



## B.

# Der persönliche Kunstflug

von

† Otto Lilienthal,  
Ingenieur.

### § 1. Allgemeines.

a) Kunstflug bedeutet willkürliches Fliegen eines Menschen mittels eines an seinem Körper befestigten Flugapparates, dessen Gebrauch persönliche Geschicklichkeit voraussetzt. Der Kunstflug des einzelnen Menschen ist der Ausgangspunkt für alles künstliche Fliegen, weil die zu letzterem erforderlichen Bedingungen sich durch den Flug des einzelnen Menschen am leichtesten erfüllen lassen.

#### Gründe:

1. Zunehmende Größe der Flugapparate erschwert die Herstellung leichter Konstruktionen. Deshalb ist der Bau kleiner Apparate empfehlenswert.
2. Schwierigkeit des Auffliegens steigert sich in höherem Grade mit Größe des Flugkörpers. Auffliegen eines einzelnen Menschen daher leichter als Auffliegen größerer mit mehreren Personen belasteter Flugmaschinen.
3. Zerstörender Einfluß des Windes wächst mit Größe der Apparate. Am leichtesten zu regieren ist ein Apparat, welcher zum Fliegen eines einzigen Menschen dienen soll.
4. Anwendung kleiner vorwärts fliegender Flugmaschinen — Modelle — gewährt keine größere Beobachtungsdauer, weil Innehaltung eines stabilen Fluges auf größere Strecken sich nicht selbsttätig bewirken läßt. Deshalb können Flugversuche nur dann belehrend wirken, wenn ein Mensch den Flug mitmacht und

durch willkürliche Regulierung einen dauernd stabilen Flug erzielt.

b) Das den Vogelflug nachbildende Fliegen des einzelnen Menschen ist die einzige Fliegemethode, welche gestattet, mit Hilfe sehr einfacher Apparate mit unvollkommenen Flügen beginnend, eine allmähliche Vervollkommnung im Fliegen zu entwickeln.

#### Gründe:

1. Stufenweise Entwicklung des Fliegens aus einfachsten Anfängen hat mit einfachsten Bewegungsformen, einfachsten Apparaten und möglichst ohne dynamische Leistung zu beginnen.
2. Methode des Fliegens, welche dauerndes Fliegen ohne Kraftaufwand gestattet, ist allein der Segelflug der Vögel.
3. Mit einfachen vogelflügelähnlichen Segelflächen kann auch der Mensch begrenzte Segelflüge ohne Arbeitsleistung ausführen, indem er von erhöhten Punkten in mehr oder weniger geneigter Bahn die Luft durchfliegt.
4. Eigentümlichkeiten der Windwirkung lernt man am besten durch solche Segelflugübungen beurteilen.
5. Vorrichtungen, welche nötig sind, um den Wind mit dem Flugapparate zu beherrschen, lassen sich nur im Winde selbst und am besten bei Segelflugversuchen erkennen.
6. Die Tragewirkung der Luft und des Windes hängt ab von den Formen der angewendeten Trageflächen, und nur durch freies Durchfliegen der Luft lassen sich die besten Flügelformen ergründen.
7. Die Stabilität beim Vorwärtsfliegen ist Uebungssache und nur durch wiederholte persönliche Versuche im freien Fliegen zu erzielen.
8. Praxis allein führt auf die beste Konstruktion der Segelapparate von genügender Stärke, großer Leichtigkeit und bequemer Regulierbarkeit.
9. Durch Uebung und Erfahrung kann der Mensch bei genügender Windstärke den vollkommenen

- Segelflug der Vögel nachbilden, indem er durch kreisende oder andere Bewegungen den etwas nach aufwärts abgelenkten Windrichtungen folgt und von der Luft sich tragen läßt.
10. Die Leistung des Segelfluges mit unbeweglichem Apparat läßt sich vermehren, indem man die Flügel oder Teile desselben durch motorischen Betrieb entsprechend bewegt.
  11. Durch geeignete Apparate, welche gleichzeitig zum Segelflug und Ruderflug sich anwenden lassen, kann der Mensch für eine gewisse Flugdauer alle Vorteile des Vogelfluges sich zu Nutze machen und mit denkbar geringster Arbeitsleistung seinen Flug nach beliebigen Richtungen ausdehnen.
  12. Beschäftigung mit dem Kunstfluge des einzelnen Menschen bietet hiernach die meiste Aussicht auf eine bis zum vollendeten freien Fliegen führende Entwicklungsfähigkeit.

## § 2. Besonderes.

Als Vorbereitung zum Kunstfluge dient Einübung des Segelfluges ohne Flügelschläge.

Hierzu verwendete Apparate müssen die Gestalt ausgebreiteter Vogelflügel haben. Ihre Segel- und Tragewirkung beruht auf den vorteilhaften Luftwiderstanderscheinungen vogelflügelartiger Flächen.

Flügel mit schwach gewölbtem Profil erfahren in annähernd horizontaler Haltung beim horizontalen Durchziehen der Luft einen stark hebenden und wenig hemmenden Luftwiderstand. Beim Vorwärtssegeln in schwach geneigter Bahn hört bei richtiger Flügelstellung die hemmende Wirkung des Luftwiderstandes ganz auf, während noch eine starke Tragewirkung bleibt. Ebenso können die in sehr schwachem Winkel ansteigenden Winde tragend wirken, ohne den Flugkörper zurückzutreiben, so daß zeitweiliges Stillstehen in der Luft und auch Segeln gegen Wind ohne Höhenverlust möglich ist.

Günstige Segelwirkungen treten ein, wenn die Flügel um  $\frac{1}{18}$ — $\frac{1}{12}$  ihrer Breite nach oben gewölbt sind.

Ein Flügel mit dem Profil *ab* (Fig. 1) werde unter dem Winkel  $\alpha$  von der Luft mit der Geschwin-

digkeit  $v$  getroffen. Hierbei entsteht ein Luftwiderstand  $R$ , welcher im allgemeinen nicht normal zur Sehne  $ab$  steht, sondern aus der normal zur Sehne gerichteten Kraft  $N$  und der tangential zur Sehne gerichteten Kraft  $T$  sich zusammensetzt. Ist  $F$  die Flügelfläche, so ist

$$\text{der Normaldruck } N = \eta \cdot 0,13 \cdot F \cdot v^2;$$

$$\text{der Tangentialdruck } T = \vartheta \cdot 0,13 \cdot F \cdot v^2.$$

Die S. 597 stehende Tabelle zeigt, daß gewölbte Flächen noch tragende Eigenschaften besitzen, wenn

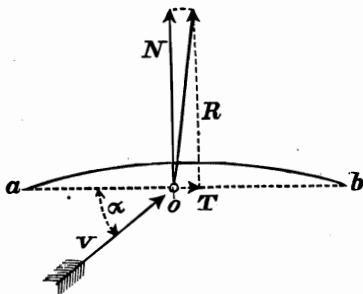


Fig. 1.

sie unter spitzen Luftstoßwinkeln von oben getroffen werden, also bei negativem  $\alpha$ .

Die hemmenden Luftwiderstandskomponenten  $T$  wandeln sich bei Luftstoßwinkeln über  $30^\circ$  in treibende Komponenten um, die bei  $15^\circ$  zirka  $\frac{1}{12}$  der Hebewirkung erreichen und erst über  $30^\circ$  wieder verschwinden.

Bei den am häufigsten vorkommenden Bewegungsrichtungen der Segelflächen gegen Luft werden Luftwiderstände geweckt, welche sowohl stark tragend wirken als auch die Vorwärtsbewegung fördern.

Ein unter  $3^\circ$  über die Horizontale aufsteigender Windstrom wirkt auf eine horizontal ausgebreitete gewölbte Segelfläche stark hebend, ohne die Fläche zurückzutreiben. (Hauptgrund für das Schweben der Vögel.)

Bei  $30^\circ$ ,  $32^\circ$  und  $90^\circ$  steht der Luftwiderstand normal zur Sehne des Flächenprofils.

Um wieviel besser die gewölbten Trageflächen zum Fluge sich eignen als ebene Flächen, ergibt sich aus den Figuren 2 und 3\*).

Die ebene und die gekrümmte Fläche in Fig. 2 und 3  $ab$  und  $cd$  sind gleich groß und werden

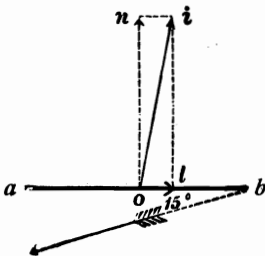


Fig. 2.

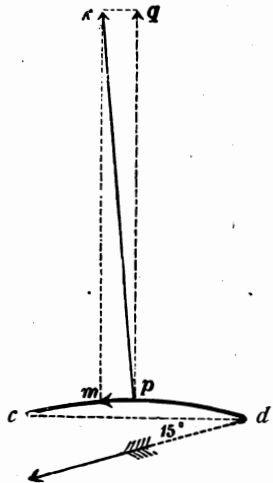


Fig. 3.

mit gleicher Geschwindigkeit unter dem Winkel von  $15^\circ$  gegen die Luft bewegt. Die ebene Fläche  $ab$  erfährt hierbei den Widerstand  $oi$  und die gewölbte Fläche  $cd$  den Widerstand  $pk$ .  $oi$  ist wenig hebeend und die Bewegung hemmend.  $pk$  ist stark hebeend und die Bewegung fördernd.

Dieselbe Geschwindigkeit unter gleichem Stoßwinkel verleiht also der gewölbten Fläche eine weit größere Tragekraft als der ebenen Fläche, und während zum Vorwärtstreiben der ebenen Fläche eine besondere Kraftleistung nötig ist, übt die gewölbte

\*) Fig. 28 und 29 aus Lilienthals „Vogelflug“.

Fläche in dem gegebenen Falle selbst noch eine Kraftleistung aus, welche anderweitig nutzbar gemacht werden kann.

Tabelle für  $\eta$  und  $\vartheta$  bei gegebenem  $\alpha$ .\*)

$\alpha$	$\eta$	$\vartheta$	$\alpha$	$\eta$	$\vartheta$
— 9°	0,000	+ 0,070	16°	0,909	— 0,075
— 8°	0,040	+ 0,067	17°	0,915	— 0,073
— 7°	0,080	+ 0,064	18°	0,919	— 0,070
— 6°	0,120	+ 0,060	19°	0,921	— 0,065
— 5°	0,160	+ 0,055	20°	0,922	— 0,059
— 4°	0,200	+ 0,049	21°	0,923	— 0,053
— 3°	0,242	+ 0,043	22°	0,924	— 0,047
— 2°	0,286	+ 0,037	23°	0,924	— 0,041
— 1°	0,332	+ 0,031	24°	0,923	— 0,036
0°	0,381	+ 0,024	25°	0,922	— 0,031
+ 1°	0,434	+ 0,016	26°	0,920	— 0,026
+ 2°	0,489	+ 0,008	27°	0,918	— 0,021
+ 3°	0,546	0,000	28°	0,915	— 0,016
+ 4°	0,600	— 0,007	29°	0,912	— 0,012
+ 5°	0,650	— 0,014	30°	0,910	— 0,008
+ 6°	0,696	— 0,021	32°	0,906	0,000
+ 7°	0,737	— 0,028	35°	0,896	+ 0,010
+ 8°	0,771	— 0,035	40°	0,890	+ 0,016
+ 9°	0,800	— 0,042	45°	0,888	+ 0,020
10°	0,825	— 0,050	50°	0,888	+ 0,023
11°	0,846	— 0,058	55°	0,890	+ 0,026
12°	0,864	— 0,064	60°	0,900	+ 0,028
13°	0,879	— 0,070	70°	0,930	+ 0,030
14°	0,891	— 0,074	80°	0,960	+ 0,015
15°	0,901	— 0,076	90°	1,000	0,000

Nach der Tabelle für  $\eta$  und  $\vartheta$  lassen sich alle Segelwirkungen mit gewölbten Flächen berechnen.

**Beispiel:**

Eine Segelfläche von 10 qm sei vorn etwas angehoben gegen den Horizont um 3° und bewege sich

\*) Diese Tabelle wurde entnommen aus den Diagrammen der Tafel VI von Lilienthals „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“.

in windstiller Luft unter dem Winkel von  $6^\circ$  schräg abwärts. Der Luftstoßwinkel  $\alpha$  beträgt dann  $9^\circ$ . Bei einer Geschwindigkeit von 10 m pro Sekunde entsteht der

Normaldruck  $N = 0,8 \cdot 0,13 \cdot 10 \cdot 10^3 = 104 \text{ kg}$  und der Tangentialdruck  $T = -0,042 \cdot 0,13 \cdot 10 \cdot 10^3 = -5,46 \text{ kg}$ .

$T$  wirkt hier nicht hemmend, sondern vorwärtstreibend, aber  $N$  ist um  $3^\circ$  nach rückwärts geneigt und wirkt aufhaltend mit der Komponente  $N \cdot \sin 3^\circ$  oder  $104 \cdot 0,052 = 5,4 \text{ kg}$ .

Da die treibende und hemmende Kraft sich aufheben, findet Gleichgewicht der Bewegung statt, und es folgt, daß eine 10 qm große, gewölbte Tragefläche in der genannten Stellung eine Last von 104 kg unter  $6^\circ$  Neigung mit 10 m Geschwindigkeit schräg abwärts tragen kann.

Wenn andere Widerstände bei dieser Bewegung noch auftreten, so sind dieselben besonders zu berücksichtigen.

### § 3. Anleitung zum praktischen Kunstfluge.

Beginn mit Segelflugübungen. Hierzu erforderliche Apparate erhalten 10—15 qm Tragfläche und sind bei Herstellung aus Weidenruten mit Schirtingbespannung etwa 20 kg schwer. Größte Breite der Flügel nicht über  $2\frac{1}{2}$  m, die Spannweite von Spitze zu Spitze nicht über 7—8 m, damit durch einfache Schwerpunktsverlegungen stabile Flüge erzielt werden können. Ein möglichst weit nach hinten liegendes festes Vertikalsteuer erleichtert die Einstellung gegen den Wind. Ein horizontales Steuer verhindert das Vornüberkippen des Apparates.

Die Pfeilhöhe der Flügelkrümmung ist aus Stabilitätsrücksichten unter  $\frac{1}{12}$ , am besten  $\frac{1}{12}$ — $\frac{1}{15}$  der Flügelbreite zu nehmen.

Die Befestigung des Apparates geschieht am besten durch Ergreifen mit den Händen und Einlegen der Unterarme zwischen Polster, so daß die Beine zum Laufen, Lenken und Landen frei bleiben.

Zu den Uebungen ist ein gegen den Wind geneigtes Terrain zu wählen. Am besten eignet sich ein nach allen Seiten unter ca.  $20^\circ$  abfallender kahler Hügel.

Man hält den Apparat zunächst vorn etwas geneigt, nimmt einen Anlauf gegen schwachen Wind und versucht bei horizontal gehaltenem Apparate zunächst kurze Luftsprünge. Beim Landen ist der Apparat vorn anzuheben, um die Geschwindigkeit zu mindern. Nach erlangter Sicherheit sind die Segel-



Fig. 4. Schwerpunktsverlegung durch Aenderung der Körperlage.

flüge allmählich weiter auszudehnen. Wird eine Seite des Apparates durch ungleichmäßigen Wind mehr angehoben, so ist der Schwerpunkt nach dieser Seite zu verlegen, um das Gleichgewicht wieder herzustellen. Die weitesten Segelflüge werden erzielt, wenn die Segelfläche mit der Vorderkante um ganz wenig (etwa  $20^\circ$ ) tiefer liegt als mit der Hinterkante. Die Segelgeschwindigkeit in ruhiger Luft beträgt dann etwa 10 m, und die Flugbahn senkt sich unter  $6-8^\circ$ .



Die Figuren 4 und 5 geben den Verlauf eines solchen Segelfluges und zeigen die Anordnung eines zusammenlegbaren Apparates.



Fig. 5. Versprengte Konstruktion zur Erzielung einer leichten Bauart.  
Photogr. von A. Krajewski in Berlin.

Sollen dynamisch bewegte Apparate zur Anwendung kommen, so ist mit denselben zunächst auch der Segelflug zu üben, und erst, nachdem das Landen ohne Unfall bewirkt werden kann, ist nach und nach die Bewegung der Apparate einzuleiten und durchzuführen.