

Die Tragfähigkeit gewölbter Flächen beim praktischen Segelfluge.

Von Otto Lilienthal.

Es ist das dritte Mal, dass ich in dieser Zeitschrift einen Jahresbericht über meine persönlichen Schwebeflüge bringen kann, und zwar stehe ich dieses Mal am Abschluss einer Versuchsperiode, während welcher ich mir die Aufgabe gestellt hatte, aus gewölbten Tragflächen bestehende Apparate zu construiren, mit denen man von erhöhten Punkten möglichst weit, also unter möglichst schwacher Neigung stabil und gefahrlos bei mittelstarken Winden durch die Luft dahinsieghen kann.

Es sei mir gestattet, bei dieser Gelegenheit, wo der künstliche gewölbte Flügel vielleicht zum ersten Mal zu einer Art wirklichen Fluges Verwendung findet, auf die Einführung dieses wichtigen Elementes in die Flugtechnik zurückzugreifen.

Als ich vor vier Jahren die von mir in Gemeinschaft mit meinem Bruder veranstalteten langjährigen Versuche über die Tragfähigkeit gewölbter Flügel beendete und die gewonnenen Resultate in meinem Werke „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“ der Oeffentlichkeit übergab, war damit eine bis dahin neue und alle Erscheinungen des Vogelfluges in gewissem Grade erklärende Theorie des Fliegens ebenfalls zum Abschlusse gelangt. Die Neuheit der Einführung des Rechenmaterials über gewölbte Tragflächen und die überraschenden Erscheinungen bei unseren Experimenten gaben die Veranlassung, nicht früher damit in die Oeffentlichkeit zu treten, als bis durch zahlreich wiederholte Versuche für uns jeder Zweifel und jede Täuschung ausgeschlossen erschien.

Man hat mir nun in Heft 6 des vorigen Jahrganges dieser Zeitschrift vorgeworfen, es wäre Unrecht von mir gewesen, mit diesen Entdeckungen so lange hinter dem Berge zu halten. Gleich nach der ersten Auffindung der neuen Luftwiderstandsgesetze vor länger als 20 Jahren hätte ich damit an die Oeffentlichkeit treten müssen. Während ich dem Luftballon eine Verzögerung in der Entwicklung des Flugproblems um viele Jahrzehnte anhängig mache, hätte ich möglicherweise selbst die Lösung der Luftschiffahrtsfrage durch mein Schweigen um weitere zwei Jahrzehnte hinausgeschoben.

So schmeichelhaft es auch für mich ist, den von mir vertretenen neuen Entdeckungen eine so grosse Tragweite für das Schicksal der Flugfrage beigemessen zu sehen, so will ich doch nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, dass durch diese Arbeiten nur die Theorie des Fluges auf etwas

gesündere Füsse gestellt wurde, dass aber bis zur vollen Reife des Problems noch ganz andere, sehr wichtige Fragen zu erledigen sind. Das Bewusstsein allein, dass durch die Flügelwölbung tragende Kräfte geweckt werden, welche ein mit weniger Anstrengung verbundenes Schweben gestatten, ist noch lange keine Erfindung des Fliegens. Die erfolgreiche Uebertragung dieser wichtigen Luftwiderstandserscheinung in die Praxis wird noch eine grosse Summe von Scharfsinn erfordern. Um mit Flugapparaten dauernd die Ueberhand über den Wind zu behalten und eine segensreiche Nutzbarmachung jener vortheilhaften Tragwirkungen herbeizuführen, dafür kann noch mancher Techniker sein Talent in die Waage werfen; denn das noch vor uns liegende Arbeitsfeld ist kein geringes.

Die weite Hinausschiebung der Veröffentlichung unserer flugtechnischen Entdeckungen war nichts weiter als die natürliche Folge der begleitenden Umstände. Als wir bereits jede Stunde unserer freien Zeit der Flugfrage widmeten und schon den Gesetzen auf der Spur waren, welche das Problem von seinem Alp befreien sollten, hielt man in Deutschland meistens noch jeden Menschen, welcher sich mit dieser brodlosen Kunst beschäftigte, für einen Narren. Das war schon Grund genug, um nicht unnöthiges Aufsehen mit solchen Arbeiten zu machen. Der vornehmste Vertreter des mathematischen Lehrstuhles an der Berliner Gewerbeakademie in den sechziger Jahren hörte von einem meiner Commilitonen, dass ich — man hatte mir schon damals einen entsprechenden Scherznamen beigelegt — mich mit flugtechnischen Arbeiten beschäftigte. Der Professor liess mir sagen, es könne ja nicht schaden, wenn ich mir mit solchen Berechnungen die Zeit vertriebe, ich möchte aber um Himmelswillen kein Geld für solche Sachen ausgeben. Der Professor wusste nämlich nicht, dass das Letztere sich ganz von selbst verbot.

Man hatte damals von Staatswegen durch eine besondere gelehrte Commission gerade feststellen lassen, dass der Mensch ein für alle Mal nicht fliegen könne, wodurch natürlich die Stimmung für das Flugproblem auch gerade nicht sehr gehoben wurde. Auch später war das Interesse für die Flugfrage noch erheblich geringer als heutigen Tages. Deutsche Vereine zur Förderung der Luftschiffahrt existirten noch garnicht, und als sie sich bildeten, nahm zunächst der Luftballon, den ich von jeher als Hemmschuh für die Entwicklung des freien Fluges betrachtete, das ganze Interesse für sich in Anspruch, sodass ich es vor der Hand nicht für rathsam hielt, einem solchen Vereine beizutreten. Nachdem dieses aber geschehen, als auch die Aviatik in dem Verein ihre Vertreter fand, nahm ich bald Veranlassung, in einem Cyclus von Vorträgen Mittheilung über unsere Versuchsergebnisse zu machen, denen dann auch bald die Herausgabe meines Werkes folgte.

Heute, wo die Diagramme klar und übersichtlich vorliegen, erscheint es so einfach und natürlich, den Vogelflug zu erklären, wo doch sonst jede

vorüberfliegende Krähe uns das Räthsel ihrer langsamen Flügelschläge aufgeben konnte. Auch ist es heute ein Leichtes, bei Untersuchungen über den Luftwiderstand statt ebener Platten vogelflügelförmig gekrümmte Flächen zu nehmen und alle jene wunderbaren Effecte hintereinander zu entwickeln, deren erste Auffindung denn doch nicht ganz so einfach und selbstverständlich war, als man hinterher anzunehmen geneigt sein könnte. Wieviel Mühe und Zeitaufwand es verursachte, ohne irgend welchen Anhalt, einzig und allein gestützt auf die logischen Consequenzen des Vogel- fluges, schliesslich die ganz schwache Flügelwölbung, die auch namhafte Forscher sogar heutigen Tages noch nicht sehen wollen, als das eigentliche Geheimniss des Fliegens blozulegen, wird der Einsichtige demnach beurtheilen können. Hierzu kam, dass wir als junge, vollkommen unbemittelte Leute uns so zu sagen am Frühstück pfennigweise die Mittel absparen mussten, um unsere Experimente durchführen zu können, während wir zeitweise durch den Kampf ums Dasein sogar gänzlich an unseren flugtechnischen Arbeiten verhindert wurden. Wir wären überhaupt garnicht in der Lage gewesen, eine gute Herausgabe unserer Errungenschaften bewirken zu können. Hat es mir doch noch zuguterletzt grössere Schwierigkeiten bereitet, einen Verleger für meine Veröffentlichungen zu — suchen.

Wenn die späte Herausgabe meines Werkes somit auch ohne besondere Absicht geschah, so lieferte mir die Stellungnahme einiger Forscher für die Folge dennoch den Beweis, dass uns die Freude an den eigenen Arbeiten doch vielleicht hätte etwas verkümmert werden können, wenn eine Veröffentlichung früher erfolgt wäre, als bis das gesammte Material in abgerundeter Form vorlag.

Ich muss nun allerdings gestehen, dass uns, die wir die ebenen Flügel schon seit zwei Jahrzehnten an den Nagel gehängt hatten, das starre Festhalten aller Flugtechniker am Aëroplan und an den aussichtslosen Berechnungen mit Widerständen ebener Flächen, welche uns während dieser Zeit zu Gesicht kamen, fast unbegreiflich erschien. Aber quält man sich nicht bis zur Stunde noch allerorten mit ebenen Flügeln herum, unternimmt nicht die Mehrzahl der Flugtechniker noch heute die Danaidenarbeit, mit ebenen Apparaten fliegen zu wollen?

Unsere Erwartung, dass nach Veröffentlichung unserer Resultate, welche doch die Behandlung des Flugproblems in ganz anderem Lichte erscheinen lassen mussten, sehr bald Proben auf die Richtigkeit der von uns angebahnten neuen, Gesetze gemacht werden würden, hat sich insofern nicht erfüllt, als unsere Ergebnisse bis auf die neuere Zeit vereinzelt da- standen und erst jetzt durch die neueren Arbeiten von Wellner und Phil- lips eine Bestätigung fanden. Der ebene Flügel scheint aber dennoch nicht so bald von der Bildfläche verschwinden zu sollen. Als es bekannt wurde, dass Seitens der französischen Regierung die Mittel zur Vornahme von Luftwiderstandsversuchen gewährt seien, suchte ich den Vorsitzenden der

betreffenden Commission zu bewegen, bei diesen Untersuchungen nicht blos ebene Platten, sondern auch gekrümmte Flächen zu berücksichtigen, indem ich ihm ein Exemplar meines Werkes übersandte und an der Hand meiner Diagramme auf die vortheilhaften Widerstandserscheinungen am gewölbten Flügel hinwies.

Herr Hureau de Villeneuve bedankte sich darauf für das erhaltene Buch, erklärte dasselbe für sehr interessant, lehnte jedoch seine Verwendung für die Berücksichtigung hohler Versuchsfächen ab. Seine Gründe hierfür lauten in wörtlicher Uebersetzung: „Ich betrachte die Flügel vor allen Dingen als Treiborgane für grosse Geschwindigkeit, und wenn diese Geschwindigkeit erhalten ist, so kann man die zum Tragen nothwendige Kraft vernachlässigen. Dieses habe ich gezeigt, indem ich mechanische Vögel mit ungewölbten Flügeln construirte, welche sehr schnell fliegen und sich sehr gut schwebend halten. Ich bemühe mich, die Flügel so eben zu machen als ich kann, denn je ebener die Flügel sind, desto mehr Geschwindigkeit erhält man.“

Nach dieser Aeusserung scheint vorläufig wenig Aussicht zu sein, dass die unter Beihülfe der französischen Regierung im Interesse der Aëronautik veranstalteten Versuche der Flugtechnik wesentlichen Nutzen gewähren werden. Ebenso ist es lebhaft zu bedauern, dass die mit so viel Mühe und Kosten veranstalteten umfangreichen Versuche des Professor L'anglely sich auch nur auf die Widerstände ebener Flächen erstrecken, für welche schon längst Resultate vorhanden sind, die für alle in der Praxis vorkommenden Fälle ausreichen.

Von deutschen und österreichischen Flugtechnikern wurde allerdings seit Veröffentlichung meines Werkes vielfach die ebene Flügel- und Segelfläche bei Seite gelegt und dafür die Flügelwölbung eingeführt. Freilich geschah dieses meist nur auf dem Papier, bei Projecten und flugtechnischen Aufsätzen. Um so mehr hattè ich also selbst Veranlassung, die Theorie in die Praxis zu übertragen und die Resultate der elementaren Versuche entsprechend zu verwerthen. In meinem langjährigen Umgang mit der Luft und dem Winde hatte ich bereits die Erfahrung gemacht, dass jetzt eine ganz besondere Kategorie von Schwierigkeiten zu überwinden sein werde. Bei den Proben mit Tretflügeln, beim Bau von Dampfflugmaschinen, bei den Versuchen mit mechanischen Vögeln aller Art lernte ich kennen, wie schwer es ist, in der Luft eine stabile Lage zu behaupten und die Launen des Windes unschädlich zu machen. Ich sah daher zunächst einmal von jeder motorischen Wirkung ab und versuchte die einfachste Form des Fluges, das schräg abwärts geneigte Schweben, praktisch zu erproben, um festzustellen, ob die Möglichkeit eines stabilen Dahinsegelns durch die Luft vorhanden sei, ob man es durch Uebung dahin bringen könne, den Wind, diesen Erzfeind aller Flügelbauer, zu beherrschen, und vor allen Dingen, ob die günstigen Trageverhältnisse gewölbter Flächen sich in der Praxis

bei grossen Menschenflügeln so bewähren, wie es die Messungen bei unseren Elementarversuchen ergaben, bei denen die grösste Fläche doch nur $\frac{1}{2}$ □ m Inhalt hatte,

Es war ferner meine Aufgabe, den praktischen Flügelbau, über welchen ich früher schon so manche Erfahrung gesammelt, weiter auszubilden und sichere und leichte Segelapparate zu construiren, denen auch der in grösseren Höhen Dahinschwebende sich anvertrauen kann. Als Endresultat musste sich ergeben, unter welchen Neigungswinkeln der Segelflug mit und ohne Wind von Statten geht, und welche Schlüsse auf die Flugarbeit im Allgemeinen sich daraus ziehen lassen.

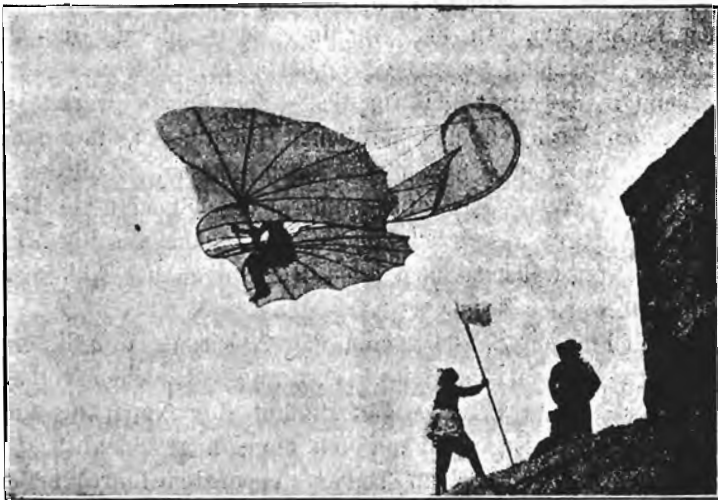
Im Anschluss an meine Berichte aus den Jahren 1891 und 1892 will ich kurz erwähnen, dass ich mir in diesem Frühjahr zunächst eine besondere Fliegestation auf der Maihöhe bei Steglitz errichtete. Der Besitzer jenes Terrains, Herr Seldis, gestattete in liebenswürdigster Weise, dass ich an genanntem Orte einen kleinen Erdabhang zur Vornahme von Segelversuchen umgestaltete. Durch Errichtung eines thurmartigen Schuppens, von dessen Dach ich absegelte, schaffte ich mir eine 10 m hohe Absprungstelle. Der Schuppen dient zur Aufbewahrung meiner Apparate. Die den Schuppen umgebende Erdböschung fällt nach SW, W und NW ab. Das zur Erzielung eines sicheren Anlaufs mit Rasen bedeckte Dach neigt ebenfalls nach diesen Richtungen. In der Annahme, dass hiermit den häufigeren Windrichtungen Rechnung getragen sei, hatte ich mich indessen gründlich getäuscht; denn in der ersten Hälfte dieses Sommers schwankte der Wind fast nur zwischen östlichen und nördlichen Richtungen, und mein Fliegethurm hat fast drei Monate unbenutzt stehen müssen, Auf den Wind ist nun einmal kein Verlass. Ein zu Segelflugübungen geeigneter Hügel muss, wenn man ihn will gut ausnützen können, aus einem allseitig freiliegenden Kegel bestehen, von welchem nach allen Richtungen der Abflug gegen den Wind genommen werden kann.

Die beiden Figuren S. 264 zeigen den Absprung von diesem Thurme sowohl von vorn wie von der Seite. Das zweite Bildchen veranschaulicht auch die früher bereits erklärte Befestigung des Apparates am Körper, welche durch einfaches Ergreifen mit den Händen geschieht.

Als besondere Neuerung an meinen Apparaten führte ich in diesem Jahre die Zusammenlegbarkeit derselben ein. Die Flügel sind aus strahlenförmig gestellten Rippen gebildet und können ähnlich wie ein Fledermausflügel zusammengelegt werden. Ich erzielte hierdurch eine bessere Transportfähigkeit und die Möglichkeit der Aufbewahrung in jedem beliebigen Raume.

Von der grossen Klawerbreite meiner früheren Apparate bin ich nach und nach abgekommen. Die ungleichartige Windstärke und Windrichtung unter dem rechten und linken Flügel ruft häufig eine sehr erhebliche Verschiebung des tragenden Luftdruckes hervor, welche um so schlimmer

wird, je grösser die Klatferbreite der Flügel ist. Letztere nehme ich jetzt niemals über 7 Meter und bin dadurch in der Lage, durch einfache



Schwerpunktsverschiebung in jedem Falle schnell das Gleichgewicht wieder herzustellen.

Die Flügelbreite hat ebenfalls ihre Grenzen. Es muss möglich sein, im Nu den Schwerpunkt soweit von vorn nach hinten zu verlegen, als der Angriffspunkt des tragenden Luftwiderstandes sich bewegen kann. Als hinterste Grenze hierfür gilt der Flächenschwerpunkt des Flügelareals. Wenn man in windstillen Luft mit dem Apparate senkrecht herabfällt, so wirkt derselbe lediglich als Fallschirm. Die Luft trifft ihn senkrecht von

unten und drückt alle Flächentheile gleichmässig. In diese Lage kann der Fliegende kommen, wenn er die durch Vorwärtsfliegen gewonnene lebendige Kraft zum Steigen verwendet, wobei die Geschwindigkeit sich sehr stark vermindert. Ich bin oft genöthigt gewesen, über irgend ein Hinderniss, über einen Baum, über eine Anzahl Menschen, über den mich von vorn aufnehmenden Photographen hinwegzusetzen. Man kommt zwar leicht in die Höhe, gelangt aber oben zur Ruhe, und wenn man dann nicht genügend den Apparat hinten belasten kann, kippt er im Fallen vorn herunter und zerbricht sich an der Erde die Vorderkante.

Die vordere Grenze erreicht die Lage des tragenden Luftdruckes, wenn man beim Fliegen von stärkerem Winde getroffen wird. Alsdann muss man sich ganz nach vorn hineinlegen und auch noch die Beine so weit wie möglich vorstrecken, sonst verliert man ebenfalls seine Geschwindigkeit und wird vom Winde abgetrieben. Die obere Abbildung auf beiliegendem Blatte zeigt eine solche kritische Lage. Ich war bei einem zu 6—7 m Geschwindigkeit von mir geschätzten Winde abgesegelt. Unterwegs steigerte sich der Wind wahrscheinlich bis auf 10 m; denn ich wurde plötzlich so stark angehoben, dass ich höher in der Luft schwebte, als meine Absprungstelle lag. Dann blieb ich mehrere Secunden an dieser Stelle stehen, bis der Wind sich etwas abschwächte, worauf ich wieder vorwärts segelte und langsam abwärts mich bewegte. Um nun dieses Vorrücken und Zurücktreten des tragenden Luftdruckes bequem mit der Schwerpunktslage ausgleichen zu können, ist es rathsam, die Flügelbreite nicht über $2\frac{1}{2}$ m zu nehmen.

Es ergibt sich nun aus diesen Bedingungen ein ziemlich festes Verhältniss für die Flügelform und Flügelgrösse. Bei 7 m Klafferweite und $2\frac{1}{2}$ m Breite erhält man mit Rücksicht auf die Abrundungen an den Spitzen ein Areal von $14 \square$ m, welches auch für das mittlere Gewicht eines Mannes ausreicht.

Solche Flügel wiegen ca. 20 kg, mein Eigengewicht ist 80 kg, also das Gesamtgewicht war gerade 100 kg.

Meinen Hauptübungsplatz habe ich jetzt nach den Rhinower Bergen verlegt, deren ich schon in meinem vorjährigen Berichte erwähnte. Das Terrain ist hier wie zu Flugversuchen geschaffen. Aus den umliegenden flachen Aeckern erhebt sich eine nur mit Gras und Haidekraut bewachsene Hügelkette bis zu 60 m Höhe, nach allen Richtungen geneigte Abhänge darbietend. Die Neigung der Berglehnen schwankt zwischen 10 und 20° und man kann sich je nach Bedarf eine Stelle auswählen, um über derselben in der Luft hinabzugleiten. Als ich in diesem Jahre zum ersten Male an diesen Bergabhängen mein Flugzeug entfaltete, überkam mich freilich ein etwas ängstliches Gefühl, als ich mir sagte: „Von hier oben sollst du nun in das tief da unten liegende, weit ausgedehnte Land hinaussegeln!“ Allein die ersten vorsichtigen Sprünge gaben mir bald das Be-

wusstsein der Sicherheit zurück; denn der Segelflug ging hier ungleich sanfter von statten, als von meinem Fliegethurne. Der Wind bäumte hier nicht so auf, als vor dem letzteren, wo ich jedesmal beim Passiren der Absprangkante einen ungleichmässigen Windstoss von unten empfing, der mir oft verhängnissvoll zu werden drohte.

Man läuft mit gesenkten Flügeln dem Winde bergab entgegen, richtet im geeigneten Augenblick die Tragefläche um Weniges auf, so dass sie annähernd horizontal zu liegen kommt, und sucht nun in der Luft dahin schwebend durch die Schwerpunktslage dem Apparat eine solche Stellung zu geben, dass er schnell dahin schiesst und sich möglichst wenig senkt. Anfänger werden gut thun, eine Berglehne zu wählen, über welcher sie in geringer Höhe dahingleiten. Die erste Regel ist, die Beine gut nach vorn ausgestreckt zu halten, und sich beim Landen mit dem Oberkörper hintenüber zu werfen, so dass der Apparat sich aufrichtet und die Bewegung verlangsamt, wie man dieses an jeder sich setzenden Krähe sehen kann. Das Auffliegen und das Niedersetzen muss stets genau gegen den Wind gerichtet sein. Das verticale, feststehende Steuer sorgt schon dafür, dass in der Ruhe sich der Apparat genau gegen den Wind einstellt. Die liegende Steuerfläche verhindert, dass der Apparat nach vorn sich überschlägt, was gewölbte Flächen sonst gern thun. Beim Landen aber darf das liegende Steuer das schnelle Aufrichten des Apparates nicht hindern, es muss durch den von unten kommenden Luftdruck sich um seine Vorderkante drehend aufrichten können, darf also nur eine Hubbegrenzung nach unten haben.

Besonders zu warnen ist vor folgendem Fehler: Der Uebende schwebt in der Luft und fühlt plötzlich vom Winde sich angehoben, wie gewöhnlich ungleichmässig, beispielsweise der linke Flügel mehr als der rechte. Die schiefe Lage treibt ihn nach rechts hinüber. Unwillkürlich streckt der Neuling nach rechts auch seine Beine aus, weil er den Anprall zur Erde nach rechts voraussieht. Die Folge ist, dass der schon tiefer liegende rechte Flügel noch mehr belastet wird und der Flug schnell nach rechts sich senkt, bis die rechten Flügelspitzen im Erdreich sitzen und zerknicken. Für Leib und Leben ist weniger Gefahr vorhanden; denn der Apparat bildet nach allen Seiten ein wirkungsvolles Prellwerk, welches die Wucht des Stosses abfängt.

Richtig ist es, jederzeit die Beine nach dem gehobenen Flügel auszustrecken und ihn dadurch wieder herunter zu drücken. Es gehört freilich anfänglich etwas Ueberwindung hierzu, man macht aber bald unwillkürlich diese nützliche Bewegung, nachdem man sich überzeugt hat, wie sicher man die Flügel dadurch lenken und vor Zerstörung schützen kann.

Anfänger lassen sich leicht verführen, den Schwung, den ihnen das flotte Abwärtsgleiten giebt, zu einer kühnen Steigung auszubeuten. Nachher vergessen sie aber leicht, dass am Gipfel des aufsteigenden Kurvenastes

der Apparat zunächst nur noch ein Fallschirm ist. Sie legen sich nicht genügend zurück und das kostet dem Flugzeug leicht eine grössere Reparatur.

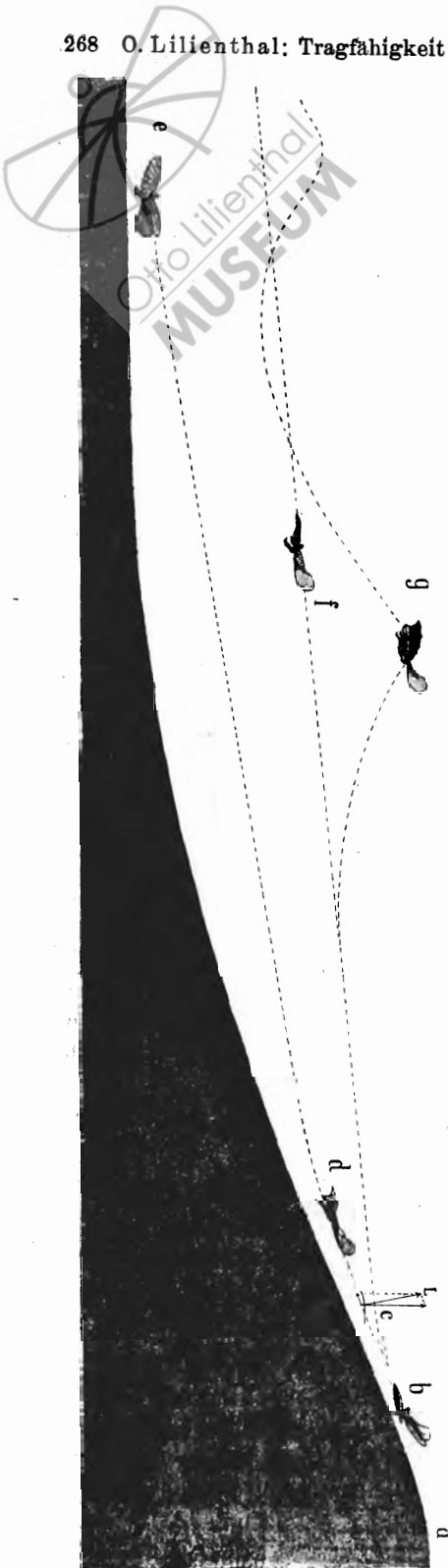
Man unterlasse daher solche Kunststücke so lange, bis die Schwerpunktsregulirung in Fleisch und Blut übergegangen ist, wie das Balanciren beim Zweiradfahrer, und lege vielmehr den Werth darauf, in gleichmässiger und möglichst geringer Neigung vorwärts zu kommen und vor Allem recht elegant zu landen. Selbstverständlich bleibt einem in der Luft nicht lange Zeit, zu überlegen, ob die jeweilige Flügelstellung wohl die richtige sei. Dieses ist lediglich Sache der Uebung und Erfahrung. Nach wenigen Sprüngen fängt aber auch schon das Gefühl an, sich der Situation zu bemächtigen. Ein Bewusstsein der Sicherheit verdrängt die anfängliche Aengstlichkeit. Die besonnene Ruhe verlässt auch schliesslich den in der Luft Schwebenden nicht mehr, während das unbeschreiblich schöne und sanfte Dahingleiten über die weit ausgedehnten sonnigen Bergabhänge den Eifer bei jedem Sprunge von Neuem anfaucht.

Es währt nicht lange, so ist es dem Fliegenden gleichgültig, ob er 2 m oder 20 m über dem Erdboden dahinschwebt, er fühlt ja, wie sicher die Luft ihn trägt, auch wenn er die kleinen Menschen dort unten staunend zu ihm hinaufblicken sieht. Bald setzt man über haushohe Schluchten hinweg und streicht mehrere hundert Meter ohne alle Gefahr durch die Luft dahin, den Wind in jedem Augenblicke erfolgreich parirend.

Nachdem sich bei dem geraden Fluge gegen den Wind eine grössere Sicherheit eingestellt hat, versucht man unwillkürlich zuerst ganz wenig und dann mehr und mehr die Flugbahn nach rechts und links abzulenken. Eine geringe Verlegung des Schwerpunktes nach einer Seite veranlasst sofort eine geringe Schrägstellung der Tragfläche, wobei der hebende Luftdruck sich ebenfalls nach dieser Seite neigt und die Flugrichtung seitlich abschwenkt. Es giebt nichts Einfacheres als die Lenkung von Flugmaschinen. Man darf aber hierbei nicht vergessen, dass das Landen stets gegen den Wind gerichtet geschehen muss.

Auf der unteren Abbildung des beiliegenden Blattes, einem sehr hohen und weiten Fluge, hatte ich die Ablenkung aus der geraden Flugrichtung so weit getrieben, dass ich jeweilig fast in entgegengesetzter Richtung flog. Von dem rechts gelegenen Berge kommend, drehte ich gerade im Moment der photographischen Aufnahme der Ebene fast den Rücken zu.

Vor der Hand scheint es mir nicht rathsam, den Körper in eine gestreckte Lage zu bringen, weil die Beine zum Laufen, Springen, Lenken und Landen jederzeit bereit sein müssen. Später wird man vielleicht hierzu übergehen können, nachdem noch wesentliche Vervollkommnungen der Apparate gemacht worden sind. Natürlich wäre dies für das leichtere Durchschneiden der Luft und für die Ersparung an Flugarbeit sehr einflussreich.



In nebenstehender Figur sind einige Fluglinien zur Darstellung gebracht. Die punktirte Linie *de* zeigt einen Segelflug bei Windstille. Auf der Spitze des Berges beginnt der Anlauf bei *a* und zwar mit gesenkten Flügeln möglichst schnell. Je steiler der Berg, desto besser. Dann hebt man bei *b* die Flügel vorn ganz wenig an und sucht mit vorgestreckten Beinen so dicht wie möglich über dem Boden dahin zu gleiten. Bei *c* ist gezeigt, wie hierbei der Luftwiderstand *L* hebend und zugleich vorwärts treibend wirkt. Bald hat die Geschwindigkeit so weit zugenommen, dass man bei *d* in eine flachere Neigung übergehen kann. Unter einer Neigung der Fluglinie von $9-10^\circ$ nähert man sich dem Thale und hebt nur im letzten Momente bei *e* die Flügel vorn stark an, indem man den Oberkörper nach hinten legt. Der plötzlich stark von vorn auftretende Luftdruck hemmt die Bewegung und man kommt ohne Stoss auf die Füße zu stehen, als hätte man ohne Flügel einen Sprung von der Höhe eines Stuhles herab gemacht.

Bei Wind ist die Bewegung eine noch viel sanftere. Der Flug gegen den Wind ist unter allen Umständen ein langsamerer, da es nur auf die relative Luftbewegung zum Apparate ankommt. Als Merkmal für die relative Geschwindigkeit des Fliegenden gegen die Luft gilt der Wind, den man im Gesicht verspürt. Sehr praktisch wäre auch eine kleine Zeigevorrichtung vorn am Apparate, auf welcher man beständig die relative Luftbewegung ablesen könnte. Dieselbe dürfte aber den Widerstand nicht nennenswerth vergrößern.

Wird man schon durch den Wind zu allerhand aussergewöhnlichen Ma-

növern gezwungen, so bietet derselbe auch Gelegenheit, den eigentlichen Werth des Segelfluges und seine Tragweite zu erkennen. Nach unseren Messungen an gewölbten Flächen in windiger Luft bei unseren Elementarversuchen lässt sich der dauernde Segelflug ohne weiteres erklären. Bei richtiger Form und Stellung der Flügel braucht der Wind nur die erforderliche Stärke zu erreichen, um den Segelnden am Sinken zu verhindern. Schon bei schwachen Winden von 4—5 m Geschwindigkeit kann man nach etwas Uebung in der geringen Neigung von 6—8° dahingleiten, wie in der Linie *b f* angegeben.

Die grössten Windgeschwindigkeiten, bei denen ich den Abflug noch wagte, werden 7—8 m betragen haben. Bei diesen Flügen hatte ich aber in der Luft oft einen, wenn auch nicht gefährlichen, so doch meist sehr interessanten Kampf mit dem Winde zu bestehen, wobei ich zuweilen zum Stillstand kam und mehrere Secunden an einem Punkte in der Luft schwebte, fast gerade so wie die Falken der Rhinower Berge es vermochten. Zuweilen wurde ich aus einer solchen Ruhelage plötzlich noch um viele Meter senkrecht angehoben, dass mir manchmal Angst und Bange wurde, der Wind möchte mich ganz und gar entführen. Da ich mich jedoch nur in solche Luft hinaus wagte, bei welcher diese Windstösse zu den Ausnahmen gehörten, so konnte ich stets meinen Flug weiter fortsetzen und glücklich landen. Die Linie *b g* zeigt einen durch Windstösse herbeigeführten Wellenflug, bei welchem ich bis zur Höhe meines Abfliegepunktes angehoben wurde.

In Sonderheit muss ich feststellen, dass meine Segelresultate in guter Uebereinstimmung mit meinen Elementarversuchen über die Widerstände gewölbter Flächen sich befinden. In Windstille segelt man bei gut eingeübter Flügelstellung unter 9° Neigung abwärts. Die Flügel sind, wie die Beobachtung lehrt, dabei annähernd horizontal gerichtet. Nach meinen Diagrammen Tafel VII*) wäre der tragende Luftwiderstand 80% von dem Widerstand der normal getroffenen Fläche. Die Flugeschwindigkeit bei Windstille wurde zu ca. 9 m gemessen. Bei 14 □ m Tragfläche ergibt sich hiernach eine Hebewirkung von

$$0,8 \cdot 0,13 \cdot 14 \cdot 9^2 = 118 \text{ kg,}$$

während nur 100 kg erforderlich sind.

Nach dem Diagramme auf Tafel VI liegt der Widerstand der unter 9° getroffenen Fläche um 3° vor der Normalen zur Flächensehne. Die ziehende Wirkung des Luftwiderstandes beträgt daher:

$$100 \cdot \sin 3^\circ = 5 \text{ kg.}$$

Diese wird verwendet, um die Querschnitte des Körpers und der Gestelltheile mit 9 m Geschwindigkeit durch die Luft zu ziehen und würde passen für eine Fläche *F*, welche sich nach der Gleichung:

*) Lilienthal: „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst.“

$$5 = 0,13 \cdot F \cdot 9^2$$

entwickelt, und aus welcher folgt:

$$F = 0,5 \square \text{ m,}$$

was mit der Wirklichkeit auch gut übereinstimmt,

In mittelstarkem Winde kann der geübte Segler erfahrungsmässig auf weite Strecken unter einer Neigung von 6° dahinschweben. Die Fahrgeschwindigkeit ist hierbei etwa 5 m pro Secunde. Man muss annehmen, dass der gegen den Berg anströmende Wind eine aussergewöhnliche Steigung annimmt. Da ich jedoch auch an verhältnissmässig schmalen Berg Rücken, wo der Wind seitlich leicht ausweichen konnte, dasselbe Resultat erhielt, und auch in grösserer Entfernung vor dem Berge die Flugneigung innegehalten werden konnte, so muss wenigstens ein ähnliches Ergebniss auch bei weiter fortgesetztem Fluge eintreten.

Es scheint mir selbstverständlich, dass durch weitere Verfeinerung im Bau der Apparate und durch noch grösseres Vertrautwerden mit denselben noch günstigere Resultate sich werden erzielen lassen, dass sogar auch das dauernde Segeln in stärkerem Winde geübt werden kann. Sehen wir jedoch von dieser äussersten Grenze der Anstrengungslosigkeit ab, so geben uns die gewonnenen Resultate immerhin schon einen Anhalt für die noch aufzubietende Arbeitsleistung, wenn bei den obwaltenden Umständen der Flug durch mechanische Mittel horizontal weiter geführt werden soll.

Selten hat der Wind weniger als 4—5 m Geschwindigkeit. Das Segeln gegen diesen Wind geschieht mit einer secundlichen Senkung von:

$$5 \cdot \sin 6^\circ = 0,5 \text{ m}$$

Sieht man nun von allen Nebenumständen ab, so ergibt sich bei meinem Apparate eine Arbeit von $100 \cdot 0,5 = 50 \text{ kgm}$, und zwar für den rein ideellen Fall, bei welchem die Flügel in der Segellinie sich gleichmässig abwärts bewegen und ohne Zeitverlust gehoben werden. Die Gewichtszunahme durch einen Motor macht aber die Arbeit grösser, desgleichen die während des Flügelaufschlages verminderte Hebewirkung. Eine Dampfmaschine, welche ich zum Bewegen der Flügel für meine demnächstigen Versuche bereits vollendete, wiegt für halbstündige Arbeitsdauer eingerichtet bei einer Leistung von 2 HP mit allen Nebentheilen 20 kg. Hierdurch vermehrt sich die Leistung auf 60 kgm pro Sec. Wenn nun aber die in einzelne Schwungfedern auslaufenden Flügelspitzen sich auf und nieder bewegen, so entstehen dadurch einmal vortheilhaftere Neigungswinkel der Flächenbewegung und zweitens tritt ein Zuwachs der Tragwirkung durch die Schlagbewegung ein, welches beides sparend auf die Arbeitsleistung einwirkt. Hiernach erscheint es möglich, durch den in Rede stehenden Motor den Horizontalflug zu erzielen, obgleich durch die aufrechte Körperhaltung die Flugverhältnisse keine günstigen sind.

Natürlich wird es wieder besonderer Uebung bedürfen, um eine solche mit den Flügeln schlagende Flugmaschine eben so sicher zu dirigiren, als

die einfachen Segelapparate. Zu diesem Behufe werde ich zunächst den neuen Apparat mit stillgehaltenen Flügeln als einfachen Segelapparat verwenden, und wenn ich hierbei wieder vollkommene Sicherheit erlangt habe, werde ich die Flügelspitzen mit den Schwungfedern zunächst nur ganz kleine Hübe machen lassen, die mit fortschreitender Uebung erst nach und nach zum ganzen Ausschlag sich vergrössern.

Auf diese Weise von dem Segelflug schrittweise zum Ruderflug übergehend dürfte sich die Flugdauer und die Länge der durchflogenen Strecken wenigstens noch erheblich vergrössern lassen, sodass man es wagen darf, auch längere Zeit mit dem Winde zu fliegen und zu kreisenden Bewegungen überzugehen,

Bei meinen Versuchen hat sich nun noch das allgemeine Ergebniss herausgestellt, dass bei so grossen Trageflächen, wie ich dieselben zum Fliegen anwendete, die Flügelwölbung geringer sein muss, als meine Elementarversuche ergaben.

Wenn auch bei kleineren Flächen unter 1 □m Inhalt die Wölbungstiefe von $\frac{1}{12}$ der Flügelbreite die besten Widerstandsverhältnisse gab, so zeigten sich schliesslich die besten Tragwirkungen bei Flügeln von 14 □m, wenn die Wölbungstiefe $\frac{1}{15} - \frac{1}{20}$ der Flügelbreite betrug. Ich habe die Flügelprofile oft geändert, um mir hierüber Gewissheit zu verschaffen. Meine Apparate sind besonders vorgerichtet, um dies zu gestatten.

Es ist in letzter Zeit wiederholt der parabolische Flügelquerschnitt betont worden. Selbstverständlich ist die Wurflinie die natürliche Form zur sinngemässen Ablenkung des Luftstromes unter den Flügeln. Scheinbar aber sind die zur Darstellung gelangten Profilzeichnungen mehr nach Gutdünken geformt; denn wenn man das hier zur Anwendung kommende halbe Scheitelstück der Parabel wirklich construirt, so findet man eine so geringe Abweichung von der Kreislinie, dass es sich kaum lohnt, darauf Rücksicht zu nehmen. Dem gegenüber sieht man in den Skizzen den vorderen Theil der Wölbung wesentlich mehr gekrümmt als den hinteren, wahrscheinlich, um die nach vorn gerichtete Neigung des Luftdruckes damit zu erklären. Es steht ja auch nichts im Wege, von der gewöhnlichen Parabel zweiter Ordnung abzuweichen und eine Parabel höherer Ordnung dafür zu wählen, welche steiler ansteigt und flacher verläuft. Auch ich habe in den drei Jahren, während welcher ich diese praktischen Versuche anstellte, solche Profile beim Segelfluge mehrfach probiert, doch kann ich nach meinen Erfahrungen nur davor warnen, die Tragefläche vorn zu steil ansteigen zu lassen, damit dieselbe nicht den so gefährlichen Oberdruck erhält. Ich halte dafür, dass man bei der gewöhnlichen Parabel bleibt, auch wenn dieselbe sich mit der Kreislinie fast deckt.

Zum Schluss will ich nicht verfehlen, den Wunsch auszusprechen, dass meine Veröffentlichung die Anregung geben möge, dass auch andererseits das Flugproblem praktisch in die Hand genommen wird. Ich vertrete

immerhin nur eine bestimmte Richtung, eine Richtung, welche mich so sehr zur Nachbildung des Vogelfluges geführt hat, dass sich dafür bereits der Ausdruck „Nachäffen“ vorfindet. Solche Auffassung kann mich jedoch in dem eingeschlagenen Wege nicht irre machen, da ich das Princip des Vogelfluges nicht deshalb nachbilde, weil es gerade als Vorbild vorhanden ist, sondern weil alle seine einzelnen Bestandtheile so logisch richtig und mit so auffallenden Vortheilen verknüpft sind, wie kein anderes Princip sie ersetzen könnte.

Die einzige Methode, welche meines Erachtens nach in gewissem Grade die Vortheile des Flügelschlages zu bieten im Stande wäre, sind die hebenden und gleichzeitig vorwärtstreibenden Luftschrauben. Ich drückte bereits meine Meinung dahin aus, dass mit derartigen, sinnreich ausgeführten Einrichtungen sich vielleicht auch recht vortheilhafte Resultate erzielen liessen. Den Ausschlag kann allein die Praxis geben, man muss versuchen, was Luft und Wind dazu sagen, und deshalb wäre es wünschenswerth, einige der bis jetzt hierin aufgetauchten Ideen in die Wirklichkeit übertragen zu sehen, damit des unfruchtbaren Streites schliesslich ein Ende wird.