

Vom Sprung zum Flug



STEPHAN NITSCH

Vom Sprung zum Flug

Der Flugtechniker Otto Lilienthal

Titelfoto:
Nachbau des Kleinen Schlagflügelapparates
vom Autor für das Otto-Lilienthal-Museum Anklam 1988

Der Autor ist dem Deutschen Museum München und dem Otto-Lilienthal-Museum Anklam zu besonderem Dank verpflichtet.

© Alle Rechte beim Autor.
Die Verwendung von Bildern, Grafiken, Textpassagen
ist nur mit Einverständnis des Autors zulässig.

Zeichnungen/Karten: Stephan Nitsch
Gestaltung/Satz: Stephan Nitsch

Computersatz der 1991 im Brandenburgisches Verlagshaus - Berlin
als Buch erschienen Fassung

SNitsch@t-online.de
www.jumpnfly.here.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 4

Theoretisch-experimentelle Arbeiten LILIENTHALs 4

Einleitung 4

Versuche mit Schlagbewegungen 5

Systematische Untersuchung von Flächen bei horizontalen Bewegungen 7

Versuche mit gewölbten Profilen 8

Aufwind und Segelflug 11

Schwingenflug 12

Die Vorstufe praktischer Flugversuche 13

Programm für praktische Flugübungen 14

Praktische Flugversuche 15

Modell Möwe 15

Südende-Apparat 23

Maihöhe-Rhinow-Apparat 26

Kleiner Schlagflügelapparat 32

Projekt Großer Eindecker 36

SEILERSs Apparat / Modell Stölln 37

Sturmflügelmodell 40

Normal-Segelapparat 42

Profile / Modelle / Experimente 52

Kleiner Doppeldecker 55

Großer Doppeldecker 57

Projekt Kippflügel-Schlagapparat 60

Großer Schlagflügelapparat 61

Gelenkflügelapparat 64

Verwendung und Weiterentwicklung von LILIENTHALs Konstruktionsprinzip durch andere 67

Wolfmüller 67

Pilcher 70

Ferber 72

Lamson, Suaraz und andere 72

Weißkopf und Vuia 73

Chanute, Herring und Wrights 73

Richter 75

Flugtechnische Vereine 75

Kurzbiographie Otto LILIENTHALs 77

Literaturquellen 79

Bildquellen 80

Übersicht der Flugzeugkonstruktionen und Flug-Experimentiergeräte Otto LILIENTHALs 82

Konstruktionsdetails 83

Vorwort

Als LILIENTHAL 1896 tödlich verunglückte, waren seine Versuche weltweit bekannt. Zeitungen und Zeitschriften hatten davon berichtet und besonders Fotos waren es, die seine Erfolge einem breiten Publikum glaubhaft vor Augen führten. Er selbst hat in Jahresberichten regelmäßig die Versuche ausgewertet.

Eine Zusammenfassung aller Versuchsergebnisse, wie sie LILIENTHAL nach seinen Grundlagenuntersuchungen im Buch „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“ anstellte, gibt es jedoch für die Flugversuche nicht. Die Vielzahl seiner Versuche und die verschiedenen Konstruktionen kannten nur Eingeweihte. Wichtige Experimente z.B. zur Steuerung wurden nicht veröffentlicht und blieben weitgehend unbekannt.

Erst im Jahre 1962 erschien in einer Schriftenreihe des Deutschen Museums, München eine Broschüre mit dem Titel „Otto Lilienthal und seine Flugzeugkonstruktionen“ von Gerhard HALLE, dem Schwiegersohn Gustav LILIENTHALs. In dieser grundlegenden Arbeit wurde der flugtechnische Nachlaß von Otto LILIENTHAL gesichtet, systematisiert und ausgewertet. Erstmals entstand damit eine Übersicht der verschiedenen Flugzeugkonstruktionen in nummerierter Reihenfolge. Auf die Klassifikation konnten viele Autoren bei späteren Veröffentlichungen zurückgreifen. Bei näherer Betrachtung der Thematik aus der Sicht des Flugzeugtechnikers zeigten sich in dieser Systematik jedoch verschiedene Irrtümer, Verwechslungen und Fehlinterpretationen.

Der Autor sah sich vor die Aufgabe gestellt, mehrere Flugzeuge LILIENTHALs für Ausstellungen und Filmaufnahmen nachzubauen. Das erforderte ein genaueres Einarbeiten in das erhalten gebliebene Material. In Zusammenarbeit mit Dr. WAßERMANN, Anklam, Werner SCHWIPPS, Köln und Karl-Dieter SEIFERT, Berlin wurden alle erreichbaren Fotos von LILIENTHALs Flugversuchen und der zeichnerische Nachlaß zusammengetragen. Diese Dokumente wurden geordnet, verglichen und ausgewertet. So entstand ein vielfach neues Bild von LILIENTHALs Flugzeugtechnik mit neuen, zum Teil erstaunlichen Erkenntnissen. Einige Details der Apparate wurden in Briefen und Veröffentlichungen von LILIENTHAL und von Augenzeugen beschrieben. Andere Erkenntnisse konnten an erhalten gebliebenen Originalapparaten in Moskau und München gewonnen werden. Besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Deutschen Museums, München, sowie W. SCHWIPPS und Dr. M. WAßERMANN, die den Autor durch Bereitstellung von Material wesentlich unterstützt haben.

Theoretisch-experimentelle Arbeiten LILIENTHALs

Einleitung

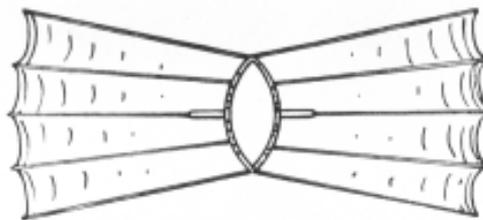
Was wußte LILIENTHAL von seinen flugtechnischen Vorläufern, was hat er von ihnen gelernt? Diese Fragen werden oft gestellt und regelmäßig folgt die Auflistung: Leonardo DA VINCI, CAYLEY, DEGEN und das Abwägen welche Arbeiten er von ihnen kannte, welche nicht. Die Arbeitsweise LILIENTHALs zeigt jedoch, daß er alle Probleme von ihren Grundlagen her anging. Wirklich zuverlässig waren für ihn nur die Ergebnisse seiner eigenen nüchternen, logischen Berechnungen, seiner Experimente und seiner Naturbeobachtungen. Der Flug der Vögel, ihr anstrengungsloses Segeln regte ihn stets aufs Neue an.

„Wenn wir jene prächtigen Vorbilder im Fliegen nicht hätten große, schwere Vögel, die ohne Flügelschlag vom Winde sich tragen lassen -, so dürften die Zweifler Recht behalten, weil uns einfach der Mut fehlen würde, dem Problem mit der nötigen Ausdauer zu Leibe zu gehen. So aber, wo das greifbare Resultat sich nicht weglegen läßt, daß es einen Flug gibt, welcher keiner Anstrengung bedarf, bei dem nur die Flügelform und Flügelstellung richtig zu sein brauchen, um in der Luft zu schweben, zu kreisen und zu segeln, in beliebigen Höhen und nach beliebigen Richtungen, da wird unsere Zuversicht, selbst nach vielen vergeblichen Versuchen von neuem genährt /1/.“

Versuche mit Schlagbewegungen

Die Begeisterung für das Fliegen ließ Otto LILIENTHAL schon in der Kindheit zum Experimentator werden. Bereits als 14jähriger beschäftigte er sich eigenständig mit flugtechnischen Experimenten.

Die wichtigste Informationsquelle zu diesen Versuchen sind die Aussagen des beteiligten Bruders Gustav. Mit 50 Jahren Zeitabstand beschrieb er ein einfaches Flügelpaar (Bild 1), gebaut nach ersten Vogelbeobachtungen und mit erheblichen materiellen Opfern. Die nächtlich durchgeführten Lauf- und Sprungversuche von einem kleinen Abhang waren erfolglos.



1
So soll das erste Flügelpaar von
1862 ausgesehen haben

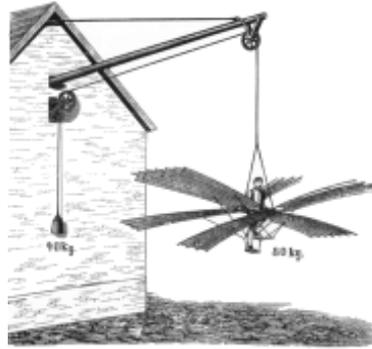
1867/68 folgen weitere gemeinsame Versuche zur Größe des Luftwiderstandes bei Flügelschlagbewegungen. Die dazu verwendeten Geräte waren keine eigentlichen Flugzeuge, sondern Experimentierapparate mit muskelkraftbetriebenen Schlagflächen. Über das erste, 1867 gebaute Gerät ist nur wenig bekannt. Es war „ein Flügelsystem mit zwei Flügeln..., das durch gleichzeitiges Ausstoßen beider Füße herabgeschlagen und durch das Anziehen der Füße sowohl, wie mit den Händen wieder gehoben wurde.“/2/

Gustav LILIENTHAL ergänzte später: „Polisanderholzleisten ... bildeten gleichsam die Federkielen zweier Flügel von 3 m Länge. Die Fahnen zu diesen Federkielen stellten wir durch aneinandergereihte große Gänseschwungfedern her, die auf Zeugstreifen genäht wurden.... Die Flügel waren an zwei Bügeln befestigt, von denen der eine um die Brust, der andere um die Hüften geschnallt wurde. Ein Winkelhebel und steigbügelartige Seilzüge gestatteten durch Ausstoßen der Beine die Flügel auf- und niederzuschlagen. Die Federfahnen konnten sich ventilartig öffnen und schließen beim Auf- und Niederschlag.“/3/ Die Ergebnisse blieben unbefriedigend, da die Beinkraft beim gleichzeitigen Ausstoßen nicht optimal genutzt wurde und weil der Zeitabstand zum nächsten Schlag zu groß war.

Schon ein Jahr später wurde ein erheblich komplizierterer Apparat (Bild 2) gebaut und erprobt: „Wir hatten uns einen Apparat hergestellt, welcher aus einem doppelten Flügelsystem

2

Zweites Flügelschlag-Experimentiergerät
von 1868

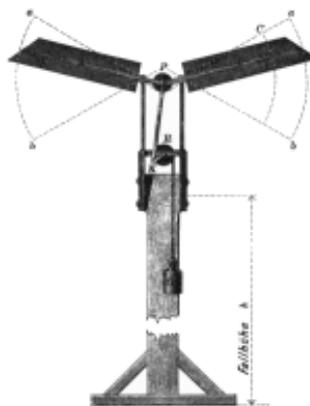


bestand. Ein mittleres, breiteres Flügelpaar, sowie ein schmaleres vorderes und hinteres Flügelpaar waren um eine horizontale Achse drehbar und standen so in Verbindung, daß jeder Flügel einer Seite sich hob, wenn der zugehörige der anderen Seite sich senkte, und umgekehrt. Da die beiden schmalen Flügel zusammen so breit waren, wie der mittlere breitere, so entstand auf jeder Seite gleichzeitig die gleiche Tragfläche. Beim Heben der Flügel öffneten sich Ventile, welche die Luft hindurch ließen. Durch abwechselndes Ausstoßen der Füße ging immer die Hälfte der Flugfläche abwärts, während die andere Hälfte mit wenig Widerstand sich hob... Der Apparat war an einem Seil, das über Rollen hing, aufgehängt und war durch ein Gegengewicht im Gleichgewicht gehalten.... Durch geringe Übung gelang es uns, auf diese Weise unser halbes Gesamtgewicht zu heben... Die Größe der Flügel jedes Systems, das heißt, die jederzeit tragende Fläche betrug 8 qm... Was die Ausführung des Apparates anlangt, so waren die Flügelrippen aus Weidenruten, die übrigen Gestellteile aus Pappelholz gemacht. Die Ventilklappen waren aus Tüll gefertigt, durch den kleine Querrippen aus 2-3 mm starken Weidenruten in Entfernungen von circa 60 mm hindurchgesteckt waren, um die nötige Festigkeit zu geben. Darauf war jede Ventilklappe ganz mit Kollodiumlösung bestrichen, welche in allen Tüllmaschen Blasen bildete, die dann zu einem dichten Häutchen erstarrten.“/4/

Das Ergebnis war ein 5mal so großer Luftwiderstand, wie bei einer gleichmäßigen Bewegung der Flächen in ruhender Luft. Damit wurde experimentell der Vorteil einer periodischen Schlagbewegung bestätigt.

3

Versuchsvorrichtung für die Messung
des Luftwiderstandes bei
Schlagbewegungen



Die Versuche mit Schlagbewegungen auf der Stelle wurden später an Versuchsvorrichtungen entsprechend Bild 3 fortgesetzt. Sie ergaben einen 9mal höheren Luftwiderstand. Aus den abgeleiteten Formeln wurde für den realen Vogelflügel sogar ein 20mal so großer Luftwider-

stand berechnet. Das bedeutet, der Flügelschlag der Vögel ist eine sehr ökonomische Bewegungsform, da durch den vergrößerten Widerstand der bewegten Fläche die zum Fliegen erforderliche Arbeit verringert wird.

Von der Fortsetzung der Versuche mit Schlagbewegungen und gleichzeitigem Vorwärtsfliegen erhofften sich die Brüder Erkenntnisse über weitere Krafteinsparungen. 1871-73 wurde dazu „eine ganze Reihe von Vorrichtungen“ gebaut. Das waren frei fliegende Modelle mit Federkraft- oder Dampfkraftantrieb - kleine mechanische Meisterwerke. Ein storchenähnliches Modell mit fast 2 m Spannweite und 2,5 kg Gewicht (mit Antrieb) ist besonders hervorzuheben. Es wurde durch eine winzige Dampfmaschine mit 0,18 KW (0,25 PS) angetrieben, die LILIENTHAL konstruiert und gebaut hatte. Eine spezielle technische Lösung, der Schlangrohrkessel bildete später die Grundlage für den wirtschaftlichen Erfolg seiner Maschinenbau-firma.

So zeit- und arbeitsintensiv diese Versuche auch gewesen sein mögen, sie brachten nur das Ergebnis, daß sich beim Vorwärtsfliegen keine zusätzliche Verminderung der Flugarbeit ergibt.

Systematische Untersuchung von Flächen bei horizontalen Bewegungen

Die Mißerfolge der Versuche mit Schlagbewegungen führten insgesamt zu der Erkenntnis, daß die Vorgänge am Vogelflügel so komplex sind, daß sie nur durch systematisches Erforschen von Teilproblemen aufgedeckt werden können. Otto LILIENTHAL war dazu in besonderer Weise geeignet. Seine herausragenden Begabungen in Mechanik und Mathematik ermöglichten ihm ein analytisches Herangehen mit maximalem Erkenntnisgewinn.

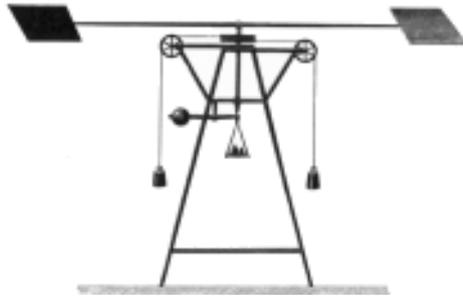
Ab 1873 wurden in verstärktem Maße Untersuchungen, zunächst an ebenen, später an gewölbten Flächen durchgeführt. Der qualitative Unterschied zu den vorangegangenen Versuchen bestand im Übergang zur horizontalen Bewegung ohne vertikale Flügelschläge. Ziel war es, die Widerstandsgesetze bei der Bewegung dieser Flächen in der Luft unter verschiedenen Winkeln aufzudecken.

Die Herangehensweise LILIENTHALs war von bestechender Systematik. Zunächst wurden, ausgehend von einfachsten Zusammenhängen, Formeln erstellt, mit denen die Kräfte berechnet werden konnten. Die Ergebnisse wurden im Experiment überprüft. Dort, wo kein Rechenansatz möglich war, wurden Versuche gemacht. Diese Vorgehensweise unterscheidet LILIENTHAL wesentlich von den anderen Flugforschern seiner Zeit. Die einen, oft hochgebildete Gelehrte verloren sich in einem Formelwerk, die anderen, meist „Gefühlsmechaniker“, bauten ohne jede theoretische Grundlage Flugzeugungetüme, die niemals fliegen konnten.

Für seine Versuche verwendete LILIENTHAL Rundlaufgeräte (Bild 4), deren Hebelarme durch Fallgewichte in Umdrehung gebracht wurden. „Diese Experimente begannen im Jahre 1866 und wurden mit mehreren größeren Unterbrechungen bis zum Jahre 1889 fortgesetzt. Zur Beurteilung ihrer Anwendbarkeit sei erwähnt, daß mehrere Apparate... in verschiedenen Größen zur Anwendung gelangten. Der Durchmesser der Kreisbahnen, welche die Versuchsflächen zurückzulegen hatten, schwankte zwischen 2 m und 7 m. Die verwendeten Flächen,

4

Rundlaufgerät zur Messung des Luftwiderstandes von Flächen bei verschiedenen Anstellwinkeln



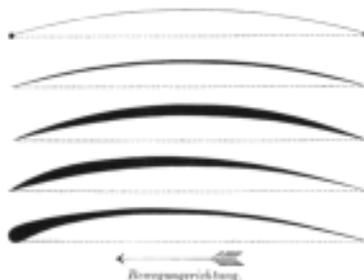
von denen immer 2 gegenüberstehende gleichartige zur Anwendung gebracht wurden, hatten 0,1-0,5 qm Inhalt. Sie waren hergestellt aus leichten Holzrahmen mit Papier bespannt, aus dünner fester Pappe, sogenanntem Preßspan, aus massivem Holz oder aus Messingblech. Der größte Querschnitt betrug $1/50$ - $1/80$ der Fläche. Die Kanten wurden stumpf abgerundet und scharf zugespitzt hergestellt, was jedoch bei der geringen Dicke der Versuchskörper wenig Einfluß ausübte. Die zur Anwendung kommenden Geschwindigkeiten betragen 1 bis 12 m pro Sekunde.“/5/

Die Versuche mit ebenen Flächen brachten nicht die erhoffte große Arbeitersparnis beim Vorwärtsfliegen; „...so bleibt eben nur übrig, zu versuchen, ob denn das Heil in der Anwendung nicht ebener Flügel sich finden läßt.“/6/

Versuche mit gewölbten Profilen

LILIENTHAL war sehr skeptisch als er in den Sommerferien 1873 in einer großen Berliner Turnhalle zusammen mit seinem Bruder Versuche an gewölbten Flächen begann. Er schreibt: „Hier scheinen die theoretischen Vorausbestimmungen uns nun vollends im Stich zu lassen, ausgenommen, daß wir nach derjenigen Theorie handeln, welche uns immer wieder auf die Natur als unseren Lehrmeister verweist und die genaue Nachbildung des Vogelflügels empfiehlt... Die Wölbung, welche die Vogelflügel besitzen, scheint aber doch fast zu gering zu sein, um solche hervorragenden Unterschiede in der Wirkung zu erzeugen.“/7/

Bei ersten tastenden Versuchen wurde zunächst die günstigste Wölbungsform gesucht. Sehr schnell zeigten sich die Vorteile schwach gewölbter Flächen. Sie haben mehr hebende und weniger hemmende Wirkung als ebene Flächen, besonders bei geringen Anstellwinkeln. In der Folge wurden Flächen mit unterschiedlichen Wölbungsgraden mit Verdickungen verschiedener Anordnung untersucht (Bild 5). Das Ergebnis war erstaunlich. Die Verdickungen, auch wenn sie an der Vorderkante lagen, hatten keinen negativen Einfluß. Deutlich war dagegen der Einfluß des Wölbungsgrades. Es wurden Profile mit $1/12$; $1/25$; $1/40$ der Länge als Wölbungshöhe im Rundlauf untersucht. Jedes Profil wurde dazu bei 12 verschiedenen Anstellwinkeln mehrfach ausgemessen.

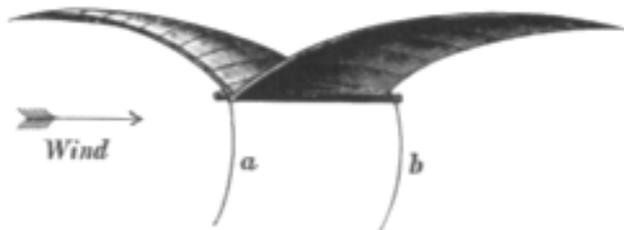


5

Von LILIENTHAL untersuchte Profile mit verschieden angeordneten Verdickungen

LILIENTHAL kam bei diesen Versuchen zu dem Ergebnis, daß parabelförmig mit $1/12$ der Breite gewölbte Profile die beste Hebewirkung zeigen. Bei den Rundlaufuntersuchungen trat aber viel störender Einfluß durch die Verwirbelung der Luft auf. Daher unternahm er zusammen mit seinem Bruder Untersuchungen im freien Wind, die noch günstiger ausfielen. LILIENTHAL fühlte bei diesen Versuchen die wirkenden Auftriebskräfte in eindrucksvoller Weise. Beim Transport der $0,5 \text{ m}^2$ großen Flächen „schwimmt die Versuchsfläche förmlich auf dem Winde“/8/ wenn er die flache Hand darauflegte.

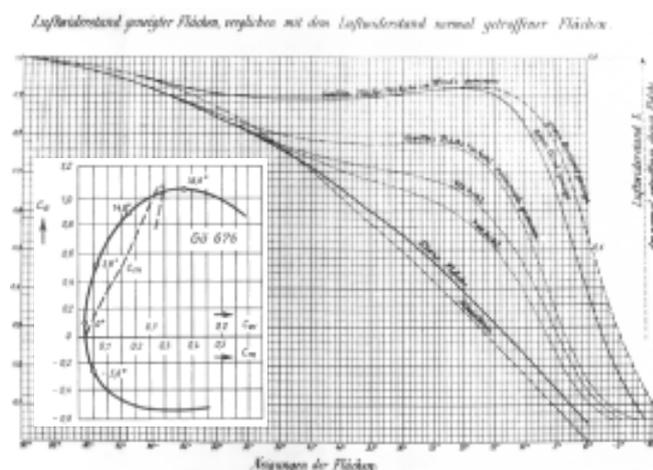
Nach erfolgreichen Versuchen wurden 1874 mehrere Drachen mit profilierten Flächen gebaut und erprobt. Ein Exemplar (Bild 6) flog besonders gut. „Brachte man ... den Apparat in horizontale Lage, so schwebte derselbe ohne zu sinken vorwärts gegen den Wind.“/9/ Einmal gelang sogar ein längerer ungefesselter Flug.



6
Profiliertes Drachen aus dem Jahre 1874

Diese Versuche fanden in den Jahren bis 1874 und zwischen 1886-89 statt.

Eine besondere Leistung LILIENTHALs war die Veranschaulichung der Meßwerte. In Diagrammen (Bild 7) wurden die Kräfte und ihre Wirkungsrichtungen bei den unterschiedlichen Anstellwinkeln übersichtlich dargestellt. Derartige Diagramme wurden später als Polaren bezeichnet. Sie werden auch heute noch, allerdings mit anderen Bezugsgrößen, zur Kennzeichnung von Profilen verwendet.



7
Polaren: rechts von LILIENTHAL; links heutige Form

Ausgehend vom Luftwiderstand einer senkrecht angeströmten Platte, bezeichnete LILIENTHAL alle Luftkräfte als 'Widerstand'. Heute wird diese Bezeichnung nur für hemmende Kräfte verwendet. Mit der Kennzeichnung und Vermessung der Kräfte an Profilen hat LILIENTHAL die entscheidenden Grundlagen für die moderne Aerodynamik gelegt. Vor allem hat er als erster die alles entscheidende Frage 'warum fliegt der Vogel?' richtig beantwortet. Auch heute noch herrscht vielfach Unkenntnis über die Vorgänge am Tragflügel. Daher sollen in einer Gegenüberstellung von LILIENTHALs Erkenntnissen und unserer heutigen Ausle-

gung die wichtigsten Grundlagen kurz dargelegt werden. Trifft eine Luftströmung auf eine Platte, so entsteht ein Widerstand, der bei 90 Grad Anstellung am größten ist. Bei kleineren Winkeln hat er eine horizontale und eine vertikale Komponente. Ist die Platte leicht nach oben gewölbt, so ist die vertikale Komponente wesentlich größer und die horizontale kleiner als bei einer ebenen Platte. LILIENTHAL stellte außerdem fest, daß die Resultierende nicht immer senkrecht zur Fläche steht, also auf der Normalen liegt, sondern bei gewölbten Platten etwas nach vorn geneigt ist (Bild 8).

8

Kräfte am Profil:

links nach LILIENTHAL

pk Luftwiderstand/Resultierende

pf horizontale Luftwiderstands-

komponente

ph vertikale Komponente

pm treibende Komponente

mk hebende Komponente

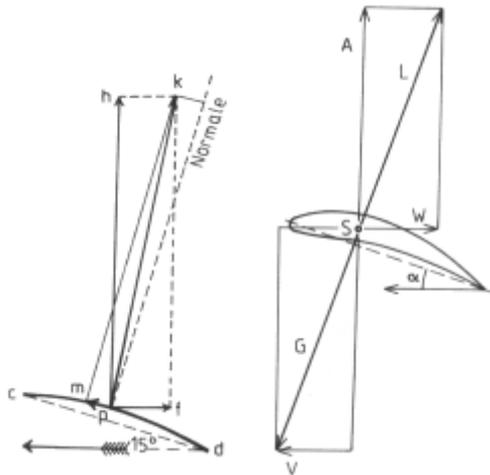
rechts heutige Darstellung

A-Auftrieb; W-Widerstand;

L-Luftkraft; G-Gewichtskraft;

V-Vortriebskraft; S-Schwerpunkt;

a-Anstellwinkel



Die heutigen Profile sind meist beidseitige Strömungskörper, bei denen als Kraftangriffspunkt der Schwerpunkt S angenommen wird. Die vertikale Komponente wird als Auftriebskraft A bezeichnet. Die horizontale Komponente ist die Widerstandskraft W und die Resultierende wird als Luftkraft L bezeichnet. Ihr entgegen wirkt die Gewichtskraft G, deren Komponente in Anströmungsrichtung die Vortriebskraft V ist.

Das eigentliche Geheimnis des Fluges ist jedoch die Entstehung des großen Auftriebs an gewölbten Profilen. LILIENTHAL sah als Ursache die reine, unverwirbelte Umströmung des Profils, wodurch eine Wellenbewegung der Luft eingeleitet wird, deren Folge eine Hebewirkung ist (Bild 9). Heute wird gesagt, daß nach dem Gesetz von BERNOULLI über dem Profil durch

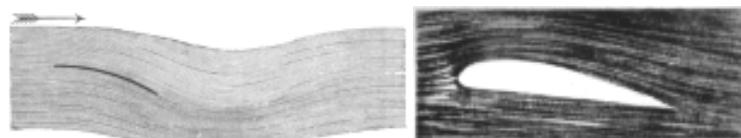
9

Umströmung des

Profils: links nach

LILIENTHAL; rechts

heutige Darstellung



die vergrößerte Strömungsgeschwindigkeit ein Unterdruck entsteht und von unten ein Überdruck. Das Profil wird also nach oben gesaugt und gedrückt, außerdem spielen Zirkulationen um das Profil eine Rolle. Lilienthals Auffassungen von der Druckverteilung entsprach im wesentlichen bereits der heutigen.

Aufwind und Segelflug

Bei den Untersuchungen der Profile im Wind stieß LILIENTHAL auf eine Erscheinung, die später zum Gegenstand vieler Diskussionen wurde - die vertikale Komponente des Windes. Er vermutete, daß der Wind auch in der Ebene ständig eine, wenn auch schwache Aufwärtskomponente besitzt. Als Beitrag für die Erklärung des dauerhaften Segelfluges konnte eine solche Windkomponente von großer Bedeutung sein.

Zur genaueren Untersuchung wurde von LILIENTHAL ein 10 m hoher Mast mit 5 horizontalen Windfahnen gebaut. Die Untersuchungen zeigten, daß auch die vertikale Windrichtung stark schwankt, wobei der aufwärts gerichtete Anteil deutlich überwog. Der Mittelwert lag über +4 Grad. Heute meint man, LILIENTHAL habe sich geirrt. Doch auch andere Forscher der damaligen Zeit kommen zu ähnlichen Ergebnissen. ANGOT und DEBORT in Frankreich, SHAW in Neuseeland und DECHEVREUS auf der Insel Jersey machten derartige Messungen. DEBORT versucht bereits, diese Erscheinung mit der Erwärmung der Luft an der Erdoberfläche zu erklären /10/. Auch Darstellungen in einschlägigen Lehrbüchern zeigen, daß LILIENTHALs Auffassung von der vertikalen Komponente des Windes allgemein verbreitet war. Möglicherweise spielen bei dieser Erscheinung Aufwindeffekte durch Bodenreibung eine Rolle. Wahrscheinlich ist aber die vertikale Windkomponente auf Thermik-Einflüsse zurückzuführen, denn es wird berichtet, daß nachts keine solche Komponente zu messen war.

Zum Ende des 19ten Jahrhunderts wußte man kaum etwas von thermischen Aufwinden und zog sie daher auch nicht als Energiequelle für den Segelflug der Vögel in Betracht. Auch LILIENTHALs Artikel „Der Flug der Vögel und des Menschen durch die Sonnenwärme“ /11/ bezog sich nicht auf die Ausnutzung thermischer Aufwinde. Er sah den Einfluß der Sonnenwärme mehr global, als Ursache für die Entstehung von Hoch und Tiefdruckgebieten mit ausgleichenden Windströmungen, die zum Fliegen genutzt werden können. Obwohl Ballonfahrer schon früh auf starke lokale Aufwinde hingewiesen hatten, wurden sie für den Segelflug erst in den 20iger Jahren dieses Jahrhunderts entdeckt. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang der Vortrag des Gymnasiallehrers GERLACH, gehalten am 12.11. 1886 im Verein zur Förderung der Luftschiffahrt und abgedruckt in der Zeitschrift des Vereins /12/. Die Beobachtung von mit starkem Höhengewinn kreisenden Bussarden brachte ihn zu folgenden Überlegungen: „Starke Erhitzung des Bodens durch die Sonnenstrahlen erwärmt auch die darüber lagernde Luft, verdünnt und hebt sie. Wenn dann Bodenstriche, welche der Erwärmung durch die Sonnenstrahlen in sehr verschiedenem Maße ausgesetzt sind aneinander grenzen, wie z.B. sandiger Heideboden und die Wasserfläche eines Sees u.s.w., so dürften wohl lebhaft örtlich aufsteigende Luftbewegungen entstehen, daß sie das Schweben ohne Flügelschlag gestatten.“ Eine bessere Erklärung für die Entstehung thermischer Aufwinde ist wohl kaum möglich. LILIENTHAL, der seit dem 13. März 1886 Mitglied des Vereins war, hat diesen Artikel mit Sicherheit gekannt, wahrscheinlich aber die Bedeutung dieser Erscheinung für den Flug der Vögel und des Menschen unterschätzt.

GERLACH ging auch auf den Hangaufwind ein: „Jeder Wind, der auf ein Hindernis stößt, sei es hochstämmiger Wald, sei es eine Dünenreihe, sei es endlich eine Bergkette, muß nach oben hin ausweichen, um über das Hindernis hinweg zu fließen. Überhaupt wird jede Stauung eines sonst horizontalen Stromes ein Aufquellen desselben veranlassen.“ Er schließt daraus: „In allen diesen Fällen gewinnt die Bewegung eine Vertikalkomponente nach oben, die bei genü-

gender Größe den Segelflug unterhalten kann... Ein Hin- und Her schweben ist aus dem Grund angezeigt, weil bei gradlinigem Flug eine örtlich eng begrenzte Strömung bald durchquert sein würde.“

Der Hangaufwind wurde von LILIENTHAL bei seinen späteren Flugversuchen intensiv genutzt.

Die ausgezeichneten Ausführungen GERLACHs, der auch den dynamischen Segelflug beschrieb, hatten aber im Übrigen keinen Einfluß auf die Luftfahrtentwicklung. Er selbst schränkte die Bedeutung der thermischen Aufwinde bereits wenige Sätze weiter unten wieder ein.

Bei der Diskussion um den Segelflug der Vögel, stand besonders eine Frage im Mittelpunkt, die auch heute noch vielfach unklar ist: Ist ein dauerhafter Segelflug ohne vertikale Windkomponenten, also ohne Hang- oder thermischen Aufwind möglich?

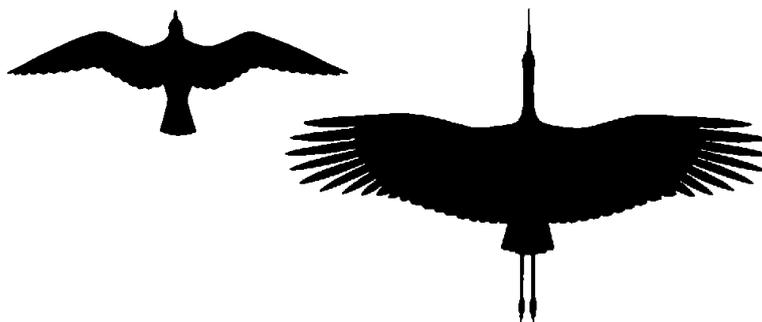
LILIENTHAL war sich über diesen Punkt nicht ganz schlüssig. Er war der Meinung, daß es immer Aufwärtskomponenten gibt und sah daher bei Windgeschwindigkeiten über 10 m/s diese Möglichkeit. Die oben stehende Frage kann nur so beantwortet werden: Die an aerodynamischen Profilen entstehenden Auftriebskräfte können bei rein horizontalen Strömungen die Gewichtskraft nicht kompensieren - ein dauerhafter Segelflug ist unter diesen Bedingungen nicht möglich.

Heute ist allgemein bekannt, daß die Vögel für den dauerhaften Segelflug ohne Flügelschlag auch kleinste Aufwindgebiete geschickt ausnutzen. Durch ihre variable Flügel- und Profilgeometrie sind sie dazu in der Lage. Das hatte auch LILIENTHAL bereits erkannt. Er mußte sich jedoch gegen eine Flut von unwissenschaftlichen bzw. wissenschaftlich eingefärbten Segelflugtheorien durchsetzen. Durch sein unerschütterliches Wissen, seine gute Erklärungs-gabe und seinen feinen Witz gelang ihm das bei öffentlichen Diskussionen in unnachahmlicher Weise.

Schwingenflug

Bei seinen Versuchen ließ sich LILIENTHAL stets vom Vorbild der größeren Vögel leiten. Dazu untersuchte er auch den anatomischen Aufbau des Vogelflügels und einzelner Schwungfedern.

Im Gegensatz zur Schlagbewegung auf der Stelle, läßt sich die Wirkung von schlagenden Flächen in der Bewegung, also der Schwingenflug kaum durch einfache Experimente untersuchen. Daher betrachtete Lilienthal den Mechanismus des Flügelschlages bei den Vögeln. Typische See- und Landvögel wurden dahingehend von ihm verglichen (Bild 10). Möwen haben lange schlanke Flügel, die vornehmlich an den Spitzen bewegt werden, während der Innenteil tragende Funktion hat. Beim Auf- und Niederschlag dreht sich die Flügelspitze, an den bewegten Flügelteilen entsteht so kaum Widerstand. Greif- und Sumpfvögel haben mehr



10
*Flügelformen von
Storch und Möwe
nach LILIENTHAL*

gedrungene Flügel, die außen in einzelne Schwungfedern auslaufen und sich beim Schlagen einzeln drehen.

Von LILIENTHAL wurde auch der heute als induzierter Widerstand bekannte hemmende Einfluß breiter Flächenränder erkannt. Er interpretierte die günstige Wirkung spitz auslaufender bzw. aufgefiederter Vogelflügel in dieser Hinsicht. Die besondere Liebe LILIENTHALS galt den Störchen. Sie waren seine direkten Vorbilder. Er beobachtete genau ihre Flugbewegungen. In seinem Garten hielt er mehrere Jungtiere, denen er beim Fliegenlernen zuschaute. Noch heute werden LILIENTHALS Erkenntnisse zum Vogelflug in einschlägigen Ornithologiefachbüchern zitiert.

Es war nur natürlich, daß in seinem Entwicklungskonzept für den Menschenflug der Flügelschlagantrieb im Vordergrund stand: „Die Natur entfaltet gerade in diesen Bewegungsformen des Vogelflügels eine Harmonie der Kräftewirkungen, welche uns so mit Bewunderung erfüllen muß, daß es uns nur nutzlos erscheinen kann, wenn auf anderen Wegen versucht wird zu erreichen, was die Natur auf ihrem Wege so schön und einfach erzielt.“/13/

Die Vorstufe praktischer Flugversuche

Nach 1874 mußte LILIENTHAL trotz der ermutigenden Ergebnisse seine flugtechnischen Arbeiten zeitweise unterbrechen. Die beruflichen Aufgaben, zunächst als Ingenieur in einer Maschinenbaufirma, dann als selbständiger Kleinunternehmer nahmen ihn voll in Anspruch. Erst Ende der achziger Jahre war er durch seine Maschinenfabrik wirtschaftlich weitgehend unabhängig.

1886 wurde LILIENTHAL Mitglied im Berliner Verein zur Förderung der Luftschiffahrt. Zunächst war er nur passiver Beobachter, denn der 1882 gegründete Verein widmete sich in den ersten Jahren vor allem der Lenkbarmachung des Ballons. Als den Franzosen RENARD und KREBS 1884 die Rückkehr an den Startplatz mit einem Luftschiff mit Elektroantrieb (!) gelang, wurde diese Aufgabe als gelöst betrachtet. Die Aufmerksamkeit wandte sich in den Folgejahren zunehmend der dynamischen Luftschiffahrt zu. (So wurde das Fliegen mit Apparaten schwerer als Luft damals genannt.) Damit wurde die Arbeit des Vereins auch für LILIENTHAL interessant. Zusammen mit dem Bruder nahm er 1888 seine Grundlagenversuche wieder auf. Die erneute Untersuchung gewölbter Flächen an Rundlaufgeräten und an Versuchsvorrichtungen im freien Wind bestätigten und verfeinerten die Ergebnisse der früheren Messungen.

Vorträge über diese Arbeiten verschafften LILIENTHAL hohe Anerkennung im Verein. Besonders gewürdigt wurden die praktischen Versuche, denn vergleichbaren Arbeiten anderer Vereinsmitglieder und Flugforscher fehlte in den allermeisten Fällen diese experimentelle Bestätigung. Man bedrängte ihn, die Ergebnisse in zusammengefaßter Form zu veröffentlichen. 1889 erschien LILIENTHALS Buch „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“. Das Interesse der Allgemeinheit an flugtechnischen Schriften war damals recht gering, denn es gab eine Fülle von halb- und unwissenschaftlichen Veröffentlichungen zu diesem Thema. So fiel es LILIENTHAL schwer, einen Verleger zu finden, der Druck erfolgte schließlich auf eigene Kosten und es wurden nur wenige Exemplare verkauft. Das schmälert den Wert dieses Werkes keinesfalls. Seine Bedeutung ist kaum zu überschätzen. Erstmals wurden die Vorteile gewölbter Flächen dargelegt und wissenschaftlich begründet. Klar und übersichtlich werden

die Versuche und ihre Ergebnisse beschrieben. Theorie und bestätigende Experimente konnten von jedem leicht nachvollzogen werden. LILIENTHAL hoffte, auf diese Weise auch andere Flugforscher zu ähnlichen Experimenten anzuregen.

In Fachkreisen und im Verein fand das Buch sehr bald die ihm gebührende Anerkennung. Mit der Entwicklung des Motorfluges nach 1900 wurde es zum Standardwerk und in mehrere Sprachen übersetzt.

Programm für praktische Flugübungen

Mit dem Buch schloß LILIENTHAL seine grundlegenden flugtechnischen Untersuchungen ab. Im letzten Kapitel entwickelte er ein Konzept für die Umsetzung der Erkenntnisse zur Entwicklung des Menschenfluges. Kernpunkt waren 30 Gesichtspunkte, die Grundlage für die Entwicklung entsprechender Flugapparate sein sollten: Die ersten 4 Punkte behandeln die Kraftfrage. Im Gegensatz zu seinen Zeitgenossen unterschätzte LILIENTHAL die zum Dauerflug erforderlichen Antriebskräfte etwas. Er setzte mehr auf den antriebslosen Segelflug mit Unterstützung des Windes, der beim Nachlassen des Windes durch Flügelschläge aufrechterhalten werden sollte.

8 Punkte gelten der Ausführung mantragender Apparate hinsichtlich Flügelform, -größe und -gewicht, sowie dem Aufbau. Mit den Profilen beschäftigen sich 7 Punkte. LILIENTHAL betrachtete die Erkenntnisse zur Auftriebswirkung gewölbter Flächen als wichtigstes Ergebnis seiner Versuche.

Die restlichen 11 Punkte sind dem Flügelschlag gewidmet. Mit diesem hoffte LILIENTHAL den Dauerflug zu erreichen.

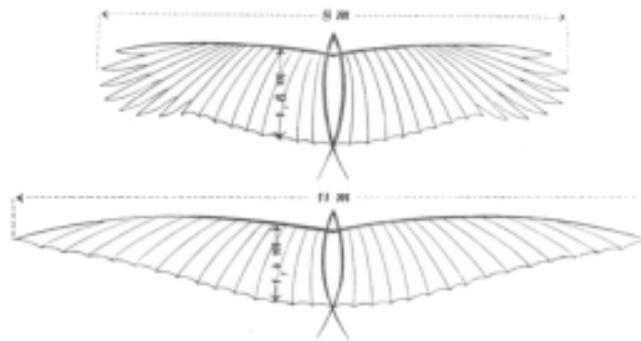
Dem Buch folgte die Erarbeitung eines detaillierten Programms für praktische Flugversuche, das auch publiziert wurde. Der Artikel „Über Theorie und Praxis des freien Fluges“ im Juli/August-Heft der Zeitschrift für Luftschiffahrt 1891 legt das Programm besonders anschaulich dar: Der Aufdeckung flugtechnischer Grundlagen, als erstem Teil müsse der Bau und die Erprobung von Flugapparaten folgen. Dieser zweite Teil solle in kleinen Schritten ablaufen. Ein Start aus der Ebene oder das Erhalten des Flugniveaus seien am Anfang nicht zu erreichen. Anfänglichen Stehübungen und Laufversuchen mit einfachen Gleitapparaten könnten Versuche zum ‘Durchfliegen der Luft in schwach geneigter Bahn’ folgen. Zunächst sollten diese Versuche mit unbeweglichen Flächen beginnen. Später wären Apparate zu entwickeln, die zur Verlängerung der Flüge Flügelschläge mit Muskelkraft zulassen. Die Schwierigkeiten bei der Konstruktion der Apparate und beim Erlernen des Fliegens stellte LILIENTHAL so dar: „... der brauchbare Flugapparat kann sich nicht von verhältnismäßig primitiven und rohen Anfängen zur höchsten Vollkommenheit entwickeln, er bildet vielmehr unter allen Umständen das vollkommenste Glied einer Kette...“/14/ „Auf drei Dinge kommt es mithin an: Das erste Freiwerden von der Erde, die Aufrechterhaltung der Stabilität in der Luft während des Fluges und das gefahrlose Landen. Alles dies läßt sich nur durch viel Übung, zähe Ausdauer und durch allmähliches Vorschreiten erlernen. Eine eigenartige Aufgabe, wenn man bedenkt, daß man das Fliegen nur lernen kann wenn man es übt, daß man aber das Fliegen ohne den Hals zu brechen nur lernen kann, wenn man es schon versteht.“/15/

Der planmäßige Übergang zu praktischen Versuchen, beginnend mit einfachsten Schritten und ausgerüstet mit dem richtigen Grundwissen, ermöglichte es LILIENTHAL, den Menschenflug zu verwirklichen.

Praktische Flugversuche

Modell Möwe

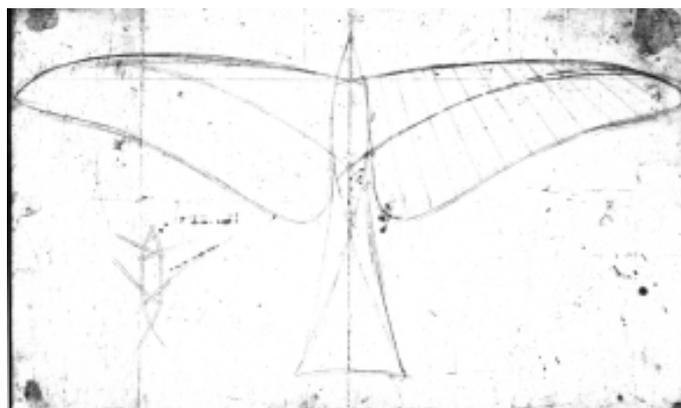
LILIENTHALs erste Versuche mit manntragenden Flügeln begannen mit Stehversuchen im freien Wind. Das war der erste Schritt zur Verwirklichung seines Programms. Als Zeitpunkt für diese ersten Stehversuche kann man das Jahr 1889 annehmen, d.h. LILIENTHAL zögerte nicht lange mit der Umsetzung seiner Erkenntnisse in die Praxis. Bereits in seinem Buch waren erste Andeutungen zu praktischen Versuchen vorhanden. Bei den Gesichtspunkten zur Konstruktion von Flugapparaten wurden zwei Grundtypen für einfache Flügelsysteme vorgeschlagen (Bild 11): die gestreckte Grundform des Seevogels (Möwe) und der gedrungene



11
Erste Entwürfe für manntragende Apparate: unten nach dem Vorbild der Möwe, oben storchähnlich

Flügelumriß des Landseglers mit aufgefiederten Flächenenden (Storch). Die ersten Versuchsapparate entsprachen dem Möwentyp. Die einfache Umrißzeichnung dieses Typs im Buch ist jedoch nicht gleichzusetzen mit einer Konstruktionszeichnung des realisierten Apparates. Es gibt mehrere Zeichnungen und Skizzen LILIENTHALs zu Flügeln dieses Grundtyps, sie sind sehr ähnlich, differieren aber in der Zahl der Flügelrippen und in der Größe.

Am Anfang stand wahrscheinlich ein kleiner Apparat (Bild 12) mit 4,4 m Spannweite, 1 m größter Tiefe und etwa 2,6 m² Fläche, der den Übergang bildete von den Modellen zu manntragenden Apparaten.

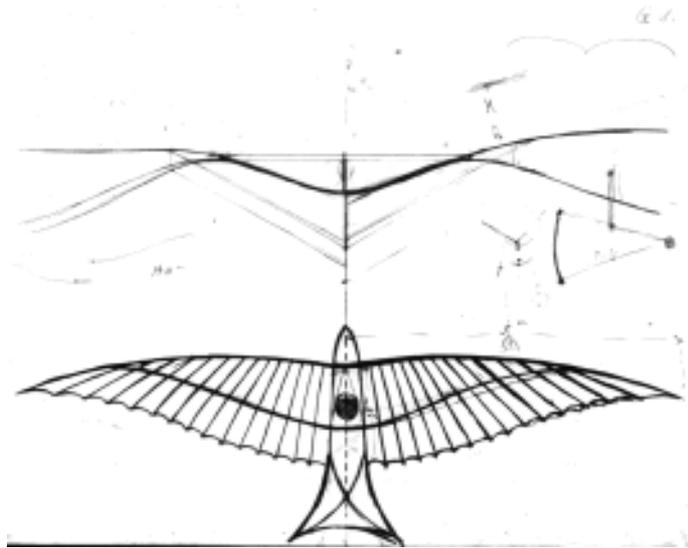


12
Entwurf eines Flugapparates mit 4,4 m Spannweite und 2,6 m² Fläche für erste Stehversuche im Wind

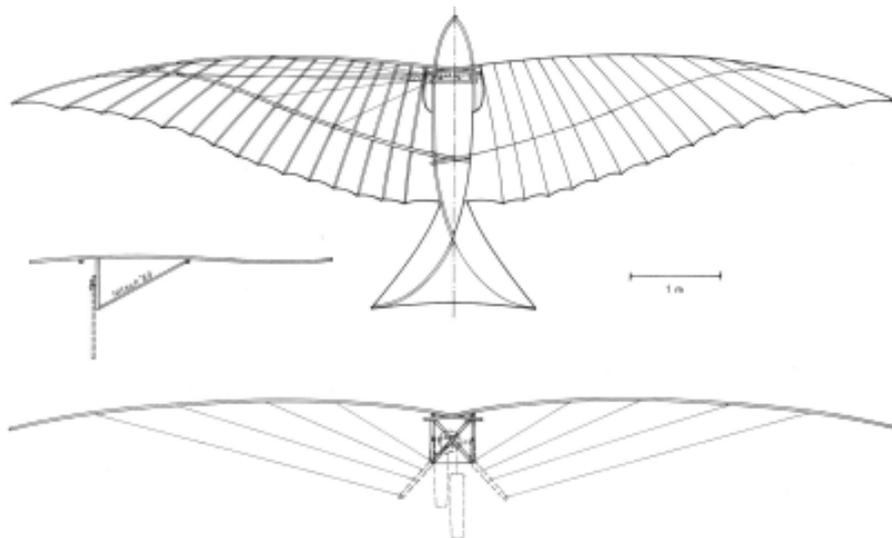
Die Auswertung des vorhandenen Materials läßt für den dann folgenden manntragenden Versuchsapparat vom Typ „Möwe“ folgendes konstruktives Bild entstehen: (Bild 13/14) Ein Gestell aus Weidenruten ist untergliedert in Holme und Rippen. Jeder Flügel hat zwei Holme, einen an der Vorderkante, den anderen in der Flächenmitte. Sie laufen noch vor der Flügelspitze an der Vorderkante zusammen. Etwa 14 Rippen pro Fläche verlaufen im Mittelteil

13

Entwurfzeichnung eines möwenähnlichen Apparates, mit dem auch Schwingenversuche geplant sind



parallel zueinander und nach außen zunehmend radial. In der Flächenmitte kreuzen sich die Holme beider Seiten über zwei oval angeordneten stärkeren Ruten. Diese kreuzen sich hinten, so daß sie eine Schwanzflosse bilden, die wahrscheinlich, ebenso wie der Flügel, mit Stoff bespannt war. Im Mittelteil ist nach unten ein Leistenrahmen angeordnet. Auch ein Kreuz aus stärkeren Kanthölzern verstärkt den Aufbau. Die Befestigung ist allerdings etwas unklar. In diesem Bereich sind auch die Spanndrähte einer Unterverspannung angeordnet. Ursprünglich war die Flächenaussparung in der Mitte so schmal, daß nur der Kopf hindurchgesteckt werden konnte. Eine feste Verbindung des Übenden mit dem Apparat war so aber kaum möglich. Daher haben die manntragenden Apparate größere Aussparungen und ein Gurt verbindet den Flieger mit dem Gestell. Er verläuft vom Kreuz zwischen den Beinen hindurch zur hinteren Kreuzung. Der Apparat befindet sich etwa in Brusthöhe des Fliegers, die ovalen Ruten liegen unter den Achseln, vorn werden sie mit den Händen erfaßt.

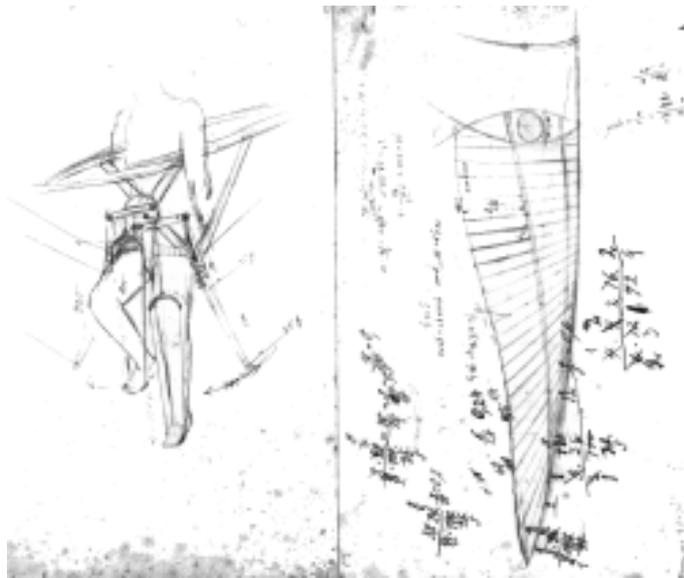


14

Rekonstruktionsversuch zum ersten manntragenden Flugapparat LILIENTHALs (Möwe): Spannweite ca. 10 m; Fläche ca. 8 m² (gestrichelt: geplanter Mechanismus für Schlagbewegungen)

15

links: Skizze LILIENTHALS
zum geplanten Schlag-
mechanismus;
rechts: zugehöriger
Flugzeugentwurf



In seinen Zeichnungen des Möwentyps sah LILIENTHAL auch bereits die Einbeziehung eines Schlagmechanismus' vor, der durch wechselseitiges Ausstoßen der Beine betätigt werden sollte (Bild 15).

Aufbau und Funktion sind wie folgt zu erklären: Steigbügelartige Seilzüge laufen über eine exzentrisch gelagerte Rolle, die vor dem Bauch des Fliegers an dem Gestellkreuz befestigt ist. Zwei Winkelhebel, an denen die Spanndrähte enden, sind über Stangen gelenkig mit dem Exzenter verbunden. Beim Ausstoßen eines Beines bewirkt der Seilzug etwa eine halbe Umdrehung der Rolle. Über die mitbewegten Hebel und Spanndrähte vollführen beide Außenflügel einen Nieder- und einen Aufschlag. Das Strecken des anderen Beines dreht die Rolle mit der selben Wirkung zurück. Diese Wirkungsweise entspricht genau dem Punkt 28 der Konstruktionsgesichtspunkte: „Zur Hervorrufung der Flügelschläge durch die Kraft des Menschen müßten vor allem die Streckmuskeln der Beine verwendet werden, und zwar nicht gleichzeitig, sondern abwechselnd, aber möglichst so, daß der Tritt jedes einzelnen Fußes einen Doppelschlag zur Folge hat.“/16/

Ein wirkungsvolles Funktionieren dieser Vorrichtung ist allerdings fragwürdig, denn sehr viel Kraft kann über die Exzenterrolle wohl nicht übertragen werden. Außerdem wären Maßnahmen gegen ein Rutschen des Seilzuges auf der Rolle erforderlich. Dieser Mechanismus ist mit großer Wahrscheinlichkeit nicht realisiert worden. LILIENTHAL dachte vielleicht daran, bei zügigem Voranschreiten der Gleitflugversuche diese Vorrichtung nachzurüsten, um dann in den Schwingenflug übergehen zu können. Doch bereits die Stehversuche im Wind zeigten sehr schnell, wie schwer es ist, so große Flügel sicher zu handhaben. Schon bei den ersten Versuchen wurde der Apparat offensichtlich schwer beschädigt. Vom 1. Juli 1890 gibt es ein Protokoll über weitere Stehversuche mit ähnlichem Ergebnis. Diese Versuche fanden an einer Erhebung hinter der Kadettenanstalt in Lichterfelde statt. Gustav LILIENTHAL war als Helfer dabei, und Hugo EULITZ, ein Verwandter und Freund. Er war ab 1889 als Zeichner und Konstrukteur in der Maschinenfabrik tätig und half auch beim Bau der ersten Apparate. Für die Versuche wurde wahrscheinlich der Apparat vom Vorjahr in vielleicht etwas veränderter Form wieder hergerichtet.

Die Erfahrungen aus diesen Versuchen gibt LILIENTHAL in dem bereits erwähnten Artikel „Ueber Theorie und Praxis des freien Fluges“ wieder. Er beschreibt, wie ein 8-10 m² großer Apparat mit 8-10 m Spannweite bei Wind zunehmend an Gewicht verliert, ohne daß bei

kleinen Anstellwinkeln eine zurücktreibende Wirkung eintritt. Schwierig sei es, die Schwankungen des Windes besonders in seiner Richtung auszugleichen und er denkt daran, den Apparat so einzurichten, daß er dies von selbst tut. Bei höheren Windgeschwindigkeiten trägt der Apparat nicht nur sich selbst, sondern auch einen Teil des Körpergewichtes, was die Beherrschung großer Flächen sehr erschwert.

Ergebnis der Versuche in den Jahren 1889/90 waren also Erfahrungen zum Verhalten von großen Flächen bei Stehübungen im Wind. Sprünge oder gar Flüge wurden noch nicht ausgeführt.

Nach den Stehübungen plante LILIENTHAL „die Flügel zur Verlängerung schräg abwärts geführter Sprünge zu verwenden. Hierbei würde der Apparat schon seinen Zweck erfüllen, wenn er im wesentlichen eine unbewegliche Fläche bildet, welche in ihrem Schwerpunkte an dem Körper des Übenden so befestigt ist, daß eine geringe Lageveränderung mit den Händen oder Armen herbeigeführt werden kann, während den Beinen und Füßen der freie Lauf und Sprung gestattet ist. ... Bei systematischer Schulung wird sich die Fertigkeit und Sicherheit bei solchen Flügen so weit treiben lassen, daß von höheren Ausgangspunkten ziemlich weite Strecken ohne Flügelschlag frei fliegend durchsegelt werden können. ... Man wird vielleicht auch hierdurch schon befähigt werden, einen beliebig verlängerten Segelflug auszuführen, wenn die Windverhältnisse günstig sind und wenn die Erfahrungen so weit reichen, daß man durch Schwerpunktsverlegungen und wo möglich gleichzeitige Formveränderung der Flügel die Flugrichtung so weit beherrscht, daß der Auftrieb des Windes jederzeit in denkbar günstigster Weise ausgenützt werden kann.“/17/ Hier ist von einer Maßnahme die Rede, auf die LILIENTHAL auch später noch einmal zurück kommt: die Formveränderung der Flügel. Skizzen aus der Zeit um 1890 zeigen, daß er sich mit dem Gedanken trug, den Flügel so zu gestalten, daß er im Flug wie der Vogelflügel einknicken kann. Im Zusammenhang mit dem Gelenkflügelapparat von 1896 wird später noch darauf eingegangen.

Für die Zukunft waren auch Schwingenflugversuche geplant: „Man wird endlich nicht dabei stehen bleiben, als gleichsam passiver Flugkörper die Muskelkraft nur zum richtigen Einstellen der Flugfläche anzuwenden, sondern wird auch versuchen, die Füße von dem Moment an, wo dieselben den Boden verlassen, zum Ausführen wuchtiger Flügelschläge zu benutzen, um auch die den Beinen innewohnende Arbeitskraft zur Geltung zu bringen und auch den Dauerflug noch dann zu bewirken, wenn der Wind nicht ganz die genügende Stärke besitzt, um die Hebung allein zu übernehmen.“/18/

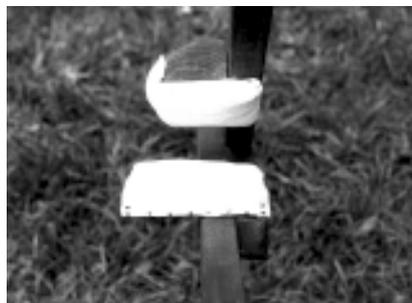
Derwitz-Apparat

Im Heft 12/1891 der „Zeitschrift für Luftschiffahrt“ wurde ein für die Geschichte der Luftfahrt sensationeller Bericht abgedruckt. Otto LILIENTHAL schilderte unter der Überschrift „Über meine diesjährigen Flugversuche“ in eindrucksvoller Weise die Erfahrungen von seinen ersten Flügen, die gleichzeitig die ersten in der Geschichte der Menschheit überhaupt waren. Der Bericht zeigt, mit welcher Konsequenz LILIENTHAL sein Konzept verfolgte.

Im Frühjahr begann er mit einfachen Sprung- und Landeübungen. Er hatte die Unberechenbarkeit großer Flächen im Wind sehr deutlich zu spüren bekommen und verlegte daher die Versuche auf eine große, windgeschützte Wiese im Garten seines Hauses in Berlin-Lichterfelde. Vielleicht wurde anfangs noch der Apparat vom Vorjahr verwendet, doch im Frühjahr entstand bereits auch ein neuer Apparat, mit dem fortan geübt werden konnte. Das Frühjahr war für LILIENTHAL jeweils die günstigste Jahreszeit für den Neubau von Flugapparaten.

Die Weidenruten für das Gestell können ab April geschnitten werden. Bis Ende Juli lassen sich die frisch geschnittenen Ruten leicht schälen. Die langen, geraden Ruten wachsen an Bächen entweder in Weidenbüschen oder als sogenannte Kopfweiden. Das sind geköpfte Bäume, aus deren Stämmen die Ruten in großer Zahl und mit verschiedener Stärke schnell nachwachsen. LILIENTHAL hatte damals auch die Möglichkeit, die Ruten bei den zahlreichen Korbmachern zu kaufen. Diese verwenden jedoch meist ungeschälte Ruten zum Flechten. In Weidenkulturen erfolgt der Schnitt im Winter, um die Gehölze nicht zu schädigen. Die in Mieten eingelagerten Ruten treiben im Frühjahr wieder und können dann auch geschält werden. Das Weidenholz eignet sich in hervorragender Weise zum Bau leichter Gleitflugzeuge. Es läßt sich bald nach dem Schneiden im halbfeuchten Zustand in jede gewünschte Form biegen, die es nach dem vollständigen Trocknen auch beibehält. Das geschälte Holz ist bei unzerstörter Oberfläche sehr elastisch, zäh und leicht. Die zum Ende hin schlankeren Ruten können gut als Rippen verwendet werden. Durch Schäften sind sie leicht zu verlängern. Die zu verbindenden Enden werden dazu schräg zugesägt, verleimt und anschließend mit Schnur umwickelt. Durch nochmaliges Bestreichen mit Leim entsteht so eine sehr feste Verbindung.

LILIENTHAL verwendete beim Bau seiner Apparate kaum Schrauben oder Nägel. Die Rippen wurden auf den Längsholmen ebenfalls mit Schnur angewickelt und verleimt. Die Verbindung der Flächen und die Aufnahme für die Arme realisierte LILIENTHAL ab 1891 in sehr einfacher Weise durch ein Holmkreuz aus Kanthölzern, an dessen unteren Enden Spanndrähte befestigt waren. Die Unterarme konnten in geteilte Polster (Bild 16) gelegt werden, mit den Händen ergriff er die Enden der Längsholme.



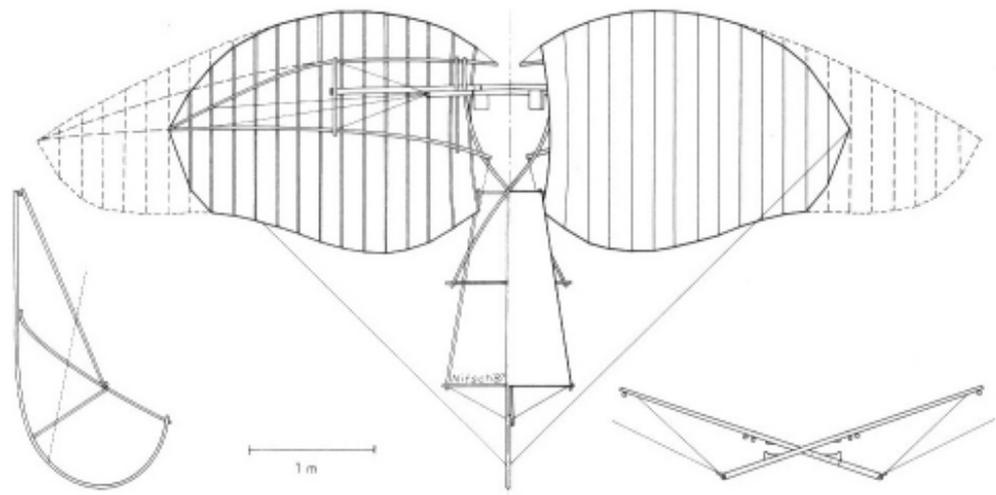
16
*ungeschränktes Holmkreuz der
 ersten LILIENTHAL-Apparate mit
 geteilten Polstern für die Unterarme*

„Hierdurch hatte man den Apparat vollkommen in seiner Gewalt und konnte sich in der Luft sicher mit den Armen auf denselben stützen; aber es war auch möglich, im Augenblick der Gefahr sowohl den Apparat zu lösen, als auch aus demselben sich herabfallen zu lassen.“ /19/

Von dem 1891 gebauten Apparat sind keine Konstruktionsunterlagen bekannt. Die Rekonstruktion (Bild 17) entstand auf der Grundlage von Fotos (Bild 18). LILIENTHAL beschrieb den Apparat so: „Die Flugfläche war anfangs 10 qm groß; sie verminderte sich aber durch mehrfache Änderungen und Reparaturen nach und nach auf 8 qm. Die Klatferbreite (Spannweite) des neuen Apparates betrug 7,5 m bei 2 m größter Breite. Die Flügel liefen in zwei schräg nach hinten gerichteten Spitzen aus. Das Gestell der Flügel bestand aus Weidenholz und zwar derartig, daß je zwei stärkere Ruten von den Flügelwurzeln nach den Spitzen liefen, über welche schwächere Ruten quer zum Flügel liegend befestigt waren. Die Bespannung dieses Gestells bestand aus Shirting mit Lacküberzug. Das Gewicht des Apparates betrug ca.18 kg.“/20/

17

Rekonstruktion des
Derwitz-Apparates
von 1891;
gestrichelt die
ursprüngliche Form
Spannw. 7,6/5,5 m
Länge 3,9 m
Fläche 10/7,9 m²
Gewicht 18,5 kg
(Nachbau)



Bisher wurden LILIENTHALs Zahlenangaben immer wörtlich genommen, die Erfahrungen vom Nachbau der Apparate zeigten jedoch, daß die realisierten Maße häufig ganz erheblich von seinen Angaben abweichen. Für den Nachbau (Bild 19) wurde die ursprüngliche Form zugrunde gelegt, der Apparat wirkt daher viel schlanker.

Bei den Übungen im Garten wurde von LILIENTHAL kein Leitwerk verwendet, denn das hätte die Sprünge behindert. Bald fühlte er sich so sicher in der Beherrschung des Apparates, daß die Sprungversuche im freien Wind fortgesetzt werden konnten. Als neues Übungsgelände

18

Ein Sprung LILIENTHALs
im Sommer 1891 mit dem
Derwitz-Apparat an einem
Hügel zwischen Derwitz
und Krielow

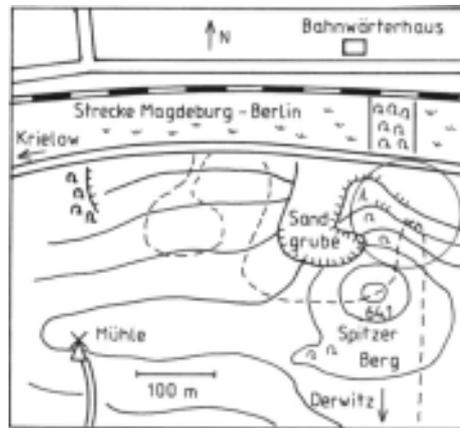


19

Der Nachbau des Derwitz-
Apparates in der ursprüng-
lichen Form, ausgeführt
durch den Autor

wählte LILIENTHAL einen Hügel an der Bahnstrecke zwischen Werder und Großkreuz. Dieser Hügel existiert heute nicht mehr in der ursprünglichen Form, denn über viele Jahre hinweg wurde dort Sand abgefahren. Die Geländeskizze (Bild 20) nach einem Meßtischblatt von 1890 verdeutlicht die damalige Hügelform. Versuche waren demnach hauptsächlich in nord-östlicher und in nordwestlicher Richtung möglich.

20
 Übungsgelände zwischen Derwitz
 und Krielow, die Fotos von 1891
 entstanden an dem eingekreisten
 Hang (gestrichelt: heutiger
 Geländeverlauf)



In diesem Gelände hat LILIENTHAL möglicherweise auch schon früher Versuche durchgeführt. Ein Heimatforscher aus Krielow, dessen Großvater Bahnwärter direkt an diesem Hügel war, berichtet, LILIENTHAL habe kleinere Flügel zeitweise dort abgestellt /21/. Das deckt sich mit Aussagen von LILIENTHAL aus dem Jahre 1892: "...unternahm ich zunächst im vorigen Jahre mit kleineren Apparaten und bei mäßigem Winde den schräg abwärts geneigten Segelflug..." /22/ Diese Bemerkung bezieht sich hauptsächlich auf den beschriebenen Apparat, aber die Mehrzahlform läßt vermuten, daß vielleicht auch noch ein Apparat aus den Vorjahren verwendet wurde.

Der neue Apparat wurde im Frühsommer 1891 von LILIENTHAL und seinem Helfer EULITZ in das Übungsgelände transportiert. Der Apparat war dazu in der Mitte geteilt und verschnürt worden. Er hatte so immerhin noch ein Größe von 4,6 x 2,2 m und man kann sich das Aufsehen vorstellen, das der Transport des Apparates durch Lichterfelde und beim Umsteigen in Potsdam verursachte. Der Apparat wurde in einer Mühle zwischen Derwitz und Krielow direkt neben dem Hügel untergestellt. Der Müller SCHWACH unterstützte LILIENTHAL bei den Versuchen. Von ihm wurde auch folgende Begebenheit geschildert: An einem sehr stürmischen Sonntag kam LILIENTHAL allein nach Derwitz, um zu üben. Die Warnungen des Müllers ignorierte er und ehe dieser Zeit hatte, ihm zu helfen, holte er den Apparat aus der Scheune. Bereits nach wenigen Metern riß der Sturm LILIENTHAL das Gerät aus den Händen, so daß es sich mehrfach überschlug. Dabei brach eine der Flügelspitzen auf der Länge von über einem Meter ab. LILIENTHAL soll einfach auch die andere Seite gekürzt und trotz des Sturms Versuche mit dem verkleinerten Apparat gemacht haben. Auf diese Weise könnte die von mehreren Fotos her bekannte Form des Derwitz-Apparates entstanden sein. Bei den Versuchen bei Derwitz/Krielow wurde wahrscheinlich von Anfang an eine vertikale Steuerfläche verwendet. Sie bewirkte das selbstätige Einstellen des Apparates gegen den Wind. Probleme bereitete das zu stark gewölbte Profil der Tragfläche. Die Profilhöhe betrug 1/10 der Tiefe. Lilienthal hatte gehofft, es würde sich im Wind auf 1/12 abflachen, die Flügel waren jedoch steifer als erwartet. Das führte immer wieder zu Stürzen, denn es traten negative Anstellwinkel auf (von LILIENTHAL als Oberwind bezeichnet), wodurch der Apparat aus vol-

lem Schwung unweigerlich zu Boden gedrückt wurde. Die Anbringung einer horizontalen, leicht negativ angestellten Schwanzfläche milderte diesen Effekt. Durch dieses Steuer wird der Apparat hinten heruntergedrückt und vorn aufgerichtet. EULITZ berichtete später, die Idee zu dieser Lösung sei von ihm gewesen /23/. Außerdem gab er an, daß der Derwitz-Apparat ursprünglich auch zum Auf- und Niederschlag der Flügelspitzen mit den Beinen eingerichtet war, ohne daß jedoch Versuche in dieser Richtung stattgefunden hätten /24/.

Durch intensives Üben wurden die Sprünge Meter um Meter verlängert. Es kam darauf an, durch zügiges Anlaufen bei richtigem Anstellwinkel eine ausreichende Startgeschwindigkeit zu bekommen. Auch beim Absprung mußten die Flügel genau richtig gehalten werden. Zu große Anstellwinkel bewirkten ein starkes Abbremsen und der Apparat kam nicht frei - zu geringe führten zum Sturz. Je besser der Absprung gelang, um so weiter waren die Sprünge. An ein Steuern in der Luft war anfangs kaum zu denken.

Zur Landung wurde der Apparat vorn aufgerichtet. Das geschah durch Verlagerung des Körperschwerpunktes nach hinten - sehr schwer zu realisieren, mußten doch die Beine eigentlich vorn sein, um den Landestoß abzufangen. Es erforderte viel Übung, die Beine und den Oberkörper erst nach hinten und dann im richtigen Moment nach vorn zu werfen.

Ebenso kompliziert ist das Gegensteuern bei seitlichen Störungen. Hebt der Wind die rechte Fläche, so bewegen sich die Beine durch die Schwerkraft nach links. Das ist jedoch genau falsch, denn der Apparat muß durch Verlagerung rechts belastet werden, um in die Normallage zurückzukehren.

Nur durch die Verwendung der einfachen laufstartfähigen Apparate war es LILIENTHAL möglich, Schritt für Schritt das Fliegen zu erlernen und die Leistungsfähigkeit der Geräte zu verbessern.

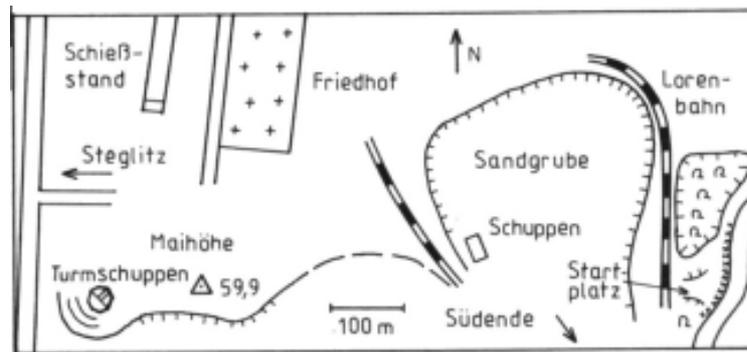
Flugforscher wie LANGLEY und MAXIM bauten komplette Flugmaschinen, die unabhängig von ihrer Flugeignung scheitern mußten, denn es bestand keine Möglichkeit, schrittweise ihre Beherrschung zu erlernen. LILIENTHALs einfache Methode wurde von anderen Flugpionieren gewürdigt und übernommen. Die Brüder WRIGHT erlernten so das Fliegen und erprobten die Zelle des späteren Motorflugzeuges im Gleitflug. Der Franzose Ferdinand FERBER kennzeichnete die Methode mit den Worten „vom Schritt zum Sprung, vom Sprung zum Flug“. Er erkannte auch die Bedeutung der ersten, scheinbar bescheidenen Versuche bei Derwitz: „Den Tag, an welchem Lilienthal im Jahre 1891 seine ersten 15 m in der Luft durchmessen hat, fasse ich auf als den Augenblick, seit welchem die Menschen fliegen können.“/25/

Beobachter solcher 15 m-Hüpfer wären heute eher enttäuscht. Auf Fotos wirken derartige Versuche stets attraktiver als in der Realität, das betont auch LILIENTHAL immer wieder. Trotzdem sind diese ersten Flüge im Sommer 1891 von herausragender Bedeutung weil sie kein Augenblickserfolg waren, sondern der erste Schritt auf LILIENTHALs systematischem Weg zu längeren Flügen und besseren Apparaten.

Südende-Apparat

Das Gelände bei Derwitz erlaubte nur Flüge bis 25 m Weite. Darum verlegte LILIENTHAL 1892 seine Versuche nach Südende bei Berlin. Ein Sandgrubenbesitzer hatte ihm gestattet, den 10 m hohen, steil abfallenden Rand der Grube für Versuche zu nutzen. In einem flachen Holzschuppen am Fuße des Hanges konnten die Apparate aufbewahrt werden. Das Gelände war für LILIENTHAL viel schneller zu erreichen, es lag nur wenige Kilometer von seinem Wohnhaus in Lichterfelde entfernt. Die Geländeskizze (Bild 21) zeigt die Lage der vor allem nach Westen abfallenden Sandgrube. Die steile Stechwand ist heute noch vorhanden, da der

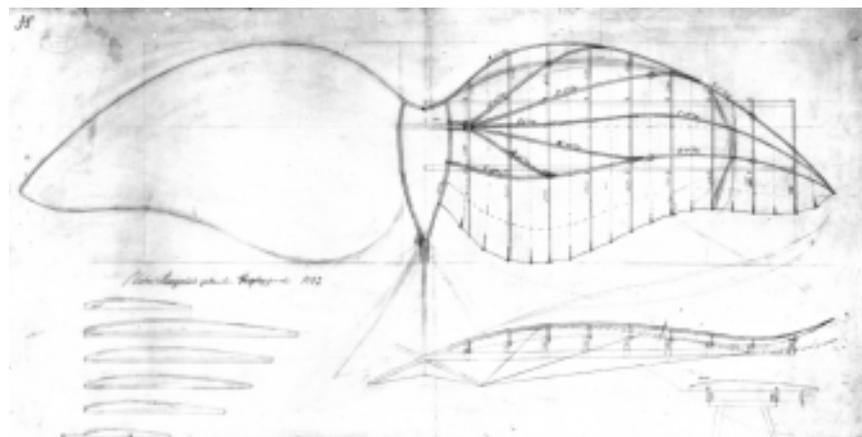
21
Übungsgelände von 1892 in
der Sandgrube bei Südende
(rechts) und von 1893 an der
Maihöhe (links)



Sandabbau durch die Ringstraße (heute Öhlertstraße, Berlin West) gestoppt wurde. Die Windverhältnisse an einer solchen Kante sind ungünstiger als an einem gleichmäßig ansteigenden Hang. Gleich nach dem Absprung wird der Apparat von unten angeströmt, ruckartig gehoben, wenn nicht sogar zurückgeworfen. Die Aufwindzone ist nur kurz und der Wind am Boden viel schwächer. LILIENTHAL hatte das bereits in Derwitz an einigen Geländestellen erfahren. Er konnte jedoch nicht wählerisch sein, denn in der Umgebung seines Wohnortes Lichterfelde gab es kaum natürliche Erhebungen.

Im Frühjahr 1892 entstand ein neuer, großer, sehr sorgfältig geformter Apparat. Es gibt eine Entwurfzeichnung mit der Überschrift „Über Leegerüst gebauter Segelapparat“ (Bild 22). Gemeint ist wohl Lehrgerüst, denn 9 Profillehren bildeten eine Helling, auf welcher der Apparat profiliert wurde. Der Grundaufbau entsprach wieder der Möwenform. Mehrere geschwungene Längsholme stabilisierten die mit 1/12 der Tiefe sorgfältig profilierten Querrippen. Bespannt war der Apparat wieder mit lackimprägniertem Shirting. Auch die Unterseite war zu 2/3 bespannt, um den Luftwiderstand der Holme zu verringern. Ein solches Doppelsegel findet man auch bei modernen Hängegleitern wieder.

22
Entwurfzeichnung
„Über Leegerüst
gebauter Segel-
apparat“ von 1892
(kaum erkennbar:
teilweise abraderter
Bleistift-Vorentwurf,
zu dem auch die
Profillehren gehören)

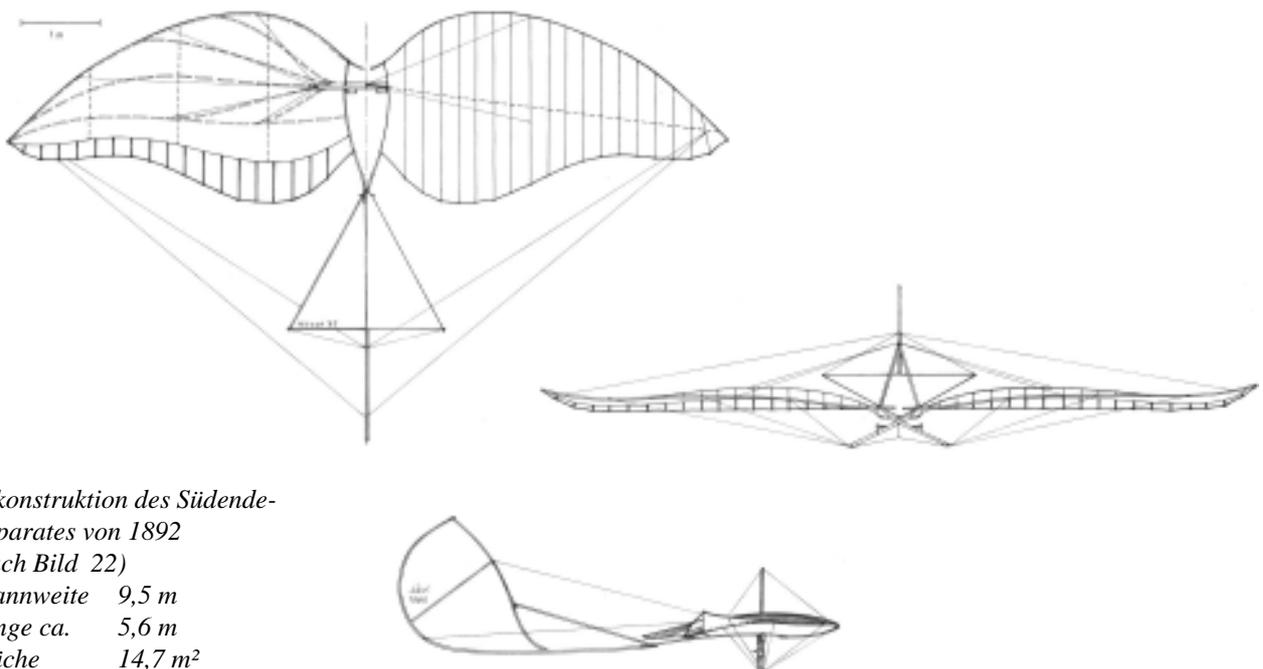


Auch in der Gestaltung des Flügelumrisses sah LILIENTHAL eine Möglichkeit die Flugeigenschaften zu verbessern. Er hielt sich daher wieder möglichst genau an die natürlichen Vorbilder. Das kommt auch im Längsschnitt der Flügel zum Ausdruck. Die stabilisierende V-Form ist ebenso vorhanden wie die aufgebogenen Flügelspitzen. Die Anordnung der Steuer ist wie beim vorigen Apparat. Die Flächen sind jedoch bedeutend größer, um ihre Wirksamkeit zu erhöhen. Dieser Apparat war wahrscheinlich das aerodynamisch günstigste und neben den Doppeldeckern leistungsfähigste Gerät, was LILIENTHAL gebaut hat. Das kam auch in den Flugeigenschaften zum Ausdruck. Von der 10 m hohen Stechwand gelangen bis 80 m weite Flügel (Bild 23). Nach dem Start verlief die Fluglinie fast horizontal. Die Landungen waren so sanft, daß LILIENTHAL zum Erstaunen der oft zahlreichen Zuschauer nur auf einem Bein landete und sicher stehen blieb.



23
Absprung von der Kante der Sandgrube im Jahre 1892

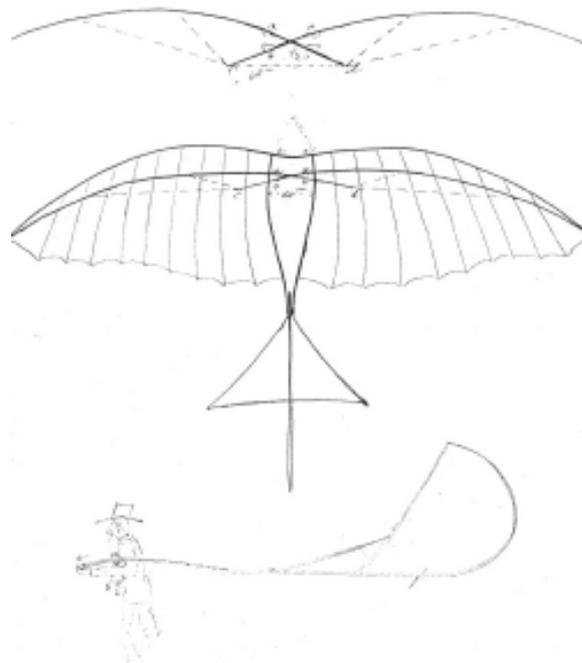
Durch seine Größe war der Apparat jedoch nur bei Wind bis etwa 7 m/s zu beherrschen. LILIENTHAL war der Meinung, bei Windgeschwindigkeiten um 10 m/s in den dauerhaften Segelflug zu kommen. (Für die Messung der Windgeschwindigkeit wurde eine senkrechte, federnd gelagerte Platte verwendet.) Es ist erstaunlich, welchen Mut LILIENTHAL aufbrachte, wenn er sich auch solchem Sturm aussetzte. Er verwendete dann „kleinere Flügelflächen“, also wahrscheinlich das Gerät vom Vorjahr, das zurück transportiert worden war.



24
Rekonstruktion des Südende-Apparates von 1892
(nach Bild 22)
Spannweite 9,5 m
Länge ca. 5,6 m
Fläche 14,7 m²

Man vermutete bisher, daß 1892 noch ein weiterer kleiner Apparat entstand, der nicht näher bekannt ist. HALLE hielt den gezeichneten und den 1892 fotografierten Apparat für zwei verschieden große Geräte. Die sorgfältig durchgeführte Rekonstruktion (Bild 24) ergab jedoch, daß es sich hier um nur ein Gerät handelt. Das soll auch durch einen Nachbau belegt werden.

Es gibt nur einen Anhaltspunkt für ein weiteres Gerät. 1987 fand der Lilienthalsforscher Werner SCHWIPPS im Technischen Museum Wien einen Brief, den Otto LILIENTHAL im November 1892 an einen Herrn STRAUSS in Wien geschrieben hat. Er enthält eine genaue Anleitung für den Bau eines einfachen Gleiters und als Handskizze 3 Ansichten eines Apparates mit 8 m Spannweite und 10 m² Fläche bei 2 m größter Breite (Bild 25).



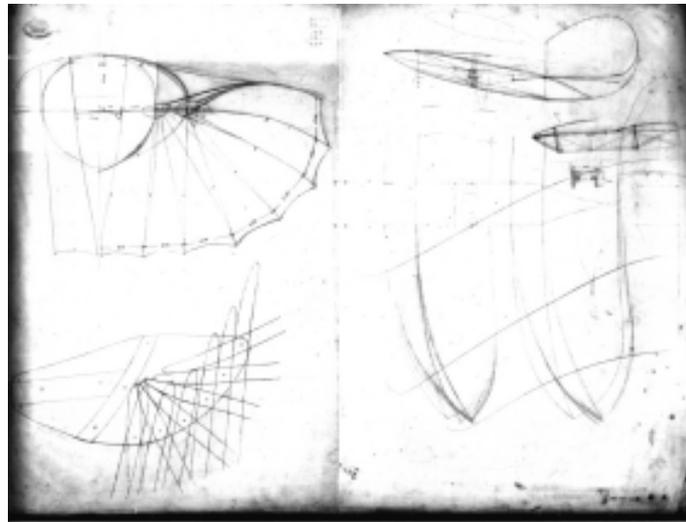
25
Skizze LILIENTHALS in
einem Brief von 1892 zu
einem Apparat mit
8 m Spannweite und
10 m² Fläche

Man könnte nun vermuten, daß diese Skizze einen auch von LILIENTHAL selbst verwendeten Apparat zeigt. Bedenkt man jedoch, daß der Bau des Südende-Apparates mit Sicherheit mehrere Monate dauerte und daß LILIENTHAL zu dieser Zeit seine Apparate noch weitgehend selbst baute, so ist es wenig wahrscheinlich, daß im selben Jahr noch ein zweiter Apparat entstanden sein soll. Vielmehr ist anzunehmen, daß die Skizze das für den Anfänger am besten geeignete Gerät veranschaulichen sollte.

Auch 1892 wertete LILIENTHAL seine Flugversuche in der Zeitschrift für Luftschiffahrt aus /26/. Im selben Jahr erschien aber auch ein theoretischer Artikel von ihm: "Über die Mechanik im Dienste der Flugtechnik" /27/. Darin rechnete er gehörig mit den Flugtheorien der Gefühlsmechaniker der halbgebildeten und auch der gebildeten Forscher ab. Klar und deutlich räumte er mit falschen Vorstellungen auf und gab anschaulich seine Auffassungen wieder.

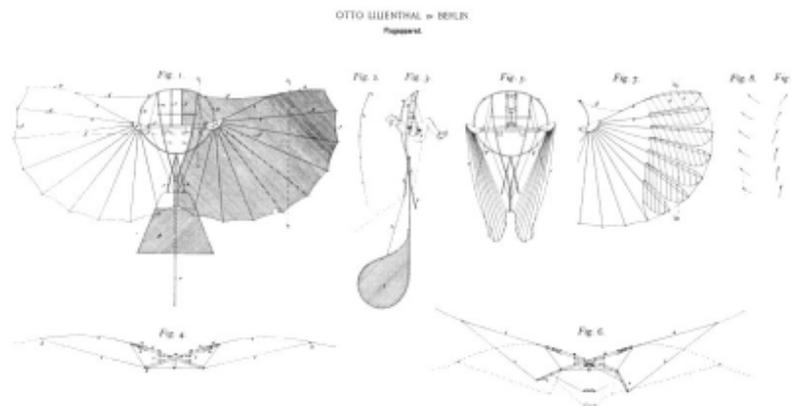
Maihöhe-Rhinow-Apparat

Die bis 1892 verwendeten möwenartigen Apparate ließen sich aufgrund der großen Spannweite und durch das starre Gestell schlecht handhaben und transportieren. LILIENTHAL hatte in seiner näheren Umgebung kein wirklich geeignetes Fluggelände. Bereits 1892 beschrieb er in einem Artikel die Rhinower Berge zwischen Rathenow und Neustadt an der Dosse als hervorragendes Übungsgelände. Um dort üben zu können, brauchte er einen zusammenlegbaren Apparat.



26
Entwürfe von
zusammenlegbaren
Flugapparaten
links: das später
verwirklichte
Fledermausprinzip
rechts: Entwurf eines
Apparates mit zwei
Tandemflächen

Aus verschiedenen Entwürfen, bei denen er auch über das Tandemflügelprinzip nachdachte (Bild 26) entwickelte LILIENTHAL im Frühjahr 1893 sein berühmt gewordenes Flügelsystem nach dem Vorbild der Fledermaus. Bereits im September des selben Jahres erhielt er ein Patent darauf, das auch Einrichtungen für Flügelschlagbewegungen berücksichtigte (Bild 27).



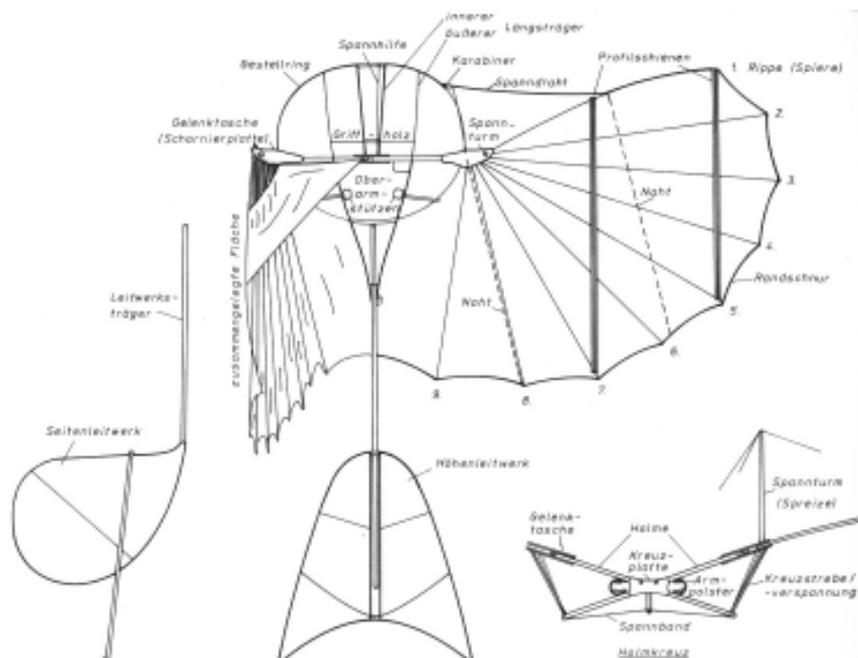
27
Zeichnungen zur
Patentschrift vom
3.9.1893

Der hier entwickelte Grundaufbau findet sich bei fast allen späteren Apparaten wieder. Sie sind ein kaum zu übertreffendes Beispiel für die Harmonie von Formschönheit und Zweckmäßigkeit.

Die folgende Erklärung des Geräteaufbaus kann an Bild 28 verfolgt werden.

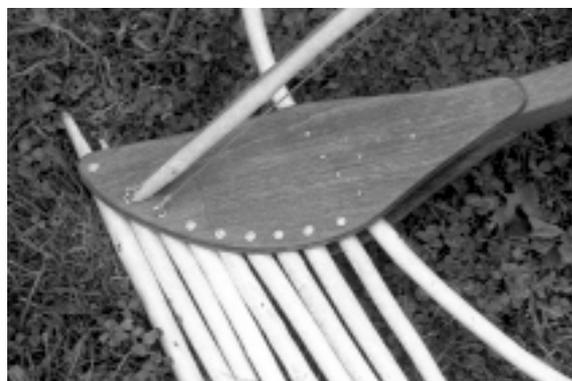
Das Grundprinzip der gekreuzten Holme mit Polstern für die Unterarme wurde beibehalten. Sie enden nun aber in zwei Gelenktaschen (auch als Scharnierplatten bezeichnet) aus dickem Sperrholz, in denen die Rippen drehbar gelagert sind (Bild 29). Als Drehachsen dienen vernietete Nägel. Nach dem Zusammenklappen ist der Apparat nur noch 2 m breit und paßt durch fast jede Tür.

28
*Grundaufbau und
 Bezeichnungen der
 zusammenlegbaren
 LILIENTHAL-
 Apparate*



Ein Gestellring mit 1,5 m Durchmesser umgibt den Flieger. Als Material werden vorgebogene und mehrfach geschäftete Weidenruten verwendet, in einigen Fällen auch spanisches Rohr (leicht zu biegendes, oft mit Bambus verwechseltes Material). Die Stabilisierung des Gestellringes erfolgt durch zwei lange nach hinten durchgehende Längsträger und zwei kurze, die am Holmkreuz enden. So entsteht ein festes Sprengwerk, in dem Zug- und Druckkräfte geschickt verteilt sind.

29
*Gelenktasche mit schwenkbaren
 Flügelrippen (Nachbau)*



Die Längsträger sind ebenfalls Weidenruten. Vor dem Holm kreuz sind sie durch das sogenannte Griffholz verbunden. Zum Halten werden die Arme bis zu den Ellenbogen durch das Holmkreuz gesteckt und die Hände ergreifen von unten das Griffholz. Zwischen den kurzen Längsträgern ist die Stoffbespannung ausgespart, damit der Flieger auch nach unten sehen kann. Diese Aussparung hat LILIENTHAL bei dem ersten Apparat dieses Typs erst nachträglich angebracht.

Die Stoffbespannung ist um eine Randschnur gelegt, welche die Enden der Flügelrippen verbindet. Der Stoff ist dort genäht und verklebt. Hinter dem Gestellring endet die Bespannung an den Längsträgern. Vorn schließt sie mit der 1. Rippe ab, zur Mitte hin mit dem Spanndraht. Dieser Draht endet in einem Karabinerhaken, welcher beim Aufspannen in Ösen am Gestellring eingehakt wird.

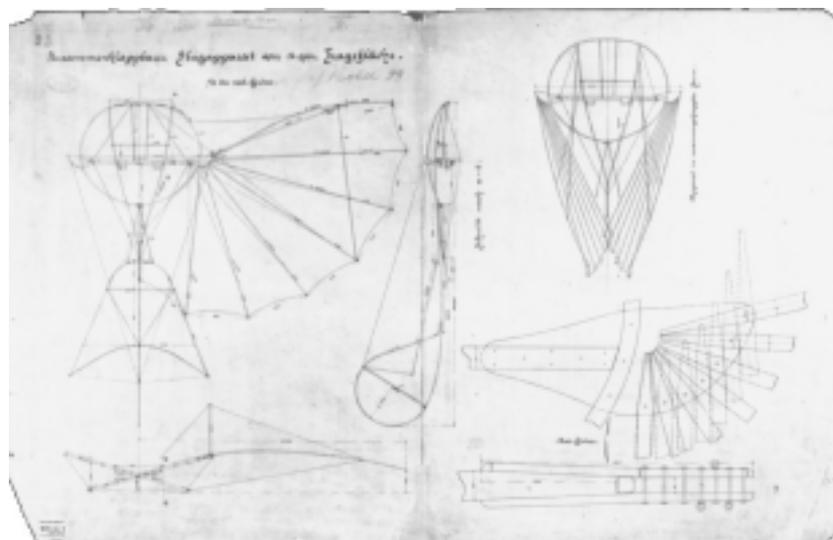
Als Unterverspannung wird 2 mm starker verzinkter Eisendraht verwendet. Drahtösen an den Rippen, die durch Schnurwicklungen gegen Verrutschen gesichert sind, gewährleisten eine sichere Befestigung der Verspannung. An den Holmenden sind die Spanndrähte in einem Drahtring verdreht. Ein Bandeisen verbindet und sichert die Holmenden. Auch die Gelenktaschen sind gegen die Holmenden mit je zwei Drähten verspannt, einige Apparate haben dort außerdem eine Stützstrebe. Die Spanntürme (LILIENTHAL sagte „Spreizen“) sind etwa 60 cm lange Stäbe. Von den oberen Enden verlaufen je 4 Spannschnüre pyramidenförmig zu Punkten am Gestellring und auf den Flächen. Am unteren Ende sind Stifte in den Spannturm geschlagen, die beim Aufstellen in Bohrungen der Gelenktaschen gesteckt werden. Die inneren Nähte im Spannstoff sind so gelegt, daß sie bis zur Gelenktasche auf einer Rippe verlaufen. Von dort bis zum Karabiner sind die Bahnen nicht vernäht. Außen liegende Nähte enden meist zwischen zwei Rippen und können auf Fotos so von Profilschienen unterschieden werden. Beim ersten zusammenlegbaren Apparat wird das Profil noch durch je eine vorgebogende Weidenrute gebildet.

Als Leitwerksträger für die vertikale Stabilisierungsfläche verwendete LILIENTHAL stets Bambus. Der Stab ist mit einem Zapfen hinten auf den Gestellring gesteckt. Ein Stift durch Längsträger und Stange verhindert ein Verschieben.

Die horizontale Stabilisierungsfläche lehnt von vorn an der vertikalen. Sie ist nur an der Vorderkante an zwei Streben befestigt und kann beim Landen nach oben ausschlagen. Diese Fläche ist im vorderen Drittel nicht bespannt. Bei späteren Apparaten umschließt die horizontale Fläche die vertikale und bildet ein sogenanntes Kreuzsteuer. Das Leitwerk ist zum Spannturm und zur Fläche hin durch Schnurverspannungen gesichert.

Als Spannstoff verwendete LILIENTHAL stets Shirting (engl. Hemdenstoff), ein sehr dichtes Baumwollgewebe. Die Breite des Stoffes war 1,5 yard, das sind 1,37 m. Baumwollstoff in dieser Breite wird bis heute für die Bespannung von Segelflugzeugen verwendet. Bei LILIENTHALs zusammenlegbaren Apparaten wurde Wachs verwendet, um sie luftundurchlässig und wetterbeständig zu machen. Die Bespannung ist auf das Gestell geklebt. Zur Sicherung wird der Stoff von oben mit aufgenagelten Streifen aus spanischem Rohr fixiert.

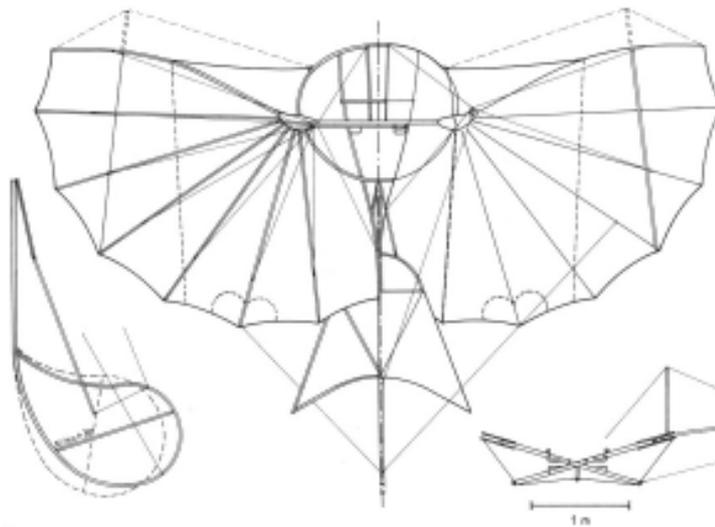
Der erste Apparat mit diesem Aufbau entstand im Frühjahr 1893 nach einer sehr sorgfältigen Zeichnung (Bild 30). Lediglich die vertikale Leitwerksfläche wich in Form und Größe etwas von der Zeichnung ab. Die Maßangabe in der Vorderansicht (6,7 m) ist nicht die Spannweite, sondern der Randabstand der 1. Rippen. Die Spannweite betrug 7 m. (Bild 31)



30
Bauzeichnung des ersten
zusammenklappbaren
Flugapparates von 1893

31

Rekonstruktion des
Maihöhe/Rhinow-
Apparates von 1893
Spannweite 7,0 m
Länge 4,5 m
Fläche 14 m²
gestrichelt: in Rhinow
verwendetes Leitwerk,
Flächenausschnitte zur
Verbesserung der
Steuerbarkeit um die
Querachse und ver-
längerte Profilrute zum
Spannen der 1. Rippe



LILIENTHALs Flugversuche konzentrierten sich im Frühsommer 1893 auf die Maihöhe. Diese Anhöhe lag nur wenige hundert Meter westlich der Sandgrube. Auf dem nach Süden bis Nordwesten abfallenden Hügel ließ sich LILIENTHAL einen hohen turmartigen Holzschuppen errichten, in dem die Apparate untergestellt werden konnten. Das leicht schräg abfallende Dach wurde mit Rasen bedeckt und als Startfläche benutzt. Diese erste wirkliche Fliege- station hatte viele Nachteile. Der Start von der 10 m hohen Dachkante war sehr gefährlich und erforderte viel Übung. Die Windverhältnisse waren ungünstig. Einerseits teilte sich der Wind an dem steilen Schuppen, andererseits wurde ein Teil an der senkrechten Wand steil nach oben abgelenkt. Das führte beim Start zu einem Aufwindstoß, der häufig schwer kontrollierbare Flugsituationen herbeiführte. Mehrere Fotos (Bild 32) belegen das.

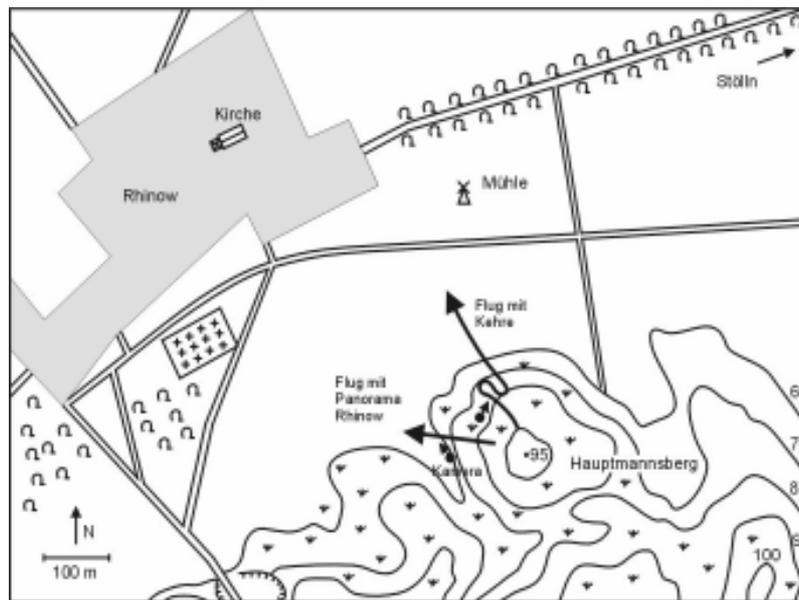


32

Start vom Turmschuppen auf
der Maihöhe im Frühjahr 1893

Dazu kam, daß in diesem Sommer Ostwind vorherrschte. Der Startplatz konnte also nur selten benutzt werden. Trotzdem sprachen sich diese Versuche in Sichtweite des damaligen Dorfes Steglitz schnell herum und LILIENTHAL hatte häufig schaulustiges Publikum. Ein gutes Bild vermittelt die Schilderung des Hauptmanns Alfred HILDEBRANDT. Er war später ein bedeutender Vorkämpfer für die Luftfahrt in Deutschland. „Auch ich befand mich in jener Zeit unter den wenigen Zuschauern, die an einem Sonntagvormittag im hügeligen Gelände zwischen Steglitz und Lichterfelde den Übungen zusahen. Ich war als Artillerieleutnant zur Artillerie- und Ingenieurschule abkommandiert und hatte von dem ‘verrückten’ Mann gehört,

der da mit vogelähnlichen Flügeln ‘herumhüpfen’ sollte. Daß ich diese Versuche als eine ernstzunehmende Sache ansah, wagte ich damals nicht zu sagen, da ich nicht ausgelacht und geuzt werden wollte. So zog ich denn das ‘schlichte Gewand des Bürgers’ an, um möglichst wenig aufzufallen, und pinscherte nach Steglitz. Nur ein wohlgelungenes Herabschweben konnte ich bewundern, aber das genügte, mich für die Flugsache einzufangen.“/28/
 Das umherlaufende Publikum brachte auch mehrfach kritische Situationen mit sich. LILIEN-
 THAL mußte im Steigflug über Menschengruppen hinwegsetzen, durch fehlende Geschwin-
 digkeit kam es zum Strömungsabriß, der Apparat kippte nach vorn und der Gestelling wurde
 beim Aufprall beschädigt. In einem anderen Fall wurde er beim Start von einem starken Wind-
 stoß mehrere Meter über den Startpunkt gehoben. Insgesamt waren die Versuche an der Mai-
 höhe unbefriedigend, ja oft sogar gefährlich.



33
 Fluggelände bei Rhinow:
 vom steil abfallenden
 Hauptmannsberg waren
 bis 250 m weite Flüge in
 nördliche Richtungen
 und nach Westen möglich

Im Sommer 1893 begann LILIENTHAL mit Versuchen in den Rhinower Bergen. Diese bis 60 m hohe Hügelkette (Bild 33) war besonders bei Nord- und Nordwestwind ein hervorragendes Fluggelände mit gleichmäßig abfallenden baumlosen Hängen. Heute sind die Hügel dicht bewaldet. Über seinen ersten Flug an dieser Stelle schreibt er: „Als ich in diesem Jahr zum ersten Male an diesen Bergabhängen mein Flugzeug entfaltetete, überkam mich freilich ein etwas ängstliches Gefühl, als ich mir sagte: ‘Von hier oben sollst du nun in das tief da unten liegende, weit ausgedehnte Land hinaussegeln!’“/29/ LILIENTHAL verwendete für seine Apparate außer der Bezeichnung ‘Flugzeug’ (er war nicht der Schöpfer dieses Wortes) auch Worte wie Segelzeug, Segelapparat, Flugapparat und Flugwerkzeug.

Nach ersten vorsichtigen Versuchen gewann LILIENTHAL bald die gewohnte Sicherheit zurück und verfiel ganz dem Reiz des Fluggefühls: „Die besonnene Ruhe verläßt auch schließlich den in der Luft Schwebenden nicht mehr, während das unbeschreiblich schöne und sanfte Dahingleiten über die weit ausgedehnten sonnigen Berghänge den Eifer bei jedem Sprunge von Neuem anfacht.

Es währt nicht lange, so ist es dem Fliegenden gleichgültig, ob er 2 m oder 20 m über dem Erdboden dahinschwebt, er fühlt ja, wie sicher die Luft ihn trägt, auch wenn er die kleinen Menschen dort unten staunend zu ihm hinaufblicken sieht. Bald setzt man über haushohe Schluchten hinweg und streicht mehrere hundert Meter ohne alle Gefahr durch die Luft dahin,

den Wind in jedem Augenblicke erfolgreich parierend. Nachdem sich bei dem geraden Fluge gegen den Wind eine grössere Sicherheit eingestellt hat, versucht man unwillkürlich zuerst ganz wenig und dann mehr und mehr die Flugbahn nach rechts und links abzulenken. Eine geringe Verlegung des Schwerpunktes nach einer Seite veranlaßt sofort eine geringe Schrägstellung der Tragfläche, wobei der hebende Luftdruck sich ebenfalls nach dieser Seite neigt und die Flugrichtung seitlich abschwenkt. Es gibt nichts einfacheres als die Lenkung von Flugmaschinen. Man darf aber hierbei nicht vergessen, daß das Landen stets gegen den Wind gerichtet sein muß.“/30/



34
Hoher Flug in den Rhinower Bergen, aufgenommen nach einer Kehrtwendung, LILIENTHAL fliegt in Richtung des Berges

Eine völlig neue Erfahrung wird hier beschrieben - der Kurvenflug. Ein Foto (Bild 34) zeigt LILIENTHAL bei einem solchen Manöver. Im Moment der Aufnahme flog er auf den Berg zu. Um gegen den Wind landen zu können, mußte er die 360-Grad-Kurve vollenden. Es verwundert, daß sich LILIENTHAL später eher bedenklich zum Kurvenflug äußerte. Im Zusammenhang mit Doppeldeckerversuchen am Fliegeberg in Lichterfelde warnte er sogar davor. Noch 1895 schrieb er in einem Brief:“Theoretisch kreisen wir schon lange, aber wer wird es zuerst praktisch zustandebringen ?“/31/ Das läßt vermuten, daß LILIENTHAL bei Kurvenflugversuchen schlechte Erfahrungen gemacht hat, vielleicht sogar eine Bruchlandung gegen den Hang. Bei weiteren Kurvenflugversuchen im breiten Aufwindband der Rhinower Berge wären besonders mit den Doppeldeckern lange Flugzeiten durchaus möglich gewesen und damit auch der von ihm erwünschte Übergang zum Segelflug.

1893 erreichte LILIENTHAL in den Rhinower Bergen Flugweiten bis 250 m, die auch in den Folgejahren nicht mehr überboten wurden. Darüber hinausgehende Angaben in der Literatur sind falsch. Er selbst gab noch wenige Tage vor seinem Tod in einem Brief diese Weite an. Mehr war in diesem Gelände im Geradeausflug auch nicht zu erreichen. Wichtiger als die geländebedingte Flugweite ist eigentlich die erreichte Flugzeit, über die es jedoch keine konkreten Angaben gibt.

Der in Rhinow verwendete Apparat glich dem von der Maihöhe, nur das vertikale Leitwerk hatte eine etwas andere Form. Wahrscheinlich war es das selbe Flugzeug, d.h. es gab von diesem Typ nur ein Exemplar.

Bei seinen Versuchen 1893 hat LILIENTHAL in einem Gasthof in Rhinow übernachtet, wo wohl auch der Apparat untergestellt war. Viele Augenzeugen berichteten noch Jahrzehnte später von den Flügen. Der Böttcher ARNDT erinnerte sich, bei so mancher Reparatur geholfen zu haben /32/. Als Helfer war auch in Rhinow noch Hugo EULITZ dabei. Ein weiterer

Techniker aus dieser Zeit namens RAUH erlangte später traurige Berühmtheit, als er mit einem nachgebauten LILIENTHAL-Apparat bei einer Schauvorführung auf einem Berliner See ins Wasser fiel.

Die Ergebnisse der Versuche wurden wieder in einem Jahresbericht veröffentlicht (Die Tragfähigkeit gewölbter Flächen beim praktischen Segelfluge ZfL 11/1893). LILIENTHAL stellte eine gute Übereinstimmung zwischen den Resultaten seiner Flugversuche und den im Buch beschriebenen Elementarversuchen fest. Für seine Apparate ging er davon aus, daß für eine gute Steuerbarkeit die Spannweite nicht über 7 Meter betragen sollte und die Flächentiefe nicht über 2,5 m. Der recht gedrungene Maihöhe-Rhinow-Apparat war offensichtlich um die Querachse schwer zu beherrschen. Bei genauer Auswertung der Rhinower Fotos kann man erkennen, daß LILIENTHAL, um dem zu begegnen, größere Stoffstücken an der Hinterkante im Bereich der 6. Rippe ausgeschnitten hat. Eine weitere kleine Änderung, die auf Fotos nur schwer zu erkennen ist, sollte die Spannung der Tragflächen verbessern. Die Profiltrute wurde um einige Zentimeter verlängert, so daß sie über die 1. Rippe hinausragte. Eine Spannschnur verlief vom Karabiner über diese Rute zur Spitze der 1. Rippe und straffte so die Außenkante. Bei den späteren Flugzeugen war die 1. Rippe nicht so stark vorgebogen und straffte beim Einklinken des Spanndrahtes die Randschnur.

Derartige Maßnahmen verdeutlichen, daß LILIENTHALs Flugzeuge immer auch Experimentierobjekte waren, an denen ständig gearbeitet wurde, um Verbesserungen der Flugeigenschaften zu erreichen. LILIENTHAL hat offenbar bereits 1893 Aufträge für den Bau und die Lieferung von Flugzeugen erhalten. In einem Brief vom 8.11.1893 schrieb er an den Flugzeugtechniker Alois WOLFMÜLLER in Schongau: „Die Veröffentlichungen, welche über meine Flugversuche erschienen sind haben überall großes Interesse erregt, so daß von mehreren Seiten mir die Herstellung von Segelapparaten übertragen wurde...“ und „...so habe ich die Apparate den Interessenten für 300 Mark geliefert.“/33/ Leider ist nicht bekannt, an wen die Lieferung erfolgte.

Ein Brief vom Ende des Jahres 1893, der erst kürzlich bekannt geworden ist, ergänzt unser Bild von LILIENTHAL um einen interessanten Aspekt. Auf die Einladung des Hauptmanns MOEDEBECK, vom Ehrenbreitstein über den Rhein zu fliegen, schrieb er: „Der Ehrenbreitstein ist verlockend und es wird mir Überwindung kosten, im Sommer den Flug dort nicht zu versuchen. Es müßte einen eigenen Reiz gewähren, über den Rhein durch die Luft dahinzusegeln. Ich werde mir die Sache noch überlegen...“/34/ Er war vorsichtig genug, es nicht zu tun, aber welchen Ruhm hätte ihm ein solcher Flug eingebracht.

Kleiner Schlagflügelapparat

Die erfolgreichen Gleitflugversuche waren nur eine Seite der flugtechnischen Aktivitäten LILIENTHALs im Jahre 1893. Nach wie vor war für ihn die Suche nach einem wirkungsvollen Vortriebsmittel zur Verlängerung der Flüge aktuell. Die Erfolge beim Gleitflug hatten sein Beharren auf dem Vogelflugprinzip bestätigt und so war es für ihn nur logisch, beim Flügelschlagprinzip zu bleiben. LILIENTHAL bezog aber auch die Antriebssysteme mit rotierender Bewegung in seine Überlegungen mit ein und teilte sie in 3 Hauptgruppen /35/:

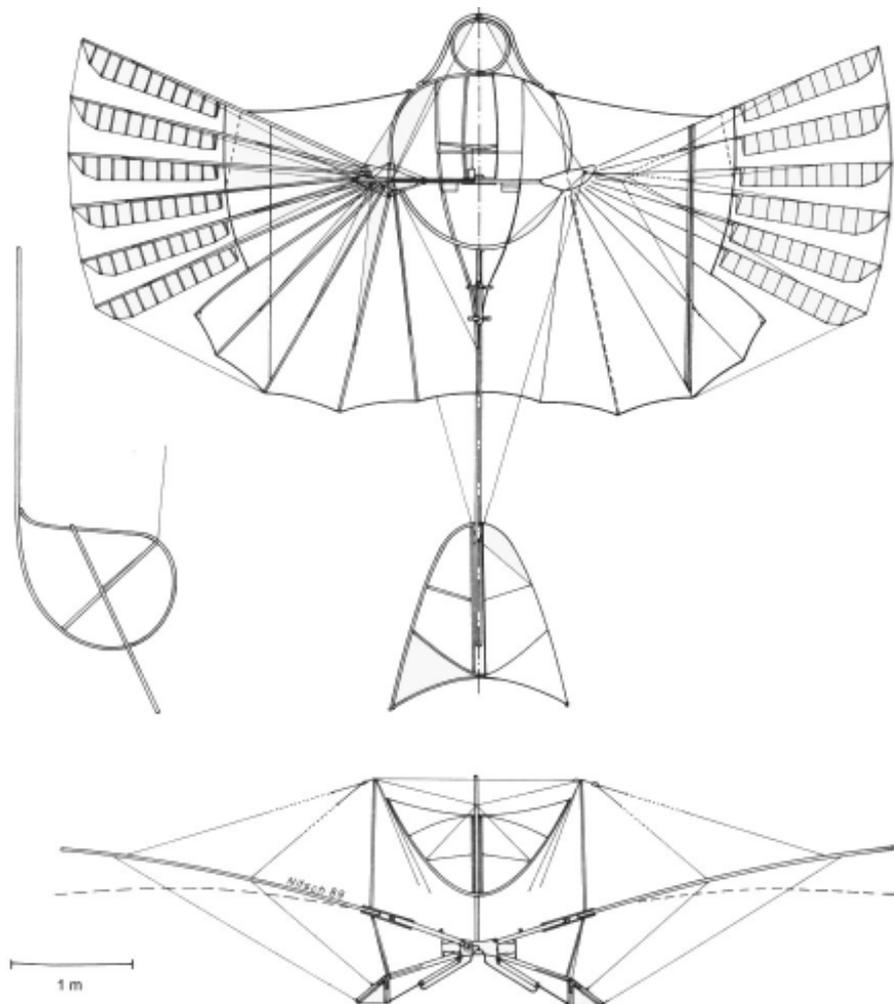
1. „Hebeschrauben, welche um vertikale Achsen rotieren und direkt hebend wirken...“, also das Hubschrauberprinzip. Ihm gab er neben dem Schlagprinzip noch die meiste Aussicht auf Erfolg. Es gibt sogar eine Skizze LILIENTHALs, die eine solche muskelkraftbetriebene Einrichtung mit zwei gegenläufigen Schrauben zeigt.

2. Vor- und Antriebssysteme mit Schaufelrädern: dieses Prinzip sah er als am wenigsten aussichtsreich an.

3. „Die durch Propeller angetriebenen Drachenflieger, schräg angestellte Tragflächen, welche durch Schrauben oder Schaufelräder vorwärtsgetrieben ... werden sollen.“ Vorteile sah er nur, wenn der Mechanismus rechts und links seitlich der Segelflächen angeordnet ist, da sonst die gleichmäßige Anströmung der Flächen gestört werden würde. Ein entsprechendes Projekt LILIENTHALs für eine Versuchsvorrichtung mit Schaufelradantrieb wird später besprochen. Trotzdem gab er dem Flügelschlagprinzip den Vorzug, da es von der Natur vorgeführt wird und weil derartige Systeme auch im Gleitflug benutzt werden können. Außerdem kann bei einem motorischen Antrieb die geradlinige Kolbenbewegung direkt für den Flügelschlag genutzt werden.

Parallel zu den Konstruktionen der Gleitflugzeuge liefen stets auch Projekte, diese durch Schlagmechanismen anzutreiben. Mehrere Zeichnungen zeigen die Überlegungen, zusammenlegbare Apparate mit Flügelschlagmechanismen auszurüsten. Am konkretesten war das Flugzeugpatent vom September 1893 (siehe Bild 27).

Im Sommer 1893 wurden diese Projekte durch den Bau eines ersten Schwingenflugzeuges realisiert.



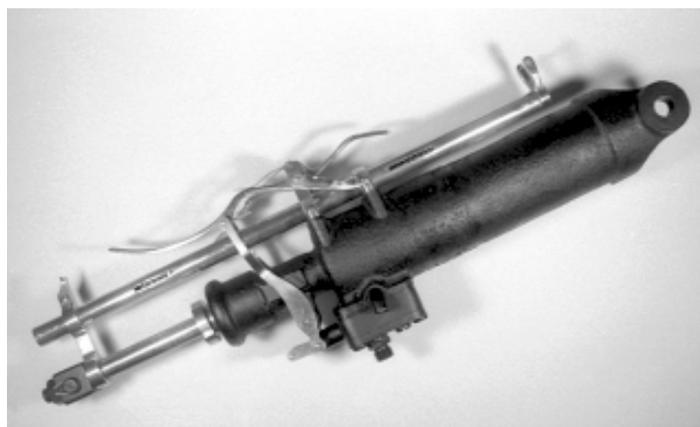
35
Rekonstruktion des
Kleinen Schlagflügel-
apparates von 1893 im
Zustand von 1896 mit
weiterentwickelten
Details, schmaleren
Schwingen und mit
dem 2. Kohlensäure-
motor
Spannweite 6,85 m
Länge 4,8 m
Fläche 12 m²
Gewicht
(Nachbau) 22 kg

Der Kleine Schlagflügelapparat (Bild 35) ähnelt im Grundaufbau den zusammenlegbaren Apparaten mit Holmkreuz, Gestellring und Leitwerk, hat jedoch 11 Flügelrippen. Die vorderen sechs laufen in einzelne „Schwungfedern“ aus. Der Apparat ähnelt so in seiner Flügelform dem Storch.

Die Schwungfedern sind getreu dem Punkt 27 der Konstruktionsgesichtspunkte nicht angelenkt, sondern Teil der tragenden Rippen. Auch sonst entspricht der Apparat genau den im Buch aufgestellten Grundsätzen. Er ist für den Gleitflug mit Start im Hangaufwind eingerichtet und soll diesen durch kraftvolles Niederschlagen der Schwungfedern verlängern. Als Antriebsmittel ist anfangs noch die Muskelkraft der Beine vorgesehen. LILIENTHAL erkannte jedoch sehr bald, daß die Beine zum Steuern benötigt werden und sah einen motorischen Antrieb vor. Die Suche nach leichten Motoren prägt die Bemühungen in der Luftfahrt zum Ende des 19. Jahrhunderts. Dampfmaschinen waren zu schwer und der Verbrennungsmotor noch nicht ausgereift.

LILIENTHAL war Experte für leichte Dampfmaschinen, in seiner Fabrik wurden sie in Serie gefertigt. Für seine Schlagflugzeuge hat er jedoch keine Dampfmaschinen konstruiert, zumindest sind keine Projekte bekannt. Er hielt das offensichtlich von vornherein für aussichtslos. Der für den Kleinen Schlagapparat vorgesehene Antrieb war ein Kohlensäure-Motor. Derartige Antriebe, die mit dem Druck komprimierter Kohlensäure arbeiten, waren damals recht verbreitet. Entsprechende Druckflaschen mit Kohlensäure waren handelsüblich. LILIENTHALS Techniker EULITZ gab an, den ersten derartigen Flugmotor 1893 konstruiert zu haben. Die Zeichnung wurde 1964 dem Deutschen Museum, München übergeben. Nach LILIENTHALS Angaben hatte der Motor ein Gewicht von 20 kg und war bei einer Leistung von 2 PS für eine 30 minütige Arbeitsdauer ausgelegt. Die Druckflaschen, anfangs waren zwei vorgesehen, später eine, faßten je 1 Liter bei 50 atm. In früheren Angaben sind mit 2 l 60 Hübe geplant und später werden bei nur 2 min Betriebsdauer 100 Flügelschläge angegeben. Diese Daten sind nicht unbedingt zuverlässig.

Der Nachbau des Motors (Bild 36) hat 5,5 kg Gewicht, mit Nebenteilen etwa 10 kg. Beim Test mit Druckluft von 0,65 MPa wurde keine Dauerfunktion erreicht, da für einen vollständigen Kolbenhub die Entspannung flüssiger Kohlensäure nötig ist.



36
*3-Takt-Dekompressions-
motor, angetrieben mit
komprimierter Kohlensäure,
nach LILIENTHAL
(Nachbau des Autors für das
Otto-Lilienthal-Museum in
Anklam)*

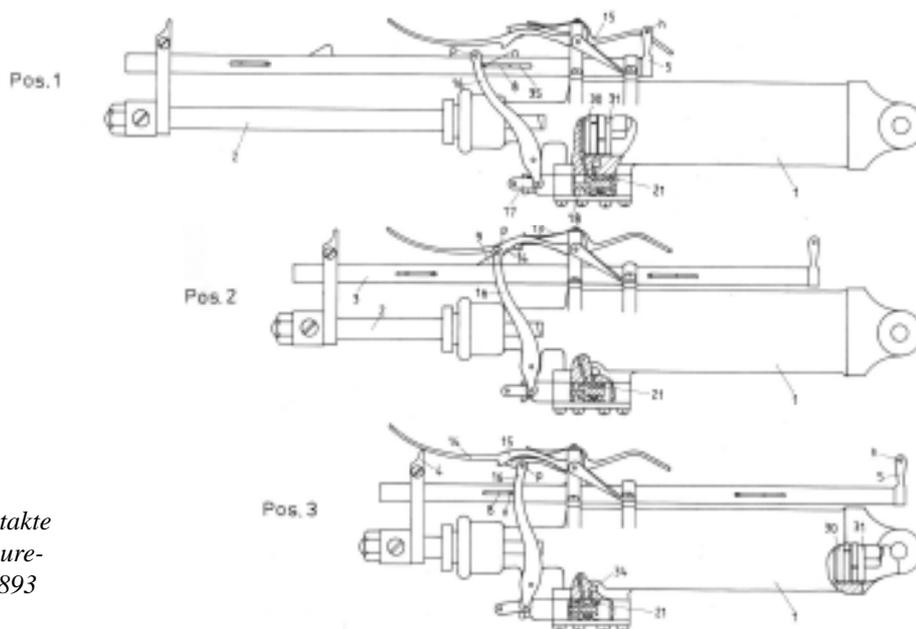
LILIENTHAL hatte anfangs vor, einen länger anhaltenden, gleichmäßigen Schwingenflug auszuführen, daher ist der Motor für Dauerbetrieb ausgelegt und verfügt über eine Repetiervorrichtung, welche die Schlagfolge unabhängig vom Piloten macht. Der Motor besteht aus einem gußeisernen Zylinder, der auf einer Seite offen ist. Der mehrteilige Kolben sitzt auf einer Kolbenstange, die auf der anderen Seite aus dem Zylinder herausragt. Über ein

Verbindungsstück ist dort eine Führungsstange befestigt, welche bei Bewegung der Kolbenstange die Repetiervorrichtung in Gang setzt. Sie wirkt auf ein Schubventil.

Der Motor ist vorn im Gestellring im Bereich der kurzen Längsträger angeordnet. Eine Achse verbindet ihn mit 2 Hilfsholmen, die sich gegen die Kreuzplatte des Holmkreuzes abstützen.

Die Druckflasche ist hinter dem Piloten angeordnet. Überlegungen, sie vorn anzubringen wurden von LILIENTHAL aufgegeben, da dann der Apparat zu kopflastig geworden wäre. An der Kolbenstange sind zwei Drahtseile befestigt. Sie verlaufen über Umlenkrollen zu den Winkelhebeln am unteren Ende des Holmkreuzes. Dort läuft die Unterverspannung der Rippen zusammen. Die Oberverspannung besteht an einigen Stellen aus Gummischnüren, so daß die Schlagflächen im Ruhezustand nach oben gezogen werden. Durch diesen Zug ist die Kolbenstange ganz herausgezogen. Eine Zugfeder verhindert das Ingangsetzen des Motors. Die Inbetriebnahme erfolgt über einen Ring am Griffholz, der mit dem Zeigefinger herangezogen wird. Über Schnüre und Winkelhebel wird die Repetiervorrichtung freigegeben.

Die 3 Arbeitstakte des Motors sollen an Bild 37 erläutert werden:



37
Die 3 Arbeitstakte
des Kohlensäure-
motors von 1893

- Einlaßtakt (Pos. 1)

Ein federbelasteter Stift (n) drückt auf den Ventilhebel (16). Die Ventilpfanne (21) wird dadurch so verschoben, daß der Einströmkanal frei liegt und die komprimierte Kohlensäure von der Druckleitung (nicht gezeichnet) über Ventilkammer und Einströmkanal in den Zylinder strömt und den Kolben (30,31) vorwärts bewegt.

- Dekompressionstakt (Pos. 2)

Die Führungsstange (3) macht die Bewegung des Kolbens mit und bewirkt über das Repetierhebelsystem ein Verschließen des Einströmkanals. Die im Zylinder (1) befindliche Kohlensäure entspannt sich und treibt den Kolben weiter. Dadurch wird der kontinuierliche Zug auf die Seile und der Niederschlag der Schlagflächen fortgesetzt.

- Auslaßtakt (Pos. 3)

Kurz vor dem Erreichen der Endposition des Kolbens bewirkt die Führungsstange erneut eine Verschiebung der Ventilpfanne. Durch den Zug der Gummiseile in der Oberverspannung und durch den im Flug von unten auf die Schlagflächen wirkenden Luftdruck wird die Kolben-

stange in die Ausgangsposition zurückgezogen, wobei die entspannte Kohlensäure über die Auslaßöffnungen (34) ausströmen kann.

Bei ständigem Zug auf den Auslösering werden diese Funktionen kontinuierlich fortgesetzt. Durch den abnehmenden Druck verringert sich jedoch schnell die Arbeitsgeschwindigkeit. Die für den Flügelschlag erforderlichen Kräfte sind durch den Formwiderstand der Rippen und die gestraffte Verspannung schon im Stand sehr hoch. LILIENTHAL hatte auch mit dem Motor Probleme. Sein Ziel war, 'den Apparat zunächst mit stillgehaltenen Flügeln als einfachen Segelapparat zu verwenden und wenn hierbei vollkommene Sicherheit erreicht wurde, die Flügelspitzen nur ganz kleine Hübe machen zu lassen, um auf diese Weise vom Segelflug schrittweise zum Ruderflug überzugehen.' So sollte ein horizontaler Flug erreicht werden, aus dem zum Kreisen übergegangen werden konnte. Der Motor vereiste jedoch bereits beim Probebetrieb und blockierte. Die Versuche konnten daher nicht wie geplant ablaufen.



38

Fotopose mit dem Kleinen Schlagflügelapparat am Rande der Lehmgrube neben dem Fliegeberg in Lichterfelde 1894

1894 schrieb LILIENTHAL, daß erste vorsichtige Gleitflugversuche mit dem Apparat erfolgreich waren (Bild 38) und nun mit vorsichtigen Flügelschlägen begonnen werden sollte. Hauptproblem war dabei wohl die Erhaltung der Gleichgewichtslage.

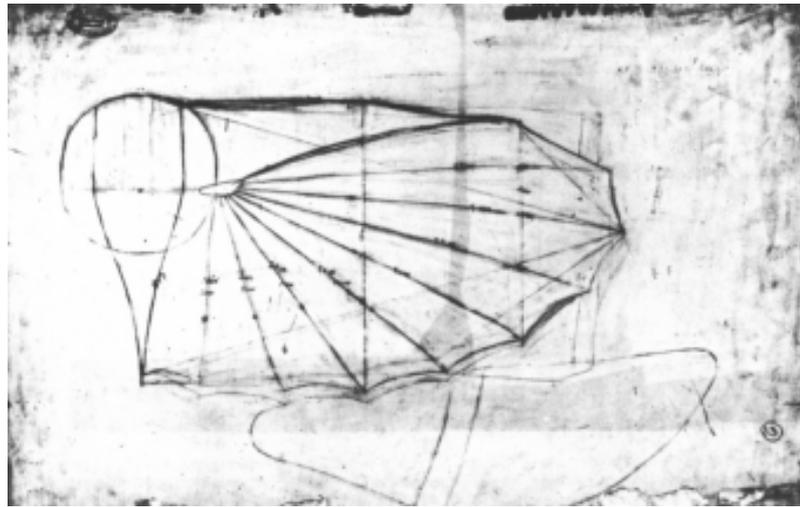
Die parallel zum Gleitflug laufenden Schwingenflugversuche scheinen auch 1895 wenig erfolgreich gewesen zu sein, denn in einem Brief vom 3.10.1895 schrieb er: „Auch mit dem beweglichen Apparate bin ich noch nicht fertig, so daß ich fürchte, ihn vor dem Winter kaum probieren zu können.“/36/ Möglicherweise ist hier auch bereits von neuen Projekten die Rede.

Projekt Großer Eindecker

Wie G. HALLE angibt, entstand wahrscheinlich noch im Herbst des Jahres 1893 das Projekt eines großen Eindeckers mit 8,4 m Spannweite und 18 Quadratmetern Fläche. Es existiert eine sorgfältige Zeichnung (Bild 39). Der Grundaufbau entspricht wieder dem gewohnten Muster mit Gestellring und Holmkreuz, die Rippen sind jedoch wesentlich länger als bei den bisherigen Apparaten. Außerdem ist hier, abweichend von der üblichen Form, eine verstärkte Vorderkante angedeutet. Sie wird durch eine zusätzliche 'Randrippe' gebildet und von den Profilen gespannt. Die Tragfläche erhält dadurch eine elliptische Form. Bei späteren Apparaten wurde dieses Detail auch realisiert. Ein Leitwerk ist nicht eingezeichnet. Ein solcher Apparat würde sich logisch einpassen in die Reihe der realisierten Fluggeräte: zunächst ein mittelgroßer, dann ein angetriebener Typ, hier ein besonders großer Apparat für schwachen Wind und später ein kleiner für starken Wind (Sturmflügelmodell s.u.). Trotzdem wurde dieses Pro-

39

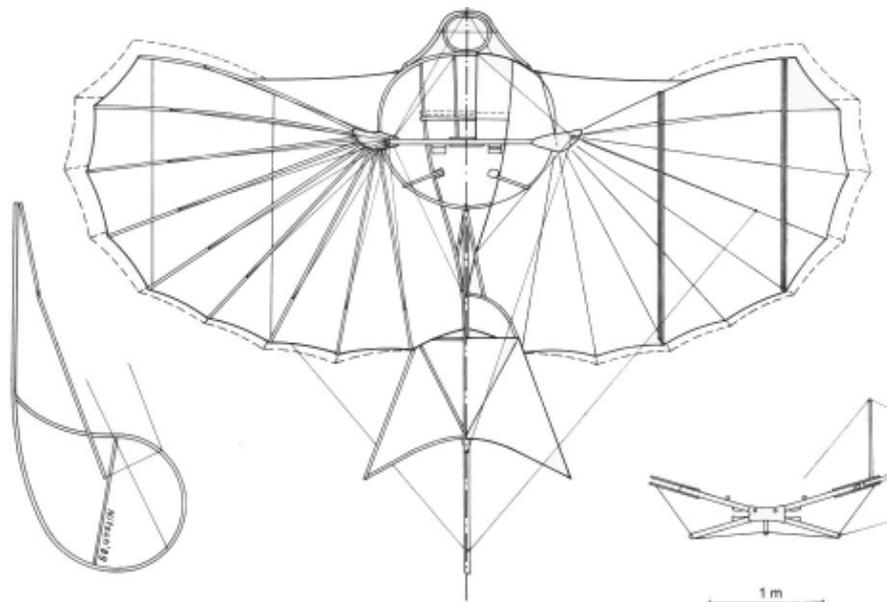
Entwurfzeichnung
Großer Eindecker
von 1893
Spannweite 8,4 m
Fläche 18 m²
(wahrscheinlich nicht
realisiert)



jekt nicht realisiert, denn LILIENTHAL schrieb in einem Brief vom 3.1.1895 (die Jahreszahl 1894 im Briefkopf ist der zu Jahresbeginn übliche Irrtum) an Wolfmüller eindeutig: „Ich habe jedoch bis jetzt noch mit der Anfertigung eines größeren Apparates gezögert. Derselbe macht auch mehr Schwierigkeiten in der Herstellung, weil die Weidenruten nicht in einem Stück so lang zu haben sind.“/37/ Eine spätere Realisierung des Projektes ist ebenfalls unwahrscheinlich, da 1895 ein anderer großer Apparat gebaut wurde, so daß dann keine Notwendigkeit für ein weiteres Schwachwindgerät bestand.

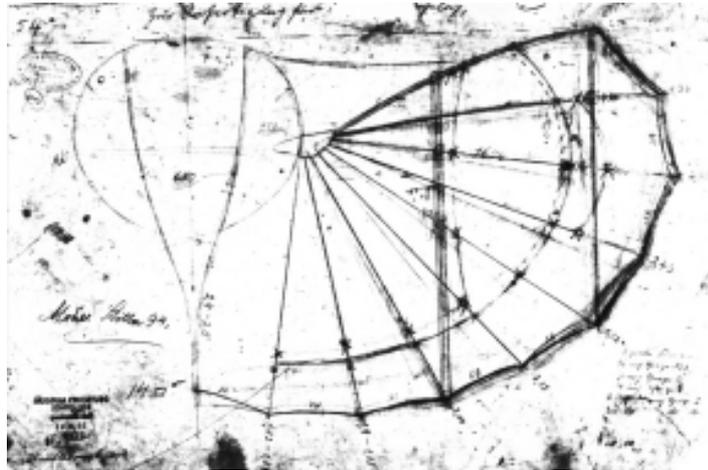
SEILERS Apparat / Modell Stölln

Im Winter 1893/94 entstanden zwei Flugzeugzeichnungen, die den Übergang zu einem lange abzusehenden Gerätetyp ankündigten. LILIENTHALs Standardeindecker nach dem bekannten Grundaufbau, aber mit 9 Rippen und 6,7 m Spannweite erschien hier zum ersten Mal. Auf beiden Zeichnungen ist kein Leitwerk dargestellt. Bei der Rekonstruktion (Bild 40) wird davon ausgegangen, daß für diese Apparate anfangs noch Leitwerke nach der Art des Maihöhe/Rhinow-Typs verwendet wurden. Spätere Fotos zeigen, daß LILIENTHAL häufig sogar ein Leitwerk für verschiedene Apparate verwendet hat.



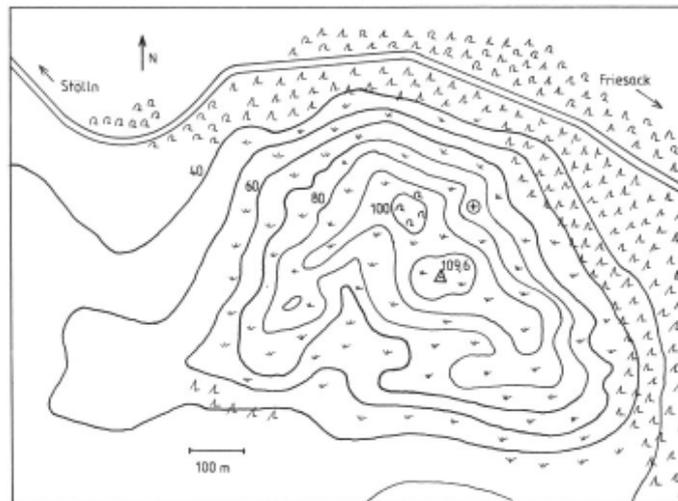
40

Rekonstruktion
Modell Stölln und
Seilers Apparat
(gestrichelt)
Spannweite 6,7/7,1 m
Länge ca. 4,9 m
Fläche 13/13,5 m²



41
Entwurfzeichnung
„Modell Stölln“ 1894

Die Notiz „Modell Stölln“ auf der einen Zeichnung (Bild 41) weist auf den Verwendungszweck des Apparates hin. Das Dorf Stölln liegt wenige Kilometer östlich von Rhinow. Dort befindet sich der Gollenberg (Bild 42), eine 60 m hohe eiszeitliche Erhebung, die nach allen



42
Gollenberg bei Stölln,
Flüge waren nach allen
Seiten möglich, in nördlicher
und östlicher Richtung
jedoch durch Wald begrenzt;
das Kreuz kennzeichnet die
Absturzstelle

Seiten steil in das ebene Umland abfällt. Dieser Berg kam LILIENTHALS Vorstellungen von einem idealen Flughügel sehr nahe. Zur damaligen Zeit waren die Hänge kaum bewaldet und nur mit Heidekraut bewachsen. Einige Birken auf dem Gipfel, die es auch heute noch gibt, waren weit über das Land zu sehen (Bild 43). Von dort gab es Startmöglichkeiten nach verschiedenen Seiten, je nach Windrichtung. Am günstigsten war der nordöstliche Hang.

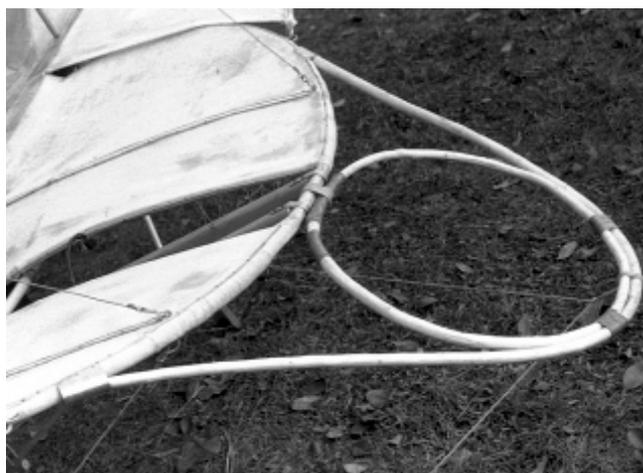


43
Blick vom Gollenberg nach
Nordwesten, links die Birken-
gruppe auf dem nördlichen
Gipfel

Ab 1894 übte LILIENTHAL hier, wann immer es ihm die Zeit erlaubte, denn in diesem Gelände gelangen die höchsten und weitesten Flüge.

Das „Modell Stölln“ war also für diese Übungen vorgesehen und wurde in Stölln stationiert, wo LILIENTHAL auch im Gasthof übernachtete, wenn er am Wochenende dort übte. Der Apparat verfügte wahrscheinlich als erster über Einrichtungen, die Experimente mit verschiedenen geformten Profilen zuließen. Metallklammern auf den Rippen ermöglichten das Einschieben von verschiedenen geformten umgekehrt-T-förmigen Profilschienen. LILIENTHAL experimentierte mit Profilen, die $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{20}$ der Tiefe als Höhe hatten. Die größte Höhe lag dabei anfangs im vorderen Bereich, später mehr in der Mitte. Auf die Geometrie der Profile wird später noch genauer eingegangen.

Bereits vor Ostern 1894 hatte LILIENTHAL bei derartigen Versuchen ein zur Mitte hin stärker gekrümmtes, der Kreislinie angenähertes Profil erprobt, als es zu einem gefährlichen Zwischenfall kam. Der Druckpunkt oder „Tragepunkt“ wie ihn LILIENTHAL nannte, lag weit vorn, vor dem Systemschwerpunkt, so daß er sich mit dem Oberkörper und mit den Beinen zur Gleichgewichtserhaltung weit nach hinten legen mußte. Dabei streckte er die Arme so weit, daß er sie im Ellbogen nicht mehr anwinkeln konnte, um sich aufzurichten. Damit lag der Schwerpunkt zu weit hinten, der Apparat erhielt einen extrem großen Anstellwinkel, schoß in die Höhe und kam in der Luft zum Stillstand, d.h. in den überzogenen Flugzustand. LILIENTHAL hatte Glück, der Apparat flog zunächst rückwärts und stürzte erst dann aus geringerer Höhe vorwärts zu Boden. LILIENTHAL schrieb dazu wenig später in einem Artikel: „Der Apparat war, so wunderbar es klingt, ganz unversehrt. Ich selbst sowohl wie mein Segelzeug waren gerettet worden, durch den elastischen Prellbügel, den ich wie durch eine höhere Fügung gerade zum ersten Male vorn am Apparate angebracht hatte. Der aus Weidenholz hergestellte Prellbügel selbst war vollkommen zersplittert, seine einzelnen Teile hatten sich fußtief in die Erde eingebohrt, so daß sie nur mit Anstrengung herausgezogen werden konnten.“^{38/} Als Gegenmaßnahme verlegte LILIENTHAL den Schwerpunkt weiter nach hinten, indem er das Griffholz zum Holmkreuz hin versetzte und Polster für die Oberarme anbrachte, um ein Hintenüberkippen zu vermeiden. Der beschriebene Prellbügel (Bild 44) war ein vor dem Gestell-

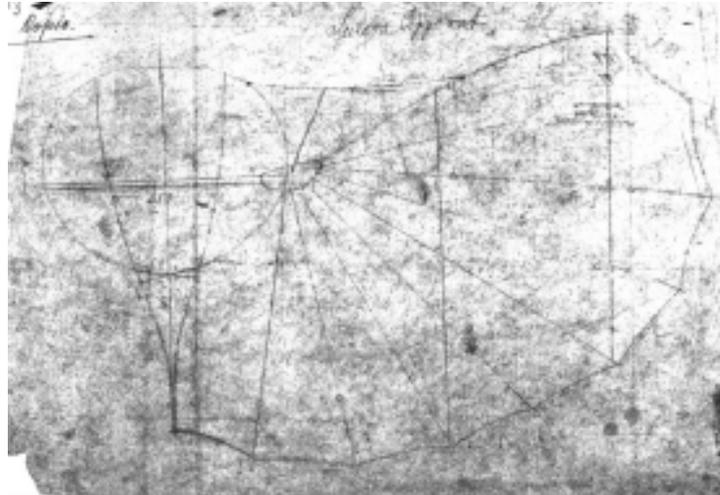


44
Prellbügel aus gebogenen Weidenruten zur Dämpfung von Stürzen (am Nachbau des Kleinen Schlagflügelapparates)

ring angebrachter Ring aus Weidenholz, der über einen Halbbogen rechts und links in Blechtaschen endete. Diesen Prellbügel empfahl LILIENTHAL später auch allen Käufern seiner Apparate. Er selbst verwendete ihn nur gelegentlich, bei riskanten Experimenten oder bei empfindlichen Apparaten. Bewährt hat er sich später auch bei einem harmloseren Sturz, der

durch vorn stark gewölbte Profile verursacht wurde und in der Presse für großes Aufsehen sorgte. LILIENTHAL empfahl daher aus Sicherheitsgründen die Verwendung weniger gewölbter Profile mit $1/18$ - $1/20$ der Tiefe als Höhe.

Die Umrisse der Zeichnung des Modells Stölln sind nahezu deckungsgleich mit denen auf dem Blatt „Seilers Apparat“ (Bild 45). Heinrich SEILER, für den dieser Apparat bestimmt war, galt bisher als erster Käufer eines Lilienthal-Flugzeuges. Es wurde jedoch bereits darauf



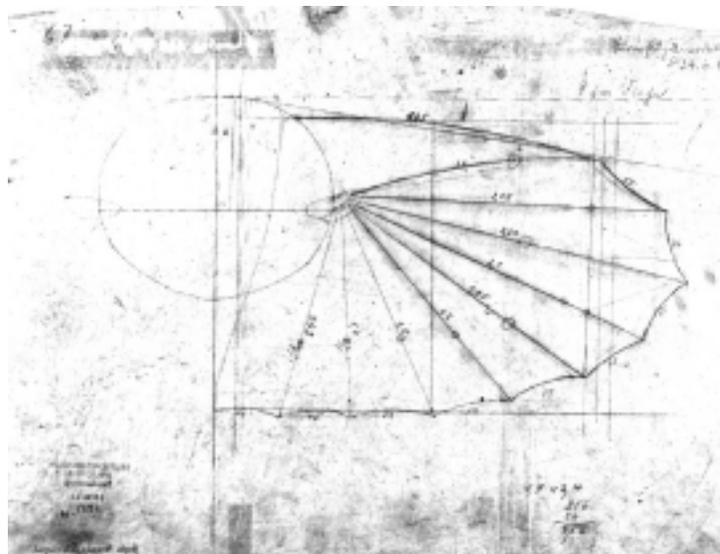
45
Entwurfzeichnung
„Seilers Apparat“ 1894

hingewiesen, daß wahrscheinlich schon Exemplare des Maihöhe/Rhinow-Typs verkauft worden sind.

SEILER wurde von LILIENTHAL in den Rhinower Bergen in den Gebrauch des Apparates eingewiesen. Augenzeugenberichten nach soll er sehr geschickt gewesen sein und seinen Lehrer in den Flugleistungen sogar übertroffen haben. Der Apparat wurde von SEILER 1924 in der Zeitschrift „Flugsport“ zum Verkauf angeboten, über den weiteren Verbleib ist nichts bekannt.

Sturmflügelmodell

Eine Entwurfszeichnung (Bild 46) mit dem Datum 24.4.94 und der Überschrift „Sturmflügelmodell“ weist darauf hin, daß im Frühjahr 1894 auch ein kleiner Apparat für Flüge bei starkem Wind gebaut wurde. Dieses Modell hatte wieder die mit einer Rute verstärkte Vorder-



46
Entwurfzeichnung
„Sturmflügelmodell“
1894

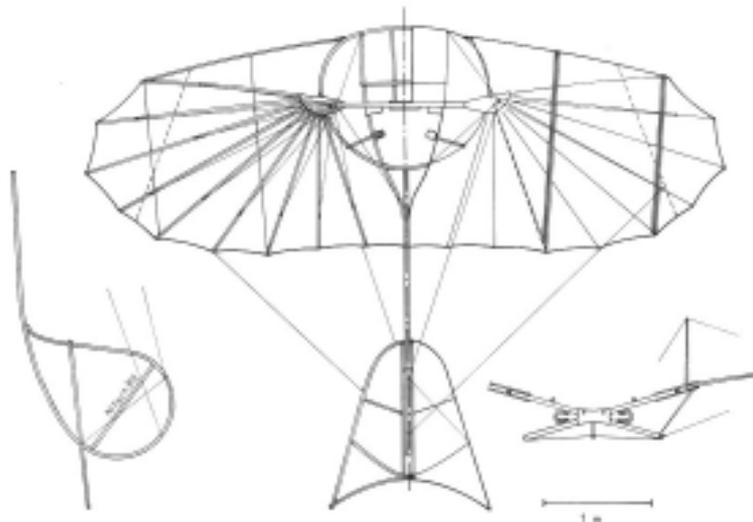
kante und damit den elliptischen Flügelgrundriß. Die Oberarmpolster waren hier von Anfang an vorhanden. Manschettenförmige Unterarmpolster und ein geschränktes Holmkreuz mit Kreuzplatte (Bild 47) hatte wohl schon das „Modell Stölln“ aber am Sturmflügelmodell sind

47
Holmkreuz der späteren Apparate mit geschränkten Holmen, Kreuzplatten und manschettenförmigen Unterarmpolstern; davor das Griffholz; hinten die Oberarmstützen (am Nachbau des Vorflügelapparates)



sie das erste Mal sicher nachweisbar. Der Apparat hatte wahrscheinlich kein eigenes Leitwerk, sondern wurde mit dem eines normalen Eindeckers geflogen. In der Rekonstruktionszeichnung (Bild 48) wurde daher ein ab Sommer 1894 verwendetes Kreuzsteuer gezeichnet.

48
Rekonstruktion des Sturmflügelmodells
Spannweite 6,0 m
Länge ca. 4,5 m
Fläche 9,7 m²



Der Apparat hat eine interessante Geschichte. Ab 1895 verwendete ihn LILIENTHAL im Kleinen Doppeldecker, darauf wird später noch eingegangen. 1898, nach LILIENTHALS Tod wurde er als Eindecker von Etrich, einem späteren Motorflugpionier gekauft. Ein Foto (Bild 49) zeigt das Gerät zusammen mit dem Großen Schlagflügelapparat in Etrichs Werkstatt

49
Werkstatt von ETRICH 1905 mit LILIENTHALS Sturmflügelmodell (hängend), dem Großen Schlagflügelapparat (hinten) und dem selbst entwickelten Zanon-Gleiter (vorn)



in Trautenau (heute Trutnov, CSSR). Später ging der Apparat in den Besitz des Technischen Museums Wien über, wo er viele Jahre ausgestellt war, es fehlten aber die Profilschienen, sie befinden sich im Deutschen Museum München. Ein nicht originales vergrößertes vertikales Leitwerk war wahrscheinlich schon von Etrich als Nachbau geliefert worden, es gehört nicht zu diesem Typ. 1988 wurde der Apparat wegen der stark gealterten Bespannung aus der Ausstellung herausgenommen und durch einen wenig originalgetreuen Nachbau ersetzt.

Normal-Segelapparat

Nach drei Jahren praktischer Flugversuche konnte LILIENTHAL im Frühsommer 1894 eine ausgereifte Flugzeugkonstruktion vorweisen - den Normal-Segelapparat. Dieser Eindecker-typ war das Ergebnis systematischer Entwicklungsarbeit, sowohl in konstruktiver, als auch in aerodynamischer Hinsicht. LILIENTHAL meinte, diesen, aus seiner Sicht sicheren und leicht zu beherrschenden Flugzeugtyp auch einem breiten fluginteressierten Publikum anbieten zu können, um so eine Flugsportbewegung in Gang zu setzen. Er hatte zeitweilig gehofft, mit der Produktion und dem Verkauf von Flugzeugen ausreichend Geld zum Leben zu verdienen. Auch wenn diese Erwartungen nicht erfüllt wurden, konnte LILIENTHAL doch mehrere Exemplare dieses Typs auch ins Ausland verkaufen, so daß der Normal-Segelapparat als das erste Serienflugzeug der Welt angesehen werden kann. Die Käufer (Übersicht 1) waren Flugforscher und Enthusiasten. Ein Apparat kostete nur 500 Mark und wurde in etwa einem Monat geliefert.

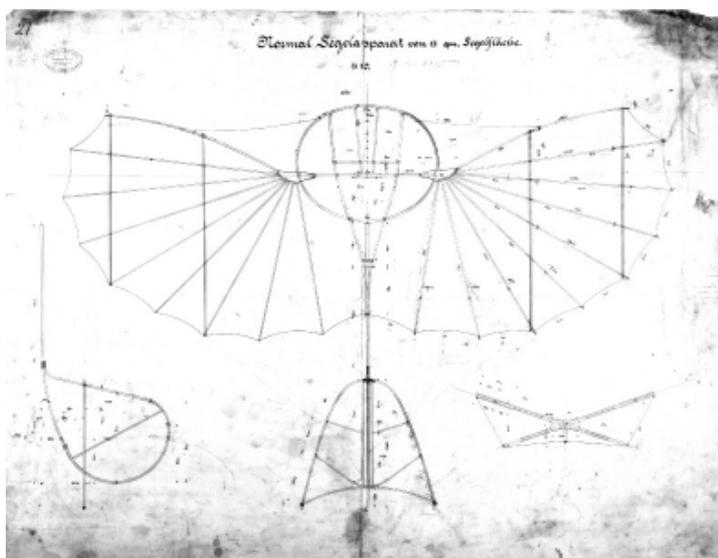
Übersicht 1:
Käufer von Normal-Apparaten (soweit bekannt)

<i>Jahr</i>	<i>Käufer</i>	<i>Land</i>	<i>Bemerkung</i>
1894	Seiler	Deutschland	Verkaufsannonce 1924 im »Flugsport«
1894	de Lambert	Frankreich	
1894	Wolfmüller	Deutschland	Steuerungsexperimente
1885	Frank	Österreich	Verwendung im Karlsbader Fliegerverein
1895	Fitzgerald	Irland	Erprobung als Drachen, Versuche durch Studenten
1895	Bennet	England	Verkauf an Pilcher; heute Science Museum London
1895	Brown	Schweiz	zeitweise im Deutschen Museum, München; ausgesondert
1896	Moskauer Universität	Rußland	heute im Shukowski-Museum, Moskau
1896	Hearst	USA	heute im National Air and Space Museum Washington D.C.

Als Normal-Apparate im erweiterten Sinne können alle zusammenlegbaren Eindecker unter 7 m Spannweite angesehen werden, (Übersicht 2) angefangen mit dem Maihöhe/Rhinow-Typ. Auf der Zeichnung des Modells Stölln kann als Notiz der Hinweis „zur Anfertigung für Normal-Apparate“ rekonstruiert werden. Nach dieser Zeichnung erfolgte also wahrscheinlich der Bau mehrerer Apparate. Später wurde dann die sorgfältige Bauzeichnung (Bild 50) mit der

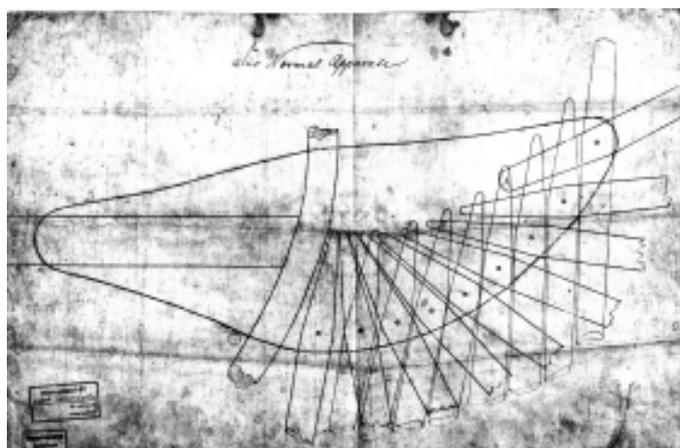
Übersicht 2: Lilienthals Normal-Apparate

Maihöhe-Rhinow-Apparat Seilers Apparat Modell Stölln Modell Lambert 7 weitere verkaufte Apparate Apparat mit Flicken im Gestellring Untere Tragfläche Großer Doppeldecker	} } } } } } }	Normal- Segel- Apparat	} } } } } } }	Normal- Apparate
---	---------------------------------	------------------------------	---------------------------------	---------------------



50
 Nachträgliche
 Bauzeichnung
 „Normal Segelapparat“
 von 1895

Überschrift „Normal Segelapparat“ und dem Datum 4.2.95 angefertigt. Dazu gehört auch eine Zeichnung der Gelenktasche (Bild 51).

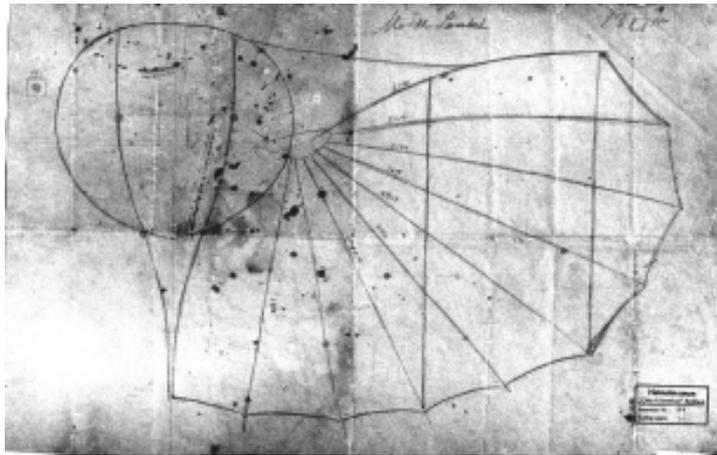


51
 Bauzeichnung
 Gelenktasche
 „Für Normal Apparate“

Es gibt noch eine weitere Zeichnung eines Normal-Segelapparates (Bild 52), der für den Compté de Lambert in Paris gebaut und im August 1894 ausgeliefert wurde. Die Flügelbreite ist hier etwas geringer als auf den anderen Zeichnungen.

52

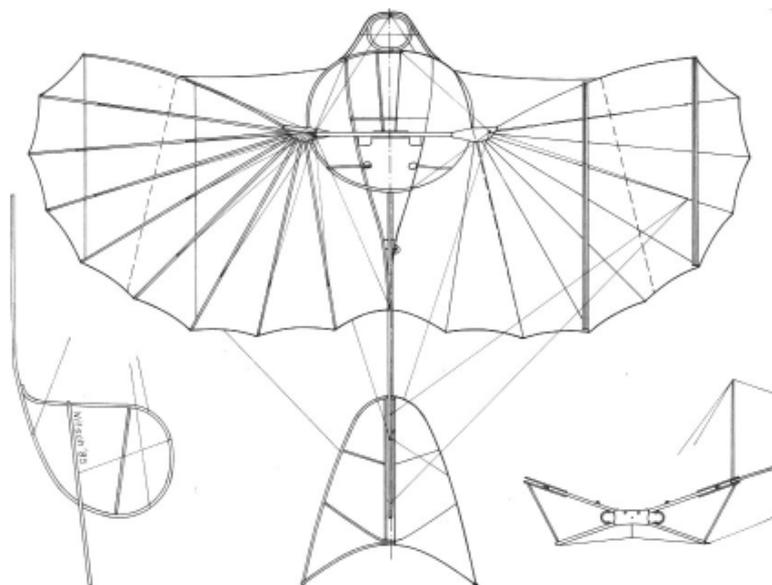
Entwurfzeichnung
„Modell Lambert“ 1894
Spannweite 6,7 m
Fläche 13 m²



Die Hauptmerkmale des Typs Normal-Segelapparat zeichneten sich bereits beim Modell Stölln ab: geschränktes Holmkreuz mit Kreuzplatte, Unterarmmanschetten, Oberarmpolster, 9 Flügelrippen und eine Spannweite um 6,7 m. Im Frühsommer 1894 kam eine weitere ausschlaggebende Neuerung hinzu. Die horizontale Leitwerksfläche wurde nach hinten verlegt, um ihre Wirksamkeit zu erhöhen. Wie auch heute noch bei den meisten Flugzeugen umschloß sie die vertikale Fläche als Kreuzsteuer. Ein Scharnier an der Vorderkante ermöglichte beim Landen ein Aufklappen nach oben, der Ausschlag nach unten war durch Schnüre begrenzt. (Bild 53)

53

Rekonstruktion des
Normal-Segelapparates
1894
Spannweite 6,7 m
Länge 5,3 m
Fläche 13,6 m²



Ein Problem beschäftigte LILIENTHAL ebenso wie die Verbesserung seiner Flugzeuge - die Suche nach einem geeigneten Fluggelände. Die Rhinower Berge und der Gollenberg waren günstig, aber zu weit entfernt. Sein Ideal war ein 30 m hoher, nach allen Seiten gleichmäßig abfallender künstlicher Hügel in der unmittelbaren Nähe Berlins. Die Errichtung eines solchen Flugsportzentrums überstieg aber seine finanziellen Mittel und er suchte bis zu seinem Tode einen Geldgeber für dieses Projekt.

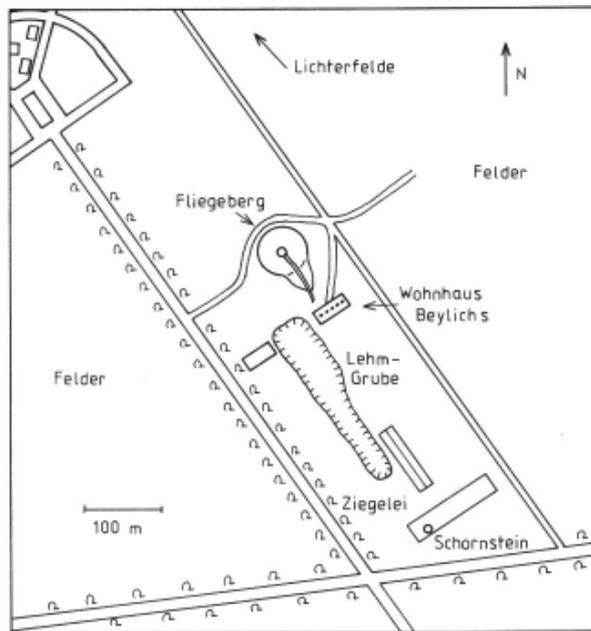
Als verkleinerte Variante des Wunschhügels entstand 1894 der Fliegeberg bei Lichterfelde. Aus dem Abraum einer Ziegelei ließ er sich einen 15 m hohen kegelförmigen Hügel aufschütten, dessen Spitze das rasenbedeckte Dach eines kleinen Schuppens zur Aufbewahrung der Flugzeuge war (Bild 54). Ganz oben lag ein großer flacher Stein als Standfläche. Von der

54

Abflug mit dem Normal-Segelapparat vom 15 m hohen Fliegeberg bei Lichterfelde im Sommer 1894



Südostseite her führte ein Pfad zu dem Schuppen auf der Spitze. Im Frühsommer 1894 wurde der Hügel fertig und LILIENTHAL konnte nun auch in der Woche Flugversuche machen. Der Berg lag damals inmitten von Feldern, nur im Südosten befanden sich die Lehmgrube und die



55

Lageskizze des Fliegeberges und der Ziegelei

Gebäude der Ziegelei (Bild 55). Der auf mehreren Fotos zu sehende Schornstein wurde erst 1983 gesprengt. Heute ist das Gelände um den Fliegeberg als Gedenkstätte gestaltet (Bild 56). Direkt am Fliegeberg wohnte Paul BEYLICH, LILIENTHALs neuer Techniker und Gehilfe. Er hatte den Hügel mitgebaut, hielt die Apparate instand und trug sie auch nach jedem Flug



56

Der Fliegeberg heute, abgestuft und als Gedenkstätte gestaltet

wieder mit nach oben, selbst geflogen ist er aber nie. BEYLICH baute auch die neuen Apparate in der Maschinenfabrik.

WEHR, ein Techniker, der als Volontair in LILIENTHALS Fabrik arbeitete, beschrieb den Raum, in dem die Flugzeuge gebaut wurden. Er war abgeschlossen und getrennt von den übrigen Werkstatträumen. Als WEHR einmal hineinschauen durfte war er beinahe enttäuscht. Nur Weidenruten und einige Ballen weißer Leinwand waren zu sehen, außerdem aber noch der in Bau befindliche Kleine Schlagapparat. WEHR war sehr interessiert an den Flugversuchen. Er hat LILIENTHAL einmal gebeten, mitwirken zu dürfen, wurde aber erstaunlich schroff abgewiesen.

1894 war LILIENTHAL durch seine Versuche bereits international als Flugtechniker bekannt. Zeitungen und Illustrierte in der ganzen Welt hatten Artikel und Fotos seiner Versuche gebracht. In Deutschland selbst und besonders in Berlin wurde er aber auch oft als Kuriosum angesehen und sogar verspottet. In Frankreich galt er als Artist und seine Flugzeuge wurden eher abwertend als lenkbare Fallschirme bezeichnet. (Bild 57)



57

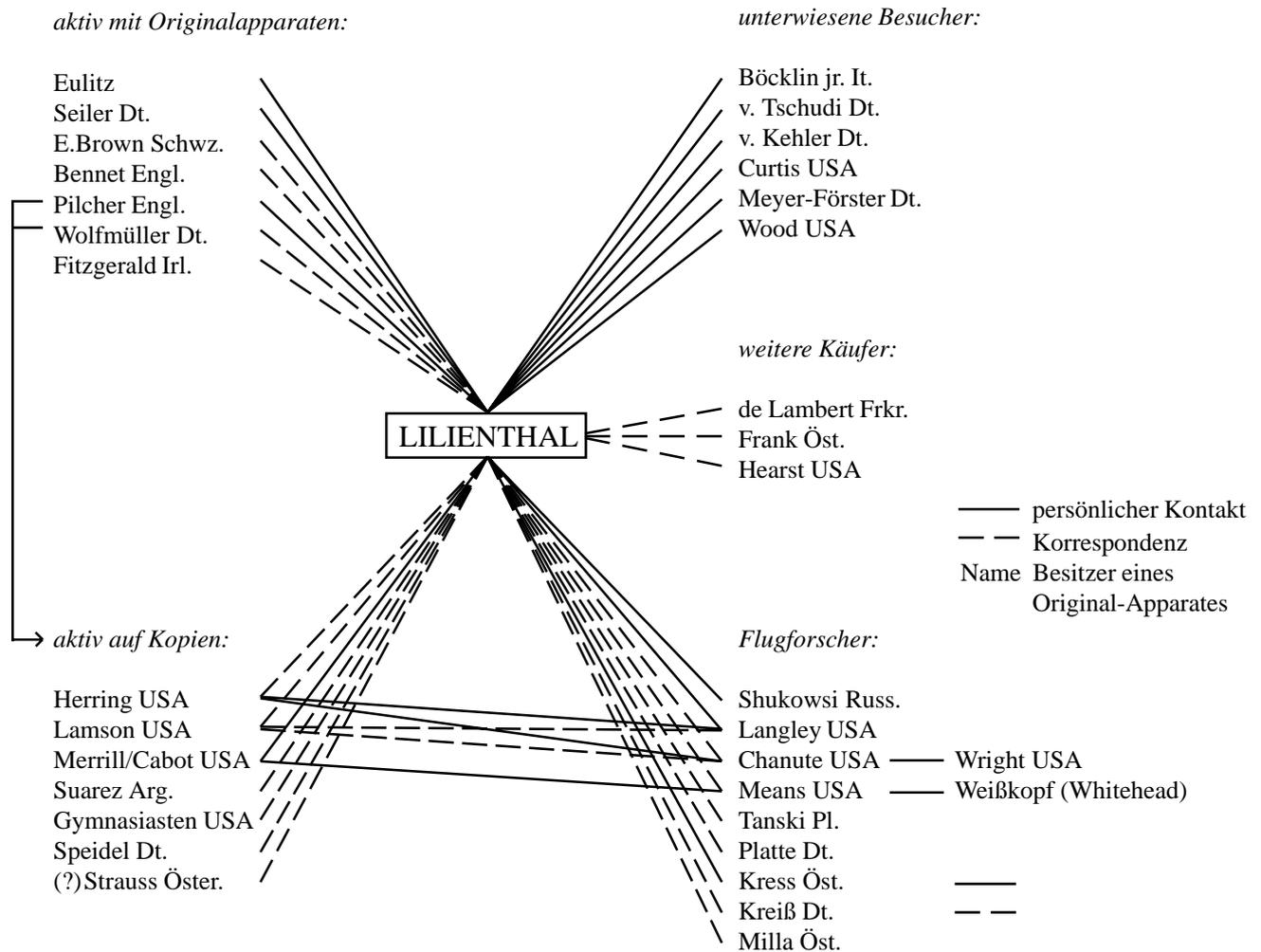
Der Normal-Segelapparat im Flug am Fliegeberg; dieser Apparat mit dem Flicker vorn im Gestellring und dem vergrößerten Leitwerk existiert als Fragment heute noch im Deutschen Museum, München

LILIENTHAL hatte eine breite Korrespondenz mit Flugtechnikern und Flugbegeisterten in der ganzen Welt (Übersicht 3). Er berichtete, daß ihm sogar eine Gruppe amerikanischer Schüler geschrieben habe. Es werden auch heute noch Briefe entdeckt, die das Bild seiner Aktivitäten oft in erstaunlicher Weise ergänzen. So wurde erst jetzt bekannt, daß es 1896 eine briefliche Abstimmung zwischen James MEANS in Boston (USA) und LILIENTHAL gab, nach der fünf ausgesuchte Amerikaner in Berlin im Bau und in der Verwendung von Normal Segelapparaten unterwiesen werden sollten. Ausgerüstet mit Segelapparaten sollten sie in den USA für eine Verbreitung des Flugsportes sorgen. /39/

LILIENTHAL hatte zahlreiche Besucher und Gäste, denen er am Fliegeberg seine Flugzeuge vorführte. Darunter waren auch einige damals sehr prominente Persönlichkeiten. Einige wichtige sollen hier genannt werden:

- Der amerikanische Professor LANGLEY beschäftigte sich in den USA wissenschaftlich mit dem Flugproblem und galt als einer der größten Fachleute auf diesem Gebiet. Nach seinem Besuch bei LILIENTHAL äußerte er sich recht herablassend über dessen Versuche. Er erkannte nicht, daß LILIENTHAL den einzig möglichen Weg zur Verwirklichung des Menschenfluges gefunden hatte, sondern machte den selben Fehler wie viele andere Flugforscher seiner Zeit. Er baute ein komplettes Motorflugzeug, das durch ein Katapult gestartet werden sollte. Der Versuch mißlang und es stürzte ins Wasser.

Übersicht 3: Lilienthals Beziehungen zu fluginteressierten Zeitgenossen



- Der russische Strömungstechniker N.J. SHUKOWSKI äußerte sich begeistert über die Flugversuche und kaufte bei LILIENTHAL einen Normal-Segelapparat, der heute noch im Shukowski-Museum in Moskau zu besichtigen ist. Ob Versuche mit diesem Apparat gemacht wurden ist nicht bekannt, aber es ist denkbar, daß der Gelehrte mit Schülern oder Studenten das Gerät erprobt hat. SHUKOWSKI hat besondere Verdienste bei der Entwicklung berechenbarer Profilformen.

- Ein besonderer Gast LILIENTHALS war der Maler Arnold BÖCKLIN. Er interessierte sich außerordentlich für das Flugproblem, seine Flugzeugkonstruktionen waren jedoch recht exotisch. Der Sohn des Malers machte am Fliegeberg einige Flugversuche.

- Ein besonders reger Erfahrungsaustausch erfolgte mit dem englischen Flugpionier Percy PILCHER, der LILIENTHAL zweimal besuchte und bei ihm das Fliegen lernte. Auf PILCHER wird später noch genauer eingegangen.

- Auch die deutschen Offiziere v. KEHLER und v. TSCHUDI, Angehörige des Berliner Luftschieferbataillons fanden den Weg zu LILIENTHALs Flughügel und wurden dort im Gleitflug unterwiesen.

- Der damals sehr bekannte Volksstückautor MEYER-FÖRSTER war bereits 1893 bei Versuchen in den Rhinower Bergen dabei und hat auch selbst einige Sprünge gemacht. Von ihm gibt es eine anschauliche Schilderung dieser Erlebnisse mit LILIENTHAL.

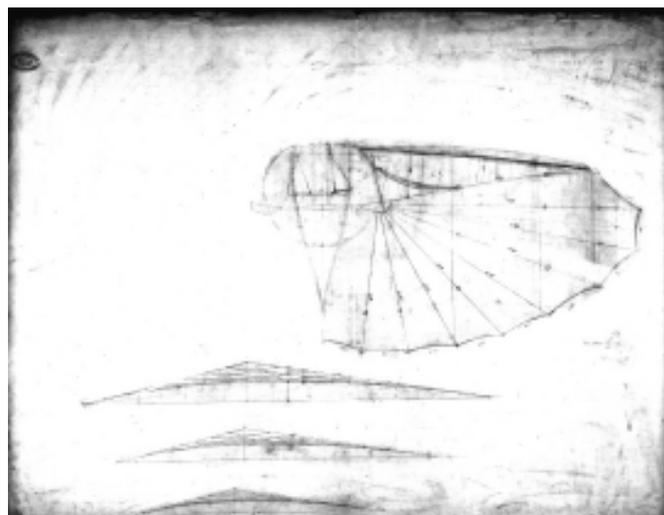
- Robert W. WOOD, ein namhafter Physiker besuchte LILIENTHAL kurz vor dessen Tode und machte in Stölln Flugversuche auf dem Großen Doppeldecker. Auch ihm verdanken wir eine begeisterte Schilderung dieser Erlebnisse.

Vorflügelapparat

Mit den Eindeckerversuchen der Jahre 1893/94 war eine Stufe erreicht worden, die so nicht weiter ausgebaut werden konnte. Daher richteten sich die Versuche 1895 vor allem darauf, die Flugleistungen zu verbessern. Da das anfangs durch Vergrößerung der Fläche geplant war, standen zunächst Experimente zur Verbesserung der Steuerung im Mittelpunkt.

Ab 1893 war der bayerische Flugtechniker Alois WOLFMÜLLER ein wichtiger Briefpartner LILIENTHALs. Er hatte 1894 einen Normal-Segelapparat erworben und Flugversuche damit gemacht. WOLFMÜLLER begnügte sich jedoch nicht damit, sondern begann mit eigenen Flugzeugkonstruktionen Experimente anzustellen, ebenfalls zur Verbesserung der Steuerbarkeit. So entstand ein reger Erfahrungsaustausch. Aus den erhalten gebliebenen Briefen LILIENTHALs kann man interessante Details zu den Versuchen entnehmen.

Zunächst teilte er im März 1895 mit: „Einen größeren Seglapparat von 20 qm Fläche, der aber nur bei Windstille sich anwenden läßt, habe ich gerade in Bau.“/40/ Die Entwurfzeichnung (Bild 58) ist erhalten geblieben, sie zeigt einen sehr großen Eindecker. Der Apparat weist eine

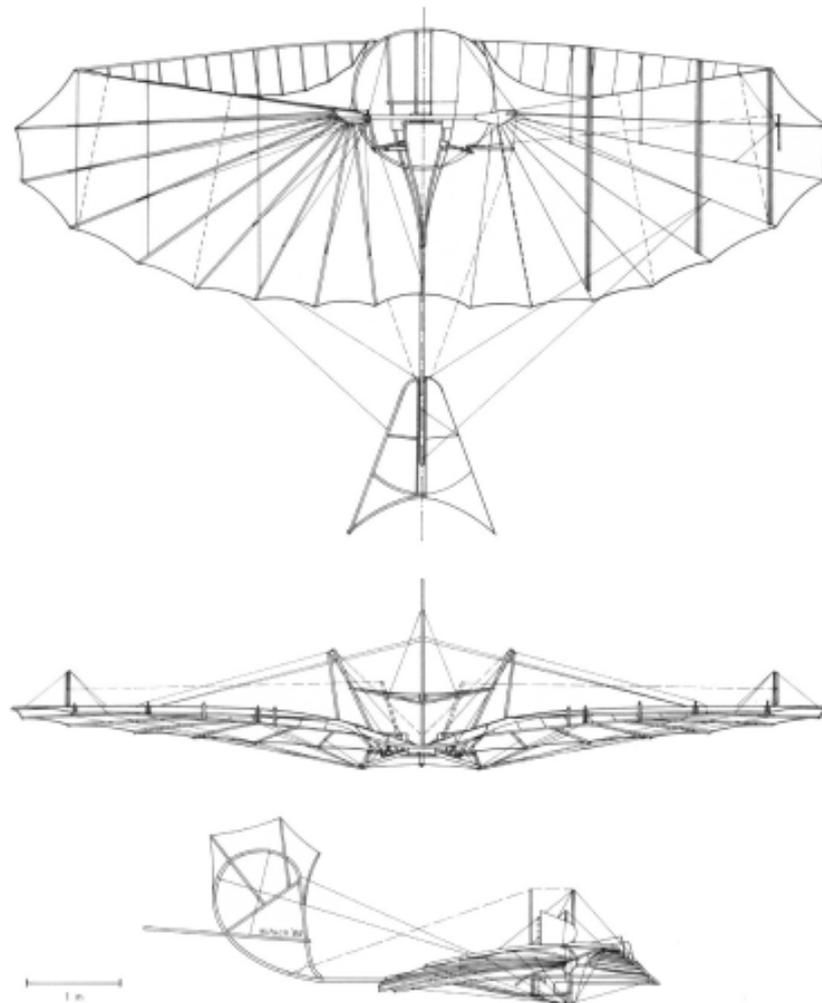


58
*Entwurfzeichnung
Vorflügelapparat mit
Profilkonstruktion*

besondere Neuerung auf. Die Vorderkante wird wie beim Sturmflügelmodell durch eine zusätzliche Rippe gebildet, die hier jedoch senkrechte Stäbe trägt und als Klappe ausgebildet ist. Diese Einrichtung hat dem Apparat später die wenig zutreffende Bezeichnung Vorflügelapparat eingebracht. Mit einem Vorflügel im modernen Sinn ist diese Klappe jedoch nicht

vergleichbar. Durch negative Anstellwinkel - LILIENTHAL nannte es Oberwind - kam es besonders beim Start, aber auch im Flug immer wieder zu gefährlichen Stürzen. Dem wollte er mit der Flügelklappe begegnen. Die Zeichnung läßt vermuten, daß ursprünglich an eine Betätigung der Klappe von den Händen aus gedacht war. Die Vorrichtung wurde dann so realisiert, daß die Klappe, vorgespannt durch Gummischnüre, erst bei genügender Anströmung der Fläche schloß. Bei negativen Anstellwinkeln oder Strömungsabriß sollte sie nach unten klappen und so den Apparat wieder vorn aufrichten. Die Wirkung erscheint zunächst recht logisch, doch in der Praxis hat sich die Einrichtung wohl kaum bewährt, denn in einer gestörten Fluglage wirkt sich der große Luftwiderstand der Klappen eher negativ aus. LILIENTHAL war jedoch so überzeugt von der Idee, daß er sie sich am 29.5.1895 noch vor der Erprobung patentieren ließ. Dabei spielte wohl auch eine Rolle, daß er den Apparat am selben Tag den Mitgliedern des Vereins zur Förderung der Luftschiffahrt als besondere Neuerung vorstellen wollte. Auch der Kleine Schlagflügelapparat war zu besichtigen, unbestätigten Angaben zufolge sogar mit laufendem Motor. Im Flug vorgeführt wurde jedoch nur ein Normal-Segelapparat.

In den ersten Sommermonaten 1895 hatte LILIENTHAL nicht viel Zeit, sich den Versuchen mit dem neuen Apparat zu widmen, aber ab August wurden zahlreiche Experimente durchgeführt. Der Apparat (Bild 59/60) war offenbar von Anfang an für die verschiedenen Steuerungsversuche ausgelegt, denn das Hebelsystem (Bild 61) zur Anlenkung ist bereits auf einem Foto vom 29.5.1895 erkennbar. Es war im Bereich der Hüften angeordnet und bestand aus zwei



59
Rekonstruktion des
Vorflügelapparates
1895

Spannweite 8,8 m
Länge 5,6 m
Fläche 19 m²

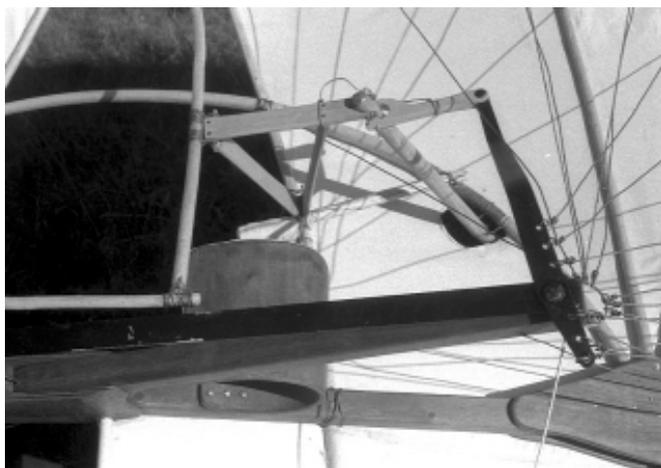
60

*Der Vorflügelapparat
auf dem Gipfel des
Fliegeberges;
das Gerät war nur bei
Windstille sicher zu
handhaben*



61

*Das Steuergestell am Nach-
bau des Vorflügelapparates;
die unter der Fläche befind-
lichen Hebel wurden bei der
Schwerpunktsteuerung mit
den Hüften bewegt;
der durch die Fläche ragende
Steuerhebel überträgt die Be-
wegungen auf Seitenleitwerk
und Steuerflächen;
der schwarze Hebel rechts
bewirkt über die Spanndrähte
eine Verwindung*



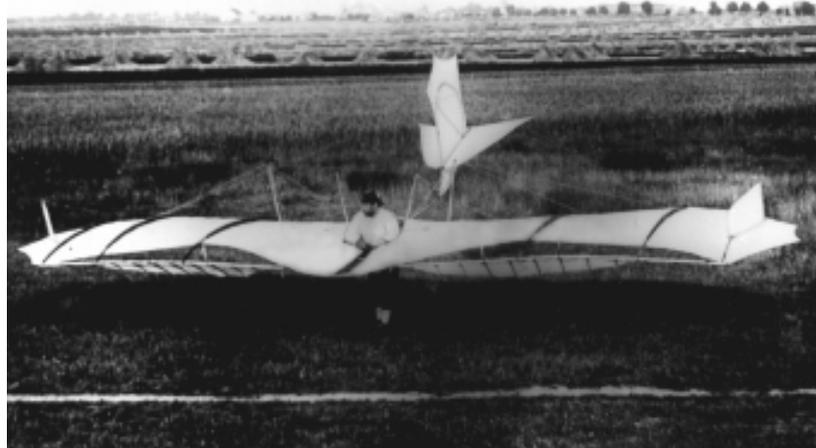
nach hinten aufwärts gebogenen Ruten, die im Bereich des Leitwerkträgers zusammenliefen. Vor dem Körper des Fliegers waren sie durch eine Querstange verbunden. Gelenkig gelagerte Winkelhebel verbanden dieses Gestell rechts und links mit den Längsträgern. Zwei lange Hebelarme ragten von dort nach oben durch die Fläche. Auf Fotos wirken sie wie zwei zusätzliche, schräg stehende Spanntürme. Drückten nun die Hüften bei der Schwerpunktsteuerung gegen dieses Gestell, so bewirkte dies eine gegensinnige Bewegung der Hebelarme.

Der Nachbau hat gezeigt, daß die Hebelarme nicht um einen Drehpunkt schwenken, sondern sich mehr auf und ab bewegen. Zunächst wurde damit der 'Schweif nach rechts und links drehbar gemacht', also eine Seiten ruderfunktion des Leitwerkes erprobt. Die Bewegung der Hebelarme wurde dazu über Schnüre auf das Leitwerk übertragen. Diese Schnüre verliefen von den Spanntürmen über die Steuerhebel zum unteren Teil des Leitwerkes. Die übliche Anordnung des Leitwerkträgers war für diesen Zweck zu starr. Daher endete die Stange nicht am Gestellring, sondern bereits an dem Punkt, wo die Längsträger und die Ruten des Lenkgestells zusammenliefen. Hier war die Stange wahrscheinlich auf einem Zapfen drehbar gelagert. Erfolgte nun eine Bewegung des Unterkörpers nach rechts, z.B. um ein Anheben der rechten Seite auszugleichen, so bewirkte das über das Hebelsystem auch eine Seitenruderbewegung nach rechts, was die Steuerwirkung verstärkte. Durch den langen Hebelarm zum Drehpunkt des Leitwerkträgers war der Ruderausschlag jedoch recht gering.

Um die Wirkung noch zu erhöhen, hatte LILIENTHAL ein normales Seitenleitwerk durch Rippen und Spannstoff nach oben vergrößert. Ein zweites fast identisches Leitwerk wurde ab 1895, auch am Normal-Segelapparat verwendet (siehe Bild 57), ohne, daß jedoch Steuerungsexperimente damit gemacht wurden.

Das vergrößerte Leitwerk mit verkürztem Leitwerkträger gelangte später zu ETRICH (siehe Bild 49), wo es wahrscheinlich kopiert wurde, denn ein Nachbau des zu kurzen vergrößerten Leitwerkes findet sich am Sturmflügelmodell wieder. Das zweite Exemplar kam ins Deutsche Museum, wo es bis in die Zeit des 2. Weltkrieges an einem falsch zusammengestellten Doppeldecker ausgestellt war.

Ein weiterer interessanter Steuerungsversuch ist durch Fotos belegt, die der russische Fotograf PREOBRASHENSKI im Sommer 1895 am Fliegeberg gemacht hat (Bild 62).

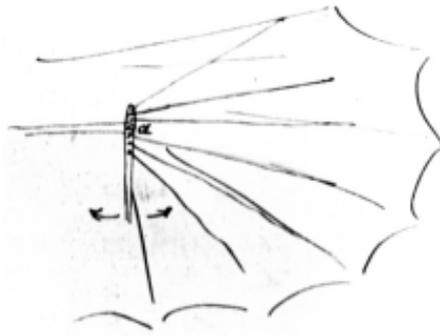


62
*Der Vorflügelapparat
1895 am Fuße des
Fliegeberges mit
kleinen angelenkten
Steuerflächen auf den
Tragflächen*

An den äußeren Profilschienen waren kleine vertikale Flächen angebracht, die sich wie Windfahnen um kurze Spanntürme drehen konnten. Ein Schnurzug führte vom vorderen Rand zu den Hebelarmen, die zu diesem Zweck gekürzt und nach innen versetzt worden waren. Beim normalen Flug richteten sich diese Flächen nach dem Wind aus. Erfolgte eine Körperbewegung z.B. nach rechts, so wurde über Hebel und Schnurzug die rechte Steuerfläche nach innen gedreht, die linke blieb unbeeinflusst. LILIENTHAL schrieb an WOLFMÜLLER: „Ferner habe ich an jeder Flügelspitze eine Fläche angebracht welche ich durch Schnurzug aufrichten kann, um die voreilende Flügelspitze zurückzubringen.“/41/ Da er vom Aufrichten der Fläche schrieb, ist es möglich, daß neben der im Foto erkennbaren Einrichtung auch mit noch einfacheren Widerstandsflächen experimentiert wurde.

Eine dritte Steuerungsmaßnahme beschrieb LILIENTHAL so: „Als einfachste Methode, die Tragfähigkeit der beiden Flügel auszugleichen, empfehle ich die Flügel um ihre Längsachse drehbar zu machen.“/42/ Nachdem ihm WOLFMÜLLER von seinen Versuchen in dieser Richtung berichtet hatte, schrieb er: „Eine ähnliche Anordnung, wie Sie, habe ich auch zum Bewegen oder Drehen der Flügel gemacht, indem die äußeren Spanndrähte nach verschiedenen Punkten eines Hebels gehen, der am unteren Fußpunkt gelagert ist und dadurch den ihnen zukommenden Hub erhalten, damit das Flügelprofil die richtige Drehung macht.“/43/ (Bild 63) Diese Einrichtung wurde wahrscheinlich direkt vom Steuergestell über Umlenkhebel betätigt (siehe Bild 61). Bei einer Ausgleichbewegung nach rechts mußte der linke Spanndraht- hebel angezogen werden, um die linke Fläche stärker anzustellen.

Es handelt sich hier bereits um eine Flügelverwindung, für die später die Brüder Wright Urheberrechte beanspruchten, ohne jedoch diese Versuche LILIENTHALs zu kennen.



Mit den Versuchen am Vorflügelapparat hat LILIENTHAL also bereits alle modernen Steuerungsmethoden erprobt: die Verwindung als einfache Querrudersteuerung, das Seitenruder und die Klappensteuerung bei einigen Nurflüglern. Auf Pläne, das Höhenleitwerk anzulenken, wird später noch eingegangen. LILIENTHALs Steuerungsversuche hatten jedoch keinen Einfluß auf die spätere Motorflugentwicklung da sie von ihm nicht publiziert wurden. LILIENTHAL hat auch verschiedene Sitzvorrichtungen erprobt. Es soll sogar ein Foto geben, das PILCHER bei seinem Besuch im Juni 1895 mit einem Eindecker und einer schaukelähnlichen Sitzvorrichtung zeigt /44/.

Insgesamt waren die Ergebnisse der Versuche nicht zufriedenstellend und LILIENTHAL schrieb an WOLFMÜLLER: „So recht bin ich von diesen Neuerungen aber nicht eingenommen, denn wenn der Körper recht frei ist, um den Schwerpunkt zu verschieben, so kann man schließlich mehr auf einfache Weise erreichen.“/45/

Für die einfachen Gleiter LILIENTHALs war die Steuerung durch Schwerpunktverschiebung mit Sicherheit die beste Methode.

Profile/Modelle/Experimente

In den Jahren bis 1894 verwendete LILIENTHAL bei seinen Versuchen Profile, ‘welche nach vorn zu stärker gekrümmt waren, meist in einer nach Gutdünken entworfenen Linie’. Bei normalen Anstellwinkeln lag der Druckpunkt etwa bei 1/10 der größten Flügeltiefe vor der Flächenmitte. An diesem Punkt wurde also auch der Körper des Fliegers angeordnet.

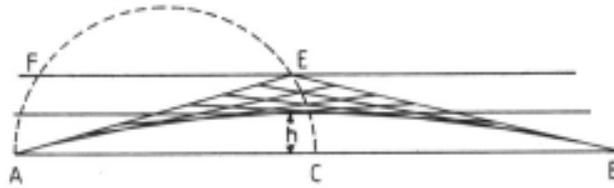
Anfang 1894 begann LILIENTHAL, sich eingehender mit der Form der Profile seiner Apparate zu beschäftigen, um ihre Wirkung zu verbessern. Er stellte fest, daß die nach vorn zu stärker gekrümmten Parabelprofile bei seinen dünn ausgeführten Flächen ungünstiger waren als kreisbogenförmige Parabelprofile. Auch die Flügelprofile der Vögel wiesen nach seiner Meinung im Flug diese Form auf.

In einem Artikel legte er 1895 die Ergebnisse dieser Untersuchungen und die Berechnungen schlüssig dar und ging auf die Konstruktion derartiger Profile ein:

„Die Konstruktion der Parabel geschieht am Besten durch Ziehen der Tangenten. Der Parabelbogen AB in Bild 64 von der Höhe h, dessen Parabelscheitel in A liegt, hat in seinen Endpunkten die Tangenten AE und EB. Der Punkt E liegt um $2h$ von der Sehne entfernt und gleichzeitig auf dem Halbkreise über der halben Sehne AC. Teilt man AE und EB in gleichviel Teile und verbindet die homologen Teilpunkte, so umschreiben die Verbindungslinien als Tangenten eine Parabel AB, die ihren Scheitel in A und AE als Scheitelordinatenachse hat. Aus dieser Konstruktion geht nun hervor, daß es noch eine zweite Parabellinie geben muß, welche

64

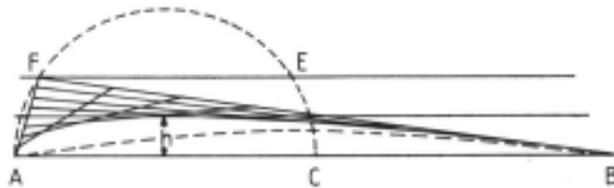
Profilkonstruktion
LILIENTHALs über
kreisbogenförmige
Parabeln



ebenfalls den Scheitel A und die Profilhöhe h besitzt. Die Begrenzungstangenten sind dann, wie in Bild 65 gezeichnet, AF und FB. Diese Parabel hat aber einen sehr kleinen Parameter und hebt in A sehr steil an, so daß ein Anschmiegen der zuströmenden Luft wenigstens beim horizontalen Segeln nicht eintreten könnte. Gleich hinter dem Vorderrande würden sich unter der Fläche starke Wirbel bilden, so daß eine dünne, nach dieser Form hergestellte Segelfläche unvorteilhafte Resultate geben müßte. Denken wir uns jedoch die Segelfläche in größerer

65

Konstruktion eines dicken,
vorn steil ansteigenden
Parabelprofils
(gestrichelt: die ebenfalls
profilierter Unterseite)



Dicke hergestellt und zwar an der Unterseite nach einem anderen Parabelprofil, etwa wie punktiert angedeutet, so wird die Wirbelbildung vermieden, was den Segeleffekt erhöhen muß.“/46/

Die letzten Sätze sind sehr bedeutungsvoll, denn sie orientieren bereits auf beidseitige Profile, wie sie erst viel später im Flugzeugbau angewendet wurden.

LILIENTHAL legte besonderen Wert auf eine glatte Oberseite, da die Saugwirkung oben mehr Bedeutung hat als die Druckwirkung auf der Unterseite. Seine Apparate waren daher auch stets von oben bespannt. Die ersten Versuche mit den Kreisbogenprofilen fanden im Frühjahr 1894 statt. Der bei diesen Profilen weiter hinten liegende Druckpunkt führte zum erwähnten Unfall, weil das Modell Stölln mit der üblichen Schwerpunktlage die Neigung hatte, nach vorn zu kippen. Erst als der Schwerpunkt auf $1/20$ der Tiefe vor der Mitte zurückgenommen wurde, brachten diese Profile günstigere Flugergebnisse.

Versuche zur Profilhöhe zeigten, daß die beste Tragewirkung bei $1/12$ der Profiltiefe erreicht wird. Bei diesen Profilen kommt es jedoch leicht zum Überkippen in negative Anstellwinkel. Daher gab LILIENTHAL Profilen mit $1/15$ bis $1/18$ den Vorzug.

Für LILIENTHAL gab es auch nach langjährigen Flugversuchen noch immer zahlreiche Unklarheiten über den Einfluß verschiedener Parameter des Vogelflügels. Besonders interessierten ihn solche Faktoren wie die Umrißform des Flügels, die Verdickung der Flügelvorderkante und die Federstruktur. Die Wirkung dieser Faktoren konnte er jedoch kaum an Versuchseinrichtungen untersuchen, da die Meßmittel zu seiner Zeit in der Genauigkeit unzureichend waren und weil sich die Faktoren auch gegenseitig beeinflussen. 1895 begann er daher systematische Versuche mit sehr einfachen freifliegenden Modellen durchzuführen.

Die Modelle waren aus Zeichenkarton, 10 cm tief und 50 cm breit, hatten vorn ein kleines Trimmgewicht und hinten eine Feder als horizontales Leitwerk (Bild 66). Bei Windstille wurden sie von einem erhöhten Punkt aus gestartet, Flugweite und -dauer wurden registriert. Das arithmetische Mittel aus mehreren Versuchen konnte mit dem gleichartiger Modelle aber mit anderem Profil verglichen werden, um so die günstigsten Formen zu ermitteln. LILIENTHAL war so begeistert von dieser einfachen Methode und der Flugstabilität seiner Modelle, daß er sie zur Nachahmung empfahl.

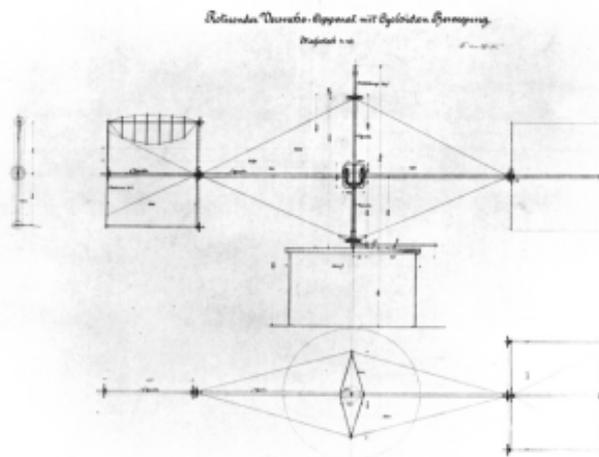
66

Einfaches Eindeckermodell aus Zeichenkarton mit einer Feder als Leitwerk, auf diese Weise wurden auch Doppeldecker gebaut



Auch mit Doppeldeckermodellen wurden Versuche durchgeführt. Sie erwiesen sich als besonders flugstabil, so daß diese Flächenform bald auch auf große Apparate übertragen wurde.

Neben diesen Versuchen hat LILIENTHAL ganz sicher zahlreiche andere Experimente durchgeführt, über die nichts bekannt wurde, weil er sie in seinen Artikeln nicht erwähnt hat oder weil die Unterlagen nicht erhalten geblieben sind. Erst vor kurzer Zeit wurde man auf ein Projekt aufmerksam, das durch mehrere Zeichnungen dokumentiert ist.



67

Rundlaufgerät zur Messung der Auftriebskräfte an Flächen, die um mehrere Achsen rotieren

Die Zeichnungen (Bild 67) zeigen mit erstaunlicher Präzision einen Rundlaufapparat für Versuche mit umlaufenden Flächen. Die Einrichtung ist um drei Achsen drehbar. Wie bei den früheren Rundlaufapparaten rotieren zwei waagerechte Arme um eine senkrechte Achse. Außen sind hier jedoch weitere Mechanismen angebracht. Ein rechteckiger Rahmen auf beiden Seiten trägt je zwei Versuchsflächen, die sich wie der Rahmen um waagerechte Achsen drehen.

Die Funktion kann wie folgt erklärt werden: Ein nicht gezeichneter Antriebsmechanismus bewirkt über Riemenscheiben eine Rotation um die senkrechte Achse. Ein Zahnradgetriebe in der Mitte bewirkt gleichzeitig die gegenläufige Rotation der waagerechten Arme und der daran befindlichen Rahmen. Über Ketten an den Rahmen werden außerdem die Versuchsflächen

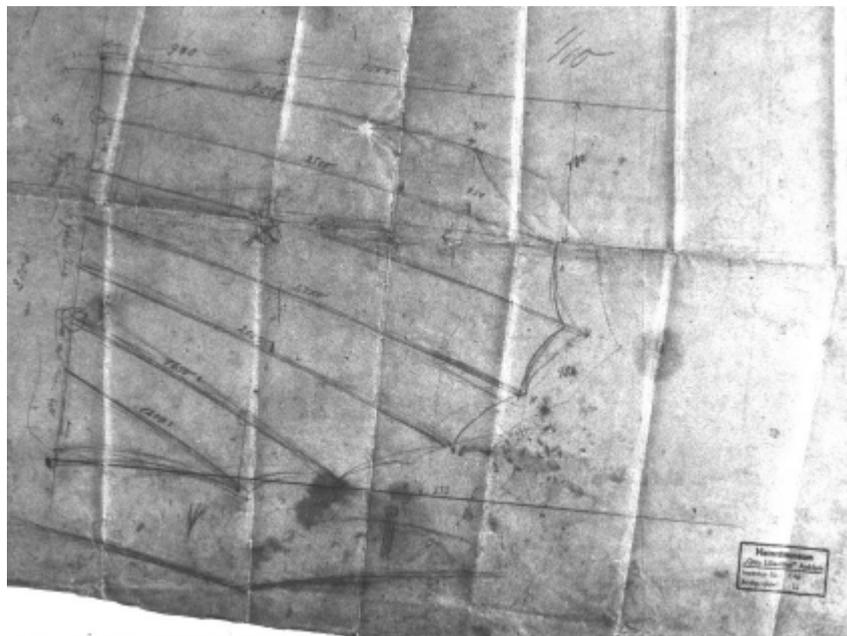
um ihre Längsachse gedreht. Diese Bewegung erfolgt so, daß die Flächen bei der Abwärtsbewegung einen hohen und aufwärts einen geringen Luftwiderstand erzeugen. Die Auftriebswirkung kann über einen unten vorgesehenen Hebelarm gemessen werden.

Mit dieser Einrichtung wollte LILIENTHAL offenbar die Wirkung umlaufend schlagender Flächen erproben, um sie als Vortriebsmechanismus zu nutzen. Ein solcher Antrieb ließe sich außen an den Flügeln anbringen und würde auch im Gleitflug den Luftwiderstand nicht wesentlich erhöhen. Das Prinzip war nicht ganz neu, ähnliche Antriebe wurden schon vorher von Professor WELLNER aus Brünn vorgeschlagen, jedoch ohne zusätzliche tragende Flächen. Das mit 29.1.95 datierte Projekt ist wahrscheinlich ausgeführt worden. Die Ergebnisse waren aber offensichtlich unbefriedigend, denn sie wirkten sich nicht auf spätere Flugzeugprojekte aus.

Kleiner Doppeldecker

In einem Artikel im Herbst 1895 gibt LILIENTHAL zwei Wege an, auf denen er hofft, die Flugleistungen zu verbessern: die Fortsetzung der Flügelschlagversuche und Gleitflüge bei höheren Windgeschwindigkeiten. Er glaubt, daß bei Wind von 10 m/s dauerhafte Segelflüge möglich sind. Bei solchen Geschwindigkeiten sind Normalsegelapparate jedoch nicht mehr durch das Körpergewicht steuerbar, kleinere Apparate liefern nicht genug Auftrieb und die Steuermechanismen des Vorflügelapparates haben sich nicht bewährt. „Es kam mir deshalb der Gedanke, zwei kleinere Tragflächen übereinander anzubringen, welche beim Durchsegeln der Luft beide hebend wirken. Es muß dann dasselbe Resultat sich ergeben, als wenn eine einzige Fläche die doppelte Tragfähigkeit besitzt, aber wegen ihrer Kleinheit den Schwerpunktsveränderungen genügend gehorcht“./47/

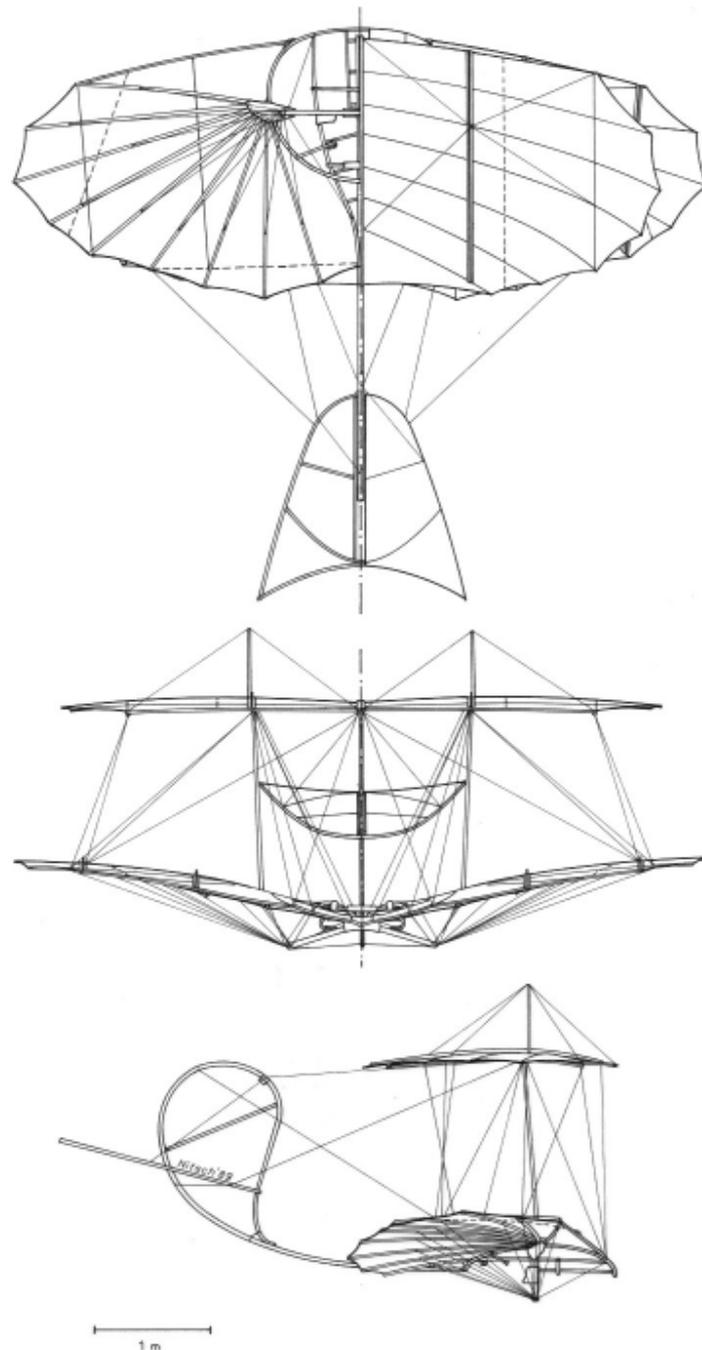
Nach den erfolgversprechenden Versuchen mit Doppeldeckermodellen kombinierte LILIENTHAL sein kleinstes Flugzeug, das Sturmflügelmodell, mit einer neu angefertigten oberen Tragfläche. Die zugehörige Entwurfzeichnung (Bild 68) wurde von Dr. WAßERMANN erst kürzlich im Nachlaß von Paul BEYLICH wiederentdeckt und für das Otto-Lilienthal-Museum Anklam erworben. Zwei verlängerte Spanntürme stützten die obere Fläche gegen die untere ab, sie wurden durch eine pyramidenförmige Schnurverspannung gesichert.



68
Entwurfzeichnung
Kleiner Doppeldecker,
die untere Tragfläche
(Sturmflügelmodell)
ist nur angedeutet

Die obere Tragfläche war nicht zusammenlegbar, sie konnte nur in der Mitte auseinandergenommen werden. Die Profilierung erfolgte außen durch von unten aufgebundene Profiliruten und innen durch zwei Profilschienen, an die zwischen der 3. und 4. Rippe Blechhütchen zum Aufstecken auf den Spannturm befestigt waren. An den Längsträgern in der Mitte waren die Rippen mit Zapfverbindungen befestigt.

Ein Besucher, der österreichische Flugpionier KRESS, kritisierte die Stabilität dieser Konstruktion, wahrscheinlich nicht ganz zu Unrecht. Auch am Sturmflügelmodell wurden einige Änderungen vorgenommen. Die 7. bis 9. Rippe wurde durch Schäften verlängert, um den Apparat etwas tiefer zu machen. An der dadurch entstandenen Stoffnaht nahe der Hinterkante kann der Kleine Doppeldecker leicht vom Großen unterschieden werden. Außerdem wurde hinter dem Rücken des Fliegers eine gepolsterte Strebe angebracht. Der Apparat konnte so vor dem Start besser gehalten werden, denn durch die obere Tragfläche entstand ein zusätzliches Kippmoment nach hinten. (Bild 69)



69
 Rekonstruktion des
 Kleinen Doppeldeckers
 1895
 Spannweite oben 5,2 m
 unten 6,0 m
 Länge 4,9 m
 Fläche 19,5 m²

Bereits nach den ersten Versuchen im August 1895 war LILIENTHAL begeistert von diesem Apparat. Er ließ sich genauso handhaben wie die Eindecker, die obere Fläche hatte keine zurücktreibende Wirkung und auch bei 10 m/s Wind war er noch sicher zu beherrschen. „Dieses lieferte denn auch die interessantesten Ergebnisse meiner sämtlichen bisherigen Flugversuche. Schon bei 6 bis 7 Meter Windgeschwindigkeit kann ich fast horizontal von der Spitze meines Hügels ohne Anlauf absegeln. Bei größerer Windstärke lasse ich mich von der Bergspitze einfach abheben und segle dem Winde langsam entgegen. Die Flugbahn ist bei zunehmendem Winde oft stark aufwärts gerichtet. Am Gipfelpunkt einer solchen Fluglinie kommt der Apparat oft längere Zeit zum Stillstand, sodaß ich oben in der Luft mit den Herren, die mich zu fotografieren wünschen ... über die zur Aufnahme geeignetste Stellung verhandeln kann.“/48/ (Bild 70)



70
*Kleiner Doppeldecker im
Flug am Fliegeberg 1895*

Großer Doppeldecker

„Ich habe dann noch einen größeren Doppelapparat von zusammen 25 qm Segelfläche angefertigt. Derselbe bewährt sich bei ruhigem Wetter sehr gut, ist aber bei seinen 7 Metern Spannweite in stärkerem Wind wiederum schwer zu regieren.“/49/ Dies ist der einzige Hinweis LILIENTHALS auf seinen großen Doppeldecker. G. HALLE versuchte in seiner Abhandlung über LILIENTHALS Flugzeugkonstruktionen unter Bezug auf diese Aussagen die zugehörigen Fotos zu deuten. Er war aber an vielen Stellen unsicher und geriet in verschiedene Wider-

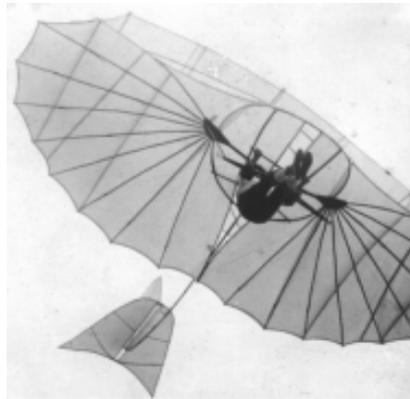


71
*Landung mit dem
Großen Doppeldecker
am Fliegeberg 1895*

sprüche. Das hat bis in die jüngste Zeit zur allgemeinen Verwirrung bei den Bildunterschriften der Doppeldeckerfotos geführt. Die hier und im vorangegangenen Kapitel angeführten Fakten ermöglichen eine eindeutige Unterscheidung und Zuordnung. Unabhängig vom Autor beschäftigte sich im Deutschen Museum, München L. LÖFFLER mit der Zuordnung der Doppeldecker und kam zu den selben Ergebnissen.

Der Große Doppeldecker wurde wahrscheinlich im September 1895 komplett neu angefertigt. Eine Entwurfzeichnung ist nicht bekannt. Die untere Tragfläche entsprach fast dem Normal-Segelapparat. Die Flächentiefe war jedoch etwas geringer, etwa wie beim Modell Lambert und die 1. Rippe war kürzer. Die obere Tragfläche entsprach der des Kleinen Doppeldeckers, jedoch bei erheblich größerer Spannweite. Das Leitwerk war ebenfalls neu und nicht so stark angezogen wie beim Kleinen Doppeldecker.

Vom Großen Doppeldecker gibt es viele sehr attraktive Fotos, die man überall in der Luftfahrtliteratur wiederfindet (Bild 71). Ein Foto (Bild 72), das den Apparat fast genau von unten zeigt, hat die Rekonstruktion (Bild 73) sehr erleichtert. Beim genauen Hinsehen erkennt man



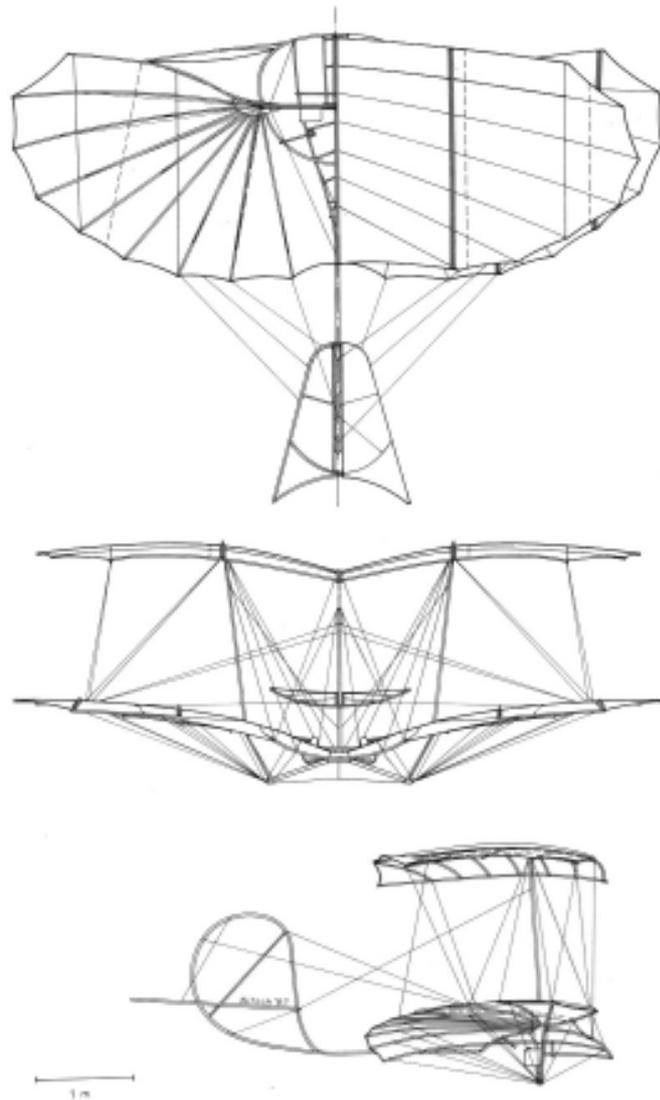
72

*Der Große Doppeldecker im
Flug, fast genau von unten*

darauf auch ein Detail, welches beim Aufbauen das Einklinken der Karabinerhaken erleichterte. „Zum Anziehen der Haken bedient man sich der Schnur, die in der Mitte des vorderen Bügels befestigt ist.“/50/

Wahrscheinlich im Frühjahr 1896 wurde der Große Doppeldecker nach Stölln gebracht. Die Flüge am Gollenberg mit diesem Apparat waren wohl LILIENTHALs erfolgreichste. Einem Besucher, dem Amerikaner R.W. WOOD verdanken wir eine sehr eindrucksvolle Schilderung dieser Versuche und mehrere Fotos. Am 2. August 1895, also genau eine Woche vor LILIENTHALs Todessturz war er mit in Stölln und hat auch einige Flüge auf dem Doppeldecker gemacht. Er war so begeistert, daß er einen Apparat kaufen wollte. Da LILIENTHAL aber nur Eindecker verkaufte, sollte wohl am darauffolgenden Sonntag mit einem solchen geübt werden. Wahrscheinlich war in Stölln aber nur der Doppeldecker. Es ist daher anzunehmen, daß BEYLICH, als er am Samstag, dem 8.8. vorausfuhr, den Auftrag hatte, die untere Tragfläche des Doppeldeckers als Eindecker zu montieren. WOOD war am 9.8.1895 jedoch verhindert und LILIENTHAL fuhr allein nach Stölln.

Gegen Mittag, nach einem gelungenen Flug kam es zu dem tragischen Unglücksfall. Der Apparat wurde in etwa 30 m Höhe von einer starken thermischen Ablösung erfaßt und nach oben gerissen, so daß er in der Luft zum Stillstand kam. Als LILIENTHAL die Beine nach vorn warf, um die Böe auszugleichen, war diese schon vorbei, der Apparat kippte seitlich nach vorn und stürzte senkrecht zu Boden, wo er mit der rechten Fläche zuerst aufschlug. Ein Prellbügel hätte also diesen Sturz nicht mildern können.



73

Rekonstruktion des
Großen Doppeldeckers
1895

Spannweite

oben 6,2 m,

unten 6,6 m

Länge 4,8 m

Fläche 24 m²

LILIENTHAL hatte den dritten Halswirbel gebrochen und wurde bald ohnmächtig. Die Nacht verbrachte er noch im Gasthof in Stölln. Am 10.8. wurde er unter primitivsten Bedingungen nach Berlin überführt, wo er gegen Abend verstarb.

Der Apparat war zur Überprüfung der Unglücksumstände ebenfalls nach Berlin gebracht worden. Die auf dem Fabrikgelände aufgenommenen Fotos (Bild 74) erlauben keine eindeutige Identifizierung der unteren Tragfläche des Doppeldeckers. Auf Veranlassung des Bruders



74

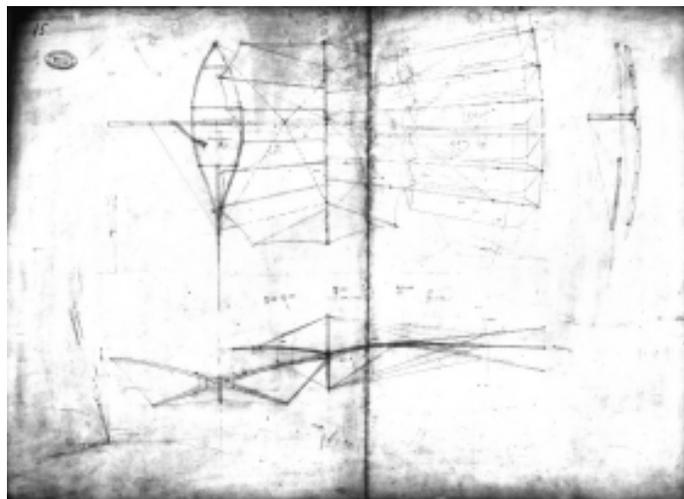
Der Absturzapparat auf
dem Berliner Fabrikhof

Gustav LILIENTHAL wurde der Apparat verbrannt. Das wäre eine Erklärung dafür, daß der Große Doppeldecker seither verschollen ist.

Als das Deutsche Museum in München 1904 den Großen Doppeldecker kaufen wollte, erhielt es einen vielfach am Fliegeberg fotografierten Normal-Segelapparat, der leicht durch einen großen Flecken im Gestellring zu identifizieren ist (siehe Bild 57) und die obere Tragfläche des Kleinen Doppeldeckers. Zusammen mit einem vergrößerten Leitwerk wurde daraus ein Doppeldecker neu zusammengestellt. 1958 entstand ein genauer Nachbau dieses falsch zusammengestellten Apparates weil der alte zu brüchig geworden war (die Überreste der unteren Tragfläche wurden 1989 wiederentdeckt und konserviert). Erst durch die Nachforschungen von L. LÖFFLER und H. HOLZER im Deutschen Museum und parallel dazu vom Autor wurde der falsche Aufbau bemerkt. Die untere Tragfläche wird jetzt durch einen originalgetreuen Nachbau des Sturmflügelmodells ersetzt, so daß der Kleine Doppeldecker neu entsteht.

Projekt Kippflügel-Schlagapparat

Eine sehr detailliert ausgeführte aber bisher wenig beachtete Entwurfzeichnung (Bild 75) zeigt einen Schlagflügelapparat mit untypischem Aufbau. Der Gestellring fehlt, dafür sind oval angeordnete Längsträger gezeichnet, die an die frühen Konstruktionen erinnern. Das geschränkte Holmkreuz mit Kreuzplatten zeigt aber, daß dieses Projekt erst nach 1893 entstanden sein kann. Mit hoher Wahrscheinlichkeit stammt es aus dem Jahre 1896, denn die Anordnung der Zugseile für den Schlagantrieb weist auf die Nutzung eines Kohlensäuremotors hin, der erst in



75
Entwurfzeichnung eines
Kippflügel-Schlag-
apparates von 1896 (?)
Spannweite 9,0 m
größte Tiefe 2,85 m
Fläche 20 m²
(nicht mehr realisiert)

diesem Jahr konstruiert wurde. Das Holmkreuz ist oben länger als üblich und hat am Ende ein Gelenk. Der in sich starre Flügel ist zur Mitte hin als Gleitfläche gezeichnet, außen gliedert er sich in 6 Schwungfedern auf.

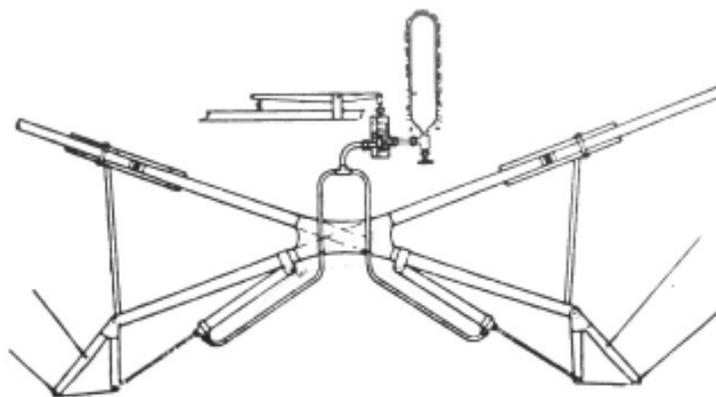
In der Mitte der Gleitfläche verläuft eine profilierte Achse, in welcher beidseitig aber versetzt 7 quer liegende Rippen fixiert sind. Die Achse kann sich um das Gelenk am Holmkreuz drehen. Dadurch wird die gesamte Fläche wie eine Wippe gekippt. Beim Niederschlag der außen liegenden Flächenteile macht die innere, nur 1/3 so große Fläche einen Aufschlag. Als Spitzenausschlag sind 1,6 m geplant. Die Stabilisierung erfolgt durch nach oben und unten gerichtete Spanntürme. Der untere ist gleichzeitig der Hebelarm zur Anlenkung der Flächen durch den waagerechten Zug eines Kohlensäuremotors mit 2 Zylindern, der jedoch nicht eingezeichnet

ist. Gegenüber dem Kleinen Schlagflügelapparat hat dieses Projekt den Vorteil, daß beim Flügelschlag keine Formwiderstände zu überwinden sind. Trotz der Tauglichkeit für den Gleitflug hatte es noch mehr schlagende Fläche als der Große Schlagflügelapparat. Das Projekt entstand wahrscheinlich kurz vor LILIENTHALs Tod und war sicher für eine Realisierung vorgesehen.

Großer Schlagflügelapparat

Im Frühjahr 1896 begann LILIENTHAL erneut mit Schlagflügelversuchen. Nach Aussagen des Betriebsingenieurs Paul SCHAUER wurde zunächst der Kleine Schlagflügelapparat mit einem neuen, von ihm konstruierten Kohlendioxidmotor verwendet. SCHAUER war seit 1894 in LILIENTHALs Maschinenfabrik angestellt. Er hat an Flugzeugprojekten mitgearbeitet und wahrscheinlich mehrere technische Zeichnungen von Apparaten und vom Motor angefertigt. Später hat er eine eher unrühmliche Rolle gespielt. Bei Veröffentlichungen in den 20er Jahren versuchte er, LILIENTHAL als den ersten Motorflieger darzustellen und sich selbst dabei ins rechte Licht zu rücken. Er hat immer wieder behauptet, den ersten und einzigen Kohlendioxidmotor konstruiert zu haben und ging sogar so weit, den gutgläubigen BEYLICH eine eidesstattliche Erklärung unterschreiben zu lassen, in der die Übereinstimmung eines Fotos mit seiner Motorkonstruktion bezeugt wurde. Bei dem Foto handelte es sich jedoch um eine bekannte Aufnahme des Kleinen Schlagflügelapparates, in die nachträglich der Motor eingezeichnet worden war.

Die schematische Zeichnung des Motors im Kleinen Schlagflügelapparat (Bild 76) hat SCHAUER wahrscheinlich erst später für seine Veröffentlichungen angefertigt, die Anordnung ist jedoch glaubwürdig.



76
Anordnung des 2.
Kohlendioxidmotors
im Kleinen Schlag-
flügelapparat nach
SCHAUER

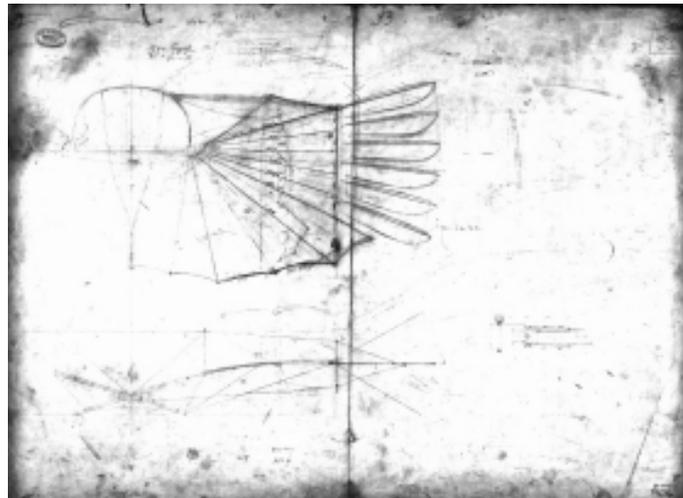
Zwei Zylinder waren rechts und links schwenkbar am Holmkreuz angebracht, die Pleuelstangen griffen an die Enden der inneren Winkelhebel. Der Motor wog nur 5 kg, wobei allein die Druckflasche 3,5 kg ausmachte. Er soll eine Kraft von zusammen 500 kp entwickelt haben. Das Einlaßventil wurde über einen Hebel am Griffholz bedient, eine Repetiervorrichtung war nicht vorhanden.

Mit diesem Motor und dem Kleinen Schlagflügelapparat soll LILIENTHAL nach SCHAUERs Aussagen mehrere erfolgreiche Flüge mit Schlagbewegungen ausgeführt haben. Die Ergebnisse seien so ermutigend gewesen, daß kurz danach mit dem Bau eines größeren Schlagflügelapparates begonnen wurde /51/.



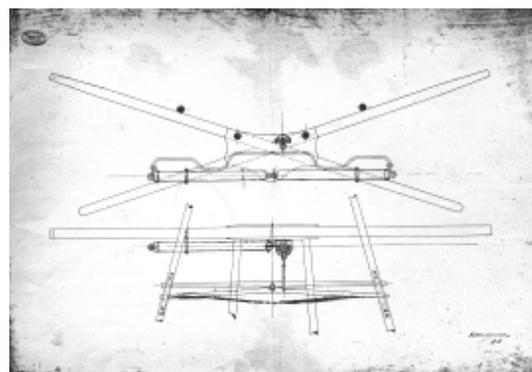
77
*Großer Schlagflügelapparat
 nach 1900 aufgenommen
 bei ETRICH in Trautenau
 (Trutnov)*

Dieser Große Schlagflügelapparat existierte tatsächlich. Erst 1966 wurde im Deutschen Museum, München ein Foto (Bild 77) entdeckt, das wahrscheinlich im Winter 1904/05 bei ETRICH in Trautenau aufgenommen wurde. Der Apparat entsprach demnach ziemlich genau der Entwurfzeichnung (Bild 78). Auf dem Foto sind bei genauem Hinsehen auch der Motor und eine querliegende Druckflasche zu erkennen. Die Schlagflächen waren in einem Rahmen an-



78
*Entwurfzeichnung Großer
 Schlagflügelapparat 1896
 schwach erkennbar: die
 Umrisse des Kleinen
 Schlagflügelapparates*

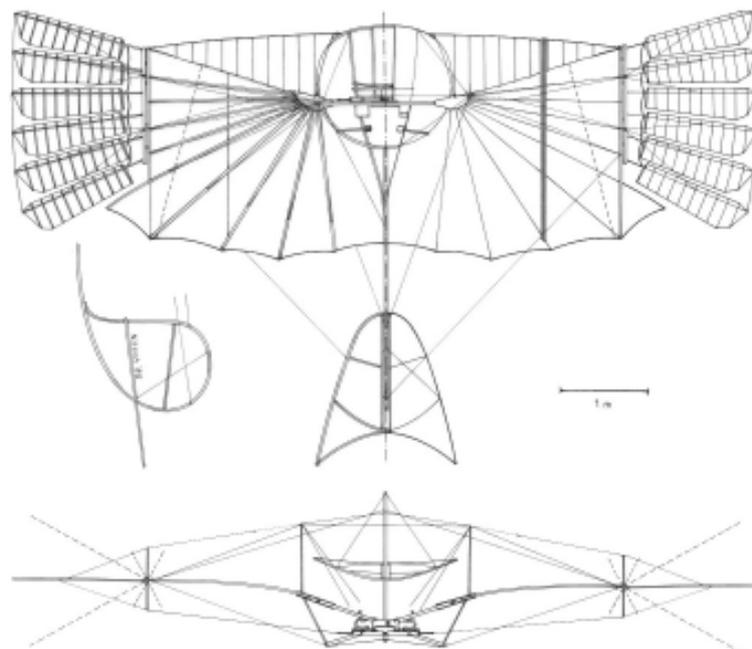
geordnet, der mit Scharnieren am unbeweglichen Mittelteil befestigt war. Diese Anordnung widersprach LILIENTHALs ursprünglichen Grundsätzen, es entfiel damit jedoch der erhebliche Formwiderstand durchgehender Rippen. Die Schlagbewegung wurde von dem nach Bild 79 waagrecht angeordneten Kohlendioxidmotor über kleine Spanntürme auf die Schlagflächen übertragen. Der Aufschlag wurde wieder durch Gummischnüre in der Oberverspannung unterstützt.



79
*Einbauzeichnung 2.
 Kohlendioxidmotor
 im Großen Schlag-
 flügelapparat*

Die Konstruktion dieses Apparates vollzog sich in mehreren Etappen. Über Änderungen am Kleinen Schlagflügelapparat hatte LILIENTHAL bereits in früheren Jahren nachgedacht. Das belegt eine Zeichnung, in der noch der 1. Motor vorgesehen war. Es gibt noch eine sehr sorgfältig in Tusche ausgeführte Zeichnung eines großen Schlagflügelapparates, die oft abgebildet, aber mit ziemlicher Sicherheit nicht realisiert wurde. Die eigentliche Entwurfzeichnung läßt noch schwach die Umrise des kleinen Schlagflügelapparates erkennen. Es war wohl zunächst geplant, diesen mit ebenfalls erkennbaren stark vergrößerten Schlagflächen zu versehen.

L. LÖFFLER vom Deutschen Museum, München vermutet, der Große Schlagflügelapparat sei durch den Umbau des Vorflügelapparates entstanden. Auf den Fotos (s.a. Bild 49) scheinen tatsächlich die Rippen der Flügelklappe am Vorderrand erkennbar zu sein. Gegen diese Version spricht jedoch die unterschiedliche Anzahl der Flügelrippen (9 beim Vorflügel-, 10 beim Schlagflügelapparat).



80
 Rekonstruktion des
 Großen Schlagflügelapparates
 von 1896
 Spannweite 8,5 m
 Länge 5 m
 Fläche 17 m²
 (davon Schlagflächen 3,8 m²)

Eine andere Deutung ist der Rekonstruktionszeichnung (Bild 80) zu entnehmen: LILIENTHAL hat immer wieder auf die Vorteile der Profile mit verdickter Vorderkante hingewiesen. Dieses Prinzip hat er wahrscheinlich beim Großen Schlagflügelapparat zum ersten Mal realisiert. Die Anordnung wurde wie folgt rekonstruiert: Am vorderen Flügelrand wurde wie beim Sturmflügelmodell und beim Vorflügelapparat eine Randrippe angebracht, die durch eine zusätzliche nach vorn gerichtete Rippe gestützt wurde. Senkrecht zur Randrippe sind nach oben und nach unten gewölbte Rippen angebracht, die bis zur ersten Flügelrippe reichen. Durch beidseitige Bespannung entsteht so eine verdickte Vorderkante.

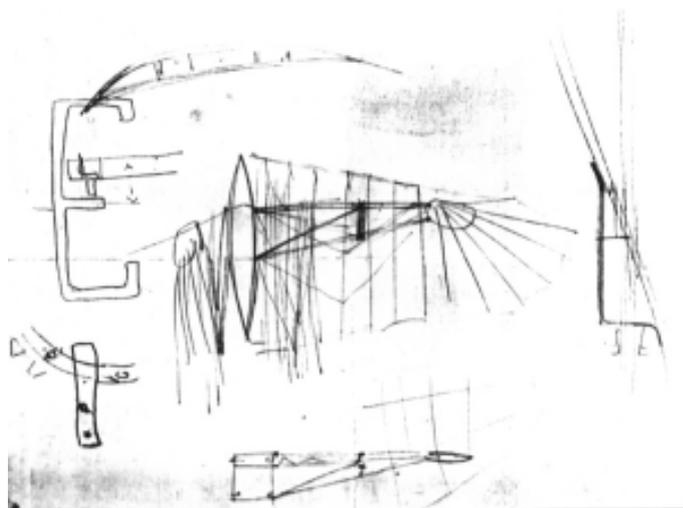
Der Apparat konnte von LILIENTHAL nicht mehr erprobt werden. Der Verbleib der Schlagapparate wurde erst kürzlich durch H. HOLZER und L. LÖFFLER zuverlässig geklärt /52/. Nach LILIENTHALs Tod ging der Große Schlagflügelapparat 1902 an Raimund NIMFÜHR, der ihn in verschiedenen Büchern beschrieb. 1904 kam er über Wien ins Deutsche Museum, München, wo er jedoch auf Anraten eines Herrn NEUREUTHER nicht angekauft wurde. Ende 1904 gelangte der Apparat dann zu ETRICH nach Trautenau, über den weiteren Verbleib ist nichts bekannt.

Der Kleine Schlagflügelapparat blieb im Besitz des Patentbüros REICHAU & SCHILLING, das mehrere Apparate übernommen hatte. Bis 1913 wurde dieser Apparat auf mehreren Ausstellungen gezeigt, weiter ist nichts bekannt.

Gelenkflügelapparat

„Ich bin gegenwärtig mit der Konstruktion eines Flugapparates beschäftigt, bei dem die Stellung der Flügel während des Fluges derart verändert werden kann, daß die Gleichgewichtserhaltung nicht durch Verlegung des Körpergewichts im Schwerpunkt bewirkt wird. Nach meiner Meinung bedeutet dies einen großen Schritt vorwärts, denn die Sicherheit wird sich dadurch erhöhen.“ /53/ Diese Bemerkung LILIENTHALS in einem Brief vom 17.4.1896 ist einer der wenigen Hinweise auf die letzte Konstruktion. Sie bezieht sich wohl nicht auf eine Einrichtung zur Verwindung der Flügel. Derartige Versuche waren im Vorjahr abgeschlossen worden.

WOOD, der noch eine Woche vor LILIENTHALS Tod die Flugzeugwerkstatt in der Maschinenfabrik besichtigte, berichtete nur von „einem Paar gewaltiger Flügel von mehr als 25 square yards (20,9 m²) Oberfläche“/54/. Das könnte auch der Große Schlagflügelapparat gewesen sein. Etwas konkreter wird SCHAUER, er schrieb 1929: „Erwähnenswert dürfte noch sein, daß beim Tode Lilienthals außer dem schon erwähnten halbfertigen zweiten Schwingenflugzeug auch ein Flugzeug mit erheblich verdickten beidseitig bespannten Flügeln fast versuchsfertig war.“/55/ Er übergab später dem Deutschen Museum, München eine Skizze LILIENTHALS (Bild 81) auf der Rückseite eines Briefes vom 8.6.1896, die er dieser Konstruktion zuordnete.



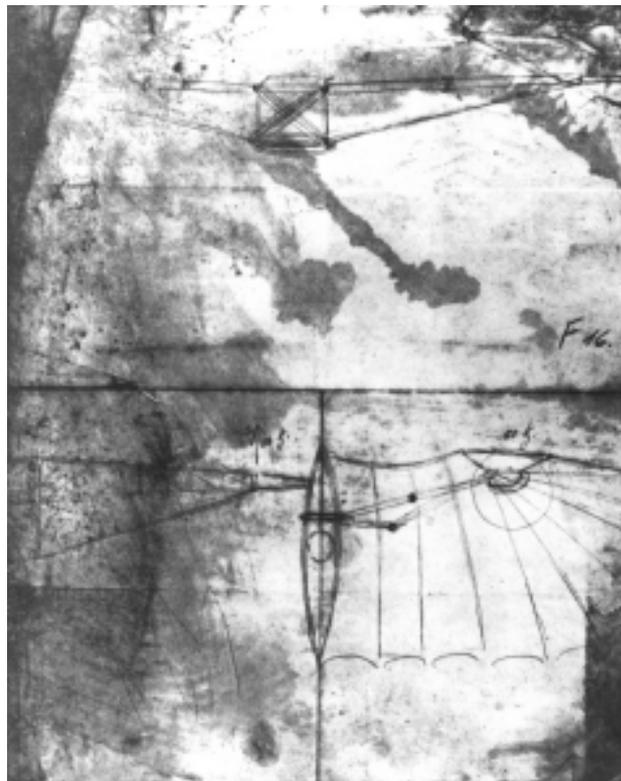
81
Skizze LILIENTHALS zu
seinem letzten Flugzeug,
dem Gelenkflügelapparat

Auf dem Blatt sind neben einigen unverständlichen Details Drauf- und Vorderansicht, sowie ein verdicktes Profil. Der äußere Flügelteil entspricht etwa den bisherigen Konstruktionen. Anders ist der Aufbau des verdickten Mittelteils. Sieben parallel liegende Rippen aus je zwei Weidenruten bilden das verdickte Profil. Diese Fläche ist beidseitig bespannt. Im Inneren verlaufen zwei Holme. Sie sind in der Mitte des Apparates an den Rippen einer Flächenausparung gelagert, die der früherer Apparate entspricht und die auch beim Kippflügelprojekt wieder aufgenommen wurde.

Außentragen die Holme Gelenktaschen. Schwache Linien verdeutlichen das Zusammenlegen des Apparates. Die Holme besitzen etwa in der Mitte ein Gelenk. Auch an den Endpunkten sind sie gelenkig gelagert. Die Gelenke in der Holmmitte sind durch eine Stange verbunden

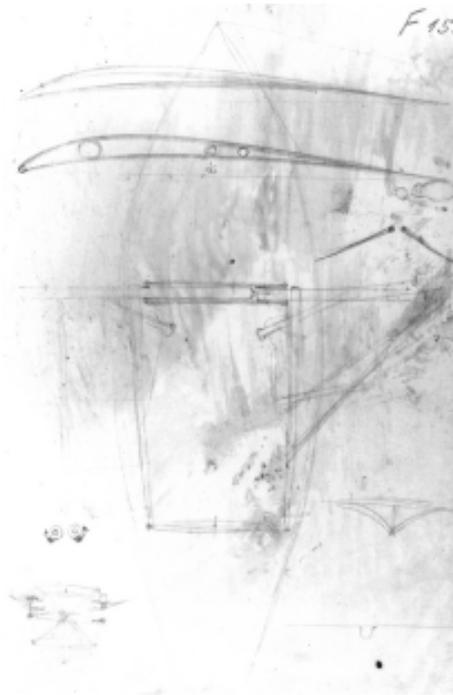
und werden so auf gleichen Abstand gehalten. Eine weitere Stange zwischen dem inneren Befestigungspunkt des hinteren Holmes und dem Gelenk des vorderen verhindert ein Zusammenknicken des Flügels während des Fluges. Zum Zusammenlegen wird diese Stange entfernt und der verdickte Flächenteil knickt wie ein Vogelflügel im Ellbogen ein, während sich der Außenflügel nach Ausklinken des Karabiners wie üblich fächerförmig zusammenfallen läßt.

Es ist denkbar, daß LILIENTHAL, als er von einer Änderung der Stellung der Flügel sprach, an ein Einknicken des Flügelmittelteils während des Fluges nach Art der Vögel dachte. Die Steuerung vollzieht sich dann nicht mehr durch Verlagerung des Körperschwerpunktes zum starren Flügel, sondern durch Verschiebung der Flügel im Verhältnis zum Piloten, der jetzt fest in der Flächenmitte sitzen kann. Diesen an den Vogelflügel angelehnten Flächenaufbau hatte LILIENTHAL bereits in früheren Projekten geplant.



82
*Frühe Skizze,
etwa von 1890, zu einem
Gelenkflügelapparat*

Bild 82 zeigt eine Skizze noch ohne das sonst üblich Holmkreuz, also wahrscheinlich aus der Zeit um 1890. Sie ist der von 1896 sehr ähnlich. Die Steuerung der Flügel könnte mit den Händen erfolgen, auch dazu gibt es eine frühe Skizze (Bild 83), auf der schwach die Hände zu sehen sind, die wie beim Rudern an Steuerhebel greifen. Diese Hebel sind, wie die Vorderansicht erkennen läßt, gabelförmig aufgespalten und gleiten auf einem Längsholm. Für eine wirkungsvolle Handsteuerung wäre jedoch ein durchdachtes Hebelsystem erforderlich, mit dem bei geringen Steuerkräften ausreichende Flächenverschiebungen realisiert werden können. Entsprechende Einrichtungen sind aber bei keinem der Projekte erkennbar. Unklar ist auch, in welcher Form LILIENTHAL den Kontakt zum Apparat herstellen wollte. Nach erfolgreicher Erprobung war wahrscheinlich auch an eine Sitzvorrichtung gedacht. Anfangs hätte LILIENTHAL sicher noch die Schwerpunktsteuerung verwendet und die Flächen im starren Zustand auf Stabilität und Tragfähigkeit geprüft.



83
 Skizze aus der Zeit um 1890
 erkennbar ist der Mittelteil
 eines Flugapparates mit
 Hebeln, an welche Hände
 angreifen

Eine weitere Skizze LILIENTHALs (Bild 84), die er nach SCHAUERs Angaben einen Tag vor seinem Tod angefertigt hat, läßt sich auch diesem Projekt zuordnen. Sie zeigt zwei Methoden, um das Höhenleitwerk anzusteuern. Die erste ist für die üblichen mit Körpergewicht gesteuerten Apparate vorgesehen. Ein Hebel im Rücken des Fliegers überträgt die Körperbewegungen mit Schnüren auf das Leitwerk. Bei einer Gewichtsverlagerung nach hinten wird



84
 Letzte Skizze LILIENTHALs:
 Ansteuerung des Höhen-
 leitwerkes über Hebel bzw.
 Umlenkschnüre

auch das Höhenleitwerk angehoben, was das Aufrichten des Apparates unterstützt. Die zweite Methode wird erst im Gelenkflügelprojekt verständlich. Rechts und links vor dem Flieger befestigte Schnüre verlaufen zu einem Steg in seinem Nacken, wo sie wieder nach vorn umgelenkt werden. Dort erfolgt erneut eine Richtungsumkehr, so daß beim Zurücklehnen des Körpers das Höhenleitwerk angehoben wird. Diese Oberkörperbewegungen mit dem entsprechenden Richtungssinn ergeben sich bei einer Handsteuerung der Flächen.

Die Flugzeugkonstruktion zeigt erneut, daß LILIENTHAL mit der Steuerung seiner Apparate unzufrieden war und wirkungsvollere Methoden suchte. Ob dieser Apparat eine Lösung gebracht hätte ist sehr fraglich. Die Methode erfordert eine zu komplizierte Mechanik, welche auch die Stabilität des Apparates beeinträchtigt. Heute erscheint uns dieses Prinzip der Flächensteuerung ungewöhnlich, aber zu LILIENTHALs Zeit gab es vielfach derartige Projekte. 1897 ließ sich der in Kairo lebende Franzose MOUILLARD eine ähnliche Konstruktion patentieren /56/ und noch 1912 wurde eine Flugzeugkonstruktion des Münchners GEEST patentiert, mit der eine derartige Flächensteuerung möglich war /57/.

Wesentlich erfolgversprechender als die Flächensteuerung war die Verwendung dicker Profile. Sie verbessern die Auftriebswirksamkeit, erhöhen die Stabilität der Tragflächen und vermindern bei integrierten Holmen den Luftwiderstand. Derartige beidseitig bespannte Profile wurden später auch von den Brüdern Wright und anderen Motorflugpionieren verwendet.

Auf dem Bild 81 ist ein vorn spitz auslaufendes Profil erkennbar. LILIENTHAL verwirklichte diese Form aus konstruktiven Gründen wahrscheinlich auch beim Bau des Apparates. Er kannte die besseren Eigenschaften vorn abgerundeter Profile, aber ein vorn und hinten spitz auslaufendes Profil ist mit Weidenruten einfacher herzustellen. Absolute Sicherheit über die Konstruktion von LILIENTHALs letztem Flugzeug wird wohl kaum zu erlangen sein, aber alle Anzeichen sprechen für den beschriebenen Aufbau.

Der Verbleib des Apparates ist ziemlich klar. Ein Nachkomme schrieb dazu, daß „...Gustav Lilienthal unmittelbar nach dem tödlichen Absturz seines Bruders in dessen Fabrik die noch in Bau befindlichen Flugapparate Otto Lilienthals eigenhändig verbrannte.“/58/

Verwendung und Weiterentwicklung von LILIENTHALs Konstruktionsprinzip durch andere

Zeitungsberichte von LILIENTHALs Flugversuchen mit Fotos regten Fluginteressierte im In- und Ausland zu eigenen Versuchen an. Experimentatoren, die mit eigenen Konstruktionen nicht viel erreicht hatten, waren beim Nachvollziehen der ‘Methode Lilienthal’ plötzlich erfolgreich. So kam es, daß LILIENTHALs Flugzeugkonstruktionen vielfach nachempfunden und kopiert wurden. Für erste erfolgreiche Gleitflüge waren solche Nachbauten gut geeignet. Die Geschichte zeigt jedoch, daß nur die erfolgreich waren, die LILIENTHALs Konstruktionen als Erfahrungsgrundlage für eigene Entwicklungen verwendeten. Diejenigen, die LILIENTHALs erfolgreiche Gleiterkonstruktionen für den Motorflug verwenden wollten, scheiterten, weil das Fledermausflügelkonzept für eine derartige Anwendung nicht geeignet war.

Nachstehend sollen einige Flugpioniere aufgeführt werden, die LILIENTHALs Konstruktionsprinzip verwendet haben.

Wolfmüller

Der Name WOLFMÜLLER wird Motorrad-Enthusiasten noch eher vertraut sein, als Fluginteressierten. Der 1864 geborene Ingenieur (Bild 85) hatte das Technikum in Hildburghausen besucht, ehe er 1895 eine Motorradfirma gründete. Bevor die Firma noch im selben Jahr in Konkurs ging, sollen etwa 900 Motorräder gebaut worden sein, es gab aber Probleme mit der Zündung.

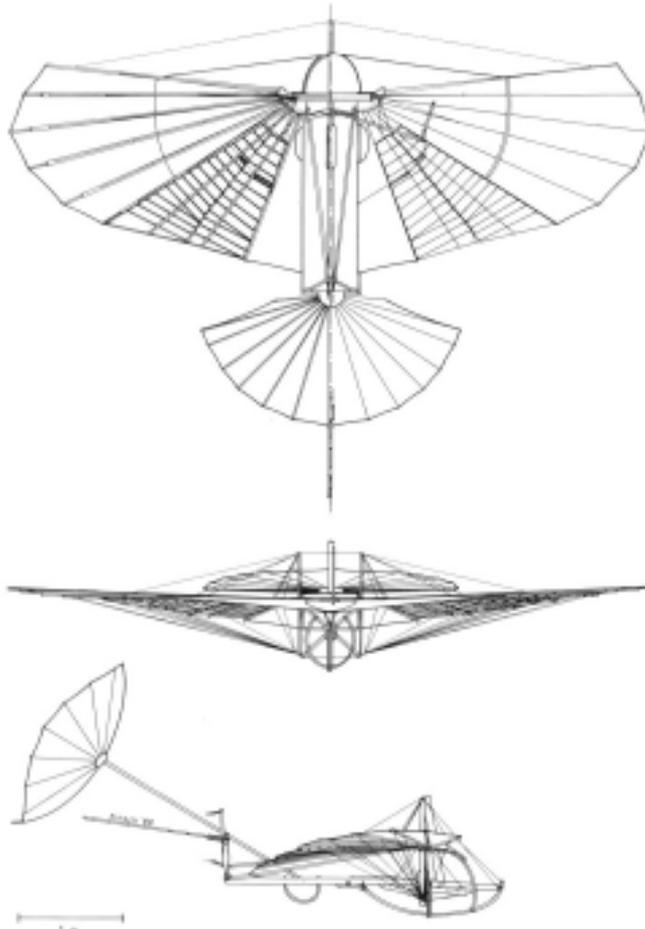
Bereits 1887 hatte WOLFMÜLLER einen einfachen Gleiter gebaut und Versuche bei Landsberg in Bayern gemacht. LILIENTHAL, der sich sehr für leichte Motoren interessierte, wurde durch Korrespondenz über den Verein zur Förderung der Luftschiffahrt mit ihm bekannt. Einen 1894 erworbenen Normal-Segelapparat versuchte WOLFMÜLLER in der Steuerung zu verbessern und es entstand ein reger Briefwechsel mit LILIENTHAL. WOLFMÜLLER hat besonders mit Vorrichtungen zur Flügelverwindung experimentiert. Leider ist über seine eigenen Flugzeugkonstruktionen aus dieser Zeit nur sehr wenig bekannt.



85

Alois WOLFMÜLLER 1908
in seinem Gleiter

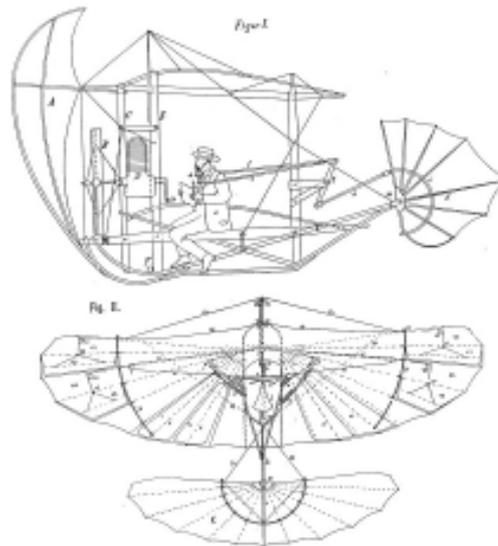
1901 entstand eine motorisch betriebene Schlagflügelvorrichtung, die LILIENTHALs Experimentiergerät von 1869 entsprach. Nach erheblichen wirtschaftlichen Schwierigkeiten baute WOLFMÜLLER 1906 einen weiteren Gleiter, von dem es keine Fotos gibt. Der Apparat wurde unbrauchbar, weil er nicht einmal einen Schuppen hatte, um ihn unterzustellen. 1907 entstand ein Apparat, der genau beschrieben werden kann, denn er befindet sich heute im Deutschen Museum, München, wo der Autor Gelegenheit hatte, ihn zu vermessen (Bild 86).



86

Rekonstruktion des
WOLFMÜLLER-
Apparates von 1908
Spannweite 7,8 m
Länge 5,0 m
Fläche 13 m²

Der Grundaufbau entspricht genau dem Konstruktionsprinzip LILIENTHALs mit fächerförmig zusammenklappbaren Flügeln. Die Rippen sind aus Bambus. Der Apparat hat eine Sitzbrett, das die Beine zum Landen und Starten frei läßt. WOLFMÜLLER war ein guter Handwerker, er hat viele praktische Details in die Konstruktion eingefügt. Der Apparat verfügt über komplizierte Steuerungsmechanismen, mit denen WOLFMÜLLER ein Prinzip erproben wollte, das er „Balance“ nannte. Diese Einrichtung, die bereits im Vorjahr entwickelt worden war, sah er als entscheidende Voraussetzung für Motorflugversuche an, die mit dem Apparat auch geplant waren. Auf einer Zeichnung des Erfinders (Bild 87) läßt sich die Kompliziertheit



87
Zeichnungen von WOLFMÜLLER zur „Balance“-Steuerung seiner Apparate, die auch für den Einbau eines Motors vorgesehen waren

der Steuerung leicht erahnen. Das über einen Brustharnisch angelegte Steuerhebelsystem sollte mit den Ausgleichbewegungen des Oberkörpers Höhen- und Seitenleitwerk betätigen. Außerdem sind je Tragflügel zwei Flächensegmente vorhanden, die auf Drehzapfen im Anstellwinkel verändert werden können. Es war sogar geplant, die Flügel im Bedarfsfall während des Fluges zusammenzufalten, um die Fläche zu verringern. Der Apparat hatte auch eine



88
WOLFMÜLLER im Flug mit dem Doppeldecker

zweite Tragfläche, die jedoch anders als bei LILIENTHAL wie die untere aufgebaut war (Bild 88). Eine große sichelförmige Steuerfläche vor dem Apparat ist an dem erhalten gebliebenen Modell nicht vorhanden. Als Antrieb war ein 2-Zylinder-V-Motor mit 5,9 KW (8 PS) bei 18 kg Gewicht vorgesehen. Bei Motorflugversuchen sollte der Apparat außerdem 2 Laufräder bekommen. Solche Versuche hat es aber nicht gegeben.

89

*Absprung von WOLFMÜLLER
mit dem als Eindecker
aufgebauten Apparat*



In späteren Jahren hat WOLFMÜLLER mit sehr vogelähnlichen Apparaten experimentiert. Zeitweise arbeitete er auch mit dem Flugzeugkonstrukteur GEEST zusammen. Die Gleitflugversuche WOLFMÜLLERs waren insgesamt wenig erfolgreich (Bild 89), was nicht für seine Steuervorrichtungen spricht. Impulse für die Entwicklung der Flugtechnik gingen von seinen Arbeiten nicht aus.

Pilcher

Der englische Ingenieur Percy Sinclair PILCHER, geboren 1866, besuchte LILIENTHAL zweimal. Bereits seit 1891 hatte er sich mit der Flugfrage beschäftigt. Seinen ersten Gleiter baute er 1895. Wie der Name „Bat“ (Fledermaus) bereits zeigt, war dieser nach dem Vorbild der LILIENTHAL-Apparate aufgebaut, aber PILCHER hatte bewußt eigene Ideen eingearbeitet. Erst nach der Fertigstellung besuchte er LILIENTHAL, um Erfahrungen auszutauschen. Sein Apparat hatte eine starke V-Stellung der Flügel und kein Höhenleitwerk. Als PILCHER nach dem Besuch den Apparat nach LILIENTHALs Hinweisen geändert hatte, gelang sofort ein 20 Sekunden-Flug im Hangaufwind.

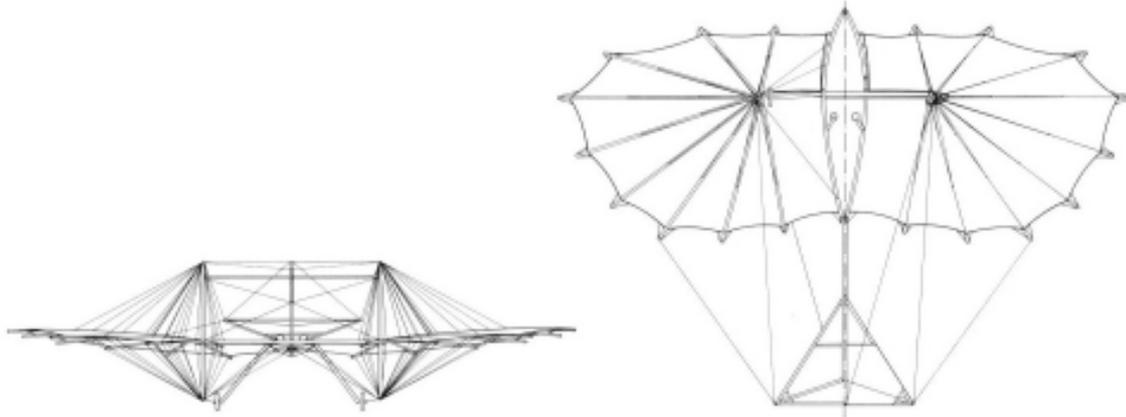
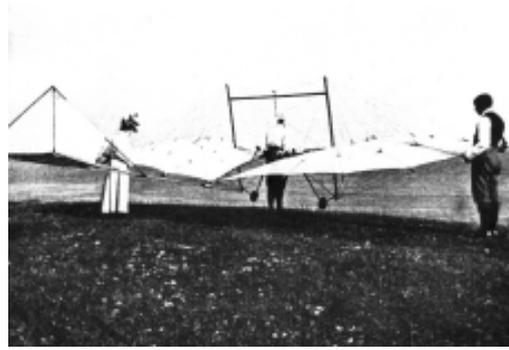
PILCHER hatte sich eine eigene Startmethode ausprobiert, die es ermöglichte, auch in der Ebene zu starten. Ein Seil, das über mehrere Umlenkrollen lief und von Helfern oder einem Pferd gezogen wurde, war so am Apparat befestigt, daß es nach dem Start ausklinken konnte. Sein zweites Flugzeug „Beetle“ (Käfer) hatte einen tief liegenden Schwerpunkt und keine V-Form. Auf diese Weise wollte er offenbar die Labilität der LILIENTHAL-Apparate um die Querachse verbessern. Aber auch LILIENTHAL hatte bereits festgestellt, daß bei den Eindeckern ein tiefer liegender Schwerpunkt zu unerwünschten Pendelbewegungen führt. Der Apparat ließ sich schwer steuern und war wenig erfolgreich.

1896 folgte eine dritte Konstruktion. Mit über 25 m² war dieser Eindecker „Gull“ (Möwe) allein durch Schwerpunktsteuerung kaum zu beherrschen. PILCHER muß recht eigensinnig gewesen sein, denn LILIENTHAL hatte ihm seine schlechten Erfahrungen mit dem großen Vorflügelapparat von 1895 sicherlich mitgeteilt.

PILCHERs zweiter Besuch bei LILIENTHAL erfolgte im Juni 1896. Er hatte Gelegenheit, am Fliegeberg den Doppeldecker zu erproben, dem er anfangs recht skeptisch gegenüberstand. LILIENTHALs Tod hat PILCHER nicht, wie manche andere, von weiteren Versuchen abgehalten. Noch 1896 entstand sein erfolgreichster Apparat „Hawk“ (Falke) (Bild 90/91). Dieser war dem Normal-Segelapparat wieder sehr ähnlich. PILCHER stützte sich jedoch nicht auf die Unterarme, sondern hängte sich mit den Achseln auf Längsstreben. Der Apparat hatte kleine Räder, die den Landestoß abfangen sollten.

90

PILCHER vor dem Start
mit dem „Hawk“ 1896



91

Rekonstruktion des „Hawk“
nach einer historischen
Zeichnung
Spannweite 7,5 m
Länge 5,6 m
Fläche 11,6 m²



Im Sommer 1897 erreichte er mit 230 Metern Flugstrecke und 60 Metern Höhe sein bestes Flugergebnis.

Es ist bemerkenswert, daß PILCHER zeitweise bei MAXIM angestellt war, was aber auf dessen Flugzeugprojekte keine Auswirkungen hatte.

PILCHER hatte auch Briefkontakt mit CHANUTE, von dem er Konstruktionsunterlagen erhielt. Nach CHANUTES Angaben soll ein entsprechender Apparat im September 1899 versuchsfertig gewesen sein /59/. Eine Patentzeichnung zeigt einen „Hawk“-ähnlichen Eindecker mit einem Motor vorn im Apparat und Druckpropeller hinter dem Piloten. Der Motor soll jedoch in einen Doppeldecker eingebaut worden sein, vielleicht in die CHANUTE-Konstruktion. Dies wäre mit Sicherheit die bessere Variante gewesen. Zur Erprobung des Projektes kam es nicht mehr.

An einem regnerischen Tag Ende September 1899 wollte er Zuschauern, die von weither angereist waren, den Apparat vorführen. Dabei riß zuerst das Schleppseil, dann ein Spannseil am Leitwerk des durchnässten Apparates. Beim folgenden Absturz wurde PILCHER so schwer verletzt, daß er zwei Tage später starb. Bei der Vorführung war auch ein original Normal-Segelapparat mitgeführt worden, den PILCHER von dem Käufer BENNET übernommen hatte. Dieser Apparat existiert heute noch im Londoner Science Museum.

Ferber

Der französische Flugpionier Ferdinand FERBER (1862-1909) bezeichnete sich selbst als Schüler LILIENTHALs, obwohl er ihn nicht mehr persönlich kennengelernt hat. Ihm verdanken wir etliche bewundernde Bonmots über seinen Lehrer.

FERBER begann 1898 mit praktischen Flugversuchen. Ein von ihm als Gleiter Nr. 4 bezeichneter Apparat war LILIENTHALs Konstruktionen ähnlich, aber recht mangelhaft ausgeführt. 1901 machte er damit in Nizza Sprungversuche von einem 5 Meter hohen Gerüst (Bild 92).



92

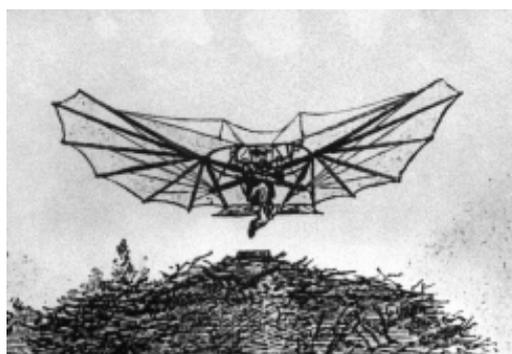
FERBER bei Gleitflugversuchen in Nizza 1901

Die Versuche waren wenig befriedigend. FERBER schrieb später, ihm sei von 1899 bis 1901 kein richtiger Gleitflug geglückt, weil er nicht in aufsteigenden Luftströmungen geübt hatte. Er meinte, LILIENTHAL habe vergessen, das zu erwähnen. Ab 1902 übernahm FERBER das Konstruktionsprinzip CHANUTES, mit dem er mehr Erfolg hatte. Er unterwies auch die VOISINs und ARCHDEACON im Fliegen, die an der Atlantikküste mit ähnlichen Konstruktionen experimentierten.

1904 begann FERBER mit der Motorisierung seiner Apparate. Zur Erprobung befestigte er sie an kranartigen Gitterauslegern, die er 'Aerodrom' nannte. 1908 gelang FERBERs erster Motorflug und 1909 verunglückte er tödlich.

Lamson, Suaraz und andere

Der US-Amerikaner LAMSON und der Argentinier SUAREZ haben mit nachgebauten LILIENTHAL-Konstruktionen experimentiert, die dem Maihöhe/Rhinow-Typ mit 7 Flügelrippen sehr ähnlich waren (Bild 93). Es liegt die Vermutung nahe, daß sie nach Originalplänen gebaut haben. Offenbar hat LILIENTHAL mehrfach solche Baupläne verschickt. Seine Apparate wurden aber auch nach Fotos und Beschreibungen nachgebildet. Bekannt geworden sind solche Nachbauten von HERRING, CABOT/MERRILL und von einer Gruppe Gymnasiasten aus Kalifornien.



93

Zeitgenössische Darstellung der Flugversuche von SUAREZ

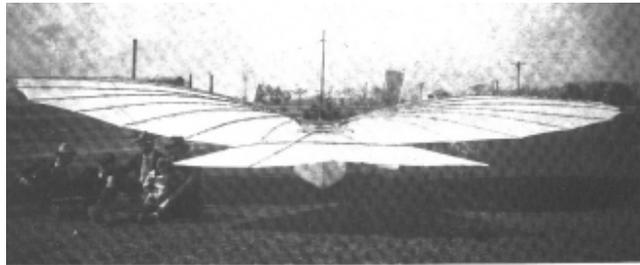
Weißkopf und Vuia

Der deutschstämmige WEIßKOPF und der Rumäne VUIA sind hier zusammen genannt, weil beide mit LILIENTHAL-Konstruktionen Motorflugversuche gemacht haben.

WEIßKOPF, der nach Amerika ausgewandert war und sich dort WHITEHEAD nannte, hat in Boston für die Aeronautical Society einen Lilienthalapparat gebaut. 1901 entstand seine Flugmaschine Nr. 21 (Bild 94), mit der noch vor den Brüdern WRIGHT Motorflüge gelungen sein sollen, was jedoch nicht zweifelsfrei bewiesen ist.

94

Der Motorflugapparat von WEIßKOPF (WHITEHEAD) 1901; die über dem Stoff angeordneten Rippen sprechen nicht für seine aerodynamischen Kenntnisse



Der in Frankreich lebende Rumäne VUIA hat 1906 mit einem LILIENTHALs Konstruktionen nachgestalteten Apparat die ersten Motorflughüpfer in Europa gemacht. Zu wirklichen Flügen war der Apparat nicht geeignet.

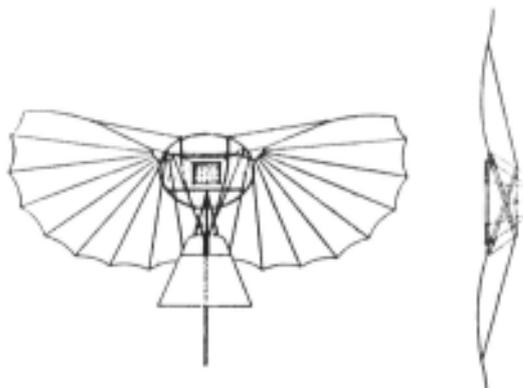
Chanute, Herring und Wrights

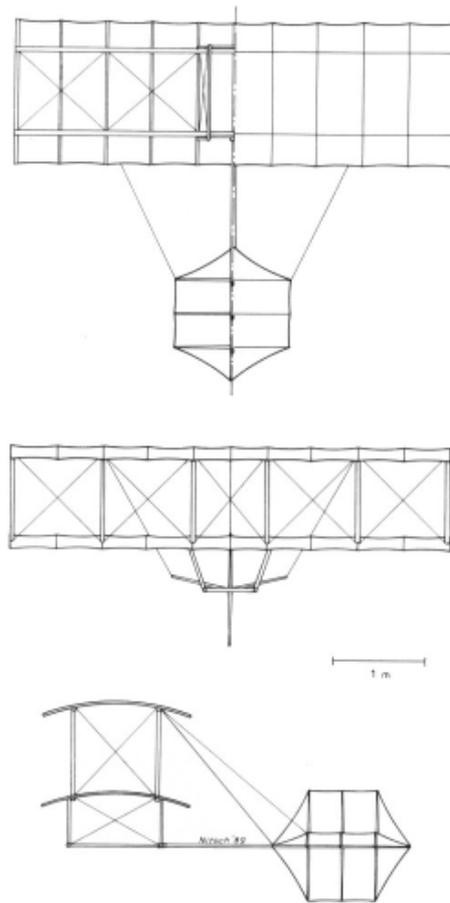
Der amerikanische Eisenbahningenieur Octave CHANUTE (1832-1910) war ein wichtiger Briefpartner LILIENTHALs. Von ihm gibt es wegweisende Veröffentlichungen zur Flugtechnik. Er veranstaltete mehrere Fliegerlager am Michigan-See. Bei dem ersten Lager im Juni 1896 wurden ein Mehrfachdecker und ein von HERRING gebauter Lilienthalapparat erprobt. HERRING hatte bereits 1894 drei Apparate, vielleicht sogar nach Plänen LILIENTHALs gebaut. Die Apparate hatten eine mangelhafte mechanische Stabilität, sie waren zu leicht gebaut. Der erste wog bei 11,5 m² nur 6,7 kg, der zweite mit 12,3 m² wog 12 kg und der dritte mit 14,7 m² wog 8,6 kg. Dieser dritte hatte 6 Rippen, Profilschienen und ein Kreuzsteuer, außerdem waren vor der Tragfläche zwei horizontale Steuerflächen angebracht. Dieser Apparat war für das Fliegerlager rekonstruiert worden. HERRING hat zeitweise für LANGLEY gearbeitet und auch die Mehrfachdecker nach CHANUTEs Plänen gebaut./60/

CHANUTE beschäftigte sich sehr eingehend mit LILIENTHALs Konstruktionsprinzip, er hat 1897 sogar ein Patent auf eine Sitzvorrichtung in einem Lilienthalapparat angemeldet (Bild 95). Weil bei den Versuchen am Michigan-See aber nur der zu leicht gebaute Apparat

95

Patent CHANUTEs zu einer Sitzvorrichtung für LILIENTHAL-Apparate





96

Rekonstruktion des Doppeldeckers
von CHANUTE (1896) nach einer
historischen Zeichnung

Spannweite 4,76 m
Länge 4,0 m
Fläche 14,3 m²

HERRINGs verwendet wurde, waren die Flugerfahrungen mit diesem Apparatetyp nicht sehr gut. So entwickelte CHANUTE noch im Sommer 1896 einen starren Kastendoppeldecker, dessen Konstruktion große Bedeutung für die Entwicklung der Luftfahrt hatte. Die versprengte stabile Kastenkonstruktion, das Doppeldeckerprinzip mit geringer Spannweite und der tief liegende Schwerpunkt machten die Konstruktion sicher und flugstabil (Bild 96). Sie brachte den Qualitätssprung, der nach LILIENTHALs Arbeiten erforderlich geworden war, der aber durch ihn auch erst möglich wurde. Diese Flugzeugzelle konnte die Basis bilden für die Entwicklung eines Motorflugzeuges. Bei vielen erfolgreichen Flügen (Bild 97) erwies sich der Apparatetyp als so sicher und leicht zu beherrschen, daß sogar Zuschauer nach kurzer Einweisung Flüge ausführten. Bei der späteren Entwicklung des Gleit- und Segelfluges wurde der CHANUTE-Doppeldecker in verschiedenen Variationen z.B. von EULER und PELZNER in Deutschland noch bis in die zwanziger Jahre geflogen und sogar später noch vereinzelt verwendet.



97

Schleppstart eines CHANUTE-
Doppeldeckers 1904

Um 1900 bekam CHANUTE Kontakt zu den Brüdern WRIGHT, die sich nach LILIENTHALs Tod eingehend mit dem Flugproblem befaßt hatten. Sie übernahmen das Konstruktionsprinzip CHANUTEs, erprobten ihre Apparate wie LILIENTHAL im Gleitflug und bauten dann, nachdem sie das Fliegen sicher beherrschten in den bewährten Apparat einen leistungsfähigen, selbstgebauten Motor ein, so daß ihnen am 17. Dezember 1903 der erste Motorflug der Weltgeschichte gelang. Ihr systematischer Entwicklungsweg war, wie sie auch selbst immer wieder bezeugten, von LILIENTHAL vorgezeichnet worden. Ihre Leistung war jedoch so souverän, daß sie nicht in die „Schule Lilienthal“ eingeordnet werden können, sondern für sich stehen.

Richter

Hans RICHTER war eigentlich kein LILIENTHAL-Schüler, aber er schlug mit seinen Nachbauten die Brücke zur Segelflugbewegung nach dem I. Weltkrieg. Von Gustav LILIENTHAL hatte der vielseitige Berliner eine Lizenz für den Nachbau von Apparaten erworben. Mit verschiedenen Ein- und Doppeldeckern führte er vielbeachtete Schauflüge vor und warb auch mit eigenen Konstruktionen für die Weiterentwicklung des Gleitfluges als neue Sportart. In einen Doppeldecker hat er sogar einen Motor eingebaut und damit Flugversuche gemacht. Filmaufnahmen, in denen er in der Maske LILIENTHALs mit einem Eindecker den Gollenberg hinunterlief, sorgen teilweise heute noch für Verwirrung. Obwohl RICHTER nur mäßige Flugfolge vorweisen konnte, hat er doch viel für den Flugsport und die Ehrung LILIENTHALs geleistet. Nachbauten von ihm sind heute noch in Museen in Anklam, Meudon und Uetersen zu besichtigen.

Flugtechnische Vereine

Bereits im 19. Jahrhundert gab es in Deutschland Luftfahrtvereine, die sich jedoch vorrangig mit Ballonfahrt und theoretischen Fragen beschäftigten. Der erste „Fliegerverein“ wurde 1895 in Karlsbad (heute Karlovy Vary) gegründet. Dieser Verein wurde von LILIENTHAL sehr begrüßt und unterstützt. Der Gründer Dr. FRANK kaufte bei LILIENTHAL einen Normal-Segelapparat, mit dem auch Versuche gemacht wurden.

Zu größeren Aktivitäten auf dem Gebiet des Gleitflugsportes kam es erst wieder um 1908 mit Beginn der Motorflugbewegung in Deutschland. Das Ziel war vorrangig die Vorbereitung von Motorflugversuchen, es bildeten sich aber auch bereits erste Gleitflugsportgruppen.

Auf der Internationalen Luftfahrt-Ausstellung (ILA) 1908 in Frankfurt a.M. wurden von einer künstlichen Startbahn Gleitflüge auf Doppeldeckern nach dem CHANUTE-System ausgeführt.

Der Hamburger „Flugtechnische Verein“ veranstaltete 1909 Flugversuche mit einem Apparat, der LILIENTHALs Konstruktionen von 1891/92 ähnelte (Bild 98).

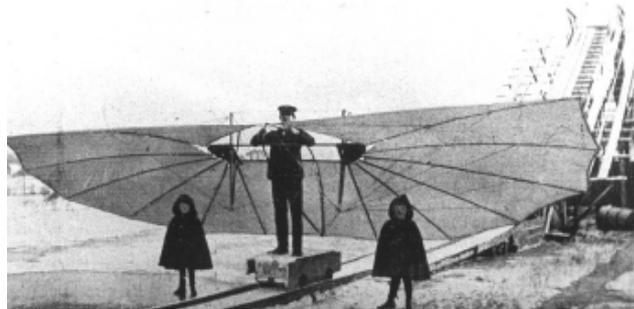
98

Start mit dem LILIENTHAL-Nachbau des Hamburger Flugtechnischen Vereins



In München bildete der „Modellflug Verein“ 1914 eine Unterabteilung für Gleitflug, in der u.a. auch ein LILIENTHAL-Apparat nachgebaut wurde.

Wichtigstes Zentrum des Gleitflugsportes war der „Schlesische Flugsport-Club“ in Breslau (heute Wroclaw), der 1909 aus dem „Schlesischen Verein für Luftschiffahrt“ und dessen „Studiengesellschaft für Aviatik“ hervorgegangen war. Dort baute man zunächst einen LILIENTHAL-Apparat aus Bambus und Aeroplanstoff, mit dem Versuche auf einer ‘Gleitbahn’ gemacht wurden (Bild 99). Später kam ein ähnlicher Apparat mit vorgelagertem Höhensteuer



99

Apparat des Schlesischen Flugsport-Clubs vor der zum Start benutzten ‘Gleitbahn’

hinzu und die Versuche wurden in ein 20 km entferntes Hügelgelände verlagert (Bild 100). Auch der Nachbau eines LILIENTHAL-Doppeldeckers war vorgesehen. Der Club entwickelte eine aktive Jugendarbeit, nach wenigen Monaten hatte er bereits 120 Mitglieder. Eine Flugordnung sorgte für die Sicherheit. Bei den Versuchen war stets ein Arzt anwesend.



100

Apparat des Schlesischen Flugsport-Clubs mit vorgelagerten Steuerflächen im Flug bei Breslau (Wroclaw) 1909

Es ist kurios, daß von den Aktiven eine ‘ärztliche Bescheinigung über vollständige Schwindelfreiheit’ verlangt wurde, denn bereits LILIENTHAL hatte die Erfahrung gemacht, daß während des Fliegens keinerlei Schwindelgefühle auftreten. Leider wurden die Versuche bereits im selben Jahr abgebrochen, um sich mehr dem Motorflug zuzuwenden. Eine künstliche Startvorrichtung, ähnlich der der Gebrüder WRIGHT sollte den Übungshügel ersetzen.

Auch der Berliner „Verein für Luftschiffahrt“ begann 1909 mit Gleitflugaktivitäten und kaufte einen Apparat bei VOISIN.

Berühmt geworden sind die Flugversuche der „Flugsport-Vereinigung Darmstadt“ im Juli 1911 in der Rhön. Flugsportbegeisterte Oberschüler hatten sich in dieser Vereinigung zusammengefunden und mit großer Begeisterung Flüge auf selbst konstruierten und gebauten Apparaten unternommen. Diese Versuche werden vielfach als Beginn der sich in den zwanziger Jahren stürmisch entwickelnden Segelflugbewegung angesehen.

Die von LILIENTHAL entwickelte ursprüngliche Form des Fliegens mit gewichtsgesteuerten Hängegleitern erfährt im modernen Drachenflugsport eine Wiedergeburt. Dieser neue und gleichzeitig sehr alte Sport vermittelt ein unmittelbare Fluggefühl bei hoher Leistungsfähigkeit und Sicherheit.

Kurzbiographie Otto LILIENTHALs

1848

23. Mai, Geburt in Anklam als ältestes von 8 Kindern; außer dem Bruder Gustav und der Schwester Marie sterben die anderen aber schon im Kindesalter

1857-64

Besuch des Gymnasiums in Anklam

1861

kurz vor der geplanten Auswanderung nach Amerika stirbt der Vater

1862

erste kindliche Flugexperimente

1864-66

Besuch der Provinzial-Gewerbeschule, Abschluß mit dem besten dort abgelegten Examen

1866-67

Praktikant in der Berliner Maschinenfabrik Schwartzkopff

1867

Flügelschlagexperimente in Anklam

1867-70

Studium an der Berliner Gewerbe-Akademie

1868

Flügelschlagexperimente in Demnitz

1870-71

Einjährig-Freiwilliger im Krieg gegen Frankreich

1871-72

Tätigkeit in der Maschinenfabrik Weber, Berlin

1872-80

Konstruktionsingenieur in der Berliner Maschinenfabrik Hoppe

1872-74

Experimente zur Erforschung des Vogelfluges

1873

Vortrag zur Theorie des Vogelfluges vor dem Potsdamer Gewerbeverein; Mitglied in der Aeronautical Society of Great Britain über den Bruder Gustav

1876-78

dienstliche Reisen in Bergbauggebiete in Sachsen und Galizien (heute Polen); Patent auf Schrämmmaschine

1878

Heirat mit Agnes Fischer; in der Ehe werden vier Kinder geboren: Otto 1879, Anna 1884, Fritz 1885, Helene 1887

1881

eigene Werkstatt zum Bau leichter Dampfmaschinen mit Schlangenrohrkessel in Berlin

1884

die Firma entwickelt sich zur Maschinenfabrik

1886

Mitglied im Verein zur Förderung der Luftschiffahrt;

Bezug des neuen Hauses mit Rasenfläche für Flugexperimente in Berlin-Lichterfelde

1886-89

weitere systematische Experimente zur Tragfähigkeit gewölbter Flächen und zum Vogelflug

1889

Erscheinen des Buches „Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst“

1890-96

praktische Flugversuche mit verschiedenartigen Flugapparaten bei Derwitz, Berlin-Steglitz, Rhinow, Stölln, Berlin-Lichterfelde

1890

Einführung einer Gewinnbeteiligung für Arbeiter

ab 1891

Eintreten für eine Friedens- und Reformbewegung

ab 1892

finanzielle Beteiligung am Ostend-Theater, Bemühungen, es in eine Volksbühne umzuwandeln

1894

Fertigstellung des Fliegeberges in Lichterfelde

1895

Wiederaufnahme experimenteller Arbeiten an Modellen

1896

Beteiligung an der Gewerbeausstellung in Berlin; 9.8. Absturz in Stölln, am darauffolgenden Tag stirbt LILIENTHAL in Berlin



*Portrait LILIENTHALs im Alter
von etwa 30 Jahren*

Literaturquellen

- /1/ Lilienthal, Otto: Unser Lehrmeister im Schwebefluge Zeitschrift „Prometheus“ 7(1895)316, S. 55
- /2/ Lilienthal, Otto: Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst. R. Gaertners Verlagsbuchhandlung, S.46 Berlin 1889 (im weiteren: Vogelflug)
- /3/ Lilienthal, Gustav: Die Entwicklung - Einleitung zur 2. Auflage Vogelflug, München und Berlin 1910, S. XII
- /4/ Vogelflug S. 42-46
- /5/ Vogelflug S. 65/66
- /6/ Vogelflug S. 70
- /7/ Vogelflug S. 74
- /8/ Vogelflug S. 122
- /9/ Vogelflug S. 135
- /10/ Ewald, P. P.: Die Vertikalkomponente des Windes Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 1(1910)15, S.195-197
- /11/ Lilienthal, Otto: Der Flug der Vögel und des Menschen durch die Sonnenwärme. Prometheus 2(1891)55, S.35-39
- /12/ Gerlach, Edmund: Beitrag zur Erklärung des Segelfluges der Vögel. Zeitschrift des Deutschen Vereins zur Förderung der Luftschiffahrt 5(1886)10, S. 281-292 (ab 1888 heißt die Vereinszeitung: Zeitschrift für Luftschiffahrt; im weiteren mit ZfL bezeichnet)
- /13/ Vogelflug S. 154
- /14/ Lilienthal, Otto: Über Theorie und Praxis des freien Fluges. ZfL 10(1891)7/8, S. 158
- /15/ Lilienthal, Otto: Über die Grundlagen der Flugtechnik. Deutsche Bauzeitung 28(1894)92, S.368
- /16/ Vogelflug S. 181
- /17/ Lilienthal, Otto: Über Theorie und Praxis des freien Fluges. ZfL 10(1891)7/8, S. 162/163
- /18/ ebenda
- /19/ Lilienthal, Otto: Über meine diesjährigen Flugversuche. ZfL 10(1891)12, S. 288
- /20/ ebenda
- /21/ Birkholz, Karl: Der Krieholzer Spitzberg und seine wechselvolle Vergangenheit. Kulturbund der DDR, Ortsgruppe Werder - Heimatgeschichtliche Beiträge 1987
- /22/ Lilienthal, Otto: Über den Segelflug und seine Nachahmung. ZfL 11(1892)11, S. 279
- /23/ Eulitz, Hugo: Brief an Pappenheim vom 14.1.1943; Deutsches Museum, München (im weiteren mit DM angeg.)
- /24/ Halle, Gerhard: Die Flugapparate Otto Lilienthals Manuskript im DM, S. 4
- /25/ Ferber, Ferdinand: Die Kunst zu Fliegen. Ihre Anfänge, ihre Entwicklung. Verl. Richard Carl Schmidt + Co. Berlin 1910, S. 65
- /26/ Lilienthal, Otto: Über den Segelflug und seine Nachahmung. ZfL 11(1892)11, S. 277-281
- /27/ Lilienthal, Otto: Über die Mechanik im Dienste der Flugtechnik. 11(1892)7/8, S. 180-185
- /28/ Hildebrandt, Alfred Berliner Lokal-Anzeiger 8.8.1936
- /29/ Lilienthal, Otto: Die Tragfähigkeit gewölbter Flächen beim praktischen Segelfluge. ZfL 12(1893)11, S. 265
- /30/ ebenda S. 267
- /31/ Lilienthal, Otto: Brief an Wolfmüller vom 22.8.1895 DM
- /32/ Hanne, Kurt: Auf den Spuren Otto Lilienthals: Sport und Technik 2(1953)6, S.18-20
- /33/ Lilienthal, Otto: Brief an Wolfmüller vom 8.11.1893 DM
- /34/ Lilienthal, Otto: Brief an Moedebeck vom 7.12.1893 DM
- /35/ Lilienthal, Otto: Allgemeine Gesichtspunkte bei Herstellung und Anwendung von Flugapparaten. ZfL 13(1894)6, S. 146
- /36/ Lilienthal, Otto: Brief an Wolfmüller vom 3.10.1895 DM
- /37/ Lilienthal, Otto: Brief an Wolfmüller vom 3.1.1895 DM (von Lilienthal irrtümlich mit 1894 datiert)
- /38/ Lilienthal, Otto: Die Profile der Segelflächen und ihre Wirkung. ZfL 14(1895)2/3, S. 55
- /39/ Lilienthal, Otto: Brief an Means vom 28.5.1896 in: Schwipps, Werner: Warum Otto Lilienthal nicht nach Amerika fuhr. aerokurier (1989)5, S. 53
- /40/ Lilienthal, Otto: Brief an Wolfmüller vom 9.3.1895 DM
- /41/ Lilienthal, Otto: Brief an Wolfmüller vom 3.10.1895 DM
- /42/ Lilienthal, Otto: Brief an Wolfmüller vom 22.8.1895 DM
- /43/ Lilienthal, Otto: Brief an Wolfmüller vom 3.10.1895 DM
- /44/ Halle, Gerhard: Die Flugapparate Otto Lilienthals Manuskript im DM, S. 10
- /45/ Lilienthal, Otto: Brief an Wolfmüller vom 3.10.1895 DM
- /46/ Lilienthal, Otto: Die Profile der Segelflächen und ihre Wirkung. ZfL 14(1895)2/3, S. 49-51
- /47/ Lilienthal, Otto: Über die Ermittlung der besten Flügelformen. ZfL 14(1895)10, S. 240/241
- /48/ ebenda S. 241/242
- /49/ ebenda
- /50/ Lilienthal, Otto: Brief an Wolfmüller vom 13.12.1894 DM
- /51/ Schauer, Paul: Otto Lilienthal war auch der erste Motorflieger. VDI-Nachrichten (1929)29, S. 2

- /52/ Holzer, Hans; Löffler, Leonhard: Otto Lilienthals letzte Flugapparate. Kultur & Technik 10(1986)4, S. 260-265
- /53/ Lilienthal, Otto: Brief an Means vom 17.4.1896; gedruckt im Aeronautical Annual, Boston 1897, S. 160
- /54/ Wood, R. W.: Lilienthal's last Flights. Boston Evening Transcript 31.10.1896
- /55/ Schauer, Paul: Weitere Erinnerungnen an Otto Lilienthal. VDI-Nachrichten (1929)33
- /56/ CIEKAWA WYNALAZKI SZYBOWZOWE. SKRZYDLATA POLSKA (1980)3, S. 8
- /57/ Patentschau. Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 2(1912)3, S. 52
- /58/ Kopfermann, Klaus: Brief an Drei Brunnen Verlag vom 29.4.1957 DM
- /59/ Chanute, Octave: Experiments in Flying McCures Magazin New York (1900), S. 132/133
- /60/ Schwipps, Werner: Lilienthal und die Amerikaner R. Oldenbourg Verlag München/Deutsches Museum 1985

Weitere Quellen:

- Halle, Gerhard: Otto Lilienthal, der erste Flieger VDI-Verlag Berlin 1936
- Halle, Gerhard: Otto Lilienthal und seine Flugzeug-Konstruktionen. R. Oldenbourg Verlag, München 1962, VDI-Verlag, Düsseldorf, Deutsches Museum München Abhandlungen und Berichte 30(1962)2
- Meyer, Günter: Elementare Aerodynamik und Flugphysik Fachbuchverlag Leipzig 1955
- Schwisps, Werner: Lilienthal arani-Verlag, Berlin 1979
- Schwisps, Werner: Schwerer als Luft - Die Frühzeit der Flugtechnik in Deutschland Bernard & Graefe Verlag Koblenz 1984
- Schwisps, Werner: Der Mensch fliegt Bernard & Graefe Verlag, Koblenz 1988
- Seifert, Karl-Dieter: Otto Lilienthal - Mensch und Werk Verlag Sport und Technik, Neuenhagen b. Berlin 1961
- Waßermann, Michael: Otto Lilienthal Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner Bd. 81 Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1985
- Wissmann, Gerhard: Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart Verlag Technik, Berlin 3. Aufl. 1969
- Wissmann, Gerhard: Abenteuer in Wind und Wolken - Die Geschichte des Segelfluges transpress - VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1988

Bildquellen

Alle nicht aufgeführten Abbildungen: Sammlung/Foto des Autors.

Rekonstruktions-, Gelände- und Detailzeichnungen: Autor

Lilienthal, Otto: Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst, R. Gaertners Verlagsbuchhandlung Berlin 1889 - Reprint

Harenberg, Dortmund 1982 (S.17 links oben, Nachzeichnung als Kombination aus Fig. 27/29, Vogelflug)

Deutsches Museum, München, Bild Nr.1388 (im weiteren mit D. Museum angegeben).

D. Museum 2694

D. Museum 2087

D. Museum 4461

D. Museum 6158

Otto-Lilienthal-Museum, Anklam (im weiteren OLM)

Lilienthal, Otto: Brief an Strauss vom 8.11.1892; Technisches Museum, Wien (spätere Nachzeichnung, Figur eingefügt)

D. Museum 2007

DRP Nr.77916 (77), Flugapparat, 3.9.1893

D. Museum 41013

D. Museum 37220

D. Museum 2435

D. Museum 3431

D. Museum 41018

D. Museum 2582

D. Museum 2580

D. Museum 2570

D. Museum R 1866/2-5

D. Museum 7107

OLM

OLM 174

D. Museum 4435

OLM

D. Museum 2068

Shukowski-Museum, Moskau; Archiv Schwipps

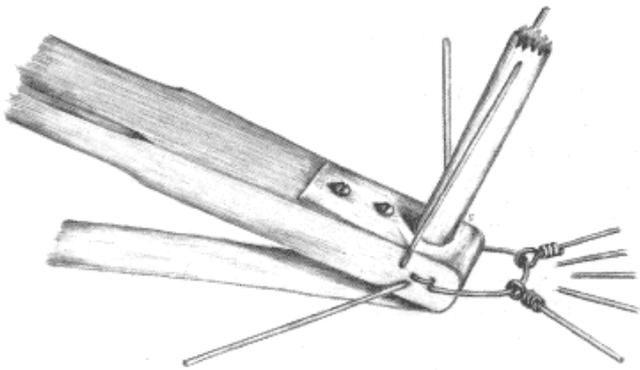
dto.

Lilienthal, Otto: Brief an Wolfmüller vom 3.10.1895; D. Museum H 1932
 Lilienthal, Otto: Profile der Segeiflächen und ihre Wirkung: In: Zeitschrift für Luftschiffahrt 14 (1895) 2/3, S.49/50
 (Nachzeichnung)
 Lilienthal, Otto: Über die Ermittlung der besten Flügelformen. In: Zeitschrift für Luftschiffahrt 14 (1895) 10, S.243
 D. Museum 41023
 OLM 176
 OLM
 OLM
 D. Museum 4458
 Archiv Schwipps
 D. Museum 186
 Schauer, Paul: Otto Lilienthal war auch der erste Motorflieger, VDI-Nachrichten (1929) 29
 D. Museum R 1866/7
 D. Museum 2035
 D. Museum 1563
 D. Museum H
 D. Museum 2682
 D. Museum 2307
 D. Museum H 1965-73
 D. Museum 10044
 Wolfmüller, Alois: Wolfmüllers Flugmaschinen-Projekt; Denkschrift des Erfinders. 1906, D. Museum 1910 B 130
 D. Museum 10096
 D. Museum 10043
 Ferber, Ferdinand: Die Kunst zu Fliegen, Verl. Richard Carl Schmidt + Co., Berlin 1910
 Eine neue Flugmaschine. Stein der Weisen, Bd. 14, 1896
 D. Museum 11128
 CIEKAWE WYNALAZKI SZYBOWCOWE, SKRZYDLATA POLSKA (1980) 3, S.8
 Tschudi, Georg von: Aus 34 Jahren Luftfahrt, Verl. von Raimar Hobbing, Berlin 1928
 Gymnich, Alfried: Der Gleit- und Segelflugzeugbau, Verlagsbuchhandlung Schmitt, Berlin 1925, S.208
 Flugsport (1908/1909)13, S.375
 Deutsche Zeitschrift für Luftschiffahrt 1909) 18, S.840
 D. Museum 4102

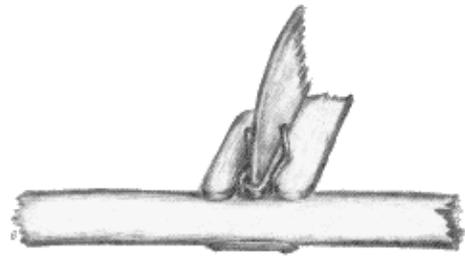
Übersicht der Flugzeugkonstruktionen und Flug-Experimentiergeräte Otto LILIENTHALs

Bezeichnung	Jahr	Spann- weite in m	Tiefe max. in m	Fläche in m ²	Bemerkungen
<i>Experimentiergeräte:</i>					
Schlaggerät I	1867	6	?	?	
Schlaggerät II	1868	8	2	16	
<i>Geräte für Stehversuche:</i>					
Vormodell	1889	4,4	1	2,6	Realisierung vermutet
Modell Möwe	1890	10	1,6	8	
<i>Manntragende Apparate:</i>					
Derwitz-Apparat	1891	7,6/5,5	2	10/7,8	Nachbau im Museum Anklam
Entwurf für Strauss	1892	8	2	10	wahrscheinlich nicht realisiert
Südende-Apparat	1892	9,5	2,5	15	Nachbau im Museum Anklam
Maihöhe-Rhinow-Apparat	1893	7	2,6	14	Exemplare/Pläne verkauft; Nachbau im Museum Anklam
Kleiner Schlagflügel- apparat	1893- 1896	6,8	2,5	12	Nachbau mit Motor im Museum Anklam
Projekt Großer Eindecker	1893	8,4	2,6	18	nicht realisiert
Modell Stölln	1894	6,7	2,4	13	
Seilers Apparat	1894	7,1	2,5	13,5	verkauft an SEILER
Sturmflügelmodell	1894	6	2	9,7	Original im Wiener Techn. Mus.
Normal-Segelapparat	1894-	6,7	2,5	13,6	mind. 9 Exemplare; 8 verkauft;
	1896				4 erhalten geblieben
Vorflügelapparat	1895	8,8	3	19	Nachbau im Museum Anklam
Kleiner Doppeldecker	1895	6,0/5,2	2,2/2,1	19,5	Nachbau im Dt. Mus., München
Großer Doppeldecker	1895	6,6/6,3	2,3/2,3	24	Nachbau im Museum Anklam
Großer Schlagflügelapparat	1896	8,5	2,5	17	nicht erprobt
Gelenkflügelapparat	1896	?	?	?	nicht erprobt
Projekt Kippflügel- Schlagapparat	1896	9	2,8	20	Realisierung vorgesehen

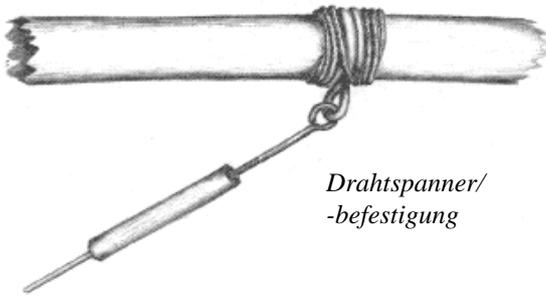
Konstruktionsdetails



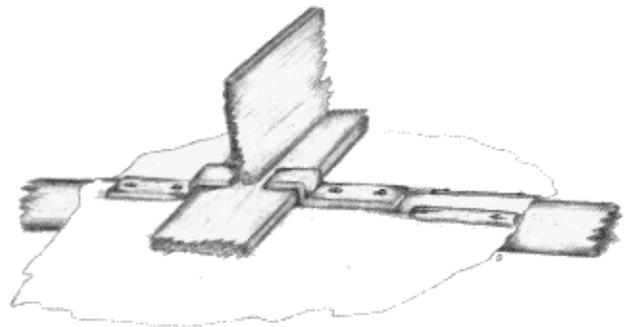
Holmende unten



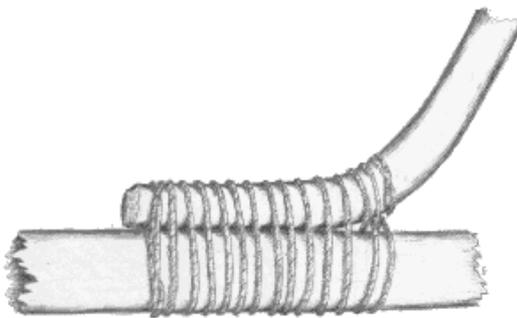
Profilbefestigung vorn



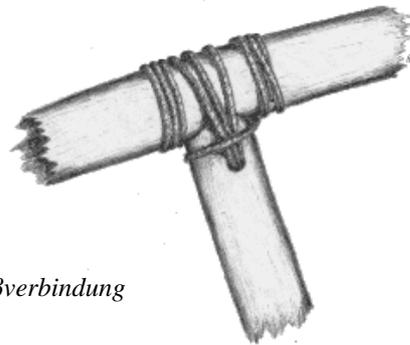
*Drahtspanner/
-befestigung*



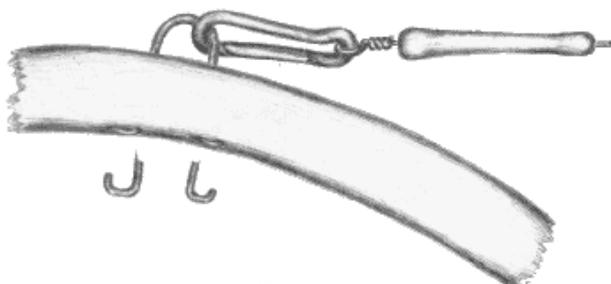
Profileisen



Parallelverbindung



Stoßverbindung

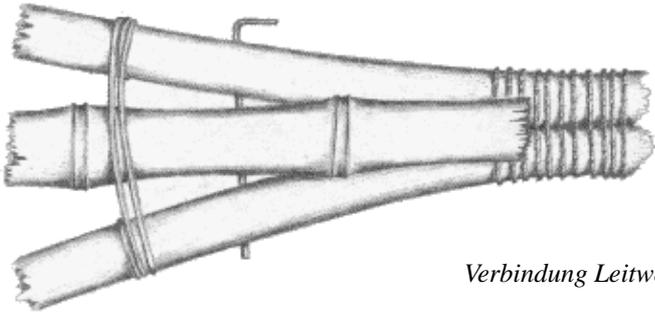


Spanndrahtbefestigung am Gestellring

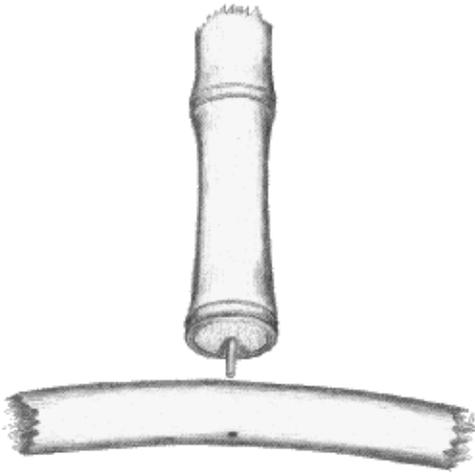


Schäftung

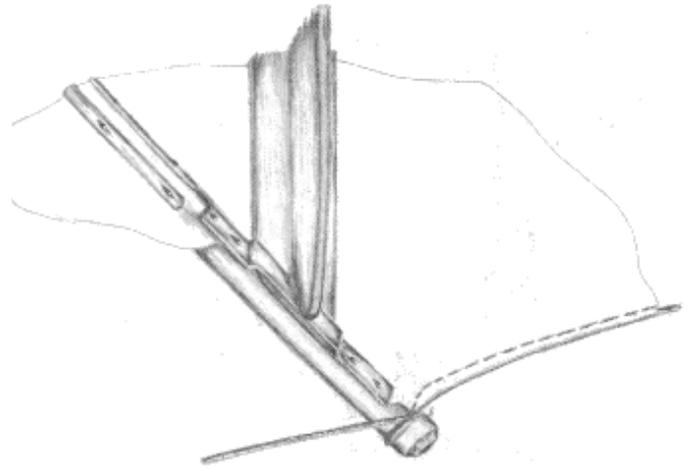




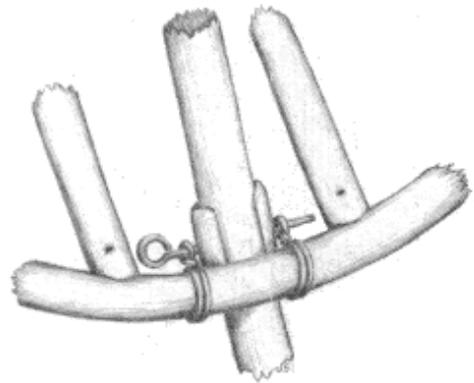
Verbindung Leitwerks-/Längsträger



Verbindung Leitwerksträger/Gestellring



Profilende



Heckscharnier