57 Sonderabdruck aus Nr. 8/9 der Zeitschrift für Luftschiffahrt und Physik der Atmosphäre. August/September 1896.

Flugtechnische Studien.

I.

Ueber einige flugtechnische Grundfragen; anknüpfend an eine Besprechung des Buches: „**Die Luftwiderstandsgesetze, der Fall durch die Luft und der Vogelflug**" von Herrn Fr. R. v. Loessl[1]), vorgetragen am 4. Februar und 3. März 1896 im Wiener flugtechnischen Verein

von

Josef Popper.

Die nachfolgende Besprechung habe ich auf Ersuchen des Autors obgenannten Werkes und mehrerer hochgeschätzter Mitglieder des Wiener flugtechnischen Vereines unternommen; sie ist weit umfangreicher ausgefallen, als dies bei Referaten sonst der Fall zu sein pflegt, und ich will die Gründe für diese Weitläufigkeit anführen.

Vor Allem verdiente dieses sehr ernste Werk eine eingehende und gründliche Kritik, da in derselben die meisten Fundamentalfragen der Flugtechnik behandelt, oder wenigstens berührt sind, und es war nun wichtig, da sich mir mehrfacher Anlass zur Opposition ergab, diese nicht ohne möglichst starke Argumentation vorzubringen; ferner ersah ich aus der Lecture neuerer flugtechnischer Schriften und aus öffentlichen, wie privaten Discussionen die Zweckmässigkeit, an Stelle der von mir bekämpften Entwickelungen, die, nach meiner Meinung, besseren mitzutheilen und manche Grundgesichtspunkte eingehender und sozusagen populär darzulegen, wodurch dann allerdings die Darstellung einen didactischen, wenn man will, doctrinären Anstrich und damit auch eine dem Sachkenner stets etwas unangenehme Breite erhielt.

Ich würde dieserhalb die Leser förmlich um Entschuldigung bitten, wenn ich nicht voraussetzen würde, dass diese Zeitschrift nicht blos die Aufgabe habe, Neues zu bringen, sondern auch für Verbreitung richtiger flugtechnischer Ansichten zu wirken, die übrigens mitunter ebenfalls als etwas Unbekanntes und Neues zu betrachten sind; es ist ganz ebenso wichtig, durch Aufklärung für Herbeiführung richtiger Auffassungen, Urtheile und Berechnungen seitens der Flugtechniker zu wirken, wie durch Experimente unrichtige Annahmen zu widerlegen oder neue Thatsachen festzustellen; in beiden Fällen geschieht ein Fortschritt und eine einzige Aufhellung eines Fehlers oder Darstellung einer richtigeren Berechnungsweise eines Problems an Stelle einer weniger richtigen genügt oft, um das Erscheinen ungezählter werthloser Abhandlungen oder Projecte zu verhindern. Natürlich setze ich voraus, dass meine Aufstellungen wieder kritisirt und verbessert werden können.

Ferner erweiterte sich der Rahmen des Referats noch dadurch, dass ich es für das bessere Verständniss der obwaltenden Probleme und deren Schwierigkeiten, sowie für Belebung des an sich vielleicht Manchem trocken erscheinenden Stoffes für zweckmässig hielt, die Litteratur des je behandelten Gegenstandes in grossen Zügen miteinzubeziehen.

---

[1]) Wien, 1896, Alfred Hoelder.

Schliesslich habe ich ziemlich viele selbstständige und noch nicht bekannte Entwickelungen gegeben, die wohl geeignet sein dürften, für die Lecture dieses langathmigen Aufsatzes, zu entschädigen, welche Entwickelungen zugleich als Grundlagen für den nächsterscheinenden zweiten Aufsatz der „flugtechnischen Studien“ dienen sollen, der hauptsächlich den Vogelflug behandeln wird.

Das soeben erschienene Werk obigen Titels, eine Frucht jahrelangen Fleisses, kann unbedingt den wichtigsten Leistungen in der flugtechnischen Litteratur zugezählt werden; viele darin mitgetheilten Daten werden stets einen werthvollen Bestandtheil der Kenntnisse der Flugtechniker und Physiker, resp. der Aerodynamiker, bilden, manche Capitel eine schöne Anregung zu weiteren Studien sein, und selbst jene Partieen, gegen die man bleibende Einwendungen erheben kann, werden durch die Art ihrer Bearbeitung, durch die sichtliche Bemühung, die höchste Klarheit zu erringen und der Wahrheit auf alle mögliche Weise, schrittweise und ohne alle Voreingenommenheit, näher zu kommen, jedem wissenschaftlich gearteten Leser viel Freude bereiten.

Der besseren Uebersicht wegen theile ich das Material des ganzen Buches in drei Theile folgendermassen ein:

Der erste Theil umfasst die sämmtlichen Experimente, auf Grund deren Formeln für den Luftwiderstand mannigfach gearteter Flächen aufgestellt werden.

Der zweite Theil giebt eine theils experimentelle, theils theoretische Studie über den vom Autor sogenannten „Lufthügel“.

Eine dritte Abtheilung hat in der Hauptsache den Zweck, Formeln und Tabellen aufzustellen, die dazu dienen sollen, den Vogelflug einer mathematisch-physikalischen Analyse zu unterwerfen, daher auch, indirect, das Fundament für Auffassung und Berechnungen von Flugmaschinen-Projekten abzugeben.

I.

Zur experimentellen Feststellung der Luftwiderstände verschieden geformter und geneigter Flächen benutzte Lössl einerseits ein Rundlauf-Apparat, andererseits einen sogenannten Wag-Apparat; bei dem ersteren wurden die zu untersuchenden Flächen im Kreise herumgeführt, wobei sinkende Gewichte die treibende Kraft abgaben; beim zweiten wird durch Indiehöheziehen eines horizontal gestellten Wagebalkens die geradlinige Bewegung der betreffenden Flächen hervorgerufen, und sind diese Untersuchungen nur vergleichende; hierzu wird an dem einen Wagebalkenende eine Ebene als Vergleichsfläche aufgehängt und letztere so lange geändert, bis sie beim Aufziehen des Wagebalkens durch Nullstellung des Zeigers einen genau gleich grossen Widerstand erweist, wie die zu prüfende Fläche am anderen Balkenende, sie dient daher als „Aequivalentfläche“, und da deren Widerstand durch die Versuche am Rund-

M1

laufapparat zahlenmässig bekannt ist, so ist damit auch jener an der zu untersuchenden zahlenmässig bekannt.

Bei den Versuchen mit dem Rundlaufapparat hat nun Loessl alle hierbei nöthigen Vorsichten gebraucht, namentlich den Zweifeln wegen des sogenannten „Mitwindes“ die Kraft benommeu, indem er stets alle Verhältnisse, nämlich; Flächengrösse, Armlänge der Rotation, Geschwindigkeit derselben und Grösse des Versuchraumes, so wählte, dass sich durch Kerzenflammen stets constatiren liess, dass jede der rotirenden Flächen vor sich eine bereits ruhig gewordeue Luft antraf, d. h. dass die von der früheren Stosswirkung der unmittelbar vorangehenden Fläche aufgewirbelte Luft sich bereits beruhigt habe und zu keiner Schwächung des Widerstandes Anlass biethen konnte. Bezüglich der Bestimmung des Druckmittelpunktes sei erwähnt, dass Loessl dessen Entfernung von der Rotationsachse ... $x = \sqrt[3]{\frac{R^3 + r^3}{2}}$ setzt, wo R und r die Abstände der beiden begrenzenden Karten der rechteckig gedachten Flächen vom Rotations-Centrum bedeuten; ich glaube, dass diese Formel nicht die hier passende und auch deren experimentelle Begründung bei Loessl nicht beweiskräftig sei, dass vielmehr $x = {}^3/_4 . \frac{R^4 - r^4}{R^3 - r^3}$ gesetzt werden müsse; denn letztere definirt den Druckmittelpunkt als jenen, dessen Geschwindigkeit, multiplizirt mit dem Totaldruck, ein gleiches Arbeitsproduct gibt wie das Integral aller Elementararbeiten der einzelnen Flächenstreifen, resp. wie die factisch gemessene Arbeitsgrösse der sinkenden Gewichte, und dieser Gesichtspunkt sollte wohl der massgebende sein, nicht aber der, dass durch den Druckmittelpunkt „die Gesammtsumme des Druckes in zwei gleiche Hälften“ getheilt werden müsse.

Dem Autor waren diese Bedenken sehr wohl bekannt, und er hat sich über diesen Punkt bereits in einer im Jahre 1881 erschienenen Publikation eingehend geäussert; ich bin zwar durch sie nicht von der Unrichtigkeit meiner obigen Bemerkungeu überzeugt worden, aber v. Loessl benahm diesem controversen Punkte alle praktische Bedeutung durch die Bemerkung, dass der Unterschied der Resultate bei allen von ihm untersuchten Flächen höchstens 6 % betrage, wobei man sich angesichts der anderen nothwendigen Ungenauigkeiten solcher Versuche vom praktischen Standpunkte aus sehr wohl beruhigen kann.

Mit Hülfe der beiden genannten Messapparate wurden nun die Grundbeziehungen zwischen Luftwiderstand und den verschiedenartigsten Flächen festgestellt; hierbei wurden die feineren Untersuchungen mittelst des Wagapparates, also nach der Aequivalenzmethode, vorgenommen, so namentlich jene an den ebenen Flächen, die unter sehr kleinen Neigungswinkeln gegen ihre Bewegungsrichtung eingestellt waren, um die wichtige Frage zu entscheiden, ob bei schiefem Luftstoss die erste oder die zweite Potenz des sinus dieses Winkels massgebend sei, bekanntlich eine der Lebensfragen für die Möglichkeit von Flugmaschinen; desgleichen wurden mittelst des Wagapparates die Widerstände schwach gebogener Flächen, von Cylindern, Kugeln, Kegeln, Gittern, u. s. w. gemessen.

Die geistreiche Methode, mit Aequivalentflächen zu arbeiten, dem Prinzipe nach, unserer gewöhnlichen Wage entnommen, hat namentlich für Luftwiderstandsmessungen einen bedeutenden Werth wegen der Raschheit und Bequemlichkeit, Resultate zu erhalten; einer der ersten, der so verfuhr, war meines Wissens Wenham, der den Luftwiderstand verschieden zugespitzter Kegel, die an einem Wagebalken, mit einer ebenen Kreisfläche, ihrer Basis nämlich, die am anderen Wagebalkenende befestigt waren, verglich, (siehe die „Aerial Locomotion, from the Transactions of the aeronautical society of Great Britain" 1866, oder „l'Aéronaute" 1876 S. 220 in französischer Uebersetzung) indem er das ganze System dem Winde aussetzte. Ein ähnlicher Vorschlag stammt von Dr. Magis; (siehe Repertorium für Meteorologie, Petersburger Akad. Theil 5, 1877). Die zu prüfende Fläche, z. B. die concav exponirte Halbkugel eines Robinson'schen Anemometers wird an das eine Hebelende, eine volle Kugel an das andere fixirt und die Drehachse mit einer Windfahne versehen, also ebenfalls Alles im Winde gemessen. Loessl operirte innerhalb eines Thurmes, er hatte also zwar eine schwierigere Anordnung und Beobachtungsmethode, da der Wagapparat nicht am Platze blieb, sondern gehoben werden musste, besass aber dafür den Vortheil einer grösseren Genauigkeit und Sicherheit den doch immer ungleichmässigen Windwirkungen gegenüber, indem er sich die Luftströmung in genau verticaler Richtung durch Bewegung des Systems künstlich verschaffte.

Besonders hervorheben wollen wir aber zwei, classisch zu nennende Experimente; das eine bezweckt, direct und mit einem Schlage das Gesetz des „sinus in der ersten Potenz" nachzuweisen, und es bestand darin, (S. 135 des Buches) einen um seine horizontale Mittelachse drehbaren Rahmen gegen die Luft zu bewegen, in welchem eine ebene Fläche in seiner eigenen Ebene und eine zweite ganz gleiche unter einem beliebigen Winkel β gegen die Rahmenebene fixirt wurde. Es stellte sich nun stets der Rahmen während der Bewegung so ein, resp. drehte sich in eine solche Neigung ($90 - \beta$) gegen die Bewegungsrichtung, dass die zweitbeschriebene Fläche vertical zu stehen kam; eine einfache geometrische Betrachtung zeigt sofort, dass das nur unter Voraussetzung der einfachen Sinus-Potenz in der Widerstandsformel möglich sei.

Unter den früheren Experimentatoren, die dasselbe Gesetz feststellten, sind zu nennen: Vince (1796) für Wasser, Thibault (1856), Pénaud im Anfange der 70er Jahre, besonders Goupil (in „La locomotion aérienne", 1884

S. 23) für Luft; ich glaube aber, wir seien erst durch das eben erwähnte geistreiche Experiment Loessl's im festen Besitz dieses wichtigen Gesetzes.

Ein anderes, sehr sinnreiches und sehr beweiskräftiges Experiment diente v. Loessl dazu, zu zeigen, wie die Druckvertheilung auf ebenen Flächen stattfinde; er verwendete (S. 52) hierfür eine ebene Doppelfläche, die eine war eine centrale volle Kreisscheibe, die andere mit ihr in einer Ebene und sehr nahe gelegene, concentrische Ringfläche von genau gleichem Flächeninhalt und genau gleichem Gewicht; diese zwei Flächen waren an Seidenfäden so aufgehängt, dass die eine nicht sinken konnte, ohne dass die andere um ebenso viel stieg.

Es zeigte sich nun beim Emporziehen dieses Systems, also bei entstehendem Luftwiderstand, dass beide Flächen stets in einer und derselben Ebene blieben, dass also keine ein Uebergewicht des Luftdruckes aufwies, also dass der Luftdruck sich auf die innere und äussere Fläche gleich vertheilte. Hieraus resultirte der allgemeine Satz, dass der Luftdruck auf einer ebenen Fläche, deren Figur symmetrisch ist, und die normal gegen die Luft bewegt wird, sich gleichmässig auf derselben vertheilt, und dies ist ein sehr wichtiges Resultat, das allerdings mit den bisher meist vertretenen Ansichten, ja sogar mit gewissen Experimenten Anderer, in Widerspruch steht. Es hat nämlich u. A. Recknagel und auch Marey mittelst manometrischer Methoden eine ungleichmässige Luftdruckvertheilung constatirt und zwar nahe an den Rändern eine schwächere als gegen die Mitte zu. (Es hat auch der verstorbene William Siemens analoge Experimente in grossem Masstabe angestellt, sie, meines Wissens, jedoch nicht publicirt.) Obwohl von der Genauigkeit und Gewissenhaftigkeit der Arbeiten Recknagels und Marey's vollkommen überzeugt, glaube ich doch, dass die Fehlerquellen bei manometrischen Methoden gegenüber jenen bei der directen Methode Loessl's so bedeutende sein dürften, (man sehe hierüber Marey's Bemerkungen in seinem Werke: Le vol des oiseaux) dass man das Loessl'sche Resultat wenigstens für sein specielles Versuchobject, als massgebend ansehen kann.

Ein obigem analoges und der Ansicht mehrerer anderer Autoren widersprechendes Versuchsergebniss v. Loessl's ist die Flächenproportionalität des Luftdruckes, d. h. die Thatsache, dass der specifische Luftdruck bei kleinen wie bei grossen Flächen, unter sonst gleichen Umständen, identisch sei.

Dies ist nun wieder ein eigenthümlicher Punkt.

Borda, Hutton und auch Thibault fanden aus ihren Versuchen, dass der specifische Widerstand mit der absoluten Flächengrösse zunahm (Poncelet, Mec. ind. 616 und 617), während in neuster Zeit der Meteorologe Dines, und gewiss mit feineren Mitteln der Beobachtung als die drei Genannten, fand, dass das Umgekehrte der Fall sei; ihm zeigten z. B. kleine Anemometer stets einen grösseren Winddruck an als grosse, wie ich dem Artikel

Fergusson's über Anemometrie (in den Proceedings of the internal conference on aerial navigation held in Chicaga 1894) entnehme und Versuche, die Baker an der Forth Brücke über den jeweiligen Winddruck anstellte, sollen ebenfalls zur Evidenz ergeben haben, dass der specifische Luftdruck auf grosse Flächen bedeutend kleiner sei als auf kleinere; das abweichende Resultat bei Loessl, dürfte daher auf die relative Kleinheit seiner Versuchsflächen zurückzuführen sein, wie auch Graf v. Zeppelin in Heft 7 dieses dieses Jahrganges der Zeitschrift meint. In der Flugtechnik aber kommt es, wie bekannt vornehmlich auf grosse Flächen an und die logisch sehr berechtigte Frage Loessl's: wie man in der Atmosphäre grosse von kleinen Flächen unterscheiden könne, kann man nur durch den Hinweis auf die, vielleicht noch nicht genügend aufgeklärten, nackten Thatsachen erledigen; eine sehr scharfe Kritik der angewandten Messmethoden wär hier eigens angebracht. Es könnte dann immerhin sein, dass Loessl Recht behält; ich verweise hinüber auf eine Stelle in Poncelet's Mec. ind. S. 616 und 617 über Messungen an ähnlich zum Rotations-Centrum liegenden Flächen, die Thibault benutzte und die Poncelet die „homologe“ Anordnung nannte.

Ein Einfluss von Unebenheiten und Vertiefungen grösserer Art wurde von Loessl auf experimentellem Wege als nicht vorhanden nachgewiesen, so lange der von Loessl sogenannte „Lufthügel“, über den ich weiter unten berichten werde, nicht durch diese Unebenheiten seiner Gestaltung alterirt wird.

Bezüglich des Einflusses der Saugwirkung, resp. des partiellen Vacuums auf der Rückseite der bewegten Flächen, fand der Autor, dass bei solchen Körpern, welche die Dicke eines Würfels nicht überschreiten und genau in der Bewegungsrichtung liegende Seitenwände haben, von diesem genannten Einflusse, sowie auch von jenem der Luftreibung, abgesehen werden könne; wenn aber die Seitenflächen nach rückwärts convergiren, äussert sich das Zurückfliessen der comprimirten Luft nach rückwärts als Verminderung des Luftwiderstandes, also auch der Fortbewegungsarbeit. Merkwürdig ist es immerhin, dass, abgesehen von den über ein Jahrhundert alten entgegenstehenden Theorien und auch Versuchsergebnissen, andere höchst präcise arbeitende Experimentatoren eine deutliche Saugwirkung, also negativen Druck, an der Hinterfläche vorgefunden haben (so z. B. neuestens Marey in „Le vol des oiseaux“ S. 211).

Sehr wichtig und nicht ganz aufgeklärt, ist die durch Experimente, constatirte Angabe v. Loessl's, dass die „Figur und Plastik“ der Stossfläche einen Einfluss auf die Grösse des Luftwiderstandes zeige, und zwar derart, dass bei wirklich ebenen Flächen ein Minimum des Widerstandes vorhanden sei, bei solchen Flächen aber, die entweder concav oder mit erhöhter Umränderung, resp. Erhöhung, umgeben sind, ein grösserer Widerstand vorhanden sein, und zwar jener, der in den allgemeinen Formeln Loessl's zum Ausdruck kommt; auf dieses Detail ist daher bei Benutzung dieser Formeln zu achten. Die durchaus ebene Kreisfläche besitzt, den Versuchen zufolge, unter allen Flächen den kleinsten Widerstand, das ebene Quadrat etwas mehr, ein sehr langgestrecktes Rechteck nähert sich in seinem Verhalten schon sehr den concaven oder umränderten Flächen; wenn letztere den Widerstand 1 besitzen, so erleiden die ebenen Kreisflächen nur 0,83 u. s. w. (Siehe S. 81). Die Resultate Loessl's stimmen mit Experimenten Anderer überein, so mit jenen von Thibault, der Quadrate mit schmalen Rechtecken gleicher Fläche verglich (Poncelet Mec. ind. S. 618) und mit den neuen von Dines, dessen diesbezügliche Tabelle man nebst seiner Originalabhandlung auch Fergusson's „Anemometry" entnehmen kann; höchst wahrscheinlich hängt hier Alles von der Art des Luftabflusses längs des Umfanges ab.

Wenn aber Loessl die grösseren Drucke bei umränderten Flächen fand, wie es auch andere fanden, so scheint diese Thatsache bei näherer Ueberlegung denn doch zu beweisen, dass der Druck am Umfange der Flächen geringer sei als näher der Mitte zu, wie dies namentlich Recknagel angiebt.

Hierbei drängt sich mir die Frage auf, ob nicht die von Loessl citirte Formel Weisbach's ... $P = \frac{v^2 F \gamma}{2g} \cdot 1{,}86$ (S. 67), welche für die ebene Kreisfläche mit Loessl's Experimenten stimmt, vielleicht doch mehr Berechtigung besitze, namentlich bezüglich der Form ihres Baues, als er glaubt; denn Loessl setzt Concavität oder Umrandung der Fläche voraus, setzt keinen Erfahrungs-Coefficienten in die Formel ... $P = \frac{v^2 F \gamma}{2g}$ und multiplizirt aus später zu erwähnenden Gründen diese Formel mit 2; da die physikalische Begründung dieser Multiplication mir nicht einleuchtet, so scheint Weisbach's Formel mir ebenso berechtigt, wie jene Loessl's. Andererseits findet z. B. neuestens Samuelson (diese Zeitschr. Heft 11 d. J. 1895) für normal stossende Flüssigkeiten genau die Formel wie Loessl, wobei er aber von Ansichten, namentlich über die Funktion der Hinterfläche ausgeht, die jenen Loessl's diametral gegenüber stehen.

Sehr anerkennenswert ist es, dass v. Loessl bezüglich der Grösse der beiden Druckcomponenten auf die bewegten Flächen zahlreiche spezielle Versuche machte und sich nicht damit begnügte, blos die Richtung des Totaldruckes und nur eine der beiden Componenten desselben zu messen: erst durch directe Bestimmung, resp. Messung, jeder einzelnen dieser Grössen kam volle Sicherheit in diese Sache.

Nachstehend geben wir die Hauptresultate, resp. die wichtigsten Luftwiderstandsformeln, der Lössl'schen Experimente:

Eine Concave oder umränderte ebene Fläche oder ein sehr langgestreckter ebener Streifen F, unter einem

$\sphericalangle\, \alpha$ vom Luftstrom mit der Geschwindigkeit v getroffen, erleidet einen Normaldruck $N = \frac{\gamma F v^2}{g} \sin \alpha$ (kg), wo γ das specifische Gewicht der Luft und g die Schwerebeschleunigung ist; der direkte Druck (in der Bewegungsrichtung) ist $K = \frac{\gamma F v^2}{g} \sin^2 \alpha$, der darauf senkrechte $D = \frac{\gamma F v^2}{g}$ $\sin \alpha \cos \alpha$; die aufzuwendende Arbeit $A = \frac{\gamma F v^3}{g} \sin^2 \alpha$ (sec. m. kg).

Direkter Druck auf einen Keil mit zwei schiefen und zwei parallelen Seiten, mit einer Basisfläche f und halbem Keilwinkel α . . . ist $K = \frac{\gamma f v^2}{g} \sin \alpha$, bei stumpfen Winkeln etwas weniger.

Direkter Druck auf eine dreiseitige Pyramide mit Basis f und Böschungswinkel α ist $K = 0{,}90 . \frac{\gamma f v^2}{g} \sin \alpha$. (Unter Böschungswinkel ist hier immer die Neigung der Seitenflächen der Pyramiden (oder der Mantellinie beim Kegel) gegen die Normale auf deren Basis verstanden.)

Direkter Druck auf eine vierseitige Pyramide mit Basis f und Böschungswinkel α ist $K = 0{,}86 . \frac{\gamma f v^2}{g} \sin \alpha$.

Direkter Druck auf einen Kreiskegel mit Basis f, Radius r und Böschungswinkel α ist $K = 0{,}83 . \frac{\gamma f v^2}{g} \sin \alpha$. Unter Böschungswinkel ist hier immer die Neigung der Seitenflächen der Pyramiden (oder der Mantellinie beim Kegel) gegen die Normale auf deren Basis verstanden.

Direkter Druck auf einen normal entgegenstehenden Halbcylinder mit einer Länge l, Radius r und Basisfläche $f = 2\,vl$ . . . ist $K = \frac{2}{3} . \frac{\gamma f v^2}{g}$.

Direkter Druck auf eine normal entgegengestellte Halbkugelfläche, Convexität voraus, vom Radius r, ist $K = \frac{1}{3} . \frac{\gamma \pi r^2}{g} . v^2$; Concavität voraus, wie eine ebene Fläche des grössten Kreises.

Direkter Druck auf einen gegen die Bewegung rechtwinklig gestellten Kugelabschnitt mit Basis f ist zwischen $\frac{\gamma f v^2}{g}$ und $\frac{1}{3} . \frac{\gamma f v^2}{g}$.

Bei allen diesen Flächen ist die Rückseite als eben und rechtwinklig gestellt vorausgesetzt; bei concav vertieften Rückseiten trifft eine schwache Mehrung, bei conisch erhabenen eine schwache Abminderung ein. (S. 281.)

Von diesen Ausdrücken macht Lössl Gebrauch in der von uns sogen. dritten Abtheilung seines Werkes, in der der Vogelflug behandelt wird; eine Reihe weiterer Experimente über Stirnwiderstand schwach gebogener dünner Flächen, parallel gestellter Flächen, von Gittern und Sieben, von Luftschrauben u. s. w. wird in Aussicht gestellt und es kann nur der lebhafteste Wunsch ausgesprochen werden, die Resultate baldigst publicirt zu sehen, namentlich jene, die sich auf die gewölbten Flächen beziehen, auf deren Wichtigkeit namentlich Lilienthal aufmerksam machte. Die einzige Bemerkung, die sich über gewölbte Flächen in dem Buche Lössl's findet, spricht das Resultat seiner diesbezüglichen Versuche dahin aus, dass schwache Biegungen dünner Flächen zwar keinen entscheidenden Einfluss auf den Arbeitsbedarf für den Schwebeflug besitzen, jedoch mässigend auf die benöthigte Geschwindigkeit der Vorwärtsbewegung, sowie auf die Winkelstellung der Flächensehne wirken. Auch das allein wäre ein praktischer Vorzug der gewölbten Flächen.

Wir wollen nunmehr den heutigen Stand der Frage nach den Luftwiderstands-Verhältnissen beleuchten.

Angenommen eine gleichmässige relative Bewegung zwischen ebenen Flächen und Luft — so ist vorerst die Richtung und dann die Grösse des Luftdrucks zu präcisiren.

Die Richtung ist zufolge aller Experimente, jene Lilienthals ausgenommen, stets normal auf die Ebene gerichtet; ich entscheide mich gegen die Lilienthal'schen Angaben („der Vogelflug“ S. 63 u. s. f.), weil alle anderen Versuchsergebnisse den seinigen widersprechen, weil ferner Lössl durch sehr sorgfältige Bestimmungen der beiden Componenten des Gesammtdruckes die normale Richtung zur Evidenz brachte und weil endlich die theoretische Erwägung ebenfalls dahin führt, nur eine normale Richtung gelten zu lassen, da die tangentiale Wirkung der Luftreibung vielfach als verschwindend klein empirisch nachgewiesen wurde. Ich weise überdies auf eine geistreiche Arbeit von Jarolimek hin, („Ueber das Problem dynamischer Flugmaschinen“ in der Z. des Oester. Ing. u. Arch. Vereins, 1893), in der er ebenfalls die Unwahrscheinlichkeit der Lilienthal'schen Angaben, wenigstens für hohe Geschwindigkeiten, darlegt.

Die Grösse des normalen Luftdrucks für senkrechten Luftstoss, mit $P_{(90)}$ bezeichnet, kann bei Berücksichtigung aller bisherigen Messungsresultate, für nicht gar zu kleine Flächengrössen F und den für die flugtechnischen Betrachtungen geltenden Geschwindigkeiten v, die mindestens einige Meter bis circa 30 m betragen, dargestellt wurden durch die Formel $P_{(90)} = \xi \,.\, F \,.\, v^2$.

Den Coefficienten ξ, in dem die Dichte der Luft enthalten ist, wurde vielfach experimentell zu ermitteln gesucht und zwar immer mittels

Rundlaufapparaten, einen neueren Versuch von Cailletet und Colardeau ausgenommen, bei dem die Bewegung eine geradlinige war.

Nehmen wir die Lufttemperatur während der Vornahme der Messungen zu circa 15° C. und den normalen Barometerstand an, so existiren bis heute folgende Zahlenangaben für ξ ...:

Zufolge theoretischer Formbildung fand Lord Rayleigh 0,055; zufolge Messungen an Rundlaufapparaten fanden Morin, Piobert und Didion 0,082; Smeaton 0,122; Hagen (von Reibung am Umfang der Fläche abgesehen) 0,071; Recknagel 0,07; Marey 0,125 bis 0,13, Goupil wie Lössl 0,125; Rénard 0,085; Langley 0,08; zufolge geradliniger Bewegungsvorgänge fanden Cailletet und Colardeau $\xi = 0{,}071$. Ich bemerke hierbei, dass die von mir citirten Daten über Goupils Arbeiten entnommen sind seinem schönen Buche: „La locomotion aérienne" (1884), und dass die Versuchsergebnisse von Cailletet, die sehr wichtig sind und merkwürdiger Weise fast gar nicht genannt werden, in den Comp. rend. der Pariser Akademie vom J. 1892 enthalten sind.

Der Coefficient schwankt also zwischen 0,07 und 0,125; die Vertrauenswürdigkeit der verschiedenen Angaben ist wohl gleich; selbst die Versuche Langley's, die im freien, resp. in nicht genügend vor Wind geschütztem Raume vorgenommen wurden, differiren von anderen, z. B. Didion, in geschlossenem Raume vorgenommenen, beinahe gar nicht; die Experimente Cailletet's wurden am Eiffelthurm und zwar nur an windstillen Tagen vorgenommen.

Andererseits ist nicht zu übersehen, dass die Ergebnisse bei Rundlaufapparaten grössere sein müssen als bei geradlinigen Bewegungen, denn vermöge der Centrifugalkraft hat die Luft längs der Ebene eine tangentiale Bewegung, derzufolge genau so wie bei den Vorgang der sogenannten Sinkverminderung — worüber im Abschnitt III eingehender gesprochen wird — ein vergrösserter Normaldruck entstehen muss; wir müssen daher den Coefficienten ξ je nach Art der Bewegung verschieden fixiren, und die Entscheidung wäre leicht, wenn nicht mehrere Werthe von ξ bei Rundlaufapparaten genau so gross wie jener von Cailletet für geradlinige Bewegung gefunden worden wären, was natürlich hauptsächlich in dem fatalen Umstande seine Begründung hat, dass eben beinahe jeder Experimentator an principiell gleichen Vorrichtungen und trotz grösster Vorsicht bei den Messungen verschiedene Resultate fand.

Auf die Vergrösserung der Widerstände bei Rundlaufapparaten in Folge der Centrifugalkraft hat schon Duchemin aufmerksam gemacht und Poncelet besprach diesen Punkt zustimmend (Mec. ind. S. 601 und 623); natürlich sehen wir hierbei immer vom Mitwind ab oder setzen seine Berücksichtigung voraus. Wir wollen aber, um Alles ins helle Licht zu setzen, anderseits nicht unterlassen, zu erwähnen, dass nach Recknagel's Angabe („Ueber Luftwiderstand" in der Zeitschr. d. V. Deutscher

Ingenieure, 1886) die radialen Luftströmungen sehr complicirter Natur sind; auf der Vorderseite der Flächen fand er sie centripetal, auf der Rückseite centrifugal und centripetal hin- und hergehend!

Da aber die Angaben von Smeaton, Marey, Goupil und Lössl beinahe identisch sind und da meines Wissens auch die Meteorologen (namentlich Englands und Amerika's) zufolge ihrer eigenen Rundlauf-Messungen sich an Smeaton's Coefficienten anschliessen, und da ferner die kleinen ξ von Recknagel sich auf kreisförmige und jene von Hagen — wie ich glaube — auf quadratische Platten beziehen, welche beide Formen, nach Lössl's Versuchen, den kleinsten Widerstand aufweisen, so kann man wohl die Grösse des Luftwiderstands für senkrechten Luftstoss an ebenen Flächen bei gleichmässiger Geschwindigkeit so ausdrücken: für bogen- resp. kreisförmige Bewegung $P_{(90)} = 0{,}125 \,.\, F \,.\, v^2$, und für geradlinige Bewegung $P_{(90)} = 0{,}072 \,.\, F \,.\, v^2$; will man die Dichte der Luft γ in die Formel hineinbringen, so hat man dann allgemeiner: (resp.) $P_{(90)} = 0{,}1 \,.\, \gamma F v^2$ und $P_{(90)} = 0{,}06 \,.\, \gamma F \,.\, v^2$.

Was die schiefe und gleichmässige Bewegungsrichtung der Luft gegen ebene Flächen betrifft, so wurden sämmtliche bisherigen Versuche an Rundlaufapparaten und von Lössl überdies nach dem Aquivalenzprincip auch geradlinig durchgeführt.

Bezeichnen wir den normalen Luftdruck durch $P_{(\alpha)}$ und vergleichen ihn mit $P_{(90)}$, so sind die bisherigen Angaben für $\frac{P_{(\alpha)}}{P_{(90)}} = \eta$ folgende:

Zufolge theoretischer Formelbildung giebt Rayleigh (siehe: On the resistance of fluids, Philos. Mag. 1876 und die Abhandlung von Gerlach: „Einige Bemerkungen über den Widerstand u. s. w.“ im Civilingenieur XXXI. Bd.) $\eta = \frac{(4 + \pi) \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha}$ und Louvrié (siehe Revue de l'Aéronautique 1890) $\eta = \frac{2 (1 + \cos \alpha) \sin \alpha}{1 + \cos \alpha + \sin \alpha}$; auf Grund der Experimente von Thibault gab Duchemin $\eta = \frac{2 \sin \alpha}{1 + \sin^2 \alpha}$, Lössl und Goupil zufolge ihrer Messungen $\eta = \sin \alpha$; Langley's Messungsresultate stimmen sehr nahe mit Duchemin's Formel; Rénard giebt zufolge seiner Studien der Beobachtungen von Vince, Hutton und Thibault . . . $\eta = a \sin \alpha - (a - 1) \sin^3 \alpha$, wo a nahe $= 2$ ist (siehe Séances de la Société française de Physique, 1889, S. 19), so dass seine Angabe bei kleinen α mit Duchemin's Formel nahe zusammentrifft.

Die nachstehende kleine Tafel giebt nun eine Uebersicht über die Zahlenwerthe von η für verschiedene α bis zu 30^0, wobei ich die Zahlen von Hutton und Thibault der Mécanique Industrielle von Poncelet entnehme;

	Hutton	Thibault	Duchemin	Louvrié	Lössl	Rayleigh	Langley
$\alpha = 5^0$ . . .	0,270	—	0,174	0,167	0,087	0,146	0,15
$= 10^0$ . . .	0,264	0,328	0,337	0,319	0,174	0,273	0,30
$= 15^0$ . . .	0,351	0,42	0,486	0,457	0,259	0,384	0,46
$= 30^0$ . . .	0,750	0,764	0,800	0,789	0,500	0,641	0.78

Wie man sieht, schwankt η so ziemlich zwischen dem Ausdruck $sin\,\alpha$ und $\frac{2\,sin\,\alpha}{1+sin^2\,\alpha}$; soll eine Ansicht über dessen wahrscheinlichen Werth ausgesprochen werden, so glaube ich, dass das oben erwähnte „classisch" genannte Experiment Lössl's mit dem schief gestellten drehbaren Rahmen, in dem zwei Flächen unter verschiedenen Winkeln eingespannt sind, für den Ausdruck $sin\,\alpha$ mit voller Sicherheit entscheidet und wir haben daher ganz allgemein $P_{(\alpha)} = P_{(90)} . sin\,\alpha$, resp. für kreisförmige Bewegung von kleinem Halbmesser . . $P_\alpha = 0{,}1\,\gamma\,F\,v^2\,sin\,\alpha$ und für geradlinige Bewegung . . $P_\alpha = 0{,}06 . \gamma\,F\,v^2\,sin\,\alpha$ zu nehmen. —

Diese Darstellung resp. Unterscheidung der Coefficienten je nach Art der Bewegung, dürfte wohl rationell und wohl begründet, also in aerodynamischer Hinsicht exact sein; in flugtechnischer Beziehung jedoch ist es meiner Ansicht nach ganz irrelevant, ob man mit 0,07 oder mit 0,125 rechnet; denn für Berechnung von Projecten, wo man doch die Sachen nicht auf die Schneide stellen, sondern umgekehrt Sicherheitscoefficienten einführen wird, werden diese letzteren den Unterschied zwischen 0,07 und 0,125 weitaus übertreffen, oder man wird doch mindestens eine Mittelzahl zwischen 0,07 und 0,125 anwenden, und wegen der höchst wahrscheinlichen Abnahme des specifischen Druckes mit der absoluten Flächengrösse, die ungünstigere Zahl; ganz abgesehen davon, dass man wahrscheinlich nicht mit ebenen Flächen, sondern mit den, wohl günstigeren, gekrümmten Flächen in die Rechnung eingehen wird. Und bei allgemeinen theoretischen und bei praktischen, jedoch bloss vergleichenden Untersuchungen kommt es auf die Genauigkeit in der absoluten Grösse der Coefficienten überhaupt gar nicht an.

Ich werde daher in den folgenden Betrachtungen direkt die Formel mit 0,125 in der Ausdrucksweise Lössl's . . $P_{(\alpha)} = \frac{\gamma\,F\,v^2}{g}\,sin\,\alpha$ benutzen.

Was die Widerstände verschieden geformter Flächen, wie von Keilen, Cylindern und Kugeln betrifft, so scheint mir die Messmethode Lössl's mittelst seines Wagapparates die weitaus genaueste unter allen bisherigen zu sein und wir müssen wohl seine, oben mitgetheilten, Coefficienten allen anderen, von ihnen verschiedenen Angaben gegenüber, vorziehen.

Was den Angriffspunkt des Normaldrucks der Luft bei schiefbewegten Flächen betrifft, so liegen jetzt noch viel zu wenig Messungen vor, um auf Grund derselben eine halbwegs sichere Regel oder Formel aufzustellen. Dieses — zuerst von Avanzini behandelte — Problem des Vorrückens des Druckcentrums gegen die Vorderkante einer schräg bewegten Fläche wurde in neuerer Zeit bezüglich der Luft nur von Kummer, Dines und Langley in geringem Maasse experimentell behandelt; die Lösung dieses Problems hat speciell für die Flugtechnik übrigens nicht die grosse Bedeutung, wie jene beiden obigen der Richtung und Grösse des Normaldruckes.

Von grosser Tragweite ist jedoch die Lösung der Aufgabe: Den Einfluss zu bestimmen, den die relative Lage der Contour einer schräg bewegten Fläche gegen die Bewegungsrichtung auf die Grösse des Normaldrucks ausübt; es begreift dies die jetzt immer häufiger behandelte Aufgabe in sich, den Vortheil grosser Spannweiten schmal-rechteckiger Flügel- oder Drachenflächen zu präcisiren. Auch auf diesem Gebiete liegt noch sehr geringes Beobachtungsmaterial vor, aus früherer Zeit von Thibault (Poncelet Mec. ind. S. 618), in neuerer namentlich von Kummer (Berliner Akademie-Abh. 1875 und 1876) und Langley (Experiments in Aerodynamics, 1891); es ist aber keinem Zweifel mehr unterworfen, dass wenigstens bei kleinen Neigungswinkeln der Normaldruck nicht unbedeutend grösser ist, wenn ein schmaler Rechteckstreifen mit seiner langen Seite quer zur Bewegungsrichtung steht, als wenn diese Längsseite in der Bewegungsrichtung liegt. Im Abschnitt III. dieses Aufsatzes wird mehr über diesen Punkt gesprochen, der noch seiner Erledigung harrt, trotzdem er für die Flugtechnik von grösster Bedeutung und für die Aerodynamik selbst so einflussreich ist, dass z. B. Rénard die Unterschiede in den Formeln für den schrägen Luftstoss, wonach einige $sin^2\ \alpha$, andere aber $sin^1\ \alpha$ für den obigen Coefficienten η aufstellten, einzig und allein auf den Unterschied in der Stellung der Contouren der Versuchsflächen zu der Bewegungsrichtung zurückführen will.

Ebenfalls sehr geringfügig sind die bisherigen Beobachtungsmaterialien, betreffend die Verhältnisse bei sogen. Etagen-Propellern und Etagen-Flächen, wobei es sich darum handelt, die Stärke des gesammten Normaldruckes zu bestimmen, wenn gleiche Flächen übereinander gestellt und von der Luft schief getroffen werden; das Wichtigste hierin verdanken wir Langley (siehe seine Experiments in Aerodynamics), jedoch wäre die Fortführung dieser Versuche, namentlich mit Etagenpropellern, in grösserem Maassstabe sehr lehrreich und flugtechnisch nützlich.

Alles Bisherige bezog sich auf gleichmässige Bewegung der ebenen Flächen gegen die Luft; aber es darf nicht vergessen werden, auch die ungleichmässige, pulsirende Bewegung in Beziehung auf die Grösse des entstehenden Luftdruckes einer experimentalen Untersuchung zu unterwerfen. Lilienthal giebt in seinem schönen Werke: „Ueber den Vogelflug“ an, dass er in solchen Fällen, resp. bei hin- und hergehenden Flügelschlägen, eine 9 bis 25fache Vergrösserung des Luftdrucks von jenem bei gleichmässiger Bewegung beobachtete; selbst wenn sich diese „Vergrösserung des Luftwiderstandes durch Schlagbewegungen“ bei weiter fortgesetzten genaueren Messungen nicht so bedeutend wie nach Lilienthal's Angaben herausstellen würde, so könnte der Gewinn an Druck doch immerhin für die flugtechnischen Constructionen von einiger Bedeutung sein. Allerdings lehrt eine nähere Ueberlegung im Vorhinein, dass, wie es auch Lilienthal ausspricht, bei gleichzeitiger Vorwärtsbewegung der Gewinn an Luftdruck schlagender Flügel wieder abnehmen dürfte, denn es scheint mir, dass dann das Auftreffen an stets neue noch unaufgerührte Luftmassen principiell den analogen Nutzen hat wie beschleunigte, d. i. Schlagbewegungen am Platz; in beiden Fällen handelt es sich um Gewinnung grosser Trägheit der getroffenen Luftmassen bezüglich der Bewegungsrichtung der stossenden Fläche.

In diesem Zusammenhange sei, als lehrreich angeführt, dass schon Didion auf diese Vergrösserung des Luftwiderstandes in Folge von Beschleunigungen aufmerksam machte, und er gab auf Grund seiner Versuche bereits eine Formel dafür an, die so lautet (Siehe Poncelet's Mec. Ind. S. 626): $P_{(90)} = F\left[0{,}036 + 0{,}084 \,.\, v^2 + 0{,}164 \frac{v}{t}\right]$ .... wo für einigermassen grosse v das erste Glied bedeutungslos wird, der Coefficient 0,084 der oben erwähnte Coefficient ξ ist und $\frac{v}{t}$ die entstehende Beschleunigung bedeutet. Dieser Einfluss der Beschleunigung wird von Poncelet durch die Trägheit der der Fläche adhärirenden Luftmasse erklärt und er bringt dies mit der schon im vorigen Jahrhundert von Dubuat und in unserem von Bessel und Sabine beobachteten Verlangsamung der Schwingungen in Zusammenhang, die ein Pendel in Flüssigkeiten gegenüber jenem im Vacuum aufweist; denn auch das Pendel muss bei jedem Geschwindigkeitswechsel die Trägheit der anhängenden Luftmasse überwinden; bei bewegten Flächen wäre das der sogenannte Lufthügel.

In wie weit diese Erklärung, namentlich quantitativ, hinreicht, um die Widerstandsvergrösserung durch pulsirende Bewegung zu erklären, könnte nur eine eingehende messende und theoretische Untersuchung lehren.

Das letzte, aber wichtigste Capitel weiterer experimenteller, aerodynamischer Untersuchungen betrifft die Grösse und Richtung des Luftdruckes an gewölbten Flächen.

Bisher besitzen wir nur die Publikationen von Lilienthal und Wellner, die, meiner Ansicht nach, noch weitere eingehende Beobachtungen sehr wünschenswerth erscheinen lassen; nach Allem, u. A. auch nach Versuchen von Philipps, scheint es jedoch fest zu stehen, dass der hebende Luftdruck auf gewölbte Flächen nicht unbedeutend grösser ist, als auf gleich grosse und und gleich schief gestellte ebene Flächen.

Eine verlässliche Angabe über die hier obwaltenden Verhältnisse wäre ebenso wichtig, wie die bisherigen Forschungen über die Potenz des Sinus beim schiefen Stosse ebener Flächen es sind: und eine für den Flugtechniker ebenso erfreuliche Thatsache, wie die verbesserte Einsicht, dass $\sin \alpha$ und nicht $\sin^2 \alpha$ massgebend sei, wäre die empirisch gewonnene Gewissheit, dass die hebende Componente des Luftdruckes bei gewölbten Flächen nahezu so gross sei, wie dies z. B. von Lilienthal behauptet wird.

II.

Herr v. Loessl begnügte sich nicht mit der blos empirischen Gewinnung von Thatsachen, also mit der directen Messung der Luftwiderstände, sondern in ächt wissenschaftlichem Geiste forschte er auch nach den inneren Gründen der gefundenen Resultate, und auf diesem Wege gelangte er zum Studium des von ihm sogenannten „Lufthügels". Angeregt durch eine zufällige Beobachtung, fand Loessl, nach vielfachen Studien, die Thatsache immer bestätigt, dass sich vor der stossenden Fläche ein Hügel von comprimirter Luft aufbaue, der im Beharrungszustande stets in voller Ruhe, also ohne Luftwechsel, resp. -Austausch, an der Fläche haftet, dessen Seitenflächen — im Gegensatze zu allen bisherigen Annahmen — nicht gekrümmt, sondern eben sind, und an denen die anprallende Luft seitlich und zwar senkrecht auf die Bewegungsrichtung ausweicht, resp. seitlich gedrängt wird; so dass der Druck auf und in diesem Lufthügel, und daher auch normal auf die stossende Fläche eigentlich als ein Reactionsstoss der seitlich entweichenden Luft anzusehen ist.

Die Neigungswinkel aller Flächen dieses Lufthügels müssten ferner gegen die Bewegungsrichtung untereinander gleich sein, weil sonst in dem comprimirten Lufthügel kein Gleichgewicht stattfinden könnte; und Loessl giebt ferner an, dass bei ebenen Flächen, die unter $\measuredangle \alpha$ die Luft treffen, der Neigungswinkel β aller Lufthügelflächen gegen die Bewegungsrichtung der Fläche so sei, dass $\operatorname{tg} \beta = \sin \alpha$. Mittelst dieser Relation leitet der Autor die auf empirischem Wege gefundenen Widerstandsformeln ab und damit, wie mit vielfachen directen Beobachtungen (mittelst Kerzenflammen) begründet und rechtfertigt er seine Annahmen über die Beschaffenheit jenes Lufthügels und die zugehörigen Vorgänge.

Zugehörig zur Theorie des Lufthügels ist auch noch die Annahme, dass sich um den Lufthügel herum eine sogenannte „Corona" durch die seitlich gedrängte und verdichtete Luft bilde, deren Volum in einer bestimmten Zeit immer gerade so gross sei wie das der Luft, welche durch die Bewegung der stossenden Fläche direct (kinematisch) verdrängt wird.

Durch das Studium des Lufthügels suchte Loessl sich von allen Theorien über Strömungslinien der neueren Aerodynamik und von jeder Hypothese überhaupt unabhängig zu machen, und da sich ihm auch die direct gemessenen Luftwiderstände mit der aus seiner Hügeltheorie abgeleiteten als identisch ergaben, so wäre hiermit in der That eine wichtige neue Einsicht in die Aerodynamik gewonnen worden.

Um die Widerstandsformeln rechnungsmässig aus der Lufthügeltheorie ableiten zu können, benutzt Loessl folgende Gedanken:

1. Was die Menge oder das Gewicht G der verdrängten Luft betrifft, die mit einer gewissen Geschwindigkeit v_1 seitlich entweicht, und deren lebendige Kraft $L = \frac{G \cdot v^2_1}{2g}$ ist, so — meint Loessl — ist sie nicht gleich jener, die factisch (kinematisch) durch die stossende Fläche aus ihrer Bahn gedrängt wird, sondern „es zeigt sich", dass „der aus dem Nachbarmedium zu verschiebende Theil regelmässig ebenso gross ist, wie der zwischen den Flächenpositionen eingeschlossene Cubikinhalt." (S. 65).

Die die „Corona" bildende, resp. dorthin eindringende Luft muss nämlich zuvor die daselbst „ursprünglich enthalten gewesene Luftmasse mit dem gleichen Inhalte" ... „in die Umgebung hinausdrängen ..." „die in einer Secunde stattfindende gesammte Verdrängung erstreckt sich also auf den doppelten Cubikinhalt $F \cdot v + F \cdot v = 2\,Fv$" (S. 56), wo F den Querschnitt der ankommenden Luftsäule bedeutet.

2. Was die Geschwindigkeit v_1 der abgedrängten Luft betrifft, so soll dieselbe im Allgemeinen, also bei unter $\measuredangle \alpha$ schief stossenden Flächen, sich folgendermaaasen feststellen lassen. (Siehe Fig. 1.)

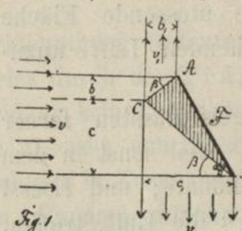

Fig. 1

Die Luft stösst gegen die schief gestellte Fläche $AB = F$ mit einer Geschwindigkeit v und durch einen Strömungs-, also „Eintritts"-Querschnitt $b + c = F \sin \alpha$, dann ist der „Mantel" des Lufthügels $AC + BC = \frac{b + c}{\sin \beta} = \frac{F \sin \alpha}{\sin \beta}$; von diesem Mantel prallt die Luft nach allen Seiten senkrecht auf v ab, und daher ist der Austrittsquerschnitt der abfliessenden Luft $= b + c, = (AC + BC) \cos \beta = \frac{F \sin \alpha}{tg \beta}$. Macht man nun mit Loessl die Annahme $\sin \alpha = tg \beta$, so ist der totale Austrittsquerschnitt $= F$. Wie verhalten sich nun die resp. Geschwindigkeiten v und v_1?

Darüber heisst es auf S. 107: „es müssen in dem nämlichen Verhältnisse (wie $F \sin \alpha$ zu F) umgekehrt die Geschwindigkeits wirkungen der betreffenden Luftströme stehen und es wird also, wenn die directe Geschwindigkeit mit v^2 wirkt, die Geschwindigkeitswirkung der Seitenströmung, d. i. $v_1{}^2 = v^2 \cdot \frac{F \sin \alpha}{F}$ oder auch $v_1 = v\sqrt{\sin \alpha}$ sein."

Den citirten Satz über die „Geschwindigkeits wirkungen" entnimmt aber der Autor den Erscheinungen an normal stossenden Flächen, wo in der That in die Formel für den Luftdruck nebst dem Stromquerschnitt der ankommenden Luft das Quadrat von deren Geschwindigkeit als Factoren eingehen.

Vermöge 1) und 2) findet dann Loessl leicht, dass der „Reactionsstoss der seitwärts gedrängten Luft $N_1 = \frac{\gamma v_1^2}{g} f_1$ sei, wo $v_1 = v\sqrt{\sin\alpha}$ und f_1 der Gesammt-Querschnitt der seitlichen Luftströme von der Grösse F, daher wird $N_1 = \frac{\gamma F v^2}{g} \sin\alpha$ (S. 107) identisch mit der empirisch gefundenen Formel für den Normaldruck auf die specifisch gleich stark gedrückte und ebenso grosse schiefstehende Fläche F. Ferner ergiebt sich auch sofort für die Secundenarbeit $L = \frac{G v_1^2}{2g}$, wo G zufolge 1) gleich dem zweifachen Cubikinhalt $F \sin\alpha \times v\gamma$ ist, also ... $L = F \sin^2 . v^3 . \frac{\gamma}{g}$, was ebenfalls mit den directen Messungen übereinstimmt.

In Anbetracht dieser eleganten Ableitungen, ferner der Einfachheit der ganzen Vorstellung und endlich der zahlreichen Beobachtungen Loessl's, welche letztere als Thatsachen doch einen starken Eindruck machen müssen, kann man dieser Lufthügelstudie nur mit grösster Sympathie entgegen kommen, und dies um so mehr, wenn man bedenkt, wie complicirt die bisherigen hydrodynamischen Rechnungen sind, die doch trotzdem nicht so genau mit den Messungsresultaten übereinstimmen wie die Rechnungen gemäss den Annahmen Loessl's über den Lufthügel. (Siehe Tabelle V auf S. 148.) Um nun mit mehr Beruhigung dieser Theorie zustimmen zu können, muss ich aber mehrere Einwendungen vorbringen, in der Hoffnung, dieselben widerlegt, und, die Möglichkeit zugegeben, dass ich manche Deductionen Loessl's missverstanden haben mag, diese aufgeklärt zu sehen.

Ich hebe vor Allem ausdrücklich hervor, dass das Vorhandensein eines Stauhügels der stossenden Flüssigkeit an und für sich längst feststeht und schon von Dubuat für Wasser und neuestens von Marey experimentell auch für Luft constatirt wurde, und dies schon für mässige Geschwindigkeiten, für grosse von E. Mach durch directe Photographie; Loessl's Ansichten über den Lufthügel und die Vorgänge an demselben unterscheiden sich aber in mehreren wesentlichen Punkten von den bisherigen Annahmen und geben zugleich zu Consequenzen Anlass, die mir schwer acceptabel erscheinen. Allerdings setzt mein Widerspruch voraus, dass die Beobachtungsmethoden Loessl's nicht hinreichen, seine Theorie zu unterstützen und dass also die Thatsachen mir nicht so klar vorhanden und analysirt erscheinen, wie es der Autor voraussetzt.

Was nun den Punkt 1) betrifft, so leuchtet mir nicht die Nothwendigkeit ein, das Luftvolum genau doppelt so gross als das ursprünglich verdrängte anzunehmen und von dieser Annahme hängt doch der prinzipielle Bau der Formel bezüglich der Luft menge ab; wenn gesagt wird, dass „die in der Corona ursprünglich enthaltene Luft von gleichem Inhalte mit der eindringenden in die Umgebung hinaus gedrängt werden müsse, die in einer Sekunde stattfindende gesammte Verdrängung erstrecke sich also auf den doppelten Cubikinhalt" (S. 86), so kann man ja diese Argumentation beliebig weiter führen und also wiederum eine dritte Luftmasse von gleichem Inhalte in der etwas entfernteren Nachbarschaft betrachten, welche von jener, aus der Corona verdrängten, gerade so gut weggedrängt werden muss, wie diese von der durch den Stoss direct vertriebenen u. s. w., man hätte also Luftmengen 1. Ordnung, 2. u. 3. Ordnung, die hintereinander abdrängen, und setzt man dies fort, so müsste man die ganze Athmosphäre der Rechnung zu Grunde legen. Die Schwierigkeit, von der einfachen Luftmenge zur doppelten überzugehen, zu dem Zweck die Formel für die lebendige Kraft $\frac{mv^2}{2}$ mit der factisch gemessenen mv^2 in Uebereinstimmung zu bringen, müsste daher in anderer Weise gelöst werden, und ich glaube, die Bestimmung der Luftmenge sei eine bisher ungelöste, und wahrscheinlich theoretisch nicht zu lösende Aufgabe.

Was ferner den Punkt 2) betrifft, nämlich die Berechnung der Geschwindigkeit v_1 der abfliessenden Luft, so wird sie, wie angeführt wurde, dadurch bestimmt, dass von den „Geschwindigkeitswirkungen" ausgegangen wird, die sich „umgekehrt wie die Strömungsquerschnitte verhalten müssen".

Nun ist aber doch gewiss eine viel sicherere Grundlage der Berechnung von v_1 der Satz, dass das gesammte Luftvolum stets dasselbe sei, also die einströmende Menge gleich der austretenden, weil ja keine Luft verloren oder gewonnen werden kann, deren Geschwindigkeiten daher sich umgekehrt verhalten müssen wie ihre Strömungsquerschnitte, dass also $F \sin \alpha \times v = F \, . \, v_1$ d. h. $v_1 = v \sin \alpha$ sei — was in der Begründung richtig wäre, im Resultat aber, verglichen mit den Messungen, eine falsche Formel hervorbrächte. Loessl selbst benutzte übrigens diesen Satz von der Constanz der zu- und abfliessenden Luftmengen bei Behandlung des Lufthügels auf normal stossenden Flächen, und ich weiss nicht, warum er ihn nicht auch bei schief stossenden in Anwendung brachte, resp. als Schwierigkeit gegen seine Ansicht von der Geschwindigkeitswirkung betrachtete. Wenn ich also hier nicht irre, so ist, da doch die Gesammt-Mengen-Constanz unwiderleglich ist, rückwärts geschlossen, die Vorstellung der Art des Abflusses und der Neigung des Lufthügels unter $\sphericalangle \beta$ u. s. w. nicht aufrecht zu halten.

Was die Annahme $tg \, \beta = \sin \alpha$ betrifft, die in Punkt 2) als nothwendig zum Gelingen der richtigen Berechnungen angeführt wurde, so wird sie von Loessl nicht als aus Beobachtungen entnommen, sondern eben nur als „Schlüssel" charakterisirt, „wodurch sich eine sinngemässe, allmälige Um-gestaltung des Winkels β ergiebt" (S. 102), und er ging hierbei von den beiden Grenzfällen $\alpha = 0^0$ und $\alpha = 90^0$ aus, wo sich β leicht mit voller Gewissheit, auch aus den Beobachtungen ergiebt. Nun könnte man allerdings, um diesen Grenzbedingungen zu genügen, statt $tg\beta = sin\,\alpha$ . . auch $tg^n\beta = sin\,\alpha$ annehmen, wo n jede beliebige (z. B. ganze) Zahl sein könnte, und die Loessl'sche Annahme wäre dann nur, zwar willkürlich aber die einfachste von allen, jedoch kann man prinzipiell gegen dieselbe nichts einwenden, falls man auf eben diesem Wege die richtigen Widerstandsformeln, d. i. die empirisch bewährten, leicht abzuleiten vermag. Jedenfalls wäre es aber sehr erwünscht gewesen, dieses β für schiefe Flächen direkt beobachtet zu wissen, denn damit wäre für Feststellung der Theorie des Lufthügels sehr viel gewonnen worden.

Zu den bisherigen Einwendungen kommen noch weitere Bedenken, die ich schon im Jahre 1877 vorbrachte — und auf die Herr von Loessl auf S. 24 hindeutet — und deren Widerlegung oder Erledigung für das Thema des Lufthügels ebenfalls sehr wünschenswerth gewesen wäre; zum besseren Verständniss hebe ich aber vorher jene Punkte hervor, durch die sich die Loessl'sche Vorstellung des Lufthügels von den bisherigen unterscheidet:

Man nimmt sonst an, dass der Stauhügel aus einem Kern von Luft besteht, dass längs desselben die Luft in krummen Linien, also auch in Componenten parallel der Fläche abströme und sich um die Kanten sanft abbiege. Loessl dagegen nimmt an, dass der Stauhügel die ganze Fläche bis an die Ränder einhülle, sich mit der ankommenden Luft nie vermische, dass die entweichende Luft gar keine Componente als jene senkrecht zur Bewegungsrichtung besitze, und dass die Begrenzung des, wie ein fester Körper an der Fläche haftenden Lufthügels, nicht gekrümmte, sondern ganz ebene Flächen, also auch mit geradlinigen Kanten seien, so wie dies Loessl an Stauhügeln von festen Körpern: Thon, Gries, Schrot und dergl. beobachten konnte.

Mir fallen alle diese Vorstellungen schwer: ebene Luftflächen, scharfe Luftkanten, Reflexion der Luft an diesen Luftebenen wie Lichtstrahlen von Spiegeln, genauer Bewegungs-Parallelismus aller entweichenden, resp. abprallenden Lufttheile, und endlich — am allerschwierigsten zu glauben — die vollständige Permanenz der Luft im Lufthügel, d. h. vollständiger Mangel an Austausch und Luftwechsel innerhalb des Stauhügels. Unzählbare Erfahrungen zeigen uns ja, dass ein warmer Körper durch bewegte Luft rascher abkühlt, als durch ruhende, ebenso, dass ein feuchter Körper, wenn bewegt, schneller trocknet, als wenn in Ruhe befindlich; wenn nun solche Körper, nach Loessl's Ansicht, vollständig von einem starren Lufthügel bedeckt sind, so sind diese Thatsachen schwer zu erklären, da jede Beförderung des Luftwechsels ausgeschlossen bliebe.

Und diese Beförderung der Abkühlung durch bewegte Luft ist durchaus keine geringe; man weiss das aus den Erfahrungen der Heiztechniker und erst in jüngster Zeit wurden (von Oberbeck in Wiedemann's Annalen für Physik, 1895 No. 10) Messungen publicirt, wonach ein elektrisch erhitzter Platindraht, bei ruhiger Luft 550° C besass, bei einer Luftströmung von nur 3,6 m Geschwindigkeit sich um 350° abkühlte, und wonach ferner die Abkühlungen (genau) proportional der Luftgeschwindigkeit waren.

Wir haben daher auf der einen Seite die Beobachtungen Loessl' mittelst Kerzenflammen, die ihn zu seinen Ansichten führten, auf der andern Seite aber eine weitaus überwiegende Zahl ihnen widersprechender Thatsachen.

Ein weiterer Grund, die Loessl'sche Lufthügeltheorie zu verwerfen, ist das Avanzini'sche Phänomen, d. i. die asymetrische Lage des Druckmittelpunktes bei schiefem Stosse auf ebene Flächen; denn die Asymetrie ist doch nur erklärlich durch eine Ungleichheit des Luftdruckes auf die verschiedenen Flächenelemente, indem der specifische Druck in der Vorderkantengegend am grössten und dann gegen die Hinterkante stets abnehmend gedacht werden muss und so auch durch Beobachtungen gefunden wurde. Nun setzt aber Loessl voraus, dass der Lufthügel durchaus gleichförmig comprimirt sei und daher alle Flächenelemente gleich stark drücke, diese Annahme steht daher meines Erachtens mit obiger feststehender Thatsache in unlösbarem Widerspruche.

Endlich spricht auch die directe Anschauung gegen die Loessl'schen Vorstellungen über den Lufthügel; ich meine hiermit die photographischen Abbildungen der Strömungslinien, welche Marey bei tropfbaren Flüssigkeiten fixirte (siehe dessen Werk: „Le mouvement" 1894) und jene, welche Dr. Ludwig Mach (in Heft 6 dieser Zeitschr. dieses Jahres) in dem Aufsatze: „Ueber die Sichtbarmachung von Luftstromlinien" publicirte.

Sowohl Marey's als Mach's Aufnahmen sind mit der Voraussetzung Loessl's von ebenen Flächen des Lufthügels und parallelen Ausweichungs- resp. Abstromlinien der Luft von dessen Mantelflächen unvereinbar; und obwohl bei dem Mach'schen Versuchsarrangement die gestossenen Flächen nicht auf allen Seiten so frei liegen, wie es bei solchen Vorgängen stets vorausgesetzt wird, sondern eigentlich nur auf 2 Seiten frei von der stossenden Luft bespült werden, so erkennt man doch deutlich (Taf. I Fig. 1, 3, 4 und 5 und Tafel II Fig. 7, 8, 9 und 10), dass von einem solchen Abströmen der Luft wie bei den Erdschollen zur Seite der Pflugschaar, wie Loessl behauptet, gar keine entfernte Andeutung, sondern eine principielle Uebereinstimmung mit der Vorstellung gekrümmter, um die Kanten gehender Strömungslinien deutlich vorhanden ist.[1])

---

[1]) In physikalischer Beziehung wichtig und interessant ist die von Mach beobachtete Thatsache, dass ein Oscilliren, ein stetiger Wechsel der Luft-

III.

Wir kommen in unserer Übersicht der Loessl'schen Arbeiten nunmehr zu jenen, in denen nicht mehr Resultate von Experimenten, sondern von theoretischen Spekulationen, und wo Anwendungen von Formeln auf aërodynamische Vorgänge dargeboten werden. Von S. 171 bis 206 behandelt der Autor den „Fall durch die Luft", namentlich den Fall mit horizontal gestellten Flächen; Loessl entwickelt hierbei die aus der analytischen Mechanik bekannten Formeln, nimmt sich aber die Mühe, und daher stammt die Weitläufigkeit der Darstellung, Tabellen für verschiedene Verhältnisse von Gewicht zur Fläche zu berechnen und einzelne Beispiele zu geben; jene Tabellen, sowie auch die zahlreichen Diagramme, sind eine angenehme Zugabe zu den allgemeinen Formeln, weil sie übersichtlich die hier obwaltenden Verhältnisse darstellen und zugleich für spätere Probleme in Loessl's Buch als Unterlage dienen, resp. viele Zahlenausrechnungen ersparen helfen.[1])

Für den Fall schiefgestellter Flächen wird natürlich die durch Experimente festgestellte Formel für den „directen" Luftwiderstand eingeführt.

Auf S. 195 u. 196 zeigt Loessl an dem Beispiele der fallenden Körper von immer kleiner gedachten Dimensionen, wie langsam feine Staubtheilchen durch die Luft fallen; dabei spielt das Verhältniss vom Gewicht zur Unterfläche die entscheidende Rolle, wenn man, wie Loessl, nur das Fallgesetz mit dem Luftwiderstandsgesetz combinirt. Ich möchte jedoch, behufs vollständigerer Einsicht in diese Art von Erscheinungen, darauf aufmerksam machen, dass diese Berechnungsart, resp. Behandlungsweise, n i c h t zum genügenden Verständniss des Falles sehr kleiner Körper führt, sondern es muss auch Rücksicht auf die L u f t r e i b u n g, oder die sogen. „Zähigkeit" der Luft genommen werden, und dann ergeben sich, nach den Untersuchungen von Stokes, Maxwell u. A., wesentlich andere Resultate, d. h. der Fall solcher Körperchen geschieht viel langsamer, als nach obigen Formeln Loessl's. So z. B. fällt ein Wassertropfen von $^1/_{400}$ cm Durchmesser nur 2 cm pro Sekunde (siehe z. B. Maxwells „T h e o r i e d e r W ä r m e"), während nach den blossen Luftwiderstandsformeln diese constante Fallgeschwindigkeit nahezu 66 cm betragen würde.

---

strömungen längs des getroffenen Körpers stattfinde, denn hierdurch erscheint die verstärkte Abkühlung warmer Körper durch stossende Flüssigkeiten zur vollen Klarheit gebracht; ein permanent identischer Lufthügel ist eben niemals vorhanden und nur die Inconstanz der Strömungsvorgänge bewirkt den rapiden Luftwechsel und die beschleunigte Fortführung der Calorieen resp. des Dunstes feuchter Körper.

[1]) Die erste und eingehendste Anwendung der hier geltenden Formeln auf ein rein flugtechnisches Problem rührt vom Obersten K a d a r z her, der im J. 1891 dieser Zeitschrift von ihnen bei Beurtheilung des Projects der „S e g e l b a l l o n s" Gebrauch machte.

Die wichtigste theoretische Arbeit in dem Loessl'schen Buche, welche die Grundlage für seine sämmtlichen später folgenden Untersuchungen über Vogelflug, also auch für Flugmaschinen bildet, betrifft das Problem, das auf S. 211 beginnt und den Titel führt: „Motorischer Antrieb zur Horizontalbewegung“ und „Breitedimension oder Spannweite einer schwebenden dünnen Platte, und die hieraus sich ergebende Lösung des Schwebeflug-Problems“.

Hier handelt es sich um folgende Aufgabe:

Aus den Experimenten ergab sich die constante Endgeschwindigkeit V_1 einer horizontal gestellten, mit einem Gewichte G_1 belasteten Fläche F, welche durch die Luft fällt, .. $V_1 = \sqrt{\frac{gG_1}{\gamma F}}$, wo g die Schwerebeschleunigung und γ das specifische Luftgewicht bedeuten; Frage: Welche constante Endgeschwindigkeit V_2 wird eintreten, wenn dieselbe Fläche unter gleicher Belastung gleichzeitig eine horizontale Geschwindigkeit v besitzt? Oder, was die gleiche Aufgabe darstellt, welche Belastung G_2 kann von der Fläche F bei gleicher Endgeschwindigkeit V_1 getragen werden, wenn sie gleichzeitig mit der horizontalen Geschwindigkeit v fortschreitet?

Loessl beantwortet diese Frage mit der Formel .. $V_2 = \sqrt{\frac{gG_1}{\gamma(F+bv)}}$ wo b die Breite der Fläche, resp. die Spannweite, senkrecht zur Bewegungsrichtung v bedeutet, und seine Argumentation ist folgende (§ 211): „Die Fläche gleitet dabei über eine bestimmte Luftfläche hinweg, welche ihr als stützende Unterlage dient .... Die wirksame Flächenausdehnung der Platte ist gleich dem wirklichen Flächenausmaafse F der Platte mehr dem aus der Plattenbreite b und der secundlichen Geschwindigkeit v sich ergebenden Quadratsausmaafse.“

Das hier angeführte Problem spielt seit jeher bei flugtechnischen Projecten und Erörterungen eine grosse Rolle, meistens wird hierbei von dem über Eisschollen schnell hingleitenden und nicht untersinkenden Schlitten, von über schwachen Brücken fahrenden Locomotiven u. dergl. gesprochen, und, was speciell die obige Formel Loessl's, („Schwebeformel“ wollen wir sie nennen) betrifft, so haben wenige Wochen, ja wenige Tage nach Erscheinen des Buches, bereits drei Flugtechniker diese vielversprechende Formel ihren Absichten gemäss benutzt oder miteinbezogen[1]). Die bisherige Behandlung war eine höchst einfache, man setzte

[1]) Inzwischen erschienen bereits im Hefte 2/3 dieser Zeitschrift zwei dieser Artikel der betreffenden Flugtechniker, nämlich: „die Anwendung accumulirter Kräfte in der Flugtechnik“ von Lorenz und „Ueber die Stabilität des Drachenfliegers in bewegter Luft“ von Kress, in denen von Loessl's Formel Gebrauch gemacht wird; der Hauptinhalt beider Aufsätze bleibt jedoch hiervon unberührt.

einfach beide Bewegungen der Platte, also V_1 und v, zu einer resultirenden zusammen, die dann Grösse und Richtung der stossenden Luft repräsentirt und hatte bloss nöthig, die Formel für den schiefen Stoss hierauf anzuwenden; man findet das in zahlreichen flugtechnischen Aufsätzen, bei Pénaud, bei Goupil in dessen „La locomotion aérienne“ (1884), in der höchst gediegenen Abhandlung von E. Gerlach: „Ableitung gewisser Bewegungsformen geworfener Scheiben“, (Diese Ztschr. 1886), bei Wellner gelegentlich, in der „Mechanik des Vogelflugs“ (1889) von Parseval, in den Büchern von Winter, Steiger über den Vogelflug u. s. w.

Dass die Loessl'sche Schwebeformel nicht acceptabel sei, ist leicht zu beweisen; man betrachte nur einen speciellen Fall, dessen Resultat man schon, ohne Formeln, vorher aus Erfahrung kennt und vergleiche dieses mit den Ergebnissen der Formel, nämlich man nehme $F = b \,.\, l = 0$ oder nahezu $= 0$ an, und zwar derart, dass die Breite b eine endliche Grösse besitze und die Länge, d. i. die Dimension in der Bewegungsrichtung, verschwindend klein sei. Die Formel giebt dann $V_2 = \sqrt{\frac{gG_1}{\gamma b v}}$, d. h. wenn v nur einigermaassen gross ist, so sinkt ein schwerer Körper, der nur auf einem dünnen Draht oder auf einem ausgespannten Seidenfaden ruht, sehr langsam, d. h. man braucht überhaupt keine wirkliche Fläche als Fallschirm- oder Propellerfläche, um schwere Körper verzögert fallen zu machen. Und, wo möglich, noch evidenter: Eine horizontal gestellte, in Kreuz- oder Sternform ausgeschnittene Scheibe, die in ihrer Ebene rotirt, fällt bekanntlich viel langsamer zu Boden, als eine nicht rotirende (s. oben citirten Aufsatz Gerlach's); aus Loessl's Formel würde folgen, dass man keine Scheibe braucht, sondern nur statt des Sterns einige mathematisch dünne Drähte als Durchmesser, die in ihrer Ebene rotiren, und dieses System würde ebenso langsam sinken, wie die sternförmige wirkliche Fläche.

Machen wir zum Ueberfluss, noch folgende Zahlenrechnung:

Sei $G = 1$ kg, $b = 1$ m, $l = 1$ m, also $F = 1$ m^2, $\frac{g}{\gamma} = 9$, so folgt aus $V_1 = \sqrt{\frac{gG_1}{\gamma F}}$ für die bloss vertikal niedersinkende Fläche $V_1 = 3$ m; wenn diese Fläche aber mit $v = 15$ m gleichzeitig vorwärts geht, so giebt Loessl's Formel $V_2 = {}^3/_4$ m; sodann nehmen wir aber an, $b = 1^1/_{15}$ m und $l = 0{,}001$ m, und sonst Alles wie früher, so folgt, ebenfalls nach dieser Formel $V_2{}^1 = {}^3/_4$ m, d. h. $V_2{}^1 = V_2$ (nahezu) d. h. es herrscht gar kein Unterschied in der Sinkgeschwindigkeit, ob man einen

Fallschirm von 1 m² oder einen feinen Draht von 106 cm Länge und beinahe ohne Dicke als Fallverzögerungsmittel in Anwendung bringt!

Nunmehr betrachten wir die Argumentation Loessl's.

Wenn eine sinkende Fläche zugleich horizontal fortschreitet, oder was dasselbe ist, wenn eine Fläche vertical fällt, während gleichzeitig durch ihren Fallraum ein Luftstrom horizontal durchströmt, so sind das zwei für die gestellte Aufgabe noch nicht in bestimmter Weise benutzbare Angaben, so lange nicht durch eine Analyse des Vorganges festgestellt wird, welcher Antheil der Luft, und mit welcher Geschwindigkeit, und in welcher Richtung (dieser Antheil) an die Fläche wirklich stösst; denn alle Luft, die durch den Fallraum strömt, ohne die Fläche zu drücken, hat ebenso wenig Einfluss auf die Fallverzögerung, wie eine Luftströmung, die beliebig weit von der Fläche entfernt, irgendwo in der Atmosphäre, stattfindet; diese Analyse fehlt aber in der Loessl'schen Argumentation, und sie ist nicht nur nothwendig, sondern auch, aerodynamisch genommen, sehr interessant.

Denken wir uns eine Fläche F, mit einem Gewicht G_1 belastet, bereits im Beharrungszustande, also gleichförmig, durch die Luft fallen, so sinkt sie zufolge der bewährten Lössl'schen Formel $G_1 = \frac{\gamma F}{g} V_1^2$ mit einer secundlichen Geschwindigkeit $V_1 = \sqrt{\frac{g G_1}{\gamma F}}$.

Stellt man sich die Fallzeit in sehr kleine, gleiche Theile getheilt vor, so bewegt sich die Fläche (siehe Fig. 2 u. 3) aus der Anfnagsposition 0

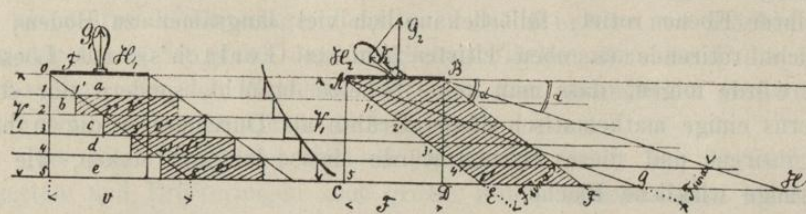

Fig. 2 Fig. 3

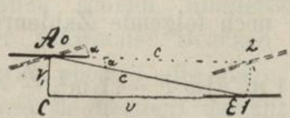

Fig. 4

in jene 1, und verdrängt hierbei kinematisch ein Luftvolum gleich dem Rechteck a mit der Geschwindigkeit 01; im nächsten Zeitabschnitt kommt die Fläche von 1 nach 2, verdrängt kinematisch ein mit a genau gleiches Luftvolum b mit gleicher Geschwindigkeit $12 = 01$; sodann $c = b = a$ mit $23 = 12 = 01$ u. s. w. Ersetzen wir die Belastung durch einen von der Hand ausgeübten Druck am Handgriff H_1, so folgt auch, dass eine die

Fläche F lothrecht mit der Geschwindigkeit V_1 niederstossende Hand einen Gegendruck $= G_1$ erleiden wird.

Nun nehmen wir an, die Fläche werde mit constanter Geschwindigkeit ebenfalls in horizontaler Lage, aber schief abwärts, gegen die Luft gedrückt; dabei sei die horizontal gemessene Verschiebung 55' $= CE = v$ und die lothrecht gemessene abermals gleich $= V_1$; hier beiwerde die Fläche mittels des in der Bewegungsrichtung schief auf die Fläche befestigten Handgriffes H_2, wie zwischen zwei parallelen Bahngeleisen, immer paralllel zu sich selbst fortgeführt; wie gross wird jetzt der Druck normal auf die Fläche, d. h. G_2 und wie gross wird der direkte Druck auf den Handgriff, also der Widerstand für die Hand, K, ausfallen?

Man könnte sich vielleicht hier so helfen wollen, dass man die schiefe Richtung wieder in kleinere Abtheilungen zerlegt und zwar analog, wie in der Geometrie und Kinematik bei krummen Linien, sie aus unendlich kleinen, resp. elementaren, Dreiecken bestehend — wie skizzirt — denkt, also die Fläche im Zickzack stets etwas lothrecht und dann ein wenig horizontal fortbewegt denken; demnach die Fläche aus der Position 0 nach unten in 1 stossen, dann von 1 nach 1' horizontal verschieben, dann von 1' nach abwärts und nach Position 2' schieben u. s. w. Beim verticalen Niederstossen würde offenbar Alles genau so bleiben, wie im ersten Fall (der Fig. 2), d. h. es gelangt dieselbe Luftmenge $a = b' = c' = \ldots$ und auch stets mit derselben Geschwindigkeit $01 = 12 = 23 = \ldots$ zum Stoss und da die horizontalen Verschiebungen nur Luftreibungen, also practisch genommen, keine messbare Wirkung hervorbringen, so würde folgen, dass die Fläche bei so entstanden gedachtem schiefen Weg genau denselben Normaldruck, also wieder G_1 erleiden werde, wie im ersten Fall. In der That glaubten Manche vor längerer Zeit, dass die gleichzeitige horizontale Bewegung eines fallenden Körpers für die Fallgeschwindigkeit ohne Belang sei, da man sich vorstellte, es werden stets dieselben Luftmengen und gleich schnell getroffen, und es träten bloss stets andere Luftmolecule in die Action, als beim verticalen Fall, und wenn man diese Meinung heute vielleicht sonderbar findet, so wird dies kaum mehr der Fall sein, wenn man die Frage — ohne vorherige Experimente — beantworten will, wie es sich mit den Luftwiderständen voller rotirender Flächen, d. h. solchen verhalte, die nicht unterbrochen durch Ausschnitte sind und in ihrer eigenen Fläche rotiren, z. B. volle horizontale Kreisscheiben (statt sternförmiger) oder rotirende Cylinder, die in Luft oder Wasser senkrecht zur Achse fortbewegt werden und wobei noch keine Rücksicht auf Reibung genommen wird. Wird sich auch in diesen Fällen der Luftstoss nach dem Gesetze der relativen Flüssigkeitsbewegung finden lassen?[1]).

[1]) Ich behalte mir vor, messende Versuche über alle diese Vorgänge anzustellen.

Nun zeigen aber vielfache Beobachtungen und Experimente, dass dei verticale (normale) Druck im zweiten Falle stets grösser sei, oder, was dasselbe ist, dass bei gleichem Druck oder Gewicht, bei horizontaler Bewegung der Fläche ein langsameres Niedersinken stattfindet; es folgt daher aus diesen Thatsachen, dass man in der Hydrodynamik die Linien der Bewegung nicht wie in der Geometrie aus beliebig gewählten kleinen (differentiellen) Wegdreiecken zusammengesetzt denken darf, da sonst die Qualität der Vorgänge gänzlich entstellt würde.

Wollte man also wieder, und zwar in richtiger Weise, sehr kleine Zeittheile betrachten, so müsste schon im Unendlichkleinen die Bewegung als eine schiefe vorgestellt werden, die kleinen Parallelogramme (in Fig. 3) $a' b' c' \ldots$ sind dann die kinematisch verdrängten Luftmengen, die schiefen Seiten $0\,1' = 1'\,2' = 2'\,3' = \ldots$ die Geschwindigkeiten der Verdrängung und deren Richtung. Da aber die Rechtecke $a\,b\,c \cdot\cdot = a'\,b'\,c' \cdot\cdot$ sind, so folgt vor Allem, dass beim normalen wie beim schiefen Stoss — und wir haben es offenbar nur mit einem solchen zu thun, wie dies auch richtiger Weise in den oben citirten Schriften und allgemein angenommen wird — wenn in beiden Fällen die normal gerichtete Geschwindigkeit V_1 dieselbe ist, stets dieselbe Luftmenge kinematisch verdrängt wird; „kinematisch" bedeutet, wie man aus allem Bisherigen ersehen konnte, diejenige Luftmenge, die unzweifelhaft vermöge der Bewegung der Fläche, also rein geometrisch berechenbar, von ihrem Platze verdrängt werden muss, wie viel Luft aber factisch, also aerodynamisch, verdrängt wird, das folgt aus dem Quantum der kinematisch verdrängten in gar keiner Weise und wir haben bisher keine Methoden, um bestimmen zu können, wie viel Luft aus der Nachbarschaft des Bewegungsraumes noch mit abgedrängt, nachgezogen oder aufgewirbelt wird.

Da nun das Rechteck $ABCD$ = dem Parallelogramm $ABEF$ ist, so kann in beiden Fällen die Verschiedenheit der Umstände, insolange wir nur von der kinematisch verdrängten Luft sprechen, nur in der verschiedenen Grösse der Geschwindigkeit und der Neigung der gestossenen Luftsäule gegenüber der Fläche liegen, d. h. wir haben es eben mit nichts Anderem als mit dem schiefen Luftstosse zu thun, wo dessen Geschwindigkeit und Richtung durch die Diagonale $AE = c$ aus $AC = V_1$ und $CE = v$ bestimmt wird.

Zufolge Lössl's Experimenten ist nun in solchem Falle $G_2 = \frac{\gamma F c^2}{g}$ $\sin\alpha$ und wegen $\sin\alpha = \frac{V_1}{c}$ auch $G_2 = \frac{\gamma F c}{g} \cdot V_1$ und wenn v gegen V_1 gross ist, wie in practischen Anwendungen fast immer, wird $G_2 = \frac{\gamma F v}{g} V_1$.

Es gilt daher für die verticalen Drucke, die in beiden Fällen herrschen, die Relation $G_1 : G_2 = V_1 : v$ und daher ist immer $G_2 > G_1$, oder, identisch damit, für gleiche Gewichte $G_1 = G_2$, ist $V_1^2 = v \,.\, V_2$. oder $V_2 = V_1 \,.\, \frac{V_1}{v}$, d. h. die Sinkgeschwindigkeit ist bei gleichzeitiger Horizontal-Bewegung stets kleiner als bei lothrechtem Fall.

Sehr interessant ist es, den directen, in der Bewegungsrichtung liegenden Druck K zu kennen, den also die am Handgriffe H_2 schiebende Hand erfährt; nach Lössl's Experimenten ist $K = G_2 \,.\, \sin \alpha = \frac{\gamma F c^2}{g}$ $\sin^2 \alpha = \frac{\gamma F}{g} V_1{}^2 = G_1$, also genau so gross wie der Normaldruck bei lothrechtem Niederstossen der Platte.

Es folgt sofort hieraus, da die Secundenarbeiten, welche die schiebende Hand in beiden Fällen aufzuwenden hat, benannt A_1 und A_2, resp. $= G_1 V_1$ und $K \,.\, c = G_1 \,.\, c$ sind, die Relation . . . . $A_1 : A_2 = V_1 : c$ oder nahezu $= V_1 : v$.

Demnach haben wir folgenden, für schiefen Luftstoss wie für solche Schwebevorgänge geltenden Satz:

Wenn eine ebene Fläche nach einer beliebigen Richtung . . . AC, AE, AG . . . aber immer parallel zu sich selbst gleichmässig fortgetrieben wird, und zwar so, dass in allen diesen Fällen der verschiedenen Bewegungsrichtungen der normal zur Fläche gerechnete Secundenweg gleich gross ist, so erleidet sie in der Bewegungsrichtung stets denselben Druck, die kinematisch verdrängte Luftmenge ist immer gleich gross und sowohl die normalen Drucke wie die nothwendigen Secundenarbeiten verhalten sich genau wie die Wege der Fläche selbst; und:

Um gleich grosse Gewichte oder Drucke zu äquilibriren, müssen die den beiden Bewegungs-Richtungen entsprechenden Secundenarbeiten A_1 und A_2 sich wie $G \,.\, V_1 : G \,.\, V_2$, also wie $V_1 : V_2$ verhalten, wo $V_2 = \frac{V_1{}^2}{v}$ ist, d. h. $A_1 : A_2 = v : V_1$, demnach ist bei schiefen Stoss-Richtungen eine wesentliche Arbeitsersparniss für den gedachten Zweck vorhanden.

Diese ganze Analyse bekam ihr eigentliches Interesse dadurch, dass es sich hier um fallende und zugleich fortbewegte Flächen, und in letzter Instanz, um den Vogelflug, resp. um den Dauerflug oder Gleitflug handelt;

wenn es sich blos um den schiefen Stoss gehandelt hätte, der damit identisch ist, wäre das Interesse wohl in minderem Grade vorhanden gewesen. Jedenfalls ist es sehr merkwürdig, dass obige Betrachtung zum Resultate führt, dass im Widerspruch zur allgemeinen Meinung bei diesen Arten der Sinkverminderung durchaus keine grössere Luftmenge zum Stosse gelangt, als beim lothrechten Fallen: wir meinen natürlich wieder nur die kinematisch zu berechnende Luftmenge, denn nur diese hat man gewöhnlich im Sinne, die aerodynamisch verdrängte kennt man eben nicht.

Um so wichtiger ist aber dann die Frage, woher denn der vergrösserte Normaldruck beim schiefen Stosse, oder resp. die verminderte Sinkgeschwindigkeit bei schiefem Falle eigentlich stamme?

Würde die Fläche statt in freier Atmosphäre, durch eine lufterfüllte, unten offene Röhre geschoben, die sie ausfüllt, so wäre es evident, dass bei schiefen Bewegungsrichtungen die Austrittsquerschnitte für die verdrängte Luft der Grösse $F \sin \alpha$ entsprächen, daher die Austrittsgeschwindigkeiten u_1 und u_2 einer und derselben Luftmenge bei normaler und schiefer Bewegung entsprechen müssen der Relation $u_1 : u_2 = F \sin \alpha : F = \sin \alpha : 1$, weil dieselbe Luftmenge im zweiten Falle durch den kleineren Querschnitt fliessen muss, daher die lebendigen Kräfte oder die Secundenarbeiten $A_1 : A_2 = u_2 : u_2^2 = \sin^2 \alpha : 1 = V_1^2 : c^2$, während in Wirklichkeit $A_1 = A_2 = V_1 : c$ sich ergiebt.

Es strömt eben die Luft nicht in einer Röhre, sondern frei in die Atmosphäre nach allen Seiten aus, und dieser Unterschied macht sich also dadurch kenntlich, dass $u_2 = \frac{u_1}{\sqrt{\sin \alpha}}$ ist, denn nur unter dieser Voraussetzung ist $A_1 : A_2 = u_1^2 : u_2^2 = V_1^2 : \frac{V_1^2}{\sin \alpha} = \sin \alpha : 1 = V_1 : c$, wie es den Messungen zufolge sein soll.

In der That war die Vorstellung einer Röhre das, was den früheren theoretischen Annahmen zu Grunde lag, als man $\sin^2 \alpha$ statt $\sin \alpha$ in die Formel für G beim schiefen Stoss einsetzte; und diese, durch das Experiment als unrichtig nachgewiesene 2. Potenz von $\sin \alpha$ hat also für den oben behandelten aerodynamischen Process den Sinn, dass bei den verschiedenen Bewegungsrichtungen der Platte stets der Normaldruck G dieselbe Grösse besitze, denn dann wäre $G_1 : G_2 = V_1^2 : c^2 \sin^2 \alpha = V_1^2 : V_1^2 = 1 : 1$, während, wie wir sahen, nicht dieser, sondern der directe Druck in der Bewegungsrichtung constant ist.

Die Annahme der Potenz 2 von $\sin \alpha$ beim schiefen Stoss wird daher schon durch die alltägliche Erfahrung widerlegt, dass eine horizontal gestossene Fläche langsamer sinkt, als eine lothrecht fallende.

Einige Flugtechniker sprechen nicht von einer Vermehrung der gestossenen Luftmenge bei der Sinkverminderung, sondern davon, dass die schief gleitende Platte auf ihrem Wege stets „frische, unaufgewirbelte“ Luftparthien treffe und daher grösseren Widerstand finde, als beim lothrechten (normalen) Fallen, wo sie auf — indirekt — aufgestöberte Luft treffe.

Diese Ansicht hat Manches für sich und erklärt vielleicht, wenigstens theilweise, das, was man hier nicht versteht, ohne jedoch andere Annahmen, z. B. Vergrösserung der Luftmenge durch aerodynamische Ursachen, dabei auszuschliessen; immerhin würde es aber einige Schwierigkeiten machen, nach diesem Gesichtspunkt die Sinkverminderung fallender und rotirender stern- oder kreuzförmiger Flächen genügend zu erklären, da man doch meinen sollte, dass der ganze Luftcylinder, durch den diese Fläche hindurch fährt, ziemlich gleichmässig aufgewirbelt werden müsse; und ich verweise diesbezüglich auf eine interessante Stelle in der Abhandlung Kummers: „Über die Wirkung des Luftwiderstandes“ (1875) auf S. 46, wo er mit ausgeschnittenen Flächen experimentirte. Wollte man aber dennoch der Frage nach der getroffenen Luftmenge näher treten, indem man nicht mehr blos von der kinematisch verdrängten Luft ausgehen, sondern aerodynamisch untersuchen will, so müsste man so vorgehen:

Man muss zwei Sätze der Mechanik und das Ergebniss der Experimente combiniren und sagen, dass 1) der Druck normal auf die Fläche unbedingt gleich sein müsse der Bewegungsgrösse in dieser Richtung, also $G_1 = M_1 . V_1$ und $G_2 = M_2 . V_2$, wo die M und V noch unbekannt sind; dass 2) die Secundenarbeiten gleich sein müssen den resp. lebendigen Kräften, also $A_1 : A_2 = M_1 u_1^2 : M_2 u_2^2$, wobei die V die lothrechten Componenten von u sind; 3) dem Experiment zufolge gelten müsse $G_1 : G_2 = A_1 : A_2 = V_1 : c$. Die Sätze 1) und 2) enthalten aber schon eine Hypothese, nämlich die, dass alle Lufttheile eine gleiche Geschwindigkeit besitzen, was höchstwahrscheinlich gar nicht der Fall ist, denn es dürften wohl unendlich complicirte Verhältnisse hier obwalten, so dass man eigentlich setzen müsste statt $MV \ldots \Sigma mv$ und statt $Mu^2 \ldots \Sigma mu^2$, wo Σ auch ein Integralzeichen bedeuten kann; der Satz 3) würde dann bedeuten, dass trotz der vielfach verschiedenen Bewegungen der einzelnen Luftpartieen das Gesammtresultat sich in den Experimenten einfach durch die Relation 3) ausdrücken lasse, weil die Fehlerquellen bei den Messungen diese Einfachheit, der wir doch nachstreben, noch nicht zu trüben im Stande sind.

Benutzen wir, der Einfachheit halber, die Ausdrücke in der Form $G_1 = M_1 V_1$ und $G_2 = M_2 V_2$ und analog für A_1 und A_2, und nehmen zuerst an, $M_1 = M_2$, d. h. die aerodynamisch, also factisch verdrängten Luftmengen seien in beiden, resp. in allen Fällen identisch, so wird $G_1 : G_2 = M_1 V_1 : M c_1 = V_1 : c$, also mit den Thatsachen in 3) übereinstimmend; hingegen würde dann $A_1 : A_2 = M_1 u^2_1 : M_1 u^2_2 = u^2_1 : u^2_2 = V_1^2 : c^2$, was mit den Thatsachen nicht stimmt; wir dürfen daher nicht $M_1 = M_2$ voraussetzen.

Nehmen wir aber, probeweise, $M_1 = \frac{\gamma F}{g} . V_1$ und $M_2 = \frac{\gamma F}{g} . c$ an und die Entweichungsgeschwindigkeiten u_1 und u_2 in beiden Fällen gleich gross, und zwar $= V_1$ an, so wird: $G_1 : G_2 = M_1 V_1 : M_2 V_1 = V_1 : c$ und zugleich $A_1 : A_2 = M_1 u_1{}^2 : M_2 u_2{}^2 = M_1 : M_2 = V_1 : c$, ebenfalls richtig; es ist aber durchaus nicht einzusehen, warum man die Luftmengen den Grössen $F . V_1$ und $F . c$ proportional setzen soll — was z. B. Parseval in seinem Buche („Mechanik des Vogelfluges" S. 22) thut — nämlich genau so gross, wie die kinematisch verdrängte Luft bei normalem Luftstosse einer gleich grossen Fläche; nicht minder erscheint es willkürlich $u_1 = u_2 = V_1$ zu nehmen und es scheint daher wohl angezeigt, jede theoretische Speculation über diese Punkte aufzugeben, da sie doch zu nichts Sicherem führt, und einfach blos folgende Thatsachen zu constatiren:

1. Beim schiefen Luftstoss, sowie beim schiefen Fallen gelten zufolge der Experimente, für die Normaldrucke die Formeln resp. $G_1 = \frac{\gamma F}{g} V^2$ und $G_2 = \frac{\gamma F}{g} . Vc = \frac{\gamma F}{g} V \sqrt{V^2 + v^2}$ und für die Secundenarbeiten resp. $A_1 = G_1 V$ und $A_2 = G_2 V$.

2. Die Grösse des kinematisch verdrängten Luftvolums allein ist nicht massgebend für die Menge der factisch wirksamen Luftmenge, deren Grösse wir ebensowenig kennen, wie ihre Geschwindigkeit, und zwar weder im Ganzen und Grossen noch betreffs der verschiedenen Elemente der activ auftretenden Luftmassen.

Dem Gesagten möchte ich einige literarhistorische Bemerkungen anfügen.

Der Erste, der den Nutzen der gleichzeitigen horizontalen Bewegung für die Verminderung der Schwebearbeit, also die oben erwähnte Arbeitsersparniss für das Tragen von Gewichten, resp. der Vögel, klar aussprach, dürfte, zufolge Marey's Angabe, Silberschlag[1]) gewesen sein; sehr eingehend behandelte, in neuerer Zeit zuerst, dieselbe Ansicht Capitain Wenham in einer Abhandlung der Aeronaut. Society des Jahres 1866, in der er namentlich auf das Vorhandensein stets „frischer und unaufgewirbelter" Luft beim Vorwärtsfluge Gewicht legt; dasselbe that Louvrié und später Pénaud und diese Ansicht ist heute ziemlich allgemein. Die erste präcise Formulirung der beim Fluge überhaupt, also auch hier, geltenden Grundbeziehung dürfte E. Mach gegeben haben[2]). Den Gedanken, dass der wahre

---

[1]) Ein Petersburger Physiker des vorigen Jahrhunderts.

[2]) In den „Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen" (1875 und schon früher in einem Briefe an mich) S. 14 heisst es: „Ist seine (des Vogels) Masse m, seine Schwebebeschleunigung g, so muss auf ihn

Widerstand der Flügel gegen die Luft seinen wirklichen Dimensionen überlegen sein könne und sich um den Flügel herum, seinen Widerstand vermehrend, erstrecke, fand ich zuerst von Séguin ainé ausgesprochen in dem auch an und für sich interessanten Aufsatze „Mémoire sur l'aviation ou navigation aérienne" (Kosmos, 1866).

In mehreren Publicationen der jüngsten Zeit wird der Vorgang der „Sinkverminderung" wiederum sehr häufig und zwar als etwas besonders Merkwürdiges behandelt; Langley, in seiner höchst verdienstlichen Abhandlung: Experiments in Aërodynamics (1891) machte hierüber sehr schöne Versuche und hält deren Resultate ebenfalls für neu; offenbar war ihm und den vielen anderen Autoren die frühere Literatur unbekannt.

Aber merkwürdig ist es, dass die Sinkverminderung, resp. der Nutzen der Translation für das Schweben schwerer Körper, nicht schon längst als vollkommen identisch mit dem schiefen Luftstoss, daher als identisch mit dem Fliegen mittelst Drachenflieger (Aeroplan), unmittelbar erkannt wurde; denn wenn man wie in Fig. 4, die sinkende und horizontal bewegte Fläche statt von Position 0 in Position 1, durch Drehung der ganzen Figur um $\sphericalangle\, \alpha$ nach oben, aus der Position 0 in jene 2 gelangen lässt, so hat man sofort den Drachenflieger vor sich und die schief fallende Platte bietet daher offenbar gar nichts Neues.

Merkwürdig erscheint es mir ferner, dass man die schöne Erscheinung der Sinkverminderung oder Druckvergrösserung rotirender Flächen von geeigneter Form noch nicht practisch anwendete; sowohl als Ruderblätter für Wasser, sei es als Handruder oder als Ruderrad, wie auch als eine Art von Luftbremse; namentlich bei Verwendung mehrerer paralleler Flächen, könnte wohl manches Nützliche geschaffen werden; die Luftbremse besonders zu dem Zwecke, Luftballons vor zu schnellem Steigen oder Sinken in der freien Atmosphäre (durch Sonnenschein, Regen u. s. w.) zu bewahren. Ich hoffe diese Ideen bald selbst zum Gegenstande von Experimenten machen zu können. Die Herbeiführung der Rotation auf automatischem Wege kann hierbei nach dem Vorschlage von Weyher durch Anbringung von kleinen Schraubenflächen an den grossen Flächen selbst geschehen.

Zur Lössl'schen Schwebeformel zurückkehrend, will ich noch die Frage besprechen, wie sich die Ergebnisse für V in seiner Formel

---

vertical aufwärts die Kraft mg ausgeübt worden, er muss also in jeder Zeiteinheit der Masse (Luft) m^1 die Geschwindigkeit g^1 ertheilen, hierbei ist $mg = m^1 g^1$. Die in der Zeiteinheit producirte lebendige Kraft oder Arbeit ist $\frac{m^1}{2}(g^1)^2$ oder weil $g^1 = \frac{mg}{m^1}$, so ist diese Arbeit $\frac{m^2 g^2}{2\, m^1}$; man sieht hinaus, dass die Arbeit desto geringer ausfällt, je grösser die in der Zeiteinheit bewegte Masse m^1 ist, also mit je grösseren Flügeln und je langsamerem Flügelschlag der Vogel arbeitet. Die Arbeit wird $= o$, wenn $m^1 = \infty$ wird; dieser Fall tritt ein, wenn der Vogel am Boden ruht."

$.. V = \sqrt{\frac{gG}{\gamma(F+bv)}}$ zu jenen aus der gewöhnlichen $.. V = \frac{gG}{\gamma F} \cdot \frac{1}{c}$ verhalten.

Die Antwort lautet dahin, dass je nach der zufälligen Grösse von b bald die eine, bald die andere Formel ein günstigeres Resultat d. i. ein kleineres V liefert; natürlich entscheidet dieser Umstand nicht für die Wahl zwischen beiden Formeln, sondern nur deren innere Richtigkeit.

Man könnte ferner fragen, ob nicht die Einführung der Flügelbreite b, d. i. der „Flügelspannweite" denn doch gerechtfertigt sei und für die hier betrachteten Vorgänge sehr maafsgebend werden könne?

Hierauf ist zu erwidern, dass die Loessl'sche Art der Einführung der Breite b, wie oben nachgewiesen wurde, keinesfalls acceptirt werden könne, weil sie zu unmöglichen Consequenzen führt; und auch manchen anderen, auch in dieser Zeitschrift gemachten Versuchen, diese Grösse in die Widerstandsformeln einzuführen, fehlt jede Beweiskraft. Es könnte immerhin der Fall sein, ja, es ist sehr wahrscheinlich, dass der lange und schmale Flügel *à la* Albatros einen Vorzug vor dem kurzen und breiten besitzt, besonders darum, weil jener mehr unaufgestörte Luft trifft, während der kurze Flügel an seinem hinteren Theile, von schon beunruhigter Luft getroffen, weniger wirksam ist als an seinem vorderen; es ist ja auch seit langer Zeit bekannt und genügend bewiesen, dass der specifische Luftdruck auf den vorderen Flügelpartien grösser sei als auf den rückwärtigen. Allein wir sehen andrerseits Tauben, Adler, die alle sehr gute Flieger sind, ohne lange und schmale Flügel, und desgleichen die Geier, die zu den besten Seglern gehören; will man daher etwas Sicheres über den Einfluss der Flügelspannweite aussagen, so muss man zu Experimenten seine Zuflucht nehmen, um den eventuellen Unterschied im Luftwiderstande beim schiefen Stosse festzustellen, wenn eine und dieselbe rechteckige Fläche einmal mit der Breitseite, das andere Mal mit der Längsseite vorwärts geht. Langley in seinen „Experiments in Aerodynamics" (1891) that das; ein Gesetz aber wurde bisher, meines Wissens, noch nicht festgestellt, obwohl kein Zweifel besteht, dass die langen und schmalen Flächen den kurzen und breiten, unter sonst gleichen Umständen, betreffs ihrer Tragkraft meistens überlegen sind.

Die Auffindung der hier geltenden allgemeinen Formel, die an Stelle der Loessl'schen zu treten hat, dürfte keine ganz leichte Aufgabe sein, was namentlich daraus hervorgeht, dass Langley in seinen „Experiments in Aerodynamics" mittheilt, er habe den Vortheil schmaler und quergestellter Flügel nur bei kleinen Luftstosswinkeln konstatiren können, aber bei grösseren, circa von 30^0 aufwärts, seien sie im Nachtheil, d. h. Flügel von grosser Spannweite benöthigen eine grössere Arbeit fürs Tragen von Lasten als kurze und breite Flügel von gleicher Fläche.

Speciell für die Flugtechnik aber erleichtert sich die Auffindung der mathematischen oder empirisch aufgebauten Formel und die Durchführung der Versuche, weil man es hier eben nur mit kleinen Luftstosswinkeln zu thun hat.[1])

Nach allen obigen, wohl etwas weitläufigen, Auseinandersetzungen, gehen wir an die Besprechung weiterer Abschnitte in dem Loessl'schen Buche, müssen aber, da sie fast alle auf seiner Schwebeformel ganz oder theilweise basiren, als selbstverständliche Consequenz unserer Kritik derselben hervorheben, dass die Tabellen X und XI des Buches und alle Rechnungen, die mit S. 212 beginnen und sich bis zum Schlusse des Werkes hin erstrecken, nicht benutzt werden können, so lange meine Einwendungen nicht als irrige nachgewiesen sind.

Von dem Problem des Schwebens durch die Luft, d. h. dem gleichförmigen Sinken bei gleichzeitigem horizontalem Vorwärtsschreiten, übergeht Loessl zur Aufgabe des horizontalen Schwebens, also eigentlich sogenannten „Fliegens," und zwar auf S. 219 unter der Überschrift: „Die horizontale Schwebebahn."

Der Vorgang ist also der, dass eine, vor der Hand unendlich dünn vorausgesetzte Platte permanent einen horizontalen Impuls besitzt, und die Frage geht nach dem Arbeitsaufwand für dieses horizontale Schweben; genauer gesprochen: Es ist eine Last G in horizontaler Ebene zu halten dadurch, dass eine Fläche oder Platte F permanent vorwärts geht und zugleich auf die Luft drückt, man muss also eigentlich an ein fortwährendes Stampfen einer Flächengrösse F auf die Luft bei gleichzeitiger Translation des ganzen Systems denken.

Lössl analysirt den Vorgang, zum Zwecke der Arbeitsberechnung, auf S. 219 folgendermaafsen: „Die Platte muss zu diesem Zwecke ihre Bewegung in eine ideelle, schief aufwärts steigende Richtung leiten und den hierzu nöthigen Zuwachs an Antriebsarbeit aus dem eigenen motorischen Vermögen bestreiten, so dass der durch das Gefälle V repräsentirte Arbeitsverlust durch die Eigenarbeit A_1 ausgeglichen wird, mit anderen Worten:

Die Platte muss sich durch eigene Arbeit in jeder Sekunde so hoch heben, als sie ausserdem nieder-

---

[1]) Nach Obigem erscheint der Ausspruch in dem oben citirten Aufsatze von Lorenz (in Heft 2/3 d. J. dieser Zeitschr.) um so sonderbarer, dass: für die Loessl'sche Formel zwar ein vollkommen sicherer Beweis nicht erbracht sei, „aber, wenn man nur die als Kinderspielzeuge gebrauchten Papierpfeile in ihrer Wirkung betrachtet, ist man von der Richtigkeit derselben überzeugt." Da die betreffende Formel ganz allgemein quantitative Angaben über die Sinkverminderung liefern soll, so müssten die Papierpfeile zahlenmässige Resultate zu liefern im Stande sein, die mit der Formel übereinstimmen, was doch meines Wissens nicht entfernt möglich, resp. nachweisbar ist; ganz abgesehen von meiner oben gegebenen Einwendung durch die Annahme $l \backsim 0$, welche Einwendung Lorenz allerdings noch nicht kannte.

sinken würde, der Arbeitsaufwand hierfür ist also in jeder Sekunde $A_1 = VG$.." Zu diesem Raisonnement, welches ganz richtige Resultate giebt, möchte ich mir erlauben, eine Variante zu geben, welche vielleicht manchem noch ungeübten Leser das Verständnis erleichtern wird.

Es könnte nämlich Manchem beschwerlich fallen, die genügende Überzeugung zu gewinnen, dass die Formel $A_1 = VG$ die richtige sei, da die ganze obige Analyse eigentlich nur einen „ideellen" Vorgang behandelt, der eben nicht stattfindet; es ist ja kein abwechselndes Fallen und dann Emporheben der Platte vorhanden, sondern die Last bleibt stets im horizontalen Niveau, und der Satz: die Platte muss sich so heben, als sie niedersinken würde — der, allerdings in unrichtiger Form, seit Babinet so viel fehlerhafte Rechnungen hervorbrachte — bedeutet keinen realen mechanischen Vorgang, sondern giebt nur eine mathematische Gleichung als Richtschnur der Berechnung.

Es dürfte einleuchtender sein, die Last von der Platte getrennt zu denken, die Platte als Propellerfläche, z. B. Oldhamradschaufel, anzusehen und nun ihre Stampf-Arbeit, die wir „Schwebearbeit" nennen, zu berechnen, die, wie sofort ersichtlich, nach dem Gesetz des schiefen Stosses auf die Luft, also nach der Formel $A = G \,.\, V_2$ zu berechnen ist, wobei V_2 der Formel $G = \frac{\gamma F}{g} V_2 v$ zu entnehmen ist, und die die Loessl'sche Schwebeformel zu ersetzen hat. (Siehe oben S. 258 und 259.)

Eine Erweiterung dieses Problems wird dann von Lössl (S. 217, 218 und ff.) in der Art vorgenommen, dass die Platte, also in unserer obigen Auffassungsart, das ganze bewegte System, d. i. die Last, nicht unendlich dünn sei, sondern vermöge der Dickedimension einen Stirnwiderstand erleide, also eine „Translationsarbeit" consumire. Für den Fall, dass eine belastete Platte von der Dicke f (als widerstehender Äquivalentfläche) schief abwärts gleitet, resp. in einer schiefen Bahnlinie fällt, dabei aber stets in horizontaler Stellung bleibt, sei die Translationsarbeit $A = \frac{\gamma f v^3}{g}$ und auf S. 218 wird dann berechnet, um wie viel mehr die secundliche Fallhöhe dieser schief und gleichförmig sinkenden Platte betrage, als wenn kein Stirnwiderstand vorhanden wäre. Loessl drückt sich so aus: „Soll die Platte ohne motorische Antriebsarbeit schweben, (unter „Schweben" ist eine constante Geschwindigkeit gemeint) so muss das berechnete Bahngefälle entsprechend verstärkt werden, nämlich so weit, dass durch die Vergrösserung der secundlichen Fallhöhe des Plattengewichts die für den Stirnwiderstand benöthigte Arbeit erzeugt, resp. compensirt wird;" demgemäss findet er $V_1 = V + \frac{A_1}{G}$, wo V nach seiner Schwebeformel und $A_1 = \frac{\gamma f v^3}{g}$ gerechnet wird.

Dieser Gedankengang ist mathematisch genommen richtig; nur liegt in der Darstellung des Vorganges ein Versehen vor, das vielleicht Manchen beirren könnte. Loessl setzt nämlich immer voraus und hebt es auf S. 219 ausdrücklich hervor: „Der besagte Zuwachs an Gefälle ist übrigens wieder mit keiner Aenderung der horizontalen Stellung der Platte verbunden;“ wenn das nun der Fall ist, so ist nicht einzusehen, wieso die Schwerkraft eine Componente für eine horizontale Bewegung hervorbringen kann, denn dies kann nur durch Umsetzung an einer schiefen Fläche geschehen, und das ist eben nur dann möglich, wenn die Platte geneigt ist, wodurch ein longitudinaler und ein Querwiderstand (oder: ein Bauch- und ein Stirnwiderstand) durch den Luftstoss beim Sinken entsteht, und die Resultirende dieser beiden Widerstände muss dem Gewichte des Systems genau gleich und entgegengesetzt sein; denn die nur lothrecht wirkende Schwerkraft kann eine horizontale Fläche niemals in horizontaler Richtung bewegen. Die eben erwähnte nothwendige Voraussetzung einer Neigung der Platte und die dabei stattfindende Kräftezerlegung findet sich bei Pénaud, bei Gerlach (im oben citirten Aufsatz) und eingehend und allgemein dargestellt in meiner „Flugtechnik“ bei der Behandlung des Gleitproblems[1]).

Eine noch weitere Vervollständigung des Flugproblems giebt dann Loessl auf S. 231 unter dem Titel „Steigende Schwebebahn;“ wenn also z. B. eine Taube schief aufwärts flöge, so würde sie eine Hebearbeit zu leisten haben pro Secunde $A_2 = G \cdot h$, wo G ihr Gewicht und h die secundliche Hebung bedeuten; dann ist die Berechnung der Gesammtarbeit damit abgeschlossen, denn letztere wird $= A + A_1 + A_2$, wo A die Schwebearbeit, A_1 die Stirnwiderstands- und A_2 die Hubarbeit bedeuten.

Diese einfache Addition von A_2 zu den beiden anderen Arbeiten ist in den von Lössl behandelten Fällen einer nur sanften Steigung, also geringer Erhebung im Vergleich zur horizontalen Geschwindigkeit, ganz richtig, resp. der Einfachheit wegen erlaubt und wird auch gewöhnlich bei Untersuchungen über den Vogelflug angewendet.

Ich möchte jedoch hier, zur Vermeidung von Fehlern in anderen Fällen, über diese Methode im Allgemeinen Einiges bemerken.

Durch einfache Addition von A_2 zu den anderen Arbeitsgrössen ist unbewusst die Voraussetzung gemacht, dass der Flugkörper wie an einer Kette in die Höhe gezogen würde, so dass nur die Nettoarbeit

---

[1]) Gegen die an derselben Stelle gegebene Berechnung der Schwebe- und Translationsarbeit wurde im Wiener flugtechn. Verein Einwendung und zwar in der Weise erhoben, dass der Herr Gegner meine Formeln, die ich nicht detaillirt vorrechnete, „nicht herausbringen konnte.“ Da diese Einwendung trotz meines Ansuchens nicht publicirt wurde, so kann ich nur mittheilen, dass sich nach oft wiederholter Durchrechnung die volle Richtigkeit meiner Formeln herausstellte.

der Hebung, eventuell auch des Stirnwiderstandes zu leisten wäre, ohne dass die beiden anderen Arbeiten hiervon irgendwie beeinflusst würden. Genau genommen, ist dies aber durchaus nicht der Fall; die einzelnen Arbeitsgrössen können nicht nackt nebeneinander gestellt werden, sondern sie beeinflussen sich gegenseitig, so dass, wenn eine neue, d. i. die Hebung, zu bereits früher berechneten hinzukommt, auch diese sich ändern, denn die Rechnungsoperationen binden die einzelnen Grössen aneinander, ähnlich, wie $(v+w)^2$ nicht $= v^2 + w^2$ ist, sondern vermöge des Operationszeichens noch $2\,v\,w$ hinzukommt.

Bei Projectsberechnungen mancher Art, bei Beurtheilung des Wellenflugs und bei gewissen feineren theoretischen Untersuchungen macht sich das Gesagte sehr geltend und die nachfolgenden Rechnungsresultate für einen einfachen Fall werden sofort zeigen, dass die Gesammtarbeit aus $A_1 + A$ nicht richtig gefunden wird, wenn man, im Falle dass eine Hebung neu hinzukommt, bloss $G\,.\,h$ zu $A + A_1$ einfach addirt.

Beispiel: 1) Ein Körper vom Gewichte G soll mittels Propeller, z. B. Oldhamrad oder permanenter Flügelschläge, deren arbeitende Fläche F ist, am Platze schweben; dann ist bekanntlich die nöthige Secundenarbeit $A' = G\,.\,V' = G\sqrt{\frac{Gg}{\gamma F}}$.

2) Derselbe Körper soll mit der Geschwindigkeit u lothrecht aufsteigen und er besitze einen so geringen Querschnitt, dass sein Stirnwiderstand $= 0$ ist; dann ist die benöthigte Geschwindigkeit der Propellerflügel statt $V' \ldots . V'' = V' + u$, die Sec.-Arbeit $A'' = A' + G\,.\,u = GV' + Gu$; hier kann also noch die einfache Addition der Hebungsarbeit angewendet werden.

3) Der Körper habe eine Stirnfläche $f = m.\,F$, wo m gewöhnlich sehr klein ist und steige mit Geschw. u lothrecht auf. Man könnte nun meinen, es sei wieder bloss nöthig, noch die Stirnwiderstandsarbeit $= \frac{\gamma f u^3}{g} = m\frac{\gamma F}{g}u^3$ zu A'' hinzuaddiren; dem ist aber nicht so, sondern es ist die Geschwindigkeit der Flügelflächen $V''' = V'' + \frac{mu^2}{2\,V'} = V' + u + \frac{mu^2}{2\,V'}$ und die secundliche Gesammtarbeit..... $= \left[A' + Gu + \frac{m\gamma F u^3}{g}\right] + \frac{3}{2}\frac{m\gamma}{g}u^2 V'$, also um das letzte Glied grösser, wobei schon wegen der Kleinheit von m andere Grössen vernachlässigt wurden.

Diese Bemerkung und Rechnung — die ich im nächsten Aufsatz entwickeln will — soll also keine Einwendung gegen Loessl's Berechnung, sondern eine Warnung zur Vorsicht für andere Fälle sein, und es folgt schliesslich aus Allem, dass der einzig sichere Weg der ist, die allgemeinen Formeln für die Flugarbeit, welche ja die Steigung, resp. die Geschwindigkeit und die Neigung der steigenden Flugbahn in sich enthalten, zu benutzen, für horizontalen Flug hat man dann nur den Steigungswinkel = 0 zu setzen; man findet solche allgemeine Formeln für Drachenflieger in meiner „Flugtechnik“ (z. B. S. 149, Formel 5).

Eine sehr wichtige Aufgabe behandelt Loessl auf S. 282—290 unter dem Titel: „Das Flattern der Taube“ und „Das Intermittiren des Flügelschlags“. Hier handelt es sich, allgemein ausgedrückt, um die Art der Berechnung jener Arbeit, die ein Vogel, also eine Flugmaschine, nöthig hat, um sich in freier Luft an derselben Stelle zu erhalten, und die Rechnung wird für den speciellen Fall der Taube zahlenmässig durchgeführt; der Gang hierbei ist folgender:

Man kennt durch Wägung und Messung: Gewicht (0,3 kg), Flügel- und Rumpffläche (0,06 + 0,015 m^2) und die Lage des Druckmittels; durch Beobachtungen, namentlich Marey's, die Zeit für den Niederschlag und Aufschlag (nach Loessl bezw. 0,04 und 0,07 Sec.). Mit diesen Daten ergiebt sich die Arbeit für den Niederschlag zu 2,813 Secmkg, für den Hub 0,132 und daher „die durchschnittliche Arbeit für jeden Gesammtflügelschlag $= \frac{0{,}04 \times 2{,}813 + 0{,}07 \times 0{,}132 + 0{,}015 \times 0}{0{,}125}$ (Umkehrpunkte) = 0,974 Secmkg.“

Dabei ist der Auftrieb beim Niederschlag = 0,375 kg und der „negative Betrag“ beim Hub 0,031 kg; „es wird daher effectiv ein Gewicht von 0,375 — 0,031 = 0,343 kg in der Schwebe gehalten, jedoch nur während der Dauer des Flügelniederschlages, welche 0,04 Secunden beträgt“, „während des Flügelhubes und des Intervalls, welche zusammen 0,07 + 0,015 = 0,08 Secunden beanspruchen ..... muss die Taube lothrecht niedersinken (S. 286) und der Betrag dieses Niedersinkens wird nach der Tabelle VIII. berechnet, wobei die Totalfläche von 0,075 qm als Fallschirmgrösse der Rechnung zu Grunde gelegt wird. Der Autor findet dann die entsprechende lebendige Kraft des fallenden Taubenkörpers = 0,0107 mkg, und weil sie sich 8 Mal in 1 Secunde wiederholt, = 0,086 Secmkg. und er sagt dann: „Da statt 0,3 kg (Taubengewicht) 0,343 kg schwebend gehalten werden, so wurden durch den Niederschlag eigentlich nicht 0,974, sondern um 0,122 Secmkg. mehr geleistet, d. h es ist ein Ueberschuss vorhanden, der hinreicht, die Taube sogar noch ein wenig emporzuheben;“ dann schliesst Loessl weiter (S. 289: Da bei ununterbrochener Flügelarbeit (ähnlich wie mittels eines Oldhamrades) die Taube nicht weniger als 2 Secmkg. benöthigen würde, während beim Flattern, also Intermittiren, kaum 0,974 Secmkg. gebraucht werden, so ist in dieser letzteren Arbeitsweise ein grosser

Vortheil dargeboten, und zwar dadurch, dass „bei kurzen Pausen der durch das Fallen herbeigeführte Höhenverlust unverhältnissmässig gering ist im Vergleiche zur gleichzeitigen Ersparung an Arbeit."

Gegen diese ganze Behandlung des Flatterproblems sind, wie ich glaube, zwei nicht unwesentliche Einwendungen zu erheben.

Die eine Einwendung betrifft eine Grundannahme in der eigentlichen Zahlenausrechnung, und bliebe auch dann noch bestehen, wenn man sonst die Principien der Berechnungsmethode billigen würde, gegen die eben die zweite Einwendung gerichtet sein wird.

Der Autor hat nämlich den Vorgang des lothrechten Fallens während des ganzen Intervalls nach Tabelle VIII. seines Buches berechnet, d. h. er legte eine Fallschirmfläche von 0,075 m (bei einem Gewichte von 0,3 kg, demnach bei einem Verhältnisse $\frac{G}{F} = 4$) zu Grunde; dies ist aber nicht zutreffend, denn vorerst, da Loessl annimmt, dass der Flügel beim Hub „eingezogen und convex geformt ist" (S. 283), so ist seine Fläche bedeutend kleiner als im ausgespannten Zustande zu nehmen, und überdies berechnet der Autor für den Hub einen Luftwiderstand des Flügels = 0,031 kg, es müsste daher derselbe gleichzeitig von oben und von unten (als Fallschirm) von der Luft gedrückt werden, was nicht wohl möglich ist.

Es sind daher obige Ergebnisse bezüglich der Fallgeschwindigkeit, der Fallarbeit (0,086 Secmkg) und der daraus gezogene Schluss betreffs des Ueberschusses an Niederschlagsarbeit wohl nicht aufrecht zu halten.

Die zweite Einwendung bezieht sich auf die Art der Auffassung des ganzen Problems, welche, als demselben inädaquat, nach meiner Meinung geeignet ist, flugtechnische Projectanten, die über die Grösse des anzuwendenden Motors sich entscheiden sollen, zu irrigen Conclusionen und Berechnungen zu führen; bei der Wichtigkeit dieses Punktes muss ich aber ganz besonders ausführlich sein.

Das Inadäquate der obigen Auffassung des Problems eines intermittirenden Fluges finde ich darin, als eigentliche Aufgabe der Rechnung die Bestimmung der „Durchschnittsarbeit" anzusehen, und meine Einwendung geht daher nicht nur gegen die Loessl'sche Berechnung, sondern auch gegen alle bisherigen, die, ausnahmslos, eben den gleichen Weg einschlugen. Ich nenne hier den ersten einschlägigen Aufsatz von Navier: „Note sur l'évaluation de la quantité de l'action nécessaire pour le vol des oiseaux et pour la direction des aérostats" (Mém. de l'Acad. Paris 1832), ferner die Abhandlung: „Zur Mechanik des Fluges" von Kargl (im XVI. Bande des Civ. Ing.), diejenigen von Haedicke: „Grundzüge zu einer Theorie des Fluges" (im Civ. Ing. d. J. 1879) und auch die Darstellung von Parseval in seinem Buche: „Mechanik des Vogelflugs" (1889). Ueberall wird statt der realen Arbeitsfähigkeit, die die Grösse des Flugmotors ja allein bestimmt, und die während des Niederschlags des Flügels in Anspruch genommen wird, die durchschnittliche, d. h. jene pro totalen Flügelschlag oder pro Secunde — was dem Sinne nach gleichartig ist — berechnet und darnach die Arbeitsgrösse pro Secunde, d. i. die Grösse des Motors bemessen.

Navier, Kargl u. A. sagen: Wenn die Dauer des Niederschlags t_1 sec. jene des Aufschlags t_2 beträgt, A_1 die Arbeit während t_1 und der Einfachheit wegen A_2 während $t_2 \ldots = 0$ ist, ferner die Zahl der Flügelschläge pro Sec. $= s = \frac{1}{t_1 + t_2}$, so ist die „Arbeit pro Secunde“ $= A_1 \,.\, s = \frac{A_1}{t_1 + t_2}$. Dieser Ausdruck $\frac{A_1}{t_1 + t_2}$ ist aber nur eine abstracte Durchschnittsziffer; in Wirklichkeit muss jedoch A_1 schon während t_1 absolvirt werden, also die Leistungsfähigkeit, der „Effect“, die Pferdestärken, des Motors müssen sich nach $\frac{A_1}{t_1}$ richten, also grösser sein, als angenommen wurde. $A_1 \,.\, s$ bedeutet nur jene Arbeit in mkg, welche während einer Secunde sozusagen zu Stande gebracht wurde, ist also die Arbeit während einer Secunde, von ihrer Vertheilung oder Variation abgesehen, aber nicht die „Secundenarbeit“, welche die Leistungsfähigkeit in irgend einem noch so kleinen Zeittheilchen charakterisirt.

Es ist zwar durchaus nicht falsch, zu sagen: Die durchschnittliche Arbeit pro totales Flügelmanöver oder pro Secunde sei z. B. bei der Taube = 0,974 Secmkg, ebenso wie man ja auch sagen kann, ein Kahn, der sich, zwar ungleichmässig, aber im abstracten Durchschnitt mit einer gewissen Geschwindigkeit im Wasser fortbewegt, erfordere vermöge des Widerstandes und dieser mittleren Geschwindigkeit eine gewisse mittlere Arbeitsgrösse pro Secunde, obwohl die Ruderarbeit eine sehr variable ist, z. B. bald 15 Secmkg, bald 0; wenn wir aber wissen wollen, wie stark ein Motor bei dieser intermittirenden Arbeitsweise construirt oder von Natur als Muskel beschaffen sein muss, so ist es offenbar, dass er im Stande sein muss, während eines Bruchtheils der Arbeitsperiode die vollen 15 Secmkg und nicht die kleinere Durchschnittszahl (z. B. $\frac{15 + 5}{2} = 10$ Secmkg) zu leisten, denn woher sollte die grössere Arbeitsfähigkeit in gewissen Zeitabschnitten genommen werden?

Was die ausgleichende Wirkung der Kahnmasse betrifft, so bezieht sie sich nur auf die äusserlich sichtbare Geschwindigkeit; ohne sie würden die Extreme der Geschwindigkeit grösser sein, aber die Extreme der Arbeitsgrösse werden durch diese Art von Accumulation nicht beeinflusst; der Motor hat, sozusagen, die Ur-Arbeit sich ganz allein zu besorgen und zwar muss er während der Arbeitsphase leisten: die Widerstandsarbeit während dieser Zeit und überdies noch diejenige Arbeit in Form von lebendiger Kraft, die in die Kahnmasse hineingebracht wird, und welche in der Ruhezeit des Motors sich allmälig in Widerstandsarbeit umsetzen soll; je grösser also die Pause, desto stärker muss die Leistungsfähigkeit des Motors sein im Vergleich zu einem Regime continuirlicher Arbeit.

Um etwaigen Fragen zu begegnen, wollen wir noch folgende Distinction machen. Bei den hin- und hergehenden Dampf-, Gas-, Petrolmaschinen ist, zufolge der Expansion, während eines Kolbenhubes der Druck, also auch die elementare Arbeit ebenfalls sehr ungleich und ohne Schwungrad würde die Maschine stecken bleiben. Man kann dann allerdings darauf verzichten, von einem Maximum der Arbeitsfähigkeit der Maschine während eines Kolbenhubes zu sprechen, da die Schwungmasse die Unterschiede nach aussen ausgleicht und man sich nicht mehr um diese zu kümmern braucht, in der Gewichtsbestimmung der Maschine dürfte aber das Gewicht der Schwungmasse ebenfalls nicht fehlen und insofern hat die inconstante Arbeitsweise im Innern des Cylinders also ebenfalls einen Einfluss in der hier besprochenen Richtung.

Auch die Arbeitsweise des Muskels ist keine während einer Zuckung constante, auch hier bewirkt die Flügelmasse nach aussen, d. i. bezüglich des Geschwindigkeit, eine ziemliche Ausgleichung; aber um diese Variationen zweiter Ordnung kümmern wir uns hier nicht, weil sie zum Regime der Muskelarbeit von Natur gehören, nicht aber zur Art des Regimes im Ganzen und Grossen, d. i. der Intermittenz, wo es sich um die Vertheilung der Muskelzuckungen, als ganze Einheiten betrachtet, handelt; es könnte ja Fälle geben, wo abwechselnd Muskelzuckungen stattfinden, die einander ablösen, z. B. bei Anwesenheit von vier Flügeln, dann haben wir ein für unsere jetzige Betrachtung constantes, continuirliches Arbeiten trotz der secundären Variationen.

In unserer gegenwärtigen Untersuchung handelt es sich also um den Vergleich der Intermittenz von ausgesprochenen, deutlich abgegrenzten Phasen in der Arbeitsvertheilung, also gewissermassen um die Hauptwellen einer oscillirenden Flüssigkeit, nicht um die kleinen Rücken- oder secundären Wellen.

Und man sieht nach Obigem deutlich, dass die Intermittenz in der Arbeit wohl eine Eigenthümlichkeit des Muskels als Motors von Natur aus ist, aber kein Vortheil, sondern das Gegentheil und das gilt auch bezüglich jeder intermittirenden Arbeitsweise irgend eines beliebigen Motors.

Berechnet man die Grösse eines Motors nach dem Durchschnittswerthe der Arbeit, so hat man eine Rechnungsoperation an Stelle der Wirklichkeit gesetzt und man sieht jetzt leicht ein, zu welchen fehlerhaften

Berechnungen man durch diese Auffassung geführt werden kann; zur Verhütung derselben habe ich bereits in meiner im J. 1889 erschienenen „Flugtechnik" (auf S. 51 und 73) diesen Punkt besonders hervorgehoben, wozu ich eben durch ein Flugproject veranlasst wurde, das die oben gerügte Berechnungsweise in Anwendung brachte; ich verglich den Vorgang mit einer Landstrassenfahrt mittelst Pferden: „.... Ist zwischen zwei Orten die Strasse vollkommen glatt und eben, an einer ganz kurzen Stelle aber ein Hügel vorhanden, der ohne Vorspann, also ohne vergrösserte Secundenarbeit, nicht zu überwinden ist, so ist, wenn dieser Vorspann nicht zur Verfügung gestellt werden kann, das Erreichen des anderen Ortes unmöglich. Immer wird Alles von dem ungünstigsten Extreme des Regimes abhängen."

Wenn auch nicht gerade die „Secunden"-Arbeit die hier richtige Analogie ist, so soll doch durch dieses Beispiel klar gemacht werden, dass der für die schwierigste Stelle nöthige Motor vorhanden sein müsse, wenn diese Stelle auch einen noch so kleinen Theil der Fahrtzeit oder -Länge ausmacht; die Taube, der Vogel, könnte also unbedingt nicht die während eines Flügelniederschlages nöthige grössere Arbeit leisten, wenn der Muskel nicht für eben diese ausreichend wäre, mag er sich in der Pause noch so wenig oder garnicht anstrengen und diese Pausen mehr oder weniger lang dauern; die durchschnittliche Arbeit entscheidet also nicht, wenn man vom Standpunkte des Flugtechnikers die Motorenfrage beantworten will.

Eine kleine Rechnung giebt sofort auch die quantitativen Unterschiede zwischen gleichförmiger und intermittirender Arbeitsweise. Bekanntlich muss der Druck P auf die Luft bei Flügelniederschlag stets grösser sein, als das Gewicht des Vogels G, und zwar, wenn $t_1 = \frac{t}{n}$, wo $t = t_1 + t_2$ die Zeit der ganzen Periode des Nieder- und Aufschlags, ist $P = n \, . \, G$; der Grund ist der, dass die Beschleunigungen der Vogelmasse gerade umgekehrt sein müssen der Wirkungsdauer der Kraft der Schwere und des Flügeldrucks, wenn der Körper keine Aenderung seiner anfänglich verticalen Geschwindigkeit (z. B. 0) erleiden soll. Andererseits ist, immer senkrechte Flügelschläge und ohne gleichzeitige horizontale Bewegung des Vogels vorausgesetzt, die Secundenarbeit, oder der „Effect", $E = P \sqrt{\frac{g P}{\gamma F}}$; dieses E repräsentirt die Leistungsfähigkeit des Motors, wird „Secundenarbeit" genannt, obwohl über die factische Dauer dieser Leistungsfähigkeit, resp. ihrer Inanspruchnahme, garnichts Bestimmtes vorausgesetzt wird, und sie könnte z. B. nur $\frac{1}{10}$ oder $\frac{1}{100}$ Secunde dauern; characterisirt wird die Leistungsfähigkeit demnach durch E, genau so wie die Richtung einer krummen Linie an einem Linien-Element durch die Tangente an dasselbe, ob nun die nächsten Linien-Elemente dieselbe Richtung haben oder nicht.

Wie schon gesagt, nehmen wir P während des Niederschlags als constant an (wenn man dies nicht wollte, so müsste man allerdings das maximale P während des Niederschlags betrachten); beim gleichförmigen, ununterbrochenen Arbeiten (z. B. mittelst Oldhamrad oder Schraube) wäre, wie bekannt $E^1 = G \sqrt{\frac{g\,G}{\gamma\,F}}$, welches E^1 immerwährend gleich bleibt, während E nur während des Niederschlages gilt; es folgt sofort $E : E^1 = n \sqrt{n} : 1$, z. B. beim Regime, wo Auf- und Niederschlag gleich lange dauern, also $t_1 = t_2 = \frac{t}{2}$ und $n = 2$ ist, wäre $E = 2 \sqrt{2} \backsim 2{,}8$ mal grösser als E^1, also müsste der Motor fast dreimal kräftiger genommen werden, wenn man intermittirt, als bei gleichförmiger Arbeit.

Man könnte aber denken: wenn auch die Arbeit pro Zeiteinheit beim Intermittiren in gewissen Momenten, also E grösser als E^1 ist, so dauert dies doch nur einen Bruchtheil der Zeit, während die kleinere Arbeit bei gleichförmigem Regime dafür die ganze Zeit hindurch dauert; es wäre daher vielleicht möglich, im Ganzen genommen weniger zu leisten, zu arbeiten, also weniger Brennstoff, Speisewasser, Kühlwasser oder dergl. in toto zu benöthigen und das könnte eventuell, namentlich bei länger dauernder Arbeit, von ausschlaggebender Bedeutung sein.

Nun ist die totale Arbeit, d. h. Leistung in *mkg*, bei Intermittenz offenbar ... $A = E \,.\, t_1$ (wobei stets während *hub* nicht gearbeitet werden mag), bei gleichmässigem Regime .. $A^1 = E^1 \,.\, t$, daher $A : A^1 = E \,.\, t_1 : E^1 \,.\, t = n \sqrt{n} \,.\, \frac{t}{n} : t = \sqrt{n} : 1$, d. h. selbst die Totalarbeit ist bei Intermittenz grösser, also z. B. für $n = 2$ ... 1,4 mal grösser, demnach auch die durchschnittliche Arbeit $\frac{A}{t}$, also auch der Brennstoffaufwand u. s. w. Diese letztere Relation, bezüglich der durchschnittlichen Arbeit, findet sich bei Kargl, Haedicke und Parseval ebenfalls und namentlich letzterer sprach in Folge dessen dieselbe Ansicht, wie ich in meiner „Flugtechnik“, über die öconomischen Nachtheile der Intermittenz sehr präcise aus, nur, wie man aus Obigem ersieht, gingen diese Autoren noch immer nicht weit genug, da sie statt der nöthigen realen Leistungsfähigkeit des Motors nur die durchschnittliche in Rechnung brachten.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Arten der Arbeitsbetrachtung kann in noch anderer Weise und vom weiteren Gesichtspunkte aus behandelt werden. Man kann nämlich ausgehen von der Unterscheidung zwischen äusserem und innerem Arbeitsregime, d. i. zwischen der Arbeitsausgabe (z. B. durch Flügel-Manöver) und der Arbeitsbeschaffung seitens des Motors; ersteres ist ein Vorgang, der offenbar gegenüber dem zweiten nach aussen, nämlich der umgebenden Luft, gerichtet ist, während der letztere innerhalb des fortbewegenden Systems sich abspielt.

Es können nun beide Vorgänge genau parallel gehen oder — mehr oder weniger — von einander abweichen; bei dem Vogelfluge, wo die Arbeit beim Flügelaufschlage ziemlich genau oder wenigstens der Einfachheit halber als O angenommen werden kann, ist das äussere und innere Arbeitsregime identisch, weil kein inneres Arbeitscapital während des Aufschlages aufgespeichert wird, und daher ist auch der ungünstigste Fall gegeben, d. h. die Motorgrösse ist $n\sqrt{n}$ mal grösser als bei gleichförmiger Arbeit, wobei $n = \frac{t}{t_1}$ ist und t die totale Flügelperiode und t_1 die Niederschlagszeit bedeutet.

Man kann sich aber denken, dass bei demselben äusseren Regime das innere sich mehr und mehr einem gleichförmigen nähert, z. B. dass man eine Dampfmaschine mit grosser Schwungmasse anwendet, welche letztere während des Niederschlags grosse lebendige Kraft abgiebt, ähnlich wie bei Walzenzugsmaschinen, oder galvanische Primärbatterien mit Dynamos und Accumulatoren, wodurch also stets ein mehr oder weniger gleichmässiges inneres Regime entsteht, wobei aber stets das Gewicht des Accumulators zu dem des Motors zuzufügen ist, wenn man das „Motorgewicht" bestimmen will; in diesem Falle hat man gegenüber der inneren Intermittenz einen öconomischen Vortheil, braucht aber, so lange die äussere Intermittenz vorhanden ist, immer noch mehr totale oder durchschnittliche Arbeit als bei gleichmässigem äusserem Regime, z. B. als bei Anwendung von Schraubenpropellern statt der Flügel; die Grenze ist nach obiger Entwicklung die Relation $\sqrt{n} : 1$, weil eben in Folge der Intermittenz die mittlere Propeller-Secundenarbeit, ganz unabhängig davon, wie sie beschafft wird, als solche $\sqrt{n}$ mal grösser ist als jene bei gleichförmigem äusserem Regime.

Wir haben also folgende scharf charakterisirte Combinationen für den äusseren und inneren Arbeitsprocess:

1. Beide Processe sind vollkommen gleichförmig während der ganzen abgeschlossenen Periode, ihre Arbeitsdiogramme sind also Rechtecke und beide Rechtecke mit gleich hohen Ordinaten; die hier nöthige Leistungsfähigkeit des Motors resp. der Kraftquelle, ist dann die denkbar kleinste, also die Sec.-Arbeit ein Minimum, sie heisse 1.

2. Inneres Regime gleichförmig, äusseres ungleichförmig; inneres Diagramm also ein Rechteck, äusseres eine Wellenlinie, oder aus mehreren horizontalen Begrenzungen bestehend von verschiedener Ordinatenhöhe (auch O); für den extremen Fall obiger Flügelschläge ist dann — für $n = \frac{t}{t_1}$ — die nöthige Leistungsfähigkeit des

Motors . . $\sqrt{n}$, also auch sein Brennstoffconsum $\sqrt{n}$ mal grösser als im Falle 1.

3. Innerer und äusserer Process ungleichförmig und als eines der Extreme beide identisch, also beide Diagramme, falls obiger Flügelprocess angenommen wird, aus einem kurzen Rechteck und einer blossen geraden Linie (Ordinate O) bestehend, dann muss der Motor gebaut sein für eine Sec.-Arbeit (Leistungsfähigkeit) von $n\sqrt{n}$ und der Brennstoffconsum ist $\sqrt{n}$ mal grösser als im 1. Falle.

Zwischen 1), 2) und 3) sind natürlich Uebergangs-Anordnungen denkbar.

Der innere Grund der Ungünstigkeit von 2) und 3) gegen 1) ist aber blos für den inneren und äusseren Process ein ganz verschiedener. Der äussere Process kostet im Falle der Ungleichförmigkeit mehr Sec.-Arbeit, weil man in gewissen Zeitabschnitten mit grösserer Geschwindigkeit auf die Luft stossen muss, als es bei Fall 1) der Fall ist, und bekanntlich wächst die nöthige Sec.-Arbeit für Propeller mit dieser Geschwindigkeit, resp. deren Cubus. Beim inneren Process aber wird bei ungleichförmigem Arbeiten der schon vorhandene Motor, resp. sein Gewicht (und Raum) in gewissen Zeitabschnitten gar nicht oder schwächer als in anderen Phasen ausgenützt, gebaut aber muss er so sein, dass er im Ganzen genommen dem äusseren Process dennoch genügt.

Diese ganze Betrachtung ist für die Conception von Flugmaschinen von grosser praktischer Wichtigkeit.

In jeder Weise ist daher das intermittirende Arbeiten unökonomisch und schliesslich kann man auch sogar eine von Loessl selbst (S. 289) angewendete Argumentation zum Beweise dessen heranziehen, denn er sagt: „. . . Er (der Vogel) kann ja auch die Arbeit unterbrechen und während der Pausen seinen flachen Körper dem Falle überlassen. Und zwar desshalb, weil bei kurzen Pausen der durch das Fallen herbeigeführte Höhenverlust unverhältnissmässig gering ist im Vergleiche zur gleichzeitigen Ersparung an Arbeit.“ Man kann nun fragen: Wie kurz dürfen diese Pausen sein? Offenbar ist deren Vortheil um so grösser, je kurzer sie sind, weil ja die Falltiefe relativ geringer wird, dann aber wäre die Fallzeit $= 0$ jedenfalls die günstigste, d. h. es wäre am besten, gar nicht zu fallen und gleichmässig zu arbeiten, wenn es eben möglich ist.

Anders wäre es, resp. dieser Schluss wäre nicht anwendbar, wenn es ein Optimum gäbe, d. h. eine ganz bestimmte Art von Intermittenz, bei der ein Maximum von Ersparung, d. h. ein Minimum von Arbeit, einträte, wodurch sie also öconomischer würde als das gleichförmige Arbeiten; aber das Vorhandensein einer Optimum-Aufgabe, resp. eines Minimum-Problems hat Niemand behauptet und ist auch in der That nicht anzunehmen; das Minimum an Secundenarbeit oder Leistungsfähigkeit ist eben dann vorhanden, wenn die Pausen $= 0$ sind.

Es ist daher gar kein Anlass vorhanden, die Natur wegen ihrer Weisheit in der „Intermittenz" zu bewundern, wie Viele vor und mit Loessl es thun, und sie etwa nachahmen zu wollen; ganz im Gegentheile, unsere continuirlich arbeitenden Systeme werden öconomischer arbeiten, als die pulsirenden[1]).

Es erübrigt uns jetzt nur noch, die oben citirte zahlenmässige Ausrechnung Loessl's unseren Ansichten gemäss zu ändern; dann erhalten wir die folgenden Resultate für die Arbeit der flatternden Taube:

Wäre die Flügelbewegung eine gleichmässig arbeitende, so wäre die nöthige Leistungsfähigkeit des Muskels . . . $E' = G\sqrt{\frac{g\,G}{\gamma F}} = 0{,}3 \times 6$ $= 1{,}8$ secmkg, genauer, weil die Flügel nur 0,06 und nicht 0,075 m^2 haben, nahezu 2 secmkg; für $t_1 = 0{,}04$ und $t_1 = \frac{t}{n} = \frac{0{,}125}{n}$ ist n nahezu $= 3$, daher die reale Muskelarbeit pro Secunde während des Niederschlags, also seine hier nothwendige Leistungsfähigkeit . . . $= 3\sqrt{3} \cdot 1{,}8 = 9$ secmkg und die mittlere Secundenarbeit . . . $= \sqrt{n} \cdot 1{,}8 = 3{,}1$ secmkg, anstatt der Loessl'schen Zahl 0,974.

Nun hat aber Loessl, durch ein Versehen, die Zahl für t_1 nicht den Beobachtungen Marey's entsprechend angenommen; in seinem Werke „Le vol des oiseaux" giebt letzterer $t_1 = 0{,}075$ sec. und t ebenfalls $= 0{,}125$ sec. an, daher ist $n = 1{,}66$ und wir erhalten als wirklich nöthige Leistungsfähigkeit . . . 3,85 secmkg und als durchschnittliche . . . 2,32 secmkg.[2])

Eine Verminderung dieser so ausgerechneten Arbeitsgrössen könnte nur durch besondere Umstände ermöglicht werden, die sich bisher der Rechnung entziehen; so z. B. dadurch, dass beim Zusammenschlagen der niedergehenden concaven Flügel ein Theil der Luft schwerer seitwärts entweichen kann, und daher gegen den Rumpf nach oben angeworfen und theilweise hebend benutzt wird, wie dies Mehrere, z. B. auch Winter in seinem Buche „Der Vogelflug" (1895) annehmen; aber weder das Vorhandensein und noch weniger Zahlengrössen solcher Factoren sind bisher präcise nach- gewiesen worden. —

Eine interessante Consequenz der obigen Betrachtungsweise ergiebt sich ferner für die Beurtheilung folgender Aufgabe:

---

[1]) In dem eben erschienenen Buche: „Zur Mechanik des Vogelfluges" von Dr. Fr. Ahlborn ist, auf S. 73 und 74, versucht worden, die intermittirende Flugweise als vortheilhafter darzulegen; eine Berechnung ist hierbei nicht gegeben und der Beweis, dass „die Nachtheile der periodischen Kraftausgabe ihre Vortheile überwiegen" einerseits mir noch nicht beim ersten flüchtigen Durchlesen klar, andererseits auf meine oben rechnungsmässig gegebene Vergleichung des Arbeitsbedarfs ohne Einfluss.

[2]) Natürlich ändert sich mit dem richtig angenommenen t_1 auch der Weg des Druckmittels des Flügels, nämlich 20 cm statt 30 cm.

Wenn man behufs Vermeidung der — unökonomischen — Intermittenz statt eines Flügelpaares deren zwei anwenden wollte, die abwechselnd arbeiten, und deren Gesammtfläche gleich jener des einen Paares ist, — so, dass eben nur eine Aenderung des Arbeitsregimes und sonst keine andere vorgenommen wird — so wäre im ersten Falle als Folge der Intermittenz die durchschnittliche Sec.-Arbeit $\sqrt{n}$ und für $n = 2$ . . $\sqrt{2}$ mal grösser als im zweiten; da aber bei Anwendung von zwei Paaren, die stets nacheinander arbeiten, nur die halbe Flügelfläche in Anwendung kommt, so würde andererseits deren Sec.-Arbeit $\sqrt{2}$ mal grösser, Vortheil und Nachtheil würden sich daher compensiren und es wäre ganz gleichgültig, welches Regime man benutzt.

Wenn man aber weiss, dass der Motor nicht nach seiner durchschnittlichen, sondern nach seiner factischen Arbeitsfähigkeit gebaut werden muss, also, wenn keine innere Arbeitsaccumulation stattfindet, nach jener in der Niederschlagszeit, so ist die Sec.-Arbeit beim Intermittiren $n\sqrt{n} = 2\sqrt{2}$ mal grösser und wegen der doppelten Fläche $\sqrt{2}$ mal kleiner, d. h. noch immer 2 mal grösser als bei continuirlicher Arbeit und es folgt, dass letztere trotz kleinerer Flügelflächen dennoch ökonomischer ist. Man sieht aus diesem Beispiele deutlich den oft massgebenden Einfluss der obigen Untersuchungs-Resultate auf die Conception von Flugmaschinen. —

Zum Schlusse aller dieser Betrachtungen hebe ich noch als weitere Consequenz derselben die Bemerkung hervor, dass wir mit dem Abschnitt „Function der Flügelschläge“ auf S. 292 u. s. f. im Loessl'schen Buche ebenfalls nicht übereinstimmen können, wo er sagt: „. . . Beim Vorwärtsflug der Taube . . ist es ziemlich gleichgültig, wie sie ihre Flügelschläge in Bezug auf Frequenz und Excursionsweite einrichtet, wenn nur der nöthige Durchschnittsbetrag der Arbeit zu Stande kommt;“ wonach also die Taube z. B. in jeder Secunde nur einen einzigen Niederschlag vollführen kann, welcher nur $^1/_{10}$ Secunde dauert, oder (S 294) „lieber einen Schlag innerhalb zwei Secunden und diesen Schlag nur $^1/_{50}$ Secunde dauern lassen.“ Denn wir sehen nach obiger Deduction und Rechnung, dass sowohl die factisch nöthige Secunden-Arbeit als selbst auch der durchschnittliche Arbeitsbetrag in jedem dieser Fälle sehr verschieden ausfällt, und zwar desto grösser, je kürzer die Arbeitszeit gegenüber der Ruhezeit gewählt wird; wenn daher Variationen im Regime eintreten, so können nur andere Ursachen als die Rücksicht auf blosse Arbeitsöconomie als massgebend auftreten, die wir entweder im Allgemeinen noch nicht kennen oder die von zufälligen Momenten, die vielleicht physiologische oder biologische Bedeutung haben, abhängen dürften.

Wir wollen von dieser allgemeinen Betrachtung einige wichtigere specielle Anwendungen machen. Hier wäre nun vor Allem zu bemerken, dass in dem Buche: „Der Vogelflug“ von Lilienthal an sämmtlichen

Berechnungen, für die Secundenarbeit beim Fluge der Vögel und der Flugmaschinen eine wesentliche Correctur anzubringen ist; dies gilt namentlich für das 9. Kapitel: „der sichtbare Kraftaufwand der Vögel“, für das 10. „die Überschätzung der zum Fliegen nöthigen Arbeit“ und für das 40. Kapitel: „Berechnung der Flugarbeit“, und da in den erstgenannten Kapiteln Auf- und Niederschlag als gleich lange dauernd vorausgesetzt wird, so sind die diesbezüglichen Resultate zu verdoppeln.

Lilienthal berücksichtigt nämlich in seinen Rechnungen nicht die secundliche Leistungsfähigkeit des Motors (des Muskels) während seiner factischen Arbeitsphase, d. i. während des Flügelniederschlages, sondern er rechnet nur jene kgm Arbeit, die nach Ablauf einer Secunde als geleistet auftritt, denkt, ohne es auszusprechen, diese Anzahl von kgm gleichmässig auf die Dauer einer Secunde vertheilt, ohne irgendwie eine Accumulation, und dadurch bewirkte Ausgleichung, der Arbeit vorauszusetzen, und erhält daher nur die mittlere und nicht die wahre Secundenarbeit, nach der allein sich doch die Motorgrösse zu richten hat.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass, wenn die Leistungsfähigkeit der technischen Motoren nicht zufällig auf die Secunde, sondern z. B. auf Zehntelsecunde bezogen wurde, dieses Versehen unterblieben wäre.

Im 10. Kapitel (S. 26) sagt Lilienthal, wenn man die Flugarbeit des Storchs nach der Formel für den orthogonalen (senkrechten) Flügelstoss berechnen wollte, also nach der Formel $L = 0,13 \cdot F \cdot v^2$, wo $L =$ dem doppelten Gewicht (wegen der Intermittenz) also $= 8$ kg und $F = 0,5$ m^2 ist, so ergiebt sich $v = 11$ m: „diese Geschwindigkeit wirkt aber nur während der halben Flugdauer, ist daher nur mit 5, 5 m in Anschlag zu bringen, woraus sich eine secundliche Arbeitsleistung von $8 \cdot 5,6 = 44$ kgm ergiebt“.

Richtig muss es aber so heissen: die totale Arbeit während der Niederschlagszeit, wenn sie eine Secunde lang gleichmässig ausgeübt würde, wäre $8 . 11 = 88$ kgm, da aber in 1 Secunde zwei und zwar gleich lange dauernde Auf- und Abschläge stattfinden, so ist die Schlagzeit, also Arbeitszeit, nur $^1/_4$ Secunde, und es arbeitet daher der Muskel als eine Maschine, die zwar 88 seckgm Effect- oder Leistungsfähigkeit, auf die Secunde bezogen, besitzt, aber, dem Regime zufolge, nur $^1/_4$ Secunde lang thätig ist, also factisch nur 22 seckgm zu leisten braucht, dann $^1/_4$ Sec. ruht, die nächste $^1/_4$ Sec. wieder eine Effectgrösse von 88 seckgm besitzt, die nächste $^1/_4$ Sec. wieder ruht u. s. w.

Der Fehler Lilienthals — und anderer Autoren — liegt also darin, dass er die Geschwindigkeit theilt, während nur die Arbeitsthätigkeit getheilt ist; Geschwindigkeit ist ein innerer Zustand des Motors, der selbst im kleinsten Zeittheilchen voll und ganz vorhanden ist, die Geschwindigcharakterisirt sozusagen das Temperament des Motors, wie lange aber dieser Arbeitszustand dauert, ist eine ganz andere Frage, und nur die Dauer dieses Zustandes ist etwas vom Intermittenz-Regime Abhängendes.

Auf S. 172 im 40. Kapitel giebt Lilienthal auf Grund seiner Versuche mit gewölbten Flächen die Flugarbeit des Storchs pro Flügelniederschlag zu 2, 02, also für zwei Flügelniederschläge, die eben binnen einer Secunde statt finden, zu 4, 04 kgm an; nun setzt Lilienthal hier (S. 170) eine partielle Aufspeicherung von Arbeit während des Aufschlages voraus, bringt „einen Theil der theoretisch als Arbeitsgewinn anzusehenden Aufschlagsarbeit" von 4,04 in Abzug und findet so die Flugarbeit circa 4 kgm pro Secunde; da er ferner hier annimmt, dass die Zeit des Aufschlags sich zu jener des Niederschlags wie 2 : 3 verhält, so ist die Zeit des Niederschlags $\frac{3}{5} \times \frac{1}{2} = \frac{3}{10}$ Sec. und, richtig, ist daher die nöthige Leistungsfähigkeit des Storchmuskels . . . $\frac{2}{0,3} = 6,7$ und nicht 4 seckgm.[1])

Eine andere, noch wichtigere Anwendung meiner obigen allgemeinen Untersuchung über den Einfluss der Intermittenz auf die Flugarbeit wollen wir auf die vergleichende Beurtheilung von Flügelflugapparaten mit Drachen- sowie Schraubenfliegern machen.

Mehrere Autoren behaupten, dass Flügelapparate schwächere Motoren benöthigen als continuirlich arbeitende, wie z. B. Drachenflieger und Schraubenflieger, und in den im J. 1894 erschienener „Proceedings" des aeronautischen Congresses in Chicago befindet sich ein Aufsatz von W. Kress des Titels: „Aeroplanes and flapping machines", in dem (S. 257) der Satz aufgestellt wird: Es lasse sich theoretisch nachweisen, dass Flügelapparate schwächere Motoren als Aeroplane (Drachenflieger) benöthigen und der Grund liege darin, dass „die Luft unter einem günstigeren Winkel getroffen wird und weil ferner das Gewicht des Körpers beiträgt, um den nöthigen kräftigen Flügelschlag hervorzubringen."

Bei der principiellen Wichtigkeit der Sache und der mehrfachen von mir zu erhebenden Einwendungen gebe ich die Argumentation von Kress ausführlich und wörtlich übersetzt wieder:

„ . . . . . . Der Vogelflügel wird von der Verticalkomponente des Luftdrucks getragen, der aus der Stossgeschwindigkeit und dem Stosswinkel resultirt; beim Flügelapparat wirkt nur der Flügel beim Niederschlag wie ein Aeroplan, der schief abwärts gleitet . . . während beim Aufschlag der Flügel ebenfalls „als Aeroplan funktionirt, welcher durch den Luftdruck gehoben wird, der aus der beim Niederschlag entstandenen Körpergeschwindigkeit und seinem positiven Stosswinkel (d. h. vorne nach unten geneigte Fläche) resultirt, beide Actionen ermöglicht durch das Gewicht des Körpers. . . . . Da aber diese flatternde Bewegung nicht an einem fixen Raumpunkt, sondern in der nachgiebigen Luft vor sich geht, so müssen wir auch betrachten die Verluste durch Luftreibung, durch den Querwiderstand des

[1]) Ueber die absoluten Zahlenwerthe Lilienthals, selbst nach ihrer eben begründeten Richtigstellung, zu sprechen, ist hier nicht der Ort; ich möchte aber nur hervorheben, dass der Muskel analog unseren Gasmotoren in kurzen Momenten ganz bedeutende Leistungen vollbringen kann, und dann gänzlich ruht und sich erholt.

Körpers und den möglichen Verlust an Höhe während des Aufschlages durch das Einsinken des Körpers in der nachgiebigen Luft. Das Sinken wird vermieden, wenn der Flügel während des Aufschlags einen passenden positiven Winkel gegen die Horizontale (d. h. vorne nach oben geneigte Fläche) besitzt, so dass durch wachsende Hebung der Höhenverlust zurückgenommen, also ein solcher vermieden wird.

Daher hat der Flugapparat beim Horizontalflug zu begegnen: beim Aufschlage erstens dem Widerstande W in Folge des D r i f t (d. h. der Projection des positiven Winkels des Flügels, oder dem sogen. d i r e c t e n Widerstande eines Drachens in seiner Bewegungsrichtung gegen die Luft) und zweitens dem Körperquerwiderstande W_1. Beim Niederschlagen jedoch giebt es keinen D r i f t, weil der Flügel in Folge seines negativen Winkels blos seine Kante dem relativen Wind darbietet, es ist daher der einzige Widerstand jener W_1 des Körpers. Die Luftreibung kann bekanntlich wegen ihrer Kleinheit vernachlässigt werden.

Um nun mittelst Flügelschlägen zu fliegen, wird aber der Drift blos während der halben Zeit zu bekämpfen sein (nämlich gleiche Dauer für Auf- und Abschlag vorausgesetzt) und die Arbeit, um den Widerstand zu überwinden, wird daher sein $A = (\frac{W}{2} + W_1)\ V$, wo V die horizontale Geschwindigkeit des Apparates bedeutet."

In Folge dieses Gedankenganges findet Kress für einen speciellen Flügelapparat von 764 kg Totalgewicht 132 secmkg als nöthige Motorleistung, während er für einen entsprechenden Aeroplan (Drachenflieger) von 679 kg Totalgewicht 202 sec kg, also fast das Doppelte für nöthig berechnet.

Die Vorstellungen von Kress über den allgemeinen Vorgang beim Fliegen mittels Flügeln decken sich mit jenen vieler anderer Autoren, die, wie z. B. M a r e y, sämmtlich beim Aufschlag den Flügel als tragenden, resp. hebenden Aeroplan in passiver Weise, d. h. in Folge der lebendigen Kraft der Körpermasse betrachten; was aber die A r b e i t s b e r e c h n u n g bei Kress betrifft, so erweckt sie und desgleichen mehrere seiner Argumentationen sehr wesentliche Bedenken.

Schon der Bau der Formel für A zeigt, dass sie unmöglich richtig sein könne; sie sagt aus, dass für continuirlich arbeitende Propeller, z. B. Aeroplane, $A = (W + W_1)\ V$ und dass für i n t e r m i t t i r e n d arbeitende $A = (\frac{W}{2} + W_1)\ V$ sei[1]), wobei in letzterem Falle die Aufschlags-Zeit die Hälfte der ganzen Flügelschlagperiode beträgt; nehmen wir nun an, sie betrage nur $^1/_{100}$ oder $^1/_{1000}$ derselben, so würde folgen, dass $A = (\frac{W}{1000} + W_1)\ V$ also nahezu $= W_1 \cdot V$ sei, d. h. bei c o n t i n u i r l i c h e n Arbeiten der Propeller, wie z. B. mittels Oldhamrädern, wäre z. B. gar keine Suspensionsarbeit nöthig, was noch überdies genau das G e g e n t h e i l v o n d e r B e h a u p t u n g von Kress wäre, derzufolge gerade die continuirliche

[1]) Genau genommen, ist W in jedem von beiden Fällen von v e r s c h i e d e n e m Werthe.

Arbeit grösser sein soll, als jene bei intermittirender Propelleraction; sollte zufällig W_1 fast $= 0$ sein, so wäre nach Kress's Formel überhaupt gar keine Flugarbeit nöthig!

Die Ansichten, mit denen Kress seine Vorstellung von der Nützlichkeit von Flügelapparaten zu begründen sucht, sind überdies leicht als inacceptabel darzulegen; ein „günstigerer Luftstosswinkel" ist beim niederschlagenden Flügel gegenüber dem continuirlichen Aeroplan in keiner Weise vorhanden, in beiden Fällen kann man nur so weit gehen, als die technologischen Bedingungen der Propeller- oder Flächenconstructionen es erlauben; das „Darbieten der blossen vorderen Kante" beim Flügelniederschlag ist undenkbar, denn es entstände überhaupt gar kein Luftdruck auf dem Flügel, wenn er nicht einen gewissen offenen Winkel in der Bewegungsrichtung darbietet, er muss daher, um wirksam zu sein, stets einen gewissen Drift erleiden, (man sehe auch die spätere Figur 5, resp. den Luftstosswinkel δ) und was endlich den günstigen Einfluss des Gewichtes des Flugkörpers betrifft, so kann derselbe nicht weiter gehen, als eine Accumulation und hierdurch eine Ausgleichung in der Secundenleistung des ungleich beanspruchten Motors zu bewirken; das ist aber ein Resultat, das — wie oben in allgemeiner Weise gezeigt wurde — wohl sehr wünschenswerth ist, weil es ja die Secundenarbeit ungefähr auf $\frac{1}{n}$ der sonst nöthigen herabbringt, dieser günstige Zustand einer vollkommenen Ausgleichung ist bei continuirlich arbeitendem Flugapparat, z. B. Aeroplan, aber schon ohne alle Zuthat, also von selbst vorhanden; also selbst dann, wenn das Gewicht des Apparates Null wäre.

Die Rolle, welche das Gewicht des Körpers, oder welche Federn, Luftpolster u. dgl. spielen — über welche Organe Kress in seinem Aufsatze „Der persönliche Kunstflug" (Ztschr. f. L. 1893) spricht und auf den er sich in den Proceedings beruft — ist daher nur die eines Surrogats, das niemals eine Arbeitsökonomie über den Drachen- oder Schraubenflieger hinaus bewirken kann.

Der eigentliche Fehler bei Kress besteht aber in letzter Instanz in folgendem:

Behufs Ansammlung von lebendiger Kraft im Flugkörper, welche dann für das Tragen (Heben) mittels des passiven Aufschlags benutzt werden und andrerseits behufs ziemlicher Einhaltung der mittleren horizontalen Fluggeschwindigkeit dem Körper während des Niederschlags eingeimpft werden soll, ist eine forcirte Niederschlagsarbeit nothwendig, also, wenn keine Accumulation vorhanden wäre, principiell gerechnet, rund eine $n\sqrt{n}$ (für $n = 2$ also $2\sqrt{2}$) grössere Secundenarbeit nöthig, als beim Aeroplan oder Schraubenflieger mit continuirlichem Betrieb; da nun Accumulation und Ausgleichung am Motor von Kress vorausgesetzt wird, so ist die Secundenarbeit noch immer $\sqrt{n}$, also $\sqrt{2}$ mal grösser beim Flügelapparat.

Lilienthal und Kress haben also in wesentlich verschiedener Art gefehlt; der erstere berücksichtigte wohl die Intermittenz der Propellerfunktion, aber nicht die wegen mangelnder Ausgleichung herrschende Ungleichförmigkeit des Motorbetriebes, daher sind seine Secundenarbeiten n mal zu vergrössern; Kress hingegen berücksichtigte wohl die Intermittenz der Motorfunction, indem er sie durch Accumulation ausgleichen lässt, übersah aber den Einfluss der Intermittenz der Propellerfunction, seine Secundenarbeiten für Flügelapparate sind daher $\sqrt{n}$ mal zu vergrössern.[1])

Nach allen diesen, wohl sehr weitläufigen, Auseinandersetzungen dieses sehr wichtigen und sehr subtilen Gegenstandes glaube ich, dass wir den Satz festhalten können:

Vom Standpunkte der Motorgrösse aus ist das Intermittiren gegenüber dem continuirlichen Betriebe öconomisch ungünstig, und wenn sonst keine anderen Gründe dafür sprechen, sind bei Flugmaschinenprojecten nur continuirliche Betriebe, also Drachenflieger, Schraubenflieger u. dgl. ins Auge zu fassen.

Anschliessend an das eben besprochene Problem des intermittirenden Fluges möchte ich auch kurz das des Wellenfluges erwähnen, das mit jenem in der Hauptsache etwas Gemeinsames hat, denn auch beim Wellenflug ist die Intermittenz das Charakteristische.

Hier ist der Vorgang folgender, wobei stets von jeder natürlichen Luftbewegung abgesehen wird: Während des Abstürzens, also der ersten Phase des Wellenfluges, arbeitet ein mitgenommener Motor gar nicht, sondern nur die Schwere des ganzen Flugkörpers; dabei wird ein Theil der Fallarbeit benutzt, um lebendige Kraft anzusammeln, ein anderer wird für die vom Körper unter sich verdichtete und aufgestörte Luft aufgebraucht, denn ein gewisses Einsinken, also ein Flächenwiderstand, muss in einem nachgiebigen Medium wie Luft immer stattfinden, sonst würde der Körper ja wie im Vacuum mit der Beschleunigung der Schwere fallen. Von einem Stirnwiderstand sehen wir, der Einfachheit wegen ganz ab, der Körper wird also sehr schneidig oder zugespitzt vorausgesetzt.

Die Fallarbeit, die in die Luft hineingelegt wurde, verwandelt sich in letzter Instanz in Wärme und ist also für immer verloren, und es bleibt

---

[1]) In den „Proceedings“ macht Chanute gegen Kress's Berechnungen noch mehrere Einwendungen, mit denen ich fast gänzlich übereinstimme, auch glaube ich, dass die dort benutzten Winkelgrössen und Coefficienten (nach Lilienthal) sehr auf die Schneide gestellte Grundgrössen der Rechnung für Flugmaschinen repräsentiren. Uebrigens benehmen alle diese Einwendungen gegen die Ansichten und Rechnungen von Kress nichts dem Werthe seiner langjährigen Bemühungen um Herstellung frei fliegender Flugmaschinenmodelle und seiner Studien über deren zweckmässige Architectur.

nur jener Theil zur Disposition, der als lebendige Kraft erscheint. In der zweiten Phase, d. i. dem aufsteigenden Ast der Welle, wird die angesammelte lebendige Kraft allmählich für Hebung des Körpers ausgegeben, und da wegen des eben erwähnten Arbeitsverlustes die ursprüngliche Höhe nicht erreicht werden kann,[1]) ist eine Ersatzarbeit, d. h. eine Motorfunktion nöthig, die so lange dauert, bis man wieder im ursprünglichen Niveau angekommen ist. Es möge nun diese Motorarbeit lang oder kurz dauern, jedenfalls muss seine Leistungsfähigkeit grösser sein, als wenn er den Körper blos in einer horizontalen Linie schweben machen sollte, denn er hat auch Hebungsarbeit zu leisten, d. h. er muss stärker sein, als wenn man keinen Wellenflug, sondern ein horizontales Fliegen angenommen hätte. Also erfordert der Wellenflug leistungsfähigere Motoren und ist unökonomisch; dabei wäre noch überdies hervorzuheben, dass dieses Plus an Pferdekräften des Motors sich sogar noch grösser herausstellt als die Hebung und ein eventueller Stirn- oder Flächenwiderstand an Zusatzarbeit beanspruchen würde, denn wie oben erwähnt, ist eine einfache Addition dieser Einzelarbeiten nicht erlaubt, sondern es findet ein vergrössertes Wachsen der nöthigen Gesammtarbeit statt (siehe oben S. 303 d. vor. Jahrg.).

Man könnte nun denken, es wäre möglich, diese Arbeit des Motors auf längere Zeit zu vertheilen, d. h. anstatt erst zuletzt während des kurzen Weges des Emporhebens in den Horizont, den Motor schon vorher, z. B. seit Beginn der Wellenbahn arbeiten und einen Accumulator laden zu lassen; nur die Rechnung kann entscheiden, ob dadurch eine Ersparnis möglich wird und, für den allgemeinsten Fall einer beschleunigten Abwärtsbewegung, mir wenigstens, zu schwierig, kann sie doch für den Fall eines gleichförmigen Herabgleitens und Anfsteigens durchgeführt werden; dabei fände also kein Gewinn und kein Verlust an lebendiger Kraft in der Wellenbahn statt. Das Resultat dieser Rechnung

---

[1]) In den Aufsätzen von v. Miller-Hauenfels wird an vielen Stellen ganz richtig von einem „Einsinken des Körpers in die unterhalb der Flügel verdichtete Luft" gesprochen, auch die Flügelstellung unter einem Winkel gegen die Flugbahn richtig gezeichnet und dieser Winkel ausdrücklich als nothwendig hervorgehoben, es wird also eine an die Luft durch deren Verdichtuug abgegebene Arbeit vorausgesetzt. Aber trotzdem kommt der Autor zu dem Resultate, dass der Segelflug gar keine Flächenwiderstandsarbeit — sondern nur Stirnwiderstandsarbeit consumirt, indem er annimmt, die Bahn auf der conprimirten Luft sei mit einer festen Holzbahn zu vergleichen, so dass die Luft alle Arbeit, welche sie vom Segler während des Thalfluges empfängt, ihm während des „Bergfluges zurückgibt." (Ztschr. 1893, S. 138). Das ist aber unmöglich; die an jeder Bahnstelle comprimirte Luft zerstreut sich sofort, wenn die Flügel an das nächste Bahnelement gelangen und die Compressionsarbeit kann nicht wieder nutzbar gemacht werden. Ein derartiger idealer Fall, wo die Bewegung in Flüssigkeiten arbeitslos geschieht, findet nur dann statt, wenn an einer Rotationsfläche die Stromlinien, die vorne getrennt werden, sich hinten wieder schliessen, worüber ich in meiner „Flugtechnik" (S. 100 u, s. w.) eingehend gesprochen habe.

findet sich in meiner „Flugtechnik“ (S. 113 u. 114), und es lautet dahin, dass durch diesen Ausweg der Accumulation sich weder ein schwächerer Motor, noch eine kleinere Durchschnittsarbeit (pro Secunde) beim Wellenflug als beim horizontalen Flug ergebe; mit Obigem zusammengehalten, nähert sich der Wellenflug dem Minimum an Arbeit, wenn die Pfeilhöhe der Welle = 0 ist, d. h. die Bahn eine horizontale ist.[1])

Man kann übrigens mit einem Schlage darlegen, dass der Wellenflug keinen ökonomischen Vortheil bietet, sondern dass das Umgekehrte der Fall sei:

Denken wir uns wieder den Körper absolut spitzig oder scharf gebaut, also ohne jeden Stirnwiderstand, dann kann die mathematisch dünn gedachte Fläche als solche keinerlei Einfluss darauf haben, welche Form der Wellen-

---

[1]) In dem Aufsatze, resp. Vortragsbericht, „über den Wellenflug der Vögel“ (Diese Zeitschrift 1890, Heft 1) sagt v. Gostkowski: . . . „Es ist ja evident, dass bei dem von Popper befürworteten horizontalen Flug der Motor das Schiffsgewicht durch die Luft zu tragen habe, während beim Wellenfluge die Tragkraft der Luft zu diesem Zweck durch den Druck, der durch den Flugkörper auf die Luft ausgeübt wird, Benutzung finde.“ Das ist ja ganz selbstverständlich, aber diese Arbeit, die auf Kosten der Höhe blos durch die disponible Schwerkraft statt durch Brennstoffconsum in einem Motor geleistet wird, wird uns nicht geschenkt, denn wir müssen, wie oben erläutert ist, nur später zum Motor greifen, um diesen Höhenverlust wieder einzubringen, und es geschieht eben dies unter ungünstigeren Umständen, als wenn man von Anfang an nur Schwebearbeit und keine Hebearbeit mittelst des Motors ausgeübt hätte. Seit meinem Vortrage ist im ersten Heft des Jahres 1896 dieser Zeitschrift eine Note von Platte erschienen, in welcher er sagt, durch das Buch von Loessl sei zu Gunsten des Wellenfluges endgültig entschieden worden, und er begründet dies mit den Worten: „ . . Loessl findet, dass die Taube, um sich senkrecht zu heben, eine Arbeit von 1,8 secmkg zu leisten habe, während dieselbe Taube, wenn sie eine, eben durch früheren schrägen Abfall erlangte Geschwindigkeit von 12 secm besitzt, zur Fortsetzung des Fluges in horizontaler Bahn mit der nämlichen Geschwindigkeit von 12 m pro Sekunde nur mehr einer Arbeitsgrösse von 0,2025 secmkg bedarf; die Taube bedarf daher zum horizontalen Segeln nur des neunten Theiles der Kraft, die sie zum Aufflug braucht.“

Diese Argumentation Platte's beruht — von meiner Kritik der Loessl'schen Zahlen ganz abgesehen — auf einem Versehen. Loessl behandelt (auf S. 213) in keiner Weise die Frage des Wellenfluges, sondern untersucht ganz allgemein den Nutzen, welchen eine gleichzeitige Translation für Verringerung der Schwebearbeit herbeiführt, worüber ich oben ausführlich gesprochen habe und der, in letzter Instanz, auf dem Vortheil des schiefen Luftstosses gegenüber dem normalen zurückzuführen ist. Dieser Nutzen findet bei allen solchen Vorgängen statt, also sowohl beim horizontalen Flug mittelst schiefer Drachenflächen, als beim Gleiten in schiefer Bahn nach abwärts u. s. w.; die Sache hat also mit dem Wellenfluge als solchem gar nichts zu thun, in seinem absteigenden Aste tritt, wie schon vorausgesetzt ist, hierdurch ein verzögertes Sinken statt, analog wie beim horizontalen Fliegen mittelst Drachen oder dgl. eine verkleinerte Motorarbeit nöthig ist gegenüber dem Flattern an der Stelle.

bahn wir als die etwa günstigste zu betrachten hätten; andererseits wird ja behauptet, dass die Wellenform als eine solche, bei der die Schwerkraft mitbenutzt wird, principiell den Vorzug vor der horizontalen Fahrt habe, keinen Rücktrieb (Flächenwiderstand), sondern nur Stirnwiderstand zu produciren. Es steht uns daher frei, irgend eine Wellenform herauszuheben, also auch jene mit der Einbuchtung nahe gleich Null, d. i. der horizontalen Linie, es folgt also, da eben keine Grenze zwischen beiden Flugformen existirt, dass unmöglich ein Sprung in der Art der Kräftewirkung stattfinde; man braucht sich nur vorzustellen, dass diese ganz flache Welle im absteigenden Theil mit dem horizontalen Flug zusammenfalle und dass der sogenannte aufsteigende Theil beliebig klein, auch gleich Null sei, so sieht man sofort die vollständige Identität beider Flugmethoden ein, nämlich die allgemeine mechanische Identität derselben. Es ist überdies eine interessante Eigenthümlickeit, dass die Zeichnungen der Wellenflug-Anhänger stets eine flache Bahn ausdrücken, es wird Niemanden einfallen, eine sehr tief ausgebuchtete krumme Linie zu zeichnen, vielleicht fühlen sie instinctiv, dass, da doch factisch immer ein Stirnwiderstand vorhanden ist, der längere Weg einer solchen Wellenbahn ungünstiger ist als der kürzere einer sehr flachen.

Wie gänzlich ungerechtfertigt aber die Bewunderung des Wellenfluges und seiner specifischen Vortheile ist, wird man wohl durch folgende einfache Überlegung ersehen:

Bekanntlich wäre die aufzuwendende Secundenarbeit bei einem Drachenflieger der Null gleich, wenn es gelänge, die Neigung der Drachenfläche gegen die horizontale ebenfalls der Null gleich zu machen; nur technologische Gründe verhindern dies und für sehr kleine Winkel ist — bei sehr grossen Geschwindigkeiten der Translation — die Secundenarbeit in der That sehr klein, wenn wiederum der Stirnwiderstand sehr klein ist.

Es sind also nur praktische und nicht principielle Gründe, aus denen die Flugarbeit nicht so klein ausfällt, als man nur will[1]).

Weniger als Null kann aber doch keine Flugmethode, sei es die wellenförmige oder irgend eine andere, beanspruchen?

Und andererseits ist beim Wellenflug die Unmöglichkeit eines unendlich kleinen Winkels der Tragfläche gegen die Bahn und der Stirnwiderstand,

---

[1]) In der Abhandlung „Experiments in Aerodynamics" (1893) von Langley und in manchen Berichten über dieselbe wird als eine neue und sehr merkwürdige Erkenntniss das Versuchsergebniss hingestellt, das schnelles Fliegen weniger Arbeit braucht als langsames. Dieser Satz wird aber schon seit mindestens 25 Jahren von allen Flugtechnikern benutzt, die aus theoretischen oder experimentellen Gründen $\sin \alpha$ und nicht $\sin^2 \alpha$ in die Luftwiderstandsformeln einsetzen; man sehe z. B. die Aufsätze von Pénaud und sämmtliche Abhandlungen in dieser Zeitschrift, von Lössl, Wellner, Platte, Jarolimek und Hauenfels, von mir selbst, u. A. Man sehe auch eine specielle Bemerkung über diesen Punct in meiner „Flugtechnik" (S. 103 in der Anmerkung).

also die technologische, rein practische, Schwierigkeit genau — ja in noch grösserem Maass — vorhanden, als beim geradlinigen.

Eine ausführliche und rechnende Untersuchung über den Wellenflug und manche einschlägigen, höchst interessanten aerodynamischen und flugtechnischen Probleme will ich überdies an einem anderen Ort geben.

Einen sehr reichen Inhalt in direct flugtechnischer Beziehung giebt in dem Loesslschen Buche die Tabelle XI (auf S. 223 bis 226) und die darauf folgende Erläuterung (S. 226 bis 230).

Es sind namentlich folgende Begriffe resp. Probleme, die hier behandelt oder wenigstens erwähnt werden, und zu denen ich Manches, was vielen Lesern wohl nicht unwillkommen sein und das Verständnis erleichtern dürfte, hinzufügen will. Auf S. 228 findet man den Ausdruck „Minimum der Gefälls-Summe“, „flachste Schwebebahn“ und „Arbeitsminimum des Schwebefluges“.

Die letzte Beziehung ist leicht zu begreifen, denn man sieht bald ein, dass die horizontale Translation zwar mit ihrem Wachstum für die Schwebearbeit immer nützlicher wird, schädlich aber für die Translationsarbeit in Folge des wachsenden Stirnwiderstands, es muss also eine Grenze geben, eine Optimum-Aufgabe, zu bestimmen, wann die Summe beider Arbeiten ein Minimum wird; Loessl entnimmt für die Taube seiner Tabelle die Zahl v = 12 secm als die vortheilhafteste Geschwindigkeit, was wir allerdings wegen der von uns beanstandeten Schwebeformel, auf der die Tabelle beruht, eben nur anführen wollen.

Das „Minimum der Gefällsumme“ oder der des „secundlichen Falles“ findet sich in der Tafel XI bei derselben Geschwindigkeit, von = 12 m, also gleichzeitig mit dem „Arbeitsminimum des Schwebefluges“; das ist ganz natürlich, denn der kleinste secundliche Fallraum bedeutet, dass die Schwerkraft, die ja hier allein arbeitet, in einer Sec. ein Minimum an Fallarbeit leistet und die Arbeiten werden eben hier immer als Secundenarbeit (Pferdekräfte) aufgefasst Wenn man horizontal fliegen, also einen Motor statt der Schwerkraft anwenden muss, so gilt dieselbe Rechnung für das Arbeitsminimum, denn die Verhältnisse des Problems können sich nicht mit der Art der Kraftquelle ändern. Was aber die die „flachste Bahn“ betrifft, so bezieht sich hier die Falltiefe des Körpers nicht auf die Zeit, also z. B. die Secunde, sondern auf die horizontale Weglänge, sie ist daher eine andere Grösse als die Summe des secundlichen Falles und die praktische Bedeutung dieses Begriffes und der Aufgabe, für das Minimum des kleinsten Falles der Bahn die nöthige Sec.-Arbeit zu rechnen, sowie alle Verhältnisse dabei zu bestimmen, liegt darin, dass man mitunter wissen will, welche Motorgrösse und Stellung der Tragfläche nöthig seien, um abwärts gleitende Körper von einer gegebenen Höhe aus am weitesten zu bringen, also die längste Reise zu machen, um z. B. einen Fluss zu übersetzen oder dergl.

Alle diese Probleme, deren Zahlenresultate aus der Tabelle XI empirisch in Loessl's Buch herausgehoben sind, sind aber mathematisch mit einem Schlage lösbar und daher mühelos und für alle denkbaren Fälle verschieden geformter und beschaffener Flugkörper zu erledigen; wir verdanken die Aufstellung und die Lösung dieser Aufgaben Pénaud, der in einer grundlegenden Abhandlung „Lois du glissement dans l'air" in „l'Aéronaute" des J. 1873 zum ersten Male die Begriffe „Schwebearbeit" und „Translationsarbeit" einführte, und dadurch den Berechnungen der Flugprobleme eine neue wissenschaftliche Basis verschaffte, die höchst aufklärend wirkte und in neuerer Zeit, obwohl lange als theoretische Überflüssigkeit angesehen und bei Seite gelassen, nunmehr in fast allen flugtechnischen Publikationen benutzt wird. In der genannten Abhandlung unterscheidet Pénaud schon zwischen „secundlichem Gefälle" und zwischen „flachster Bahn" und er wendet diese Begriffe sowie den des „Arbeitsminimums beim Schweben" in höchst geistreicher Weise auf den Vogelflug an[1]).

[1]) Pénaud ist es auch, der als der Erste (im J. 1872 publicirt) kleine Drachenflieger construirte (Aëroplane). Dabei verwendete er zur Herstellung der Stabilität ein automatisches Steuer, nämlich hinten eine horizontal ausgestreckte, nach vorne etwas geneigte Fläche; diese Drachenflieger sowie seine Orthoptère (Flügelpropeller-Apparate) und Helicoptère (Schraubenflieger) betrieb er mittels tordirtem Kautschuk, eine scheinbar einfache Neuerung, die aber in dieser Richtung, d. i. für Modelle, einen bedeutenden Fortschritt repräsentirt; denn hierdurch gewann Pénaud gegenüber den früher angewendeten Stahlfedern einen viel leichteren Motor und gegenüber gedehntem Kautschuk einen viel einfacheren Mechanismus, weil er die Rotation unmittelbar gewann. Pénaud machte auch werthvolle Experimente, um direct den Stirnwiderstand verschiedener Vögel festzustellen, bisher die einzige Quelle unserer Kenntnisse dieser wichtigen Grössen; er entwarf auch ein Project für einen Drachenflieger im Grossen und war der Erste, der (im l'Aéronaute des J. 1872) den Gedanken und das Problem aufstellte, das günstigste Verhältniss des Motorgewichts zum Totalgewicht einer Flugmaschine zu suchen, das er zu $1/3$ bestimmte, welchen Gedanken, unabhängig von Pénaud, später Jarolimek ebenfalls fasste und in mannigfachen Arbeiten in sehr interessanter Weise durchführte. Sehr intensiv befasste sich Pénaud auch mit dem Studium der Propeller; die Schraube konnte er nicht genug bewundern, er hielt sie für die vollkommenste technische Maschine, von grösstem Nutzeffect und er begründete diese günstige Ansicht namentlich mit Versuchen über das Verhalten der Luft in der Nähe von Propellerschrauben; er zeigte an den Schrauben seiner oben erwähnten Schraubenflieger, dass man fälschlich behaupte, dass die Luft von den Flügeln radial nach auswärts geschleudert werde; im Gegentheil, Kerzenflammen, hinter der Schraube, so lange sie innerhalb der Cylinderfläche stehen, deren Basis der Schraubenkreis ist, convergiren gegen die Achse, werden also zur Schraube hingezogen, ausserhalb derselben werden sie nur schwach bewegt, und vor der Schraube bilde sich ein erweiterter Kegel, der die Luft von allen Seiten ansaugt" (l'Aéronaute, December 1876, „Sur la force des êtres volants"). Ob Pénaud auch die sogen. „elastischen" Luftschrauben anwandte, ist mir zwar wahrscheinlich, aber nicht mit Gewissheit erinnerlich; die erste positive Mittheilung über solche Schrauben für kleine Flugmodelle

Später behandelte Lippert das specielle Problem der „flachsten Bahn, für seine Parachute-Montgolfiere“ i. J. 1876; — sodann G. Schmidt alle obigen Aufgaben und noch dazu die Frage nach der grössten Tragkraft — ohne Pénaud's Arbeit zu kennen — in der Zeitschr. des Oesterr. Ingen.- u. Archit.-Vereins (J. 1877), wobei er aber noch $sin^2\ \alpha$ statt $sin\ \alpha$ in die Widerstandsformeln einführte, während Pénaud, wie alle Marinetechniker vermöge ihrer Erfahrungen an Segeln und Steuerrudern, $sin^1\ \alpha$ einsetzte; die „flachste Bahn“ benutzte auch Wellner bei der Theorie seines schief fahrenden Warmluftballons und ich selbst behandelte diese Probleme in allgemeinerer Weise in meiner im J. 1889 erschienenen „Flugtechnik“. Eine schöne Anwendung der Pénaud'schen Unterscheidung zwischen Schwebe- und Translationsarbeit machte Müllenhoff in seiner in dieser Zeitschr. 1885 erschienenen Abhandlung über die „Grösse der Flugarbeit“ bei seinen vergleichenden Studien über das Flugvermögen der Vögel.

Vor Pénaud wurde, meines Wissens, nicht Schwebe- und Translationsarbeit, sondern nur das Gewicht und der Stirnwiderstand, also zwei Drucke und nicht zwei Arbeiten, mit einander verglichen, und scheint Silberschlag dies in der (mir nicht bekannten) Abhandlung „Von dem Fluge der Vögel“ (1781) zuerst gethan zu haben[1]).

Bei der grossen Wichtigkeit, welche eine horizontale Translation für die Arbeitsökonomie beim Fluge besitzt, behandelt Loessl speciell den „Schrägen Flügelschlag“, durch den eben diese Translation hervorgebracht wird, und es wird in diesem Abschnitte rechnerisch näher auf die Art eingegangen, wie der Vogel seinen Flügel gebraucht, um gleichzeitig horizontal zu schweben und vorwärts zu kommen. Die Loessl'sche Berechnung, die ich durch beistehende Figur erläutere, ist folgende: „Beim schrägen Flügelschlage, d. h. jenem, bei welchem der schräg gestellte Flügel F mit der Geschwindigkeit $cb = v$, und zwar in der Figur vertical, niederschlägt, ist der Normalwiderstand $N = v^2 F \cos \alpha \frac{\gamma}{g}$ und dieser zerfällt in die beiden Componenten des .. Auftriebes $D = v^2 F \cos^2\alpha \frac{\gamma}{g}$ und des nach vorwärts

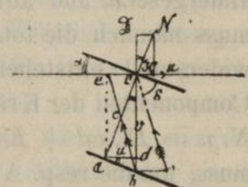

Fig. 5

---

fand ich im J. 1876 des l'Aéronaute, wo Serge Mikunin berichtet, dass man in Moskau solche elastische Schrauben benutzte, die aus umgebogenem spanischen Rohr mit überspannter Goldschlägerhaut bestehen. Pénaud, immer kränklich, starb in seinem 30. Lebensjahre.

1) Was das schöne Problem vom Minimum der Flugarbeit betrifft, so möchte ich mir erlauben, zu erwähnen, dass mir die erste, allerdings unbewusste, Andeutung desselben oder des darin liegenden Gedankens in der Einleitung zu Kant's „Kritik der reinen Vernunft“ begegnete; die betreffende Stelle lautet: „Die leichte Taube, indem sie in freiem Fluge die Luft theilt, deren Widerstand

wirkenden Widerstandes $K = v^2 F \sin \alpha \cos \alpha \frac{\gamma}{g}$. Die erstere Componente liefert nach wie vor die motorische Arbeit zum Auftrieb, welche Arbeit jetzt mit $A_D = v^3 F \cos^2 \alpha \frac{\gamma}{g}$ auszudrücken ist. Die Componente K aber liefert die Arbeit zur Vorwärtsbewegung und hierfür lautet der Ausdruck $A_K = v^3 F \sin \alpha \cos \alpha \frac{\gamma}{g}$.“ Diese Ausdrücke werden hierauf auf den speciellen Fall der Taube angewendet und dann gesagt: „Ist einmal die geringste Bewegung im horizontalen Sinne eingetreten, so wirken die Flügelschläge nicht mehr mit dem einfachen Flächenmaasse F, sondern mit der ideellen Fläche $F + vb$, worin b die Spannweite der Flügel bedeutet.“

Indem ich nun bezüglich der Formel $F + vb$ auf das früher Gesagte verweise, stelle ich der eben citirten Loesslschen Berechnung selbst folgende Bedenken entgegen:

Wenn die Arbeitsausdrücke A_D und A_K richtige sind, so muss natürlich jedenfalls deren Summe gleich der Totalarbeit $D \cdot v$ sein; wie man sieht, ist das nicht der Fall und dies hat seinen Grund darin, dass in diesen Arbeitsausdrücken die Kräfte nicht mit ihren zugehörigen Arbeitswegen multiplicirt erscheinen, sondern mit ganz anderen; so wurde A_D erhalten durch Multiplication von D mit dem Arbeitswege der totalen Arbeit, nämlich mit v, statt mit einem zugehörigen Theile von v; und A_K wurde erhalten, indem K mit v multiplicirt wurde, welches v gar nicht in der Richtung von K liegt, sondern normal darauf, also weder der Richtung noch der Grösse nach der Arbeitsweg von K ist[1]).

Wie nun solche Zerlegungen von Totalarbeiten in Einzelarbeiten vorzunehmen seien, habe ich auf S. 77 bis 79 meiner „Flugtechnik“ auseinandergesetzt und auf den speciellen Fall, der hier vorliegt, angewendet; es muss nämlich die totale aufgewendete Arbeit $D \cdot v$ durch die durch den Luftwiderstand entstehende, ihr gleiche $N \cdot n$ ersetzt und nun diese in ihre Componenten der Kräfte und Wege zerlegt werden; also $D \cdot v = N . ac = N . n = D \cdot cd + K \cdot ad$, wobei ad normal auf $cb = v$ gezogen werden muss, um die resp. Arbeitswege von D und K zu erhalten, gemäss dem Satze der Mechanik: das Product aus der Resultirenden in ihren Arbeitsweg ist gleich der Summe der Producte aus ihren Componenten in deren resp. Arbeitswege. Dann ergiebt sich $A_D = D \cdot cd = (N \cos \alpha)$

sie fühlt, könnte die Vorstellung fassen, dass es ihr im luftleeren Raume noch viel besser gelingen werde.“ Als ich diesen Passus las (in den Jahren 1863/4), schloss ich sofort, dass hier ein Minimum-Problem vorliege, ohne aber damals der Sache näher zu treten.

1) Wie mir der Autor mittheilt, blieb seine Ableitung nur aus Versehen in der für den Druck bestimmten Abschrift stehen, eine andere war schon viel früher vorbereitet.

$(v \cos^2 \alpha) = N v \cos^3 \alpha$ und $A_K = K . ad = (N \sin \alpha)(v \sin \alpha \cos \alpha) = N v \sin^2 \alpha \cos \alpha$, also $A_D + A_K = N . v \cos \alpha = N n = D . v =$ der Totalarbeit; und ausgerechnet, sind dann $A_D = v^3 F \cos^4 \alpha . \frac{\gamma}{g}$ und $A_K = v^3 F \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \frac{\gamma}{g}$ an Stelle der Loessl'schen Ausdrücke zu setzen.

Zum eindringenderen Verständniss sei noch bemerkt: Da $bd = v - cd = v - v \cos^2 \alpha = v \sin^2 \alpha$ und $K = D tg \alpha$ ist, so ist auch $K . ad = A_K = D tg \alpha . v \sin \alpha \cos \alpha = D v \sin^2 \alpha = D . bd$, d. h. man kann sich die totale Niederschlagsarbeit $D . v$ bestehend denken aus einem Theil $D . cd$, der die Schwebearbeit repräsentirt, und aus einem zweiten Theil $D . db$, welcher der Translationsarbeit gleich ist und sich, vermöge der Funktion der Flügels als Maschine, in die horizontal gerichtete Translationsarbeit transformirt.

Man könnte hier folgendes einwenden: Wenn der Körper durch eine verticale Führung gezwungen würde, nur lothrecht zu bleiben, d. h. nicht vorwärts gehen, also auch keine Translationsarbeit geleistet werden kann, so würde nach obiger Zerlegung eine Arbeit $D . bd = K . ad$ sich ergeben, die gar nicht realisirt wird?

Auf diese Frage eingehend, muss ich aber vorher eine zweite Einwendung gegen die Loessl'sche Rechnung anführen und diese betrifft die Grösse des Normalwiderstandes, in letzter Instanz die Art des Stosses gegen die Luft. Sobald nämlich der Vogel auch nur die geringste Vorwärtsbewegung erhält, ist die relative Geschwindigkeit der Luft gegen den Flügel weder der Richtung noch Grösse nach $cb = v$, sondern bei irgend einer gerade herrschenden, gewissen horizontalen Geschwindigkeit u gleich der Resultirenden aus v und $(-u)$, d. h. eb, welche Geschwindigkeit unter $\sphericalangle \delta$ gegen den Flügel geneigt ist. Und dieser Vorgang bleibt derselbe während des ganzen Dauerfluges, resp. wegen des Intermittirens, während des Flügelniederschlages, der Flügel arbeitet genau wie ein Propeller der Schiffe, indem er gleichzeitig mit dem ganzen Körper vorwärts geht. (Siehe „Flugtechnik" „Physikalische Analyse des Vogelfluges" S. 91 u. ff., wo ich diesen Gegenstand näher betrachtete). Setzen wir daher die wirkliche Luftbewegung gegen den Flügel $eb = c$, so ist statt des obigen N Loessl's, d. h. statt $v^2 F \cos \alpha \frac{\gamma}{g}$ zu rechnen: $c^2 F \sin \delta \frac{\gamma}{g}$ und die Componente K dieses N muss dann $= W =$ dem Stirnwiderstand in Folge der horizontalen Geschwindigkeit u sein, daher auch die Translationsarbeit $A_K = K . ad = (N \sin \alpha)(v \sin \alpha \cos \alpha) = c^2 v F \sin^2 \alpha \cos \alpha \sin \delta \frac{\gamma}{g} = W . u$.

Hierdurch sieht man nun, dass die oben gegebene Zerlegung und Ausrechnung von A_D und A_K in der That voraussetzt, dass der Flügel wie durch eine Führung gezwungen sei, in der Lothrechten zu verbleiben, also dass der Vogel gar keine Translation besitze; die Componente K übt nur einen Druck auf diese Führung aus, leistet aber keine Translationsarbeit, hingegen liegt deren Arbeitscomponente A_K total in der horizontal nach rückwärts (links) in der Richtung *da* geschleuderten Luft, ist also ganz nutzlos; die Arbeitscomponente A_D ist eine Schwebearbeit, genauer eine Hubarbeit, d. h. wenn v eine gewisse Grösse besitzt, so wird $D = G$, dem Vogelgewicht, wenn grösser, so ist $D > G$, der Rumpf würde also gehoben, wie dies bei jeder intermittirenden Arbeitsweise der Fall sein muss.

So wie der Vogel aber allmälig immer mehr horizontal bewegt gedacht, also die lothrecht zwingende „Führung" entfernt gedacht wird, wird A_K immer mehr ausgenutzt, wobei der Vorgang genau jener ist, wie bei der Schiffsschraube, welche bei festgeankertem Schiff das Wasser bloss aufwirbelt, und doch Arbeit consumirt, beim Fahren aber nützliche Arbeit leistet; allerdings sind diese beiden Arbeiten nicht identisch, wie sich aus obigem Ausdrucke für N ergibt, wo statt $v^2 cos\, \alpha$ (beim Stillstande) $c^2 sin\, \delta$ (für den Fall horizontaler Fahrt) einzusetzen ist und auch die Geschwindigkeit v, also auch $n = a\, c$ d. h. der Arbeitsweg des Flügels, anders gewählt wird.

Man kann fragen, ob es nicht Fälle giebt, wo die eine Arbeitscomponente $A_K = K \,.\, ad$ überhaupt und vollständig nicht vorhanden sei, also weder als nützliche noch als nutzlose physikalische Arbeit von aufgestörten Luftmassen, wo dann die totale aufgewendete Arbeit nützlich verwendet werden könnte?

Dies ist dann der Fall, wenn die Fläche sich reibungslos, in einem festen Medium, also in ihrer eigenen Ebene fortbewegt, z. B. längs einer keilförmigen Fläche, oder als Schraubenfläche in einer festen Mutter; dann gilt für die Arbeitsumsetzung einfach das Gesetz der schiefen Ebene, und es kommt z. B. bei der festen bewegten Schraube die Umfangsarbeit vollständig als Axendruckarbeit nützlich zum Vorschein.

Fassen wir das Bisherige zusammen, so ergiebt sich für das ganze hier behandelte Problem, folgendes aerodynamisch und flugtechnisch wichtige Resultat:

1) Eine Fläche bewege sich parallel zu sich selbst in einem unnachgiebigen Medium, dann kann sie nur in ihrer eigenen Ebene (oder allgemein: Fläche) sich fortschieben; wenn Reibung nicht vorhanden ist, findet eine vollständige Arbeitsumsetzung statt; die Grösse der Fläche ist auf die Grösse der Arbeit ohne Einfluss, weil das unnachgiebige Medium wie eine unendlich grosse Masse eines nachgiebigen anzusehen, also kein „Slip" vorhanden ist. Dieser Fall kann genannt werden: der Fall einer total geführten Fläche.

2) Fall der partiell geführten Fäche: hier bewegt sich eine Fläche längs einer Richtung, die mit ihrer Ebene einen Winkel bildet (allgemein: nicht in ihrer eigenen Fläche liegt), also in einem nachgiebigen Medium, und diese Richtung ist zugleich eine feste Führung, Die Fläche bewegt sich also stets parallel zu sich selbst, und muss zugleich die feste Linie mit stets

demselben Puncte durchdringen; diesen Vorgang repräsentirt Fig. 5, wo die Linie *cb* die Führung bedeutet, also: der Vogel „am Platze“ bleibt.

In diesem Falle kann die nützliche Arbeit nur eine solche sein, deren Arbeitsweg in die Richtung der Führung fällt, also $D.v$ setzt sich nur theilweise, nämlich in $D.cd$ um; der andere Theil, nämlich $D.db$ übt nur einen Druck normal auf die Führung aus und ist physikalisch in der nach hinten geworfenen Luft zu finden. Die Grösse der Fläche hat natürlich auf die Arbeitsgrösse einen Einfluss, weil mit ihren Wachstum der „Slip“ abnimmt[1]).

3) Fall der gänzlich freien Fläche; hier bewegt sich eine Fläche also in einem nachgiebigen Medium, und stets parallel zu sich selbst: dann wird die aufgewendete Arbeit nach jenen Richtungen nützlich, also mechanisch verwendet, die den Umständen nach einer nützlichen Umsetzung eben offen stehen; beim Fliegen also bezüglich des Stirnwiderstandes und der Druckwirkung gegen die Schwere, um den Körper zu halten oder zu heben. Die Grösse der Fläche ist wie im Fall 2) natürlich von Einfluss. Beim Vorwärtstreiben eines Wasser-Schiffs wird seitens der Propellerschraube jene Arbeitscomponente, die beim Luft-Schiff zum Schweben dient, nicht ausgenutzt, sondern sie verliert sich nutzlos in centrifugalen Wasserbewegungen.

Denkt man sich die Fig. 5 um 90^0 gedreht, so hat man den Fall des Fliegens, resp. Schwebens mittels Drachenfliegers vor sich; ist dann v die Geschwindigkeit in horizontaler Richtung, also der Körper im stets gleichen Niveau, so ist $D.v$ die totale aufzuwendende Arbeit und A_K repräsentirt dann die wirkliche Schwebearbeit, indem $K = G$, dem Gewicht, sein muss und $K.ad$ die in die Luft durch den Drachen hineingelegte Arbeit, bezogen auf die lothrechte Richtung (siehe „Flugtechnik“ S. 79); A_D ist die factische Translationsarbeit.

Diese beiden Arbeiten sind also mechanisch genommen, d. h. als Producte von Druck in ihren Weg genommen, von einander ganz unabhängig, d. h. es kann jede von beiden existiren, ohne dass die andere existirt; denn ein am Platz flatternder Vogel hat nur Schwebearbeit, ein längs eines Tisches fortfliegender Körper, dessen Flächen-Propeller nach hinten stösst oder der durch Reactions-Vorrichtungen fliegt, nur Translationsarbeit.

Physikalisch genommen, d. h. auf die gestossene Luft bezogen, bedeuten diese Theilarbeiten folgendes: Denkt man sich die Geschwindigkeiten jedes weggestossenen, resp. in Bewegung gesetzten, Lufttheilchens von der Masse m in zwei Componenten zerlegt, z. B. eine lothrechte v und eine horizontale u, so kann man die lebendige Kraft eines jeden $m\frac{c^2}{2}$ zusammen-

[1]) Falls die feste Führungslinie oder die Bewegungsrichtung überhaupt keine gerade, sondern eine beliebig gekrümmte und falls auch die Fläche nicht immer genau parallel zu sich selbst wäre, so gilt Alles hier Gesagte, also im Fall 2 und 3, ebenfalls, nur bezogen auf alle Elemente des Vorganges.

gesetzt denken aus $m\frac{v^2}{2}$ und $m\frac{u^2}{2}$, $\Sigma m\frac{v^2}{2}$ ist dann A_D, und $\Sigma m\frac{u^2}{2}$ ist A_K. Diese Arbeiten müssen jedenfalls geleistet werden und eben deshalb kann man von einer Schwebe-Arbeit auch beim horizontalen Fliegen sprechen, obwohl das Gewicht G gar nicht gehoben wird, also keine Arbeit gegen die Schwere geleistet wird, sie steckt in der Luft und hindert bloss das Fallen. Diese etwas weitläufige Auseinandersetzung schien mir nützlich, weil über diese Begriffe und Grössen, selbst noch in mehreren neuesten Werken der Flugtechnik meiner Ansicht nach fehlerhafte Darstellungen enthalten sind.

Eine mathematisch durchgeführte Darstellung dieses Problems, auf obiger Darlegung basirend, will ich in einem nächsten Aufsatze liefern.

Auch von dieser allgemeinen Darstellung wollen wir eine specielle Anwendung machen, und ich wähle hierzu den in den Proceedings of the International Conference on Aerial navigation held in Chicago (1894) enthaltenen Aufsatz von de Louvrié, betitelt: „The advantage of beating wings."

In diesem Aufsatz gelangt Louvrié auf etwas andere Weise zu einem analogen, aber noch extremeren Resultate, als Kress im oben citirten Artikel.

Der Gedankengang Louvrié's, den er schon im J. 1880 des l'Aéronaute in der Abhandlnng: „Suspension et propulsion des oiseaux vivants ou mécaniques; gratuité de la suspension" publicirte, ist der folgende: (Siehe Fig. 5).

„Wenn der schief gestellte Flügel mit der Geschwindigkeit v niederschlägt und u die Translationsgeschwindigkeit des Körpers ist, und wenn es keinen Rücklauf giebt, — und es wird auch keinen geben, so lange der Translations-Widerstand nicht grösser als der Propulsionsdruck ist — so wird $u = v tg\alpha$ sein. . . . um zu schweben, muss die Schwere äquilibrirt werden, also muss der Luftdruck $D =$ dem Körpergewichte sein, und es ist dann $K = D tg\alpha$, daher $\frac{u}{v} = \frac{D}{K}$ oder $K.u = D.v$... die ganze Prospulsionsarbeit $K.u$ ist daher während des Niederschlages als $D.v$ ausgeübt worden, es findet also bloss eine Transformation der Kräfte statt; da nun die zwei Effecte: Suspension und Propulsion gleichzeitig hervorgebracht werden durch dasselbe Organ und in derselben Bewegung, so muss Einer von beiden gratis sein. Die Suspension ist also während des Niederschlages des Flügels geschenkt und die Propulsionsarbeit accumulirt sich gänzlich als lebendige Kraft der Masse; nach dem Niederschlag bringt diese lebendige Kraft fast gleichzeitig Propulsion, Suspension und Aufstieg des Flügels hervor, und endlich sehen wir ein, dass es möglich wird, fast die ganze Arbeit dieser Kraft aufzusammeln; sie ist wohl beim Vogel verloren, kann aber bei Flugmaschinen verwendet werden, so dass bei einem mechanischen Vogel die ganze nöthige Flugarbeit sich auf die Überwindung des Rumpfwiderstandes reduciren würde." (L'Aéron. 1880 S. 168) „Wenn nämlich der Widerstand beim Aufschlag des Muskels, welcher den Niederschlag hervorbringt, aufgenommen wird von einer Feder, die auf diese Art gespannt würde, so gäbe sie die Arbeit $D v$ zurück bei dem nächsten Niederschlage." (Proceedings S. 269).

Es ist mir Manches in dieser Deduction nicht ganz klar, z. B. wieso oder in welchem Masse „Suspension und Aufstieg (Hebung) des Flügels gleichzeitig stattfinden; von Details abgesehen, wird man aber nach meinen obigen Auseinandersetzungen leicht finden, in wie ferne die ganze Grundanschauung und Rechnung Louvrié's fehlerhaft ist.

Vor allem ist die Grundgleichung $K \cdot u = D \cdot v$ nicht zulässig, denn sie würde nur gelten, wenn $\delta = 0$ wäre[1]), wenn der Flügel gar keinen Luftdruck erleidet, dann ist aber weder Suspension noch Propulsion, also überhaupt kein Flugprocess vorhanden, da ja der Flügel nur in seiner eigenen Ebene vorwärts geht; hieraus folgt dann sofort, dass eine solche vollständige Transformation von $D \cdot v$ in $K \cdot u$ nicht statt findet, und in der That fanden wir oben, dass nicht die totale Niederschlagsarbeit, sondern nur ein Theil derselben, nämlich $D \cdot db$ in $K \cdot ad$ umgewandelt wird, und damit sind wir, durch Analyse des Fehlers von Louvrié nur noch klarer darüber geworden, dass und wie man Suspensions- und Translationarbeit als separate Arbeitsgrössen aufzufassen hat.

Die bisherige Einwendung gegen Louvrié hat Geltung, ohne dass wir noch über das Regime des Propellers irgend eine Voraussetzung machen mussten; es handelte sich um eine einfache Arbeitszerlegung und das gewonnene, richtige Resultat gilt, ob nun das Niederschlagen der Propellerfläche continuirlich (wie z. B. bei einer Art Oldhamrad) oder intermittirend wie beim Flügel stattfindet; um so mehr vergrössert sich der Fehler Louvrié's in seiner Behauptung eines Vortheils der Flügel gegenüber continuirlicher Arbeit, wenn wir sein Problem noch näher verfolgen und die weiter oben festgestellte Ungünstigkeit der Ökonomie jedweder Intermittenz mit berücksichtigen.

Denn, wie bekannt, muss die Secundenarbeit während des Flügelniederschlages bei Intermittenz des Propeller-Betriebes grösser sein, weil eine Concentration der Arbeit in eine kleinere Zeit nöthig ist, resp. ein grösserer Druck D als das Gewicht des Flugkörpers ausgeübt werden muss, während Louvrié D gleich diesem Gewichte voraussetzt.

Wenn daher schon beim continuirlichen Propeller, ganz abgesehen vom Rumpfwiderstande, eine eigene Schwebearbeit zu leisten ist, so ist dieses beim Flügelpropeller in noch höherem Maasse der Fall, es kann also nicht entfernt davon die Rede sein, dass, wie Louvrié behauptet, beim Flügelapparat einer Flugmaschine bloss den Rumpfwiderstand zu überwinden nöthig sei, man mag nun Federn und dergl. so viel man will in Anwendung bringen[2]).

---

[1]) In den „Proceedings" auf S. 272 macht Kinball dieselbe Einwendung wie ich hier.

[2]) Denselben Fehler wie Louvrié, nämlich in der Behauptung einer vollständigen Transformation der Flügelniederschlags-Arbeit in Translationsarbeit, was einer Negirung jeder separaten Schwebearbeit gleichkommt, beging der verstorbene Wiener Flugtechnischer Lippert, und ich widmete viele Mühe dem Bestreben zu, die Un-

Ein sehr interessantes Thema wird von Lössl auf S. 233 seines Buches behandelt: „Die Muskelstärke der Vögel“.

Der Autor führt zuerst den Satz an, dass die Arbeitsbefähigung jedes animalischen Organismus von dem Querschnitte seiner in Anspruch genommenen Muskel abhänge: dann, dass der 75 kg schwere Mensch das normale Arbeitsvermögen von 12 secmkg besitze und: denke man sich nun „den menschlichen Körper nach dem linearen Massstabe um das 6,3 fache verkleinert, so erhält man fast genau das Gewicht der Taube, nämlich 0,3 kg und hierbei erscheint das Arbeitsvermögen um das $(6,3)^2$ fache verkleinert, es ergiebt sich daher 0,3 secmkg als Arbeitsvermögen der Taube, was sich mit den sonst errechneten Zahlen ziemlich gut decken würde.“

Diese Rechnungsweise, obwohl sie zufällig ein plausibles Resultat liefert, kann jedoch nicht acceptirt werden. Denn das Arbeitsvermögen der Muskeln hängt nicht nur von ihrem Querschnitt, sondern ebenso von ihrer Contractionsgrösse, also im Ganzen von ihrem Volum und, was zu sagen erlaubt ist, von ihrem Gewicht ab; bei den grossen Unterschieden in der Form, also der nicht geometrischen Ähnlichkeit der Muskeln ist daher die Berechnung nach dem blossen Querschnitt nicht zutreffend, und noch weniger ist die Voraussetzung zulässig, dass nicht nur alle Muskeln eines und desselben Körpers, sondern aller Thiere (Menschen und Vögel) geometrisch ähnlich sind, wie dies obiger Rechnung Lössl's zu Grunde liegt. Bei den Vögeln ist ein ganz anderes Verhältnis zwischen dem Gewicht der Brust-

---

richtigkeit dieser Ansicht nachzuweisen; bei der Neuheit und Schwierigkeit des Gegenstandes nahm meine Analyse in meiner im Jahre 1889 publicirten „Flugtechnik“ und vorher im Jahrgang 1888 dieser Zeitschrift einen sehr grossen Raum ein; es handelte sich mir eben darum, solche principielle Fehler im Interesse der Flugtechnik sowohl als in jenem der reinen Wissenschaft vermeiden zu helfen. Mit grosser Antipathie und auch Geringschätzung wurde meine Bemühung als „nur“ wissenschaftlich interessant und flugtechnisch gänzlich an und für sich werthlos, mindestens als trockene Subtilität, aufgefasst und heute — werden noch immer dieselben Fehler gemacht und Flugmaschinenprojecte darnach concipirt; — Aufklärungen principieller Natur werden daher von den Flugtechnikern, wie die Erfahrung zeigt, sehr spät oder gar nicht berücksichtigt.

Man darf aber ja nicht glauben, dass sich diese Antipathie der Flugtechniker — von Ausnahmen abgesehen — auf die Theorie überhaupt und als solche erstreckt, sie thut dies nur bezüglich der retardirenden Theorieen; denn wenn eine vielversprechende theoretische Formel auftaucht, so wird nicht erst viel nach der Bestätigung durch die „allein maassgebende“ Erfahrung gefragt und eine Kritik der betreffenden Ermunterungs-Formel nicht erst lange abgewartet, sondern selbst die empirischesten Empiriker acceptiren sie unbedenklich und sofort, wie wir das oben gelegentlich der Formel von Lössl über die Sinkverminderung zu bemerken Gelegenheit hatten. Man wird hierbei an das Verfahren kleiner Leute in China erinnert; bevor sie etwas unternehmen, gehn sie von Wahrsager zu Wahrsager und zwar so lange, bis sich Einer findet, der ihnen etwas Angenehmes prophezeit, das Wahrsagen als solches missachten sie durchaus nicht, sondern nur das unangenehme Wahrsagen.

muskeln und ihrem Totalgewichte als beim Menschen und überdies ist andererseits die Leistungsfähigkeit des Menschen eine andere, je nachdem er Brust- oder Fussmukeln in Action bringt, so dass wir ohne ein näheres Eingehen in diese Verhältnisse ganz im Unbestimmten bleiben.

Die Untersuchungen über die Verhältnisse der Muskelgrössen und Arbeitsfähigkeiten der Thiere und Menschen begannen namentlich mit einer im J. 1869 publicirten Abhandlung des Physiologen Harting, später (1880) befassten sich Legal und Reichel mit diesem Thema und im J. 1885 Müllenhoff.

Eine Angabe über die wirkliche Arbeitsgrösse der Vögel wurde nicht gegeben, bis ich im J. 1879 in — jedoch nicht gedruckten — Vorträgen über Luftschiffahrt im österr. Ingen.- u. Archit.-Verein, meines Wissens zum ersten Male, diese Aufgaben dadurch löste, dass ich mich einerseits von den Auffassungsverschiedenheiten der Physiologen in diesem Gebiete und von den sehr wechselnden Zahlenangaben unabhängig machte und eine directe, sozusagen technische, Rechnung vornahm. Ich nahm das Gewicht der arbeitenden Muskeln beim Menschen und bei den Vögeln als direct bestimmt an, die mittleren Secundenarbeiten dieser Muskeln, aus Messungen der Techniker und Physiologen, ebenfalls als erkannt und da ergab dann eine einfache Regeldetri das Gesuchte sofort, allerdings unter der Voraussetzung der Proportionalität des Arbeitsvermögens und Gewichtes zwischen allen den verglichenen Muskeln.

Der Gang der Rechnung war daher schon damals in der Hauptsache ein vergleichender, und principiell ganz derselbe wie bei Loessl, jedoch mit voller Berücksichtigung der sämmtlichen hier massgebenden Umstände[1]).

Diese meine Berechnung ist, soweit ich die Literatur kenne, noch heute als eine neue, bezw. unbekannte, zu betrachten, denn ich finde nirgendwo derartige Zahlenangaben angeführt, und ich will sie daher nebst der bisherigen Literatur dieses Gegenstandes in einem nächsten Aufsatze mittheilen.

---

[1]) Die Lössl'sche Rechnung sollte, wie der Autor mittheit, nur eine ganz beiläufige praktische Vergleichung vor Augen führen.