

Der geheimnisvolle Vorwärtzug.

Untersuchungen über den Segelflug von Gustav Lilienthal.

(Mit Tafel I, II, III.)

(Alle Rechte vorbehalten.)

Durch die in Nr. 4 und 5, 1911, dieser Zeitschrift beschriebenen Versuche mit verdickten, gewölbten Flächen habe ich die Tatsache der Aufhebung des Rückwärtsdruckes auf einem vogelrumpffartigen Mittelteil festgestellt. Bei diesen Versuchen war der Mittelkörper sogar besonders ungünstig gelagert, so daß sich ein größerer Widerstand ergeben mußte, als ein Vogelrumpf verursacht.

Die Kenntnis dieser Tatsache gab mir noch keine genügende Befriedigung, sondern ich fühlte mich veranlaßt, den inneren Vorgang dieser Erscheinung weiter zu untersuchen, um klar zu erkennen, wodurch dieser Vorwärtzug sich bildet, resp. wodurch er sich zu einem Maximum steigern läßt.

Meine Wahrnehmungen an Wasserläufen, welche mich zuerst veranlaßten, mit dicken Flächen zu operieren, erklärten wohl den Auftrieb, welchen der Wind auf schwebende Körper mehr oder weniger ausübt, für den außerordentlich großen Unterschied in der Stellung einer dem Wind ausgesetzten gewölbten Fläche mit verdickter Vorderkante gegenüber einer dünnen Fläche reichte diese Erklärung jedoch nicht aus. Der Unterschied in der Stellung beträgt bei meiner Dauermessung durchschnittlich 10° , es kommen zeitweise aber auch Stellungen vor, besonders wenn der Wind auffrischt, von 20 bis 30° . Hierbei mußten Kräfte auftreten, deren Vorhandensein bisher nicht bekannt ist.

Während meines Aufenthaltes in Rio de Janeiro hatte ich Gelegenheit, weitere Versuche über die Wirkung der dicken gewölbten Fläche anzustellen.

Meine Versuchsfläche ist auf Taf. I, Fig. 1, 2 u. 3 im Profil und Grundriß dargestellt. Sie hat eine Breite von 82 cm bei einer Tiefe von 88 cm. Die größte Dicke ist 10 cm. Die Höhlung des Profils unten ist 12 cm, und zwar liegt diese 25 cm vom vorderen Band entfernt.

In einem mir zur Verfügung stehenden Arbeitsraum von 12 m im Quadrat stellte ich einen Rundlauf von 6,5 m Durchmesser her, an dem ich die Fläche in jeder beliebigen Lage anbringen konnte. Zuerst lagerte ich die Fläche horizontal mit gleicher Höhe der Vorder- und Hinterkante (Fig. 1).

Um die Richtung des Luftstromes zu erkennen, besetzte ich die Ober- und Unterfläche mit kleinen Fahnen.

Die in den Abbildungen sichtbaren Fahnen bestehen aus schwachem Karton, sind um eine Nähnadel drehbar und durch einige angesteckte Nadeln an der dem Wind zugekehrten Seite im indifferenten Gleichgewicht gehalten.

Diese Fahnen wurden in Abständen von 6 cm an einen Stab gesteckt, den ich dann in jeder beliebigen Stelle der Fläche senkrecht zur Oberfläche anbringen konnte (siehe Taf. I, Fig. 1 u. 2).

Ich wählte zunächst auf der Mittellinie der Ober- und Unterfläche 16 Versuchsstellen, von dem vorderen Rande beginnend. Der Stab mit vier Fahnen wurde so an-

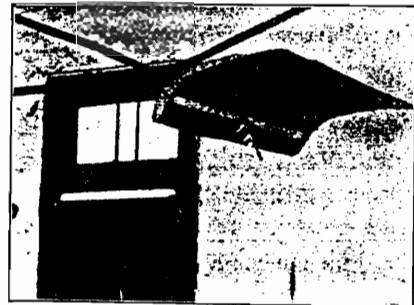


Fig. 1.

gesteckt, daß die Achsen der Fahnen parallel zum Vorder- und zur Fläche lagen. Es war eine geringe Reibung der Fahnen auf ihren Achsen vorhanden, so daß nur ein stärkerer Luftzug diese drehen konnte und dieselben beim Nachlassen der Geschwindigkeit in der vorher erhaltenen Stellung verharren.

Um den Einfluß dieser Reibung auszuschalten, waren stets zwei Versuche erforderlich, und zwar so, daß die Anfangsstellung der Fahnen vor dem Anlauf beide Male entgegengesetzt war. Die Versuche wurden je dreimal wiederholt. Es wurde dann die Mitte der Endstellungen als richtig angenommen.

Auf Taf. I, Fig. 1 ist die Stellung der Fahnen eingetragen in vier verschiedenen Abständen von je 6 cm der Flächenunterseite. Für die Oberseite habe ich ebenfalls vier Fahnen übereinander benutzt, da dieselben aber alle

parallel standen, so wurde nur die unterste Fahne eingezeichnet.

Aus der Richtung der Fahnen der Oberseite ist ersichtlich, daß der Luftstrom ohne Abweichung der Flächenkontur folgt bis auf die Fahne 1 und 2, deren Stellungen anzeigen, daß Luft nach unten abfließt.

Die Fahne x , welche 25 cm vor der Fläche gelagert ist, zeigt ebenfalls schräg nach unten. Es wird also auch hier schon der Luftstrom nach unten abgelenkt.

Die Stellung der Fahnen auf der Unterseite setzte mich einigermaßen in Erstaunen. Ich hatte wohl erwartet, daß der Luftstrom hier nicht so glatt verlaufen würde, aber keine so große Abweichung vermutet.

Die Stellung der Fahnen von 4 bis 11 zeigte eine völlige Umkehr des Luftstromes, welche sich teilweise auch auf die zweite Fahnenreihe erstreckte. Von der dritten Fahnenreihe drehten sich Nr. 7 und 10 völlig um ihre Achsen, hier lagen also zwei Drehpunkte eines ovalen Wirbels.

Da es sich um eine Bewegung im Raum handelte, so gaben die Richtung der Fahnen nur eine Komponente der Luftbewegung. Es blieb daher noch zu untersuchen, welche Richtung Fahnen einnehmen, welche senkrecht zur Fläche angesteckt sind, also seitlich schwingen.

In Taf. I, Fig. 2 ist die Stellung solcher Fahnen eingetragen. Ich fand, daß die Luft, welche die Fläche überstreicht, sowohl oberhalb als unterhalb der Fläche infolge von Zentrifugalwirkung nach der äußeren Kante der Kreisbahn getrieben wird. Die Wirbelbildung war infolgedessen auf der nach dem Kreisinnern gerichteten Flächenhälfte weit geringer als auf der äußeren Hälfte, was ich aus der Stellung der horizontal schwingenden Fahnen sogleich bestätigt fand, als ich diese auf die Mitte der äußeren Hälfte ansteckte. Die nach vorn gerichteten Fahnen dehnten sich jetzt bis zur 15. Stellung aus, und die Entfernung der Wirbelpunkte vergrößerte sich gleichfalls. Auf Taf. I, Fig. 2 ist die einseitige Lage des Wirbels dargestellt. Fig. 4 daselbst zeigt die Stellung wagrecht gelagerter Fahnen durch den einseitigen Abfluß der Luft nach der Außenseite der Kreisbahn.

Um die einseitige Wirkung der Zentrifugalkraft zu vermeiden und den Verhältnissen des segelnden Vogels zur Luftbewegung möglichst nahezukommen, brachte ich die Versuchsfläche in senkrechter Lage an den Rundlaufarmen an. Auf diese Weise konnte ich die einseitige Wirkung der Zentrifugalkraft ausschalten. Die Stellung der vertikal gelagerten Fahnen zeigte jetzt für beide Flächenhälften völlige Symmetrie (Taf. II, Fig. 2).

Die horizontal gelagerten Fahnen wurden auf der Mittellinie der Flächen angesteckt. Die Fahnen von 5 bis 14 richteten sich nach vorn, bei einer Extraverstärkung der Geschwindigkeit schwenkte auch die 15. Fahne um. Die Wirbelpunkte liegen in der dritten Fahnenreihe bei Stellung 8 und 14. Die wirbelnde Schicht schließt die 3. Fahnenreihe mit ein (s. Taf. II Fig. 1).

Die Luft wird von der Hinterkante und von dem hinteren Teil der Seiten angesogen und fließt zusammen mit der von unten und vorn aufgenommenen Luftmenge im vorderen Teil der Fläche seitlich ab. Dieser Seitenstrom ist besonders auffallend gleich hinter der Vorderkante an der scharfen Krümmung des Profils bei A .

Um diesen seitlichen Abfluß der Luft näher zu untersuchen, schloß ich die Seitenwände der Fläche durch Pappe senkrecht ab, wie die Taf. I u. 2, Fig. 4 zeigen. Ich stellte dann Fahnen in geringerem und größerem Abstand von diesen Abschlüssen auf und fand, daß die Luft über die Hindernisse hinwegstreicht und die Fahnen entsprechend in die Höhe richtet. Die gleichzeitig in der Mittellinie angesteckten Fahnen zeigten keine Beeinträchtigung der Wirbelbildung.

Der Wirbel setzt in der Mittellinie ein, schon bei einer Vorwärtsbewegung von 5 Sek./m, und verbreitert sich mit der zunehmenden Geschwindigkeit. Seine Windungen sind schräg nach außen gerichtet, ähnlich den Hörnern des Widlers, weshalb ich für die Erscheinung die Bezeichnung »Widderhornwirbel« wähle.

Taf. II Fig. 3 zeigt das Profil des Wirbels bei veränderter Lagerung der Versuchsfläche. Diese steht wiederum senkrecht, jedoch gegen die Tangente der Kreisbahn 90° hinten angehoben. Die Seitenwände waren hierbei wieder durch Pappen abgeschlossen.

Jetzt zeigt die Fahne 16 ganz nahe dem Hinterrand ebenfalls eine Umkehr der Stromrichtung. Dasselbe ist der Fall, wenn die Fahnen in der Mitte des Hinterrandes der beiden Seitenhälften angebracht sind. Noch weiter von der Mittellinie entfernt, zeigen dieselben zwar noch nach vorn, aber 45° nach den Profelseiten zugewendet.

Die Wirbelpunkte liegen nun bei Stellung 4 und 16. Die rücklaufende Luft bestreicht also fast die ganze Unterfläche.

Außerordentlich deutlich ist die Umkehr des Luftstromes zu erkennen an der Bewegung einer Scheibe, welche auf einem Draht verschiebbar ist. Zu diesem Zweck ist dieselbe auf einem Röhrchen befestigt, welches auf den Draht geschoben wird. Der Draht reicht, wie Taf. II, Fig. 2 u. 3 zeigt, von der Mitte der Hinterkante bis zur Außenkante des vorderen Wulstes. Dreht man den Rundlauf erst langsam, so bewegt sich die Scheibe aus der ursprünglichen Stellung bei A nach C . Bei verstärkter Geschwindigkeit rutscht dieselbe aber mit großer Geschwindigkeit nach B . Wird der Draht in der Mittellinie angebracht, so wird die Scheibe ebenfalls nach vorn getrieben.

Die von mir benutzte Scheibe hat eine Fläche von 50 qcm. Ich habe mittels einer kleinen, zu diesem Zweck besonders hergerichteten Federwage untersucht, welcher Druck sich auf die Scheibe äußert. Bei der Stellung 10 war derselbe am größten = 21 g. Dies ergibt für 1 qm 4,2 kg. Demnach muß sich die Scheibe mit einer Geschwindigkeit von 6 Sek./m vorwärts bewegen, d. h. also, die Scheibe bewegt sich im Raum 6 Sek./m schneller als die Versuchsfläche, also mit $10 + 6$ Sek./m.

Wenn die Wirbelluft durch die Form der Fläche zu einem ovalen Lauf gezwungen wird, so muß senkrecht zur Fläche durch die Zentrifugalwirkung der Luftmasse ein beträchtlicher Druck entstehen. Ich habe auch diesen Druck an verschiedenen Stellen der Mittellinie gemessen. Am stärksten war derselbe bei Stellung 12, und zwar 81 g. Hiervon ist aber in Abzug zu bringen die Zentrifugalwirkung auf die Scheibe und Federwage mit 12 g, resultierend aus deren Gewicht von 4 g. Es bleiben demnach netto 69 g Flächendruck = 13,8 kg für 1 qm.

Diese Messungen sind nur eine Stichprobe und machen keinen Anspruch auf große Genauigkeit, aber sie bestätigen hinreichend die Wirkung des Wirbels auf die Fläche.

Die Bildung des Wirbels tritt, wie erwähnt, erst bei ca. 5 Sek./m Geschwindigkeit ein. Dann fangen die am günstigsten gelegenen Fahnen an, umzuwenden. Die Geschwindigkeit wurde innerhalb einer Umdrehung bis zu 10 Sek./m gebracht, dabei nahmen die Fahnen die Stellung ein, wie auf den Tafeln dargestellt ist. Nach Erreichung dieser Geschwindigkeit ließ ich die Bewegung auslaufen und konnte mich überzeugen, daß die Stellung der Fahnen sich dabei nicht mehr änderte.

Wenn ich zwei gegenüberliegende Türen des Schuppens öffnete und dadurch starken Zug verursachte, so beeinträchtigte dies die Wirbelbildung. Eine gleichmäßige Luftströmung scheint demnach auch für den segelnden Vogel eine wesentliche Bedingung zu sein.

Meine Versuchsfläche stellte einen Flügelausschnitt im Unterarm dar. Ich war daher noch nicht in der Lage, mir ein Urteil über die Wirbelbildung und den seitlichen Stromlinienverlauf für einen ganzen Flügel oder gar für beide Flügel des Vogels zu bilden.

Wich die Luft des Widderhornwirbels unter jedem Flügel seitwärts ab, so mußte die Fläche des Oberarmteils und des daranliegenden Rumpfes vermöge der schrägen Lage gegen die Strömung Auftrieb erhalten. Die gleichfalls schräg zur Strömung gelagerte Fläche der Hand und der Spitze erhielt dann auch Auftrieb durch die seitliche Strömung.

Ich muß gestehen, ohne die vorher beschriebenen Versuche würde ich nicht zu einer so paradox erscheinenden Annahme gekommen sein. Ich war bisher, wie jedenfalls auch andere Flugtechniker, der Meinung, daß der Vogel beim Segeln die tragende Wirkung seiner Flügel und besonders der Spitze dadurch erhielt, daß er die Flügelvorderkanten etwas anhebt, wodurch der entgegenstehende Luftstrom Auftrieb erzeugt.

Die neue Annahme würde völlig veränderte Verhältnisse bringen. Eine Aufdrehung der Vorderkante nach der alten Anschauung würde auf alle Fälle auch Rückwärtsdruck erzeugen. Dies wäre bei Ausnutzung der Längsströmung nicht mehr erforderlich. Die scharfe Vorderkante der Flügelspitze gibt den geringsten Stirnwiderstand, trotzdem die Fläche der Flügelspitze ca. 25 bis 30° gegen die Längsströmung geneigt ist. Die Bildung des Wirbels tritt auch ein, wenn die Fläche so am Rundlauf befestigt ist, daß die hohle Seite nach der Außenseite der Kreisbahn gewendet ist.

Ich entschloß mich, trotz der geringen mir für meine Liebhaberei zur Verfügung stehenden Zeit, ein kleines Vogelmodell aus Pappe und Papier herzustellen (Fig. 2). Auf Taf. III, Fig. 1, 2 u. 3, ist dasselbe ebenfalls dargestellt. Das Modell kläffert 1,30 m. Das Profil 1 entspricht genau dem der großen Versuchsfläche in $\frac{1}{4}$ Maßstab. Die Fläche der Flügel wurde aus Oberarm, Unterarm, Hand und Spitze gebildet. Das Profil verringert sich sinngemäß entsprechend der Flügelbreite. An der Spitze ist es ganz dünn und nur leicht gewölbt. Der Rumpf ist nach vorn und hinten zugespitzt, das Profil des Rumpfes bildet einen Dreiviertelkreis, dessen Abschnitt oben liegt. Die Form der Flügel ist aus den Figuren (Tafel III) zu ersehen.

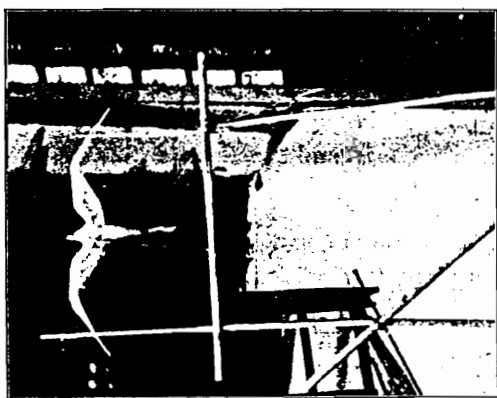


Fig. 2.

Die Stellung am Rundlauf, welchen ich zu diesem Zweck auf 7,5 m Durchmesser vergrößert hatte, war senkrecht (Fig. 2 u. 3), der eine Flügel nach oben, der andere nach unten zeigend. Die Tangente der Kreisbahn liegt 12° geneigt gegen die Sehne des Flügelprofils (Taf. III, Fig. 1).

Die diesmal benutzten Fahnen bestanden aus sehr leichtem Papier, so daß die Anbringung eines Gegenge-

wichtes nicht nötig war; auch waren dieselben nur 3 cm lang und 1 cm breit. Eine Seite war rot gefärbt, um die ruhige Stellung beim Auslaufen der Bewegung besser beobachten zu können.



Fig. 3.

Zuerst wurde die Richtung vertikal zur Fläche angesteckter Fahnen untersucht. Die Richtungslinien sind in Taf. III, Fig. 2, eingetragen.

Meine Erwartungen betreffs der sich bildenden Seitenströmung wurden völlig erfüllt. Der schon von der Hinterkante der Flügel einsetzende Vorwärtsstrom giebelt sich bei beiden Flügeln durchschnittlich zwischen der 3. und 4. Fahnenstellung ca. in $\frac{1}{3}$ der Flügellänge, so daß $\frac{1}{3}$ des Luftstroms nach dem Rumpf und $\frac{2}{3}$ nach der Spitze getrieben wird. Es zeigte sich ein geringer Unterschied in der Fahnenstellung, verursacht durch Konstruktionsteil zur Befestigung des Modells am Rundlauf. Die seitliche Strömung ist so energisch, daß selbst die an der äußersten Spitze angebrachten Fahnen noch in der Längsrichtung der Flügel stehen. Im allgemeinen war die Richtung der Fahnen an beiden Flügeln symmetrisch. Dies war für die Kontrolle der richtigen Messung eine große Erleichterung.

Es wurden dann horizontal gelagerte Fahnen angebracht, durch welche die Vorwärtsströmung der Luft nach der Höhenrichtung festgestellt wird.

Die Wirbelpunkte lagen in einem Abstand von ca. 6 cm unterhalb der Fläche.

Sehr deutlich zeigte sich auch die Gabelung des Vorwärtsstroms zwischen der zweiten und dritten resp. fünften und sechsten Fahnenreihe, wobei bei der zweiten resp. fünften Reihe die Fahnen nach dem Rumpf, bei der dritten resp. sechsten Reihe nach der Spitze zeigten.

Bis zu welchem Abstand von der Fläche sich die seitliche Strömung bemerkbar macht, ist aus der Stellung der fünf übereinander gelagerten Fahnen zu erkennen, welche an einem Stäbchen angebracht sind. Das Stäbchen ist an verschiedenen Stellen der Flügel angesteckt worden, und jedesmal wurde bei vier verschiedenen Richtungen untersucht, wie sich die Fahnen stellten.

Bei der Stellung IV (b und d), VIII (b und d), wo die Fahnen senkrecht zur Seitenströmung schwingen, stehen die oberen Fahnen senkrecht nach oben. Wird der Stab aber um 90° gedreht (Stellung IV, a und c, VIII, a und c), so zeigen die Fahnen trotz der von vorn mit 10 Sek./m andrängenden Luft noch mehr als 60° aufwärts; ein Beweis, daß die Seitenströmung stärker ist als der Luftstrom von vorn (s. auch Stellung IX und X).

Die leichte Aufbiegung der äußersten Flügelspitzen der Segler entspricht dem Auftrieb, welchen die seitliche Strömung verursacht.

Steckt man Fahnen an der Vorderkante an, so weisen dieselben bei einer Entfernung von 5 cm von der Fläche nach der Unterseite (s. Taf. III, Fig. 2 u. 3). Ich habe auch untersucht, welchen Einfluß das Abspreizen einer kleinen Fläche am Vorderrand der Flügel hat, welche den Funktionen des Flügeldaumens entspricht. Die Wirkung auf den Stromlinienverlauf würde verminderten Auftrieb erzeugen. Hierüber wird später besonders berichtet werden (Taf. III, Fig. 4).

Die Wirbelbildung ist in der Nähe des Rumpfes an dem hinteren Teil der Flügel nicht vorhanden. Erst bei der zweiten Fahnenreihe wenden diese um. Es bliebe noch zu untersuchen, welchen Einfluß ein an die Flügel sich anschließender breiter Schwanz auf die Stromlinien hat. Nach Anbringung eines solchen konnte ich eine Beeinflussung der Fahnenstellung weder am Rumpf noch an den Flügeln wahrnehmen.

Die nach dem Rumpf zu abstreichende Luftmasse muß auf die schräge Fläche des Oberarms und der Rumpfseiten stark hebend wirken. Hierdurch ist also der nach unten durchhängende Rumpf für den Vogel von Nutzen.

Der einst so geheimnisvolle Vorwärtzug, die Grundbedingung des Segelflugs, findet jetzt seine Erklärung durch die vollständige Umlenkung der entgegenstehenden Stromrichtung. Dem Vogel steht hierdurch ein Vortrieb zur Verfügung, größer als der schädliche Widerstand, welchen die aalglatte Oberfläche der Flügel erzeugt. Nicht allein ist die Geschwindigkeit der Vorwärtsströmung größer als die der oberen Luftströmung, sie bläst auch gegen den Federstrich und gegen den Wulst der Verdickung. Jetzt erkennen wir auch den Nutzen, welchen der Schwan von den gekräuselten Spitzen seiner drei unteren Deckfederreihen hat. Sein großer Körperquerschnitt, dessen Oval 20 bei 30 cm Durchmesser hat, bedarf eines besonders starken Vortriebes, daher die drei Barrieren, welche der vorströmenden Luft des Widderhornwirbels einen gehörigen Reibungswiderstand gewähren.

Eine geringe Bewegung der unteren Deckfedern bei segelnden Störchen habe ich früher mehrfach beobachten können. Jetzt ist mir die Ursache erklärlich. Es ist sehr wohl möglich, daß durch diese Erscheinung die Ansicht

sich verbreiten konnte, der Vogel mache beim Segeln eine zitternde Bewegung, um das Segeln zu ermöglichen. Die gegen den Federstrich streichende Wirbelluft kann sehr wohl die Federn aufräumen. Im allgemeinen lieben die Vögel keinen Wind von hinten, der ihnen beim Sitzen die Federn sträubt und sie stark abkühlt. Am Ober- und Unterarm liegt aber ein so dichter Federpelz, daß für die Wärmehaltung auch noch genug Schutz verbleibt, wenn auch die oberste Lage etwas gelockert wird.

Man möchte gegen meine Untersuchungen einwenden, daß der gegen einen wehenden Wind segelnde Vogel andere Verhältnisse vorfindet, als bei dem Modell am Rundlauf eintreten. Dies ist zweifellos richtig. Die Verhältnisse sind aber beim segelnden Vogel ungleich günstiger.

Schon die Aufwärtsrichtung der dem Wind ausgesetzten ebenen Fläche um durchschnittlich $3\frac{1}{2}^\circ$ über die Horizontale läßt auf eine vergrößerte Tragwirkung des natürlichen Windes schließen, gegenüber dem künstlichen indirekten Luftstrom am Rundlauf. Diese Tragwirkung kommt übrigens auch zur Geltung, gleichgültig, nach welcher Richtung der Vogel fliegt.

Im freien Luftstrom wird ein weit ungehinderterer Zustrom der Luft stattfinden und infolgedessen eine entsprechend größere Luftmenge sich an der Wirbelbildung beteiligen, als dies im beschränkten Raum möglich ist. Der Wirbel wird sich auch viel gleichmäßiger bilden in einem stetigen Wind als am Rundlauf, zeigte doch schon ein geringer Gegenzug eine deutliche Störung der Wirbelung. Der leidige Mitwind kann bei den Rundlaufversuchen nie ganz ausgeschaltet werden, derartige Störungen treten beim Vogelflug ganz und gar nicht ein.

Ich habe gezeigt, wie der geheimnisvolle Vorwärtzug gleichzeitig die Tragwirkung in sich birgt und durch den entgegenstehenden Wind selbst erzeugt wird allein infolge der Flügelform.

Nicht eine rohe Kraftleistung gibt der Wind dem Vogel zum Segeln, sondern nur einen geringen Überschub, welcher den Widerstand gegen Kopf und Brust sowie auf die Oberseite der Flügel überwindet.

Dieser Überschub ist unter Umständen sehr gering. Die Fregatten segeln bei schwachem Wind so außerordentlich langsam, wodurch ihr Flug so vorzüglich zu beobachten ist; allerdings steigen sie dabei sehr stark, so daß sie bald den Blicken entschwinden. Bei stärkerem Wind vermehrt sich die Vorwärtsgeschwindigkeit des Flugs beträchtlich. Dies deckt sich vollkommen mit meinen Versuchsergebnissen in bezug auf die Verstärkung der Wirbelbildung bei vergrößerter Geschwindigkeit.

Wind ist das grundlegende Element des Segelflugs. Ohne Wind kein Segeln. Der Albatros, dieser König der Segler, ist nur dort zu Hause, wo er stets auf genügenden Wind rechnen kann. Vom Kap Horn bis zum Kap der Guten Hoffnung und Australien ist er der stetige Begleiter der Schiffe, und kein Sturm ist so stark, ihn am Fliegen zu hindern.

Was mein Bruder ahnend schon im »Vogelflug« zum Ausdruck brachte, sehen wir jetzt bestätigt. Er sagt: »Es muß ein Wind von mittlerer Geschwindigkeit wehen, welcher dann durch eine aufsteigende Richtung¹⁾ die Luftwiderstandsrichtung so umgestaltet, daß der Vogel zu einem Drachen wird, der nicht nur keine Schnur braucht, sondern sich sogar frei gegen den Wind bewegt.«

Der Vorwärtsdruck, welchen der Widderhornwirbel auf meine künstlichen Vögel ausübte, wenn dieselben am Rundlauf in ruhiger Luft bewegt wurden, tritt nur im

¹⁾ Ich definiere: »Die Eigenschaft des Windes, auf schwebende Körper einen Auftrieb auszuüben.«

mittleren Teil, also am Unterarm auf, da sich der Luftstrom dann teilt und seitlich nach dem Rumpf und der Spitze wendet. An der großen rechteckigen Meßfläche habe ich den axialen Druck gemessen. Die sich hieraus ergebende horizontale Komponente würde jedenfalls die Reibung und den Stirnwiderstand des Körpers noch nicht überwinden. Dies würde aber sehr wohl der Fall sein können, wenn gleiche Verhältnisse eintreten, wie wir sie an der Umlenkung der Druckrichtung wahrnehmen, wenn eine Meßfläche am Rundlauf in ruhiger Luft bewegt wird oder wenn dieselbe, auf einem Stativ befestigt, dem Wind ausgesetzt wird. Im letzteren Falle erhält die horizontal gelagerte Fläche reinen Vertikaldruck, während unter gleichen Umständen in ruhiger Luft bewegt, die Druckrichtung nach meinen neueren Feststellungen um $7\frac{1}{2}^{\circ}$ rückwärts geneigt ist.

Es ist daher sehr wohl zu verstehen, daß die sonst so hurtigen Möven bei Windstille träge auf seichem Wasser schwimmen und durch Gründeln ihre Nahrung suchen. Zugvögel lassen sich auf Schiffen nieder, wenn sie durch den Flug bei Windstille ermüdet sind.

So sehen wir denn den Wind zum »lieblichen Buhlen« nicht nur »der Welle«, sondern auch der gefiederten Welt werden, denselben Wind, welcher als ärgster Feind unserer Lenkbaren auftritt und dessen Unbill schon so manchen Drachenflieger in Kleinholz verwandelte.

Ein besonderes Augenmerk wird man auf die Struktur der Unterfläche legen müssen. Ich würde empfehlen, diese einfach mit Federn zu bekleiden, so weit als der Rückstrom des Wirbels reicht. Wir wären somit wieder bei »Daidalos« angekommen.

Für die primitiven Drachenflieger wird sich eine Ausnutzung des Widderhornwirbels wohl kaum ermöglichen lassen. Ich glaube nicht, daß derselbe eine Beeinträchtigung des gleichmäßigen Luftstroms durch die Schraubenwirkung vertragen kann. Es käme jedoch auf Versuche an. Nie wird ein mit so viel Stirnwiderstand behampert Drachenflieger einen Segelflug zustande bringen.

Die ungünstigen Windverhältnisse in Rio verhindern mich, meine Studien noch durch Versuche im Freien fortzusetzen.

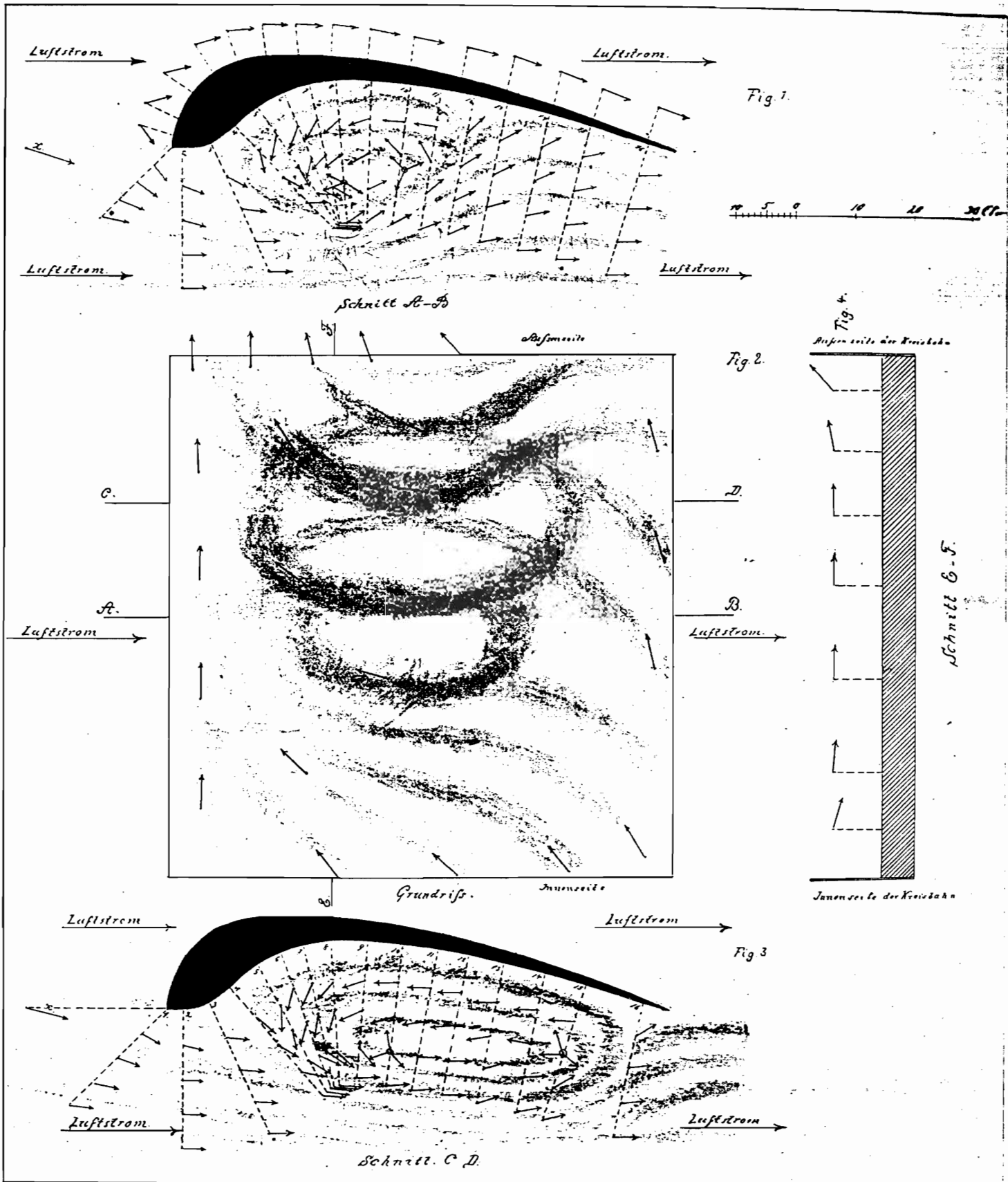
Die Bildung des Widderhornwirbels läßt nicht darauf schließen, daß die Flugbahn des Seglers in Kreisen oder Zykloiden liegen muß. Bedingung ist nur, daß ein Luftstrom den Vogel von vorn trifft. Die Richtung des Rumpfes muß den Richtungen und Geschwindigkeiten des Windes und der Flugbahn entsprechen und diese so teilen, daß der Vogel einen Stirnwind verspürt. Wie weit kleine Abweichungen möglich sind, darüber ließen sich leicht Versuche anstellen.

In der Richtung mit dem Wind überholt der Segler den Wind. Dem Winde entgegen ist die Vorwärtsbewegung oft sehr gering. Reicht die Windstärke nicht ganz aus, so führt der Vogel von Zeit zu Zeit einige seiner Vorwärtsgeschwindigkeit beschleunigende Flügelschläge aus.

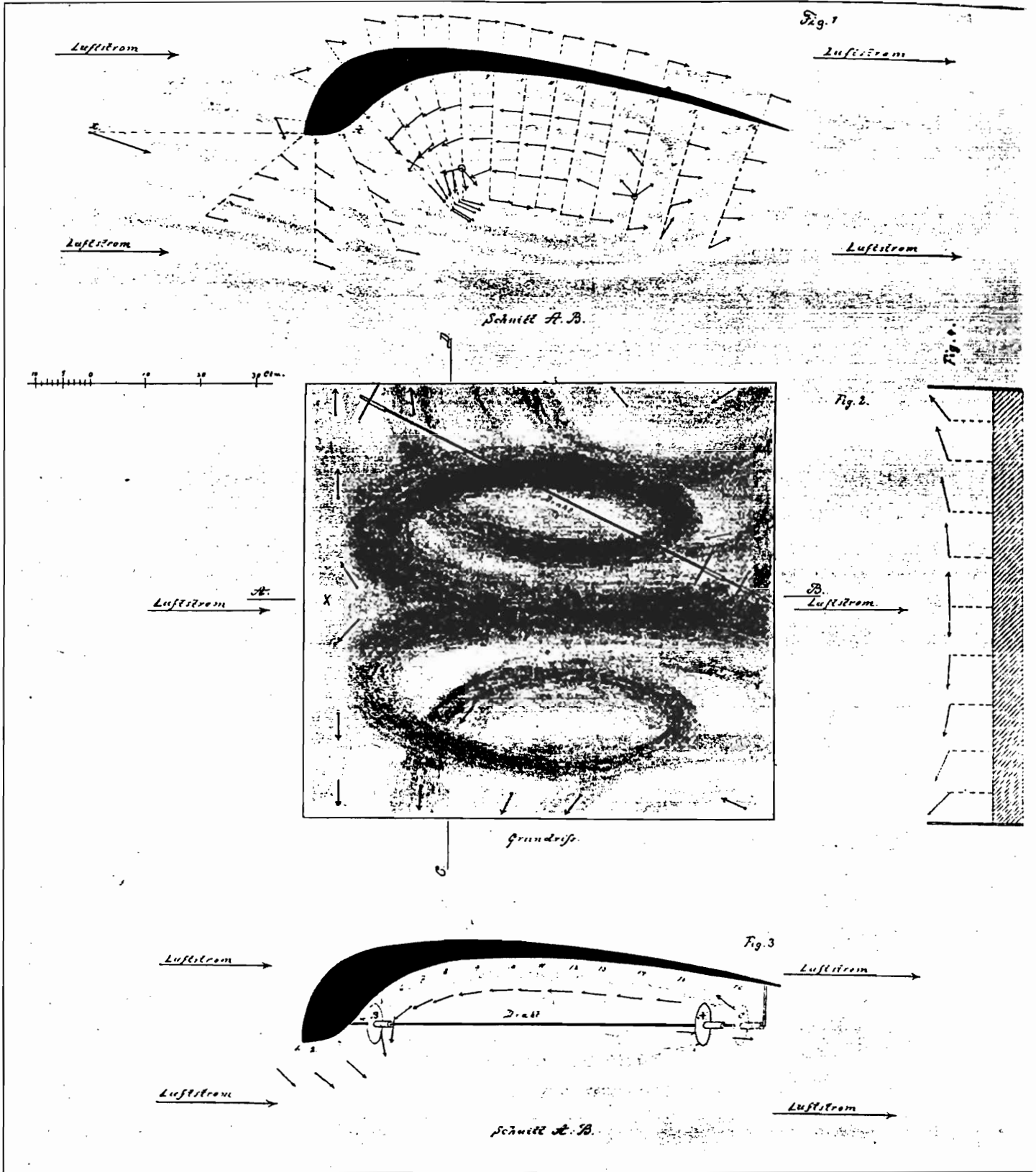
So sehen wir denn im Segelflug einen Vorgang, welcher unendlich einfach ist und dennoch eine Wirkung hervorbringt, welche seit Jahrtausenden die Edelsten der Völker wie den gemeinen Mann mit Staunen und Bewunderung erfüllt hat, ohne die Ursache begreifen zu können.

Wir haben jetzt erkannt, daß der Vogel auf einständig nach vorn sich überrollenden Luftwelle ruht. Die Reibung der Luft an der Unterfläche der Flügel treibt ihn nicht allein vorwärts, sondern sie hebt ihn auch durch den seitlichen Abstrom gegen die schrägen Flächen des Oberarms und Rumpfes wie der Flügelhand und der Spitze. Mit welcher Kraft und Geschwindigkeit der Wind den Vogel entgegenstürmen mag, das Profil der Flügel zwingt ihn zur Umkehr und macht ihn dienstbar.

Man hat mich in flugtechnischen Kreisen gelegentlich einen Naturschwärmer genannt. Ich sehe hierin keinen Vorwurf. Man müßte schon ziemlich stumpf sein, wenn man durch die wunderbare Wirkung einfachster Vorgänge wie sie sich im Vogelflug uns offenbaren, sich nicht begeistern könnte.



Druck von R. Oldenbourg in München.



Druck von R. Oldenbourg in München.

Fig. 1 Schnitt nach A. B. Ansicht des Fühnerstabes des g.

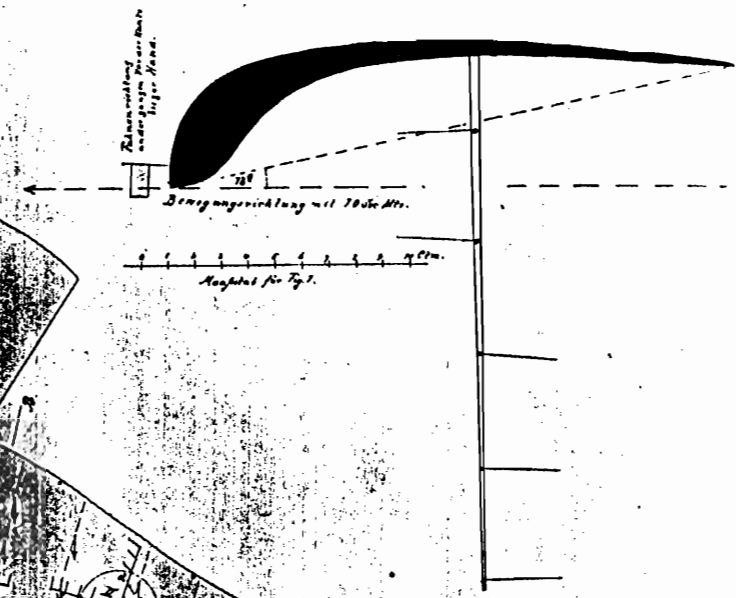


Fig. 2 Ansicht der Unterfläche die Pfeile zeigen die Richtung der senkrecht zur Fläche angestellten Fäden

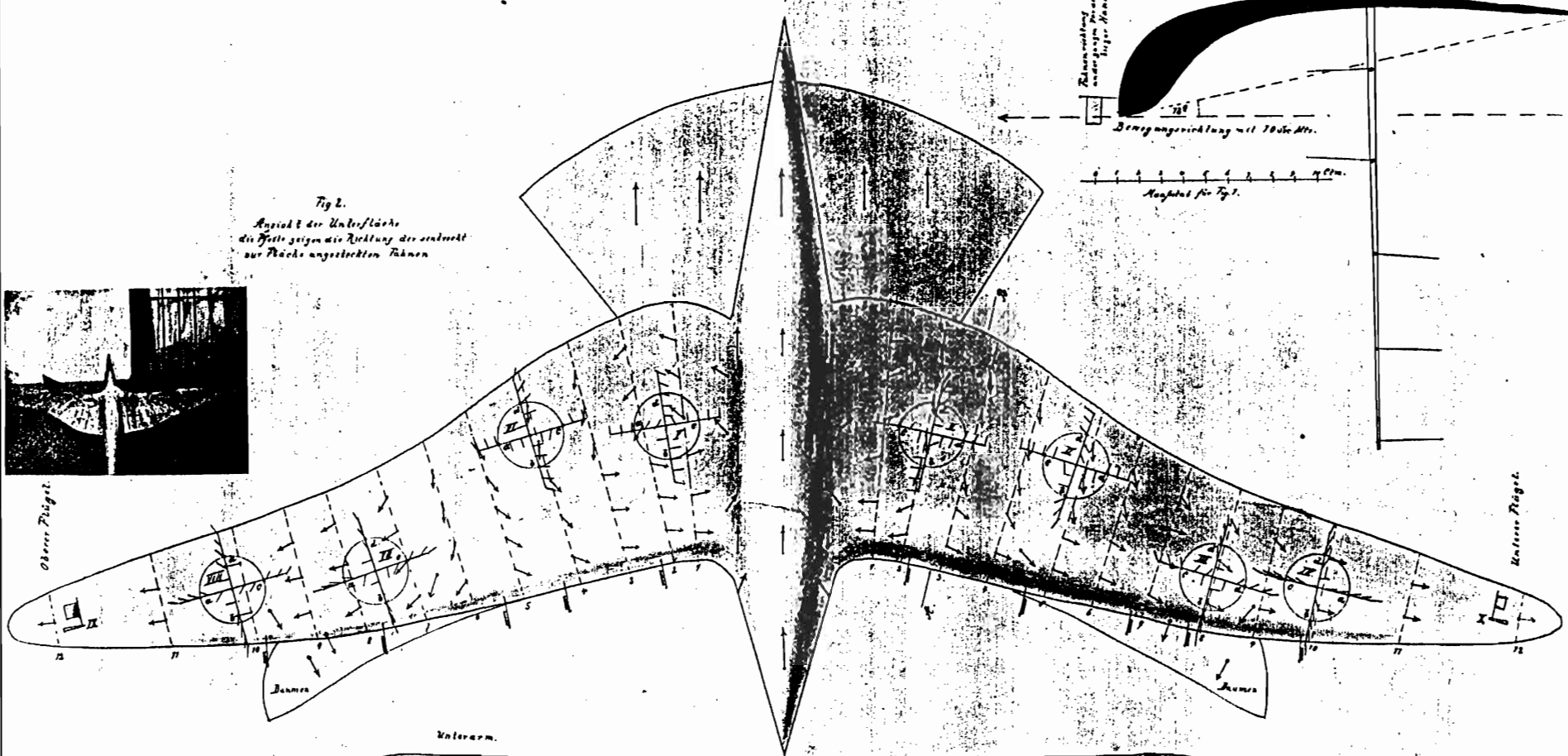


Fig. 3 Vorderansicht der vorderen Käsestücke und Ansicht des Fühnerstabes bei Stellung f.

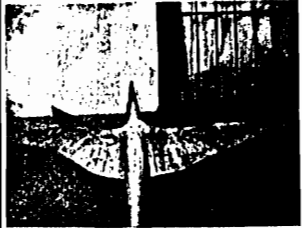
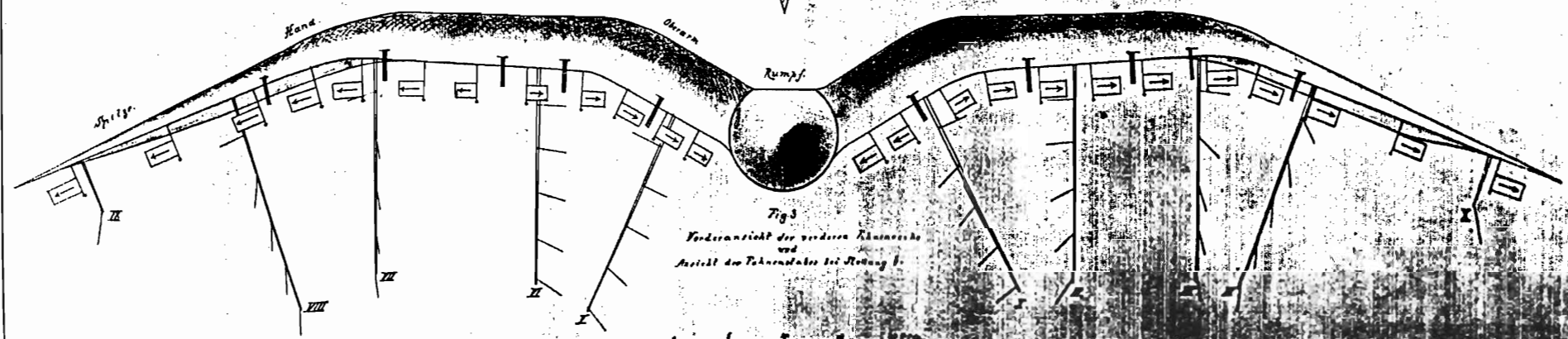


Fig. 4

Digitalisiert aus dem Archiv des



Ohio Historical MUSEUM