

Volckmann's Bibliothek

Band 15



für Flugwesen

**VOM GLEITFLUG
ZUM SEGELFLUG**

**VON
GUSTAV LILIENTHAL**



E

926

**Berlin-Charlottenburg 2
C. J. E. Volckmann Nachf. G. m. b. H.
1923**

Archiwum



BIBLIOTEKA GŁÓWNA
POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Werke über Luftfahrt und Flugwesen:

Volekmanns Bibliothek für Flugwesen:

- Bd. I: **Die Fliegerschule.** Von den Fluglehrern *Albert Bupp* und *Willy Rosenstein* 2. Aufl.
- Bd. II: **Der Flugmotor und seine Bestandteile.** Von *C. Walther Vogelsang* 3. Aufl.
- Bd. III: **Der Eindecker und sein Bau.** Von *C. Walther Vogelsang.* Mit 46 Abbildungen u. 4 Konstruktionsstafeln.
- Bd. IV: **Der Flieger und sein Flugzeug.** Von *E. Sohn*, Generalsekretär des Bundes Deutscher Flugzeugführer. Mit 81 Abb.
- Bd. V: **Vergaser und Zündapparate für Flugmotoren.** Von *C. Walther Vogelsang.* 2. Aufl. Mit 75 Abbildungen.
- Bd. VI: **Störungen bei Flugmotoren, ihre Ursache und Abhilfe.** Von *Karl O. M. Koch.* Mit 47 Abb. 2. Aufl.
- Bd. VII: **Festigkeitslehre und Materialkunde für das Flugwesen.** Von *Hans Pietzsch*, Ingenieur. (Zwei Teile.) **Teil I** mit 126 Abbildungen, 4 Tafeln und 5 Tabellen.
- Bd. VIII: **Festigkeitslehre und Materialkunde für das Flugwesen.** Von *Hans Pietzsch*, Ingenieur. (Zwei Teile.) **Teil II** mit zahlreichen Abbildungen (noch nicht erschienen).
- Bd. IX: **Die Stabilisierung der Flugzeuge.** Von *C. Walther Vogelsang* Mit 70 Abbildungen.
- Bd. X: **Der Flugzeugführer.** Instruktionsbuch für Militär- und Sportflieger. Mit 14 Abbildungen von *Fritz Keller*, Ingenieur und Flugzeugführer.
- Bd. XI: **Motorenkunde für Flugzeugführer, Beobachter und Werkmeister.** Von *Otto Schwager*, Dipl.-Ing. (Zwei Teile.) **Teil I** mit 55 Abbildungen.
- Bd. XII: **Motorenkunde für Flugzeugführer, Beobachter und Werkmeister.** Von *Otto Schwager*, Dipl.-Ing. (Zwei Teile.) **Teil II** mit 80 Abbildungen.
- Bd. XIII: **Flugzeugkompasswesen und Flugsteuerkunde.** Von *W. Immler*, Oberlehrer an der Seefahrtsschule Elsfleth. Mit 45 Abbildungen und 10 Tabellen.
- Bd. XIV: **Behandlung, Inbetriebnahme und Reparatur von Flugzeugen.** Von *A. Büttner.* Mit 77 Abbildungen.
- Bd. XV: **Vom Gleitflug zum Segelflug.** Von *Gustav Lilienthal*, Berlin-Lichterfelde. Mit 36 Abbildungen, 2 Tabellen und 1 Tafel.

Grundpreis je Mk. 2,50

mal der jeweiligen vom Buchhändler-Börsenverein festgesetzten Schlüsselzahl.

Volckmanns Bibliothek für Flugwesen Bd. XV

Vom Gleitflug zum Segelflug

Flugstudien auf Grund zahlreicher
Versuche und Messungen

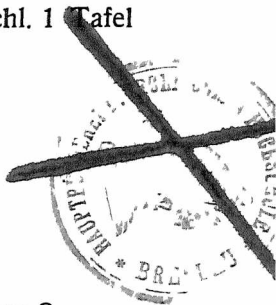
von

Gustav Lilienthal

Berlin-Lichterfelde



Mit 36 Abbildungen einschl. 1 Tafel

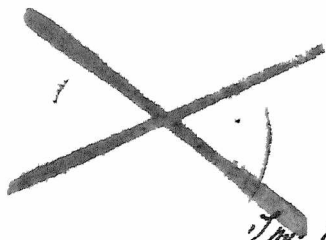


Berlin-Charlottenburg 2

C. J. E. Volckmann Nachf. G. m. b. H.

1923

105.111

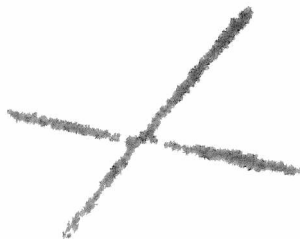


J. H. 18928.

Der langjährigen erfolgreichen Vorsteherin des
Verbandes der Vogelschutzvereine

Frau Kommerzienrat Hähnle

hochachtungsvoll gewidmet.



Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	9
Das Endziel der Flugforschung	14
Der erste Gleitflug	16
Die ersten Luftwiderstandsmessungen	18
Die gewölbten Flügel	18
Die biologische Entwicklung des Fluges	19
Der Gleitflug, die einfachste Flugart der Tiere	20
Der Urvogel	21
Der Vortrieb der Schwungfedern	24
Fliegende Fische	27
Der aktive Flug der Flugsaurier und Käfer	30
Die Grenze des Flugvermögens	32
Der Ruderflug der Flugechsen	34
Die Entwicklung zum Vogel	36
Die Umbildung des Schwanzes	37
Der Daumen	39
Die Entwicklung der Segler	40
Ausdauer und Ermüdung der Vögel	42
Segler und Nichtsegler	44
Unvollkommenheit des Maschinenfluges	45

	Seite
Der neue Anfang zur Weiterentwicklung des Menschenfluges	48
Die Rhönflüge	48
Unzulänglichkeit der Bergabhänge	50
Der weite Gleitflug	51
Hardt's Kreisen am Abhang	51
Die Rhönsieger	52
Die Ursache der Rhönerfolge	55
Das tropfenförmig verdickte Profil	55
Der Hangwind	55
Die große Tragwirkung der dicken Fläche	57
Die Kraftquelle für den Segelflug	58
Die Messung des Auftriebs	59
Das Suchen nach einer Verstärkung des Windauftriebs	60
Auftriebsmessung mit dünnen und dicken Flächen	62
Das Diagramm des Auftriebs	64
Auftriebsdiagramm des Seewindes	66
Die Flügelform der Segler	70
Nichtbeachtung der Messungen durch die Flugzeug-Industrie	78
Wettflüge in England	80
Die Normaldruckmessung	81
Die Arbeitsberechnung des Windauftriebs	88
Überschuß der Tragwirkung des Windes	92
Berechnung der Windarbeit bei den Rhönflügen	94
Der Segelflug der Vögel	96
Der Flug der Fregattvögel	97
Stromlinien-Untersuchung unter vogelartigem Profil	98
Die Entdeckung des Widderhornwirbels	99

	Seite
Messung des Wirbeldruckes	101
Die seitliche Strömung	102
Das Vogelmodell	102
Verstärkung der Wirbelbildung bei negativem Anstellwinkel	103
Die Beseitigung des Rückwärtsdruckes	105
Der Vortrieb der Flügelmitte	105
Aufräuhung der Flügelunterseite	106
Versuche in Deutschland, Versuchsstation in Sahlenburg	112
Versuche mit Vogelmodell in freiem Wind	113
Die Station Altwarp	114
Versuche mit verschiedenen Profilformen	115
Messung des Auftriebs am Vogelmodell	116
Bestimmung des Druckzentrums	117
Auftriebmessungen an Flächen	117
Veränderlichkeit des Vogelflügelprofils	118
Schwierigkeit der Vortriebmessung	120
Das seitliche Gleichgewicht	122
Fortsetzung der Versuche in Altwarp	124
Meßapparat zur Feststellung der resultierenden Druckrichtung	125
Die Richtung der Resultierenden	129
Der nachgewiesene Vorwärtzug	130
Großes Vogelmodell mit starkem Auftrieb	131
Das Segel, die doppelte Höhlung der Breitflügler	133
Behinderung der Versuchsarbeiten	136
Vergleich des Auftriebs zum Normaldruck am großen Modell	136
Anderweitige Bestätigung der Wirbelbildung	137
Beendigung der Versuche	141

	Seite
Künstliche Flächen als Ersatz der Vogelflügel	141
Nutzen der Segelfähigkeit	142
Segelflug mit Hilfsmotor	143
Schraube oder Flügelschlag	143
Vorteil des Flügelschlags	143
Vergleich der Größe und Richtung des Luftwiderstandes auf wagerecht gelagerte Flächen	144
Die Aussichten für den Schlagflügelapparat . . .	149
Schlußwort	152



Vorwort.

Man könnte die Flugtechnik eine Kunst nennen; beansprucht sie doch zu ihrer Höchstleistung den ganzen Menschen. Begeisterung zur Sache mit gründlichen Kenntnissen und Geschicklichkeit muß mit künstlerischem Schwung Hand in Hand gehen. An begeistertem Gefolge hat es der Flugtechnik nicht gefehlt, aber diese Anhänger glichen allzuoft jenen Dilettanten, die vom Anhören guter Musik oder Betrachtung eines malerischen oder plastischen Kunstwerks begeistert, es versuchen, sich in dieser Kunst zu betätigen im Glauben, von vornherein etwasersprießliches darin leisten zu können. So ist auch die Erreichung des Segelflugs, dieser vollendetsten mechanischen Leistung der Natur, nicht durch blindes Herumprobieren möglich, sondern nur durch ein systematisches Studium der in Betracht

kommenden Kräftewirkungen und der Umstände, welche diese Kräfte auslösen.

Früher glaubte man an eine ganz besondere, nicht erklärbare Fähigkeit der Vögel, auf die Luft durch ihre Flügelschläge einzuwirken, oder man schrieb dem Federkleid eine eigenartige Wirkung zu, die unnachahmlich sei. Später glaubten viele, der kreisende Segelflug erzeuge eine ganz besondere Tragwirkung, wobei man übersah, daß die Seevögel tagelang gradlinig segelnd dem Schiff folgen.

Es zeugt von großer Oberflächlichkeit, wenn durch die in Schleifen und Kreisen ausgeführten erfolgreichen Rhönflüge angenommen wird, diese Bewegung in Kurven sei die Ursache des Erfolges. Es ist doch nur das Verbleiben der Flieger in der Zone des aufsteigenden Hangwindes, wodurch man sich in guter Höhe halten konnte, während man diese über dem flach auslaufenden Gelände nicht inne zu halten imstande war.

Neuerdings wird auch die Zittertheorie wieder hervorgeholt, über die sich schon kein Geringerer als Charles Darwin ablehnend ausgesprochen hat, indem er hervorhob, daß sich die Konturen der

Flügel und Federn ganz scharf bei den segelnden Kondoren erkennen lassen, während bei einer zitternden Bewegung diese verwischt erscheinen müßten.

Am meisten verbreitet ist jetzt die von dem amerikanischen Professor Langley ausgesprochene Ansicht, die Turbulenz, d. i. die unruhige Strömung, des Windes sei die Ursache der Segelfähigkeit.

Betz und Karmán sowie der Engländer Lan- chester errechnen einen geringen Überschuß an Trägwirkung aus der Geschwindigkeitsänderung des Windes oder der Neigungsschwankung über das zu hebende Gewicht, wenn der Vogel der Windrichtung entgegenfliegt. Bei einem Flug seitlich zum Wind oder in der Windrichtung läßt sie ihre Rechnung im Stich. Scheinbar ist den Herren nicht bekannt, daß der Vogel andauernd nach jeder Richtung zum Wind segeln kann.

Die Turbulenztheorie wird aber auch schon durch die Tatsache widerlegt, daß die Vögel in stark turbulenter Luft nicht segeln, sondern erst in größerer Höhe über unebenem Gelände den Ruderflug einstellen um zu segeln. Auffallend konnte ich dies bemerken an den in Rio zahlreichen kleinen

Geiern, wenn sie bei starkem Wind in geringer Höhe über der Stadt flogen.

Ganz abgesehen von der mehr oder minderen Stichhaltigkeit all dieser Theorien nimmt keine derselben den geringsten Bezug auf die Flügelform, ja ein Vertreter der Kreisbahntheorie hält die Lilienthalsche Entdeckung der Eigenschaften der gewölbten Fläche, durch die das Fliegen unserer Flugzeuge überhaupt erst möglich wurde, für ein Hemmnis in der Entwicklung der Flugtechnik.

Kein Vertreter der angeführten Theorien hielt es für der Mühe wert, seine Erklärung durch ausgeführte Experimente oder praktische Messungen zu erhärten.

Auf dem Papier lassen sich manche Kalküle entwickeln, besonders wenn man dann mancherlei „der Einfachheit wegen“ vernachlässigt. Hierzu gehören meistens zwei ganz wichtige Faktoren, wie die Struktur der Oberfläche der Flügel und die Berücksichtigung der aufsteigenden Richtung des Windes.

In meinen Ausführungen wird der Leser immer als Ausgangspunkt für meine Erklärung das Ergeb-

nis von Experimenten finden. Ich glaube gerade hierin mich von meinen Mitforschern zu unterscheiden und hierdurch meine Erklärung des Segelflugs überzeugend begründen zu können.

Berlin-Lichterfelde, Januar 1923.

Gustav Lilienthal.



Das Endziel der Flugforschung.

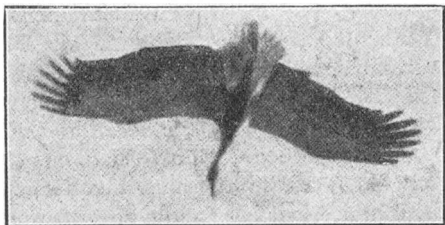


Abb 1. Segelnder Storch.

Der mit bewegungslosen Flügeln dahinsegelnde Vogel hat wohl zu allen Zeiten die größte Anregung zur Lösung des Flugproblems gegeben. Heute, wo wir tatsächlich fliegen, ist die Begeisterung, mit der die Forscher früher an die Lösung der Flugfragen herantraten, mehr und mehr verblaßt. Für meinen Bruder und mich waren die segelnden Störche unseres Heimatortes Anklam der Anreiz zu unseren Arbeiten von früher Jugend an, und in reiferen Jahren, nachdem wir mit den Luftwiderstandsgesetzen ver-

vertraut wurden, steigerte sich dies noch. Gaben doch die auch heute noch allgemein als gültig angenommenen Werte für den Luftwiderstand keine Erklärung des Phänomens.

Der täglich sich dem Auge darbietende Vorgang des Vogelfluges mit seinen so einfachen physikalischen Einzelheiten hat immer und immer wieder zu allen Zeiten Berufene und Unberufene gelockt, die idealste aller Fortbewegungen nachzuahmen. Heute, wo die Entwicklung der physikalischen Wissenschaft ungeahnt gefördert ist, verharrt das Vogelflugproblem noch im Dornröschenschlaf. Viele haben das Dornengewirr um das verzauberte Schloß zu durchdringen versucht, ohne zu dem Gemach der holden Maid vorzudringen, so verwachsen und verschüttet sind die Wege. Im kühnen Draufgängertum haben sie sich erschöpft, ohne das Tor der Burg zu erreichen. Es schienen sich Wege zu öffnen und doch führten sie nur in die Enge. Es waren Sackgassen, die zur Umkehr zwangen.

In eine solche Sackgasse war die Flugtechnik geraten, die nicht zum Vogelflug sondern nur zum Käferflug führte. Jetzt hat man sich entschlossen,

noch einmal einen Anlauf zu wagen und wieder ist man auf einem Abwege. Durch Aussetzen hoher Preise ermutigt man wieder zu neuem Draufgehen, anstatt durch geduldige Pionierarbeit die Dornen von der Wurzel aus zu beseitigen. Eine solche Art des Vorgehens habe ich mir zur Aufgabe gemacht. Ich habe mich Schritt für Schritt vorgearbeitet, so daß das Tor der verzauberten Burg jetzt vor mir liegt. Nun ist es Sache der Kraft des Kapitals, das Tor zu sprengen und die Prinzessin zu erwecken.

Der erste Gleitflug.

Seit undenklichen Zeiten bemühten sich die Flugforscher, mit Flügeln nach Vogelart von erhöhten Punkten abzuspringen und so eine Strecke fliegend zurückzulegen in der Annahme, durch allmähliche Verbesserungen es nach und nach zu einem wirklichen Segelflug zu bringen. So ermöglichten Daedalos und Ikaros vermutlich ihre Flucht von Kreta mit Flügeln, die mit den Federn der Seevögel bekleidet waren. Den griechischen Künstlern waren die natürlichen Flügelformen wohl bekannt. Wir dürfen daher annehmen, daß Daedalos als Bildhauer hiervon

keine Ausnahme machte. Die Flügel antiker Bildwerke beweisen eine sehr eingehende Kenntnis der Flügelformen, und dem Daedalos gaben die großen Seevögel besonders gute Vorbilder. Der Absprung von den 1000 Meter steil von Meer aufsteigenden Felsen der Nordküste Kretas wird wohl erst nach längeren Vorversuchen gewagt worden sein. Der Gleitflug von dieser Höhe muß sicher 15—20 Kilometer von der Küste getragen haben, wo ein Schiffer den allein landenden Daedalos aufnahm und nach Sicilien entführte. Ikaros verunglückte durch Flügelbruch. Seine Leiche soll der Sage nach an eine der nördlich von Kreta liegenden Inseln angeschwemmt worden sein, die heute noch nach ihm die „ikarischen“ genannt werden.

Die Sage berichtet nichts Unglaubliches, wenn man sieht, wie sich heute ganz junge Leute einen Gleitflugapparat selbst bauen; allerdings nicht immer mit dem eingehendem Naturverständnis des alten Meisters.

Der Flug des Daedalos wurde von keinem nachfolgenden Flugforscher übertroffen bis auf die Flüge von Martens und Hentzen in der Rhön.

Die ersten Luftwiderstandsmessungen.

Weder Jacob Degen in Wien, noch Bärblinger, der Schneider von Ulm, nicht einmal Leonardo erstrebten den Segelflug, sondern bemühten sich, den Ruderflug zu ermöglichen. Leonardo hat dann zuerst den Weg gewiesen, wie flugtechnische Studien zu betreiben sind. Er war der Vater des systematischen Experiments. Seine Versuche mit bewegten Flächen haben ihn sicher überzeugt, daß so, wie er es sich gedacht hatte, nichts zu erreichen sei.

Die gewölbten Flügel.

Ich glaube wohl, daß Daedalos gewölbte Flügel benutzte. Die Überlegenheit schwach gewölbter Flächen gegenüber ebenen Flächen war auch die Grundlage für die Erfolge unserer Gleitflüge. Erst nachdem wir diese Erfolge am Meßhebel mit kleinen Versuchsflächen festgestellt hatten, bauten wir den ersten Gleitflugapparat.

Wir hatten ebensowenig wie alle Flugforscher vor uns die Wölbung der Vogelflügel an den Vögeln selbst erkannt, sondern in der Überzeugung, daß der Vogelflügel eine besondere Wirkung auf

die Luft ausüben müsse, wertvoller als die ebene Fläche, maßen wir den Luftwiderstand von Flächen der verschiedensten Profile wie es im Buch „Der Vogelflug“¹⁾ eingehend beschrieben ist. Erst aus diesen Meßresultaten erkannten wir die Überlegenheit der schwach gewölbten Fläche und sahen nun erst, daß auch die Vogelflügel leicht gekrümmt sind.

Die biologische Entwicklung des Fluges.

Wir hatten hiermit den biologischen Entwicklungsgang des Fliegens in der Natur besprochen, wie mir erst später klar geworden ist.

Schon bei den Pflanzensamen tritt der Gleitflug als Verbreitungsmittel der Species in Erscheinung. Das Samenblatt der Zononiapflanze ist in hervorragender Weise zum Gleitflug geeignet. Durch das eingeschlossene Samenkorn am Vorderrand liegt der Schwerpunkt sehr weit nach vorn. Der Vorderrand senkt sich infolgedessen etwas und

¹⁾ Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. Otto Lilienthal. II. Auflage von Gustav Lilienthal. R. Oldenbourg's Verlag, München.

gibt dem Samenblatt so die Richtung des Gleitfluges. Durch eine leichte Aufwärtsbiegung des Hinterrandes der nach unten leicht gehöhlten Blattfläche wird ein Überschlagen nach unten verhindert, so daß die Flugbahn gleichmäßig schwach geneigt bleibt. Die Neigung ist außerordentlich flach vermöge der sehr geringen Flächenbelastung von 35 g auf 1 qm.

Das Samenblatt ist halbmondförmig 10—15 cm lang und 5—6 cm breit. Es bildet eine feine durchscheinende Haut an einer vorderen steifen Rippe. Die Samen beschreiben, wenn sie reif von der lianenartigen Pflanze abfallen einen weiten Weg bevor sie den Boden erreichen, wodurch die Pflanze sich schnell im weiten Umkreis ausbreitet.

Der Gleitflug, die einfachste Flugart der Tiere.

Den Gleitflug, diese primitivste Flugart, übt das sibirische Eichhörnchen, das mit einer Flughaut zwischen den Vorder- und Hinterbeinen ausgestattet, auch vermöge seines sehr breiten und langen Schwanzes seine Sprünge von Baum zu Baum bis

zu 10 m ausdehnen kann, hierbei natürlich abwärtsleitend.

Noch ausgeprägter zeigt diese Flugart die Dracheneidechse Sumatras, deren Flughaut über die nach außen vortretenden Rippen gespannt ist. Im Ruhezustand wird die Flughaut mit ihren Spreizen eng an den Rumpf angelegt. Die lebhaft rot oder blau gefärbte Flughaut läßt die Tierchen als große Falter erscheinen, wenn sie von Zweig zu Zweig ihr weiten Sprünge ausführen.

Der Entwicklungsgang des Flugvermögens der Vögel beginnt, soweit wir dies aus fossilen Überresten erkennen können, ebenfalls mit dem Gleitflug.

Der Urvogel.

Archäopteryx, der Urvogel (Abb. 2), das erste gefiederte Tier, war ein Gleitflieger. Von der Größe eines Huhns hatte Archäopteryx einen langen Schwanz mit 22 Wirbeln, aus dem zu beiden Seiten lange breite Federn herausstanden. Die kräftigen Beine trugen breite Federhosen, und seine Arme waren wie Flügel bis zum Handgelenk befiedert. Auch Rumpf und Hals trugen ein Federkleid. Der Laie würde

das Tier für einen vollkommenen Vogel halten. Der Kenner vermißt aber die Schwungfedern, das Merkmal für die Erzeugung eines selbständigen Vorwärtstriebes.

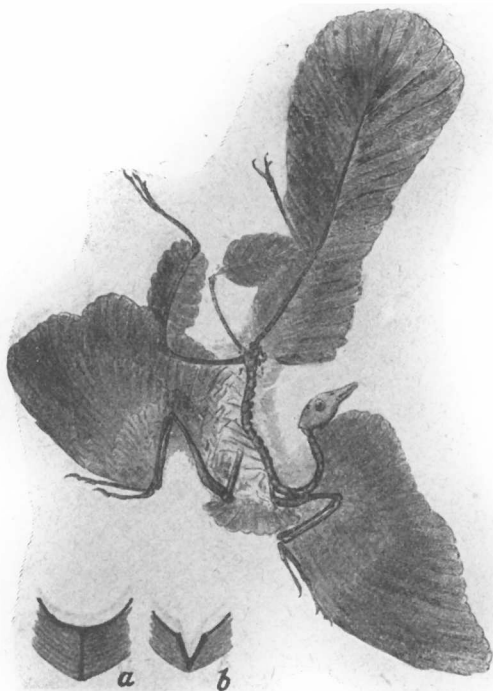


Abb. 2. Der Urvogel „Archäopteryx“.
Nach dem Abdruck der Sohlenhofer Schieferplatte des
Berliner Museums gezeichnet,

Um feststellen zu können, wie das Brustbein geformt war, und besonders ob auf demselben eine erhöhte Mittelrippe (sternum) vorhanden war, hat man die Schieferplatte von der Rückseite angebohrt. Der Versuch war erfolglos; man ist daher berechtigt, anzunehmen, daß kein Sternum vorhanden war. Hieraus ergibt sich wiederum, daß der Urvogel keine sehr starken Brustmuskeln zur Ausführung kräftiger Flügelschläge hatte. Bei *a* ist der Querschnitt des Brustbeins mit dem Sternum einer Möwe dargestellt. Das Sternum dient zum Anheften der Brustmuskeln, die dadurch einen großen Querschnitt haben können und infolgedessen viel Kraft besitzen. In *b* ist das Brustbein eines Straußes gezeigt. Das Brustbein hat in der Mitte eine dachartige Erhöhung. Der Muskelquerschnitt ist dadurch verhältnismäßig geringer. Beim Urvogel ist die Erhöhung vielleicht noch geringer gewesen. Die Schlagmuskeln können daher nicht die Kraft gehabt haben, um mit den Flügeln ohne Schwungfedern ein wirkliches Fliegen zu ermöglichen.

Auch aus dem Abdruck eines anderen weniger gut erhaltenen Exemplars, welches sich im britischen

Museum befindet, ist die Form des Brustbeines nicht erkennbar.

Der Vortrieb der Schwungfedern.

Diese Wirkung üben die Schwungfedern beim Niederschlag aus, weil sie sich hierbei um den Kiel verdrehen, also schräg stehen, wodurch der Vortrieb

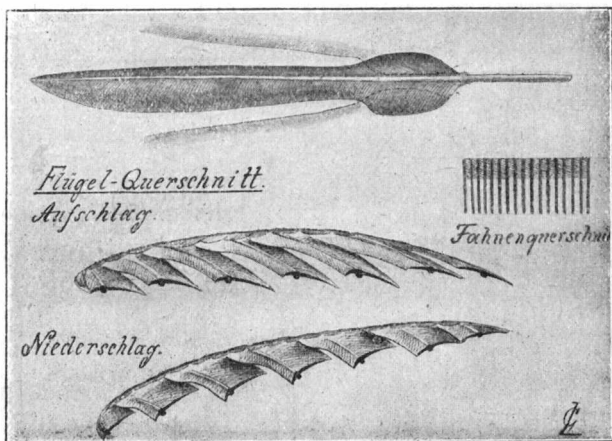


Abb. 3. Schwungfeder des Kondor, $\frac{1}{10}$ nat. Größe.

entsteht. Daß die Wirkung der Schwungfedern so entsteht, haben wir Brüder zuerst festgestellt und im „Vogelflug“ 1889 veröffentlicht (Abb. 3).

Die Schwungfedern überdecken sich nur am unteren Ende und werden dann ziemlich unvermittelt so schmal, daß zwischen den Federn ein Zwischenraum von etwa 1 cm entsteht. Wegen der strahlenförmigen Anordnung können die Federn nach der Spitze wieder etwas breiter werden, ohne daß sie sich überdecken. Diese Form gestattet dann, daß die Federn zwischen Auf- und Niederschlag sich um den Kiel verdrehen können, um die Stellungen einzunehmen, wie aus dem Flügelquerschnitt ersichtlich ist. (Siehe auch Abb. 1 und 4).

Der in vierfacher Vergrößerung dargestellte Fahnenquerschnitt zeigt die Lamellen, aus denen die Fahne besteht. Nach der Oberseite zu sind die Lamellen durch feine Haare bis auf ein Drittel der Höhe des Querschnittes verhäkelt. Die unter dem Flügel hin durchstreichende Luft verursacht so einen 17 % größeren Luftwiderstand gegenüber einer glatten Fläche, was durch Experimente bewiesen ist. Hierin liegt eine Überlegenheit des Federkleides gegenüber den Hautflüglern. (Abb. 6).

Anstelle der Schwungfedern hat Archäopteryx drei Zehen mit großen Krallen, wohl geeignet zum

Erklettern von Bäumen und Felsen wie auch zum Festhalten der Beute. Wahrscheinlich vermochte sich der Urvogel nicht vom Boden zu erheben, sondern er machte nach dem Erklettern eines erhöhten

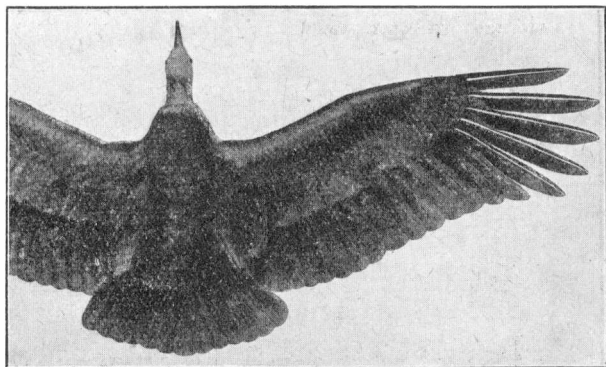


Abb. 4. Urubugeier $\frac{1}{15}$ nat Größe, vorzüglicher Segler.

Die Vögel sind in Südamerika sehr häufig, und da sie als Unratvertilger gesetzlich geschont werden, sind sie sehr zahm und ausgezeichnet zu beobachten.

Punktes einen Absprung. Sein langer breitbefiederter Schwanz war geeignet, durch schlängelnde Bewegung ähnlich der Bewegung des Aales, den Gleitflug zu verlängern.

Fliegende Fische.

Ausgeprägte Gleitflieger unserer lebenden Fauna sind auch die fliegenden Fische (Abb. 5). Während Archäopteryx durch den Schwanz seinen Gleitflug verlängert, so macht der fliegende Fisch diesen überhaupt erst durch seinen Schwanz möglich. Die nach unten gerichtete Finne der Schwanzflosse peitscht noch das Wasser, wenn der Vorderteil des Fisches mit den ausgebreiteten großen flügelartigen Vorderflossen schon aus dem Wasser herausragt. Durch den verminderten Wasserwiderstand erhöht sich die Geschwindigkeit beträchtlich, und hierdurch wieder die Tragwirkung der Flossen. Sehr bald verläßt der Fisch das Wasser vollständig. Dann sieht man, wie die Flossen eine kurze zitternde Bewegung machen, wodurch anhaftendes Wasser abgespritzt wird. Die Fische richten ihren Flug immer gegen den Wind. Sie erheben sich hierbei je nach Windstärke 3—6 Meter, während sie bei Windstille sich nur wenig heben, und die Flüge nur wenige Meter lang sind. Bei einer steifen Brise können die Flüge sich auf mehr als 100 Meter ausdehnen. Auch die hinteren Flossen dienen zur Tragwirkung, obgleich

sie nur ein Viertel so viel Fläche haben als die Vorderflosse. Das Profil der Flossen zeigt eine schöne Wölbung mit der Höhlung nach unten. Die Längsrippen der Flossen springen alle nach unten vor, so daß die Oberseite völlig glatt ist. Ein von mir vermessenes Exemplar wog 158 g. Die Gesamtfläche beider Vorderflossen betrug 0,014 qm, die der Hinterflossen 0,003 qm.

Der für die Berechnung der Tragwirkung zuständige Koeffizient C beträgt nach unseren Feststellungen bei einem Anstellwinkel von $\pm 0^\circ = 0,53\%$ des Normaldruckes. Bei einer relativen Geschwindigkeit zum Wind von 14 m/S erhält der Fisch einen Auftrieb von $F \cdot V^2 \cdot C \cdot K$, wobei K der Wert des Normaldruckes bei 1 m Geschwindigkeit auf eine Fläche von 1 qm = 0,100 kg beträgt. Die Rechnung ist dann $(0,014 + 0,003) \cdot 14^2 \cdot 0,53 \cdot 0,1 = 0,176$ kg. Dies ist 18 gr mehr als der Fisch wiegt; er kann sich also erheben. Mit Vergrößerung der Windgeschwindigkeit erhöht sich der Auftrieb. Durch den Stirnwiderstand des Rumpfes muß sich die Anfangsgeschwindigkeit vermindern, der Flug sich daher allmählich senken. Bei einem neuen Impuls der

Schwanzflosse im Wasser wird das Spiel der Kräfte wiederholt.

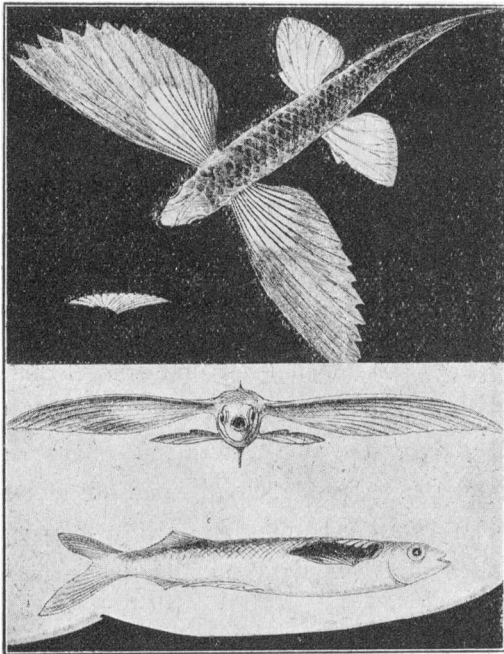


Abb. 5. Fliegender Fisch, nach der Natur gezeichnet,
 $\frac{1}{8}$ nat. Größe.

Der Querschnitt der Flügelflosse im oberen Bild zeigt das Hervorspringen der Trägerrippen an

der Unterseite. An der unteren Figur ist die nach unten verlängerte Schwanzflosse zu beachten.

Daß der Schwanz auch als Seitensteuer verwendet wird, habe ich feststellen können, als ein Fisch in der Richtung auf die Schiffswand auftauchte. Ich vermutete, derselbe würde in einem Kajütenfenster landen; der Fisch krümmte aber noch rechtzeitig seinen Leib und strich seitlich ab.

Der aktive Flug der Flugsaurier und Käfer.

Ein aktives Fliegen setzt erst ein bei den Flugsauriern und den Käfern. Die Flugart der Käfer ist die primitivere. Bei den Käfern sind die gewölbten Deckflügel das tragende Organ, und die Unterflügel bilden den Propeller, mit deren Hilfe Vortrieb und somit auch die Tragwirkung der Deckflügel erst hervorgerufen wird.

Der Käferflug ist somit der Flugtyp, welchen unsere Flugzeuge bisher erreicht haben. Überlegen ist der Käfer unseren Flugzeugen aber noch durch die Verstellbarkeit der Drehachse seiner Unterflügel. Die Unterflügel erhalten durch die Muskulatur eine

drehende Bewegung, wobei aber an einer bestimmten Stelle die Stellung des Profils geändert wird, so daß die Vorderkante bei der Drehung nicht zur Hinterkante wird, sondern plötzlich wieder nach vorn gerichtet wird. Herr von Dutczinski in Wien hat dies 1893 eingehend und überzeugend beschrieben. Wie wichtig aber auch die Deckflügel für den Flug sind, trotz ihrer unbeweglichen Haltung, geht daraus hervor, daß mit verstümmelten Deckflügeln der Käfer nicht fliegen kann.

Auch bezüglich des Kraftvermögens lassen sich die Käfer sehr gut mit den Flugzeugen und ihren starken Motoren vergleichen. Käfer sind wohl die stärksten Tiere, wenn man das Körpergewicht mit ihrer Krafterleistung in Beziehung bringt. Es sind hierüber systematische Untersuchungen angestellt worden, indem man Käfer mit schweren Gegenständen bedeckte, ohne daß man imstande war, die Tiere an der Fortbewegung zu hindern.

Der für ein Flugzeug erforderliche Motor ersetzt die Kraft von mehreren Dutzend starken Gäulen, schon wenn nur eine Person gehoben werden soll. Es war ein eigenartiges Zusammentreffen, daß fast

gleichzeitig mit der Entdeckung der vergrößerten Tragwirkung gewölbter Flächen der kleine aber kräftige Bezinmotor erfunden wurde. Wäre dies nicht der Fall gewesen, hätte sich die Flugtechnik wahrscheinlich nach der Richtung entwickelt, welche man erst jetzt anstrebt, nachdem man eingesehen hat, daß mit immer stärkeren Motoren von dem Prinzip des Käferflugs nicht loszukommen ist.

Die Grenze des Flugvermögens.

Die Grenze des Flugvermögens zu beobachten ist außerordentlich lehrreich. So kann man eine Taube am Aufflug hindern durch Zusammenbinden von drei Schwungfedern. Der Vogel kann sich dann nicht mehr den erforderlichen Vortrieb geben, durch den seine Flügel erst die notwendige Hebewirkung hervorbringen.

Der Habicht, welcher eine Taube geschlagen hat, hat schwer unter der Last zu arbeiten. Der Vogel ist aber klug genug, die Taube so an den Flügeln zu packen, daß sie ihre Flügel ausbreitet und dabei einen großen Teil ihres Gewichtes selbst trägt.

Die Vögel besitzen einen ganz beträchtlichen Überschuß an Tragfähigkeit. Ein Rehkalb wird vom Steinadler entführt, und manche Kitz ging den Sennhirten auf diese Weise verloren. Albatrosse, welche von den Matrosen gefangen waren, liefen mitschiffs auf dem Deck herum, da sie nicht imstande waren über die Brustwehr zu fliegen, denn diese fängt ihnen den Wind ab. Sie suchen dann vergeblich sich durch Ausspeien des Mageninhaltes zu erleichtern.

Der Direktor des Zoologischen Gartens im Rio gab mir eine recht anschauliche Beschreibung über den Fang der Condore in den Cordillieren.

Die Fanggesellschaft nimmt einen alten Gaul mit, der dort, wo man die Vögel anzutreffen pflegt, geschlachtet wird. Den Kadaver umgibt man mit einen Zaun aus Reisig von der Höhe einer Stuhllehne und in einem Abstand von 5—6 Meter von dem Köder. Sehr bald finden sich Vögel ein und kröpfen sich voll. Glaubt man, eine genügende Zahl beisammen zu haben, so brechen die Jäger aus einem Hinterhalt hervor. Die Vögel versuchen aufzufliegen und einen Anlauf zu nehmen. Der

kurze Raum bis zu dem Zaun genügt aber nicht zu einer ausreichenden Geschwindigkeit und selbst die energischsten Flügelschläge, wobei die Flügel den Boden peitschen, genügen nicht zum Aufflug. Mit dem Lasso wird dann ein Vogel nach dem anderen aus der Umzäunung heraus geschleppt und weiter gefesselt in Körben verstaut. Bis zu zwanzig Stück konnten so an Hagenbeck abgeliefert werden. Nur ein Vogel, der erst eben sich eingefunden hatte und auf dem Kadaver stand, entging diesem Schicksal.

Ruderflug der Flugechsen.

Weitere Betrachtungen dieser Flugart liegen im Thema „Ruderflug“ welche eingehend erläutert, ein Buch für sich ausfüllen¹⁾. Es sei nur noch hervorgehoben, daß die ersten Ruderflieger die Flugechsen waren. Pterodactylus und Pteranodon waren fledermausartige Flieger (Abb. 6). Man hält sie für Reptilien. Zwischen Vorder- und Hinterbeinen war eine Flughaut gespannt; bei einigen Arten war sie bis zum Schwanz verlängert. Das Daumenglied

¹⁾ Der Ruderflug der Vögel, von Gustav Lilienthal, Vogel-schutz-Verlag Dr Helfer, Berlin-Lichterfelde-Ost. Wilhelmstr. 42.

hatte eine Krallen wie bei unseren Fledermäusen. Die Größe der Flugechsen war sehr verschieden. Sie erreichte im Pteranodon mehr als 5 m Klafferweite. Auch Rhamphorympos hatte eine ansehnliche Größe,

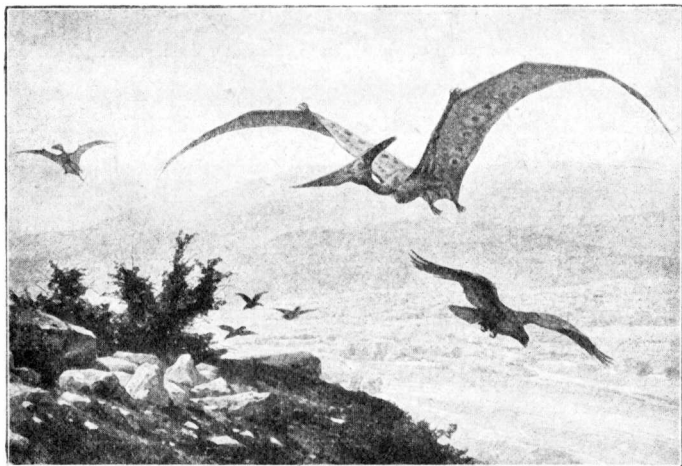


Abb 6. Flugechsen deren Skelett-^oabdrücke im Liasschiefer und Kalkstein gefunden wurden Im Hintergrunde Pterodactylen, links Rhamphorympos, rechts oben Pteranodon, darunter ein heutiger Steinadler in gleichem Maßstab.

dagegen waren die Pterodactylen nur von Sperlings- und Taubengröße. Die Flughaut dieser Flieger war wie bei unsern Fledermäusen sehr elastisch und

verdrehte sich zwischen Auf- und Niederschlag in gleichem Sinne wie die Schwungfedern der Vögel. Der Flug der Hautflügler gibt einen guten Überschuß an Tragewirkung, denn das Weibchen des fliegenden Hundes trägt ihr Junges in einer beutelartigen Hautfalte auch im Fluge mit sich herum.

Ein Abflug vom Boden wird diesen Flatterern nicht möglich gewesen sein, ebensowenig wie unseren Fledermäusen. Durch die langen Flügel sind die Tiere verhindert, den Flügelniederschlag auszuführen. Man setze eine Fledermaus auf einen Tisch. Sie versucht nicht einmal zu fliegen, sondern krabbelt an die Tischkante. Ist diese erreicht, so stürzt sie sich ab, um dabei ihre Flughaut zu entfalten und zu fliegen. So wird sich Pteranodon an vorspringende Felsen angeklammert haben, wenn er sich zur Ruhe niederließ, oder er hängte sich an einen Baumast wie heute die fliegenden Hunde in Australien.

Die Entwicklung zum Vogel.

Der eigentliche Vogel entwickelt sich aus dem Urvogel Archäopteryx. Das Federkleid ermöglicht eine höhere Entwicklungsstufe, als die Hautflügler

sie einnehmen. Letztere müssen den ganzen Flügel verdrehen, während der entwickelte Vogel an Stelle der Krallen des Stummelflügel des Archäopteryx die Schwungfedern gebildet hat. So wurde aus dem nur tragenden Stummelflügel des Urvogels das vortreibende Organ, der Flügel mit Schwungfedern, ohne daß damit die Fähigkeit zum Gleitflug beschränkt wurde, sich vielmehr noch verbesserte.

Die Umbildung des Schwanzes.

Der mit vollen Schwingen ausgestattete Vogel bedurfte des langen breit befiederten Schwanzes nicht mehr. Die Wirbel verkümmerten bis auf wenige. Anstelle der seitlich gestellten Schwanzfedern stellten sich diese jetzt in die Körperrichtung mit der Möglichkeit einer seitlichen Verbreiterung oder Verringerung der Breite. Beim Pfau und Paradiesvogel ist der lange Schwanz nur eine Zierde, ohne den Flug zu fördern.

Der Schwanz ist bei den Landvögeln im Allgemeinen größer als bei den Seevögeln. Die Schar der kleinen Vögel, die Finken, Tauben und Rabenarten, sowie die Raubvögel, sind alle lang geschwänzt.

Sie sind ungleichen Luftströmungen in stärkerem Maße ausgesetzt als die Seevögel. Man beobachte eine Taube, welche über den Dächern fliegt! Bald teilt sie den Schwanz seitlich rechts bald links, wie wir unsere Finger von einander spreizen können, bald drückt sie den Schwanz nach unten und dann wieder nach oben, um das Gleichgewicht zu erhalten. Der des Schwanzes beraubte Vogel ist deshalb aber doch nicht steuerlos. Ein in meiner Nachbarschaft hausender Sperling war auch ohne Schwanz imstande, durch einen Lattenzaun hindurch zu flitzen.

Dem segelnden Vogel ist die Schwanzsteuerung nötiger. Dr. Hankin, dieser ausgiebige Beobachter großer indischer Vögel, berichtet von den fluggewandten Weihen, daß ein Vogel mit verlorenem Schwanz sichtlich unsicher beim Segeln zu erkennen war. Für den Segler hat der Schwanz allerdings eine weit größere Bedeutung als für den Ruderflieger, wie im weiteren Verlauf erklärt werden wird.

Die kurzschwänzigen Seevögel sind imstande, durch entsprechende Verdrehung der Flügel Gleichgewichtserhaltung und Steuerung zu bewirken. Alle

langhalsigen Sumpfvögel regulieren ihren Schwerpunkt durch mehr oder minderes Ausstrecken des Halses.

Orville Wright war auf einem ganz richtigen Wege als er bei seinen Bemühungen, vom Gleitflug zum Segelflug zu gelangen, von einer Gleichgewichtserhaltung durch Flügelverdrehung absah und statt dessen ein Laufgewicht auf einer nach vorn ausladenden Leiste dirigierte. Er wird dies in der Erkenntnis getan haben, um den unvermeidlichen Rückwärtsdruck durch Flügelverdrehung zu vermeiden.

Der Daumen.

Das Daumenglied wurde in die Verknorpelung der Handknochen nicht einbezogen, sondern blieb selbständig mit besonderer Befiederung. Nur wenige noch lebende Vogelarten haben diese Veränderung nicht mitgemacht. Das Südamerikanische Steppenhuhn trägt noch einige Zehen anstatt der Schwungfedern an der Flügelhand. Es ist kein vollkommener Flieger. In den mit Strauchwerk bestandenen Steppen Argentiniens entzieht es sich seinen Verfolgern durch beschleunigten Lauf und Flattern bis

es sich in dem dichten Buschwerk verkriechen kann. Auch die jungen Strauße tragen noch eine Krallen am Daumenglied, die sie erst später verlieren, um einigen Federn Platz zu machen. Kaiser Friedrich II. von Hohenstaufen hat als eifriger Naturbeobachter ein durchaus richtiges Urteil über die Bedeutung des Daumens am Flügel in seinen vor einigen Jahren bekannt gewordenen Schriften ausgesprochen. Er sagt: „Der Daumen ist die Bremse des Fluges.“ Seine Beobachtung ist richtig; denn die Landvögel spreizen den Daumen ab, wenn sie sich setzen wollen. Die Seevögel oder Langflügler bedürfen dessen nicht, weil sie in der Verdrehung des ganzen Flügels ein ausreichendes Mittel zur Hemmung des Fluges haben. Wie die Hemmung durch den Daumen zustande kommt, wird bei der Besprechung des Widderhornwirbels später beschrieben.

Die Entwicklung der Segler.

Wenn es nun so scheint, als bilde der Gleitflug die natürliche Vorstufe zum Segelflug, also eines Fluges mit bewegungslosen Flügeln, aber nicht mehr abwärts sinkend, sondern in gleicher Höhe bleibend

oder gar aufwärts steigend, so muß ich doch hervorheben, daß der Übergang auch in der Natur



Abb. 7. Seeschwalben der Vogelschutzstation Möllen an der Wesermündung bei Windstille rudernd. Aus dem ebenen Wasserspiegel erkennt man die Windstille. Fast bei jedem Vogel ist die Flügelstellung eine andere. — Aufnahme des Herrn Ingenieur Hähnle.

nicht so einfach zustande kam. Die Bedingungen, welche dem Vogel den Segelflug gestatten, sind in Erdnähe nicht immer vorhanden. Nur bei mehr als mittlerer Windgeschwindigkeit ist der Segelflug vom Boden aus beginnend möglich. „Ohne Wind kein Segeln“, das zeigen die bei Windstille rudernden Seeschwalben (Abb. 7). In der Regel findet der Vogel erst in einiger Höhe einen gleichmäßigen segelfähigen Wind. So sehen wir den Bussard sich mit Flügelschlägen über die Baumkronen erheben und dann erst mit ausgebreiteten Flügeln seine Kreise ziehen.

Ausdauer und Ermüdung der Vögel.

Mit der Segelfähigkeit allein könnte kein Vogel in genügendem Maße seine Nahrung erlangen. Er bedarf hierzu eines für alle Fälle ausreichenden Flugvermögens, wie es ihm der Flügelschlag gibt. Auch die gewandtesten Segler, die See- Raub- und Sumpfvögel können selbst bei Windstille sich rudernd erheben und große Strecken zurücklegen. Finden sie aber einen genügenden Wind vor, so segeln sie. So können sie stundenlang dem Schiff

folgen ohne Flügelschlag. Mit der Uhr in der Hand habe ich auf einer Reise von London nach Hamburg meine Mitreisenden auf eine Möwe aufmerksam gemacht, welche 45 Minuten lang in gleicher Höhe und Entfernung vom Schiff diesem ohne Flügelschlag segelnd folgte bei einem Kurs nach Nordost und Ostwind. Nur so ist es den Vögeln möglich geworden, so ungeheure Strecken in kurzer Zeit zurückzulegen. Unsere Störche wandern alljährlich bis zu den afrikanischen Seen, und eine in Rositten Ost-Preußen, beringte Möwe wurde bei Kapstadt gefangen.

Ermüdung der Vögel beruht auf andauerndem Ruderflug bei Windstille. Scharenweise lassen sich die Stare auf Schiffen nieder, wenn sie von andauernder Windstille bei ihrem Zuge über das Mittelländische Meer, überrascht werden. Auch Flugmeister wie die Fregattvögel werden durch den Flug bei Windstille so ermüdet, daß man sie ergreifen kann, wenn sie sich völlig erschöpft auf dem Bugsprit niedergelassen haben. Die Fregattvögel sind keine Schwimmvögel, ihre sehr behenden Füße haben keine vollkommenen Schwimmhäute. Wenn sie nicht selbst, über dem Wasser

dahinsegelnd, Quallen und Fische ergreifen können, so versuchen sie andere Vögel wie Kormoran und Möwen so lange zu ängstigen, bis diese ihre Beute fahren lassen, die dann der Fregattvogel noch im Fallen erhascht.

Auf einer Fahrt von Madeira bis zum Kap konnte ich unter den uns folgenden Möwen eine beobachten, welche ein gebrochenes Bein hatte, das immer senkrecht unter dem Vogel pendelte. In der vierzehntägigen Fahrt blieb diese Möve ständig beim Schiff. Gegen Sonnenuntergang verschwinden die Vögel jedoch, um den Dampfer der zwischen Abend und Morgen an 200 Seemeilen zurückgelegt hat, jeden Tag von neuem zu begleiten. Auch die Albatrosse, die von Kapstadt an das Schiff begleiten, verlassen dasselbe erst an der Känguruhinsel, die dem Golf von St. Vincent (Süd-Australien) vorgelagert ist, an deren Steilküste sie nisten.

Segler und Nichtsegler.

Die vollkommenste Flugart, das Segeln, haben aber nicht alle Vögel erreicht. Der große Schwarm der kleineren Arten mit Ausnahme einiger Schwalben-

arten sind des Segelns nicht fähig, desgleichen sind Hühnerarten einschließlich Trappe und Auerhahn alle unvollkommene Flieger. Strauß, Kasuar und Emu können sich überhaupt nicht mehr vom Boden erheben. Die Flügel aller dieser Vögel besitzen nicht die zum Segeln erforderlichen Eigenschaften wie später ausgeführt werden wird.

Unvollkommenheit des Maschinenflugs.

Die Vielseitigkeit des Vogelflugs hat der Maschinenflug noch nicht erreicht. Von unsern Gleitflügen und deren Fortsetzung durch die Gebrüder Wright ist dann durch Einbau von Motor und Schraube der Flug nach Käferart entstanden. Wir selbst hatten die Idee des Motorflugs auch in Betrachtung gezogen und dieserhalb mit Benz verhandelt zur Lieferung eines leichten Motors, erhielten aber 1896 ablehnenden Bescheid. Wir beabsichtigten zunächst einen Schlagflügelapparat mit einem Explosionsmotor zu betreiben. Wir waren zu der Einsicht gekommen den Gleitwinkel unserer Apparate nicht mehr verringern zu können, betrug derselbe bei 350 m Länge der Flüge und 17 m Höhenverlust doch nur 4° (Abb. 8).

Diese geringe Neigung sollte daher mit Flügelschlägen überwunden werden. Ein entsprechender Apparat war bereits fertiggestellt bis auf die motorische Kraftquelle (Abb. 9). Ich führe dies nur an, um zu



Abb 8 Otto Lilienthal im Gleitflug in den Rhinowerbergen, bei denen er am 10. Aug. 1896 durch einen Absturz sein Leben verlor

zeigen, daß wir damals einen Entwicklungsgang einzuschlagen beabsichtigten, welchen ich auch heute noch biologisch für richtig halte, obgleich die Mehrzahl

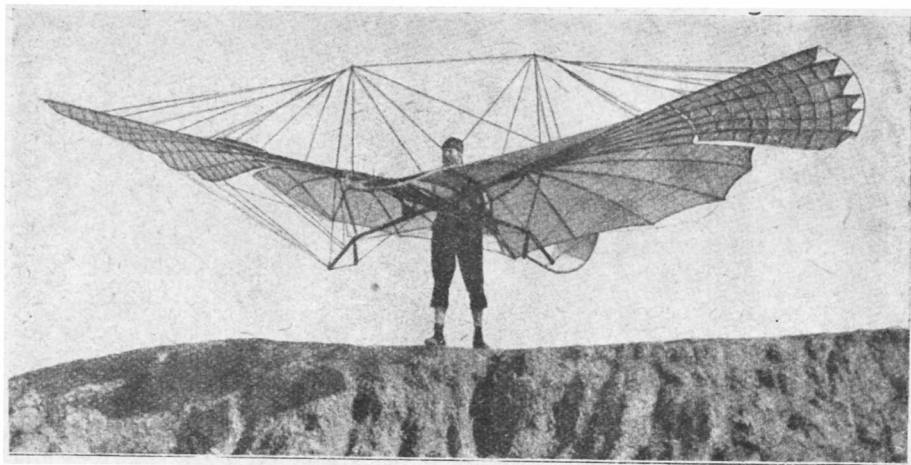


Abb. 9. Otto Lilienthal mit Schlagflügelapparat.

Derselbe besteht aus einem inneren starren Teil von gewölbtem Profil und dem äußeren Teil aus sechs Schwungfedern, welche um die Längsrippe verdrehbar sind. Dieser Apparat war nur eine Studie, um die Gleichgewichtsverhältnisse und die Wirkung gegenüber einem völlig starren Gleitflieger festzustellen. Als motorische Kraft sollte Kohlensäure verwendet werden, der Motor blieb aber unvollendet. Nach meinen neueren Untersuchungen erfordert ein Schlagflügelapparat um bei Windstille aufsteigen zu können 8 PS bei einer Spannweite von 10 m. Bei einem Wind von 8 m/S vermindert sich die erforderliche Motorstärke annähernd um die Hälfte.

der Flugtechniker sich durch die Erfolge des käferartigen Fluges der Maschinen blenden lassen und die Nachahmung des Ruderflugs für unrationell halten.

Das Gegenteil zu beweisen liegt nicht im Rahmen dieser Abhandlung, es gilt vielmehr zu betrachten, welche Weiterentwicklung heute versucht wird.

Der neue Anfang zur Weiterentwicklung des Menschenflugs.

„Der Not gehorchend, nicht dem eignen Triebe“ zwingt der Versailler Vertrag uns Deutsche, Ausblick zu halten, ob nicht durch eine neue Flächenform ein Flug mit geringerer Motorkraft als bisher ermöglicht werden kann. Man ging daher auf den Uranfang des Fliegens, den Gleitflug zurück. Man will noch einmal von vorn anfangen und sucht den Rekord des Gleitwinkels zu drücken, um so, wenn möglich, den Segelflug zu erreichen.

Die Rhönflüge.

Für junge Leute ist der Gleitflug im hügeligen Gelände ein anregender Sport. Verschiedene Sportvereine betätigten sich so seit Jahren.

Ich selbst habe mehrfach Apparate nach den Angaben meiner Auftraggeber zu Sportzwecken gebaut, die aber bald als Kleinholz verfeuert wurden. Seit einigen Jahren nahmen diese Bestrebungen größeren Umfang an, und besonders der Herausgeber des „Flugsport“, Herr Ingenieur Ursinus in Frankfurt a. M., konzentrierte die Interessen des Gleitflugsports in seiner Zeitschrift. Seiner Einsetzung für die Idee ist es wohl zuzuschreiben, daß die nicht unerheblichen Mittel zusammengebracht wurden, um ein Wettfliegen veranstalten zu können. Als Sportplatz wurde die Wasserkuppe bei Gersfeld in der Rhön gewählt. Das Gelände dieser Gegend ist baumloses Hügelland, das sich in der Wasserkuppe 450 m über die Talsohle erhebt. Nur an einigen Stellen sind steilere Abhänge und Wald. Die gestifteten Preise lockten junge Leute, Fachkenner und Laien zu mutigem Wagen. Kein Wunder, daß nicht alle Apparate planvoll durchdacht, sondern viele dilettantenhaft konstruiert waren. Eindecker und Doppeldecker erschienen am Abflugplatz, nachdem die Festigkeit derselben durch eine technische Kommission geprüft worden war.

Nicht alle Apparate haben unversehrt die Heimreise angetreten. Es wurde viel Bruch gemacht, aber auch viel Geschicklichkeit in der Handhabung und Steuerung erlernt. Große Unglücksfälle blieben aber auch nicht aus. Für die Wahl des Geländes habe ich mich persönlich nicht erwärmen können und sprach mich ganz besonders im vorigen Jahr zu einer beteiligten Firma in diesem Sinne aus.

Unzulänglichkeit der Bergabhänge.

Nach meiner Ansicht ist das Bestreben, vom Gleitflug zum Segelflug zu gelangen nicht an Bergabhängen zu betätigen, sondern im freien Seewind oder über ebenem Wiesengelände. Ich hatte daher zum Vorschlag gebracht, auf Sylt am Nordseestrand die Übungen anzustellen. Die betreffende Firma richtete sich dann auch auf Sylt ein, aber letzten Endes versagte der Flieger angesichts der wogenden Wellen. Diese Furcht war meines Erachtens unbegründet. Abgesehen davon, daß das Wasser auf weite Strecken flach ist, so ist auch ein Sturz ins Wasser mit einer Schwimmweste angetan bei weitem nicht so gefährlich als ein Fall auf steinigem Berg-

abhäng. Das betreffende Flugzeug wurde daher nach der Rhön geschafft und verursachte nach dem ersten Abflug einen Todessturz.

Der weite Gleitflug.

Während die konkurrierenden Flieger von der Wasserkuppe im ersten Jahr möglichst weite Strecken zurückzulegen suchten, und hierbei der Aachener Apparat unter Führung des Herrn Klemperer den ersten Preis durch eine Landung in der Nähe von Gersfeld erzielte, hatte auf einem Nebenhügel der Bamberger Baumeister Hardt seine seit Jahren ausprobierten Apparate herangebracht, ohne an dem Wettfliegen teilzunehmen.

Hardt's Kreisen am Abhang.

Hardt begann mit seinen Flügen erst nach Abschluß der Konkurrenz. Durch seine Beobachtungen hatte er wohl erkannt, daß die Tragwirkung des Windes in der Nähe des Bergabhanges erheblich größer ist als über dem flacher auslaufenden unteren Gelände. Er bemühte sich daher, über dem steileren Abhang in Kreisen und Schleifen seinen Apparat zu

steuern. So übertraf seine Flugzeit alle Flüge des vorigen Jahres. Über 20 Minuten kreuzte er in der Nähe seiner Abflugstelle, bis auch ihn eine niedergehende Bö aus dem Gleichgewicht warf. Sein Sturz kostete ihm zwar nicht das Leben, aber mehrere zerbrochene Glieder.

Die Rhönsieger.

Der Hardtflug im Herbst 1921 ist von durchschlagender Bedeutung für den Gleitflugsport gewesen. Als in diesem Jahr das Preisfliegen wieder begann, erschien außer den vorjährigen Siegern auch Hardt an der Abflugstelle, außerdem unter Andern auch einige Herren aus Hannover mit ihren Apparaten. Wo Hardt im vorigen Jahr durch seinen Sturz abbrechen mußte, begannen sie. Mit Kreisen und Schleifen hielten sie sich über den Hängen der Wasserkuppe. Sehr bald wurde die Flugzeit Hardts überschritten. Die Flüge dauerten über eine, zwei und gar drei Stunden. Die genauen Daten wurden wie ein Lauffeuer über die ganze Erde verbreitet. Im Prinzip ist es gleichgültig, ob unter gleichbleibenden Windverhältnissen so ein Flug ein oder drei Stunden



Abb. 10
Hentzen über den Hängen der Wasserkuppe kreisend.

lang ausgeführt wird. Erst sich ändernde Bedingungen können den Flieger veranlassen, den Flug aufzugeben. So entschloß sich der Sieger Hentzen nach dreistündigem Kreisen bei untergehender Sonne, sich vom Abhang zu entfernen. Hätte er dies in gleichbleibender Höhe ausführen können und wäre er an einer gegenüberliegenden Höhe gelandet, oder hätte er Fulda überflogen, so würde ich ihn für den ersten Segler erklärt haben. Seine Landung 10 km von der Abflugstelle unter Aufgabe einer Flughöhe von circa 650 m entspricht nur einem Gleitwinkel von $3\frac{1}{2}^{\circ}$, also wenig besser als ihn mein Bruder und die Wrights mit verhältnismäßig primitiven Apparaten erreichten. Auch unsere Apparate haben sich von einer nur 17 m hohen Abflugstelle gelegentlich über diese erhoben und Orville Wright stieg vom Abflug senkrecht auf, sich dann Minuten lang in gleicher Höhe haltend. Als Wright dann aber über den flachen Strand des Michiganssees trieb, verlor er den verstärkten Auftrieb des Hangwindes und mußte landen.

Die sportlichen Leistungen der Rhönflieger sind über alles Lob erhaben. Die ausübenden Herren

haben eine Meisterschaft in der Führung ihrer Apparate gezeigt.

Die Ursache der Rhönerfolge.

Wodurch unterschieden sich nun die Apparate der Sieger von den sonst üblichen Formen, so daß die Tragwirkung und die Vorwärtsbewegung so hervorragend wurde? Abgesehen von der besseren technischen Durchbildung der Konstruktionen sind die Erfolge dem verwendeten Flächenprofil zuzuschreiben.

Das tropfenförmige verdickte Profil.

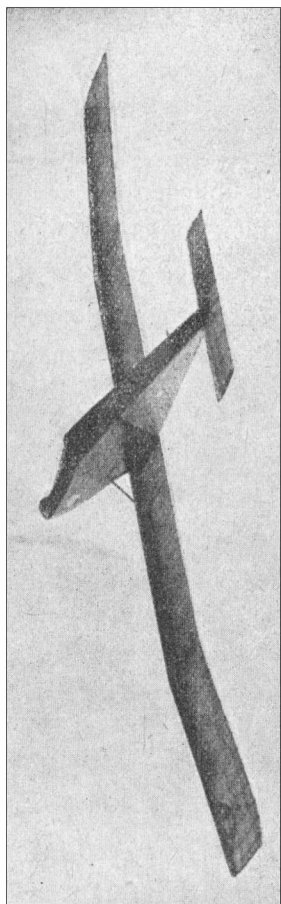
Während die minderwertigen Apparate die üblichen dünnen Profile zeigten, haben alle besseren Apparate dicke Tragflächen gehabt. Auch die Form des Rumpfes war tropfenförmig zur Vermeidung zu starken Rückwärtsdruckes (Abb. 11).

Apparate wie der von Hardt, mit freihängendem Sitz, mußten natürlich wegen des bedeutenden Stirnwiderstandes schlechter abschneiden.

Der Hangwind.

Um den Rückwärtsdruck zu überwinden, bedarf es einer Abgabe von Höhe. Einer Umlenkung

Abb 11. Das siegreiche Flugzeug „Vampyr“ im Wettflug in der Rhön 1922.



von Tragwirkung in Vortrieb bedurften eben alle Apparate mehr oder weniger Der Hangwind 10–15⁰ aufsteigend, gibt bei einer Geschwindigkeit von 8–10 m/S mehr Auftrieb als zur Hebung des Gewichtes erforderlich ist. Der Überschub wird durch die Neigung der Vorderkante zur Flugbahn hervorgerufen. Die Flugbahn wird hierdurch relativ zur aufsteigenden Richtung des Windes sich senken, obgleich sie relativ zum Erdboden ansteigend ist. Unnötiger Stirnwiderstand

verlangt daher eine stärkere Höhenabgabe, wodurch alle Apparate mit freihängendem Sitz benachteiligt sind. Schon im vorigen Jahr konnte Klemperer auf dem Aachener Apparat seinen Erfolg der dicken Tragfläche zuschreiben, der aber in diesem Jahr von Hentzen und Martens noch übertroffen wurde.

Die große Tragwirkung der dicken Fläche.

Die große Tragwirkung der dicken gewölbten Flächen zeigte sich nicht zuerst bei den Rhönflügen. Für jeden, der die flugtechnische Literatur verfolgt hat, lag die Verwendung dicker Tragflächen sehr nahe. Schon 1909 machte ich Meßversuche über den Auftrieb mit dicken gewölbten Flächen und hielt über die erlangten Resultate 1910 in der wissenschaftlichen Vereinigung, Humboldt-Akademie, in Berlin hierüber Vorträge, die im Januar 1911 veröffentlicht wurden. Im gleichen Jahr veröffentlichte ich die Versuchsergebnisse auch in der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt.

Ich war zur Vornahme dieser Versuche durch mein Suchen nach dem Faktor gekommen, von dem

mein Bruder schrieb, daß er den segelnden Vogel zu einem Drachen macht, der keiner Schnur bedarf ¹⁾).

Die Kraftquelle für den Segelflug und ihre Entdeckung.

Für die Kraftquelle des Segelns hielt ich den Wind, und zwar die Eigenschaft des Windes, schwebende Körper nach oben zu treiben. Diese Tatsache hatte sich an Versuchen gezeigt, welche ich noch mit meinem Bruder gemeinsam unternommen hatte. Den ersten Anstoß, diese Versuche vorzunehmen, ergab sich durch einen Zufall.

Wir waren mit der Druckmessung des Windes auf gewölbte Flächen beschäftigt. Wenn so eine Fläche mit der Höhlung nach unten am Meßhebel angebracht und dem Winde ausgesetzt wird, so richtet sie sich 12° über die Wagerechte auf. Eine Belastung der Fläche bis sich dieselbe wagerecht einstellt, entspricht demnach dem Auftrieb, welche die Fläche bei einem Anstellwinkel von 0° erhält.

¹⁾ Vogelflug II Auflage S. 125.

Die Versuchsflächen hatten eine Höhlung von $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{12}$ Pfeilhöhe. Als einmal die Versuchsfläche versehentlich mit der Höhlung nach oben angebracht worden war, erwarteten wir, daß sich dieselbe jetzt 12° unter die Wagerechte einstellen würde. Dies trat aber nicht ein, sie senkte sich vielmehr nur um 4° nach unten. Diese Unsymmetrie erschien uns sonderbar und veranlaßte uns, zu versuchen, welche Stellung eine ebene Fläche durch den Wind einnehmen würde. Es ergab sich, daß sich die ebene Fläche 4° über die Wagerechte hob; sie nahm also die mittlere Lage zwischen den Stellungen der gewölbten Fläche ein.

Die Messung des Auftriebs.

Zur genaueren Untersuchung dieser Erscheinung ordneten wir fünf Flächen an Latten befestigt in Abständen von 2 m übereinander an einem Mast an, die wie ein Wagebalken drehbar gelagert waren. Zur Ausgleichung kleinerer Schwankungen wurden die Flächen durch Drähte miteinander verkuppelt. Am unteren Teil des Mastes war eine mit Papier bespannte Trommel drehbar angebracht, auf welche

ein Zeichenstift, der durch einen Draht mit den Flächenhebeln verbunden war, bei der Drehung der Trommel eine Kurve zeichnete, welche der Bewegung der Flächen entsprach. Aus dem Abstand der mittleren Ausgleichlinie dieser Kurven konnte man die genaue Abweichung der Fahnenstellung über der Wagerechten erkennen. Der Abstand betrug wieder annähernd 4° .

Es lag in unserer Absicht, diese Versuche weiter auszudehnen, als durch den Tod meines Bruders die Arbeiten zum Stillstand kamen. Ich selbst war durch die Berufsgeschäfte der hierdurch verdoppelten Arbeitslast für die nächsten Jahre zu sehr in Anspruch genommen, und konnte daher die Ideen nicht weiter verfolgen. Erst 1908 nahm ich die systematischen Arbeiten wieder auf. Ich stellte mir die Aufgabe, die Ursache des Segelflugs zu erforschen.

Das Suchen nach einer Verstärkung des Windauftriebs.

Die durch den Auftrieb des Windes sich bietende Kraftquelle, schien mir die mechanische Arbeit für den Segelflug zu geben. Die Frage lag daher nahe,

ob nicht ein besonderes Flächenprofil noch stärkeren Auftrieb erhielt als die bisher verwendeten gewölbten Flächen, deren Dicke möglichst gering bemessen war. Wiederum war ein zufälliger Vorfall die Ursache, meinen Gedankengang zu beeinflussen. Ich hatte einmal 1881 einen Ertrinkenden aus der angeschwollenen Saale gerettet und hierbei am eigenen Leibe erfahren, wie die Strömung des Wassers mich beständig der Strommitte zutrieb. Obgleich ein guter Schwimmer, hätte ich mit meiner Bürde das Ufer nicht erreichen können, wenn nicht eine Sandbank mir schließlich einigen Halt gewährte. Diese Begebenheit hatte in meinem Gedächtnis geschlummert. Bei der Überlegung über die Ursache des Windauftriebes erinnerte ich mich dieses Erlebnisses und ich erkannte als Ursache der Abtrift nach der Mitte die Geschwindigkeitsdifferenz der Strömung am Ufer und in der Mitte. Auch vom Boden reißt die Strömung Gegenstände, die nicht allzuschwer sind, in die Höhe und lagert sie dann an Stellen langsamerer Strömung ab, die dann Sandbänke bilden.

! Diese Abtrift nach dem Zentrum der größten Geschwindigkeit habe ich dann systematisch in

einem Mühlgraben untersucht. Als ich verschiedene Gegenstände schwimmen ließ, bemerkte ich eine schnellere Abtrift bei breiten Stücken. Ein Brettstück erreichte die Mitte weit schneller als ein Stab.

Aus diesen Versuchen schloß ich, daß auch in der Luft etwas ähnliches eintreten müßte, wenn die Luft eine verschiedene Geschwindigkeit am Boden und in der Höhe hat. Wie wohl ein jeder weiß, ist dies tatsächlich der Fall.

Auftriebmessung mit dünnen und dicken Flächen

Jetzt begann ich, verschieden geformte Körper dem Winde auszusetzen, um die Wirkung festzustellen. Ich baute eine ebene Fläche von $2,0 \times 0,8$ m Größe und 2 cm Dicke, ferner eine gleich große und dicke, jedoch mit einer Wölbung von $\frac{1}{10}$ der Breite als Pfeilhöhe. Eine dritte Fläche hatte Größe und untere Wölbung wie die vorige, jedoch war sie am Vorderrand abgerundet und 10 cm dick. Alle drei Flächen wurden an je 5,0 m langen Latten befestigt und wie ein Wagebalken mit einem Gegengewicht auf einem gespannten Draht gelagert. Be-

vor der Versuch im Freien gemacht wurde, waren in einem windgeschützten Raum die Gegengewichte ausbalanciert worden. Einem Wind von 6—8 m/S

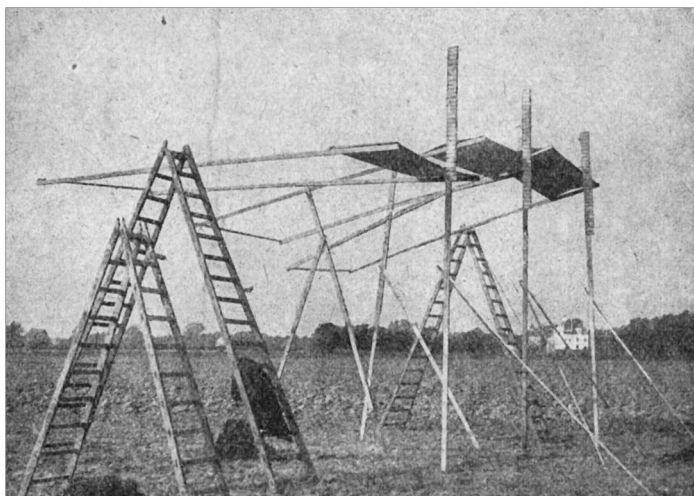


Abb 12. Drei dem Winde ausgesetzte Flächen, links ebene Fläche 2 cm dick, Mitte gewölbte Fläche 2 cm dick, rechts gewölbte Fläche am Vorderrand 10 cm dick, den verschiedenen Auftrieb zeigend.

ausgesetzt, beginnt sogleich das Spiel der Kräfte. Die Flächen bewegen sich mehr oder weniger aufwärts, die ebene Fläche senkt sich auch wohl ab

und an wagerecht oder für Augenblicke etwas tiefer. Abb. 12 gibt ein typisches Bild der Stellung der drei Objekte.

Das Diagramm des Auftriebs.

Um die durchschnittliche Stellung während etwa 10 Minuten zu erkennen, war es nötig, Indikatoren anzubringen. Bei diesem Versuch wurde auch noch eine Trommel von 2 m Länge und 40 cm Durchmesser als Versuchsobjekt angebracht (Abb. 13). Leider war dieselbe auf dem Transport beschädigt worden, so daß sie nach Reparatur auf freiem Felde nicht mehr mit dem Gegengewicht variiert werden konnte. Von der Aufnahme eines Diagrammes für die Stellung der Trommel wurde daher abgesehen. Das Indikatordiagramm wurde auf einem Papierstreifen aufgezeichnet, der sich von einer Rolle abwickelte und auf eine andere Rolle aufwickelte. Alle Rollen wurden durch eine gemeinsame Antriebschnur in Bewegung gesetzt und viermal hin und her bewegt während 10 Minuten. Da die horizontale Stellung vorher auf den Rollen angezeichnet worden war, so ließ sich aus den durch den Indikator-Bleistift

gezeichneten Kurven der durchschnittliche Abstand von der Nullstellung leicht ermitteln, und hieraus der Auftriebswinkel feststellen. Wieder zeigte die ebene Fläche

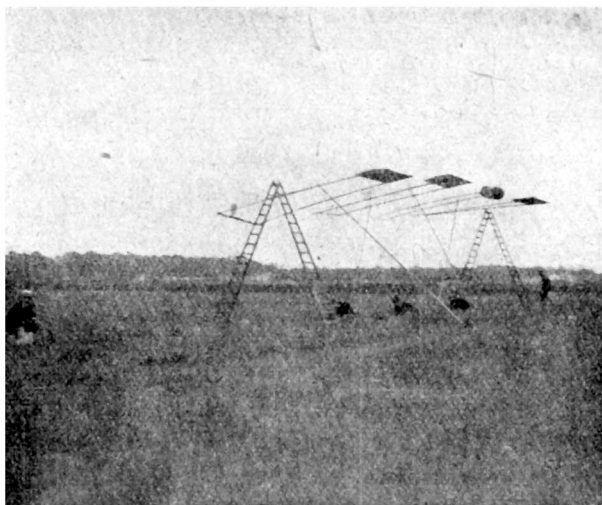


Abb. 13. Vier Versuchsobjekte dem Winde ausgesetzt. Rechts ebene Fläche, daneben runde Trommel, daneben dünn gewölbte Fläche, links gewölbte Fläche mit verdickter Vorderkante. Unten sieht man Gehilfen die eingegrabenen Indikatoren beobachten.

danach einen Auftrieb von $3-4^{\circ}$, die dünne gewölbte Fläche $6-7^{\circ}$ und die dicke gewölbte 16° (Abb. 13).

Auftriebsdiagramm des Seewindes.

Das Gelände, auf dem diese Versuche angestellt wurden, ist völlig eben, mehr als ein Kilometer im Umkreis und ganz baumlos. Später habe ich einen ähnlichen Versuch mit einer sehr stark gewölbten dicken Fläche im freien Seewind angestellt. Der Indikator besteht in diesem Fall aus einer Kreisscheibe von 1 m Durchmesser, wie aus Abb. 14 zu ersehen ist. Die Scheibe, mit Papier bespannt, wurde durch einen kleinen Haspel während zehn Minuten zehnmal umgedreht, während ein Zeichenstift durch einen Draht mit dem Flächenhebel verbunden, die Stellung der Fläche aufzeichnete. Vor dem Beginn der Versuche war die Fläche in eine wagerechte Lage gebracht und die Scheibe dann einmal umgedreht worden. Der so entstandene Kreis ließ erkennen, wie weit die Fläche während des Versuches durch den Wind von 8 m/S über die Wagerechte angehoben worden war. Nach Ausgleichung der entstandenen schlangenförmigen Linien zu einer mittleren Kreislinie ergab sich ein Abstand von dem Kreis der wagerechten Lage, der einem Auftrieb von 13° entsprach (Abb. 14 u. 15).

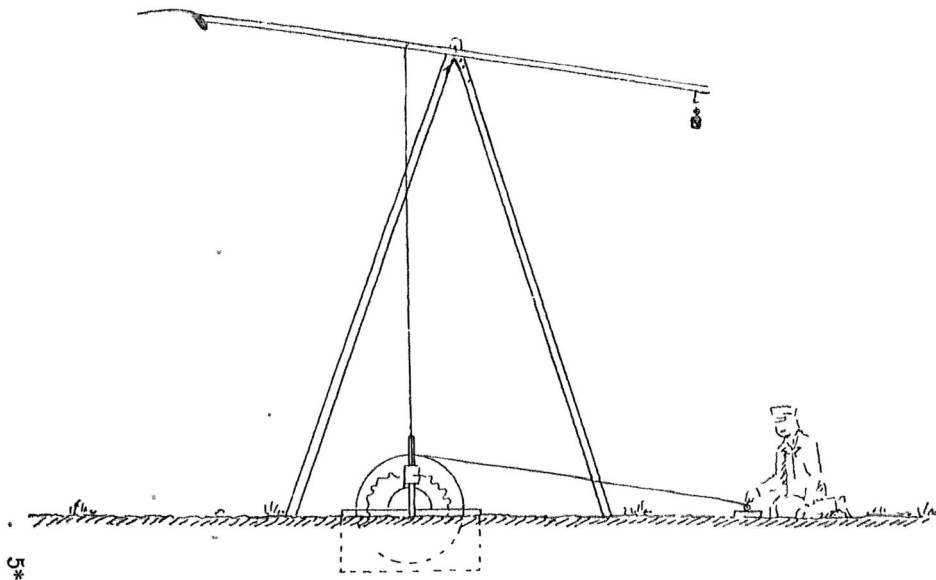


Abb. 14. Versuchsanordnung zum Nachweis des Auftriebs mit einer Fläche von vogelflügelartigem Profil.

Im Anschluß an diese Versuche wurde dann auch untersucht, durch welche Belastung die Fläche

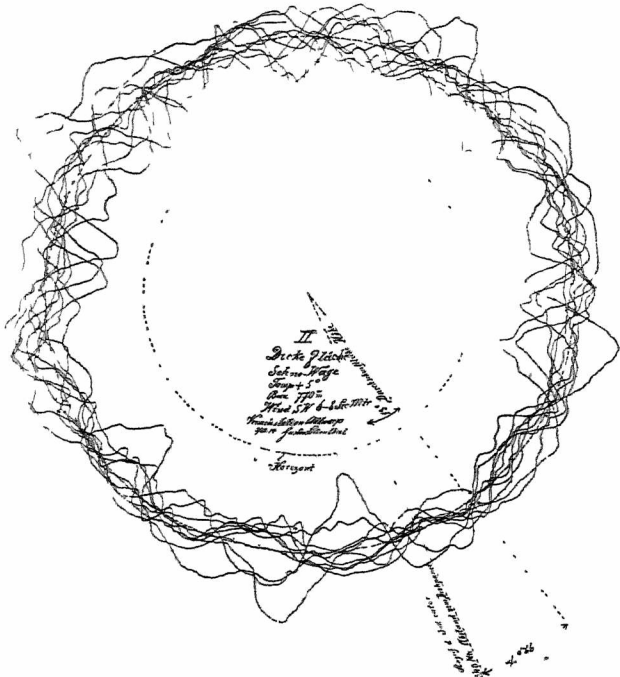


Abb. 15. Indikator-Diagramm $\frac{1}{8}$ nat. Größe.
Wind 8—10 m/S. 13° Auftrieb zeigend.

in die wagerechte Lage zurückgedrückt werden konnte. Bei einer Fläche von 3 m Länge und 0,8 m

Breite und einem Wind von 5–6 m/S sind 7,15 kg Belastung erforderlich, um die Fläche am Aufstieg zu verhindern. Dies entspricht einem Wert von 0,82 $\frac{0}{10}$ des Normaldruckes also mehr als $\frac{8}{10}$ des Druckes, den die Fläche in einem senkrecht aufsteigenden Luftstrom erhalten würde. Bei diesen Versuchen wurde nicht im Hangwind gearbeitet sondern auf ebenem Boden hart am Strande des Haffs.

Herr Ingenieur Betz berichtete 1912 über die Versuche, welche Professor Angôt in Paris auf der obersten Plattform des Eiffelturmes über die Abweichungen des Windes von der wagerechten Richtung angestellt hatte. Angôt hatte die Versuche ein ganzes Jahr lang Tag und Nacht durch automatische Aufzeichnungen ausgeführt. Ein Flügelrädchen wurde durch die auf- oder abwärts gerichtete Windströmung angetrieben. Die durchschnittliche Höhenrichtung des Windes war 4° aufwärts, also fast dasselbe, was wir gefunden hatten. In den windstarken Monaten Februar und November stieg der Auftrieb auf $5\frac{1}{2}^{\circ}$. Herr Betz wies auf die Ähnlichkeit mit unseren 1889 veröffentlichten Messungen hin. In einer Fußnote sprach aber

Professor Prandtl seine Bedenken hierüber aus, da man nicht wüßte, ob unsere Versuche nicht etwa an einem aufsteigenden Gelände stattfänden. Hätte Herr Professor Prandtl die große Bedeutung dieses Windauftriebs erkannt, so hätte er sich bei mir über die ebene Lage unseres Versuchsfeldes Gewißheit verschaffen können, oder er konnte selbst die sehr leicht ausführbaren Versuche anstellen lassen.

Die Flügelform der Segler.

Nach der Feststellung des Auftriebs dicker Profile wurde die Flügelform der verschiedenen Vogelarten näher untersucht. Wo lebende Vögel nicht zur Verfügung standen wurden die mit großer Kunstfertigkeit präparierten Vögel des Berliner Museums vermessen.

Der Befund war höchst interessant. Es stellte sich heraus, daß alle Vogelarten, die nicht segeln, unverhältnismäßig dünne Flügel haben im Gegensatz zu den Seglern. Zu ersteren gehören alle Hühner, Rabenarten und die Eulen sowie der ganze Chor der kleinen Vögel mit Ausnahme einiger Schwalbenarten. Segler sind dagegen die Raub-, See- und größeren Sumpfvögel.

Die Flügelverhältnisse einiger typischer Beispiele sind in nachstehender Tabelle angegeben.

Tabelle I.

Verhältnisse der Flügeldicke zur Breite und Länge der Flügel, von der Schulter bis zum Handgelenk im Verhältnis zur ganzen Länge.

Nichtsegler!	Mitte Oberarm Flügeldicke	Mitte Unterarm	Flügelänge bis zum Handgelenk
Fasan	1 : 20	1 : 30	0,4
Brandgans	1 : 17	1 : 20	0,35
Krähe	1 : 13	1 : 20	0,4
Segler!			
Urubu	1 : 10	1 : 17	0,5
Milan	1 : 8	1 : 14	0,5
Schwan	1 : 7	1 : 13	0,6
Steinadler	1 : 5 $\frac{1}{2}$	1 : 13 $\frac{1}{2}$	0,66
Pelikan	1 : 6	1 : 13	0,7
Fregattvogel	1 : 6 $\frac{1}{2}$	1 : 10	0,7
Kondor	1 : 6,7	1 : 8	0,7
Albatros	1 : 5	1 : 8	0,75

Man erkennt aus der Tabelle auch die Längenverhältnisse der dickeren Flügelglieder. Es sind also nicht allein die Flügel der Segler viel dicker

als die der Nichtsegler, sondern die dicken Flügelglieder des Ober- und Unterarms sind auch viel länger. Die Nichtsegler haben dagegen längere Schwungfedern.

Man kann beobachten, wie die Krähen gelegentlich das Segeln versuchen, aber immer wieder zu Flügelschlägen ihre Zuflucht nehmen müssen.

Auch für den Ruderflug ist die Leistung der Vögel verschieden infolge ihrer Flügelform. Die Hühnerarten fliegen meistens in geschütztem Gelände, wo der Wind nicht in voller Stärke auftritt. Die Krähe dagegen trifft in größerer Höhe gelegentlich starken Wind an. Erreicht dieser 15 m/S Geschwindigkeit, dann kommt die Krähe nicht mehr dagegen an, sie sucht dann niedrigere Lagen auf. Der Kiebitz ist auch ein ausschließlicher Ruderer. Seine sehr breiten Flügel lassen sich von dem Vogel bei 10 m/S Wind nicht mehr genügend in dem passenden Anstellwinkel halten, er fliegt dann möglichst in Erdnähe.

Von meiner Wohnung in Rio de Janeiro beobachtete ich einen segelnden Fregattvogel in ziemlich gleicher Höhe mit meinem Standpunkt 50 m über dem Meer. Der Himmel war stark bewölkt und Regenschauer gingen hernieder. Die Wolken liegen über dem

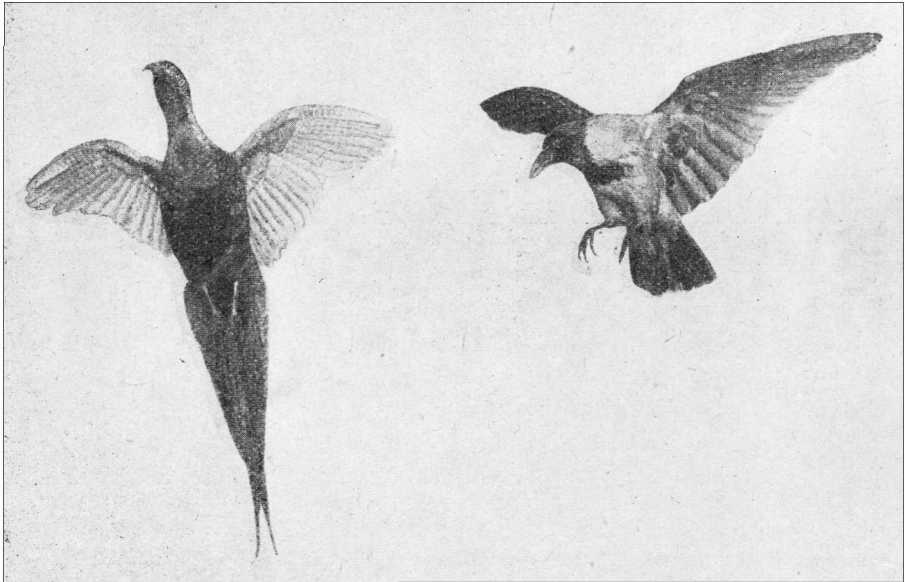


Abb 16 Fasan

Abb 17 Krähe

Beide Vögel haben kurze Ober- und Unterarmglieder, dagegen sehr lange Schwungfedern. Der Fasan wie alle Hühnerarten sind schwerfällige Ruderflieger. Die Krähe ist viel gewandter. Für den Segelflug reicht aber auch ihr Flügelbau nicht aus.

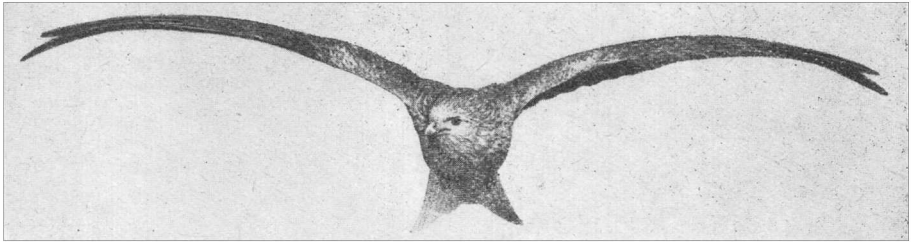


Abb. 18. Milan.

Alle Raubvögel sind vorzügliche Segler und imstande, verhältnismäßig große Lasten zu tragen. Bei besonders starken Winden sind aber auch die Raubvögel nicht imstande, die Stellung der Flügel genügend zu kontrollieren.

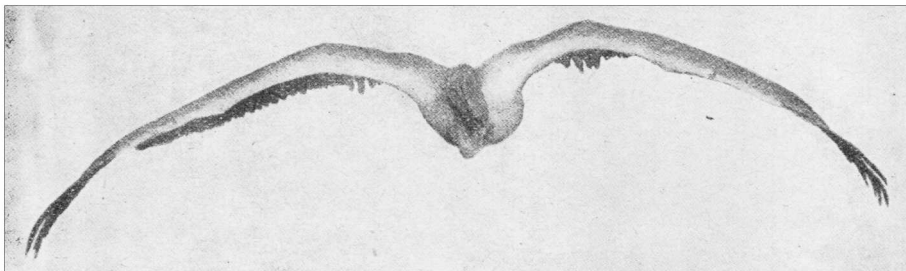


Abb. 19. Pelikan, $\frac{1}{23}$ nat. Größe

Sieht man die Pelikane in großer Höhe segeln, so erkennt man weder den Hals noch den Kopf mit dem langen Schnabel. Die Vögel legen den Hals auf den Rücken, so daß nur die äußerste Schnabelspitze vor der Brust hervorsteht.

Hafen sehr niedrig, man erkennt dies deutlich an ihrer Berührung mit den Uferfelsen. Der Vogel näherte sich einem regnenden Wolkenzipfel. In kurzem Abstand davon legte er plötzlich seine Flügel an und fiel etwa 20 m tiefer, dann breitete er die Flügel wieder aus und segelte unter der Wolke weiter ohne auch nur einen Flügelschlag auszuführen. Ich hatte dies mit meinem Fernrohr deutlich beobachtet und konnte noch wahrnehmen, daß er seinen Schwanz mehrmals auf und nieder schwenkte, um das Regenwasser los zu werden.

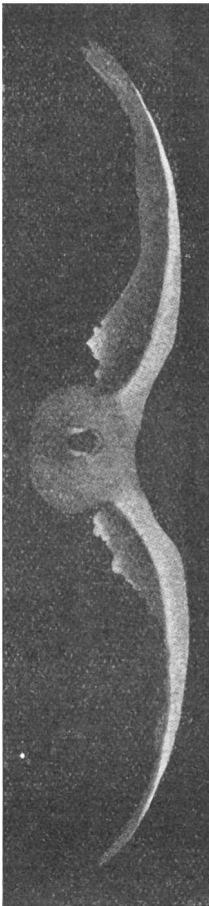


Abb 20. Schwan, $\frac{1}{4}$, nat. Größe. Aufnahme aus dem Berliner Museum. Schwäne segeln nur bei starken Winden. Infolge des mächtigen Rumpfes bedürfen sie eines besonders großen Vortriebs, dessen Zustandekommens später nachgewiesen wird.

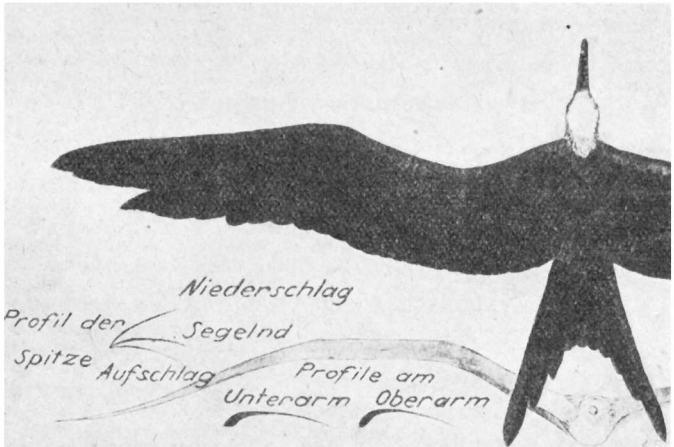


Abb. 21. Fregattvogel, $\frac{1}{20}$ nat Größe und Flügelprofile desselben.



Abb. 22. Kondor, $\frac{1}{40}$ nat. Größe.
Aufnahme aus dem Berliner Museum.

Charles Darwin äußert sich sehr eingehend über den Flug der Kondore. Er tritt besonders der Ansicht entgegen, die Vögel führten beim Segeln ganz kleine zitternde Bewegungen aus. Er sagt, wenn dies der Fall wäre, könnte man nicht die scharfen Umrisse der einzelnen Federn erkennen. Leider wird diese Zittertheorie noch immer von oberflächlichen Flugforschern vertreten, obgleich auch aërodynamisch aus einer zitternden Flügelbewegung ganz und gar keine Erklärung des Segelfluges ersichtlich ist.

Nichtbeachtung der Messungen durch die Flugzeug-Industrie.

So wichtig die Wirkung dicker Flügelprofile für die Flugtechnik ist, so wurde meine Veröffentlichung in der von Herrn Professor Prandtl geleiteten führenden deutschen Zeitschrift völlig ignoriert. Man betrieb die Flugtechnik mit Scheuklappen und sah nur in einer Verstärkung des Motors das Mittel, zur erhöhten Leistung zu gelangen, ohne die Flächen selbst zu veredeln. Erst einige Jahre später nahm Herr Professor Junkers die Idee auf und

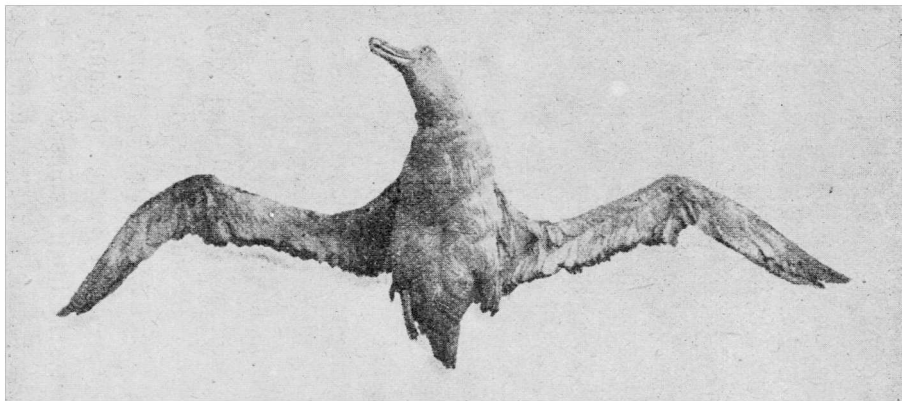


Abb. 23. Albatros (*Diomedea exulans*).

Im Albatros erreicht der Segelflug seinen vollendetsten Vertreter. Die Spannweite beträgt 3,5 m bei einer Flügelbreite von nur 0,15 m. Das Flügelareal ist 0,5 qm bei einem Vogelgewicht von 9 kg. Das Flügelprofil ist stark gewölbt. — Im Wasser sitzend und gegen den Wind gerichtet, erheben sich die Vögel nur durch Ausbreiten der Schwingen ohne Flügelschlag aus dem Wasser. Man kann diesen märchenhaften Aufflug vom Schiff aus in großer Nähe beobachten. Die erste Deckfederlage hat fast dieselbe Länge als die Hauptfedern.

baute Flugzeuge mit dicken Flächen mit weltbekanntem Erfolg. Heute sind alle größeren Fabriken des In- und Auslandes zum Bau dicker Tragflächen übergegangen.

Wettflüge in England.

Die unlängst in England bei Ifford am Bergabhang unternommenen Wettflüge beweisen, daß auch durch minderwertige Flächenprofile bei genügender Steilheit des Abflughanges und starkem Wind Dauergleitflüge zu Stande kommen können, solange sich die Flieger im Wirkungsbereich des Hanges halten. Der französische Flieger Maneyroll übertraf die Leistung Hentzens um 10 Minuten. An einen wirklichen Segelflug haben alle bisherigen Versuche nicht herangereicht. Neuerdings wurden die Flüge noch ganz beträchtlich länger ausgedehnt.

Wenn Herr Professor Prandtl bei der Besprechung der letzten Rhönflüge hervorhebt, daß die erfolgreichen Tragflächen-Profile durch die Göttinger Anstalt festgestellt seien, so kann man dies Verdienst nicht sehr hoch bemessen, denn der französische Apparat leistete dasselbe auch ohne die

Direktion der Göttinger Anstalt. Bei starkem Wind und steilem Hangwind erhält auch eine dünne Tragfläche ausreichende Hebwirkung und kann einen Teil derselben für Vortrieb zur Verfügung haben wie aus nachstehender Berechnung leicht ersichtlich ist.

Wegen des bei dieser Rechnung eingesetzten Koeffizienten für den Normaldruck „K“ = 0,100 kg soll vorher noch der Nachweis gebracht werden, weshalb ich zur Annahme dieses Wertes berechtigt bin.

Die Normaldruckmessung.

Da im weiteren Verlauf dieser Abhandlung einige Berechnungen über die Tragwirkung der Flügel erforderlich sind, so muß ich eine Begründung der dabei verwendeten Werte für den Luftwiderstand einer senkrecht vom Wind getroffenen Fläche einfügen, weil der von mir festgestellte Wert, (der Koeffizient K) erheblich von den anderweitig verwendeten Werten für K abweicht.

Die Größe des Luftdruckes auf eine Fläche von 1 qm, wenn sie von einem Luftstrom von 1 m/S

Geschwindigkeit bei 10° Temperatur und einem Barometerstand von 760 mm getroffen wird, bildet den Maßstab für alle Luftwiderstandsmessungen, also gleichsam das Normalmaß. Die Zuverlässigkeit dieses Maßstabes ist natürlich von der allergrößten Bedeutung. In ähnlicher Weise wie das Normalmetermaß und das Kilogramm von einer internationalen Kommission festgelegt und in Paris deponiert wurde, hätte man auch international durch die hierfür geeigneten aërodynamischen Anstalten den Wert für „K“ feststellen müssen.

Der seinerzeit von Newton festgestellte Wert für „K“ auf metrisches Maß zurückgeführt, betrug 130 g. Dieser Wert war nur theoretisch aus der bei der Luftbewegung eintretenden Massenverschiebung von der Vorderseite der Fläche zur Hinterseite errechnet worden.

Dieser Wert hat lange die Unterlage für alle Berechnungen der Flugtechnik gebildet.

Wir Brüder haben diesen Wert zuerst nachgeprüft, indem wir eine Fläche an einer Leiste befestigten und um eine Achse in drehende Bewegung setzten und so den ersten sogenannten Rundlaufapparat konstruierten.

Wir machten die Versuche im Freien an windstillen Sommermorgen. Durch die zum Antrieb der Bewegung erforderlichen Gewichte ließ sich leicht der entstandene Luftwiderstand messen. Wir erhielten den Wert von 125 g. Aus Achtung für den großen Newton und in Betracht der geringen Abweichung, benutzten wir für unsere Berechnungen den Koэффициenten Newtons. Später habe ich gefunden, daß es während unserer Messung nicht völlig windstill gewesen sein kann.

Der Amerikaner Professor Langley als Direktor des Smithonian-Instituts in Washington unternahm in großem Maßstab Rundlaufmessungen. Der Rundlaufarm war 9 m lang, und die Meßfläche maß 0,1 qm. Auch er arbeitete im Freien, fand aber, daß tote Windstille so gut wie nie herrscht. Er umgab daher die Versuchsbahn mit einem 2 m hohen Bretterzaun.

Während wir gefunden hatten, daß bei großer Geschwindigkeit der Drehung der Druck nicht wie es hätte sein sollen, mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zunahm, sondern beträchtlich dahinter zurückblieb und daher nur die Messung von 1—2 m/S

als maßgebend erachteten, nahm Langley das arithmetische Mittel zwischen einer Messung von $4,6 \text{ m/S} = 100 \text{ g}$ und $11 \text{ m/S} = 61 \text{ gr}$ abgerundet mit 80 g als den maßgebenden Druck an. Er beging hiermit einen Lapsus, der ganz unbegreiflich ist.

Eiffel in Paris suchte durch Fallversuche, einer Fläche zwischen einem Gerüst am Eiffelturm den Wert für „K“ festzustellen. Die Fläche war hierbei mit einer automatischen Schreibvorrichtung versehen, um den entstandenen Druck zu registrieren. Es ist mir nicht bekannt, wie er die Reibung der fallenden Fläche ausschaltete. Diese und die Schreibvorrichtung müssen das Meßresultat beeinflußt haben. Der erhaltene Wert war nur 66 g . Andere Versuche wurden verschiedentlich ausgeführt, u. a. durch Entleerung eines großen Behälters aus einer Düse. Unter Berücksichtigung der Zeit der Entleerung und dem Querschnitt der Düse wurde die Geschwindigkeit ermittelt und der erhaltene Druck auf eine Fläche hiermit in Beziehung gebracht. Bei dieser Messung tritt Reibungsverlust beim Austritt in die ruhende Luft ein. Ein maßgebender Koeffizient läßt sich so nicht erzielen.

Die aërodynamische Anstalt in Göttingen hat dann ebenfalls mit dem Rundlaufapparat Messungen ausgeführt, hierbei aber keine Fläche der Strömung ausgesetzt, sondern eine sogenannte Pitôtröhre nach Verbesserungen des Herrn Professor Prandtl.

Die Pitôtröhre ist ein doppelwandiges verlötetes Rohr, an beiden Enden offen. Der Zwischenraum steht durch einen Schlauch in Verbindung mit einer schräg gestellten Glasröhre, welche in ein Wasserbassin eintaucht. Die Innenwandung der Röhre ist durchbohrt. Streicht nun die Luft durch die Röhre mit einiger Geschwindigkeit hindurch, so entsteht infolge der Durchbohrung eine Saugwirkung, das Wasserniveau in der Glasröhre wird gehoben, und an einer Skala kann man die Saughöhe ablesen. Man wollte mit der Verwendung der Pitôtröhre den störenden Mitwind vermeiden, welcher entsteht, wenn eine Fläche sich mehrfach in einer Kreisbahn bewegt. Wir hatten den Einfluß des Mitwindes schon erkannt, denn die bei mehrfacher Umdrehung mitgerissene umgebende Luft vermindert die relative Geschwindigkeit der Fläche zur Luft; wir arbeiteten daher mit geringen Geschwindigkeiten, weil so nur

wenige Umdrehungen des Vorlaufs genügten, bevor der Lauf des Apparates gleichmäßig wurde.

Der schwere Langleysche Apparat bedurfte sehr vieler Umdrehungen des Vorlaufs, die sich bei vermehrten Geschwindigkeiten noch vermehrten. Aber auch die Pitôtröhre und der Rundlaufarm erzeugen Mitwind, und zwar um so mehr als bei 1 und 2 m/S Geschwindigkeiten der Ausschlag des Wasserniveaus zu gering ist, um zuverlässig zu messen; man ist daher gezwungen mit größerer Geschwindigkeit zu arbeiten, wodurch wieder ein längerer Vorlauf erforderlich ist und der Mitwind sich verstärkt.

Der Assistent des Herrn Professor Prandtl, Herr Föppel, führte die Messungen aus und rechnete seinem Meßresultat von 70 g 5 g als Mitwindverlust hinzu. In seiner Doktorarbeit über diese Versuche hebt er die Annäherung an die Langleysche Messung mit 80 g besonders hervor, um die Güte seiner Messung zu begründen. Ich kann nur annehmen, daß ihm die Einzelheiten der Langleyschen Messung nicht bekannt waren, bei denen mehr als 30% Mitwind entstanden.

Aus der Aufzeichnung der Langleyschen Messungen ist ersichtlich, daß bei Messungen im Freien

erhebliche Störungen durch unruhige Luft eintreten, ich hielt daher unsere alte Messung nicht für maßgebend. In Erkenntnis der Mängel aller bisherigen Messungen entschloß ich mich zu einer Meßmethode, wobei der Mitwind prinzipiell ausgeschlossen wird.

Ich bewirkte dies durch Konstruktion eines so großen Rundlaufs, bei dem schon eine einzige Halbkreisbewegung die Messung möglich machte.

Ich arbeitete mit Flächen von 1 und 4 qm und grundsätzlich nur mit Geschwindigkeiten von 1 bis 4 m/S.

Die Versuche wurden in einer sehr geräumigen leeren Maschinenhalle angestellt und Sorge getragen, daß keine inneren Luftströmungen vorhanden waren. Es wurde daher nur bei bedecktem Himmel und an windstillen Tagen gearbeitet. Aus dem aufsteigenden Rauch einiger Schmauchfeuer ließ sich die Ruhe der Luft kontrollieren.

Die Messungen ergaben auf normale Temperatur und Barometerstand reduziert 98 g.

Als ich den Verlauf der Stromlinien untersuchte, fand ich, daß infolge der halbkreisförmigen Bewegung die verdrängte Luft infolge zentrifugaler Wirkung einseitig nach der äußeren Bahnseite ab-

floß. Hierdurch mußte eine geringe Druckverminderung eintreten. Bei einem Rundlauf von 3–4 m, Armlänge und größerer Geschwindigkeit wird die Druckverminderung entsprechend größer sein als bei einem 15 m langen Rundlaufarm, da sich die Zentrifugalwirkung mit dem kleineren Radius verstärkt. Ich sah mich hierdurch veranlaßt, den Widerstand bei einer Parallelbewegung zu ermitteln. Ich erreichte dies durch Bewegung einer Fläche von 1 qm auf einen straffgespannten Draht von 15 m Länge.

Der Netto-Luftwiderstand betrug hierbei 102 g. Auch diese Meßresultate wurden in der Z. f. F. u. M. 1915 veröffentlicht und erfuhren von keiner Seite Widerspruch.

Für meine Berechnungen benutzte ich einen mittleren Wert für „K“ = 0,100 kg.

Die Einzelheiten dieses Apparates und der Messung sind in der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt veröffentlicht und abgebildet.

Arbeitsberechnung des Windauftriebs.

Ich selbst habe von der Wirkung der dicken Profile allein nie erwartet, daß durch diese auch

über ebenem Gelände, der See oder in großer Höhe die Überwindung des Stirnwiderstandes bei gleichzeitiger Steigung möglich sei, obgleich mir die Rechnung bewies, daß die erforderliche Arbeit vom Wind geleistet werden kann. Eine solche Berechnung für die Leistung des Windauftriebes für einen Storch bei einer relativen Geschwindigkeit zum Wind von $12,5 \text{ m/S} = V$ — folgnachstehend. Die Spannweite des Vogels beträgt $2 \text{ m} = S$. Die Auftriebsrichtung des Windes wird mit 4° angenommen $= A$. Das Gewicht eines Kubikmeters Luft ist $= 1,24 \text{ kg} = L$. Die Rechnung entwickelt sich dann folgendermaßen für die Arbeitsleistung des Windes.

Es passiert unter den Flügeln eine Luftmenge in jeder Sekunde von $V \cdot S \cdot (\tan 4^\circ) = 21,56 \text{ cbm}$, deren Gewicht $21,56 \cdot 1,24 \text{ kg} = 26,6 \text{ kg}$ beträgt. Diese Masse bewegt sich in der Sekunde $12,5 \cdot \tan 4^\circ = 0,86 \text{ m}$ aufwärts. Die Arbeitsleistung ist daher $26,6 \text{ kg} \cdot 0,86 \text{ m} = 22,8 \text{ Sek. mkg}$.

Bei dieser Berechnung bildet die Flügelbreite keinen Faktor, sondern nur die Spannweite. Es soll hiermit nicht gesagt sein, daß eine lange, dünne Latte als Flügel auch verwendet werden könnte

zum Segeln. Die Flügel müssen vielmehr eine solche Breite haben, daß die Energie des Windes in gehöriger Weise aufgenommen werden kann. Die Seevögel müssen im allgemeinen in weit stärkerem Wind fliegen als die Landvögel. Sie haben weit schmalere Flügel als die Landvögel, so ist der Albatroßflügel nur 15 cm breit bei einer Klafferweite von 3,5 m. Diese Breite genügt aber, um die Stromlinien der Luft unter den Flügeln so zu beeinflussen, daß die Segelfähigkeit erreicht wird. Das Nähere hierüber wird in einem weiteren Abschnitt besprochen.

Eine Meßfläche von der Größe des Storches, 2 m lang und 0,25 m breit = 0,5 qm, erhält von einem Wind von 12,5 m/S bei einem Anstellwinkel von $+4^{\circ}$ einen Luftwiderstand von $0,5 \cdot 12,5^2 \cdot 0,1 \cdot 0,6^1) = 4,68$ kg. Da der Widerstand aber nicht senkrecht, sondern 2° nach rückwärts gerichtet ist, so ist der Auftrieb senkrecht $4,68 \cdot \cos 2^{\circ} = 4,63$ kg. Das Storchgewicht von 4 kg wird also gehoben, und es verbleibt noch ein Überschuß als Steigewirkung. Will der Vogel in gleicher Höhe bleiben, so kann auch noch die rückwärts gerichtete Komponente und der Stirn-

¹⁾ 0,6 = Koeffizient für $+4^{\circ}$ Anstellwinkel,

widerstand überwunden werden. Der Storch erreicht dies durch eine kleine Verringerung des Anstellwinkels.

Bei einem Wind von 12,5 m/S würde der Storch anfangs nur ganz langsam vorwärts kommen, wie man dies auch gelegentlich beobachten kann. Der geringste Vortrieb wirkt aber als Beschleunigung und vermehrt die Vorwärtsbewegung beständig. Anders ist es, wenn der Vogel bei stärkerem Wind segelt. Dann vermehrt sich der Auftrieb unverhältnismäßig, und es bleibt ein großer Überschuß zur Umlenkung in Vortrieb.

Der Vogel kann aber auch bei schwächerem Wind segeln, wenn er vorher durch Flügelschläge sich eine Eigengeschwindigkeit gegeben hat, so daß er sich relativ zur Luft mit 12—13 m/S bewegt. In diesem Fall wird er von der Erde aus gesehen = 12,5 m minus der Windgeschwindigkeit fliegen. Auf keinen Fall darf der Wind schwächer als 3 m/S sein, es hört dann die Segelfähigkeit auf aus Gründen, welche im weiteren Verlaufe erklärt werden.

Die errechnete Arbeitsleistung des Windes = 22,8 Sek. m/kg kann und braucht der Storch nicht

ganz ausnützen. Da die Luftmasse die Flügel nicht bewegungslos verläßt, sondern da sich die Geschwindigkeit nur vermindert, geht ein Teil der Energie unbenutzt verloren. Der Vogel braucht aber auch nicht die ganze Energie, denn selbst beim Ruderflug bei Windstille, also ohne den natürlichen Auftrieb des Windes, bedarf der Storch nur 8 Sek. m/kg Arbeit zu leisten. Siehe Z. f. F. u. M., Heft 1 und 2, 1916.

Überschuß der Tragwirkung des Windes.

Wer je segelnde Störche bei scharfer Brise sah, wird bemerkt haben, daß die Vögel über einen großen Überschuß an Tragwirkung verfügen, ja daß es ihnen besondere Mühe macht, schnell zum Nest herab zu gelangen. Es werden zu diesem Zweck verschiedene Manöver angestellt. In der Regel wird zuerst der Daumen vorgesprenzt und die Beine hängen gelassen, um die Vorwärtsbewegung möglichst zu hemmen und so die Tragwirkung zu vermindern. Hat dies nicht die genügende Wirkung, so wird eine andere Methode versucht. Der Storch wendet die Glockenform an.

Dies heißt, er zieht den Oberarm möglichst hoch und senkt den Unterarm und die Flügelhand, so daß die Flügelspitze möglichst tief liegt. Damit wird das Flügelareal stark verringert. Man kann die Wirkung gut verfolgen. Der Storch senkt sich langsam wie mit einem Fallschirm, aber ein kräftigerer Windstoß hebt ihn wieder fast auf die frühere Höhe. Jetzt greift der Storch zur „ultima ratio“, dem Sturzflug. Er stellt sich plötzlich auf die hohe Kante, den einen Flügel senkrecht nach unten den anderen nach oben. Nun schießt er wie ein Stein herab. Plötzlich lenkt er aber seine Stellung um und legt sich auf die andere Seite. So kommt er kurz über seinem Nest an. Hier unten ist der Wind weit schwächer, so daß ein simpler Gleitflug zum Landen genügt. Klappernd begrüßen ihn die Familienangehörigen.

Ähnliche Flugleistungen machen die Möwen, wenn sie schnell auf das Wasser herunter wollen. Vom Schiff aus kann man die Vögel leicht zu solchen Kunststücken anregen. Über Bord geworfene Brocken veranlassen die in einiger Höhe segelnden Möwen in der Regel zu solchen Ab-

stürzen; meistens mit dem Erfolg, daß sie die Atzung schneller erreichen als die niedriger fliegenden Vögel, welche sich einfach herabgleiten lassen.

Wenn Laien diese Sturzflüge sehen, glauben sie, dem Vogel sei ein Unglück geschehen, er sei gleichsam gestolpert über einen ungleichen Windstoß oder er sei in den Windschatten des Schornsteins geraten. Beides ist grober Irrtum. Man kann solche Sturzflüge nach Belieben durch zugeworfene Brocken veranlassen.

Wohl kein Tier ist in seiner Fortbewegung so sicher wie der Vogel. Bei meinen unzähligen Beobachtungen habe ich nie einen versehentlichen Absturz bemerken können, wogegen Pferde oder Hunde sehr wohl gelegentlich stolpern.

Berechnung der Windarbeit bei den Rhönflügen.

Wie verhalten sich aber die Rhönflüge zu einer Berechnung des Windauftriebs?

Der Auftriebswinkel ist in diesem Fall = Hangneigung + dem natürlichen Windauftrieb also $12^{\circ} + 4^{\circ} = 16^{\circ}$.

Die Spannweite sei 12 m und die Wind-Geschwindigkeit 10 sk m.

Die Arbeit des Windes ist dann $12 \cdot 10^3 \cdot (\text{tang. } 16^\circ)^2 \cdot 1,24 = 1220 \text{ sk m/kg} = 16,2 \text{ PS}$.

Stände nur der natürliche Auftrieb des Windes von 4° zur Verfügung so ergäbe die Berechnung $12 \cdot 10^3 \cdot (\text{tang. } 4^\circ)^2 \cdot 1,24 = 73 \text{ mkg}$ oder rd. 1 PS. Die Arbeit des Windes hat sich also auf $\frac{1}{16}$ des Hangwindes verringert.

Apparate wie sie in der Rhön verwendet wurden, können daher über ebenem Gelände keine Segelfähigkeit besitzen.

Um die Arbeit des Hangwindes $= 1220 \text{ m/kg}$ zur Verfügung zu haben über ebenem Gelände, über der See oder in größerer Höhe, müßte der Apparat bei dem gleichen Profil 20 m Klafferweite haben, bei einer Geschwindigkeit von 22 m/S; es ist dann $20 \cdot 22^3 \cdot (\text{tang. } 4^\circ)^2 \cdot 1,24 = 1230 \text{ m/kg}$. Ganz so gewaltig werden die Dimensionen aber nicht sein brauchen, wenn die im nächsten Abschnitt betrachteten Eigentümlichkeiten und die besondere Wirkung des Vogelflügelprofils in Anwendung kommen.

Es ist sehr bedauerlich, daß die Preisstifter für Segelflüge von den Anforderungen an einen Segelflug nicht unterrichtet waren. Durch die Veranstaltungen der Wettbewerbe im Bergland wird die Aufmerksamkeit der Konstrukteure von dem Kernpunkt völlig abgelenkt. Ein Flug über ebenem Gelände, der sich eine Minute lang in gleicher Höhe hält, ist wertvoller als ein Stundenflug im Hangwind.

Der Segelflug der Vögel.

Als ich 1909 die Entdeckung der größeren Tragwirkung dicker gewölbter Flächen gemacht hatte, glaubte ich, das Geheimnis des Segelfluges gelüftet zu haben. Bei näherer Überlegung fand ich aber, daß ich den Faktor, von dem mein Bruder im „Vogelflug“ schreibt, der die Schnur des Drachens ersetzen kann, also den Rückwärtsdruck aufhebt, ja sogar noch einen geringen Vortrieb äußert, noch nicht gefunden hatte. In meinen Veröffentlichungen über den Auftrieb dicker Flächen habe ich auch nicht gesagt, daß man mit Flächen wie ich zu meinen Versuchen verwendet hatte, schon segeln könne; ich

habe vielmehr hervorgehoben, daß nun der Flügelschlag leicht über einen etwaigen Fehlbetrag hinüberhelfen würde. Mein Hinweis auf die dicken Profile der Segler wäre wohl geeignet gewesen, die Augen der Flugzeugindustriellen zu öffnen und meine Anregungen in die Praxis einzuführen. Wie schon erwähnt, wurden erst mehrere Jahre später dicke Profile von Professor Junkers mit Erfolg verwendet.



Abb. 24. Rotäugiger Albatros im Fluge aufgenommen vom Bord unseres Vermessungsschiffes Niobe. Man erkennt deutlich den wulstigen Vorderrand der Flügel.

Der Flug der Fregattvögel.

Gelegentlich einer Reise nach Brasilien 1911 konnte ich den herrlichen Flug der Fregattvögel über dem Hafen von Rio de Janeiro beobachten. Hierbei lernte ich die Bewegung und Haltung der Flügel, sowie die Windverhältnisse näher kennen,

und es wurde mir klar, daß doch noch etwas unter den Vogelflügeln vorgehen müßte, was man aus Büchern nicht lernen konnte, über das ich mir aber Klarheit verschaffen wollte.

Trotz meiner beschränkten Zeit und dem ermattenden Klima baute ich mir eine Versuchsfläche 80 cm im Quadrat von dem Profil des Fregattvogel- flügels und die erforderliche Versuchseinrichtung (Abb. 21).

Stromlinien-Untersuchung unter vogelartigem Profil.

Die Fläche wurde an einer $4\frac{1}{2}$ m langen Latte befestigt, welche an einer Mittelsäule drehbar gelagert war, so daß wie an einem Rundlauf die Fläche eine Kreisbahn beschreiben konnte. Dabei hatte ich Sorge getragen, die Fläche in beliebigem Anstellwinkel befestigen zu können. Die Fläche sollte immer nur eine Drehung machen, um den störenden Mitwind zu vermeiden. Um hierbei die Bewegung der Luft um die Fläche erkennen zu können, steckte ich kleine um Nadeln drehbare Papierfähnchen auf die Ober- und Unterseite. Abb. 25. Es wurden zeit-

weise jedoch immer nur zwei oder drei Fähnchen angesteckt, um die Strömung nicht zu sehr zu behindern. An den Nadeln war ein kleiner Drahtzeiger angebracht, der von der Fahne vorgedreht wurde, aber seine Stellung dann behielt, wenn beim Nachlassen der Drehbewegung die Fahne eine abweichende Stellung annahm. Die Stellung dieser Zeiger wurde dann in eine Zeichnung eingetragen. Nachdem so nach und nach an allen Stellen der Fläche die Strömung untersucht und in die Zeichnung eingetragen war, ließ sich die Strömungsrichtung aus der Zeichnung leicht erkennen, wie Abb. 25 und 26 zeigen. Um aber auch eine räumliche Anschauung von der Strömung zu erhalten, wurden kleine Stäbe an der Fläche befestigt, an welchen dann wagerecht gerichtete Nadeln mit Fahnen angesteckt wurden.

Die Entdeckung des Widderhornwirbels.

Jetzt wurde es klar, daß über der Fläche die Luft ganz gleichmäßig dem Profil der Oberseite folgt, an der Unterseite war dies nicht so. Schon nach der ersten Drehung des Rundlaufs konnte

ich bemerken, wie die im Anfang nach hinten gerichteten Fähnchen plötzlich ihre Richtung umkehrten und von hinten nach vorn zeigten.

Der Raum, in dem ich die Versuche machte, war ein früherer Schlafsaal der Sklaven gewesen. Ein nach unten offener Dachraum mit Ziegeln gedeckt unter tropischer Sonne machte den Raum zum Brutofen, so daß ich bei der überraschenden Erscheinung des Umwendens der Fahnen gegen die Bewegung glaubte, an einer Sonnenstich-Halluzination zu leiden. Ich rief daher die Mitbewohner des Pensionates herbei, um mich zu vergewissern, recht gesehen zu haben. Die zwölf Herren, Engländer, Amerikaner, Österreicher und Belgier konnten nur meine Beobachtung bestätigen.

Die Abbildungen lassen die Stromlinien deutlich erkennen. Es bildet sich eine Wirbelströmung, wobei die Luft von der Hinterkante der Fläche eintritt. Die Spiralen des Wirbels werden dabei seitlich abgetrieben, weil immer neue Luft von hinten eintritt.

Bei wagerechter Lage der Fläche wird die Wirbelluft vermöge der Zentrifugalwirkung mehr nach dem äußeren Umfang der Kreisbahn entweichen.

Um diese Einseitigkeit zu vermeiden, befestigte ich dann die Fläche senkrecht an dem Dreharm (Abb. 26). Nun entstand eine symmetrische Richtung der Strömung. Die Spiralen winden sich von der Mitte nach beiden Seiten ähnlich wie die Hörner des Widders, weshalb ich die Erscheinung „Widderhornwirbel“ taufte.

Messung des Wirbeldruckes

Ich versuchte dann, wie weit es möglich sei, die Wirbelbildung zu behindern durch Abschließen der Stirnseiten des Profils mit einer Pappscheibe (Abb. 25 und 26). Es hatte dies gar keinen Erfolg, denn die Luft übersprang dies Hindernis. Ganz drastisch ließ sich die Stromwirkung auf einem gespannten Draht unter der Fläche zeigen, auf dem eine kleine Pappscheibe beweglich angebracht war. Stellte man die Scheibe vor Beginn der Bewegung fast an das hintere Ende des Drahtes, so wanderte diese bei einer Bewegung von weniger als 3 m/S bis an das Ende des Drahtes. Wurde die Bewegung aber verstärkt, so bewegte sie sich mit großer Geschwindigkeit nach vorn (Abb. 26). Dies regte

zum Messen des Strömungsdruckes an. Kleine Stauscheiben, welche eine Spiralfeder spannten mit einer entsprechenden Skala zeigten den Druck in der Strömungsrichtung und auch den Druck senkrecht zur Fläche. Hierbei wurde die Wirkung der Zentrifugalkraft des Wirbels auf die Fläche ermittelt.

Die seitliche Strömung.

Die Spaltung des Wirbels nach beiden Seiten ließ mich erkennen, daß dies für den Vogel von ganz besonderer Bedeutung sein müßte. Die Mitte des Flügels nimmt das lange wagerecht liegende Unterarmglied ein. Vom Ellbogengelenk zum Rumpf senkt sich das Oberarmglied schräg abwärts in einem Winkel von 10—15 Grad. Andererseits senkt sich auch die Flügelspitze vom Handgelenk an. Der Neigungswinkel kann vom Vogel verändert werden, erreicht bei schwachen Winden aber auch 10° . Bei starken Winden wird der Neigungswinkel verringert.

Das Vogelmodell.

Ich baute dann ein Vogelmodell von etwa 1,5 m Klafferweite, wie es die Abb. 27 zeigt. Die durch

die Pfeile angedeutete Stromrichtung bestätigt meine Vermutung über den Stromlinienverlauf unter den Vogelflügeln. Bemerkenswert ist die Stellung der Fahnen an der äußersten Flügelspitze. Hier ist das Profil nur ganz wenig hohl. Die Fahnen treten weit nach unten vor, so daß sie keinerlei Deckung gegen den von vorn anstehenden Luftstrom haben. Trotzdem stehen sie rechtwinklig zur Bewegung. Man erkennt hieraus, daß die Längsströmung unter dem Flügel ganz erheblich schneller fließen muß als die Eigenbewegung.

Verstärkung der Wirbelbildung bei negativem Anstellwinkel.

Veränderungen des Anstellwinkels beeinflussen die Wirbelbildung. Sie vermindert sich bei $\pm 0^\circ$ und erhöht sich bis -7° , nimmt dann aber wieder ab. Sichtbar wird dies durch die veränderte Entfernung der Drehpunkte des ovalen Querschnittes. Bei -5° wendet sich die Strömung schon von der Flügelhinterkante nach vorn. Nach dem Erkennen der Strömungsrichtung ist die aërodynamische Wirkung leicht zu verstehen. Tausende haben den

segelnden Vogel beobachtet, darunter sicherlich auch manch ernster Flugforscher, ohne auf den Anstellwinkel der Flügel zu achten. Ich selbst rechne mich zu diesen. Auch mir ist die Flügelhaltung mit negativem Anstellwinkel nicht eher aufgefallen, bevor ich infolge meiner Messungen aufmerksam wurde, daß die Wirbelbildung bei negativem Anstellwinkel sich verstärkt. Man erkennt die negative Stellung ganz deutlich an der Schattenwirkung, wenn der segelnde Vogel bei untergehender Sonne beobachtet wird. Dr. Hankin bestätigt dies.

Wie schon anfangs gesagt, ist der Daumen geeignet, den Vortrieb zu hemmen und somit auch gleichzeitig den Auftrieb zu verringern. Wird nämlich das Daumenglied mit seinen straffen kurzen aber breiten Federn nach vorn vorgestreckt, so fließt ein beträchtlicher Teil der seitlichen Strömung anstatt nach der Spitze, direkt nach vorn. Auf diese Weise verringert sich der Auftrieb, und durch den Vorstrom gegen den anstehenden Wind tritt eine Hemmung der Vorwärtsbewegung ein. Von dieser Wirkung habe ich mich durch besondere Versuche überzeugt. Der Daumen ist die Bremse des Fluges.

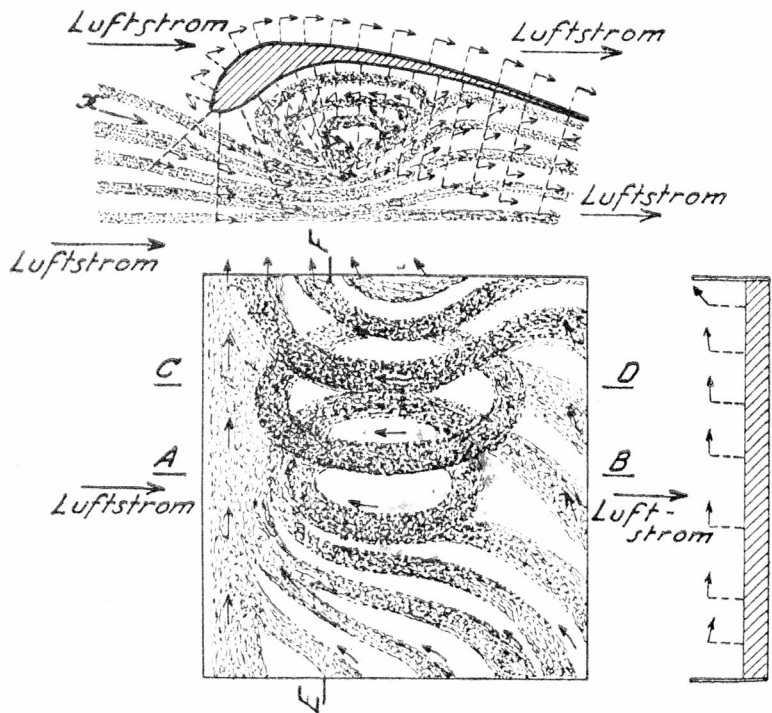


Abb. 25.

Lilienthal, Vom Gleitflug zum Segelflug.

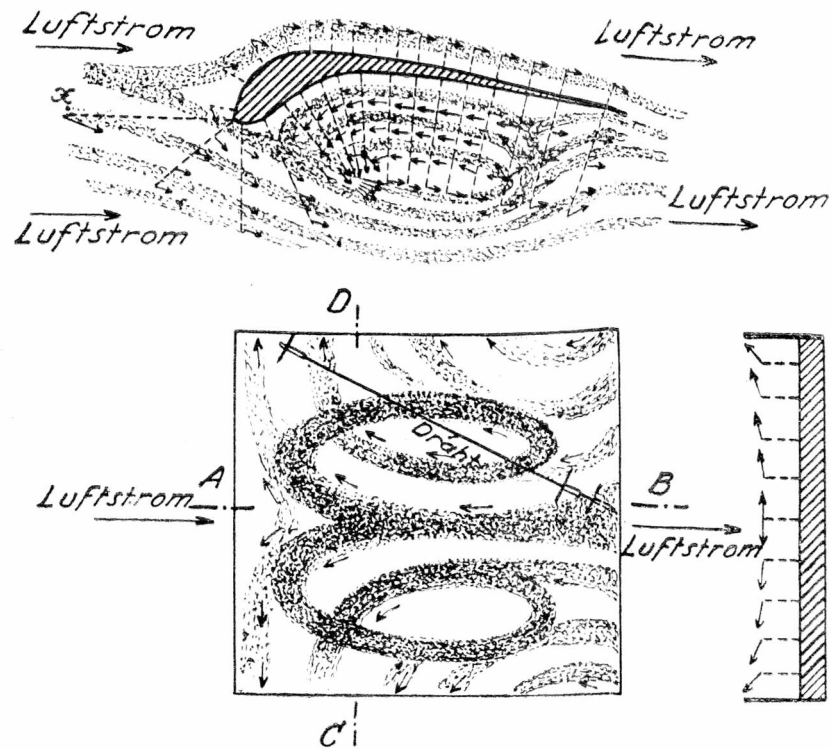


Abb. 26.

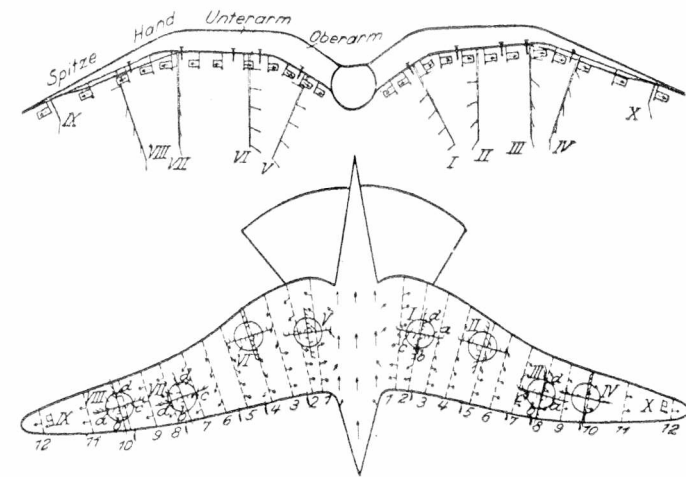


Abb. 27.

Man sieht, daß die Krümmung oder Knickung des Längsprofils für den Segelflug von durchschlagender Wirkung ist. Ich habe mir daher diese Eigentümlichkeit durch D. R. P. schützen lassen. Trotz meiner Veröffentlichungen in der Z. f. F. u. M. 1913 und zahlreicher Vorträge hat noch keine Flugzeugfabrik den Versuch gemacht, diese Entdeckung auszunützen.



Die Beseitigung des Rückwärtsdruckes.

Oberarm und Flügelspitze erhalten einen Auftrieb, der zwar nur annähernd senkrecht zur Flügelfläche wirkt, aber die seitliche Abweichung ist nicht mehr nach hinten gerichtet wie beim Flugzeug, sondern rechtwinklich zum Rumpf, also in der Längsrichtung der Flügel. Diese seitlichen Komponenten der beiden Flügel wirken entgegengesetzt, heben sich daher völlig auf.

„Es bleibt daher der Auftrieb ohne Rückwärtsdruck.“

Der Vortrieb der Flügelmitte.

Im Mittelteil des Flügels, dem Unterarmglied, ist die Strömung hauptsächlich von hinten nach vorn. Die Luft staut sich gegen den wulstigen Vorder- rand des Flügels. Bei den großen Seglern wie den Geiern und großen Möwen heben sich die Armknochen deutlich ab als Relief. Hier findet die Strömung Gelegenheit, Vortrieb zu äußern. Auch der sich aufruhende Federbelag und die Struktur der Federn selbst sind geeignet, durch die feine

Riffelung, die im ganzen Flügelinnern quer zur Strömungsrichtung verläuft, den Vortrieb wirksam aufzunehmen.

Aufrauung der Flügelunterseite.

Beim Schwan (Abb. 28), dessen plumper Rumpf erheblichen Stirnwiderstand erzeugt, sehen wir die drei unteren Deckfederlagen zu schönen Federlocken aufgerollt. Sicher ist dies keine Koketterie, sondern es wird ein gewollter Zweck hierbei verfolgt. Die Federn bilden so drei Barrieren als wirksamen Angriff für die Vorwärtsströmung, um den Vortrieb zu verstärken. Bei segelnden Störchen konnte ich mittelst Fernrohr ein Aufrauhen und Zittern der sekundären untern Deckfedern deutlich erkennen. Ich machte seinerzeit meinen Begleiter auf diese Erscheinung aufmerksam, der sie bestätigte. Es sollte mich nicht wundern, wenn dieses Zittern der Federn den ersten Anstoß zu der sogenannten Zittertheorie gegeben hat, aus der dann leider aber die unsinnigsten Schlüsse gezogen wurden.

Bei Langflüglern habe ich ein Zittern der Federn nicht bemerken können. Beim Albatroß

sind die unteren Deckfedern eben so lang als die Hauptfedern. Bei den starken Winden, in denen diese Vögel segeln, setzt der Wirbel schon von

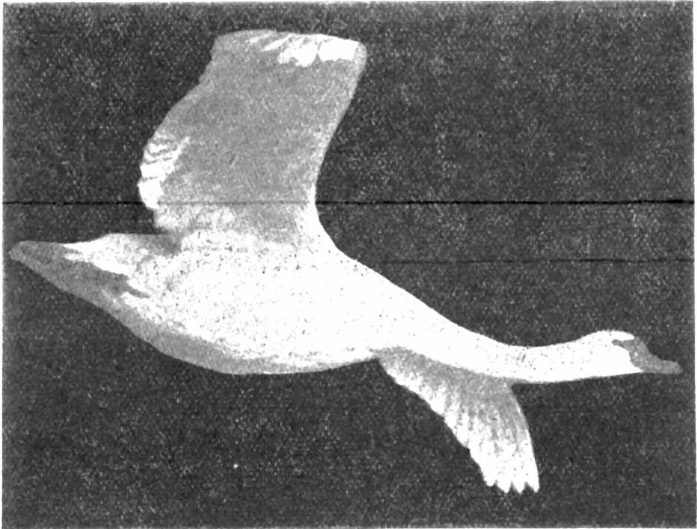


Abb. 28. Schwan. Man erkennt an der Schattierung die aufgerollten Federlocken. Das Original befindet sich im Berliner Museum als ein Meisterstück der Präparierkunst.

der Hinterkante der Flügel an ein, und es findet die Strömung dann zwischen den Federn einen guten Widerstand.

Wer die Unterseite eines ausgestreckten Flügels aufmerksam beobachtet, wird bemerken, daß die Richtung der Riffelung der Federfahne in den verschiedenen Flügelteilen nicht die gleiche bleibt. Am Oberarm haben die unteren Deckfedern eine schräge nach dem Rumpf gerichtete Stellung. Die Fahnenriffelung steht im Winkel von 45° hierzu, so daß die nach dem Rumpf abstreichende Wirbelluft senkrecht zu der Riffelung fließt. Am Unterarm ist die Feder umgekehrt in einem Winkel nach der Spitze zu gerichtet, natürlich mit einem Übergang zwischen beiden Gliedern. Die von hinten nach vorn am Unterarme durchstreichende Luft fließt so wiederum quer zur Riffelung. Unter der Hand und den Schwungfedern tritt eine neue Schwenkung nach der Spitze zu ein, wodurch die Richtung der Riffelung immer wieder quer zur Strömung bleibt.

Die Riffelung der Fahnen unterseits entsteht durch die Aneinanderfügung der feinen Blättchen, aus denen die Fahne besteht, welche an die Lamellen der Pilze erinnern. An der Fahnenoberseite sind die Blättchen durch feine Haare miteinander verfilzt. Die Verfilzung reicht aber nur etwa bis

zu ein Drittel der Fahndicke; es stehen also nach unten die Blättchen in einem kleinen Abstand voneinander. Bei den Straußen haben sich die kleinen Haare zu besonderen Federchen entwickelt, wodurch die Federn einen aufgelockerten wolligen Eindruck machen. Möglich ist es, daß durch diese Auflockerung eine größere Isolierung gegen die Tropensonne bewirkt wird; zum Fliegen sind solche Federn aber nicht mehr geeignet.

Die Federoberseite ist durch die Verfilzung völlig glatt, auch liegt der Kiel oben völlig bündig mit der Fahne, wodurch die oben abfließende Luft möglichst wenig behindert wird.

Meines Erachtens ist die Riffelung der Unterseite ein wesentlicher Faktor zur Aufnahme der Energie aus der bewegten Luftmasse. Um mich hiervon zu überzeugen, stellte ich besondere Versuche an, bei denen ich auch die Wirkung des gebogenen Längs- und Querprofils der Feder im Gegensatz zu einer ebenen glatten Fläche vergleichen konnte.

Die Versuchsobjekte waren eine künstlich aus Papier hergestellte Feder von 1,5 m Länge und 0,3 m

Breite; unter Nachahmung des Längs- und Querprofils einer Schwungfeder. Die deckende Papierlage war in Abständen von 1 cm mit Querrippen besetzt von 1—1,5 cm Höhe. Diese sehr mühsame Arbeit hätte ich in besserer Vollendung mit feinem Cellonstoff an Stelle des Papiers bewirken können. Da mir aber die betreffende Fabrik zu diesen Untersuchungen Cellon nicht unentgeltlich zur Verfügung stellen konnte, mußte ich zum Papier greifen, denn die Kosten des Cellons konnte ich nicht bestreiten. Der Leser mag hieraus erkennen, daß es nicht immer dem Forscher möglich ist, die äußerste Vollendung in seinen Apparaten zu erreichen. Eine gut geleitete Fabrik sollte es sich zur Aufgabe machen, den Studien mit ihrem Material in jeder Weise Vorschub zu leisten, denn nur so kann dem Material neue Verwendungsmöglichkeit geschaffen werden. Im Gegensatz zu der künstlichen Feder wurde eine ebene, glatte Fläche gebaut von derselben Außenform der Feder. Ein drittes Objekt bestand nur aus der Mittelrippe. Alle drei Objekte waren auf eine Drehachse montierbar eingerichtet und mit einem Gegengewicht versehen, so daß sie

im indifferenten Gleichgewicht sich befanden, wenn sie an der Drehachse befestigt waren. Auf der Achse war eine Trommel befestigt zum Aufwickeln einer Antriebsschnur mit Gewichten. Die Lagerung der Achse war auf einem leichten Lattengerüst 4 m über dem Fußboden.

Bei einer Belastung von 4,1 kg legte das Druckzentrum der ebenen Fläche 2,03 sk m zurück. Um für die Feder die gleiche Geschwindigkeit zu erreichen war eine Belastung von 4,740 kg erforderlich. Die Mittelrippe benötigte für dieselbe Geschwindigkeit 0,370 kg. Somit erforderte die Überwindung des Nettoluftwiderstandes der ebenen Fläche $4,100 - 0,370 = 3,730$ kg und bei der Feder $4,740 - 0,370 = 4,370$ kg oder 17 % mehr als die ebene Fläche. Auch hieraus wird man wieder erkennen, wie sorgfältig man den Bau der Vögel zu studieren hat, wenn man beabsichtigt, es den Vögeln gleich zu tun. Die Nachahmung solcher Flügel bietet durchaus keine unüberwindlichen Schwierigkeiten, wird doch keine Mühe gescheut, um aus Hühnerfedern künstliche Straußenfedern nachzuahmen, die doch nur ein eitler Tand sind ohne

weiteren Nutzen. Ist erst das Bedürfnis erkannt, dann hat die Industrie auch noch immer Mittel und Wege gefunden das Bedürfnis zu befriedigen.

In der letzten Zeit während des Krieges war man übrigens auch schon dazu übergegangen, die Tragflächen der Flugzeuge an der Unterseite möglichst rauh zu lackieren; um mehr Tragwirkung zu erlangen. Leider ergibt dies aber auch gleichzeitig verstärkten Rückwärtsdruck, durch den der Vorteil wieder aufgehoben wird. Beim Vogelflügel liegt der Fall günstiger, denn die rauhe Unterseite gibt nicht nur vermehrte Tragwirkung, sondern auch verstärkten Vortrieb.

Versuche in Deutschland; Versuchsstation in Sahlenburg.

Die beschriebenen Versuche in Rio im Freien anzustellen war nicht möglich. Der Hafen ist rings von hohen Felsen umgeben, die an vielen Stellen bis ans Meer heranreichen. Ein normaler Wind ist nirgends anzutreffen. Ich verschob daher weitere Untersuchungen im Freien bis zu meiner Rückkehr nach Deutschland 1913.

Zunächst wiederholte ich die in Rio gemachten Versuche ebenfalls in geschlossenem Raum, aber an einem 15 m langen Rundlaufarm, den ich jedoch nur einen Halbkreis beschreiben ließ. Als Versuchsmodell diente eine Vogelform von 2 m Klafferweite. Die Resultate waren genau wie in Rio de Janeiro. Ich hatte Gelegenheit, diese Versuche Herrn Prof. Dr. Bendemann und seinem Assistenten Herrn Dr. Fuhrmann, sowie Herrn von Tschudi vorzuführen.

Inzwischen war mir von der National-Flugspende und dem Kriegsministerium eine Zubeße zu meinen Untersuchungen bewilligt worden.

Bei Sahlenburg; in der Nähe Cuxhavens, am Strand des Wattenmeeres, wurde eine Versuchstation eingerichtet, bestehend aus einem Arbeitsschuppen und zwei 20 m hohen Turmgerüsten in einem Abstand von 40 m voneinander. Von Turm zu Turm wurde ein starkes Drahtseil gespannt, in dessen Mitte die Versuchsobjekte aufgehängt wurden.

Versuche mit Vogelmodell im freien Wind.

Als Versuchsobjekt diente ein vogelartiges Modell mit verstellbaren Flügeln. Diese wieder

waren mit veränderlichen Profilen ausgestattet. Da es bei diesem Objekt nicht auf leichten Bau, sondern auf möglichste Vielseitigkeit der Formgebung ankam, so erreichte der Apparat das Gewicht von 450 kg bei einer Spannweite von 12 m und einer Flugfläche von 17 qm. Auch der Rumpf ließ sich breit und schmal einstellen. Der Schwanz war adlerartig breit und auch in der Höhenlage verstellbar. In Sahlenburg kam das Modell nur einmal bei 3 m/S Wind zur Aufhängung. Es konnte bei dieser Gelegenheit die Wirbelbildung vorzüglich beobachtet werden, und besonders auffällig war auch unter dem Schwanz ein Rücklauf der Luft an den angesteckten Fahnen sichtbar.

Am 4. August 1914 erschien eine Marine-Abteilung mit Äxten und legte die Türme nieder, da sie als Zielpunkte für englische Kriegsschiffe hätten gelten können.

Die Station Altwarp.

Jetzt hieß es abbauen und ein neues Versuchsfeld aufsuchen. Ich wählte ein Gelände, welches in großer Ausdehnung am Stettiner Haff bei Altwarp, ganz eben, hart am Wasser lag.

Nach acht Wochen waren neue Türme und Schuppen errichtet, der Apparat wieder zusammengesetzt und noch neue Versuchsobjekte hergestellt.

Versuche mit verschiedenen Profilformen.

Aus den Versuchen mit dem großen Vogelmodell ergab sich, daß ein Zanonía-Profil der Flügel erhöhten Rückwärtsdruck erzeugte. Bei Winden bis zu 10 m/S war eine geringe Vorwärtsrichtung der Flügelspitze, wie man solche bei unserer Gabelweihe oft beobachten kann, wirksam. Die angesteckten Fahnen hielten sich genau in der Richtung der Spitze. Bei einem Wind von 12 m/S wurde das über dem Modell angebrachte Richtungssteuer aus der Lotlinie nach hinten gedrückt, das Modell selbst blieb aber senkrecht hängen.

Dies ist um so auffallender, als bei diesem Versuch der Anstellwinkel in Flügelmitte — 10° betrug und an der Flügelwurzel — 20° . Die Flügelspitze lag wagerecht. Für diese Feststellung war eine lotrechte Visierlatte angebracht worden.

Messung des Auftriebs am Vogelmodell.

Bei diesem Versuch bäumte sich das Modell mehrmals vorn auf. Es bedurfte einer Extrabelastung von 30 kg Sand in zwei Eimern, um es einigermaßen in Ruhe zu halten. Durch genaue Untersuchung wurde gefunden, daß der Auftrieb 187 kg betragen hatte. Bei einem mittleren Anstellwinkel von -10° ist dieser Auftrieb außerordentlich groß.

Unter Vernachlässigung des Thermometer- und Barometerstandes erhält eine Fläche von der Größe des Modelles $= 17 \text{ qm}$, wenn sie senkrecht von einem Wind von 12 m/S getroffen wird und unter Einsetzung des von mir unter Ausschaltung des Mitwindes gefundenen Normaldruck-Koeffizienten von 0,1 kg auf 1 qm bei 1 m/S Geschwindigkeit einen Druck von $17 \cdot 12^2 \cdot 0,1 \text{ kg} = 244 \text{ kg}$. Das Modell erhielt also bei einem negativen Anstellwinkel von 10° einen Auftrieb von $\frac{187}{244} = 0,77 \%$ des Normaldruckes. Dies ist ein $\bar{\nu}$ -Wert, den eine dünne gewölbte Fläche erst bei einem Anstell-

winkel von $+5^{\circ}$ erhält; hierbei erfährt sie aber auch einen Rückwärtsdruck $= 3\%$ des Normaldruckes. Bei dem Modell war, wie schon erwähnt, ein Rückwärtsdruck nicht vorhanden. Am 23. 12. wurden diese Arbeiten unterbrochen und im Mai 1915 wieder aufgenommen.

Bestimmung des Druckzentrums.

Es wurde mit Untersuchungen über die Lage des Druckzentrums begonnen, für die später zu den Messungen zu verwendenden Profile. Hierbei zeigte es sich, daß unter stark gewölbten, tropfenartig an der Vorderkante verdickten Flächen nur eine geringe Verschiebung des Druckzentrums mit dem Wechsel der Windgeschwindigkeit eintritt. Es war z. B. möglich, eine Fläche von 3 m Länge und 0,8 m Breite an zwei Drähten die an den Profilenden befestigt waren, völlig im Gleichgewicht aufzuhängen, obgleich der Schwerpunkt beträchtlich weiter rückwärts lag und der Wind zwischen 4—6 m/S schwankte.

Auftriebmessungen an Flächen.

Es wurden dann mit solchen Flächen Druckmessungen im Wind vorgenommen unter verschie-

denen Anstellwinkeln. In nachstehender Tabelle sind die Drucke auf 1 qm reduziert und als Prozente des Normaldruckes angeführt. Sehr auffallend sind hierbei die verhältnismäßig großen Koэффициenten bei schwachen Winden, woraus zu ersehen ist, daß das verwendete, sehr stark gewölbte Profil dem schwächeren Wind mehr angepaßt ist.

Veränderlichkeit des Vogelflügel- profils.

Hierbei muß ich eine Eigenschaft des Vogelflügels hervorheben, die anderweitig noch nie ausgesprochen worden ist. Der Vogel ist im Stande, auf sehr einfache Weise die Wölbung seines Profils nach Bedarf zu verändern und zwar durch Verdrehung der Hauptfedern am Ober- und Unterarm. Diese Federn haben eine weit stärkere Krümmung als unter mittleren Verhältnissen erforderlich ist. Da aber die Federn so im Kiel gedreht stehen, daß die Ebene des Bogens 45° geneigt ist, so kommt als mittlere Lage nur die Projektion der Kielkrümmung in Betracht. Zur Verstärkung der Krümmung wird der Kielbogen mehr gesenkt,

Tabelle II.

Verzeichnis der Größe des gemessenen Auftriebs aus drei Versuchsreihen vom 25. Juni bis 10. Juli 1915. Die mittleren Drucke sind einem Diagramm entnommen. Für den Normalwiderstand ist $K = 0,1$ kg. Fläche 2,45 qm.

Anstellwinkel	mittlerer Auftrieb		mittlerer Auftrieb		mittlerer Auftrieb		mittlerer Auftrieb		mittlerer Auftrieb	
	kg	% des Normaldrucks	kg	% des Normaldrucks	kg	% des Normaldrucks	kg	% des Normaldrucks	kg	% des Normaldrucks
	bei 2 1/4 m/S		bei 3 m/S		bei 4 m/S		bei 5 m/S		bei 6 m/S	
- 22°	0,500	40	0,800	36	1,200	30	1,600	26	—	—
- 19°	0,800	64	1,200	54	1,700	43	2,100	34	—	—
- 14°	1,300	104	1,900	86	2,500	63	3,000	48	—	—
- 9°	1,700	137	2,500	113	3,200	81	3,900	63	4,900	55
- 6°	2,000	161	2,900	131	3,600	91	4,500	73	5,600	63
- 3°	2,300	185	3,220	145	4,000	102	5,000	81	6,300	71
± 0°	2,550	205	3,500	158	4,400	112	5,500	89	6,900	73
+ 3°	2,800	225	3,800	172	4,800	122	6,000	97	7,600	81
+ 9°	3,300	260	4,500	204	5,600	142	7,200	117	8,800	99
+ 17°	3,900	314	5,300	240	6,700	170	8,400	137	10,600	120
+ 25°	4,400	354	6,000	272	7,800	199	9,800	160	12,300	139

Normaldruck für die bezüglichen Geschwindigkeiten

1,24	2,20	3,92	6,12	8,82
------	------	------	------	------

zur Verflachung dagegen noch mehr gehoben. Zu diesem Zweck laufen Bänder über und unter den Kielposen entlang, die durch Muskeln angezogen werden können. Auf dieses Anpassungsvermögen wurde ich erst durch meine Meßresultate aufmerksam.

Ob nicht noch eine andere Profiländerung durch die neben den Flügelknochen liegenden Luftsäcke möglich ist, lasse ich dahingestellt sein. Durch mehr oder minderes Aufblähen derselben könnte die Flügelvorderkante noch mehr oder weniger verdickt werden.

Die Untersuchung hierüber wäre eine schöne Aufgabe für eine Doktorarbeit. Bekannt ist, daß die Luftsäcke mit der Lunge in Verbindung stehen. Man nimmt an, daß sie zur Vorwärmung der Luft dienen. Die Untersuchung über eine etwaige Profilveränderung ließe sich durch Einpressen von Luft in die Lunge eines frisch getöteten Vogels oder in die Öffnung am Schultergelenk des Oberarmbeines anstellen.

Schwierigkeit der Vortriebmessung.

Auf die gleichzeitige Messung des Vor- und Rückwärtsdruckes einer im Winde aufgehängten Fläche

mußte zunächst verzichtet werden. Es ergab sich, daß durch die Unstätigkeit des Windes die Meßgewichte, welche an Schnüren hängen, die über Rollen laufend an der Vorder- und Hinterkante befestigt waren, in eine hüpfende Bewegung gerieten. Es war nur möglich, durch den Augenschein sich zu überzeugen, wie weit die Fläche sich aus der Lotrechten entfernte.

Modelle von Vogelform zeigten solchen Vortrieb (Abb. 29). Es wurde mir gelegentlich entgegengehalten, daß ein beliebiger Gegenstand an einer Schnur im Winde hängend, in pendelnde Bewegung geriete und dann im Moment des Vorwärtspendelns photographiert, den Anschein eines dauernden Vortriebs erwecken würde. Demgegenüber kann ich nur empfehlen hierüber einen Versuch anzustellen, man wird dann finden, daß solche Gegenstände durchaus nicht nach vorn pendeln, sondern sich hübsch hinter der Senkrechten halten, ganz besonders aber wenn sie wie meine Modelle dem Winde eine Fläche darbieten, welche im Verhältnis zum Gewicht ziemlich beträchtlich ist. Dergleichen Einwände beweisen nur, daß man sich mit der Materie überhaupt noch nicht beschäftigt hat und dies nicht eingestehen mag.

Das seitliche Gleichgewicht.

Kleine Vogelmodelle von $1-1\frac{1}{2}$ m Spannweite waren schon im Frühjahr 1915 in Lichterfelde dem

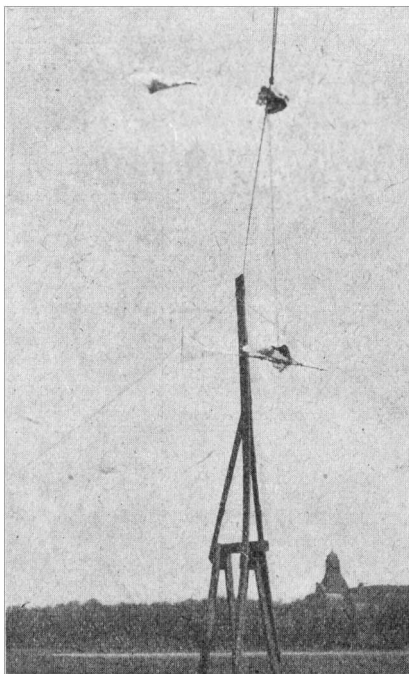


Abb. 29. Vogelmodell an einem Draht in Gleichgewicht hängend bei einem Wind von 8 m/S.

Winde ausgesetzt worden und zeigten bei ihrer Aufhängung an einem einzigen Draht Vortrieb und vorzügliche Gleichgewichtserhaltung (Abb. 29 und 30).

Die seitliche Gleichgewichtserhaltung der großen Modelle war völlig stabil; da hierbei aber der Schwerpunkt sehr tief lag, ist dies weniger auffallend als bei den kleinen Modellen.

Bei dem Versuch mit dem Modell (Abb. 29) ereignete sich ein interessanter Fall. Zur Ausbalanzierung des Schwerpunktes war an der schnabelartigen Verlängerung des Rumpfes eine Schraubenmutter 20 g wiegend angebracht. An dem aufgehängten Modell löste sich zufällig diese Mutter, als plötzlich das Modell

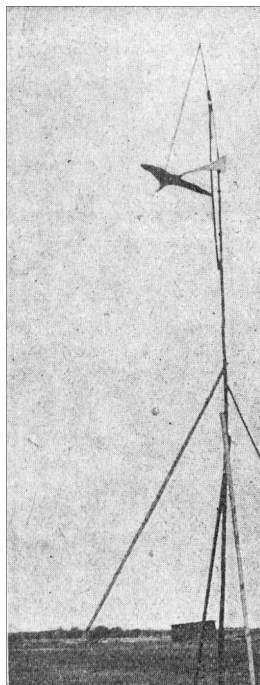


Abb. 30. Vogelmodell an einem Draht in Gleichgewicht hängend bei einem Wind von 8 m/S.

senkrecht aufstieg und sich an dem oben sichtbaren Gipsstück verhäkelt. Dieses Gipsstück diente zum Herablassen des Modelles nach beendeter Versuche. Das in der Abbildung sichtbare seitlich abgetriebene Tuch, wiegt 30 g, das Modell aber mit der Schraubennutter hatte nur noch ein Gewicht von 20 g, da das übrige Eigengewicht durch den Auftrieb ausgeglichen war. Während nun das Tuch trotz geringerer Angriffsfläche für den Wind wagerecht abgetrieben wurde, blieb das Modell nicht nur senkrecht hängen, sondern zeigte noch einen geringen Vortrieb. Das Richtungssteuer des Apparates behinderte den Vortrieb naturgemäß beträchtlich. Die Windgeschwindigkeit war 8 m/S. Abb. 29 zeigt den Vortrieb in verstärktem Maße.

Fortsetzung der Versuche in Altwarp.

Im Spätherbst waren die verfügbaren Mittel verbraucht. Ein Bericht über die geleisteten Arbeiten wurde dem Kuratorium der Flugspende und dem Kriegsministerium 1916 eingereicht. Erst im Sommer 1917 konnte ich durch die Beteiligung zweier Herren neue Versuche in Angriff nehmen.

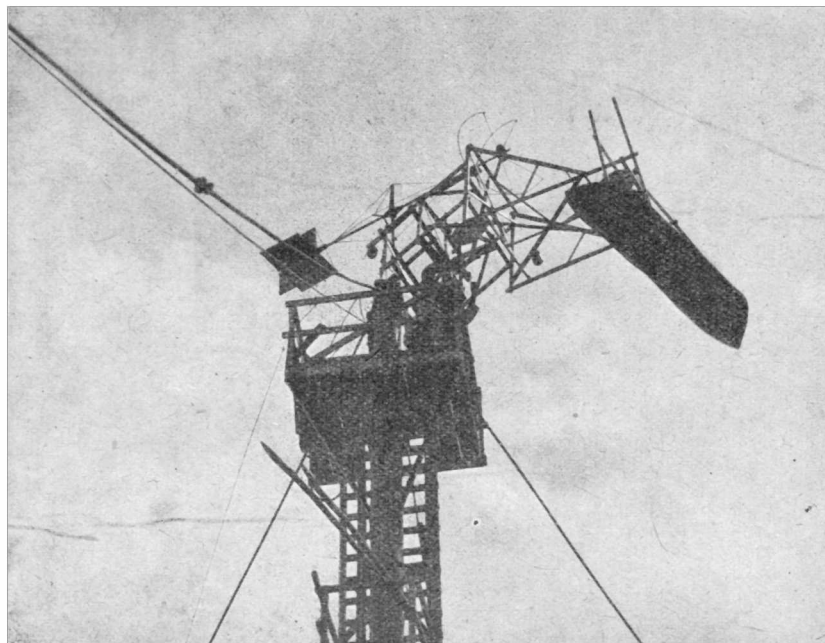
Wieder wurde der Versuchsplatz in Altwarp gewählt. Es wurden zwei neue Türme von 20 m Höhe und ein Arbeitsschuppen errichtet. Es kam hierbei besonders darauf an, den Vortrieb des Windes gleichzeitig mit dem Auftrieb auf die Modelle zu messen, um so die Richtung des resultierenden Druckes festzustellen. Die Apparate hierzu waren folgendermaßen konstruiert.

Meßapparat zur Feststellung der resultierenden Druckrichtung.

Wie aus der Abb. 31 ersichtlich, war an der Ecke der Plattform des einen der beiden Türme ein Pfosten angebracht, der in einer eisernen Spitze auslief, welche die Achse für einen darübergeschobenen Rahmen bildet. An den vier Ecken dieses Rahmens ist je eine Leiste gelagert. Die Enden dieser Leisten sind dann miteinander durch Leisten verbunden, welche auf angebrachte Zapfen gesteckt sind. Es ist auf diese Weise ein verschiebbares Parallelepipedon gebildet, das um die eiserne Achse sich in die Windrichtung stellen läßt. Bei einer Winkelverschiebung bleiben die senkrechten Leisten

immer senkrecht. An den dem Wind zugekehrten senkrechten Leisten sind zwei Dreiecke aus Leisten bestehend befestigt. Die Leisten ragen 3 m vor dem Parallelepipedon vor, und am Ende derselben sind vier Hängeleisten drehbar angebracht. An dem unteren Ende wird dann die Versuchsfläche angehängt. Die Hängeleisten sind nach oben eben so weit verlängert wie sie nach unten hängen, damit sie nicht durch den Wind einseitig beeinflußt werden. Eine Indikatorscheibe ist im Parallelepipedon, eine andere an den Hängeleisten angeordnet. Beide Scheiben werden gleichzeitig durch eine gemeinsame Antriebsschnur gedreht, während Bleistifte darauf die jeweilige Stellung des Parallelepipedons und der Hängeleisten aufzeichnen. Somit ist der Auftrieb und der Vor- resp. Rückwärtsdruck gleichzeitig aufgezeichnet. Der Ausschlag der Bewegung ist vorher durch Gewichtsbelastung tariert worden.

Man sieht auf Abb. 31 oben die kardanisch gelagerte Windfahne, nach deren Richtung der Apparat in den Wind gedreht wird, während eine Person an einem kleinen Haspel die Indikatorscheiben dreht. Die Meßfläche hat eine Länge von



[Abb. 31. Meßapparat zur Feststellung der resultierenden Druckrichtung.

3 m bei 0,8 m Breite. Die Enden der Fläche sind zugespitzt und abwärts gebogen, so daß die Fläche zwei halbe Vogelflügel repräsentiert. Aus der Richtung der Hängeleisten ist der Vortrieb gegen den Wind ersichtlich. Eine Dreidimensionen-Wage wie in der Göttinger Versuchsanstalt ist für diese Zwecke wegen der Schwankungen des Windes nicht verwendbar. Ich bin mir wohl bewußt, daß durch meine Meßvorrichtung keine absolut genauen Resultate zu erreichen sind, sondern nur Mittelwerte. Es war außerdem nötig, nur bei schwachen Winden zu arbeiten, bei dem der Vortrieb sich in beschränkten Grenzen hielt. Es war sogar eine Hubbegrenzung angebracht, die die Vor- resp. Rückwärtspendelung der Fläche nur bis zu 10^0 zuließ. Bei einer größeren Abweichung von der Lotrechten würde der Auftrieb die Abweichung entsprechend verstärkt haben. Ganz ließ sich dieser Einfluß bei der Anordnung nicht vermeiden, jedoch sehr verringern.

Gleich beim Beginn der Versuche stellte es sich heraus, daß die Anbringung der 2,4 qm großen Fläche bei einem Wind von 5 m/S mit Lebensgefahr verbunden war, selbst mit Hilfe von zwei Assistenten.

Die Abweichung der Fläche aus der Lotlinie um 1° entsprach einem Zuge von 80 g. Die Auftriebskala war durch direkte Belastung einer Spiralfeder die durch Winkelverschiebung des Parallelepipeds gespannt wurde, festgestellt.

Die Richtung der Resultierenden.

Die hergestellten Diagramme zeigten als Resultante von Auftrieb und Vortrieb eine Druckrichtung $4-6^\circ$ nach vorn. Bei Entfernung der Hubbegrenzung ist es wiederholt beobachtet worden, daß die Versuchsfläche so stark vorgetrieben wurde, bis die Hängeleisten fast wagerecht lagen.

Aus den aufgenommenen Diagrammen erkennt man deutlich die Schwankungen des Windes, die sekundlich eintraten.

Bei der Größe der Versuchsmodelle entsteht trotz der verhältnismäßig groben Ausführungsart eine nicht geringere Genauigkeit, als wenn, wie bei Laboratoriumsversuchen, mittelst Feinmechanik hergestellte Objekte von Kartenblattgröße angewendet werden.

Der nachgewiesene Vorwärtszug.

Aus dem Ergebnis dieser Versuche geht klar hervor, daß Flächen von dem Flügelprofil der Segler

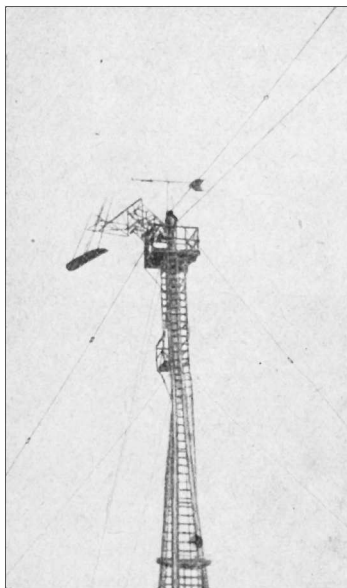


Abb. 32.

zeigt die Anordnung des Versuches auf einem der Türme. In dem dargestellten Fall ist die Hubbegrenzung beseitigt.

Aus der Schrägstellung des Parallel-epipedons ist der Auftrieb erkennbar, während die Fläche gleichzeitig sich gegen den Wind bewegt.

und der Länge nach gekrümmt gegen den Wind sich bewegen ohne Höhenverlust. Bei jeder Auffrischung des Windes war stets eine Verstärkung des Auftriebes und Vortriebes ersichtlich. Ein Anschlagen an die Hubbegrenzung verursachte dann meistens einige Rückstöße, die aber gleich wieder vom Vortrieb beseitigt wurden.

Diese Versuche wurden bei teilweise bedecktem Himmel und nicht sehr starker

Sonnenwärme gemacht. Die Windfahne zeigte während der Momentaufnahme keinen besonderen Auftrieb, sondern schwankte wenig um die Horizontale. Besonderer Wärmeeuftrieb ist daher nicht bemerkbar.

Großes Vogelmodell mit starkem Auftrieb.

Ein Vogelmodell von 17,5m Spannweite (Abb. 33), das mit Bemannung 365 kg wog, erhielt bei einem Wind von 5 m/S und einem Anstellwinkel von $\pm 0^\circ$ in Flügelmitte einen Auftrieb von 145 kg, denn die in die Aufhängung eingeschaltete Federwage zeigte nur 220 kg Spannung während des Versuchs. Die an das Modell angesteckten Fahnen haben die Größe eines Quartblattes und sind dem Wind von vorn ungedeckt ausgesetzt, trotzdem stehen sie quer zur Windrichtung vermöge der Längsströmung unter der Flügelspitze.

Das Hängeseil läuft oben über eine Rolle, von dort zu einem der Türme wieder über eine Rolle und dann herab zu einer starken Winde, so daß man das Modell beliebig auf und nieder lassen konnte. Ein viereckiger Rahmen wird von dem Seil

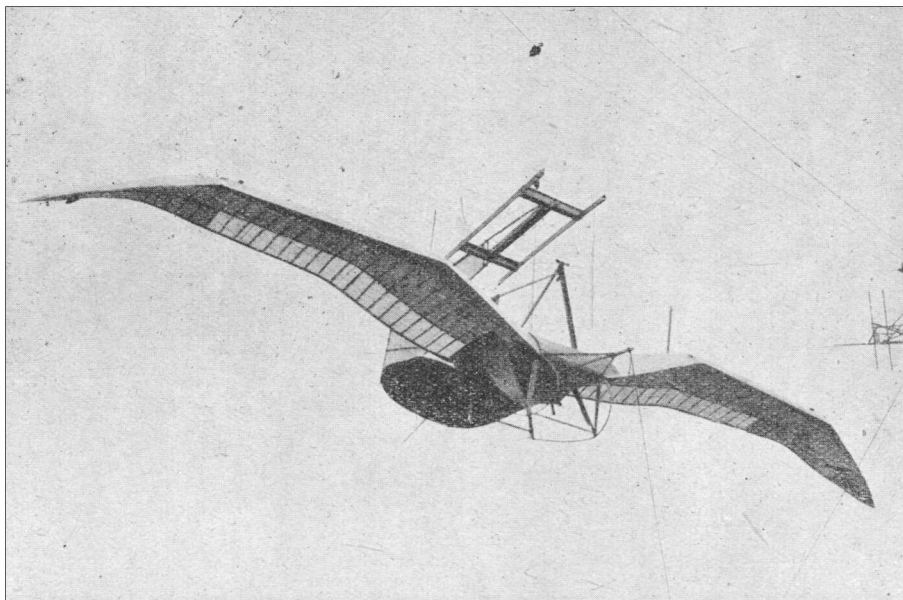


Abb 33 Großes Vogelmodell

in der Mitte gefaßt, während an den vier Ecken des Rahmens das Modell aufgehängt ist. Durch diese Anordnung war das Modell völlig beweglich nach vorn und hinten sowie seitlich. Der Rahmen war mit einer kräftigen senkrechten Steuerfläche versehen um das Modell immer quer zum Wind zu halten. Unter dem Modell sieht man ein leichtes Fußgestell. In dem Rumpf kann eine Person bequem Platz nehmen. Die Höhenstellung des Schwanzes kann von der Person gelenkt werden, auch konnte dieselbe den Flügeln eine Verdrehung geben. Durch Visierpunkte und Beobachtung des Wasserhorizontes ließ sich der Anstellwinkel bestimmen. Die Flügel sind völlig freitragend gebaut; das sichtbare Gestänge dient zur Verdrehung der Flügelspitzen.

Bei den Versuchen wurde wieder die Umkehr der Stromlinie unter dem Schwanz festgestellt.

Das Segel, die doppelte Höhlung der Breitflügler.

Die großen Breitflügler wie z. B. Marabu, Adler und Lämmergeier, haben noch eine besondere Verstärkung der Wirbelbildung zur Verfügung. Bei ihnen

ist die Haut, welche zwischen der großen Vordersehne und dem Flügelknochen gespannt ist, nach Feststellung des Geh. Sanitätsrat Prof. Dr. Sommer in Gießen mit zwei Muskelsträngen durchzogen, wodurch die Haut, das Segel genannt, mehr oder weniger gestrafft werden kann. Bei den genannten Vögeln ist das Segel während des Fluges gehöhlt, so daß die Flügelknochen sich, von unten gesehen, deutlich abheben. Hierauf hat zuerst der Flugforscher Dr. Hankin in seinem Buch „Animal flight“ aufmerksam gemacht. Ich habe dann die aërodynamische Wirkung des Segels untersucht. Bei einem Modell mit dem Profil Abb. 34¹⁾ fand ich, daß angesteckte Fahnen eine besondere Wirbelbildung unter dem Segel erkennen ließen. Durch die beiden Muskelstränge im Segel ist der Vogel imstande, die Wölbung zu ändern und dadurch die Wirbelbildung zu beeinflussen, was zur Erhaltung der Gleichgewichtslage sehr wertvoll sein kann. Außerdem wird durch den vorderen Wirbel die Luft für den hinteren Wirbel aus einer tieferen Lage herangezogen, also effektiv eine größere Luft-

¹⁾ DRP. Nr. 348 054.

menge mit den Flügeln in Kontakt gebracht. Der hintere Wirbel erhält auch so eine größere Dicke, wodurch Auftrieb und Vortrieb verstärkt werden.



Abb. 34.

Seitenansicht eines Condors mit Querschnitt durch den Flügel im Oberarm. Die punktierte Linie unter der vorderen Höhlung zeigt die Veränderung der Höhlung des Segels durch die erwähnten Muskelstränge.

Die Stellung des Schwanzes bei A zeigt die mittlere Gleichgewichtslage. Durch die Stellung bei B wird die Wirbelbildung unter dem Schwanz verstärkt, wodurch mehr Auftrieb unter dem Schwanz entsteht, und die Längsachse des Vogels hinten gehoben wird. Umgekehrt verringert sich die Wirbelbildung bei Senkung des Schwanzes nach C. Der Vogel senkt sich dann hinten wegen des verminderten Auftriebs. Diese von mir 1913 experimentell festgestellte Wirkung fand ich später durch Dr. Hankins Beobachtungen bestätigt. Hankin hebt dabei noch besonders hervor, der Vogel steuere seine Lage genau in umgekehrter Weise wie das Flugzeug. Meine Wirbeltheorie gibt also auch hierfür die Erklärung. Durch die Änderung der Höhlung des Segels kann die Schwanzwirkung entsprechend noch verstärkt werden.

Behinderung der Versuchsarbeiten.

Aus Mangel an Hilfsmannschaften konnte mit dem großen Modell nur bei Wind von 5,5 m/S gearbeitet werden. Da bei diesem Wind noch 220 kg ungehoben blieben, so war ein sichtbarer Vortrieb nicht zu erwarten. Um die Richtung quer zum Wind zu halten, war eine große senkrecht stehende Steuerfläche angebracht, welche in den Abbildungen fast ganz verdeckt erscheint. Diese Steuerfläche erhielt naturgemäß einen beträchtlichen Rückwärtsdruck. Ein Segelflugzeug mit einem Flieger bedarf eines solchen Steuers nicht, denn die Verstellbarkeit des Anstellwinkels muß ebenso wie beim Vogel die richtige Lage zum Wind ermöglichen lassen.

Vergleich des Auftriebs zum Normaldruck am großen Modell.

Das Modell hatte in Flügel und Schwanz eine Flugfläche von 30 qm. Der Auftrieb durch 5,5 m/S Wind betrug 145 kg. Würde die Flugfläche senkrecht von unten von einem Luftstrom von 5,5 m/S getroffen werden, so betrüge der Auftrieb unter normaler Temperatur und Luftdichte $30 \cdot 5,5^2 \cdot 0,1 = 90,6$ kg.

Da der gemessene Auftrieb aber 145 kg betrug, so war er 155 % des Normaldruckes. Dies entspricht annähernd dem Prozentsatz, den die weit stärker gewölbte Versuchsfläche aus der Tabelle II bei 3 m/S Wind erhielt. Man erkennt hieraus unschwer, daß die Wölbung des Profils der Strömungsgeschwindigkeit angepaßt sein muß. Technisch wäre dies unschwer durchzuführen.

Anderweitige Bestätigung der Wirbelbildung.

Unter den von mir zusammengetragenen Beobachtungen, Erfahrungen und Erwägungen ist vieles auch von anderen Forschern ausgesprochen worden, wenn auch häufig in anderer Auffassung und ohne Einfügung in ein Ganzes. Manch guten Gedanken und richtige Beobachtung kann man selbst in alten Veröffentlichungen finden, wenn auch nur vereinzelt Ganz besonders möchte ich die Versuche hervorheben, welche Wenzel Kotzauer in Wien¹⁾ in einer

¹⁾ Die Luftschiffahrt der Zukunft, Wien 1895, Spielhagen & Schurich.

Broschüre veröffentlichte. Kotzauer hat an Fäden unter einer gewölbten Fläche das Vorhandensein eines Wirbels festgestellt und zieht hieraus den ganz richtigen Schluß, daß hierdurch der Stirnwiderstand vermindert wird. Leider hat die Beobachtung von Fäden ihm keinen Aufschluß über die räumliche Richtung der Strömung gegeben, welche mir durch die Fahnenbewegung nach zwei Raumdimensionen gelang. Ich habe schon früher das Vorhandensein eines Wirbels hinter scharfen Kanten gekannt, und auch anderen wird dies aufgefallen sein, der richtige Schluß über die Bedeutung durch Kotzauer ist durchaus anzuerkennen. Auch der Armenier Ballachani veröffentlichte eine Broschüre, in der er einen Wirbel hinter dem Vorderrand der Flügel nachweist. Unglücklicherweise führen ihn seine mangelhaften Versuche auf eine falsche Fährte. Er glaubt nämlich durch einen zweiten Wirbel am Hinterrand der Flügel in entgegengesetzter Drehungsrichtung eine wertvolle Entdeckung gemacht zu haben und übersieht, daß, wenn ein solcher Wirbel vorhanden wäre, die Wirkung des vorderen Wirbels aufgehoben würde.

Von der seitlichen Abtrift der Wirbelluft hat weder Kotzauer noch Ballachani eine Kenntnis erlangt. Eine klassische Bestätigung für meine Wirbeluntersuchung ist mir in dem schon vorher erwähnten Dr. Hankin gegeben worden. Hankin schreibt mir: „Inbezug auf Ihre Entdeckung des Widderhornwirbels unter dem Vogelflügel scheint mir eine Beobachtung, die ich vor einiger Zeit machte, eine Bestätigung zu geben. Eine kleine Feder, die in der Luft schwebte, konnte von mir bemerkt werden als sie direkt unter den Flügel einer segelnden Weihe passierte. Sie wurde sofort seitlich unter dem Flügel herausgeschossen mit fast explosibler Gewalt bis zu 3 oder 4 m Entfernung von dem Vogel.“

Eine bessere Bestätigung als von diesem hervorragenden Vogelbeobachter konnte ich mir nicht wünschen. Die seitliche Abtrift der Wirbelluft mit ihrer wundervollen Hebewirkung ohne Rückwärtsdruck ist hierdurch dokumentiert.

Während viele deutsche Aërodynamiker bei der Erklärung des Segelflugs ebenso wie Langley einen Flug entgegen dem Wind zugrunde legen und eine andere Richtung zum Wind überhaupt nicht in

Betrachtet ziehen, befindet sich der Vogel vermöge der aufwärtstreibenden Richtung des Windes in einem im allgemeinen sich nach oben bewegenden Medium. Dieser natürliche Auftrieb kommt ihm daher zu statten, gleichviel in welcher Richtung zum Winde er sich bewegt. Seine Flugrichtung wird

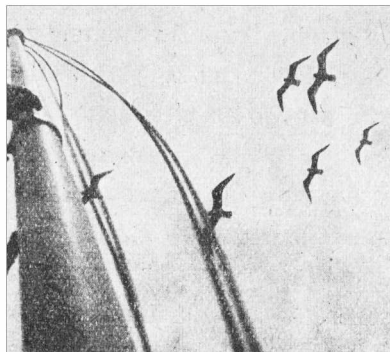


Abb. 35 Möwen mit Seitenwind dem Schiff folgend, dessen Fahrtrichtung aus der Stellung der hinteren Flaggenstange zu erkennen ist. Aus der Lage der Seile ersieht man die Richtung des Windes.

jedoch immer so sein, daß seine Eigenbewegung mit der Richtung des Windes kombiniert die Längsachse seines Rumpfes bildet, so daß er den Luftstrom genau von vorn verspürt. Segelt der Vogel in der Windrichtung, so wird er nicht etwa, wie Lord Raleigh noch annahm, von hinten vom Wind getragen und geschoben, sondern er überholt den

Wind, so daß er die Luftströmung wieder von vorn verspürt.

Beendigung der Versuche.

Der Ausbruch der Revolution machte den Arbeiten ein Ende. Bei einer Reise nach Berlin wurde ich durch die Bahnstörung an der Rückreise mehrere Wochen lang verhindert und fand dann den Arbeitsschuppen erbrochen, Instrumente und Werkzeuge sowie einen großen Teil der Halteseile der Türme gestohlen. Die noch zur Verfügung stehenden Mittel reichten gerade hin, um das erlangte Beobachtungsmaterial systematisch zu ordnen.

Künstliche Flächen als Ersatz der Vogelflügel.

In mehrfacher Weise bedürfen die Meßresultate noch Ergänzungen und Erweiterungen, immerhin läßt sich erkennen, daß künstliche Flächen von Vogelflügelform die charakteristischen Eigenschaften für den Segelflug besitzen d. h. vom Wind starken Auftrieb und beschleunigenden Vortrieb erhalten.

Apparate dieser Art haben weder an den Rhönflügen noch in Frankreich und England an Segelflugwettbewerben teilgenommen. Keine der dortigen Flugversuche wurden über ebenem Gelände ausgeführt, wie meine Experimente.

Nutzen der Segelfähigkeit.

Es drängt sich nun die Frage auf, welche Nutzwirkung würden wir durch Erwerbung der Segelfähigkeit erzielen? Ziemlich sicher könnte sich ein hochinteressanter Sport dadurch herausbilden ähnlich dem Wassersegelsport. Bei genügend starkem Wind und bei günstig angelegten Abflugstellen würde man sich erheben können und weite Strecken zurücklegen. Ein regelrechter Verkehr würde sich nicht entwickeln lassen. Zwischen dem Segler der Luft und dem Wassersegler ist doch ein erheblicher Unterschied. Das Segelboot kann auch den schwachen Wind benutzen, der Luftsegler dagegen muß bei ungenügendem Wind den Flug aufgeben oder kann ihn schon gar nicht beginnen.

Segelflug mit Hilfsmotor.

Man wird einwenden, daß ein Hilfsmotor mit Schraube den fehlenden Wind ersetzen könnte. Dies ist möglich. Das Arbeitsbedürfnis könnte sogar durch Menschenkraft ergänzt werden. Bei Windstille oder ganz schwachem Wind würde die Menschenkraft nicht genügen, sondern es würden 5 PS erforderlich sein. Tote Windstille ist aber äußerst selten, und wenn die Sonne dabei scheint, kann man auf aëro-statischen Auftrieb rechnen.

Schraube oder Flügelschlag.

Es wäre dann zu erwägen, ob der Schraubenvortrieb oder ein anderes Vortriebsmittel wie etwa der Flügelschlag wirksamer wäre.

Der Flügelschlag nach Vogelart entspricht erwiesenermaßen dem Zweck, weil dadurch die Wirbelbildung nicht beeinträchtigt wird. Wie weit die Schraube diesen Anforderungen entspricht, entzieht sich der Beurteilung, weil keine Erfahrung vorliegt.

Vorteil des Flügelschlags.

Wie ich in der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt Nr. 21, 22 1915 nachgewiesen

habe, ist der Flügelschlag weniger kraftverbrauchend als die Schraubendrehung bei gleichem Vortrieb, ob aber die Konstruktion für den Flügelschlag komplizierter und schwerer ist als der Schraubenantrieb ist noch zu beweisen.

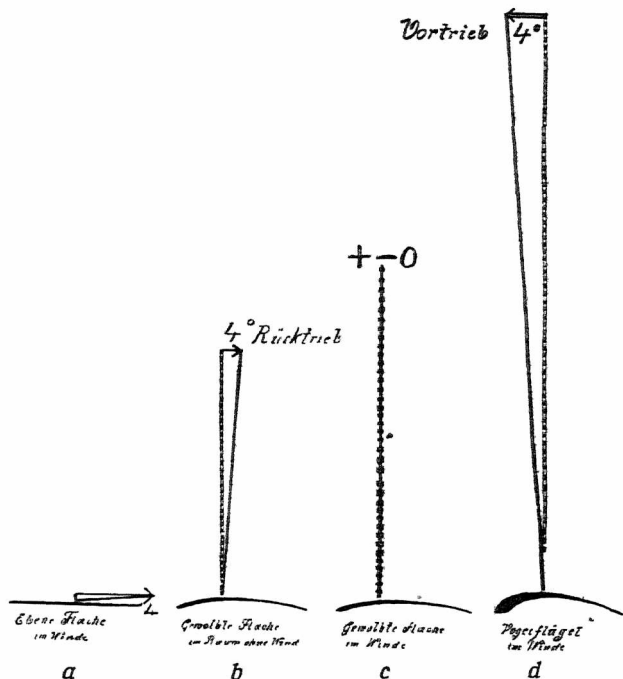
Einen wesentlichen Vorteil bietet der Flügelschlag durch die leichtere Gleichgewichtsherstellung im Fall starker Turbulenz, wenn man ungleiche Flügelschläge ausführen kann.

Diese Erwägungen kommen aber erst in zweiter Linie. Ist erst der wirkliche Segelflug erreicht, werden sich auch die Mittel finden lassen, über die Flauten herüber zu kommen. Man wird mit mehr Vertrauen im Vogelflug endlich das Vorbild suchen und durch Vertiefung des Studiums des Vogelfluges Ehrfurcht vor dieser höchsten mechanischen Leistung erlangen.

Vergleich der Größe und Richtung des Luftwiderstandes auf wagerecht gelagerte Flächen.

Unter Annahme einer gleichen Geschwindigkeit und gleicher Flächengröße sind in der graphischen

Abb. 36. Graphische Darstellung des Luftwiderstandes bei gleicher Geschwindigkeit der Bewegung von Flächen gleicher Größe aber verschiedenem Profil. Die Längen der Linien



entsprechen der Größe des Luftwiderstandes, die angezeichneten Pfeile der Richtung und Größe der wagerechten Komponente. Die Strömung der Luft ist von links nach rechts angenommen.

Darstellung (Abb. 36) die Größen und Richtung der Druckresultanten dargestellt. Zurzeit als eine staatliche Kommission unter dem Vorsitz von Prof. Helmholtz sich über die Möglichkeit des Menschenfluges durch Menschenkraft äußerte, galt für die Berechnung des Luftwiderstandes derjenige Druck, welchen eine ebene Fläche bei der Bewegung in luftruhigem Raum erfährt. Bei wagerechter Lage erhält die Fläche dann nur einen Rückwärtsdruck, der sich aus dem Widerstand der Vorderkante und der Reibung der Luft an der Fläche ergibt. Die Größe dieses Druckes sei durch die punktierte Linie der Abb. 36a dargestellt, nur liegt diese Linie dann in der gleichen Richtung wie die den Flächenquerschnitt darstellende Linie. Es ist daher kein Wunder, daß die Kommission zu dem Schluß kam, es würde dem Menschen niemals möglich sein, mit eigener Kraft zu fliegen.

Durch unsere Untersuchungen über die Wirkung des Windes auf eine frei bewegliche ebene Fläche, die im „Vogelflug“ 1889 veröffentlicht wurden, fanden wir, daß die ebene Fläche in einem Winkel von 4° nach oben gedrückt wird. Dies ist in Abb. 36a dargestellt.

Abb. 36b zeigt die Größe und Richtung der resultierenden Drucklinie, welche eine gewölbte Fläche erhält, wenn sie in luftruhigem Raum bewegt oder, wie im Windkanal der Laboratorien von einem gleichmäßig geführten Luftstrom getroffen wird. Die Richtung der Drucklinie weicht dann um 4° Grad nach rückwärts von der Lotlinie ab.

Wird dieselbe Fläche dagegen einem Wind von derselben Geschwindigkeit ausgesetzt, so vergrößert sich der Druck, und die Richtung wird genau senkrecht, deckt sich also mit der Lotlinie (Abb. 36c).

Auf Grund dieser Entdeckung begründet sich die Möglichkeit des Fliegens mit gewölbten Tragflächen.

Die Arbeitsleistung zur Erzeugung des Vortriebs war so vermindert worden, daß durch den glücklichen Umstand der bald darauf erfolgten Konstruktion wirkungsvoller leichter Explosionsmotore den Gebrüdern Wright die Möglichkeit gegeben war, den aktiven Menschenflug auszuführen. Sie erreichten dies durch den Schraubenvortrieb und geschickte Anordnung der Flächenverwindung zur Erhaltung des Gleichgewichts.

Meine weiteren Arbeiten mit vogelflügelartigen Profilen unter Erzeugung des Widderhornwirbels haben eine weitere Verbesserung der Druckrichtung und Größe des Luftwiderstandes ergeben (Abb. 36 d).

Während bei c die Drucklinie senkrecht liegt, daher der nach hinten gerichtete Luftwiderstand des Rumpfes, des Gestänges und der Steuerungsflächen noch überwunden werden muß, außerdem aber der Auftrieb noch nicht genügt, wenn die Tragflächen wagerecht liegen, so müssen diese in einem Winkel von mindestens 5° vorn angehoben werden. Die Hebewirkung vergrößert sich dadurch, aber die Druckrichtung weicht dann auch von der Senkrechten um 4° ab und es entsteht eine nach rückwärts gerichtete Druckkomponente von zirka 7% des Auftriebs. Die Überwindung dieses Rückwärtsdruckes ist der Hauptkonsument der Motorleistung.

Dieser Arbeitsverbrauch ist durch die Verwendung des vogelflügelartigen Quer- und Längsprofils durchaus beseitigt. Der erhöhte Auftrieb gestattet die wagerechte Lage der Flügel, ja die Verhältnisse verbessern sich noch etwas bei kleinen negativen Anstellwinkeln von $3\text{--}5^\circ$. Ein mit solchen

Flügeln ausgestattetes Flugzeug wird nicht nur im Hangwind, sondern auch über ebenem Gelände, über der See und in großen Höhen segeln.

Die Aussichten für den Schlagflügel- apparat.

Die Erhöhung des Luftwiderstandes durch die federartige Struktur ist auch für den Bau von Schlagflügelapparaten von allergrößter Bedeutung. Die Schlagbewegung der Flügel beeinträchtigt die Wirkung des Widderhornwirbels nicht im geringsten; von der Erzeugung des Vortriebs durch die Schraube läßt sich dies nicht mit Sicherheit behaupten. Der Flügelschlag erzeugt durch die hierbei eintretende Schrägstellung der Schwungfedern Vortrieb neben dem Auftrieb. Wie wir schon 1889 nachgewiesen haben, erhöhte sich der Luftwiderstand der sich hin und her bewegenden Fläche gegenüber einer sich gleichmäßig nach einer Richtung bewegenden ganz außerordentlich. Da die Wiedergabe der Einzelheiten der Schlagwirkung den Rahmen des Themas überschreitet, sei auf die unten angegebenen Ver-

öffentlichungen hingewiesen¹⁾). Ohne Berücksichtigung dieser Druckvermehrung ist der Aufflug der Vögel bei Windstille völlig unerklärlich. Zieht man die Schlagwirkung dagegen in Rechnung und auch die besondere Wirkung des Federkleides, so kommt man zu dem Schluß, daß die Nachahmung des Ruderfluges durchaus keine Utopie ist.

Durch meine neueren Untersuchungen wurde die Bedeutung der Oberflächengestaltung der Flügel festgestellt. Diese erhöht den Luftwiderstand um weitere 17 0/0 gegenüber der Verwendung glattgespannter Flächen. Es ist dies nicht nur für den Segelflug von Bedeutung, sondern in gleicher Weise auch für den Flügelschlag. Man sieht auch hierin wieder einen Hinweis auf die Bedeutung der Einzelheiten der Vogel-anatomie und man staunt, mit welcher Leichtfertigkeit Konstrukteure mit dem Bau von Flugzeugen zu Werke gegangen sind. Die uns heute zur Verfügung stehenden Materialien, Aluminium, Zelluloid und besonders Zellon gestatten die Herstellung künstlicher Federn sehr wohl.

¹⁾ „Der Ruderflug der Vögel“, Vogelschutz-Verlag in Berlin-Lichterfelde Ost.

Mit welchem Arbeitsverlust der Schraubenantrieb arbeitet, ergibt sich aus einer einfachen Betrachtung. Die schräge Fläche der Schraubenflügel erzeugt einen Zug nach vorn und einen Widerstand in der Drehrichtung. Letzterer ist toter Verlust, da bei dem gegenüber liegenden Schraubenflügel der Widerstand genau entgegengesetzt gerichtet ist. Beim Flügelschlag ist ein derartiger Verlust ausgeschlossen. Die Schlagbewegung erzeugt Vortrieb und Auftrieb gleichzeitig für beide Flügel. Es wird nun gegen die Schlagbewegung der Einwand erhoben, daß die hin- und hergehende Bewegung gegenüber der drehenden Bewegung mit einem Arbeitsverlust infolge der Trägheitsüberwindung der Masse verbunden sei. Dieser Einwand ist insofern hinfällig, als beim Niederschlag der Flügel die Massenbewegung zum freien Auslauf kommt, und dann der Aufschlag durch die Aufdrehung des Flügelprofils nicht nur keine Kraft erfordert, sondern vermöge der Vorwärtsbewegung noch ein hebender Überschuß vorhanden ist. Hierdurch erklärt es sich auch, weshalb der Muskel für den Flügelaufschlag der Vögel von so geringem Querschnitt gegenüber dem Brustmuskel ist.

Ein Segelflugzeug mit beweglichen Flügeln wird das Endergebnis der flugtechnischen Bestrebungen der Zukunft sein.

Schlusswort.

Sollten diese Ausführungen auf fruchtbaren Boden fallen, würde eine Vereinigung meiner Anhänger und ganz besonders interessierter Flugzeugfabrikanten und Materiallieferanten sehr wohl die Möglichkeit haben, diese Theorien in die Praxis einzuführen. Dies geschähe am besten durch Bildung einer Studiengesellschaft zur Erforschung des Vogelfluges und Ausnutzung der Resultate nach folgendem Arbeitsprogramm:

Errichtung eines Flugplatzes auf ausgedehntem ebenen Gelände oder an flacher Küste, wo die herrschenden Ost- und Westwinde ungehinderten Zugang haben.

Haltung möglichst großer, jung gezähmter Vögel wie Storch, Kranich, Trappe und Raben oder wenn irgend möglich des leicht zähmbaren Urubu, zum Studium der Flügelbewegung unter kinematographischer Aufnahme.

Aufnahmen verschieden geformter dem Winde ausgesetzter Meßflächen.

Herstellung motorloser Apparate starr oder mit teilweiser Flügelbewegung sowie Einstellung verschiedener Neigungswinkel.

Studien über den Einfluß eines vogelartigen Schwanzes und des Segels.

Untersuchungen über die Gleichgewichtserhaltung und Bestimmungen über die Schräglage.

Untersuchungen über eine mechanische Änderung des Querprofils und Verdickung der Vorderkante.

Gleitversuche von mäßig erhöhter Abflugstelle auf ebenem Gelände bei verschiedenen Windstärken mit starren und beweglichen Flügeln.

Studien über die Wirkung von Flügelschlägen bei verschiedenen Windstärken.

Da es sich im wesentlichen um neue Flügel- und Schwanzformen handelt, müssen anfänglich die Versuche und die Ausbalanzierung an frei hängenden Apparaten vorgenommen werden zur Vermeidung von Bruch.

Stromlinienuntersuchungen mit kinematographischen Aufnahmen.

Studien über die unterschiedliche Wirkung verschiedener Windrichtungen, Barometerstand sowie von Sonnenschein und Wolkenschatten.

Versuche über die Wirkung der Oberflächenstruktur und Materialstudien.

Versuche über die Herstellung künstlicher Federn.

Vergleicht man diese Anforderungen mit denen, welche in anderen Zweigen mechanischer Wissenschaft bereits bestehen, wird man sie für sehr gemäßigt halten.

Was bisher in dieser Beziehung geschah, könnte nur der Anfang zu weiterer Erforschung sein. Ich hoffe durch meine Ausführungen die Gewißheit verschafft zu haben: es sind nur einfache physikalische Vorgänge, die den Ruder- und Segelflug ermöglichen.

Wenn die in diesem Buch niedergelegten Versuchsergebnisse von der Flugtechnik in gleicher Weise aufgenommen werden, wie die 1889 im „Vogelflug“ von meinem Bruder aufgeführten von uns gemeinsam vorgenommenen Experimente und Messungen, so wäre es schade um die Druckerschwärze,

Als 1889 der „Vogelflug“ erschienen war, erhielt mein Bruder eine ganze Anzahl höchst abfälliger Urteile übersandt. Damals war es ein noch unbeackertes Feld, das zum erstenmal im „Vogelflug“ gründlich bearbeitet wurde. Bis zum Unglücksfall meines Bruders 1896 war das eine Tausend der Auflage noch nicht zur Hälfte verkauft. Selbst als die Erfolge der Wrights gezeigt hatten, welche Erkenntnis diese einfachen Automobilmechaniker aus dem Buch gezogen hatten, dauerte es noch bis 1910, bevor die Auflage vergriffen war. Die von mir dann herausgebrachte zweite Auflage von einem Tausend geht erst jetzt auf die Neige.

Der Vogelflug ist noch immer nicht als die Grundlage der Fliegekunst anerkannt. Für den Verleger ist es daher ein großes Wagnis, noch einmal dies Thema der Öffentlichkeit nahe zu bringen, um so mehr, als die führenden Fachschriften einen großen Teil meiner Arbeiten bereits beschrieben haben und dennoch die Ergebnisse meiner Versuche und Messungen noch nicht in die Praxis eingeführt wurden mit Ausnahme der jetzt allgemein anerkannten großen Tragewirkung dicker Flächenprofile.

Wie schwierig es aber ist, eine neue technische Errungenschaft selbst Fachgelehrten gegenüber zur Geltung zu bringen, habe ich mit vielen anderen erfahren müssen. Als ich z. B. das Manuskript über „Der geheimnisvolle Vorwärtzug“ der Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt eingereicht hatte, erhielt ich es als nicht geeignet mit der Bemerkung zurück, ich beabsichtige die Möglichkeit einer Perpetuum mobile nachzuweisen. Der Aufsatz behandelte die Bildung des Widderhornwirbels unter vogelflügelartigen Profilen und die sich dadurch ergebende Aufhebung der rückwärts gerichteten Druckkomponente des Luftwiderstandes. Erst als ich darauf hinwies, daß „ohne Wind kein Segeln“ möglich sei, weil durch den aufwärtstreibenden Wind eine Kraftquelle gegeben sei, und dann durch die Wirbelbildung der Überschuß des Auftriebes in Vortrieb umgelenkt wird, fand der Artikel Aufnahme. Hätte ich mich von dem oberflächlichen ersten Urteil abschrecken lassen, wären meine weiteren Arbeiten sicher zum Stillstand gekommen.

Auch der von mir hochgeschätzte Flugforscher Dr. Hankin hat dasselbe Versehen meinen Aus-

führungen gegenüber gemacht. Ein ihm übersandter Artikel über den Widderhornwirbel, dessen Empfehlung an eine englische flugtechnische Zeitschrift ich erbat, wurde mir ablehnend zurückgesandt. Jetzt erhielt ich von dem Herrn den Auszug seines Vortrags in der physikalischen Gesellschaft in Cambridge, bei dem er die Existenz des Widderhornwirbels anerkennt, diese aber nur als eine Hemmung der Vorwärtsgeschwindigkeit des Fluges gelten lassen will, um dem Vogel das Landen zu erleichtern. Er sagt, die Wirbelbildung verbraucht Arbeit, und weiter wörtlich „Lilienthal concludes that this eddy, which is caused by the birds' passage through the air, is the source of the energy of soaring flight. For reasons that it is unnecessary to specify his opinion is not likely to gain many converts¹⁾.“

Diese falsche Beurteilung meines Aufsatzes muß ich dem Ausländer wohl verzeihen, besonders da

¹⁾ Lilienthal schließt, daß der Wirbel, der beim Passieren des Vogels durch die Luft eintritt, die Energiequelle für den Segelflug gibt. Aus Gründen, welche ich für überflüssig halte besonders anzuführen, ist es nicht wahrscheinlich, daß er viele Anhänger finden wird.

ihm meine Arbeiten über den Windauftrieb nicht bekannt sein mögen. In der Z. f. F. u. M. hatte ich zwei Jahre früher meine Arbeiten über den Windauftrieb ausführlich beschrieben und auch in dem Aufsatz über den geheimnisvollen Vorwärtzug darauf hingewiesen.

Um abermals irrigen Urteilen im Voraus zu begegnen, betone ich daher nochmals „die Arbeit für den Segelflug leistet der Wind durch seine Eigenschaft, schwebende Körper in einem Winkel von annähernd 4° nach oben zu treiben, und durch den Widderhornwirbel wird diese Arbeit in einer Weise umgelenkt, so daß Auftrieb und Vortrieb entsteht. Die Arbeit des Windes ist für den Storch überreichlich bei einer Geschwindigkeit von 12—13 m/S vorhanden, um für die Wirbelbildung noch genügend abgeben zu können sowie auch für den Verlust der noch nicht ausgenutzten abfließenden Luftmasse.

Eine Kritik meiner Arbeiten nur vom grünen Tisch aus, ohne meine Experimente und Messungen nachzuprüfen, lehne ich von vornherein ab. Mit

großen öffentlichen Mitteln werden meine Meßresultate wohl eine Verfeinerung erfahren können, zu denen meine beschränkten Mittel nicht ausreichen, an den Tatsachen im großen und ganzen werden sie nichts ändern. Sollte dies Buch einmal die Veranlassung hierzu geben, so ist die von mir übernommene Aufgabe, den Vogelflug zum Studienobjekt gemacht zu haben, erreicht.



Naturschutz-Verlag
Berlin-Lichterfelde, Wilhelmstraße 42

Gleichzeitig erschien :

Der Ruderflug der Vögel

von

Gustav Lilienthal

Mit 10 Abbildungen und 2 Zahlentafeln

Preis: Grundzahl 0,40 M.

zu multiplizieren mit der jeweiligen Schlüsselzahl des
Börsenvereins

Kein Leser der Lilienthalschen Flugstudien „Vom
Gleitflug zum Segelflug“ sollte versäumen, sich
den „Ruderflug“ anzuschaffen, denn der Ruderflug der
Vögel verdient nicht weniger Beachtung als der Segel-
flug. Beide Schriften ergänzen sich vortrefflich!

Zu beziehen durch jede Buchhandlung
oder direkt vom

Naturschutz-Verlag
Berlin-Lichterfelde, Wilhelmstraße 42

Postscheckkonto Berlin 72944



BIBLIOTEKA GŁÓWNA

E-926 M

Archiwum