

1504 b

(82)

Der Vogelflügel mußte dann annähernd die Form annehmen, die er beim Niederschlag annimmt.

Während der unbeanspruchte Flügel eine Wölbung hat, die oft eine Pfeilhöhe von $1/6$ der Flügelbreite besitzt, so biegen sich die Federn durch die angegebene Belastung soviel grader, daß eine Wölbungshöhe von nur $1/12$ der Flügelbreite übrig bleibt.

Die Vogelflügel sind nun nicht nach dem Kreisbogen gewölbt, sondern nach einer parabolischen Linie, deren stärkere Krümmung nach der Vorderkante zuliegt. Bei der Flachheit des Bogens ist die Abweichung von der Kreislinie aber unwesentlich.

Wie auch die dargestellten Diagramme angeben,

(83)

zeigten sich durch die zuletzt genannten Versuche folgende bemerkenswerte Resultate:

- 1) Die absolute Größe des Luftwiderstandes stellt sich bei den unter schräger Neigung bewegten gewölbten Flächen bedeutend höher, als wie bei ebenen Flächen.
- 2) Die Richtung des Luftwiderstandes ist nicht so weit nach rückwärts(gewandt,)gewendet, wie bei den ebenen Flächen, falls man die Verbindungslinie der Vorder - und Hinterkanten der gewölbten Fläche für die Richtung in Betracht zieht.
- 3) Diese Luftwiderstandsrichtung ist bei gewissen Winkeln sogar nach vorn geneigt in Bezug auf die Normale der Flächen.

- 4) Eine horizontal gerichtete gewölbte Fläche erfährt durch horizontalen Wind bereits einen starken Aufwind, Auftrieb.
- 5) Auch wenn die Vorderkante der gewölbten Fläche tiefer liegt als die Hinterkante, so übt ein horizontal wehender Wind noch eine hebende Wirkung auf die Fläche aus. Erst wenn die Vorderkante um den achten Teil der Flügelbreite unter der Hinterkante liegt, hört die hebende Kraft des Windes auf.

Zur Kontrolle dieser vor 15 Jahren gefundenen Resultate veranstaltete ich auf meinem Grundstück in Lichterfelde Meßversuche, bei denen nicht der Wind auf ruhende Flächen einwirken sollte, sondern, wo Flächen mit gewisser Geschwindigkeit durch ruhende Luft bewegt wurden.

Die Versuche im Winde haben vieles Mißliche, denn der Wind wechselt seine Stärke in fast jeder Sekunde, und nur vereinzelt erhascht man die Momente, in denen mit Sicherheit eine brauchbare Messung ausgeführt werden kann.

Die vor Westwinden geschützte Lage meines Grundstückes gestattete, namentlich wenn der Wind wie gewöhnlich bei Sonnenuntergang sich legt oder überhaupt ziemliche Windstille herrschte, die Anwendung eines Rotationsapparates von größeren Dimensionen, und so wurden denn von mir in Gemeinschaft mit meinem Bruder, wiederum im Zusammenhang, eine größere Reihe von Messungen angestellt.

Die Versuchsflächen rotierten an 2 gegenüberliegenden Armen und beschrieben mit ihren Schwerpunkten einen Kreis von 7 m Durchmesser, der $4\frac{1}{2}$ m über dem Erdboden schwebte.

Bäume und Gebäude waren von dieser Kreisbahn genügend weit entfernt, ebenso wie der unterhalb befindliche Rasenplatz, um keine Störungen hervorzurufen.

Während bei den früheren Versuchen die Flächen ca $\frac{1}{4}$ m² Größe hatten, kamen hier Flächen von je $\frac{1}{2}$ m², also zusammen von 1 m² zur Wirkung.

Durch die Gewichte an der Triebrolle ließ sich wiederum die horizontale Komponente

und durch den Achsendruck die vertikale Komponente bestimmen.

Mit diesem Apparat konnte natürlich nur gemessen werden, wenn die umgebende Luft vollkommen in Ruhe war, weshalb meist die Abendstunden und Nachtstunden verwendet werden mußten.

Was sich durch diese Versuche nun ergab, zeigte alle die bereits erwähnten charakteristischen Merkmale der analogen früheren Versuche im Winde, doch in Betreff der Zahlenwerte stellte sich ein Unterschied heraus, der im Sinne der gesuchten Werte ungünstig war. Die vorhandenen Diagramme geben Aufschluß über diese Differenzen.

Schon bei Beginn dieser letzten Versuche konnten wir uns nicht verhehlen, daß

einerseits trotz der gewählten großen Kreisbahn eine Abweichung gegen die geradlinige Windbahn sein müsse, andererseits jedoch war anzunehmen, daß die rotierenden Flächen schon bei Beginn der Bewegung die Ruhe in der Luft derartig stören, daß schon nach einem halben Umgang jede der beiden Flächen keine ruhende Luft mehr vorfindet. Wenn auch der Umfang dieser Kreisbahn 22 m betrug, so wird doch namentlich bei der Größe der angewendeten Flächen und Geschwindigkeit bis 12 m , der Einfluß dieser Störungen nicht unerheblich sein. Als Maßstab hierfür diente uns der Wind, den man namentlich in der Nähe der Kreisbahn verspürte. Diese, nicht zu vermeidende Fehlerquelle, macht jedoch diese Versuche nicht wertlos,

es ließ sich immerhin mit Hilfe dieser Versuche eine Bestätigung der früher gefundenen allgemeinen Resultate herbeiführen.

Um nun trotzdem eine Kontrolle der mit Hilfe des Windes gefundenen Luftdrucke auf gewölbte Flächen zu erhalten, stellten wir nochmals einen größeren Apparat her, bei welchem größere Flächen dem Wind ausgesetzt zur Messung dienten, und zwar nahmen wir dieselben Flächen wie an dem zuletzt beschriebenen großen Rotationsapparat.

Das Ergebnis dieser Versuche war wieder in Übereinstimmung mit den schon im Jahre 1874 im Winde angestellten Messungen.

Vergleicht man nun die Diagramme, welche den Winddruck angeben mit denen, welche den Druck auf eine durch ruhende Luft bewegte Fläche darstellen, so finden sich folgende Merkmale:

Mit Ausnahme des Winddruckes normal gegen die Fläche, sind die Luftwiderstände im Wind größer wie auf eine in ruhender Luft mit gleicher Geschwindigkeit und unter gleicher Neigung bewegte Fläche.

Ferner sind die Richtungen der Luftdrucke im Wind mehr der Normalen genähert.

Letzteres gilt namentlich für kleine Winkel.

Besonders auffallend ist, daß für den Winkel Null der Winddruck senkrecht zur Fläche steht und bereits halb so groß ist wie für den Winkel von 90° .

Theoretisch ist es nicht recht denkbar, daß der Wind auf eine Fläche eine andre Wirkung hervorbringen kann, als wenn die Fläche mit derselben Geschwindigkeit unter denselben Neigungen durch ruhende Luft bewegt wird. Andererseits kann man aber auch nicht annehmen, daß der von uns zuletzt benutzte große Rotationsapparat so unvollkommen wirkte und so große Fehlerquellen haben konnte, welche die gefundenen Unterschiede in den Versuchsergebnissen erklärten.

Es blieb nur die Annahme übrig, daß bei den Versuchen im Winde, der Wind eben keine horizontale Richtung habe, obwohl wir bei diesen Versuchen stets bestrebt waren,

möglichst ebene und horizontale, sowie ganz freie Versuchsfelder auszuwählen, und wenn der Wind überhaupt irgendwo horizontal weht, so hätten es auf den von uns gewählten und ²weiten ⁴baumlosen Ebenen der Fall sein müssen.

Die Gewißheit hierüber verschafften wir uns durch folgendes Experiment:

Es ist bereits erwähnt, daß eine gewölbte Fläche am ausbalancierten Hebel so befestigt, daß die Verbindungslinien der Vorder - und Hinterkante der Fläche in der Hebelrichtung liegt, sich frei überlassen, durch den Wind aus der Horizontalen herausgehoben und der Hebel mit der Fläche in eine geneigte Lage gebracht wird.

Nun lag der Gedanke nahe,

die Fläche einmal umzukehren, mit der ~~Höhlung~~ nach oben und zu sehen, in welche Richtung sie sich dann einstellt. Hier zeigte sich nun das überraschende Resultat, daß die Fläche, welche vorher um ca 12° gehoben wurde, mit der Wölbung nach oben sich nur etwa 4° unter den Horizont stellte.

Hiernach mußte nun eine ebene Fläche eine Mittellage einnehmen, und dies war, wie durch den Versuch wiederholt bestätigt der Fall, indem die ebene Fläche sich ca 4° über den Horizont stellte, und ihre dem Wind zugekehrte Kante tiefer lag als die Hinterkante.

Um keiner Täuschung ausgesetzt zu sein, wurde dieser Versuch an verschiedenen Terrainstellen gemacht,

und zwar bei verschiedenen Windstärken, bei verschiedenen Windrichtungen, bei verschiedenen Tageszeiten und auch bei verschiedenen Terrainneigungen.

Es zeigte sich, daß jederzeit die gleichsam eine horizontale Windfahne darstellende Vorrichtung sich so einstellte, als ob der Wind unter $3 - 4^\circ$ geneigt von unten käme und zwar seltsamer Weise auch bei einem Terrain, welches mit der Windrichtung gegen den Horizont erheblich abfiel; sogar bei einer Neigung von 1:10 .

Wenn auch überall diese, vom Wind angedeutete Richtung, nicht konstant blieb und um mehrere Grade schwankte,

so konnte man doch deutlich diejenige Richtung erkennen, welche vorwiegend vom Winde vorgeschrieben wurde und als mittlere Richtung gelten konnte.

Daß diese Eigenschaft des Windes davon herrührt, daß die Geschwindigkeit des Windes nach der Höhe stark zunimmt, unterliegt wohl keinem Zweifel, ob man aber berechtigt ist, sich so hierüber auszudrücken, als hätte der Wind d.h. die Luftmoneküle/Luftmoleküle (?) immer eine aufsteigende Richtung, erscheint mir gewagt, indem man dann die Frage aufwerfen könnte, wo die Luft in den unteren Schichten bleiben soll, wenn sie überall in ihrer Quantität eine aufsteigende Richtung hat.

Für uns genügt es vorläufig, die Tatsache hinzunehmen wie sie ist, und zur Erklärung desjenigen Problems zu verwenden, um dessen Lösung es sich handelt.

Zunächst leuchtet es ein, daß die gefundenen Windeigentümlichkeiten, die ausreichende Erklärung dafür abgibt, daß die Winddrucke mit Bezug auf die Neigungen der Flächen gegen den Horizont, namentlich für kleine Winkel, so bedeutend größer gefunden wurden, als bei Bewegung gleicher Flächen durch ruhende Luft.

Vergleiche lassen sich mithin nur anstellen, wenn man im Winde nicht die Neigung gegen den Horizont mißt,

sondern gegen die scheinbare Windrichtung, die allemal um $3 - 4^\circ$ größer ist als die Neigung gegen den Horizont.

Das sich hieraus nun ergebende Diagramm gestattet einen Schluß darauf zu ziehen, wie sich die Luftwiderstände stellen werden, wenn eine gewölbte Fläche geradlinig durch ruhende Luft bewegt wird und zu vergleichen, welche Fehler durch Messungen am Rotationsapparat entstanden sind.

Das letzt erwähnte Diagramm gestattet nun, auch von Neuem, die wirkliche Kraftersparnis beim Vorwärtsfliegen mit gewölbten Flügeln zu ermitteln und der aufzuwendenden Arbeit ohne Vorwärtsfliegen gegenüberzustellen.