Karl Herzog: Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik.
Erschienen in der Heftreihe Mechanikus, J.F. Schreiber Verlag Esslingen, **Januar 1963**
Das Copyright liegt heute beim AUE-Verlag, Möckmühl, Deutschland.
Texte und Zeichnungen dürfen nicht an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik

Versuche in der Geschichte der Fliegerei Teil I

Innerhalb des Rahmens, der durch das Prinzip „schwerer als Luft" gezogen ist, unterscheiden wir 3 Arten des Fliegens, den Gleit- und Segelflug, den Motorflug und den Schwingenflug. Der *Segelflug,* ein Fliegen ohne motorischen Kraftaufwand, von der Menschheit seit tausenden von Jahren erträumt, hat heute längst seine Lösung gefunden. Der *dynamische Flug,* mit Hilfe von Propeller- und Rückstoßmotoren, ist in geradezu erstaunlicher Vollkommenheit verwirklicht und hat einen technischen Hochstand erreicht, wie es selbst die kühnsten Optimisten vor 60 Jahren nicht zu ahnen gewagt hätten. Der *Schwingenflug* aber ist heute, trotz des Fortschrittes der Technik, noch immer nur den Vögeln vorbehalten und mit Bewunderung sehen wir Menschen unseren gefiederten Freunden nach; wir staunen, wie sie sich scheinbar mühelos vom Erdboden abheben und mit langsamen Flügelschlägen himmelwärts steigen, bis sie unseren Augen entschwinden.

An Versuchen allerdings, den Vogelflug mit technischen Mitteln nachzuahmen, hat es nie gemangelt, aber alle diese Bemühungen führten nicht zu den erhofften Erfolgen. Dennoch ist der Schwingenflug auch für den Menschen möglich. Zahlreiche Versuche im Laufe der Fluggeschichte und gerade die Experimente der neueren Zeit beweisen dies.

Otto Lilienthal war im vergangenen Jahrhundert einer der Ersten, die sich die Lösung dieses Problems zur Aufgabe gemacht haben. In zahlreichen Versuchen erprobte er zunächst die Trag- und Auftriebsfähigkeit verschieden gewölbter Flächen und entwickelte aus den dabei gewonnenen Erkenntnissen und im Ergebnis von mehr als 2000 praktischen Flügen, Fluggeräte, die immer brauchbarer wurden, (Abb. 1). Gleichzeitig machte er sich aber auch darüber Gedanken, wie man durch Einbau von Motoren und geeignetem Antrieb diesen Flugmaschinen Vortrieb und Auftrieb verleihen könnte. Die Wirkung der Luftschraube war ihm damals wohl bekannt, denn die ersten lenkbaren Luftschiffe wurden damit schon angetrieben. Als gründlicher Naturbeobachter und Kenner des Vogelfluges dachte er aber vor allem an einen Apparat, mit dem es dem Menschen möglich sein sollte, den Flug des Vogels nachzuahmen. Er baute deshalb einen Schwingengleiter mit einer Spannweite von 8 m und einem Gewicht von 40 kg (Abb. 2). Dieses Fluggerät hatte an beiden Flügelenden 6 Schwingenspitzen; durch ein einfaches Hebelsystem konnten sie, mittels langer Schnurzüge, beim Auf- und Niederschlag geöffnet und geschlossen werden. Dieser Bewegungsmechanismus spiegelt deutlich die damals herrschende Vorstellung vom Prinzip des Vogelfluges wider. Man war der Ansicht, daß die dachziegelartig übereinander liegenden Schwungfedern sich beim Flügelniederschlag fest aneinanderpressen, so daß der Vogel mit der Gesamtfläche des Flügels einen kräftigen Druck auf die Luft ausübt und dadurch aufwärts und vorwärts getrieben wird. Beim Hochschlagen der Flügel, so glaubte man, würden sich die einzelnen Schwungfedern so um ihre Längsachse drehen, daß die Luft ohne Widerstand durch die Lücken zwischen den einzelnen Federn hindurchgehen kann. Diese Ansicht war falsch; über mehr als 30 Jahre sollte sie allen nachfolgenden Konstrukteuren von Schwingenflugzeugen zum Verhängnis werden. Lilienthal hat mit seinem Schwingengleiter wiederholt gute Gleitflüge ausgeführt, und er hätte ihn auch mit Schwingenschlag erprobt, wäre er nicht am 9. August 1896 in den Rhinower Bergen abgestürzt. Noch kurz vor seinem Tod hatte Lilienthal einen leichten Kohlensäuremotor von knapp 2 PS gebaut, der für den Antrieb seines Flugapparates bestimmt war. Er war davon ausgegangen, daß ein Mensch die zur Fortbewegung im Luftraum notwendige Kraft nicht aufbringen könne; nach seiner Berechnung wäre dazu eine Arbeitsleistung von $1^1/_2$ PS erforderlich gewesen.

Als nach dem Tod Lilienthals die Propellerflugzeuge aufkamen, trat das Interesse für den Schwingenflug immer mehr zurück. Abgesehen von den Konstruktionen des Hamburger Ingenieurs **A. Stentzel** und des Berliner Ingenieurs **Springmeier** ist in diese Richtung kein nennenswerter Vorstoß mehr gewagt worden. Eine Änderung zeichnete sich erst ab, nachdem man auf der Rhön mit dem Segelflug begonnen hatte. Sofort wandten sich bedeutende Fachleute der Flugforschung dem Schwingenflugproblem wieder zu, denn man vermutete, daß Schlagflügel für Segelflugzeuge bei der Überwindung von Flauten eine bedeutende Rolle spielen könnten. Man ging davon aus, daß Schlagflügel in Ruhelage nur wenig Luftwiderstand bieten, ja sie liefern sogar noch Auftrieb, und sind zudem auch leichter und billiger als versenkbare Motore mit Luftschrauben.

Alexander Lippisch, ein international anerkannter Aerodynamiker und Konstrukteur zahlreicher Segel-, Motor- und Düsenflugzeuge, hat sich viele Jahre seines Lebens mit dem Bau von Schlagflügel-angetriebenen Flugmo-

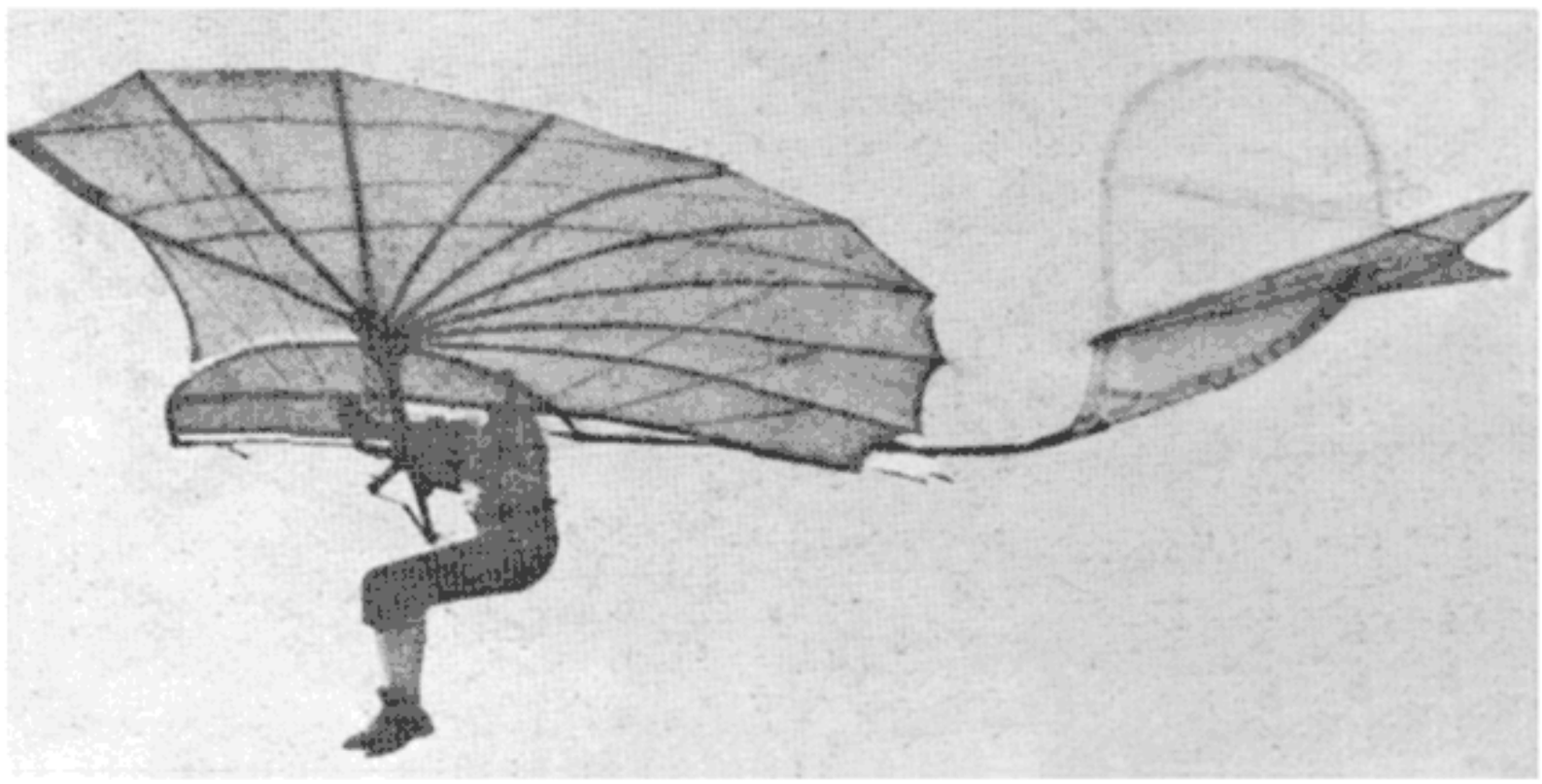
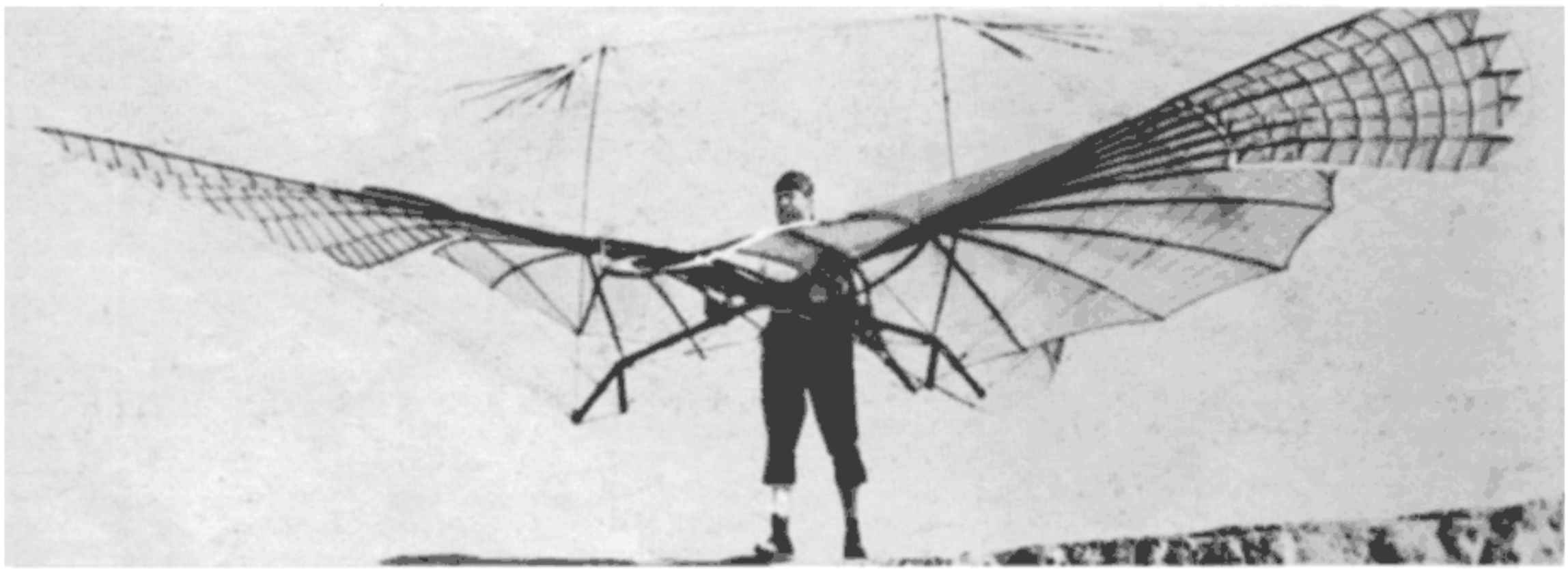


Abb. 1
Otto Lilienthal beim Flug in seinem Hängegleiter

Abb. 2
Otto Lilienthal mit seinem Schwingengleiter, 1896



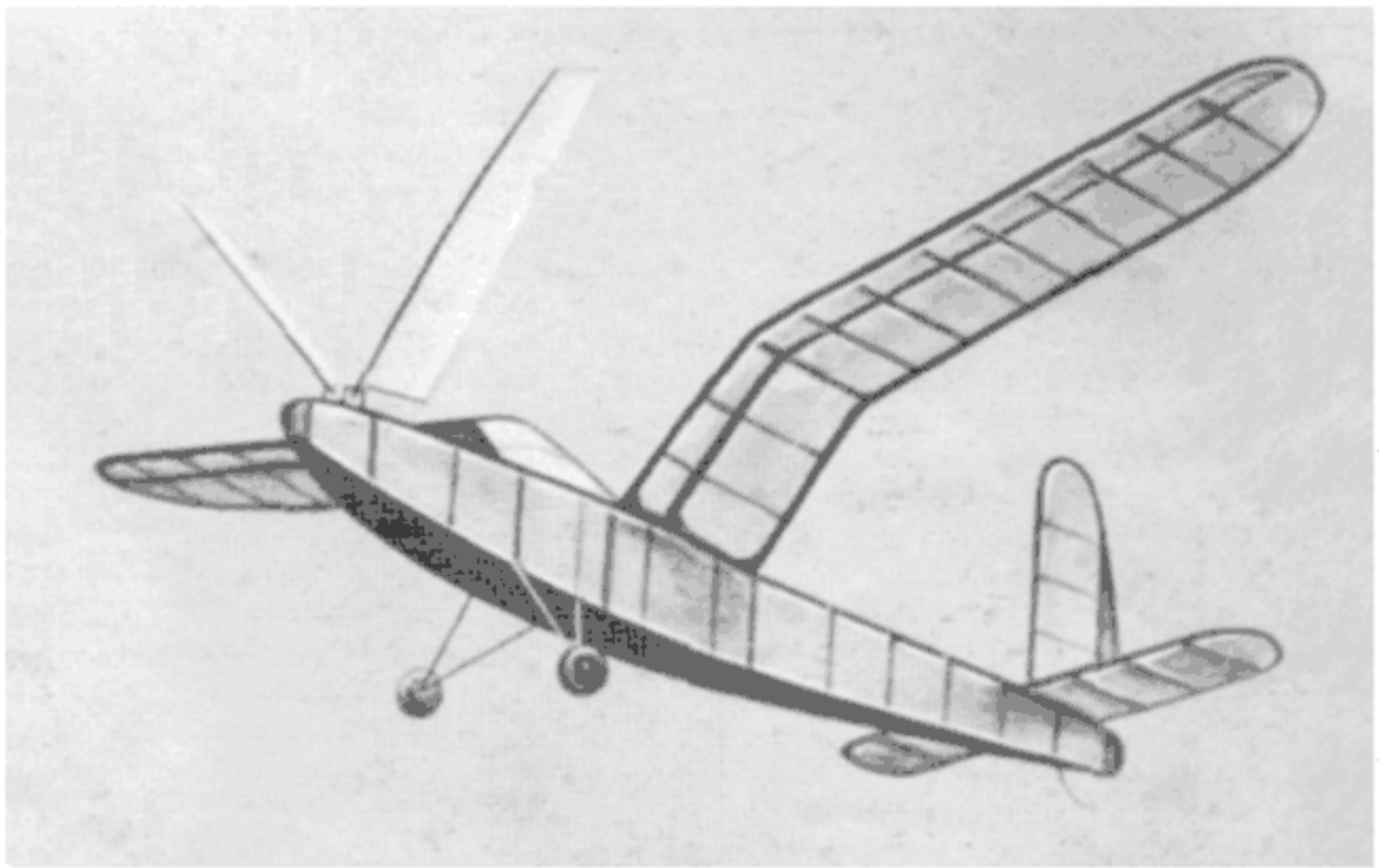
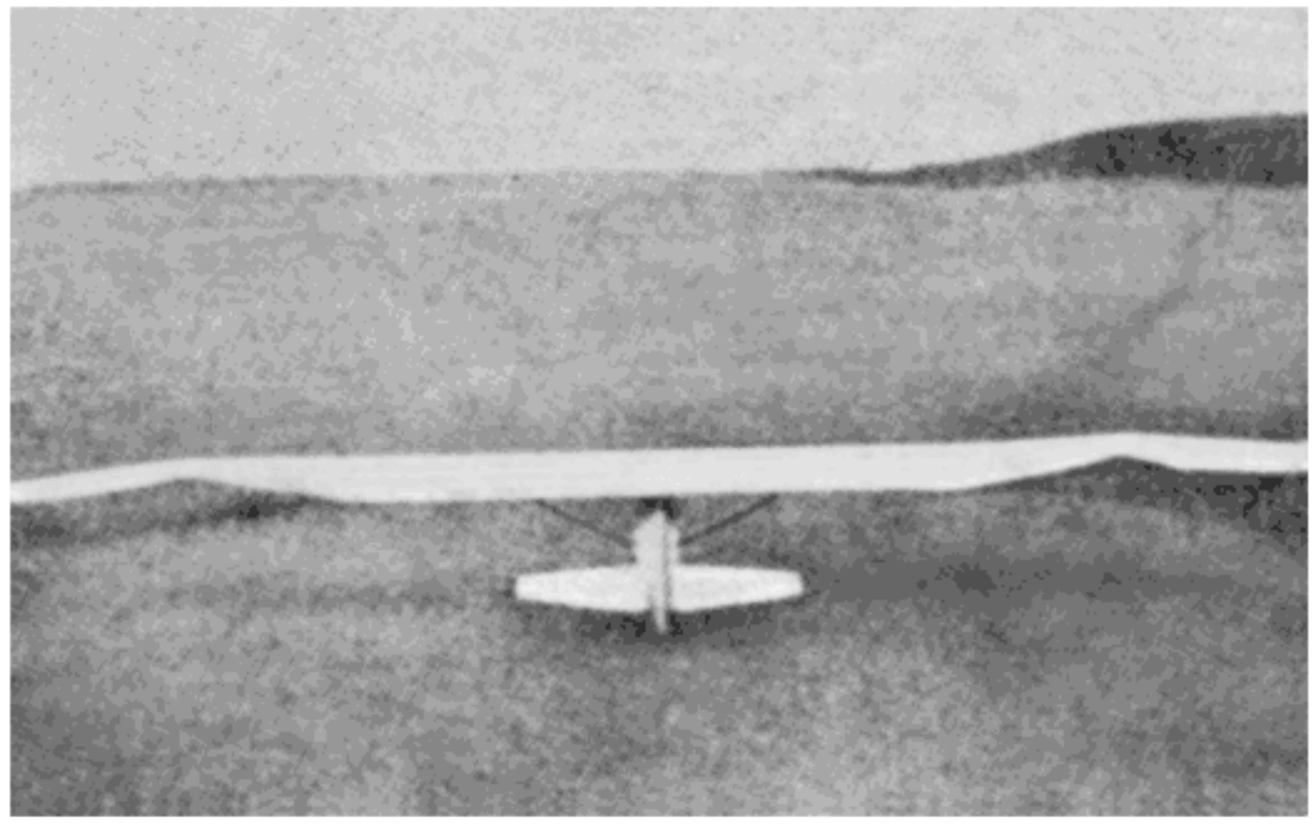


Abb. 3
Motor-Schwingenflugmodell von Alexander Lippisch, 1938; Spannweite 3 m, Fluggewicht 1950 g, Antrieb: Kratmo 4 ccm Benzinmotor

Abb. 5 *Umbauversion VOX 1 des Grunau-Baby IIb von Arno Vogel, 1950; die Schlagflügel waren an den Enden des verkürzten Tragflügels angebracht und wurden durch einen Leichtmotor angetrieben.*



dellen beschäftigt. Zunächst vom herkömmlichen Flugzeug ausgehend, ersetzte er die Luftschraube durch lange und schmale Triebschwingen, die sich beim Auf- und Niederschlag einmal negativ und einmal positiv verdrehten. Nach seinem Entwurf wurde in den Jahren vor dem 2. Weltkrieg ein Bauplan für ein Gummimotorflugmodell veröffentlicht, das mit einem zweiholmigen Stabrumpf und an den Flügelenden befestigten Schwingen ausgerüstet war. Dieses Modell erhielt den nachmals sehr bekannten Namen „Schwinguin". Besonderes Aufsehen erregte Lippisch 1938 mit seiner erfolgreichen „Motorlibelle" *(Abb. 3)*,

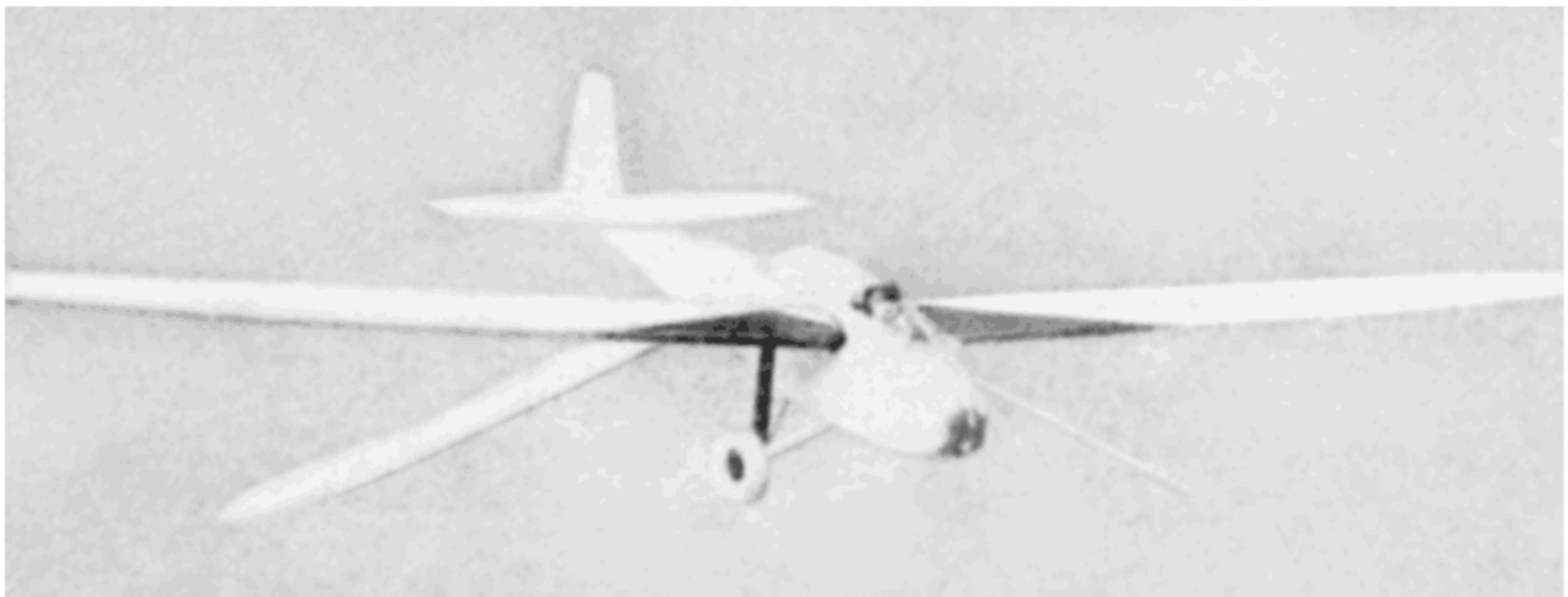


Abb. 4 *„Baby-Schwinguin" von Adalbert Schmid, 1942; die Triebflügel griffen hinter dem Schwerpunkt an und störten die Fluglage nicht.*

einem Flugmodell mit 3 m Spannweite und einem Fluggewicht von 1950 g. Ein Kratmo 4 ccm Benzinmotor ließ die am Rumpfkopf montierten Triebflügel 280 mal pro Minute auf- und niederschlagen. Mit Bodenstarts wurden bei Flughöhen von 4—5 m, Flugzeiten bis zu 4 Minuten erreicht. Einmal ist das Modell an einem leichten Hang mit Handstart geflogen worden; es erreichte dabei die nie wieder gestoppte Kraftflugzeit von über 16 Minuten, bei einer Flughöhe von 45—50 m. Es wurde ausdrücklich betont, daß damals keine Thermik vorhanden war. Zwischendurch baute Lippisch Flugmodelle, deren breite Schlagflügel unmittelbar an den Enden der Tragflächen angebracht waren. Er verwendete dafür leichte und weich verwindbare Flächen, die mit 60—70 Schwingenschlägen pro Minute arbeiteten. Auch diese Modelle flogen einwandfrei, erbrachten aber nicht so überragende Leistungen wie die „Motorlibelle". Beachtenswert bei all

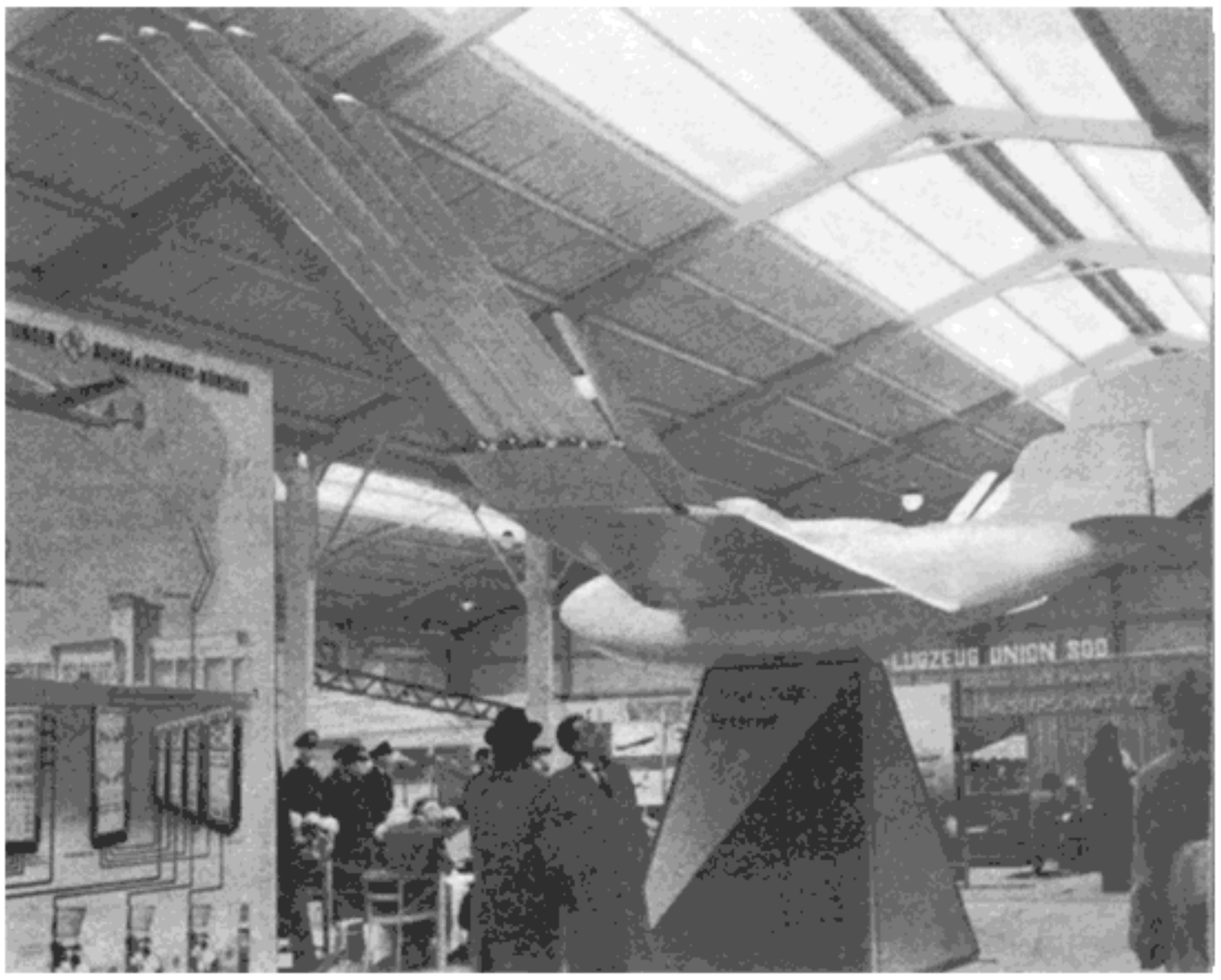


Abb. 6 *Anziehungspunkt einer Industriemesse: Schwingenflugzeug „Schwan I" von W. Filter, 1958*

diesen Versuchen war die Feststellung, daß breite Schlagflügel am vorteilhaftesten arbeiten, wenn sie mit langsamer aber zügiger Schlagbewegung, gleichmäßig auf- und niedergehen und dabei weit ausschlagen.

An die Versuche von Lippisch wurde 1942 von **Albert Schmid,** München, *(Abb. 4)* und 1950 von dem Ingenieur **Arno Vogel,** Plauen, angeknüpft *(Abb. 5)*. Beide bauten unabhängig voneinander bewegliche Schwingen an die Tragflächen der bewährten Übungssegler „Grunau-Baby II" an. Die Leistungen dieser Schlagflügelflugzeuge sollen aber nicht derart überzeugend gewesen sein, daß es sich gelohnt hätte, die Versuche fortzusetzen.

Besonderes Interesse verdient das Schwingenflugzeug „Schwan I" von Dipl.-Ing. **Walter Filter** *(Abb. 6)*, das als erstes einer breiten Öffentlichkeit vorgeführt werden konnte. Es war auf der Deutschen Industriemesse in Hannover im Jahre 1958 aufgestellt und bildete dort den Mittelpunkt der Luftfahrtsonderschau. Sein Rumpf sah kurz und gedrungen aus; die mächtigen Schwingen waren nach der Art eines Mitteldeckers angeordnet. Die Pilotenkanzel ragte hoch über den Tragflächen aus dem Rumpf heraus. Jeder der Flügel war zweifach unterteilt und zwar so, daß an einem massiv gebauten Innenflügel ein kräftiger Schlagflügel, mit einem Schlagwinkel von etwa 75°, auf- und niederschlagen konnte. Jeder dieser Schlagflügel war, ähnlich wie bei dem Schwingengleiter Lilienthals, in 6 lange, schmale Einzelfächer untergliedert. Im Gegensatz zu diesem überdeckten sich aber die einzelnen Schwingenspitzen nicht gegenseitig mit ihren Hinterfahnen, sie standen vielmehr nebeneinander und konnten sich berührungslos um ihre Längsachsen verdrehen; beim Flügelniederschlag kippten die Hinterkanten etwas nach oben, beim Flügelaufschlag dagegen schräg nach unten. Auf diese Weise konnte jede einzelne Schwingenspitze ähnlich wirken, wie ein Luftschraubenblatt am Propeller. Das Schwingenflugzeug von Walter Filter ist also vergleichbar mit einem Motorsegler, an dessen Flügelenden jeweils 6 profilierte Einzelfächer auf- und niederschlagen; sie stellen sich dabei in der Weise auf den Luftstrom ein, daß sie sowohl beim Auf- als auch beim Niederschlag Vortrieb liefern. Eingebaut war ein 4 PS starker Motor, der wohl etwas zu schwach für den Antrieb gewesen sein mag. Dies scheint auch der Grund zu sein, warum über eine praktische Erprobung dieses Prototyps bisher nichts bekannt geworden ist. Trotzdem stellt die Konstruktion eine hervorragende Ingenieurleistung dar, und tatsächlich ist Filter damit dem natürlichen Schwingenflug ziemlich nahe gekommen.

Daß ein Menschenflug nach diesem Prinzip möglich ist, soll im August 1958 der einstmalige Segelflieger-Weltrekordmann und Fliegergeneral **Oskar Dinort** mit seinem „Ornithopter" bewiesen haben *(Abb. 7)*. Dieses Vollschwingenflugzeug war nach ähnlichen Gesichtspunkten konstruiert wie der „Schwan I" von Filter. Die langen Stelzbeine waren angebracht worden, damit sich das Flugzeug unmittelbar mit eigener Kraft vom Boden abheben könne, ohne erst angeschleppt zu werden. Ein 600 ccm-BMW-Boxermotor sorgte für den Antrieb. Die Reisegeschwindigkeit wurde mit 180 km/h bei einem Benzinverbrauch von 6 Liter auf 100 km angegeben. Zeitungsmeldungen zufolge sollen die Flugversuche auf dem Flugplatz Köln-Wahn zufriedenstellend verlaufen sein. Leider hat man seither nichts mehr davon gehört.

Auch aus dem Ausland sind in letzter Zeit wiederholt Meldungen über Versuche mit Schlagflügel-, Flatter- und Schwingenflugzeugen zu uns gelangt. So hoffte zum Beispiel 1959/60 der sowjetische Techniker und Versuchspilot **Dimitryi V. Jlyin** auf besonders einfache Weise das Problem des menschlichen Schwingenfluges zu lösen *(Abb. 8)*. Bei seinem Schwingenapparat, der von einem 3 PS-Motor angetrieben wurde, schlugen die Flügel wie einfache Hebel auf und nieder. Beim Niederschlag krümmte sich das Tragflächenprofil in der Gegend der Flügelspitze etwas stärker, was durch einfaches Vorziehen der Nasenleiste erreicht wurde, Jlyin glaubte, er könne auf diese Weise den für den Flug notwendigen Vortrieb bekommen. Mir ist allerdings rätselhaft, was hier den Vortrieb und den Auftrieb bewirken soll. Beim Niederschlag der Flügel kommt zwar ein kräftiges Steigen zustande, auf das aber nachher, beim Flügelaufschlag, wieder ein Fallen folgt. Der Erfolg kann bestenfalls ein Auf- und Abrütteln sein. Einige Jahre vorher soll aber einem sowjetischen Konstrukteur der Entwurf eines flugfähigen, manntragenden Schwingenflugzeuges gelungen sein. Moskauer Zeitungsmeldungen zufolge habe man diesen Prototyp um 1955 bei einer Oktober-Parade im Flug vorgeführt.

In Amerika und England wurden unlängst Apparate erprobt, durch die sich ein Mensch mit eigener Kraft in die Lüfte zu schwingen vermag. Hervorzuheben ist unter anderen der Hochdecker des Londoner Bildhauers **Emil Hartmann.** Mit einem Kostenaufwand von DM 30 000 baute er 1959 seinen „Ikarus" und erprobte ihn noch im gleichen Jahr und im Frühjahr 1960 *(Abb. 9)*. Die beiden Schwingenflügel waren in einem Scharniergelenk über dem Schwerpunkt des Rumpfes aufgehängt. Eine Hebelkonstruktion aus scherenartig beweglichen Einzelteilen drückte durch Feder- und Gummizug die Flügel hoch und wirkte so dem Druck des Flügelgewichts entgegen. Durch 5 lange, kräftige Seilzüge, die fast in der Mitte der Flügellänge eingehängt waren, wurden die Schwingen nach unten geschlagen. Beim Auf- und Niederschlag wippten die fächerartig angeordneten Einzelschwingen so um ihre Bewegungsachsen, daß die Flügel in ihren hinter den „Schwingholmen" gelegenen Abschnitten eine nach den Flügelspitzen zunehmende Verwindung einnahmen. Betätigt wurde der Flügel-

Abb. 7 *Hoffentlich kein Staatsgeheimnis! — der „Ornithopter" von Oskar Dinort, 1958, auf dem Flugplatz Köln-Wahn*

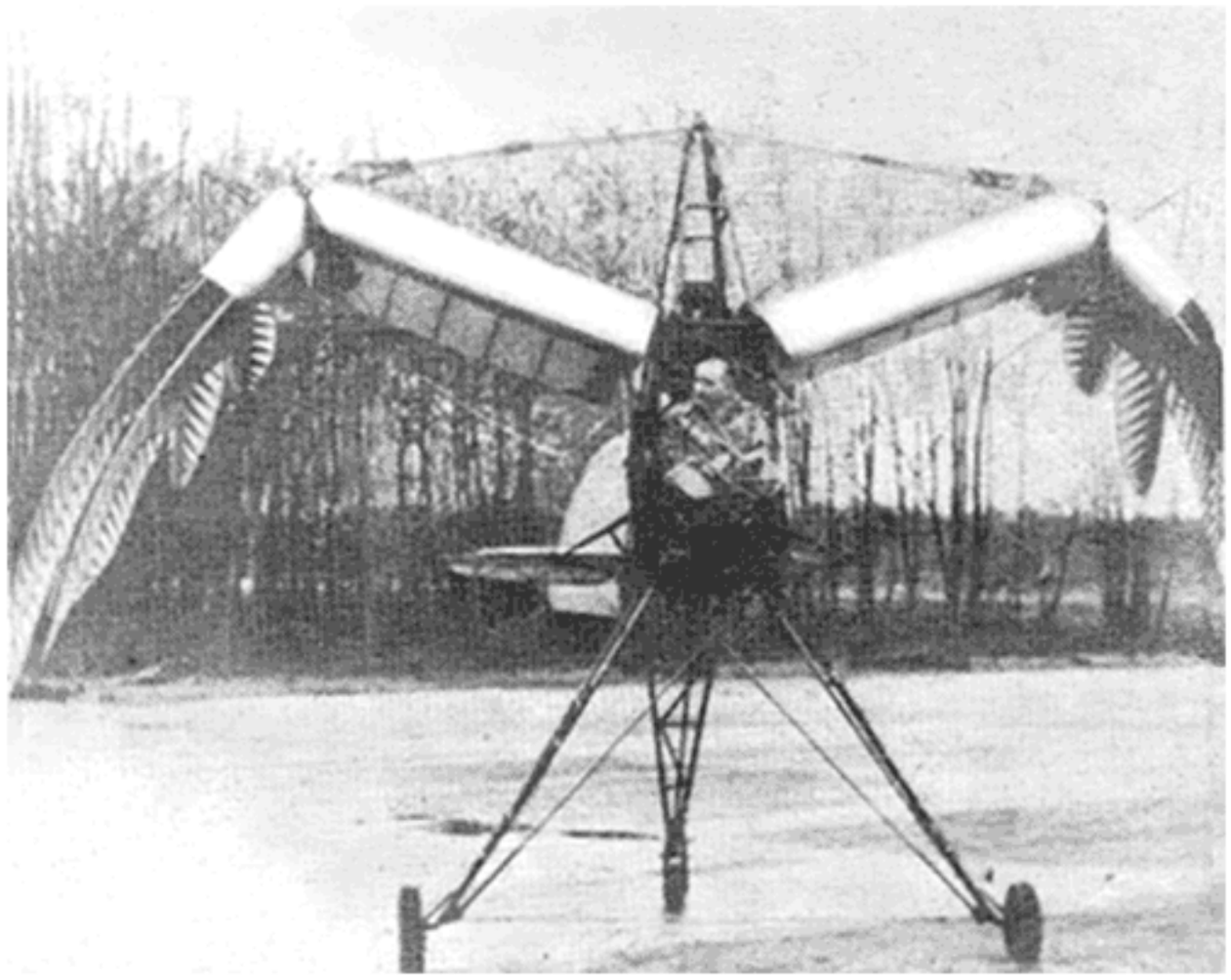


Abb. 8 *Für Nachtflüge einen Scheinwerfer trug das sowjetische Schwingen-Flatterflugzeug von Dimitryi V. Jlyin, 1959. Bei Tag waren in Moskau schon bessere Konstruktionen unterwegs*

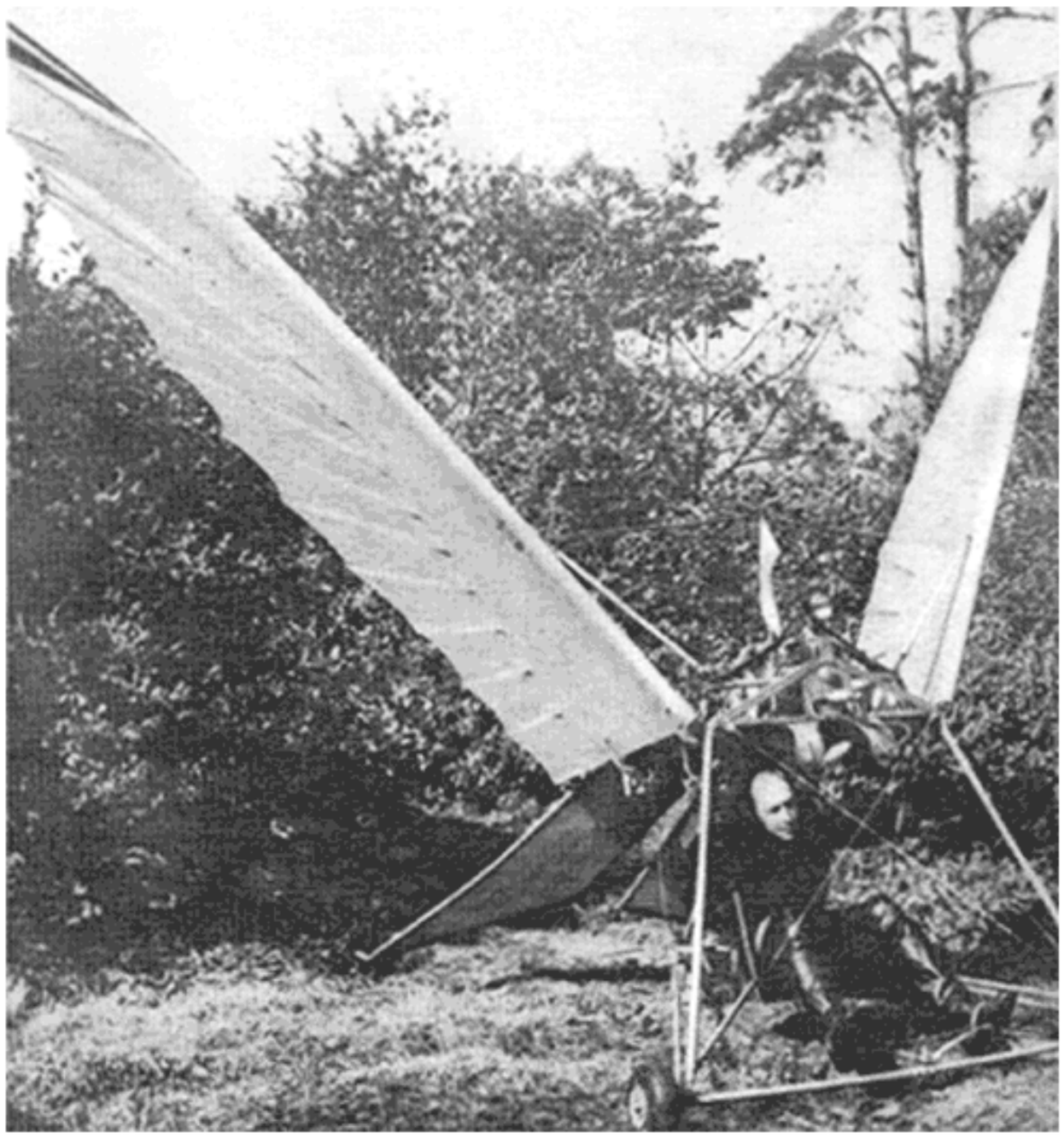


Abb. 9 *Muskelkraft-Schwingenflugzeug „Ikarus" von Emil Hartmann, London 1959; Kostenpunkt: DM 30 000, Flughöhe: 3000 mm — aber immerhin ein Fortschritt auf dem Weg zum manntragenden Schwingenflugzeug*

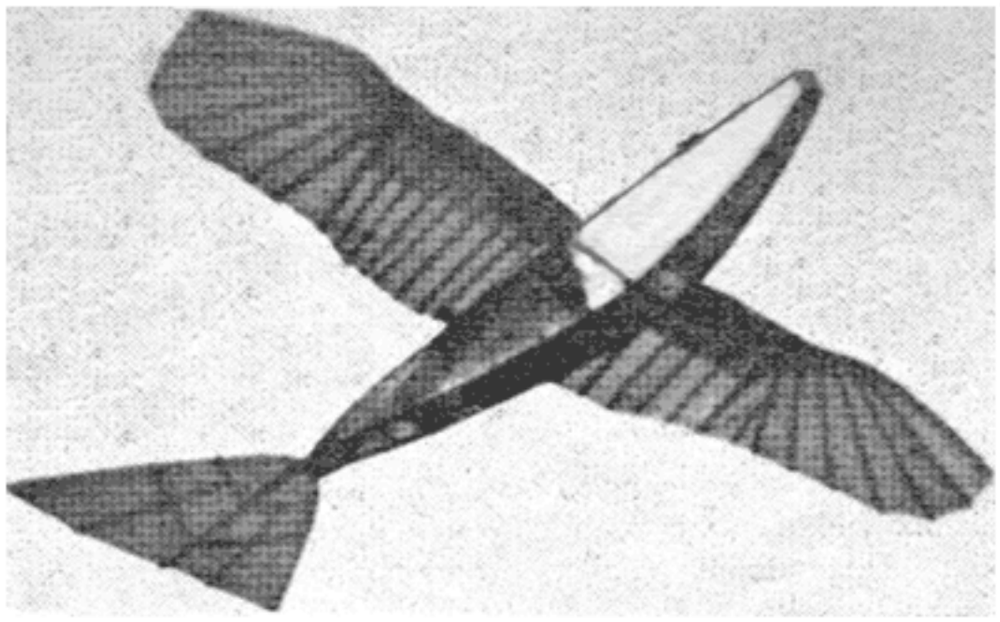


Abb. 10 *Der Natur nachempfunden: Vollschwingen-Flugmodell von E. v. Holst*

mechanismus durch Muskelkraft; der Pilot bediente Handhebel und Fußpedale. Der Start erfolgte durch zusätzlich „gespeicherte Muskelkraft" und zwar mittels eines kräftigen Gummimotors, der im langgezogenen Rumpf untergebracht war. Bei Versuchen reichte die gespeicherte Kraft, zusammen mit dem gesamten Energieaufwand des Piloten, aus, um Höhen von 3—3,5 m zu gewinnen; anschließend war die Energiereserve aufgebraucht, und das Flugzeug mußte im Gleitflug wieder zur Erde zurückkehren. Dieser Versuch ist jedenfalls ein Beweis, daß der Menschenflug mit entsprechender Kraft auch nach dem Vorbild des Vogels möglich ist.

Trotz der bekannt gewordenen und der zahlreichen weiteren Versuche uns unbekannter Erfinder, ist es bis jetzt noch nicht gelungen, ein wirklich brauchbares, manntragendes Schwingenflugzeug zu konstruieren. Die Aufgabe der Nachahmung des Vogelfluges mit technischen Mitteln harrt nach wie vor ihrer Lösung. Der Wunschtraum, mittels Schwingenflügel sich vom Boden abzuheben und im Luftraum nach Belieben zu segeln, geht früher oder später in Erfüllung, denn er ist mit den heutigen technischen Mitteln realisierbar. Allerdings ist die Lösung des Schwingenfluges nicht ausschließlich ein technisches, sondern in erster Linie ein wissenschaftliches Problem. Wenn man sich mit naturwissenschaftlichen Überlegungen daranwagt, und den Ablauf der biophysikalischen Vorgänge des Vogelfluges richtig verfolgt, ist der Weg bis zur Verwirklichung des technischen Schwingenfluges nicht mehr weit. Man muß sich nur den natürlichen Schwingenflug vor Augen halten, um die Flügelbewegungen des Vogels unabgeändert nachzuahmen; genau wie es der Vogel macht, sollten wir den Schwerpunkt der Körpermasse und den Auftriebsmittelpunkt der beiden Flügel richtig aufeinander abstimmen. Bei der folgenden Konstruktion von Ornithoptern wird man nicht über die Größenordnung von Sportflugzeugen hinausgehen dürfen. Aus diesem Grund kann der Schwingenflug in erster Linie dem Motor- und Segelflieger nützlich sein. Für diese Flugart kann man sich kaum einen besseren Antrieb denken, als die Tragflächen, die bei einer Schlagbewegung Vortrieb und in Ruhe Auftrieb liefern. Dies beweisen unsere gefiederten Freunde, wenn sie bei jedem Wetter fliegen und sich allen Luftströmungen anzupassen vermögen.

Daß der Schwingenflug mit technischen Mitteln einwandfrei nachgeahmt werden kann, hat der allzufrüh verstorbene Biologe Professor **Erich von Holst** immer wieder gelehrt und praktisch vorgeführt. Er studierte die Biophysik des Insekten- und Vogelfluges methodisch und schrieb die dabei erworbenen Erkenntnisse in zahlreichen Veröffentlichungen nieder. Darüber hinaus hat er das, was er am Tierflug beobachtete, unmittelbar auf das Schwingen-Flugmodell übertragen und experimentell demonstriert. Er baute den sogenannten „künstlichen Vogel", die „Libelle" und den „Flugsaurier" in zahlreichen Versionen. Sie entstanden als Gummimotor-Flugmodelle von 70 bis 250 cm Spannweite. Ihr Flug glich dem der natürlichen Vorbilder; ganz nach dem Willen ihres Erbauers, konnten sie fast senkrecht steigen, leicht und elegant im Segelflug landen, und im Ruderflug wirkten sie so echt, daß ihre natürlichen Vorbilder vor ihnen die Flucht ergriffen.

In einem späteren Beitrag soll ausführlich über diese „künstlichen Vögel" berichtet werden. Abb. 10 zeigt ein derartiges Modell im Flug.

Die Wissenschaft verdankt Erich von Holst sehr viel, und es ist nun an der Zeit, daß auch die Technik und der Modellflug aus seinen Forschungsergebnissen Nutzen zieht. Uns bleibt es vorbehalten, das Erbe dieses vortrefflichen Mannes anzutreten und das, was er uns hinterlassen hat, auszuwerten.

(wird fortgesetzt) *K. Herzog*

Ihr Vorteil ist es, wenn Sie sich im 225-seitigen Fotokatalog informieren, bevor Sie sich zum Kauf einer Foto- oder Filmkamera, eines Projektors oder Feldstechers entschliessen. 277 günstige Angebote. 1/5 Anzahlung, 10 Raten, 20 Schaja-Vorteile, Ansicht, Garantie. Alte Kamera nehmen wir in Zahlung. Schreiben Sie an

PHOTO-SCHAJA
ABT. 91 · MÜNCHEN 22

Fachmännische Beratung und 25 jährige Erfahrung bietet Ihnen
ADRIAN BRUGGER, 8 MÜNCHEN 2
Residenzstraße 24, Telefon 22 54 81
Spezialgeschäft für Flug- und Schiffsmodellbau

Karl Herzog: Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik.
Erschienen in der Heftreihe Mechanikus, J.F. Schreiber Verlag Esslingen, **Februar 1963**
Das Copyright liegt heute beim AUE-Verlag, Möckmühl, Deutschland.
Texte und Zeichnungen dürfen nicht an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik

TEIL II — BIOPHYSIK DES VOGELFLUGS

Als Krönung des tierischen Fluges wird zweifellos der Segelflug empfunden, das Dahinschweben ohne aktiven Kraftaufwand. Es gibt auch keinen herrlicheren Anblick, als wenn ein großer Raubvogel leicht und ruhig segelt, wenn er sich in thermischen Aufwinden — als wäre das Gesetz der Erdenschwere aufgehoben — in ungeahnte Höhen tragen läßt.
Die physikalischen Gesetze, welche dieses Schweben ermöglichen, sind heute jedem Segel- und Modellflieger geläufig. Der Vogelflug ist aber nicht nur Gleit- und Segelflug allein, er wird zum großen Teil im Kraftflug bewältigt. Bevor der Vogel sein Körpergewicht den Luftströmungen anvertrauen darf, um von ihnen im Luftraum getragen zu werden, muß er sich mit eigener Kraft von der Erde abheben; Höhe gewinnt er durch kräftige Flügelschläge. Die Befähigung dazu verdankt er seinen mächtigen Muskeln über der Brust, die bei großen Vögeln 1/8, bei kleinen Vögeln bis zu 1/4 des Gesamtgewichtes ausmachen. Das Fliegen ist also auch für den Vogel eine Bewegungsweise mit hohem Energieverbrauch.

vielmehr auf gerader Bahn und mit nahezu gleichmäßiger Geschwindigkeit vorwärts. Der Vorgang sieht auf geheimnisvolle Weise unnachahmbar aus, ein Geheimnis steckt aber nicht dahinter. Wer die natürlichen Zusammenhänge verstehen will, sollte sich zuerst einen Vogelflügel etwas genauer anschauen.

Zum besseren Verständnis bauen wir aus Zeichenkarton eine kleine Vogelschwinge und vergegenwärtigen uns an ihr die anatomischen Verhältnisse. Im Prinzip ist ein Vogelflügel ganz ähnlich gebaut wie die entsprechende menschliche Extremität; man kann also die uns geläufigen Benennungen weitgehend übertragen. Die Umrisse des Flügels werden zuerst, wie in Abb. 12, aufgezeichnet und mit der Schere ausgeschnitten. Nach dem Muster der anatomischen Skizze (Abb. 11) werden dann die einzelnen Knochen der Oberarm-, Unterarm- und der Handgegend eingezeichnet, wofür in unserem Fall einfache Striche genügen. Entlang dieser Striche wird das Papier gefaltet. In Abb. 12 gestrichelte Linien bedeuten eine

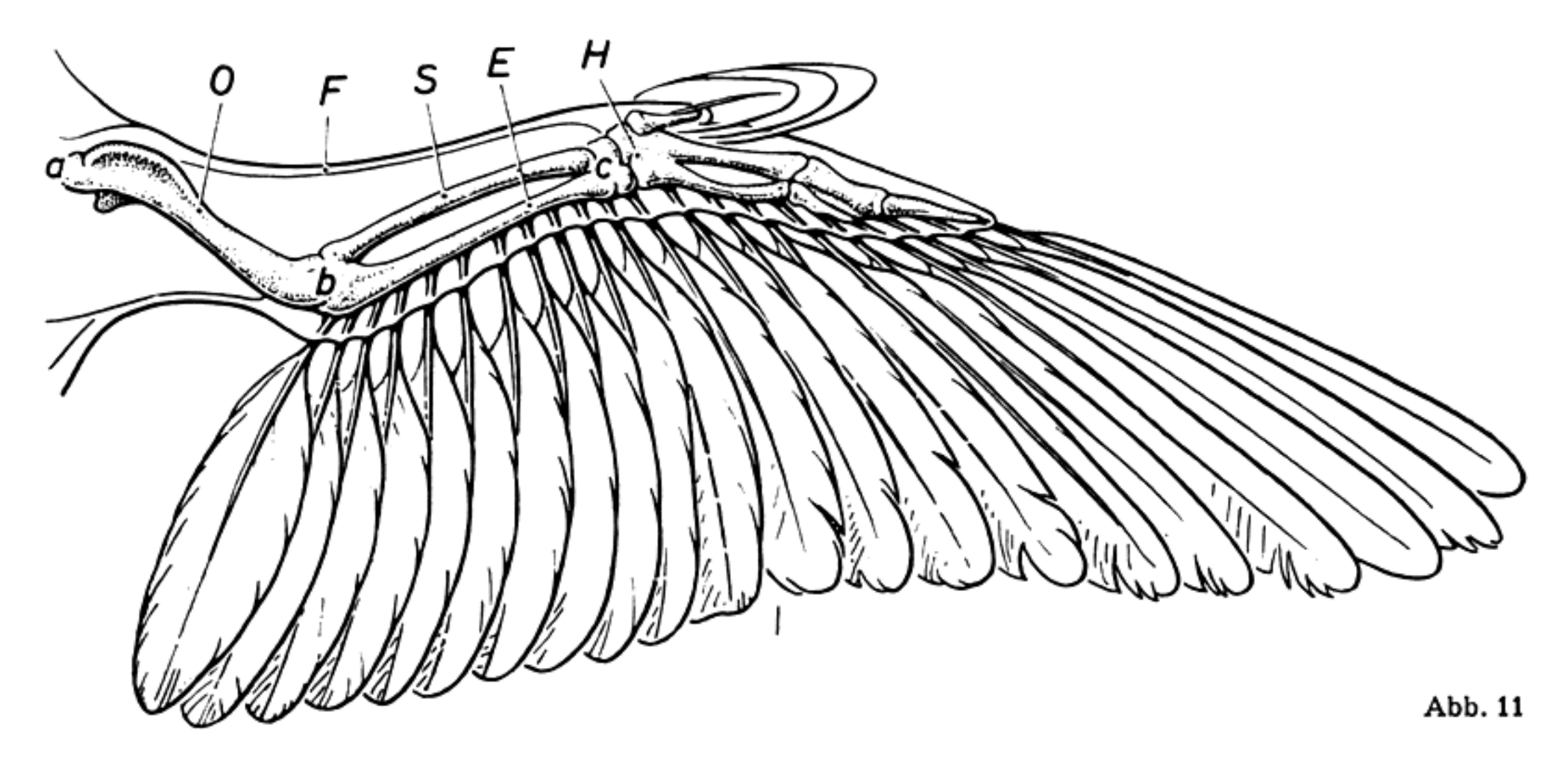


Abb. 11

Wie geht nun aber der Schwingenflug des Vogels vor sich, und auf welche Weise werden dabei die Schwingen bewegt. Eigentlich sollte man meinen, der Vogelleib müsse beim Flügelabschlag in die Höhe schnellen und beim Flügelaufschlag wieder zu Boden fallen. Wie wir wissen, tut er dies nicht; der Leib gleitet

Falzung nach hinten; die angrenzenden Flächen sollen also zurückgeklappt werden. Demgegenüber bezeichnen die gestrichelten Linien mit Kreuzen eine Falzung der angrenzenden Flächen nach vorne. Das so entstandene Gebilde wird auf diese Weise zunächst in 3 Flächen aufgeteilt. Ein spitzwinkeliges Drei-

eck, das in der Mitte steht, teilt den Flügel in 2 Abschnitte auf, von denen der eine der Armschwinge und der andere der Handschwinge entspricht. Vor den Skelettknochen ist schließlich noch eine nach vorn abschüssige, dreieckige Fläche entstanden; sie entspricht am natürlichen Vogelflügel dem elastischen, sehnigen Hautgebilde, das als Flughaut bekannt ist. Dem Schultergelenk entspricht in der Zeichnung Punkt (a), dem Ellenbogengelenk Punkt (b) und dem Handwurzelgelenk Punkt (c). Das Ellenbogengelenk (b) steht etwas höher als die Gelenke (a) und (c). Auf der Flügelunterseite hat sich damit eine Hohlkehle gebildet. Den Papierflügel kann man sich so vorstellen, daß er oben und unten mit weichen Federn ausgepolstert sei; die Ecken und Kanten würden dann nicht mehr in Erscheinung treten, und an der Stelle der großen Papierfläche wären harte Schwungfedern. Der so gebildete Flügel ist oben konvex und unten konkav. Die größte Wölbung liegt sehr weit vorne, etwa über den Knochen; von da an wird sie nach hinten rasch flacher. Aber nicht nur in der Flügeltiefe gemessen nimmt die Flügelwölbung ab, sie verringert sich auch von der Flügelwurzel zur -Spitze hin. Eigentlich ließe sich ein derartiger Vogelflügel mit einer unsymmetrisch gewölbten Platte vergleichen, die nach außen hin trapezförmig zuläuft und deren Wölbung allmählich flacher wird; sie hat wie man im Flugzeugbau sagt, eine aerodynamische Schränkung. Vorn ist die Platte verdickt und durch eingelagertes Strebwerk (Knochen) versteift.

Alle diese Eigentümlichkeiten bekommen beim Ruderflug funktionelle Bedeutung. Wichtig ist vor allem die Untergliederung der Vogelschwinge in einen Arm- und Handfittich. Der Handfittich kann nämlich im Handwurzelgelenk verkantet werden; auf die Flugrichtung bezogen vermag er, gegenüber dem Armfittich, einen anderen Anstellwinkel einzunehmen. Sobald die Hinterkante des Handflügels auf den Widerstand der Luft trifft, weicht sie beim Flügelaufschlag nach unten und beim Flügelabschlag nach oben aus. Diese „Drehschwingung" wird durch die Wirkung kräftiger Sehnen- und Muskelzüge in gewissen Grenzen gehalten; sie kann sogar nach Belieben reguliert und bei Bedarf ganz eingestellt werden. Dadurch wird ein „harter" oder ein „weicher" Flügelschlag erreicht, bzw. der Flügel auf Segelflug eingestellt.

Denkt man sich einen solchen Flügel in Bewegung gesetzt, dann stellt er dem Prinzip nach einen einfachen Hebel dar, der bei der Ruderbewegung um das Schultergelenk auf- und niederschlägt. Der ganze Flügel erfährt dabei im Schultergelenk eine leichte aktive Drehbewegung, zusätzlich findet eine Verkantung des Handflügels im Handwurzelgelenk statt. Die außen gelegene Handflügelfläche wird also in der Längsrichtung stärker verdreht als die weiter innen gelegene Fläche der Armschwinge. Beim *Flügelaufschlag* weicht die Handschwinge durch den Zug bestimmter Muskeln und Sehnenbänder mit der Hinterfahne schnell nach unten aus, und somit kann dieser Flügel, mit der Nasenkante voraus, ohne nennenswerten Luftwiderstand hochgezogen werden (Abb. 13). Die Armschwinge wird unterdessen in V-Stellung mit einem positiven Anstellwinkel angeblasen, erzeugt Auftrieb und verhindert ein Herabfallen des Vogels. Beim *Flügelniederschlag* trifft die Handschwinge auf den von unten wirkenden Luftwiderstand und schnellt jetzt mit ihrer Hinterkante nach oben (passive Drehbewegung), wodurch sie dann wie das Blatt eines Propellers wirkt (Abb. 14). Wie dieses sinnvolle Zusammenspiel zwischen Außen- und Innenflügel abläuft, ist zunächst nicht ganz leicht zu verstehen. Professor **Erich von Holst,** dem wir grundlegende Arbeiten über den Vogelflug verdanken, hat einen sehr anschaulichen Vergleich dafür gefunden. Lassen wir ihn hier selbst zu Wort kommen:

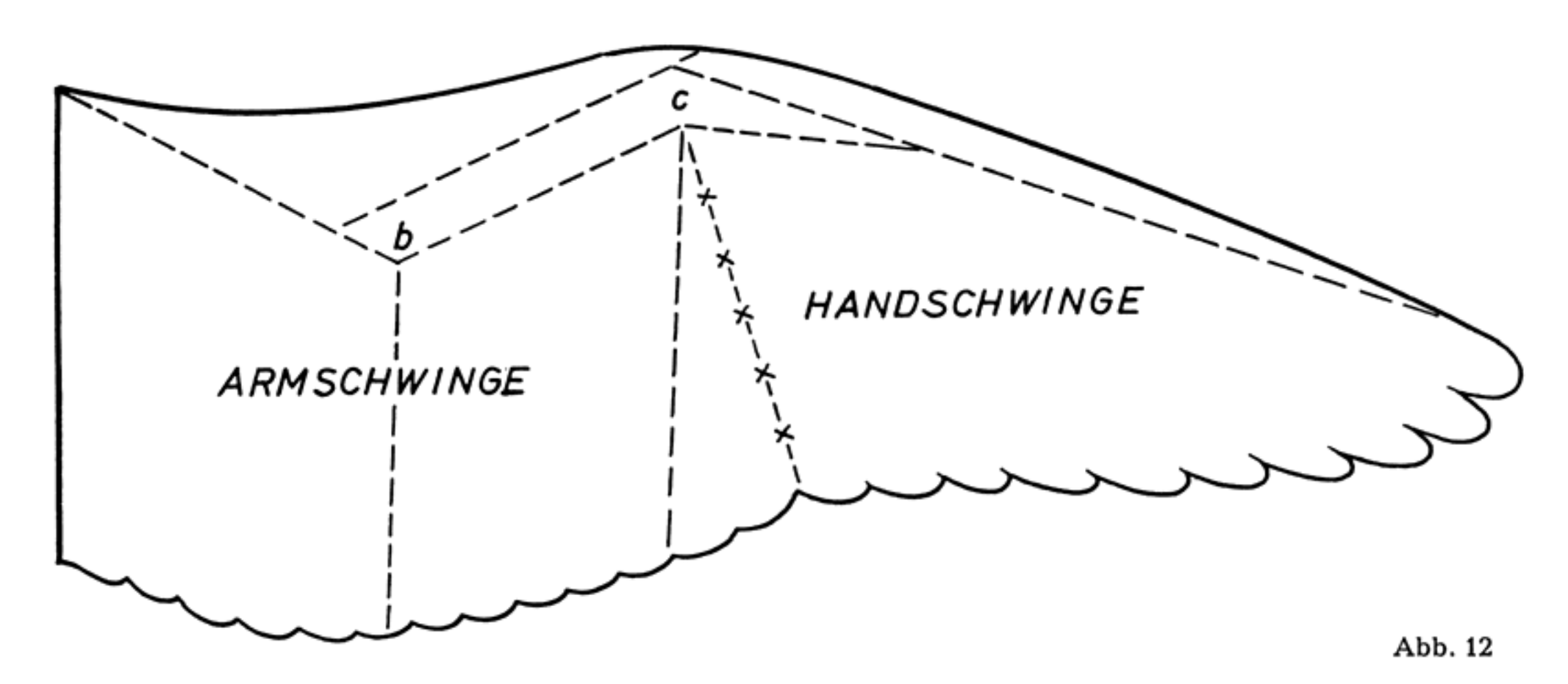
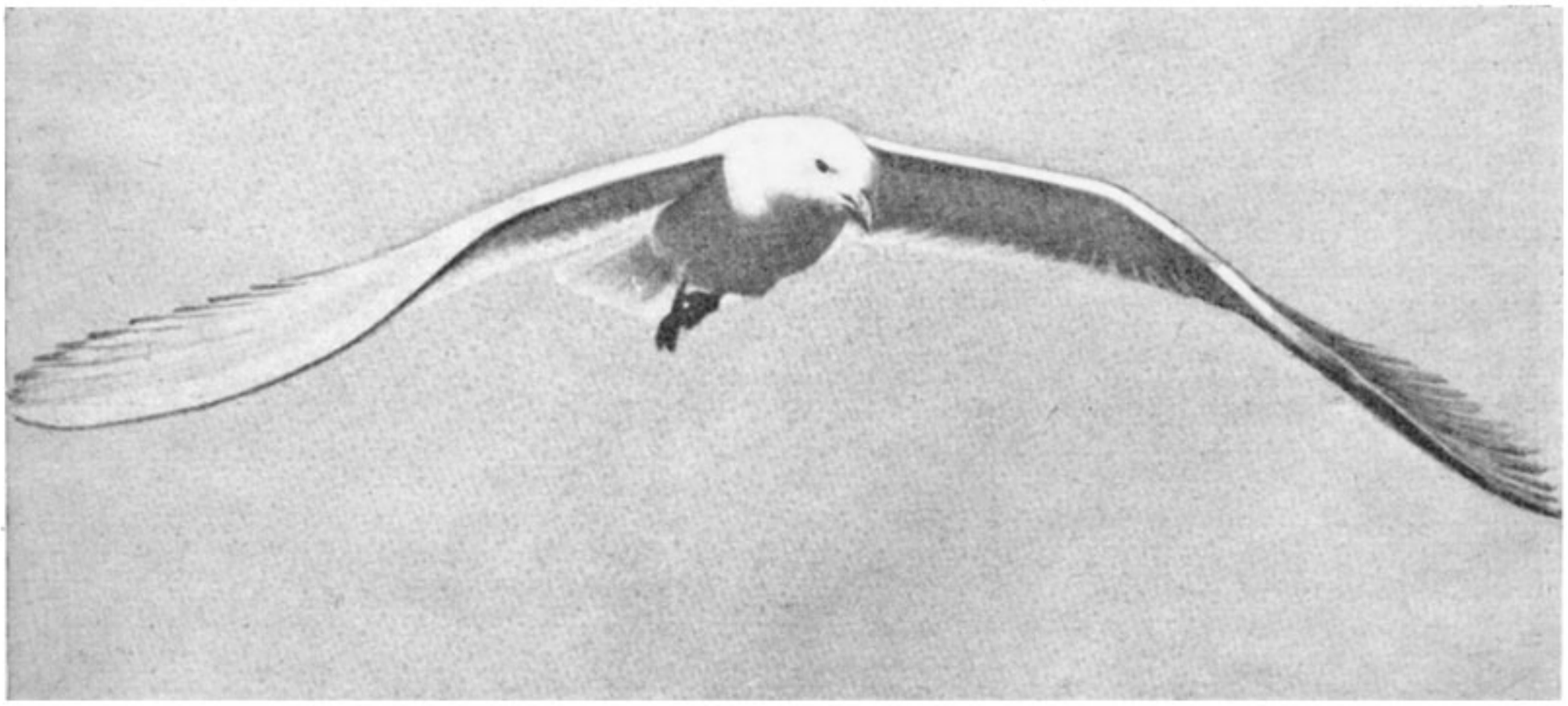


Abb. 12

Abb. 13

„Machen wir uns zunächst deutlich, daß der Vogel, der seine Flügel auf und ab bewegt und dabei selbst horizontal vorwärtsgleitet, die Flügelspitzen auf einer wellenförmigen Bahn dahinführt. Denken wir uns diese Wellenbahn des Flügels erstarrt zu einer Kette gleichmäßiger, schneebedeckter Hügel. An Stelle des Vogels und seiner Flügel setzen wir ein kleines Bübchen, Max geheißen, das auf einem Schlitten über diese Schneeberge hinwegrodeln möchte (Abb. 15a). Dieses Mäxchen möchte ebenso wie der Vogel es scheinbar kann, ohne Kraftaufwand über einen nach dem anderen dieser Hügel hinweggleiten. Natürlich gelingt ihm dies nicht, denn schon vor dem Gipfel des zweiten Berges hat Mäxchen so viel an Schwung verloren, daß er ihn nicht mehr erreicht. Nun hat Mäxchen plötzlich einen genialen Einfall: Er holt sich einen zweiten Schlitten und verbindet beide durch ein langes Brett. Beide Schlitten fahren jetzt mit mehreren Metern Abstand nebeneinander her und zwar so, daß der eine Schlitten über die steilen Bergkuppen, der andere mehr in flacherem Gelände nebenher fährt (Abb. 15b). Zwischen diesen beiden Schlitten wechselt der Knabe ab. Bergab sitzt er auf dem ersten, im Tal rutscht er behende auf den zweiten Schlitten, und nun reicht der Schwung mit Leichtigkeit aus, zur Überwindung der viel flacheren Steigung. Der

Abb. 14



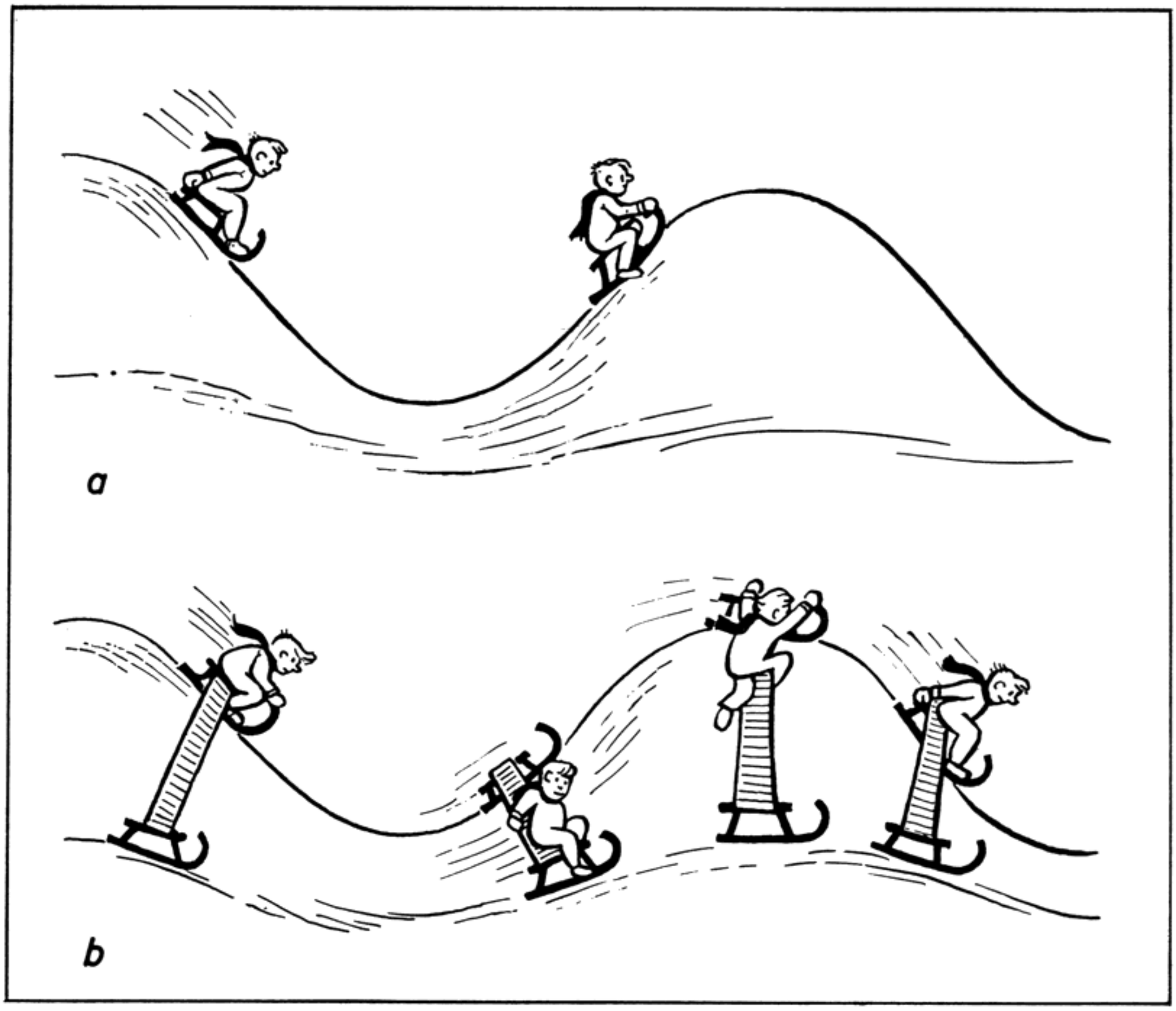


Abb. 15

leere Schlitten fährt entlastet bergauf und erreicht ohne weiteres seinen höchsten Punkt. Oben angekommen klettert Max schnell wieder auf den ersten Schlitten und dieses Spiel wiederholt er in einem fort, und so kann unser kleiner Rodler tatsächlich einen Gipfel nach dem anderen überwinden, indem er immer bergab eine steile, bergauf eine flache Bahn fährt. Aber — und das ist nun das Wichtigste: diese Reise wird ihm nicht mühelos geschenkt. Sie ist nur möglich, weil er selbst Arbeit leistet, weil er im Tal von dem ersten auf den zweiten Schlitten rutscht und auf der Bergkuppe von diesem auf den viel höheren ersten Schlitten hinaufklettert. Er leistet auf diese Weise tatsächlich ebensoviel Arbeit, wie er aufwenden müßte, wenn er auf einem Schlitten fahrend, unterhalb der Bergkuppe stehen bliebe, abstiege und mit seinem Schlitten vollends auf die Spitze hinaufwandern würde."

Genau wie das Mäxchen beim Rodeln, so belastet der fliegende Vogel beim Auf- und Abschlag verschiedene Flügelzonen (Abb. 16a). Er stellt bei der Auf- und Abbewegung seiner Flügel, die Flügelflächen so ein, daß das Gewicht des Körpers bald von der rumpfnah gelegenen Armschwinge (Flügelaufschlag) mit flacher Wellenbahn, bald von der rumpffernen Handschwinge (Flügelabschlag) mit steiler Wellenbahn getragen wird. Der rumpfnah gelegene Flügelabschnitt bleibt dabei in allen Phasen der Flügelbewegung immer annähernd in Flugrichtung eingestellt, und nur die Flügelhand macht Rotationsbewegungen. Der Armflügel hat also die Aufgabe, den Vogel zu heben und zu tragen; der Handflügel liefert dagegen den Vortrieb und stellt somit den „Propeller" dar.

So weit der *horizontale Ruderflug;* wie kommt aber der *Steig- oder Rüttelflug* auf der Stelle zustande? Hier tritt eine anatomische Besonderheit des Knochengerüstes in Funktion; der Vogel kann das Skelett der Schultergegend etwas bewegen. Wenn er den Schultergürtel so einstellt, daß die Flügel nicht mehr von oben nach unten, sondern um 70 bis 90° gedreht, in fast horizontaler Ebene vorwärts- und

rückwärts schlagen, dann wird die vorwärtstreibende Kraft plötzlich zur tragenden Kraft (Abb. 16b). Ist bei raschem Flügelschlag die tragende Kraft größer als das Gewicht des Vogels, dann steigt er fast senkrecht empor; ist sie ebenso groß, dann bleibt er auf der Stelle in der Luft stehen. In diesem Fall wird der Handteil des Flügels abwechselnd von seiner oberen und unteren Seite her angeströmt; dabei entsteht sowohl beim „Aufschlag" als auch beim „Abschlag" eine senkrecht nach oben gerichtete Auftriebskomponente. Besonders geschickt meistern diesen Flug auf der Stelle die Lerchen, Falken und Seeschwalben, weniger geschickt die Möven, Habichte und Bussarde. Aber auch mit selbst gebauten „künstlichen Vögeln" läßt sich dieser Rüttelflug vortrefflich nachahmen.

Zusammenfassend kann man sagen, daß das *Prinzip des Schwingenfluges* sowohl beim horizontalen Ruderflug als auch beim Steigflug immer das gleiche ist. Es handelt sich um ein rhythmisches Flügelschlagen, verbunden mit einer zusätzlichen Drehschwingung der Flügelhand. Selbstverständlich ist der Vogel bemüht Kraft zu sparen, und er wird deshalb diese Drehschwingung so klein wie möglich halten, ohne jedoch den Luftwiderstand zu vergrößern. Dabei kommt ihm sein, für den Schwingenflug überaus günstiges *Flügelprofil* zu Hilfe. Dieses wollen wir jetzt etwas näher betrachten und stellen zum Vergleich dem Armflügelprofil des Bussards das technische Tragflächenprofil Clark Y gegenüber (Abb. 17a).

Will man erreichen, daß eine Tragfläche mit Clark Y Profil, den für den horizontalen Schwingenflug notwendigen Vortrieb, bei möglichst geringem Luftwiderstand liefert, muß sie mit einem negativen Anstellwinkel von 26° nach unten geschlagen werden. Der Bussardflügel hingegen bedarf nur einer Drehbewegung von 9°—10°. Abweichend von der Form des technischen Profils, zeigt hier die Nasenkante nicht nach vorne, sondern nach vorne-unten. Die Luftteilchen, die an der Flügelunterseite entlanggleiten, werden von der dortigen Konkavwölbung gezwungen, nach hinten-unten auszuweichen. Die Flügeloberseite liefert bei dieser Einstellung eine nach vorne gerichtete Auftriebskomponente. Auch für den Flügelaufschlag ist das Profil des Vogelflügels vorteilhafter geformt als das technische Tragflächenprofil; infolge der starken Wölbung, die der Flügel im vorderen Fünftel seiner Tiefe hat, kann die Luft hier schon weit vor der Flügelnase nach hinten-unten abgeleitet werden (Abb. 17b). Wollte man die entsprechende Wirkung mit dem technischen Tragflächenprofil hervorrufen, müßte es erheblich steiler angestellt werden. Das technische Tragflächenprofil ist eben geschaffen worden, um horizontale Luftströmungen optimal nutzbar zu machen, während es für den Auf- und Abschlag des Schwingenfluges weniger geeignet ist. Im Gegensatz dazu können sich aber konkav gewölbte Vogelflügelprofile hervorragend für den Modellflug eignen; das hat vor einigen

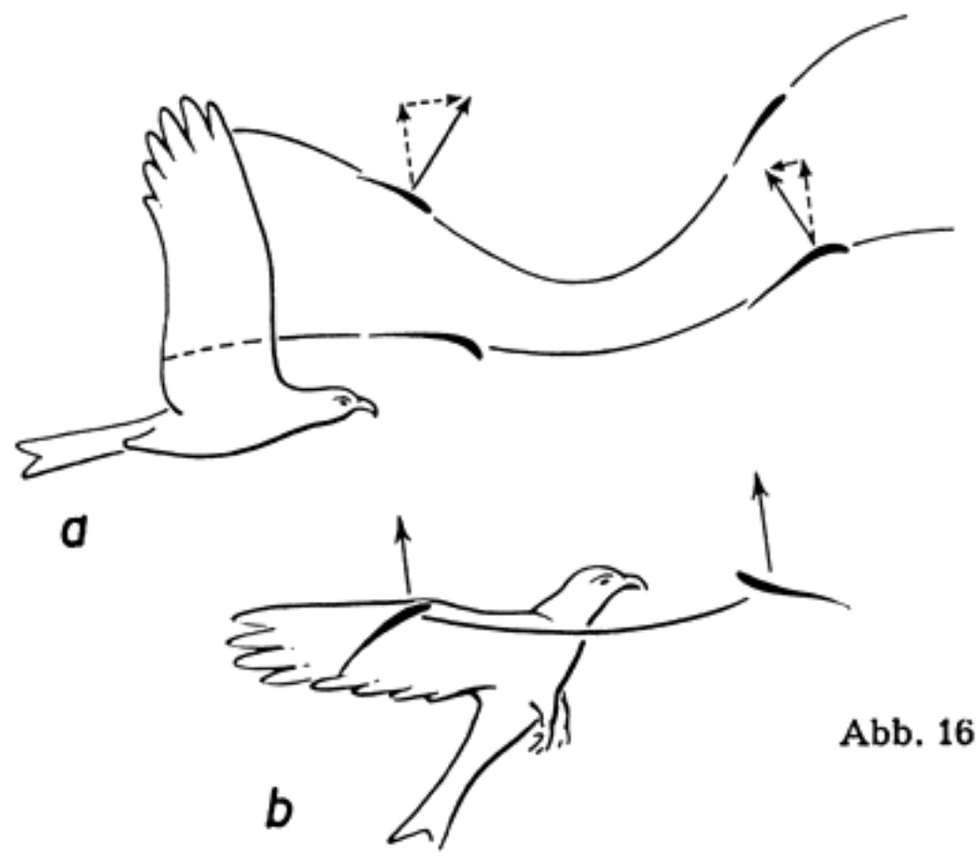
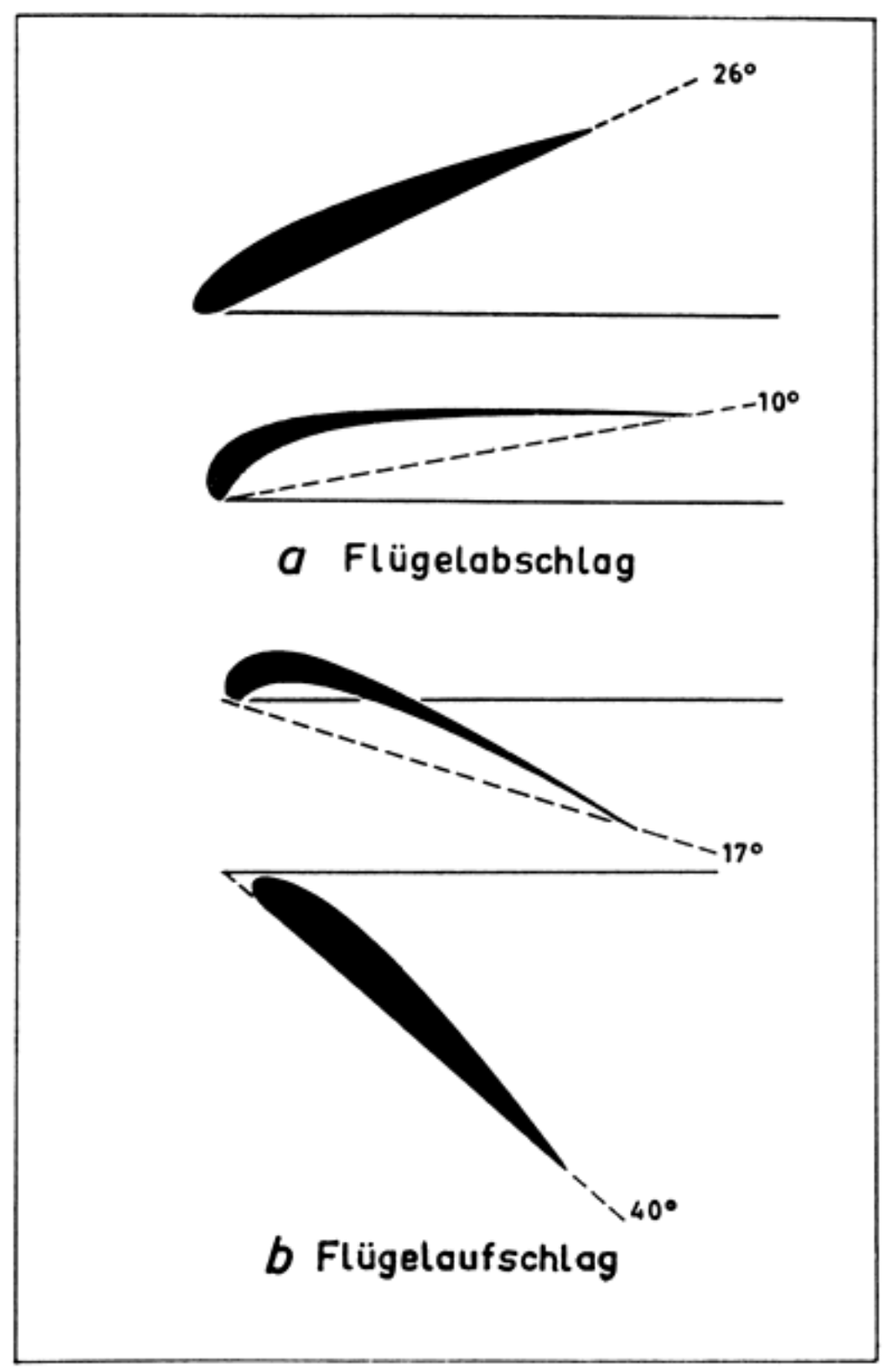


Abb. 16

Jahren **Erich Jedelsky** in Wien nachgewiesen. In umfangreichen Freiflugversuchen erprobte er alle erdenklichen Formen hochgewölbter Flügelquerschnitte systematisch. Die besten Leistungen lieferte ein Flügel, bei dem sich die konkave Unterseite in ihrem hinteren Drittel so sehr der Oberseite annäherte, daß dort nur noch eine Bespannungspapier-dünne Endfahne übrigblieb. Der Flügelquerschnitt, der damit entworfen wurde, kommt weitgehend dem des Vogelflügels gleich. Allerdings weist ein Vogelflügelprofil eine relativ große Druck-

Abb. 17



punktwanderung auf, und ist böenempfindlicher als die mit technischen Profilen gebildeten Tragflächen. Für den Segelflug ist das ein Nachteil, keinesfalls aber für den Schwingenflug; hier ist die Druckpunktunsicherheit sogar eine Voraussetzung, denn beim Vogel als lebendem Wesen sind Massen- und Auftriebsmittelpunkte in ständiger Bewegung.
Für den *Segelflug* des Vogels gelten selbstverständlich die gleichen Gesetze wie beim Flugmodell. Hier wie dort befindet sich der Schwerpunkt unter dem Auftriebsmittelpunkt. Weil der Vogel als „Schulterdecker" segelt, liegt der Schwerpunkt bei ihm ziemlich tief; wird der Vogel aus der Lage gebracht, pendelt er automatisch in die Normalfluglage zurück. Wie ist es aber nun während des *Ruderfluges?* Hier befinden sich die Schwingen einmal über, einmal seitwärts und einmal unter dem Schwerpunkt der Körpermasse. Der Vogel befindet sich also einmal im stabilen, einmal im indifferenten und einmal im labilen Gleichgewicht. Man sollte meinen, er müsse irgend etwas tun, um das Gleichgewicht der Kräfte zu erhalten. Er tut aber gar nichts; was hier zu geschehen hat, regeln die Flügel automatisch, allein durch die ständige Wanderung des Druckpunktes (Abb. 18). Beim *Flügelabschlag* lastet das Gewicht des Körpers vorwiegend auf den etwas nach vorn gepfeilten Handschwingen. Durch die Drehschwingung ist aber deren Auftriebsmittelpunkt so verlagert, daß er etwas vor den Schwerpunkt zu liegen kommt. Der Vogel würde deshalb leicht schwanzlastig werden. Die angreifenden Luftkräfte (Drehmoment der Flügel) wirken dem aber entgegen. Bei der *Flügelhebung* greift das Gewicht auf dem rumpfwärts gelegenen Armflügel an, und die Flügel werden so hochgeführt, daß sich der Auftriebsmittelpunkt und der Angriffspunkt des Gewichtes die Waage halten. Somit ist auch während der Schlagbewegung der Flügel eine vollkommene Harmonie und Ökonomie der Kräfte erreicht.

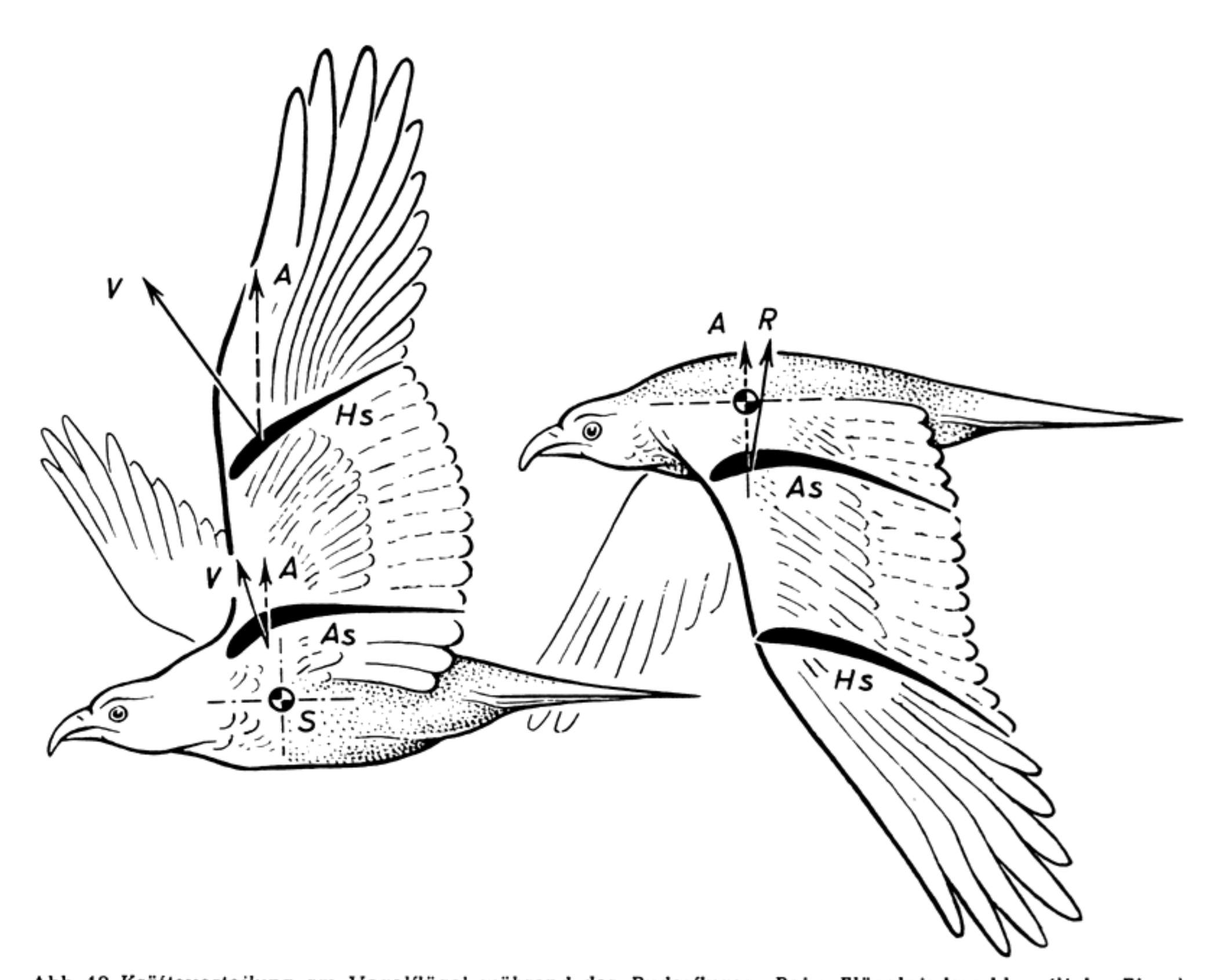


Abb. 18 *Kräfteverteilung am Vogelflügel während des Ruderfluges: Beim Flügelniederschlag (linke Figur) lastet das Gewicht des Vogels vorwiegend auf der Handschwinge (Hs). Die Luftkräfte erzeugen dort eine nach vorn gerichtete Auftriebskomponente (A=Auftrieb, V=Vortrieb). Beim Flügelaufschlag (rechte Figur) wird die Handschwinge (Hs) ausgeschaltet hochgeführt. Das Gewicht lastet jetzt allein auf der Armschwinge (As). Dort erzeugen die Luftkräfte eine etwas zurückgerichtete Auftriebskomponente. Während der Flügelbewegung bleibt die tragende Kraft immer gleich, der Vortrieb ist in allen Phasen vorherrschend. S=Schwerpunkt.*

Am Schluß noch eine vergleichende Betrachtung hinsichtlich des *Gewichts* einiger Vögel. Allgemein herrscht die Ansicht, der Vogel sei überaus leicht gebaut; flugfähige Vogelmodelle könne man, vor allem wegen ihres unverhältnismäßig großen Gewichtes, nicht oder nur schlecht bauen. Diese Ansicht ist unrichtig; ein Blick auf die untenstehende Tabelle beweist dies.

Vogelart		Segelflugmodell		„künstliche Vögel"	
Schwan		*FAI* v. Herm. Nägele		*Schwan* v. Erich von Holst	
Spannweite	218 cm	Spannweite	264 cm	Spannweite	245 cm
Körperlänge	157 cm	Rumpflänge	164 cm	Rumpflänge	120 cm
Flügelgewicht	518 g	Tragflächengewicht	154 g	Flügelgewicht	22 g
Körpergewicht	5823 g	Rumpfgewicht	648 g	Rumpfgewicht	131 g
Schwanzfedern	19 g	Leitwerk	64 g	Schwanzgewicht	10 g
Gesamtgewicht	6878 g	Fluggewicht	1020 g	Gesamtgewicht	185 g
Steinadler		*ETB 35* v. Erwin Tümler		*Adler* v. Erich von Holst	
Spannweite	196 cm	Spannweite	181 cm	Spannweite	200 cm
Körperlänge	94 cm	Rumpflänge	122 cm	Rumpflänge	104 cm
Flügelgewicht	454 g	Tragflächengewicht	98 g	Flügelgewicht	10 g
Körpergewicht	3221 g	Rumpfgewicht	240 g	Rumpfgewicht	74 g
Schwanzfedern	16 g	Leitwerk	58 g	Schwanzgewicht	4 g
Gesamtgewicht	4145 g	Fluggewicht	598 g	Gesamtgewicht	98 g
Mäusebussard		*Bussard* v. Gust. Sämann		*Bussard* v. Erich von Holst	
Spannweite	118 cm	Spannweite	138 cm	Spannweite	97 cm
Körperlänge	52 cm	Rumpflänge	116 cm	Rumpflänge	45 cm
Flügelgewicht	90 g	Tragflächengewicht	58 g	Flügelgewicht	6 g
Körpergewicht	584 g	Rumpfgewicht	150 g	Rumpfgewicht	21 g
Schwanzfedern	14 g	Leitwerk	17 g	Schwanzgewicht	2 g
Gesamtgewicht	778 g	Fluggewicht	283 g	Gesamtgewicht	35 g
Krähe		*ETB 15* v. Erwin Tümler		*Rhamphorhynchus* v. E. v. Holst	
Spannweite	84 cm	Spannweite	90 cm	Spannweite	108 cm
Körperlänge	47 cm	Rumpflänge	64 cm	Rumpflänge	69 cm
Flügelgewicht	44 g	Tragflächengewicht	45 g	Flügelgewicht	4 g
Körpergewicht	397 g	Rumpfgewicht	138 g	Rumpfgewicht	14 g
Schwanzfedern	8 g	Leitwerk	12 g	Schwanzgewicht	2 g
Gesamtgewicht	493 g	Fluggewicht	240 g	Gesamtgewicht	24 g
Taube		*Minimoa* Kleinsegler		*Insekt* v. E. von Holst	
Spannweite	60 cm	Spannweite	78 cm	Spannweite	35 cm
Körperlänge	38 cm	Rumpflänge	34 cm	Rumpflänge	31 cm
Flügelgewicht	26 g	Tragflächengewicht	9 g	Flügelgewicht	2 g
Körpergewicht	240 g	Rumpfgewicht	42 g	Rumpfgewicht	5 g
Schwanzfedern	4 g	Leitwerk	4 g	Leitwerk	—
Gesamtgewicht	294 g	Fluggewicht	64 g	Fluggewicht	7 g

Flugmodelle sind also sehr viel leichter als Vögel vergleichbarer Größe. Zudem stehen uns heute Glühzünder und Dieselmotoren zur Verfügung, die ein Mehrfaches dessen leisten, was eine Vogelmuskulatur an Energie aufzubringen vermag. Wenn Erich von Holst seine „künstlichen Vögel" trotzdem in einer konsequenten Leichtbauweise ausgeführt hat, liegt das daran, daß ihm damals nur Gummimotore zur Verfügung standen, die nicht mehr als 0,6 mkg/sec. p. 10 Gramm ihres Gewichtes zu leisten vermögen. Die unwahrscheinlich guten Flugleistungen, die er damit erzielt hat, sind aber ein Beweis, daß Geräte dieser Art durchaus ernstzunehmende Flugmodelle darstellen. Demnächst wollen wir uns mit diesen kleinen Wunderwerken eingehend beschäftigen.

(wird fortgesetzt) *K. Herzog*

ALLES FÜR DEN TECHNISCHEN BASTLER

Zahnräder, Kugellager, Motore, Bleche, Stangen aus Stahl, Messing und Aluminium, Silberstahl, Stahldraht, Gewindestangen und vieles andere. Preisliste M 26 kostenlos. Geben Sie evtl. kurz Ihre Spezialwünsche bekannt.
Wagner, 432 Hattingen, Postfach 469

Drehbank-Selbstbau (Support)

Hobel-, Bohr-, Fräsmaschine ohne Hilfe anderer Maschinen. (Nur Hand-Werkzeug notwendig). Freiprospekt M 24.
Wagner, 432 Hattingen, Postfach 469

Karl Herzog: Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik.
Erschienen in der Heftreihe Mechanikus, J.F. Schreiber Verlag Esslingen, **März 1963**
Das Copyright liegt heute beim AUE-Verlag, Möckmühl, Deutschland.
Texte und Zeichnungen dürfen nicht an anderer Stelle veröffentlicht werden.

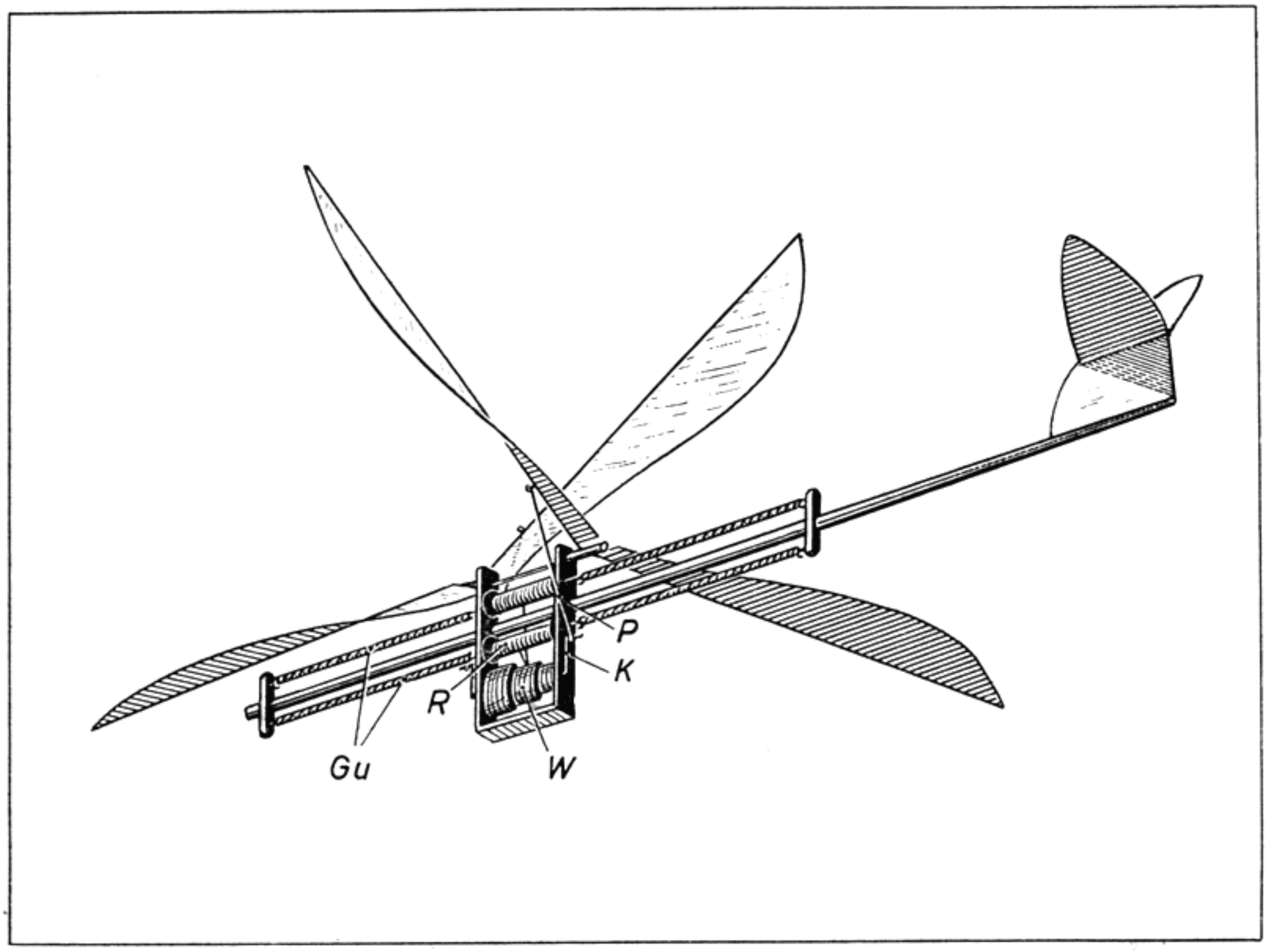
Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik

TEIL III. — Schwingenflugmodelle von E. v. Holst

Der Biologe, Professor **Dr. Erich v. Holst,** war bis zu seinem Tod am 26. Mai 1962, Direktor des Max-Planck-Instituts für Verhaltensphysiologie in Seewiesen bei Starnberg. Er gehörte als ordentliches Mitglied der Göttinger und der Heidelberger Akademie der Wissenschaften sowie der deutschen Akademie der Naturforscher zu Halle an und war korrespondierendes Mitglied der bayerischen Akademie der Wissenschaften. Als Naturforscher und Aerodynamiker war er weit über die Grenzen Deutschlands hinaus bekannt. Ein beträchtlicher Teil seines Lebenswerkes steht im unmittelbaren Zusammenhang mit der Lösung elementarer und auch höchst komplizierter modellfliegerischer Probleme; sein Name bleibt repräsentativ für mehrere Entwicklungsrichtungen in der Geschichte des wissenschaftlich betriebenen Modellflugs. Es ist an der Zeit, seine Versuche und Ergebnisse aus diesem Forschungsgebiet zumindest in einer gedrängten Übersicht darzustellen, so lange dies aus der persönlichen Erinnerung und aus nachgelassenen Schriften noch möglich ist.

Erich v. Holst war als Wissenschaftler sehr vielseitig. Unter anderem machte er es sich zur Aufgabe, den Schwingenflug der Vögel, Fledermäuse und Insekten zu erforschen. Am Zoologischen Institut der Universität Göttingen experimentierte er mit Insekten und Schmetterlingen. Durch ausgedehnte und sorgfältige Beobachtungen stellte er fest, auf welche Weise die Schwingenbewegungen kleiner Insektenflügel ausgeführt werden und ermittelte deren Schlagfrequenz. Als er 1939 diese Untersuchungen im wesentlichen abgeschlossen hatte, bewies er die Richtigkeit seiner Ergebnisse durch Freiflugversuche. Zunächst baute er ein kleines *„künstliches Insekt"*, also ein freifliegendes Schwingenflugmodell, das möglichst genau nach dem Prinzip des Insektenflugs arbeiten sollte; es hatte eine Spannweite von 35 cm und das erstaunlich geringe Gewicht von nur 7 g. Gebaut war das Modell aus Stroh-

Abb. 19 *Übersichtszeichnung der „künstlichen Libelle": Gu=Gummimotor, R=Fadenrolle, W=stufenförmige Wickelplatte mit elliptischem Querschnitt, K=Kurbel, P=Pleuelstange*



halmen, Nähseide und Seidenpapier. Trotz des verhältnismäßig klein dimensionierten Gummimotors erreichte es, bei einer Steighöhe von etwa 2 m, die beachtliche Flugzeit von 44 sec — schade, daß dieses einzigartige Miniaturmodell damals nicht fotografiert worden ist. Die Bauunterlagen sind nicht erhalten geblieben.

Von seiner 1940 gebauten *„Libelle"* existiert dagegen noch eine Übersichtszeichnung (Abb. 19), in der die Wirkungsweise schematisch dargestellt ist. Bei einer Länge von 48 cm hatte dieses Modell eine Spannweite von 53 cm und ein Fluggewicht von 12 g. Wie eine natürliche Libelle trug das Modell 2 Flügelpaare, die hintereinander angeordnet waren. Die Flügel, die sich beim Auf- und Niederschlag verwanden, hatten Holme mit fest eingestellter positiver V-Stellung; beide Flügelpaare waren auf einer gemeinsamen Welle gelagert, auf der sie in bestimmten Grenzen Kippbewegungen nach rechts und links ausführen konnten. Zum Antrieb jedes Flügelpaares diente ein eigener Gummimotor, der über ein Rollensystem Fadenzüge in Bewegung setzte (Abb. 19). Der genaue Ablauf soll in einem späteren Zusammenhang dargestellt werden; hier sei zunächst nur das Prinzip erwähnt. Durch das Fadengetriebe wurde erreicht, daß die Flügelpaare gegensinnig ausschlugen; während der Flügel der einen Seite hochging, schlug der dahinterliegende Flügel der gleichen Seite nach unten. Auf der anderen Seite erfolgte die nämliche Bewegung in umgekehrter Reihenfolge. Der Rumpf war ein Stab aus Balsaholz; alles andere bestand aus Strohhalmen, Binsen und Seidenpapier. Das Modell hatte verhältnismäßig gute Flugeigenschaften; im Steigflug erreichte es Höhen von 6—7 m. Durch das Auf- und Niederschlagen der Flügel wurde die Flugstabilität nicht beeinträchtigt.

Auf der gleichen Entwicklungslinie ist ein weiteres Modell einzuordnen, bei dem eine strengere Synchronisation des Flügelschlages erreicht werden sollte. Im Unterschied zur ersten „Libelle" wurden hier gegenläufige Schwinghebel eingebaut, die jeweils eine vordere Flügelhälfte mit der gegenüberliegenden anderen Flügelhälfte des hinteren Flügelpaares verbanden. Die voneinander abhängige Bewegungsfolge entspricht etwa der von rasch schwingenden Waagebalken. Die kennzeichnenden Merkmale des Libellen-Flugs waren auch bei diesem verfeinerten Versuchsmodell vollständig beibehalten worden.

Modelle, die den physiologisch untersuchten und richtig definierten Ablauf natürlicher Bewegungen unter Zuhilfenahme der Mechanik imitierten, haben selbstverständlich nicht viel mit den eigengesetzlich entwickelten Leistungsmodellen der sportlichen Wettbewerbspraxis zu tun. Ihre Eigenschaften sind nicht mit denen der heute üblichen Klassenmodelle vergleichbar. Obwohl es sich bei ihnen um Flugmodelle handelt, muß man sie in erster Linie als mechanische Demonstrationsapparate auffassen, die bei der Erforschung der Natur und bei der Erklärung des in diesem Zusammenhang beobachteten Verhaltens Hilfsdienste leisteten. Da sich aber E. von Holst bei der Erforschung des natürlichen Flugs technischer Mittel bediente, kam er hinsichtlich seiner Methode den Forschungsplänen der Luftfahrtindustrie nahe.

Gerade von dem erwähnten Modell der künstlichen „Libelle" sind Anregungen übernommen worden, als die Focke-Wulf-Flugzeugwerke ein Triebflügelprojekt in Angriff nahmen. Unter Benützung der bei der „Libelle" gemachten Erfahrungen, baute E. von Holst ein Triebflügel-Flugmodell mit elastisch verwindbaren Flügelpaaren, die gegenläufig rotierten (Abb. 20 u. 21); er führte es dem Focke-Wulf-Chefkonstrukteur Prof. Tank 1943 in Bad Eilsen im Flug vor.

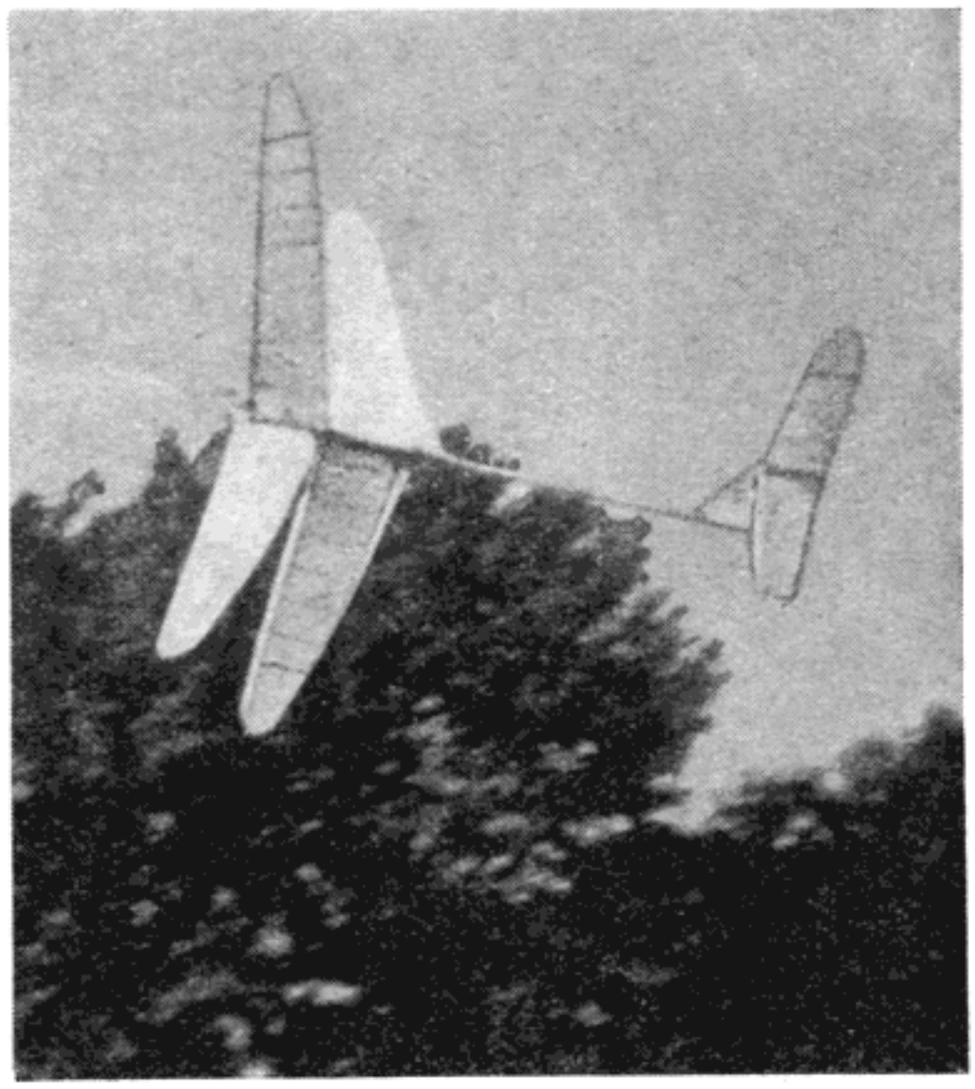


Abb. 20 *Ein der „Libelle" nachempfundenes Triebflügel-Modell im Flug. Das Antriebsprinzip ist hier ähnlich wie bei Abb. 19; nur wurde in diesem Fall eine gegenläufige Rotation der in sich weich verwindbaren Drehflügelpaare erprobt.*

Ein weiteres Arbeitsgebiet, dessen sich E. von Holst jahrzehntelang angenommen hat, war die Erforschung des Vogelflugs. Auch hier war er bemüht, die am natürlichen Bewegungsablauf gewonnenen Erkenntnisse unmittelbar auf das Flugmodell zu übertragen. Seine *„künstlichen Vögel"* erregten damals in Fachkreisen beträchtliches Aufsehen. Zwar sind diese Schwingenflugexperimente in den Jahren vor dem Krieg in Büchern, Fachzeitschriften, sowie in Privat- und Sonderdrucken beschrieben worden; heute besteht aber die Gefahr, daß sie der junge Techniker oder Modellflieger nicht einmal mehr dem Hörensagen nach kennen lernt. Deshalb sollen die bezeichnenden Merkmale der wichtigsten Vogelmodelle nachstehend wiedergegeben werden.

Das erste Modell von E. von Holst war der *„Bussard"* (Abb. 22). Es hatte eine Rumpflänge

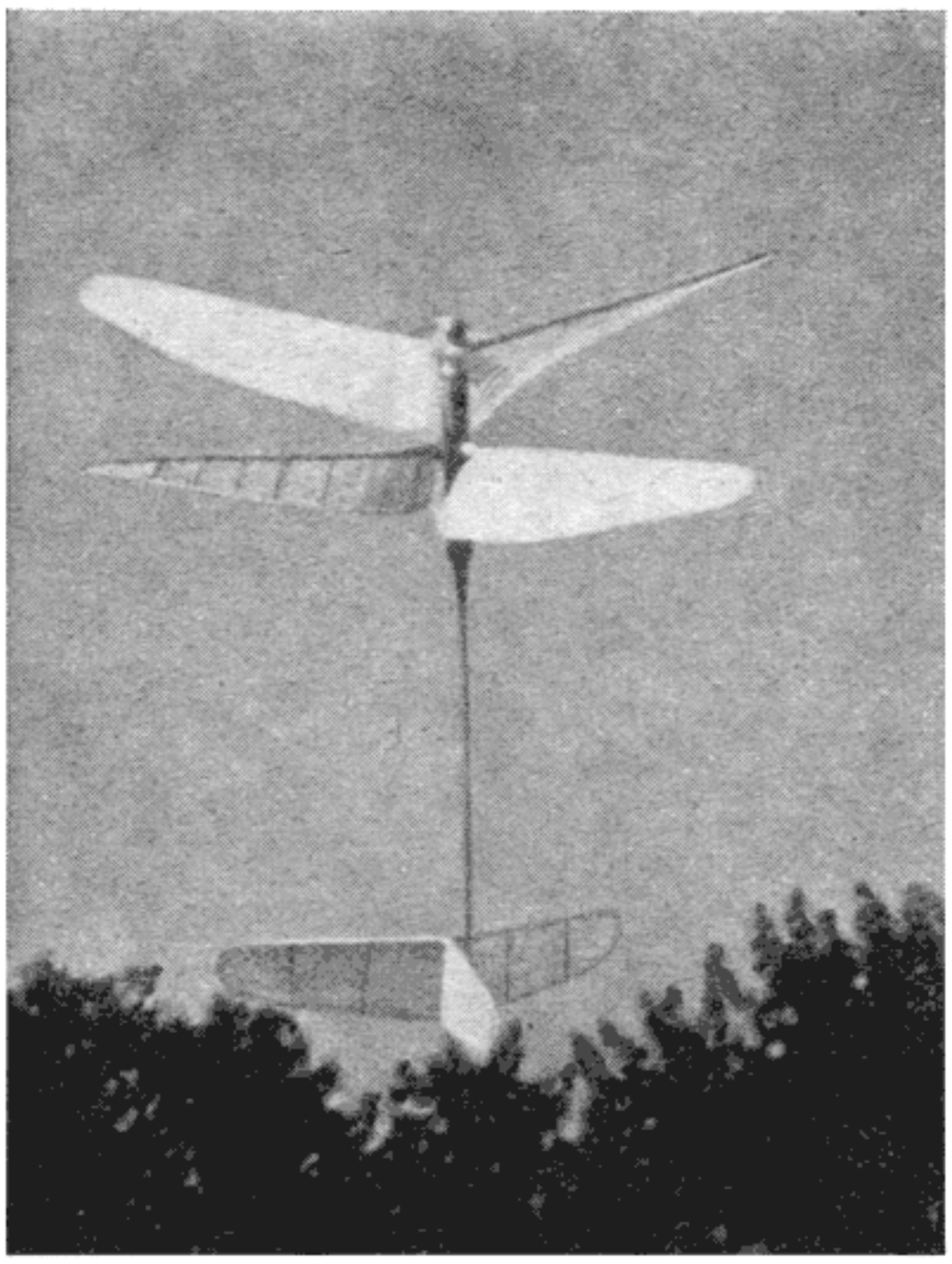
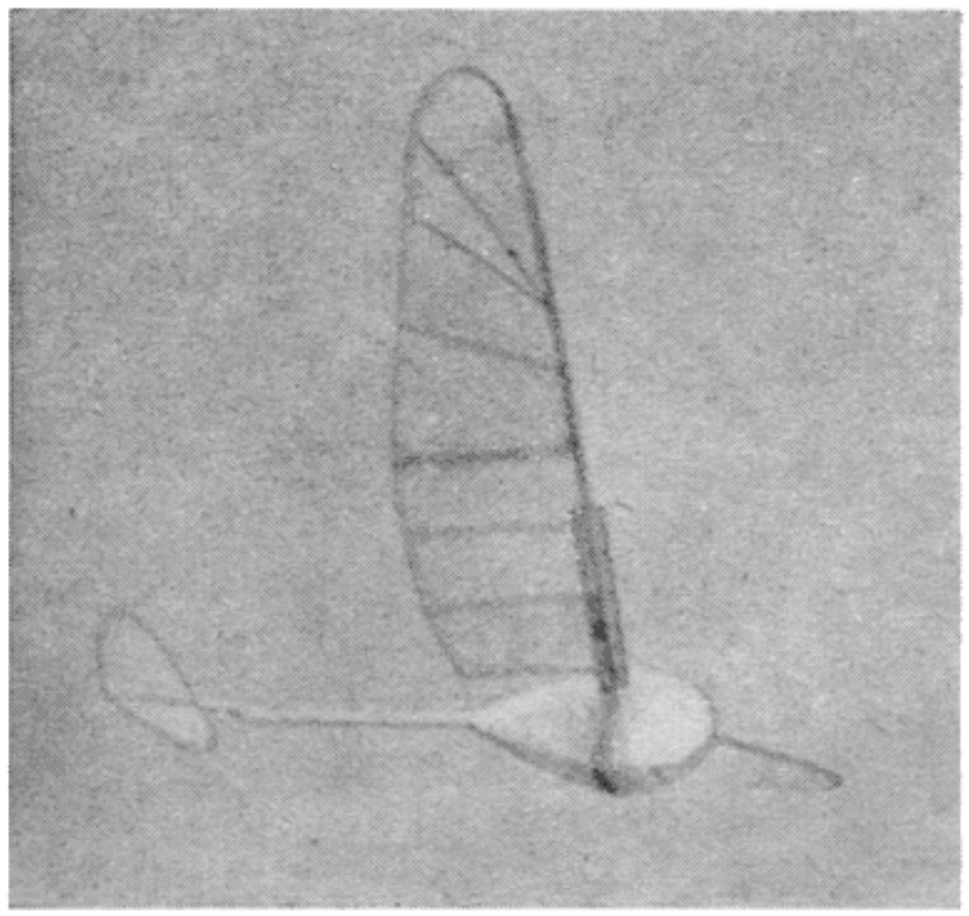


Abb. 21 *Das gleiche Triebflügelmodell (Abb. 20) im senkrechten Steigflug*

von 45 cm, eine Spannweite von 97 cm und ein Fluggewicht von 24 g. Zwei stark dimensionierte Gummimotore, die vor und hinter den Flügelholmen angebracht waren, dienten zum Antrieb dieses leichten Modells. Es stieg in einem Winkel von etwa 45° (Abb. 23) und vermochte, wie gewisse Raubvogelarten, in der Luft zu rütteln (vgl. S. 49, Abb. 16); nach Ablauf des Gummimotors kehrte das Modell im Gleitflug leicht und elegant zur Erde zurück.

Abb. 22 *Künstlicher Vogel vom Typ „Bussard" im Horizontalflug*



1953 baute E. von Holst seinen *„Schwan"* (Abb. 24). Dieser mächtige Vogel hatte eine Spannweite von 245 cm, eine Rumpflänge von 125 cm und ein Fluggewicht von 185 g. Als Baumaterial wurden diesmal vorwiegend Balsaleisten verwendet; dazu kamen Schilfrohr und Strohhalme; als Bespannung diente Japan-Seidenpapier. Die Flächenbelastung lag etwa bei 3,50 g/dm². Bei diesem sehr leicht gebauten Modell arbeiteten die Flügel langsam; aber schon mit einer Frequenz von 1 bis 1½ Schwingenschlägen pro Sekunde, lieferten die Flügel genügend Auftrieb zum freien Flug und dazu noch einen beträchtlichen Vortrieb. Weil dieser künstliche Vogel geradezu im Zeitlupentempo flog, konnte man den Ablauf der Flügelbewegung zum ersten Mal mit dem bloßen Auge verfolgen. Abb. 25 u. 27 zeigen den „Schwan" im Moment der Flügelhebung, Abb. 24 u. 26 während des Flügelniederschlages. Die Aufnahmen lassen erkennen, daß der Armabschnitt des Flügels in allen Phasen der Schwingenbewegung vorwiegend in Flugrichtung

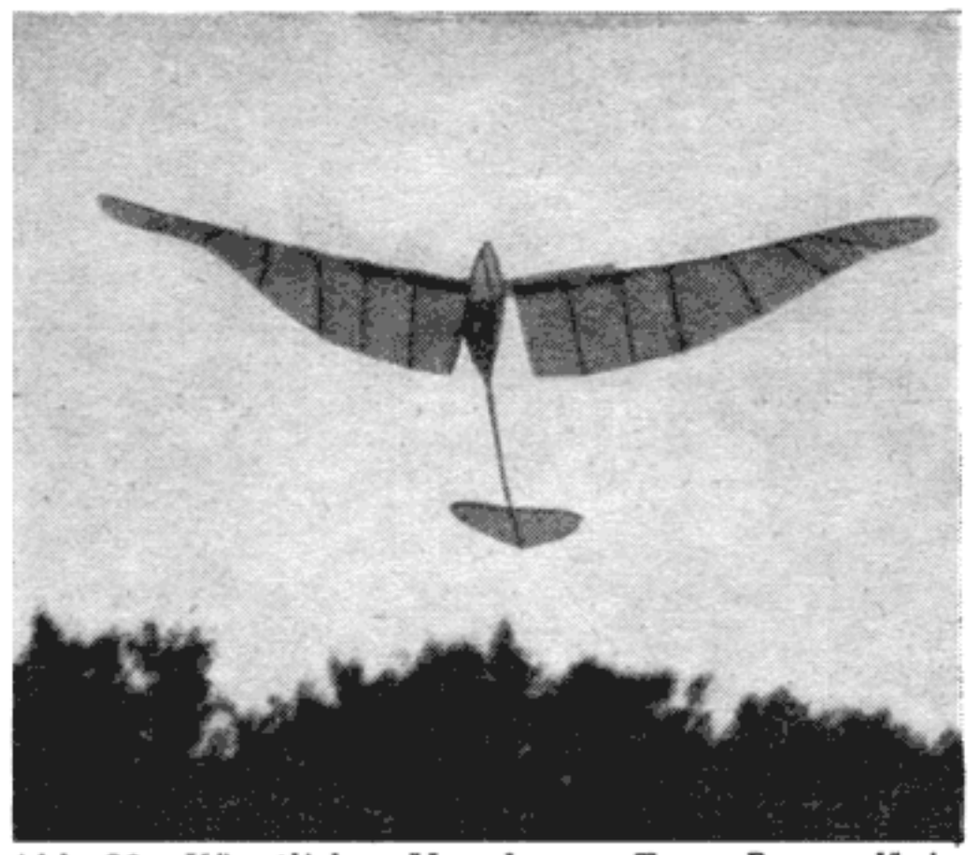


Abb. 23 *Künstlicher Vogel vom Typ „Bussard" im Steigflug*

eingestellt bleibt, womit er also seiner Aufgabe als Tragfläche gerecht wird; die Handschwinge führt hingegen fortlaufend Drehschwingungen aus und liefert dadurch Vortrieb. Das Modell „Schwan" erhob sich mit langsamen Flügelschlägen bis zur Höhe der Baumspitzen und kam im Gleitflug wieder zur Erde zurück. Die größte Steigflughöhe (Abb. 27) wurde mit 15 m gemessen. Mit dem Modell des „Schwan" hat E. von Holst seine grundlegenden Schwingenflugexperimente praktisch abgeschlossen. Er stellte damit unter Beweis, daß seine Theorien über den Tierflug richtig sind; gleichzeitig hat er aber auch gezeigt, daß ein technischer Schwingenflug nach dem Vorbild der Natur möglich ist. Sowohl der tierische Flug als auch der Schwingenflug der Modelle kommt durch „Präzisionsbewegungen" zustande, deren Wirkung nur in ganz engen Grenzen optimal sein kann. Die einzelnen Phasen, die innerhalb der Bewegungsabläufe eines Schwingenflugs möglich sind, lassen sich

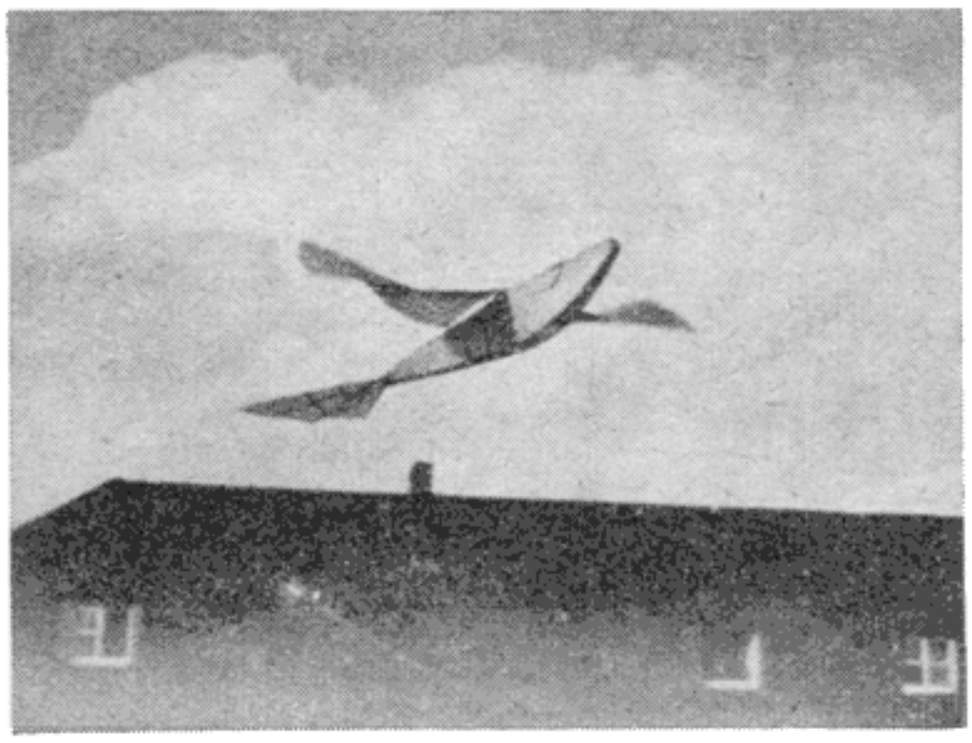


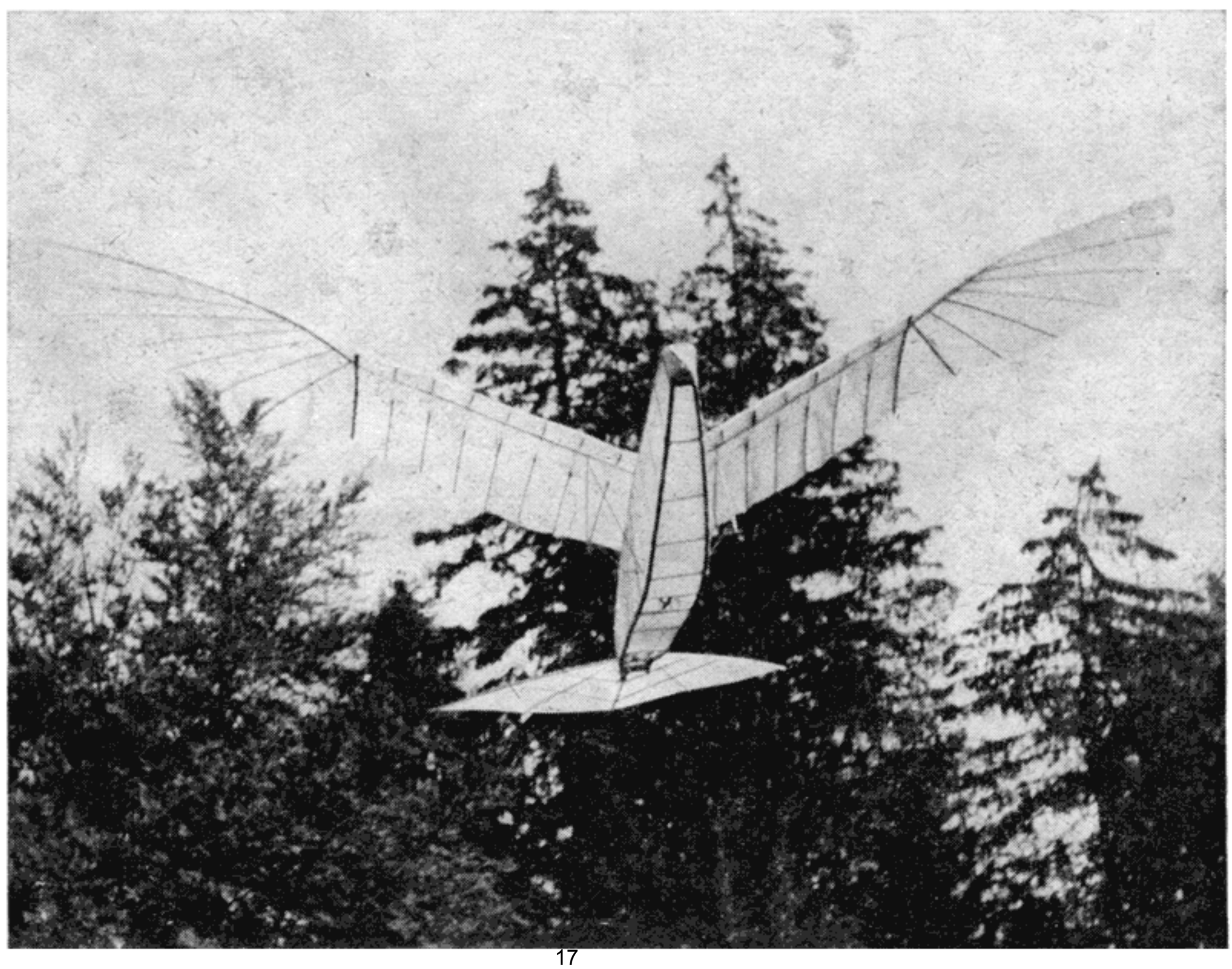
Abb. 24 *Künstlicher Vogel vom Typ „Schwan" im Augenblick des Flügelniederschlags; beachtenswert: die Flügelverwindung (Drehschwingung)*

ziemlich genau definieren. Diese einfache Feststellung wird erst dann aufsehenerregend, wenn man aus ihr die Schlußfolgerung zieht, daß demnach die biophysikalischen Gesetze, die im Modellversuch ihre Bestätigung fanden, für den Flug aller größerer Lebewesen, also auch der Fledermäuse, und Flugechsen, gleich sein müssen.

Um auch dafür den Beweis anzutreten, baute E. von Holst das Modell eines längst ausgestorbenen Flugsauriers, des *„Rhamphorhynchus"* (Abb. 28—30). Das Vorbild ist der Paläontologie seit langem bekannt. Fossile Reste hat man in Juraformationen des öfteren in gut erhaltenem Zustand als Versteinerungen

Abb. 27 *Der „Schwan" hat eine Steighöhe von ca. 15 m erreicht und wird bald in den Gleitflug übergehen*

Abb. 25 *Der „Schwan" in der Phase der Flügelhebung*

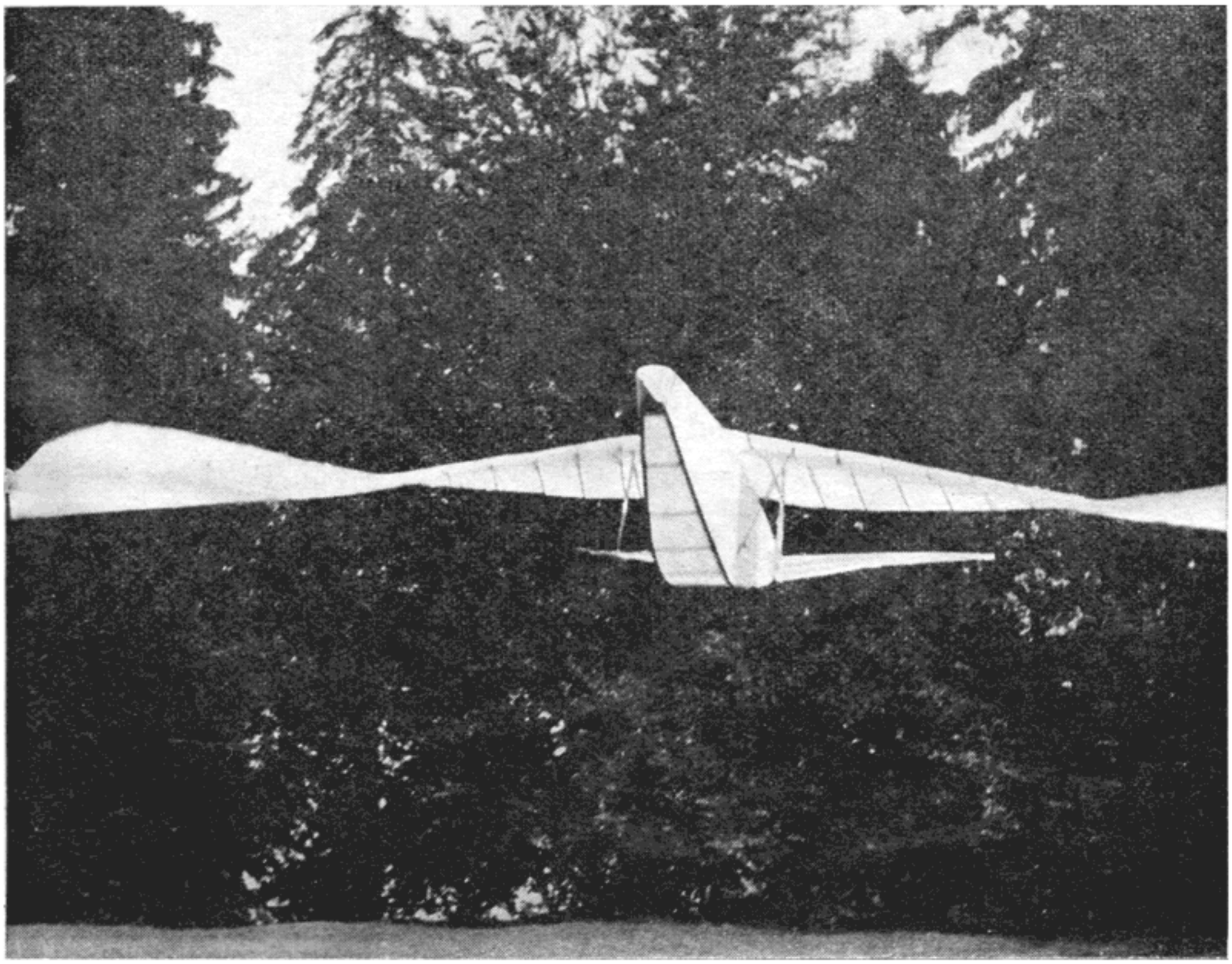


gefunden. Das Modell wurde dem längst ausgestorbenen Original möglichst genau nachgebildet. Es hatte folgende Maße: Länge 68 cm; Spannweite 108 cm; Armlänge 22 cm; Handlänge 32 cm; Flügelbreite: am Armflügel 15 cm, in der Gegend der Handwurzel 12 cm. Der Flugsaurier selbst dürfte seinerzeit ein Lebendgewicht von 160 bis 180 g gehabt haben. Da aber der zierliche Rumpf des Demonstrationsmodells nur einen sehr kleinen Gummimotor aufnehmen konnte, wählte E. von Holst ein möglichst geringes Baugewicht; das seiner Form nach naturgetreu gebaute Modell hatte ein Fluggewicht von nur 24 g. Bei seiner Flächenbelastung von 1,8 g/dm², war es im Verhältnis leistungsfähiger und flugtüchtiger als der „Schwan". Wenn der Motor ganz aufgezogen war, konnte das Modell des Flugsauriers senkrecht steigen (Abb. 29), bei halb abgelaufenem Motor blieb es in der Luft auf der erreichten Stelle stehen. Wenn schließlich die Kraft des Gummimotors verbraucht war, kam das Modell mit ziemlich langsamen Flügelschlägen herunter und konnte mit der Hand abgefangen werden. Das Modell, das eigentlich für Vorführungen im Hörsaal entworfen worden war, hatte auch im Freien recht gute Flugeigenschaften (Abb. 30). Auch bei leichtem Wind blieb sein Rumpf erschütterungsfrei und die Stabilität wurde durch die Schwingenbewegung nicht gestört.

Kam es im Flug zu einer Begegnung mit natürlichen Vögeln, waren diese zunächst sehr unbefangen, ergriffen dann aber regelmäßig die Flucht. Die Ursache dafür dürfte in dem schnarrenden Geräusch der Kurbeltriebe zu suchen sein, das sich offenbar für einen Vogel unheimlich anhört. Diese Beobachtung stimmt mit Erfahrungen des Hangsegelflugs überein, wo anfliegende große Raubvögel durch ein Fernsteuerkommando zu erschreckten Abwehrbewegungen veranlaßt werden konnten, weil sie in diesem Augenblick immer das seltsame Geräusch der Rudermaschine zu hören bekamen.

Für den Modellflieger besonders interessant sind die mechanischen Vorrichtungen, mit denen E. von Holst das physiologische Geschehen modellgerecht nachzubilden bemüht war. Zunächst einiges über die *Antriebsverfahren* (Abb. 31): Das Herz des Modells ist ein Faden-Getriebe (Fig. A), das aus einer gestuften oder konisch geformten Fadenrolle (Fr) und einer ebenfalls gestuften, exzentrisch gelagerten Wickelplatte (W) besteht. Durch die exzentrische Lagerung wird erreicht, daß der Flügelniederschlag mit größerer Kraft erfolgt als der Flügelaufschlag; zur Unterstützung dieser Tendenz ist auch noch eine andere konstruktive Vorsorge getroffen, die später erläutert werden soll. Fadenrolle und Wickelplatte bilden zusammen ein Untersetzungsgetriebe. Die Stufung bewirkt, daß sich der Bewegungsablauf gegen Ende der Fadenwicklung nicht verlangsamt. Sobald man von Hand an der Wickelplatte (W) dreht, wird der Faden von der Rolle (Fr) abgespult und auf die rotierende Platte (W) herübergewickelt; dadurch zieht sich gleichzeitig der Gummimotor (Gm) auf. Sobald die Wickelplatte (W) freigegeben wird, versetzt der Gummimotor die Fadenrolle (Fr) in Umdrehung und spult damit

Abb. 26 *Der „Schwan" in der Phase des Flügelniederschlags (auch hier ist die Drehschwingung deutlich sichtbar)*



den Faden zurück. Die Wickelplatte (W) und die beiden mit ihr verbundenen Kurbeltriebe (K) kommen dadurch in Umlauf. In die Kurbelzapfen ist jeweils eine der beiden Pleuelstangen (P) eingehängt, die abwechslungsweise als Schub- und Zugstange auf den ihnen zugeordneten Flügel wirken. Sobald die Kurbel über Motor und Fadengetriebe in Umlauf gesetzt wird, kommt somit die Flügelbewegung in Gang; diese besteht allerdings nicht nur aus einem linearen Auf- und Abschlagen und muß deshalb noch einmal in ihrem ganzen Verlauf dargestellt werden.

Später hat E. von Holst die mechanische Einrichtung stark vereinfacht. So wurde beim „Schwan" und beim „Rhamphorhynchus" auf die Fadenrolle verzichtet (Abb. 31, Fig. B). Der Motor bestand hier aus einem ziemlich langen unverdrillten Gummistrang (G), der über mehrere Rollen (R) im Innern des Rumpfes hin und her geführt wurde. Bei diesem neu entwickelten Antrieb spulte sich der auf Dehnung beanspruchte Gummistrang unmittelbar auf die stufenförmig ausgebildete Wickelplatte (W) auf; zuerst, so lange der Gummistrang noch wenig gedehnt war, wurde er auf die Stufe mit großem Durchmesser und dann mit zunehmender Spannung auf die kleineren aufgewickelt, so daß sich ein sehr gleichmäßiger Lauf während der ganzen Dauer der Bewegungen erzielen ließ. In Abb. 31 (Fig. B) ist der Drehsinn der Kurbel (K) durch einen Pfeil angegeben. Figur C zeigt die Wirkungsweise der Pleuels auf den Angriffspunkt (A), der am Flügel durch das Führungsblech (Fb) gegeben ist. Die in Figur C dargestellte 2-Seitenansicht läßt auch den elliptischen Querschnitt der Wickelplatte (W) erkennen; nach den perspektivischen Bildern könnte sie auch fälschlich als walzenförmige Stufenscheibe aufgefaßt werden.

Nach Figur B wird das Schema eines Modells angenommen, dessen Hauptholme (Aa + Ha = Armabschnitt und Handabschnitt) im wesentlichen mit der Flügelnase zusammenfallen. In dem Flügelgelenk (Fg) sind sie beweglich, wie in einem Kugelgelenk eingehängt. Nur der einfacheren Bauweise wegen, wurden die Hauptholme (Aa) an ihrem zum Rumpf weisenden Ende nadelförmig zugespitzt und unter Zugkraft in eine Bohrung am Flügelgelenkträger (Fg) eingesetzt.

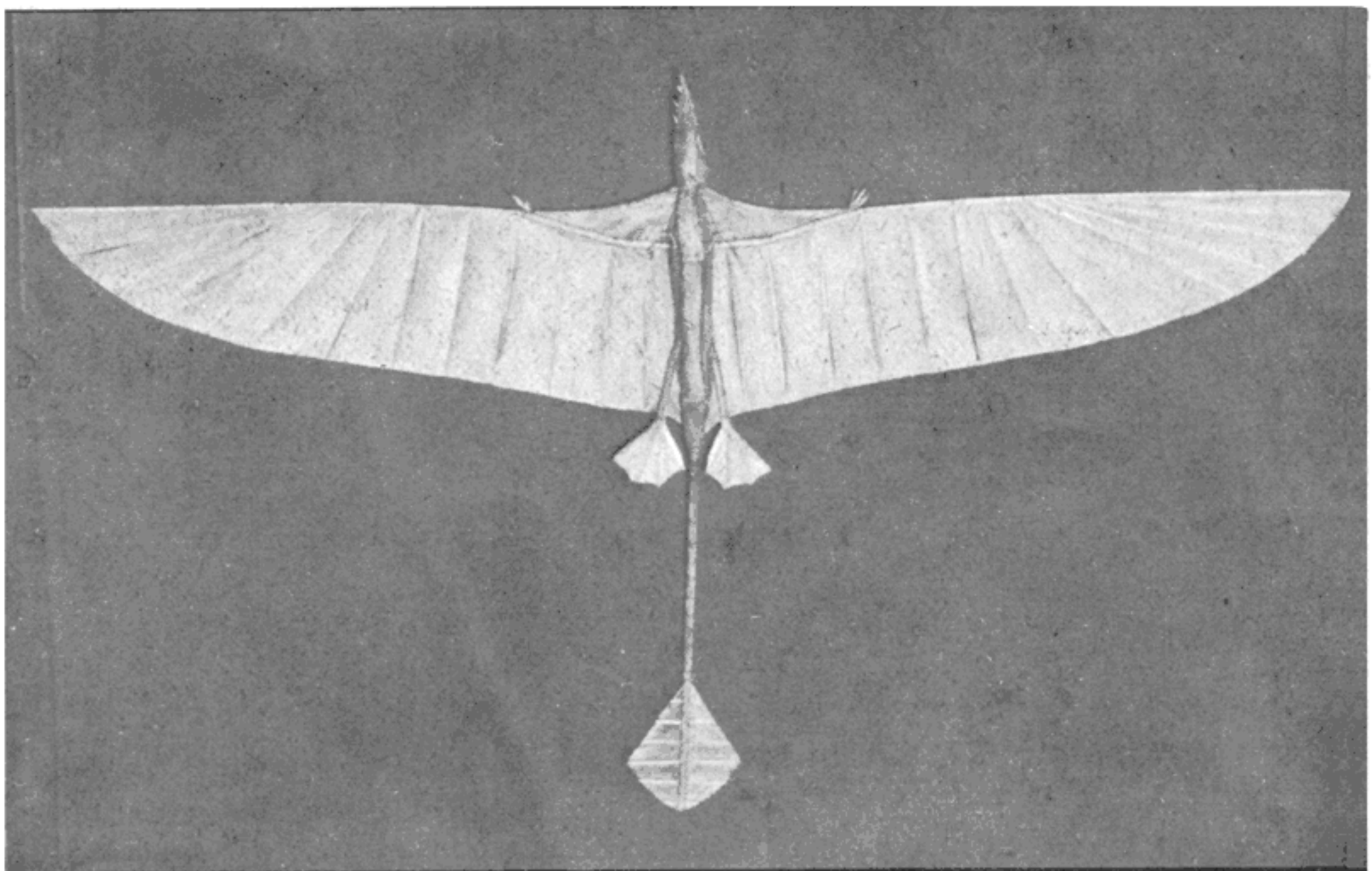
Abweichend vom Vorbild üblicher Kraftmaschinen, bei denen bekanntlich die Drehbewegung einer Kurbel in linear verlaufende Arbeitstakte übersetzt wird, fehlt dem Pleuel des hier verwendeten Kurbeltriebs die exakt lineare Führung. Je nach der unterschiedlichen Angriffsrichtung, in der das Pleuel auf seine Aufhängung im Führungsblech (Fb) wirkt, bewegen sich die Holme in leichten Drehschwingungen, die um das Flügelgelenk (Fg) einen annähernd kegelförmigen Verlauf haben. Modifiziert wird diese Rotation durch Gummifäden (Gf), die einerseits in die Führungsbleche (Fb) und andererseits in Haken vorne am Rumpf eingehängt sind. Da die Gummizüge nach vorne und zugleich nach schräg unten geführt sind, wird außerdem erreicht, daß der Flügelabschlag mit größerer Kraft erfolgt, als der Flügelaufschlag; denn bei dem letzteren wirkt die Zugkraft der Gummifäden der Pleuelwirkung entgegen, während sie diese bei dem ersteren unterstützt.

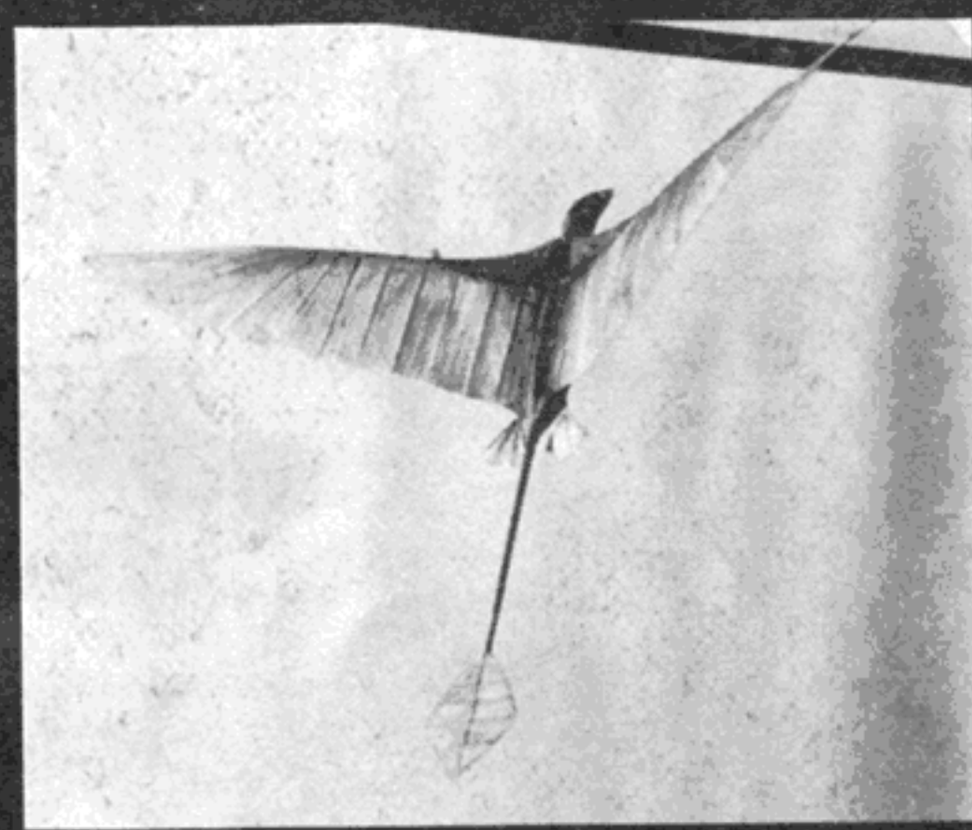
Eine konstruktive Besonderheit der in solcher Art bewegten Flügel, besteht darin, daß der Flügelholm nur mit einer der Rippen starr verbunden ist, so daß nur diese (Ri) die dem Holm mitgeteilten Bewegungen genau mitmacht. Alle anderen Rippen haben keine starre Verbindung zum Holm; sie sind mit ihm lediglich durch Gazestreifen und durch das Bespannpapier verbunden. Da nun die rumpfnächste Rippe jeder Flügelhälfte, jeweils mit ihrem rückwärtigen Ende, durch einen Faden (f) am Rumpf festgebunden ist, kann die mit ihr zusammenhängende innere Zone der Flügelfläche nicht allen Bewegungen des Holms unbehindert folgen. Einmal in Gang gesetzt, schwingt aber der Holm in seinem äußeren Bereich ziemlich stark und überträgt seine wuchtigen Bewegungsimpulse über die Rippe (Ri) auf die Außenzone des Flügels, die somit aktiv ausschlägt, während die innere Zone einseitig festgelegt ist. Im Erfolg werden die elastischen Verbindungen zwischen Holm und Flügelfläche stark beansprucht und es entsteht eine Verwindung, die von der Flügelwurzel zum Randbogen in bestimmten Verhältnissen zunimmt (vgl. Abb. 26). Sowohl der Bau des Antriebsmechanismus als auch die Herstellung der Flügel setzen Präzisionsarbeit voraus. Selbstverständlich dürfen die Gewichte der beiden Flügel nicht differieren; alle Angriffspunkte von Kräften müssen beiderseits exakt die gleichen Abstände vom Drehpunkt haben, und auch die Spannung der beiden Gummifäden darf nicht unterschiedlich sein. Für das Gleichmaß der den beiden Flügeln mitgeteilten Verwindung ist Sorge zu tragen.

Bauanleitung für das Schwingenflugmodell „Bussard" (Abb. 32)*

Den Bau des *Rumpfes* (Fig. C) beginnt man mit der Herstellung des Getrieberahmens (Ra), der aus Balsaleisten 7 x 2 mm zusammengeleimt wird. Aus dem gleichen Material bestehen die für die Fadenrollen bestimmten Lagerträger (Rl), die man oben an die Innenseiten der senkrechten Rahmenteile leimt. Die beiden Fadenrollen (Fig. E) erhalten Wellen aus Stahldraht 0,5 mm ⌀; die Wickelplatte (W) wird mit einer 1,25 mm ⌀ Welle versehen. Die Wellen sollen sich in den Rollen bzw. in der Platte nicht verdrehen können, weshalb man sie in dem vom Holz überdeckten Bereich schlangenförmig biegt. Der Einbau in die Rollen bzw. in die Wickelplatte macht keine Mühe, sofern man sich bei der Anfertigung dieser Hartbalsateile der Schicht- bzw. Sandwichbauweise bedient. In der Form des gebogenen Drahtes werden dann Rillen in die zueinander gekehrten Schichtseiten eingearbeitet, bevor man die gekröpfte Welle ein-

* Anm. d. Red.: Übersichtszeichnung in MECHANIKUS 4/63





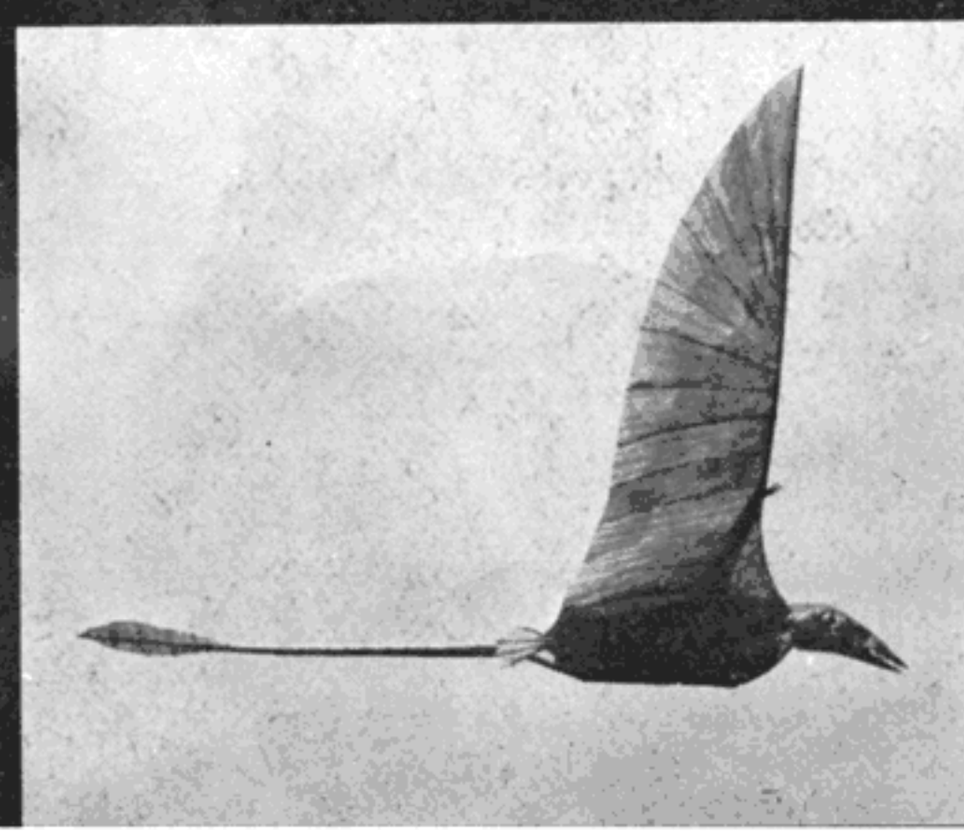


Abb. 28 *Ein künstlicher Flugsaurier „Rhamphorhynchus" in der Ansicht von unten*

Abb. 29 *Das Sauriermodell während des senkrechten Steigfluges im Hörsaal*

Abb. 30 *Das gleiche Schwingenflugmodell wie Abb. 29 beim Flug im Freien*

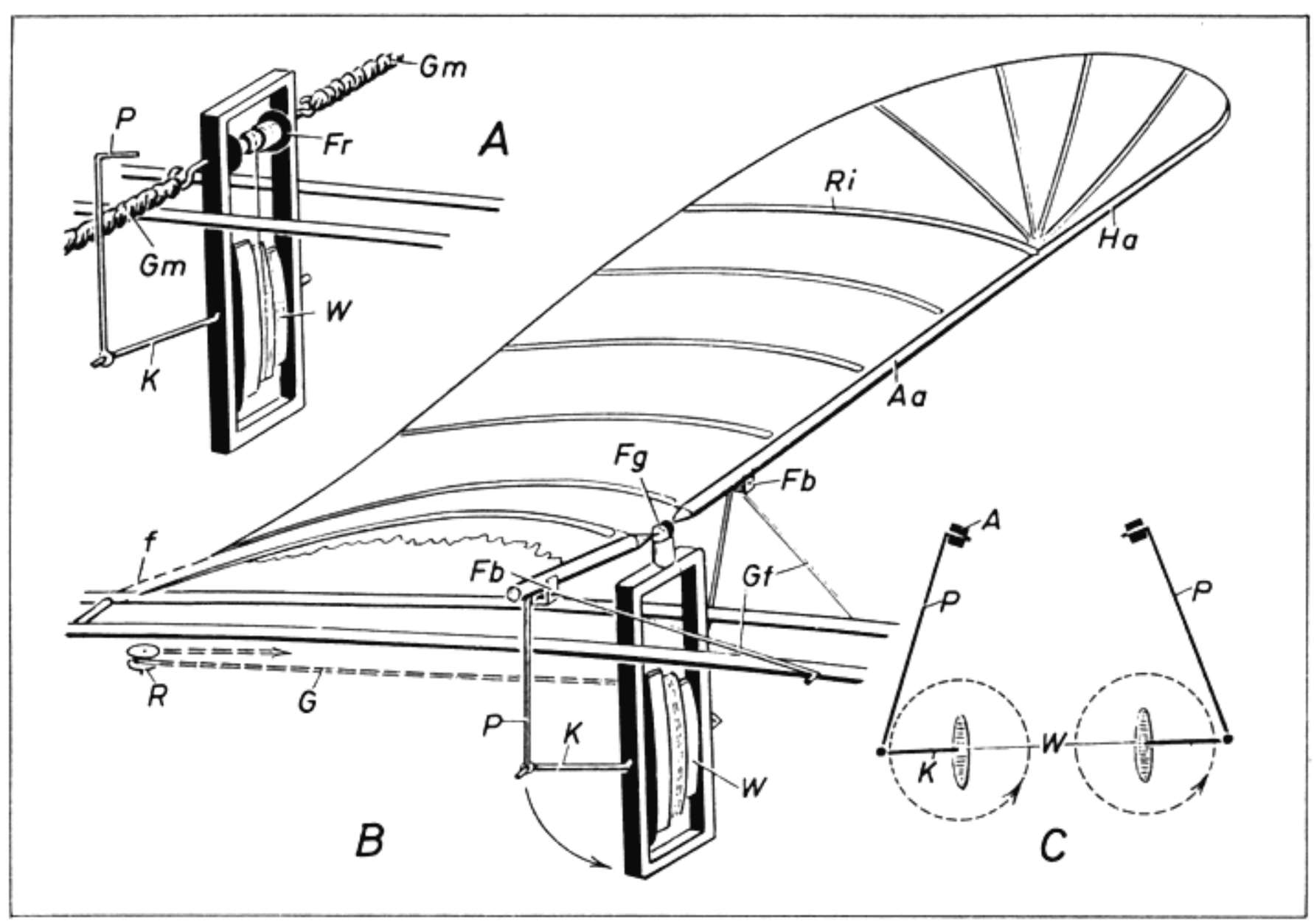


Abb. 31 *Das von Prof. E. von Holst entwickelte Faden-Getriebe mit Gummimotor*

paßt. Die Verbindung der Schichten untereinander erfolgt schließlich durch Hartkleber und kleine Holznägel. Auf die Enden der fertig zusammengefügten Fadenrolle werden kreisförmige Scheiben aus 0,3 mm Sperrholz aufgeleimt. Die nach Fig. D fertiggebauten Fadenrollen schiebt man durch vorbereitete Schlitze von oben her in die am Lagerträger angebrachten Bohrungen (Rl). Anschließend werden Lager und Schlitze mit Hartkleber (Rudol 333 oder UHU-hart) gefüllt. Wenn man die Wellen nach dem Trocknen wieder gängig macht, haben sie laufsichere Lager, die aus einer ausgehärteten Kunststoffschicht bestehen. Die Welle der Wickelplatte wird auf die gleiche Weise in die unten am Rahmen eingezeichneten Lagerstellen eingesetzt.

Das restliche Rumpfskelett besteht aus gebogenen, 0,8 mm dicken Bambusspänen, deren Enden in einem Verbindungsstück aus Balsaholz zusammengeführt werden. Weil das Verbindungsstück wie ein Pfropfen aussieht, wurde es in Figur C mit (Pf) bezeichnet. Was beim normalen Flugmodell der Leitwerksträger wäre, sei beim Vogelmodell ein Schwanzstab, (Sw) aus Balsa; er ist durch eine verleimte Fadenwicklung mit einem Strohhalm (Sk) elastisch verbunden. Zwischen diesem Schwanzkiel (Sk) und dem Stab (Sw) wird ein Klötzchen (Kl) eingeschoben und mit einem Paketgummiring festgeklemmt. Je nach dem, ob das Klötzchen nach vorne oder nach hinten verschoben wird, erhält die Schwanzflosse (Sf) einen mehr oder minder großen Einstellwinkel. Die Schwanzflosse selbst hat einen Rahmen, aus elliptisch gebogenem Binsen- oder Piassavagras, der auf den Schwanzkiel (Sk) aufgeleimt wird. Zur Bespannung des Rumpfes und der Schwanzflosse verwendet man dünnes Japanpapier.

Die *Flügel* (Fig. B) haben als Holm einen Balsa-Vierkantstab, der keilig verjüngt ist, der also gegen das eine Ende zu allmählich dünner wird. Er ist unterteilt in einen Armabschnitt (Aa) und einen Handabschnitt (Ha). Beide Teile (Fig. G) sind durch ein elastisches Gelenk (Uf) verbunden, das aus 2 mm breitem, 0,25 mm dickem Uhrfederstahl besteht. Am Schultergelenk ist der Armabschnitt (Fig. F) zugespitzt. In die Spitze ist ein Drahtstift eingeleimt, der in die Bohrung des Flügelgelenks (Fg) eingreift. Das Flügelgelenk selbst wird aus dünnem Messingblech gebildet. So lange die Verbindung auf Druck beansprucht ist, arbeitet sie wie ein Kugelgelenk. Da die Stränge des Gummimotors einerseits am Flügelholm, andererseits aber am Getriebe im Rumpfrahmen eingehängt sind, ist diese Voraussetzung erfüllt.

Die Haken des Gummimotors werden im Holm durch ein Balsastäbchen (M) gestützt, das in einer Diagonalbohrung sitzt; im Querschnitt gesehen führt die Bohrung von der unteren Hinterkante zur oberen Vorderkante des Holmes (Fig. H). Der Gummimotor selbst verläuft beiderseits des Holmes und hat Hakenabstände von 17 cm. Die parallel geführten Stränge verlaufen vor und hinter dem Holm, in einem Abstand, der durch Länge und Einbaurichtung des Rundholzes (M) (vgl. Fig. G u. H) bestimmt wird.

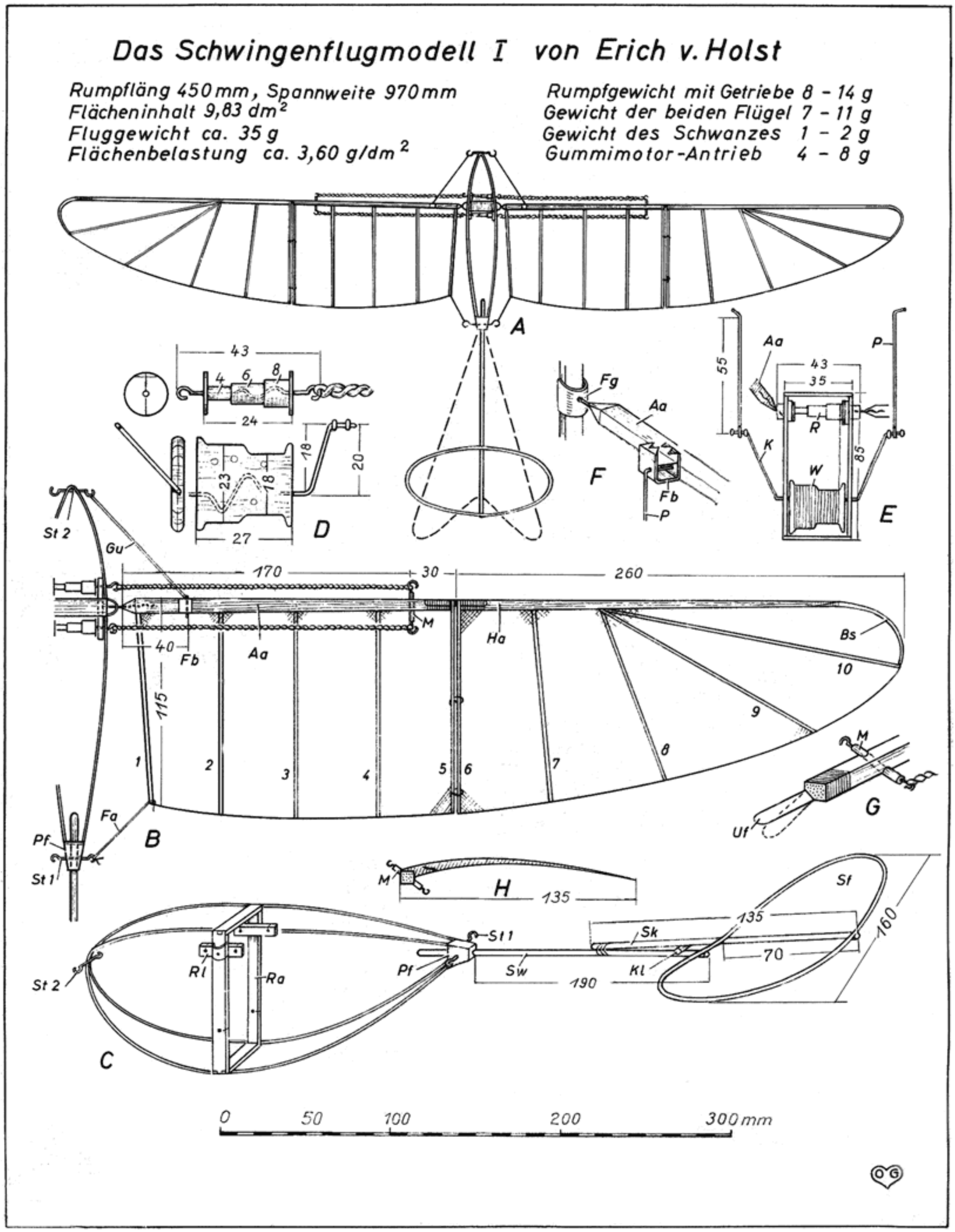
(wird fortgesetzt) *K. Herzog*

Karl Herzog: Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik.
Erschienen in der Heftreihe Mechanikus, J.F. Schreiber Verlag Esslingen, **April 1963**
Das Copyright liegt heute beim AUE-Verlag, Möckmühl, Deutschland.
Texte und Zeichnungen dürfen nicht an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik

TEIL IV. — Schwingenflugmodelle von E. v. Holst

Abb. 32 *Übersichtszeichnung für das Schwingenflugmodell „Bussard"*



Am Armabschnitt (Aa) der Flügelholme greifen auch die Pleuelstangen des Fadengetriebes an. Zu diesem Zweck wird ein U-förmig gebogenes Führungsblech (Fb) auf den Holm aufgeschoben und festgeklemmt (Fig. F). Eine Kröpfung, die am oberen Ende des Pleuels (P) angebogen wurde, ist hier in einer durchgehenden Bohrung gelagert.

Die Flügelfläche erhält ihre Profilierung durch die Rippen 1 bis 10 (Fig. B); mit Ausnahme der Trennrippen 5 und 6 bestehen diese aus dünnen Bambusspänen oder gespaltenen Strohhalmen, die keine feste Verbindung zum Holm haben. Lediglich die Rippe 5 ist eine profilförmig geformte Fichtenholzleiste, die an der Basis (Fig. H) eine Dicke von 2 mm hat. Sie wird am Ende des Armabschnitts (Aa) fest mit dem Flügelholm verleimt. Ebenfalls starr mit dem Holm verbunden ist die Rippe 6, die aber nur aus einem dünnen elastischen Bambusspan besteht; sie wird am Anfang des Handabschnittes (Ha) mit dem Holm verleimt. Beide Trennrippen (5 u. 6) sind durch leicht sitzende S-Haken miteinander verbunden; wird der Handabschnitt auf Torsion beansprucht, wirkt die Verbindung in bestimmten Grenzen als Gelenk. Alle anderen Rippen sind in ihrer Stellung zum Holm nur durch dünne Gazestreifen fixiert. Da der ganze Flügel erst durch die Bespannung mit dünnem Japanpapier seine bleibende Form erlangt, nimmt man den Aufbau am besten auf einer Helling vor. Nach dem Einbau des Flügels in das Modell wird seine gewölbte Fläche dadurch straff gehalten, daß zwischen Holm und Rumpfnase (St 2) ein Gummistrang (Gu) und zwischen Endfahne und Rumpfverbindungsstück (Pf) ein Faden gespannt ist; beide werden von eigens angebrachten Stahldrahthaken aufgenommen.

Bauanleitung für das naturähnliche Schwingenflugmodell „Schwan" (Abb. 33)

Dieses größte Modell aus der Reihe der „künstlichen Vögel" besteht im Prinzip aus den gleichen Bauelementen, wie die früher dargestellten Konstruktionen; auch die Wirkungsweise der Mechanik ist ähnlich, so daß die hauptsächlichen Zusammenhänge jetzt als bekannt vorausgesetzt werden müssen. Der Rumpf (Fig. C u. D) hat ein Gerippe, das in Stegbauweise zusammengesetzt ist. Die jeweils zwei Rumpfgurte II und III sind Balsastäbe 5 x 5 mm; der Obergurt I hat den Querschnitt 7 x 5 mm. Die Stege sind aus 3 mm Balsa in 4 mm breiten Streifen geschnitten und jeweils im rechten Winkel zu den Gurten rahmenförmig verleimt (vgl. auch Abb. 25 u. 26). Im Rumpfkopf sitzt ein 3 mm Sperrholzspant, an dem ein Stahldrahthaken 1,5 mm ⌀ zum Einhängen des Gummimotors (Gu) befestigt ist.

Der *Getrieberahmen* wird aus 3 x 7 mm Balsaleisten zusammengebaut und in das Rumpfgerippe eingeleimt. Die Fadenrollen, die beim „Bussard"-Getriebe zwischen Motor und Wikkelplatte eingeschaltet waren, werden wie bekannt, beim „Schwan" nicht benötigt. Die Wickelplatte (W) ist aber wiederum stufenförmig ausgebildet (Fig. F); ihr Querschnitt ist wie beim „Bussard"-Getriebe elliptisch; auf ihre beiden Stirnflächen werden Begrenzungsscheiben aus Sperrholz aufgeleimt. In das Innere der Platte (W) ist die mehrfach gekröpfte Stahldrahtwelle eingepaßt, die aber diesmal 2 mm ⌀ hat und sehr biegesteif sein muß. Die Pleuelstange (P) wird aus 1,5 mm Stahldraht gebogen; damit sie vom Zapfen der Kurbel (K) nicht abrutschen kann, werden an ihr je 2 Lagerbegrenzungsscheiben bzw. Zinnperlen festgelötet oder mit UHU-plus festgeleimt.

Der Strang des *Gummimotors* hat einen Querschnitt von 4 x 4 mm und ist ungedehnt 270 cm lang. Das eine Ende wird an dem Haken befestigt, der im Sperrholzspant des Rumpfkopfes sitzt (Fig. C u. D). Von hier aus geht der Strang über 3 Rollen (R) und eine Leitrolle (L) zur Wickelplatte (W). Die Leitrolle, die gemäß Figur E angefertigt wird, ist im rückwärtigen Rumpfdrittel schwenkbar gelagert und sorgt dafür, daß die Windungen des Gummistrangs auf der Wickelplatte ganz eng nebeneinander liegen. Insgesamt läßt sich der Gummistrang bei der hier vorkommenden Beanspruchungsart etwa um das 4fache seiner Länge dehnen; das 3fache seiner Länge kann also auf die Wickelplatte aufgespult werden. Im Getriebe macht das annähernd 65 Umdrehungen der Wickelscheibe aus, womit also 130 Auf- und Niederschläge der Flügel erzielt werden können. Da der Motor ziemlich langsam abläuft, wird man mit einer Laufzeit von etwa einer Minute zu rechnen haben.

Der *Schwanz* (Fig. D) wird in der Hauptsache aus 2 Schwanzleisten (Sl) und 2 Randleisten (Rl) aus Peddigrohr gebildet. Alle übrigen Aussteifungen (S1—S3) bestehen aus Strohhalmen. Die Schwanzleisten (Sl) werden mit Überlänge zugeschnitten; ihre freien Enden steckt man in Öffnungen am Rumpfheck, wo sie durch ein Gummiband festgehalten werden. Eine dünne Holzrolle, die zwischen der Schwanzflosse und dem Leitwerksträger eingeklemmt wird, dient wiederum, wie beim „Bussard"-Modell zur Regulierung des Einstellwinkels.

Die *Flügel* (Fig. B) haben als Holm ein 56 cm langes Balsa-Rundholz von 1 cm Dicke im inneren Armabschnitt (Aa). Auf das freie Ende dieses Holmabschnitts wird ein 67 cm langes Schilfrohr (Ha) aufgeschoben und festgeleimt. Die beiden Holmabschnitte haben also diesmal kein bewegliches Handgelenk, sondern sind fest miteinander verbunden. Die Hauptrippe (9) besteht aus Hartbalsa, hat vorne den Querschnitt 5 x 5 mm und läuft nach hinten spitz zu (Fig. I); diese Rippe wird mit dem Flügelholm fest verleimt. Die weiteren Rippen 1 bis 8 dieses Armabschnitts (Aa) sind dünne Peddigrohre, die an einem Ende über heißer Flamme U-förmig gebogen und mit diesem Ende unten am Balsaholm festgeleimt werden (Fig. H). Die einzelnen Rippen können somit wie elastische Federn dem Luftwiderstand nach oben und unten ausweichen. Die Rippen 10

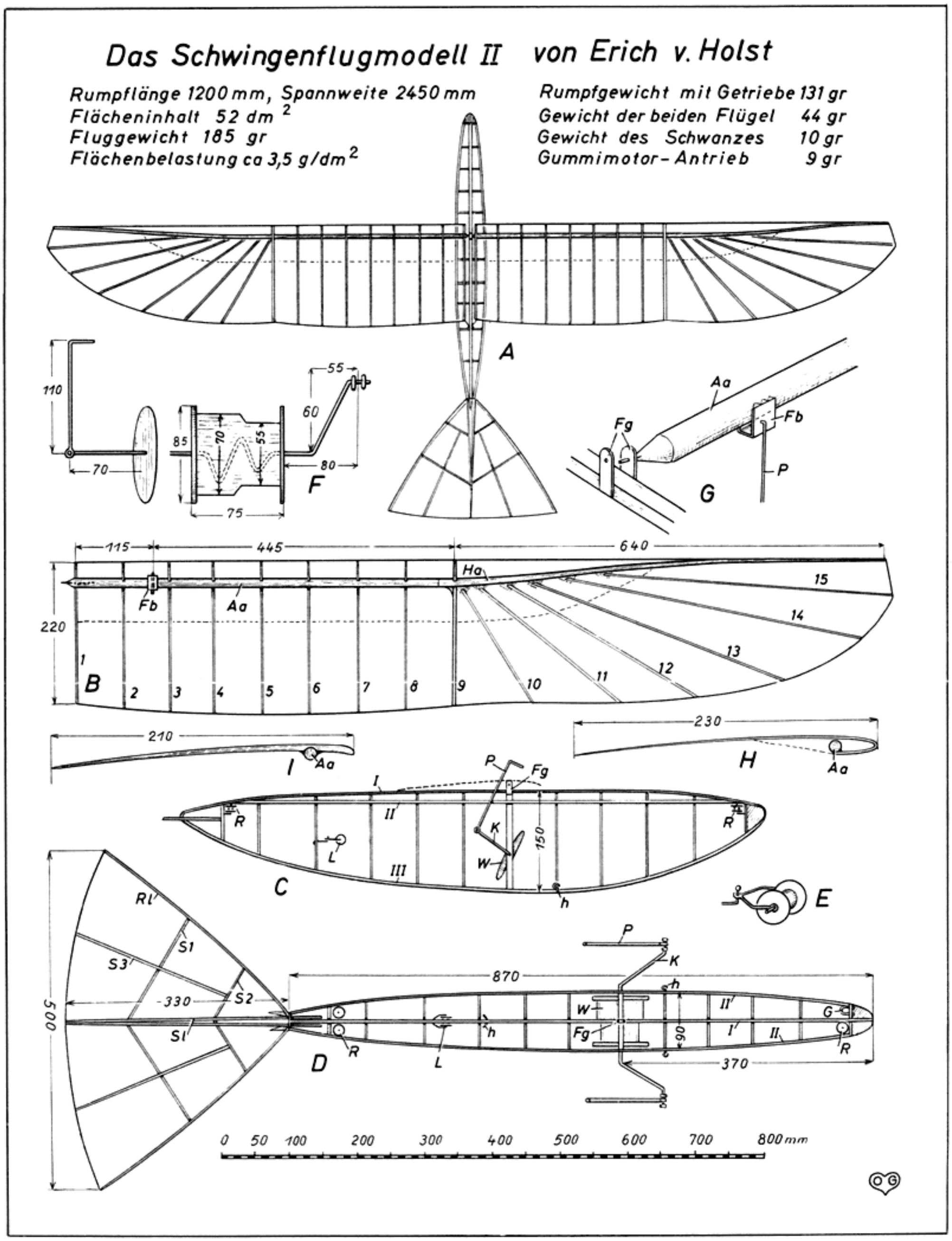


Abb. 33 *Übersichtszeichnung für das Schwingenflugmodell „Schwan"*

bis 15, die zum Handabschnitt (Ha) gehören, sind Strohhalme, die durch Gazestreifen leicht beweglich mit dem Schilfrohrholm (Ha) verbunden werden. Vom Flügelende bis zu der an der Flügelwurzel gelegenen ersten Rippe, spannt man vorne eine dünne Schnur straff. Sie wird an den nach vorn überstehenden Rippennasen 9 bis 1 festgeleimt und ersetzt somit die Nasenleiste. Als Bespannung wird Japanpapier von mittelstarker Qualität verwendet. Man klebt es zunächst in ganzer Länge an der Holmunterseite fest, schlägt es dann über die Nasenkante hoch und leimt es auf die Oberseite der einzelnen Rippen.

Die Holme sind an der zum Rumpf zeigenden Seite zugespitzt, in ihre Spitze ist ein Stahlstift eingeleimt (Fig. G), der in das Flügelgelenk (Fg) am Rumpfobergurt (I) eingreift. Das Führungsblech (Fb), in dem die obere Kröpfung der Pleuelstange (P) gelagert ist, wird wiederum in der Form eines kleinen Metallrahmens aus dünnem Messingblech gebildet. Vom Führungsblech aus ist ein kräftiger Gummizug zu einem Häkchen (h) gespannt, das im vorderen Rumpfdrittel verhältnismäßig tief an der Rumpfwandung sitzt. Ein dicker Faden zieht vom Ende der ersten Rippe zu einem anderen Häkchen, das im zweiten Rumpfdrittel am Obergurt (I) angebracht ist. Durch Anspannen oder durch Lockern dieses Fadens kann die Flügelstellung korrigiert werden. Der Gummifaden sorgt dafür, daß der Flügelabschlag mit größerer Kraft erfolgt als der Flügelaufschlag.

Das Einfliegen dieser „Vögel" geht verhältnismäßig einfach vor sich. Der Schwerpunkt soll unmittelbar unter den Flügelgelenken liegen. Ist das Modell anfangs noch kopflastig, wird der Einstellwinkel der Schwanzflosse etwas vergrößert. Um den Gummimotor aufzuziehen faßt man den Vogel mit der linken Hand von vorn her am Getrieberahmen. Die rechte Hand ergreift unterdessen die Enden der Kurbelwelle zwischen Daumen und Zeigefinger; im Gegensinn zur Laufrichtung wird zunächst 15 bis 20 mal herumgedreht. Anschließend nimmt man die Hand von der Kurbelwelle weg und gibt damit die ersten Flügelschläge frei. Die Flügel müssen ohne zu knacken auf- und abschlagen; alle Übertragungsorgane sollen leicht gängig sein und dürfen sich nicht sperren. Wenn dieser erste Probelauf einwandfrei vor sich ging, wird der Gummimotor so lange an der Kurbel aufgezogen, bis 40 oder 60 Umdrehungen erreicht sind. Anschließend startet man das Modell von Hand in einem Winkel von 30°, entgegen der Windrichtung. Wenn der Nachbau einwandfrei geglückt ist, muß der „Vogel" jetzt mit langsamen Flügelschlägen so lange steigen, bis der Gummimotor abgelaufen ist; anschließend sollte er im Gleitflug allmählich Höhe verlieren und schließlich landen. Die Gleitflugphase wird nur dann einwandfrei verlaufen, wenn man beim Bau darauf geachtet hat, daß der abgelaufene Faden bzw. Gummistrang diejenige Endstellung der Wickelplatte festhält, bei der die Flügel leicht V-förmig stehenbleiben.

Es sei an dieser Stelle noch einmal betont, daß der Bau solcher „künstlicher Vögel" nicht gerade einfach ist. Es wird sehr viel Fingerfertigkeit und eine äußerst genaue Arbeit verlangt. Wer Erfahrungen im Bau und im Flugbetrieb von Saalflugmodellen hat, wird bei der Bewältigung der hier ebenfalls geforderten extremen Leichtbauweise zweifellos im Vorteil sein.

Im Unterschied zu den Schlagflügel-Flugmodellen, wie sie seinerzeit **A. Lippisch, A. Rüdle*, U. Stampa** und viele andere gebaut und mit Erfolg geflogen hatten, erzielen die Vollschwingenflugmodelle der Entwicklungsrichtung E. von Holst schon bei ziemlich langsamen Flügelschlägen beachtliche Kraftflugleistungen. Die Ursache dafür ist darin zu suchen, daß die Flügelspitzen einer Vollschwinge weiter ausschlagen und mit geringerem Schlupf mehr Vortrieb liefern. Demgegenüber sind die an den Flügelenden bzw. hinter den Tragflächen der Schlagflügelmodelle angebrachten Triebschwingen mehr der Luftschraube verwandt, obgleich sie jeweils nur halbe Umdrehungen beschreiben. Modelle dieser Art sind somit Flugzeug-ähnlicher, und die technische Nutzanwendung für den manntragenden Flug ist deshalb auch schon verschiedentlich gezogen worden.

Demgegenüber scheint der Weg zum Vollschwingenflugzeug noch weit zu sein. Unsere „künstlichen Vögel" haben zwar Schwingen, die Tragflächen und „Luftschaufeln" zugleich sind, wir können aber beim bisher beschriebenen Stand der technischen Entwicklung noch nicht mit erstaunlichen Dauerflugleistungen aufwarten. Mag das natürliche Vorbild auch unerreicht sein, bleibt es doch ein Anreiz für immer neue konstruktive Lösungen. Immerhin hat E. von Holst die Natur schon in einer solchen Perfektion mit technischen Mitteln nachgeahmt, daß man seine, dem Gummimotor angemessenen Versuche mit Hochleistungs-Modellantrieben weiterführen sollte. *K. Herzog*

* Anm. d. Red.: Unter Bezugnahme auf den ersten Teil unserer Beitragsfolge „Schwingenflug" erhielt die Redaktion eine Zuschrift, in der es heißt: Im September 1942 wurde ein Preisausschreiben veröffentlicht, das auf Veranlassung von Herrn Lippisch folgende Bedingung enthielt: (unter Ziff. 3). „Bodenstart eines durch Benzinmotor angetriebenen Schwingenflugmodells mit anschließendem Kraftflug von 30 min. Dauer." Da ich mich schon früher mit dem Schwingenflug beschäftigte, meldete ich mich zu dem Wettbewerb. Der anfängliche Rekord von Lippisch mit 4 Minuten Dauer (die 16 min., die das Modell später flog, wurden nicht anerkannt, da es im Handstart gestartet wurde) ist von mir auf einem Vorwettbewerb im Frühjahr 1943 auf 10 min. 29 sek. Dauer und 1930 m Strecke verbessert worden. Bei dem Wettbewerb am 1. u. 2. Oktober 1943 wurden von U. Stampa, Bad Eilsen, 16 min. 48 sek. und 5250 m Strecke erreicht. Am 1. 7. 1944 erfüllte ich die Bedingungen des Preisausschreibens mit einem Flug von 41 Minuten Dauer und 7700 m Strecke. *A. Rüdle*

Brauchen Sie Werkzeuge?
100seitiger Bildkatalog mit vielen Werkzeugen und Geräten kostenlos von:
WESTFALIA Werkzeugco., 471 A., 58 Hagen/Westf.

Selbst vergolden, versilbern, verchromen können auch Sie mit CHROMFIX. Einfachste Anwendung für jedermann. Sehr preiswert.
G. Quelle, 445 Lingen-Ems, Lindenstraße 102

Karl Herzog: Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik.
Erschienen in der Heftreihe Mechanikus, J.F. Schreiber Verlag Esslingen, **Oktober 1963**
Das Copyright liegt heute beim AUE-Verlag, Möckmühl, Deutschland.
Texte und Zeichnungen dürfen nicht an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik

Teil IV (5. Fortsetzung)

Ehe der Mensch in Erscheinung trat, gab es schon den freien Flug erdenschwerer Lebewesen. Nur noch den Kopf zu heben und hinterher zu schauen, das blieb dem vernunftbegabten Herrn der Schöpfung übrig, während rings um ihn ein Flattern, Schwirren und Fliegen war. Jahrtausende lang bekam die Menschheit den Flügelschlag unzähliger Tiere zu hören, und sie sah auch zu, wie diese der Schwerkraft ihr Schnippchen schlugen. Nachzumachen war da offenbar nichts.

Beschaffenheit und Ordnung des Gefieders dürften schon den ersten Jägern in vorgeschichtlicher Zeit bekannt geworden sein. Die Anatomie des Vogelflügels konnte man damals wie heute beim Abnagen von Hühnerbeinchen kennenlernen. Es sah aber so aus, als sei ein großes Geheimnis mit dem freien Flug verbunden, und ihm war nicht auf die Spur zu kommen.

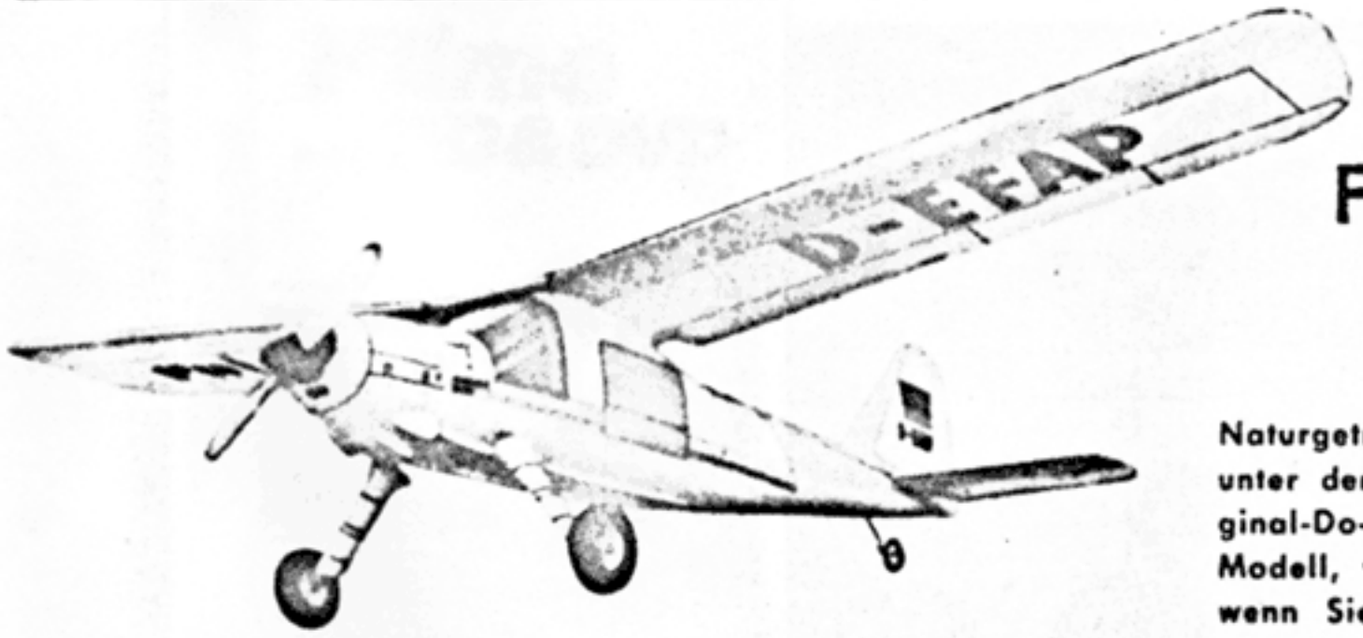
Für den technischen Flug lag das Geheimnis in der Einstellwinkeldifferenz, die zwischen Flügel und Leitwerk vorhanden sein muß; man fand dies gegen Ende des 19. Jahrhunderts heraus. Als nun aber Menschen ihre ersten brauchbaren Fluggeräte entwarfen, war man schon mitten im Zeitalter des Maschinenbaus angelangt. Eine wesentliche Errungenschaft der jungen Technik war die Erfindung der Kraftmaschine. Den Motor mußte man in die Konstruktionen einbeziehen, wenn Apparate bewegt werden sollten.

Im Ergebnis zeitbedingter Denkweisen war also das erste freifliegende Flugmodell des Franzosen Penaud nicht etwa ein Segler, es hatte vielmehr einen Gummimotor und eine Luftschraube. Erinnerungen an den längst erfundenen Schraubenantrieb der Seeschiffe und an Vorversuche mit lenkbaren Luftschiffen mögen den genialen Sonderling zu dieser Konzeption bewogen haben. Im Grunde genommen lag es nahe, das von Alters her bekannte Arbeitsprinzip der Windmühle einfach umzudrehen. Auf der Seite des Windrades, von der man bisher die Arbeitsleistung abnahm, wurde jetzt der Motor angebracht; sinngemäß war vom Flügelrad ein Vortrieb zu erwarten. Die ersten Versuche dieser Art gelangen. Von da an, bis zur Erfindung des Strahltriebwerks, arbeiteten alle Fluggeräte, die schwerer als Luft waren, ungefähr nach dem gleichen Prinzip.

Wenn auch immer wieder die nämlichen aerodynamischen Gesetze ausgenützt werden, ist der Motorflug doch etwas grundsätzlich anderes als der Schwingenflug der Vögel. Nur der Segelflieger fühlt sich bisweilen dem kreisenden Adler verwandt. Das ist aber das merkwürdigste an der Sache: die Erfindung des Motors und der Luftschraube mußte abgewartet werden, bevor man motorlos fliegen lernte.

Vom natürlichen Vorbild, dem es die Menschheit von Anfang an nachtun wollte, wandte sich die

robbe-erzeugnisse für moderne modellbauer — robbe-erzeugnisse für moderne modellbauer — robbe-erzeugnisse für moderne modellbauer — robbe-erzeugnisse



robbe
Fernsteuermodell
Do-27

robbe
RC-Modell Do-27

Spannweite: 1380 mm
Rumpflänge: 1058 mm
Flächentiefe: 200 mm
Ges.-Fl.-Inhalt: 35 dm²

Naturgetreues R/C-Motorflugmodell. Ein Star unter den R/C-Modellen. Man glaubt, die Original-Do-27 fliegen zu sehen. Ein bildschönes Modell, wie es hübscher nicht sein kann. Und wenn Sie erst die Leichtigkeit und Sicherheit der Starts, die unterschneidungsfreien Flüge und die eleganten Figuren- und Gleitflüge gesehen haben, werden Sie begeistert sein. Eine Entwicklungs- und Erprobungszeit von über einem Jahr kostet zwar viel Geld und deshalb ist die „Do-27" nicht „billig". Aber Sie sparen Geld, denn eine „lebende Do 27" ist weit preiswerter, als wenn Sie gleich „Kleinholz machen". Mit diesem neuen robbe-Modell werden Sie viel Freude haben. Der Bauplan enthält neben den üblichen Zeichnungen 30 Baustufenfotos. Die Bauteile sind weitgehend vorgearbeitet. Reichhaltige Baukastenausstattung.

Weitere Schlager aus dem robbe-Katalog (haben Sie ihn schon, den erweiterten robbe-Katalog?)

telecont - Fernsteuergeräte, Enya - Siegermotoren, roktan - Kraftstoffe mit dem Sonderzusatz „AKA".

robbe-Modelle: Hoher Gegenwert für Ihr Geld!

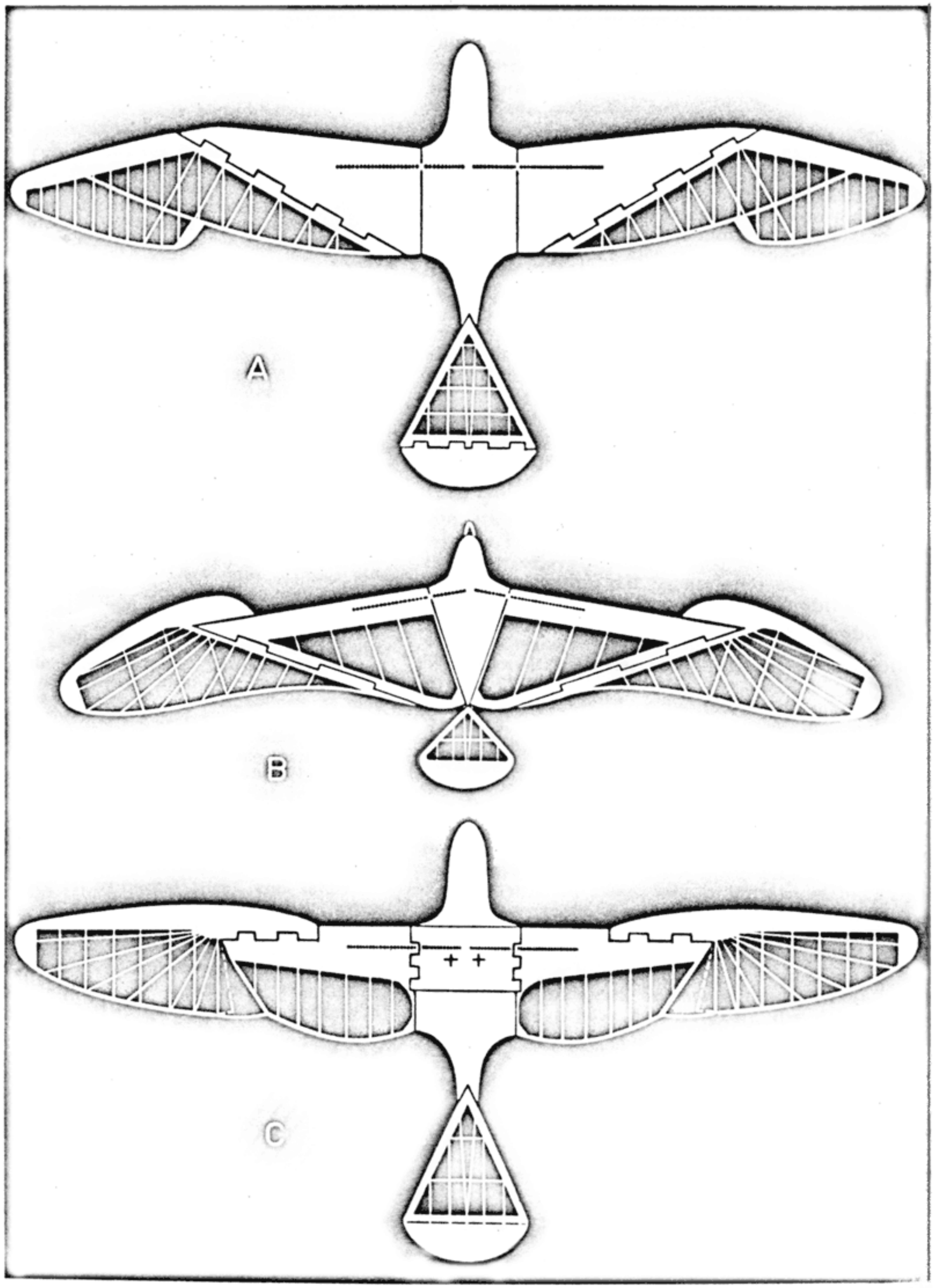


Abb. 34 *Drei verschiedene Schwingenflugmodelle aus der Zeit von 1954 — 57*

A „Silbermöwe", Länge 113 cm, Spannweite 225 cm, Fluggewicht 1246 g, Flächeninhalt 54,80 dm², Flächenbelastung 22,71 g/dm²

B „Bussard", Länge 51 cm, Spannweite 150 cm Fluggewicht 360 g, Flächeninhalt 32,00 dm², Flächenbelastung 11,25 g/dm²

C „Adler", Länge 88 cm, Spannweite 180 cm, Fluggewicht 586 g, Flächeninhalt 38,90 dm², Flächenbelastung 15,07 g/dm²

junge Technik sofort ab, nachdem sie die Voraussetzungen für einen freien Flug mechanischer Apparate geschaffen hatte. Aber nicht vom Düsenverkehr träumten die Sänger der Alten, sondern vom Menschen, der sich vogelgleich auf eigenen Schwingen in die Lüfte erhebt. Das heißt nicht mehr und nicht weniger, als daß der uralte Menschheitstraum auch noch im Raketenzeitalter seiner Erfüllung harrt.

Die ersten Teile unseres Berichts waren dem Gedächtnis des Naturforschers *Erich von Holst* gewidmet. Beschrieben wurden die Modelle des Mannes, der als erster Wissenschaftler den Bewegungsablauf der Flugtiere mit mechanischen Apparaten exakt nachbildete. Wo der Vogel beim Kraftflug seine beachtliche Muskulatur einsetzt, mußten am Modell wiederum Motoren angebracht werden. Im Unterschied zu den herkömmlichen technischen Antrieben konnte jedoch auf die Luftschraube verzichtet werden.

Selbstverständlich ist es eine ganz andere Sache, ob jemand ein Demonstrationsmodell für den Hörsaal oder ein Leistungsmodell für den Dauerbetrieb entwirft. Für die Zwecke, die Erich von Holst verfolgte, war die Antriebsenergie und die Laufzeit eines Gummimotors vollauf genug; will man jedoch in der eingeschlagenen Richtung weiterforschen, um zum technischen oder sportlichen Erfolg zu kommen, muß ein Hochleistungsantrieb eingebaut werden. Für Verbrennungsmotoren reicht bei den bisher beschriebenen Modellen weder die Festigkeit der Zelle noch die der Flügel aus, zudem eignen sich die behelfsmäßig hergestellten Lager und Gelenke nicht für Dauerbelastungen. So kommt es, daß sich der Verfasser dieser Beitragsfolge bei Beginn seiner eigenen Versuche bewährter und oftmals erprobter Flugmodellbauweisen erinnern mußte. Mitunter nahm er einen beträchtlichen Bauaufwand in Kauf. Es kam ihm aber jetzt nicht mehr so sehr darauf an, einen bestimmten Vogel nachzubilden, es mußten vielmehr technische Nutzanwendungen für das erforschte Arbeitsprinzip gefunden werden. In den nächsten Teilen seiner Abhandlung berichtete er nicht nur von Erfolgen. Eine endgültige Lösung für ein solches Problem zu finden, ist auch zu viel verlangt von einem einzelnen Mann. *Red.*

Freifliegende Vogelmodelle

Vom verbesserten Antrieb eines Schwingenflugmodells ist zunächst nicht viel mehr als eine gesteigerte Kraftflugleistung zu erwarten. Nun ist aber die reizvollste Phase z. B. im Flug eines großen Raubvogels nicht etwa der Steigflug; was an ihm Bewunderung hervorruft, ist vielmehr die geschickte Ausnützung thermischer Aufwinde und das scheinbar mühelose Dahinschweben unter den bestmöglichen Gleitflugbedingungen.

Das Schwingenflugmodell soll nun so ausgelegt werden, daß es diesem Vorbild in seinen wesentlichen Eigenschaften möglichst weitgehend entspricht. Die motorische Kraft wollen wir zunächst nur als Starthilfe einsetzen; gegebenenfalls könnte sie während des Fluges erneut in Aktion treten, wenn Anschluß an Aufwindströmungen gesucht oder thermikarme Zonen überwunden werden sollen. Wenn man von den prinzipiellen Unterschieden absieht, wäre unser Modell also am treffendsten mit den Motorseglern zu vergleichen. Ebenso wie bei diesen ist das Fluggewicht durch den Motoreinbau erhöht; ein dadurch bedingte Verschlechterung der Gleitflugeigenschaften muß ebenfalls in Kauf genommen werden.

Zusätzlich zu diesem allgemeinen Handikap, das die Motorsegler gegenüber den freifliegenden oder RC-Segelflugmodellen haben, müssen in unserem Fall noch Getriebe und Übertragungsorgane berücksichtigt werden; zusammengenommen verursachen sie eine nicht unbeträchtliche Gewichtsvermehrung. Besonders ungünstig wirkt es sich aber aus, daß wir die Flügel, die beim Segelflugmodell sehr leicht gebaut werden können, in Segmente untergliedern und mit Scharnieren ausstatten müssen. Ein extrem konsequenter Leichtbau, wie er für Erich von Holst noch eine Selbstverständlichkeit war, kommt also bei der Weiterenwicklung der Modelle kaum mehr in Frage.

Vorgeschlagen wird eine Holm-Rippenbauweise üblicher Auslegung, die wir nur in einigen Punkten für unsere speziellen Erfordernisse modifizieren müssen. Bekanntlich soll der Holm eines Schwingenflügels sowohl in der Flugrichtung als auch in der Richtung der Schlagbewegung biegesteif sein; die Flügelfläche selbst muß aber verwindungsweich werden. Ein aus Holmen und Rippen aufgebauter Flügel ist nun zwar sehr widerstandsfähig gegen Biegekräfte, die elastischen Drehschwingungen, die beim Schwingenflug verlangt werden, lassen sich damit aber nicht ausführen. Somit muß die Flügelfläche in beweglich miteinander verbundene Segmente untergliedert werden. Die größte Schwierigkeit, die dabei

Laubsägen „BLITZ"

jetzt auch
im Dutzend sortiert

EIN EBERLE-ERZEUGNIS

413

auftritt, besteht darin, daß die Bewegungsabläufe sowohl nach Richtung als auch nach Intensität genau bemessen sein wollen.

Insgesamt war es nicht ganz einfach, die zweckmäßige Untergliederung einer derartigen Flügelfläche herauszufinden, denn die bequemste Lösung nützt nichts, wenn sie das Flugvermögen des Modells beeinträchtigt. Im Erfolg zahlreicher Versuche sind drei Konstruktionsprinzipien gefunden worden, die verhältnismäßig große Erfolgschancen erwarten ließen.

Modell A ist der *großen Silbermöve* nachempfunden. Der schlanke Rumpf verbreitert sich im Bereich des Schwerpunktes und bildet hier ein weit ausladendes Flügelmittelstück. Die Armschwingen haben beiderseits lineare Anschlüsse zum Flügelmittelstück, wobei sie um Achsen kippen, die parallel zur Rumpflängsachse verlaufen. Wer die im früheren Zusammenhang beschriebenen Konstruktionen von E. v. Holst mit diesem Entwurf vergleicht, wird seine Problematik sofort erkennen: es genügt nämlich nicht, den Armflügel mit einem Klappscharnier am Flügelmittelstück anzuhängen; es müssen hier auch die Drehschwingungen ausführbar sein, denn sie liefern Vortrieb und sind ein bestimmendes Merkmal der Armschwingenbewegung. Vorzusehen ist also ein Kardan- (vgl. Abb. 39) oder Kugelgelenk, in welches der Metall-Holm der Armschwinge eingreift. Die Kraftübertragung erfolgt dann auf ganz ähnliche Weise wie bei den früher beschriebenen Gummimotormodellen. Im Innern des Rumpfes dreht sich eine Kurbel, die über Pleuelstangen auf die Holme der Armschwingen wirkt. Zusätzlich zum Auf- und Niederschlag muß nun aber eine Rotation des Flügelholms herbeigeführt werden: Festgelegt nur im Schultergelenk, hat er im Verlauf eines Kurbelumlaufs die Manteloberfläche eines sehr spitzen Kegels zu umschreiben. Vor allem diese Bewegungskomponente hat zur Folge, daß die Verbindung zwischen Flügelmittelstück und Armschwinge bei jedem Flügelschlag ein wenig auseinanderklafft und sich wieder schließt. Um nicht den Strömungsverlauf an dieser Stelle empfindlich zu stören, müßte eine leicht dehnbare Gummihaut über den Spalt geklebt werden.

Einfacher zu lösen ist im gegebenen Fall die Aufhängung der Handschwinge. Da sich die Form des Armflügels der eines rechtwinkligen Dreiecks stark annähert, tritt der geforderte Verwindungseffekt schon dadurch ein, daß die an der Basis des Dreiecks eingehängte Handschwinge gedämpfte Auf- und Abbewegungen in linearer Richtung ausführen kann. Die Bewegungsmöglichkeit wird durch ein Scharnier geschaffen. Zur Dämpfung und Begrenzung des Ausschlages werden kleine Abschnitte aus Uhrfederstahl in die Verbindung mit eingebaut. Wer gerne mit modernen Werkstoffen arbeitet, könnte hier auch ein Moosgummischarnier vorsehen. Wenn nun die Armschwinge nach oben ausschlägt, gibt die Handschwinge dem Luftwiderstand nach und weicht rückwärts ein wenig nach unten aus. Auf diese Weise entsteht hier die passive Drehschwingung, die wir auch beim Vogelflug beobachtet hatten. Beim Flügelniederschlag tritt dagegen die elastische Verwindung ein, die zusammen mit der aktiven Drehschwingung des Armflügels den Vortrieb liefert. Leider ist die entstehende Kraft nicht unmittelbar nach vorne gerichtet. Da die Handschwinge unter einem spitzen Winkel an der fast waagerecht arbeitenden Armschwinge eingehängt ist, wirkt sie schräg zur Flugrichtung, und die Vortriebskräfte, die von beiden Flügeln einzeln hervorgebracht werden, heben sich teilweise gegeneinander auf. Der Lösungsvorschlag A liefert somit ein flugzeugähnliches Vogelmodell, dessen Gleitflugeigenschaften denen eines reichlich schweren Motorseglers weitgehend entsprechen; die Kraftflugleistungen werden dagegen geringer sein, als der hohe mechanische Aufwand eigentlich erwarten ließe.

Gewisse Vorteile hat demgegenüber das Modell B, das in Anlehnung an das Flugbild eines *Bussards* entworfen wurde. Beide Flügel sind mit positiver Pfeilung an den Rumpf angeschlossen; demzufolge wird auch der Anschlußwinkel zwischen Arm- und Handschwinge merklich flacher. Die entstehenden Vortriebskräfte sind zwar immer noch ein wenig auf die Rumpflängsachse hin geneigt, der effektive Vortrieb muß aber jedenfalls größer sein als bei der Lösung A. Eine zusätzliche Verbesserung der Kraftflugleistung war von dem vorgebauten Eckflügel zu erwarten, mit dem die Handschwinge den Armflügel teilweise überlappt. Beim Modellversuch stellte es sich heraus, daß die Lösung B tatsächlich eine größere Vortriebsleistung entwickelt als das Vorgängermuster A. Unerwartet machte sich jetzt aber ein strömungstechnischer Fehler bemerkbar. Entlang des Flügelabschnitts, an dem Arm- und Handschwinge ineinander übergehen, riß die Strömung ab und beim Flügelabschlag bildeten sich wechselweise oben und unten Druck- und Sogwirbel. Diese Störung tritt zwar unabhängig von der Schlagfrequenz auf, wirkt sich aber bei langsamen Flügelschlägen stärker aus als bei schnellen. Da nun aber die Absicht bestand, möglichst große Modelle zu bauen, deren Flügelschläge in einem unterscheidbaren Takt zügig aufeinander folgen sollten, erschien es zweckmäßig, eine ganz andere Grundkonzeption zu suchen. *K. Herzog*

(wird fortgesetzt)

Karl Herzog: Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik.
Erschienen in der Heftreihe Mechanikus, J.F. Schreiber Verlag Esslingen, **November 1963**
Das Copyright liegt heute beim AUE-Verlag, Möckmühl, Deutschland.
Texte und Zeichnungen dürfen nicht an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik

(Teil IV, 6. Fortsetzung)

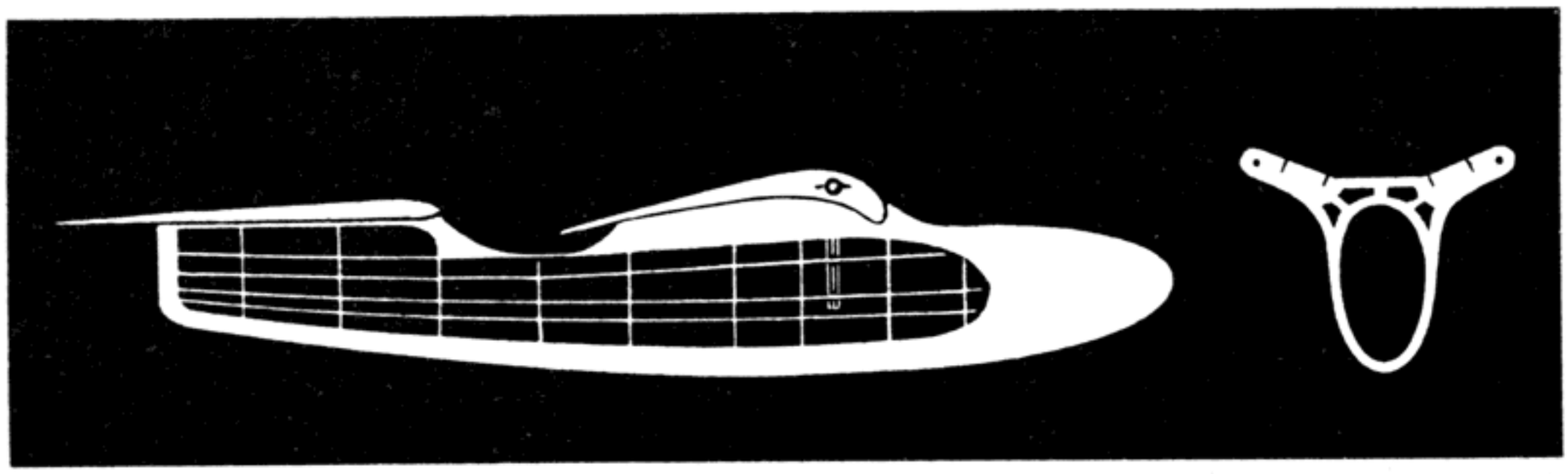


Abb. 35 *Rumpf des Adlermodells, von der Seite und im Querschnitt (Sperrholzspant). Das Flügelmittelstück ist V-förmig und liegt über dem Hohlraum des Rumpfes.*

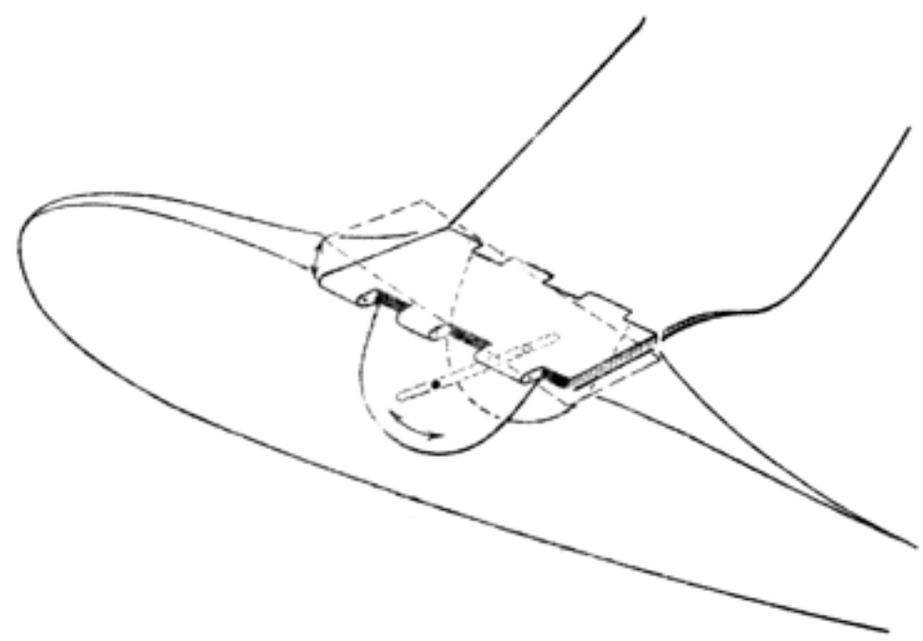
Die aerodynamische Qualität, die ein Vogelprofil von Natur aus hat, ließ sich am Modell wirkungsvoller zum Einsatz bringen, wenn die Strömungsverläufe möglichst wenig durch schräg verlaufende Knicke oder Biegekanten gestört wurden. Dieser Forderung entspricht weitgehend das *„Adler"*-Modell nach dem Bauvorschlag C.

Auf das Kugelgelenk, das beim Modell A bauliche Schwierigkeiten verursachte, ist hier verzichtet worden. An seiner Stelle trat ein ausschlagbegrenztes Scharnier, um das die am Flügelmittelstück eingehängte Armschwinge regelmäßige Pendelbewegungen ausführt. Diese Vereinfachung der Bauweise mußte zunächst einmal durch einen nicht unbeträchtlichen Nachteil erkauft werden. Die aktive Drehschwingung der Armflügel, die vom Schultergelenk ausgeht und sich im rumpfnahen Bereich vollzieht, ist bekanntlich im Kraftflug des Vogels ein typischer Bewegungsablauf; er kann durch einen anderen nur unzureichend ersetzt werden. Hier verzichteten wir aber vorläufig auf eine Nachahmung dieser Bewegungskomponente. Besser als bei den früheren Entwürfen läuft dagegen die passive Drehschwingung an den äußeren Flügelteilen ab. Ein Teil der Handschwinge überlappt den äußeren Bereich der Armschwinge frontal und kippt bei seinen Ausschlägen um eine Achse, die in der Flucht der Armschwingenvorderkante liegt. Wird nun diese Handschwinge um ihre Achse bewegt, so wirkt sie wie ein Hebel, dessen kurzer Arm vorn und dessen langer Arm hinten liegt. Beim Flügelniederschlag weicht die hinter der Achse gelegene Fahne nach oben aus, wodurch nach dem Kipphebelprinzip die Flügelnase gleichzeitig nach unten gedrückt wird (Pronation). Umgekehrt weicht die Handflügelfahne bei der Flügelhebung passiv nach unten aus (Supination), während ihre profilierte Nase zwangsläufig angehoben wird. Im Ergebnis entsteht eine regelmäßige Bewegungsfolge, die mit den ursprünglich geforderten aktiven Drehschwingungen des natürlichen Vogelfluges Ähnlichkeit hat.

Gerade beim Modell „Adler" würde es aber möglich sein, die Kraftflugleistung beträchtlich zu verbessern, wenn man auch am Armflügel die üblichen Drehschwingungen hervorrufen könnte. Das Prinzip scheint ziemlich einfach zu sein; lediglich die konstruktive Seite dieser Aufgabe harrt noch der Lösung. Es ist daran gedacht, das Flügelmittelstück beweglich zu lagern und anzutreiben. Im Schlagrhythmus der Flügel müßte es begrenzte Schaukelbewegungen (Skizze, Abb. 35a) um eine zentral gelagerte Achse ausführen, so daß es gleichfalls in den regelmäßigen Wechsel von Flügelhebung und Niederschlag einbezogen wird.

Unbefriedigend sind jetzt nur noch Kleinigkeiten: Die Achsen, um die einerseits die Armschwinge und andererseits die Handschwinge ihre Pendelbewegungen ausführen, stehen rechtwinkelig zueinander; bei jedem Maximalausschlag bildet sich deshalb zwischen den

Abb. 35a *Lösungsvorschlag für die Wiedergabe der aktiven Drehschwingung im Armflügelbereich*



Flügelteilen ein großer Spalt. Außerdem soll die Bewegung der Armschwinge möglichst leichtgängig sein, während die der Handschwinge einer gewissen Dämpfung bedarf. Beide Schwierigkeiten lassen sich durch eine einzige Maßnahme beheben: man setzt zwischen die Fahne der Armschwinge und die der Handschwinge ein flexibles Zwischenstück ein, das im gesamten Anstellwinkelbereich ständig zwischen beiden Flügelteilen vermittelt und den Spalt verschließt.
Modellversuche haben ergeben, daß die Version C den Modellen A und B vor allem in der Kraftflugphase eindeutig überlegen war. Die letzteren hatten dagegen etwas günstigere Gleitflugeigenschaften und eigneten sich besser zum Thermiksegeln. Vor allem das Bussardmodell (B) läßt sich mit einem motorgetriebenen Nurflügel vergleichen. Im Unterschied zu diesem muß aber das Schwingenflugmodell auf jeden Fall eine Schwanzflosse haben.

Das Höhenleitwerk

Ein lebender Vogel kann beim Flug willentlich den Schwerpunkt verlagern, indem er das Gewicht der Beine, des Halses und des Kopfes zum Einsatz bringt; außerdem ist er auch befähigt, durch Veränderung der Flügelpfeilung den Auftriebsmittelpunkt in gewissen Grenzen zu verschieben. Diese Gewichts-Höhensteuerung wird bewußt oder durch physiologische Reflexe bewirkt und kann deshalb am ungesteuerten Modell nicht nachgemacht werden.
Das Modell muß autostabil sein, also nach Störungen immer wieder von selbst in die Normalfluglage zurückfinden. Führt das Modell aus irgendwelchen Gründen kursabweichende Bewegungen um die Querachse aus, wird das Leitwerk unter verschieden großen Winkeln angeblasen, wodurch Auftriebs- oder Abtriebskräfte und somit abkippende oder aufrichtende Momente hervorgerufen werden. Wie beim Segelflugmodell hängt diese Wirkung von der Größe des Leitwerks und des Hebelarmes ab, nur gibt es für Schwingenflugmodelle noch keine zuverlässigen Erfahrungswerte. Bei meinen eigenen Versuchen habe ich den Eindruck gewonnen, ein großer Leitwerks-Hebelarm führe zu einer Art Wellenflug; um das Leitwerk pendelt der Rumpf dann in Abhängigkeit von den Flügelschlägen nach oben und unten. Die nämliche Eigenart kann man übrigens in der Natur an den wellenförmigen Flugbewegungen der Elster beobachten; die Elster gehört aber zu den schlecht fliegenden Vögeln, und ihr charakteristisches Merkmal ist die außerordentlich lange Schwanzflosse. Auf Grund solcher Überlegungen habe ich es später vermieden, lange, schmale und weitabstehende Höhenleitwerke zu bauen. Empfehlenswert scheint mir ein Leitwerk zu sein, das eher breit und nicht zu klein ist; es muß fest mit dem Rumpf verbunden sein und ziemlich hoch über dem Rumpfende stehen. Eine biegsame Endfahne kann zur Einstellung bestimmter Ruderausschläge benützt werden.

Elektro-Handbohrmaschine (Black + Decker) mit 6 mm Bohrfutter DM 85.-
einschl. 12teil. Heimwerkerzub. nur 129.— franko Nachn.
Ing. F. W. Wüllner, Abt. B, 61 Darmstadt, 1163

Der Rumpf

Es kam mir darauf an, eine außergewöhnlich feste Zelle zu bauen, wobei sich die Abmessungen nach dem ziemlich ausladenden Antriebsmechanismus zu richten hatten. Es entstand ein hochgeformter Rumpf mit elliptischem Querschnitt (Abb. 35), der sich nach hinten verjüngte und dabei zum Leitwerksträger hin kontinuierlich anstieg. Unten war das Rumpfheck in Form einer schmalen Kielflosse ausgebildet, wodurch die Richtungsstabilität des Modells verbessert werden sollte. Auf dem Leitwerksträger wurde die Höhenflosse mit 0° Einstellwinkel waagerecht festgeleimt. Das Modell ist als Hochdecker entworfen. Das V-förmige Flügelmittelstück wurde oben aufgesetzt und unmittelbar in die Rumpfkonstruktion einbezogen. Das Rumpfsegment unterhalb des Flügelmittelstücks sollte die Antriebsanlage aufnehmen und mußte deshalb besonders fest gebaut werden. Hier bestehen die Spanten aus Sperrholz 1,5 und 2 mm. Alle übrigen Rumpfspanten sind Balsa. Zusammengehalten wird das Gerippe durch Längsgurte aus Balsa und Kiefer. Die Rumpfteile vor dem Schwerpunkt wurden beplankt, der Rest ist bespannt.

Die Flügel

Das Schwingenflugproblem ist auch ein Schwingungsproblem. Bei jedem Flügelschlag werden beträchtliche Massen bewegt; die bewegte Masse tritt umso schwerer in Erscheinung, je größer ihr Abstand vom Drehpunkt ist. Alle Teile, die aus konstruktiven Gründen ein relativ hohes Gewicht haben müssen, werden deshalb nach Möglichkeit in den rumpfnahen Flügelabschnitt verlegt. Nach dem Ende hin soll der Flügel immer leichter werden. Mehr als ein normaler Tragflügel eines Segelflugmodells werden die Schwingen der Massenzerrung ausgesetzt. Die Abb. 36 — 38 zeigen Konstruktionsarten, die mit den drei Entwürfen aus Abb. 34 übereinstimmen. Jeder einzelne Flügel ist in Holm-Rippenbauweise hergestellt. Die Holme der beiden Armschwingen tragen im proximalen Drittel einen leichten Knick nach oben; sie sind nicht massiv, sondern als Kastenholme ausgebildet. Im Innern steckt jeweils ein kurzes Stück dünnwandiges Stahlrohr, das man mit Überlänge aus der Flügelwurzel herausstehen läßt. Das herausragende Stahlrohrende soll später zum Anschluß des Antriebsmechanismus benützt werden; zunächst ragt es nur durch das Armflügelscharnier bis in das Innere des Flügelmittelstücks. Die Abbildungen 30 — 38 lassen erkennen, daß die Armschwingen jeweils einen konventionellen Aufbau haben. Ihre Flügelnase ist beplankt; nach hinten zu ist die Fläche bespannt. Beim Bau der Handschwinge wurden strahlenförmig verlaufende Leichtbauholme in ein übliches Rippensystem eingezogen. Steif ist nur

die beplankte Flügelnase der Handschwinge, während die lamellierte Endleiste eine gewisse Elastizität behalten hat.

Jeweils die Trennrippen bestehen aus Sperrholz, alle anderen aus Balsa.

Das Scharnier zwischen Armflügel und Handschwinge wurde bei meinen Versuchsmodellen durch dünnwandige Messingröhrchen gebildet. Das Ms-Rohr wurde auf der einen Seite der Anschlußstelle festgeleimt, auf der anderen Seite brachte ich in gewissen Abständen Balsa-Füllklötze an, die zwischen die Rippen eingefügt waren. Jeweils an den Stellen, an denen die Balsa-Füllklötze endeten, wurde das Messingrohr durchtrennt, so daß sich schließlich auf die Länge des Anschlusses immer ein Balsa-Füllklotz und ein Stück Messingrohr miteinander abwechselten. Ein Stahldraht, der nur im Balsaholz festgeleimt wurde, diente als Achse.

Eine verhältnismäßig große Bedeutung ist im gegebenen Zusammenhang der Profilwahl beizumessen. Vorarbeiten hat hier der Österreicher E. Jedelsky geleistet, der aber vor allem die Brauchbarkeit von Vogelprofilen für starre Tragflügel untersuchte. In unserem Fall besteht eine gewisse Schwierigkeit darin, daß Armflügel und Handschwinge unterschiedlich geformte Profile haben müssen. In Anlehnung an das natürliche Erscheinungsbild des Vogelflügels sollen die Armrippen (Abb. 39 A) stärker konkav gewölbt sein als die Rippen der Handgegend (Abb. 39 H). An kleineren Modellen sind hochgewölbte Konkavprofile vorteilhaft; bei Modellen mit großen Spannweiten haben sich flacher gewölbte Flügelquerschnitte besser bewährt. Der wichtigste Unterschied zwischen den Flügelprofilen des Arm- und des Handabschnitts scheint mir darin zu bestehen, daß die Profilnase der Armschwinge stets nach vorne unten heruntergezogen ist, während die Profile des Außenflügels mehr Ähnlichkeit mit den technischen Profilen haben. Vergegenwärtigen wir uns noch einmal die Bewegungsweise, die E. v. Holst im Modellversuch erschlossen hat, so ist der Grund für diesen Formen-Unterschied einzusehen. Bekanntlich rotiert der Flügelholm im Schultergelenk und umschreibt dabei den Mantel eines sehr spitzen Kegels. Im rumpfnahen Bereich ist der Kegelradius sehr klein; verhältnismäßig groß wird er erst an den Flügelenden. Im Bereich der kleinen Drehschwingung hat nun der Flügel die größte Wölbung und ist vorne schaufelartig nach unten gezogen; wo die Drehschwingung aber einen großen Radius hat, verändert sich zugleich auch der Anstellwinkel am stärksten, und dort ist deshalb die Unterseitenwölbung des Profils am geringsten. Um diese Eigenschaften des natürlichen Vorbilds am Modell sinngemäß wiedergeben zu können, wird die Handschwinge mit einer fest eingestellten Schränkung gebaut, die von + 3° an der Anschlußrippe auf 0° an der Endrippe verläuft.

(wird fortgesetzt) *K. Herzog*

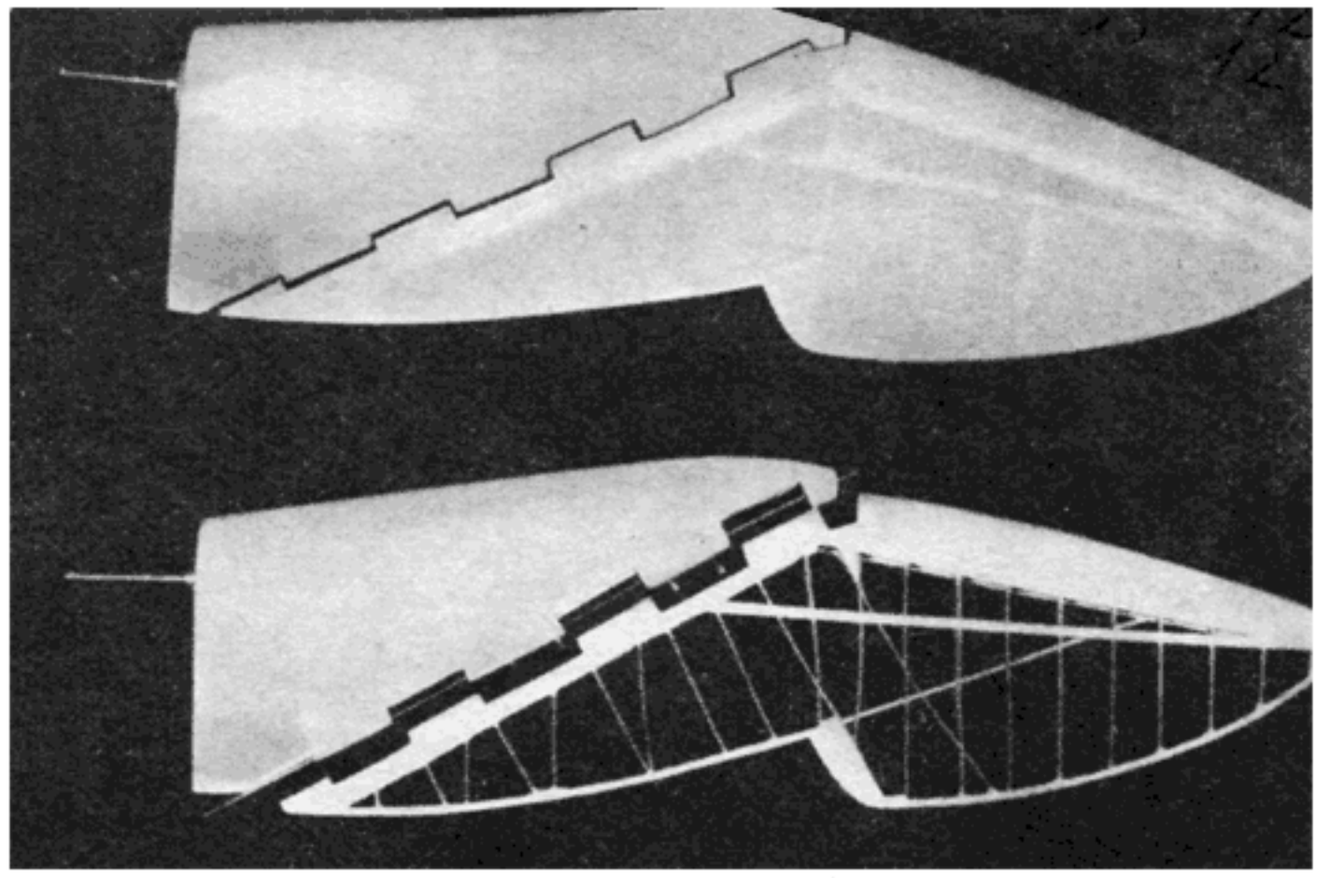


Abb. 36 *Rechter Flügel des Möwenmodells (Bautypus A), unten Rohbau beplankt, oben fertig. Die Handschwinge ist durch eine Scharnierverbindung von hinten an den Armflügel angegliedert (vgl. Übersichtszeichnung Me 10/63, S. 412)*

Abb. 37 *Rechter Flügel des Bussardmodells (Bautypus B), unten Rohbau beplankt, oben fertig. Der Armflügel wird von einem vorgebauten „Eckflügel" der Handschwinge überlappt.*

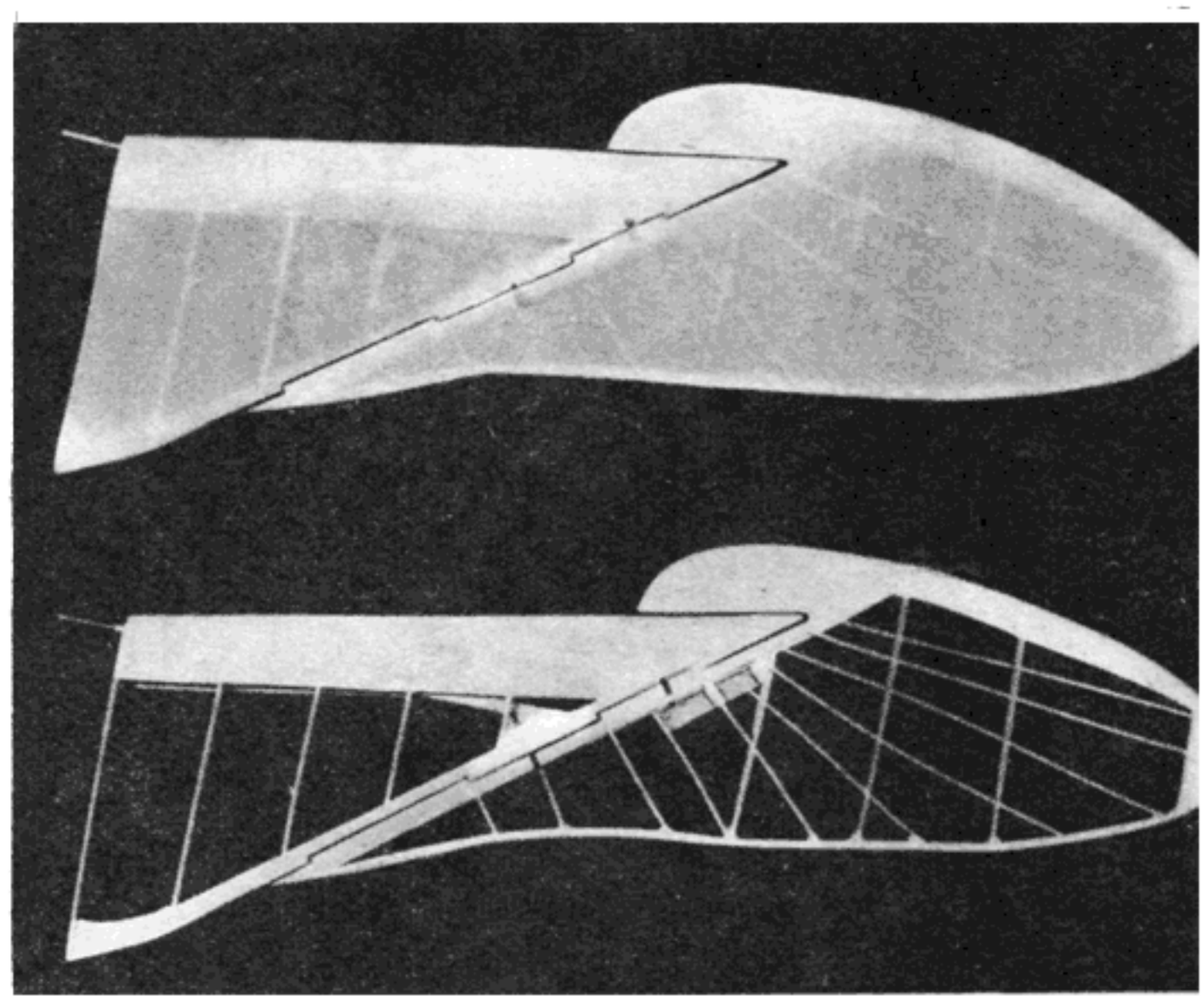
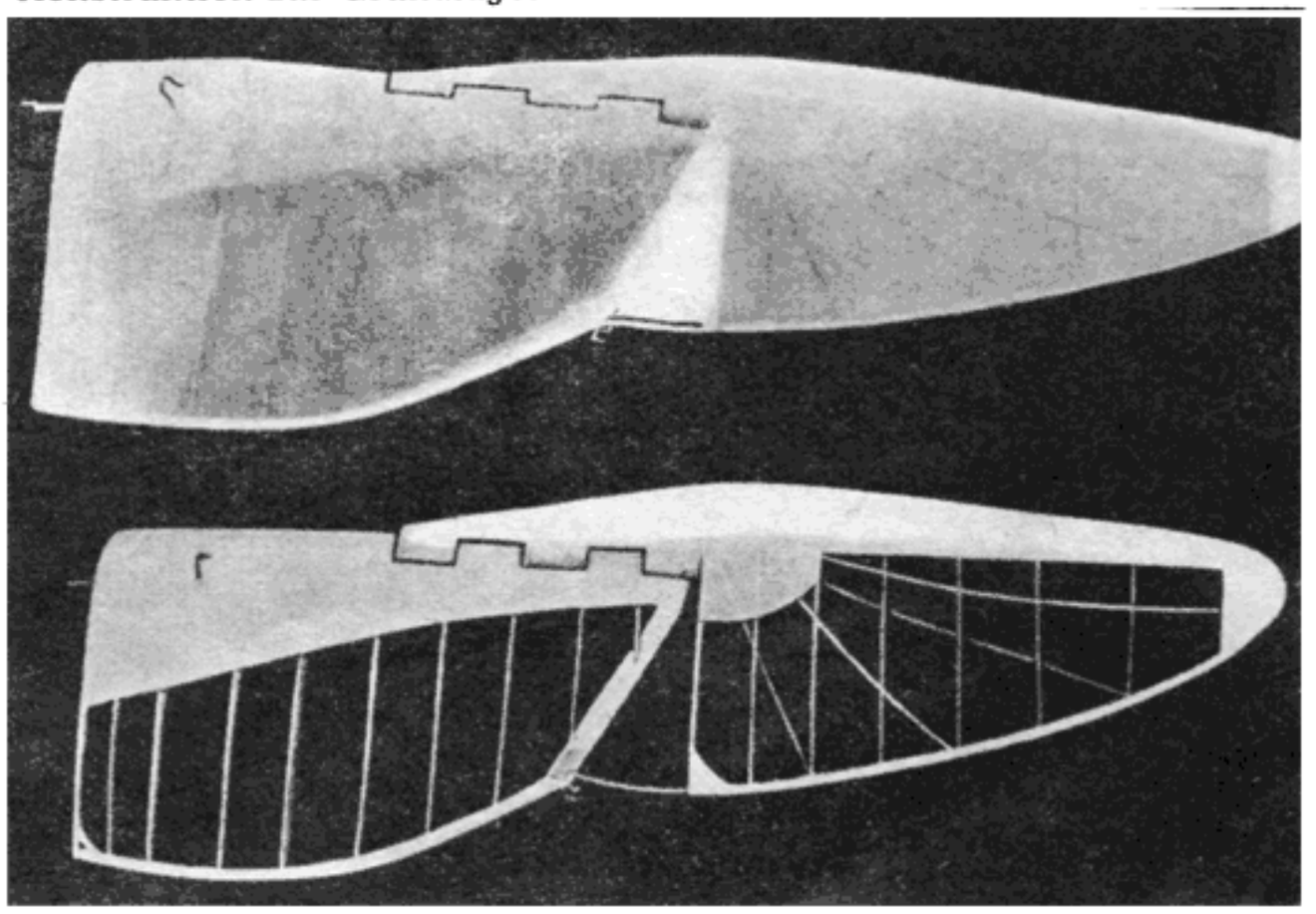


Abb. 38 *Rechter Flügel des „Rohrweihemodells" (ähnlich wie Bautypus C), unten Rohbau beplankt, oben fertig. Die Übergangsklappe (Kontinuitionsklappe) besteht aus zwei übereinanderliegenden dünnen Lamellen und hat eine Drähtchen-Röhrchen-Konstruktion zur Grundlage.*



Karl Herzog: Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik.
Erschienen in der Heftreihe Mechanikus, J.F. Schreiber Verlag Esslingen, **Dezember 1963**
Das Copyright liegt heute beim AUE-Verlag, Möckmühl, Deutschland.
Texte und Zeichnungen dürfen nicht an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik

Teil IV (7. Fortsetzung)

Steuerfunktionen

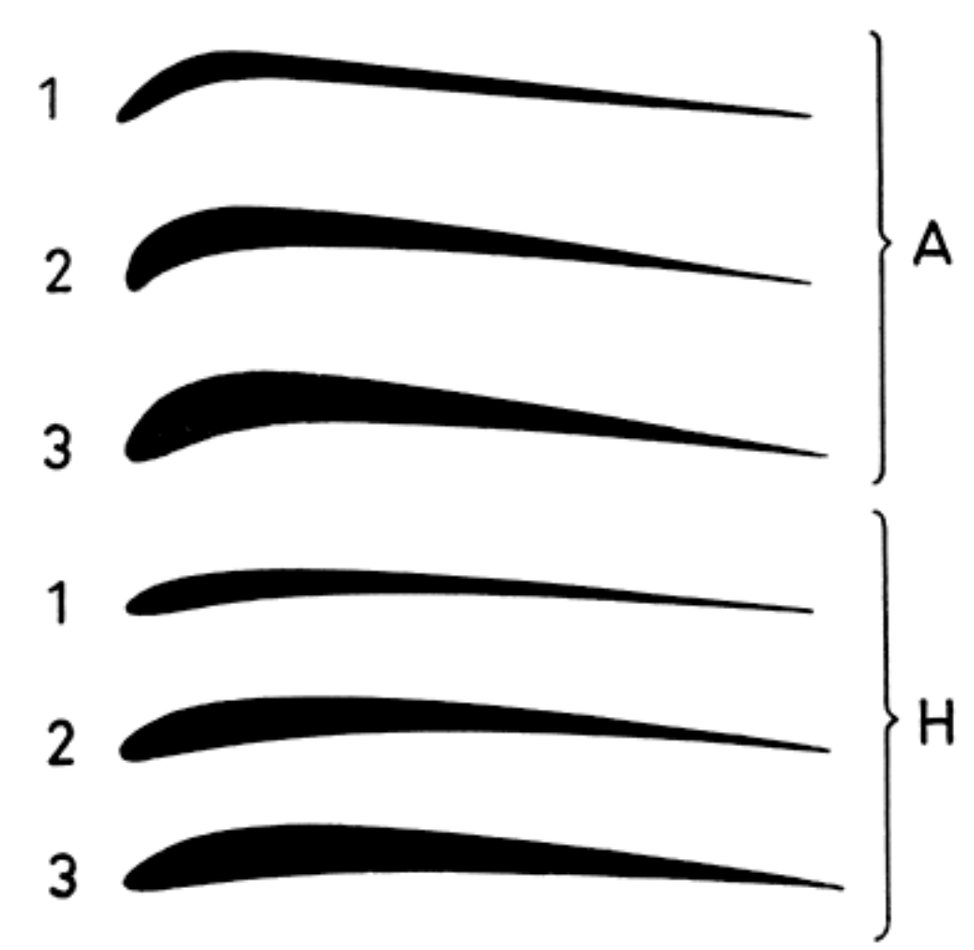
Noch sind wir nicht so weit, daß wir ein Schwingenflugmodell fernsteuern könnten; man weiß nur ungefähr den Weg. Bis auf weiteres müssen wir damit zufrieden sein, wenn Freiflugversuche zu Anfangserfolgen führen. Der Unterschied zu den üblichen Freiflugmodellen besteht darin, daß in unserem Fall Antrieb und Steuermechanismus ein und dieselbe Sache ist. Wir müssen deshalb die Leistung der Antriebsorgane so normalisieren, daß im Schlagrhythmus der beiden Flügel keine Intensitätsdifferenzen auftreten, denn diese würden zu ungewollten Kursänderungen führen.

Das Ausmaß, in dem sich die Handflügel verdrehen können, muß regulierbar sein. Die Ausschlagsbegrenzung erfolgt am besten durch Anschläge, die aber möglichst im Innern des Flügels sein sollten, weil sie sonst die Umströmung stören würden. Bei meinen Versuchsmodellen verwendete ich Stahlfedern, die im Handflügel befestigt waren und als lange Zungen in den Hohlraum des Armflügels hineinragten. Durch Stellschrauben oder fest eingebaute Aufleimer kann der Ausschlag am linken und am rechten Flügel auf das gleiche Maß gebracht werden.

Vor allem bei der Version C (vgl. Abb. 34) ist eine mechanische Ausschlagbegrenzung notwendig, weil die Drehschwingung hier mittelbar und nicht durch dimensionierte Maschinentakte hervorgerufen wird. Trotzdem hat sie einen Nachteil: in wünschenswerter Weise wirkt die Ausschlagbegrenzung nur während des Kraftflugs. Beim Übergang zum Gleitflug hätte man aber gerne eine fest eingestellte Armschwinge, die im günstigsten Anstellwinkel blockiert wird. Genau vom Ende der Motorlaufzeit an muß also die Armschwinge an weiteren Pendelbewegungen gehindert werden.

Da vom stehenden Motor keine Impulse mehr zu erwarten sind, wäre eventuell an Rutschkupplungen zu denken, die den Motor vor Ende der Laufzeit vom Getriebe trennen, wobei dann gleichzeitig die Arretierung der Armschwinge durch vorgeschobene Sperr-Riegel erfolgen müßte. Ein anderer noch nicht genügend erprobter Lösungsvorschlag ist in Abbildung 40 dargestellt. Hier wird die Scharnierachse selbst als Steuerorgan verwendet. Sie besteht aus 2 mm ⌀ Stahldraht und ist am freien Ende rechtwinkelig abgebogen (St). Das andere Ende steckt in dem Scharnier, das sich zwischen Armflügel und Handschwinge befindet. Noch bevor die Rippen des Armflügels (R) festgeleimt werden, biegt man die Stahlachse ein weiteres Mal rechtwinkelig nach hinten ab (Sth). Auf diese Weise entsteht hier ein kleiner Hebel, an dem die Handschwinge auf bestimmte Ausschläge eingestellt werden kann. Der Anstellwinkelbereich ist wiederum begrenzt. Der obere Anschlag liegt am Holm, und dies ist zugleich die richtige Einstellung für den Gleitflug. Gespannte Gummischnüre, die den Hebel nach oben ziehen, sorgen dafür, daß die Gleitflugstellung automatisch eingenommen wird, sobald keine stärkeren Kräfte entgegenwirken. Die Wirkungsweise beim Flug beruht nun darauf, daß wir die Scharnierachse als Torsionsfederung benützen. Beim Flügelniederschlag habe der Steuerhebel den Anschlag am Holm schon erreicht. Der Luftwiderstand wirkt nun aber vor allem auf die Hinterfahne der Handschwinge, die nach oben auszuweichen versucht. Sie hat dabei den Widerstand der Torsionsfederung zu überwinden, der mit zunehmendem Ausschlag stärker wird und somit eine progressive Dämpfung bewirkt. Sobald mit der Flügelhebung die Gegenbewegung einsetzt, wirkt der Luftwiderstand von oben auf die Hinterfahne der Handschwinge und diese will nach unten ausweichen. Zu überwinden ist nur die Gegenspannung der Gummischnüre; sonst schlägt der Hebel (Sth) widerstandslos ins Leere. Was jetzt noch fehlt,

Abb. 39 *Beispiele von Flügelquerschnitten*
A = Armflügel, H = Handschwinge
1 = Profile von Modellen mit Spannweiten von 60 — 85 cm
2 = Profile von Modellen mit Spannweiten von 90 — 150 cm
3 = Profile von Modellen mit Spannweiten von 160 — 220 cm



ist somit der untere Anschlag unserer automatisch wirkenden Ausschlagbegrenzung. Kam es beim oberen Anschlag auf die Fixierung des günstigsten Gleitflug-Anstellwinkels an, muß jetzt der günstigste Anstellwinkel für die Flügelhebung eingestellt werden. An der Unterseite des Flügelholms wird eine gekröpfte Welle (kw) schwergängig gelagert. Je nachdem wie die drehbare Kröpfung zum Hebel (Sth) steht, kommt der untere Anschlag früher oder später zustande. Wird die kurbelartige Kröpfung der Welle ganz nach oben gedreht, ist der Gleitfluganstellwinkel fest eingestellt; in allen darunter liegenden Einstellbereichen gibt es verschiedene Möglichkeiten, einen härteren oder weicheren Flügelschlag herbeizuführen. Diese zunächst nur von Hand zu bedienende Einstellwelle (kw) kann später einmal eine große Bedeutung erlangen. Schließt man nämlich an eine oder an die beiden Einstellwellen jedes Flügels ein Ruderservo an, so kann der Flügelschlag des Schwingenflugmodells ferngesteuert werden.

Der Antrieb

Alle konstruktiven Änderungen gegenüber den Leichtbau-Schwingenflugmodellen von E. v. Holst sind nur durchgeführt worden, um Hochleistungsantriebe einbauen zu können. Eben diese Hochleistungsantriebe werden uns aber trotzdem die größten Schwierigkeiten bereiten, denn sie laufen zu schnell. Dieselmotore und Glühzünder erreichen 12—15 000 U/min. Baut man dazu ein Getriebe mit dem Untersetzungsverhältnis 100:1, ist das Ergebnis immer noch unbefriedigend. Die gewünschte Zahl von 80—120 Flügelschlägen pro Minute läßt sich zur Zeit doch wohl nur mit einem halb gedrosselten Motor erreichen. Die endgültige Lösung dürfte bei einem ganz anderen Arbeitsprinzip zu suchen sein; es mag deshalb genügen, wenn ich hier meinen Versuchsaufbau nur dem Prinzip nach beschreibe.

Wie beim Modellrennwagen wird der Motor über eine Riemenscheibe angeworfen. Eine von Hand zu betätigende Scheibenkupplung trennt ihn unterdessen vom Getriebe. Die Abtriebswelle des Getriebes ist mit der doppelt gelagerten Kurbelwelle des Flügelantriebs gekuppelt. Zur Verbindung dient ein aufgeschobenes Stück Kraftstoffschlauch. Die Kurbelkröpfung des Antriebsmechanismus ist so bemessen, daß die Flügel bis zu einem Winkel von 65 — 70° ausschlagen können.

Die Endstellung ist so einreguliert, daß die Flügel mit 7 — 10° positiver V-Form stehen bleiben. Unumgängliche Nachteile der ganzen Anordnung liegen darin, daß die komplizierte Antriebsanlage im Rumpfinnern nur schlecht zugänglich ist; wegen der hohen Drehzahl kann die volle Leistung niemals ausgenützt werden; schließlich ist auch das Gewicht des Aggregates beträchtlich.

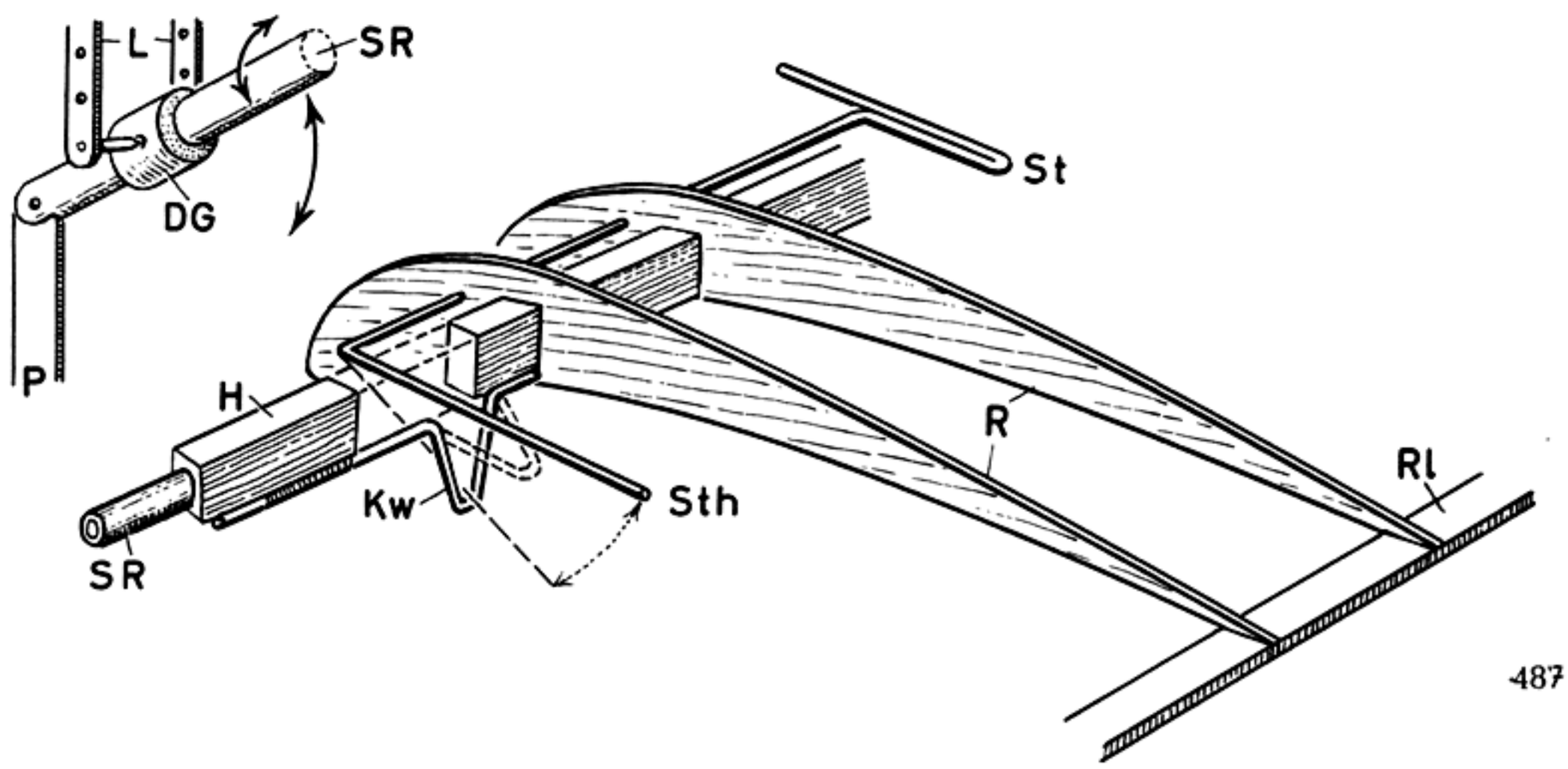
Mehr Reiz haben demgegenüber die Zukunftsprojekte. Da wir ohnehin mit der hohen Drehzahl nicht viel anfangen können, käme uns das Arbeits- und Steuerungsprinzip der alten Dampfmaschine viel gelegener; nur auf den Dampf wollen wir verzichten. An seine Stelle müßte Preßluft treten. Zu konstruieren wäre dann ein Kompressor, der durch einen Modellmotor angetrieben wird. Ein pneumatisches System, das so ähnlich arbeitet, wie die Motorrammen der Straßenbauarbeiter würde Schubstangen betätigen, die ihrerseits auf die Flügelholme wirken. Gedacht ist auch an eine Unterdruckpneumatik, die mechanisch über Membranen gesteuert wird. Dies alles ist aber noch Zukunftsmusik; mit fertigen Lösungen kann ich auf diesem Gebiet noch nicht dienen.

Immerhin sind die bisherigen Versuche so ermutigend verlaufen, daß ich sowohl meine Ergebnisse als auch die in Arbeit befindlichen Anregungen bekannt machen möchte. Richtige Fortschritte werden zweifellos erst dann erzielt, wenn sich viele Leute mit diesem interessanten Nachbargebiet des Modellflugs befassen.

K. Herzog

(wird fortgesetzt)

Abb. 40 *Flügelmechanismus*
H = Kastenholm mit SR = Stahlrohr. Das DG = Drehgelenk gestattet Hebel- und Drehbewegungen = Pfeile. L = Befestigungslaschen, P = Pleuelstange, Kw = Kurbelwelle, sie bestimmt den Spielraum des Sth = Steuerhebels und somit die Drehbewegung der St = Steuerwelle (Scharnierachse) der Handschwinge. R = Rippe des Armflügels, Rl = Randleiste



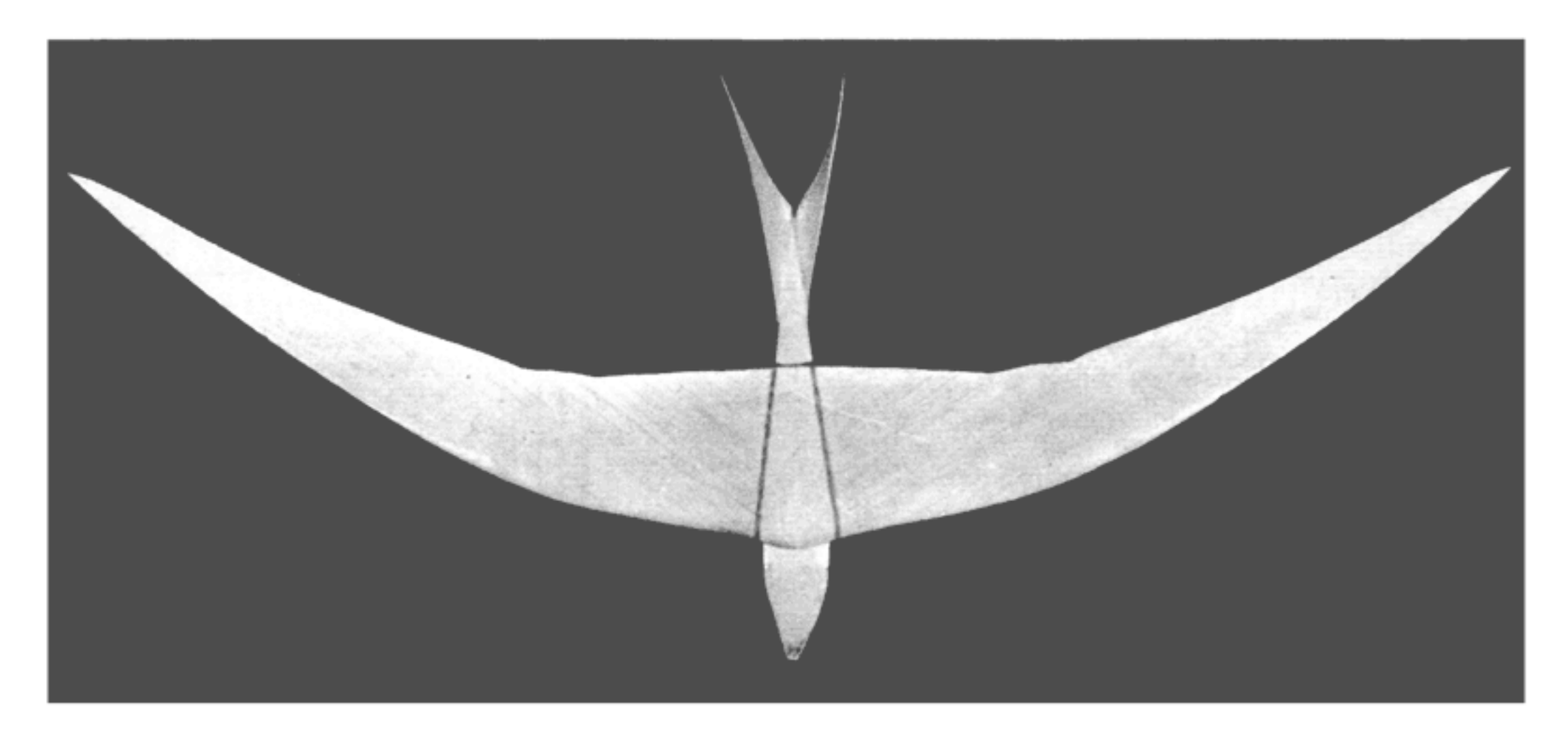
Karl Herzog: Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik.
Erschienen in der Heftreihe Mechanikus, J.F. Schreiber Verlag Esslingen, **Januar 1964**
Das Copyright liegt heute beim AUE-Verlag, Möckmühl, Deutschland.
Texte und Zeichnungen dürfen nicht an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik

Teil V

Flugphysikalische Gesetzmäßigkeiten und ganz bestimmte Bewegungsweisen müssen übereinstimmend vorhanden sein, damit der natürliche Schwingenflug der Vögel, bzw. des Fluggetiers, zustande kommen kann. Von diesen Voraussetzungen sind sowohl die einen als auch die anderen erforschbar und zum großen Teil bekannt. Durch Modellversuche gelang es dem verstorbenen Naturwissenschaftler Erich v. Holst, einen bemerkenswerten Beweis zu führen.

gänge, von denen wir zwar den Erfolg, nicht aber die physiologische Auslösung einwandfrei beobachten können. Sehr viele Fragen, die sich in diesem Zusammenhang ergeben, können durch systematische Modellversuche weitgehend geklärt werden. Ich denke hier an die Probleme der Gewichtverteilung, des Kraftaufwandes für verschiedene Flugzustände sowie der Stabilisierungs- und Steuerungsmöglichkeiten. Vorausgesetzt, daß wir am Modell analoge Bedingungen künstlich schaf-



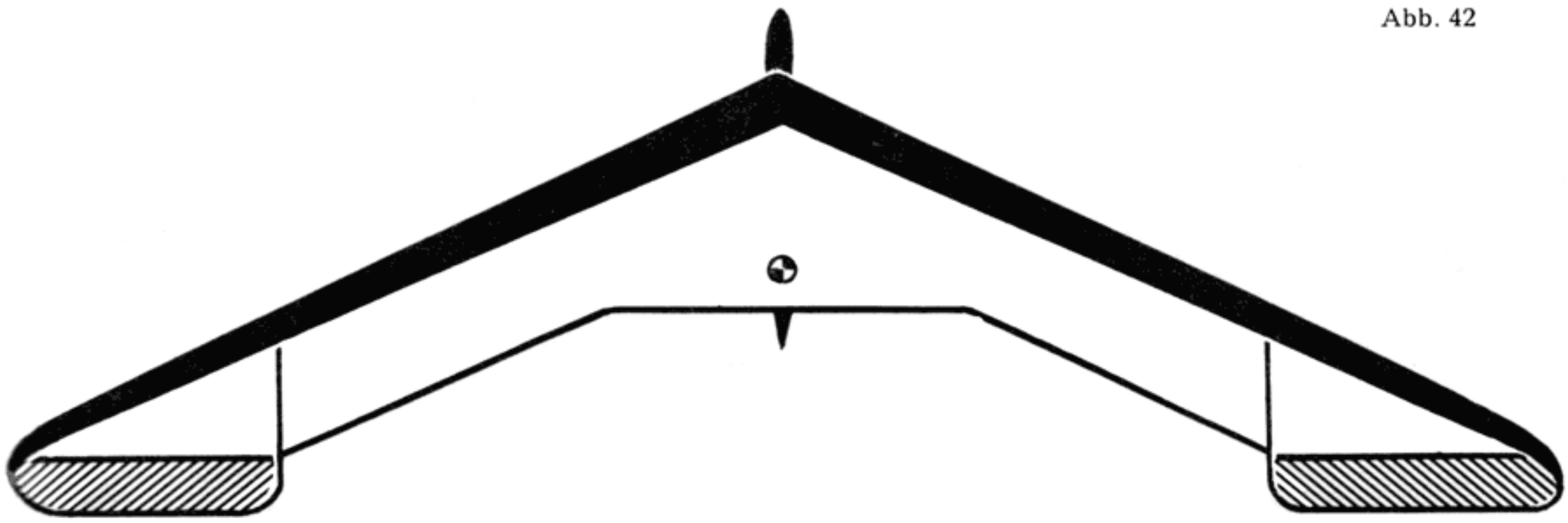
Das gleiche Schema eines Bewegungsablaufs, das in der Natur zum Kraftflug der Vögel und des sonstigen Fluggetiers führt, kann mit angetriebenen mechanischen Apparaten nachgebildet werden. Entspricht der Apparat außerdem den flugphysikalischen Grundsätzen, die sich vom Körperbau des Vorbilds ableiten lassen, und hat er diesem gegenüber eine vergleichbare aerodynamische Qualität, so ist er zum freien Flug befähigt und bewegt sich dabei in der gleichen charakteristischen Weise, die dem Vorbild eigentümlich ist. Der Satz klingt ermutigend, enthält aber eine äußerst wichtige Einschränkung. Von der gesamten Potentialität des Freiflugs aktualisiert der Apparat immer nur jene ganz bestimmten Möglichkeiten, die von der Konstruktion her vorgesehen sind. Spezielle Bewegungsweisen des freiflugbefähigten lebenden Wesens kann das Modell nur dann zusätzlich wiedergeben, wenn es mit ergänzenden mechanischen Vorrichtungen analoger Funktion ausgerüstet wird.

Nun gibt es aber im Bewegungsablauf des frei fliegenden Lebewesens bestimmte Vor-

fen können, wie sie beim Lebewesen von Natur aus vorhanden sind bzw. entstehen, lassen sich vom experimentell hervorgerufenen Modellverhalten Rückschlüsse auf die Biophysik des Schwingenflugs ziehen. Vom Modellflieger darf man erwarten, daß er sich am meisten für die Nutzanwendungen interessiert, die aus solchen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für seine Arbeit gezogen werden können.

In den bisherigen Abhandlungen unserer Beitragsfolge sprachen wir immer nur von der Kraftflugphase und vom anschließenden Gleitflug. Wir gaben uns damit zufrieden, wenn sich ein Schwingenflugmodell aus eigener Kraft starten ließ, seine Gipfelhöhe erreichte und mit möglichst geringer Sinkgeschwindigkeit wieder zu Boden schwebte. Jeder einzelne dieser Versuche ist natürlich ein neuer Beweis, daß ein technischer Schwingenflug möglich ist; im Grunde genommen wird aber nichts anderes erreicht, als eine Wiederholung längst errungener Erfolge. Wenn man weiterarbeiten will, muß man im Modellversuch zum gesteuerten Schwingenflug kommen.

Abb. 42



Im Prinzip wird ein Schwingenflugmodell nicht viel anders gesteuert als andere Flugmodelle, nur ist in unserem Fall die Sache weniger übersichtlich. Identisch sind die Achsen, um die einerseits ein Schwingenflugmodell und andererseits ein Starrflügelmodell gesteuert werden. Das Starrflügelmodell hat aber mit Höhen-Seiten- und Querruder ein verhältnismäßig leicht überschaubares System. In die Verhältnisse am Schwingenflugmodell wird sich am leichtesten ein Nurflügelspezialist hineindenken können, denn er ist daran gewöhnt, Leitwerksfunktionen an den äußeren Flügelpartien hervorzurufen.

Im Gegensatz zum Nurflügel muß das Schwingenflugmodell eine Schwanzflosse haben, die als nichttragend profiliertes Höhenleitwerk wirksam wird. Sie dient dazu, labile Flugzustände, die sich im Verlauf der Flügelbewegungen einstellen, auszugleichen und ungewollten Lageänderungen um die Querachse entgegenzuwirken. Die Funktion ist auf den Ausgleich des Flügeldrehmoments beschränkt und läßt sich am einfachsten als Windfahnenwirkung innerhalb der strömenden Luft definieren. Nimmt das kursabweichende Modell die Rumpfnase nach unten, bewirkt die Flosse ein aufrichtendes Moment; analog tritt der entgegengesetzte Effekt ein, sobald die Rumpfnase nach oben ausweicht. Ein leichter positiver Ausschlag, der am Flossenende als Trimmung fest eingestellt wird, kann während des Kraftfluges nützlich sein. Weitere Funktionen wollen wir uns zunächst vom Höhenleitwerk des Schwingenflugmodells nicht erwarten.

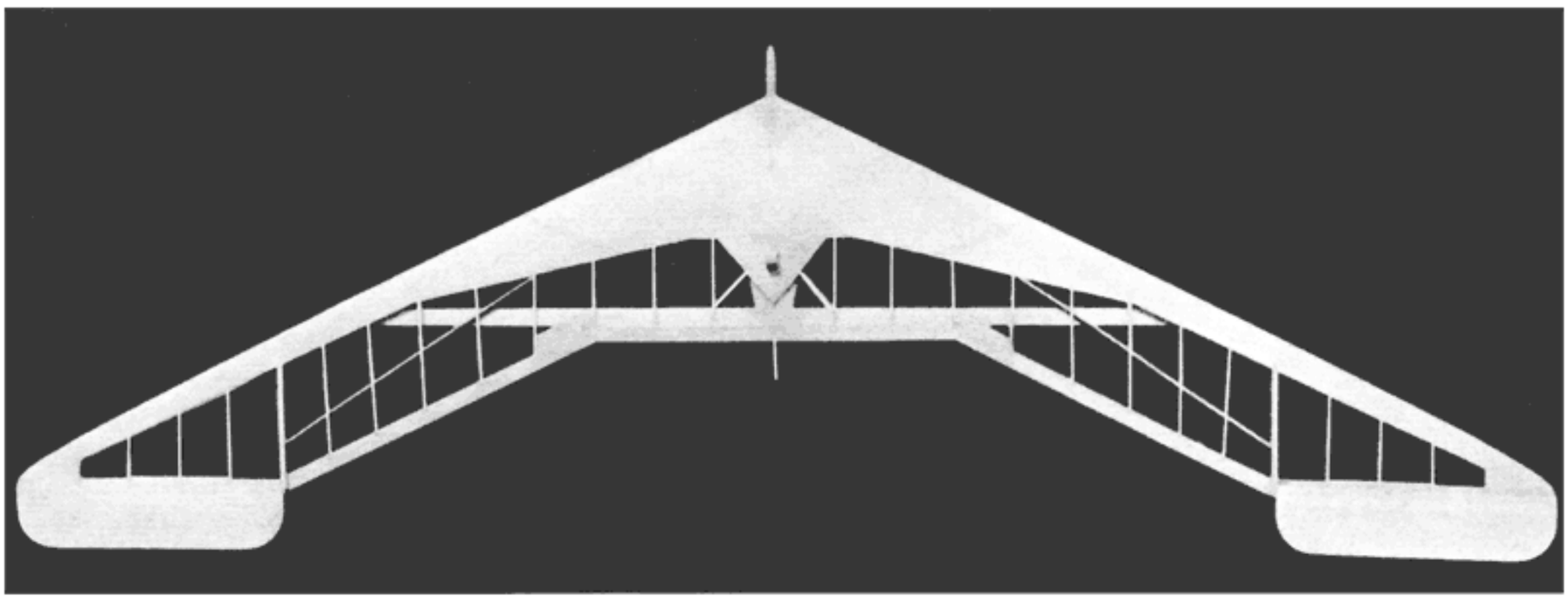
Abweichend von den Verhältnissen, die beim Modell herrschen, ist der Vogel nicht unbedingt auf seine Schwanzflosse angewiesen; sie befähigt ihn zwar zu einigen Zusatzmanövern — er kann sie z. B. als schnell wirkende Flugbremse und als Landehilfe benützen — er fliegt aber auch dann noch um alle Achsen gesteuert, wenn er seine Schwanzfedern aus irgend einem Grund verloren hat. Z. B. die Gewichtshöhensteuerung, die der Vogel durch absichtliches Verlegen relativ schwerer Gliedmaßen zustande bringt, die also auf einer intensionsabhängigen Schwerpunktverlagerung beruht, läßt sich am Modell nicht ohne weiteres nachmachen. Beim Schwingenflugmodell müssen wir davon ausgehen, daß es einen genau festgelegten konstanten Schwerpunkt

Abb. 41 *Flugfähiges Vogelmodell vom Typ „Mauersegler" aus Balsaholz: Spannweite 53 cm, Länge 21 cm, Fluggewicht 18 g, Flächeninhalt 2,25 dm², Flächenbelastung 8 g/dm²*

Abb. 42–44 *Versuchsmodelle von Nurflügeln, die zur Untersuchung der Steuerfunktionen gebaut wurden*

Abb. 45 *Entwurf eines negativ gepfeilten Flugmodells, zur theoretischen Untersuchung von Steuerfunktionen*

Abb. 43



5

Abb. 44

hat. Bezugssituation ist die „Gleitflugstellung der Flügel", in der die geringste Sinkgeschwindigkeit möglichst bei einer stabilen Fluglage erreicht werden soll.
Gierbewegungen um die Hochachse könnte man beim Schwingenflugmodell wahrscheinlich genau so mit einem Seitenruder hervorufen, wie dies bei Starrflügelmodellen möglich ist; nur werden dieses Seitenruder sehr groß sein müssen, da sie nicht weit genug vom Schwerpunkt entfernt sind, um ausreichend stark zu wirken. Außerdem zeigt hier wiederum das Beispiel des Vogels, daß auch Bewegungen um die Hochachse möglich sind, ohne daß eine Seitenflosse in Aktion treten müßte. Wirksame Ruder in die Außenzone des Flügels zu verlegen, ist außerdem eine vom Nurflügel her bekannte Praxis. So wie hier Wendemomente hervorgerufen werden können, gelingt dies auch beim Vogelflügel, nur nicht ganz auf die selbe Art.

Einigen wichtigen Grundsätzen der Schwingensteuerung kann man auf die Spur kommen, indem man einfache Versuche mit antriebslosen Modellen durchführt. Das Verfahren, das hier empfohlen werden soll, hat einige Ähnlichkeit mit den üblichen Wurfgleiter-Untersuchungen, nur wollen wir uns in diesem speziellen Fall ganz auf naturähnliche Vogelmodelle beschränken.

Dem Mauersegler nachgestaltet ist ein kleiner Balsa-Wurfgleiter (Abb. 41), der Vollbalsaflügel und einen ganz einfachen Schalenrumpf hat. Das Modell wurde in verschiedenen Größen gebaut; bei einer Spannweite von 54 cm hatte es ein Fluggewicht von 18 g; die größte Version mit 72 cm Spannweite wog 45 g. Die Flugeigenschaften waren gut. Bemerkenswert war außerdem, daß die Modelle nach dem Start ihre Nase grundsätzlich gegen den Wind einstellten. Im Grund genommen handelt es sich bei diesem naturähnlichen Entwurf um nichts anderes als einen positiv gepfeilten Nurflügel; er ist deshalb auch in entsprechender Weise steuerbar (Abb. 42). Die Funktion des Höhenleitwerks wird von Flügelteilen übernommen, die hinter dem Schwerpunkt liegen.

Biegt man die Endfahne eines einzigen, z. B. des linken Flügels nach oben, entsteht an seiner Unterseite geringer Überdruck. Gleichzeitig verringert sich der Auftrieb, den diese Flügelhälfte erzeugt. Es entsteht ein Wendemoment, und das Modell beginnt um den ausgeschlagenen Flügel nach innen zu kurven. Unterstützt wird die eingeleitete Richtungsänderung durch den vergrößerten Widerstand, den die nach oben ausgeschlagene Endfahne erzeugt. Dieser Flügel erfährt also einseitig eine Abbremsung, so daß ihm der andere im Kurvenbogen vorauseilt.

Wird auf beiden Seiten des Nurflügels die Endfahne unter gleich großen Winkeln nach oben ausgeschlagen, führt das Modell eine Bewegung um die Querachse aus und hebt dabei die Rumpfnase. Die beiden als Ruderklappen wirkenden Endfahnen haben auf jeder Seite des Modells die gleiche auftriebs- und druck-

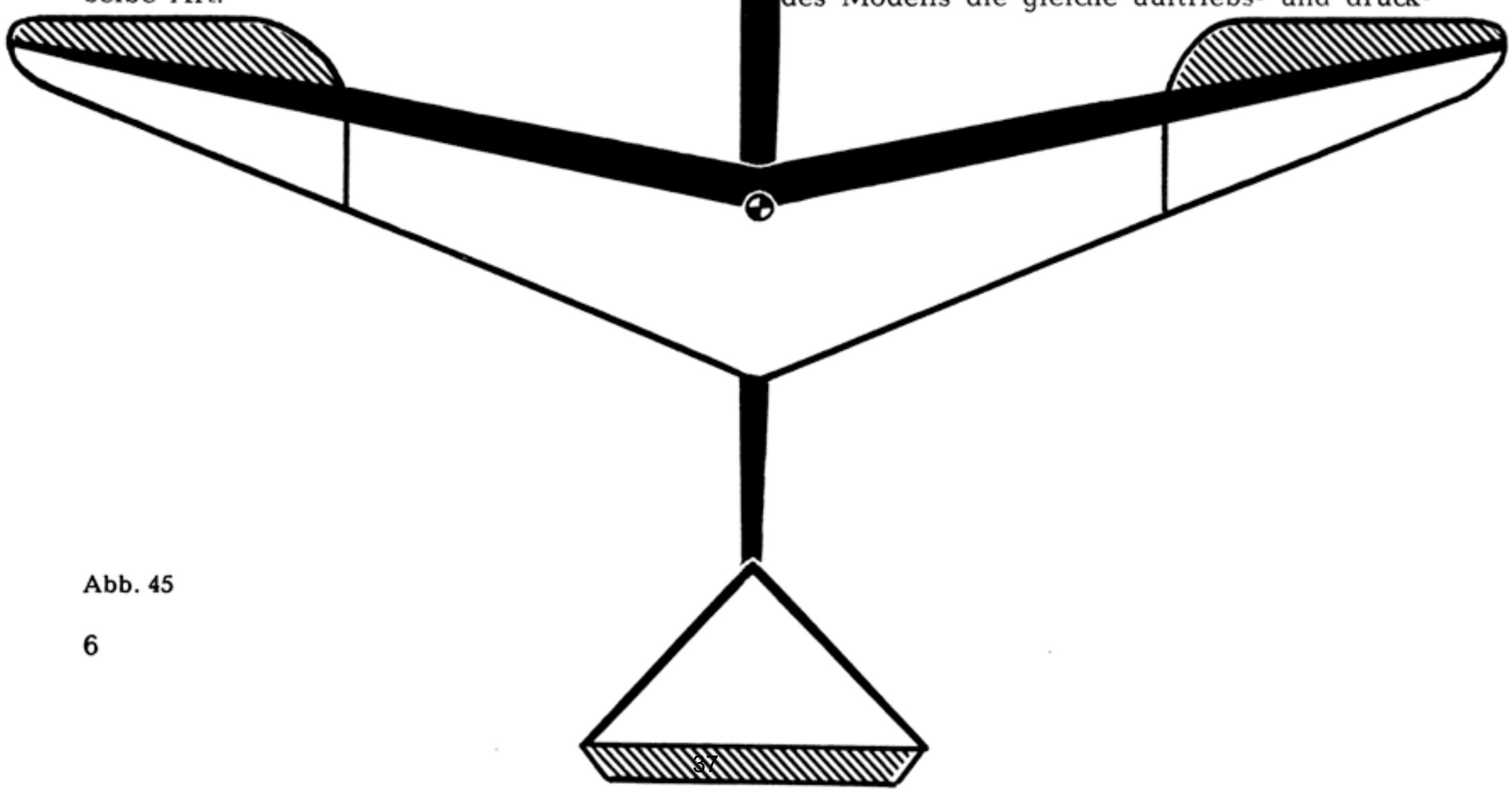


Abb. 45

verändernde Wirkung hervorgerufen und der Druckpunkt wanderte nach vorne.
Interessante, zumeist aber recht unerwünschte Auswirkungen hat der einseitige Ruderausschlag nach unten. Die betreffende Seiten des Nurflügels wird durch Auftriebserhöhung angehoben, aber gleichzeitig durch den vergrößerten Widerstand abgebremst. Sein Kurvenflug wird also mit einer falschen Stellung um die Längsachse eingeleitet, und die am Flügel hervorgerufenen Kräfte heben sich teilweise gegeneinander auf. Die Folge ist ein negatives Wendemoment und unter Umständen ein unstabiler Flugzustand. Abbildung 43 und 44 zeigen Versuchsmodelle, die zur Untersuchung dieses Fragenkomplexes gebaut worden sind.

Interessehalber könnte man jetzt die dargestellten Verhältnisse einfach umdrehen und rein theoretisch ein Flugmodell mit negativ gepfeilten Flügeln entwerfen. In baulicher Hinsicht würde dabei nichts anderes geschehen, als daß wir den Nurflügel umdrehten und mit veränderter Flugrichtung und Profilierung auf einen Rumpfstab setzten (Abb. 43). Es zeigt sich aber jetzt ein prinzipieller Unterschied; es ist nämlich nicht gleichgültig, ob die Ruderwirkungen vor oder hinter dem Schwerpunkt hervorgerufen werden. Die Teile des Flügels, die zuvor eine reine Tragflächenfunktion hatten, liegen jetzt hinter dem Schwerpunkt, während ihm die zur Ruderfunktion befähigten äußeren Flügelteile weit voraus fliegen. Abgesehen davon, daß Ruderausschläge bei dieser Anordnung Umströmungsstörungen hervorrufen würden, müßten sie die gleichen bremsenden und kurvenleitenden Erscheinungen hervorrufen wie im vorher beschriebenen Fall. Der Unterschied liegt darin, daß Hauptfunktionen der Auftriebserzeugung einer gleichen Umkehrung der Verhältnisse unterliegen. Der stärkste Auftrieb wird jetzt von den Flügelteilen erzeugt, die vor dem Schwerpunkt weit außen liegen, sie müssen deshalb einen größeren Anstellwinkel erhalten. Übersetzt auf ein Schwingenflugmodell würde das bedeuten, daß die größte auftrieberzeugende Wirkung ausgerechnet in den Bereich der Handschwinge verlegt wurde, wo sich Profil und Bewegungsart hauptsächlich zur Vortriebserzeugung und Steuerung eignen; die Ruder müßten dagegen an die Stelle gebracht werden, wo allein schon das Armschwingenprofil den besten Auftrieb erwarten läßt. In dieser Umkehrung der normalen Verhältnisse ist der Grund zu suchen, warum negativ gepfeilte Schwingenflugmodelle schlechte Kraftflugleistungen haben. Die rumpfnahe Armschwinge muß vornehmlich Auftrieb und die rumpfferne Handschwinge hauptsächlich Vortrieb und Ruderwirkung liefern.

Der Effekt, den wir uns hier experimentell ausgedacht haben, ist übrigens gar nicht so abwegig, wie man vielleicht meinen könnte. Verschiedene Vogelarten nützen ihn beim Landemanöver aus. Sie bringen ihre Flügel aus der Normalflugstellung kurz vor der Bodenberührung in eine stark vorgepfeilte Haltung und erreichen eine Verringerung der Landegeschwindigkeit durch einen kurzfristigen Auftriebsanstieg vor dem endgültigen Abreißen der Strömung. Das ist aber m. E. der einzige Fall, in dem sich beim Vogelflug eine negative Flügelpfeilung feststellen läßt.
Bei Normalflugmodellen, die nicht mit Vogelsondern mit technischen Profilen ausgestattet sind, kann die negative Pfeilung mitunter sehr vorteilhaft sein. Wie festgestellt wurde, beeinträchtigt sie auch die Gleitflugeigenschaften eines Schwingenflugmodells nur unwesentlich. Für den Kraftflug ist sie aber jedenfalls nachteilig.

K. Herzog

(wird fortgesetzt)

Neuer Technik-Katalog erschienen!
Amateurfunk – Radiotechnik – Elektronik – Transistortechnik – Modellbau – Fernsteuerungen – Bausätze – fertige Geräte – Bauteile – Röhren – Transistoren – Funksprechgeräte – Werkzeuge u. v. a. m. Den interess. u. vielseitig. Katalog (130 S. Großformat) erhalten Sie gegen Einsendg. einer Schutzgebühr v. DM 1.– durch TECHNIK-Versand KG, Abt. K 5 Bremen 17 – Postfach

EPISKOP nur DM 38.—
Projektionsapparat für Fotos, Ansichtskarten, Bilder, Zeichnungen etc. (keine Dias) Prospekt gratis!
ELKA-Me, 75 Karlsruhe, Postfach 511

Flugveranstaltungen

vereinen Tausende, deren Liebe der Fliegerei gehört. Kunstflüge, die Vorführung neuer Modelle oder auch Segelflugkonkurrenzen schaffen eine erregende Atmosphäre.

Man wünscht sich, bei jeder Veranstaltung dabei sein zu können.

Diesen Wunsch erfüllt Ihnen FLUGWELT.

Mit FLUGWELT haben Sie Ihren Platz direkt auf dem Rollfeld. FLUGWELT bringt Ihnen das Geschehen durch Fotos und Berichte direkt ins Haus.

Bitte fordern Sie ein kostenloses Probeheft vom

KRAUSSKOPF-FLUGWELT-VERLAG
MAINZ · LESSINGSTRASSE 12-14

Karl Herzog: Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik.
Erschienen in der Heftreihe Mechanikus, J.F. Schreiber Verlag Esslingen, **Februar 1964**
Das Copyright liegt heute beim AUE-Verlag, Möckmühl, Deutschland.
Texte und Zeichnungen dürfen nicht an anderer Stelle veröffentlicht werden.

Der Schwingenflug in der Natur und in der Technik

(Teil V — Schluß)

Wege zum technischen Schwingenflug

Um darzustellen, welche Flügelformen und Proportionen mir selbst als zweckmäßig erscheinen, möchte ich aus meiner Serie von Versuchsmodellen die beiden erfolgversprechendsten in Gesamtansichten zeigen (Abb. 46 u. 47). Zur Erklärung reiner Steuerfunktionen sind diese Photos allerdings nicht sehr instruktiv, weil die Modelle in dieser Hinsicht nicht ganz kompromißlos gebaut wurden. Die Kippachse der Handschwinge liegt bei ihnen vor dem Schwerpunkt, wobei die Lage des Auftriebsmittelpunkts zum Schwerpunkt in uncharakteristischer Weise verändert wird.

Ich möchte deshalb vorschlagen, daß wir zuerst einmal ein kleines Demonstrationsmodell einer Saatkrähe aus Zeichenkarton 200 g/m² bauen und einige flugphysikalische Experimente damit durchführen. Ähnlich geformte Balsamodelle haben übrigens am Hang beachtliche Flugleistungen gezeigt. Die Übersichtszeichnung (Abb. 48) enthält Form und Abmessungen der Einzelteile. Abb. 49 zeigt ein fertiges Versuchsmodell, dessen Rumpf- und Leitwerksträger leicht abgerundet sind. Modelle dieser Art zeichnen sich dadurch aus, daß an ihren Handschwingen verschiedene Einstellwinkel der Reihe nach ausprobiert werden können. Zuerst sucht man die Einstellung, bei der ein einwandfreier Geradeausflug zustande kommt. Anschließend sollen andere Flugzustände experimentell herbeigeführt werden (Abb. 50). Die V-Stellung der Armflügel wird auf einen günstigen Wert zwischen + 3 und + 5° eingestellt und bleibt dann unverändert. Sobald nun die beiden Handschwingen einen Einstellwinkel von 0° erhalten, soll das Modell geradeaus gleiten. Wird dann die linke Handschwinge so eingestellt, daß ihre Flügelnase nach unten, die Flügelfahne aber nach oben zeigt (Pronation*), kommt eine Rechtskurve zu Stande (Abb. 50a). Umgekehrt erzielt man eine Linkskurve, wenn die rechte Handschwinge in der entsprechenden Weise verdreht wird.

Verringert man den Einstellwinkel, indem man beide Handschwingen in Pronationsstellung (Abb. 50b) bringt, nehmen der linke und der rechte Flügel in gleicher Weise sowohl an der Verlagerung des Auftriebsmittelpunktes als auch an der Auftriebsverringerung teil; das Modell bleibt im Geradeausflug, es wird aber schneller und gleitet steiler.

Derartige Veränderungen der Flugzustände treten nur ein, wenn sich die Einstellwinkelwerte im Bereich bis zu etwa — 5° bewegen. Werden diese Werte auf einer Seite unterschritten, erfolgt hier eine Quersteuerung; der Auftrieb bricht zusammen, und der Flügel wird auf dieser Seite des Modells nach unten gedrückt. Der umgekehrte Effekt tritt auf, wenn man den Handflügel so einstellt, daß die Flügelnase nach oben und die Flügelfahne nach unten geht (Supination). Auf der betreffenden Seite wird dann der Flügel vorwiegend von unten angeblasen; er wird abgebremst und zugleich angehoben (Abb. 50c). Hat z. B. die linke Handschwinge die Supinationsstellung (mit positivem Einstellwinkel) erhalten, kommt eine Linkskurve zustande, die allerdings unsauber geflogen wird, weil die Kombination von Flügelanhebung und Abbremsung ein negatives Wendemoment und damit einen unstabilen Flugzustand hervorruft. Die Pronationsstellung (negative Einstellung) der linken Handschwinge führt dagegen zu einer einwandfreien Rechtskurve (vgl. Abb. 50a). Die Nutzanwendungen für den rechten Flügel sind in analoger Weise zu ziehen. Extrem starke Pronation beider Handschwingen führen zur Quersteuerung. Starke Supination beider Handschwingen ruft eine Landeklappenwirkung hervor (Abb. 50d). Ein Vogelmodell kann fast auf der Stelle auf den Gegenkurs wenden; es geschieht dies, wenn der eine Handflügel in Supinations- der andere in Pronationsstellung gebracht wird. Steigflug, Seitensteuerung, Quersteuerung sowie Verringerung und Vergrößerung der Fluggeschwindigkeit lassen sich beim Vogelmodell allein durch Einstellungen der Handschwinge einleiten.**

---

* Anm. d. Red.: Mit dem lateinischen Begriff „Pronation" bezeichnet man in der Anatomie bzw. Physiologie diejenige Einwärtsdrehung des Vorderarms und der Hand, derzufolge, z. B. beim herabhängenden Arm, der Handteller nach hinten und der Daumen nach einwärts bewegt wird. Im Gegensatz dazu wird bei der Supination der Handteller nach vorne und der Daumen nach auswärts gedreht.

** Anm. d. Red.: Bei dem vom Autor beschriebenen Modell handelt es sich um eine für Gleitflugzwecke entworfene Starrflügelversion, in deren Schwingenform anatomische Besonderheiten des natürlichen Vogelflügels nachgebildet werden sollten. Gerade das Streben nach Naturtreue macht aber Hilfslösungen erforderlich, die es exakt in dieser Form weder beim technischen Starrflügelmodell (Nurflügel) noch beim lebenden Vogel gibt. Jener querschraffierte Zwickel (Abb. 47, Fig. 4), der am Kartonmodell zwischen den unterschiedlichen Einstellwinkelwerten der Hand- und Armschwinge vermittelt, ist für sich genommen schon aerodynamisch wirksam und modifiziert das Flugverhalten so weitgehend, daß der ursprünglich vom Autor beabsichtigte Vergleich zum Nurflügel kaum mehr gezogen werden kann. Während der Vogelflügel an der entsprechenden Stelle in einem kontinuierlich gekrümmten Übergang geschränkt ist, hat der Modellflügel einen Knick, der bei genügender Größe vermutlich zu einem Abreißen der Strömung im Außenflügel führen wird. Verringert man die Einstellwinkeldifferenz (Schränkung) rechtsseitig, so wird der Knick flacher, bzw. wirkungsloser: die Strömung liegt rechts an, und eine Linkskurve ist die Folge.

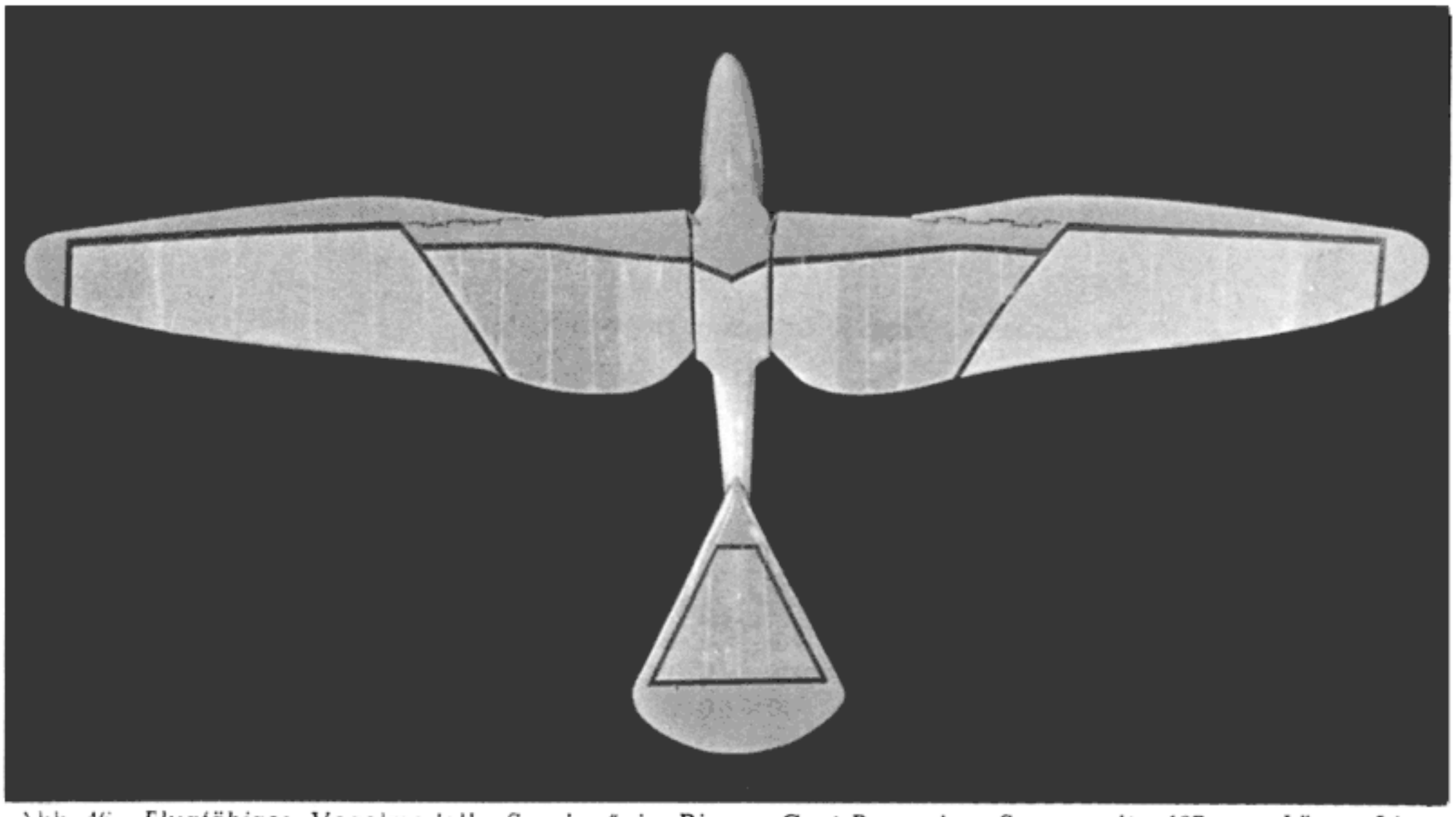


Abb. 46 *Flugfähiges Vogelmodell „Sperber" in Rippen-Gurt-Bauweise: Spannweite 107 cm, Länge 54 cm, Fluggewicht 192 g, Flächeninhalt 12,70 dm², Flächenbelastung 15,12 g/dm²*

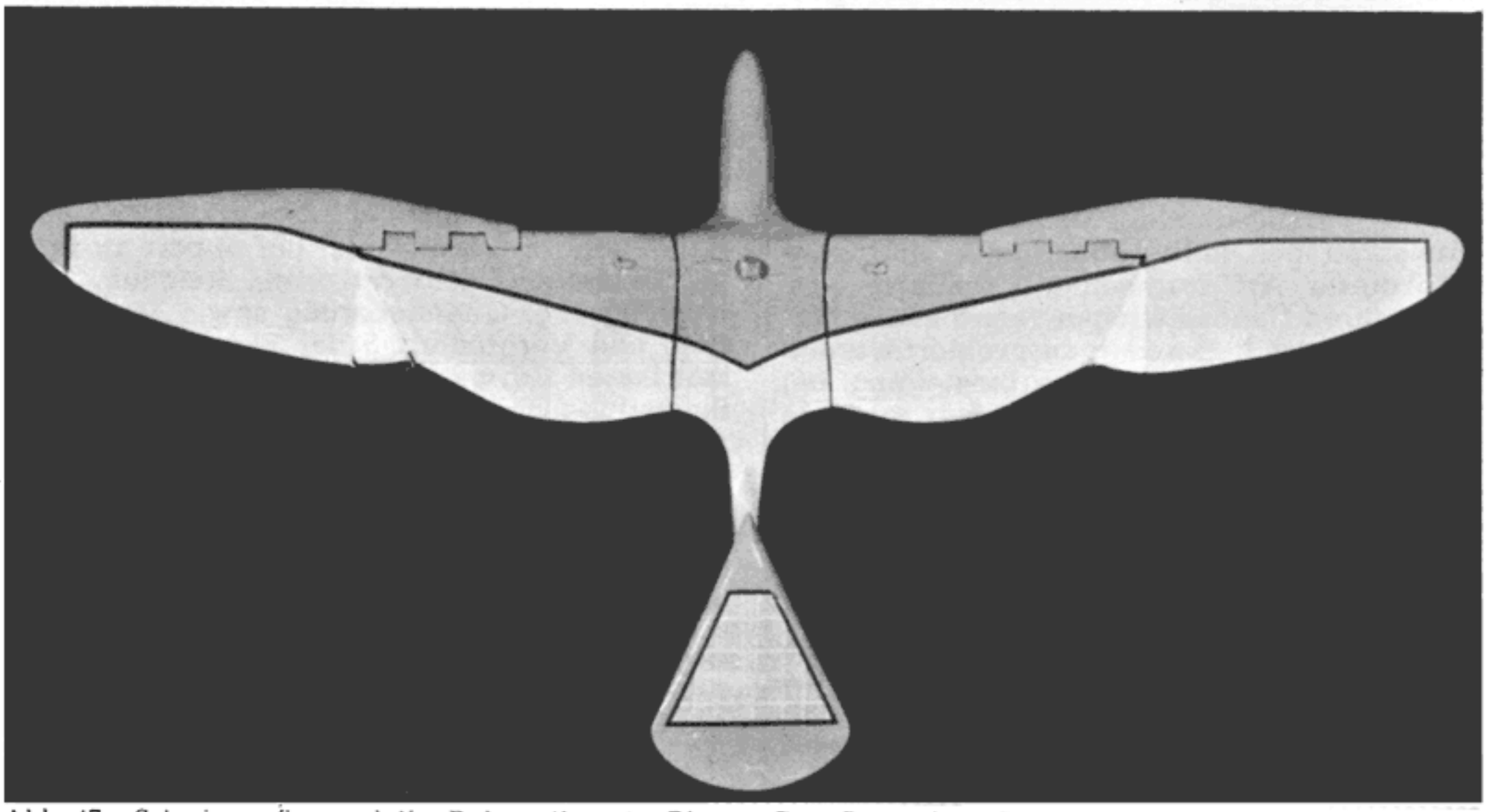


Abb. 47 *Schwingenflugmodell „Rohrweihe" in Rippen-Gurt-Bauweise: Spannweite 165 cm, Länge 87 cm, Fluggewicht 513 g, Flächeninhalt 34,70 dm², Flächenbelastung 14,80 g/dm²*

Versuche, die mit so einem verstellbaren Wurfgleiter durchgeführt wurden, haben selbstverständlich in erster Linie für die Gleitflugphase des Schwingenflugmodells Bedeutung; für den Kraftflug gelten die Ergebnisse nur mit Einschränkungen. Während der Flügelschläge des Kraftflugs treten nämlich viel größere positive und negative Veränderungen des Einstellwinkels auf, ohne daß dadurch die Fluglage im dargestellten Sinn beeinflußt werden könnte: Hier sind veränderliche Anstellwinkelwerte im Bereich von + 20° bis — 12° zulässig, und die Strömung reißt trotzdem nicht ab. Es hängt dies damit zusammen, daß sich das Modell beim Kraftflug vorwärts bewegt, so daß anders gerichtete Kräfte auftreten als beim Gleitflug. Einseitige Vergrößerung oder Minderung des Einstellwinkels wird sich aber trotzdem im Sinn der oben erwähnten Richtungsänderungen auswirken; nur sind die technischen Lösungen für eine Kombination von Kraftflug und Steuerung noch nicht ausgereift. Zunächst könnten wir zufrieden sein, wenn der Kraftflug ungesteuert und nur der Gleitflug steuerbar wird. Trotzdem läßt sich der Flug auch im erstgenannten Fall beeinflussen.

Bekanntlich hängt die Kraftflugleistung eines Schwingenflugmodells weitgehend vom Ausmaß der Drehschwingung des Handflügels ab. Beim Adler-Modell (vgl. MECHANIKUS 12/63, S. 487, Abb. 40) haben wir ein Verfahren gefunden, nach welchem diese Drehschwingung mittels eines Steuerhebels reguliert werden konnte. Der nämliche Mechanismus hat sich auch bei meinem Modell der Rohrweihe (Abb. 47) bewährt. Stellt man die Drehschwingung

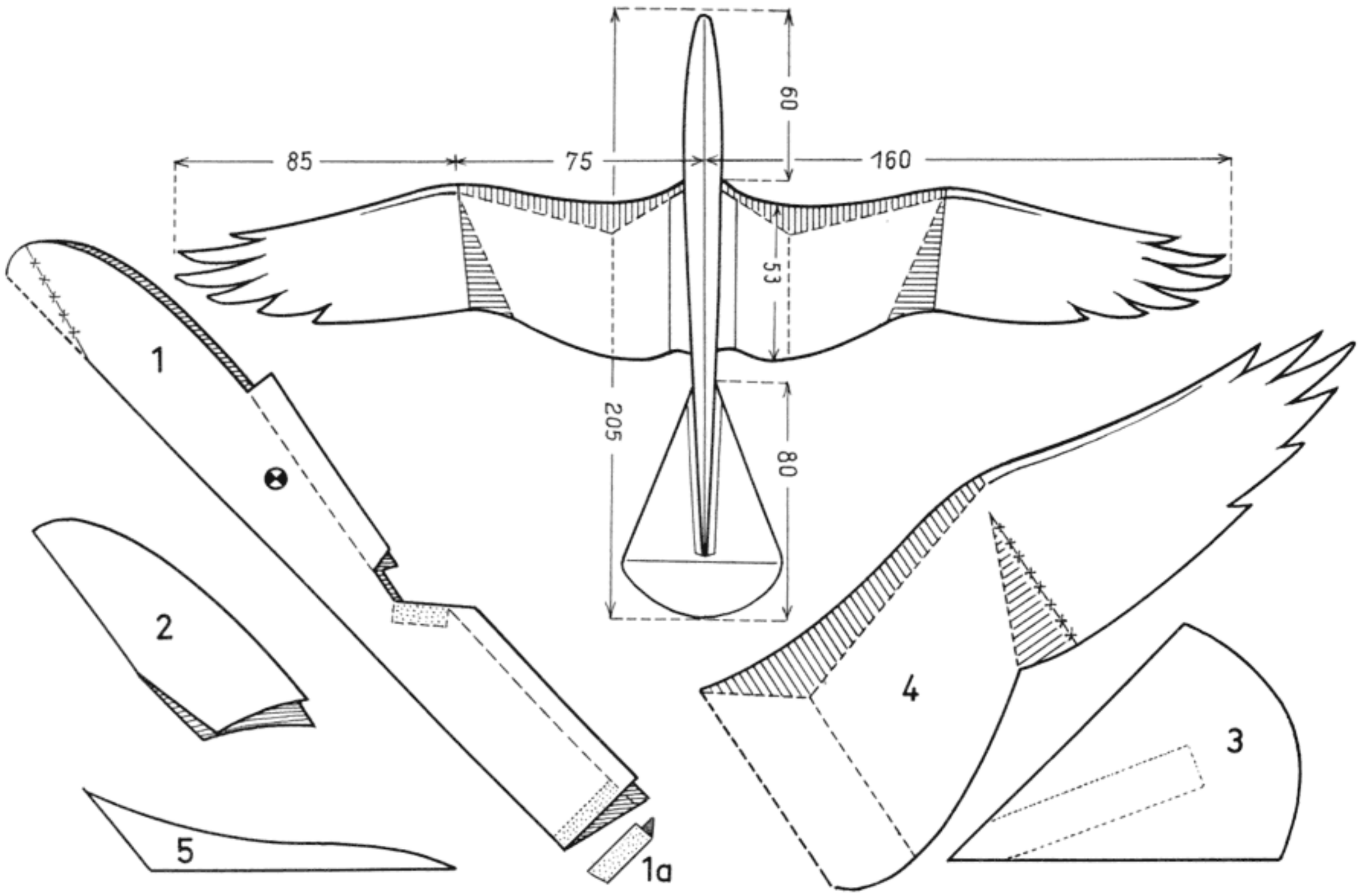


Abb. 48 *Flugfähiges Vogelmodell vom Typ „Saatkrähe" in Karton-Bauweise: Baumaterial bei 32 cm Spannweite, Schoellershammer Zeichenpapier G3; bei 48 cm Spannweite, Schoellershammer Zeichenpapier G5; bei 85 cm Spannweite, Balsa. Bedeutung der Zahlen und Zeichen: 1 = Rumpf, gestrichelte Linien nach außen, gestrichelte Linien mit Kreuzen nach innen falzen; 1a = Klebestreifen, bildet den Abschluß des Leitwerksträgers. 2 = Ballast, zweimal anfertigen und in den Rumpfkopf einkleben. 3 = Schwanzflosse, wird waagerecht auf den senkrecht stehenden Leitwerksträger aufgeleimt. 4 = Flügelpaar (abgebildet ist nur die Hälfte), wird in einem Stück hergestellt; dünn gestrichelte Linie bedeutet eine Falzung nach unten, gestrichelte Linie mit Kreuzen, eine Falzung nach oben. 5 = Flügelversteifung, ist nur bei Modellen mit größeren Abmessungen erforderlich. Schwerpunkt unter der Flügelmitte.*

auf verhältnismäßig kleine Werte ein, wird am Modell ein harter Flügelschlag erzielt, der bei hohem Kraftaufwand zu einem schnellen Geradeausflug mit merklicher Streckenleistung führt. Demgegenüber hat ein am Steuerhebel groß eingestellter Wert einen weichen Flügelschlag zur Folge; bei verringertem Kraftaufwand und minimaler Streckenleistung wird ein ziemlich steiler Steigflug ausgeführt. So lange noch kein sicheres Verfahren zur Fernsteuerung von Schwingenflugmodellen gefunden worden ist, muß man beim Kraftflug zwischen diesen beiden Möglichkeiten wählen. Trotz mancher Versuche, die ich in dieser Richtung unternahm, habe ich noch keinen Flügel entwickeln können, der sich in Abhängigkeit von der geringeren oder höheren Schlagfrequenz automatisch auf seinen jeweils besten Wirkungsgrad einstellte. Trotzdem scheint mir dies möglich zu sein.

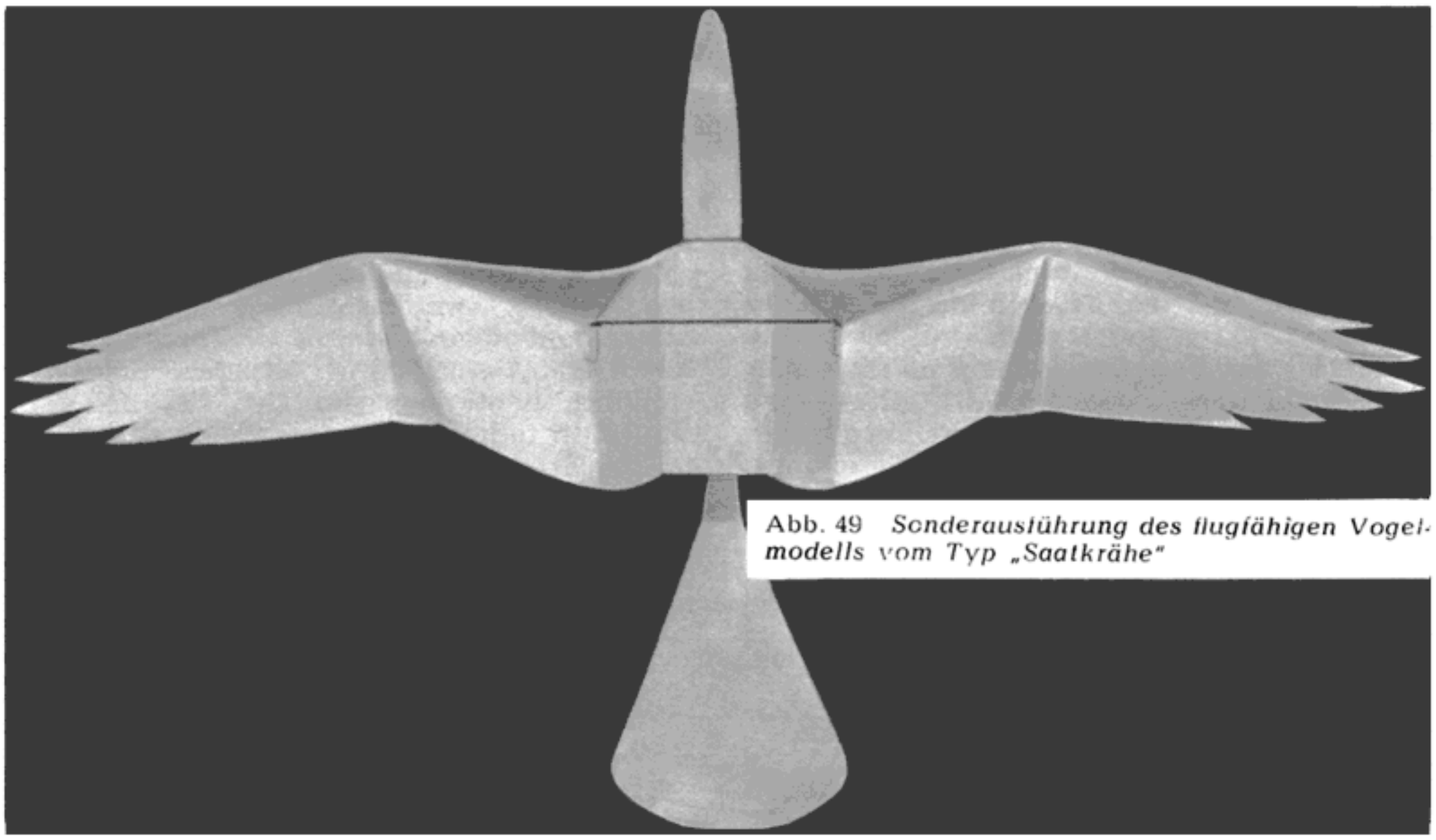


Abb. 49 *Sonderausführung des flugfähigen Vogelmodells vom Typ „Saatkrähe"*

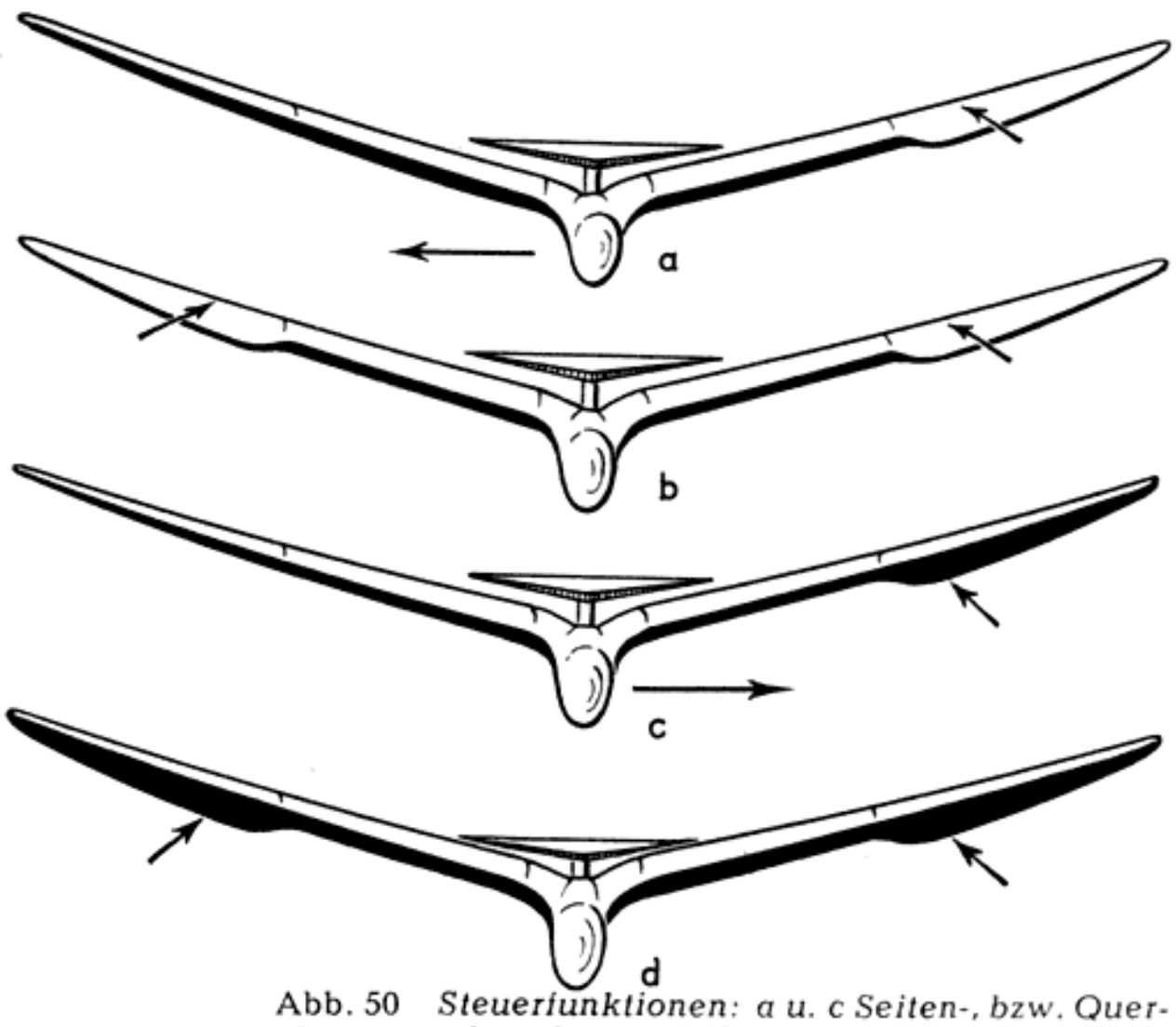


Abb. 50 *Steuerfunktionen: a u. c Seiten-, bzw. Quersteuerung; b steigen, c fallen*

Oftmals ist schon vermutet worden, der Kurvenflug des Vogels komme dadurch zustande, daß mit dem einen Flügel weiter oder schneller ausgeschlagen werde als mit dem anderen. Um derartige Ideen ad absurdum zu führen, baute E. v. Holst 1943 ein Versuchsmodell, das nur mit einem Flügel aktiv ausschlagen konnte. So lange man den Rumpf mit der Hand festhielt, bewegte sich ein Flügel im Schlagwinkel von 90°, und der andere stand still. Kaum wurde jedoch das Modell freigegeben, schlugen auf einmal beide Flügel im Winkel von je 45°, und der künstliche Vogel flog geradeaus davon. Obwohl nur die eine der Schwingen aktiv angetrieben wurde, machte die andere den Bewegungsablauf im Rhythmus der Schwingungsresonanz passiv mit — und die Flugrichtung blieb unverändert. Ein gleiches Experiment wiederholte ich 1953 mit meinem Schwingenflugmodell „Bussard" (vgl. Me. 4/63) und kam zum selben Ergebnis. Es kann somit als erwiesen gelten, daß der Vogel seine Richtungsänderungen auch während des Kraftfluges nicht anders als durch intensionsabhängige Flügelverwindung bewirkt.

Gleichgültig ob es sich um die Kraftflug- oder Gleitflugphase handelt, werden also Richtungsänderungen des Vogels sowie auch des Schwingenflugmodells ausschließlich durch veränderte Einstellung der Handschwinge bzw. beider Handschwingen herbeigeführt. Künstlich angebrachte Seitenruder, die ich versuchsweise an einzelnen meiner Vogelmodelle montierte, haben in keinem Fall eine merkliche Kursänderung bewirkt. Da ich stets die Proportionen lebender Wesen auf meine Modelle übernahm, war der Hebelarm immer zu kurz.

Steil ansteigende Steigflüge oder gar Rüttelflüge auf der Stelle, wie sie E. v. Holst mit einzelnen seiner Modelle vorgeführt hatte, sind mit meinen abgeänderten Baumustern nicht geglückt. Sie müßten aber bei einem Hochleistungsmodell ebenso möglich sein wie in der Natur, zumal die für den Hörsaal entwickelte Leichtbauversion dieses Kunststück ausgeführt hat.

Absichtlich stellte ich an den Schluß dieser Beitragsfolge ein kleines Verzeichnis der unerfüllten Wünsche, das man noch um vieles ergänzen könnte. Mir kam es nämlich darauf an, einem großen Publikum zu zeigen, wie ermutigend die Anfänge waren, und wie wenig weiterhin geschah.

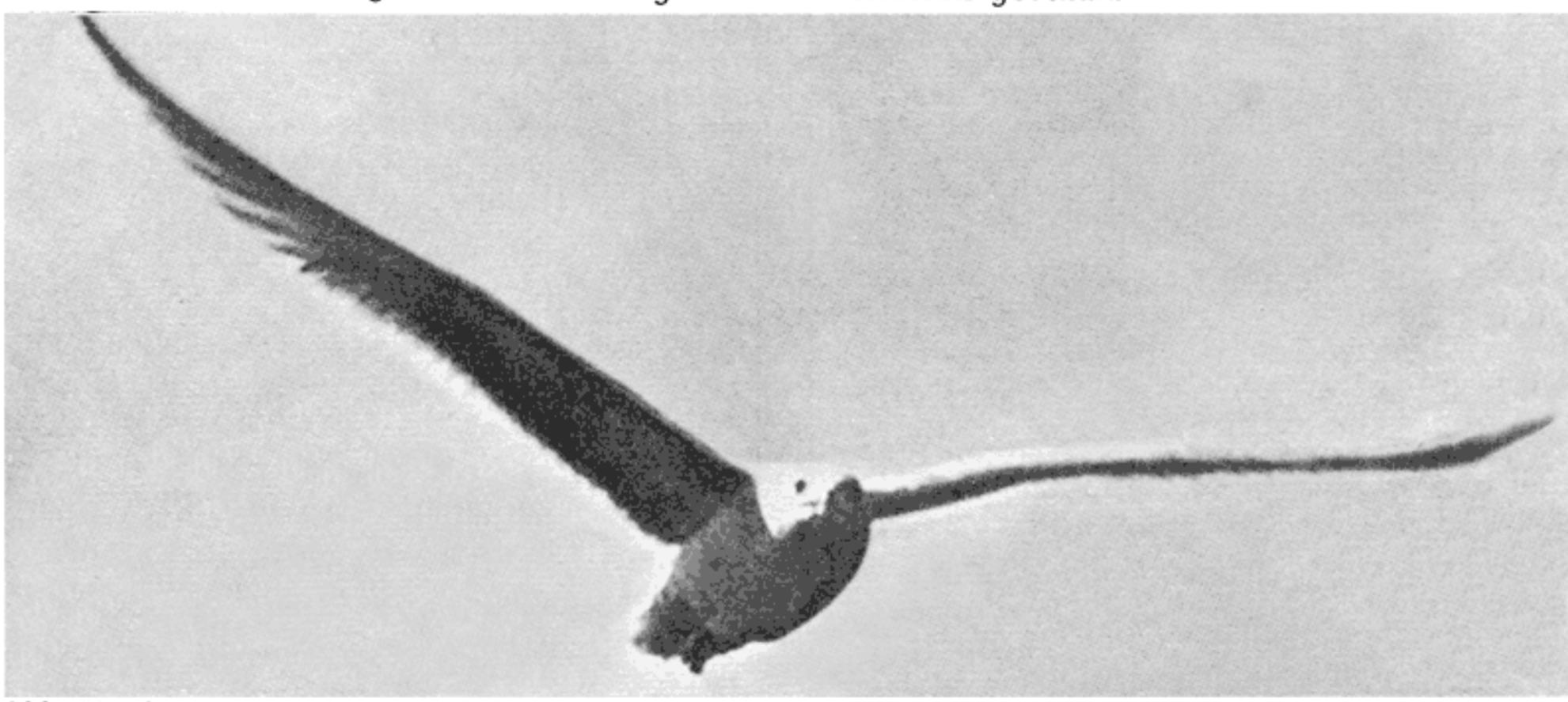


Abb. 51 *Seitensteuerung während des Ruderfluges. Hier wird der linke Flügel (im Bild rechts) mit starker Pronation nach unten geschlagen. Der Vogel kurvt rechts (im Bild links) ohne Kurvenüberhöhung.*

Mechanisch angetriebene freifliegende Schwingenflugmodelle gibt es schon seit geraumer Zeit. Wenn sich viele Leute mit diesem äußerst interessanten Spezialgebiet des Modellflugs beschäftigen, werden in absehbarer Zeit Schwingenflugmodelle mit Verbrennungsmotoren und Fernsteuerung fliegen. Selbstverständlich liegt dann der Gedanke nahe, ob man nicht technische Nutzanwendung für Luftfahrzwecke daraus ziehen sollte. Obwohl sich die Techniker längst anders entschieden haben, ist nämlich das manntragende Schwingenflugzeug keine Utopie.

Einstmals hatte die Natur wahre Giganten an

Abb. 52 *Gleitflug-Kurve nach links (im Bild rechts). Der höhergelegene Außenflügel ist verwunden (Pronation) und bewirkt eine Kurve mit Schräglage.*

flugfähigen Lebewesen hervorgebracht. Im Tertiär (Eozän) lebte ein Albatros, der Spannweiten bis zu 6,50 m erreichte. In den eiszeitlichen Ablagerungen Kaliforniens fanden sich die Knochen eines Geiers (teratornis incredibilis), der eine Flügelspannweite von etwa 7 m gehabt haben muß. Das größte Flugtier aller Zeiten war wohl die Kurzschwanz-Flugechse (pteranodon ingens) mit 8 — 9 m Spannweite. Die errechneten Fluggewichte halten durchaus den Vergleich mit denen kleiner Sportflugzeuge aus. Wenn man bedenkt, daß diese gewaltigen Massen durch Muskelkräfte auf riesigen Schwingen bewegt wurden, müßten unsere heutigen Motoren zur technischen Wiederholung dieser natürlichen Erscheinung jedenfalls ausreichen.

„Das Schwingenflugzeug bietet die Möglichkeit, einen Flugzeugtyp zu schaffen, der alle Eigenschaften in sich birgt und die Vorteile des Starrflügelflugzeuges mit denen des Hubschraubers vereinigt." Dieses Zitat stammt von Alexander Lippisch. Im Hinblick auf die Möglichkeit, Motorsegler mit Schlagflügel auszustatten, vermutete Wolf Hirth vor vielen Jahren: „Vielleicht kann man, wenn das Problem einmal gelöst ist, mit Schlagflügeln arbeiten, die in Ruhestellung keinen, oder doch nur vernachlässigbaren Widerstand bieten." Mit Schlagflügelflugzeugen wurden zu Beginn der fünfziger Jahre noch einmal erfolgversprechende Versuche gemacht. Das Schwingenflugzeug hat seine ganze Zukunft vor sich.

Bei Kriegsflugzeugen und in der großen Passagierluftfahrt wird man dem Arbeitsprinzip des Vogelflugs heute keine Chancen mehr einräumen dürfen; es kann hier nicht mit den modernen Verfahren konkurrieren. In der Sportfliegerei und im Modellflug ist dagegen das Feld noch weit und überdies offen.

K. Herzog

Quellennachweis

Bilder:

Autor-Archiv: Abb. 3, 11, 12, 17, 18, 19, 31 bis 35, 39 bis 45, 48 bis 50
Deutsches Museum: Abb. 1 und 2
Feneis, H. J.: Abb. 46 und 47
Holst, E. von: Abb. 10, 15, 16, 20 bis 30
Jerusalem, Chr., Dr.: Abb. 36 bis 38
Keystone: Abb. 7 bis 9
Schack, W.: Abb. 13 und 14, 51 und 52
MECHANIKUS-Archiv: Abb. 4 und 5

Literatur:

Augusta, J. — Burian, Z.: Flugsaurier und Urvögel. Artia 1961
Aymar, G. C.: Herrlicher Vogelflug. Verlag W. Krebser-Thum 1949
Demoll, R.: Die Flugbewegungen bei großen und kleinen Vögeln. Zeitschr. für Biol., Bd. 90, Jahrgang 1930
Focke, H.: Wie die Möwe fliegt. In: Wunder des Möwenfluges. Von W. Schack, Umschauverlag Frankfurt 1943
Gymnich, A.: Der Segelflugmodellbau in Theorie und Praxis. Otto Maier Verlag, Ravensbg. 1951/1959
Hirth, W.: Handbuch des Segelfliegers. Franckh-Verl. Stuttgart 1957
Holst, E. von: Untersuchungen über Flugbiophysik. Biol. Zentralblatt 63, 1943
Holst, E. von: Über „künstliche Vögel" als Mittel zum Studium des Vogelfluges. Journ. für Ornithol. 91, 1943
Holst, E. von: Prinzipien des Tierfluges und ihre technische Bedeutung. Fra fysikkens verden 1951
Holst, E. von: Vom Vogelflug und von „künstlichen Vögeln". Das neue Universum, Bd. 71, Jahrgang 1954, Seite 186—193
Holst, E. von: Der Saurierflug. Paläont. Zeitschrift, 31 Stuttgart, 1957
Jacobs, W.: Fliegen, Schwimmen, Schweben. Springer-Verlag, Heidelberg, 1954
Jedelsky, E.: Fünf Jahre Profilentwicklung in Wien. Der Modellflug, C. Lange-Verl., Duisbg. 1953/54, Seite 83—87
Lilienthal, O.: Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. Berlin, 1889
Lippisch, A.: Gedanken zur Entwicklung des Schwingenfluges. Der Modellflug, Band 3, Jahrgang 1938, Nr. 1
Lippisch — Stammer: Der Bau von Flugmodellen. Volckmann-Verl., Berlin, 1937
Lorenz, K.: Beobachtetes über das Fliegen der Vögel. Journ. für Ornithol. 81, Jahrg. 1933, S. 107—235
Mechanikus: Hinein in die Thermik durch Schlagflügel. Eßlingen 1954/55, Seite 212
Supf, P.: Die Eroberung des Luftreiches. Konradin-Verl., Stuttgart, 1955
Supf, P.: Das Buch der deutschen Fluggeschichte. Bd. I, Dreibrunnen-Verlag, Stuttgart, 1958
Schmidt, H.: Der Flug der Tiere. Waldemar Kramer-Verl., Frankfurt, 1960
Schmitz, F. W.: Aerodynamik des Flugmodells. Carl Lange-Verl., Duisbg., 1953
Stolpe, M. — Zimmer, K.: Physikalische Grundlagen des Vogelfluges. Journ. für Ornithol. 85, 1937
Stolpe, M. — Zimmer, K.: Der Vogelflug. Leipzig, 1939
Stresemann, E.: Aves. Kükenthals Handbuch der Zoologie, 1927/34
Thomsen, O.: Fliegen liegt in der Luft. A. Schumacher-Verl., Berlin, 1953

K. H.

Bastelbücher – Baupläne sowie auch alle anderen Bücher liefert auch auf Teilzahlung. Feldberg-Buchhandlung, 6 Frankfurt/M.-Bonames. Prospekt A 1 gern kostenlos und unverbindlich.