
Heft 11 November 1939
1914 und 1939 – Flieger von heute und gestern! – Vom Moskauflug bis Ankara – D-1848, ein Film von unseren Fliegern – Kennst Du die Flugzeuge unserer Feinde?
Der Deutsche Sportflieger
Zeitschrift für die gesamte Luftfahrt

Artikel aus „Der Deutsche Sportflieger Jahrgang“ 1935, 1936 und 1937

Muskelschwingenflieger

Von Adolf Piskorsch, Odersch, Bez. Troppou

Nachstehend bringen wir den Beginn einer Aufsatzreihe über ein in der Öffentlichkeit noch wenig besprochenes, aber in Fachkreisen umso heftiges umstrittenes Problem. Wir glauben mit diesem Beitrag aus der Feder eines bekannten Fachmannes dem Wunsche der Mehrzahl unserer Leser zu entsprechen, um so mehr, als gerade jetzt durch die hohe Entwicklung, die der Segelflug erreicht hat, und durch das Preisausschreiben der Polytechnischen Gesellschaft in Frankfurt a. M. die Lösung des Muskelkraftfluges wieder in den Brennpunkt des Interesses gerückt ist.
Die Schriftleitung.

Seit Jahrtausenden träumt die Menschheit davon, das Fliegen zu erlernen. Der Wunsch klingt aus den Sagen der Inder und Perser; er verkörpert sich im klassischen Griechenland in Dädalus und Ikarus, die aus dem Labyrinth Kretas auf selbstgefertigten Flügeln entfliehen, und im Norden in Wieland dem Schmied, der sich zum Vorbild den fluggewaltigen Seeadler wählt. Seit Jahrhunderten hat es nicht an Versuchen gefehlt, diesen Traum zu verwirklichen. Der Versuch lag am nächsten, es ebenso zu machen, wie es die Natur gemacht hat: den Flug-apparat des Vogels genau zu kopieren und die künstlichen Flügel durch die Kraft der Muskeln in Bewegung zu setzen.

Schon vor fast 400 Jahren hatte

Leonardo da Vinci,

einer der genialsten Denker aller Zeiten, sich mit dem Schwingenflug der Vögel beschäftigt und auch eine Anzahl von Flugapparaten entworfen. Die kräftigen Streckmuskeln der Beine sollten den Niederschlag der Flügel herbeiführen, während die Arme diese durch zwei Hebel aufrichten sollten. - An eine Ausführung seiner Ideen ist Leonardo wahrscheinlich nicht herangetreten; seine Träume blieben mit seinen Skizzen verborgen und wurden erst in neuerer Zeit publiziert.

Nachdem verschiedene andere Projekte im Laufe des 18. Jahrhunderts gescheitert waren, trat

der Wiener Uhrmacher Jakob Degen

mit einem originellen Flugproblem an die Öffentlichkeit. Er nahm die Maße für die Flügel vom Adler, indem er sich diesen so vergrößert dachte, dass er so schwer würde wie ein Mensch. Auf Grund dieser Überlegung benützte er eine Tragfläche von 12 qm. Die Flügel bewegten sich nicht in Gelenken wie beim. Vogel, sondern waren durch eine horizontale Stange zu einem elastisch starren Ganzen verbunden. Der Flieger selbst stand auf einer weiteren Horizontalstange und bewegte diese sowohl wie die erste auf und nieder, wenn er sich gegen die untere Stange stemmte und die obere zu sieh emporzog. So nützte der geniale Techniker die gesamte Körperkraft vorzüglich aus. Der Apparat war

außerordentlich leicht und wog nur 9 kg. Jeder Flügel bestand aus 3500 einzelnen Klappen. Degen wusste bereits, dass der vertikale Aufstieg, für den sein. Apparat konstruiert war, von allen Flugarten die schwerste sei, können doch selbst von der großen Vogelklasse Mir einige den Vertikalflug ausführen. Dennoch schien sie ihm für den Anfang die einzige Lösung. Die Versuche ergaben, dass durch die Schwingenbewegung ein ziemlich bedeutender Auftrieb erreicht, wurde: Degen vermochte das Körpergewicht bis auf einen Rest von 33 kg in der Schwebe zu halten. Um nun diesen Rest noch zu tragen, kam er auf eine unglückliche Idee. Ein kleiner Ballon sollte ihm den noch fehlenden Auftrieb verschaffen. Bei ganz unbewegter Luft gelang ihm dann der Auftrieb in der Tat; aber sobald ein schwacher Wind wehte, wurde der Flieger trotz aller Anstrengungen dorthin getragen, wohin nicht er, sondern der Wind wollte. lind so kam jener tragikomische Anblick zustande, der die höchste Spannung der Pariser in Enttäuschung und wütenden Hohn verwandelte, als der fremde Mechaniker ihnen seine Künste zeigen wollte.

Trotz der Misserfolge Degens tauchten in der Folgezeit weitere Projekte von Schwingenfliegern auf; ich erinnere da nur an den tragikomischen Sprung des Ulmer Schneiderleins Berblinger, der es wagte, vom hohen Turmgerüst sich mit seinem Schwingenflieger in die Luft zu werfen, um dann mit hochgeklappten Flügeln in die Donau zu fallen.

Daraufhin vergingen fast weitere 100 Jahre, ehe sich jemand fand, der das Problem, welches jeden zum Narren stempelte, wieder aufgriff.

Otto Lilienthal, der Vater des deutschen Flugwesens,

stellte gemeinsam mit seinem Bruder Gustav derlei Schwingenflugversuche an. Da nach dem damaligen Stande der Aerodynamik die Muskulatur des Menschen jedoch nicht ausreichte, um die Flügel wirkungsvoll zu schlagen, ging Lilienthal zur Konstruktion des Gleitflugzeuges über. Später, nach Gelingen unzähliger Gleitflüge, wollte Lilienthal die abwärtsgeneigte Flugbahn durch Flügelschläge zu einem waagrechten Flug verbessern. Der Antrieb sollte durch einen Kohlensäuremotor erfolgen. Die Versuche mit dem Schlagflügelapparat wurden jedoch durch den Fliegertod Otto Lilienthals 1896 abgebrochen.

Und so tauchten dann noch viele Schwingenfliegerkonstruktionen auf; Schwingenflieger mit Muskelkraftantrieb als auch, als die Entwicklung des Explosionsmotors weiter geschritten war, mit Motorantrieb. Und das Ergebnis? Immer dasselbe**: Kleinholz - Alteisen. Mit keinem dieser Schwingenflieger konnte ein freier Flug erzielt werden.**

Warum ist nun der Schwingenflieger eicht über das Versuchsstadium hinausgekommen?

Größtenteils liegt dies in mangelnder Erkenntnis des Schwingenflugproblems selbst, anderseits in den sich ergebenden großen Konstruktionsschwierigkeiten.

Betrachten wir uns einmal diese missglückten Schwingenfliegerkonstruktionen, so zeigt es uns die Laienhaftigkeit ihrer Erbauer.

Es gibt z. B. eine Reihe von Konstruktionen, bei denen die Flügel beim Abwärtsschlage sich ausbreiten und beim Flügelhub, um einen geringen Luftwiderstand zu erzeugen, sich zusammenfalten. Selbst der projektierte Schwingenflieger von Leonardo da Vinci beruhte auf diesem Prinzip. Derselbe war

nach dem Vorbild der Fledermaus

entworfen. — Nach einer Skizze sollte eine Schnur das Ausstrecken, eine andere das Zusammenlegen der Flughaut ausführen. Bald jedoch muss es ihm eingefallen sein, dass er die eine Schnur sparen könne: ein spanisches Rohr war dazu bestimmt, die Ausbreitung der Flughaut automatisch herbeizuführen.

Dann gab es Schwingenflieger, die stark gewölbten Flügel besaßen, die beim Niederschlag die Luft mit der hohlen Seite und beim Aufschlag mit der gewölbten Seite verdrängten, wo-durch ja auch ein veränderter Luftwiderstand entsteht. — Diese Konstruktionen waren die ungünstigsten.

Der größte Teil der Schwingenfliegerkonstruktionen basierte jedoch auf der

Idee der Ventilklappenansieht.

Bei Beobachtung des Fluges der Krähe oder des Storches z. B. bemerkte man die Spreizung der Schwungfedern. Sofort schloss man hieraus, dass die Flügel sich beim Aufschlag jalousieartig öffnen und dadurch der Luft gestatten, ohne einen Druck auf der Flügelsaugseite auszuüben, vorbei zu streichen, beim Niederschlag sich jedoch schließen und die Luft mit ihrer ganzen Fläche treffen. Bei geringer Aufmerksamkeit ist jedoch ganz deutlich zu erkennen, dass diese Ventilklappenansicht gar nicht zutreffend ist, bemerkt man doch, dass diese Spreizung der Schwungfedern beim Niederschlag noch größer ist, und betrachten wir den Flug der Meeresflieger, z. B. der Möwen, so finden wir, dass hierbei die Schwungfedern niemals einzeln sichtbar sind, der Flügel also sowohl beim Auf- und Niederschlag eine geschlossene Fläche bildet. Aber auch die kleine Überlegung, dass bei Insekten und Fledermäusen bei der den ganzen Flügel umspannenden Flughaut ein jalousieartiges Öffnen der Flügel nicht eintreten kann, zeigt uns die Haltlosigkeit dieser Theorie. Aber gerade diese Ventilklappenansicht nahm bei den Schwingenfliegerkonstruktionen einen breiten Raum ein. — So hatte ja der Apparat Degens, wie ich schon erwähnte, an jedem Flügel eine Gliederung von 3500 Klappen. Oder nehmen wir als anderes Beispiel, den

Schwingenflieger von Colomb.

Die Beschreibung dieses Apparates ist kurz folgende: die Tragflächen sind als Klappen ausgebildet, die sich öffnen und den Luftstrom durchlassen, sobald sich die Flügel nach oben bewegen; beim Niederschlag schließen sich die Klappen und drücken so die Luft nach unten.

Und so könnte ich noch eine Menge Schwingenflieger auf-zählen, die alle auf dem irrtümlichen Prinzip der Ventilklappenflügel aufgebaut sind; es ist daher nicht zu verwundern, dass der Erfolg ein negativer sein musste.

Der eigentliche Scheiterunggrund aller Schwingenflieger liegt jedoch weniger auf diesen hier aufgezählten, auf falscher Grundlage basierenden Bewegungsprinzipien, sondern hat seine Ursache in dem großen Auftreten der alternativen Trägheitskräfte beim pulsierenden Flügelschlag. Die hier zur Anwendung gelangende Winkelbewegung der Flügel benötigte eine große Zusatzenergie zur Bewältigung der Umkehrmomente in den Endpunkten. Das war der Haken, der die Schwingenflieger der Vergangenheit mit der Mutter Erde verkettete und keinen freien Flug zuließ.

Und so ist es nicht zu verwundern, dass dann, bei diesen Misserfolgen aller Schwingenfliegerkonstrukteure, und als die riesenhaften Erfolge des Drachenfluges eintraten, gewisse „Flugfachleute" das Schwingenflugproblem, als einen „überwundenen Standpunkt" mit solchen und ähnlichen Bemerkungen abtaten:

Die Wege der Technik sind nicht die Wege der Natur. Die Technik kann kombinieren, die Natur kann es nicht. Ebenso wenig wir jetzt daran denken, eine Geh- oder Sprungmaschine zu bauen, um unseren Körper oder Lasten fort zu bewegen, so wenig wird man noch an den Bau von Schwingenfliegern denken. Wenn auch die Natur im Laufe der Jahrtausende das Schwingenflugprinzip bei Vögeln und Insekten zur höchsten Vollendung gebracht hat, so müssen wir uns sagen, dass die Technik die Pendelbewegung durch das Rotationsprinzip längst überholt hat. Schon die großen bewegten Massen, die uns beim Schwingenflug entgegentreten, lassen uns den Betrieb unrationell erscheinen, da ein Großteil der aufzuwendenden Kraft zur Vernichtung der entstehenden Trägheitskräfte verbraucht werden muss, für die Nutzbarkeit also verloren geht. Nur ein Trotzkopf könnte sich daher mit der Lösung des Schwingenflugproblems beschäftigen.

Und doch hat es wieder Männer gegeben, die sich mit der, Lösung des Schwingenflugproblems befassten, die sich sagten,
dass der übermäßige Kraftaufwand einer Flugmaschine in gar keinem Verhältnis steht zum erzielten Effekt, dass die Natur im Tierflug ein weit ökonomischeres Fortbewegungsmittel geschaffen hat!
Von der Überlegung jedoch ausgehend, dass der Scheiterunggrund aller. Schwingenfliegerkonstruktionen in dem, die Winkelbewegung begleitendem großen Auftreten der alter. nativen Trägheitskräfte zu suchen sei, beschritt man den Weg nach dem

Wellsschen Prinzip,

d. h. man wandte die Parallelbewegung an. (Durchgehender Flügel ohne jegliche Gelenke.) Reiffenstein stellte der. artige Modellversuche an und veröffentlichte die Untersuchungen 1923 in der „Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschifffahrt". Reiffenstein kommt zu folgendem Schluss: „Es zeigt sich also, dass, auf dem

Wellsschen Prinzip aufgebaut, der Schwingenflieger aus einer zwar technisch interessanten, aber praktisch kaum durchfühlbaren Konstruktion zu einem einfachen, Erfolg versprechendem Gebilde wird.“ - Versuche im Großen wurden meines Wissens nicht angestellt. Sollte dies die richtige Lösung des Schwingenflugproblems in der Praxis sein? Schon die Überlegung, dass die Natur bei keinem Flugtier das Parallelbewegungsprinzip angewandt hat, muss uns, sagen, dass dieser Weg nicht die richtige Lösung bringen kann. Die Natur als Lehrmeisterin betrachtend, müssen wir daher, auch in der Praxis die gegebene Winkelbewegung richtig zuwenden trachten. — Wie weiter unten zu ersehen sein wird können auch in der Praxis die bei der Winkelbewegung auftretenden alternativen Trägheitskräfte annulliert werden.

Hier zeigt uns aber wieder die Natur einen Weg, nachdem auch beim manntragenden Schwingenflieger das Prinzip der Schwingungsresonanz angewandt werden kann. Die Libelle mit ihren zwei Flügelpaaren kann uns hier als Vorbild dienen. Durch diese Mehrflügelanordnung wird es möglich, bei der daraus sich ergebenden geringen Flügelspannweite Flügel mit geringem Eigengewicht und großer Eigenelastizität zu bauen, wodurch also ebenfalls das Prinzip der Schwingungsresonanz an-gewandt werden kann.

Die dritte Möglichkeit der Annullierung der alternativen Trägheitskräfte finden wir bei den mittelgroßen Flugtieren in dem hier zur Anwendung gelangenden Rotationsprinzip. Durch dieses Rotationsprinzip werden die alternativen Trägheitskräfte vollkommen ausgeschaltet. Das Rotationsprinzip wird wie gesagt, bei allen mittelgroßen Flugtieren angewandt (Krähentyp), aber auch bei den Insekten mit hoher Flächenbelastung.

Für einen motorisierten Schwingenflieger ist die Anwendung des Rotationprinzips die günstigste Lösung. Die Bestätigung dieser Annahme finden wir auch schon in den von Ing. Goedecker gemachten Versuchen, die ergeben hatten, dass von allen seinen Versuchsmodellen der „Urvogel" mit rotierenden Flügeln die günstigsten Flugeigenschaften aufwies. Meine diesbezüglichen Versuche zeigten ebenfalls, dass beim Motorantrieb der Rotationsschwingenflieger mit Mehrflügel-anordnung die beste Lösung des Schwingenflugproblems darstellt.

Anders jedoch liegen die Verhältnisse beim Schwingenflieger mit Muskelkraftantrieb. Der menschliche Organismus ist, wie schon gesagt, für die schwingende Bewegung eingestellt. Der Muskelmotor eignet sich daher auch nicht zur Rotationsbewegung. Andererseits kann im Gegensatz zum Prinzip der Schwingungsresonanz durch das Rotationsprinzip die im Luftmeer enthaltene Energie nicht so gut in flugfördernder Weise ausgenützt werden. Aus diesen Gründen eignet sich das Rotationsprinzip nicht für den Muskelschwingenflieger. Die vierte Möglichkeit der Annullierung der alternativen Trägheitskräfte finden wir bei den großen Flugtieren (Storchtyp) im wechselseitigen Bewegungsspiel von Flügelarm und -Hand.

Bei den großen Flugtieren könnte wegen der hohen Flächenbelastung einerseits als auch wegen der geringen Schlagzahl das Prinzip der Schwingungsresonanz nicht angewandt werden. Desgleichen kann aber auch hier nicht das Rotationsprinzip, das bei den mittelgroßen Flugtieren die günstigste Bewegungs-art darstellt, mit gutem

Nutzeffekt angewandt werden. Die Ursache liegt in dem Umstand des geringen Schwingungsaus-schlages bei den großen Flugtieren, verbunden mit der geringen Schlagzahl und des daraus resultierenden spitzen Stoßwinkels.

Nach diesem Prinzip befindet sich der Flügelarm, d. h. die Flügelmasse schon in der Bewegungsumkehr, während die masselose Handschwinge, die ja nur aus Schwungfedern besteht, sei es durch Eigenelastizität oder durch aktive Betätigung, im Handgelenk auspendelt. Durch dieses Auspendeln der Handschwinge wird in den Endpunkten der Flügelarm entlastet und durch die hierbei auftretende passive Expansionskraft zur Bewegungsumkehr gezwungen.

Die Beobachtung des Fluges der großen Flugtiere zeigt deutlich die typische Flügelbewegung im Ober-, Unterarm und Handgelenk. Der Flügelarm wird schon angehoben, während die Handschwinge den unteren Totpunkt noch nicht erreicht hat. Die Massenträgheit der Flügel wird überwunden, indem die-selben die Bewegungsumkehr in Etappen durchführen.

In diesem wechselseitigen Bewegungsspiel von Flügelarm und -Hand finden wir auch die Ursache des Auftretens des ungleichen Zeitverhältnisses von Auf- und Niederschlag. Bei den großen Flugtieren beträgt bekanntlich das Zeitverhältnis von Auf- und Niederschlag wie 2:3, d. h. schneller Aufschlag und langsamer Niederschlag. Was dies für die Flugökonomie für eine Bedeutung hat, ist leicht einzusehen. Und hier zeigt sich die Meisterleistung der Natur. Der Flügelarm, d. h. die Flügelmasse selbst benötigt die gleichen Zeiten für Auf- und Niederschlag. Hier könnte die ungleiche Schwingung nur durch großen Kraftaufwand zustande kommen. Bei der masselosen Handschwinge dagegen kann die exzentrische Schwingung ohne Kraftaufwand erfolgen.

In der Praxis wird, auf diesem Prinzip aufgebaut, der Muskelschwingenflieger, wenn auch hier konstruktiv größere Schwierigkeiten auftreten, die größte Flugökonomie besitzen. Keiner der Schwingenflieger der Vergangenheit war nach einem dieser hier aufgezählten Bewegungsprinzipien gebaut.

Im Wesentlichen basierten sie, abgesehen von der Ventil-klappentheorie, auf der Herzschen Theorie:

Der Vogelflügel ist ein elastisches Gebilde, dessen Vorderrand durch das Skelett starr ist, während es nach hinten an Festigkeit immer abnimmt. Die Muskulatur setzt sich natürlich am Skelett, also am vorderen Rande an, und das hat die wichtige Folge, dass sich der Flügel, wenn er auf die Luft drückt, sowohl beim Senken als auch beim Heben schief stellt, weil der Luftdruck den Hinterteil entweder hebt oder herabsenkt.

Ich will damit sagen, dass die Flügel der Schwingenflieger am Vorderrand ebenfalls starr konstruiert waren, d. h. also nur Torsionselastizität besaßen. Betrachten wir uns jedoch den Vogelflügel, dann sieht man sofort, dass die Herzsche Theorie sehr unvollkommen ist.

Zieht sich denn beim Vogelflügel das starre Skelett über die ganze Flügelspannung? Wir finden, dass gerade bei den Schwingenfliegern, im Gegensatz zu den ausgesprochenen Seglern, diese Flügelteile mit starrem Skelett, also Ober- und Unterarm, nur ca. 1/3 der ganzen Flügellänge betragen, während die Handschwinge, die ja nur einen Skelettstummel aufweist, aus sehr elastischen langen Schwungfedern besteht. — Der Grund hierfür ist nach dem Vorhergesagten einleuchtend (Schwingungsresonanz). Betrachten wir uns z. B. die Schwingenfliegerkonstruktionen von Soltau: der Flügelholm, also der Vorderrand bestand aus Stahlrohr; diese Konstruktion basierte auf der Herzschen Theorie — bei anderen Konstruktionen waren die Flügel sogar mit Versteifungsbrücken versehen. Diese Flügel wiesen gar keine Vertikalelastizität auf. Da nun nach diesen Flügelkonstruktionen dieselben infolge jeglichen Fehlens eines internen Arbeitsvermögens nicht auspendeln konnten und andererseits bei dieser Starrholmflügelkonstruktion auch das Gewicht der Flügel ein viel Größeres im Verhältnis zu den elastischen Flügeln unserer Naturvorbilder war, konnte ein derartiger Schwingenflieger nicht rationell arbeiten, da ja schon ein Großteil der aufzuwendenden Energie zur Vernichtung der entstehenden Trägheitskräfte verbraucht werden musste.

Um die alternativen Trägheitskräfte klein halten zu können, beschritt man zwei Wege: Man ging z. B. von der Überlegung aus, kleine Flügel zu verwenden, um die Flügelmasse selbst gering halten zu können. Um jedoch bei diesen kleinen Flügeln den zum Schweben erforderlichen Auftrieb erzeugen zu können. war demnach ein schneller Flügelschlag Bedingung. Da nun aber die alternativen Trägheitskräfte proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit anwachsen, war ebenfalls, um die Flügel wirkungsvoll in Bewegung setzen zu können, ein großer Kraftaufwand erforderlich.

Ging man jedoch den anderen Weg, um durch große Flügel mit langsamem Flügelschlag die alternativen Trägheitskräfte gering halten zu können, stieß man wieder auf unüberwindliche Schwierigkeiten. Bei diesen großen Flügelabmessungen wurden die Flügel sehr schwer. Da nun aber der Kraftantrieb am kurzen Hebelarm nahe beim Flügeldrehpunkt angreift, war ebenfalls eine große Energie erforderlich, um diese großen schweren Flügel bewegen zu können. — Wir sehen, die Verfolgung beider Wege bringt uns in eine Sackgasse. Um die alternativen Trägheitskräfte auf ein geringes Maß zu reduzieren, wandte man daher, wie schon gesagt, die Parallel-bewegung nach dem Wellsschen Prinzip an, sowie nach dem Balancierprinzip (Tilp).

Wie ich in der letzten Folge erwähnte, werden beim Tierflug die durch die Winkelbewegung auftretenden alternativen Trägheitskräfte annulliert, daraus ist zu ersehen, dass auch in der Praxis trotz der Winkelbewegung diese alternativen Trägheitskräfte ausgeschaltet werden können. Auf diese praktische Lösungsmöglichkeit

werde ich bei Behandlung der einzelnen Fälle näher eingehen. Jedenfalls erkennen wir schon jetzt, dass die sogenannten „Flugfachleute", die den Schwingenflug als einen überwundenen Standpunkt abtaten, sich in doppelter Hinsicht geirrt hatten: erstens kann die Massenträgheit der Flügel, sowohl durch das Resonanzprinzip als auch nach

dem Storchflugprinzip überwunden werden und zweitens hat auch der Ausspruch, dass die Technik die Pendelbewegung des Tierfluges durch das Rotationsprinzip schon längst überholt hat, keine Gültigkeit, da ja die Natur z. B. im Krähentyp ebenfalls das Rotationsprinzip zur Anwendung brachte. Auf diesem letzten Prinzip ist nebenbei bemerkt mein Rotationsschwingenflieger aufgebaut; in einem besonderen Artikel werde ich ausführlich auf diese Konstruktion zu sprechen kommen. —

Damit kommen wir nun zur Konstruktion des Muskelschwingenfliegers. Wie schon gesagt, die konstruktiv einfachste Lösung eines Muskelschwingenfliegers stellt das Segelflugzeug mit Schlagflügelantrieb dar. Die wichtigste Bedingung bei einem derartigen Flugapparat ist die Erzeugung hinreichender Vortriebswirkung mittels der Triebflügel.

Gustav Lilienthals im Jahre 1927 erbauter motorisierter Schwingenflieger basierte auf diesem Prinzip. Die ca. 3,5 Meter langen Schlagflügel waren mittels einfacher Scharniergelenke an den Enden des starren Flügelmittelstücks angegliedert. Die Spannweite des Apparates betrug 15 Meter. Die Schlagflügel bestanden aus einem Kastenholm, der in die Flügelvorderkante verlegt war, also Starrholmkonstruktion, sowie aus elastischen Rippen. Die Flugversuche ergaben jedoch nur ein sprunghaftes Abheben vom Boden; es konnte mit diesem Apparat kein freier Flug erzielt werden.

Wo liegen die Fehlerquellen?

1. Wie ich schon sagte, ist bei einer derartigen Konstruktion die wichtigste Bedingung Erzeugung hinreichender Propulsion mittels der Triebflügel. Die bei dem Flügelschlag hierzu erforderliche Winkelverschwenkung (negative und positive Anstellwinkelverschwenkung) wurde hier, da Scharniergelenk, nur durch die Torsionselastizität der Schlagflügel bewirkt. Der Durchfederungswinkel der elastischen Rippen war jedoch zu gering, daher auch zu geringem Vortrieb. Die Torsionselastizität der Schlagflügel kann aber andererseits auch nicht vergrößert werden, da bei dieser Spannweite des Schlagflügels derselbe nicht nur als Trieb-, sondern auch als Tragflügel wirkt. Bei „Segelstellung" wäre ein Schlagflügel mit großem Durchfederungswinkel unvorteilhaft. Ergebnis: Bei Schlagflügeln, die als Trieb- und Tragflügel wirken, muss die erforderliche Anstellwinkelverschwenkung durch Torsionselastizität einerseits, als auch durch Verschwenkung im Gelenk selbst bewirkt werden.
2. Der Schlagflügel von dieser Größe stellt, so leicht er auch konstruiert sein mag, ein gewisses Gewicht dar. Es ist daher bei der hier angewandten Starrholmkonstruktion zur Überwindung der alternativen Trägheitskräfte eine

große Zusatz-energie erforderlich. Ergebnis: die Flügel müssen bei dieser Länge Vertikalelastizität besitzen. (Schwingungsresonanz.)

Viel einfacher liegen die Verhältnisse bei einem Segelflugzeug mit kleinen Schlagflügeln, die nur als Triebflügel wirken. Bei diesen Triebflügeln kann die erforderliche Anstellwinkelverschwenkung durch die Torsionselastizität allein zustande kommen. (Durchfederungswinkel der Flügelspitze ca. 90 Grad.) Hier ist daher nur ein einfaches Scharniergelenk erforderlich. Da aber bei Verwendung kleiner Schlagflügel, um genügenden Vortrieb erzeugen zu können, die Schlagzahl eine hohe sein muss, die Kräfte des Trägheitswiderstandes jedoch proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit anwachsen, muss hier eben-falls zur Annullierung dieser Kräfte das Prinzip der Schwingungsresonanz oder das Rotationsprinzip angewandt werden. Da nun aber einerseits bei einer Schlaggeschwindigkeit der kleinen Triebflügel von ca. 10-15 Schlägen pro Sekunde bei der gegebenen Schlagzahl des Tretmotors von zwei Schlägen pro Sekunde ein großes Übersetzungsverhältnis erforderlich wäre, anderseits jedoch eine große Energieabgabe erforderlich ist, ist hier die Verwendung eines Energieakkumulators besonders vorteilhaft. Da nun mittels der kleinen Triebflügel die Luftenergie in flugfördernder Weise nicht ausgenützt werden kann, fällt aber auch gleichzeitig der komplizierte Teil der „elastischen Kopplung", sowie der Antriebsmechanismus „ohne Hubbegrenzung" fort. Die im Energieakkumulator aufgespeicherte Kraft kann daher mittels eines einfachen Schwinghebels die Triebflügel in pulsierende Bewegung versetzen. Aus dem gleichen Grunde und wegen Verwendung des Energieakkumulators kann hier aber auch das Rotationsprinzip angewandt werden.

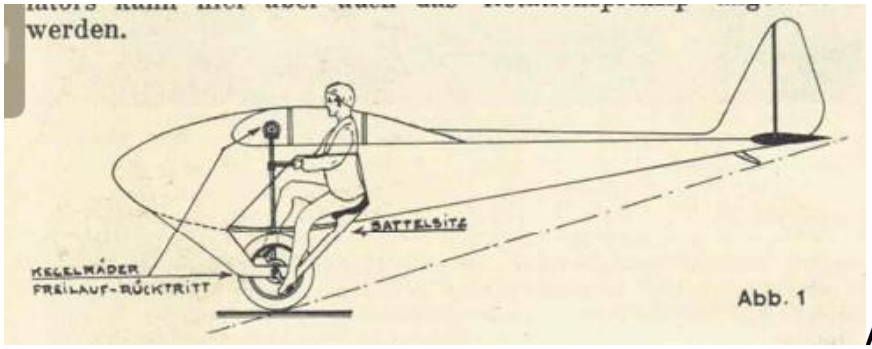


Abb. 1

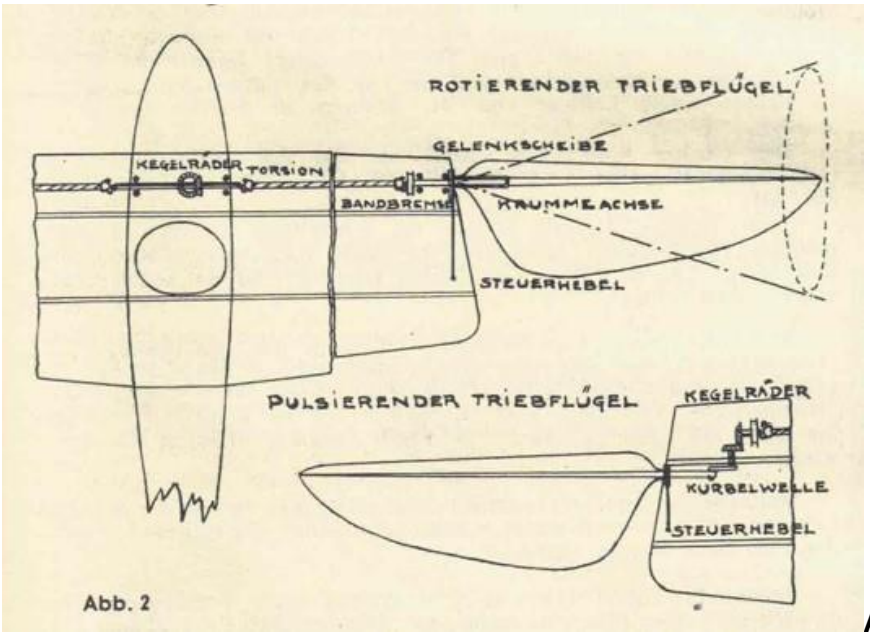


Abb. 2

Die **Abb. 1** und **2** zeigen einen derartigen Entwurf eines Muskelkraftfliegers mit „pulsierenden" und „rotierenden" Triebflügeln. Der vordere Rumpfteil weist eine Verkleidungs-aussparung auf und unter dieser befindet sich die Treteinrichtung. Durch diese Konstruktion ist ein verhältnismäßig geringer Rumpfquerschnitt gewährleistet. Mittels Kegelräderüber-tragung wird die Muskelkraft zum Energieakkumulator geleitet. Der Energieakkumulator ist ein Riesengummistrang, der jedoch nicht, wie bei anderen Vorschlägen im Rumpf gelagert ist, sondern in das Innere des starren Flügelmittelstücks verlegt ist. —Aus Gründen der Billigkeit könnte jedoch auch an Stelle der Kegelradübertragung die einfache Riemenübertragung zur An-wendung gelangen. - Nach diesem Entwurf kommt hier, sowohl bei rotierenden als auch pulsierenden Triebflügeln, der Gummi auf Torsion in Frage.

Beim Muskelkraftflieger mit rotierenden Triebflügeln ist hier der Energieakkumulator direkt mit der Wurzel des Triebflügels verbunden. Die Drehbewegung des abrollenden Gummistranges wird daher ohne Zwischenglied auf den Triebflügel übertragen. Die Flügelwurzel sitzt drehbar auf einer abgebogenen Welle, ähnlich der „krummen Achse" von Goedeckers Urvogel. Mittels einer einfachen Vorrichtung bleibt der Flügel in jeder Lage parallel. Die erforderliche Winkelverschwenkung - negative und positive Anstellwinkelverschwenkung - bei der Flügelrotation erfolgt nur durch die Torsionselastizität des Flügels.

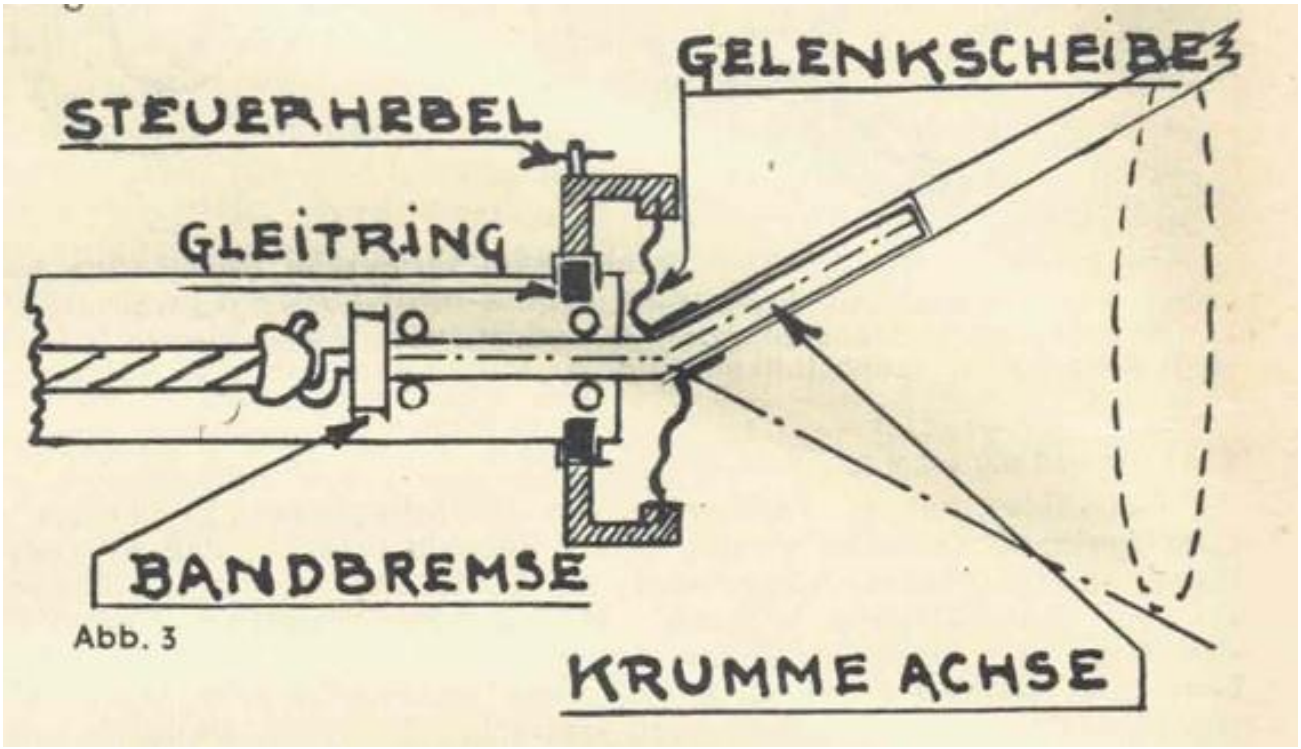


Abb. 3

Die **Abb. 3** zeigt den Flügelsteuermechanismus. Mittels der Gelenkscheibe, die eine Durchfederung nach allen Richtungen (also Kegelrotation) jedoch keine Drehbewegung um die Flügellängsachse gestattet, kommt die Parallelstellung des Flügels in allen Lagen zustande. Die Gelenkscheibe selbst ist jedoch auf dem Gleitring drehbar gelagert. Durch aktive Betätigung des Steuerhebels kann daher die Grundstellung des Triebflügels verstellt werden. Gleiche Betätigung dieser Hebel vor- oder rückwärts ergibt Höhen- oder Tiefensteuerung; wechselseitige Betätigung ergibt Seitensteuerung, Kurvenflug. — Bei Segelflug wirken die Triebflügel als Querruder. Diese Anwendungsart der Triebflügel als Steuerflächen ermöglicht den einfachen Bau des starren Flügelmittelstücks und ist als Vorteil gegenüber dem Muskelkraftflugzeug mit Propellerantrieb zu buchen. Aber noch einen anderen Vorteil weist diese Konstruktion gegenüber dem propellergetriebenen Muskelkraftflugzeug auf: hier wirken die aus dem starren Flügelmittelstück organisch herauswachsenden Triebflügel auch bei „Segelstellung" Auftrieb erzeugend, während der stehende Propeller einen schädlichen Widerstand erzeugt. Dieser Umstand lässt sich jedoch beim Propellerantrieb vermindern, indem die Propellerblätter bei Stillstand des Propellers abgeklappt würden. Danach diesem Rotationsprinzip die alternativen Trägheitskräfte fortfallen, ist hier keine Zusatzenergie erforderlich. Andererseits kann deshalb auch die Konstruktion des Triebflügels schwerer ausfallen, da hier mit dem Gewicht nicht gespart zu werden braucht, eher das Gegenteil, da hier das Flügelgewicht als Schwungmasse wirkt.

Beim Muskelkraftflieger mit pulsierenden Triebflügeln wird die Drehbewegung des Energieakkumulators mittels einer quergelagerten Kurbelwelle auf den Schwinghebel übertragen.

Wie die **Abb. 4** zeigt, ist auch hier der Triebflügel drehbar am Kniehebel gelagert. Der Kniehebel kann sich jedoch nur, da einfaches Scharniergelenk, auf- und ab bewegen. Durch den Gabelhebel, der im Steuerhebel endet, kommt hier ebenfalls die Parallelstellung des Flügels zustande. Die Anstellwinkelverschwenkung beim Flügelschlag erfolgt hier also ebenfalls nur durch die Torsionselastizität des Flügels. Durch aktive Betätigung des Steuerhebels wird auch hier die Grundstellung des Triebflügels verstellt, was ebenfalls Höhen-, Tiefen oder Seitensteuerung ergibt. Durch die Ausgleichsfedern wird der Triebflügel bei Segelflug in der Mittellage gehalten; bei aktivem Finge dagegen werden die Ausgleichsfedern zur Totpunktüber-windung herangezogen. Beim pulsierenden Flügelschlag müssen jedoch die Triebflügel ein geringes Eigengewicht, sowie Vertikalelastizität zwecks Annullierung der alternativen Trägheitskräfte besitzen. Bei einem Muskelkraftflieger mit pulsierenden Triebflügeln könnte auch ein Gummistrang auf Zug zur Anwendung kommen. Das Spannseil ist auf einer quer zur Tragfläche gelagerten Welle, die die Kurbelwelle und den Schwinghebel trägt, aufgewickelt. Der Gummistrang wird durch ein Zugseil, das von der Tretvorrichtung (Seiltrommel) durch Umlenk- rollen zur quergelagerten Welle führt, aufgezogen. Bei einer derartigen Konstruktion wird die Verwendung von Zahnrädern vermieden.

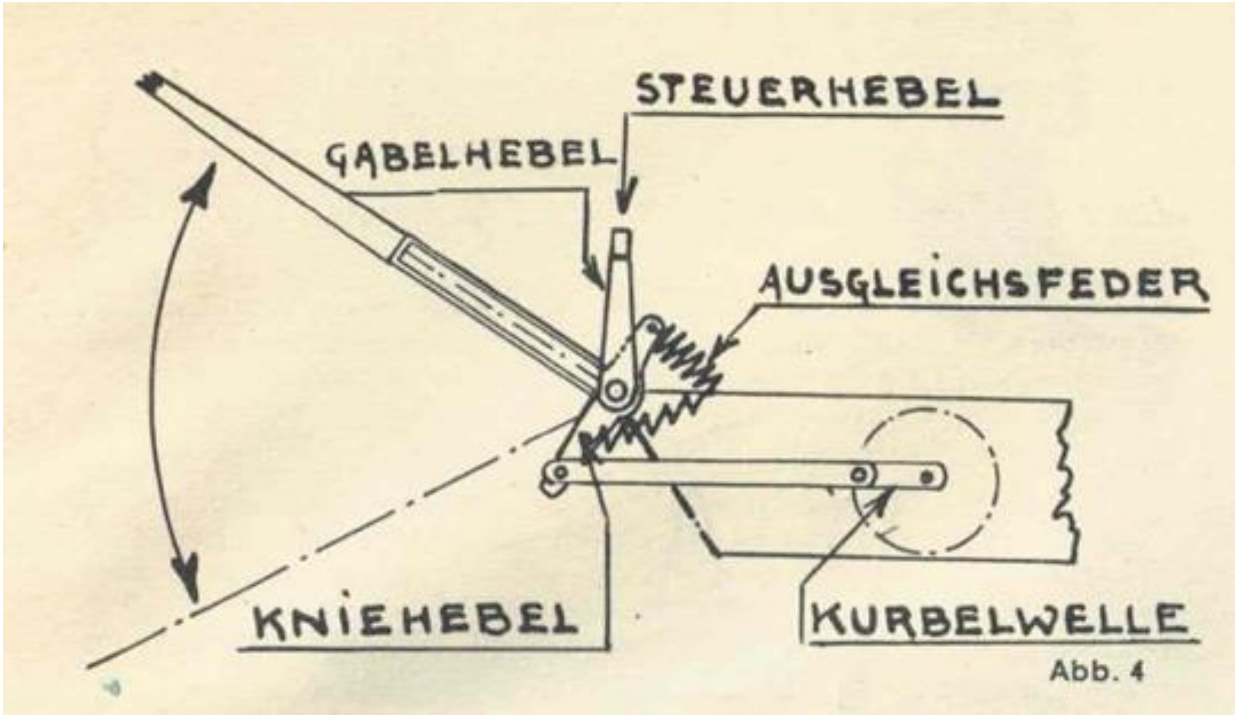


Abb. 4

Wie die **Abb. 4** zeigt, wird die Drehbewegung des tordierten Gummistranges durch Zwischenglieder (Kegelräder) auf den Schwinghebel übertragen. Die direkte Übertragung der Drehbewegung des tordierten Gummis auf eine in der Flügellängsachse gelagerte Kurbelwelle ist wegen der geringen Bauhöhe nicht vorteilhaft; es wäre in diesem Falle ein Aufbau erforderlich, d. h. der Flügel müsste um den Pleuelstangenweg höher gelagert sein.

Die **Abb. 5** zeigt nun eine Möglichkeit der direkten Übertragung der Drehbewegung des Gummistranges ohne Zwischengestänge bei gegebener geringer Bauhöhe des Flügels zum pulsierenden Flügelschlag. Die krumme Achse endet in einer Kulisse. Durch diese Kulisse wird die Rotation der krummen Achse direkt in Schwingungen umgesetzt. Aus der Skizze ist alles Nähere ersichtlich. Aber auch hier ist der Triebflügel drehbar gelagert. Durch den Gabelhebel, der mit dem Steuerhebel gekuppelt ist, kann die Grundstellung des Triebflügels geändert werden (Steuerung).

Bei diesem letztgenannten Vorschlag ist noch eine andere Steuerungsart möglich. Die „krumme Achse", die in die Kulisse eingreift, ist in ihrer Längsrichtung verschiebbar angeordnet, d. h. durch Betätigung des Steuerhebels kann der Scheitelpunkt der krummen Achse im Gegensatz zum feststehenden Drehungspunkt der Triebflügel nach vor oder zurück gerückt werden, woraus eine Vergrößerung oder Verkleinerung derartigen Konstruktion wird die Verwendung von Zahn- des Winkelausschlages (Amplitude) resultiert. Bei gegensinniger Betätigung der Steuerhebel erfolgt daher Kurvenflug, bei gleicher Betätigung Höhen- oder Tiefensteuerung.

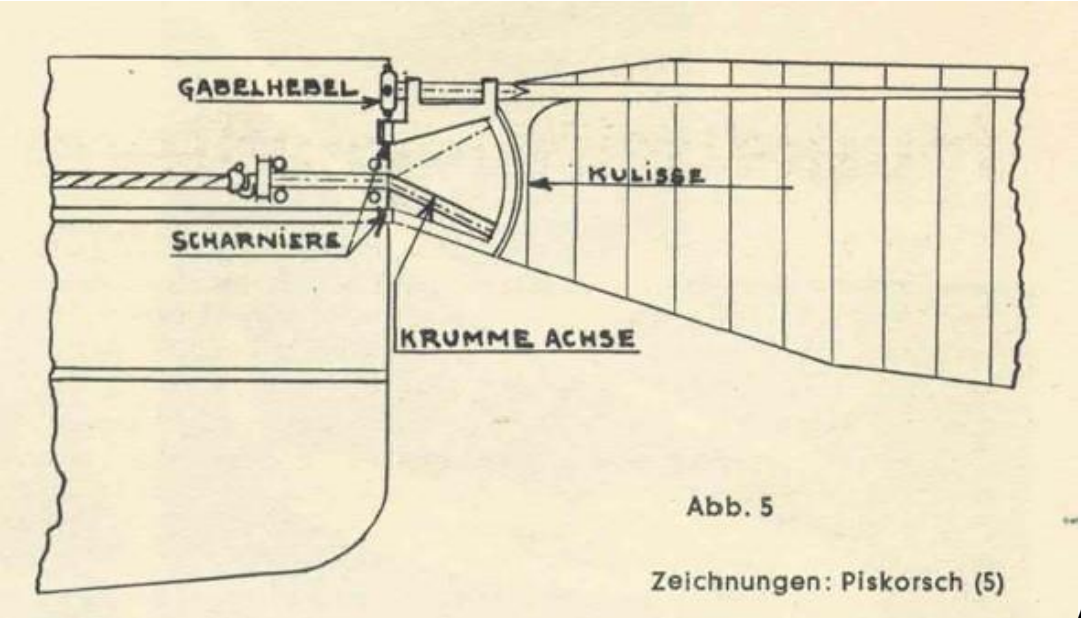


Abb. 5
Zeichnungen: Piskorsch (5)

Diese Vorschläge bezogen sich alle auf Muskelkraftflieger mit kleinen Schlagflügeln, die nur als Triebflügel wirken. Wie ich schon sagte, müssen bei größeren Schlagflügeln, die auch als Tragflügel wirken. verschiedene Faktoren berücksichtigt werden, wie u. a. die -elastische Kopplung". sowie der Antriebsmechanismus „ohne Hubbegrenzung". Auf einen derartigen Konstruktionsfall werde ich an späterer Stelle ausführlich zu sprechen kommen.

Mit einem derart konstruierten Muskelkraftflugzeug wird man, nachdem man am Boden den Energieakkumulator durch Muskelkraft aufgeladen hat, den Selbststart ausführen können. Und es wird auch die Zeit kommen, wo man, unabhängig vom Auto-, Winden- oder Flugzeugschlepp, durch eigene Kraft die Gebiete der Aufwindzonen wird erreichen

können, um durch den Thermik-, Fronten- oder Wolkensegelflug auch auf dem flachen Lande dem Segelflug die weitestgehende Verwendungsmöglichkeit zu erschließen...

Damit kommen wir nun auf einen Muskelflieger mit in Tandemart am Rumpf angegliederten Triebflügeln zu sprechen.

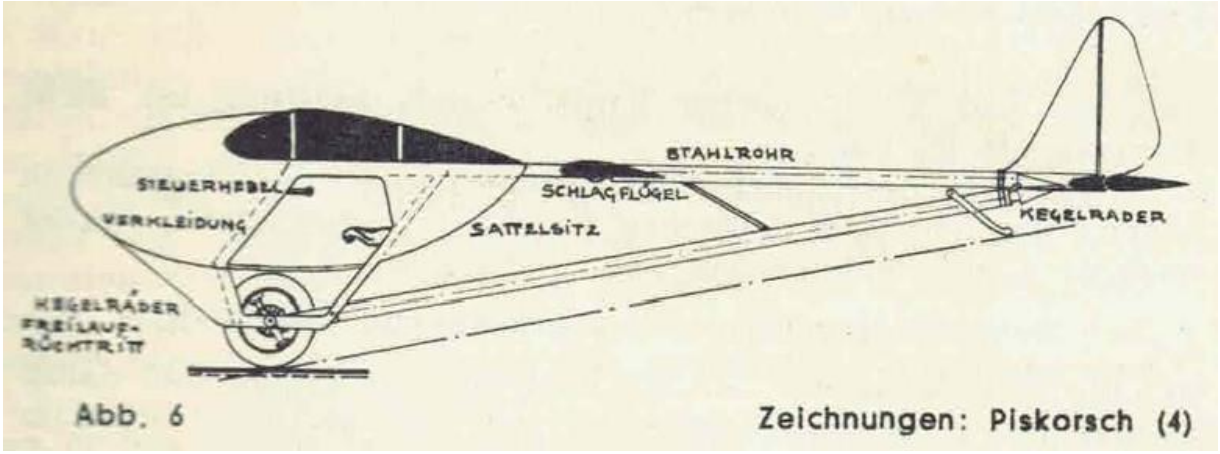


Abb. 6 Zeichnungen: Piskorsch (4)

Die **Abb. 6** zeigt eine derartige Konstruktionsmöglichkeit eines Muskelkraftfliegers mit in Tandemart am Rumpf angegliederten Triebflügeln. Aus Gründen der Gewichtsersparnis besteht der hintere Rumpfteil aus einem Gitterträger aus Leichtmetallrohr, in welchem der Energieakkumulator, der Riesengummistrang gelagert ist. Der Gummistrang wird im vorliegenden Falle auf Torsion beansprucht. Wie aus **Abb. 6** und **7** zu ersehen ist, wird die mittels Treteinrichtung im Energieakkumulator aufgespeicherte Energie infolge Abrollens des tordierten Gummistranges durch eine Kegelräderübertragung auf die „krumme Achse" übertragen. Die krumme Achse greift in die auch schon in **Abb. 5** dargelegte Kulisse, wodurch die Drehbewegung des tordierten Gummistranges in eine schwingende Bewegung der Triebflügel umgesetzt wird. Durch eine Bandbremse wird hier ebenfalls das vorzeitige Abrollen des tordierten Gummistranges verhindert. Die in Abb. 6 gestrichelte Linie stellt das Mittelgerüst des Rumpfes dar. Diese Rahmenkonstruktion verbindet den Flügel mit dem Fahrgestell und dem Sattelsitz zu einem Ganzen, das durch Angliederung des Gitterträgers das tragende Rumpfgerüst darstellt. Durch diese Rahmenkonstruktion und dem auslaufenden Gitterträger wird der Rumpf trotz geringem Gewicht sehr widerstandsfähig. Der Vorder-teil des Rumpfes ist, abgesehen von der Aussparung, verkleidet. Da dieser Teil jedoch keine Kräfte aufzunehmen hat, ist derselbe sehr leicht konstruiert. Selbstverständlich könnte aber auch die in Abb.1 dargelegte Rumpfkonstruktion in diesem Falle zur Anwendung gelangen. Hier bestehen zwei Möglichkeiten der Kraftübertragung auf die krumme Achse: 1. wie hier dargelegt, durch den Gummi auf Torsion und 2. durch Beanspruchung des Gummis auf Zug, wie in der letzten Fortsetzung dargelegt. Im letzteren Falle kann durch die Umlenkrolle und das Spannseil die aufgespeicherte Energie ohne Verwendung von Kegelrädern direkt auf die krumme Achse über: tragen werden.

Im Folgenden will ich noch kurz eine andere Konstruktions-möglichkeit eines Muskelkraftfliegers mit in Tandemart am Rumpf angegliederten Triebflügeln beschreiben. Die Anordnung der Triebflügel ist im Wesentlichen die gleiche wie in **Abb. 6**. Die Drehbewegung des tordierten Gummistranges wird direkt auf eine in der Flugrichtung gelagerte Kurbelwelle, die zwei um 180 Grad versetzte Kröpfungen besitzt, übertragen. Mittels des Schwinghebels, der die Kurbelwelle mit dem Triebflügel verbindet wird die Drehbewegung der Kurbelwelle in eine pulsierende Bewegung des Triebflügels übertragen. Wie gesagt, bei einer derartigen Anordnung kann dieselbe Rumpfkonstruktion angewandt werden wie bei Abb. 6 oder wie bei **Abb. 1.**

Damit kommen wir nun zur zweiten Möglichkeit, der Annullierung der alternativen Trägheitskräfte durch das Prinzip der Schwingungsresonanz. Wie gesagt, dieses Prinzip wird in der Natur bei der kleinen Vogelklasse und bei den Insekten mit geringer Flächenbelastung angewandt. Diese Gruppe der Flugtiere sind also aus-gesprochene Schwingenflieger, hier entfallen die starren Deckflügel. Die Flügel dieser Flugtiere weisen eine große Elastizität auf. Bei den Schwingenfliegern der Vergangenheit hatten die Flügel jedoch, wie schon gesagt, keine Vertikalelastizität aufzuweisen, sondern waren verhältnismäßig starr konstruiert, bei manchen wurden gar Versteilungsbrücken angewandt, die eine Vertikalelastizität völlig ausschließen. Diese Schwingenflugzeuge benötigten daher eine große Antriebsenergie, weil die kinetische Energie der bewegten Flügelmassen nach jeder Schwingungsamplitude vernichtet und dann wieder der gleiche Kraftaufwand zur Beschleunigung der Flügelmasse nach der entgegengesetzten Richtung aufgewandt werden musste. Erstmalig hatte nun Schieferstein auf eine Annullierung dieser alternativen Trägheitskräfte mittels der Schwingungsresonanz hingewiesen. Dureh ein derartiges schwingwilliges System werden diese Widerstandskräfte vermieden, Durch elastische Flügel und federnd elastische Aufhängung der schwingenden Massenteile am Rumpf ist es möglich, die Beschleunigungsarbeit nur einmal zu leisten, da diese Arbeit bei den weiteren Schwingungen als „schwingende Energie" erhalten bleibt. Es ist also lediglich ein Energiezusatz erforderlich zum Aufschaukeln der Flügel. Sobald dies einmal erreicht ist, ist nur jener Arbeits-betrug erforderlich, der die Reibungs- und Dämpfungswiderstände überwindet, derselbe setzt sich daher zum größten Teil aus nutzbarer Arbeit zusammen, da ja die Reibungswiderstände niedrig gehalten werden können und die Dämpfungswiderstände durch den Luftdruck nutzbare Arbeit bedeuten, da diese den Auftrieb ergeben. Nach diesem Prinzip ist also die elastisch federnde Aufhängung der schwing-willigen elastischen das Wichtigste. Das heißt mit anderen Worten, der Flügel muss mit dem Antriebsmechanismus elastisch gekoppelt sein. Der Flügel muss in der Lage sein, unabhängig vom Hub des Antriebes, seine Hublänge zu bestimmen. Dies ist das schwierigste Problem bei diesem Prinzip. Eine einfache „elastische Kopplung" von Antrieb und Schwingflügel ist hier nicht angängig, da umso weniger Kräfte übertragen werden können, je elastischer die Kopplung ist. Wenn der Antrieb „ohne Hubbegrenzung' ausgeführt werden könnte, genügte eine starre Kopplung von Antrieb

und Schwing-flügel, hier wäre daher nur ein starrer Stoßhebel erforderlich. Der Haken ist nun aber der, dass bei jedem rotierenden Antriebs-mechanismus der Hub fest bestimmt ist und derselbe auch nicht ohne weiteres mittels Zwischengestänge in einen Antrieb „ohne Hubbegrenzung" umgewandelt werden kann. Hier hat nun Ing. Goedecker durch langjährige Versuche eine geniale Lösung gefunden. — Doch darauf werde ich an späterer Stelle zu sprechen kommen, — Diese Schwierigkeiten treten auf bei einem Schwingenflieger mit einem Antriebsmotor, sowie bei Verwendung eines Energieakkumulators. Anders liegen die Verhältnisse bei einem Muskelschwingenflieger ohne Energieakkumulator. Hier ist der Muskelmotor der Antrieb. Der-selbe ist jedoch an keine Hubbegrenzung gebunden. Es genügt daher in diesem Falle die starre Kopplung, da der Flügel mit dem Muskelmotor eine gefühlsverbundene Einheit darstellt, wodurch der Flügelhub unbegrenzt ist. Im Folgenden werde ich zuerst auf eine derartige Konstruktionsmöglichkeit eingehen.

Die Konstruktion des reinen Schwingenfliegers können wir daher in zwei Gruppen einteilen:

1.Schwingengleiter,
2. Schwingensegler.

Unter Schwingengleiter verstehe ich ein Fluggerät, das Luftskiff. bei welchem die Muskelkraft direkt, d. h. ohne Verwendung eines Energieakkumulators, zur Betätigung der Flügel herangezogen wird. Beim Schwingensegler dagegen werden die Flügel in Interwallen durch Freigabe der im Energieakkumulator aufgespeicherten Muskel-kraft betätigt.

Wir wollen nun, wie gesagt, zuerst auf die Konstruktion des Schwingengleiters näher eingehen.

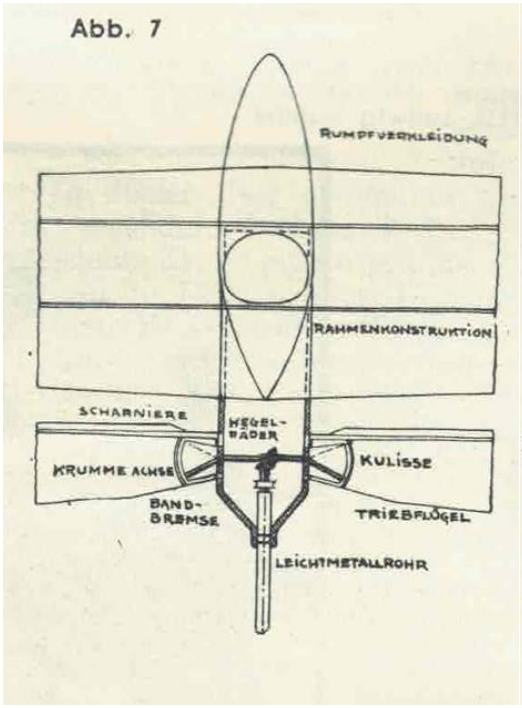
Bevor ich darauf eingehe, muss ich jedoch in diesem Falle gegen die Ausschreibungsbedingung des Selbststartens Stellung nehmen.

Der vorherige Vorschlag entsprach der Bedingung des Selbststarts; beim Schwingengleiter liegen jedoch die Verhältnisse ganz anders.

Wir wissen der Leistungsbedarf kann nur durch Kleinhalten von vs (der Sinkgeschwindigkeit) und G (dem Gesamtfluggewicht) niedrig gehalten werden. So ergab ja die Rechnung, dass bei einem Flugzeug mit einem Gesamtfluggewicht von 145 kg zum Schweben ca. 1,8 PS erforderlich sind, während bei einem Fluggewicht von 100 kg sich der erforderliche Kraftaufwand schon auf 1,3 PS reduziert.

Das Rüstgewicht des Schwingengleiters darf demnach nicht 30 bis 35 kg überschreiten. Mit diesem Gewicht kann, zweifache Bruch-sicherheit vorausgeseg.t, das Luftskiff konstruiert werden — aber nur bei Fortfall der Selbststartvorrichtung.

Kommen wir nun zum Selbststart. Wie könnte derselbe ohne Verwendung des Energieakkumulators und irgendeiner anders gearteten Energie ausgeführt werden? Ziehen wir Vergleiche mit dem Vogelflug.



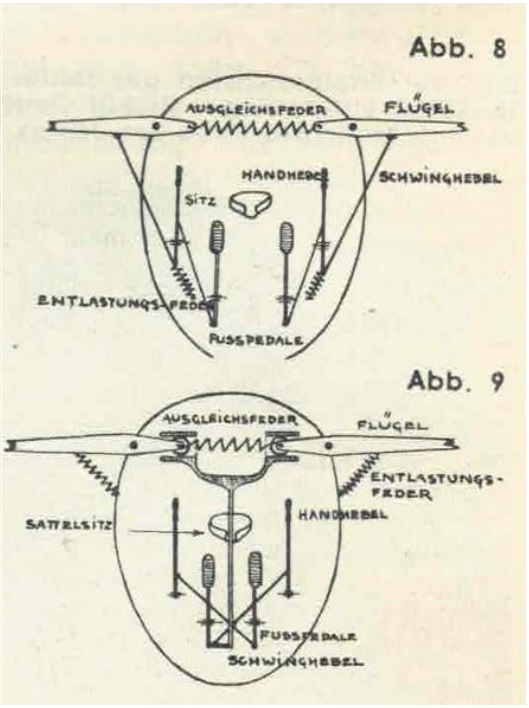


Abb.7 **Abb.8 und 9**

Die großen Flugtiere, wie z. B. der Storch oder der Kondor, können nicht direkt vom Boden auffliegen, sondern müssen ihren Flug durch Laufen einleiten. Für die Praxis bliebe demnach als Selbststart Laufen oder Rollen. Aber auch Laufen fällt fort, da ja. die Beinmuskulatur gleichzeitig zur Flügelschlagsarbeit herangezogen werden müsste. Bleibt demnach nur der Rollstart durch Verwendung eines Fahrgestells. Konstruktiv ist dies leicht möglich, jedoch nur unter erheblicher Vergrößerung des Gesamtfluggewichtes. Und das Ergebnis? Da zum Starten etwa eine doppelt so große Kraftleistung erforderlich ist, wie zum Schweben, würde die Muskelkraft auch in diesem Falle bei ebenem Rollweg nicht zum Selbststart genügen; dieser wäre nur möglich bei abwärts geneigter Rollbahn. Der Flug selbst würde jedoch durch diese Vermehrung des Fluggewichtes illusorisch. Selbstverständlich besteht aber auch hier die Möglichkeit der Verwendung eines abwerfbares Hilfsfahrwerkes, wie aber weiter zu ersehen sein wird, halte ich diese Startmethode nicht für vorteilhaft.

Den zweiten Umstand, der gegen den Selbststart des Schwingen-gleiters spricht, zeigt folgende Überlegung:

Solange das Flugzeug noch am Boden rollt, d. h. also solange das Körpergewicht (Flugzeugrumpf) nicht zur Aufschlagsarbeit herangezogen wird, muss beim Flügelaufschlag nebst dem Luftwiderstand auch das Flügelgewicht mittels des kurzen Kraftarmes überwunden werden. Zur Flügelbetätigung am Boden ist daher eine große Zusatzenergie erforderlich.

Wenn, gesetzt den Fall, die vorhandene Muskelkraft ausreichen würde, das Flügelgewicht nebst dem Luftwiderstand zu überwinden, solange die Maschine noch am Boden rollt, so würde jedoch die Kraft nicht mehr ausreichen, um auch den dauernd nach abwärts gerichtetem Zug der Entlastungsfedern zu überwinden. Diese Entlastungsfedern sind aber erforderlich, da dieselben das Auftriebsmoment der Flügel, sobald das Flugzeug in der Luft hängt, also das Körpergewicht selbst, zur Flügelaufschlagsarbeit herangezogen wird, ausgleichen müssen. Es wäre wohl denkbar, den Zug der Entlastungsfedern durch Gegenfedern zu kompensieren. Bei Stillstand der Maschine müssen die Gegenfedern ihre höchste Spannung besitzen und so den Zug der Entlastungsfedern ausgleichen. Mit zunehmender Rollgeschwindigkeit müssten die Gegenfedern entspannt werden, so dass sie beim Abheben der Maschine vom Erdboden ihre völlige Entspannung erreicht haben. Dieser Fall wäre jedoch nur möglich durch aktive Betätigung der Gegenfedern. Da aber beim Schwingen-gleiter die ganze Muskelkraft beim Starten auf die Flügelschlagbetätigung konzentriert sein muss, ist eine gleichzeitige Betätigung der Gegenfedern nicht möglich. Anders liegen die Verhältnisse bei einem Schwingensegler, wo die Flügelbetätigung beim Start durch die im Energieakkumulator aufgespeicherte Energie erfolgt; hier kann aktiv durch den Piloten die Gegenfeder entspannt werden. Auf diesen Fall werde ich bei Behandlung des Schwingenseglers näher eingehen.

Aus dieser Darlegung ist zu ersehen, dass für den Start eines Schwingengleiters der Selbststart nicht zweckentsprechend ist, sondern derselbe am besten durch den erprobten Gummiseilstart ausgeführt werden soll.

Aber noch eine andere Möglichkeit des Selbststarts besteht, und zwar, wie auch beim Haesler-Muskelkraftflugzeug angewandt, durch einen Erdanker und ein Gummiseil. Das Gummiseil wird mittels einer Seiltrommel in das Flugzeug einziehend gespannt. Der Nach-teil jedoch ist, dass laut der Ausschreibungsbestimmung der Starter im Finge mitgenommen werden muss. Da jedoch das Gummiseil mit dem Anker auch ein verhältnismäßig hohes Gewicht aufweist, geht dies auf Kosten des Gesamtfluggewichtes, wodurch eine nicht unerhebliche Kraftvermehrung erforderlich wird. Und letzten Endes, da der Flug eines Schwingengleiters nicht auf eine weite Strecke aus-gedehnt werden kann, derselbe sich daher in unmittelbarer Nähe des Startes bewegt, überwiegen wohl die Vorteile des Selbststarts nicht, gegenüber dem Seilstart, der durch Verminderung des Fluggewichtes eine größere Fluglänge gewährleistet.

Damit kommen wir nun zur Konstruktion des Schwingengleiters. Von vornherein bemerke ich, dass es selbstverständlich ist, dass beim Schwingengleiter die gesamte Muskulatur, also Bein- und Handmuskeln zur Flügelbetätigung herangezogen werden müssen; ich erwähne dies nur deshalb, weil immer noch Konstruktionen auftauchen, bei denen die Flügel allein durch die Handmuskulatur bewegt werden sollen. Genauso, wie es dem Ulmer Schneiderlein nicht gelang. die Flügel mit der Hand wirkungsvoll zu

bewegen und daher mangels Kraft die Flügel hochschlugen, würde es allen Ikariden ergehen, die glauben, mit der Hand allein die Flügel zu betätigen. Es ist ja auch leicht einzusehen, dass die Arbeitsleistung von über 1 PS nicht durch die Handmuskulatur geleistet werden kann. Selbst Leonardo da Vinci hatte dies schon erkannt und bei seinem projektierten Schwingenflieger sollten die kräftigen Beinmuskeln zur Niederschlags-betätigung der Flügel herangezogen werden, während die Arme die Flügel aufrichten sollten. Neuerdings sollte auch auf der Pariser Ausstellung der kleinen Erfinder ein Schwingenflieger nach diesele Prinzip zu sehen sein, der nur aus zwei Flügeln bestand, die einer Fliege sehr ähnlichsehen.



Schwingenflieger auf einer Pariser Ausstellung. Bild: Archiv Piskorsch

Diese kleinen Flügel sind an den Schultern befestigt. Der Flieger hängt daher auf den Flügeln. Mittels eines Handhebels werden die Flügel betätigt. Aus dem Foto ist nicht zu ersehen, ob auch die unbedingt erforderlichen Entlastungsfedern angebracht sind, jedenfalls glaube ich mit Bestimmtheit dies verneinen zu können. Laut Angabe des Erfinders Louis Vallon, soll nun der Apparat durchaus flugfähig sein. Gegen so einen Optimismus ist es zwecklos zu kämpfen. Jedenfalls bin ich aber überzeugt, dass mit diesem Apparat auch nicht ein kleiner Flug möglich ist, höchstens ein Absprung mit Fallschirmwirkung. Es ist ja auch nicht anders möglich. Wohl im gleichen Verhältnis einer Stubenfliege zu ihrem Gewicht. Der kleine Unterschied ist nur der, dass die Fliege in der Sekunde über 100 Schwingungen ausführt und der Apparat von Vallon höchstens zwei. — Dies wird genügen. —

Die wichtigste Forderung bei einem Schwingengleiter ist nun:

1. Anwendung eines Feder-Akkumulators,
2. bestmöglichste Ausnützung der gesamten Muskulatur.

Wie im vorhergehenden Abschnitt gezeigt, ist die Anwendung eines Feder-Akkumulators (Entlastungs- und Ausgleichsfedern) erforderlich, um das Auftriebmoment der Flügel

auszugleichen. Die beim Flügelaufschlag in diesen Federn aufgespeicherte Energie wird beim Niederschlag, denselben verstärkend, freigegeben.

Je nach der Federspannung sind nun zwei Konstruktionsfälle möglich.

Nach Fall 1 ist die Federspannung der Entlastungsfedern derart bemessen, dass dieselben das Auftriebsmoment allein nicht kompensieren, sondern erst durch teilweise Entlastung des Sitzes und Verlegung des Körpergewichts auf die Pedale. In diesem Falle würden sich die entgegengesetzten Kräfte aufheben; dadurch wäre der Gleit-flug mit gestreckten Flügeln möglich. Durch Entlastung des Sitzes, d. h. Belastung der Pedale durch das Körpergewicht zuzüglich aktiver Betätigung der Streckmuskeln erfolgt der Niederschlag, durch Entlastung der Pedale dagegen der Aufschlag. In diesem Falle werden beim Niederschlag die Beine beiderseits gleichzeitig gestreckt.

Aber auch die Handmuskulatur muss hier zur Flügelschlagsarbeit herangezogen werden, und zwar derart, dass beim Niederschlag die Handhebel angezogen werden (Beugung der Hand). Der Aufschlag wird unterstützt durch Streckung der Hand und teilweise Verlegung des Körpergewichts auf die Handhebel. - Die **Abbildung 8** zeigt schematisch die Kraftübertragung und Anbringung der Ausgleichs- und Entlastungsfedern.

Bei Fall 2 ist die Federspannung der Entlastungsfedern derart bemessen, dass dieselben das Auftriebsmoment (Körpergewicht, Luftdruck) ausgleichen. Beim passiven Fluge sind die Flügel stets flach gestreckt. Beim Flügelschlag ist daher der Kraftaufwand sowohl beim lieben als auch beim Senken der Flügel der gleiche. In diesem Falle müssen deshalb die Beine abwechselnd gestreckt werden, so dass die Streckung des einen Beines den Niederschlag und des anderen den Aufschlag bewirkt. Auch hier werden die Handmuskeln zur Vergrößerung der Leistungsabgabe herangezogen, und zwar am besten derart, dass die Bewegung der Hand zu den Beinmuskeln im Gegensinne erfolgt: bei Streckung des rechten Beines Beugung der linken Hand. - In der **Abbildung 9** ist dies schematisch dargestellt.

Aus dieser Darlegung ergibt sich von selbst. wie die beste Ausnützung der Muskulatur zu erfolgen hat. Wir wollen nun nach diesen hier dargelegten Gesichtspunkten den Schwingengleiter entwürfen. Und zwar zuerst nach Fall 1. Die **Abbildung 10** zeigt einen derartigen Schwingengleiter.

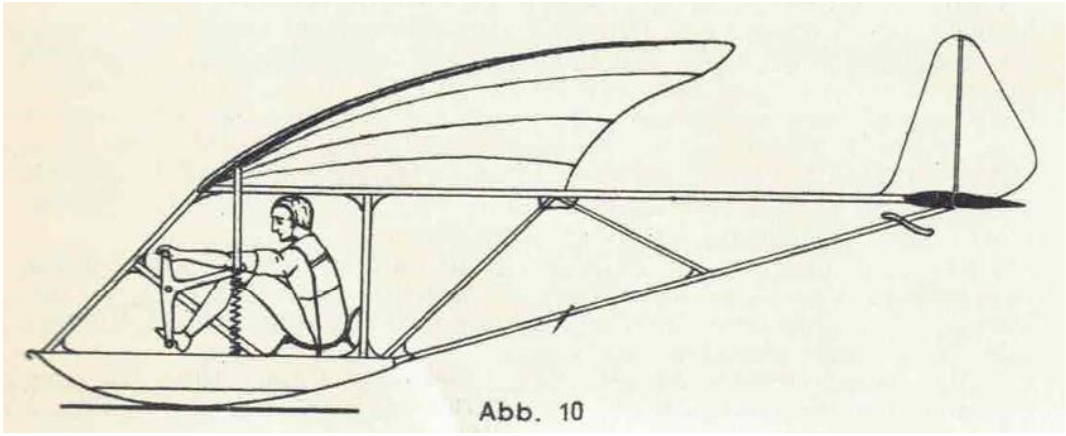


Abb. 10

Da hier, wie schon gesagt, die ganze Muskelkraft auf die Flügelbetätigung konzentriert sein muss, könnte der im Preisaus-schreiben verlangte Kurvenflug nicht gut durch Schwanzsteuerung erfolgen; dieser erfolgt daher durch Flügelsteuerung. Und zwar kann dies nach zwei Möglichkeiten erfolgen. Erstens durch Vergrößern des Schwingungsausschlages der einen und Verkleinern der anderen Seite. Dies lässt sich hier leicht bewerkstelligen, da die Flügel nicht durch einen gemeinsamen Kraftarm betätigt werden, sondern unabhängig voneinander, so dass durch Hubvergrößerung, des einen Fußes der Kurvenflug erfolgen kann. Zweitens kann der Kurvenflug durch gegensinnige Anstellwinkelverschwenkung der Flügelspitzen, wie noch weiter dargelegt, erfolgen. Höhen- und Seitenruder fallen daher fort; es bleibt lediglich die Dämpfungsfläche, woraus eine erhebliche Gewichtsersparnis resultiert. Auch die kurze Rumpflänge trägt wesentlich zur Gewichtsersparnis bei. Durch diese kurze Bauform ergibt sich für die Längsstabilität die Bedingung, dass die Flügelvorder-kante (Gelenk) über und vor dem Körperschwerpunkt liegen muss; der Schwerpunkt dagegen muss vor dem Druckmittelpunkt der Flügel liegen.

Wie ich früher gesagt habe, muss die erforderliche Anstellwinkelverschwenkung bei Schlagflügeln, die als Trieb- und Tragflügel wirken, durch Torsionselastizität als auch durch Verschwenkung im Gelenk selbst bewirkt werden. Der Flügel ist daher drehbar auf der Flügelwurzel gelagert. Um den Kraftaufwand für die aktive Anstellwinkelverschwenkung niedrig halten zu können, kommen hier ebenfalls Entlastungsfedern zur Anwendung. Beim passiven Fluge (Flügel flach gestreckt) befinden sich die Flügel im natürlichen Gleichgewichtszustand (normaler Anstellwinkel). Der Kraftarm ist nun mit dem Torsionshebel verbunden und das hat zur Folge, dass sich der Flügel beint Niederschlag negativ und beim Aufschlag positiv einstellt.

Es ist aber nicht erforderlich, dass der ganze Flügel um seine Längsachse beint Flügelschlag aktiv verschwenkt wird. Es genügt, wenn seine basal gelegenen Flügelteile durch Torsionselastizität allein und nur die Flügelspitze außerdem durch aktive Betätigung verschwenkt wird. Die Abbildung 2 zeigt eine derartige Flügelsteuerung. Aus der Skizze ist alles Nähere ersichtlich.

Durch gegensinnige Anstellwinkelverschwenkung mittels des mit dem Kraftarm gekuppelten Torsionshebels kann nun, wie schon er-wähnt, die zweite Möglichkeit der Kurvensteuerung erfolgen.

Eine gute Ausnützung der gesamten Muskulatur ist bei der periodischen Kraftübertragung (Fall 1) ebenfalls möglich durch Schwinghebel und Rollsitz, Da aber diese Kraftübertragung mit einer Schwerpunktverschiebung des Körpers verbunden ist, kann die-selbe für das Schwingenfliegen nicht angewandt werden. Hier hat nun Ing. Goedecker in der Anwendung von Schwinghebeln mit fest-stehendem Rollsitz eine einfache Lösung sehr guter Kraftübertragung gefunden. Die Abbildung 12 zeigt Goedeckers Schwingenfliegervorschlag. den ich nach seiner Skizze und Angaben

gezeichnet habe. Der Flieger ist mit elastischen Gurten am Sitz festgeschnallt. Durch Ausstoßen der Beine und Anziehen der Hände erfolgt der Niederschlag, der hier ebenfalls durch die Entlastungsfedern verstärkt wird, durch Strecken der Hände der Aufschlag. Die drei Hebel (Hand, Fuß, Flügel) sind zueinander fest; die Feder ist die Ausgleichsfeder. Nach Goedeckers weiteren Angaben sollen Höhen- und Seitenruder für kurze Flügel feststehen und die Steuerung eventuell durch Verwindung zustande kommen. Gleichzeitige Verwindung im selben Sinne ergäbe Höhensteuerung und im Gegensinne Kurvensteuerung...

Damit kommen wir nun noch kurz auf den Schwingengleiter nach Fall 2 zu sprechen. Das wechselseitige Ausstoßen der Beine ist der natürlichen Tretbewegung des Menschen angepasst. Digs ist als Vorteil gegenüber der periodischen Tretbewegung zu buchen (vergleiche **Abbildung 9**). Die erforderliche Anstellwinkelverschwenkung beim Flügelschlag erfolgt hier wie beim Fall 1 durch den Torsionshebel. Als Nachteil ergibt sich jedoch, bedingt durch den gemeinsamen Ruderhebel, die beschränkte Manövrierfähigkeit durch Flügelsteuerung. In dieser Form wäre als Flügelsteuerung nur Höhen- und Tiefensteuerung gut möglich; hier würde sich daher die Heranziehung der Schwanzsteuerung für den Kurvenflug aus konstruktiven Grün-den eignen. Wie aber an späterer' Stelle dargelegt wird, ist bei Auflösung der Flügelspitze in mehrere Einzelflügel, analog den Vogelvorbildern, der Kurvenflug durch Flügelsteuerung mittels Horizontalwinkelverschwenkung der Handhebel leicht möglich.

Zur Annullierung der alternativen Trägheitskräfte kommt hier das Prinzip der Schwingungsresonanz zur Anwendung. Wie bekannt, sind nach diesem Prinzip schwingungsfähige. elastische Flügel Bedingung, sowie federnd elastische Aufhängung der Flügel am Rumpf. Die erste Bedingung wird durch Vertikalelastizität der Flügel erreicht, die elastische Aufhängung durch die Anwendung der Ausgleichs- und Entlastungsfedern. Um die Turbulenz des Luftmeeres zur Flügelschlagarbeit heranzuziehen, ist eine gefühlsmäßige Kopplung des Flügels mit dem Tretmotor erforderlich. Durch den Muskelmotor, der an keine Hubbegrenzung gebunden ist und durch den Kraftarm direkt mit dem Flügel gekoppelt ist und somit eine gefühlverbundene Einheit darstellt, wird dieser Forderung auf einfachste Weise entsprochen.

Wir sehen, durch die Entlastungsfedern kann die Massenträgheit der Flügel kompensiert werden. Je größer die Flügel, um so stärkere Entlastungsfedern sind daher erforderlich. Beim Fall 2 müssten die Entlastungs- und Ausgleichsfedern so stark sein, dass die Flügel im unbelasteten Zustande. also am Boden, nicht aufgeschlagen wer-den könnten. Je größer die Spannung der Federn, umso mehr Kraft braucht man aber zum Aufschaukeln der Flügel; dies einmal erreicht, ist nur die Dämpfung durch den Luftwiderstand zu überwinden, was nutzbare Arbeit bedeutet.

Die Flügelspannweite und somit die Spannung der Entlastungsfedern kann aber nicht beliebig vergrößert werden, da die Schwingungszahl umso größer wird, je höher die Federspannung ist. Die Schwingungszahl der Flügel würde dann nicht mehr mit der

gegebenen Schlagzahl des Tretmotors in Einklang zu bringen sein.

Zwecks Vergrößerung der Schwingungsdauer und Abstimmung auf einen mit geringer Schlagzahl arbeitenden Antriebsmotor ist daher schon vorgeschlagen worden, einen Massenteil nach der Außenkante der schwingenden Flächen zu verlegen. Ich halte jedoch diesen Weg nicht für vorteilhaft; dieser ist verbunden mit einer Verminderung der Energieausnützung des Luftmeeres. Meiner Ansicht nach ist in diesem Falle die Mehrflügelanordnung die günstigste Lösung (Libellenflieger). Sache des Versuchs wird es sein, festzustellen, wie weit man, im Einklang mit der gegebenen Schlagzahl des Tretmotors bleibend, mit der Flügelabmessung und der Federspannung gehen kann und wann man zur Mehrflügelanordnung übergehen muss.

Wie ich schon an anderer Stelle darlegte, wird bei den naturgegebenen Vorbildern das Prinzip der Schwingungsresonanz mit gutem Nutzeffekt nur bei den Flugtieren mit geringer Flächenbelastung angewandt. Dies ist auch ohne weiteres einleuchtend: Je geringer die Flächenbelastung, desto größere Vertikalelastizität können die Flügel aufweisen, und diese ist ja nach diesem Prinzip die Grundbedingung zur Annullierung der alternativen Trägheitskräfte. Hier erkennen wir aber auch, warum die Natur bei den großen Flugtieren nicht das Prinzip der Schwingungsresonanz zur Annullierung der alternativen Trägheitskräfte angewandt hat.

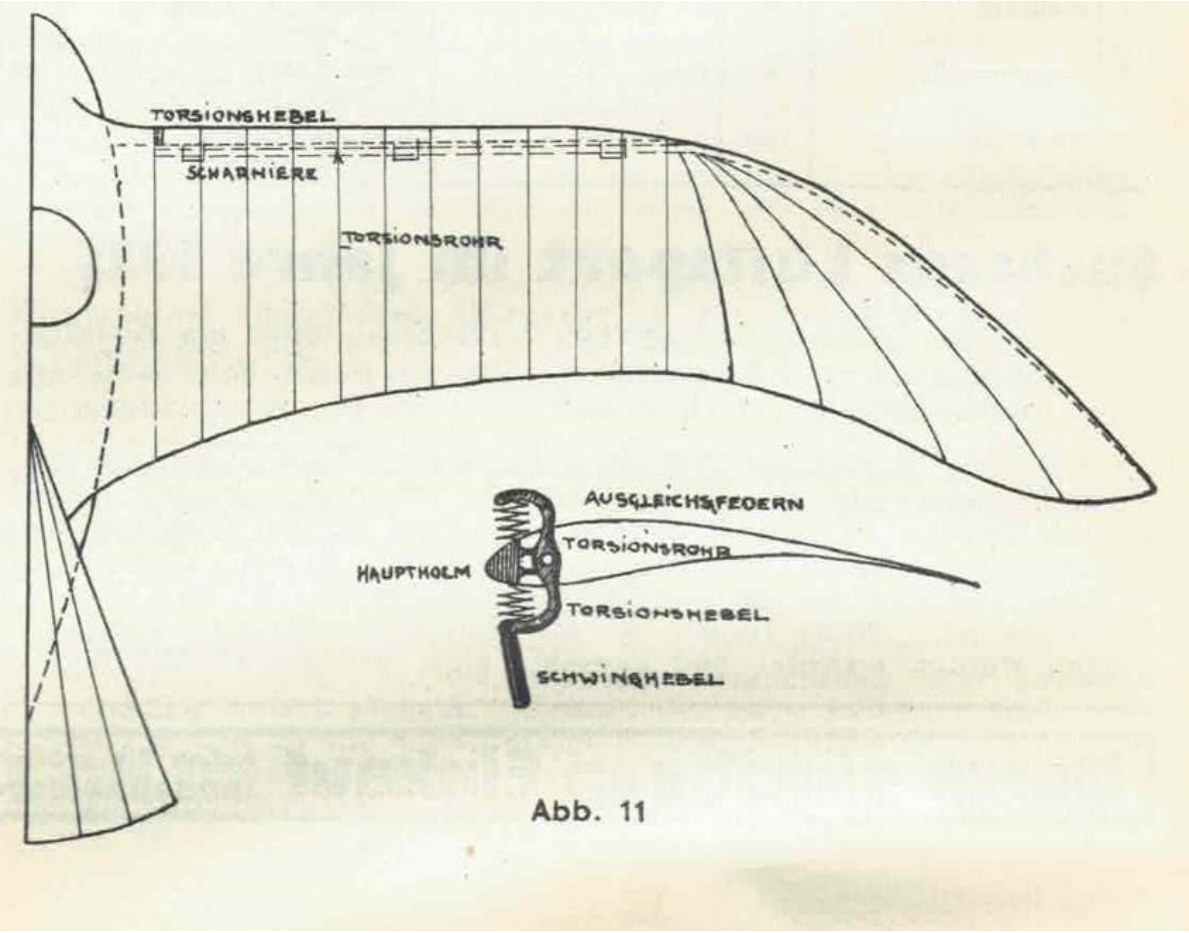


Abb. 11

Alle großen Flugtiere weisen eine weit größere Flächenbelastung auf. Die Flügel müssen daher aus Gründen der Bruchgefahr biegungssteifer sein, können daher nicht eine so große Vertikalelastizität aufweisen, die zur Annullierung der alternativen Trägheitskräfte erforderlich wäre. Hier könnte nun der Einwand gebracht werden, dass ja die Natur, um diesem Übelstande abzuhelfen, d. h. um die Flächenbelastung zu reduzieren, die Flügelspannweite vergrößern könnte, wodurch dann ebenfalls das Prinzip der Schwingungsresonanz auch bei den großen Flugtieren angewandt werden könnte. Dass der Natur aber auch in dieser Beziehung Grenzen gezogen sind, ist leicht einzusehen, da ja hier auch die Lebensverhältnisse der Flugtiere berücksichtigt werden müssen. So bedingte z. B. eine große Flügelspannweite beim Abflug vom Boden, um die Flügel beim Flügelschlag nicht am Boden zu beschädigen, eine große Drehpunkthöhe, anderseits wäre eine große Flügelspannung dem Vogel beim Abfliegen von Bäumen, Schilf usw. sehr hinderlich. Dies ist der eine Grund, warum das Prinzip der Schwingungsresonanz bei den großen Flugtieren nicht angewandt werden kann; jedoch nicht der eigentliche! Und das ist das wichtige: Das Prinzip der Schwingungsresonanz wird nur bei den Flugtieren angewandt, die kein ausgesprochenes Segelvermögen besitzen! Mit anderen Worten: Nur Schwirrflieger basieren auf diesem Prinzip. Und hierzu gehören die kleinen Vögel und Insekten mit geringer Flächenbelastung. Das Prinzip der Schwingungsresonanz bedingt eine zur Schlaggeschwindigkeit und Amplitude genau abgestimmte Eigenelastizität des Flügels. Und diese Bedingung schließt eine ausgesprochene Segelfähigkeit des Flugtieres vollkommen aus, Und hier zeigt sich die Meisterleistung der Natur, die bei den segelfähigen Flugtieren mit Hilfe eines anderen Prinzips die alternativen Trägheitskräfte annullierte. Auf diese ökonomische Flugart werde ich an späterer Stelle ausführlich zu sprechen kommen.

Kommen wir nun zurück zur Konstruktion des Schwingengleiters. Beim manntragenden Schwingengleiter muss unter Beibehaltung geringer Flächenbelastung die Flügelspannweite verhältnismäßig groß sein. Da es der Technik heute jedoch noch nicht möglich ist, Flügel mit gleicher Festigkeit und Elastizität bei geringem Gewicht zu bauen. wie sie die Natur aufweist, ergeben sich folgende Nachteile: Der Flügel wird, so leicht er auch konstruiert sein mag, ein gewisses Gewicht haben.

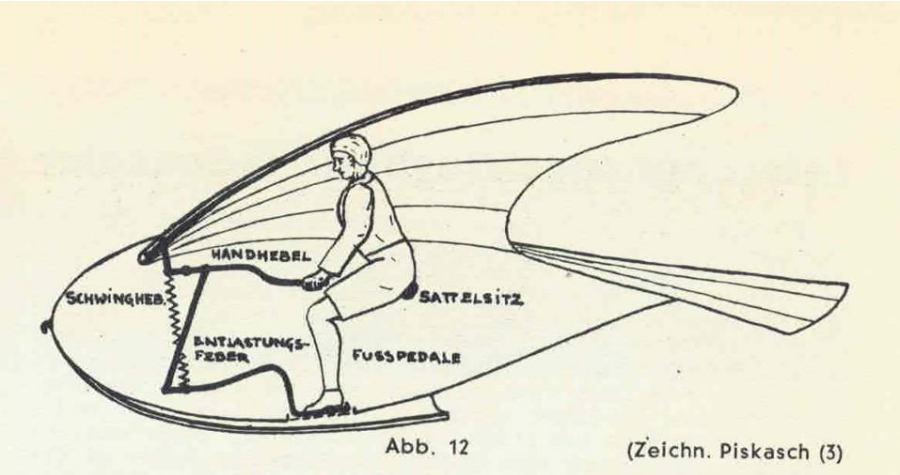


Abb. 12 (Zeichnung Piskasch (3)

Aus diesem Grunde muss auch die Spannung der Ausgleichsfedern, die ja das Flügelgewicht kompensiert, sehr hoch sein. Je höher nun aber die Spannung der Ausgleichsfedern bemessen ist, umso größer ist auch die Schwingungszahl. Dies wäre jedoch schwer mit der gegebenen niedrigen Schlagzahl des Tretmotors in Einklang zu bringen. Die Mehrflügelanordnung nach dem Libellenvorbild könnte daher in der Praxis die beste Lösungsmöglichkeit darstellen.

Durch die Mehrflügelanordnung ergeben sich folgende Vorteile:

1. Da hierdurch die Flügelspannung gering bleibt, ergibt sich eine leichte Flügelkonstruktion.
   2. Die Spannung der Ausgleichsfedern kann hierdurch niedriger bemessen sein, dadurch ergibt sich
   3. eine geringe stehende Schwingungszahl im Einklang mit dem Tretmotor.
   4. Die Flügel können eine große Vertikalelastizität aufweisen, wodurch die alternativen Trägheitskräfte annulliert werden, und
   5. auch die Torsionselastizität kann bei der Mehrflügelanordnung ausgeprägter sein, wodurch eine bessere elastische Anpassung an die Materie Luft sich ergibt und dadurch der Nutzeffekt vergrößert wird.

Bevor ich weiter auf die anderen Konstruktionsmöglichkeiten eines Muskelschwingenfliegers eingehe, will ich zuerst den Begriff „aktive Tragfläche" näher zergliedern.

Bei Gegenüberstellung des Insektenfluges zum Vogelflug findet man, dass der erste sich durch große Manövrierfähigkeit auszeichnet, der zweite dagegen die größte Flugökonomie besitzt. Die Ursache des ökonomischen Vogelfluges liegt in der Verwendung „aktiver Tragflächen" (Schwungfedernstruktur).

Die Bedeutung aktiver Tragflächen wurde schon im letzten Jahrzehnt des 18.Jahrhunderts von Buttenstedt zum Teil richtig erkannt. In seiner Abhandlung „das Flugprinzip" veröffentlichte er seine Gedanken und wies darauf hin, dass zwischen

der Schwere des Flugtieres und der Elastizität der Vogelfedern ein Zusammenhang besteht.

Buttenstedts Theorie:

Der Vogelflügel ist mit elastischen Federn ausgestattet. Wenn der Vogel fliegt, hängt er an seinen Flügeln und die Schwere verursacht daher unter den Flügeln einen Luftdruck. Da die Feder elastisch ist, ex sie dem Drucke nach und wird vermöge der bestimmten Struktur nach vorn gespannt. Da die Schwere die Ursache dieser Spannung ist, können sich die Federn nicht entspannen, solange der Vogel fliegt. Wo aber eine Federspannung eingetreten ist, ist auch ein Federdruck vorhanden. Die durch den Schwerkraftluftdruck nach vorn gespannten Federn drücken deshalb rückwirkend gegen die Luftteilchen, die sich hinter und unter ihnen befinden, und das hat zur Folge, dass die so gespannten Federn den Vogelkörper nach vorwärts ziehen. Infolge des internen Arbeitsvermögens wird demnach die Schwerkraft in horizontalgerichtete Spannungsenergie umgewandelt.

In einer neueren Abhandlung: „Das kommende Flugzeug für Jedermann" (Falkenverlag Hamburg) behandelt Georg Kort der seit langem die Buttenstedtsche Theorie vertritt, dieses Flugprinzip. Die Dorfsehen Darlegungen basieren, wie gesagt, auf der Buttenstedtschen Theorie - obgleich Korf glaubt, dieselbe wesentlich ausgebaut zu haben.

In dieser Abhandlung heißt es unter anderem auch:

Der Höhenverlust, den der Vogel durch eine geringe Muskelanstrengung ausgleichen kann, ist beim Schweben sehr gering. So erklärt sich der horizontale Schwebeflug und ist des Rätselhaften entkleidet. Will der Vogel steigen, wie beispielsweise der aufkreisende Storch, dann braucht er nur ein wenig in Steuerkraft umgesetzte Muskelkraft mehr anzuwenden und vermag es dann ohne Flügelschläge. - Weiter heißt es:

Richtet sich der Vogel nun durch eine geringe Muskelarbeit ein wenig auf, so dass er dem Gegenwind etwas mehr Widerstand bietet, dann schwebt er, etwas an Geschwindigkeit einbüßend, schwach ansteigend aufwärts. Wichtig ist wiederum, zu erkennen, dass es die Schwerkraft ist, die ihn vorwärts und durch Hinzukommen einer ganz geringen Muskelarbeit gleichzeitig aufwärts treibt. Nach Korf sowie Buttenstedt genügt also eine ganz geringe Muskelkraft, lediglich zur Betätigung der Steuerfläche (Schwanzfläche), um aus dem schwach abfallenden Fluge einen horizontalen oder steigenden Flug an machen. — An anderer Stelle heißt es:

Der Luftdruck, den die Schwere hervorruft und der die Federn spannt, kann vom Vogel willkürlich dadurch verstärkt werden, dass er Flügelschläge macht; denn, wenn schon der senkrecht erfolgende Schwerkraft-Luftdruck eine Vorwärtsspannung der Federn erzeugt, muss jeder Abwärtsschlag mit den Flügeln

diese Spannung verstärken. Um richtiger verstanden zu werden, wiederhole ich, dass der Flügelschlag bei den großen Schwebevögeln nicht als Ursache, sondern als Beschleuniger des Fluges anzusprechen ist. Die Ursache der Vorwärtsbewegung in freier Luft ist in erster Linie die Schwerkraft.

Aber auch durch Beweise hat Korf seine bzw. Buttenstedts Theorie erhärten wollen. Kommen wir zurück zum Beispiel des aufkreisenden Storches. Er weist die allgemein verbreitete Ansicht — die, nebenbei bemerkt, auch schon erhärtet. ist — zurück, dass die Ursache des Kreisens aufsteigende Luftströmungen sein könnten: Wenn man bedenkt, so schreibt Korf, dass die aufsteigenden erwärmten Luftteilchen nur Stäubchen oder Daunen zu heben vermögen, niemals aber schwere Vogelkörper, dann muss man sich wundern, dass ihre Kraft so überschätzt wird. — Im folgenden Beispiel sieht Korf die Richtigkeit seiner Behauptung, dass Schwerkraft-vermögen der Schwungfedernstruktur Flugkraft sei: Ein Adler, der tödlich getroffen wurde, stürzte ab. Der durch die Rückgratverletzung hervorgerufene Starrkrampf streckte die Flügel, und der Sturz verwandelte sich rein mechanisch in einen Schwebeflug. Er landete erst in 400 m Entfernung aus 20 in Starthöhe. Der Höhenverlust dieses toten Tieres betrug daher nur 1/20 der zurückgelegten Schwebestrecke. Auf 20 m Flugstrecke hatte die Flugbahn also ein Gefälle von 1 m, das sind nur 5% Höhenverlust. Dieses Beispiel zeigt, dass die Schwere 95% der erfolgten Flugarbeit leistete. Eine ganz geringe Steuerkraft hätte daher noch genügt, die schwach geneigte Flugbahn zur horizontalen zu erheben. Der lebende Adler braucht demnach zum Horizontalflug nicht mehr Muskelkraft als 1/20 seines Schwergewichtes, denn 19/20 werden mittels der richtig gestellten Federn in horizontal wirkende Spannungskraft verwandelt. Buttenstedt und Korf betrachten alle großen Federn als Schwungfedern, die die Schwerkraft in Horizontalenergie umwandeln, also nicht nur die 5-8 großen an der Flügelhand befindlichen Schmalfedern, sondern alle 40-50 großen Federn. Warum die Federn nach vorn wirken, wird jedoch nicht gesagt; dies soll ein Geheimnis bleiben...

Und nun will ich dieses „Geheimnis" als eine einfache Sache entschleiern, aber auch gleichzeitig auf die Trugschlüsse hinweisen, die Buttenstedt und Korf unterlaufen sind.

Im vornherein sei bemerkt, dass der Buttenstedtschen Theorie im Allgemeinen zugestimmt werden kann. Die Bedeutung des Vorwärtszuges infolge des internen Arbeitsvermögens des Vogelflügels vermöge der Schwerkraft wird jedoch, wie weiter unten dargelegt, bei weit e m überschätzt. Betrachten wir uns einmal den Energietransformator des Vogels, den Flügel. Als Energie-Umwandler kommen hier in erster Linie die 5-8 großen Schwungfedern in Betracht, wir wollen daher zuerst die Schwungfedernstruktur einer näheren Untersuchung unterziehen.

Diese besteht aus einem elastischen Schaft, dessen unterer Teil Kiel genannt wird, und aus der, an der Oberseite des Schaftes zu beiden Seiten organisch herauswachsenden Federfahne, dem Vorder- und Hinterbart.

Der röhrenförmige Kiel hat einen elliptischen Querschnitt, dessen Längsachse senkrecht zur Federfahne steht und darum in erster Linie geeignet ist, einem senkrecht zur Federfahne wirkenden Drucke stand-zuhalten; dementsprechend die Biegungsfestigkeit aber im kleineren Durchmesser der Ellipse geringer ist.

Beim Übergang vom Schaft zum Kiel ist der Querschnitt fast kreisförmig; doch weist die Verstärkung der oberen Wandung sowie die Ausfüllung der Seitenwände mit dem korkartigen Federmark darauf hin, dass auch hier die Biegungsfestigkeit in derselben Richtung erstrebt wird.

Der Schaft zeigt nahezu einen quadratischen Querschnitt, so dass die starken, ebenen Seitenwände den Vertikaldruck mit ihrer ganzen Höhe aufnehmen können. Die dorsale Fläche dagegen stellt eine flachgewölbte, kräftige Hornplatte dar, und an der Unterseite ist das Wellenprinzip angewandt, indem zwei schmale, stark gewölbte Leisten in einer Längsfurche mit ihren Rändern zusammenstoßen.

Aus all den Querschnittbildern ersieht man, dass alles in erster Linie darauf angelegt war, die Biegungsfestigkeit in vertikaler Hin-sicht zu erreichen, wogegen in horizontaler Richtung Biegungsfähigkeit angestrebt wurde. Den bestimmten Grad der Biegsamkeit des Federschaftes in der Vertikal- und Horizontalrichtung hat Ahlborn bei einigen Federn festgestellt und als Verhältnis, z. B. bei einer Schwanenfeder, den Wert

B = 7:10— 1:1,2 und bei einer Adlerfeder
B =4: 9 = 2,2 gefunden.

Da nun jedes Biegen einer elastischen Feder eine Spannung bedeutet, die Schwungfeder vermöge ihrer Struktur ebenfalls Horizontalbiegsamkeit besitzt, bedeutet diese Biegung ebenfalls eine Spannung, die durch die Reaktionswirkung in translatorischem Sinne wirkt.

Trotz alledem könnte aber keine, in translatorischem Sinne wirkende Elastizitätsspannung eintreten, wenn die Federfahne die Struktur einer Fächerfeder hätte, d. h., wenn Vorder- und Hinterbart von gleicher Breite wären, da in diesem Falle die entgegengesetzt wirkenden Horizontaldrücke sich ausgleichen würden und deshalb keine Horizontalbiegung (also Spannung) des Schaftes eintreten könnte. Da aber die Federfahnen der Schwungfeder von großer Asymmetrie sind, d. h. der Hinterbart eine 4-5fach größere Breite besitzt als der Vorderbart, überragt der vortreibende Horizontaldruck und wirkt daher in translatorischem Sinne. Infolge des internen Arbeitsvermögens des Vogelflügels wird demnach die Schwerkraft, als auch „Schlagwirkung", in horizontal gerichtete Spannungsenergie umgewandelt.

Aus dieser Darlegung ist jedoch schon zu ersehen, dass nicht alle großen Federn als Energietransformatoren angesehen werden können, sondern in erster Linie nur die 5-8 großen eigentlichen Schwung-federn. Der Grund hierfür ist leicht einzusehen. Die Schwungfedern gehen strahlenförmig von der Flügelhand aus, d. h. die Federnkiele stehen quer zur Flugrichtung. Infolge dieser Stellung wirkt auch die Schwungfeder in translatorischem Sinne. Anders ist es bei den übrigen Schwungfedern zweiter Ordnung, d. h. bei den eigentlichen Fächer-federn. Hier stehen die Federkiele in der Flugrichtung. Eine Horizontalspannung dieser Federn nach vorn hätte keinen Einfluss in translatorischem Sinne, da diese Spannung sich infolge der Stellung der Kiele seitwärts auswirken würde.

Aus diesem Grunde weisen auch die Fächerfedern nicht die besonderen Merkmale der Schwungfedern auf. Hier ist keine Asymmetrie der Federbärte vorhanden. Beide Federbärte besitzen eine gleiche Tiefe. Und dies ist wiederum zweckentsprechend. Dadurch kann infolge der Durchfederungselastizität der Kiele die Fächerfeder auch in flugfördernder Weise so in horizontaler — hauptsächlich jedoch in vertikaler — Hinsicht wirken.

Kommen wir nun zu Buttenstedts Theorie zurück:

Nach Buttenstedt ist Schwerkraft gleich Flugkraft; die Schwer-kraft vermöge der aktiven Tragfläche Ursache des Fluges; die Flügel-schläge dagegen nur Beschleuniger des Fluges. Wie ich eingangs erwähnt habe, hatte jedoch Buttenstedt die Bedeutung der aktiven Tragfläche überschätzt. Die beim segelnden Vogel beobachtete Horizontalbiegung der Schwungfedern übt wohl eine Wirkung in translatorischem Sinne aus, jedoch nicht in dem Maße, wie dies Buttenstedt und Kort annehmen, da die Luft kein fester Drehpunkt für die Flügelspitze ist. Diese Horizontalbiegung hat zum Großteil ihre Ursache in der Verjüngung des Federschaftes, der dadurch entstehende Reaktionsdruck ist daher kein so großer.

Das als Beweis geltende Beispiel des toten Adlers hat durch die Praxis schon seine Widerlegung gefunden. Jedes hochwertige Segelflugzeug erreicht heute die Gleitzahl von 1:20, und hier sind die Flügel starr und bestehen nicht aus elastischen Federn!

Schon der Umstand allein, dass alle Ruderflieger im Gegensatz zum Segelflieger im Verhältnis zur Flügelspannweite die längsten Schwungfedern besitzen, muss uns sagen, dass die Struktur der Schwungfeder in erster Linie für den Flügelschlag geeignet sein muss. Entsprechend den G. Lilienthalschen Untersuchungen hat z. B. die Krähe, die kein Segelvogel ist, eine Schwungfedernlänge von 0,6, wogegen beim Albatros, der der beste Segler ist, diese Schwungfedernteile nur 1,25 der ganzen Flügellänge betragen. Aus diesem Beispiel ist deutlich zu ersehen, dass die Schwerkraft allein vermöge der Schwungfedernstruktur nicht Flugkraft sein kann, da ja in diesem Falle die Krähe den Segelflug auszuüben besser in der Lage sein müsste als der Albatros.

Wenn nun der Einwand hergebracht würde, dass nur wegen der geringen Flächenbelastung der Krähe im Gegensatz zur hohen des Albatros die Horizontalspannungsenergie nicht zum Segeln ausreichend ausgenützt werden könnte, müsste man die Natur der unökonomischen Handlungsweise bezichtigen, gerade mit den besten Schwungfedern ausgestattete Vögel mit so „wenig" der wichtigen Schwere bedacht zu haben. Diese Anschauung steht aber mit den gemachten Erfahrungen des zweckmäßigen Waltens der Natur in großem Widerspruch.

Betrachten wir nun die Wirkungsweise der aktiven Tragfläche, beziehend auf den Schwingenflug: Wir wissen, die Schlagbewegung stellt eine Winkelbewegung dar. Der beim Flügelschlag auftretende Druck ist daher über die ganze Flügelspannung nicht gleichmäßig verteilt, wie dies beim Segelflug der Fall ist, sondern es treten Druckunterschiede auf. Durch dieses Auftreten der Druckunterschiede bei der Winkelbewegung kann erst die Ausnutzung der Horizontalspannung der aktiven Tragfläche eine vollkommene sein. Diese Wirkung wird durch den Umstand, dass der Widerstand proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit anwächst, noch bedeutend vergrößert. Aus dem Gesagten erkennen wir deutlich, dass die Schwungfedern in erster Linie „Ruderfedern" sind und nicht Segelfedern. Weiter müssen wir daraus den Schluss ziehen, dass die Flügel d e s Schwingfliegers Schwungfedernstruktur besitzen müssen, wenn dieser die Ökonomie des Vogelfluges erreichen soll.

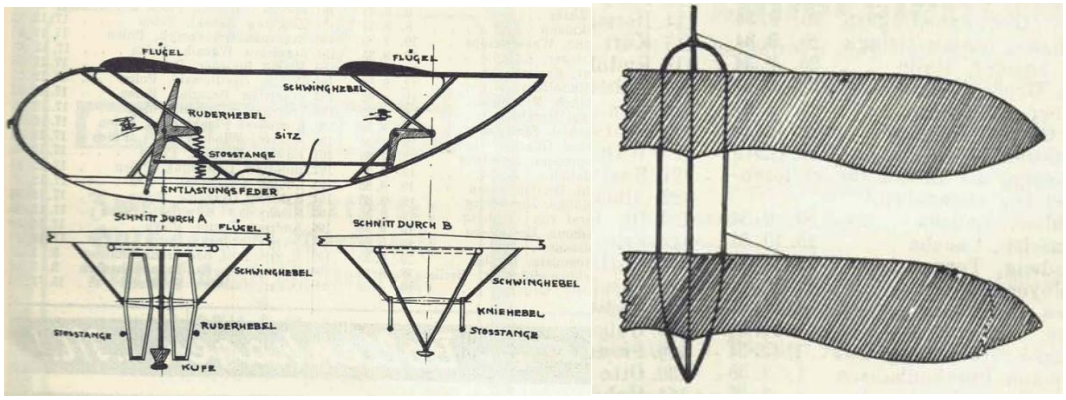


Abb. 13

Die einfachste Lösung dieser Frage würde uns die Flügelkonstruktion nach dem „Einschwungfedernprinzip" bringen. Dass jedoch diese Lösung keine zweckmäßige wäre, zeigt uns schon der Umstand, dass die Zahl der Ruderfedern mit der Größe des Vogels zunimmt. So hat z. B. der Flüge) der Krähe und des Bussard 5 Ruderfedern, der Flügel des Adlers 6, der graue und weißköpfige Geier 7 und der Kondor 8. Die Schwungfeder kann eine bestimmte Tiefe im Verhältnis zur Torsionsfestigkeit des Schaftes nicht überschreiten, da im anderen Falle der Schaft zu sehr auf Torsion beansprucht würde. Bei Verwendung des Einschwungfedernprinzipes würde daher in ersterem Falle, d. h. bei einem Flügel mit größerer Tiefe, die Horizontalspannung des Flügelholmes nicht gut ausgenützt werden können, da er aus Gründen genügender

Torsionsfestigkeit im ganzen biegungssteifer konstruiert sein müsste, im zweiten Falle dagegen, bei einer Flügelabmessung von großer Flügelspannung und geringer Tiefe, könnte ebenfalls nicht genügend Horizontalspannungsenergie erzeugt werden, da der Flügelhohn aus Gründen der Bruchgefahr (Stirndruck) bei dieser großen Flügelspannung ebenfalls nur geringe Horizontalbiegungsfähigkeit aufweisen dürfte. Die Flügelspitze muss daher analog dem Vogelflügel in mehrere Einzelflügel auslaufen.

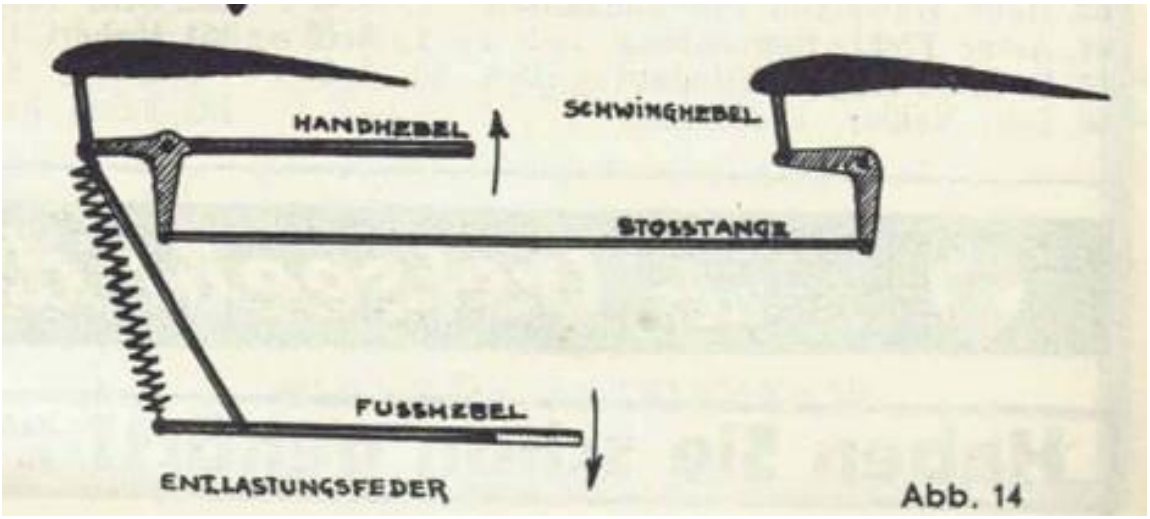


Abb.14

Wenn es der Technik auch nicht gelingt, die Schwungfeder, die eine Spitzenleistung der Natur darstellt, genau zu kopieren, so wird es ihr bestimmt gelingen, dieselbe im Prinzip zu lösen, und dann wird auch die Zeit kommen, wo der ökonomische Schwingenflieger auf den Plan tritt!

Damit kommen wir zurück zu meinen weiteren Konstruktionsvor-schlägen eines Muskelschwingenfliegers.

In der fünften Fortsetzung kamen wir zur Feststellung, dass der Schwingengleiter mit Mehrflügelanordnung nach dem Libellenvorbild erhebliche Vorteile aufweist. Wir wollen daher auch in dieser Richtung die Konstruktionsmöglichkeiten behandeln.

Infolge der Mehrflügelanordnung wird die ganze Flügelspannweite fünf, höchstens sechs Meter betragen. Bei dieser geringen Flügellänge von nur 3 Metern kann der Flügel sehr leicht und elastisch gebaut werden. Wie bei der Libelle fällt hier die Schwanzfläche ganz fort. Der ganze Apparat besteht daher nur aus einem kurzen Rumpfgerüst, auf dem die Flügel in Tandemart angegliedert sind. Durch diese

Bauweise ergibt sich ein geringes Konstruktionsgewicht, und das ist ja beim Schwingengleiter von höchster Bedeutung.

Den einfachsten Konstruktionsvorschlag stellt die **Abb. 13** dar.

Die Muskelkraftübertragung erfolgt durch den dreiarmigen Ruderhebel, wie nach dem Vorschlag von Ing. Goedecker (vergl. **Abb. 12**). Der rückwärtige Schwinghebel ist mit dem Ruderhebel durch eine Stoßstange verbunden, so dass dem hinteren Flügel derselbe Kraftimpuls erteilt wird wie dem vorderen. Entgegen dem Goedecker-Vorschlag ist hier jedoch der Ruderhebel als ein Doppelaggregat ausgebildet. Dadurch kann einseitig der Hub vergrößert werden. Durch diese einseitige Hubvergrößerung, die ja auch dem Flügel selbst mitgeteilt wird, ergibt sich der Kurvenflug. Nach diesem Prinzip ist also keine besondere Steuerungsvorrichtung erforderlich, wodurch sich ja auch diese ganze Angelegenheit wesentlich vereinfacht. Zu diesem Steuerungsvorschlag wurde der Einwand gebracht, dass durch eine einseitige Hubvergrößerung des Flügels keine Kurvensteuerung zustande kommen kann, wenn der Apparat frei in der Luft hängt; dies könnte nur dann eintreten, wenn der Apparat noch mit dem Boden verankert ist. Dieser Einwand ist nicht unbegründet; hat aber nur bei der Starrflügelkonstruktion Gültigkeit. In diesem Falle könnte die einseitige Flügelhubvergrößerung keine Kurvensteuerung bewirken. Anders ist es aber bei Flügeln, die Torsionselastizität aufweisen. Durch diese einseitige aktive Flügelhubvergrößerung federt der Flügelhinterrand infolge der Torsionselastizität mehr durch; es entsteht daher auf dieser Flügelseite rein automatisch ein anderer Anstell-winkel, der die Kurvensteuerung bewirkt. Die einseitige Flügelhubvergrößerung hat hier also dieselbe Wirkung wie die einseitige Flügelverwindung... Bei der Mehrflügelanordnung kann auch, wie schon gesagt, die Torsionselastizität ausgeprägter sein. Es genügt hier daher für die erforderliche Anstellwinkelverschwenkung beim Flügelschlag die Torsionselastizität des Flügels selbst. Durch den Fortfall der zuzüglichen aktiven Anstellwinkelverschwenkung wird die Konstruktion auch vereinfacht, sowie ergeben sich dadurch auch aus Gründen weiterer Gewichtsersparnis Vorteile. Die Anordnung der erforderlichen Ausgleichs- und Entlastungsfedern ist hier im Wesentlichen die gleiche, wie die **Abb. 8** zeigt.-

Da bei der Mehrflügelanordnung, wie schon gesagt, die Flügel aber auch eine hohe Vertikalelastizität aufweisen können, kann die Konstruktion des Apparates noch weiter vereinfacht werden. Der Flügel braucht nicht mittels eines Gelenkes (Schultergelenk) am Rumpf angehängt sein, sondern derselbe kann aus einem einzigen Stück bestehen, das in sich hoch elastisch ist. Was aber für eine Bedeutung die genau abgestimmte Elastizität des durchgehenden Flügelhohnes hat, erkennen wir ausfolgender Überlegung: Wenn man einen elastischen Stab in Schwingungen versetzt, so wandert der Drehungspunkt je nach dem Kraftimpuls mehr oder minder vom eigentlichen Anheftungspunkt des Flügels zur Spitze zu. Die inneren Teile wölben sich also beim Niederschlag entgegengesetzt nach oben durch, während die äußeren Teile hinter dem Knotenpunkt nach abwärts schwingen. Nun ist aber bekannt, dass der Körper beim Schwingenflug eine entgegengesetzte Wellenlinie beschreibt, d. h. beim Niederschlag der Flügel wird der Rumpf selbst gehoben, während er sich beim Aufschlag senkt. Diese Rumpfschwankung ist umso

ausgeprägter, je langsamer der Flügelschlag erfolgt, sowie mit, je größerer Kraftanstrengung die Flügel geschlagen werden. Auch hierdurch verlegt sich also der eigentliche Flügeldrehungspunkt je nach der Größe der Rumpfschwankungen mehr oder minder nach außen. Dieser neue Flügeldrehungspunkt muss aber unbedingt mit dem Knotenpunkt der elastischen Schwingung zusammenfallen, soll die Abstimmung erreicht werden. Daraus ersieht man, dass die Vertikalelastizität der Flügel genau zum Gesamtfluggewicht einerseits, als auch zur Flügelschlagzahl und Amplitude abgestimmt sein muss.

Der durchgehende Flügel kann am Rumpf einen, sowie auch zwei Anheftungspunkte besitzen. Im letzteren Falle muss jedoch die Flügel-lagerung eine derartige sein, dass das Flügelmittelstück sich beim Abwärtsschlag der Flügel nach oben durchwölben kann. Die letztere Anordnung hat den Vorteil, dass der Pilot zwischen dem Doppelrahmen, an dem die beiden Flügel gelagert sind, untergebracht werden kann. Dadurch ergibt sich eine geringe Höhe des Flugzeuges, woraus wiederum eine Vereinfachung des Rumpfgerüstes und eine weitere Verminderung des Gesamtgewichtes resultiert.

Bei der durchgehenden Flügelkonstruktion fällt natürlich die Anwendung von Ausgleichsfedern fort; die Spannung der Entlastungsfedern richtet sich nach dem Gesamtfluggewicht, sowie auch nach der Art der Kraftübertragung (Fall 1 oder Fall 2; vergl. die diesbezügliche Darlegung in der vierten und fünften Fortsetzung). Die **Abb. 14** zeigt schematisch eine weitere Konstruktionsmöglichkeit der Hebelanordnung. Diese basiert auf dem Konstruktionsvorschlag nach **Abb. 8** und **10**. Hier wird ebenfalls die Kraft durch eine Stoßstange auf den hinteren Flügel übertragen. Dieser Vorschlag hat gegenüber dem ersteren den Vorteil, dass auch das Körpergewicht selbst zur Flügelschlagsarbeit herangezogen wird. Die Rumpfkonstruktion selbst gleicht im Wesentlichen dem Vorschlag nach **Abb. 13** und stellt eine einfache Rahmenkonstruktion dar. Hier gilt ebenfalls das für den Fall 1 in der vierten und fünften Fortsetzung Gesagte.

Die **Abb. 15** zeigt die Kraftübertragung bei einem Schwingengleiter nach Fall II. Wie ich schon in der fünften Fortsetzung darlegte, ist das wechselseitige Ausstoßen der Beine der natürlichen Tretbewegung des Menschen angepasst, wodurch sich ein nicht unerheblicher Vorteil ergibt. Der Nachteil dieser Kraftübertragung liegt jedoch in der schlechten Manövrierfähigkeit, bedingt durch den gemeinsamen Kraftarm, der keine einseitige Hubvergrößerung des Flügels gestattet. Bei einer Konstruktion, die keine durchgehenden Flügel besitzt, könnten ja die Flügel um ihre Längsachse drehbar angelenkt sein, so dass durch Betätigung der Handhebel die Grundstellung der Flügel im Gegensinne verstellt werden könnte, wodurch der Kurvenflug zustande käme. Oder es könnte anderseits auch durch eine Ver-windung infolge Betätigung der Handhebel die Kurvensteuerung erfolgen. Jedoch wird die ganze Angelegenheit hierdurch komplizierter Art, da ja die Handmuskulatur schon zur Flügelbetätigung

herangezogen wird. Noch ungünstiger liegt jedoch der Fall bei Anwendung durchgehender Flügel. Es ist daher in diesem Falle die günstigste und einfachste Lösung die Steuerung durch Verlegung des Körper-gewichtes.

Auf dieser Überlegung basiert der in **Abb. 15** skizzierte Konstruktionsvorschlag. Nach diesem Vorschlag ergibt sich durch wechselseitige Betätigung der Beine sowie gegensinnige Betätigung der Hände als auch der Heranziehung des. Körpergewichtes zur Flügelbetätigung die beste Kraftausnützung einerseits, als auch durch die Mehrflügel-anordnung nach dem Libellenvorbild verbunden mit durchgehender Flügelkonstruktion und der Steuerung durch Körperverlegung die einfachste Schwingengleiterkonstruktion. Es ist selbstverständlich, dass dieser Vorschlag keinen Anspruch auf „Durchbildung" des Schwingengleiters erheben kann, es ist dies ja mit Absieht geschehen, um einen einfachen, ja, man kann sagen primitiven Schwingengleiter zu entwickeln, der mit dem geringsten Geldaufwand gebaut werden kann. So wird auch hier die Frage des Selbststarts absichtlich nicht gelöst, um die ganze Angelegenheit nicht zu komplizieren. Es ist selbstverständlich, dass auch hier eine Schleudervorrichtung angebracht werden könnte, doch glaube ich, dass diese Angelegenheit von sekundärer Bedeutung ist und es zuerst einmal darauf ankommt, mit einem Schwingenflugzeug einen wirklichen Flug auszuführen. Da nun aber bei einem Schwingengleiter geringstes Fluggewicht von größter Bedeutung für ein Gelingen des Schwingenfluges ist, anderseits der erprobte vorhandene Gummiseilstart die sekundäre Frage des Starts in einfachster Weise lest, soll nach diesem Vorschlag die Frage des Selbst starte gar nicht angeschnitten werden. — Um jedoch der Ausschreibungs-bedingung des Selbststarts auch beim Schwingengleiter gerecht zu werden, werde ich an einer weiteren Stelle auch eine derartige Schleudervorrichtung behandeln. —

Bei diesem Konstruktionsvorschlag nach Fall 2 (**Abb. 15**) muss bekanntlich die Spannung der Ausgleichs- und Entlastungsfedern resp. bei. Anwendung durchgehender Flügel nur der Entlastungsfedern der-art bemessen sein, dass dieselben das Auftriebsmoment ausgleichen, d. h. der Kraftaufwand zur Betätigung der Flügel ist beim Auf- und Niederschlag der gleiche. Die Flügel sind daher beim passiven Fluge im Gleichgewichtszustand und flach gestreckt. Zwecks besserer Ausnützung des Körpergewichtes zur Flügelschlagsarbeit, als auch besserer Steuerfähigkeit infolge Verlegens des Körpers und aus Gründen weiterer Gewichtsersparnis fällt hier der Sattelsitz auch fort. Beim passiven Fluge befinden sich daher die Fußhebel in der Mittellage und sind durch das Körpergewicht beiderseits gleich belastet.

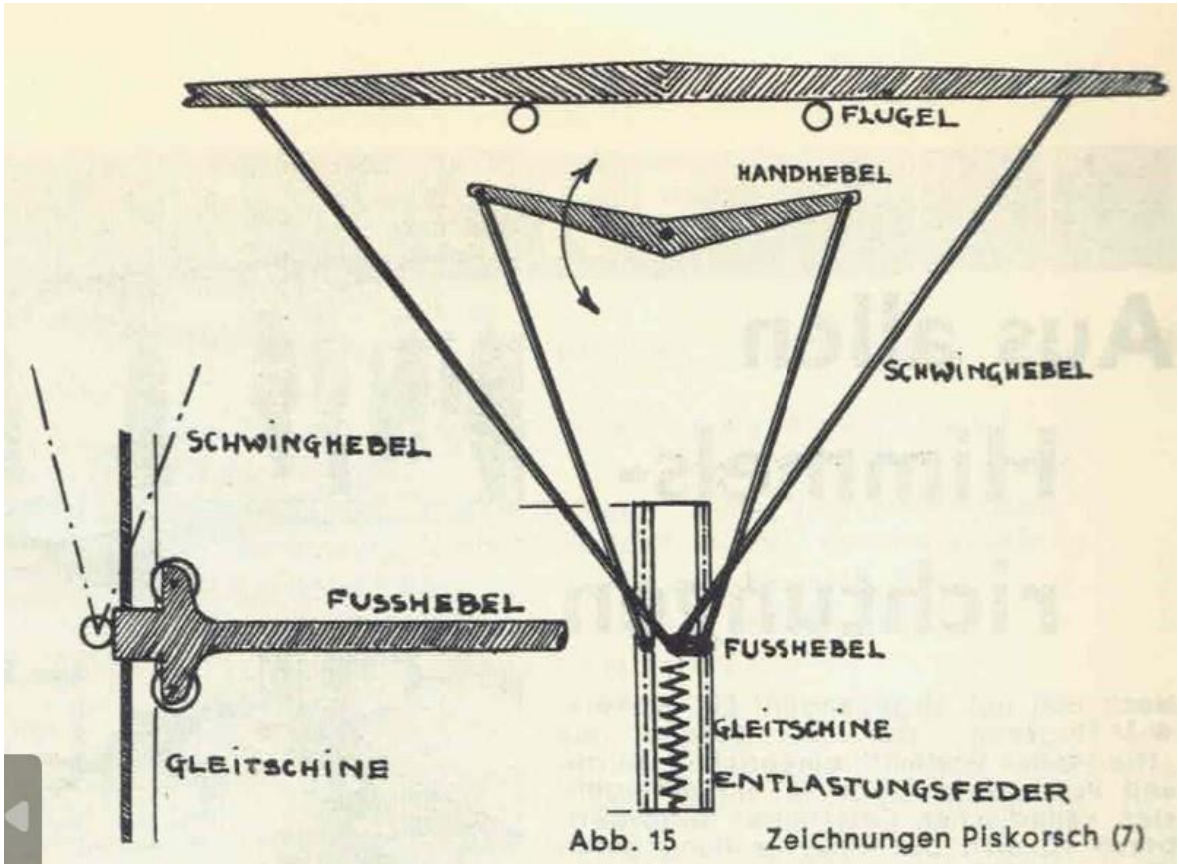


Abb.15

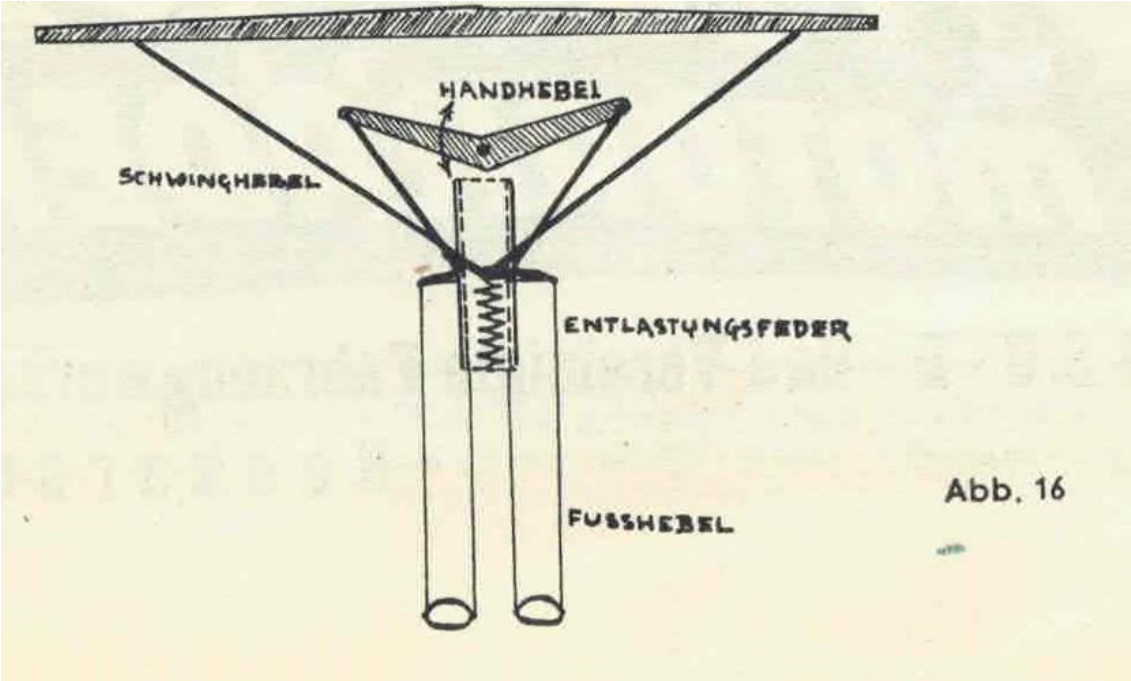
Die **Abb. 15** zeigt schematisch die Hebelanordnung, und zwar ist hier der Handhebel, der drehbar angeordnet ist, mit den Fußhebeln, die auf der Gleitschiene auf und ab bewegt werden, mittels Gestänge verbunden. Die Abb. 15 zeigt die Hebelanordnung gesehen von vorn sowie rückwärts. Nur ein Fußhebel trägt die Zapfen für die Schwinghebel. Da diese Hebelanordnung vorn, wie auch rückwärts die gleiche ist, wird auch den Hinterflügeln der gleiche Kraftimpuls mitgeteilt. Alles Nähere ist aus der Skizze ersichtlich.

Damit ist aber noch nicht die Grenze der Vereinfachung des Schwingengleiters erreicht. Der Schwingengleiter nach dem Libellentyp wird, wie ich schon sagte, ein geringes Konstruktionsgewicht aufweisen und deshalb besteht hier, wenn auch eine primitive Lösungsmöglichkeit des Selbststarts. So wie Otto Lilienthal durch einen Sprung vom kleinen Sprunghügel die Gleitflüge mit seinem Hängegleiter einleitete, wird auch diese Startmöglichkeit mit einem derartigen leichten und kleinem Schwingengleiter möglich sein. Und ebenfalls wird hier auch der Landungsstoß, wie beim Lilienthal-Gleiter, mit den Beinen aufgefangen werden können. Um es kurz zu sagen: die einfachste Konstruktionsmöglichkeit eines Schwingengleiters ist ein Hängegleiter. Die Konstruktion wird im Grunde die gleiche sein, wie in **Abb. 15** dargelegt, nur dass auch hier noch die Kufe fortfällt. Daraus ergibt sich jedoch noch eine weitere Vereinfachung des Rumpfgerüstes, das hier nur noch aus einem Doppelrahmen besteht, an dem die Tandemflügel und die Bein- und Handhebel angebracht sind. Durch diese weitest-gehende Vereinfachung wird es möglich sein,

den Apparat mit einem Gesamtgewicht von etwa 20 Kilogramm herzustellen. Wenn wir bedenken, dass der Apparat von Jakob Degen, den ich eingangs meiner Abhandlung erwähnte, nur 9 Kilogramm wog, werden wir erkennen, dass die Annahme von 20 Kilogramm Gesamtgewicht des Schwingengleiters nicht übertrieben niedrig angegeben ist. Das also ist die eine Möglichkeit des Selbststarts mit diesem Schwingengleiter: zuerst Absprung vom Sprunghügel wie beim Gleitflieger mit gleich darauf an-schließendem Schwingenflug.

Die zweite Möglichkeit des Selbststarts bei einem derartigen Schwingengleiter besteht im „Anlaufen" mit gleichzeitiger Betätigung der Flügel durch die Hand- und Beinmuskulatur. In der vierten Fortsetzung hatte ich zwar dargelegt, dass als Selbststart „Laufen" mit gleichzeitiger Flügelschlagsbetätigung nicht gut in Betracht kommen kann, da ja schon eine große Zusatzenergie erforderlich wäre, um den dauernd nach abwärts wirkendem Zug der Entlastungsfedern zu überwinden. Dies bezog sich jedoch nur auf einen Schwingengleiter mit nur einem Flügelpaar. Die Spannung der Entlastungsfedern musste daher erstens einmal schon wegen des weit höheren Gesamtfluggewichtes, als auch wegen der großen Flügelspannweite eine weit höhere sein. Bei einem Schwingengleiter mit Mehrflügelanordnung und dem geringen Fluggewicht liegt jedoch dieser Faktor weit günstiger, so dass auch ohne große Zusatzenergie die Spannung der Entlastungs-feder überwunden werden kann. Selbstverständlich können hier die Fußhebel nicht starr sein, da ja hierdurch die Möglichkeit des Laufens mit gleichzeitiger Betätigung nicht gegeben wäre, sondern dieselben müssen — ähnlich Steigbügeln — elastisch resp. biegsam sein. Der Start mit einem derartigen Schwingengleiter wird so vor sich gehen, dass man zuerst im Stand durch Betätigung der Hand- und Beinhebel die Flügel aufschaukelt, bis die stationäre Schwingung erreicht ist, dann — unter weiterer aktiver Flügelbetätigung — durch Laufen die erforderliche Geschwindigkeit erlangt, um letztens durch einen kräftigen Absprung zum eigentlichen Schwingenflug überzugehen.

Wir wollen nun nach dieser Darlegung den Schwingengleiter entwerfen.



Die **Abbildung 16** zeigt einen derartigen Vorschlag eines Schwingengleiters schematisch.

Im Wesentlichen gleicht dieser Vor-schlag dem nach **Abb. 15**, nur dass hier an Stelle der starren Fußhebel die biegsamen, steigbügelartigen Fußpedale kommen. Die Führungsschiene ist natürlich dementsprechend höher angebracht, so dass das

eigentliche Rumpfgerüst eine sehr geringe Höhe aufweist. Die Fußpedale können nun einerseits, wie auch bei **Abb. 15**, an den beiden Stoßstangen, die an den Gleitschienen ihre Führung haben, angehängt sein, wobei nur die eine Stoßstange den Zapfen für die Schwinghebel trägt; anderseits können die steigbügelartigen Fußhebel direkt an den Handhebeln angehängt sein. In diesem Falle ist nur eine Stoßstange erforderlich, die die Kraft der Hand- und Bein-muskeln auf die Schwingflügel überträgt. Hier wird natürlich auch nur eine Führungsschiene benötigt. Da die Hand- und Fußhebel zwangsläufig zusammenarbeiten und eine gefühlsverbundene Einheit mit den Flügeln darstellen, wird hier die Abstimmung erreicht. Auch hier wird die Kraft mittels der Handhebel, die ja ebenfalls, wie vorn durch eine Stoßstange in der rückwärtigen Führungsschiene mit den Schwinghebeln verbunden ist, auf die hinteren Flügel übertragen. Der Handhebel stellt hier, wie auch beim Vorschlag nach **Abb. 15**, von oben gesehen ein Rechteck dar. Die beiden vorn und rückwärts drehbar angeordneten Hebel sind mit in der Flugrichtung liegenden Stangen zu einem starren Ganzen verbunden. Dieses Handhebelrecht-eck hat die gleiche Länge wie der Abstand der beiden Flügelpaare. An der Außenseite des Hebelrechtecks befindet sich, wie gesagt, die Gestängeanordnung, wodurch die Kraft der Hand- und Beinmuskeln auf beide Flügelpaare übertragen wird.

Wenn auch dieser Vorschlag nur eine primitive Lösung der Schwingengleiterkonstruktion darstellt, so besteht hier zumindest die Aussicht, dass

ein kleiner Erfolg damit erzielt werden könnte, da hier sowohl die ganze Muskulatur des Menschen zur Flügelschlagarbeit herangezogen werden kann und derselbe auch die Grenze der Einfachheit und des geringsten Konstruktionsgewichtes darstellt. Zu dieser Konstruktion will ich noch bemerken, dass an Stelle des fortgelassenen Sattelsitzes ein Sicherheitsgurt tritt, der an der vorderen und rückwärtigen Führungsschiene angemacht ist.

Es gibt natürlich — von anderer Seite aus entworfen — noch einfachere Schwingengleiterkonstruktionen, die ebenfalls auf dem Prinzip der Schwingungsresonanz basieren. Ich will hier nur den Vorschlag von Ellyson erwähnen. Nach diesem besteht die Tragfläche ebenfalls nur aus einem einzigen Stück, das in sich hoch elastisch ist, dieselbe hat also ebenfalls keinerlei Gelenke oder Scharniere. Der ganze Apparat besteht nur aus einem Flügelstück und der kurzen Dämpfungsfläche. Wie soll nun das Fliegen mit diesem Apparat vor sich gehen? Man soll sich in die Mitte des Tragflügels einschnallen und dann mit den Armen langsam die Eigenschwingung des Flügels herbeiführen. Sobald die stationäre Schwingung erreicht ist, soll durch einen Anlauf und kräftigen Absprung der Flug eingeleitet werden. Nach Ellyson wird der Sprung umso weitertragen, je geschickter der Flieger den Rhythmus der Schwingungsaufschaukelung beherrscht. Verliert er ihn und kommt aus dem Takt, so schwindet der Vortrieb und der Apparat senkt sich im Gleitflug nieder. Ellyson und auch eine Reihe bedeutender Physiker sollen davon überzeugt sein, dass das neue Schwingenflugzeug so weit entwickelt werden kann, dass es nicht. bloß Weitsprünge von mehreren Kilometer Länge zulassen, sondern auch den wirklichen Menschenflug nach Vogelart ermöglichen soll. Nach Ellyson soll der vom Menschen ausgehende Kraftimpuls den Flügel in dem Rhythmus schwingen, der dem Menschen liegt, und das ist der Rhythmus des Herzens, also etwa hundert Schläge in der Minute. Nach der Berechnung und Versuchen kam nun Ellyson zu einer Spannweite von 5-6 m, bei der die Schwingungszahl von ca. 100 Schwingungen in der Minute erreicht wird.

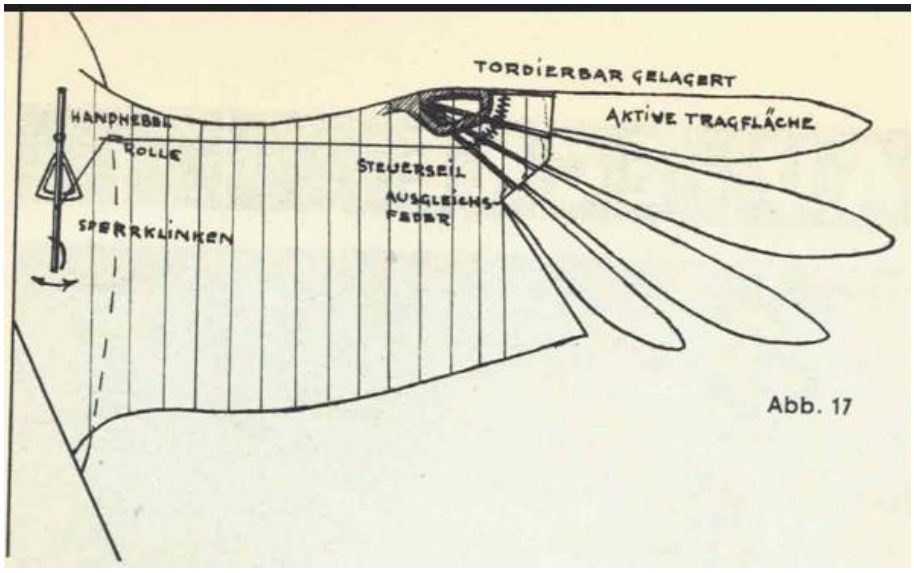


Abb. 17

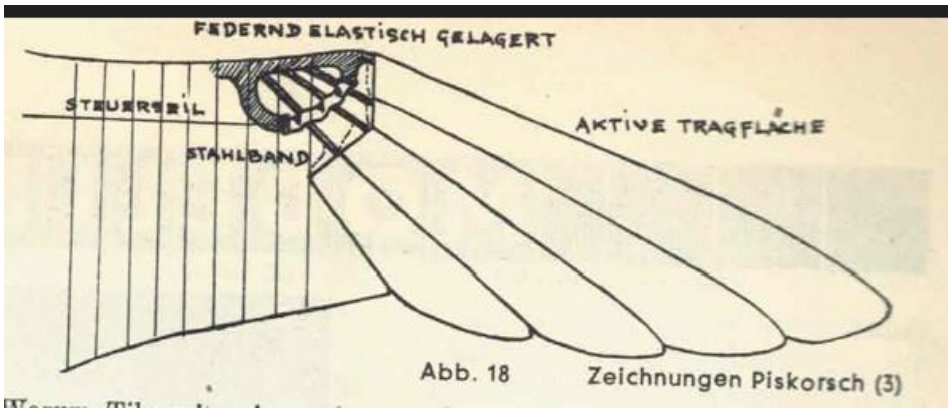


Abb. 18

Es liegt mir fern, diesen Vorschlag irgendwie abfällig kritisieren zu wollen, jedoch kann ich nicht umhin, meine Bedenken demgegenüber auszusprechen. Es ist klar, dass die Schwebearbeit umso größer ist, je größer die Flächenbelastung. Die Insekten und Käfer, die eine hohe Flächenbelastung aufweisen, haben einen weit größer entwickelten Muskelapparat als die gering belasteten Insekten oder Vögel. Da nun der Apparat nach Ellyson nur eine Gesamtspannweite von 5-6 m besitzen soll, die Flügeltiefe aus Gründen genügender Torsionsfestigkeit auch nicht sehr groß sein kann, wird derselbe auch eine verhältnismäßig hohe Flächenbelastung aufweisen. Die Schwebearbeit wird daher nach diesem Vorschlag ebenfalls verhältnismäßig groß sein. Nun soll, wie gesagt, die Flügelbetätigung heim Ellyson-Vorschlag ausschließlich durch die Handmuskulatur erfolgen. Meinen Standpunkt darüber habe ich schon wiederholt dargelegt, der darin gipfelt, dass nur unter Heranziehung der ganzen verfügbaren Muskulatur, und hier kommen in erster Linie die weit kräftigeren Streckmuskeln der Beine in Betracht, die Flügel wirkungsvoll betätigt werden könnten. Man darf der Resonanz keine Wunderwirkung beimessen, die Schwebearbeit muss doch stets geleistet werden., wenn auch hier durch die Schwingungsresonanz der Gesamtkraftaufwand bedeutend vermindert wird. Im Allgemeinen heißt es immer, dass der größte Kraftaufwand zur Aufschaukelung der Flügel erforderlich ist und bei Erreichen der stationären Schwingung derselbe bedeutend heruntergeht. Hier liegt aber beim Ellysonapparat die Schwäche! Im Standversuch ist dies ja alles zutreffend, wie ist dies aber, sobald der Apparat in der Luft hängt? Jetzt, wenn das Körpergewicht selbst zur Aufschlagsarbeit beiträgt? Und dieser Unterschied der Kraftänderung bei Auf- und Niederschlag ist hier sehr erheblich, da ja bei dieser leichten Konstruktion das Körpergewicht den größten Teil des Gesamtgewichtes ausmacht. — Ich brauche mich wohl nicht deutlicher auszudrücken. In der Frage: Wo bleibt hier die stationäre Schwingung und der Rhythmus der Schlagbewegung? ist auch die Antwort über den Wert eines derartigen Vorschlages gegeben. — Es ist selbstverständlich, dass es hier nicht so darauf ankommt, ob auf der Erde der Rhythmus der Schlagbewegung oder die Abstimmung erreicht wird, sondern dass diese Bedingungen restlos beim Fluge erfüllt werden. Und so kommen wir wieder auf die alte Forderung zurück: Das Körpergewicht muss

durch Entlastungsfedern kompensiert werden! Eine andere Möglichkeit wäre noch, dass die Eigenelastizität des Flügels derart bemessen ist, dass sie der Durchfederung nach oben einen weit größeren Widerstand entgegensetzt als nach unten, und zwar musste auch hier der Unterschied der Elastizitätsspannung in diesen beiden Richtungen derart sein, dass auch hier das Körpergewicht wieder kompensiert wird, wodurch wiederum die Abstimmung und der gleichbleibende Rhythmus der Schlagbewegung erreicht werden könnte. Die Natur erreicht die Abstimmung nach diesem letzterwähnten Prinzip! —

Damit kommen wir nun zum Konstruktionsvorschlag eines Schwingenfliegen mit „aktiver Tragfläche". Wie dort gesagt, muss die Flügelspitze analog der Handschwinge des Vogels in mehrere Einzelflügel auslaufen. B= I :2,2 ist durch entsprechende Profilierung des Holmes leicht zu erreichen. Schwierigkeiten der Horizontalbiegungsfähigkeit ergeben sich jedoch durch die Flügelbespannung. Die normale Flächenbespannung ist hier nicht anwendbar. Eine Lösung im diesbezüglichen Sinne finden wir in der dachziegelartigen Flügelbedeckung; dieser Weg wurde von Tilp beschritten. (Vergl. auch die Darlegung der Tilpschen Konstruktion in der 1. Fortsetzung, Heft 10, Jahrg. 1935.)

Tilp schreibt über die Flügelkonstruktion folgendes: Die Rippen sind in der Flächenebene beweglich und beherrschen je einen der das ganze Tragdeck bildenden und gleich Schuppen übereinander greifenden Flächenteile. Diese besondere Einrichtung, die sich auslangen und kostspieligen Versuchen als beste erwies, macht es dem Flügel möglich, sich nach vorn und unten elastisch durchzubiegen. —

Warum Tilp mit seinem Apparat keine Erfolge zeitigen konnte, hatte ich ja schon in der 1. Fortsetzung dargelegt: Bei der hierbei angewandten Parallelbewegung konnte, da ja hier keine Druckunterschiede auftraten, nicht genügend Horizontalspannungsenergie erzeugt werden. — Eine andere Lösung finden wir in der Anwendung des Wellungsprinzips. Bei den Naturfliegern ist der Hinterrand der Schwungfedern im unbelasteten Zustande leicht gewellt; derselbe streckt sich erst bei der Horizontalbiegung glatt. Bei Anwendung dieses Prinzips in der Praxis muss jedoch geachtet werden, dass der Hinterrand nicht tappig ist und flattert, weil derselbe während des passiven Fluges das Gleitvermögen des Apparates weit herunterdrücken würde.

Es können nun in der Praxis die Flügel sowohl nach dem Lee- oder Breitflügeltyp konstruiert sein. Bei dem ersteren, das sind die Meeresflieger, bilden die Handschwingen eine geschlossene Fläche, d. h. die Schwungfedern liegen hier dicht an dicht. Beim letzteren — den Landfliegern — gehen die Schwungfedern strahlenförmig auseinander.

Da dieser Umstand für die Flügelsteuerung von großer Bedeutung ist, will ich zuerst einmal kurz auf den Vogelflug eingehen. Beim Breitflüglertyp erfolgt die erforderliche Anstellwinkelverschwenkung der Handschwinge durch Torsionselastizität der Schwung-federn. Außerdem kann die Grundstellung der Schwungfedern durch aktive Betätigung verändert werden. Die Schwungfedern sind drehbar gelagert und die Kiele durch Sehnenbänder miteinander verbunden. Durch Anziehen und Lockern der Sehnenbänder wird eine Rollung der Schwungfedern um ihren Kiel bewirkt. Beim Auf- und Niederschlag werden die Handschwingen, d. h. die Schwungfedern, nicht aktiv uni ihre Längsachse, verschwenkt. sondern nur durch Torsionselastizität der Schwungfederfahnen. Der Vortrieb kommt beim Vogel zum größten Teil durch die Translationswirkung der aktiven Tragfläche zustand e. Hierzu ist aber keine große Anstellwinkelverschwenkung erforderlich. Die aktive Anstellwinkelverschwenkung der Schwungfeder dient lediglich der Steuerung. Wenden wir diese Erkenntnis in der Praxis an. Entgegen dem Vorschlag (vergl. **Abb. 10 und 11**) braucht bei Verwendung der aktiven Tragfläche der Flügel beim Auf- und Niederschlag nicht aktiv verschwenkt zu werden. Torsionsrohr und Torsionshebel fallen daher fort. Bei der periodischen Kneifübertragung (Fall 1) kann daher der Kurvenflug bei aktivem Fluge einerseits durch einseitige Hubvergrößerung des Tret-motors als auch durch wechselseitige aktive Verschwenkung der Einzelflügel erfolgen. Beim passiven Fluge dagegen erfolgt der Kurvenflug nur durch wechselseitige Verschwenkung der Einzelflügel. Die **Abb. 17** zeigt die Flügelsteuerung nach dem Breitflüglertyp schematisch. Die Einzelflügel sind drehbar gelagert und miteinander durch das Steuerungsseil verbunden, das im Handhebel endet. Durch Horizontalwinkelverschwenkung des Handhebels erfolgt die Flügelsteuerung, und zwar bei Betätigung des Handhebels im gleichen Sinne, Höhen- oder Tiefensteuerung, und im Gegensinne Kurven-steuerung. Aber auch hier sind Entlastungsfedern an den Einzelflügeln angebracht, die dieselben beim passiven Fluge im Gleichgewichtszustand (normaler Anstellwinkel) halten. Hierdurch wird verhindert, dass zur Verschwenkung der Einzelflügel um ihre Längsachse ein großer Kraftaufwand erforderlich wäre. Wir sehen auch hier wieder, dass die Anwendung der Ausgleichs- und Entlastungsfedern heim Schwingenflug eine große Rolle spielt und nur dadurch der Kraftaufwand auf sein Minimum gebracht werden kann.

Aber auch bei der Konstruktion des Schwingengleiters nach Fall 2 erfolgt bei Verwendung aktiver Tragflächen die Steuerung nach demselben Prinzip. Trotz des gemeinsamen Kraftarmes kann der Kurvenflug durch Flügelsteuerung infolge Horizontalwinkelverschwenkung der Handhebel erfolgen. Die Schwanzsteuerung ist also auch bei Fall 2 nicht erforderlich. Es kann demnach auch hier die kurze Bauform mit Erfolg angewandt werden (vergl. **Abb. 10**).

Damit kommen wir zum Langflüglertyp. Dieser bedingt eine andere Flügelsteuerung. Da beim Langflügler die Schwungfederfahne vom benachbarten Kiel überdeckt wird, könnte die beim Niederschlag erforderliche Anstellwinkelverschwenkung durch

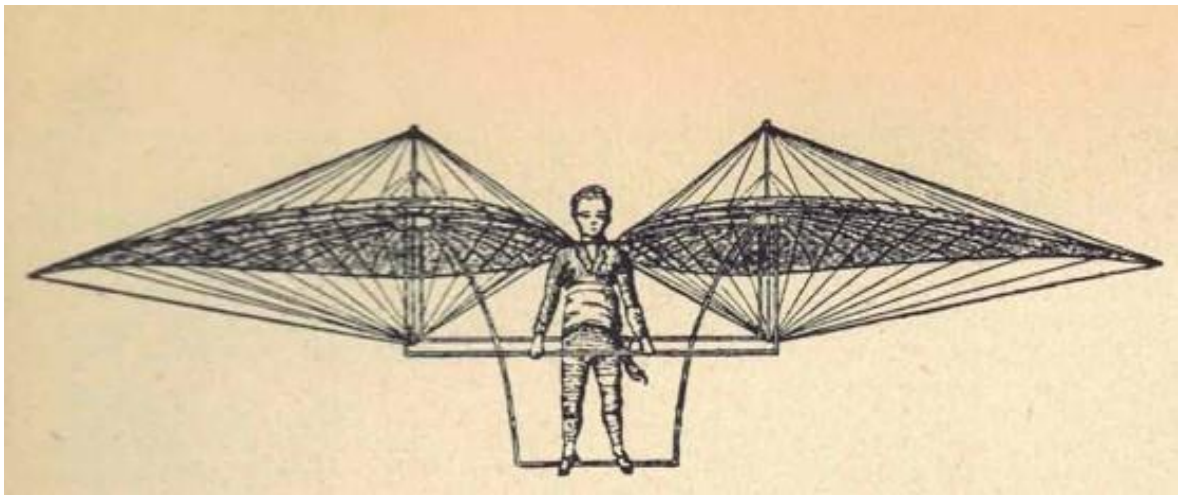
Torsionselastizität der Federfahne nicht eintreten. Beim Breitflügler ist dies ja, wie gesagt, möglich, da ja die Schwungfedern strahlenförmig auseinandergehen, wodurch die Schwungfeder an einer Durchfederung des Hinterbartes nicht gehindert wird. — Aber auch eine aktive Verdrehung der Schwungfeder beim Langflügler ist nicht möglich, da der benachbarte Kiel dies nicht gestattet. Wie kommt hier die beim Flügelschlag erforderliche Pronations- und Supinationsstellung der Handschwinge zustande? Beim Vergleich der Kontur der Schwinge des Lang- und Breitflüglers finden wir, dass beim ersteren die erste Schwungfeder die größte ist, beim letzteren dagegen die mittlere. Darin liegt die Lösung! Beim Langflügler ist die erste Schwungfeder die längste, aber auch biegungssteifste. Die anderen nehmen an Größe und Steifheit ab. Die Pronationsstellung (negativer Anstellwinkel) der Schwinge kommt daher beim Niederschlag durch die wechselnde Durchfederungselastik der Kiele und nun auch der Torsionselastik der Federfahnen zustande. Das gleiche gilt für den Aufschlag. —

Selbstverständlich kann auch beim Langflügler der Grad des Durchfederungswinkels geregelt werden, d. h. auch hier kann aktiv die Pronations- und Supinationsstellung (negativer oder positiver Anstellwinkel) der Handschwinge verstellt werden, und zwar auf folgende Art:

Die Schwungfedern sind am Handskelett federnd elastisch eingespannt und miteinander durch elastische Sehnenbändler verbunden.

Bei Streckung der Hand ist die Durchfederungsspanne der Schwungfedern in ihrer Lagerung am geringsten. Bei Beugung der Hand, und somit Entspannung der Sehnenbänder, werden die Schwungfedern für dorso-ventrale Einflüsse locker, d. h. die wechselseitige Anstellwinkelverschwenkung wird durch die Rückwärtsbeugung der Hand vergrößert. Bei Beginn des Fluges oder bei Windstille, wo durch die Schwinge in erster Linie Schwebearbeit geleistet werden muss, ist daher die Flügelhand gestreckt. Bei Gegenwind dagegen oder beim schnellen Horizontalfluge ist die Schwinge nur auf Propulsion eingestellt, daher zwecks Vergrößerung des Durchfederungswinkels Rückwärtsbeugung der Hand.

Dasselbe Steuerungsprinzip können wir nun in der Praxis bei der Schwingengleiterkonstruktion nach dem Langflüglertyp anwenden. Die **Abb. 18** zeigt dies schematisch. Durch Betätigung des Handhebels, d. h. durch Lockern oder Anspannen der elastischen Lagerung der Einzelfügel, kann die Durchfederungsspanne mehr oder minder fixiert werden. Durch Betätigung des Handhebels im gleichen Sinne erfolgt daher auch hier Höhen- oder Tiefensteuerung und durch Betätigung im Gegensinne Kurvensteuerung.



Der Schneider von Ulm, Jakob Degen, mit seinem Schwingenflugzeug.
(Nach Nimführ: Luftschifffahrt und Technik.)



Lilienthals Gleitschwingenflieger.

Otto Lilienthals Schwingenflieger, den ich eingangs meiner Abhandlung erwähnt hatte, wies ebenfalls — analog der Handschwinge des Vogels — Einzelflügel auf. Bei diesem Apparat sollten bekannt-lieh nur die Flügelspitzen durch einen Motor in pulsierende Bewegung versetzt werden, während die basal gelegenen Flügelteile starr waren. Bei Verfolgung des Prinzips der aktiven Tragfläche dürften allerdings die Einzelflügel nicht durch einen Randbogen mit-einander verbunden sein, auch dürften wie hier beim Lilienthalapparat die Zugseile, die von den Schlagflügeln zur Mitte resp. zum Antrieb führen, nicht im Druckzentrum der Schlagflügel angebracht sein, da ja in diesem Falle die Flügelspitzen gefesselt wären und hier auch das Prinzip der Schwingungsresonanz gar nicht angewandt werden könnte.

Schon damals hatte Lilienthal in seinem berühmten Werk: „Der Vogelflug" die Konstruktion eines Schwingenfliegers skizziert und für einen Apparat von einem Gesamtgewicht von 90 kg eine Fläche von 10 qm angenommen, wobei bei einer Ausführung nach dem Breitflüglertyp die Spannweite 8 m und die größte Flügeltiefe 1,6 m betragen sollte, während bei einer Ausführung nach dem Langflüglertyp die

Spannweite 11 m und die größte Flügeltiefe 1,4 m betragen würde. Im ersteren Falle läuft die Flügelspitze in voneinander abstehende Einzelflügel aus, während im letzteren Falle der Flügel sich zu einer Spitze verjüngt. Auch hier sagte Lilienthal, dass zur Hervorrufung der Flügelschläge durch die Kraft des Menschen vor allem die Streckmuskeln der Beine verwendet, werden müssten.

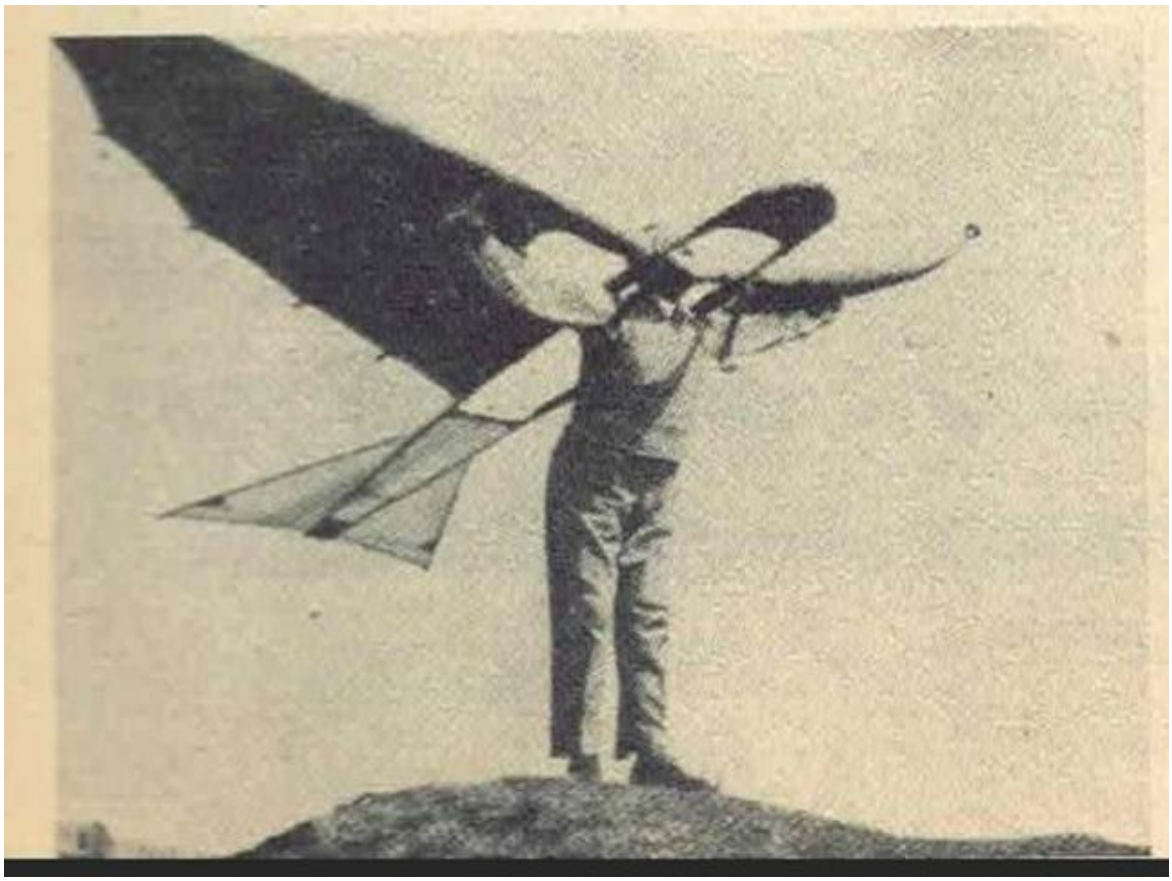
Im Zusammenhang mit diesem komme ich nochmals auf den erwähnten Vorschlag von Ellyson zurück. Das Foto zeigt ein älteres Versuchsmodell aus dem Jahre 1932. Nach Angaben hatten der Apparat eine Spannweite von etwas über 3 m. Die Flügel wurden durch Handmuskulatur betätigt. In einer späteren Abhandlung im Jahre 1933 schrieb dann Ellyson: Irrtümlicherweise ist damals in der Öffentlichkeit vielfach die Auffassung entstanden, dass die von mir erstrebte Endform eines Muskelkraftflugzeuges jene primitive Aasführung und Antriebsweise haben müsse, die ich damals rein behelfsmäßig zu dem Zwecke eines einfachen Vorversuchs gewählt habe . . .

In der neueren Darlegung aus dem Jahre 1935 ist Ellyson trotz alldem hei seinem alten Prinzip geblieben, nur mit dem Unterschied, dass hier die Spannweite auf 5-6 m verlängert wurde. Auch hier sollte der Flieger sich in der Mitte des Tragflügels einschnallen und nur mit den Armen die Flügel betätigen. Diesen neueren Vorschlag hatte ich ja schon in der letzten Fortsetzung dargelegt. Warum ich eine derartige Konstruktion nicht für gut halte, habe ich in der letzten Fortsetzung auch schon dargelegt. Nicht nur, dass die Handmuskulatur viel zu schwach ist, sondern auch dass durch diese Antriebsweise selbst die verfügbare Kraft der Handmuskeln nicht voll ausgenützt werden kann, da ja das Wichtigste, der feste Halt resp. das Sichdagegenstemmen fehlt! Bei Betrachtung dieses Fotos hat man den Eindruck, dass die Sache „funktionieren" müsste! Hier reichen ja die Arme fast bis zur Mitte der Flügelspannung. Was nützt es aber, wenn auch die Flügel betätigt werden könnten, wenn der hierdurch erzeugte Auftrieb infolge Fehlens genügender Fläche bei weitem nicht ausreicht? Gewiss, auch bei kleineren Flügeln könnte genügend Auftrieb erzeugt werden, aber nur bei dementsprechender Vergrößerung der Flügelschlagszahl and hierdurch auch gesteigerter Leistungsabgabe. Beide Faktoren kommen aber bei einem derartigen Muskelkraftflugzeug nicht in Betracht, da sowohl die gegebene Schlagzahl als auch die Energieabgabe der Handmuskulatur auf den erforderlichen Stand nicht. gebracht werden könnte. Zwecks genügender Auftriebserzeugung muss daher in diesem Falle die Tragfläche selbst vergrößert werden. Wie ich erwähnte, soll nach dem neueren Vorschlag von Ellyson die Flügelspannung 5-6 m betragen, also fest doppelt so lang sein, wie beim ersteren Vorschlag, Jetzt erkennen wir aber auch, dass die ganze Angelegenheit nun weit ungünstiger aussieht. Die Armlänge steht nun zur Flügellänge im Verhältnis von 1:6. Dass hierbei die Flügel mit der geringen Armmuskulatur nicht wirkungsvoll betätigt werden könnten, ist wohl leicht einzusehen. Hier ist aber noch ein Umstand von großer Wichtigkeit: der Wirkungsgrad eines schlagenden Flügels steigt proportional

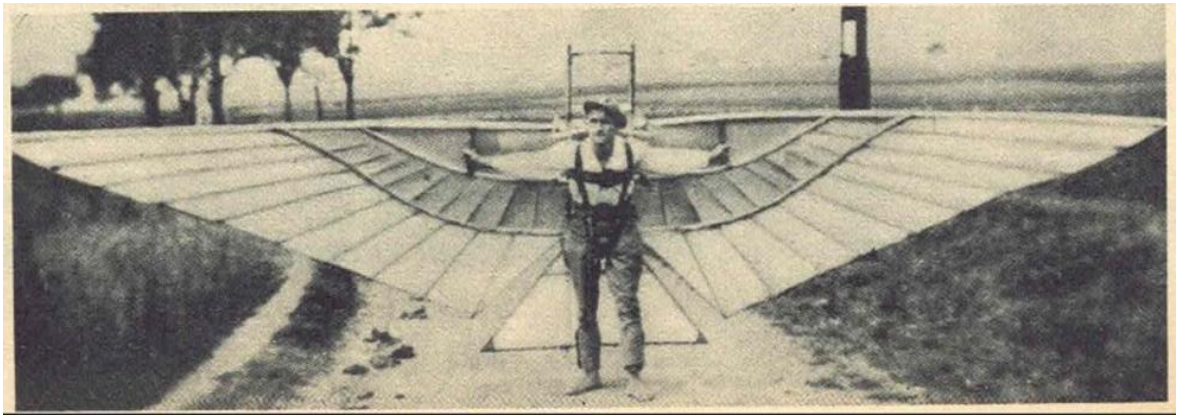
dem Quadrat seiner Länge und seiner Geschwindigkeit. Die Verdoppelung der Flügellänge ergibt vierfachen Effekt, desgleichen das bloße Verdoppeln der Schlagzahl; und das Verdoppeln von Flügellänge und Schlagzahl zusammen ergibt 16fachen Effekt. In dem gleichen Verhältnis steigt aber auch der erforderliche Kraftaufwand. Wir sehen also, dass durch bloßes Vergrößern der Flügelspannweite bei gleichbleibendem Kraftaufwand dieser ungünstige Umstand nicht beseitigt werden kann. Auch bei diesem neuen Vorschlag von Ellyson könnte nicht. genügend Auftrieb erzeugt werden, da die Handmuskulatur nicht ausreicht, diese größeren Flügel wirkungsvoll zu betätigen. Dieser erforderliche Kraftaufwand kann auch nicht — wie auch oft irrtümlich angenommen wird — durch das Prinzip der Schwingungsresonanz reduziert werden, dadurch werden lediglich die alternativen Trägheitskräfte annulliert, die natürlich bei einer Schlagbewegung mit starren Schwingflügeln sonst sehr erheblich wären. Aus diesem Grunde ist auch der Albatros im Grunde genommen kein Rudervogel mehr, sondern nur ein „Segler". Die Flügel des Albatros sind sehr lang und schmal, dieselben würden demnach durch Schlag-betätigung einen größeren Auftrieb erzeugen, wenn — die Muskelkraft zur Betätigung dieser langen Flügel ausreichen würde. Hierzu langt aber die Muskelkraft nicht, sondern nur zur Fixierung und Steuerung der Flügel. Der Albatros braucht aber auch nicht den Ruderflug auszuüben, da er ja der Meister des Segelfluges ist und auch immer die Gelegenheit hat, den Segelflug auszuüben und daher nur selten zum für ihn sehr anstrengenden, Ruderflug greifen muss Anderseits erkennen wir aber auch, warum die Insekten, die eine hohe Flächenbelastung und daher auch eine hohe Schwingungszahl aufweisen, im Gegensatz zu den Vögeln und Insekten mit geringer Flächenbelastung einen weit größeren Muskelapparat besitzen, da ja der Kraftaufwand ebenfalls proportional dem Quadrat der Schlaggeschwindigkeit wächst. Daraus ist aber wieder zu ersehen, dass ein Schwingenflieger mit kleinen Schlagflügeln — bei Betätigung der Schlagflügel durch die Armmuskulatur —, gesetzt ' den Fall, es bestände die Möglichkeit der Erzeugung hinreichender Schlaggeschwindigkeit, ebenfalls keinen Erfolg aufweisen könnte. Daraus ist genügend zu ersehen, dass beide Wege, sowohl bei einem Schwingenflieger mit großen Schlagflügeln als auch mit kleinen Schlagflügeln bei Betätigung derselben nur durch die Handmuskulatur zu keinem Erfolg führen können. Und gerade diese Ikarieden sind die größten Optimisten, die sich nicht überzeugen lassen wollen von der Unbrauchbarkeit derartiger Konstruktionen. Es ist dies ohne Zweifel die verlockend einfachste Konstruktion eines Schwingen-fliegers und diese Form findet auch schon in der Sage von Dädalus und Ikarus ihre Verkörperung. Es darf aber nicht vergessen werden, dass wir Menschen ja nicht als Flieger geboren wurden und dass daher die Flugbedingungen für uns gar nicht zutreffen. Und das ist in erster Linie die völlig abweichende Ausbildung der gesamten Muskulatur. Bei den Flugtieren sind die Brustmuskeln, die die Flügel betätigen, am weitesten ausgebildet, während die anderen Muskelpartien nur sehr gering sind; beim Menschen dagegen sind die Beinmuskeln am stärksten entwickelt. Die Gesamtmuskulatur des Vogels steht zu

der des Menschen im Verhältnis von ca. 6:1. Daraus ist schon der erhebliche Vorteil gegenüber dem Menschen betreffs Energieabgabe zu ersehen. Vergleichen wir dagegen die Flügelschlagmuskeln mit den Armmuskeln des Menschen, so müssen wir mindestens das Doppelte hinzurechnen. Daraus ist wohl deutlich zu ersehen, dass mit einem Schwingenflieger mit Armmuskelbetätigung der Erfolg ausbleiben muss. Und dann darf auch nicht vergessen werden, dass der Vogel mit, seinem Flugapparat ein „Ganzes" repräsentiert und auch der Gütegrad des Vogelflügels in Bezug auf Elastizität als auch geringes Gewicht usw. in der Praxis nicht erreicht werden kann.

Das folgende Foto zeigt ebenfalls einen Schwingengleiter mit Armmuskelbetätigung. Auch dieser Erfinder, ein junger Tischlergeselle aus Nordböhmen, verspricht sich hierdurch einen Erfolg. Dass diese Konstruktion, wenn sie auch an sich ganz geschickt aussieht, eine Laienarbeit darstellt, erkennt man sofort. Hier wird weder das Prinzip der Schwingungsresonanz angewandt noch sind hier irgendwelche Ausgleichs- und Entlastungsfedern, die das Körper-gewicht kompensieren, angebracht: Dem jungen Erfinder würde es nicht ein bisschen besser gehen als dem Schneider von Ulm, auch hier würden die Flügel mangels Kraft hochgeschlagen!



Ellyson mit seinem Muskel-Flugapparat,



Friedrich Eigler in Türmitz (Nordböhmen) mit seinem Flugapparat.
Archiv Piskorsch (4)

Auch Jakob Degen hatte erkannt, dass die Armmuskulatur allein zu gering sei und dass hier unbedingt ein fester Halt resp. ein Sichdagegenstemmen zwecks voller Ausnützung der Muskulatur erforderlich ist. Er betätigte daher die Flügel, indem er sich gegen die untere Stange stemmte und die obere zu sieh emporzog. Auch hier besaßen die Flügel keine Gelenke, sondern waren durch ein elastisches Medium miteinander verbunden. Dass Degen mit diesem Apparat keinen Erfolg aufweisen konnte, lag erstens darin, dass er hierbei das Prinzip der Ventilklappenanordnung anwandte und zweitens dadurch den Vertikalflug auszuüben erstrebte. Nun ist aber bekannt, dass der Vertikalflug den größten Kraftaufwand erfordert und dass selbst von der großen Zahl der Vögel nur einige diese Flugart ausüben können.

Hätte Degen den Apparat derart umkonstruiert, dass er nicht von der Stelle aus, sondern durch einleitendes Laufen in den Horizontalflug überging — selbstverständlich unter Ausschaltung der Ventilklappenanordnung — dann wäre ihm wohl ein kurzer Flug gelungen.

Damit kommen wir zu meinen Vorschlägen eines Schwingengleiters zurück. In der letzten Folge hatte ich nach diesen Gedankengängen den Schwingengleiter skizziert und kam zur Feststellung, dass der Schwingengleiter mit Mehrflügelanordnung und biegsamen Fußhebeln, die ein Betätigen der Flügel mit Hilfe der gesamten Muskulatur schon am Boden gestatten, die größten Erfolgsaussichten besitzt. Hier ließ ich jedoch die Frage offen, wie der dauernd nach abwärts wirkendem Zug der Entlastungsfedern am Boden selbst. noch kompensiert werden könnte. Und diese Frage ist an sich nicht unwichtig, da hierzu ein verhältnismäßig großer Mehrbetrag an Kraft zu deren Überwindung erforderlich ist, wenn auch bei der Mehrflügelanordnung dieser Umstand nicht so sehr ins Gewicht fällt. Aber auch dieser Faktor kann bei einem Vorschlag wie nach **Abb. 16** annulliert werden, und zwar auf eine sehr einfache Weise: Diese Entlastungsfedern sind derart angebracht, dass sie erst in Wirksamkeit treten, wenn das Flugzeug vollständig vom Boden abhebt, d. h., solange der Pilot, die Flügel betätigend, noch am Boden läuft, das Körpergewicht also noch

nicht aufschlagsarbeitend wirkt, sind die Entlastungsfedern „gefesselt". Mit vollständigem Abheben des Körpers vom Boden tritt durch eine Zwangsauslösung die Entlastungsfeder in Funktion. Die Zwangsauslösung erfolgt mit Hilfe des Sicherheitsgurtes durch das Körpergewicht selbst. Hierdurch wird auf einfache Weise gewährleistet, dass sowohl am Boden als auch in der Luft für Auf- und Niederschlag der gleiche Kraftaufwand erforderlich ist und auch der Rhythmus der Schlagbewegung erhalten bleibt. Diese einfache Lösungsmöglichkeit besteht natürlich nur bei Hängegleitern, deren Flug durch Laufen eingeleitet. wird.

Nun können wir auch wieder zum Einflügelprinzip zurückkommen. Bei einem derartigen Hängegleiter könnten auch hier die Entlastungsfedern, wie eben beschrieben, am Boden gefesselt sein. Dadurch besteht also auch hier die Möglichkeit, die Flügel selbst am Boden wirkungsvoll zu betätigen. Sache des Versuchs wird es sein, festzustellen, ob die Flügelkonstruktion nach dem Breitflüglertyp oder dem Langflüglertyp für einen derartigen Schwingengleiter geeigneter ist. Richtunggebend jedoch hierzu wird die Eigenelastizität des Flügels sein, deren Schwingungsfrequenz mit der gegebenen Schlagzahl des Muskelmotors ja im Einklang stehen muss. Bei der Flügelkonstruktion nach dem Breitflüglertyp wird es jedoch zwecks Erzeugung hinreichender Propulsion erforderlich sein, dass die Flügelspitze in Einzelflügel ausläuft, da sonst bei der hier erforderlichen großen Flügeltiefe und der hierdurch bedingten Torsionsfestigkeit der Flügel zu wenig Vortrieb erzeugen könnte.

Die **Abb. 19** zeigt schematisch einen derartigen Vorschlag nach Fall 2. Das Rumpfgerüst, welches den Flügel und die Dämpfungsfläche trägt, ist — ähnlich dem Ellyson-Apparat — an den Schultern befestigt. Zwecks bester Ausnützung der gesamten Muskelkraft greifen die Hände nicht, wie bei Ellyson direkt in die Flügel ein, sondern dieselben betätigen den Handhebel, welcher in Brusthöhe am Rumpfgerüst angebracht ist. Die Fußhebel bestehen hier ebenfalls aus Steigbügeln. Auch hier besitzen die Steigbügel Doppelseile, damit dieselben bei Beugung des Knies nicht hindern. Die Fußhebel sind hier also direkt an den Handhebeln angebracht, und zwar werden sie im Gegensinne zum Handhebel betätigt. Zwecks Parallelhaltung der Steigbügel ist nur ein Seil derselben je am Handhebel befestigt, das andere Seil läuft über eine Rolle und führt zurück zum anderen Steigbügel. Hierdurch wird auf einfache Weise gewährleistet, dass die Steigbügel der freien Tretbewegung nicht hinderlich sind. Die gesamte Muskelkraft wird durch die eine Schubstange, die an einem Ende des Handhebels befestigt ist, und deren anderes Ende — in der Gleitschiene geführt, mittels Bolzen mit den Schwinghebeln verbunden ist — auf die Schlagflügel übertragen. Wie die Skizze zeigt, wurden die Übertragungsorgane oberhalb des Flügels verlegt, damit dieselben beim Laufen nicht hinderlich sind. Auch hier können, wie ich schon sagte, die Entlastungsfedern durch die automatische Auslösung, hervorgerufen durch das Körpergewicht beim Abheben vom Boden, in Funktion treten. Wenn auch dieser

Konstruktionsvorschlag an sich primitiv ist, so besteht hier doch wenigstens die Aussicht, dass damit ein freier Flug erreicht werden könnte, da die Flügelbetätigung durch die gesamte Muskulatur erfolgt. Selbstverständlich wird der beste Wirkungsgrad erzielt, wenn die Flügel als aktive Tragflächen ausgebildet sind.

Bei einem Apparat, dessen Flügel in Gelenken gelagert sind, dieselben also keinen durchgehenden Flügel aufweisen, kann die Kraftübertragung durch einen Schwinghebel erfolgen, wie in **Abb. 9** dargelegt. Die Hand- und Fußhebelanordnung ist die gleiche wie bei **Abb. 19**, nur dass die in der Führung laufende Schubstange den in **Abb. 9** dargelegten Kopf trägt, in welchen die Flügel eingreifen.

Das ist die eine Möglichkeit der Kraftübertragung der Arm- und Beinmuskeln auf die Flügel. Eine weitere Möglichkeit besteht darin: Die Hand- und Fußhebelanordnung bleibt die gleiche; an Stelle der Schubstangenübertragung der Kraft auf die Schwinghebel tritt eine. Kulisse, die mittels einer Führung rein vertikal bewegt wird. Diese Kulisse trägt an beiden Enden die Schwinghebel. Ein Ende des Handhebels greift in diese Kulisse ein und durch die Winkelbewegung des Handhebels wird die Kulisse in eine Vertikalbewegung versetzt, wodurch mittels der hier angelenkten Schwinghebel den Flügeln die pulsierende Bewegung aufgezwängt wird.

Eine weitere Kraftübertragung auf die Flügel zeigt die Abb. 20. Aus dieser ist alles Nähere zu ersehen. Die Hand- und Fußhebel-anordnung selbst ist jedoch ebenfalls die gleiche wie bei Abb. 19.

Eine weitere Ausführungsmöglichkeit, bei welcher die Armmuskeln nicht direkt zur Flügelbetätigung herangezogen werden, zeigt die **Abb. 21**. Hier werden die Flügel nur durch die Beinmuskeln betätigt. Mit den Armen hält man sich am Rumpfgerät fest. Durch dieses bloße Festhalten der Arme bzw. durch dieses Sichdagegenstemmen wird die Muskelkraft der Beine ebenfalls restlos ausgenützt. Die Muskelkraft der Beine wird hier ebenfalls durch die steigbügelartigen Hebel, die ebenfalls mittels Rollen zwangsläufig miteinander verbunden sind, auf die in der Führung laufenden Schwinghebel übertragen.

Nach derselben Ausführung ist hier auch noch denkbar, dass die Hände nicht, wie dargelegt, sich entgegenstemmend am Rumpfgerüst festhalten, sondern direkt — wie beim Ellysonapparat — in die Flügel eingreifen. Wenn auch nach diesem Vorschlag die Erfolgsaussichten nicht so groß sind, wie beim Vorschlag nach **Abb. 19,** da hierdurch die gesamte Muskulatur nicht restlos ausgenützt werden kann, so stellt er jedoch gegenüber dem Ellyson-Vorschlag eine weit-gehende Verbesserung dar, da hier das wichtigste, die Beinmuskulatur, zur Flügelbetätigung herangezogen wird und hier ebenfalls diese Kraft gut ausgenützt wird, weil hier das Sichdagegenstemmen ebenfalls vorhanden ist, indem der Pilot sich beim Ausschlag der Beine mit der Schulter gegen das Rumpfgerüst stemmt. Selbstverständlich werden auch nach diesem Vorschlag die Flügel nach Fall 2 betätigt.

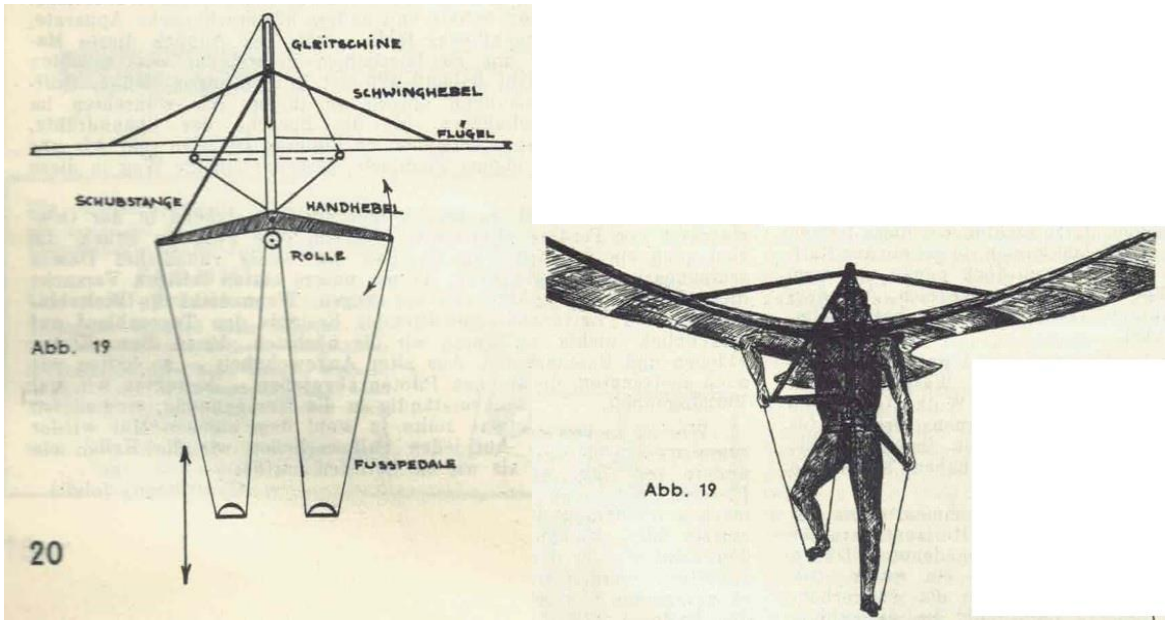

GLEITSCHINE
SCHWINGHEBEL
FLÜGEL
SCHUBSTANGE
HANDHEBEL
ROLLE
Abb. 19
FUSSPEDALE
20
Abb. 19

Abb. 19

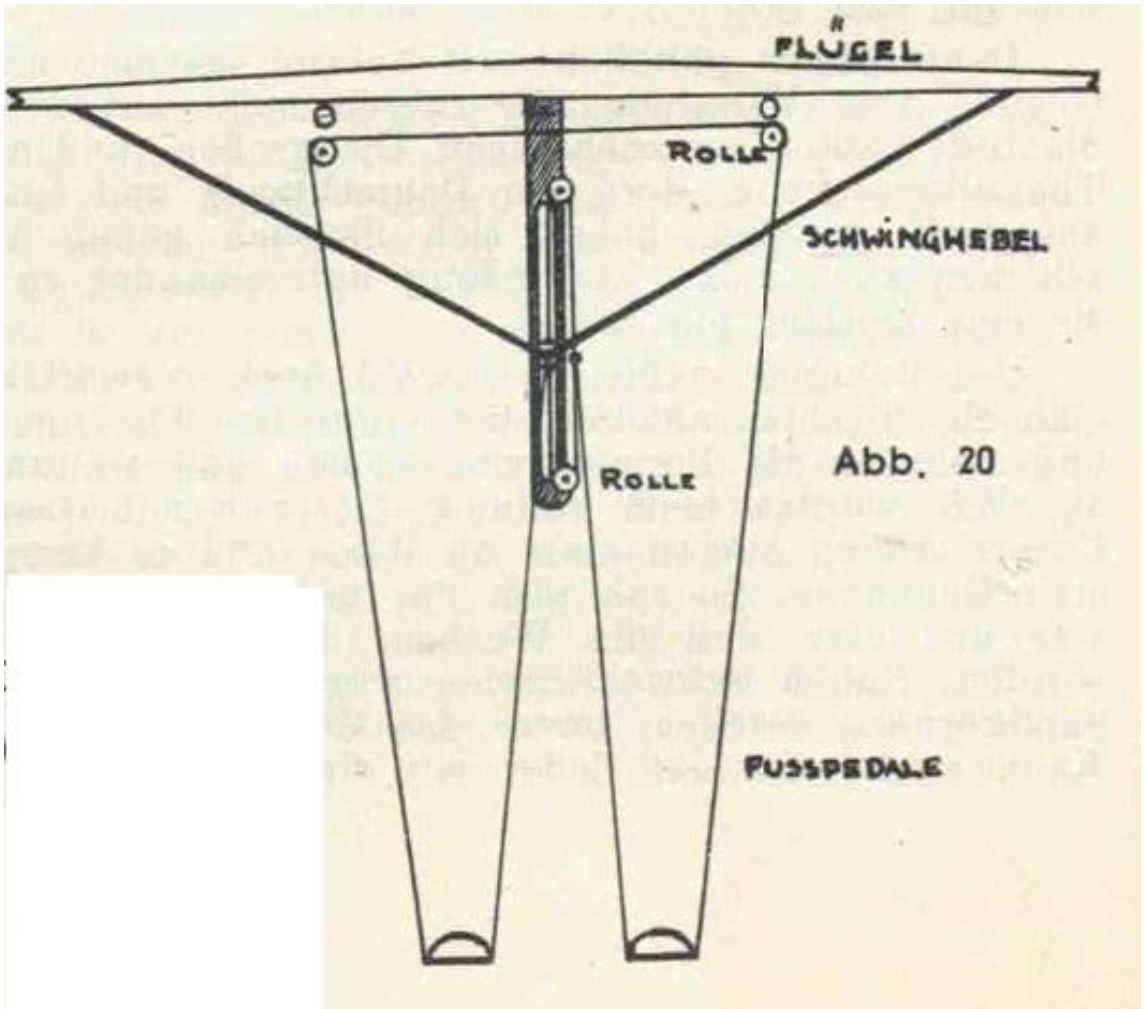

FLÜGEL
ROLLE
SCHWINGHEBEL
ROLLE
Abb. 20
FUSSPEDALE

Abb.20

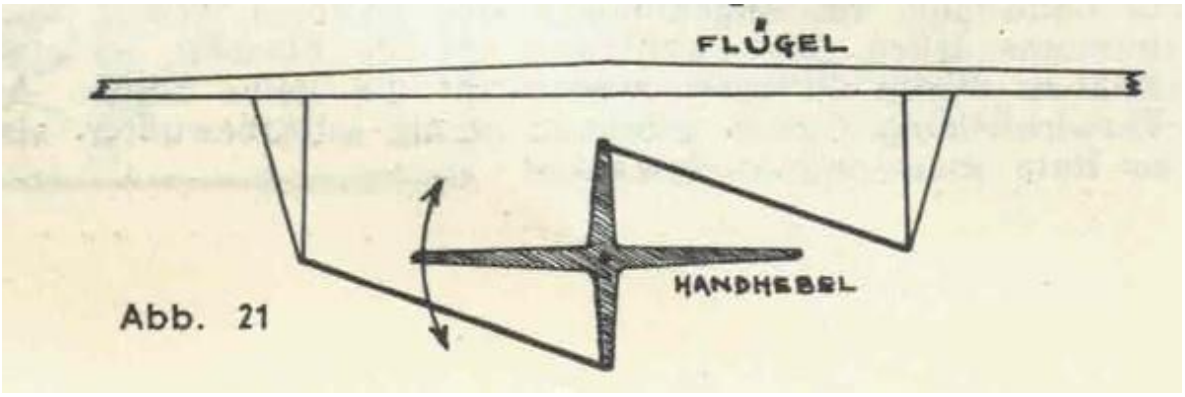


Abb.21 Zeichnungen Piskorsch (4)

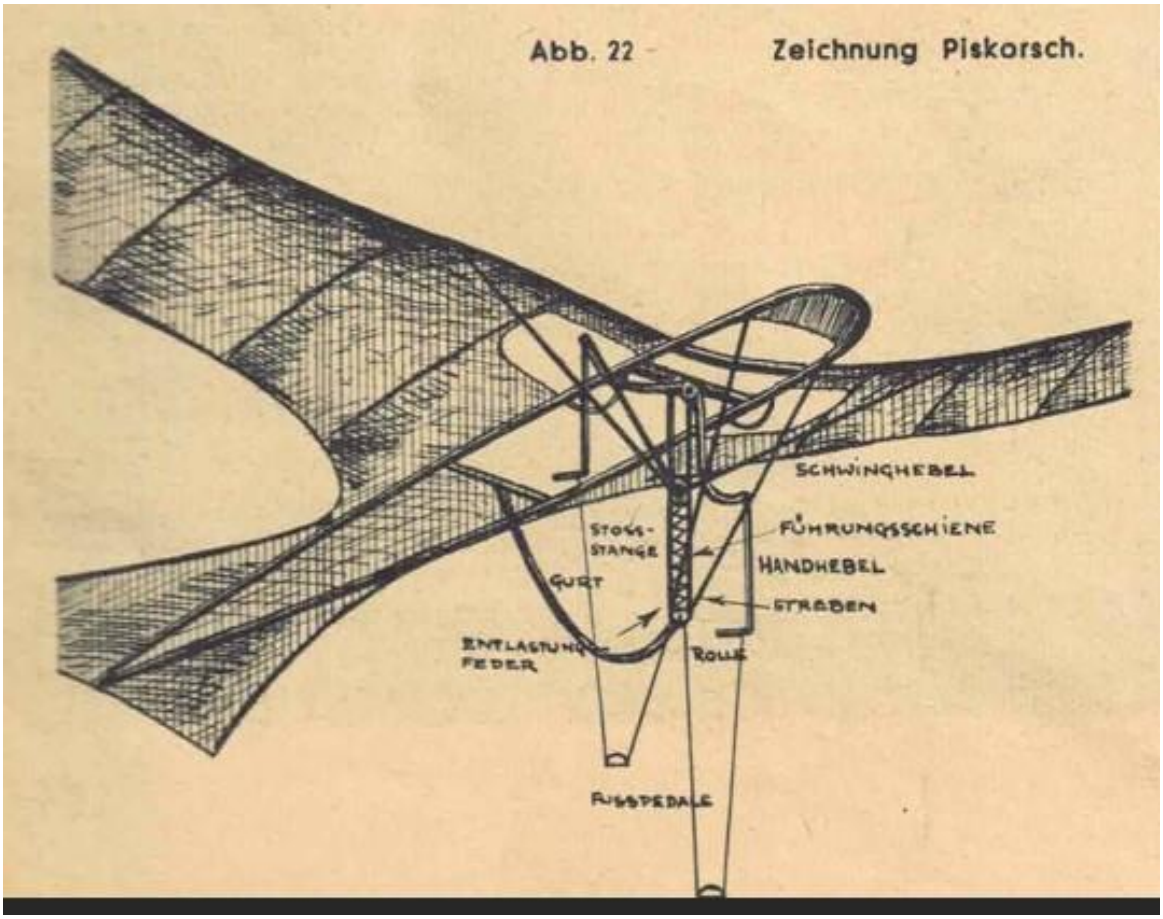


Abb.22 Zeichnung Piskorsch

Die Abb. 22 zeigt eine andere Konstruktionsmöglichkeit. Aus der Anschauungsskizze ist alles Nähere zu ersehen. Nach diesem Vorschlag befinden sich die ganzen Übertragungsorgane unterhalb des Flügels. Im Grunde genormten gleicht dieser Vorschlag dem nach **Abb. 19**, mir dass der Handhebel höher verlegt wurde. Dadurch wurde der ganze Aufbau verkürzt, so dass die Führungsschiene mit den Hebein beim Laufen nicht mehr hinderlich ist. Diese hier dargelegten Schwingengleiterkonstruktionen stellen meiner Ansicht nach die Grenze der Vereinfachung verbunden mit geringstem Gewicht dar. Selbstverständlich ist hier

auch noch möglich, statt des doppelarmigen Handhebels zwei einarmige Handhebel zu verwenden, die parallel zum Rumpfträger bewegt werden. Hier sind jedoch noch zuzüglich Übertragungsorgane von einem zum anderen Handhebel erforderlich, wodurch die Übertragung weniger günstig ist. Auf jeden Fall glaube ich jedoch, dass die Übertragung der Beinmuskulatur auf die hier dargelegte Art bezüglich höchster Kraftausnützung (Gewicht und Zweckmäßigkeit) die beste zu sein scheint.

Der Apparat soll eine Spannweite von ca. 8 m besitzen. Die Hublänge der Beine und Hände beträgt 45 cm. Der Flügeldrehpunkt (Schulterhöhe) vom Erdboden gemessen beträgt ca. 1,50 m. Der Spitzenweg des Flügels ist daher ca. 3 m. Beim durchgehenden Flügel kann kein anderes Übersetzungsverhältnis gewählt werden, sondern es muss hier die ganze erreichbare Hubhöhe der Beine und Hände, also 45 cm, auf die Schwinghebel übertragen werden, da die Schwinghebel weiter vom Flügeldrehpunkt angreifen müssen. Bei Verwendung von Schultergelenken liegt in diesem Falle die Sache günstiger. Hier kann man ein anderes Übersetzungsverhältnis wählen, so dass die Hubhöhe des Schwinghebels in der Führungsschiene und somit auch diese selbst kleiner bemessen sein. kann.

Damit komme ich noch kurz zurück auf den Vorschlag mit Mehrflügelanordnung. (Vgl. **Abb. 16**.) Auch hier stellt die einfachste Lösung die Verwendung der Rolle dar. Das Übertragungsprinzip ist hier also genau dasselbe, nur dass der Handhebel .an beiden Enden eine Stoßstange besitzt, wodurch die gesamte Muskelkraft mittels der Schwinghebel auf beide Flügelpaare übertragen wird.

Hier komme ich noch kurz auf einen Hängegleiter nach Fall I zu sprechen. Ohne hier auf einen Vorschlag selbst näher einzugehen, will ich bemerken, dass man hier an Stelle starrer Fußpedale ebenfalls die steigbügelartigen Fußpedale verwenden könnte. Sonst gilt auch hier das schon an anderer Stelle Gesagte. — Ich halte jedoch einen derartigen Vorschlag nicht für so gut, als die Letzt dargelegten, da, wie schon gesagt, derselbe gegenüber der periodischen Tret-bewegung sowohl eine bessere Kraftausnützung gestattet als auch hierdurch die Flügelschlagzahl höher wird.-

Vollständigkeitshalber will ich hier noch eine Möglichkeit streifen, bei welcher der Pilot liegend die Schwingen betätigt. Schon Leonardo da Vinci entwarf einen derartigen Flugapparat. Bestechend hierfür ist, dass dadurch der Luftwiderstand stark herabgedrückt werden kann., anderseits die Fuß- und Handhebel sich hier am Rumpfgerüst einfacher anbringen ließen, wodurch auch noch weiter am Gewicht gespart werden könnte. Der hierdurch entstehende Nachteil überwiegt aber bei weitem diese Vorteile. In dieser unbequemen liegenden Stellung kann die gesamte Muskelkraft bei weitem nicht in dem Masse ausgenützt werden, wie bei den anderen Vorschlägen, auch kann hier das Körpergewicht selbst nicht zur Schlagbetätigung herangezogen werden und nicht zuletzt ist hier die Frage des Starts weit ungünstiger. Aus diesen Gründen sehe ich hier von einer Be-handlung dieser Möglichkeit ab. –

Schwingengleiter mit starrem Flügelstück

Wie ich auch schon an anderer Stelle darlegte, hat ein derartiger Konstruktionsvorschlag auch seine Vorteile, da hierbei das starre Flügelmittelstück den Auftrieb erzeugt und die Schlagflügel selbst nur auf Propulsion eingestellt sind. Als wichtigste Bedingung ist jedoch hierbei die Erzeugung hinreichender Propulsion mittels der Schwingflügel.

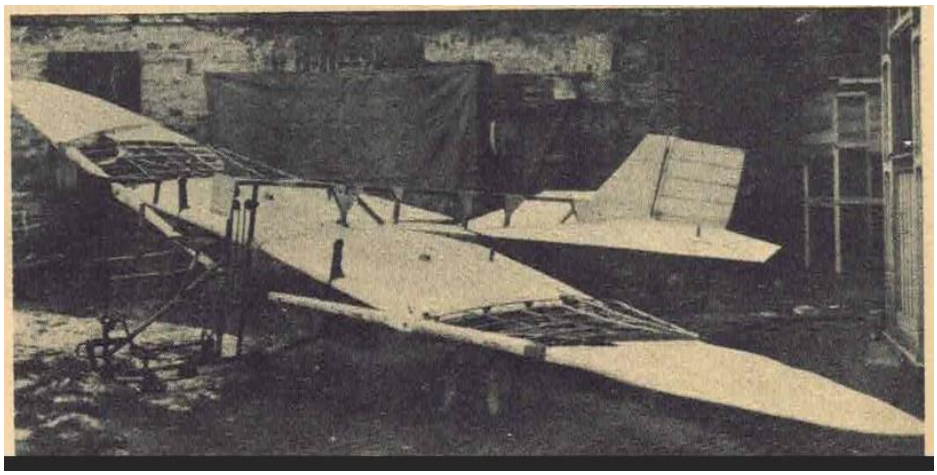


Abb.23 Bild „Der Deutsche Sportflieger“

Zuerst jedoch will ich an einem praktischen Beispiel zeigen, wie man es nicht machen soll! Der in **Abb. 23** gezeigte Schwingenflieger ist ein Schwingengleiter mit starrem Flügelmittelstück, an dem die Schwingflügel angelenkt sind, die mittels Beinmuskulatur betätigt werden. Laut Angabe des Erbauers hat die volle Umdrehung der Tretpedale einen Doppelschlag (Auf- und Niederschlag) der Schwingflügel zur Folge. Außerdem werden bei jedem Niederschlag die äußeren Teile der Schwingflügel nach rückwärts geschlagen resp. geführt und beim Aufschlag wieder in ihre alte Normalstellung nach vorn gebracht. — Aus dem und noch anderen Fotos des in **Abb. 23** gezeigten Apparates ist jedoch noch folgendes zu ersehen: die Schwingflügel sind in sich starr, sowohl der Holm als auch die Rippen. — Wo liegen hier die Fehlerquellen? Erstens einmal: Der Flügelhub ist durch diese Tretvorrichtung und hier angewandte Kraftübertragung fest bestimmt. Dadurch und infolge der Starrkonstruktion der Schwingflügel können hier die alternativen Trägheitskräfte nicht annulliert werden, es ist daher eine große Zusatzenergie zur Betätigung der Schlagflügel erforderlich. Zweitens kann, da die Schwingflügel weder um ihre Längsachse drehbar sind noch torsionselastisch, da ja die Rippen starr sind, hier ebenfalls nicht die beim Flügelschlag erforderliche Pronations- und Supinationsstellung eintreten. Nach dieser Konstruktion kann also beim Flügelschlag nicht genügend Vortrieb erzeugt werden. Wahrscheinlich sollte hier der Vortrieb durch gleichzeitige Rückwärtsführung der Flügelspitze beim Niederschlag zustande kommen. Aber auch das ist unrichtig. Wenn der Flügel selbst nicht um seine Längsachse drehbar ist, d. h. also beim Niederschlag nicht die Pronationsstellung der Schwinge eintreten kann, kann auch durch die

Rückwärtsführung der Flügelspitze kein Vortrieb erzeugt werden. An dieser Stelle will ich kurz bemerken, dass im Allgemeinen der Flügel bei den Naturvorbildern beim Niederschlag von oben rückwärts nach unten vorn geführt wird und nicht, wie hier von Dockhorn angenommen, dass der Flügel beim Niederschlag gleichzeitig nach rückwärts geschlagen wird. Dieses Voreilen des Flügels beim Niederschlag erfolgt rein automatisch infolge der Pronationsstellung. der Flügel. Ein einfacher Versuch zeigt die Richtigkeit: wenn man sich bemüht, ein Lineal, dessen Vorderkante nach abwärts geneigt ist, rein vertikal nach abwärts zu schlagen, bemerkt man, dass das Lineal umso weiter nach vorn ausweicht, je kräftiger der Schlag geführt wird. Beim Flügel erfolgt nun rein automatisch beim Niederschlag infolge Durchfederns des elastischen Hinterrandes die Pronationsstellung, und dadurch kommt auch rein automatisch das Voreilen des Flügels zustande. Aber dadurch wird ja gerade erst der Flügelniederschlag wirkungsvoll, da hierbei der Flügel entgegen dem Staudruck geführt wird! Wenn der Vortrieb durch Rückwärtsschlagen des Flügels beim Niederschlag zustande kommen sollte, dann müsste, da ja der Rumpf gleichzeitig in Vorwärtsbewegung begriffen ist, der Niederschlag bedeutend schneller erfolgen, wenn hierbei der gleiche Nutzeffekt erstrebt würde. Aber auch dadurch allein könnte noch nicht der gleiche Nutzeffekt erreicht werden, der Flügel müsste hier eine weit stärkere Pronationsstellung aufweisen, dadurch würde jedoch wieder der Stirnwiderstand erheblich anwachsen. Wir sehen daraus, dass eine Rückwärtsführung des Flügels beim Niederschlag sehr unökonomisch wäre. Der Ruderflug der Vögel hat also nichts mit „rudern" gemein; während beim ersteren Falle der Flügel beim Niederschlag bei geringer Pronationsstellung die Luft mit der Vorderkante leicht durchschneidend von oben rückwärts nach unten vorn geführt wird, gehen die Ruder mit der vollen Breitseite nach rückwärts. — Beim Falkentyp werden nun die Handschwingen auch aktiv nach rückwärts „gerissen", aber erst nach Beendigung des Niederschlages, wodurch eine weitere Steigerung des Vortriebes eintritt. Dies hat aber mit dem Rückwärtsschlagen beim Niederschlag nichts gemein.

Wir sehen also, dass der Flugapparat **Abb. 23** eine Fehlkonstruktion darstellt, die jedoch bei Kenntnis des Schwingenflugproblems hätte vermieden werden können. Allein schon die Kraftübertragung ist hier sehr unzweckmäßig. Diese wäre hier auf einfache Weise unter Berücksichtigung der Forderung des unbegrenzten Hubes leicht anders zu erreichen. Auch die vielen hier angewandten kraftverzehrenden Kettenräder stellen kein praktisches Ausführungsbeispiel dar.

An dieser Stelle möchte ich zwecks Vermeidung weiterer Fehlkonstruktionen denen Ikariden, die nicht die nötigen Vorkenntnisse besitzen, raten, sich erst die Grundlagen des Schwingenflugproblems anzueignen, damit ihnen nicht durch dieses zwecklose Herumlaborieren und Bauen unnötige Kosten erwachsen. —

Unter anderen Konstruktionsvorschlägen, die zur Begutachtung eingesandt wurden, befand sich auch die Schwingengleiterkonstruktion eines „fliegenden Fahrrades". Auch diesem Konstrukteur möchte ich hier kurz folgendes sagen: Die fahrradbeschwerten Schwingenleiter haben keine Aussicht auf Erfolg. Wie ich schon oft erwähnte, ist bei der Schwingengleiterkonstruktion geringstes Gewicht Grundbedingung. Die Tretvorrichtung des Fahrrades mit der hierbei begrenzten Hublänge ist kein geeignetes Kraftübertragungmittel, und letztens die Ventilklappenanordnung ist, wie ich ja schon eingangs meiner Abhandlung darlegte, verfehlt, besonders, wenn die Klappen in Flugrichtung am Flügel angeordnet sind ...

Bezüglich eines Vorschlages eines Schwingengleiters mit starrem Flügelmittelstück kann ich mich hier kurzfassen, da eine derartige Konstruktion im Wesentlichen den anderen Schwingengleitern gleichen kann. So könnte hier der Schwingengleiter ähnlich dem nach **Abb. 21** konstruiert sein, nur dass an Stelle des durchgehenden Flügels das starre Flügelmittelstück kommt und die Schlagflügel in Gelenken am äußeren Ende des starren Flügelmittelstückes angelenkt sind. Die Fußpedalanordnung bliebe auch hier die gleiche.

Schwingensegler

Damit kommen wir zur 2. Gruppe eines Muskelschwingenfliegers, zum Schwingensegler. Unter Schwingensegler verstehe ich, wie schon gesagt, ein Muskelkraftflugzeug mit Energieakkumulator. Als Energieakkumulator eignet. sieh am besten ein Riesengummistrang. Man kann hier auch mehrere Gummistränge in einer Batterie vereinigen ähnlich den Hochleistungsflugmodellen. Es wäre zwar auch möglich, als Energieakkumulator eine Stahlfeder zu verwenden, jedoch wäre dies sehr unzweckmäßig, da eine Stahlfeder zirka das Sechsfache des Gummistranges vom gleichen Energiegehalt wiegt. Die Verwendung einer Stahlfeder als Energieakkumulator kommt daher infolge ihres großen Gewichtes nicht in Frage. Dagegen könnte hier auch mit gutem Nutzeffekt die Energieaufspeicherung durch Pressluft erfolgen.

Wie aus den Konstruktionsvorschlägen eines Schwingengleiters ersichtlich, bietet die Kraftübertragung des Muskelmotors auf die Flügel keine Schwierigkeiten, da infolge der Gefühlsverbundenheit des Antriebs mit dem Schwingflügel einerseits und dem unbegrenzten Hub des Muskelmotors andererseits die Abstimmung erreicht wird. Hier stellt das Ganze eine gefühlsverbundene Einheit dar. Weit ungünstiger liegen jedoch die Verhältnisse beim Schwingensegler. Hier wird die Gefühlsverbundenheit des Muskelmotors mit dem Schwingflügel durch die Zwischenschaltung des Energieakkumulators unterbrochen. Wie ich schon in der 4. Fortsetzung darlegte, muss der Schwingflügel in der Lage sein, unabhängig vom Hub des Antriebes seine Hublänge zu bestimmen. Die Flügelmassen dürfen in ihrer natürlichen Schwingung nicht gestört werden, da man sonst unzulässige Beanspruchungen der Flügel herbeiführen würde, die zum Bruch derselben führten.

Die Zwischenschaltung des Energieakkumulators scheidet die Übertragung des unbegrenzten Hubes des Muskelmotors auf die Flügel aus. Aus konstruktiven Gründen muss der Energieakkumulator eine rotierende Bewegung aufweisen, das bedeutet also begrenzte Hublänge der Kurbel. Eine feste Kupplung zwischen Kurbel und Flügel, also hier die Kurbelstange, wäre falsch, da die Abstimmung nicht erreicht werden könnte. Eine lose resp. elastische Kupplung zwischen der rotierenden Kurbelwelle und den Schwingflügeln wäre ebenfalls unbrauchbar, da umso geringere Kräfte übertragen werden können, je loser die Kupplung ist. Andererseits würde aber auch eine Drehbewegung mit unbegrenztem Huh auf große konstruktive Schwierigkeiten stoßen, desgleichen wäre die Konstruktion eines „schwingenden" Antriebes schwer mit dem Energieakkumulator vereinbar. Wir sehen daraus, dass beim Schwingensegler die Kraftübertragung des Antriebes auf die Flügel die größten Schwierigkeiten bereitet. Es fehlt die Gefühlsverbundenheit oder die Abstimmung! Schieferstein hatte vorgeschlagen, die Flügelschwingungen auf die Tourenzahl der Antriebskurbel abzustimmen. Doch in der Praxis ist das nicht möglich. Kein Antrieb wird in der Tourenzahl so reguliert werden können, dass diese mit der Schwingungszahl der Flügel genau übereinstimmt, denn die Massenbeschleunigung der Flügel und der Luftwiderstand setzen dem Antrieb eine immer wechselnde Kraft entgegen. Von dieser Überlegung ausgehend, hat nun Ing. Goedecker einen völlig neuen Weg mit der Konstruktion der „freien Koppelung" eingeschlagen

Anhand der **Abbildungen 24-26**, die mir Ing. Goedecker zwecks Veröffentlichung im „Deutschen Sportflieger" freundlichst zur Verfügung gestellt hat, will ich nun Goedeckers „freie Kopplung" erklären. Nachdem Ingenieur Goedecker zur eben dargelegten Überlegung gekommen war, war es für ihn selbstverständlich, dass die feste Verbindung zwischen Kurbelwelle und Flügel wegfallen musste, damit die Flügel einen beliebig großen Hub ausführen können, so dass bei kräftigem Antrieb dieselben weiter ausschwingen können und bei großem Luftwiderstand der Flügel, d. h. bei großer Dämpfung der Schwingung, der Hub entsprechend kleiner wird.

Das neue Modell „Urvogel 2" hat also, wie die **Abb. 25** zeigt, die beiden Flügel a in zwei Kugelgelenken h gelagert. Eine Welle c quer zur Flugrichtung trägt auf jeder Seite einen Nebel d, welche mit den beiden Flügeln durch je eine Schubstange e verbunden sind. Da der Flügel im Kugelgelenk auch nach vorn und rückwärts schwingen könnte, wird ihm durch eine besondere Verspannung f ein bestimmter Weg aufgezwängt. Die Verspannung ist an einem Punkte g befestigt, wodurch der Flügel von hinten oben nach unten vorn geführt wird. Zwecks Vermeidung des Hochklappens der Flügel beim Fluge dient. die Entlastungsfeder h. Die Spannung dieser Feder ist so bemessen, dass die Flügel im Fluge in der Mittellage bleiben. Da nun aber auch die schwingende Welle mit den Flügeln durch die Stangen e verbunden ist, bleibt auch diese Welle in der Mittellage. Die zweite Feder i hat den Zweck, eine bestimmte Kraft auf die schwingenden Massen, also Flügel, Welle und Verbindungsstangen, auszuüben. Jetzt genügt eine geringe Kraft, um die Flügel in

Schwingung zu halten. Diese Kraft muss nur im richtigen Augenblick einsetzen, und zwar, wenn die Flügel durch die Mittellage schwingen. Um dies auszuführen, befestigte Goedecker auf der schwingenden Welle eine Kulisse k, welche durch eine Kurbelwelle 1 hin und her bewegt wird. Die Kulisse hat nicht zwei Gleitbahnen, wie bei meinem Vorschlag **Abb. 5** dargelegt, sondern 4, die kreuzförmig angeordnet sind (vgl. **Abb. 26**). Der Kurbelzapfen in läuft vom unteren Totpunkt bis zum oberen auf der Gleithahn n und hat auf diesem Weg der Kulisse einen An-stoß gegeben. Im oberen Totpunkt wird die Kurbel durch die zweite Gleitbahn o angehalten, und die Kulisse schwingt in ihrer Bewegungsrichtung weiter, bis die Massenenergie verbraucht ist. Durch die gespannte Entlastungsfeder sowie die gespannte Resonanzfeder i wird der Flügel wieder in die Richtung p zurückschwingen und die Kulisse lässt die Kurbel wieder frei, welche dadurch auf die 3. Gleitbahn q drückt und dieser wieder einen Anstoß, und zwar diesmal in der entgegengesetzten Richtung p gibt, bis der Kurbelzapfen im unteren Totpunkt durch die 4. Gleitbahn r wieder angehalten wird.

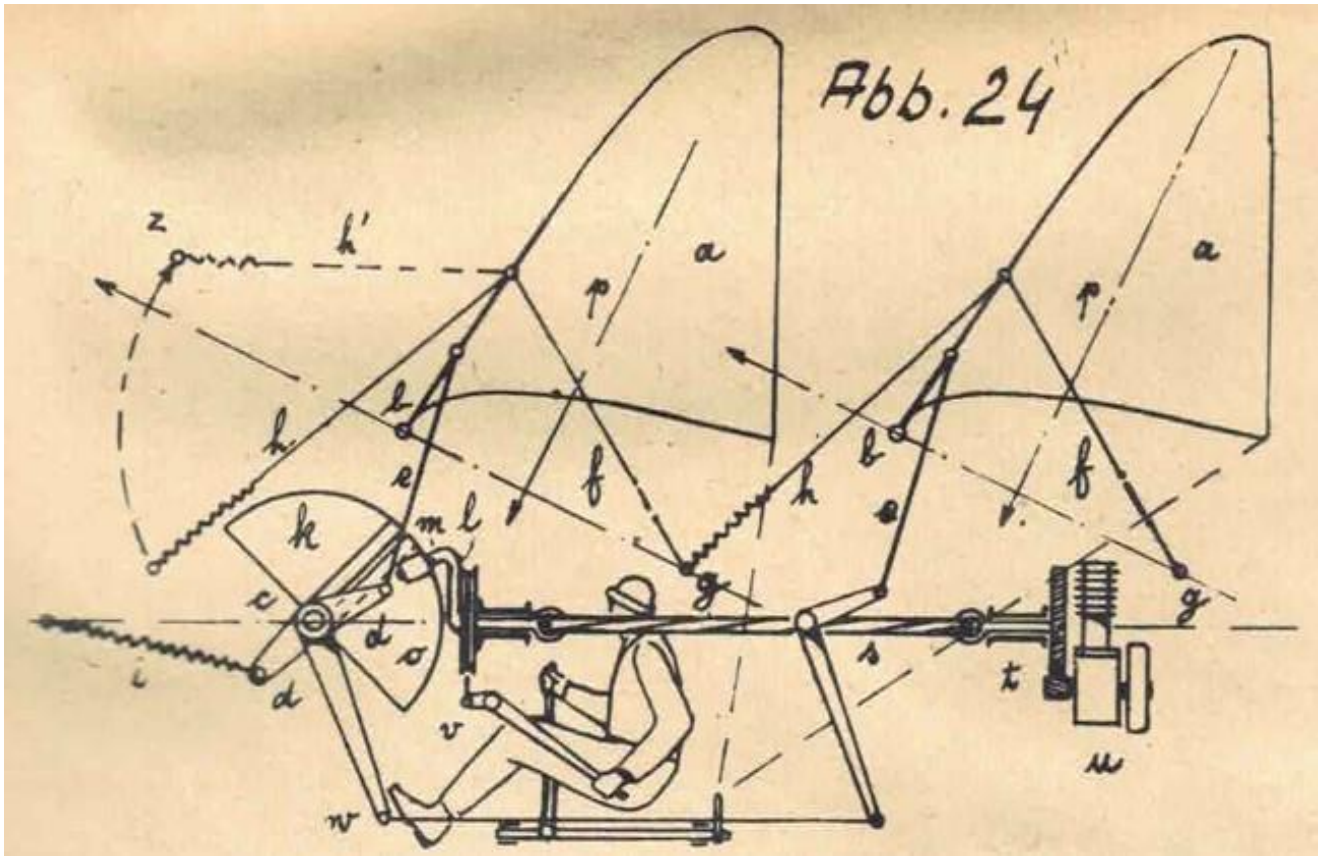


Abb.24

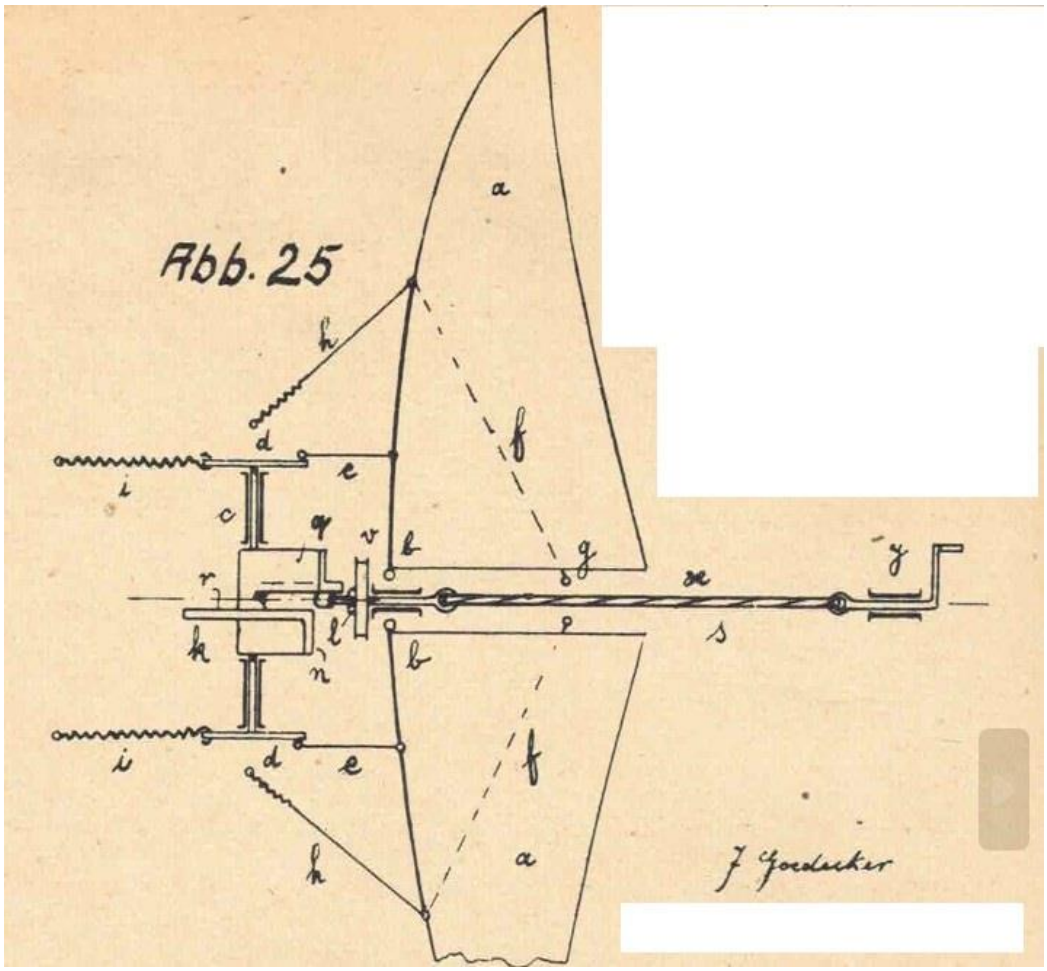


Abb. 25

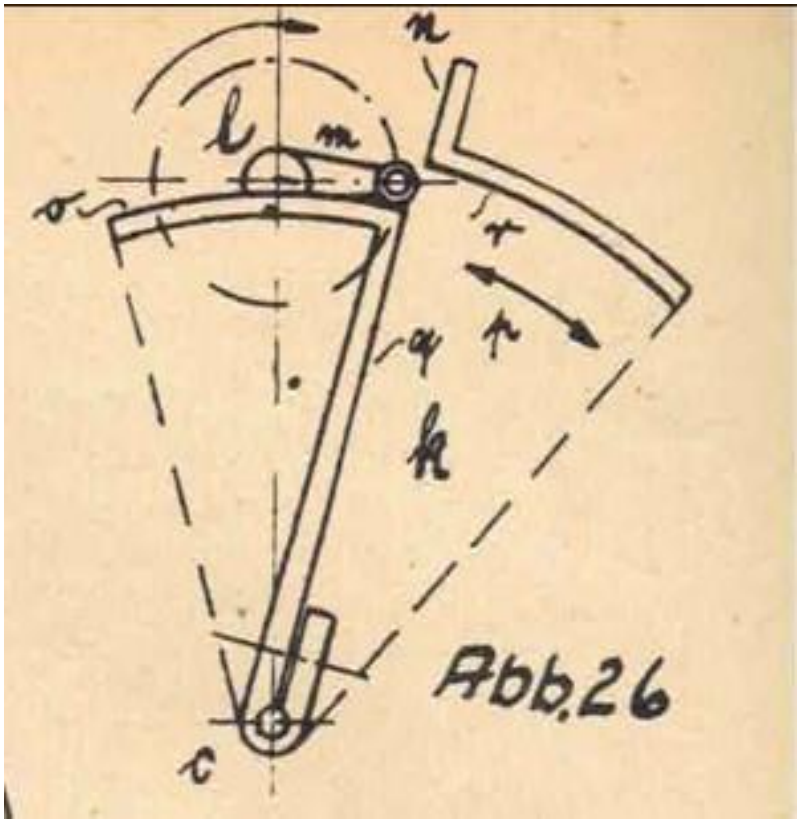
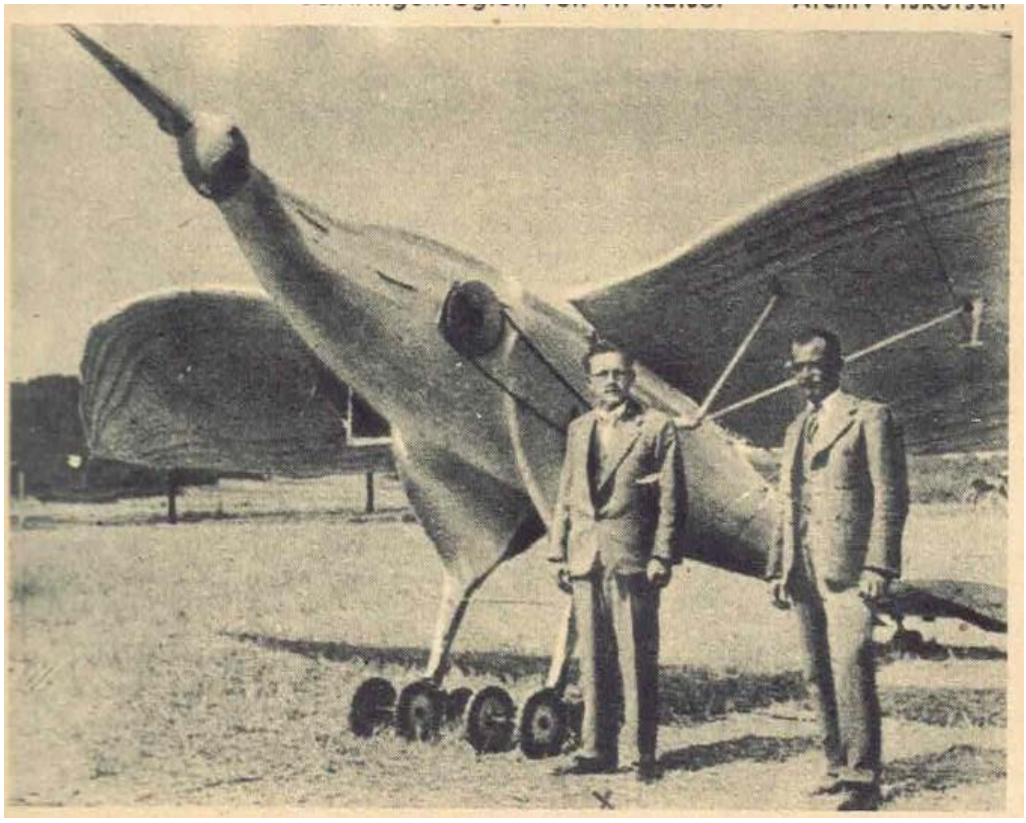


Abb.26 Zeichnungen: Goedecker (3)

Diese Kulisse in Verbindung mit der Kurbel stellt die genial einfache, „freie Kopplung" dar. Durch diese Anordnung wird die größte Schwierigkeit beim Schwingensegler oder Motorschwingenflieger d ist die Kraftübertragung des Antriebes auf die Flügel gelöst. Durch die freie Kopplung wird erreicht, dass die Energie des schlagenden Flügels in keinem Augenblick gehemmt wird, da dem Flügel nur im richtigen Augenblick der Impuls erteilt werden kann.

Der größte Vorteil der freien Kopplung besteht darin, dass dieselbe auch für manntragende Flugzeuge verwendbar ist. Wie sich Goedecker den Einbau der freien Kopplung bei einem manntragenden Flugzeug vorstellt, zeigt die **Abb. 24**. Hier ist, um eine geringe Flügelspannung zu erreichen, die Mehrflügelanordnung angewandt. Die Vorteile der Mehrflügelanordnung hatte ich ja schon dargelegt. Die hintereinander angeordneten Schwingenpaare, welche alle durch Gestänge oder Seilzüge mit der schwingenden Welle verbunden sind, werden durch eine freie Kopplung und einen Motor angetrieben. Zwischen Kurbel und Antriebsmotor ist ein starker Gummistrang s eingeschaltet und derselbe durch ein Übersetzungsgetriebe mit dem schnelllaufenden Motor von 2-5 PS verbunden. Auf der Kurbelwelle sitzt eine Bandbremse. Die Spannung des Gummistranges wird durch einen Regulator, welcher die Tourenzahl des Motors konstant hält, beeinflusst. Auf der schwingenden Welle ist außerdem noch ein Fußhebel angebracht, wodurch man, falls erforderlich, aktiv die Flügelschwingungen aufschaukeln kann. Ein besonderer Gummistrang x, der nicht mit dem Getriebe verbunden ist, kann als Kraftakkumulator für den Start dienen. Derselbe kann vor dem Start durch eine Vorrichtung Y aufgezogen werden.



Schwingensegler von H. Kaiser Archiv Piskorsch

Dieser Vorschlag stellt einen Motorschwingenflieger dar. Natürlich kann die freie Kopplung ebenso gut für einen Schwingensegler verwandt werden. Hier fällt der Motor fort und ein zweiter Gummistrang wird mittels Kegelräder am Rumpf ende mit dem ersteren verbunden, wobei — wie schon bekannt — das andere Ende des zweiten Gummistranges in der Tretvorrichtung endet. Bei Verwendung der freien Kopplung sind die Konstruktions-möglichkeiten sehr groß. So kann man dieselbe auch getrennt in die Flügel einbauen, ähnlich dem Antrieb, den ich vorgeschlagen hatte (**Abb. 5**), mit dem Unterschied, dass die einfache Kulisse durch die kreuzförmige ersetzt wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass die schwingende Welle c und die Kurbelwelle 1 entweder rechtwinklig (**Abb. 24 oder 25**) oder parallel (**Abb. 26**) zueinander gelagert werden. Ein weiterer Vorteil der freien Kopplung besteht. darin, dass die Energie der Windstöße, welche sich in der Spannung der Federn aufspeichert, bei abgestelltem Motor ausgenützt werden kann. Es braucht in diesem Falle die Kurbelwelle mittels der Bandbremse nur in einem der beiden Totpunkte angehalten werden, dadurch wird die Kopplung vollständig ausgeschaltet, so dass die Flügel durch ihre Federspannung beliebig weit schwingen können.

Aus der Darlegung Goedeckers freien Kopplung ist gegenüber anderer Kraftübertragung genügend der bedeutende Vorteil zu ersehen.

Als Gegenüberstellung zum Goedecker-Vorschlag bringe ich das Foto eines Schwingenseglers des Erfinders H. Kaiser aus Plauschnitz bei Niemes, Böhmen. Nähere Konstruktionseinzelheiten dieses Vogelflugzeuges sind mir zwar nicht bekannt, doch kann man sich aus den in den größten Tageszeitungen vom Erfinder gemachten Angaben ein näheres Bild über den Wert derartiger Konstruktionen machen. Der Apparat soll durch eine Feder betrieben werden. Dass dies ungünstig ist, habe ich schon erwähnt. — Wie die Abstimmung erreicht werden soll, ist mir hier unerklärlich, ich nehme jedoch an, dass dies gar nicht erstrebt wurde. Aber deshalb soll das Vogelflugzeug trotzdem auch geflogen sein! Laut Angabe des H. Kaiser wurden mit diesem Flugzeug schon Höhen bis zu 60 m erreicht! Mit einem zweiten Flugzeug von Kaiser sollten einige Monate später wieder Erfolge erzielt worden sein. Kaiser berichtete in der Zeitung, dass er in einer Nacht um 3 Uhr gestartet ist, über einem großen Teil einige Male kreiste, dann jedoch überm Wald abgestürzt ist, wobei der Apparat zertrümmert wurde, ihm selbst jedoch nicht viel geschah. Er sagte selbst, dass er deshalb in der Nacht den Versuch unternahm, damit keine Zeugen zugegen sind, die ihn dann aus-lachen könnten, falls der Versuch missglückt. Der Unfall soll nicht infolge eines Konstruktionsfehlers eingetreten sein, sondern durch Riss eines Verbindungsseiles. Zum Schluss will Kaiser — falls er die Mittel hierfür aufbringt — mit einem weiteren Apparat beweisen, dass er imstande ist, 200 (1) km zurückzulegen.

Wie gesagt, Derartiges bringen führende Tageszeitungen. Meine Ansicht über den Wert derartiger Apparate will ich mir hier ersparen und andererseits bin ich ja selbst auch nicht Zeuge des gelungenen Fluges gewesen. Für mich ist es nur merkwürdig, warum Kaiser bei seinem zweiten Versuch noch befürchtete, ausgelacht zu werden, wenn der erste Apparat schon eine Höhe von 60 m erreicht haben soll? Von den 900 km will ich überhaupt nicht reden!

Aber — eine schöne Kopie des Vogels stellt der Apparat dar. Sogar einen gespaltenen Schnabel hat das Vogelflugzeug! Ob der künstliche Vogel mit seinem Schnabel auch klappern kann? Ich will damit sagen: Die Natur soll unsere Lehrmeisterin sein, das heißt aber nicht, dass wir hier sinnlos alles nachkopieren sollen!

Durch Beobachtung des Tierfluges kam ich auf eine andere Lösungsmöglichkeit. Wir finden, dass in der Natur der Flügel beim Niederschlag nicht in eine Ebene nach abwärts geht, sondern bei dieser Bewegung mehr oder weniger stark nach vorn geworfen wird; und zwar ist diese Horizontalschwingung umso ausgeprägter, je stärker der Niederschlag ist. Diese Horizontalschwingung ist rein passiver Natur und wird nicht durch Muskelbetätigung hervorgerufen. in dieser Horizontalschwingungsfähigkeit liegt die andere Lösung. Die Flügelschwingungen sind von Haus aus auf die Tourenzahl des Antriebes abgestimmt, dies ist ja durch richtige Bemessung der Ausgleichs- und Entlastungsfedern resp. der Eigenelastizität des Flügels zu erreichen. Die im Fluge auftretenden wechselnden Kräfte, hervorgerufen durch den wechselnden Luftwiderstand, werden durch die Horizontalschwingung gleichgeschaltet. Durch diese Horizontalschwingung kann daher trotz des starren Schwinghebels die Abstimmung erreicht werden, erforderlich ist natürlich, dass trotz der Kraft-übertragung mittels des starren Schwinghebels die Horizontalschwingungsfähigkeit gewahrt bleibt.

Um diese unbegrenzte Vertikal- und Horizontalschwingung der Flügel ausführen zu können, muss daher das Schultergelenk derart ausgebildet sein, dass es eine freie Bewegung nach allen Richtungen gestattet. Ein Scharniergelenk wäre daher falsch, aber auch ein Kreuzgelenk unbrauchbar, da die Gefahr des Eckens besteht. Das Flügelgelenk müsste daher dem Schultergelenk des Vogels ähneln, resp. da ja hier die Verhältnisse bei der toten Materie eine Kopie des Sattelgelenkes nicht zulassen, müsste dies ein Kugelgelenk dar-stellen. Die Konstruktion des Kugelgelenkes an sich würde keine Schwierigkeit ergeben. Derartiges erzeugt die Technik auch. Die Schwierigkeit liegt darin, dass der Flügel mittels des Kugelgelenkes um die Flügellängsachse nicht festgehalten werden kann, Zur Fixierung des Anstellwinkels wäre ein fixer Punkt außerhalb des Gelenkes erforderlich. Bei dieser wechselndem Schlagbahn könnte dies jedoch nicht durch eine starre Verbindung (Gestänge) erreicht werden, Beim Goedecker Urvogel I ist dieser Weg gangbar, da ja die genaue rotierende Bewegung festliegt. Die Anstellwinkelfixierung oder - Verschwenkung könnte daher nur durch ein Kreuzsystem von elastischen Bändern zustande

kommen. Aber auch dieser Weg wäre für die Praxis nicht gangbar. Die Feder kann die Muskeln nicht ersetzen; auch hierdurch kann der Flügel um seine Längsachse nicht verlässlich festgehalten werden; es könnten gerade dann Deformationen eintreten, wenn sie am wenigsten erwünscht sind. Daraus ist zu ersehen, dass Kugelgelenke, die zur Fixierung einen fixen Punkt benötigen, nicht brauchbar sind; derartig konstruierte Gelenke vertragen keine Belastung und schlottern stets.

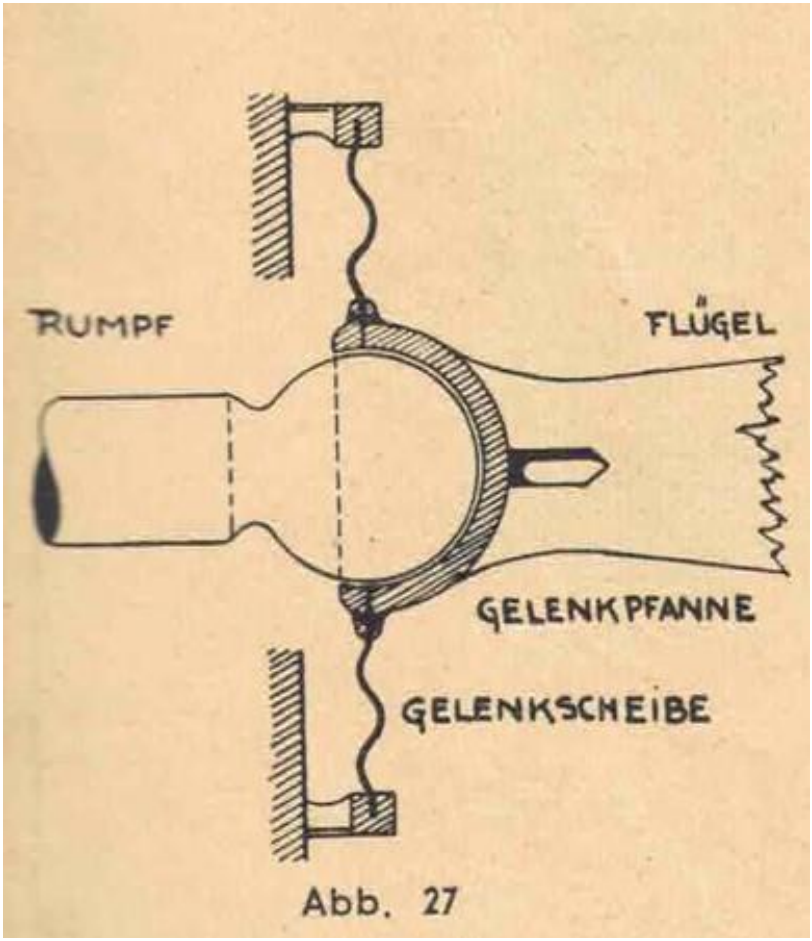


Abb.27

Bei meinen seinerzeitigen praktischen Versuchen hatte ich daher mein Augenmerk auf die Schultergelenkkonstruktion gerichtet und nach vielen Versuchen vorliegende Konstruktionen als die brauch-barsten gefunden. Die **Abb. 27** zeigt das Schultergelenk als Kugelgelenk mit der Gelenkscheibe. Dadurch kommt die Vertikal- und Horizontalschwingung zustande. Durch die Gelenkscheibe wird der Anstellwinkel des Flügels fixiert. Es darf hier jedoch nicht vergessen werden, dass die Ge-lenkscheibe außerordentlich große Verdrehungskräfte aufzunehmen hat, dieselbe weist daher noch besondere Verstärkungsringe und Rippen auf, die hier nicht eingezeichnet sind, Die Gelenkscheibe ist nun mittels eines Gleitringes drehbar gelagert. Beim Flügelschlag erfolgt daher die erforderliche Anstellwinkelverschwenkung (Pronations- und Supinationsstellung) sowohl durch die Torsionselastizität des Flügels als auch durch die Flügelsteuerung im Gelenk. Auch hier sind besondere Ausgleichsfedern angebracht, wodurch der Kraftaufwand

zur Anstellwinkelverschwenkung resp. Flügelsteuerung sein Minimum erreicht. Durch Sperrung des Gleitringes kann der Anstell-winkel der Flügelwurzel fixiert werden (Segelflug). Es wird hierbei — bei Ausführung der Flügelspitze in mehrere Einzelflügel - zwecks Steuerung nur die Handschwinge aktiv verschwenkt.

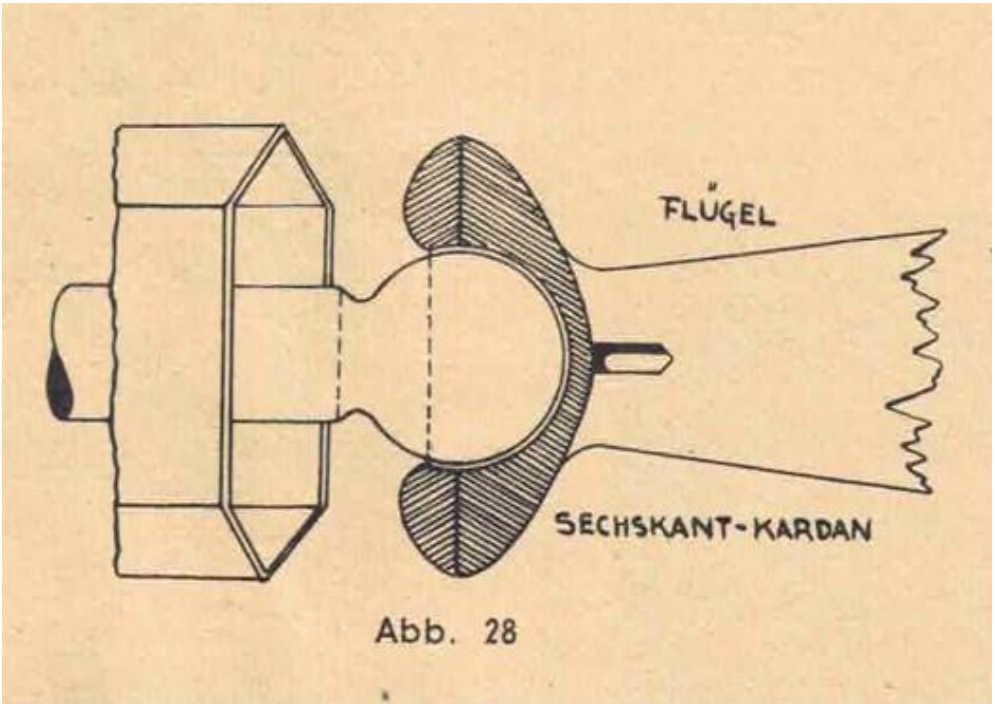


Abb.28

Die **Abb. 28** zeigt das Schultergelenk als Kugelgelenk mit Sechskantkardan. Auch mittels dieser Konstruktion ist ein verlässliches Festhalten des Flügels um seine Längsachse in allen Lagen gewährleistet, Aus der Skizze ist alles Nähere zu ersehen. Auch hier ist das Gelenk zwecks Flügelsteuerung drehbar gelagert. Bei der Ausführung Abb. 27 und 28 sind die Ausgleichs- und Entlastungsfedern außen am Rumpf und an der Flügelwurzel angebracht; dadurch werden die Flügel in vertikaler Hinsicht in der Mittellage gehalten. In horizontaler Hinsieht werden die Flügel ebenfalls durch Resonanzfedern beim passiven Fluge in der Mittellage gehalten. Beim aktiven Fluge dagegen eilen die Flügel, bedingt durch die wechselnde Kraft, die Resonanzfeder spannend, mehr oder minder nach vorn. Diese passive Spannung der Resonanzfedern geht jedoch für die Flugwirkung nicht verloren, sondern wirkt sich rumpfvorwärtsziehend aus. Die ähnlichen Verhältnisse finden wir auch beim Vogelflug. Wir finden, dass beim Segelvogel die Senkmuskeln fast senkrecht zu Brust- und Gabelbein führen, beim ausgesprochenen Schwingenflieger dagegen die Mittel-kraft der Senkmuskeln um ca. 45 Grad nach rückwärtsgerichtet ist. Auch hier wirken die Senkmuskeln, verstärkt durch das Vorwärts-eilen des Flügels, rumpfvorwärtsziehend. Für die Ökonomie des Schwingenfluges ist dieser Umstand von großer Bedeutung. Beim Schwingen-segler und Motorschwingenflieger müssen daher in dem angedeuteten Sinne Resonanzfedern angebracht werden.

Die **Abb. 29** zeigt die Gelenkkonstruktion mit durchgehender Flügelwurzel. Die Ausgleichsfeder ist daher im Rumpfinnern angebracht. Durch diese Ausgleichsfeder wird der Flügel beim passiven Fluge in vertikaler und horizontaler Hinsicht in der Mittellage gehalten. Rumpfaußen ist daher nur je eine Entlastungs- und Resonanzfeder angebracht.

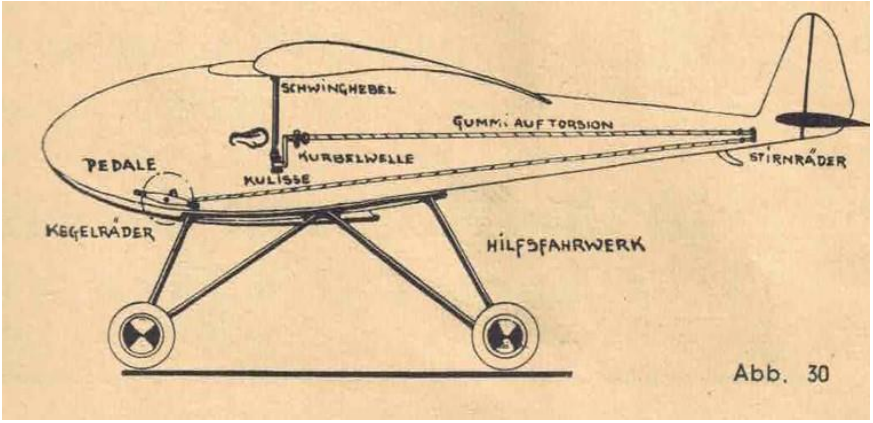


Abb.30

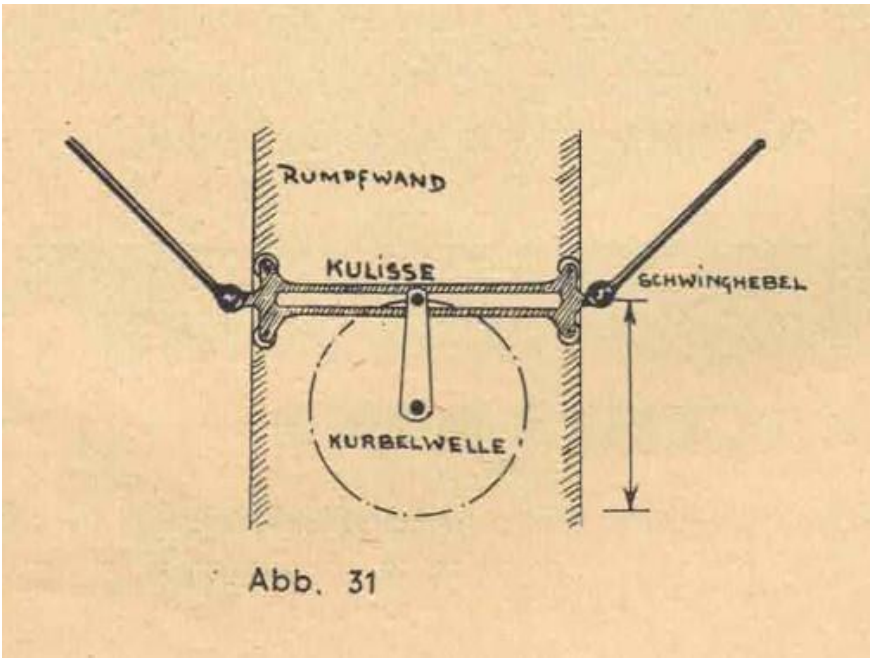


Abb.31 Zeichnungen: Piskorsch (5)

Die **Abb. 30** zeigt ein Konstruktionsbeispiel des Schwingenseglers nach diesen Gedankengängen. Der Gummistrang ist im Rumpf gelagert und wird auf Torsion beansprucht. Die Kurbelwelle greift in eine Kulisse ein, und dadurch wird die Drehbewegung derselben direkt in eine pulsierende Bewegung umgewandelt. Die **Abb. 31** zeigt die Kraftübertragung der Kurbelwelle auf die Schwingflügel. Da der Schwinghebel, der in einem Kugelgelenk am Ende der Kulisse gelagert ist und deshalb eine freie Bewegung gestattet, sich direkt in einer Ebene unter dem Schultergelenk befindet, kann die Horizontalschwingung des Flügels eintreten. Mittels der elastischen Aufhängung der Flügel am Rumpf durch die Ausgleichs-,

Entlastungs- und Resonanzfedern — die hier nicht eingezeichnet sind — und durch das Schultergelenk, das eine freie Bewegung nach allen Richtungen gestattet, wird durch die Horizontalschwingung des Flügels trotz starrer Kopplung die Abstimmung erreicht. Die Horizontalschwingung wird selbstverständlich durch die Resonanzfedern in ihren Grenzen gehalten. Hierbei will ich noch kurz bemerken, dass auch bei meinem ersten Vorschlag eines Schwingenseglers mit starrem Flügelmittelstück und Schlagflügeln (vergl. die 3. Fortsetzung im Dezemberheft 1935) die Abstimmung erreicht werden kann, wenn die Schlagflügel als aktive Tragflächen ausgebildet sind, da hierdurch ja ebenfalls die Horizontalschwingung des Flügels auftritt.

Damit kommen wir nun zur Frage des Fahrgestells. Angenommen, die Flügelspannweite beträgt 10 m, der Winkelausschlag 50 Grad; der Drehungspunkt des Flügels, das Schultergelenk, muss daher über 2 m vom Erdboden gelagert sein. Es ist deshalb ein hohes Fahrgestell erforderlich, dadurch wird das Fluggewicht nicht unbedeutend vergrößert. Es ist daher vorteilhafter, wenn der Schwingensegler mit einer Landungskufe und mit einem abwerfbaren Hilfsfahrwerk ausgerüstet ist. Bei einem motorisierten Schwingenflieger dagegen würde das durch ein ständiges Fahrwerk vergrößerte Gesamtgewicht nicht so ins Gewicht fallen.

An dieser Stelle will ich noch eine andere Möglichkeit der Kraftübertragung andeuten, bei welcher die Abstimmung vollkommener erreicht wird. Auch hier besitzt der Flügel Horizontalschwingungsähigkeit im Gelenk; desgleichen kommt hier die Kulisse zur Anwendung jedoch mit dem Unterschied, dass dieselbe in horizontaler Hinsicht gleitbar angeordnet ist. Die Antriebskurbel, die in die Kulisse eingreift, ist nun im bestimmten Grade abgebogen. Der Flügel ist zwangsläufig mit der Kulisse verbunden, d. h. jedes Voreilen des Flügels bedingt auch ein dementsprechendes Vorrücken der Kulisse. Infolge der abgebogenen Kurbelwelle wird dadurch die wechselnde Hubhöhe der Kulisse und somit des Flügels bestimmt. Durch diese Anordnung wird, je nach dem Grad der Dämpfung der Schwingung durch den wechselnden Luftwiderstand, das ja auch ein mehr oder minder großes Voreilen des Flügels zur Folge hat, infolge der zwangsläufig gleitenden Kulisse die Hublänge des Antriebes mit der des Flügels automatisch abgestimmt. Bei Beobachtung des Vogelfluges erkennt man z. B. bei Auftreten von Böen, dass die Verkleinerung der Schwingungsamplitude gleichzeitig mit einer Verzögerung der Schwingungsfrequenz verbunden ist. Dieser Umstand muss auch beim Schwingenflieger, wenn hierbei die vollkommene Abstimmung erstrebt wird, eintreten. Dies ist hier jedoch bei Verwendung eines Gummistranges einfach möglich. Die Tourenzahl der Antriebskurbel liegt hierbei ja nicht konstant, der tordierte Gummistrang gestattet eine Regelung derselben in gewissen Grenzen. Die Tourenzahl der Antriebskurbel kann also hierbei rein automatisch mit der Schwingungsfrequenz abgestimmt werden. Aus diesem Grunde ist es auch vorzuziehen, bei einem Motorschwingenflieger zwischen Motor und Antriebskurbel

einen Gummistrang einzuschalten, so wie dies ja auch schon Ing. Goedecker vorgeschlagen hatte.

An dieser Stelle möchte ich kurz auf einen Schwingenflieger - Vorschlag eingehen, der zum Patent angemeldet und jetzt veröffentlicht wurde. Im Wesentlichen gleicht dieser Vorschlag meinem. Auch hier kommt die krumme Achse mit der Kulisse (Kurbelschleife) zur Anwendung. Nach meinem Vorschlag sollen am starren Flügelmittelstück nur kleine Schlagflügel angehängt sein, hier dagegen treibt die krumme Achse große Flügel. Selbstverständlich ist das technisch möglich, jedoch ist dies im Großen nicht so einfach zu bauen wie im Modell. Gerade da, wo der gefährliche Querschnitt sich befindet, ist die Lagerung der krummen Achse im Flügel. Aus Festigkeitsgründen und auch wegen der Gefahr des Eckens dürfte es schwer sein, bei einem Großmodell mit dem Kreuzgelenk auszukommen. Weiter soll nach der Patentschrift eine Änderung der Schwingungsweite möglich sein, dadurch gekennzeichnet, dass die Kulisse längs der Holme einstellbar ist. Dies ist selbstverständlich ein Trugschluss. Wenn der Scheitelpunkt der krummen Achse mit dem Flügeldrehpunkt im Gelenk in einer Linie zusammenfällt, kann ein Vor- oder Zurückrücken der Kulisse keine Änderung der Amplitude herbeiführen...

Da eine unregelmäßige Beanspruchung des Motors mit einer Leistungsverminderung verbunden ist, ist es für Schwingensegler und Motorschwingenflieger Bedingung, bei diesen Konstruktionen den Federakkumulator wie bei der Schwingengleiterkonstruktion nach Fall 2 anzuwenden, d. h. die Spannung der Ausgleichs- und Entlastungsfedern muss so bemessen sein, dass beim Flügelsehlag für Auf- und Niederschlag der gleiche Leistungsaufwand erforderlich ist. Bei dieser Bemessung der Ausgleichs- und Entlastungsfedern würden sich jedoch Startschwierigkeiten ergeben. Der Flug des Schwingenseglers wie auch des Motorschwingenfliegers wird durch den Rollstart eingeleitet. Solange daher das Rumpfgewicht nicht zur Aufschlagsarbeit herangezogen wird, erfordert der Flügelaufschlag eine Erhöhung der Leistungsabgabe. Bei Verwendung eines verhältnismäßig schwachen Energieakkumulators oder eines Motors von 3 bis 5 PS. fällt, da der Start eine fast doppelte Leistungsabgabe erfordert, eine unregelmäßige Beanspruchung des Motors, die mit einer Leistungsverminderung verbunden ist, besonders ins Gewicht. Dieser ungünstige Umstand beim Starten kann nun durch Verwendung von Kontrafedern umgangen werden. Die Kontrafedern besitzen beim Stillstand der Maschine ihre größte Spannung und wirken im Gegensinne der Entlastungsfedern. Dadurch wird das Flügelgewicht und der abwärts wirkende Zug der Entlastungsfedern ausgeglichen. Mit zunehmender Rollgeschwindigkeit der Maschine werden die Kontrafedern durch den Führer entspannt, so dass beim Abheben der Maschine vom Boden die vollständige Entspannung der Kontrafedern eingetreten ist. Die Kontrafedern bewirken also auch am Boden eine regelmäßige Beanspruchung des Motors. Dies wäre auch ohne Kontrafedern möglich, indem die Entlastungsfedern am Boden entspannt würden und mit zunehmender

Rollgeschwindigkeit aktiv gespannt würden, so dass sie beim Abheben des Flugzeuges vom Boden ihre volle Spannung erreicht haben. Die erstere Anwendungsart ist jedoch vorzuziehen, da die Entspannung der Kontrafedern durch den Piloten weniger Kraft beansprucht. Anderseits hat jedoch die andere Anwendungsart den Vorteil, dass keine Gewichtserhöhung erfolgt.

Bei einem Schwingensegler mit anderen Startmethoden, wie z. B. Gummiseilstart, kommt natürlich die Verwendung von Kontrafedern nicht in Betracht.

Die Natur soll uns bei der Konstruktion des Schwingenfliegers als Vorbild dienen, sie soll unsere Lehrmeisterin sein. Es ist daher in erster Linie erforderlich, die Grundlagen des Vogelfluges zu beherrschen. Ich will daher kurz auf den Vogelflug näher eingehen.

In den letzten Jahrzehnten des 18. Jahrhunderts wurde viel über den Vogelflug geschrieben und noch mehr Unsinn kam dabei heraus. Viele dieser Theoretiker schrieben den Vögeln übernatürliche Kräfte zu, andere fanden den Schlüssel in den hohlen Knochen und Luftsäcken, noch ideenreichere schrieben den Vögeln die Fähigkeit zu, die Anziehungskraft der Erde in Abstoßung zu verwandeln usw. Viele dieser Erfinder setzten sich über die einfachen Gesetze der Physik und Mechanik hinweg und glaubten, der Schwingenflug müsste unabhängig von diesen Gesetzen zu lösen sein. Andere wiederum glaubten das Schwingenflugproblem gelöst zu haben, wenn nur ein Teil ihrer Theorie richtig ist, wobei das andere vollständig vernachlässigt wird. Ich erinnere da nur an die Buttenstedtsche Theorie, wo Schwerkraft vermöge der Schwungfederstruktur gleich Flugkraft ist. Gewiss, hier ist etwas Wahres dran, doch wird die Wirkung bedeutend überschätzt und dann ist dies auch nur ein Teil der Theorie. Aber ist es denn heute viel anders? Durch das Preisausschreiben angeregt, befassen sich viele Laien mit dem Schwingenflugproblem. In diesen Köpfen spuken auch heute verschiedene Ideen herum. Es würde hier viel zu weit führen, wenn ich auf all diese Theorien der „großen Erfinder" eingeben wollte, ich will mich daher mit einigen Beispielen begnügen: Der Niederschlag des Flügels erzeugt Auftrieb, beim Aufschlag dagegen soll dieser gewonnene Auftrieb wieder verloren gehen. Das Beste also ist es, wenn beim Aufschlag die Flügel verschwinden. Und dies erreicht der eine Erfinder auf einfache Weise. Die Bespannung der Fläche besteht aus Gummi. Beim Niederschlag werden die die Gummihaut umfassenden Holme auseinandergestreckt, beim Aufschlag dagegen die Holme und somit die ganze Fläche zusammengezogen. Hübsch einfach, beim Aufschlag ist keine Fläche vorhanden, also kann auch kein schädlicher Niederdruck entstehen. Ein anderer hatte irgendwo etwas von „schwingenden Massen" aufgeschnappt: Die schwingenden Massen beim Vogel sind die starken Brustmuskeln. Und wie wird diese Masse in Schwingung versetzt? Ganz einfach, durch die Atmung! Die Atembewegung und die dadurch in Schwingung versetzte Brustmuskulatur, die diese schwingende Energie auf die Flügel weiter überträgt, ist

das Geheimnis des mühelosen Schwingenfluges der Vögel. Man erkennt hier die laienhafte Auffassung. deutlich. Aber sieht es bei manchen Fachleuten viel besser aus? Schwingungsresonanz, da liegt des Rätsels Lösung! Einmal diese Schwingungen bis zum Flügel-schlag aufgeschaukelt, dann braucht man nicht mehr viel Energie zur Aufrechterhaltung der Schwingung, hier genügt dann die Armmuskulatur für Luftsprünge von mehreren Kilometern! Man vergisst hierbei nur, dass es sich um eine durch die Flügelbespannung sehr gedämpfte Schwingung handelt und dass deshalb die Armmuskulatur bei weitem nicht ausreicht.

Neben diesen längst zum alten Eisen geworfenen Theorien des 18. Jahrhunderts wurden aber auch wertvolle Untersuchungen und Beobachtungen von namhaften Flugforschern veröffentlicht; auf diese will ich hier eingehen.

Zuerst muss jedoch untersucht werden, welcher Vogeltyp sich am besten für einen Schwingenflieger der Praxis eignet. Im Allgemeinen kann man schon aus der bloßen Betrachtung des Vogelflügels erkennen, dass ein kurzer, breiter, stark gewölbter Flügel am besten für den Vertikalflug, dagegen ein langer, schmaler, flacher Flügel für den Horizontalflug geeignet ist. Die Vögel werden sich daher nach der Flügelform in folgende Typen einteilen lassen:

1. **Krähentyp:**
   Breite Flügel mit beim Flug immer voneinander gespreizten Schwungfedern, Flügelbasis gewölbt. Zu diesem Typ gehören z. B. Habicht, Bussard, Storch, Adler, Geier und Kondor. Durch diese Spreizung der Schwungfedern wirkt jede einzelne Schwungfeder als ein langer, schmaler, torsionsfähiger Flügel, also im translatorischen Sinne — Streckenflieger.
2. **Möwentyp:**
   Flügel lang und schmal mit flacher Wölbung und immer geschlossener Handschwinge, Der Druckmittelpunkt liegt wegen der großen Länge des Flügels weit vom Drehungspunkt entfernt und ist daher der Möwenflügel besonders für die Translationsarbeit geeignet — Streckenflieger reinster Form.
3. **Falkentyp:**
   Flügel schmal und spitz mit immer geschlossener Handschwinge. Aktives Zurückreißen der Handschwinge. Dieses Zurückreißen dient zur Verstärkung der Translationsarbeit. Aus diesem Grunde sind die Muskeln- am Unterarm besonders kräftig entwickelt. Die kleinsten Vertreter des Falkentyps sind Taube und Schwalbe.
4. **Hohlflüglertyp:**
   Flügel breit und kurz, tiefmuldenförmig und stumpf abgerundet mit nach rückwärts abweichendem Flügelschlag (Elster, Eichelhäher). Trotz der Spreizung der Flügelspitze bei den Hühnervögeln (Rebhuhn, Fasan) gehören auch diese in die Klasse des Hohlflüglertyps wegen der tiefmuldenförmigen Flügel. Dieser Vogeltyp eignet sich besonders für steilen Vertikalaufstieg, ist aber für

Horizontalflug nicht gut geeignet — Ortsflieger. Wegen der durch die Bodenverhältnisse bedingten geringen Spannweite und der damit verbundenen großen Flächenbelastung benötigt zu der erforderlichen Schwebearbeit dieser Vogeltyp eine stark entwickelte Muskulatur. Der Flug ist arbeitsunökonomisch, also kein gutes Vorbild.

5. **Finkentyp:**
   Der Flügelhau und Bewegung ähnelt dem der Hohlflügler. doch verläuft, wegen der periodisch wirkenden Flügelschlagsarbeit, dessen Flug in Wellenlinien, ist daher auch nicht als Vorbild geeignet.
6. **Ententyp:**
   Bei diesem Ausnahmefall besteht der Flügel aus einer Kombi-nation von Hohl- und Möwenflügel. Die Flügelbasis hat tiefmulden-förmige Form für Vertikalflug, die Flügelspitze dient der erforderlichen Translationsarbeit, ist aber im Gegensatz zum Möwenflügel nicht. spitz zulaufend, sondern stumpf abgerundet. Diese kombinierte Flügelform ist durch die Flugweise, i. d. Streckenflug einerseits und Hubflug durch den Aufenthaltsort. im Schilf bedingt. Wegen der dadurch bedingten großen Flächenbelastung (12 kg auf den qm) ist der Flug sehr anstrengend und erfordert eine große Muskelkraft. Schwingenflieger reinster Form. — Für Muskelkraftflieger als Vorbild nicht geeignet, dagegen gut für Motorschwingenflieger.

Für einen Muskelschwingenflieger kommen demnach als Vorbilder nur der Krähentyp und der Möwentyp in Betracht; auch den Falkentyp wird man jetzt noch ausscheiden müssen, da die mechanische Nachahmung des aktiven Zurückreißens der Handschwinge bei Be-endigung des Niederschlages auf konstruktive Schwierigkeiten stoßen dürfte.

Damit kommen wir zu den Baugesetzen des Flügels.

Der Krähenflügel und der Möwenflügel sind im Bau grundverschieden; ersterer ist breit, letzterer dagegen lang. Der Krähentyp gehört daher in die Klasse der Breitflügler und der Möwentyp in die der Langflügler. Und noch ein besonderes Merkmal: Alle Breitflügler haben voneinander gespreizte Schwungfedern, die Langflügler dagegen haben eine immer geschlossene Handschwinge, die in eine Spitze ausläuft. Warum dieser Unterschied? Wenn wir nun feststellen, dass alle Breitflügler Landflieger sind, dagegen alle Langflügler Meeresflieger, dann werden wir auch den Grund erkennen. Alle Landflieger haben hubkräftige Flügel, also eine breite, gewölbte Flügelbasis, sie können auch keine Langflügel gebrauchen, weil diese ihnen beim Abflug sowie in Gebüschen und Bäumen hinderlich wären. Deren Lebens- und Ortsverhältnisse bedingen also einen Breitflügel. Welche Flugbedingungen sind aber auf einen derartigen Flügelbau geknüpft? Da hier die Schwungfedern gespreizt sind, also die Federfahnen am benachbarten Kiel keinen Halt finden, muss der Flügelschlag weich sein, da sonst. die Federfahne knicken

würde. Aus diesem Grunde darf auch die Flächenbelastung keine hohe sein. die 8 kg auf den qm werden auch nicht überschritten. Und wie ist es bei den Meeresfliegern? Die müssen sehr oft großen Stürmen trotzen können, während die Landflieger bei großer Windstärke Unterschlupf finden, hier wäre eine Handschwinge mit. gespreizten Schwungfedern unbrauchbar, die Federfahnen würden knicken. Die Schwungfedern müssen daher in einer Spitze auslaufen, dieselben sind auch weit kräftiger und der Flügelschlag ist auch härter. Aus diesem Grunde kann auch die Flächenbelastung eine weit höhere sein. Der Albatros hat sogar eine von 15-18 kg pro qm. Vom Standpunkte des Schwingenfluges brauchen also die Meeresflieger eine geschlossene Handschwinge. Vom Standpunkte des Segelfluges ist aber auch eine geringe Flügeltiefe der Basis erforderlich. Dadurch sind die Meeresflieger in der Lage, den Flügeln die jeweils nötige Einstellung zu geben, wogegen ihnen, bei der Breite der Breitflügler, die nötige Kraft zur erforderlichen Verdrehung bei diesen durchschnittlich weit stärkeren Windverhältnissen mangeln würde. So schildert Mouillard eine Beobachtung, die den Unterschied von Breit- und Langflügel gut beleuchtet: An der Küste Algiers am Strande wurde ein großer Adler durch einen Schirokko erfasst und auf die hohe See hinausgetrieben. Das arme Tier wurde kläglich hin und her geschleudert. Während einer Viertelstunde fand ein im höchsten Grade aufregender Kampf statt. Was für Bewegungen und Wendungen, welche Rührigkeit entwickelte das mächtige Tier in diesem Kampf gegen den Sturm. Und zu gleicher Zeit jagten die Sturmvögel und Möwen ganz gemächlich und vollständig in ihrem Element mit unbeschreiblicher Leichtigkeit über die wütenden Wogen. Die Meeresflieger haben daher alle lange, schmale Flügel; beim Albatros beträgt die mittlere Flügeltiefe sogar ein Zwanzigstel der Spannweite, die der Landvögel, z. B. der Geier, nur ein Sechstel. Aus diesem ist also zu ersehen, dass die Flügelbasis der Landflieger hubkräftig für die Schwebearbeit eingerichtet ist, während die Handschwinge auf Propulsion eingestellt ist; bei den Meeresfliegern dagegen ist ganze schmale, lange Flügel hauptsächlich für die Translationsarbeit zugeschnitten. Bei der Konstruktion des Schwingenfliegers müssen wir auch diese Erkenntnis verwerten. Bei einem sogenannten Schönwetterflieger mit geringer Flächenbelastung und weichem Flügelschlag könnte der Breitflügler als Vorbild dienen, bei einem Schwingenflieger mit hoher Flächenbelastung — ich denke hier dies als Motorschwingenflieger ausgeführt — und hartem Flügelschlag wäre der Langflügler als Vor-bild zu nehmen. Oder auch der Ententyp würde hier, wie sehen gesagt, gut als Vorbild dienen. Dieser Flügel stellt eine Kombination von Breit- und Langfltigel dar. Die basalgelegenen breiten Flügelteile dienen dem steilen Hubflug, die Handschwinge dagegen der Translation. Nun kann natürlich an der breiten Flügelbasis keine schmale Handschwinge eines Langflüglers angelenkt sein, anderseits darf aber auch nicht, da ja der Ententyp eine hohe Flächenbelastung mit hartem Flügelschlag aufweist, die Handschwinge gespreizt sein, daher hat die Handschwinge eine abgerundete Umrissform und die Schwungfedern sind nur so weit voneinander gespreizt, dass nur die Spitzen der beiden ersten Schwungfedern

frei sind, sonst aber die Ränder sich gegenseitig überdecken. Ein Motorschwingenflieger nach dem Ententyp wäre also in der Lage, mit kurzem Anlauf zu starten, es wäre hier kein groß angelegter Flugplatz erforderlich...

Jetzt könnte man noch die Frage aufwerfen: Warum hat der Falkentyp, der ja auch kein Meeresflieger ist, lange Flügel mit geschlossener Handschwinge? Die Antwort, ist schnell gegeben. Alle Raubvögel, die die Beute im Fluge fangen und sich daher durch große Geschwindigkeit und kühne Flugmanöver auszeichnen, haben einen harten Flügelschlag, sie können daher gespreizte Schwungfedern nicht gebrauchen.

Und nun kommen wir zur wichtigsten Frage: Wie fliegt der Vogel, wie ist die Schlagbewegung der Flügel?

Der Niederschlag des Flügels stellt uns im Grunde genommen keine Rätsel auf und hat auch bei den Flugforschern annähernd die gleiche Beurteilung erfahren. Nach Marey beschreibt beim Niederschlag die Flügelspitze die vordere Längsseite einer Ellipse, bei der Hebung die hintere. Marey ist der Meinung, dass dem Flügel durch die Muskeltätigkeit bloß eine vertikale Hin- und Herbewegung erteilt werde und dass das Vorwärts- und Rückwärtsausgleiten aus der Ebene durch die geneigte pronierte Lage des Flügels und die Biegsamkeit desselben bzw. seiner Befestigung erklärt werde. Der Grund für die Pronationsstellung beim Niederschlag liegt in der unsymmetrischen Form des Flügels... Vielfach wurde aber auch angenommen, dass der Niederschlag von oben vorn nach unten hinten erfolgt. Dass dies sehr unökonomisch wäre und daher nicht der Fall sein kann, habe ich schon an anderer Stelle dargelegt. Im Ausnahmefall erfolgt aber in der Tat der Flügelschlag in nach rückwärts geneigter Schlagebene, und zwar beim Hohlflüglertyp. Derselbe ist aber durch die Hohlflügelstruktur bedingt. dass der Flügelschlag bei diesem Typ aber arbeitsunökonomisch ist, erkennen wir schon aus der Tatsache, dass derselbe ein Ortsflieger ist...

Weit schwerer ist folgende Frage zu beantworten:

Wie erfolgt der Flügelaufschlag?

Schon daraus, dass hier die Ansichten der Flugforscher auseinandergehen, ist zu ersehen, dass hierin keine Klarheit herrscht. Befindet sich der Flügel in der natürlichen Gleichgewichtslage, so ist derselbe im supinatorischen Sinne aufgedreht (positiver Anstellwinkel). Dieser Winkel ist aber nicht über die ganze Flügelspannung konstant, sondern nimmt von der Flügelwurzel zur Flügelspitze an Supination zu. Beim Niederschlag werden die Federn durch den Widerstand der Luft hinten in die Höhe gehoben, und zwar umso mehr, je größer die Geschwindigkeit des Niederschlages ist, bis der Torsionselastizität des Flügels das Drehungsmoment des Winddruckes die Waage hält. Am Ende des Niederschlages wird der zusätzliche Widerstand gleich Null, und die abgedrehten Profile schnellen wieder in ihre Gleichgewichtslage zurück. Die Längsverdrehung des Flügels von der Pronations- in

die Supinationsstellung am Ende des Niederschlages erfolgt, aber nicht plötzlich. Vermöge seiner Massenträgheit und der Schwingungsresonanz legt der Flügel ohne aktive Kraft den Rest des Niederschlages zurück. Die Schlagbewegung läuft gleichsam aus. Demzufolge wird das Drehungsmoment des Winddruckes immer geringer und deshalb tritt, vermöge der Torsionselastizität des Flügels, derselbe allmählich in Supinationsstellung. — Die Flügel bleiben am Wind. — Wie erfolgt nun aber der Aufschlag?

Der größte Teil der Forscher war der Ansicht, dass der Aufschlag passiver Natur ist.

Nach Borelli geht bei der Hebung der Flüge! mit der schmalen Kante gegen die Luft. So entsteht die Hebung des Flügels ohne Behinderung durch den Luftwiderstand, ähnlich der Bewegung eines Schwertes. Nach Straus Dürkheim geht bei der Hebung der Flügel sowohl mit der Vorderkante als mit der dorsalen Breitseite voran gegen die Luft und erzeugt einen nach unten vom gerichteten Widerstand. Liais aber stellt die Ansicht auf, dass infolge der horizontalen Vorbewegung des Vogels bei der Hebung des Flügels die Unterseite desselben sich in supinierter Stellung wie ein Drachen gegen die Luft bewegt. Dieser letzten Anschauung schließt sich auch der große französische Flugforscher Marey an. Nach Marey beschreibt, wie schon erwähnt, die Flügelspitze bei der Hebung die hintere Längsseite einer Ellipse. Dieses Ausweichen des Flügels nach hinten ist nach Marey durch den Luftwiderstand bedingt, welchen der supinierte Flügel beim Horizontalflug an seiner Unterseite bei der Hebung erzeugt. Parseval schreibt in seinem Werk „Mechanik des Vogelfluges" (1889): Die Hebung muss in kürzest möglichster Zeit erfolgen, damit der daraus entspringende Arbeitsverlust klein werde. Da die Hebung kürzere Zeit dauert als der Niederschlag, sind die Absteigewinkel merklich steiler als die Absteigewinkel. Der Vorgang der Hebung ist folgender: Sobald die Zuflussrichtung der Luft wechselt, schnellen die abgedrehten Profile wieder in ihre natürliche Gleichgewichtslage vor. Nun ist der ganze Flügel aufgedreht, und zwar die äußeren Partien mehr als die Basis. Die Basis und die ihr zunächst liegenden Teile des Flügels erleiden auch jetzt noch Winddruck von unten. Die mittleren Partien gehen annähernd mit der vorderen Kante gegen die Luft, die äußeren möglicherweise mit der Rückseite. Um einen schädlichen Rückwärtsdruck auf die Oberseite der Schwinge zu vermeiden, hat der Flügel außen eine ventilartige Einrichtung. Bei der Hebung werden die großen Schwungfedern jede für sich stark aufgedreht und lassen, indem sie jalousieartig aufklaffen, Lücken zwischen, sich, in denen die Luft durchstreichen kann. Genaueres hierüber wissen wir nicht . . .

Otto Lilienthal schreibt in seinem berühmten Werk „Der Vogelflug" (1889): Offenbar geht also die Flügelspitze mit gehobener Vorderkante herauf und mit gesenkter Vorderkante herunter, was beides auf eine ziehende Wirkung hindeutet. Ob aber der Flügel beim Aufschlag in allen Teilen eine ähnliche Rolle übernimmt, also zum Vorwärtsziehen dient, ist nicht ein für alle Mal ausgemacht. Wäre dies der Fall, so

könnte dies unbedingt nur auf Kosten einer gleich-zeitig niederdrückenden Wirkung geschehen. Vielleicht geschieht es im stärkeren Grade dann, wenn es dem Vogel, um ganz besondere Schnelligkeit zu tun ist. Im Übrigen kann der Aufschlag auch bei einer solchen Neigung vor sich gehen, dass ein Druck weder von oben noch von unten kommt; und endlich kann der Aufschlag so geschehen, dass noch eine Hebung daraus hervorgeht. Im letzteren Falle tritt der bemerkenswerte Umstand ein, dass bei einem solchen Fluge alle Flügelteile während der ganzen Flugdauer hebend wirken. Allerdings wird der Aufschlag viel weniger Hebung hervorrufen als der Niederschlag, es wächst aber auch schon ein Vorteil für den Vogel, wenn beim Aufschlag nur so viel Widerstand von unten entsteht, als zur Hebung des Flügels und zur Überwindung seiner Massenträgheit erforderlich ist, so dass der Vogel beim Heben der Flügel so gut wie gar keine Kraft anzuwenden braucht. Hierbei ist noch denkbar, dass beim vorwärtsfliegenden Vogel der Luftwiderstand sich am aufwärtsschlagenden und windschief gedrehten Flügel, wenn eine verstärkte Hebung des Handgelenkes hinzutritt, so verteilt, dass ein hebender Druck am Flügelarm entsteht, während die Flügelspitze Widerstände erfährt, welche, schräg nach vorn und unten gerichtet, ziehend wirken. Die schädlichen abwärtsdrückenden Be-standteile des Widerstandes an der Spitze werden dann durch die nach oben gerichteten Widerständen am Armteil desselben Flügels überwunden und unschädlich gemacht. In dieser Weise kann man sich vorstellen, dass beim Ruderflug während des Aufschlages der Flügel noch eine teilweise Hebung erfolgt, während keine Hemmung der Fluggeschwindigkeit eintritt, oder womöglich noch ein kleiner, nach vorn gerichteter Treibedruck übrigbleibt ...

Kreß schreibt in seinem Buch „Aviatik" (1904):

Es herrscht sehr häufig die irrtümliche Ansicht, dass die Flügel des Vogels bei der Aufwärtsbewegung einen Luftwiderstand von oben zu überwinden haben, während in Wirklichkeit das Gegenteil stattfindet. Die Flügel des Vogels haben bei der Aufwärtsbewegung, während des horizontalen Fluges ebenso wie bei der Abwärtsbewegung der Flügel, stets einen Luftdruck von unten. Der große Vogel ist in gewissem Sinne ein Drachenflieger. Bei der Aufwärtsbewegung haben die Flügel positive und bei der Abwärtsbewegung eine negative Drachenstellung...

Prochney schreibt darüber in seiner Abhandlung „Vogelflug und Flugmaschine" (1910):

. . . Wenn der Vogel die Flügel hebt, dann wird der nichtversteifte Hinterrand dem Druck nachgeben, sich also weniger schnell heben als der versteifte Vorderrand. Der Flügel kommt dann also in eine nach hinten und oben geneigte Stellung, so dass der Luftdruck nach vorn und unten wirkt. Es wird also nicht die ganze Kraft des Aufschlages nützlich verwendet, sondern ein Teil drückt sogar den Flügel nieder. Im Allgemeinen aber führt der Vogel den Rückschlag nicht selbst aus, sondern lässt ihn durch den Luftwiderstand ausführen. Das geschieht in der Regel im schnellen Fluge.

Die Flügel sind dann vorn etwas aufgerichtet und der scheinbar entgegenkommende Luftstrom treibt sie in die Höhe...

Zum Schluss noch Gustav Lilienthais Ansicht über den Flügelaufschlag:

Die allgemeine Annahme des Laien und leider auch vieler Fachleute ist die, dass die Schwungfedern eine Art Ventilklappen bilden, welche sich beim Flügelaufschlag so einstellen, dass die Luft möglichst widerstandslos zwischen ihnen hindurchstreichen kann...

In seinem Werk „Die Biotechnik des Fliegens" (1925) schreibt Gustav Lilienthal:

Beim Aufschlag des Flügels müssen die Federn anders wirken als beim Niederschlag. Jetzt kommt es darauf an, dass die Schwungfedern einen möglichst geringen Rückwärtsdruck erzeugen. Sie drehen sich zu diesem Zweck nur so weit um ihren Kiel, dass die Vorderkante nur so viel gegen die Hinterkante angehoben wird, als nötig ist, um das Federprofil annähernd in die Richtung der Schlagbahn zu bringen. Man muss, um dies zu verstehen, berücksichtigen, dass größere Vögel bei Windstille selten vom Stand aus auffliegen, sondern entweder erst vorwärtshüpfen wie der Storch, oder laufen wie der Kondor und bei Wind sich stets gegen ihn wenden.

Beim Flügelaufschlag ist aber im Verhältnis zur Luft gleichzeitig eine Vorwärtsbewegung vorhanden. Die Schwungfedern werden daher so gestellt, dass sie annähernd die mittlere Richtung zwischen der Vorwärts- und Aufwärtsbewegung einnehmen, also mit der Vorderkante die Luft durchschneiden. So erzeugen sie den geringsten Rückwärtsdruck. In dieser Art fliegt der Vogel, wenn er eine möglichst große Geschwindigkeit erreichen will. Wenn es ihm dagegen darauf ankommt, schnell zu steigen, so verstärkt er die Drehung beim Aufschlag, wobei die Vorderkante der Federn gegen die relative Bewegung zum Luftstrom etwas angehoben ist. In diesem Falle erhält der Vogel beim Aufschlag noch eine Hebewirkung, allerdings mit gleichzeitiger Vergrößerung des Rückwärtsdruckes... Die Kraftäußerung der Brustmuskeln bezieht sich auf den Niederschlag; für den Aufschlag bedarf der Vogel während des Vorwärtsfluges oder für den Aufflug bei Wind keine Muskeltätigkeit. Allerdings besitzt er auch Muskeln hierfür, die auf dem Rücken liegen, denn er kann auch ohne zu fliegen, die Flügel heben; aber diese Muskeln sind sehr gering im Verhältnis zu denen auf der Brust. So nützlich die Schlagwirkung zur Vergrößerung des durch den Niederschlag erzeugten Auftriebes und Vortriebes ist, so schädlich wäre sie beim Aufschlag. Hierbei tritt sie aber nicht ein aus folgendem Grunde: Die Kraftleistung des Niederschlagsmuskels beginnt bei erhobenen Flügeln und währt bis annähernd drei Viertel der Abwärtsbewegung. Den Rest des Niederschlages legt der Flügel vermöge der erhaltenen Geschwindigkeit und seiner Massenträgheit zurück. Die Schlagbewegung pendelt gleichsam aus. Hierbei wird allmählich, nicht plötzlich, die Stellung des Flügele geändert, so dass

die Vorder-kante angehoben ist. Es tritt infolge der Vorwärtsbewegung die Luftströmung unter den Flügel und hebt ihn dadurch. Hierbei tritt keine plötzliche Bewegungsänderung ein und somit auch keine Schlagwirkung; doch ist allerdings der Auftrieb nicht so stark, wie beim Niederschlag. Es wird aber der Rückwärtsdruck auf das niedrigste Maß gebracht, und das ist besonders wichtig...

Wir sehen daraus, dass auch die Ansichten der Forscher und Fachleute auseinander gehen.

Ich will nun noch kurz meine Ansicht darüber bringen, um dann zum Schluss auf meine Flügelschlagtheorie der „plötzlichen Schlagbewegung" und „Wechselstromprinzip" einzugehen.

Ich will mich bezüglich des Flügelaufschlages hier ganz kurzfassen. Ob der Flügel beim Aufschlag einen dorsalen oder zentralen Druck erhält, ist größtenteils vom Horizontalweg abhängig; es können daher beide Fälle eintreten. Wie gesagt, näher will ich hier auf die „Schlagbewegung" nicht eingehen, weil es mir hier an Raum mangelt und ich anderseits in einer speziellen Abhandlung ausführlich darauf zurückkomme.

Damit kommen wir nun zu meiner Flugtheorie.

„Plötzliche Schlagbewegung und Wechselstromprinzip"

Eine bekannte Tatsache ist, dass Luftschrauben, je langsamer sie sich drehen und je größer ihre bestrichene Fläche ist, um so bessere Wirkungsgrade erzielen, da der die Drehbewegung begleitende ungünstige Umstand der Verschlechterung des Wirkungsgrades, infolge der von der Schraube ergriffenen, sich mitdrehenden Luft, bei langsamer Drehbewegung geringer wird. Der gegenteilige Umstand tritt jedoch ein bei der pulsierenden Schlagbewegung. Die nachstürzenden Luftmassen treffen den in Rückbewegung befindlichen Flügel, wodurch der Widerstand bedeutend vergrößert wird. Durch den beim pulsierenden Flügelschlag erzeugten Wechselstrom wird die „Schlagwirkung" bedeutend vergrößert im Gegensatz zur Gleichstrom erzeugenden Propellerrotation mit schlechtem Wirkungsgrad. So ergaben auch die Reifensteinschen Versuche, dass bei schwingender Parallelbewegung eine Erhöhung der Auftriebswerte auf das Derieindrittelfache des Wertes bei reiner Translation eintritt. Gustav Lilienthal schreibt in seiner Abhandlung „Der Ruderflug der Vögel" folgendes:

Unter Zugrundelegung der allgemein gültigen Luftwiderstandsgrößen ist die Möglichkeit des Ruderfluges überhaupt nicht zu erklären. So ergibt die Rechnung unter den als richtig anerkannten Druckwerten für den Aufflug einer Taube bei Windstille einen Auftrieb von 20 g. Da die Taube aber ca. 300 g wiegt und effektiv auffliegt, so hat sie 15mal mehr gehoben, als die Wissenschaft ihr nachrechnen

kann. — Kurz Lilienthals Rechnungsbeispiel:

Die Sek.-Geschwindigkeit des Druckzentrums der Flügel ergibt sich aus dem Tempo der Flügelschläge = 6 in der Sek. Das Druckzentrum legt bei jedem Schlag einen Weg von 0,25 m zurück. Nur der Niederschlag kommt in Betracht. Die ganze Länge der Niederschläge sind in der Sek. also 0,25 x 6 x 2 = 3 m/Sek. Die Größe beider Flügel ist 0,06 qm. Die Flügelgröße mal dem Quadrat der sekündlichen Geschwindigkeit mal dem Druck, den 1 qm bei 1 m/Sek. Geschwindigkeit = 0,075 erzeugt, würde dann den Luftwiderstand er-geben, wenn die Flügel sich gleichmäßig parallel bewegten. Da dies aber nicht der Fall ist, sondern sich. dieselben um das Schulter-gelenk drehen, so muss man das Produkt in Anbetracht der zugespitzten Flügelform noch mit 2 dividieren. Das Exempel ergibt demnach:

$$\frac{0{,}06 : 3^2 . 0{,}075}{2} = 0{,}020 \text{ kg}$$

Wie schon erwähnt, beträgt das Gewicht der Taube 0,300 kg, also 15mal mehr, als die Rechnung ergibt. Die effektive sekundliehe Arbeit ergibt sich für die Taube aus dem Gewicht mal der Geschwindigkeit des Druckzentrums =0,3 kg x 3,0 m 0,9 Sek./mkg. Wäre der Göttinger Koeffizient 0,075 kg maßgebend, so müsste die Taube, um die erforderliche Arbeit zu leisten,

$\sqrt{\frac{0{,}3}{0{,}02}} = 3{,}8$ mal so viele Flügelschläge,

also 3,8 x 6 = rd. 23 Flügelschläge in der Sekunde leisten.

Nach Lilienthal liegt die Ursache der Luftwiderstandsvermehrung in der Wechselstrom erzeugenden pulsierenden Schlagbewegung. Durch Vergleichsmessungen mit drehenden und pulsierenden Flügeln hatte Otto Lilienthal beim letzteren Fall einen 20fach größeren Druck festgestellt. Dieser hohe Druck wurde jedoch nur im Standversuch gemessen, d. h. bei einer Schlagbewegung ohne Horizontalweg. Bei gleichzeitiger Horizontalbewegung trat eins Druckverminderung ein, die die Fläche nicht mehr mit ihrer ganzen Ausdehnung auf rücklaufende Luft trifft, sondern teilweise auf in Ruhe befindliche. Die Vermehrung des Luftwiderstandes war bei Horizontalweg noch ca. 3-4mal größer und bei einem Vertikalweg von 1/10 des Horizontalweges war die Reaktion der Flügelschlagfläche fast gleich der rotierenden Fläche.

Es ist selbstverständlich, dass die von Lilienthal gefundenen Zahlen nicht als absolut zu werten sind; immerhin zeigen diese, wie auch die Reifensteinschen Versuche, die große Überlegenheit der pulsierenden Schlagbewegung.

Als Gegenüberstellung ein Versuchsergebnis des französischen Flugforschers Marey. Nach Marey ergab sich, dass ein mechanischer Apparat, der ein paar Flügel mit stets demselben Kraftaufwand in Bewegung setzt, eine große Amplitude des Flügelschlages bewirkt, wenn der Apparat stillsteht, dagegen eine kleinere, wenn letzterer eine fortschreitende Bewegung besitzt. Wenn ferner die Flügel durch eine

gespannte Feder niedergeschlagen werden, ist die Zeit des Niederschlages 1/3 Sekunde, wenn der Apparat stillsteht, dagegen ½ Sekunde bei einer fortschreitenden Bewegung von 3 m Geschwindigkeit, eine ganze Sekunde für eine Geschwindigkeit von 5,5 m. —Die Verminderung der Amplitude bei gleichbleibender Triebkraft hat ihren Grund in der durch die translatorische Bewegung bewirkten Vermehrung des Luftwiderstandes.

Dort eine Druckverminderung bei Horizontalweg, hier eine Erhöhung. Und wer hat recht? Beide!

Der Gedanke ist nun naheliegend, zu forschen, ob in der Natur durch irgendwelche Schlagbewegung die Möglichkeit der Luftwiderstandsvermehrung durch vollkommene Ausnützung des Wechselstroms bei Horizontalweg besteht. Wir heben uns die Beantwortung dieser Frage für später auf und kommen zuerst auf die „plötzliche Schlagbewegung" zu sprechen.

Angenommen, eine Fläche soll von A nach B bewegt werden. Vor Beginn der Bewegung ist die unter der Fläche befindliche Luft im Ruhezustand. Wird nun die Fläche i n Abwärtsbewegung versetzt, so schlägt sie die unter der Fläche befindliche Luftmasse nach abwärts. Die Luft erfährt also durch diese Schlagbewegung eine Beschleunigung nach unten. Dadurch wird jedoch der Widerstand vermindert. Um nun den anfänglichen Auftrieb während der ganzen Schlagdauer erhalten zu können, muss der Flügel der nach abwärts beschleunigten Luftmasse mit immer größerer Geschwindigkeit folgen; wir sehen, durch diese relative Bewegung der Luftteilchen wird ein absoluter Widerstand verhindert. Wenn nun dagegen die Möglichkeit bestände, dass die bewegte Fläche mit großer Geschwindigkeit plötzlich auf in Ruhe befindliche Luft trifft, so würden die unter der Fläche befindlichen Luftmoleküle keine Zeit haben, sich nach unten zu beschleunigen, wodurch ein großer, fast absoluter Widerstand entstehen würde. Auf den ersten Blick scheint es unmöglich, mittels der Winkelbewegung einen „plötzlichen" Schlag ausführen zu können da die Schlagbewegung im Endpunkte unterbrochen wird und mit der Geschwindigkeit 0 beginnt; die Massenträgheit der Flügel gestattet daher nur eine steigernde Geschwindigkeitszunahme. Und doch tritt die plötzliche Schlagbewegung beim Tierflug auf. Dies erkennen wir am besten bei den großen Flugtieren. Und zwar kommt die plötzliche Schlagbewegung durch das wechselseitige Bewegungsspiel von Flügelarm und Hand zustande. Am Ober- und Unterarm könnte die exzentrische Schwingung nicht auftreten, da die Trägheit der Flügelmasse dem gegenübersteht; die Handschwinge dagegen besitzt keine Flügelmasse, da dieselbe ja nur aus dem kleinen Skelettstummel und aus Schwungfedern besteht. Damit die plötzliche Schlagbewegung eintreten kann, muss daher die Bewegung von Flügelmasse (Ober- und Unterarm) von der Fläche (Handschwinge) getrennt sein. Die Fläche tritt daher erst dann in Funktion, wenn die Flügelmasse schon ihre größte Geschwindigkeit erreicht hat, indem ihr dann plötzlich die Bewegung der Flügelmasse mitgeteilt wird,

und dies kommt durch die Wechselbewegung von Flügelarm und Hand zustande. Angenommen, der Flügel wird nach aufwärts geschlagen, nur der Flügelarm, das Skelett folgt dem Zuge vollständig, die Handschwinge dagegen bleibt, sei es durch aktive Betätigung im Handgelenk, als auch durch die Eigenelastizität der Schwungfedern, hinter dieser Bewegung zurück. Der Flügelarm befindet sich daher schon in der Bewegungsumkehr nach abwärts, während die Handschwinge den oberen Totpunkt noch nicht erreicht hat. Während der Durchfederung der Handschwinge nach oben erreicht die Flügelmasse ihre größte Geschwindigkeit. Durch Fixierung der Handschwinge wird dann dieser plötzlich die Bewegung des Flügel-arms mitgeteilt. Die Fläche tritt daher plötzlich in Funktion, wodurch ein fast absoluter Widerstand entsteht, Dasselbe Spiel tritt ein der Bewegungsumkehr. Die Flügelmasse erlangt Geschwindigkeit, während die Handschwinge noch auspendelt, die dann plötzlich die Geschwindigkeit der Flügelmasse annimmt. — Wie gesagt, dieses wechselseitige Bewegungsspiel von Flügelarm und Hand können wir bei den großen Flugtieren am besten beobachten, und zwar ist dies am ausgeprägtesten, wenn der Vogel mit größter Kraftanstrengung fliegt (vergl. die Momentfotos der rudernden Möwe von Marey). Hier kommt die plötzliche Schlagbewegung zum größten Teil durch aktive wechselseitige Beugung im Handgelenk zustande. Im normalen Fluge ist diese Bewegung weniger ausgeprägt, hier kommt die Wechselbewegung fast nur durch die Eigenelastizität der Hand-schwinge zustande. Am deutlichsten ist diese wechselseitige Bewegung heim Storchtyp erkennbar. Bei den Flugtieren von mittlerer Größe (Krähentyp) ist diese Bewegung nicht so ausgeprägt, und zwar ausfolgenden Gründen: Wie ich schon sagte, kommt bei diesen Flugtieren das Rotationsprinzip zur Anwendung. Die Geschwindigkeit der Flügelmasse wird daher in den Endpunkten nicht verzögert, hier genügt daher eine geringe Wechselbewegung zur Erlangung der plötzlichen Schlagbewegung. Damit kommen wir noch zum Insektenflug. Die Insekten haben kein Handgelenk. Hier kann daher die plötzliche Schlagbewegung nur durch Eigenelastizität der Flügel erfolge. Der Flügel muss daher eine große Vertikalelastizität aufweisen. Diese Annahme trifft auch tatsächlich bei den Insekten mit geringer Flächenbelastung zu (z. B. Libelle). Bei den Insekten mit hoher Flächenbelastung dagegen müssen die Flügel biegesteifer sein. Hier kommt die plötzliche Schlagbewegung trotz geringer Vertikalelastizität durch das hier zur Anwendung gelangende Rotationsprinzip wie beim Krähentyp zustande … Auch beim Insektenflügel deutet die Änderung auf eine Trennung von Flügelmasse und Fläche. Jetzt können wir auch die Frage betreffend Ausnützung des Wechselstroms bei Horizontalweg beantworten. Durch die plötzliche Schlagbewegung ist auch die Auswirkung eine plötzliche. Die nachstürzenden Luftmassen werden nicht erst in der Gegenschwingung günstig verarbeitet, sondern schon in der erzeugenden. Durch die plötzliche Schlagbewegung beim Niederschlag des Flügels wird einer-seits, wie gesagt, ein fast absoluter Widerstand erzeugt, anderseits wird aber auch infolge des Auftretens des Unterdruckgebietes auf der dorsalen Flügelseite (Flügelrücken) eine kräftige

Saugwirkung hervorgerufen, die die Gesamtauftriebskraft bedeutend vergrößert. Die dann ins Unterdruckgebiet mit großer Kraft nachstürzende Luftmasse holt den nun in verzögerter Abwärtsbewegung begriffenen Flügel ein, woraus eine große Vortriebswirkung resultiert. Der Aufschlag wird durch ein ruckartiges, kurzes Aufwärtsschlagen des Flügels eingeleitet, dem eine Verzögerung des Aufschlages folgt. Die nachstürzenden Luftmassen treffen mit großer Stoßkraft die Flügeldruckseite und rufen dadurch ebenfalls eine große Auftriebswirkung hervor, die bis zum Ende des Aufschlages anhält. Die beim Niederschlag auf der dorsalen Flügelseite auftreffenden nachstürzenden Luftmassen wirken sich nicht rumpfniederdrückend aus, und zwar ausfolgenden Gründen: Die plötzliche Schlagbewegung kommt nur durch die Handschwinge zustande. Es beschränkt sich daher die Auswirkung der Luftwelle nur auf diese. Durch Beugung der Hand wird daher die niederdrückende Wirkung auf den Rumpf selbst vermieden.

Beim Insektenflügel ist dies wegen des Fehlens des Handgelenkes nicht möglich; hier wird diese Wirkung durch Umschwenken des Flügels in starke Supinationsstellung (positiver Anstellwinkel) in Vortrieb umgewandelt. Aus diesem Grunde weisen die Insektenflügel eine große Verschwenkbarkeit um ihre Längsachse auf.

Betrachten wir uns den Vogelflug, so finden wir, dass derselbe einen verhältnismäßig weichen Flügelschlag hat. Dies gilt besonders für den Breitflüglertyp. Weich und plötzlich sind aber zwei gegenüberstehende Begriffe. Und doch wird dies durch die aktive Trag-fläche erreicht. Durch die Horizontalschwingung der Schwungfedern kommt trotz plötzlicher Schlagbewegung ein weicher Flügelschlag zustande. Durch die aktive Tragfläche wird auch die niederdrückende Wirkung der nachstürzenden Luftwelle in Horizontalspannungsenergie umgewandelt.

Wir sehen, durch die plötzliche Schlagbewegung ist die Ausnützung des Wechselstromprinzipes im Gegensatz zur Lilienthalschen Annahme vom Horizontalweg so gut, wie ganz unabhängig. In dieser plötzlichen Schlagbewegung, sowie in der Ausnützung des Wechselstromprinzips liegt daher die Ursache der hohen Auftriebswerte beim Flügelsehlag; in diesem finden wir den Umstand des ökonomischen Tierfluges!

Es ist bekannt, dass die kleinen Flugtiere einen schnellen Niederschlag haben und einen langsamen Aufschlag; bei den größeren Flug-tieren dagegen ist dies gerade umgekehrt: schneller Aufschlag und langsamer Niederschlag. Im Zusammenhang mit diesem bringe ich eine Erörterung Prof. Demolls: Der Vogel liegt auf der Luft, das Insekt hängt in der Luft; jener wird von der Luft getragen durch Vermehrung des Druckes von unten, dieses wird von der Luft an-gesaugt durch Verminderung des Druckes von oben. — Dies stimmt auch mit meiner Hypothese der plötzlichen Schlagbewegung überein. Bei den Insekten und kleinen Vögeln ist die Ausnützung der plötzlichen Schlagbewegung und des Wechselstromprinzips beim schnellen

Niederschlag das Primäre, bei den großen Flugtieren dagegen heim schnellen Aufschlag!

Und nun komme ich noch auf einen Umstand von Bedeutung zu sprechen. Durch Beobachtung des Tierfluges stellte ich folgendes fest: Die Schwungfedern sind beim Niederschlag nach oben durchgebogen, aber auch beim schnelleren Aufschlag. Dies erkennt man gut beim Krähenflug. Dies beweist erstens einmal, dass auch beim Aufschlag der Flügel einen Druck von unten erfährt. Und nun komme ich mit meiner Behauptung, die im Gegensatz zu den Flügelschlagstheorien aller Flugautoritäten steht.: Die Handschwinge ist beim Aufschlag zur Horizontalen nicht supiniert (positiver Anstell-winkel), sondern dieselbe besitzt einen negativen Anstellwinkel! Ich begründe dies folgend: Wenn beim Aufschlag die Schwungfedern, d. h. die Federkiele, durch den ventralen Druck nach oben durch-gebogen sind, müssen die weit elastischeren Federfahnen ebenfalls nach oben durchgebogen sein! Die Handschwinge muss daher zur Horizontalen einen negativen Anstellwinkel beim Aufschlag besitzen. Die Beobachtung der Durchbiegung der Handschwinge nach oben machte ich jedoch nur bei den Flugtieren mit schnellem Aufschlag, also bei den größeren Vögeln. Und dies stimmt auch mit meiner Annahme der Schlagbewegung überein. Würden die Schwingen beim Aufschlag einen positiven Anstellwinkel besitzen, so würde die Auswirkung der nachstürzenden Luftwelle Auftrieb und Rücktrieb er-heben, bei Pronationsstellung der Schwinge (negativer Anstellwinkel) dagegen resultiert daraus Auftrieb und Vortrieb! —

Aus dieser gedrängten Darlegung meiner Flugtheorie ist zu er-sehen, dass dieselbe gegenüber den Theorien namhafter Flugforscher wesentlich abweicht. Aus diesem Grunde aber auch haben sich meine bisher gebrachten Konstruktions-Vorschläge auf die Flugtheorien bekannter Forscher angelehnt. Ich habe mit Absicht keine Konstruktionsvorschläge nach meiner Theorie veröffentlicht, da ich erst dann derartige Konstruktionsvorschläge veröffentlichen werde, sobald meine Annahme durch Versuche vollkommen erhärtet ist. Ich bin jedoch überzeugt, dass eine Schwingenfliegerkonstruktion nach dem Storchtyp, wie ich es ja auch schon an früherer Stelle kurz darlegte, die größten Erfolgsaussichten haben wird. Gerade die größten, Flugtiere haben den ökonomischsten Flug und diese zeichnen sich durch die typische Wechselbewegung von Flügelarm und Hand aus. Warum der Flug dieser Flugtiere so arbeitsökonomisch ist, liegt, wie gesagt, in der plötzlichen Schlagbewegung und in der Ausnützung des Wechselstroms begründet. Hierzu kommt aber noch, dass diese typische Wechselbewegung von Flügelarm und Hand an sich allein bedeutende Vorteile ergibt.

Otto Lilienthal schrieb im „Vogelflug", dass der geringste Arbeitswiderstand und die geringste absolute Flügelgeschwindigkeit erforderlich sind, wenn die Flügelhebung ohne Zeitaufwand vor sich gehen kann; dem steht jedoch gegenüber, dass die Arbeit zur Überwindung der Massenträgheit der Flügel am geringsten ist, wenn Auf- und

Niederschlag gleich schnell erfolgen. Unter Berücksichtigung aller Umstände fand Lilienthal, dass das Leistungsminimum bei einem Zeitverhältnis von 2:3, also schnellem Heben und langsamerem Senken der Flügel erreicht wird.

Vom Standpunkt meiner Darlegung aus betrachtet ergibt sich jedoch ein völlig anderes Bild.

Da, wie bekannt, hauptsächlich der Niederschlag zur Erzeugung des Auftriebes in Betracht kommt, ist es umso besser, je kürzer die Zeitdauer für den Aufschlag bemessen ist. Dem steht jedoch die Vergrößerung des Kraftaufwandes zur Überwindung der Massenträgheit bei der exzentrischen Schlagbewegung gegenüber. Anderseits kann die hebende Drachenwirkung des Fahrtwindes umso besser ausgenützt werden, je mehr der Flügelaufschlag verzögert wird. Da die Schlagbewegung eine Winkelbewegung darstellt, kann bei geringer Aufschlagsverzögerung die Drachenwirkung des Fahrtwindes nur an den basalen Flügelteilen zur Auswirkung gelangen, die Flügelspitze selbst würde hier jedoch einen dorsalen Druck empfangen. Mit zunehmender Aufschlagsverzögerung verteilt sich die Drachenwirkung auf die ganze Flügelspannung. Wir sehen, bei der einfachen Winkelbewegung ergeben sich sowohl beim schnellen als auch verzögerten Aufschlag Nachteile. Ganz anders liegen die Verhältnisse bei der plötzlichen Schlagbewegung, d. h. bei der Wechselbewegung von Flügelarm und Hand. Wie ich schon früher erwähnte, ist die Zeitdauer der Schlagbewegung der Flügelmasse bei den großen Flugtieren die gleiche! Daraus ergeben sich folgende Vorteile:

1. Dadurch wird der Arbeitsaufwand zur Überwindung der Massenträgheit der Flügel auf ein Minimum gebracht,
2. wird dadurch in der Praxis der Motor regelmäßig beansprucht,
3. wird durch diese Verzögerung des Aufschlages die Drachenwirkung des Fahrtwindes an den basalen Flügelteilen vollkommen ausgenützt.

Bei der einfachen Winkelbewegung hätte der schnelle Aufschlag der Flügelspitze Verlust bedeutet, da ja diese einen dorsalen Druck erhalten würde. Bei den großen Flugtieren dagegen geht die massenlose Handschwinge während der Zeit des Aufschlages der Flügelmasse (Ober- und Unterarm) noch nach abwärts und erzeugt so weiterhin Auftrieb und Vortrieb. Erst nach Erlangen großer Geschwindigkeit der Flügelmasse geht die Handschwinge nach oben. Das Bewegungsbild der rudernden Möwe (Marey) zeigt, dass die Flügelmasse schon die Mittellage überschritten hat, bevor die Hand-schwinge gehoben wird. Das Zeitverhältnis der Flügelmasse ist beim Auf- und Niederschlag das gleiche; beziehend auf die ganze Flügelspannung ergibt sich durch diese Wechselbewegung schneller Aufschlag und langsamer Niederschlag. In dieser Schlagbewegung sind die Vorteile des schnellen und verzögerten Aufschlages vereinigt. Nach Erlangen der größten Geschwindigkeit der Masse wird die Handschwinge fixiert, d.h. dieser die Geschwindigkeit, plötzlich mitgeteilt; die Geschwindigkeit der Handschwinge wird durch aktive Betätigung im

Handgelenk noch bedeutend gesteigert. Die Handschwinge wird daher ruckartig aufgeschlagen. Hier kann, wie gesagt, die exzentrische Schwingung ohne großen Kraftaufwand erfolgen, da die Trägheit der Flügelmasse nicht überwunden werden muss. Durch den ruckartigen Aufschlag entsteht die plötzliche Schlagbewegung, d. h. die Flügelrückseite erfährt einen fast absoluten Widerstand. Da während der Zeit des kurzen Aufschlages die Schwinge rein automatisch einen positiven Anstellwinkel besitzt, wird der schädliche Niederdruck in Vortrieb umgewandelt. Dadurch wird jedoch die Aufschlagsbewegung der Schwiege verzögert; die in Unterdruckgebiet nachstürzenden Luftmassen holen daher die Schwinge ein und erzeugen, da nun die Schwinge wieder rein automatisch durchfedert, also einen negativen Anstellwinkel erhält, Auftrieb und Vortrieb. Eben durch die Folge der plötzlichen Schlagbewegung ist die Auswirkung der nachstürzenden Luftwelle besonders kräftig, so dass die Hubwirkung bis zu Ende des Aufschlages anhält. Infolge der beim Flügelschlag auftretenden Rumpfoszillation wird die schädliche Wirkung — hervorgerufen durch den ruckartigen Aufschlag auf der dorsalen Flügelseite — zum. größten Teil annulliert und die hebende Wirkung der nachstürzenden Luftwelle hebt bei weitem diesen Nachteil auf. Beim Niederschlag tritt diese Wirkung auch ein, jedoch nicht in so großem Umfange. Dies erkennen wir schon daraus, dass die Wechselbewegung in der oberen Endlage nicht so ausgeprägt ist. Wie schon gesagt, ist bei den großen Flugtieren beim Aufschlag die Ausnützung der nachstürzenden Luftwelle das Primäre. Noch einen Vorteil weist die plötzliche Schlagbewegung auf. Bei der einfachen Winkelbewegung ist ein großer Energieaufwand erforderlich, um die Bewegung der Flügelmasse in den Endpunkten aufzuhalten, dies bezieht sich auf den Flügelschlag der großen Flugtiere, da hier das Prinzip der Schwingungsresonanz nicht angewandt werden kann. Bei der Wechselbewegung der großen Flugtiere wird jedoch die Bewegung der Flügelmasse in den Endpunkten rein automatisch verzögert, und zwar nach Eintreten der plötzlichen Schlagbewegung. Die dadurch auftretende Verzögerung der Handschwinge bringt. zwangsläufig eine Verzögerung der Flügelmasse mit sich. Daraus erhellt, dass die Wechselbewegung gegenüber der einfachen Winkelbewegung erhebliche Vorteile aufweist. Das Endstadium des Schwingenflug-zeuges wird daher ein Flugzeug sein, bei welchem die plötzliche Schlagbewegung, d. h. die Wechselbewegung von Flügelnasse und -fläche zur Anwendung kommt...

Um die Ökonomie des Tierfluges zu erreichen, ist, wie ich in dieser Artikelserie darlegte, ein tieferes Eingehen auf den Schwingenflug erforderlich; es ist hier nicht nur ein Umstand zu berücksichtigen, sondern es treten viele Fragen auf, die auf Lösung harren.

Im Rahmen dieses Artikels ist es natürlich nicht möglich, alle diese Fragen zu behandeln; ich musste mich damit begnügen, nur einige zu beantworten. So konnte ich von den Konstruktionsmöglichkeiten auch nur einige Beispiele herausgreifen. Aus dieser Abhandlung dürfte man ersehen, dass die Lösung des

Schwingenflugproblems schwieriger ist, als sich dies manche Laien vorstellen. Manche Illusionen werde ich durch diesen Artikel zerstört haben, ich hoffe jedoch, der Sache dadurch gedient zu haben, dass viele von völlig unbrauchbaren Konstruktionen abgehalten werden.

Selbstverständlich stellen auch meine Konstruktions-Vorschläge keine erprobte Lösung dar; dieselben sind nur als Richtlinien zu werten, wie man meiner Ansicht nach mit Aussicht auf Erfolg dieses Problem seiner Lösung näherbringen könnte.

Wenn es meinem Artikel gelungen ist, die gehoffte Aufklärungsarbeit zu leisten und manche „große Erfinder" von allzu dilettantenhaften Versuchen abzuhalten, so hat er seinen Zweck erfüllt. Zum Schluss möchte ich noch erwähnen, dass ich in Kürze eine spezielle Abhandlung über "Muskelschwingenflieger" herauszubringen gedenke, in welcher ich ausführlicher die Grundlagen des Schwingenfluges, dem Vogel- und Insektenflug, sowie die Flugtheorien bekannter Flugforscher behandeln werde. Ferner wird diese Abhandlung noch weitere eigene Konstruktions-Vorschläge, sowie solche anderer bringen. Zu diesem Zwecke wäre mir die Mitarbeit der Fachwelt. insbesondere die Zusendung von Fotos, erwünscht.