

Über den Vogelflug.

Vortrag, gehalten im Naturwissenschaftlichen Vereine für Steiermark am
18. März 1905

von Dr. Viktor Nietsch.

(Mit zwei Tafeln.)

Nächst den Säugetieren ist es besonders der Vogel, den der Mensch aus der unübersehbaren Tierwelt sich zum Freunde, ja zum Zimmergenossen erwählt hat. Das verdankt er nicht so sehr dem prosaischen Nutzen, wie das Säugetier, sondern vielmehr den Bedürfnissen des menschlichen Gemüts: es ist die Freude an der Liebenswürdigkeit des Vogels, die uns ihn näher bringt. Vor allem ist es die herrliche Gabe des Gesanges, die den Vogel weit über alle Tiere emporhebt. In dem bald helljubilenden Allegro, in dem sanftgetragenen Adagio des kleinen Sängers fühlen wir etwas uns Verwandtes erklingen, eine Seele, die Freude und Leid zu empfinden vermag, wie wir. Sein Gesang ist uns Zeugnis, daß der Vogel ein reichbewegtes Gemütsleben besitzt. Aber es sind noch andere Eigenschaften, die uns diese Geschöpfe lieb machen. So vor allem das trauliche Familienleben, die aufopfernde Brutpflege, die wunderbaren Künste im Nestbau, das ganze flinke, rastlos eifrige Gebaren dieser lebhaften und zugleich zierlichen Wesen. Nicht zuletzt ist es die herrliche Farbenpracht des Gefieders, welche wir bewundern. Denken Sie an die Kolibris, die Papageien, Pfau, Fasanen und viele tropische Finken, Drosseln und Stare.

Vor allem aber ist es die Fähigkeit des Fluges, welche sowohl den naiven Naturmenschen zum Staunen, als auch den denkenden Kulturmenschen zur Forschung anregt. Ist ja doch der sehnsüchtige Wunsch, dem Vogel gleich auf leichten Schwingen den Äther zu durchstreifen, so alt wie das Menschengeschlecht. Seit den Zeiten des Dädalus und Ikarus bis in die neueste

Zeit haben sich zahllose Empiriker und wissenschaftliche Forscher mit dem Flugproblem abgemüht, bisher ohne vollen Erfolg.

Der Vogel ist die ideale Flugmaschine, aber keine tote sondern eine lebendige Maschine, die nicht nur die nötige Kraft sich selbst erzeugt, sondern sich auch selbst regiert und lenkt.

Sowie unsere künstlichen Maschinen aus Kohle und Wasser durch Wärme die Spannkkräfte des Dampfes entwickeln, so löst auch die tierische Maschine aus der aufgenommenen Nahrung durch eine Art Verbrennung Spannkkräfte aus, die als Nervenenergie das Ganze leiten und lenken, als Muskelenergie zur Bewegung des Knochengerrüstes dient und endlich als Wärme den ganzen Organismus aktionsfähig erhält.

Der Vogelorganismus ist aus zwei Prinzipien zu beurteilen: erstens aus der hohen Blutwärme von 41°C , welche uns die Energie und Raschheit seiner Bewegungen, aber auch sein großes Nahrungsbedürfnis sowie die Existenzfähigkeit in den Eiwüsten der Polarmeere erklärt. Zweitens das Prinzip der Sparsamkeit, welches die Natur im Baue des Vogelkörpers strenge durchgeführt hat. Diese Sparsamkeit gilt in doppeltem Sinne: einmal für das Gewicht des ganzen Tieres und zweitens für die Wahl des Materiales, das zum Aufbau verwendet wird.

Das absolute Gewicht der Vögel hat seine obere Grenze etwa bei 10 Kilogramm, welches aber nur wenige erreichen, z. B. der Schwan, Adler, Kondor und andere Geier. Die meisten Vögel sind viel leichter, bis zu wenig Grammen herab.

Nun wollen wir uns das Bild einer fliegenden Möve gegenwärtigen!

Wie ein Schiffsrumpf hängt der schlanke Leib in den beiden langen Flügeln, nach vorne in den kleinen Kopf und den spitzen Schnabel auslaufend, um das Luftmeer besser durchschneiden zu können. Dieser Vergleich mit einem Schiffe wird noch berechtigter, wenn wir das Rumpfskelett betrachten.

Der Vogelrumpf ist im Vergleich zu dem langgestreckten des Säugetieres kurz und gedrungen. Jener ruht wagerecht auf vier gleich langen Beinen, die sich gleichmäßig in die Körperlast teilen und daher gleich stark sind. Der Kopf, schwer und massiv, da er ja das kräftige Gebiß zu tragen hat, ruht

auf kurzem Halse und sieht geradeaus oder zu Boden: alles darauf zugestutzt, daß das Tier geradeaus läuft.

Wie ganz anders beim Vogel! Die beiden Paare von Gliedmaßen haben sehr verschiedene Rollen erhalten. Die Körperlast ruht nur mehr auf den beiden Beinen, die allein für das Stillsitzen in der Ruhe bestimmt sind. Die Vordergliedmaße ist total umgemodelt worden zum Flügel, dem unvergleichlich zweckmäßigen Lufruder. In der Ruhelage ist der Vogelleib schräg aufgerichtet, der Kopf blickt zum Himmel, das ganze Tier wie zum Sprunge bereit, sich bei der geringsten Störung zu erheben. Der kurze Rumpf wird vorne von der mächtigen Brustbeinplatte wie von einem Schilde bedeckt, das die Eingeweide vor dem Luftdruck zu schützen hat. Auf der Platte erhebt sich ein mächtiger Kamm wie ein Schiffskiel, der der großen Brustmuskel zum Ansatz dient. Als Gegenstück schützt den Leib von oben die starre Wirbelsäule, die in das mächtige Becken versenkt ist. Die Rippen, bloß acht, umspannen die Brusthöhle. Das ganze Rumpfgerüst ist starr und unbiegsam, wie ein fester Schiffskörper, damit er vom Luftwiderstande nicht abgelenkt wird.

Dieser Rumpf hängt nun so in den ausgespannten Flügeln, daß der Schwerpunkt hinter und unter dem Schultergelenk liegt. Der Vogel nimmt also automatisch eine schräg ansteigende Lage ein.

Sehr wichtig ist die Befestigung des Flügels am Rumpf im Schultergelenk. Dasselbe wird durch das Zusammenstoßen dreier Knochen gebildet: am Rücken liegt das säbelartige Schulterblatt bloß in die Muskelmasse eingebettet, von unten und vorne kommen das kräftige Rabenbein, welches auf dem oberen Rande des Brustbeinkörpers aufruht, und endlich das zierliche Gabelbein, welches der Spitze des Brustbeinkammes aufsitzt. Wie stark diese dreifache Verspreizung des Schultergelenkes ist, erhellt aus dem Vergleiche mit den Säugetieren, wo meist nur das einfache Schulterblatt vorhanden ist.

Der Flügel selbst besteht zunächst aus dem kurzen, aber auffallend dicken Oberarm. Er ist nämlich hohl und wie die meisten anderen Knochen mit Luft gefüllt und förmlich auf-

getrieben, damit die Muskeln breite Ansatzflächen haben. Auf die Lufthältigkeit der Knochen und ihre Bedeutung werden wir sofort näher eingehen. Der Oberarm trägt den sog. Schulterfittich. Es folgen die beiden Unterarmknochen, von denen der rückwärtige, die Elle, stärker ausgebildet und zum Träger des Armfittichs oder Fächers bestimmt ist. Endlich folgt hier die Hand, welche aus bloß drei Fingern besteht: dem kurzen Daumen, der den sog. Eckflügel trägt, dem langen Zeige- und dem schon reduzierten Mittelfinger, der dem zweiten parallel anliegt. Diese beiden Finger tragen die zehn Handschwingen. Die genannten Knochen besitzen mit Ausnahme des Oberarmes nur sehr wenig Muskeln und sind von einer derben Haut überzogen, welche vorne in der Ellenbeuge eine breite dreieckige Falte, das Patagium oder den Windfang, und hinter dem Oberarm die Achselfalte bildet. Diese beiden Hautfalten vergrößern die Oberfläche des Flügels und tragen wesentlich zum Effekt des Fluges mit ruhig ausgebreiteten Schwingen bei.

Um Wiederholungen zu meiden, müssen wir jetzt den Bau der Feder beschreiben.

Die Feder ist an sich ein mechanisches Wunder, sie vereint größte Leichtigkeit und Festigkeit miteinander. Gedenkt man noch der Farbenpracht etwa einer Pfauenfeder und erwägt, daß der Vogel jedes Jahr diese Pracht abwirft, um neue Federn zu erzeugen, so muß man über die verschwenderische Bildungskraft staunen.

Die Federn sind Horngebilde der Epidermis, wie die Haare. Wir unterscheiden die weichen, schaftlosen Dunen oder Flaumfedern, die als Wärmeschutz dienen, und die harten Kontur- oder Deckfedern, welche die Dunen bedecken und schützen.

Die Deckfedern bestehen aus Schaft und Fahne. Der Schaft ist unten hohl, die Spule, oben als der Kiel mit weichem Mark erfüllt und hat auf der Unterseite eine Längsrinne, die von zwei Verstärkungsleisten gebildet wird. Die Fahne besteht aus Strahlen, welche wieder Äste, sog. Nebenstrahlen, besitzen, die sich mittels kleiner Häkchen miteinander verbinden, sodaß die Fahne beim Aufschlag auf die Luft eine undurchdringliche Fläche bildet. Die größten Federn zeigt der Schwanz

in den sog. Steuerfedern mit symmetrischer und der Flügel in den Schwungfedern mit asymmetrischer Fahne. Die Schwingen besitzen dicht oberhalb ihrer Insertion in der Haut ein Gitterwerk von Sehnen, welches eine Rollung der Federschäfte automatisch bewirkt, und zwar in der Weise, daß bei Flügelstreckung, d. i. beim Niederschlag des Flügels, die Fahnen horizontal liegen und sich teilweise decken, wobei die breitere Hinterfahne unter der schmalen Vorderfahne der nächsten Feder liegt; bei Beugung des Flügels, d. i. beim Aufschlag, liegen die Fahnen vertikal, gehen mit der Kante der Vorderfahne voraus, lassen wie die geöffneten Brettchen einer Fensterjalousie, die Luft zwischen sich durchstreichen, d. h. der Flügel geht ohne besonderen Luftwiderstand empor. Während also beim Niederschlag ein Maximum von Druck entsteht, ist derselbe beim Aufschlage fast = Null.

Die Basis der großen Schwungfedern würde zwischen deren Spulen der Luft freien Durchtritt gestatten, wenn diese Löcher nicht durch die sog. Flügeldeckfedern, tectrices, geschlossen wären. Wir unterscheiden auf der Oberseite des Flügels drei Reihen derselben, die gegen den starken Rand des Flügels immer kleiner werden und endlich in schuppenartige, weiche Federn übergehen, die den vorderen Flügelrand bedecken. Ebenso gibt es Unterflügeldecken. Der Vorderrand ist nach unten zu umgebogen, sodaß die Flügelunterseite eine Art Mulde bildet, während die obere Fläche des Flügels konvex ist.

Ebenso wichtig für das Verständnis des Vogelkörpers wie die Feder ist das Atmungsorgan. (Vgl. Tafel I, Fig. 4.) Die Lunge der Vögel ist verhältnismäßig klein, sie liegt nicht frei in der Brusthöhle, wie beim Säugetier, sondern sie ist ihrer ganzen Länge nach mit ihrer Rückenseite der Bucht zwischen Wirbelsäule und Rippen verlötet. Schon aus diesem Grunde ist eine regelmäßige Ausdehnung und Zusammenziehung der Vogellunge zum Zwecke der Ventilation ausgeschlossen. Dazu kommt noch der Bau der Lungen. Jeder Bronchus setzt sich als sogenannter Mesobronchus, d. h. mittleres Rohr, durch die ganze Lunge bis zum hinteren Ende fort und mündet dort offen in den sogenannten hinteren Luftsack, ein äußerst dünn-

häutiges Organ, welches sich zwischen den Darmschlingen bis in die Beckenhöhle einschiebt. An der Wurzel dieses Mesobronchus entspringen zehn Seitenbronchen, welche parallel zueinander bis zur Lungenspitze verlaufen und ihrerseits Ästchen dritter Ordnung, den sog. Lungenpfeifen, als Ursprung dienen. Diese tragen erst die Lungenbläschen in Form kleiner Träubchen und zwischen dieselben ist festes Bindegewebe eingeschaltet, sodaß von einer Atembewegung wie bei uns keine Rede sein kann.

Dazu dienen nun die Luftsäcke, von denen man gewöhnlich fünf jederseits zählt: einen Nackenluftsack, einen an der Gabelung der Trachea in die Bronchen, daher Tracheobronchialluftsack, ferner zwei mittlere Luftsäcke, welche sich zwischen Herz, Leber, Magen und Eierstock einschieben, und endlich den schon erwähnten hinteren Luftsack, der längste, der bis ins Becken reicht, und sich speziell zwischen die Darmschlingen einschiebt.

Der Nackenluftsack sendet seine Luftblasen mit den Halsadern in den Wirbelkanal, umhüllt das Rückenmark und steigt mit demselben bis in die Schädelhöhle, wo seine letzten Ausstülpungen das Gehirn schützend umhüllen. Endlich sendet derselbe Luftsäckchen in die ausgehöhlten Wirbelkörper.

Der tracheale Luftsack sendet Ausstülpungen in die beiden Oberarmknochen, welche das Knochenmark sukzessive verdrängen, wenn das Wachstum des Knochens beendet und das Mark keine Bedeutung mehr hat. Dieser Luftsack schiebt sich bei manchen Vögeln, z. B. beim Pelikan, bis in den Unterarm, ja selbst in das Handskelett ein, sodaß alle Flügelknochen pneumatisch sein können.

Hier sei bemerkt, daß die Pneumatisierung des Schädel skeletts, namentlich der Gesichtsknochen auch aus der Nasenrachenhöhle ihren Ursprung nimmt und sich ähnlich wie die Eustachische Trompete verhält, die ins Mittelohr mündet.

Über die Funktion dieser Luftsäcke ist viel geschrieben und gestritten worden. Am widersinnigsten ist es, ihnen eine Verminderung des spezifischen Gewichtes des Vogels zuzuschreiben. Hat ja die aufgenommene Luft doch dasselbe Gewicht, wie die äußere, umgebende. Das hätte nur dann einen

Sinn, wenn der Vogel sein Volumen so kolossal ausdehnen könnte, wie ein Luftballon und sich mit einem viel leichteren Gase, etwa Wasserstoff, füllen könnte.

Um Sie von der Unhaltbarkeit dieser Auffassung zu überzeugen, wollen wir annehmen, daß ein Schwan von 10 *kg* Körpergewicht in seine Luftsäcke 10 Liter Luft aufnehmen könnte. Diese Luft ist nun, da sie durch die Körperwärme ausgedehnt wird, gewiß leichter als die äußere, von der das Liter 1·3 *g* wiegt. Nehmen wir an, die Innenluft wiege bloß 1 *g* per Liter, so ergibt das für 10 Liter einen Auftrieb von drei Gramm, was bei 10 Kilogramm oder 10.000 Gramm sicher nicht von Bedeutung ist, überdies durch die Aufnahme einiger Futterkörner sofort wettgemacht würde.

Also damit ist es nichts. Da der Vogel beim Fliegen den Brustkorb wegen des Luftdruckes nicht rhythmisch bewegen kann, seine Lunge überhaupt nicht so frei ist, wie die Säuglunge, so müssen diese Luftsäcke als Ventilatoren einspringen. Sie wirken wie Saugpumpen, die durch die Körpermuskeln zusammengedrückt und wieder erweitert, die Luft ansaugen. Zwischen diese Reservoirs und die Luftröhre ist eben die Lunge wie ein Schwamm eingeschoben. Es muß daher die Luft stets die Lungen passieren. So wird uns verständlich, wie die Lerche, in den blauen Äther aufsteigend, unermüdlich trillern kann, wie der Vogel auch bei reißendem Fluge nie an Atemnot leidet, langgezogene Rufe erschallen lassen und ohne die geringste Beschleunigung des Atemholens wieder aufbäumen kann.

Eine zweite Funktion der Luftsäcke ist die, daß sie das leichteste Ausfüllungsmaterial für die Lücken der Gewebe bilden, noch leichter als Fett, welches sonst hiezu dient. Ferner ist die Luft ein wirksamer Wärmeschutz. Endlich bieten diese zahlreichen Luftkissen, die im Vogelweichkörper eingestreut liegen, das beste Schutzmittel gegen Stoß- und Druckverletzungen beim plötzlichen Landen auf dem festen Boden.

Wenn wir nun an die Erklärung der Mechanik des Fluges gehen, so muß vor allem konstatiert werden, daß eine große Literatur über diesen Gegenstand vorliegt. An der Spitze steht der berühmte Physiker Borelli, dessen Werk „De motu ani-

malium“ über die Bewegung der Tiere vor fast zweihundert Jahren zu Leyden in Holland erschien. Borelli führt die Flugwirkung auf den Keil zurück, dessen beide Seiten die gehobenen und gebeugten Flügel darstellen sollen. Man hat diese Meinung längst als irrig erkannt und ich erwähne sie bloß aus Pietät. Die zahlreichen Nachfolger Borellis führen einen wahren Hexensabbath der widersprechendsten Angaben und Meinungen auf und es ist nicht leicht, hierin das wenige Wahre und Zutreffende auszuscheiden. Wir dürfen uns aber darüber nicht wundern; denn die Flügelschläge sind so schnell, daß sie durch die primitive Beobachtung mit freiem Auge nur ganz unvollkommen und roh oder gar nicht erfaßt werden können. Andererseits ist es sehr schwer angesichts der Ungebundenheit des Vogels, irgend welche exakte Forschungsmethoden zu ersinnen, welche den lebenden Vogel in Bewegung erfassen.

Der erste, der dies tat, ist der französische Physiologe Marey.¹ Derselbe benützte einen vertikalen, berußten, rotierenden Zylinder, auf welchem ein Schreibhebel Kurven einritzte. Man kann den in einer Weste steckenden Vogel direkt seine Flügelschläge registrieren lassen, wodurch man wenigstens die Zahl derselben pro Sekunde, ihre Ausschlagsgröße und Ähnliches exakt aufnehmen kann. Oder man befestigt mit Membranen geschlossene Trommeln auf der Brust oder dem Rücken des Tieres und kann so die Kontraktionen der Flugmuskeln oder die Oszillationen des ganzen Vogelkörpers aufnehmen.

Allein diese Registriermethode ist ungemein kompliziert und muß sich immer die Ausstellung gefallen lassen, daß sie nicht den freifliegenden, sondern den gefesselten Vogel, also unter unnatürlichen Bedingungen beobachtet.

Mareys Scharfsinn hat aber, und das ist sein Hauptverdienst, auch die Momentphotographie auf dieses schwierige Problem angewendet. Angeregt wurde er durch den Amerikaner Muybridge, der die Bewegungen der verschiedensten Tiere aufnahm. Marey erfand die sogenannte photographische Flinte. Dieselbe besteht aus einem weiten, einem Gewehrlaufe ähnlichen Rohre, welches das Objektiv und einem Sucher ent-

¹ La machine animale. Paris, 1878. Sur le vol des oiseaux. Paris, 1882.

hält und daher ermöglicht, dem fliegenden Vogel zielend nachzusehen. Im Körper des Gewehres befindet sich eine Revolverkamera mit rotierender, lichtempfindlicher Platte, die durch ein Uhrwerk in Gang gesetzt wird. Dieses Uhrwerk löst ein Drücker im passenden Momente aus. Marey erhielt allerdings bloß die Silhouetten der Vögel, aber auch das ist ein Erfolg zu nennen, wenn man den Wust von widersprechenden Ansichten über die Flügelstellung und Flügelbewegung der früheren Autoren kennen gelernt hat.

Nach Marey trat noch der Genfer Luggardon in dieser Richtung hervor, und namentlich der Deutsche Othmar Anschütz in Lissa in Posen brachte die schönsten und vollkommensten Bilder, besonders von Tauben und Störchen. Es ist reizend, wie die klugen Störche von Anschütz überlistet wurden. Er benützte nicht mehr die Marey'sche Flinte, sondern einen feststehenden, soliden Apparat mit einer Belichtungsdauer von zirka ein Tausendstel Sekunde. Diesen Apparat postierte er auf dem Dache nächst dem Storchenneste, indem er von der richtigen Ansicht ausging, die Tiere zuerst im Momente des Abfliegens und Landens zu erhaschen. Allein als er mit unsäglichen Mühen seinen Posten das erstemal bezog, äugten sowohl die alten als die jungen Störche den fremden Eindringling in unbeweglicher steifer Ruhe an und vereitelten so seine Absichten. Anschütz errichtete nun eine Laube auf dem Dache, postierte darin einen alten Apparat und eine Vogelscheuche in Form eines ausgestopften Rockes. So gewöhnte er die Tiere an den ihnen fremden Anblick und erreichte so endlich glänzend sein Ziel.

Es gibt eine große Mannigfaltigkeit in den Formen des Fluges. Denken Sie an den sausen Flug der Tauben, an das Flattern der Sperlinge, an den wellenartig an- und absteigenden der Finken und an das majestätische, scheinbar regungslose Kreisen des Adlers!

Wir nehmen die erste Form den Ruderflug, die letzte den Segel- oder Drachenflug. Wir wollen den Vogel zuerst beim horizontalen Normalfluge betrachten, d. h. in einem bestimmten Niveau, ohne uns zu fragen, wie er dasselbe erreichte.

Beim Ruderfluge kommt es darauf an, daß das Tier genau wie ein Boot durch die Ruder, sich durch die Kraft der Flügel vorwärts bringt. Aber sofort muß ich an einen gewaltigen Unterschied gegenüber dem Boote erinnern. Das Gewicht des Bootes wird vom Wasser getragen, es schwimmt, der Vogel schwimmt nicht, er muß sein Eigengewicht heben, sonst fällt er unrettbar zu Boden. Die erste Frage ist also: Wie erhält der Vogel sein Gewicht?

Zunächst ist klar, daß der Niederschlag des Flügels den Vogel heben, der Aufschlag senken muß. Wenn beide Kräfte gleich wären, so könnte es zu keiner Hebung des Tieres kommen, die doch sichtlich stattfindet.

Der Niederschlag des Flügels findet, das ist eben auch durch die Photographie festgestellt, stets in vollkommener Streckung und mit größter Wucht statt, der Aufschlag dagegen im gebeugten Zustande und in der mindestens doppelten Zeit, ist also weniger wuchtig. Die Unterfläche des Flügels ist ferner konkav, muldenförmig; die Oberseite konvex, erhaben, daher faßt die Unterseite die Luft, sie kann nicht sofort ausweichen, sie muß sich bei der Raschheit des Schlages zusammendrücken und daher gedrückt; so entsteht die aufwärts treibende Kraft, wir wollen sie Auftrieb nennen. An der Oberseite des Flügels gleitet die Luft ab. Drittens sind die Fahnen beim Niederschlag horizontal geschlossen, lassen die Luft also nicht durch. Beim Aufschlag sind die Fahnen vertikal, wie Jalousiebrettchen geöffnet und lassen die Luft durch. (Abbildung des Kakadus auf Tafel II.) Daraus folgt, daß der Luftwiderstand beim Niederschlag viel stärker sein muß, als beim Aufschlag, folglich der Vogel sein Gewicht durch den Auftrieb heben und schwebend erhalten kann.

Allein so einfach ist die Sache nicht. Wenn auch beim Aufschlage der Gegendruck der Luft aus den eben genannten drei Gründen kleiner ist als beim Niederschlag, eine bestimmte Größe hat er doch und er muß den Vogel um ein Stück niederdrücken. Marey hat diesen Umstand durch seine Registriermethode festgestellt. Aber die hebende Kraft ist dafür so groß, daß sie nicht nur dem Gewichte des Körpers gleich, sondern größer als dieses ist und so den Vogel um ein ebenso

großes Stück hebt, als er beim Aufschlage sinkt. Der Vogel macht also wellenförmig ab- und aufsteigende Oszillationen. Während des horizontalen Normalfluges sind die Ausschläge nach oben und unten gleich, er behauptet sein Niveau; ist der Auftrieb größer, so muß der Vogel steigen, ist der Abtrieb größer, muß er sinken.

Wir haben also zunächst drei Kräfte zu konstatieren: das Körpergewicht des Vogels, das ihn niederzuziehen strebt; den Auftrieb, erzeugt durch den Flügelniederschlag, die Gegenkraft, die ihn emportreibt, und den abwärts gerichteten Abtrieb, herrührend vom Flügelaufschlag. Durch das relative Größenverhältnis dieser drei Kräfte ist nun erklärt, wie sich der Vogel entgegen der Wirkung der Schwere frei schwebend in der Luft erhält.

Die nächste Frage ist nun: Wie kommt der Vogel vorwärts?

Ich habe hier ein sehr primitives Flügelmodell, hergestellt aus einer Gerte, Spagat und einem Stück Leinwand.

Ich schlage nun mit diesem künstlichen Flügel möglichst rasch und vertikal abwärts.

Ich kann das wiederholen, so oft ich will, stets mache ich zwei Erfahrungen: erstens empfinde ich den Auftrieb, der stetig wächst, je tiefer ich komme, und zweitens weicht der Flügel jedesmal, und zwar nach dem stärkeren Rande aus, und indem der Hinterrand emporgeht, stellt sich die Fläche schief (Pronation). Beim Vogelflügel entspricht der Gerte der dicke Vorderrand, der Schnur der elastische, nachgiebige Hinterrand. Der Flügel wird also nicht einfach niedergeschlagen, sondern auch stets schräg eingestellt, am meisten mit dem beweglichen Handfittich, während Arm- und Schulterfittich wegen ihres Zusammenhanges mit dem Körper an dieser Drehung nur geringen oder gar keinen Anteil haben. — Wenn wir uns (Tafel I, Figur 1) den Durchschnitt des Handfittichs mit der Zeichenebene als eine geneigte Linie $a-b$ zeichnen, sodaß a dem Vorder-, b dem Hinterrande des Flügels entspricht, so kommt es beim Niederschlage zur Bildung eines Druckes, der schließlich normal zum Flügel steht. Diese Kraft, sie sei $-cd$, zerlegen wir nach dem bekannten Satze vom

Kräfteparallelogramm in zwei Komponenten, eine vertikale = ce , welche das Maß für den Auftrieb ist, und eine horizontale = cf . Diese letztere ist es nun, welche den Vogel vorwärts treibt. Sie leistet zweierlei: sie überwindet den Luftwiderstand, der dank der Gestalt des Vogels möglichst klein gemacht ist, und sie erteilt dem Tiere eine Horizontalgeschwindigkeit. Ich mache hier aufmerksam, daß auch diese Überlegung nur ganz roh ist. Der Flügel ist eine kompliziert gebogene und gewundene, nirgends ebene Fläche, wie hier vorausgesetzt wurde.

Es ist vorteilhaft für die Größe der Propellerkraft, daß sie hauptsächlich mit dem Hand-, also Endteil des Flügels, erzeugt wird, denn je länger der Hebel, desto größer die entwickelte Kraft. Ferner hängt die Größe dieser Kraft von der Neigung der Flugfläche ab. Am günstigsten wäre die vertikale Lage, weil dann die ganze Schlagkraft in Repulsion verwandelt würde. Dann wäre aber wieder keine Hebekraft, kein Auftrieb vorhanden. Wäre die Flügelfläche horizontal, so würde alles zu Auftrieb werden und nichts auf die Propulsion entfallen. Da also diese beiden Kräfte in einem solchen Abhängigkeitsverhältnisse zu einander stehen, daß mit dem Wachsen der einen ein äquivalentes Abnehmen der anderen notwendig ist, so muß es eine günstigste Flügellage, ein Optimum, geben, für welches beide Kräfte am besten wegkommen.

Die Schnelligkeit des Fluges hängt demnach ab: von der Größe und Neigung der Flugfläche, der Länge des Flügels (vergl. Möven) und der Frequenz der Flügelschläge.

Wir haben uns bisher nur mit dem Niederschlage des Flügels befaßt. Es ist leicht einzusehen, daß auch für den Aufschlag, allerdings bei geringerer Ausgiebigkeit, dasselbe gilt. Wenn ich mit dem Flügelmodell aufwärts schlage, so weicht es in ganz gleicher Weise wieder nach vorne, d. h. nach der Gerte zu aus. Jetzt stellt sich der Flügel so schräg, daß der Vorderrand höher ist als der Hinterrand (Supinationsstellung).

Wir sehen aus der Zeichnung (Tafel I, Fig. 2), daß beim Aufschlage wieder zwei Kräfte entstehen: eine abwärts treibende (ce) und eine vorwärts treibende (cf). — Im Sinne des horizontalen Normalfluges profitiert der Vogel sowohl vom

Nieder- wie vom Aufschlag der Flügel, allerdings in verschiedenem Maße.

Es wurde besonders betont, daß an der Propulsion nur der Handfittich beteiligt ist. Welche Wirkung haben nun die Achselteile des Fittichs?

Sobald der Vogel eine gewisse Horizontalgeschwindigkeit erreicht hat, faßt der entgegenwirkende Luftdruck die Unterseite dieser Flügelteile, die Vorderseite des Körpers und den Schwanzfächer und drückt dieselben wie einen Papierdrachen schräg aufwärts. Natürlich ist die Wirkung dieselbe, wenn der Vogel gegen eine konstante Luftströmung anfliegt. Wir können uns das folgendermaßen zurechtlegen: AB in Fig. 3 auf Tafel I wäre die Achse des Vogelkörpers, etwa unter 30° gegen den Horizont geneigt. Die gegendrückende Kraft des Windes sei gleich cd . Wir zerlegen sie in zwei Komponenten: cf gleitet wirkungslos längs des Körpers des Vogels ab, ce aber wirkt hebend und trägt also den Vogel je nach ihrer Größe im Verhältnisse zum Körpergewicht entweder horizontal oder hebt ihn sogar empor. Der Vogel schwebt mit völlig ruhig ausgespannten Flügeln stets höher und höher, als ob er auf einer schiefen Ebene hinanstiege. Das ist der sogenannte Drachen- oder Segelflug.

In seiner reinsten Form kommt der Drachenflug nur bei wenig Vögeln, z. B. beim Adler, Kondor und anderen Raubvögeln, dann in ausgezeichneter Weise beim Albatros, den Möven u. ä., vor.

Es ist wohl klar, daß von einer fortschreitenden Bewegung nur so lange die Rede sein kann, als die Geschwindigkeit des Tieres größer ist als der entgegenwirkende Druck. Wir haben also, wie früher, drei Kräfte zu konstatieren: das Körpergewicht des Vogels, vertikal abwärts gerichtet; ihm gleich oder größer die Vertikalkomponente des Luftdruckes, der den Vogel von vorne faßt, und endlich die Fluggeschwindigkeit, die ihn vorwärts treibt. Diese letztere wird endlich durch den Gegendruck aufgezehrt und der Vogel muß durch Flügelschläge oder durch Abwärtsgleiten in schräger Richtung wieder eine neue Horizontalgeschwindigkeit erwerben. — So erklärt sich der wellenförmige Flug vieler Seevögel und der Finken.

Schwebt der Vogel mit vollkommen symmetrischer Flügelhaltung, so muß er in einer geraden Linie wie auf einer schiefen Ebene aufsteigen. Beugt er aber den einen Flügel nur unmerklich, so wickelt sich die schiefe Ebene um einen Zylinder auf und wird zur Schraubenlinie; so entsteht also das Kreisen. Dasselbe ist bei allen großen Raubvögeln, am schönsten bei den Weihen, zu beobachten, welche äußerst kunstvoll verschlungene Schleifen und Pirouetten ausführen. Ferner sind es die großen Seevögel, Albatros, Möven u. s. w., welche, oft meilenweit von jeder Küste entfernt, auf offener See ihre Kreise ziehen.

In seiner reinsten Form kommt der Segelflug indessen nur in sehr wenigen Fällen vor, verbunden mit dem Ruderflug dagegen bei allen Vögeln.

Es wurde schon früher betont, daß das Rudern nur mit dem Handfittich erfolgt; gleichzeitig faßt der Gegenwind die Brust, den Armfittich, der wegen seiner Verbindung mit dem Körper sich nicht so pronieren und supinieren kann wie die Hand, und endlich den Schwanzfächer. Diese Teile genügen, um einen Auftrieb zu erzeugen, hinreichend, um den Vogelkörper schwebend zu erhalten, sobald einmal eine gewisse Horizontalgeschwindigkeit erreicht ist.

Wir können nun zusammenfassen. Die größte Anstrengung kostet dem Vogel das Emporsteigen in ein gewisses, ihm zusagendes Niveau im Luftmeere. Da muß er mit voller Kraft und möglichst rasch, in möglichst großen Exkursionen die Schwingen schlagen. Das klatschende Geräusch, welches man beim Auffliegen der Tauben hört, rührt vom Zusammenschlagen der Rückenseite der Flügel her. — Der Storch z. B. macht das anders, wenn er vom Neste abfliegt. Da stürzt er sich mit gehobenen Flügeln schräg abwärts vom Nestrande in die Tiefe und macht so einen 10 m langen Satz, ehe er den ersten aktiven Flügelschlag ausführt. Er hat dabei schon eine bedeutende Geschwindigkeit durch den freien Fall erlangt. Vor dem Auffliegen vom ebenen Boden machen alle Stelzenvögel mehrere gewaltige Sprünge, wobei sie gleichzeitig die Flügel schlagen. Sobald also einmal diese Geschwindigkeit erreicht ist, brauchen die Flügelschläge nicht mehr so wuchtig

zu sein, weil ja die Körperlast vom Luftdruck infolge der Drachenwirkung getragen wird. Es genügt also, die erlangte Geschwindigkeit zu erhalten, respektive zu steigern. Allerdings kann auch das eine große Leistung erfordern. So besitzen Falken und Tauben eine Geschwindigkeit bis zu 25 *m* per Sekunde, bei unserer Mauer- oder Turmschwalbe beträgt dieselbe mindestens 30 *m*. Das ist mehr als die doppelte Schnellzugsgeschwindigkeit und bedeutet, daß dieser Vogel in einer Minute 1800 *m*, in einer Stunde 108 Kilometer, daß er also die Bahnstraße Graz—Wien in zirka zwei Stunden abfliegen könnte.

Es erübrigt uns noch, die Frage nach der Steuerung des Fluges zu erörtern. In der horizontalen geschieht dieselbe einfach durch Einziehen eines Flügels. Beugt das Tier den rechten Flügel, so treibt ihn der Überdruck des linken Flügels nach rechts und umgekehrt. In der vertikalen Richtung besorgt der Schwanzfächer die Steuerung, und zwar in folgender Art: Hier habe ich Papierpfeile, wie sie die Kinder als Spielzeug fertigen. Ich schleudere den ersten, er fliegt wenigstens eine Strecke horizontal. Ich knicke nun einen Teil des breiten Hinterendes nach oben und werfe wieder horizontal; sofort steigt der Pfeil mit der Spitze nach oben. Knicke ich den Breitteil nach unten, so sinkt das Geschöß sofort zu Boden. Genau in dieser Weise verursacht also der Schwanzfächer ein Steigen oder Sinken des Vogels. Es ist wohl selbstverständlich, daß durch Kombination beider Steuerungen, von Flügel und Schwanz, es dem Tier auch möglich ist, Zwischenrichtungen, z. B. schräg aufwärts rechtshin u. s. w. einzu-schlagen.

So haben wir, soweit es im knappen Ausmaße einer Stunde angeht und soweit der schwerfällige sprachliche Ausdruck einer so raschen Naturerscheinung zu folgen vermag, den Vogelflug zu begreifen gesucht. Allein ich glaube mich nicht in der Voraussetzung zu täuschen, daß Sie auch einige Worte über den künstlichen Flug des Menschen erwarten.

Wir unterscheiden diesfalls zunächst den dynamischen vom statischen Flug. Bei ersterem handelt es sich um die volle Beherrschung des Luftmeeres durch aktiv bewegte Flug-

werkzeuge, dies ist die Flugmaschine; letzterer ist das Schweben und passive Treiben im Luftballon.

Beim dynamischen Fluge gibt es abermals zwei Varianten: erstens die Flugmaschine wird von der Körpermuskulatur des fliegenden Menschen selbst bewegt oder zweitens es besorgt dies ein eigener Motor.

Wenn wir erwägen, daß nur wenige gute Flieger unter den Vögeln ein Körpergewicht von 10 Kilogramm erreichen, die meisten und besten Flieger aber, z. B. die Möven, der Fregattenvogel, die Schwalben, die Segler u. s. w., sehr viel leichter sind; ferner, daß, wenn wir die Flügelfläche eines Adlers mit einem Quadratmeter ansetzen, die des Menschen zirka 10 Quadratmeter haben müßte, so werden uns schon Bedenken dagegen aufsteigen, daß der Mensch jemals mit Hilfe seiner eigenen Muskeln wird fliegen können. Die größten und ausgiebigsten Muskeln des menschlichen Körpers sind die der Beine. Denken wir uns mittels geschickter Übertragungen eine Flugmaschine durch diese Beinmuskulatur bewegt, so muß auch diese Möglichkeit bestritten werden. Das Verhältnis des Gewichtes dieser Muskeln zum Gesamtgewichte des Menschenkörpers ist viel ungünstiger als das der Brust- und Schultermuskeln des Vogels zu dessen Körpergewicht. Weiters sind die auslösbaren Spankräfte des Vogel Muskels wegen dessen höherer Blutwärme sicher größer als beim Menschen. Man könnte den Vogel einer Hochdruck-, den Menschen einer Niederdruckdampfmaschine vergleichen. Drittens ist die Atmung des Menschen für solche Anstrengungen nicht eingerichtet. Es würde ihn sehr bald Atemnot zum Niedersteigen zwingen.

Wir können als Stützen für diese ablehnende Haltung gegen die vom Menschen selbst bewegte Flugmaschine zwei große Physiker anführen, nämlich Helmholtz und Werner Siemens.

So bleibt nur die zweite Möglichkeit, die Bewegung der Flugmaschine durch einen Motor. Für die Lösung dieses Problems ist die Form und Konstruktion der Flugflächen ziemlich gleichgiltig, es ist einerlei, ob das Segelflügel oder Segelräder sind; der Schwerpunkt liegt in dem Gewichte des Motors.

Das Problem ist mit dem Moment gelöst, wo es gelingt, einen genügend leichten und zugleich kräftigen Motor zu bauen. Die nötigen Flugflächen wird dann jeder Mechaniker mit Leichtigkeit herstellen. Es ist nun sehr lehrreich, zu sehen, daß alle die zahlreichen Empiriker, die sich mit diesem Problem abplagten, die Sache stets verkehrt anfaßten. In erster Linie steuerten sie auf den Flugapparat los und ließen die Motorfrage einstweilen zurücktreten. Das ist auch der Hauptgrund der bisherigen Mißerfolge. Die Frage des künstlichen Fluges ist gewiß lösbar und sie wird auch gewiß gelöst werden, und zwar durch eine Verbindung des statischen und dynamischen Fluges; aber sie wird nicht gelöst werden von Phantasten und Empirikern, sondern auf Grund ernster wissenschaftlicher Forschungen.

Mag dem nun sein, wie ihm wolle, mag dieser Zeitpunkt uns nahe bevorstehen oder in weiter Ferne liegen: wir, das lebende Geschlecht, wollen, den blauen Himmel über uns, die grüne Erde unter uns, den leichtbeschwingten Kindern des Äthers sinnenden Auges folgen und uns freuen, diese schönste und leichteste aller Bewegungsformen wenigstens annähernd zu begreifen.

Zum Schlusse muß ich den wärmsten Dank abstaten: Herrn Hofrat L. v. Graff für die freundliche Überlassung von Demonstrationsobjekten; dem Direktor der graphischen Lehranstalt in Wien, Herrn Hofrat J. M. Eder, für die lebenswürdige Zusendung mehrerer Werke über Momentphotographie und Herrn Hofrat Leopold Pfaundler für seine freundlichen Ratschläge in Bezug auf den mechanischen Teil der Frage.

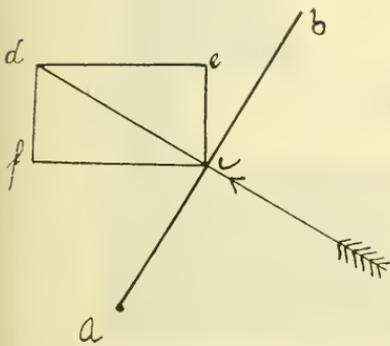


Fig. 1.

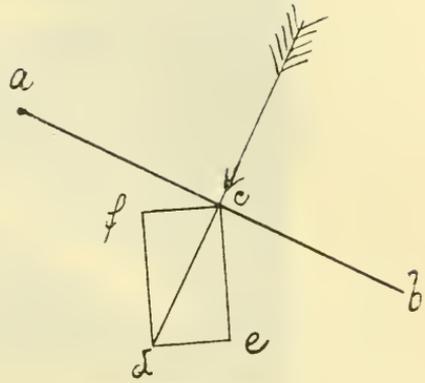


Fig. 2.

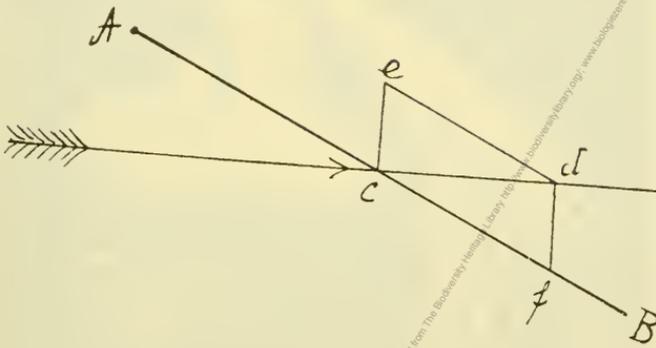


Fig. 3.

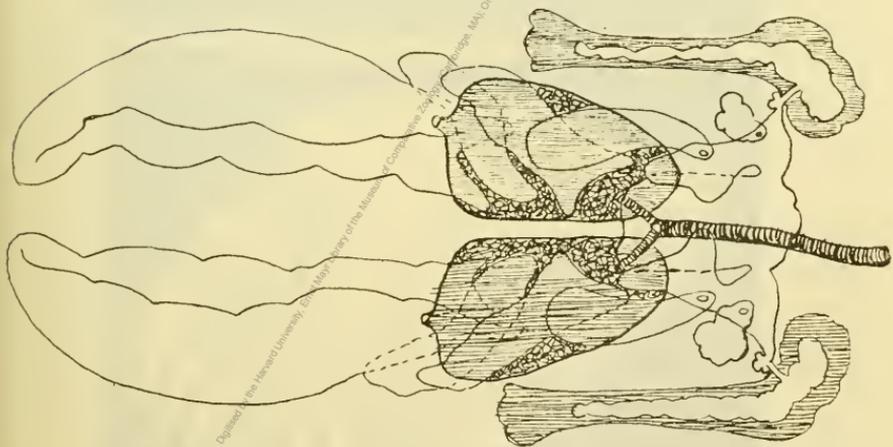
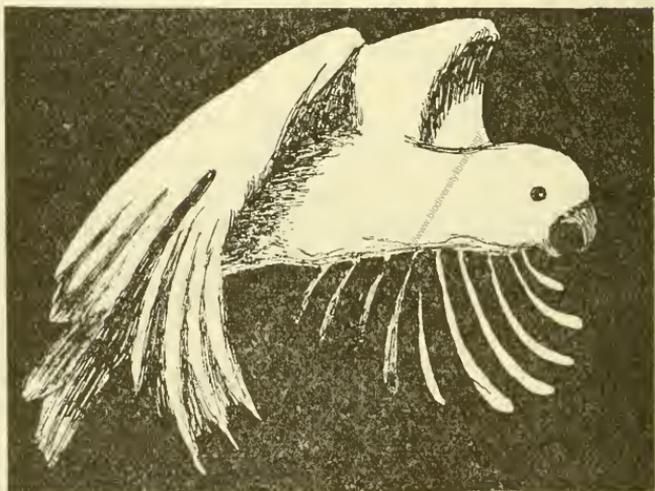
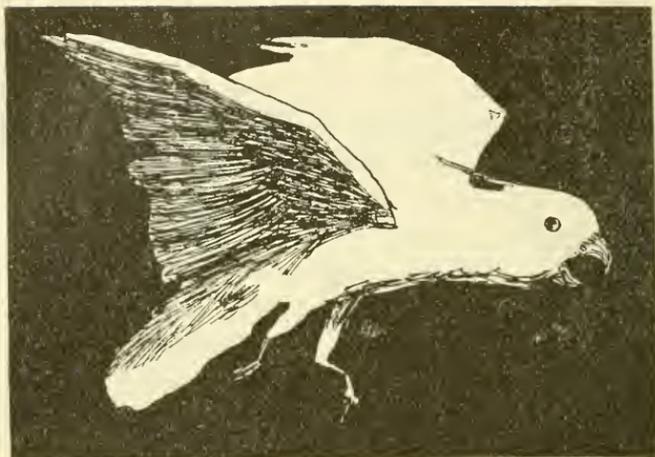


Fig. 4.



Tafel II.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 1906

Band/Volume: [42](#)

Autor(en)/Author(s): Nietsch Victor

Artikel/Article: [Über den Vogelflug. 82-100](#)