Otto Lilienthal MUSEUM

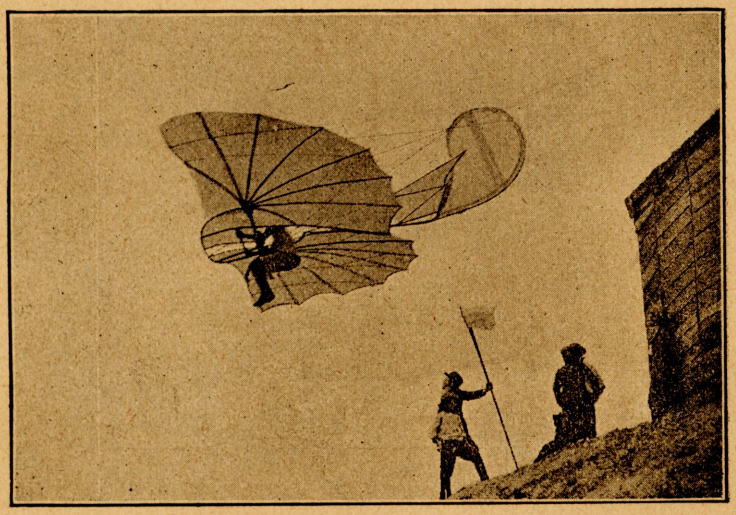
Die

Flugapparate.

Allgemeine Gesichtspunkte bei deren Herstellung und Anwendung.

Von

Otto Lilienthal.



BERLIN.

Mayer & Müller.

1894.

Die Flugtechnik kommt nach und nach aus dem Stadium der Projectmacherei heraus. Immer häufiger hört man von praktischer Bethätigung auf dem Gebiete des Fliegens. Diese erfreuliche Thatsache regt dazu an, die allgemeinen Gesichtspunkte, welche der Constructeur von Flugvorrichtungen im Auge haben muss, näher zu beleuchten.

Die letzten Jahre haben wesentlich zur Klärung der Anschauungen über die Theorie des Fluges beigetragen, und es ist daher angebracht, dass wir einen für die Entstehung neuer, fruchtbarer Ideen unbedingt erforderlichen Uebergang von der Theorie zur Fliegepraxis jetzt durchzuführen suchen. Wenn auch das Endziel unserer Wünsche, ein freier, dauernder Flug nicht gleich erreicht werden kann, so ist es doch wichtig, irgend etwas einzuleiten und zu entwickeln, was mit diesem freien Fliegen verwandt ist, um nur erst einmal eine Uebergangsstufe zur praktischen Flugtechnik zu betreten und unseren Gesichtskreis auch nach dieser Richtung hin zu erweitern.

Um anregend hierfür zu wirken, schrieb ich im Jahre 1891 in Heft 7 und 8 unserer Zeitschrift einen Aufsatz „Ueber Theorie und Praxis des freien Fluges." Ich hatte gesehen, welches reiche Feld zum Einsammeln von Erfahrungen sich schon darbietet, wenn man nur mit wirklichen Flügeln in den Wind sich stellt und die hebende Wirkung des Luftstromes auf sich einwirken lässt.

Man könnte ja die elementaren Luftwiderstandsversuche noch viel weiter ausdehnen; man könnte noch viel mehr in die Einzelheiten der Flügelwölbungen und Flügelformen bei diesen Experimenten eingehen; man könnte elementare Versuche über den Flügelschlag beim Vorwärtsfliegen machen und die hebenden und tragenden Kräfte messen. Je weiter man aber in diese Einzelfragen eindringt, desto complicirter werden die Apparate, desto umständlicher werden die Versuche. Es ist schliesslich wirklich einfacher und wohlfeiler, man macht sich einen Flugapparat, setzt sich hinein und sieht, wie weit man damit kommt. Geht es auch nicht gleich horizontal durch die Luft, nun, dann geht es eben schräg abwärts. In dieser Weise geflogen ist immer noch besser als garnicht geflogen.

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal MUSEUM

Schon in meinem Werke über den Vogelflug wies ich hierauf hin, indem ich mit Rücksicht auf das Segeln mit gewölbten Flügeln auf Seite 121 betonte: Was aber mit einem solchen Apparate auch ohne Flügelschläge sicher ausgeführt werden könnte, wäre ein längerer, schwach abwärts geneigter Flug, der immerhin des Lehrreichen und Interessanten genug bieten möchte." Was ich damals vermuthete, ist jetzt zur Thatsache geworden. Es hat sich bereits ein bestimmtes System für diese Art Segelflug und die dazu benutzten Apparate herausgebildet.

Im Decemberheft der Zeitschrift von 1891 berichtete ich dann „Ueber meine diesjährigen Flugversuche." Sie waren noch ein schüchterner Anfang, das erste Bemühen, mit gewölbten Flügelflächen sich einige Secunden segelnd in der Luft zu halten. Der Wind machte mir noch viel zu schaffen; die zahlreichen Flügelbrüche führten mich aber schon damals auf die Anordnung des verticalen und horizontalen Steuers zur besseren Bekämpfung des Windes. Noch aber waren die Flüge zu kurz, um genau zu erkennen, ob ein dauerndes stabiles Segeln auf dem Winde möglich sei.

Das Jahr 1892 brachte wieder neue Erfahrungen im Flügelbau und vermehrte Uebung in der Anwendung der Apparate. In meinem Aufsatz: „Ueber den Segelflug und seine Nachahmung," der im Decemberheft desselben Jahres erschien, konnte ich bereits die Ansicht aussprechen, dass man durch stete Verfeinerung in Construction und Ausführung der Flüge und vermehrte Fertigkeit in ihrer Handhabung nach und nach in den dauernden, wirklichen Segelflug hineinkommen müsse.

Meine vorjährigen Veröffentlichungen, welche ich mit zahlreichen Illustrationen nach photographischen Aufnahmen begleiten konnte, haben nun bereits bewirkt, dass ausser mir noch mehrere Fachleute sich des praktischen Segelfluges annehmen, und dies wird nicht verfehlen, zur weiteren Ausbildung dieses einfachsten Fluges beizutragen.

Diese von erhöhten Punkten veranstalteten weit ausgedehnten Luftsprünge sind immerhin als ein Anfang des praktischen Fliegens anzusehen, und zwar des Fliegens mit einem Apparate, so einfach wie nur denkbar, wo die ganze Vorrichtung eigentlich nur aus einer tragenden Fläche besteht. Man braucht bei diesem Segeln keine Kraftleistung und hat nur durch die Schwerpunktslage den Apparat zu steuern. Nebenbei ist es ein grossartiges Vergnügen, von den Bergen und Hügeln weit in das Land hinaus zu schweben, sodass für die Laien, wie für die Fachleute ein solcher Fliegesport ebenso unterhaltend wie lehrreich als auch kräftigend für die Gesundheit sich zeigt. Es ist keine einzige Belustigung im Freien denkbar, welche mit soviel Uebung in der Gewandtheit des Körpers, mit soviel Schärfung der Sinne und Förderung der Geistesgegenwart verbunden wäre, als dieses schwungvolle Dahingleiten durch die Luft. Wir können uns

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal
MUSEUM

minutenlang in der Luft aufhalten, auf Strecken von mehreren hundert Metern mit Courirzuggeschwindigkeit die Luft durchschneiden und dennoch sanft und gefahrlos uns wieder zur Erde niederlassen.

Theilen wir die sämmtlichen Methoden des Fliegens in zwei Gruppen ein, von denen die eine o h n e Kraftleistung und die andere m i t Kraftleistung wirkt, so bildet der von mir geübte Segelflug das einzige Glied der ersten Gruppe des Fliegens ohne Kraftanstrengung, während für das mit Kraftleistung verbundene Fliegen viele wesentlich von einander abweichende Methoden denkbar sind. Obwohl daher derartige Segelflüge direct an den Vogelflug sich anlehnen und gewissermassen ein bestimmtes System des Fliegens vertreten, so handelt es sich bei ihnen doch um einen allgemeinen flugtechnischen Gesichtspunkt, weil kein anderes und einfacheres System denkbar ist, um Flüge ohne dynamische Leistung überhaupt zu Stande zu bringen.

Sobald nun aber dynamisch bewegte Flugapparate zur Anwendung kommen sollen, tritt die Systemfrage in den Vordergrund, und es ist eine besondere Aufgabe, die Gesichtspunkte für die Wahl der verschiedenen Systeme näher ins Auge zu fassen.

Dem uns von der Natur vorgezeichneten System des Vogelfluges mit schlagenden Flügeln stehen diejenigen Systeme gegenüber, welche auf einer rotirenden Bewegung basiren.

Zahlreiche Flugtechniker behaupten, dass die Bewegung der Vogelflügel nicht rationell nachzubilden sei, wogegen die rotirende Bewegung der Treiborgane wie bei allen anderen Transportmitteln, so auch in der Luft Anwendung finden müsse. Als Beispiel wird natürlich die Locomotive, das Velociped, der Schraubendampfer und Raddampfer angeführt.

Es ist richtig, dass die rollende Reibung ein willkommenes Mittel bietet, den Transport auf der Erde zu erleichtern und die Anwendung von rotirenden Rädern sich kaum auf dem festen Lande umgehen lässt. Die Zweckdienlichkeit der rotirenden Propeller im Wasser wird jedoch leicht falsch beurtheilt. Die Gründe, weshalb Schaufelräder und Schrauben im Wasser angewendet werden, sind entschieden verkannt, wenn man behauptet, dass deren Anwendung zur Erzielung grosser Nutzeffecte stattfinde. Ich bin vielmehr überzeugt, dass man diese Propeller namentlich deshalb benutzt, um die Fahrzeuge compendiös und vor allen Dingen schmal zu gestalten, so dass sie auch noch in engen Gewässern manövrirfähig bleiben, dass aber diese rotirenden Antriebvorrichtungen unrationeller wirken als ein hin- und hergehendes Ruder.

Um dies einzusehen, brauchen wir nur an das gewöhnliche Ruderboot zu denken. Man hat sich bis jetzt vergeblich bemüht, Schrauben oder Räder herzustellen, welche durch Hand- oder Fussbetrieb in Bewegung gesetzt, dass gewöhnliche Ruder ersetzen sollten, und zwar deshalb, weil

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal
MUSEUM

diese Triebwerke einen geringeren Wirkungsgrad hatten als das hin- und hergehende leichte und einfache Ruder.

Das allein müsste schon genügen, die Sympathie für die rotirenden Propeller in der Luft zu erschüttern. Man kann jedoch die Unzulänglichkeit rotirender Apparate zur Erzielung des freien Fluges noch eingehender beweisen.

Im wesentlichen haben wir es mit drei verschiedenen Methoden zu thun, welche zur Anwendung rotirender Propeller und Hebevorrichtungen in der Luft empfohlen sind.

Die eine Methode besteht in der Anwendung von Luftschrauben, sogenannter Hebeschrauben, welche um verticale Axen rotiren und direct hebend wirken sollen. Auf diesem Princip basirt das bekannte Kinderspielzeug, welches dank seiner Kleinheit bis heute noch von keiner mechanischen Flugmaschine übertroffen ist. Meines Erachtens nach hat dieses System wegen seiner Einfachheit noch die meiste Aussicht, neben dem System der Vogelflügel Verwendung zu finden, wenngleich auch viele Vorzüge der natürlichen Flügel bei ihm fehlen, und manche Nachtheile bei ihm sich einstellen.

Zunächst lässt sich ein einziges Schraubensystem allein nicht verwenden, weil sonst die Schraube still steht und der zu hebende Körper sich dreht. Bei Anwendung mehrerer Schraubenaxen aber erschwert sich die Construction durch die Zwischenglieder. Die Schraube hat ferner den Nachtheil, dass ihre Flächen nur an der Peripherie, wo grosse Geschwindigkeit herrscht, richtig zur Geltung kommen, und dass es unnütz ist, im Centrum überhaupt Flächen anzubringen. Das macht die Construction schwer im Gegentheil zum Vogelflügelsystem, wo die Flächen auch in der Mitte, in der Nähe des Schwerpunktes wirkungsvoll bleiben. Schliesslich ist der Nutzeffect der Schrauben in der Luft wie im Wasser ein geringer und daher ihre Anwendung mit grossem Arbeitsverlust verknüpft.

Wenn man nun statt der Schrauben Schaufelräder zum Heben verwendet, so wird aus zwei Gründen der Effect noch mehr vermindert. Zunächst kommt immer nur ein Theil der Schaufeln, bei den bis jetzt vorgeschlagenen Systemen höchstens die Hälfte derselben zur Tragewirkung. Der ganze Apparat wird also stets sein halbes Gewicht als todte Last durch die Luft zu schleppen haben. Der grössere Nutzeffect, den die Schaufelräder etwa haben sollten gegenüber den Schrauben, wird aber reichlich aufgewogen durch die complicirtere Bauart, welche die Räder durch ihre Stellmechanismen bedürfen. Die Schraube zeigt sich hier als einfacheres Maschinenelement den Lufträdern überlegen.

Wir gelangen jetzt zu der dritten grossen Gruppe von Flugmaschinensystemen, welche schon mehr Aehnlichkeit mit dem Vogelfluge hat. Es sind dies die durch Propeller angetriebenen Drachenflieger, schräg gestellte Trageflächen, welche durch Schrauben oder Schaufelräder vorwärtsgetrieben

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal MUSEUM

und dadurch zum Steigen gebracht werden sollen. Der Typus dieser Flugmaschinen stellt das von den Flugtechnikern neuerdings am meisten zur Anwendung gebrachte System dar. Die Erfolge blieben jedoch hinter den Erwartungen zurück und zwar, wie mir scheint, weil die gewünschte Segelwirkung durch die Anwendung der rotirenden Propeller zerstört wurde. Ausserdem wendete man meistens ebene Flächen an, deren Tragewirkung gering ist. Aber auch, wenn die ungleich tragfähigeren gewölbten Flächen zur Wirkung kämen, so würde kein viel günstigerer Effect zu erzielen sein.

Allerdings erfährt eine gewölbte Tragefläche, wenn dieselbe in schwach angehobener Stellung sich horizontal durch die Luft bewegt, einen starken Auftrieb bei schwachem horizontalem Widerstand. Dies gilt aber nur in ruhiger oder gleichmässig bewegter Luft, keineswegs jedoch, wenn man durch Schrauben oder Räder in der Nähe der Fläche die Luft aufwühlt und in Wirbel verwandelt. Die Schrauben und Räder zerstören den vortheilhaft hebenden glatten Strich der Luft und das muss den Nutzeffect unbedingt wesentlich vermindern.

Also der bisher so vielfach empfohlene, durch rotirende Propeller getriebene Drachenflieger hat auch seine grossen Schattenseiten.

Wollen wir aber dennoch den Drachenflieger mit Vortheil anwenden, so müssen wir es so einrichten, dass der von einer solchen Segelfläche durchstrichene Luftraum vom Propeller nicht beunruhigt wird. Es darf also die Antriebsvorrichtung weder unterhalb noch oberhalb, weder vor noch hinter der Segelfläche sich befinden, wenn die Segelwirkung nicht beeinträchtigt werden soll, und da bleibt dann folgerichtig nichts anderes übrig, als den Treibapparat rechts und links, seitlich von der Segelfläche anzuordnen. — Thun wir dieses, so sind wir zwanglos bei dem Princip des Vogelfluges angelangt; denn der Flugapparat des Vogels wirkt beim Ruderfluge wie eine in schlanken auf- und niedergehenden Wellenlinien vorwärtssegelnde Fläche, deren auf- und niederschlagende Flügelspitzen die Vorwärtsgeschwindigkeit unterhalten, indem die Schwungfedern mit gesenkter Vorderkante abwärts und mit gehobener Vorderkante aufwärts sich bewegen. Die einfache hebelartige Bewegungsform der schlagenden Flügel vereinigt auf diese einfachste Weise die wenig auf- und niedergehende Segelfläche mit dem stärker auf- und niederschlagenden Ruderpropeller bei möglichst geringer Störung der Segelwirkung.

Die Luft-Schrauben und Luft-Räder haben allerdings durch ihre rotirende Bewegung für den Maschinentechniker etwas Bestechendes. Bei näherer Betrachtung schwindet jedoch der Werth der vermeintlichen Vortheile. Warum richten wir unsere Motoren denn eigentlich mit rotirenden Wellen ein? — Doch lediglich, weil wir durch rotirende Transmissionen die Arbeitsleistung am bequemsten fortleiten können. Um dies zu erzielen, bedienen wir uns eines Umweges; denn brauchbare rotirende, auf Expansivkraft der Gase beruhende Motoren giebt es kaum. Wir verwandeln also

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal
MUSEUM

die hin- und hergehende Kolbenbewegung erst künstlich unter Benutzung schwerer Maschinentheile in die einfache Drehung. Lediglich die Gewohnheit also, die Motoren mit sich drehenden Kurbelwellen sich vorzustellen, liess den rotirenden Flugapparat fälschlicherweise als den einfacheren erscheinen, während es doch noch viel einfacher ist, die geradlinige Kolbenbewegung direct auf den Flügelschlag einwirken zu lassen. Dass man bei den Kurbelwellen es bequem hat, durch ein aufgesetztes Schwungrad den Gang der Maschine zu regeln, kann doch den Flugtechniker nicht reizen, weil er mit Schwungrädern in der Luft sich nicht herumschleppen wird. Von Laien wird zwar oft die Ansicht vertreten, dass ein Schwungrad Kraft erspare, doch der Flugtechniker wird seinem rotirenden Apparate höchstens regulirende, aber keineswegs kraftsparende Eigenschaften zuschreiben. Die rotirende Kurbelwelle hat noch einen kleinen Vortheil, weil man von ihr aus die Steuerungstheile des Arbeitscylinders leicht bewegen kann, aber kein Maschinentechniker wird doch davor zurückschrecken, auch o h n e rotirende Welle eine zuverlässige Steuerung zu erzielen.

Wir sehen also, dass von der rotirenden Bewegungsform für Flugmaschinen wenig Empfehlenswerthes übrig bleibt.

Als ein Nachtheil der oscillirenden Flügel gegenüber den rotirenden Flugmaschinen ist noch zu erwähnen die ungleichartige, periodisch abwechselnde Hebewirkung derselben, während die sich gleichmässig drehenden Apparate auch eine ruhige, gleichmässige Hebewirkung haben müssen. Seitdem wir aber wissen, dass die Schlagbewegungen der Flügel wesentlich verstärkte hebende Luftdrucke erzeugen, muss uns die dadurch erzielte Krafterspariss*) wichtiger erscheinen als die gleichmässige Tragewirkung von Schrauben und Rädern, so lange nicht erwiesen ist, dass auch diese zur Erzielung eines freien Fluges gut benutzbar sind.

Es liegt nicht in meiner Absicht, unter den dynamischen Flugvorrichtungen ausschliesslich dem Princip des Vogelfluges das Wort zu reden, doch die allgemeine Erörterung dieser Fragen führt unwillkürlich dahin, die Bevorzugung rotirender Flugvorrichtungen als einem Vorurtheil entspringend zu kennzeichnen.

Nicht unerwähnt darf es bleiben, dass die Maschine mit oscillirenden Flügeln die einzige Fliegemethode vertritt, welche gleichzeitig zum anstrengungslosen Segelfluge durch Stillhalten der Flügel sich eignet, so dass man wie der Vogel abwechselnd mit und ohne Arbeitsleistung fliegen kann. Alle andern Fliegemethoden sind auf eine ununterbrochene Arbeitsleistung angewiesen und zum Segeln nicht geeignet. Deshalb ist es auch so schwer oder gar unmöglich mit den letzteren einen allmählichen Uebergang zum praktischen Fliegen zu finden, während man nach Art der Vogelfluges sich

*) Siehe Lilienthal's „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst". Abschnitt 16.

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal MUSEUM

schon ohne körperliche Anstrengung und ohne Motor recht hübsch in der Luft herumtummeln kann, um dann nach und nach durch motorische Leistungen die Flüge zu vervollkommnen und so schrittweise dem dauernden Fluge sich zu nähern.

Bei der Construction von Flugmaschinen muss man nun aber vor allem auch wissen, welche Ausführungsgrösse am meisten Aussicht auf Erfolg bietet. Der einzige Meister, dem es gelang, wirklich brauchbare Flugmaschinen herzustellen, ist die Natur. Es lohnt sich daher, den Maassstab zu verfolgen, den diese bei ihren Flugapparaten innehielt. Auffällig ist, dass die Natur für die Luft nicht solche Colosse schuf, wie für das Wasser und das Land. Der Grund hierfür kann aber kaum darin liegen, dass das Fliegen selbst mit der Grösse des Flugkörpers an Schwierigkeit zunimmt; denn — seltsam genug — die grössten Flieger sind auch gerade die besten Flieger. Die Pelikane, Marabustörche, Albatrosse und Condore wiegen sich ohne Anstrengung in den Lüften und legen unglaubliche Strecken in kürzester Zeit scheinbar ohne Ermüdung zurück. Das sieht doch aber eher so aus, als wenn mit der Vogelgrösse die Flugfähigkeit nicht abnähme, sondern im Wachsen begriffen wäre.

Dieses scheinbare Räthsel löst sich nun bei näherer Betrachtung dahin auf, dass nicht die Fliegemöglichkeit es ist, welche für die Natur die unüberschreitbare Grösse der fliegenden Geschöpfe vorschreibt, sondern dass die Schwierigkeit des Auffliegens hierin den Ausschlag giebt.

Wir wissen, dass es allen grösseren Vögeln Mühe bereitet, überhaupt erst in die Luft hineinzukommen. Sobald sie jedoch den Boden unter den Füssen erst verloren haben und frei in der Luft sich befinden, geht ihr Flug leicht von statten. Also nur das erste Aufsteigen wird ihnen schwer.

Es erklärt sich dies einfach dadurch, dass die Flügeloberflächen bei grossen, schweren Vögeln verhältnissmässig viel kleiner sind als bei kleinen, leichten Vögeln, die Einheit ihrer Fläche also mehr Gewicht tragen muss. Deshalb gehören viel grössere Flügelgeschwindigkeiten dazu, um den Flächen die nöthige Tragkraft zu verleihen. Der einfache Flügelschlag ist nicht ausreichend, um den Vogel zu heben; letzterer muss vielmehr gleichzeitig eine Vorwärtsgeschwindigkeit gegen die Luft haben, um die nöthigen Tragekräfte zu wecken, und wenn ihm der Wind hierbei nicht in genügender Stärke entgegenkommt, so muss er diese Windstärke sich künstlich erzeugen, indem er gegen den Wind einen Anlauf nimmt. Aber erst einmal frei in der Luft, stört den Vogel seine Grösse durchaus nicht. Mit zunehmender Geschwindigkeit des Fluges werden die Flügelschläge immer langsamer, bis in höheren windigeren Regionen der Vogel segelnd ohne Flügelschlag sich fortbewegt,

Also nicht das Fliegen selbst ist es, was den grossen Vögeln schwer fällt, sondern das anfängliche Hineinkommen in die Luft. Und dieser Umstand wird auch die Natur gehindert haben noch grössere fliegende Wesen

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal
MUSEUM

zu entwickeln, als wir unter den Vögel sie kennen; denn wenn mit zunehmender Grösse der fliegenden Thiere nicht immer, wie z. B. bei Windstille, die erforderlichen Abfliege-Gelegenheiten in ausreichendem Maasse sich finden, um die Beschaffung der Nahrung durch den Flug zu gestatten, so ist durch Nichterfüllung der wichtigsten Lebensbedingung einer Weiterentwickelung nach der Grösse natürlich eine Grenze gezogen.

Nicht gebunden an diese Grenze war die Natur bei den Vögeln, welche ihre Nahrung ohne Flug sich verschaffen können, und dieses musste zur Entstehung der riesigen Vogelleiber führen, wie wir sie in den noch lebenden und noch mehr in den bereits ausgestorbenen Straussen erblicken.

Von fliegenden Vögeln, welche grösser sind, als diejenigen, welche die jetzige Erde bevölkern, hat die Vorzeit uns nichts überliefert, wohl aber kennen wir beflügelte Reptilien aus der Juraformation von erheblicher Grösse. Ich entnehme einer Veröffentlichung des „Prometheus", No. 223, die Darstellung eines bis 8 m klafternden Flugsauriers, der offenbar schwerer war als der Mensch. Man ist jedoch über die Flugthätigkeit dieser Thiere zu keinerlei Schlüssen berechtigt. Ob die Atmosphäre, reichhaltiger an Kohlensäure oder aus anderen Gründen, eine grössere Dichte besass und dadurch das Fluggeschäft erleichterte, ob diese Saurier ihre Flughaut nur nach Art der fliegenden Eichhörnchen benutzten oder ob sie die Uferfelsen, zu denen sie hinaufkriechen konnten, als Abfliegepunkte benutzend, zur längerem Fluge befähigt waren, darüber wird schwerlich Näheres bekannt werden.

Wir müssen uns an die Thatsache halten, dass unter den gegenwärtigen Verhältnissen unserer Erdoberfläche die Natur unter sehr triftigen Gründen in der Entwickelung der grossen Flieger Halt gemacht hat und dass wir diese Grenze nur überschreiten können unter Benutzung besonders geeigneter Abfliege-Gelegenheiten. Unsere Naturbeobachtung bietet uns aber auch einen Fingerzeig, dass bei dem fliegenden Menschen hauptsächlich nur das Auffliegen Schwierigkeiten bieten wird, und dass, wenn erst ein Schweben in der Luft vorhanden ist, die weitere Fortsetzung des Fluges verhältnissmässig leicht sich bewirken lassen wird.

Hieraus folgt nun eigentlich schon, dass die Erhebung von der Erde noch viel schwerer von statten gehen muss, wenn man es nicht mit dem Fliegen eines einzelnen Menschen, sondern mit Flugmaschinen zu thun hat, welche zum Transport von mehreren Personen dienen sollen. Dessenungeachtet unterlassen es die Erfinder nicht, mit Projecten in die Oeffentlichkeit zu treten, welche dem Gesellschaftsfluge dienen sollen. Es herrscht vielfach die irrige Ansicht, dass auch bei Flugmaschinen eine Ausführung im grösseren Maassstabe mehr Aussicht auf Erfolg haben müsse, als wenn man kleinere Apparate baute. Man lässt sich scheinbar dadurch verleiten, dass bei vielen maschinellen Aufgaben die Ausführung im Grossen sich rationeller gestaltet als im Kleinen. Die Flugmaschinen machen aber

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal
MUSEUM

hierin eine Ausnahme, wie ich dies später noch eingehender zu zeigen versuchen werde.

So interessant und reizvoll es wäre, gemeinschaftlich mit seinen Freunden eine grössere Flugmaschine zu besteigen und in einer Spazierfahrt durch die Luft nach jeder beliebigen Richtung über die schöne Erde sich dahin tragen zu lassen, so habe ich doch allen Grund, zu glauben, dass wir entweder nie oder erst viel später dahin gelangen, solche Gesellschaftsflugmaschinen in Wirkung treten zu lassen, denn ausser dem erschwerten Auffluge grösserer Massen giebt es noch zwei weitere Gründe, welche zwingen, auf den Einzelflug uns zu beschränken.

Zunächst ist es die Herstellung grösserer Trageflächen, welche uns auf bedenkliche Missverhältnisse führt. Ich habe schon darauf hingewiesen, dass die grossen Vögel verhältnissmässig nur kleine Flügel besitzen. Dies hat die Natur aber keineswegs aus reiner Willkür eingeführt, sondern sie folgte hierbei einem unabwendbaren Gesetze.

Um diese Gesetzmässigkeit kennen zu lernen, müssen wir nicht nur die Flügelgrösssen vergleichen, sondern auch die Flügelgewichte. Flügel von grösserer Flächenausdehnung müssen auch eine grössere Stärke besitzen und deshalb wächst das Flügelgewicht weit mehr wie die Fläche: Der Adler wiegt tausendmal so viel wie der Zaunkönig. Der Adlerflügel ist in der Fläche aber nur etwa hundert mal so gross als der Flügel des Zaunkönigs, aber das Gewicht des ersteren beträgt wieder etwa das Tausendfache von dem des Letzteren, aus dem einfachen Grunde, weil der Adlerflügel nicht blos zehnmal so lang und zehnmal so breit ist, sondern weil er auch zehnmal so dick ist als der Flügel des Zaunkönigs. Diese Dicke hat aber der Adlerflügel nöthig, um haltbar zu sein.

Man sieht hieraus schon, wohin es führen würde, wenn die Flügel mit zunehmendem Körpergewicht nicht verhältnissmässig kleiner würden. Im Durchschnitt sind die linearen Verhältnisse der Vögel annähernd proportional, weshalb der Quotient aus der Cubikwurzel des Flügelgewichtes und der Quadratwurzel der Flügelfläche innerhalb gewisser Grenzen constant sich gestaltet. Diese Gesetzmässigkeit harmonirt vollkommen mit den Gesetzen der Festigkeit. Ein Flügel, welcher die doppelte Länge und Breite hat, muss auch doppelt so dick sein, um nicht abzubrechen; denn bei gleicher Belastung pro Flächeneinheit ist die 4 fache Last zu tragen am doppelten Hebelarm, mithin das 8 fache Bruchmoment vorhanden, was von der doppelten Breite und doppelten Dicke aufgenommen werden kann Nimmt die specifische Belastung der Flügel zu, wie bei den grösseren Vögeln, so muss auch die Dicke der Flügel etwas mehr als im linearen Verhältnisse wachsen und das findet sich auch in Wirklichkeit bestätigt.

Für grössere Flugmaschinen entrollt sich somit eine ungünstige Perspective.

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal
MUSEUM

Nun wird man aber sagen: „Es fällt uns nicht ein, die Tragefläche so zu bauen wie die Vogelflügel gebaut sind, da wird man doch zu versprengten Constructionen, zu Gitterwerken und dergleichen greifen!“

Darauf lässt sich antworten, dass der Vogelflügel durch die Röhrenform der Knochen und Federkiele, was Leichtigkeit anbelangt, schon ein wahres Meisterwerk der Natur darstellt, dass aber, wenn auch durch Sprengewerke und Gitterconstructionen eine noch grössere Leichtigkeit der tragenden Flugmaschinentheile erzielt werden kann, dies immerhin nur einmal beim Wechsel des Systems geschieht und dann vielleicht noch gerade ausreicht, um den Apparat zum Einzelflug brauchbar zu machen, dass hingegen bei fortschreitender Grösse der Apparate auch diese Systeme schliesslich schwerfällig werden und deshalb die Wahrscheinlichkeit für die Möglichkeit des menschlichen Fluges sehr zu Gunsten des Einzelfluges ausfällt.

Eine einfache Betrachtung genügt, um zu zeigen, dass bei zunehmender Grösse das Gewicht der Einheit einer Tragefläche wachsen muss, also grössere Constructionen schwerfälliger sich gestalten, möge das gewählte System nun sein, wie es wolle.

Wir nehmen an, dass in der denkbar leichtesten Bauart eine Tragefläche von bestimmter Grösse für eine bestimmte Last hergestellt sei. Sobald wir zwei dieser denkbar leichtesten Flächen zu einer einzigen vereinigen wollen, welche einen centralen Körper von doppelter Last zu tragen hat, so müssen wir Constructionen hinzufügen, durch welche diese Vereinigung zu einen festen Ganzen wird, und deshalb wiegt die doppelte Fläche für die doppelte Last immer mehr wie das Doppelte.

Aber auch wenn wir eine nur aus Druck- und Zugorganen gebildete Construtionen proportional vergrössern, so dass die Tragefläche sowohl als die zu tragende Last ein gewisses Vielfaches von der ersteren wird, so werden sowohl die Zug- als auch die Druckorgane nicht nur länger, sondern auch stärker und vermehren dadurch ihr Gewicht mehr, als die Fläche an Grösse zugenommen hat.

Eine genauere Untersuchung ergiebt, dass die flächenbildende Construction bei gleicher Belastung der Flächeneinheit in ihrem Gewichte mit der $^3/_2$ten Potenz der Fläche wächst.

Das Flugorgan eines Apparats zum Tragen von beispielsweise 9 Personen muss hiernach 27 mal so schwer sein als bei einem ähnlichen Apparate für einen Menschen.

Wenn man einem Vogel mittlerer Grösse, etwa einem Raubvogel von 1 kg Gewicht die Flügel am Schultergelenk abschneidet, so findet man, dass die Flügel zusammen etwa $^1/_{10}$ kg wiegen. Die Fläche der ausgebreiteten Flügel ist zusammen etwa 0,15 Quadratmeter. Bei meinen Segelversuchen beträgt mein Gewicht mit Apparat 100 kg und die Fläche ist 15 Quadratmeter. Sowohl mein Gewicht wie meine Segelfläche sind also 100 mal so gross wie die entsprechenden Werthe bei dem Raubvogel.

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal MUSEUM

Würde mein Flügelbau ein ähnlicher sein, wie beim Vogel, so müsste ich dadurch auf das tausendfache Gewicht, also auf ein Flügelgewicht von 100 kg kommen. Durch die von mir angewendete versprengte Construction beträgt mein Flügelgewicht aber nur 20 kg. Aus diesem Beispiel ist ersichtlich, dass man durch geeignete Bauart das Flügelgewicht gegenüber den natürlichen Flügeln auf $^1/_5$ reduciren kann, wobei die Flächen so gross genommen werden können, dass nur die specifische Belastung wie bei den Flügeln kleinerer Raubvögel sich ergiebt. Dieses gilt aber nur für den Einzelflug. So wie man Apparate für mehrere Personen bauen will, werden entweder die Flügel doch wieder unverhältnissmässig schwer oder man muss seine Zuflucht zu grösseren Flügelschlag-Geschwindigkeiten nehmen und das ist wieder mit vermehrter mechanischer Leistung verknüpft.

Nach diesen Gesichtspunkten hiesse es also, unnöthige Schwierigkeiten suchen bei dem schon an sich schwer zu lösenden Problem, wenn man Flugmaschinen grösser baute, als zur Festellung der Flugmöglichkeit für den Menschen zunächst erforderlich ist. Also kein Luftschiff, sondern der Einzelflug!

Was aber nun schliesslich am meisten gegen die vorläufige Anwendbarkeit grösserer Gesellschaftsflugmaschinen spricht, das ist die Gefahr, welche der Wind ihnen bringt.

Wenn eine Flugmaschine brauchbar sein soll, so darf vor allem der geringste Wind sie nicht zerstören. Wie ungestüm aber auch schon schwächere Winde mit kleineren Flächen umgehen, das merkt man am besten, wenn man auf offenem Wagen fahrend ein Zeitungsblatt umwenden will. Die Handhabung einer solchen kleinen Fläche macht uns schon Mühe, und nun denke man dieselbe hundertfach vergrössert, dann hat man erst die Flügelfläche für einen einzigen Menschen. Dass auf diese Umstände so wenig Gewicht gelegt wird, beweisst so recht deutlich, dass die meisten Flugtechniker ihre Ideen in der Stube entstehen lassen.

Bei zweckmässiger Bauart und gehöriger Uebung kann nun ein Mann die für ihn ausreichende Tragfläche im Winde gerade noch regieren. Wie aber grössere Flugmaschinen im stärkeren Luftzug gebändigt werden sollen, vermag ich mir nicht vorzustellen. Die Kraft eines Menschen ist Null und nichtig, und die Anwendung mehrerer Menschen ist durch den Willen eines Mannes schwerlich so zu regeln, das Alle gleichzeitig die richtigen Bewegungen machen, um die passende Einstellung der Flächen gegen den sich beständig ändernden Wind zu veranlassen, zumal es hierbei oft auf einen einzigen Centimeter ankommt. Die geringste Abweichung von der zum Winde passenden Stellung, und der ganze Bau mit sammt den Mannschaften, welche sich mit ihm herumbalgen, liegt auf der Seite und zerbricht wie Rohr. Ist es mir doch schon vorgekommen, dass wir plötzlich bei stark auffrischendem Winde zu Dreien kaum die Tragfläche für einen Mensch so fest halten konnten, dass der Wind sie unzerstört lassen musste.

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal
MUSEUM

Aus allen diesen Gründen wird das sogenannte Luftschiff, das man sich so gern mit zahlreichen Passagieren dahinfliegend vorstellt, wohl leider nur ein Phantasiegebilde bleiben müssen, es sei denn, dass bisher ungeahnte physikalische Hülfsquellen uns erschlossen würden. Der Flug des einzelnen Menschen aber scheint bereits durch die gegenwärtig verfügbaren mechanischen Mittel verwirklicht werden zu können. Der Satz: „Was im Kleinen gelingt, gelingt auch im Grossen", gilt hier nicht. Jedenfalls aber gelingt der Flug im kleinen Massstabe leichter und wenn erst ein einziger Mensch wirklich fliegen kann, wenn reichlich praktische Erfahrungen über den Einzelflug vorliegen, ist immer noch Zeit genug, die Gesellschaftsflugmaschine näher ins Auge zu fassen.

Das Naheliegendste hiernach ist, die Möglichlichkeit des mechanischen Fluges an kleineren Apparaten zu constatiren.

Wenn wir nun aber kleinere Modelle fliegen lassen wollen, so hält es wieder schwer, einen stabilen Flug zu erzielen. Es ist nicht möglich, die Schwerpunkstlage mechanisch so zu regeln, dass längere Strecken durchflogen werden können. Entweder kippt der Apparat nach hinten oder nach vorn und verhindert die Beobachtung längerer Flüge.

Anders ist es, wenn man selbst im Flugapparat sich befindet. Man kann dann ununterbrochen durch die Schwerpunktslage die Flugrichtung festhalten; man kann, wie meine Versuche zeigten, durch Uebung den Flug lenken und reguliren.

Hatten wir nun vorhin die Grenze in der Grösse der Flugmaschinen nach oben darin gefunden, dass zunächst nur ein einzelner Mensch zum Fliegen gelangen könne, so haben wir jetzt auch dieselbe Grenze nach unten festgestellt, dass eine Flugmaschine mindestens so gross sein müsse, um einen Menschen tragen zu können. In beiden Fällen also ergiebt sich der Einzelflug als das logisch richtige, zunächst zu erstrebende Ziel.

Vom grössten fliegenden Vogel giebt es weiter keinen Uebergang zum fliegenden Menschen. Die von der Natur innegehaltene stetige Gewichtszunahme von den ganz kleinen fliegenden Insecten bis zum schwersten fliegenden Vogel findet hierüber hinaus keine stetige Fortsetzung, sondern sie muss einen Sprung bis zum fliegenden Menschen machen. Es muss uns interessiren, wie gross die dadurch gebildete Lücke in der Gewichtszunahme der Flugkörper sich einstellt, wir müssen wissen, wie die Gewichte des schwersten fliegenden Vogels zum Gewicht des fliegenden Menschen sich zu einander verhalten, um festzustellen, um wieviel wir die Leistung der Natur zu überschreiten gezwungen sind. Es handelt sich hierbei um das grösste von natürlichen Flügeln durch die Luft getragene Gewicht.

Nach den von mir im Zoologischen Garten zu Berlin unter freundlichem Entgegenkommen seines Leiters, des Herrn Dr. Heck, vorgenommenen Wägungen scheinen die Condore die schwersten fliegenden Vögel zu sein. Der schwerste von ihnen wiegt 27 Pfund. Es ist dies ein altes, seit

Digitalisat aus dem Archiv des
Otto Lilienthal MUSEUM

40 Jahren in der Gefangenschaft lebendes Männchen. Obwohl nun anzunehmen ist, dass dieser zur Unthätigkeit verdammte Vogel abnormen Fettansatz besitzt, so dürfte die Natur doch vielleicht noch einzelne stärkere Exemplare aufweisen, und man greift wohl kaum zu hoch, wenn man das Gewicht der Condore bis zu 35 Pfund steigend annimmt.

Die Raubvögel sind aber auch fähig, noch erhebliche Beute mit sich zu tragen. Es ist bekannt, dass der kleine Sperber mit Tauben, welche fast so viel wiegen, wie er selbst, davonfliegt. Brehm stellt fest, dass der Bartgeier 15 Pfund schwere Lämmer davon zu tragen vermag. Der Bartgeier ist aber viel kleiner als der Condor und der letztere dürfte demnach ebenfalls 15 Pfund oder noch mehr zu tragen vermögen. Hiernach läge nun zwischen 50 und 60 Pfund das grösste Gewicht, welches jemals mit Vogelflügeln frei durch die Luft sich bewegte.

Obwohl nun der Mensch dreimal soviel wiegt, als diese schwersten natürlichen Flugkörper, so ist dies dennoch kein so gewaltiger Unterschied, dass man deshalb ohne weiteres an der Möglichkeit des Menschenfluges verzweifeln müsste, und es verlohnt sich wohl der Mühe, jetzt, nachdem der Ballon zur Erreichung des freien Fluges als ungeeignet sich erwiesen hat, auf den uns von der Natur vorgezeichneten Wegen die Lösung der Flugfrage anzustreben.

Sonderabdruck aus Nr. 6 der Zeitschrift für Luftschiffahrt und Physik der Atmosphäre. Juni 1894.