher darstellt. Beim Abflug ist der Fahrtwind (außer wenn der Vogel gegen starken Wind auffliegt) sehr gering. Der Schlagwind dagegen ist beim Niederschlag im Verhältnis zum Fahrtwind ziemlich groß. Aus dem geringen Fahrtwind und dem großen Schlagwind resultiert aber ein Anblaswind, der ziemlich schräg von unten kommt, also den Flügel unter einem verhältnismäßig großen Anstellwinkel trifft. Auch beim Start verhindert demnach der Daumenfittich das Abreißen des Luftstromes beim Niederschlag des Flügels.

Zusammenfassend läßt sich sagen: Die Alula ist besonders groß bei Vögeln, die dauernd oder bei besonderen Gelegenheiten mit großem Anstellwinkel fliegen, besonders bei solchen also, die sich häufig bremsgleitend bewegen; das sind die Vögel des Waldes und des Gebüsches. Allgemein gilt, daß kurzflügelige Formen eine verhältnismäßig größere Alula haben als langflügelige. Bei einem kurzen breiten Flügel ist die Gefahr des Abreißen der Luftströmung größer als bei einem langen schmalen Flügel.

Alle diese Tatsachen lassen sich einwandfrei in die von GRAHAM entwickelte Theorie einordnen, daß der Daumenfittich die Aufgabe hat, die Luftströmung über dem Flügel so zu beeinflussen, daß sie selbst bei großem Anstellwinkel nicht „abreißt“ und der Auftrieb unter solchen Bedingungen keine schädliche Einbuße erleidet.

Literatur.

- AHLBORN, F. — Zur Mechanik des Vogelfluges; Abh. d. Gebiet d. Naturw. Hamburg XIV, 1896.
- FRANZ, V. — Die Funktion des Daumens am Vogelflügel; Naturwiss. Wochenschrift XVII, No. 14, 1918, S. 200.
- GLADKOW, N. A. — Die adaptive Bedeutung der Alula bei den Vögeln; Bull. de la Soc. des Natur. de Moscou, 1937, Tome XLVI, 5.
- GRAHAM, R. R. — Safety devices in wings of birds; British Birds, Vol. XXIV, S. 2 (1930).
- On a remarkable action-photograph of a Montagu's Harrier; British Birds, Vol. XXV, No. 1, S. 2 (1931).
- LORENZ, K. — Beobachtetes über das Fliegen der Vögel usw.; Journ. f. Orn., 1933, Heft 1, S. 107.
- SCHACK, W., LEBGE, FOCKE. — Wunder des Möwenfluges. Frankfurt/M. 1937.
- SEILKOPF, H. — Der Daumenfittich der Raubvögel als Steuerorgan; Journ. f. Orn. 1922, Heft 1, S. 123.
- STOLPE, M. u. K. ZIMMER. — Physikalische Grundlagen des Vogelfluges; Journ. f. Orn. 1937, Heft 1, S. 147.
- STRESEMANN, E. — Aves, in Kükenthal-Krumbach, Handbuch der Zoologie, VII, 2, 1927—34.
- SY, MAX-HEINZ. — Funktionell-anatomische Untersuchungen am Vogelflügel; Journ. f. Orn. 1936, Heft 2, S. 199.
-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Journal für Ornithologie](#)

Jahr/Year: 1938

Band/Volume: [86_1938](#)

Autor(en)/Author(s): Stolpe Max, Zimmer Karl

Artikel/Article: [Die flugmechanische Bedeutung des Daumenfittichs am Vogelflügel. 485-496](#)