



Ueber die Mechanik im Dienste der Flugtechnik.

Von O. Lilienthal.

Unter Flugtechnik soll hier dieser Begriff im engeren Sinne verstanden sein, d. h. die Beschäftigung mit dem dynamischen Fluge.

Das auf den Gesetzen der Aërostatik beruhende Ballonwesen befindet sich seitens der Mechanik in ungleich bequemerer Lage. Bei diesen handelt es sich mit Rücksicht auf das Gehobenbleiben in der Luft lediglich um den Ausgleich zweier Kräfte. Die Schwerkraft zieht den Ballon nach unten, der Auftrieb des eingeschlossenen leichten Gases zieht den Ballon nach oben. Ueberwiegt die Hebekraft des Gases, so steigt der Ballon, überwiegt das Gewicht der Ballonmasse, so sinkt der Ballon, halten beide Kräfte sich das Gleichgewicht, so schwebt der Ballon. Ein einfacheres Verhältniss ist gar nicht denkbar.

Ganz anders sieht es aber aus mit dem Eingriff der Mechanik bei der Beurtheilung des Fluges ohne Ballon.

Die wirklich frei liegenden Körper, und als solche kennen wir ausser den vom Winde getragenen Sommerfäden und befiederten Samen nur die fliegenden Thiere, werden nicht aërostatisch durch die Luft getragen, sondern diese

Thierkörper sind viele hundert mal schwerer, als die verdrängte Luftmasse und bedürfen zu ihrem Fluge unter allen Umständen aërodynamischer Wirkungen.

Es kommt hier nun nicht darauf an, über die Flugtheorie im besonderen, noch über die Mechanik des Luftwiderstandes zu sprechen, sondern es handelt sich darum, einige Fundamentalanschauungen über die Fliegemechanik klarzustellen, über welche nicht bloß bei Laien, sondern auch in Fachkreisen vielfach irrige Ansichten herrschen.

Der mechanische Grundgedanke des dynamischen Fluges ist zunächst auch nicht complicirter als beim Aërostaten. Auch beim dynamischen Flugkörper muss eine hebende Kraft in Wirkung treten, welche das nach unten ziehende Gewicht aufhebt oder für den Flug unschädlich macht. Hier wird aber die hebende Kraft nicht nach Cubikmetern eines leichten Gases gemessen, sondern diese hebende Kraft muss beständig durch Flügelschläge neu erzeugt werden. Dadurch kommt aber ein neues Moment in die Rechnung hinein, und zwar die Kraftanstrengung, die Arbeit, welche zu diesen Flügelschlägen erforderlich ist.

An dieser Arbeit hat sich nun der Scharfsinn der Flugtechniker mit sehr verschiedenem, nicht immer glücklichem Erfolge erprobt.

Flugarbeit und Schwebearbeit sind die beiden Schlagwörter, die allein schon eine ganze Litteratur heraufbeschworen haben, aber eine Litteratur, in der es leider von Irrthümern und mechanischen Trugschlüssen wimmelt, die zwar oft von sachverständiger Seite widerlegt aber fast noch öfter durch andere Irrthümer übertrumpft wurden.

Die unerquicklichsten Streitschriften flugtechnischer Heisssporne vermehrten die Fachlitteratur um eine Unzahl unfruchtbarer Gedanken. Unwissenheit, Rechthaberei und Dünkel verliehen der ganzen flugtechnischen Litteratur einen unvortheilhaften Charakter und schädigten dadurch das Problem, anstatt es zu fördern.

Zum Ueberfluss trieb daneben der Laie seine Gefühlsmechanik und suchte sich die Flugvorgänge auf seine Art zu erklären. Natürlich musste dies Alles gedruckt werden.

Ein Haupttummelplatz für diesen Meinungsaustrausch ist selbstverständlich unsere Zeitschrift. Hier hat aber schon eine Sichtung des ganzen sich bietenden Materials stattgefunden; das Sieb der Redaction hat natürlich die ganz grobe litterarische Spreu schon ausgeschieden. Und dennoch, wenn man die einzelnen Jahrgänge durchblättert, so findet man in dem immer mehr an Breite zunehmenden aviatischen Theile die verschiedenartigsten Anschauungen über die Anwendung der Fliegemechanik friedlich bei einander.

Noch bunter wird allerdings das Bild, wenn man die grosse Zahl der in den letzten Jahren erschienenen flugtechnischen Werke und Brochuren mit in die Betrachtung zieht.

Man kann überhaupt alle Arbeiten, welche flugtechnische Themata

behandeln, in Bezug auf die in ihnen enthaltene Mechanik in drei Theile eintheilen.

Zunächst finden wir viele Schriften aus der Hand von Laien, von Leuten, die sich mit der eigentlichen Mechanik nie ernsthaft beschäftigt haben. Die hierin gegebenen Schilderungen über Beobachtungen von Flugvorgängen sind oft sehr anregend und wirklich werthvoll. Sobald jedoch diese Schriftsteller zur Mechanik greifen, um Schlussfolgerungen für die Lösung des Flugproblems zu machen, überschreiten sie ihr Wissensgebiet und gerathen meist auf schlimme Irrwege. Werden solche Autoren durch ihre mechanischen Trugschlüsse auf scheinbar günstige Verhältnisse, namentlich auf geringen Kraftverbrauch beim Fliegen geführt, so verbeissen sie sich oft derartig in ihre fixe Idee, dass Nichts sie zu bekehren vermag. Es ist auch unnütz, an solchen Gefühlsmechanikern Bekehrungsversuche vorzunehmen, weil bei dem Mangel eines wissenschaftlichen Verständnisses jeder Angriffspunkt für eine überzeugende Beweisführung fehlt.

Demgegenüber liefert uns die Feder wirklich wissenschaftlich gebildeter Forscher so manchen Aufsatz, so manches Werk, dessen mechanischer Theil über jeden Zweifel erhaben dasteht. Der Nutzen, der für die Verbreitung richtiger Anschauungen über die Fliegemechanik aus diesen Arbeiten entspringt, wird nur leider häufig dadurch sehr vermindert, dass die mathematische Seite solcher Aufsätze sich zu breit macht und das Ganze eine zu gelehrte wenig ansprechende Form enthält. Es giebt allerdings auch Schriftsteller, welche die Mechanik vollgültig beherrschen und ihren wissenschaftlichen Ausführungen dennoch eine leicht verständliche anregende Form zu verleihen wissen, doch die Zahl dieser ist leider nicht sehr gross.

Zwischen diesen beiden bisher erwähnten Formen flugtechnischer Arbeiten liegt nun noch eine dritte Kategorie.

Die Urheber dieser dritten jetzt näher zu betrachtenden Art von Leistungen beherrschen in einer Art wissenschaftlicher Halbbildung die Mechanik oder mathematische Physik nicht in solchem Umfange, dass dadurch grobe Irrthümer und Trugschlüsse ausgeschlossen sind. Nichtsdestoweniger tragen solche Arbeiten fast mehr wie nothwendig ein gelehrtes Gepräge, selbst wenn dieselben mit den mechanischen Fundamentalanschauungen vollkommen in der Luft schweben; und dadurch, dass derartige Aufsätze durch ihren Anschein streng mathematischer Grundlage dem Laien oder weniger Eingeweihten imponiren, tragen dieselben vielfach zur Verbreitung falscher Anschauungen über die Fliegemechanik bei. Der Laie kümmert sich nicht um die Entwicklung, sondern prägt sich nur die falschen Resultate ein.

Für die Flugtechnik begeisterte Autodidakten oder Fachleute, welchen der Umgang mit der theoretischen Mechanik ferner liegt, sind meistens die Verfasser von derartigen Schriften von flugtechnischen Arbeiten, denen die theilweise richtige Anwendung der Mechanik zwar nicht abzusprechen ist,

in denen sich aber häufig sehr gefährliche, das ganze Problem entstellende Trugschlüsse eingeschlichen haben.

Für die Flugtechnik interessirt sich ja so Mancher, dessen klarer Verstand das Problem segensreich fördern könnte. Aber der einfache gesunde Menschenverstand reicht hier leider allein nicht aus; ohne das nothwendigste wissenschaftliche Handwerkzeug dazu ist aller Eifer und aller Mutterwitz meist schlecht angebracht.

Aus diesem Grunde hatte ich auch in meinem Werke über den „Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“ die Beziehungen der Mechanik zur Flugtechnik, so gut es in kurzen Worten thunlich war, besprochen, um gleich in den ersten Capiteln eine Anregung zur weiteren Vertiefung in diese für alle flugtechnischen Arbeiten unumgängliche Wissenschaft zu geben. Ich bin aber überzeugt, dass die meisten Leser schnell hierüber hinweg geblättert haben werden, und mehr nach Bildern suchten, die ihrer Phantasie den gewünschten Impuls geben sollten. Doch ohne gründliche Kenntniss der Mechanik lässt sich in der Flugtechnik nichts leisten. Die Mechanik ist auch für den nur trocken, der sie nur so von Weitem kennt. Zum Glück bedarf man, um richtige flugtechnische Berechnungen vornehmen zu können, nur der Kenntniss der elementarsten mechanischen Begriffe, diese aber muss man gründlich kennen, um sich vor Irrthümern zu hüten.

Wie wichtig dieses Letztere eben ist, möchte ich nun an einigen Beispielen klarzumachen suchen und die Aufmerksamkeit auf einige beim Flugproblem zur Geltung kommende mechanische Grundanschauungen lenken, gegen welche ganz besonders häufig gesündigt wird.

Entkleiden wir den Flugvorgang aller Nebenumstände, und schälen wir gewissermassen das mechanische Gerippe aus demselben heraus, so finden wir, dass das Fliegen erst zum Problem wird durch die Anziehungskraft der Erde. Die Lösung dieses Problemes besteht demnach darin, die Wirkung der Erdanziehung auf den fliegenden Körper aufzuheben und zwar hier ohne Zuhilfenahme eines Ballons. Wenn wir aber die Wirkung einer Kraft aufheben wollen, so müssen wir eine ebenso grosse aber entgegengesetzt wirkende Kraft beschaffen. Es muss in der Luft und mittelst der Luft eine Hebekraft entstehen gleich dem Gewichte des fliegenden Körpers. Als Bedingung für das Fliegen haben wir also das Gleichgewicht zweier Kräfte, und dieses nennt man ein statisches Gleichgewicht. Auf diesem statischen Gleichgewicht beruht also das Problem des dynamischen Fluges. Dieser Satz klingt verfänglich und eigenthümlich, ist aber dennoch vollkommen richtig.

Der dynamische Flug trägt seinen Namen keineswegs mit Unrecht, denn wir brauchen wirklich eine dynamische Leistung, um fliegen zu können. Die Kraft, welche wir zur Herstellung des statischen Gleichgewichtes beim freien Fluge nöthig haben, der hebende Luftwiderstand, lässt sich leider nicht anders als durch eine dynamische Wirkung von Flügelschlägen u. s. w.

erzeugen und dies ist allerdings charakteristisch für den Flug, während dennoch die Grundbedingung auf einem statischen Gleichgewicht beruht.

Die Gefahr einer Verwechslung des charakteristischen Merkmales mit der Grundidee beim freien Fluge ist nun natürlich auch zum Stein des Anstosses für einige mechanisch nicht ganz sattelfeste Forscher geworden und hat eine ganze Kategorie von Trugschlüssen zu Tage gefördert.

Der übergrosse Respect vor der Arbeitsleistung, welche das freie Fliegen erfordert, ist Schuld daran, dass man gleich blindlings auf diese Arbeitsleistung los rechnete und zwar über den Kopf der einfachen hebenden Kraft hinweg, welche doch die Hebung einzig und allein bewirkt. Es ist leicht ersichtlich, wie nahe die Gefahr der Fehlschlüsse hier liegt. Man sagte sich:

Die Arbeit, welche ich beim freien Fluge zu leisten habe, dient dazu, die Arbeit aufzuheben und unschädlich zu machen, welche die Schwerkraft leisten würde, wenn ich den Flugapparat nicht gebrauchte, mithin müssen, wenn die Wirkungen beider Arbeiten sich aufheben sollen, diese Arbeiten absolut genommen gleich gross sein. Da man nun die Arbeit der Schwerkraft kennt, so ergibt sich ohne Weiteres auch die zum Fliegen erforderliche Arbeitsleistung. Es sind dies Schlussfolgerungen, die man in der flugtechnischen Litteratur, auch in unserer Zeitschrift an mehreren Stellen findet, die auch gar nicht übel klingen, aber dennoch gänzlich unbrauchbar sind. Wenn man beim Fliegen auch keinen Boden unter den Füssen hat, so darf doch die Fliegemechanik deshalb nicht auch bodenlos werden.

Mit Arbeiten, die eintreten würden, wenn dies oder das geschähe, was in Wirklichkeit nicht geschieht, kann man nicht rechnen. Auf einem Tische steht beispielsweise ein Gewicht. Der Tisch trägt dieses Gewicht. Wenn der Tisch nicht wäre, würde das Gewicht fallen und die Schwerkraft würde Arbeit leisten. Könnte man deshalb sagen, diese Schwerkraftsarbeit leistet der tragende Tisch? Mit Nichten! Wo keine Bewegung ist, ist keine Arbeit. Es geht uns nichts an, was geschähe, wenn der Tisch nicht wäre. Der Tisch ist einmal da und deshalb kommt keine Arbeit zur Sprache.

Hiergegen liesse sich aber erwiedern:

Beim Fliegen mit Flügeln ist der Vorgang anders. Der fliegende Körper bleibt zwar schliesslich in derselben Höhe, aber er geht immer auf und nieder; er sinkt, wenn die Flügel gehoben werden und hebt sich durch Herunterschlagen der Flügel. Beim Flügelheben wirkt die Schwerkraft und leistet Arbeit, indem der Körper fällt, und beim Niederschlagen der Flügel wirkt der Luftwiderstand und leistet Arbeit, indem er den Körper hebt. Beide Arbeiten sind wirklich da, weil Auf- und Niederbewegung da ist, sie müssen einander gleich sein, wenn Schweben des Körpers eintreten soll, man erhält eine Gleichung, aus der man die Flugarbeit berechnen kann.

So plausibel diese Schlüsse klingen, so sind sie doch nichts weiter als ein mechanisches Taschenspieler-Kunststück, ein Trugschluss, der sich nur

für den Halbeingeweihten vernünftig anhört. Auch hier spielen die Arbeiten der Schwere und des Luftwiderstandes ganz andere Rollen, als ihnen zugemethet wurde.

Zunächst ist es einfach falsch, zu sagen:

Beim Flügelheben sinkt der Körper und beim Flügelniederschlag hebt der Körper sich wieder. Der Vorgang ist ganz anders, wie wir gleich sehen werden.

Wenn ein Körper sich durch abwechselnde Wirkung zweier entgegengesetzter Kräfte hin und her oder auf und nieder bewegt und es findet summarisches Gleichgewicht statt, so schwingt der Körper um einen Punkt. Wenn ein solcher Körper wie beim Fliegen auf und nieder schwingt und

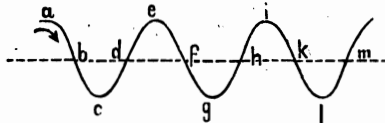


Fig. 1.

sich dabei noch vorwärts bewegt, so beschreibt er einen Weg in der Figur 1: *a, b, c, d, e, f* u. s. w. Es fragt sich nun: Während welches Weges wirkt die Schwerkraft, und während welches Weges wirkt der hebende Luftwiderstand? Nach der vorher gegebenen Schilderung müsste die Schwerkraft auf der Strecke *a, b, c* wirken und die Hebekraft auf der Strecke *c, d, e*. Damit erzielen wir aber niemals die beabsichtigte Wirkung.

Wenn ein Körper seine Flügel nicht braucht oder wirkungslos hebt, so steht er unter dem Einflusse der Schwerkraft, er fällt wie jeder andere Körper. Wenn in einer bestimmten Zeit ein solcher Körper nach Fig. 2 von *x* bis *y* fällt und es tritt in *y* plötzlich durch einen Flügelschlag ein hebender Luftwiderstand auf, welcher doppelt so gross ist als das Körpergewicht, so bleibt als Ueberschuss eine hebende Kraft übrig, die grade so stark ist als das Gewicht. Diese Kraft findet aber in *y* keinen ruhenden sondern einen sich schnell nach unten bewegenden Körper vor. Die Folge wird sein, dass der Körper noch weiter nach unten sich bewegt, aber sich in seiner Geschwindigkeit verlangsamt bis er zur Ruhe kommt, nachdem die hebende Kraft eben so lange gewirkt hat als vorher die Schwere allein. Der Stillstand tritt daher erst in *z* ein, wobei $yz = xy$ ist.

Wenn die Schwerkraft nun wieder allein wirkt, so beginnt ein neues Fallen des Körpers. Wir sehen also, dass wir mit dieser Anschauung niemals die Bewegung nach Fig. 1 erzielen.

Die gewünschte Flugbewegung erhalten wir dagegen nur, wenn die Schwerkraft auf allen Strecken wirkt, welche (Fig. 1) über der Horizontalen liegen und die Hebekraft auf allen Strecken unterhalb der Horizontalen. Wenn die Schwere von *a* nach *b* den Körper gesenkt hat, dann muss die Hebekraft einsetzen, den Körper zunächst in *c* zur Ruhe bringen und ihn dann bis *d* wieder heben, so dass er mit einer gewissen nach oben gerichteten Geschwindigkeit bei *d* die Horizontale passirt. Dann tritt die Schwerkraft während der

Fig. 2. Flügelhebung wieder allein auf, bringt den Körper zunächst in *e* zur Ruhe und senkt ihn wieder bis *f* u. s. w.

Wenn wir die Arbeiten betrachten, die hier von der Schwere und der Hebekraft geleistet wurden, so finden wir, dass diese beiden Arbeiten sich nicht gegenseitig aufheben, sondern dass sie sich einzeln selbst aufheben.

Von d über e nach f wirkt die Schwere und hier hebt die negative Arbeit auf der Strecke de sich genau mit der positiven Arbeit während der Strecke ef auf. Auf der Strecke de ist die Arbeit negativ, weil die Wegrichtung entgegengesetzt liegt mit der Richtung der Schwere.

Ganz ebenso hebt sich die Arbeit der Hebekraft auf den Strecken bcd , fgh u. s. w. auf, indem die eine Hälfte dieser Arbeiten positiv, die andere Hälfte negativ ist. —

Mit der eigentlichen Flugarbeit haben aber alle diese Arbeiten nichts zu schaffen. Wenn wir die Flugarbeit berechnen wollen, so müssen wir uns auf ganz andere Factoren, auf Flügelgrösse, Flügelform u. s. w. beziehen, doch das ist heute nicht meine Aufgabe. Es kam mir nur darauf an, einige in der flugtechnischen Litteratur immer wiederkehrende mechanische Fehlschlüsse in das rechte Licht zu stellen, um dieselben endlich aus der Welt zu schaffen.

Experimental-Vortrag

über Luftschiffahrt im Wiener Flugtechnischen Verein.

Von W. Kress..

Der Vortrag fand am 15. Dezember 1891 im grossen Saale des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines in Wien statt. Schon der Anblick der vielen verschiedenen Flugapparate, welche an einem Drahte quer durch den grossen Saal aufgehängt waren, bot einen eigenthümlichen, bisher selbst den Flugtechnikern ungewohnten Eindruck und gab Zeugniß von dem Eifer und der Thätigkeit eines unserer ältesten Mitglieder. Mit Ausnahme einer grösseren Hélicoptère, bei welcher Aluminiumröhrchen verwendet erscheinen, waren alle andern Apparate aus Holz und Rohr hergestellt. Zu den Flügelflächen sehen wir meistens Seide und als Triebkraft Gummischnüre verwendet. Auch sei hier noch besonders erwähnt, dass die Segelflächen bei allen Apparaten des Hr. Kress, sowohl bei den elastischen Luftschrauben als auch bei dem Drachen und den Flügeln des mechanischen Vogels weder straff gespannt noch versteift sind, sondern in der Ruhe wie ein gewöhnliches Segel flattern, während der Action sich aber aufbauschen und eine concave Fläche bilden.

Uebrigens hat Hr. Kress schon vor zehn Jahren, als er sein erstes Modell des Aëroveloce in der Fachgruppe für Flugtechniker demonstirte, den Vorzug seiner elastischen Luftschrauben mit concav aufgebauten Segelflächen hervorgehoben. —