Winkel $\alpha + \beta$, falls die secundliche Arbeitsfähigkeit die angesetzten Werthe $\left(\frac{A}{G} = 1 \text{ oder } = 0.1\right)$ nicht übersteigen soll, ganz ungemein kleine Werthe ($sin\ (\alpha + \beta) = {}^1/_{20}$ bis ${}^1/_{300}$) besitzen.

v	$\frac{G}{F}$	für $\frac{A}{G} = 1$	für $\frac{A}{G} = 0.1$
		$sin\ (\alpha + \beta)$	
5	3.125 a	$^1/_5$	$^1/_{50}$
10	12.5 a	$^1/_{10}$	$^1/_{100}$
20	50 a	$^1/_{20}$	$^1/_{200}$
30	112.5 a	$^1/_{30}$	$^1/_{300}$
40	200 a	$^1/_{40}$	$^1/_{400}$
50	312.5 a	$^1/_{50}$	$^1/_{500}$
80	800 a	$^1/_{80}$	$^1/_{800}$
100	1250 a	$^1/_{100}$	$^1/_{1000}$

Die Ausführbarkeit guter Flugmaschinen hängt somit wesentlich von der Möglichkeit ab, solche Flügel oder Flächencombinationen herzustellen, welche bei ihrer Bewegung einen Widerstand erzeugen, dessen Richtung einem sehr kleinen Winkel $\alpha + \beta$ entspricht, oder mit anderen Worten:

Die Flügelflächen sollen so beschaffen sein und so bewegt werden, dass der von ihnen wachgerufene Luftwiderstand möglichst senkrecht stehe auf ihre Bewegungsrichtung.

Falls das Senkrechtstehen der Luftwiderstandsrichtung auf der Bahn der Flügelflächen voll erreichbar sein würde, dann wäre $\alpha + \beta = 0$ und überhaupt keine Arbeit für das Schweben in freier Luft erforderlich.

Die vorgesteckte Aufgabe spitzt sich somit dahin zu, Flügelflächen ausfindig zu machen, bei welchen ein minimaler Winkel $\alpha + \beta$ vorhanden ist. Der Lösung dieser Aufgabe soll ein nächstfolgender Aufsatz gewidmet sein.

Die Grösse der Flugarbeit

nach den Versuchen von Marey in „le vol des oiseaux".*)

Von **A. von Parseval.**

Dem vor kurzer Zeit erschienenen vorgenannten Werk Marey's ist als Anhang eine Abhandlung des französischen Hauptmanns de Labouret beigefügt, in welcher auf Grund zweier momentphotographischer Aufnahmen

*) Paris, G. Masson, 1890.

Marey's die Flugarbeit einer Möwe berechnet wird. Hiergegen lassen sich mehrfache Einwände erheben.

Zu Grunde gelegt sind zwei Bilderserien, bei welchem der vor vollständig dunkelm Hintergrund fliegende Vogel — eine Möwe — in Zeitabständen von $^1/_{50}$ Secunden auf ein und dieselbe Platte photographirt war, so dass ein deutliches Bild von dem Verlauf der Bewegung enstand.

Hieraus sollte die verticale und horizontale Verschiebung des Gesammt-Schwerpunktes genau ermittelt, und hieraus erst die Geschwindigkeiten, sodann die auf den Schwerpunkt wirkenden Kräfte ermittelt werden — also durch zweimalige Differentiation der Experimental-Curve.

Hierzu ist aber eine Genauigkeit erforderlich, die in den Versuchen bei weitem nicht erreicht war. Trägt man nämlich die Zeiten als Abscissen und die von de Labouret auf Seite 358 zusammengestellten numerischen Versuchsdaten als Ordinaten auf, so ergeben sich, namentlich für die verticalen Verschiebungen so unregelmässige, weder mit der Theorie, noch unter sich übereinstimmende Curven, dass auch von einer nur einmaligen Differentiation nicht die Rede sein kann.

Aber auch die Methode, wie hernach de Labouret aus den Kräften die Arbeitsgrössen berechnet, unterliegt schweren Bedenken.

An den Bewegungen des Gesammt-Schwerpunktes kann offenbar nur die Arbeit gemessen werden, welche auf die Masse wirklich übertragen wird, das ist im wesentlichen die durch den Flügelschlag hervorgebrachte Horizontalbeschleunigung. Hierbei macht de Labouret einen Unterschied zwischen Antriebs-Arbeit während des Schlages und Verzögerungs-Arbeit während der Hebung, und stellt erstere durch positive, letztere durch negative Arbeitsfelder dar, die er planimetrirt. Dann ist es aber nicht zulässig, behufs Arbeitsberechnung beide zu addiren, wie er es thut.

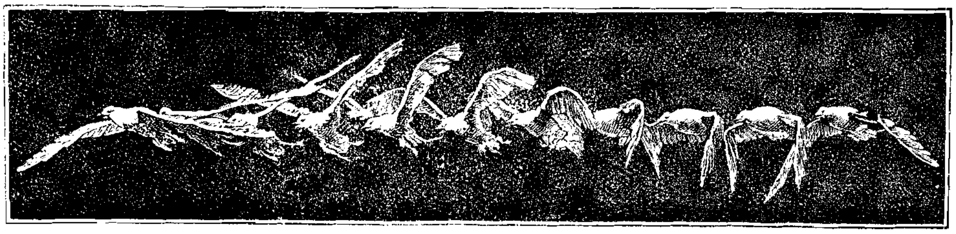
Die Grösse der in verticaler Richtung geleisteten Arbeit kann aber überhaupt nicht aus den Oscillationen des Schwerpunktes berechnet werden. Hierzu ist die Mitberücksichtigung der Flügelbewegung unbedingtes Erforderniss.

Das Resultat de Labouret's ist demnach unrichtig und auch unwahrscheinlich. Er findet einen Arbeitsverbrauch von 7.05, bezw. 7.5 kgm. per Secunde für eine Möwe, welche 0,623 kg. wog.

Diese Arbeitsgrösse entspricht einer Hebehöhe von 11—12 m per Secunde. Marey ist auch so vorsichtig, sich dies Ergebniss nicht direct zuzueignen. Offenbar kann eine Möwe selbst für kurze Zeit eine solche Arbeit nicht leisten.

Obwohl die Methode der Arbeitsbestimmung für den Flug schon mehrfach richtig angegeben wurde, so will ich doch auf Grund der momentphotographischen Serie auf Seite 153 des Marey'schen Werkes eine Schätzung der wirklichen Flugarbeit versuchen, weil dies sehr geeignet ist, die verschiedenen Beziehungen der Kräfte untereinander ins rechte Licht zu setzen.

Eine Copie der fraglichen Photographie giebt die Figur.



11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

Wir haben auf derselben 11 Positionen, von denen 1—7 der Hebung, 8—11 dem Schlage angehören.

Um die beim Flügelschlag geleistete Arbeit zu finden, müssen wir kennen

1) die Grösse des Luftwiderstandes und seinen mittleren Angriffspunkt auf den Flügel.

2) Die Bewegung des Flügels, die man sich aus einer verticalen, von oben nach unten, und aus einer horizontalen, von hinten nach vorn gerichteten Componente zusammengesetzt denken kann. Für die letztere ist keine Arbeitsleistung nöthig, weil der Flügel beim Schlag eine vorwärtsziehende Wirkung ausübt, somit das Vorwärtsführen des Flügels unterstützt wird. Für Messsung der Arbeitsleistung kommt also nur die verticale Bewegung des Flügels und der derselben entgegenstehende Widerstand in Frage.

Aus der Figur lässt sich aber der Schlagwinkel des Flügels in verticaler Richtung mit hinreichender Genauigkeit bestimmen. Derselbe beträgt 56°.

Aber auch für Schätzung der Grösse und des Angriffspunktes des Widerstandes giebt die Figur wichtige Anhaltspunkte.

Die Grösse des Widerstandes lässt sich beurtheilen aus dem Zeitverhältniss zwischen Schlag und Hebung und aus der am Flügel hervorgebrachten Deformation.

Während der Flügelhebung (Stellung 2—7) setzt die Hebekraft nicht aus; vielmehr zeigt die Figur, dass die innern Partieen des Flügels als Drachenflächen wirken. Beim Schlage kommen mehr die äusseren Partieen zur Wirkung und hierbei ist die Belastung des Flügels erheblich grösser als bei der Hebung. Man sieht wie die starken Schwungfedern unter dem Winddrucke sich biegen, während die viel schwächeren Fächerfedern am Oberarm bei der Hebung keine merkliche Verbiegung zeigen.

Würde während der Hebung Tragkraft gar nicht entwickelt, so müsste, weil die Hebung ungefähr die gleiche Dauer hat wie der Schlag, die Tragkraft doppelt so gross sein als das Gewicht des Vogels, weil sie nur während der halben Flugzeit wirkt. Die wirkliche Tragkraft ist also sicher kleiner. Sie ist aber auch offenbar grösser als das einfache Gewicht des Vogels. Wir wollen sie zu $^3/_2$ des Vogelgewichts annehmen, womit wir sicher sind, keinen grossen Fehler zu machen. Sonach wäre die durchschnittliche Tragkraft des Schlages etwa 3 mal grösser als diejenige der Hebung.

Diese aufwärts wirkende Tragkraft muss beim Niederdrücken des Flügels durch die Kraft des Vogels überwunden werden. Es handelt sich jetzt darum, den Angriffspunkt dieser Kraft auf den Flügel zu bestimmen.

Wie man an der Figur sieht, werden beim Schlag der hintere Rand des Flügels hauptsächlich an den äusseren Partieen durch den Luftwiderstand in die Höhe gedrückt; dadurch wird der Luftwiderstand dem unnachgiebigen Flügel gegenüber vermindert. An den inneren Partieen liegt der vordere Rand höher als der hintere und entsteht eine Drachen-Wirkung, wodurch der Widerstand dieser Theile vermehrt wird. Die Folge ist eine gleichmässigere Vertheilung des Winddruckes und eine bessere Ausnutzung der Tragflächen.

Dann liegt aber der mittlere Widerstandspunkt dem Flächenmittelpunkt nahe und man wird wenig fehlgehen, wenn man annimmt, dass er um halbe Flügellänge von der Drehachse entfernt sei. Die Dimensionen der photographirten Möwe sind nicht genau bekannt. Wir nehmen dafür die von de Labouret Seite 357 für seine Versuchsthiere angegebenen Maasse: Gewicht 0,623 kg, Fläche eines Flügels 0,064 □ m, Spannbreite 1,07 m, folglich Flügellänge 0,50 m.

Hieraus folgt für den Abstand des Kraftmittelpunktes von der Drehachse eine Entfernung von 0,25 m und für den vom Kraftmittelpunkt beschriebenen Bogen eine Länge von ebenfalls 0,25 m.

Folglich repräsentirt ein solcher Flügelschlag eine Arbeitsleistung von $0{,}25 \,.\, ^3/_2 \,.\, G = 0{,}38 \,.\, G$ kgm, wo G das Gewicht des Vogels bedeutet.

Hierzu kommt nun noch die Hebung. Während derselben findet Arbeitsleistung nicht statt, vielmehr wird durch den Luftwiderstand die Flügelhebung unterstützt, also Arbeit von der Luft an den Flügel abgegeben. Diese Arbeitsgrösse kann ebenso wie diejenige des Schlages bestimmt werden. Nach unserer Annahme wäre die durchschnittliche Hebekraft etwa $^1/_2$ G. Der Angriffspunkt der Kraft möge etwa auf $^1/_6$ der Flügellänge liegen, so ist diese negative Arbeit $0 \,.\, 08$ G, also ein erheblicher Bruchtheil der Schlag-Arbeit. Diese Arbeitsgrösse könnte durch Spannung elastischer Theile für den Schlag nutzbar gemacht werden. Wahrscheinlich geht sie aber grösstentheils verloren. Für Berechnung der theoretisch erforderlichen Flugarbeit müssten wir sie aber berücksichtigen und von der Schlagarbeit abziehen.

Eine besondere Arbeit für Hebung des Flügelgewichts brauchen wir nicht zu rechnen, weil das Flügelgewicht beim Schlage arbeitsvermindernd wirkt.

Somit erhalten wir für den Vogel eine wirkliche Arbeitsleistung bei

5 Flügelschlägen pro Secunde von 1,90 G = 1,21 kgm. und wenn wir die negative Arbeit bei der Hebung abziehen, eine Arbeit 1,50 G = 0,95 kgm.

So wenig exact dies Resultat ist, so sind doch die möglichen Fehler nicht so gross, dass die Grössenlage der gefundenen Zahl dadurch wesentlich verschoben werden könnte.

Trotzdem möchte vom physiologischen Standpunkt aus die erstaunliche Grösse der gefundenen Zahl Bedenken erregen. Es ist aber zu erwägen, dass die beobachtete Flug-Erscheinung der Einleitung des Fluges angehört und dass zum Flug mit voller Geschwindigkeit bedeutend weniger Arbeit nöthig ist, nach Marey nur der fünfte Theil der hier beobachteten.

Wenn diese Schätzung auch übertrieben sein mag, wahrscheinlich in dem Bestreben, mit dem unrichtigen de Labouret'schen Resultat sich abzufinden, so ist doch sicher, dass beim Flug mit voller Geschwindigkeit

1) die Zahl der Flügelschläge kleiner ist (sie beträgt nur etwa 2·5—3 in der Secunde),

2) der Schlagwinkel abnimmt auf etwa 40°,

3) die Belastung des Flügels abnimmt, weil der Schlag im Verhältniss zur Hebung länger dauert. Wir dürfen die Arbeit beim freien Flug daher auf etwa $^1/_3$ der hier beobachteten schätzen d. i. auf 0·63 G kgm per Secunde.

Aehnliche Leistungen habe ich schon früher an anderen Vögeln, an Rabenkrähen und Tauben bestimmt. Kleinere Möven zeigen etwas niedrigere Arbeitsleistungen.

Eine Hebehöhe von 60 cm per Secunde ist daher für Vögel von den genannten Dimensionen thatsächlich das ungefähre Arbeitsniveau.

Ueber die neuesten photographischen Darstellungen des Vogelfluges.

Von Dr. Karl Müllenhoff.

Kaum ein zweiter Gegenstand hat die Naturbeobachter im allgemeinen, besonders aber die Physiologen, die Physiker und die Mathematiker so vielfach beschäftigt, wie der Flug der Vögel. Naturbeobachter sind dem herrlichen Schweben der Raubvögel gefolgt, haben die reissend schnellen Flügelschläge der Schwalbe mit dem Auge aufzufassen versucht. Physiologen haben sich bestrebt, die Gesetze der Flugbewegungen festzustellen durch Untersuchungen über die Grösse der beim Fluge zur Geltung kommenden Kräfte, sie haben die Schnelligkeit der Flügelschläge, die Form und Grösse der Flügelflächen und ihre bei der Bewegung eintretenden Gestaltsveränderungen zu untersuchen begonnen. Physiker haben Messungen veranstaltet über die Grösse des beim Fluge benutzten Luftwiderstandes, haben den Einfluss untersucht, den Windströmungen auf den fliegenden Vogel ausüben. Mathematiker haben über die Beziehungen zwischen Körpergrösse des Vogels und der Flügelfläche, der Länge des Flügels sowie der Lage des