

### *Somalita* gen. nov.

Genotyp (Monotyp): *Nigrita cabanisi* Fischer & Reichenow, J. f. O. 1884. Die Gattungsdiagnose ergibt sich aus dem oben Gesagten von selbst.

## Analytisches zum Vogelflug.

Von Johannes Winkler, Braunschweig.

In den letzten Jahren sind zahlreiche Beiträge über den Vogelflug erschienen, deren Wert vor allem in einer genauen Beschreibung des Flügelschlages u. dergl. liegt, während die Deutung des komplizierten Vorganges nicht immer befriedigt. Es scheint daher an der Zeit, den Flugvorgang auch von Innen heraus zu analysieren, der Berechnung zugänglich zu machen und mit der Erfahrung zu vergleichen.

Das umfangreiche Stoffgebiet soll in drei Abschnitten behandelt werden: 1. der starre unbewegliche Tragflügel, 2. die Auf- und Abbewegung des Tragflügels als Parallelverschiebung (ebenes Problem), 3. der Kreisprozeß des Flügelschlages mit veränderlichen Beiwerten, veränderlicher Fläche, veränderlicher Geschwindigkeit.

### 1. Der starre unbewegliche Tragflügel.

Der Vogel wendet ihn an bei der Flugform des Gleitens und des Segelns. Was zu diesem Thema zu sagen ist, deckt sich etwa mit dem, was die Aerodynamik in den letzten Jahrzehnten herausgebracht hat. Es würde zu weit führen, diese Dinge hier zu wiederholen, in einer wissenschaftlichen Abhandlung müssen sie grundsätzlich als bekannt vorausgesetzt werden. Nur die für das Verständnis des 2. Abschnitts notwendigen Tatsachen sollen hier kurz herausgestellt werden.

Wird eine ebene Fläche rasch durch die Luft gezogen oder — was dasselbe ist — von einem Luftstrom angeblasen (z. B. im Windkanal), so entstehen, besonders wenn diese Ebene etwas schräg gestellt wird, an der Oberfläche der Platte Druckunterschiede, die durch die Umströmung bedingt sind, das Integral über das Product der Flächenelemente

mit den zugeordneten Drücken liefert die resultierende Luftkraft nach Größe, Richtung und Angriffspunkt der Luftkraft. Experimentell wird die resultierende Luftkraft im Windkanal im allgemeinen so bestimmt, daß man den Widerstand  $W$  in der Anblaserichtung und den Auftrieb  $A$  senkrecht dazu mißt, vergl. Fig. 1. Der Angriffspunkt der Luftkraft  $L$  wird durch eine Momentenmessung (Drehung um die Vorderkante des Tragflügels) ermittelt.

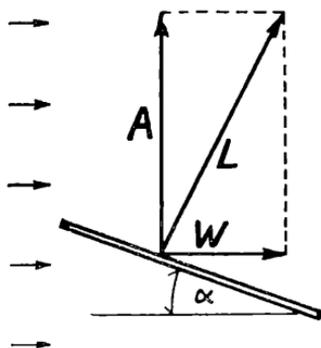


Abb. 1.

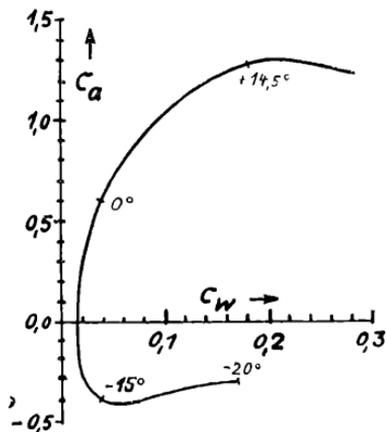


Abb. 2.

Man kann nun Auftrieb und Widerstand für verschieden starke Neigungen des Tragflügels (Anstellwinkel) bestimmen, und die sich ergebenden Meßpunkte durch eine Kurve miteinander verbinden und erhält dann das sogenannte Polaragramm, vergl. Fig. 2. Meist wird nicht der Auftrieb und der Widerstand selbst aufgetragen, sondern der dimensionslose Auftriebsbeiwert  $c_a$  und der Widerstandsbeiwert  $c_w$ , die sich aus dem allgemeinen Ansatz

$$A = c_a F \frac{\gamma}{2g} v^2 \text{ und } W = c_w F \frac{\gamma}{2g} v^2$$

durch Umschreiben ergeben.  $F$  ist dabei die Flächengröße,  $\gamma$  die Luftdichte,  $g$  die Erdbeschleunigung,  $v$  die Anblasegeschwindigkeit.

Der Anstellwinkel  $\alpha$  (d. i. im allgemeinen der Winkel zwischen Anblaserichtung und der Profilschne) wird an die Polare drangeschrieben. Um eine größere Deutlichkeit

der Auftragung zu bekommen, ist es üblich, den relativ kleinen Widerstandsbeiwert im 5fachen Maßstab aufzutragen. Die Messungen werden im Windkanal im allgemeinen bei einem Seitenverhältnis (Breite zu Tiefe) 5 : 1 vorgenommen,



Abb. 3.

für andere Seitenverhältnisse kann man die Werte mit Hilfe der Formel für den sogenannten induzierten Widerstand umrechnen, vergl. Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen 1. Lieferung S. 63.

Die ebene Tragfläche ist nun eine wenig leistungsfähige Tragfläche. Schon OTTO LILIENTHAL hatte erkannt, daß die gewölbte Tragfläche wesentlich höhere Auftriebsbeiwerte liefert. Noch bessere Werte erhält man an stromlinienförmigen Profilen, extreme Auftriebsbeiwerte erhält man mit Spaltflügeln, vergl. Fig. 3.

In Fig. 4 sind Polaren verschiedener Profile zusammengestellt. Die Auswahl des Profils erfolgt im Flugzeugbau nach dem Verwendungszweck des Flugzeuges.

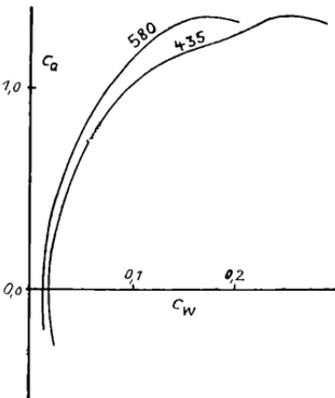


Abb. 4.

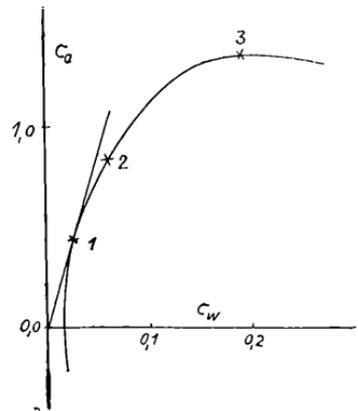


Abb. 5.

Es gibt auf den Polaren verschiedene ausgezeichnete Punkte, vergl. Fig. 5. Punkt 1 ist der wichtige Punkt, an dem die von Null an die Polare gezogene Tangente die Polare berührt. Er kennzeichnet die Stelle des besten Gleitwinkels.

Bei Segelflugzeugen muß dieser Punkt besonders günstig liegen, d. h. es muß bei einem möglichst kleinen Widerstandsbeiwert ein möglichst großer Auftriebsbeiwert vorhanden sein (Polare 580 der Fig. 4). Ein solches Profil ist z. B. vorteilhaft für die Möwe, die sehr viel unter Ausnutzung von Aufwinden segelt.

Das Motorflugzeug hingegen verlangt eine günstige Lage von Punkt 2, wo der Betriebsstoffverbrauch ein Minimum wird. Die günstige Motorleistung gemäß Punkt 2 ergibt sich mit Hilfe der Beziehungen

$$L = Wv = c_w F \frac{\gamma}{2g} v^3$$

$$v = \sqrt{\frac{G}{c_a F \frac{\gamma}{2g}}}$$

damit ergibt sich

$$L = c_w F \frac{\gamma}{2g} \sqrt{\left(\frac{2g G}{c_a F \gamma}\right)^3} = \frac{c_w}{c_a^{1,5}} \sqrt{\left(\frac{2g G}{F \gamma}\right)^3}$$

da unter dem Wurzelzeichen nur konstante Größen stehen, wird die erforderliche Leistung  $L$  dann ein Minimum, wenn der Wert  $c_w/c_a^{1,5}$  seinen Kleinstwert erreicht. Ein Profil mit günstigem Punkt 2 würden Vogelarten brauchen, die ausgiebig vom Flügelschlag Gebrauch machen, indessen kommen hier wegen der eigenartigen Verhältnisse beim Flügelschlag noch andere Gesichtspunkte in Betracht.

Das Höhenflugzeug wiederum braucht einen günstigen Punkt 3, einen großen Maximalauftrieb, der außerdem für jedes Flugzeug mit Rücksicht auf Start und Landung erwünscht ist, um eine möglichst kleine Geschwindigkeit trotz der Bedingung Auftrieb = Gewicht realisieren zu können. Für den Vogel ist dies noch wichtiger als für das Flugzeug, weil der Übergang von der Landegeschwindigkeit zum Stillstand auf kürzester Bremsstrecke erfolgen muß (Telegraphenstange), für dieses Kunststück wendet der Vogel noch mancherlei andere Kunstgriffe an.

## 2. Die Auf- und Abbewegung des Tragflügels.

Welchen Sinn hat nun die eigentümliche Schlagbewegung, die uns der Vogel tausendfältig vor Augen führt? Um das

Grundlegende dieses Vorganges besser übersehen zu können, soll von der Winkelbewegung der Verbindungslinie Flügelwurzel — Flügelspitze abgesehen werden und eine reine Parallelverschiebung des Tragflügels gleichmäßig über die ganze Spannweite, die außerdem unendlich groß sein muß, wenn die schwierige Randumströmung ausgeschaltet werden soll, angenommen werden. Alsdann brauchen wir den Vorgang nur in einem einzigen Querschnitt zu betrachten. Einer ähnlichen Vereinfachung, nämlich der Beschränkung auf denn starren unbeweglichen Tragflügel, verdankt die Aerodynamik ihren beispiellosen Erfolg. Nach 40 Jahren einer fruchtbaren Entwicklung ist es jedoch an der Zeit, einen zweiten nicht minder fruchtbaren Schritt vorwärts zu tun. Ob die Untersuchung des parallel auf und ab bewegten starren Tragflügels die Technik in demselben Maße anregen wird, wird davon abhängen, wie weit diese das Problem zu meistern imstande sein wird, jedenfalls kann ein solches Prinzip, das sich in der Natur tausendfältig bewährt hat, unserer hochentwickelten Technik kaum völlig unzugänglich sein, vielmehr scheint es so, als ob es von der Technik noch nicht in seiner ganzen Tragweite erkannt worden ist. Wir werden im weiteren Verlauf unserer Betrachtung bald sehen, daß wir es hier mit einem außerordentlich wichtigen Grundelement des Fliegens zu tun haben.

Durch die Auf- und Abbewegung des Tragflügels wird die Anblaserichtung geändert. Daraus ergeben sich bedeutende Vorteile beim Niederschlag: Es resultiert hierbei ein erheblicher Vortrieb ohne nennenswerte Verminderung der Hubkraft. Aus Abb. 6 u. 7 werden die Verhältnisse sofort deutlich. Durch die Abwärtsbewegung, die in Verbindung mit der Vorwärtsbewegung schräg nach unten geht, ergibt sich eine Anblaserichtung schräg von unten. Auch hat der Flügel, selbst wenn er bezogen auf die Horizontale keinen wirksamen Anstellwinkel zeigt, infolge der Anblasung schräg von unten trotzdem einen positiven Anstellwinkel gegenüber dem Luftstrom. Es ergibt sich eine große Luftkraft  $L$  etwa entsprechend dem Maximalwert von  $c_a$ .

Die Luftkraft  $L$  läßt sich nun auf zweifache Weise zerlegen

1. aerodynamisch in den Widerstand  $W$  in der Anblaserichtung und den Auftrieb  $A$  senkrecht dazu, wie bereits in Abschnitt 1 ausgeführt,
2. flugdynamisch in den Vortrieb  $V$  in Flugrichtung (die zur Vereinfachung horizontal angenommen sein möge) und die Hubkraft  $H$  senkrecht dazu (vergl. Abb. 7).

Ohne eine klare Scheidung der bisherigen Begriffe Auftrieb  $A$  und Widerstand  $W$ , die nach der Anblaserichtung orientiert sind, und der neuen Begriffen Vortrieb  $V$  und Hubkraft  $H$ , die nach der Flugrichtung orientiert sind, ferner der Begriffe Anstellwinkel  $\alpha$  (Winkel zwischen Profildsehne und Anblaserichtung) und Neigungswinkel des Flügelschlages  $\beta$  (Winkel der resultierenden Anblaserichtung gegen die hier

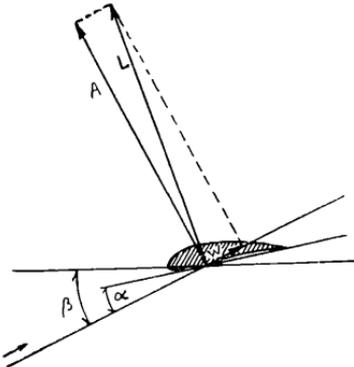


Abb. 6.

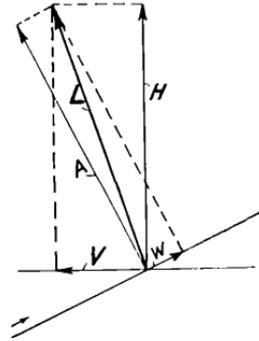


Abb. 7.

horizontal angenommene Flugrichtung) dürfte es nicht möglich sein, die Vorgänge beim Flügelschlag einwandfrei darzustellen. Während der Widerstand  $W$  stets gleiches Vorzeichen hat, kann der Auftrieb  $A$ , die Hubkraft  $H$  und der Vortrieb  $V$  sowohl positive wie negative Werte annehmen.

Der Widerstand  $W$  wird beim Niederschlag gerade überwunden, wenn die resultierende Luftkraft  $L$  senkrecht zur Flugrichtung steht, d. h. mit der Hubkraft  $H$  zusammenfällt (vergl. Abb. 8). Das trifft schon für kleine Neigungswinkel  $\beta$  zu. Im Beharrungszustand muß außerdem das Gewicht gleich der Hubkraft sein, dazu muß auch eine bestimmte Flugeschwindigkeit vorhanden sein. Im allgemeinen freilich muß beim Niederschlag die Neigung etwas stärker sein, so daß ein

Vortriebs- oder Hubkraftüberschuß entsteht, weil dem vorteilhaften Niederschlag das ungünstige Heben des Flügels gegenübersteht.

Beim Heben wird der Flügel, wenn er nicht gedreht wird, von oben angeblasen. Die Zerlegung der resultierenden Luftkraft in der Anblaserichtung liefert dann meist einen negativen Auftrieb (Abtrieb) und einen Widerstand, die Zerlegung in Flugrichtung, eine negative Hubkraft und einen negativen Vortrieb (Rücktrieb), (vergl. Abb. 9). Das ist beides sehr ungünstig und kann, wie erwähnt, nur durch Ueberschüsse beim Niederschlag ausgeglichen werden. Durch Drehen des Flügels gemäß Abb. 10 kann zwar eine positive Hubkraft erhalten werden, dadurch wird aber gleichzeitig der

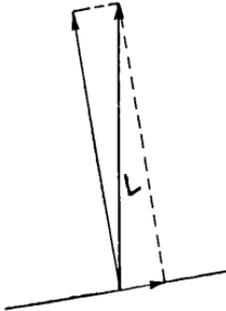


Abb. 8.

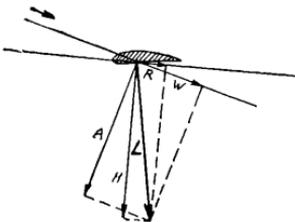


Abb. 9.

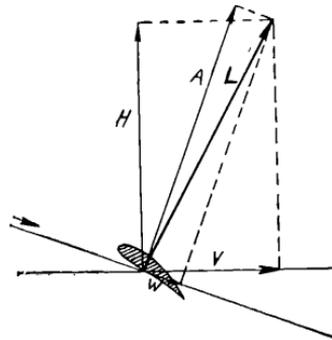


Abb. 10.

Rücktrieb vergrößert, so daß der Erfolg einer solchen Maßnahme durchaus zweifelhaft ist. Es stellt eine lohnende Aufgabe der Theorie und der Beobachtung dar, herauszubringen, welche Flügelhaltung beim Heben mit den relativ geringsten Verlusten verbunden ist.

Wenn wir zum Schluß dieses Abschnitts auf die eingangs aufgeworfene Frage zurückkommen, welchen Sinn die Auf- und Abbewegung des Flügels hat, so läßt sich nunmehr die Antwort geben: Durch den Niederschlag wird ohne nennenswerte Verringerung der hebenden Wirkung Vortrieb erzeugt,

dessen der Vogel zur Aufrechterhaltung seiner Flugeschwindigkeit bedarf, er muß dabei einen Ueberschuß an potentieller oder kinetischer Energie hervorbringen, der ihm beim Heben des Flügels über die ungünstige Periode des Arbeitsspieles hinweghilft.

### 3. Der Flügelschlag als Kreisprozeß.

In der Motorentchnik ist es üblich, den Arbeitsvorgang im Druck-Volumen-Diagramm als Kreisprozeß darzustellen. Von der gewinnbaren Arbeit, die gemäß Abb. 11 durch die Fläche  $2' 2 3 4 4'$  dargestellt wird, wird die aufzuwendende Arbeit, dargestellt durch die Fläche  $4 1 2 2' 4'$ , abgezogen, die Differenzfläche  $1 2 3 4$  stellt die Nutzarbeit dar. Diese

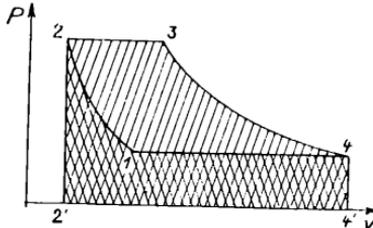


Abb. 11.

Analogie veranschaulicht trefflich die Wirkung des Flügelschlages als Kreisprozeß. Um eine möglichst große Nutzarbeit zu erhalten, muß die beim Niederschlag gewinnbare Arbeit möglichst groß, die Verlustarbeit beim Heben möglichst klein gemacht werden. Dafür stehen dem Vogel verschiedene Mittel zur Verfügung.

Schon der gewölbte Flügel allein bietet ohne Veränderung der Flügelhaltung und der Geschwindigkeit hierzu die Möglichkeit, wie am Schluß durch ein Zahlenbeispiel noch gezeigt werden soll. Es kommt dies daher, weil die resultierende Luftkraft bei negativem Anstellwinkel kleiner ist als im positiven Bereich.

Eine wirksamere Möglichkeit, den Unterschied von gewinnbarer Arbeit und Verlustarbeit groß zu machen bietet der in Abb. 3 erwähnte Spaltflügel. Das Göttinger Profil Nr. 422 durch Unterbrechungen in einen Spaltflügel verwandelt, liefert extrem große  $c_a$ -Werte bis 2,2 während ohne

diese Unterbrechungen nur  $c_a$ -Werte bis 1,4 erreicht werden. Viele Vögel können durch Spreitzen der Federn die Spaltflügelform herstellen (Storch, Krähe). Würde der Vogel nur beim Niederschlag obendrein mit Spaltflügel arbeiten, so würde er die oben genannte Wirkung gegenüber dem Heben noch weiter verstärken.

Dem Vogel steht aber noch ein drittes sehr wirksames Mittel zur Verfügung um die Nutzarbeit groß zu machen, das ist die Veränderung der Flächengröße beim Auf- und Niederschlag. Und davon macht er tatsächlich ausgiebig Gebrauch. Die Flächenvergrößerung beim Niederschlag tritt z. B. beim Spreitzen der Federn und wenn der Vogel den Flügel stark nach vorn zieht, automatisch ein. Umgekehrt beobachtet man, daß der Vogel beim Heben des Flügels die Flügelfläche zu verkleinern trachtet, indem er nicht nur den Flügel zurücknimmt, sondern obendrein die Flügelspitze näher an den Körper heranzieht. Die einzelnen Flügelteile werden dabei fächerförmig übereinander geschoben.

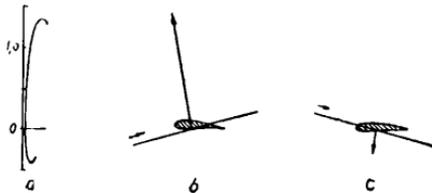


Abb. 12.

Schließlich muß noch erwähnt werden, daß selbst bei einem symmetrischen Profil, bei unveränderlicher Flächengröße und ohne Änderung des Anstellwinkels (=  $\alpha$  bezogen auf die horizontale Flugrichtung) der Auftriebsverlust der Phase des Hebens beim Niederschlag ausgeglichen werden kann, wenn der Niederschlag rascher erfolgt, weil z. B. bei einer Verdoppelung der Geschwindigkeit der Auftrieb sich vervierfacht, während die Dauer dabei nur halbiert wird. Davon macht jedoch der Vogel keinen Gebrauch, weil die anderen Mittel wirksamer sind, denn alle Beobachtungen deuten darauf hin, daß der Niederschlag von längerer Dauer ist als die Phase des Hebens. Bei der Analyse des Flügelschlages muß diese Möglichkeit jedoch auch erwähnt werden, weil durch eine Ueberlagerung

dieser Wirkung gelegentlich Unstimmigkeiten zu der Beobachtung geklärt werden können, wie ja der ganze Vorgang des Flügelschlages sich stets aus mehreren der hier einzeln genannten Elemente zusammensetzt. Dazu kommt noch, daß der Vogel bei der Jagd nach der Beute nicht in einer abstrakten horizontalen Bahn fliegt, und daher ganz nach Bedarf einen Ueberschuß an Auftrieb oder Vortrieb oder das Gegenteil anstreben muß. Auch die für uns an sich unsichtbaren Böen und Aufwinde usw. beeinflussen den Flügelschlag in jedem Augenblick, so daß es fast hoffnungslos erscheinen will, von außen her durch reine Beobachtung an diesen komplizierten Vorgang heranzukommen. Durch die Auflösung in die einzelnen möglichen Bestimmungsstücke kommt man dagegen von innen her an den Vorgang heran und der Blick wird für die Beobachtung geschärft.

Zum Schluß möge es gestattet sein, die bisher nur qualitativ aufgezeigten Elemente an dem Beispiel eines schematisierten Vogels auch quantitativ zu veranschaulichen. Es wird dies gleichzeitig die Möglichkeit geben, die Ergebnisse der Theorie mit der Beobachtung zu vergleichen und die Theorie auf ihre praktische Brauchbarkeit zu prüfen. Man wird dann auch erkennen, daß gewisse beobachtbare Erscheinungen, wie Fluggeschwindigkeit, Schlagfrequenz und dergl. nicht zufällig sind, sondern größenordnungsmäßig garnicht anders sein können als die Beobachtung ergibt.

Wir wählen nun für unsere Betrachtung ein flugfähiges Gebilde mit einem Gewicht von 1 kg, bestehend aus einem Rumpf und einer Tragfläche von 0,2 qm (1 m Spannweite und 0,2 m Flügeltiefe) mit dem Profil Nr. 422 der Aerodynamischen Versuchsanstalt Göttingen. Das Gewicht der Tragfläche betrage 20 % vom Gesamtgewicht. Der Rumpf habe runden Querschnitt, 10 cm Durchmesser, Länge 50 cm, und günstigste Stromlinienform mit einem Widerstandsbeiwert  $c_w = 0,057$ . Die Tragfläche habe gegen die Horizontale einen Anstellwinkel  $\alpha_0 = 0$  unveränderlich. Die Neigung des Flügelschlages sei  $\beta = 10^\circ$  sowohl beim Niederschlag wie beim Heben (nur mit umgekehrtem Vorzeichen) s. Abb. 13. Die Dauer der beiden Phasen sei gleich lang angenommen. Dann ist der tatsächliche Anstellwinkel (bezogen auf die Anblaserichtung)

beim Niederschlag  $\alpha = +10^\circ$ , beim Heben  $\alpha = -10^\circ$ . Aus den Meßergebnissen im Windkanal entnehmen wir die zugehörigen Werte

$\alpha$	$c_a$	$c_w$
$+10^\circ$	+ 1,24	0,126
$-10^\circ$	+ 0,01	0,067

$c_a$  bleibt also auch  $\alpha = -10^\circ$  noch positiv (was keineswegs nötig ist), erst bei  $-10,5^\circ$  wird  $c_a$  negativ. Der positive  $c_a$ -Wert bei negativem Anstellwinkel ist nicht weiter verwunderlich, weil der Anstellwinkel auf die leicht feststellbare, aber willkürlich gewählte Profilschneise bezogen wird, nicht auf die sogenannte Nullauftriebachse, die vor der Messung nicht bekannt ist.

Bei der Einzelberechnung können wir nun so vorgehen, daß wir für verschiedene Anblasegeschwindigkeiten  $v$ , also für 5, 10, 20, 30 m/s die Kräfte ausrechnen. Das Ergebnis ist in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

#### Niederschlag:

$v$	A	W	H	V	H-G
5	0,387	0,0392	+ 0,38	+ 0,03	- 0,612
10	1,550	0,1574	+ 1,552	+ 0,12	+ 0,552
20	6,20	0,630	+ 6,21	+ 0,48	+ 5,21
30	13,94	1,416	+ 13,96	+ 1,08	+ 12,96

#### Heben:

$v$	A	W	H	V	H-G	-(H-G)
5	0,0031	0,0209	-0,0006	-0,021	-1,0006	+ 1,0006
10	0,0125	0,0836	-0,0025	-0,084	-1,0025	+ 1,0025
20	0,0500	0,334	-0,0100	-0,336	-1,0100	+ 1,0100
30	0,1126	0,752	-0,0225	-0,756	-1,0225	+ 1,0225

sämtliche Kräfte in kg, die Geschwindigkeit in m/s.

Der Flugkörper wird nun im Durchschnitt dann horizontal fliegen, wenn der Hubüberschuß H-G (Hubkraft-Gewicht) beim Niederschlag größtmäßig gleich, im Vorzeichen entgegengesetzt dem Wert H-G beim Heben ist. Durch Vergleich der Tabellen findet man die Geschwindigkeit  $v$ , bei der dies der Fall ist. Man erkennt, daß H-G beim Niederschlag und  $-(H-G)$  beim Heben zwischen 10 und 20 m/s gleich werden.

Aus der graphischen Auftragung der Tabellenwerte findet man den Schnittpunkt der beiden Kurven bei 11,2 m/s.,  
vergl. Abb. 14.



Abb. 13.

Aus Abb. 15, in der der Vortrieb V und der Rücktrieb R über der Geschwindigkeit v aufgetragen ist, ersieht man, daß bei der Anblasegeschwindigkeit  $v = 11,2$  m/s ein Überschuß des Vortriebs beim Niederschlag über den Rücktrieb R beim Heben von 0,050 kg vorhanden ist. Ein Vortriebsüberschuß ist mit Rücksicht auf den Rumpf auch erforderlich, weil dieser einen Widerstand besitzt ohne jedoch Vortrieb

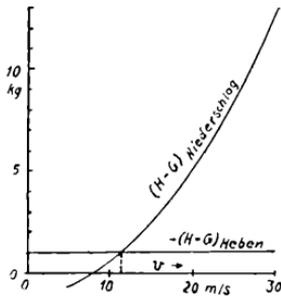


Abb. 14.

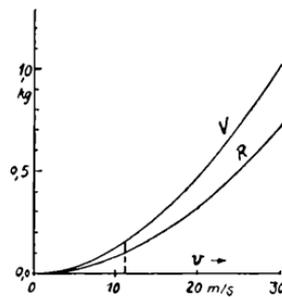


Abb. 15.

zu erzeugen. Die Fluggeschwindigkeit in horizontaler Richtung  $v'$  ist etwas kleiner als die Anblasegeschwindigkeit  $v$ , man erhält sie, indem man  $v$  mit dem Kosinus des Neigungswinkels  $\beta$ , also mit  $\cos 10^\circ$  multipliziert, das ergibt  $v' = 11$  m/s. Der Rumpfwiderstand ergibt sich damit zu

$$W_R = 0,057 \quad 0,00786 \frac{1}{16} 11^2 = 0,034 \text{ kg.}$$

Der Vortriebsüberschuß von 0,050 kg reicht also ungefähr aus. Bei zu großem Vortriebsüberschuß wird der Flugkörper beschleunigt, im umgekehrten Falle verzögert.

Nimmt man eine Amplitude  $a$  des Flügelschlages von maximal 0,5 m an, vergl. Abb. 16,

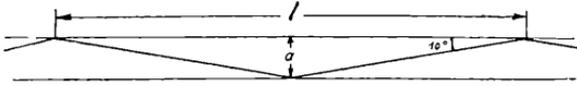


Abb. 16.

so ergibt sich aus den geometrischen Verhältnissen bei  $10^\circ$  die Länge eines vollständigen Arbeitsspiels  $l = 5,7$  m. Bei der Fluggeschwindigkeit  $v' = 11$  m/s ergibt das eine Schlagfrequenz von  $11/5,7$  d. h. ungefähr  $n = 2$  pro Sekunde. Sowohl Fluggeschwindigkeit wie Schlagfrequenz kommen in der Größenordnung den Verhältnissen in der Natur recht nahe.

Bei den hier gemachten Annahmen müßte der Rumpf des Flugkörpers beim Heben des Tragflügels fallen. Auch dies ist leicht zu berechnen. Aus der Grundgleichung der Mechanik (Kraft = Masse mal Beschleunigung) ergibt sich die Beschleunigung

$$b = \frac{H-G}{G/g} = \frac{-1,003}{1,0/9,8} = -10,1 \text{ m/s}^2$$

Die Fallhöhe wird

$$h = \frac{b}{2} z^2 = -5,05 \quad 0,25^2 = -0,32 \text{ m}$$

Eine Auf- und Abbewegung des Rumpfes von 32 cm auf 5,7 m dürfte schon auffallen. Man darf jedoch nicht vergessen, daß beim Vogelflügel die körpernahen Teile sich nur wenig auf und ab bewegen und daher wie eine normale Tragfläche wirken, wodurch das Fallen gemildert wird. Andererseits wird auch eine Speicherung von kinetischer Energie mitwirken, die weniger auffallend für die Beobachtung ist, einmal weil der Vortrieb wesentlich kleiner ist (und damit auch die Beschleunigung, bzw. Verzögerung und die Beschleunigungsstrecken), sodann weil Ungleichförmigkeiten in Richtung der Bewegung nicht so sinnfällig sind.

Es wäre reizvoll, die mancherlei möglichen Fälle durchzurechnen, die sich ergeben, wenn der Vogel auch von den oben erwähnten Vorteilen (Flächenveränderung, Spaltflügelform, Flügeldrehung) Gebrauch macht, und wie er nach Bedarf potentielle oder kinetische Energie speichert, ohne daß dies dem Beobachter sonderlich auffällt, doch würde das

den Rahmen dieser Arbeit erheblich überschreiten. Es genügt an dieser Stelle gezeigt zu haben, daß der komplizierte Vorgang des Flügelschlages der Berechnung zugänglich ist, und daß auch die sekundären Einflüsse durch das Steigen und Fallen, durch Beschleunigung und Verzögerung bei der nötigen Sorgfalt berücksichtigt werden können.

Die Winkelbewegung der Verbindungslinie Flügelspitze — Flügelwurzel bietet grundsätzlich nichts Neues, man kann unendlich kleine Flächenausschnitte einzeln nach den gleichen Grundsätzen behandeln und über die Spannweite integrieren. Das ist für den Mathematiker interessant. Für den Ornithologen aber, der ja in erster Linie Zoologe ist, und der nur die Vorgänge beim Flügelschlag von innen her verstehen will, würde es eine erhebliche Belastung bedeuten. Immerhin wäre es natürlich zu wünschen, daß sich jemand der umfangreichen Arbeit unterzöge, für die einzelnen Vogelarten den Flügelschlag durchzurechnen, damit man die theoretischen Werte mit den Beobachtungen vergleichen kann.

#### Literatur.

1. Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen 1. bis 4. Lieferung.
2. OTTO LILIENTHAL: Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. 3. Aufl. München und Berlin 1939.
3. MAX STOLPE und KARL ZIMMER: Der Vogelflug, seine anatomisch-physiologischen und physikalisch-aerodynamischen Grundlagen Leipzig 1939.
4. M. EISENTRAUT: Die deutschen Fledermäuse. Leipzig 1937. (Zentralblatt für Kleintierkunde usw. 13. Jahrg. Heft 4).

---

## Zur Nist- und Nahrungsökologie der Brutvögel unserer nährstoffreichen Binnengewässer. <sup>1)</sup>

Von Professor Dr. Franz Groebfels, Hamburg

Es hat für einen Naturforscher immer einen besonderen Reiz, ein Lebewesen nicht nur für sich, sondern im Zusammenhang mit dem großen Ganzen seiner unbelebten und belebten

---

1) Erweiterte, 1940 abgeschlossene Ausarbeitung eines vom Verfasser Juni 1939 auf der 57. Jahresversammlung der DOG. in Münster/Westf. gehaltenen Vortrags.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Ornithologischen Gesellschaft in Bayern](#)

Jahr/Year: 1942

Band/Volume: [22 2 1942](#)

Autor(en)/Author(s): Winkler Johannes

Artikel/Article: [Analytisches zum Vogelflug 210-223](#)