

## ALLGEMEINE THEORIE DES VOGELFLUGES.

*Von Dr. Ludwig Martin, Univ. Prof.*

(S. auf Seite 145.)

Der Vogel ist die beste Flugmaschine und der Mensch wird nur so fliegen können, wenn er die Natur nachahmt. Die Wolke fliegt ja wohl auch, aber nicht wohin sie will, sondern wohin sie der Wind trägt, der sie auch oft zerreist; nur der Vogel fliegt nach selbstbestimmten Zielen.

Der Vogelflug unterliegt gewissen Gesetzen, die der Vogel beim Fliegen stets befolgt; wer fliegen will, muss diese Gesetze kennen, denn wer sie wissentlich oder unwissentlich verletzt, büsst es mit dem Leben.

Die Vögel weisen zwar in ihrem organischen Bau, wie auch in ihren Flugbewegungen grosse Verschiedenheiten nach, wer aber tiefer in die Sache eindringt, überzeugt sich, dass die Natur immer nur ein und dasselbe Princip zur Anwendung bringt. Die Folge ist nur, dass der eine Vogel mit dem ersten Flügelschlag das erreicht, wozu der andere deren zehne braucht.

Das Problem des Fliegens zerfällt in drei specielle Fragen.

Die erste Aufgabe ist: dem Flügel die vortheilhafteste Form zu geben; — die zweite löst die Frage der Stabilität, ohne welcher keine Flugmaschine bestehen kann; — die dritte Aufgabe besteht endlich darin: die günstigsten Verhältnisse zwischen Arbeitskraft, Geschwindigkeit und Nutzlast zu bestimmen.

Die Lösung der zwei ersten Fragen zu finden ist nicht schwer; desto schwerer aber ist die Beantwortung der dritten Frage, die auf dem Gebiete der Mechanik kaum ihres Gleichen findet. Mit der Lö-

sung der ersten Frage hat der Verfasser sich schon im J. 1862. (man sehe den „Magy. Akad. Értesítő“ III. B. 176. S. nach) befasst; gegenwärtige Abhandlung hat die Lösung der dritten Frage zur Aufgabe, wobei vorausgesetzt wird, dass die Grundsätze des Fliegens von Construction und organischer Einrichtung unabhängig sind, weil die Theorie sich nie nach der Construction, wohl aber diese nach jener zu richten hat.

Es ist diess aber eine Frage, mit der sich bisher noch Niemand befasst hat. Selbst Prechtl, der die reichhaltigen Resultate seiner 40-jährigen tief eindringenden Studien in seinem anno 1849 erschienenen Werke „Untersuchungen über den Flug der Vögel“ publicirte, hat wohl viel Interessantes über diesen Gegenstand zu Tage gefördert, aber zu sehr vertieft in minutiöse Untersuchungen der organischen Flugeinrichtungen der Vögel, war es ihm versagt, auf den allgemeinen Standpunkt sich zu erheben, von dem aus es ihm gelungen wäre, eine allgemeine Theorie des Vogelfluges zu begründen.

Die gegenwärtige Abhandlung nimmt die tägliche Erfahrung als Ausgangspunkt, der zu Folge der Vogel, wenn er sich vom Erdboden erheben will, seine Flügel erhebt, ausbreitet, hierauf mit selben auf die ruhende Luft niederschlägt. Jede solche aus Anhub und Niederschlag bestehende Schwingung der Flügel nimmt eine gewisse Zeit in Anspruch, die sich wieder auf Anhub und Niederschlag je nach dem Zweck des Fluges in bestimmten Verhältniss vertheilt.

Auf dieser Basis baut sich gleichsam von selbst die Theorie des Fluges auf.

Zunächst ergeben sich gewisse Relationen, die auf vier Bedingungen führen, die ebenso viele Gesetze des Fluges aussprechen. Beim Anhub und Niederschlag des Flügels werden nämlich drei verschiedene Arbeiten entwickelt, deren Verhältniss untereinander die Natur des Fluges bestimmen. Da der Anhub des Flügels nur den Zweck hat in die zum Niederschlage geeignete Stellung zu kommen, so muss, soll der Flug mit geringsten Arbeitsaufwand vollzogen werden, vorausgesetzt werden, die Luft übe auf den sich aufwärts bewegenden Flügel keinen Druck aus, denn dieser Widerstand könnte bei der nach aufwärts gerichteten Bewegung keine positive Action hervorbringen, eine negative Action darf aber nicht zugelassen werden, weil sie die positive Action des darauffolgenden Niederschlages

schwächen würde. Die Natur hat diesen Zweck durch einen fächerförmigen Bau des Flügels erreicht, der dem Vogel gestattet, ihn, so oft es erforderlich ist, fächerartig einzuziehen oder auszubreiten. Sollte der künstliche Flügel aus Festigkeitsgründen eine fächerförmige Gliederung nicht vertragen, so müsste er wenigstens eine solche Construction erhalten, dass die über dem Flügel befindliche Luft beim Anhub widerstandslos abfließen könne.

Da nun der Flügel den schwebenden Vogel beim Anhub nicht stützt, so beginnt derselbe nach der Verticalen seines Schwerpunktes nach abwärts zu sinken, so dass er dem Gesetze des freien Falles entsprechend am Ende der Anhubszeit sich um eine dem Quadrate derselben proportionirte Säulenhöhe tiefer befindet, als er am Anfang des Anhubes war. Hierbei verrichtet die Gravitation eine gewisse Arbeit, die sich, wenn  $t$ , die Anhubszeit und  $P^2$  eine von Gewichte des sinkenden Körpers abhängige Constante bezeichnet durch Formel (1) (man sehe den ungar. Text dieser Abhandlung) ausdrücken lässt.

Aber der Flügel erhebt sich nicht von selbst, er muss vom Vogel gehoben werden; der Anhub erfordert also einen gewissen Arbeitsaufwand. Der Anhub besteht aus einer Drehung nach aufwärts und hat der Vogel das Trägheitsmoment der Flügelmasse zu überwinden. Die hiezu erforderliche Trägheitsarbeit  $I'$  wird, wenn  $M^2$  eine von der Flügelmasse und deren Vertheilung abhängige Constante bezeichnet, mit Rücksicht darauf, dass die Trägheitsarbeit bei gleichen Weg verkehrt zum Quadrate der Zeit sich verhält, durch Formel (2) ausgedrückt. (Man sehe die betreffende Formelnummer im original Text.)

Multiplicirt man beide Formeln mit einander, so spricht Formel (3) (m. s. im orig. Text) das erste Gesetz des Fluges aus, dem zu Folge die Arbeiten des freien Falles und der Trägheit der Flügel verkehrt proportionirt sind. Diess sind die Arbeiten, die beim Anhub auftreten.

Geht man hierauf auf den Flügelniederschlag über, so ist zu beachten, dass auch dieser aus einer Drehung aber nunmehr in entgegengesetzter Richtung besteht, wobei die ruhende Luft auf jeden Punkt der Flügelfläche gewisse Widerstände entwickelt. Da die Angriffspunkte dieser Luftwiderstände während des Niederganges gewisse Wege beschreiben, so verrichten selbe eine Arbeit, die als lebendige

Kraft auf den Vogel übergeht, welche sich mit der Gravitation ins Gleichgewicht setzt. Ist  $t$  die Zeit des Flügelniederganges,  $N^2$  eine von der Form und Fläche des Flügels abhängige Constante, so wird, da diese Widerstandsarbeit bei gleicher Flügelfläche und gleichem Weg verkehrt zum Quadrat der Zeit sich verhält, diese Luftwiderstandsarbeit  $L$ , die wir auch Auftriebsarbeit nennen können, durch Formel (4) dargestellt.

Das Verhältniss der Arbeiten  $L$  und  $L$ , bestimmt nun die Art des Fluges. Ist nämlich  $L > L$ , d. h. ist die Auftriebsarbeit grösser als die Arbeit des freien Falles, so befindet sich der Schwerpunkt des Thieres am Ende des Flügelniederganges höher als er bei Beginn des Flügelnahubes gewesen war; der Vogel steigt also wenn  $L > L$ . Ist hingegen  $L = L$ , d. h. ist die Auftriebsarbeit gleich der Arbeit des freien Falles, so wird der Vogel am Ende des Niederganges an Höhe weder gewonnen noch verloren haben; der Vogel schwebt also wenn  $L = L$ , ist. Ist endlich  $L < L$ , d. h. erreicht die Auftriebsarbeit die des freien Falles nicht, so kann der Vogel am Ende des Flügelniederganges die Höhe nicht mehr erreichen, die er am Anfang des Flügelnahubes inne hatte; der Vogel sinkt also wenn  $L < L$ , ist.

Der Flügelschlag hat also die Aufgabe, den freien Fall von Flügelschlag zu Flügelschlag zu unterbrechen. Dadurch erlangt der Vogel den Vortheil, die Endgeschwindigkeit des freien Falles an eine Grenze zu binden, die der Integrität des Körpers nicht mehr gefährlich werden kann. Das ist die Bestimmung des Flügels, und hierin besteht das Geheimniss des Vogelfluges.

Am wichtigsten für uns sind die Bedingungen des Schwebens; denn kennt man diese, so lässt sich leicht durch Änderung derselben das Schweben je nach Erforderniss in ein Steigen oder Sinken umwandeln. Für das Schweben gilt Gleichung (5) (m. s. d. orig. Text.) Zieht man daher Formel (1) und (4) zusammen so ergibt sich (6) (orig. Text) wodurch sich das zweite Gesetz ausspricht, demzufolge Anhubs- und Niederschlagszeiten im Fall des Schwebens verkehrt proportionirt sind.

Multiplirt man hingegen (1) mit (4) (orig. Text) so entsteht die neue Gleichung (7) (m. s. d. orig. Text) als drittes Gesetz, dem zu Folge das Verhältniss der Anhubs- und Niederschlagszeit

die mittlere geometrische Proportionale der Arbeiten des Auftriebes und des freien Falles ist.

Diese (7) gilt bei jedem Flug; fügt man noch überdiess die Schwebelage  $L = L$ , hinzu so ergibt sich (8) (orig. Text) als viertes Gesetz dem zu Folge die Arbeit des freien Falles dem Verhältniss der Anhub- und Niederschlagszeit direct proportionirt ist.

Um nun die Aufgabe vollständig zu lösen, müssen wir folgenden Weg einschlagen. Der Vogel fliegt, indem er den Flügel schwingt, wozu er eine gewisse Arbeit zu verrichten hat, und zwar: damit der Flügel den Anhub vollführe, hat der Vogel die Arbeit  $T$  zu verrichten; damit der Niederschlag erfolge, hat er die Arbeit  $L$  zu leisten, mithin nimmt die Flügelschwingung die Arbeit:  $T + L$  in Anspruch. Der Anhub erfolgt in der Zeit  $t$ , der Niederschlag in der Zeit  $t$ ; mithin ist  $t + t$ , die Zeit einer Schwingung, und da der Vogel in dieser Zeit die Arbeit:  $L + T$  verrichtet, so hat er in der Zeiteinheit die Arbeitsleistung

$$A = \frac{L + T}{t + t}, \text{ zu entwickeln. Blickt man auf Formel (4), (3)}$$

und (1) zurück, so findet man, dass  $T$ ,  $t$  und  $t$ , durch  $L$ , und beziehentlich  $L$  sich ausdrücken lassen. Diess führt zur Gleichung (9), (10) und schliesslich (11) (orig. Text).

Sie gelten für jeden Flug; lässt man die Schwebelage  $L = L$ , hinzutreten, so gelangt man zur Gleichung (12) (orig. Text.) Aus ihr erkennt man, weil die Schwebearbeit  $A$ , für jedes endliche  $L$ , immer positiv und endlich bleibt; für  $L = 0$  und  $L = \infty$  aber selbst  $\infty$  wird, dass  $A$ , für ein bestimmtes  $L$ , ein Minimum wird. Dieses Minimum der Schwebearbeit wird erreicht, wenn  $\frac{dA}{dL} = 0$  ist. Diess führt nach einiger Reduction auf Gleichung (13) orig. Text.)

Aus dieser cubischen Gleichung folgt endlich, dass es für jedes (durch die Construction vorgeschriebene)  $M$   $N$  und  $P$  einen positiven reellen Werth des  $L$ , gibt, bei welchem die Schwebearbeit  $A$ , ein Minimum wird. Mit diesem Minimum findet die Frage des Vogel-fluges ihren Abschluss.

Die Abhandlung bleibt jedoch hiebei nicht stehen; sie gibt der Rechnung eine neue Wendung, indem sie das Verhältniss der Zeiten  $t$ , und  $t$  an die Stelle des  $L$ , einführt. Dadurch gelangt man zur

Gleichung (14) (orig. Text). Da in dieser nur die Constanten  $M$  und  $N$  auftreten, so folgt: dass das Verhältniss der Anhebes- und Niederschlagszeiten im Momente des Schwebeminimums nur von  $M$  und  $N$ , also nur von der Bauart des Flügels und keinesfalls von dem Gewichte des Vogels abhängt; wodurch sich das fünfte Gesetz des Vogelfluges ausspricht.

Im Schlussabschnitte reflectirt der Verfasser schliesslich auf die Frage: ob der Mensch ohne Überanstrengung seiner physischen Kräfte im Stande wäre sich schwebend zu erhalten, die er bejahend beantwortet. Zunächst weist er nach, dass die Rechnung derjenigen, die die Unausführbarkeit des Fliegens behaupten wollen, nicht stichhältig ist, und dass diese Rechnungen weder die Unmöglichkeit des Flugproblems beweisen, noch dass die Natur den Vogel mit ans Fabelhafte grenzenden Muskelkräften ausgerüstet hat; wohl aber, dass alles nur davon abhängt, wie schnell die Flügelschläge aufeinander folgen, und welches Verhältniss man den Anhebes- und Niederschlagszeiten zu geben vermag.

Lässt man die Trägheitsarbeit aus der Rechnung aus, und nimmt man nur die Auftriebsarbeit in Rücksicht, so zeigt sich, dass der Mensch bei 75 kilo Last, 7.5 meter kilogramm Arbeitsleistung und bei je einem Flügelschlag in der Secunde sich schwebend erhalten könnte, wenn er den Flügel sechsmal schneller anhebt als niederschlägt. J. Degen hat bekanntlich im J. 1809 in Wien und Paris seinen Flugapparat, wie es scheint ohne durchgreifenden Erfolg versucht. Leider wurden keine verlässlichen Daten aufbewahrt, nur muthmassen lässt sich nach den primitiven Abbildungen, dass er den Flügel-Anhub und Niederschlag gleich schnell verrichtet hat; nimmt man diess an, so musste er nur an Auftriebsarbeit wenigstens 0.45 Pferdekraft leisten.