VORZEIGUNG DES SCHWEBERADES.

(Auszug.)

Von *Dr Ludwig Martin.*

I.

In der vor fünf Jahren begonnenen und seitdem viermal fortgesetzten Abhandlung: „Allgemeine Theorie des Vogelfluges“ wurden, ohne einen speciellen Zweck in Absicht zu nehmen, jene Beziehungen im Allgemeinen erörtert, die zwischen der Last des schwebenden Körpers, der Grösse und Geschwindigkeit der arbeitenden Flügelflächen, der Flügelschläge und der hierzu erforderlichen Arbeitsleistung bestehen.

Jenen Rechnungen, die zum Theil in längst vergangener Zeit entstanden, lag die leicht erkenntliche Absicht zu Grunde: die Gesetze des künstlichen Fluges zu erforschen, auf Grund deren dann die Construction einer Flugmaschine, mit mehr Aussicht auf Erfolg als bisher, versucht werden könnte. Nachdem der theoretische Theil meiner Rechnungen mit der „IV-ten Mittheilung“ bereits erschöpft schien, schritt ich zur Ausführung. Noch im J. 1891 wurde ein Versuch mit oscillatorisch auf und ab geschwungenen Flügeln gemacht. Der erste 64 c. m. im Radius, 32 c. m. an der Achse messende, aus Weidenruthe bestehende Korb des Flügels vermochte 24 Schläge per Secunde nicht auszuhalten, bei stärkeren Stäben machten sich die Trägheits-Verluste in so gesteigertem Grade fühlbar. dass ich die Idee des oscillirenden Flügels aufgeben musste.

Um diese bei jedem Flügelschlage sich erneuernden Trägheitsverluste zu umgehen, musste ich die oscillirende Bewegung durch continuirliche Kreisbewegung ersetzen. Diess erreichte ich durch eine solche Construction, bei welcher der Flügel zwar continuirlich um seine Achse rotirt, aber bei jeder Rotation nur innerhalb eines gewissen Winkels ψ sich ausstreckt, während des übrigen Weges: $(360-\psi)$ aber eingezogen wird, und unthätig bleibt. Diess konnte unstreitig nur so erreicht werden, indem ich dem Flügel eine Führung vorsetzte, die den Flügel zur gehörigen Zeit ausstreckte und wieder einzog. Da aber der Flügel bei gleichförmiger Drehung den viel kleineren Weg ψ in viel kürzerer Zeit zurüklegt, als die grössere Strecke: $360-\psi$, so musste Vorsorge getroffen werden, dass ein neuer zweiter Flügel, sobald der erste ausser Action tritt, da sei, der diesen ablöst. Offenbar muss, sobald dieser seine Rolle abgespielt hat, ein dritter da sein, der die Stelle des abtretenden, hierauf ein vierter, der diesen, ein fünfter Flügel, der jenen wieder ablöst, parat sein. Bei wenigen Nachdenken steht man solcher Weise vor der Idee eines Schaufelrades. Jene sich wechselseitig ablösenden Schaufeln sind nichts anderes, als jene aufeinander folgenden Flügel.

Diese Idee hatte ich schon in meiner V. Mittheilung der „Allgemeine Theorie des Vogelfluges“ indicirt, in der ich am Schluss voraussetzte: „man denke sich m gleich grosse Flügel um die Drehachse herumgestellt, deren jeder, so oft er den bestimmten Winkelraum ψ betritt activ, ausserhalb demselben aber inactiv ist, so ist auf solche Weise der oscillirende Flügel durch die rotirenden m Flügeln vollkommen ersetzt.“ Schon bei jener Gelegenheit hatte ich alle für den oscillirenden Flügel geltenden Formeln für den continuirlich rotirenden Flügel eingerichtet, ohne jedoch mich in eine weitere Specification der Details einzulassen.

Ich bin so frei in Fig. I. eine solche Construction vorzuzeigen. Diese Figur zeigt uns den Durchschnitt des Rades durch die Achse xy desselben. PQ ist der Radkörper, AC die eingezogene, BD die ausgestreckte Schaufel, welche an den Zapfen c beziehentlich d (die in dem Radkörper eingehängt sind) stecken, so dass selbe eine freie Bewegung von 90° in der Richtung der Achsenebene erhalten. Ihre Enden bei C und D sind zur Verstärkung beschlagen, aus den kreisförmigen Beschlägen ragen die beiden rechtwinklig auf einander gestellten Stifte f und g, beziehentlich k und h, sie dienen zur Einrichtung der Schaufel. Vor dem Rade ist die schalenförmige Führung angebracht, deren Bodenstück FK der Radachse als Zapfenlager dient; dieses Bodenstück umgibt ein Cylindermantel aus Blech, dessen oberen Rand ein 3 m. m. dickes Dratband *mn* einsäumt; dieser ist es, der die beiden Richtungsstifte *f*, *g* und *k*, *h* arretirt und die Schaufel zwingt die ihr zukömmliche Stellung anzunehmen.

Fig II. gibt die Front-Ansicht des Schaufel-Rades und der vor diesem befindlichen Führung, durch welche der Radkörper zum Theil verdeckt wird. FKLM ist die gegen das Rad gekehrte Führung FK, LM ind zwei auf einander senkrechte Durchmesser, die die Führung in vier Quadranten abtheilt, wobei Durchmesser FK horizontal gedacht werden muss. Die Contourlinie LEM ist ain Halbkreis mit dem Centrum in O; die Contourlinie LKM ist eine Halbellipse, LM ist ihre grosse Achse, KO hingegen deren kleine Halbachse, ABCD ist der von der Führung nicht verdeckte Theil des Radkörpers, in welchen (in dazu ausgesparten Einschnitten) die Schaufeln a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 .... a_{11} a_{12} (von denen in der Zeichnung nur die Kanten sichtbar sind) eingehängt sind. Die längs des Halbkreises KFM situirten Schaufeln sind sämmtlich eingezogen; die a_4 ist (bei der Drehung des Rades in der Richtung des Pfeile) so eben im Begriffe aás der Reihe der eingezogenen Schaufeln auszutreten, die a^{10} hingegen tritt so eben in die Reihe derselben zurück. Die a_1 ist vollständig ausgestreckt, sie ist eben in voller Action. Die auf dem Wege von a_4 nach a_1 begriffenen Schaufeln sind ín Begriff sich mehr und mehr auszustrecken, hingegen jene auf dem Wege von a_1 nach a^{10} sich immer mehr einzuziehen. Man sieht aus diesem, dass von sämmtlichen zwölf Schaufeln immer nur je fünf in Activität sind.

Die Ausmassen des Modellrades waren: Durchmesser des Radkörpers = 112 m. m. Radius der ausgestreckten Schaufel = 280 m. m., deren Breite = 45 m. m. und diche 3 m. m. Die Schaufel bestand aus Fichtenholz, die übrigen Theile des Rades aus Bronze, die Achsen und Zapfen aus Stahl. Die Schafelführung (aus Bronze) erhielt 52 m. m. als grosse Halbachse und 42 m. m. als kleine Halbachse der (elliptischen) Hälfte. Dieses Rap wurde in einen 50 c. m. langen, 10 c. m. breiten Rahmen der Art angespannt, dass das Rad nebst der Schaufelführung ausserhalb des Rahmens an díe eine Längeseite des Rahmens zu liegen kam, der Rahmen also nur die Verlängerung der Radachse zwischen sich fasste, auf welche eine Rolle für Schnurtrieb geschoben wurde. Neben dieser Rolle befand sich die Treibscheibe, die mittelst Schnur mit jener verbunden, um die Rotation der Treibscheibe auf die Rolle des Schaufelrades zu übertragen. An die Achse der Treibscheibe wurde endlich eine Welle geschoben, auf welcher die Schnur des Treibgewichtes S gewickelt war. Die Wirkungsweise dieses Apparates ist nun von selbst klar. Lässt man das aufgezogene Treibgewicht frei, so beginnt selbes zu sinken, und versetzt hiebei die Treibwelle, durch diese das Treibrad in Rotation, die wieder durch die Treibschnur auf die Rolle, somit endlich auf das Schaufelrad sich überträgt. -- Mit diesem noch im Juli l. J. angefertigten Apparat wurden hierauf Versuche gemacht, um die Richtigkeit oder Unrichtigkeit der von mir aufgestellten theoretischen Formeln praktisch zu erproben.

II.

Wellner, Parseval, Lilienthal u. a. gingen bei ihren Flügeltheorien von dem allerdings praktisch erprobten Principe aus, dass um fixe Achsen gedrehte Flügelflächen einen Luftwiederstand erleiden, der dem Quadrate der Umlaufsgeschwindigkeit, und ihre Umdrehung eine Arbeitsleistung erfordert, die dem Kubus dieser Geschwindigkeit proportionirt ist. Indessen gestehen alle mehr-weniger ein, dass dieses Princip bei einer oscillirenden Bewegung der Flügelfläche eine Änderung zu erleiden scheine, da die theoretischen und practischen Resultate weit von einander abstehen. Nach der von mir aufgestellten Theorie des Vogelfluges soll beim Schwebeflug die Last des schwebenden Thieres sich wie die Cubuse der Geschwindigkeiten der oscillirenden Flügel, die hiebei verrichtete Arbeit hingegen sich nur wie die Quadrate dieser Geschwindigkeiten verhalten.

Um nun über die obschwebende Frage experimentel zu entscheiden, wurde dem Modellrade die in Fig. III. skizzirte Aufstellung gegeben. An der Tischecke *yuv* wurde ein Rahmen *fs* mittelst der Schraubzwinge *sr* in aufrechter Stellung festgeschraubt. In diesen Rahmen warde der die Treibwelle und das Modellrad tragende Rahmen *ab* hineingeschoben und an dem durch beide Rahmen durchgelassenen Zapfen *o* aufgehangen, um welchen der Rahmen *ab* frei oscilliren konnte. Zur Ausballancirung des Ganzen wurde das Ende *b* des frei schwebenden Balkens *ab* mit dem Ausgleichgewicht *T* belastet.

Die Treibschnur des Treibrades *gh* wurde über eine unter dem Fensterbogen angebrachte fixe Rolle *x* geführt, die an ihren frei herabhängenden Ende das Treibgewicht S trug. Bei dieser Anordnung ist nun der Verlauf des Experimentes schon von selbst klar: das vorher aufgezogene Treibgewicht versetzt, wenn freigelassen, das Treibrad *gh*, die Treibriemen wieder das Schaufelrad in Rotation, die sich so lange beschleunigt, bis nicht (was in wenigen Augenblicken geschieht) der Luftwiederstand der Schaufeln sich mit dem Treibgewicht ins dynamische Gleichgewicht versetzt. Aber dann ist auch die Arbeit des Luftwiederstandes gleich jener des Treibgewichtes. Damit die in Folge der Unvollkommenheit der Construction entstehenden inneren Stösse und Vibrationen so weit möglich abgeschwächt werden, wurde das freie Ende *a* des Rahmens *ab* auf eine Federwage $\alpha\beta$ gelagert, deren Winkelhebel *apq* durch seine grösseren oder kleinern Ausschläge an dem Kreissector jene Vibrationen fühlbar machte.

Den Versuchen ging eine Voruntersuchung voraus. Fürs erste wurde auf der Laufschnur eine Strecke *mn* von einem Meter Länge mittelst färbiger Zeichen abgesteckt; hierauf wurden die Revolutionen des Schaufelrades abgezählt, die bei der auf- oder Abwickelung dieser meterlangen Wegstrecke auf die Welle des Treibrades erforderlich waren. Dem meterlangen Weg entsprechen 32 Umläufe des Flügelrades. Der Versuch selbst beschränkte sich nach diesen Vorerhebungen also nur noch darauf, die Zeitdauer zu bestimmen, die das Fallgewicht erforderte, um die Wegstrecke von einem Meter zurück zu legen. Man hatte sodann: $ut = 32$ und $L = S/t$. — Bei $S = 3$ Kg. begann das Rad zu rotiren, kam aber jedesmal so oft einer der Knoten der Schnüre auf die Rolle oder das Treibrad gelangte, ins Stocken, kam aber nach einigen Zögern wieder von selbst in Bewegung. Bei $S = 3\ {}^1/_2$ Kg. nahm das Rad einen fliessenderen Gang an, obwohl die Stösse der Schnurknoten sich noch fühlbar machten. Bemerkenswerth ist, dass der Rahmen *ab* sammt Flügelrad eben 3 Kg. wog.

Schlieslich wurden folgende vier Messungen vorgenommen: I) $S = 4$ Kg. $t = 40$ Sec. II) $S = 5$ Kg. $t = 32$ Sec. III) $S = 6$ Kg. $t = 27$ Sec. IV) $S = 7$ Kg. $t = 23$ Sec. Demnach ergab sich nach den beiden Formeln: $L = S/t$ und: $u = 32/t$ der Reihe nach:

$L_1 = {}^4/_{40} = 0{\cdot}1$; $L_2 = {}^5/_{32} = 0{\cdot}15625$; $L_3 = {}^6/_{27} = 0.2222$ und $L_4 = {}^7/_{23} = 0{\cdot}30435$; andererseits : $u_1 = {}^{32}/_{40} = 0{\cdot}8$; $u_2 = {}^{32}/_{32} = 1{\cdot}0$; $u_3 = {}^{32}/_{27} = 1{\cdot}185185$ und $u_4 = {}^{32}/_{23} = 1{\cdot}39130$. Diese vier Versuche, zu je zweien combinirt, geben für die Arbeiten die Verhältnisse : $L_1/L_2 = 0{\cdot}64$; $L_1/L_3 = 0{\cdot}45$; $L_1/L_4 = 3{\cdot}3181$; $L_2/L_3 = 0{\cdot}7031$; $L_3/L_4 = 0{\cdot}7300$; — hingegen für die Umlaufsgeschwindigkeiten die Verhältnisse: $n_1/u_2 = 0{\cdot}8$; $u_1/u_3 = 0{\cdot}6749$; $u_1/u_4 = 0{\cdot}5606$; $u_2/u_3 = 0{\cdot}8438$; $u_2/u_4 = 0{\cdot}7187$ und $u_3/u_4 = 0{\cdot}850$. Die Verhältnisszahlen der Geschwindigkeiten geben zum Quadrat erhoben die Zahlenreihe: $(n_1/u_2)^2 = 0{\cdot}64$; $(u_1/u_3)^2 = 0{\cdot}4553$; $(u_1/n_4)^2 = 0{\cdot}3342$; $(u_2/u_3)^2 = 0{\cdot}7119$; $(u_2/u_4)^2$ $0{\cdot}5165$; $(u_3/u_4)^2 = 0{\cdot}7225$; — hingegen zum Cubus erhoben, erhält man: $(u_1/u_2)^3 = 0{\cdot}512$; $(u_1/u_3)^3 = 0{\cdot}3073$; $(u_1/u_4)^3 = 0{\cdot}1761$; $(u_2/u_3)^3 = 0{\cdot}6006$; $(u_2/u_3)^3 = 0{\cdot}3714$ und $(u_3/u_4)^3 = 0{\cdot}6141$. Der Vergleich dieser beiden Reihen mit jener für die Arbeiten erhaltenen Reihe gibt den Beweis, dass die Arbeit des Flügels wirklich dem Quadrat der Geschwindigkeit proportionire. Es ist also in der That: $L : L_1 = u^2 : u_1{}^2$; mit dem ist das von Wellner, Parseval, Lilienthal und anderen benützte Prinzip durch den Versuch wiederlegt.

III.

Mein Versuch ist entscheidend; die Arbeit wächst nicht nach dem Cubus, sondern nur nach dem Quadrate der Geschwindigkeiten; es ist also gewiss, dass der Luftwiederstand beim Flatterflug (d. h. bei oscillirender Bewegung des Flügels) nicht das Gesetz befolgt, da bei continuirlicher Bewegung (Windfangbewegung) constatirt wurde. Es ist aber diess nicht das einzige Resultat; es hat noch andere wichtige Folgen im Nachhange. Vergleicht man die Reihe der S mit jener der u: so ergibt sich durch aufmerksamen Vergleich die Proportion: $S : S_1 = u : u_1$, zu der sich also die zweite: $L : L_1 = u^2 : u_1{}^2$ gesellt. Diesen beiden schliesst sich aber noch als eine „dritte im Bunde" folgende bei: $G : G_1 = u^3 : u_1{}^3$, welche sich aus der Formel für die Schwebearbeit: $L = Gg/{}^2n$ ergibt. Die Grössen S L und G werden also durch Formeln ausgedrückt von der Form: $S = \alpha u$; $L = \beta u^2$ und $G = \gamma u^3$, wo $\alpha\ \beta\ \gamma$ drei Constanten, deren Werthe von der Construction des Rades ablängt. Für das zwölfflüglige Model-Rad entfällt obigen Versuchen zu Folge: $\alpha = 5$; $\beta = 0{\cdot}15625$

und $\gamma = 0{\cdot}38242$. Demnach entsprechen diesem Rade die drei Formeln: $S = 5u$; $L = 0{\cdot}15625\ u^2$ und $G = 0{\cdot}38242\ u^3$.

Die erste und zweite wurden eben aus den obigen Versuchen abgeleitet, die dritte jedoch wurde nur gefolgert aus der theoretischen Arbeitsformel. Um auch sie experimentel zu erhärten, wurde der in Fig. IV. skizzirte Versuch durchgeführt und im Verlaufe der Sitzung wiederholt.

Die kleine Stiege BCD wurde als Gestell des Versuchsapparates auf den Rand des Experimentir-Tisches A gestellt, deren verticale Strebe D mit den gleichlangen Hebelarmen KM und LN vermittelst der Zapfen K und L versehen wurde, um welche dieselben beliebig drehbar waren. An die Enden M und N wurde der Rahmen des Modellrades aufgehängt. Es ist klar, dass der Modellrahmen bei jeder Lage der Arme KM nnd LN immer parallel zu CD, mithin vertical bleibt; die ganze Bewegung, die dem aufgehängten Rahmen gestattet ist, beschränkt sich darauf, in verticaler Richtung sich auf und ab zu bewegen. Damit nun dieser Modellrahmen nicht schlapp herabhänge, wird derselbe auf der über ihm befindlichen, auf dem am Kopfbrett der kleinen Stiege befestigten Lattenstück CE befestigten Federwage EM aufgehängt. Bei dieser Andordnung zeigte die Wage ohne anderweitiger Belastung 3 Kg. an (das Gesammtgewicht des Modellrades). — Der Rahmen des Modellrades wurde jedoch so eingehängt, dass die Treibscheibe unter dem Rade zu liegen komme, damit die nun frei herabhängende Treibschnur, sammt daran hängenden Treibgewicht S, freien Spielraum erhalte.

Bei dieser Anordnung wurden nun zwei Versuchsreihen durchgeführt. Bei der ersten war $S = 5$ Kg., bei der zweiten $S = 10$ Kg. Bei jener war also $u = 1$; bei dieser $u = 2$. Wurde das Treibgewicht freigelassen, so zeigte die Wage eigenthümliche Vibrationen an. Diese mussten jenen innern Stössen zugeschrieben werden, die in dem bereits vielfach angestrengten und abgenützten Zustand des Modellrades Aufklärung finden. — Der Versuch hatte den Zweck, den verticalen Auftrieb G des bewegten Rades direct zu messen. Es ergab sich aber hiebei eine Schwierigkeit. Die Wage von 25 Kg. Tragkraft hatte eine Scalaeintheilung, die nur $^1/_2$ Kge anzeigte, und sonach höchstens $^1/_4$ Kge abzulesen gestattete. Eine weiters erschwerender Umstand, dass das Fallgewicht den disponibeln Fallraum von