Der praktische Flugschiffer.

Eine Anleitung zur Konstruktion von Gleitfliegern, Schraubenfliegern und Schaufelfliegern, ihrer Tragdecken, Trag- und Treibschrauben, nebst einem Anhang über **Luftschiffe**

Von

Dr. R. Wegner von Dallwitz

Physiker und Dipl.-Ingenieur.

Mit 37 Abbildungen.

Rostock i. M.

C. J. E. Volckmann Nachfolger (E. Wette)

1909.

Greifswald.
Druck von Julius Abel.
1909.

Vorwort.

Die Ansichten über die dynamischen Vorgänge an den Arbeitsflächen von Flugmaschinen sind jetzt so weit geklärt, dass man ganz zuverlässige Anweisungen für den Bau von Flugmaschinen geben kann, auch soweit sie die Abmessungen betreffen. In weiten Kreisen, und grade in solchen, die sich lebhaft auch praktisch für die neue Sache interessieren, herrscht aber doch noch grosse Unsicherheit in solchen Fragen. Dies war Veranlassung zu der vorliegenden Arbeit, die alles das zusammenfassen will, was praktisch und theoretisch dem praktischen Flugschiffer für seinen Bau zur Verfügung steht. Ich habe mich dabei nicht nur auf die Wiedergabe von Faustformeln beschränkt, sondern auch in einer einfachen Theorie, die nirgends über die Anwendung der einfachsten Algebra hinausgeht, gezeigt, wie die Wirkung an den Arbeitsflächen entsteht, und wie man zu den Gleichungen, die sich für die praktische Verwendung eignen, durch Überlegung gelangen kann; denn es ist meiner Meinung nach grade für den praktischen Flugschiffer von grossem Wert, wenn er sich von der Wirkungsweise aller Teile seiner Maschine Rechenschaft zu geben sucht. Nur so kann er den Grund für das Versagen eines Teils seines Fliegers finden. Das Verhältnis des theoretisch Möglichen zum praktisch bereits Erreichten ist überall als Wirkungsgrad kenntlich gemacht, damit der praktische Flugschiffer sich an diesen Begriff, der im gesamten Maschinenbau so gute Dienste leistet, gewöhnt, und den Gütegrad seiner Konstrution so ausdrücken lernt, dass ein Vergleich mit dem andrer Ausführungen möglich ist.

Sollten bei einer Sonderkonstruktion noch Schwierigkeiten entstehen, so bin ich zu Auskünften gern bereit.

Inhaltsverzeichnis.

Flugmaschinen.

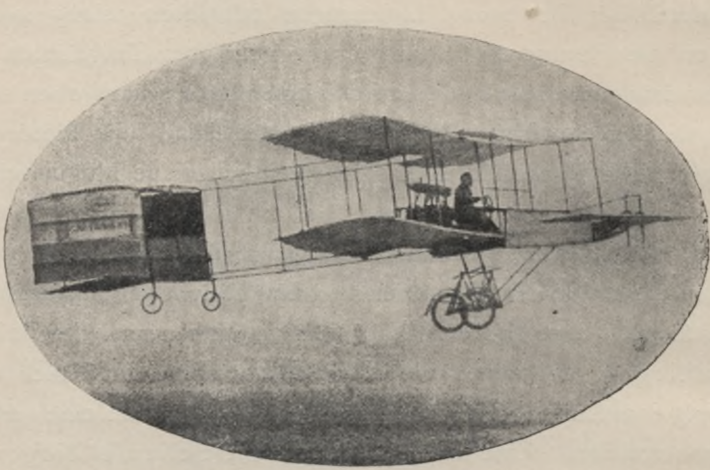
Die praktisch wichstigsten Flugmaschinen sind zur Zeit die Gleitflieger, die sich dadurch in die Luft erheben, dass sie während der Bewegung Luftmengen mit ihren relativ grossen, gegen die Bewegungsrichtung etwas geneigten Tragdecken nach unten drängen, wodurch die Luft mit einem Druck nach oben auf die Tragdecken einwirkt. Man unterscheidet Hand- und Motor-Gleitflieger. Die Handgleitflieger sind eigentlich keine Flugmaschinen, man kann sich mit ihnen nur von erhöhten Punkten in einem schräg nach abwärts gerichteten Gleitfluge herablassen. Wir übergehen diese Vorrichtungen hier, und berücksichtigen nur die Motor-Gleitflieger. Eine andre Art der Flugmaschinen sind die Schraubenflieger, bei denen die arbeitenden Tragdecken sich unabhängig vom Luftschiff bewegen können, indem sie um eine vertikale Achse rotieren. Eine dritte Art sind die Schaufelflieger, die ähnlichen Zwecken dienen, wie die Schraubenflieger, und diesen in vielen Beziehungen überlegen sind, eine vierte Art endlich sind die Flügelflieger. Wir wollen auf alle diese Systeme hier soweit eingehen, dass ihre Leistungen berechnet werden können.

Die Motor-Gleitflieger und ihr Wirkungsgrad[1]).

Das erste Flugschiff, das durch seine praktischen Erfolge die öffentliche Meinung ganz plötzlich für den dynamischen Flug

1) Unter dem Wirkungsgrad eines Gleitfliegers verstehen wir das Verhältnis der theoretisch notwendigen Flugarbeit, (die annähernd aus Gleichung 3 Seite 32 bestimmt werden kann) zur praktisch notwendigen Motorleistung. Dieses Verhältnis gibt also den Grad an, mit der die Motorarbeit für den Flugzweck ausgenützt wird. Näheres hierüber findet man im Abschnitt „Die Tragkraft der Tragdecken von Gleitfliegern etc.“

gewann, war der Gleitflieger des französischen Sportmanns Farmann. In Figur 1 ist dieser berühmte Flieger während eines Fluges 4 m über der Erde abgebildet, und aus Figur 2 und 3 können wir Näheres über die Konstruktion des Apparates ersehen[1]). Die Tragdecks sind aus Baumwollenstoff hergestellt, zur Versteifung ist Bambus verwendet, sobald Biegungs-Beanspruchungen in Frage kommen, und Stahldraht, wenn Zugbeanspruchungen abzufangen sind. Im Übrigen ist alles so leicht

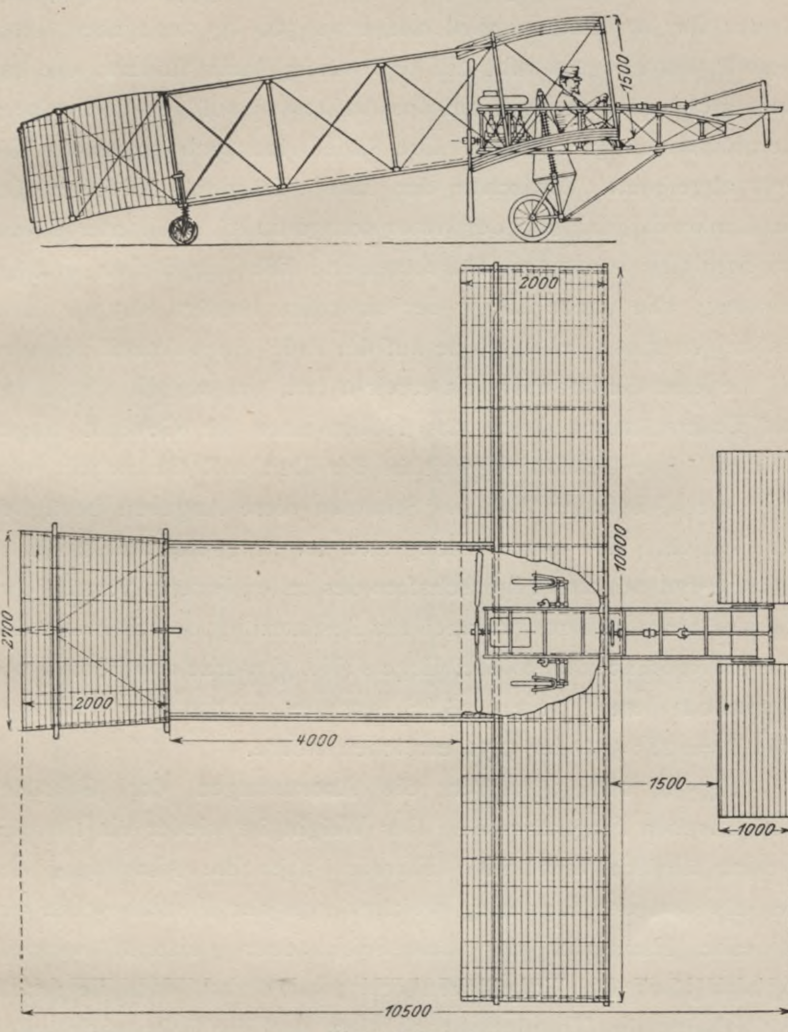


Figur 1

wie möglich aus leichten Holzarten, Aluminium und dessen Legierungen und so weiter konstruiert. (Wir werden uns auf Seite 25 mit der Festigkeit der Materialien näher beschäftigen, und dabei feststellen können, dass die Verwendung von Aluminium im Luftschiffbau nicht immer am Platze ist, und dass man in vielen Fällen, namentlich, wenn es sich um grösste Festigkeit bei grösster Gewichtsersparnis handelt, mit bestem Stahl bedeutend weiter

1) Die Figuren No. 2, 3, 4, 5, 9, 10 sind einer Arbeit W. Kämmerer, „Neuere Flugmaschinen", Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure No. 24 1908 entnommen.

kommt.) Der Apparat kippt leicht, und zu seiner Führung gehört grosse Übung.



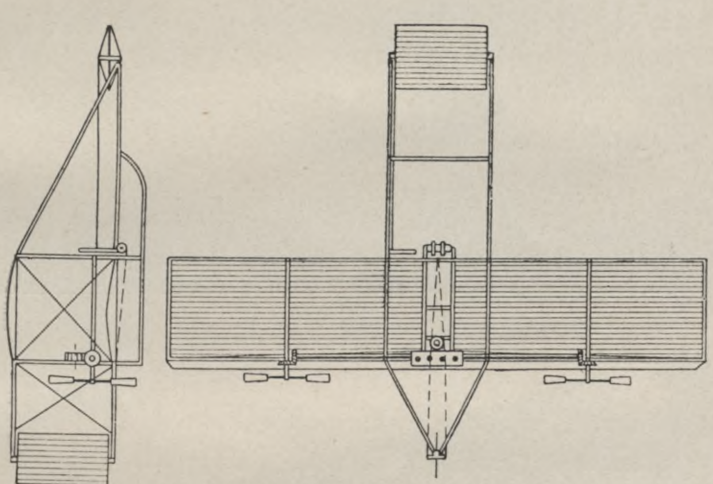
Figur 2 und 3

Die äusseren Konstruktionsmerkmale des ersten Farman sind folgende: Die vorderen Doppeldecks sind 10 m lang und 2 m breit, die hintere doppelte Tragfläche, an der auch das Seitensteuer befestigt ist, ist 2,7 m lang und 2 m breit, das vorderste Tragdeck, das auch zum Steuern in horizontaler Richtung dient, ist 5 m lang und 1 m breit; die gesamte Tragdeckfläche beträgt demnach 55,8 qm. Das Gewicht des Fliegers samt Kühlwasser für 10 Minuten wird auf etwa 500 kg angegeben. Das Gestell des Fliegers ruht auf drei verstellbaren Rädern, die mit Luftreifen versehen sind, um das Aufstossen auf den Boden beim Herabkommen zu mildern. Die Räder sind auch gegen das Gestell abgefedert. Zwischen den Haupt-Tragdecks befindet sich der Lenkersitz, dahinter der Motor von 50/60 PS, und hinter diesem die Schraube von 2,1 m Durchmesser. Die Tragflächen sind gekrümmt. Die ganze Länge der Maschine beträgt 10,5 m. Zum Aufsteigen muss die Maschine auf der Erde einen Anlauf nehmen, bis sie eine Geschwindigkeit erreicht hat, bei der die Tragdecks mit Unterstützung durch das Höhensteuer ihr Gewicht tragen können. Die Geschwindigkeit in der Luft soll 60 km/std. oder 16,7 m/sek. betragen haben. Stimmen diese Angaben bezüglich des Gewichts, der Motorleistung und der Fluggeschwindigkeit, so sind die dynamischen Eigenschaften des ersten Farman vorzügliche. Nach unserer Näherungsformel zur Bestimmung des theoretischen Energieverbrauchs eines Gleitfliegers (No. 3) würde die theoretische Flugarbeit dieses Fliegers 28 PS betragen, so daß sein Wirkungsgrad $\eta = 28 : 55$ oder 0,51 erreichen würde.

Fig. 4 und 5 zeigen die Anordnungen der Gebrüder Wrightschen Flugmaschine. Der Wright ist wieder ein Doppeldecker, ähnlich dem alten Farman, aber die Anordnung des Gestells und der Steuerung weichen von der Farmannschen ab. Derselbe Handgriff, der das Seitensteuer verstellt, verstellt zugleich auch die Tragflächen und zwar derart, dass die rechte Vorderkante des Tragdecks nach oben und die linke nach unten gezogen wird, wenn eine Wendung nach links ausgeführt werden soll, und umgekehrt. Hierdurch soll sich die Flugmaschine wie ein Vogel nach innen neigen, wenn sie eine Wendung macht[1]). Der in der Mitte des Fliegers angebrachte Motor treibt durch

1) Ausführliches über „die Steuerung des Wright'schen Fliegers" findet man im „Flugsport" No. 4 von 1909 (Verlag in Frankfurt a. M., Bahnhofsplatz 8).

Wellen und Kegelräder zwei sich in entgegengesetzer Richtung drehende Treibschrauben. Die Flugmaschine besitzt kein Rädergestell, sondern nur Kufen. Beim Auffliegen wird der Flieger auf einen Wagen gesetzt, der mit Unterstützung durch ein Fallgewicht eine geneigte Ebene herunter rollt. Durch das Fehlen der Räder wird die Maschine etwas leichter, kann aber nicht überall aufsteigen, die Verwendung des auf einer schiefen Ebene rollenden Wagens bringt den Flieger aber sehr schnell in Schwung. Beim Landen gleitet die Flugmaschine mit den Kufen auf den



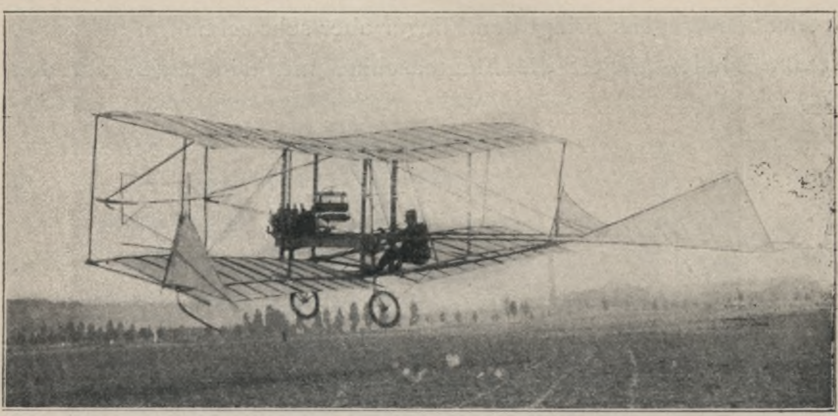
Figur 4 und 5

Boden, und kommt bald zum stehen, während an Flugmaschinen mit Rädern besondere Bremsen hierzu angebracht werden müssen. Um das Gewicht besser zu verteilen, und um zugleich geringeren Luftwiderstand zu bieten, liegt der Führer mit dem Bauch auf dem Gestell, wobei er mit den Händen die Steuer, und mit den Füssen den Motor bedient.

Der Flieger besitzt insgesamt 60 qm Tragdecken, einen Motor von ca. 26 PS., und soll samt Flugschiffer 380 kg wiegen. Sein theoretischer Kraftbedarf beträgt nach Gleichung 3 nur 17,8 PS., und sein Flugwirkungsgrad 69 Prozent.

Der Motor macht 1500 bis 1600 Touren, die Schrauben nur ca. 450 Touren. Der Schraubendurchmesser beträgt 2,8 m. Die Achsen der beiden Schrauben sind 3,4 m von einander entfernt.

In Figur 6 ist die Flugmaschine (No. IX) des bedeutenden französischen Flugtechnikers Hauptmann Ferber abgebildet. Die Abmessungen sind folgende:

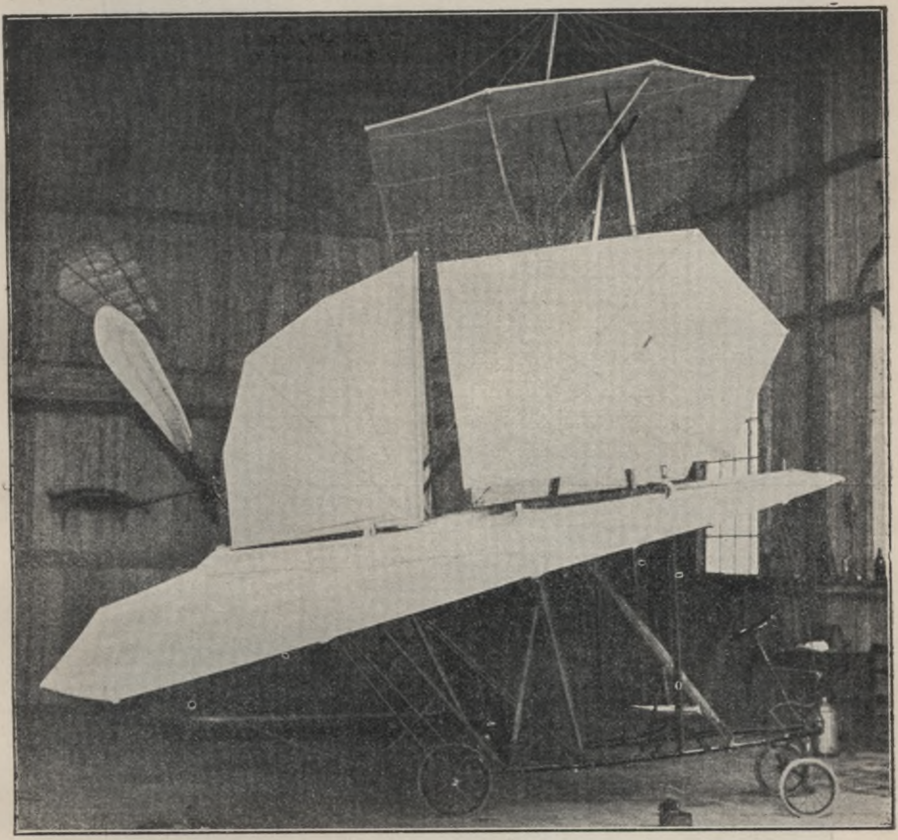


Figur 6

Gesamtgewicht in der Bewegung	400 kg
Fläche der Tragdecks	40 qm
Geschwindigkeit	11 m/sek.
Motor	50 PS. Antoinette
Schrauben	2,20 m Durchm.
	1,10 m Steigung.

Der theoretische Kraftbedarf dieses Gleitfliegers beträgt 23,6 PS., sein Wirkungsgrad also 47 %.

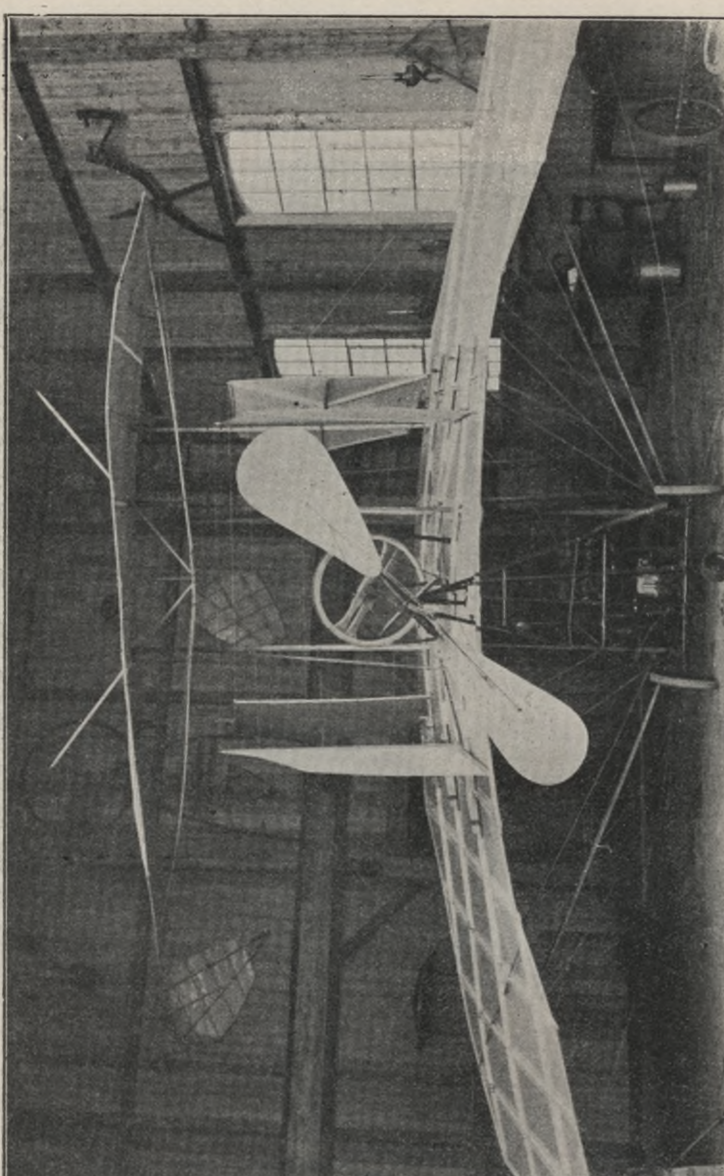
Über den in Figur 7 und 8 dargestellten Jatho-Flieger macht der Konstrukteur selbst im „Flugsport“, (illustrierte technische Zeitschrift für die gesamte Flugschiffahrt, No. 1, 1908, [Verlag in Frankfurt, Bahnhofplatz 8]) folgende Mitteilungen: Der Flieger ist als Zweidecker gebaut, seine höchste Breite beträgt 10,10 m. Die Ausdehnung des Grundsegels ist 10,10 × 3,20 = 34,60 qm, die des oberen 8,00 × 2,40 = 19,20 qm. Der Apparat hat also eine Gesamtsegelfläche von 51,80 qm. Das Grundsegel befindet sich 1,70 m über der Erde. Der Abstand zwischen beiden beträgt 2,00 m. Zwischen beiden Segeln befinden sich 4 Vertikalsegel von je 1 und $^3/_4$ qm Fläche. Die beiden vorderen sind im ersten



Figur 7

Drittel drehbar, um als Steuersegel zu dienen, während die Hinteren fest stehen. Die Verstrebung ist aus Eschenholz, und die Bespannung aus Continental-Ballonstoff. Der Grundsegel ist deshalb besonders gross gewählt, um bei einem eventuellen Motordefekt sanft zur Erde gleiten zu können.

Das Gestell hat 4 auf Kugellager laufende mit nach meinen Angaben konstruierten Pneumatiks bespannte Räder von 50 bezw.

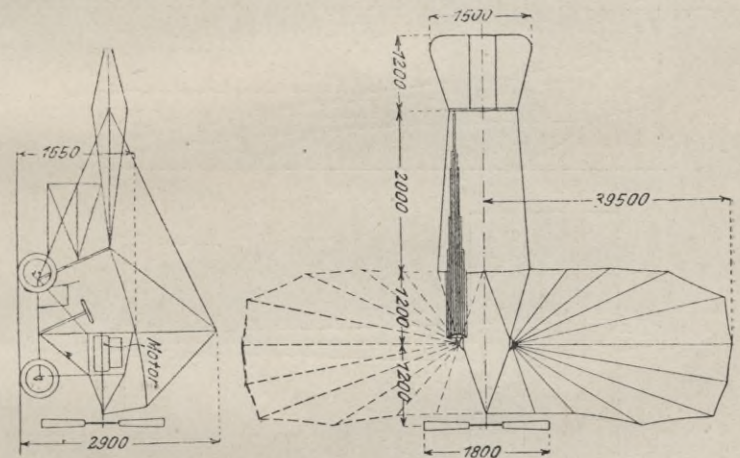


Figur 8

40 cm Durchmesser. Es ist aus Stahlröhren gebaut, während der Sitz aus Magnaliumblech geschmiedet ist. Die Betätigung der

Horizontal- und Vertikalsteuerung geschieht durch eine Lenkstange. An derselben sind gleichzeitig die Kontakte für den Motor befestigt, sodass der Pilot dieselbe keinen Augenblick aus den Händen zu lassen braucht.

Der Antrieb erfolgt durch einen 30 HP. Körting'schen Luftschiffmotor. Die Propellerachse ist im Luftdruckwiderstandsmittelpunkte gelagert. Die Transmission geschieht durch eine mit patentamtlich geschützte Kettenübertragung, die die grossartige Krafträusserung des Motors weich und gleichmässig macht. Der Propeller ist aus Magnalium geschmiedet und hat einen Durch-

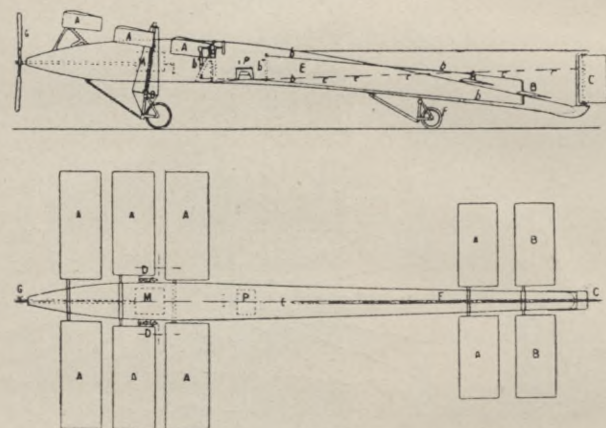


Figur 9 und 10

messer von 2,50 m. Er befindet sich hinter dem Apparate. Die Flügel sind mässig parobolisch gewölbt ebenso wie Grund- und Horizontalsegelsteuer.

Beim Anfahren stehen die Horizontalsegel parallel zur Erdoberfläche und werden, wenn die genügende Geschwindigkeit erreicht ist, durch eine leicht zu betätigende Kippvorrichtung in Schrägstellung gebracht, so dass der Apparat sich von der Erde erhebt.

Nachdem die französischen Flugtechniker mit den Doppeldeckern schöne Erfolge erzielt hatten, wendeten sie sich zum Teil dem Bau von Eindeckern zu. In Figur 9 und 10 ist ein Eindecker von Vuia abgebildet. Die auf strahlenförmigen Rippen befestigten Haupttragflächen dieses Fliegers sind 17 qm gross. Während die vorderen Flächen etwas schräg gestellt sind, bildet der Schwanz des Fliegers eine wagerechte 3 qm grosse Fläche, an der hinten ein 1,5 qm grosses Höhensteuer angebracht ist. Unter der wagerechten Schwanzfläche befindet sich ein senkrechtes Seitensteuer. Die vorn sitzende Treibschraube hat 1,8 m Durchmesser bei 1,1 m Steigung. Der Vuia zeichnet sich durch besondere Leichtigkeit aus, da er einschliesslich Führer nur etwa 215 kg wiegt. Zum Antrieb der Luftschraube dient ein Antoinette Kohlensäuremotor von 24 PS. Bei den im letzten Jahr in Paris unternommenen

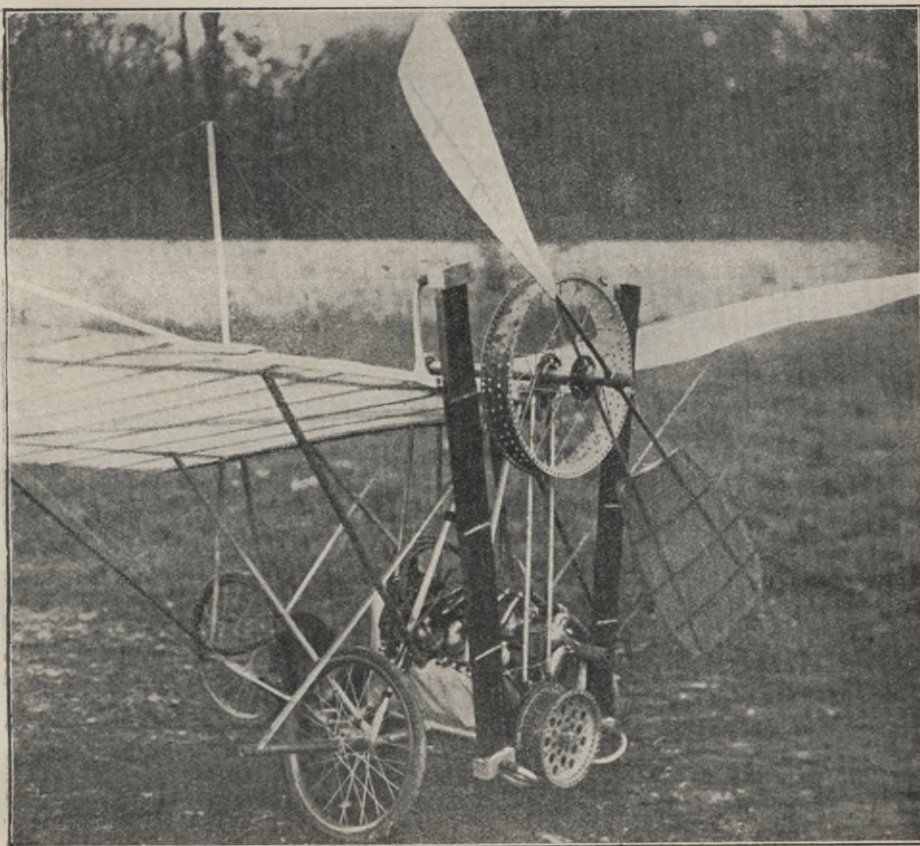


Figur 11 und 12

Versuchen flog die Maschine zwar ein kurzes Stück, zeigte jedoch sehr schlechte Stabilitätseigenschaften.

Nehmen wir dieses dynamische Ergebnis des Vuia-Fliegers unter die Lupe unserer Näherungsgleichung, so finden wir, dass er theoretisch eine Flugarbeit von etwa 14,3 PS erfordert, dass also sein Wirkungsgrad etwa 60 Prozent beträgt, wenn die Angaben zutreffend sind. Angaben über Leistungen von Kohlensäure-Motoren sind sehr vorsichtig aufzunehmen.

Auch Farman hatte einen Eindecker gebaut, der in Fig. 11 und 12 abgebildet ist. Die einzelnen Knotenpunkte des 14 m langen Flugschiffkörpers werden durch Aluminiumstücke gebildet, in denen die Gerüststäbe durch den Druck der Stahlseilverspannung gehalten werden. Die Luftschraube hat einen Durchmesser von 2,5 m, die von einem 8 Cylinder Renaultmotor getrieben wird. Der Motor macht 1800 Umdrehungen per Minute, die Treib-



Figur 13

schraube 1100. Der Motor leistet 47 PS, wiegt 147 kg und verbraucht 28 l Benzin in der Stunde. Die einzelnen Teile des Tragdecks sind so befestigt, dass ihre Neigung zur Durchführung von Experimenten verstellt werden kann. Die Stabilität des Apparates soll eine grosse sein, teils infolge der Anordnung der Tragdecks, und der grossen Länge der Maschine, teils wegen der senkrechten grossen Rückenflosse, die durch Überziehen des senkrechten Rahmengestells mit Stoff gebildet wird. Das Gewicht des kompletten Fliegers beträgt etwa 600 kg. Das Tragdeck misst nur 24 qm insgesamt.

Bestimmen wir mit unserer Näherungsformel den theoretischen Energieverbrauch dieses Fliegers, so finden wir, daß der Apparat wegen der hohen spezifischen Belastung des Tragdecks mit 600 : 24 oder 25 kg per qm nicht weniger als 56 PS verbrauchen würde. Der Flieger ist in der Tat auch nie geflogen, Farman beabsichtigte, einen grösseren (über 100 pferdigen) Motor einzubauen. Der Umbau scheint aber nicht ausgeführt worden zu

Fig. 14

sein, oder hat zu nichts geführt, denn neuerdings benutzt Farman wieder einen Doppeldecker.

Figur 13 zeigt einen Eindecker von Santos Dumont nach dem „Flugsport" (vom Dezember 1908). Der Konstrukteur war bestrebt, den Schwerpunkt möglichst tief zu legen, und die Tragflächen in die Mitte des durch die Schraube erzeugten Luftstromes zu führen. Die Spannweite der Flügel ist 5,2 m. Der Antoinettemotor leistet 24 PS. Die Schrauben werden durch Riemen angetrieben. Die Kühlerbatterie ist in zwei Teilen hinter der Schraube angeordnet. Die Luftschraube soll 700 Turen machen und hierbei eine Zugkraft von ca 70 kg entwickeln. Dieser Apparat wiegt nur 200 kg. Die Geschwindigkeit soll 80 km betragen.

Fig. 14 gibt die Total-Ansicht des Fliegers Antoinette No. 3, der von einem 50 PS Antoinette Motor mit 8 Cylindern ausgerüstet ist (der nur 70 kg wiegen soll). Die Kühler sind längs des Tragkörpers angeordnet. Das Hauptgewicht des Apparates ruht auf einer Kufe, die mit einer Rolle versehen ist.

Beim Anfahren läuft der Apparat in seiner Kufe und soll, über die vordere Rolle gleitend, sich leichter erheben. Zur Seiten-

Figur 15

steuerung dient ein dreieckiges Segel, wie es früher von Ferber schon mit Erfolg angewendet wurde. Die Tragfläche beträgt 40 qm, die Spannweite der Flügel 11 m. Die Schrauben haben 2,2 m Durchmesser und 1,1 m Steigung.

Man hat auch Dreidecker und Mehrdecker gebaut. Ein Beispiel von diesen gibt Figur 15, der Mehrdecker von Marquis

Ecquevilley. Nach dem „Flugsport“ ist das Aufhängegerüst aus dünnen Stahlröhren, die fahrradartig verspannt sind. Der Konstrukteur suchte hierdurch eine grosse Stabilität und geringes Gewicht zu erzielen.

Für die Konstruktion war weiter massgebend, die Spannweite des Fliegers möglichst klein zu halten. Die gesamte Breite des Apparates beträgt denn auch nur 7 m, die gesamte Tragfläche beträgt 28 qm, und das Gewicht erreicht nur 140 kg. Über die Flugeigenschaften ist noch nichts bekannt geworden.

Der zur Zeit am meisten gebräuchliche Typus ist der Farman-Typ, der auch von Ferber und Wright (der soeben Flüge von über eine Stunde Dauer zurücklegt) benutzt wird. Die zur Zeit gebräuchliche spezifische Belastung des Tragdeckes beträgt nicht über 10 kg, d. h., man gibt dem Tragdeck einen Flächeninhalt, der wenigstens dem zehnten Teil des gesamten Luftschiffgewichts samt Lenker in kg etwa entspricht. Die zum Fluge notwendige Motorleistung beträgt etwa 0,07 bis 0,12 PS. für jedes kg des Luftschiffgewichts, für 8 bis 15 kg also etwa 1 PS. Der erreichbare Wirkungsgrad kann mit 50 bis 60 Prozent angenommen werden. Er hängt zum grössten Teil vom Wirkungsgrad der Treibschraube ab.

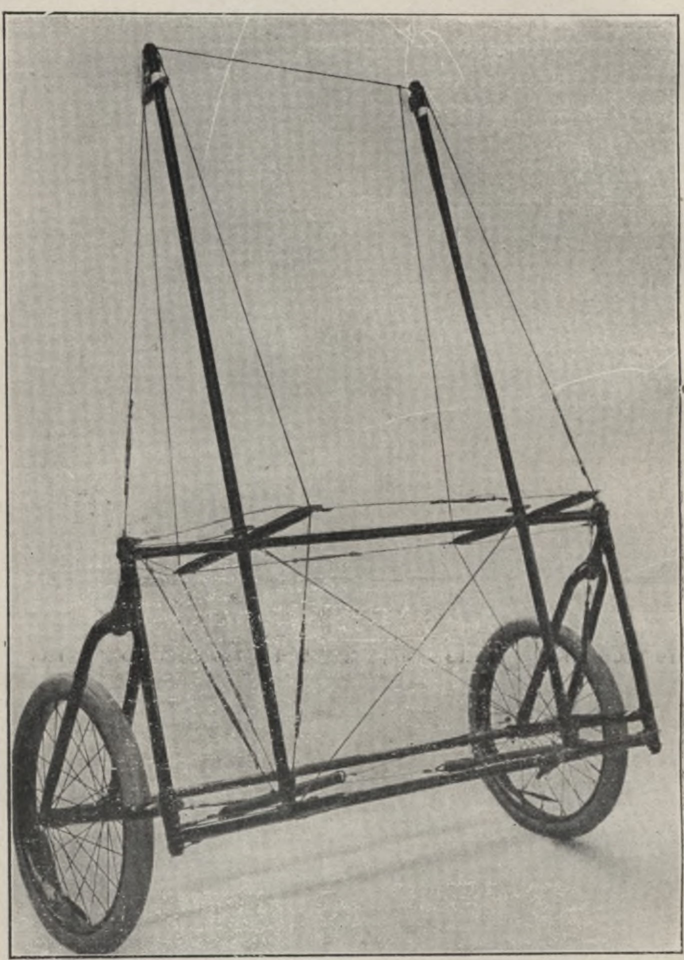
Etwas über Konstruktionseinzelheiten.

Figur 16 und die folgenden Figuren zeigen (nach „Moderner Fliegerbau“ von Zivilingenieur Oskar Ursinus im „Flugsport“ No. 1 und 3 von 1909) einige Einzelheiten eines Flieger-Typs, wie ihn Farman benutzte. Der Flieger ist von der Firma Voisin in Billancourt in durchaus moderner Weise unter Verwendung autogener Schweissung hergestellt. (Auch das Gestell des in Figur 7 und 8 dargestellten Jatho Fliegers ist autogen geschweisst.)

Das Motorgestell Figur 16 hat bei allen Fliegern aus den Werkstätten von Voisin eine Fischbauch ähnliche Gestalt, wenn nur eine Schraube verwendet wird. Die Tragflächen lassen sich

Figur 16

an diesem Gestell leicht befestigen. In dem Motorgestell (dem Chassis) ist der Motor untergebracht, und der Raum für den Flugschiffer vorgesehen. Das Hauptgewicht des Fliegers wird von dem Fahrgestell Figur 17 getragen. Um die Stösse beim Aufsetzen des Fliegers zu dämpfen, sind grosse Pufferfedern angeordnet. Die Laufräder können, wenn der Apparat von seiner Fahrtrichtung abgeht, folgen. Die Radgabel mit den Rädern wird durch diagonal



Figur 17

zu einander liegende Spiralfedern zurückgezogen, die sich am untern Teil des Fahrgestells befinden. Das Fahrgestell besteht aus Stahlröhren. Die Verbindungen sind Hartlötungen. Alle stark beanspruchten Teile sind aus Stahlguss hergestellt.

Eine komplette Serie der zum Motorgestell benötigten Teile ist in Figur 18 wiedergegeben.

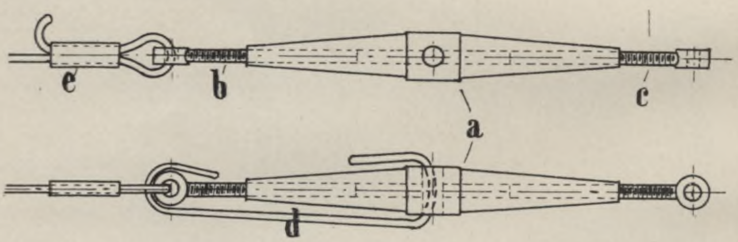
Hervorzuheben ist die Steuervorrichtung der Voisin-Konstruktion. Wie Figur 16 zeigt, befindet sich auf einem Bock aus Stahlblech, dessen Füsse der Gewichtsersparnis wegen durchlocht

Figur 18

sind, ein Lagerbock, in dem die Hauptsteuerspindel drehbar und in der Längsachse verschiebbar angeordnet ist. Unter Vermittlung eines zweiarmigen Hebels mit einer nach hinten führenden Zugstange wird das hintere Horizontalsteuer betätigt. Die Vertikalsteuerung wird durch Drehung des Handrades unter Vermittlung des auf der Trommel liegenden Seiles, das nach dem hinteren Vertikalsteuer führt, bewirkt.

Die Streben, Verbindungsstücke, Spannschrauben für die Drähte werden nach bestimmten Normalien ausgeführt. Es ist auf diese Weise leicht möglich, den grössten Teil der Stücke beim Umbau von Apparaten wieder zu verwenden. Man hat auch bei Unfällen gleich Ersatz zur Hand.

Die Konstruktion der Spannschrauben zeigt Figur 19 in $^1/_2$ der natürlichen Grösse. Die Verbindung der Drähte mit den Spannschrauben geschieht nicht, wie beim Wright'schen Flieger durch Verknotung nach Art der Telegraphendrahtverbindungen, sondern durch Umlegen einer Blechhülse, die verlötet wird. Das



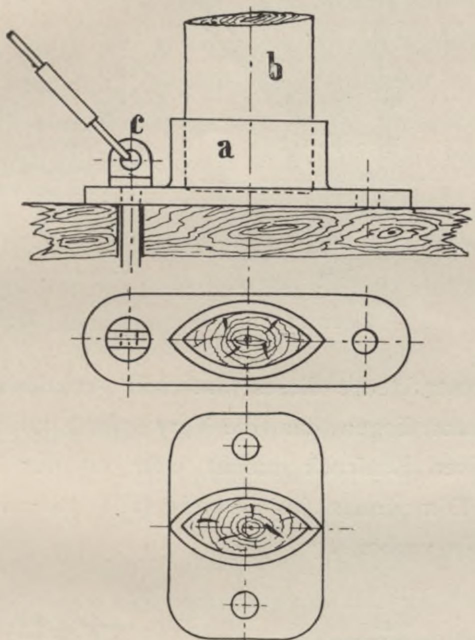
Figur 19

kürzere Ende des Drahtes wird rückwärts gebogen, damit es nicht zurückschlüpfen kann.

In sehr einfacher Weise hat Voisin die Spannschrauben a gegen Lösung in der Weise gesichert, dass er einfach durch die eine Drahtöse bei e und durch das Spannschraubenloch bei a einen Sicherungsdraht zieht und umbiegt. Diese Art der Sicherung hat sich vorzüglich bewährt.

Die Holzstreben der Figur 20 erhalten, um den Luftwiderstand auf ein Minimum herabzudrücken, elliptische Form. Zur Verbindung der Stäbe mit den Längsträgern kommen aus Aluminium hergestellte Schuhe a zur Verwendung. Die Verbindungsschrauben e sind in ihrem oberen Teil als Ösen ausgebildet, in denen die Spanndrähte befestigt sind.

Die Verbindungsstreben mit den Längsträgern, wie sie Wright verwendet, zeigt Figur 21 bis 23. Die in Figur 22 und 23 dargestellte starre Konstruktion dient für die mittleren Streben. Die Verbindungen für die seitlichen Streben, welche infolge der Verwindung der Tragflächen beweglich sein müssen, hat Wright scharnierartig ausgebildet. Diese Verbindung erscheint etwas primitiv; recht amerikanisch. Sie hat sich jedoch sehr gut be-

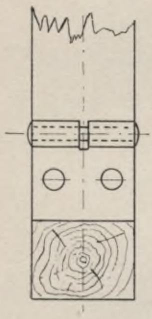


Figur 20

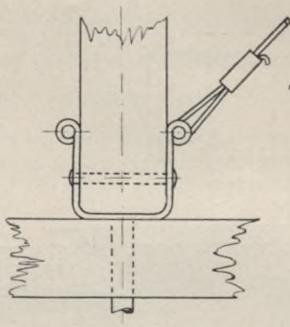
währt. Die Hakenöse *a* ist durch eine Blechklappe *b* an der Tragfläche festgeschraubt. An beiden Seiten sind die Spanndrähte *c* und *c* bezw. die Steuerzugseile befestigt. Die Schraube *d* wird durch einen Splint *e* vor dem Herausgleiten aus der Hakenöse gesichert.

Ein von vielen Konstrukteuren verwendetes Material ist das sehr widerstandsfähige Bambusrohr. Für die Verbindung mit den Längsspanten werden Schuhe aus Aluminium (ähnlich wie Fig. 20

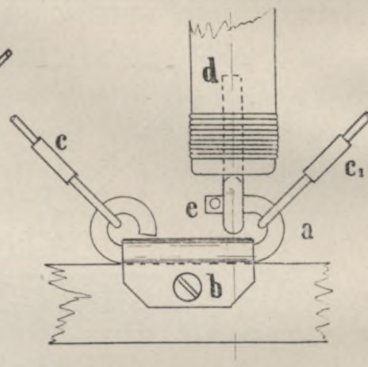
zeigt) verwendet und zwar geschieht die Befestigung vermittels eines runden Keiles, welcher in das mittels heissem Wasser aufgeweichte Bambusrohr gegen den Schuh eingetrieben wird. Der Schuh ist nach unten konisch erweitert. Trotz des geringen Gewichtes bei hoher Festigkeit des Bambusrohres bedienen sich die



Figur 21

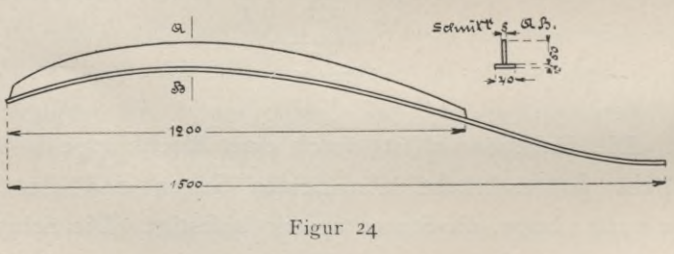


Figur 22



Figur 23

modernen Konstrukteure dieses Materials verhältnismässig wenig. Mag es nur daran liegen, dass die Verwendung von Bambus einen immer primitiven Eindruck macht oder ob der Luftwiderstand bei stärkeren Dimesionen ins Gewicht fällt und die Verwendung dieses Materials verbietet.



Figur 24

Für die Längsspanten wird von den Franzosen amerikanische Fichte verwendet. Diese Spanten erhalten an den Stellen, wo sie vermittels des Schuhes mit den Streben verbunden werden, eine Verstärkung. Die Spanten werden dann je nach Form des Chassis gebogen und durch ein Kopfstück aus Stahlblech verbunden. Dieses Kopfstück dient in vielen Fällen gleichzeitig als Aufnahme des Lagers für die Propellerwelle.

Die Tragdeckrippen sind bei verschiedenen französischen Fliegern sehr gut durchgebildet. Bei den Einflächnern von Antoinette und Esnault Pelterie, die sehr tiefe Tragflächen besitzen, ist die Tragrippe als Gitterträger ausgebildet.

Bei den Doppel- und Mehrdeckern verwendet man hölzerne Tragrippen wie die Fig. 24 zeigt. Voisin verwendet normal drei verschiedene Grössen, die sowohl am Haupttragdeck, sowie am Schwanzsteuer verwendet werden. Die in Figur 24 dargestellte Tragrippe ist für eine Belastung von 80 kg konstruiert.

Die Material-Beanspruchung wird von den Franzosen sehr hoch getrieben. So sollen beispielsweise die aus Figur 16 ersichtlichen senkrechten Streben, die 0,5 m lang sind, und deren Querschnitt (Figur 20) 2,5 qcm beträgt, eine wechselnde Belastung von 0 bis 110 kg aushalten.

Etwas über die Festigkeit von Materialien.

1) Die geeigneste Metallsorte

Zunächst ist zu bemerken, dass Konstruktionselemente, die wirklich nur ihrer Beanspruchung entsprechend dimensioniert zu werden brauchen, denen also nicht, wie zum Beispiel den Teilen eines Bezinmotors aus Gründen, die mit der prinzipiellen Beanspruchung nichts zu tun haben, gewisse Mindestabmessungen gegeben werden müssen, dass solche Elemente stets am besten und am leichtesten aus zähem Stahl hergestellt werden, wenn es sich um äusserste Gewichtsersparnis handelt. Eine Zusammenstellung von Ingenieur E. Rumpler (aus der technischen Rundschau Nr. 36, 1908) lässt diese Verhältnisse gut erkennen, sie ist deshalb nachstehend wiedergegeben.

Demnach ist Stahl zwar etwa 3 mal schwerer als Aluminium und Magnalium, man kann ihn aber mit einer Festigkeit erhalten, die mehr als 3 mal so gross ist. Voll beanspruchte Konstruktions-

Material	Aluminium geglüht	Kupferaluminium (Albiduralum). geglüht	Magnalium geglüht	Eisen	Automobilstahl $\left(K \frac{AZJ}{Z}\right)$	Nickelchromstahl der *Bismarckhütte* NC$_2$		NC$_4$		Spezial-Nickelstahl $\left(\textit{Krupp}\ \frac{FF\ 60{,}0}{Z}\right)$	
						roh	hart	roh	hart	roh	hart
Zugfestigkeit (Bruchgrenze) kg/qmm	10	20	30	ca. 35	53,8	65—80 i. M. 73	130—160 i. M. 145	75—100 i. M. 88	150—200 i. M. 175	95,6	163,6
Elastizitätsgrenze (Streckgrenze) kg/qmm	—	—	—	22—28	33,4	ca. 45	130—160 i. M. 145	ca. 65	150—200 i. M. 175	80,4	165,6
Dehnung auf 100 mm pCt.	20	19,5	18	ca. 15	24,7	8—12 i. M. 10	3—10 i. M. 6,5	8—12 i. M. 10	3—10 i. M. 6,5	14,4	6,0
Kontraktion pCt.	—	—	—	—	62,4	ca. 50	ca. 25	ca. 50	ca. 35	62	40,2
Arbeitsvermögen (Zugfestigkeit × Dehnung) kgmm pro cbmm	200	390	540	ca. 525	1329	520—960 i. M. 730	390—1600 i. M. 943	600—1200 i. M. 880.	450—2000 i. M. 1138	1377	981
Spez. Gewicht kg/cbdm	2,64	2,9—3,0	2,4—2,6	7,8	7,7	ca. 7,8	ca. 7,8	ca. 7,8	ca. 7,8	ca. 7,8	ca. 7,8

teile aus Stahl fallen deshalb leichter aus, als solche aus Aluminium und Magnalium. Bei nicht voll beanspruchten Konstruktionsteilen kann aber Aluminium am Platze sein. Auch Holz kommt in Frage.

2) Zugfestigkeit von Drähten (nach der „Hütte").

Material	Zugfestigkeit in kg per qmm
Eisendraht, blank gezogen	56—70
„ geglüht	40
Flusseisendraht, verzinkt und geglüht	40—43
Bessemerstahldraht, blank	65
„ geglüht	40—60
Tiegelstahldraht	90—190
Zinkdraht	19
Kupferdraht	40
Bronzedraht	46—71
Siliziumbronzedraht	65—85
Doppelbronzedraht	76
Höpermetalldraht, blank	140
„ geglüht,	63

Material	Zugfestigkeit in kg per qmm
Deltametalldraht	bis 98
Messingdraht	50
Aluminiumdraht	23—27
Magnaliumdraht	33—27
Bleidraht, hart	2,2
„ weich	1,7

3) Zugfestigkeit von Kabeln

(mitgeteilt von der Ballonfabrik August Riedinger, Augsburg).

Vergleich von Stahlkabeln mit Hanfseilen:

Hanfseile aus I. Qualität Italiener Langhanf, Reisslänge ca. 9000 m.			Ballonkabel mit gleicher Festigkeit aus bestem Stahldraht, Reisslänge ca. 20000 m.			
Durchm. mm	Gewicht per 100 m kg	Bruchfestigkeit kg	Durchm. mm	Gewicht per 100 m kg	Draht-stärke mm	Anzahl der Drähte
6,0	3,0	250	1,8	1,2	0,2	42
7,2	4,3	360	2,3	2,0	0,3	28
8,3	6,0	490	2,5	2,2	„	35
9,1	7,3	580	2,8	3,0	„	42
9,7	7,6	660	3,0	3,5	„	49
11,0	9,9	840	3,5	4,0	0,4	35
12,0	12,0	1000	3,7	5,0	„	42
12,8	13,5	1175	4,2	6,0	„	49
14,3	16,3	1400	4,3	7,0	0,5	35
15,2	18,8	1650	4,5	8,0	„	42
16,6	22,7	1950	5,0	9,0	„	49
18,6	28,8	2400	6,0	11,0	„	60
20,1	32,5	2800	6,6	13,0	„	70
20,7	34,8	2900	6,7	14,0	„	72
21,9	38,3	3350	7,2	16,0	„	84
23,7	45,3	3900	7,3	18,0	„	98
25,5	49,1	4500	7,5	21,0	„	114
27,6	63,0	5300	8,5	24,0	„	133

Im allgemeinen beträgt die Zugfestigkeit nach der „Hütte“ bei

	Zugfestigkeit per qmm in kg
Lederriemen gebraucht und neu	2,5 bis 4,5
Manila- und Schleiss-Hanfseile, neu	12
gebraucht	5

b) Festigkeit von Hölzern (nach der „Hütte“).

Holzart	Zug-	Druck-	Schub-Festigkeit
	(zulässige Spannungen in kg/qcm)		
Eichenholz	100—120	66	—
Eschen- und Buchenholz	100	80	20
Kiefernholz	100	60	10
Tannenholz	60	50	—

Material für die Tragdecken.

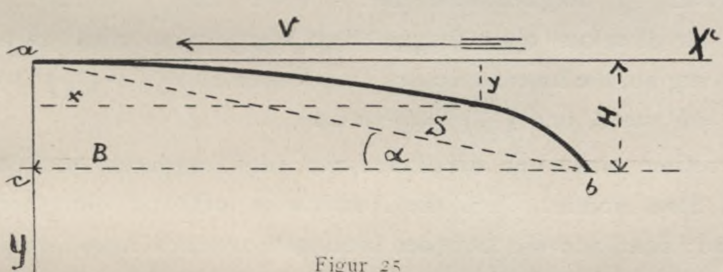
Aeroplan-Ballonstoff wiegt per qm etwa 0,150 kg und reisst bei einer Belastung von etwa 1000 kg, auf die Länge eines Meters berechnet. Solche Stoffe bezieht man von unseren bekannten Ballonstoffirmen, z. B. von Franz Clouth, G. m. b. H., in Cöln-Nippes am Rhein, oder der Continental-Kautschuk- und Guttapercha-Cie in Hannover.

Die Tragkraft der Tragdecken von Gleitfliegern, die notwendige Motorstärke und der Wirkungsgrad von ausgeführten Gleitfliegern.

Die Gleitflieger werden von ihren Tragdecken während des Fluges in der Luft getragen. Im Prinzip kann zwar ein Gleitflieger, wie schwer er auch sei, mit jedem Tragdeck fliegen, ganz gleich, wie gross die Tragflächen sind, je kleiner aber das Tragdeck ist, desto stärker muss der Motor des Gleitfliegers sein, je grösser das Tragdeck ist, desto schwächer darf der Motor sein. Im Prinzip kann man die Tragflächen so gross machen, dass

Menschenkraft genügt, die Flugmaschine zum Fliegen zu bringen, die Flächen werden dann aber so gross, dass der Gleitflieger ein Spiel auch des leisesten Windes wird. Aufgabe des Flugmaschinenkonstrukteurs ist es, den richtigen Mittelwert im Verhältnis des Flugmaschinengewichtes zum Flächeninhalt ihres Tragdecks zu finden. Aus der Theorie und der Erfahrung können ihm hierzu folgende Leitsätze zur Verfügung gestellt werden:

Ist T in der beistehenden Figur der Querschnitt eines (gewölbten) Tragdecks, so nennt man den Winkel α zwischen der Sehne S und der Horizontalen B die Neigung des Tragdecks. Wird es, (das einen Flächeninhalt von F qm besitzen möge) mit der Geschwindigkeit von V m/sek in der Pfeilrichtung gegen die Luft bewegt, so entwickelt seine untere (innere) Oberfläche einen



Figur 25

Auftrieb von $0{,}26\, FV^2 \cos a \operatorname{tg}^2 \alpha$ Kilogrammen. Diese Gleichung gilt streng genommen nur, wenn die Wölbung des Tragdecks eine Parabel bildet, doch kommen praktisch ausgeführte Tragdecke mit nur annähernd parabolischen Wölbungen diesem theoretischen Effekte ziemlich nahe, wie wir noch sehen werden. Man kann sich das Zustandekommen dieser Wirkung so vorstellen, als werde in jedem Zeitraum $\frac{B}{V}$ ein Luftquantum von LBH cbm, (L ist die Länge des Tragdecks) oder der Masse $M = (LBH)\,\frac{1{,}29}{9{,}81} = 0{,}13\, LBH$ (worin 1,29 das Gewicht eines cbm Luft bei gewöhnlicher Temperatur und mittlerem Barometerstand, und 9,81 die sog. Beschleunigung der Schwerkraft ist) vom Tragdeck mit der Geschwindigkeit v senkrecht nach unten gestossen; damit diese Luftmasse die Geschwindigkeit v unter den möglichst günstigen Umständen erlangen kann. muss sie während der Zeit $B : V$, in der sie mit dem Tragdeck in Berührung ist, (in der Sekunde legt das Tragdeck den Weg V zurück, den Weg B also in der Zeit $B : V$), von der Geschwindigkeit O auf die Geschwindigkeit v gleichmässig mit der Beschleunigung G beschleunigt werden, (trifft zu, wenn das Tragdeck parabolisch gewölbt ist). Nach einem Prinzip der Mechanik drückt dann das in jeder Sekunde vom Tragdeck in Bewegung gesetzte Luftquantum von der Masse $M : \frac{B}{V}$ in jedem Moment mit der gleich grossen, aber entgegengesetzt gerichteten Reaktionskraft seines Bewegungsmoments $\left(M : \frac{B}{V}\right) v$ senkrecht nach oben auf das Tragdeck. Nun ist $v = G \frac{B}{V}$, und $G = 2\,H \left(\frac{V}{B}\right)^2$, folglich wird $\left(M : \frac{B}{V}\right) v = 2\,MH \left(\frac{V}{B}\right)^2 = MG$, setzt man für M seinen oben festgestellten Wert ein, so erhält man als Wirkung auf die Innenfläche des Tragdecks $0{,}26\,V^2\,LB \left(\frac{H}{B}\right)^2$, worin $LB = F \cos \alpha$, und $\left(\frac{H}{B}\right)^2 = tg^2\,\alpha$ ist[1]).

Aber nicht nur die Innenseite des Tragdecks, die direkt zum Stoss kommt, auch die Aussenseite wirkt in der gleichen Weise; denn wie die Luft der Innenseite weichen muss, muss sie der Aussenseite folgen, wie man sich leicht überlegen kann. Da die Quantitäten der beiden Wirkungen gleich gross sind, können wir als theoretische Auftriebskraft eines Tragdecks setzen:

1) $$A = 0{,}52\ FV^2 \cos \alpha\ tg^2\ \alpha \text{ Kilogramm.}$$

Zur Erleichterung von Rechnungen mit Gleichung 1 sind in der nachstehenden Tabelle I die Auftriebe per Quadratmeter Tragdeck ($F = 1$ in Gleichung 1) bei der Geschwindigkeit von 1 m/sek für einen Winkelbereich von 1 bis 30 Grad eingetragen. Man kann mit Hülfe dieser Tabelle den theoretischen Auftrieb eines

1) Eine andere Ableitung der Gleichung findet man in „Hilfsbuch für den Luftschiff und Flugmaschinenbau“ vom Autor dieser Arbeit (Verlag Volckmann, Rostock 1909).

Tabelle I

Werte des reduzierten Auftriebs $A^1 = 0{,}52 \cos \alpha \, tg^2 \alpha$

Neigungswinkel α Grad	A^1 Kilogramm
1	0,0001586
2	0,000632
3	0,001426
4	0,00256
5	0,00394
6	0,00568
7	0,00775
8	0,0102
9	0,0129
10	0,0159
11	0,0193
12	0,023
13	0,027
14	0,031
15	0,036
16	0,041
17	0,047
18	0,052
19	0,058
20	0,056
21	0,071
22	0,079
23	0,086
24	0,094
25	0,102
26	0,111
27	0,120
28	0,130
29	0,140
30	0,150

jeden Tragdecks sofort erhalten, wenn man den reduzierten Auftrieb A^1 für den gleichen Neigungswinkel α mit seinem Flächeninhalt F und dem Quadrat seiner Bewegungsgeschwindigkeit V multipliziert, also: $A = A^1 \cdot F \cdot V^2$.

Die Bedeutung der Neigungswinkel der Tragdecke wird erst recht klar, wenn wir die Arbeit feststellen, die zur Bewegung des Tragdecks durch die Luft aufzuwenden ist. Wir haben oben festgestellt, dass der Auftrieb, beide Seiten des Tragdecks berücksichtigt, $= \frac{2\,MV}{B}\,v = 2\,MG$ ist, weil der Luft von der Masse $2\,M$ die Geschwindigkeit v senkrecht nach unten erteilt ist. Dieser Luftmasse ist dadurch die Energiemenge von $\left(\frac{2\,MV}{B}\right)\frac{1}{2}\,v^2 = 2\,MG\left(H : \frac{B}{V}\right)$ Kilogrammetern erteilt worden, die sie vorher nicht besass, und in jeder Sekunde wird der Luft von neuem diese Energiemenge erteilt, natürlich auf Kosten der Betriebskraft der Flugmaschine. Für die Bewegung der Flugmaschine, resp. zur Hervorbringung des Auftriebs ist also sekundlich die Arbeit von $2\,MGH\left(\frac{V}{B}\right) = 0{,}52\,LBV^3\left(\frac{H}{B}\right)^3$ kgm/Sek. oder, in Pferdekräften

$$2) \qquad N_i = 0{,}00693\,F \sin\alpha\, tg^2\alpha\, V^3 \text{ PS.}$$

aufzuwenden. Dividiert man A durch N_i, so erhält man den Auftrieb per Pferdestärke, oder $A/N_i = 75 : (V\,tg\,\alpha)$, und daraus $N_i = V\,tg\,\alpha\,\frac{A}{75}$. Beachtet man nun, dass:

$$V = \frac{1}{tg\,\alpha}\sqrt{\frac{A}{F}\,\frac{1}{0{,}52\,\cos\alpha}} = \frac{1{,}386}{tg\,\alpha}\sqrt{\frac{A}{F}\,\frac{1}{\cos\alpha}} \text{ ist, so wird}$$

$$N_i = \frac{1{,}386}{\sqrt{\cos\alpha}}\,\frac{A}{75}\sqrt{\frac{A}{F}}$$

Da nun in dem in Betracht kommenden Winkelbereich von 0 bis 30 Graden der Cosinus nur wenig von einander verschiedene Werte annimmt, und dieser Wert überdies noch unter dem Wurzelzeichen erscheint, so können wir mit genügender Genauigkeit schreiben:

$$3) \qquad N_i = 1{,}4\,\frac{A}{75}\sqrt{\frac{A}{F}} \text{ Pferdestärken.}$$

worin A/F die spezifische Belastung des Tragdecks ist. Aus (3) folgt der wichtige Satz: Der Energiebedarf eines Gleitfliegers ist annähernd unabhängig von der Fluggeschwindigkeit, er wächst annähernd proportional mit der Quadratwurzel aus der spezifischen Belastung des Tragdecks! Nach Gleichung 2 nimmt N^i mit der dritten Potenz der Bewegungsgeschwindigkeit V zu, aber mit dem Neigungswinkel α ab. Nach Gleichung 1 nimmt die Tragkraft eines Tragdecks mit dem Quadrat der Geschwindigkeit V und mit dem Neigungswinkel α zu, nach (3) kompensieren sich also diese Leistungsänderungen ungefähr in der Weise, dass man einen Gleitflieger mit einem bestimmten Motor theoretisch für jede Fluggeschwindigkeit bauen kann (innerhalb gewisser Grenzen; der Neigungswinkel darf nicht zu grosse Werte annehmen, weil dann die Beziehung (3) nicht mehr gilt, ohne etwas am Motor ändern zu müssen. Man kann aber einen bereits ausgeführten Gleitflieger nicht bei jeder Geschwindigkeit mit gleichem Vorteil verwenden, weil man die Neigung der Tragdecks (von der Treibschraube ganz abgesehen) nur einer gewissen Geschwindigkeit gut anpassen kann. Man wird also von vorn herein eine bestimmte Fluggeschwindigkeit im Auge behalten müssen.

Und damit kommen wir zur Praxis! Braucht der Gleitfliegermotor nur N_i Pferdestärken zu leisten? Nein, denn wir haben die Verluste an den Stossflächen und, vor allen Dingen, an der oder den Treibschrauben noch nicht berücksichtigt. N_i ist das, was der Schiffbauer „die nützliche Arbeit des achsialen Schubes" nennt (und allgemein mit N_n bezeichnet), während die effektive Motorleistung an der Treibschraubenwelle N^e bedeutend grösser sein muss. Bei den besten grossen Schiffsschrauben beträgt nach der „Hütte" das Verhältnis N_i/N_e oder der Nutzeffekt der Schraube $\eta = 60$ bis 70 Prozent, bei Schrauben gewöhnlicher Ausführung ist η geringer. Beim Luftschiffbau liegen die Verhältnisse insofern günstiger als beim Schiffbau, als die Schrauben verhältnismässig grösser ausfallen, wie Schiffpropeller gleicher Leistung; in einer anderen Beziehung sind die Verhältnisse aber wieder ungünstiger, da Luftschrauben sehr schnell rotieren, und ihre Form den theoretischen Forderungen nur unvollkommen angepasst werden kann. Über das im Luftschiffbau bisher in der Ausnutzung der Motorkraft für den Flugzweck erreichte informieren uns die Leistungen ausgeführter Motorflieger. Wir wollen an einigen Beispielen die erzielten Wirkungsgrade feststellen. Bei dieser Gelegenheit sei aber darauf hingewiesen, dass die kursierenden Angaben über Flugschiffe nicht immer zutreffen; die Angaben über das Gewicht und die Motorleistung sind ja auch selbst vom Flugschiffer nur schwer nachzuprüfen; also Vorsicht ist gegenüber den Daten, die man veröffentlicht findet, geboten.

Der alte Farman-Flieger besass ein Tragdeck von 55,8 qm, er wog ca. 500 kg, und sein Motor leistete 50 bis 60 PS. Stellen wir mit Gleichung 3 die nützliche Arbeit des achsialen Schubes fest, so finden wir, dass $N_i = 1{,}4 \cdot 6{,}66 \cdot 3 = 28$ PS beträgt. Hieraus erhalten wir als Wirkungsgrad des Fliegers $\eta = N_i/N^e = 28/55 = 0{,}51$ oder 51 Prozent.

Der alte Ferber-Flieger wog 400 kg, er besass 40 qm Tragdeck. und sein Motor leistete 50 PS. Es wird $N_i = 23{,}6$ PS, und $\eta = 47\%$.

Der Flieger Wright's soll insgesamt 380 kg wiegen, einen 26 PS Motor besitzen, und 60 qm Tragdeck führen. Hieraus erhalten wir: $N_i = 17{,}8$ PS, und $\eta = 0.69$ oder 69 Prozent. Dieser Wirkungsgrad wäre ein sehr hoher, wenn die Angaben über den Wrightschen Flieger zutreffen. Der Flieger besitzt zwei Schrauben, zwei Schrauben arbeiten natürlich günstiger, als nur eine. Die Schrauben rotieren durch Übersetzung auch langsamer als der Motor. Wir kommen im Abschnitt „Treibschrauben" auf diese Verhältnisse zurück.

Der Flieger des Ingenieurs Grade[1]) wiegt samt Flugschiffer ungefähr 240 kg, sein Motor leistet 20 PS, und das Tragdeck misst 38 qm. Hieraus erhalten wir: $N_i = 11{,}5$ PS, und $\eta = 57\%$.

1) Flugsport, Illustrierte technische Zeitschrift für die gesamte Flugschiffahrt, No. 5 vom Februar 09.

Wir sehen, wie man durch den Wirkungsgrad sehr hübsch zum Ausdruck bringen kann, was dem Konstrukteur noch zu tun übrig geblieben ist.

Ein Wirkungsgrad von $\eta = 50\%$ scheint also relativ leicht erreichbar zu sein, wir können deshalb wohl schreiben

$$4) \qquad N_e = N_i : \eta = N_i : 0{,}5 = 2{,}8 \frac{A}{75} \sqrt{\frac{A}{F}} \text{ Pferdestärken,}$$

wenn es uns auf eine vorläufige Veranschlagung ankommt, welchen Motor wir ungefähr für eine Konstruktion zu wählen haben.

Auf einen Umstand sei hier noch hingewiesen, der gewöhnlich garnicht beachtet wird: auf den Einfluss des jeweiligen Luftdrucks, (des Barometerstandes) auf die Wirkung der Flugmaschine. Der Barometerstand kann sich um etwa 10 % ändern! Der Barometerstand steckt aber als Mittelwert von 760 mm in dem Faktor 0,52 der Gleichung (1). Eine Flugmaschine, die bei hohem Luftdruck gut funktioniert, arbeitet also bei einer Depression bis 10 % schlechter, was oft einem Versagen gleich kommt! Ein Apparat, der in Paris oder in Berlin sonst gut funktioniert, kann aus den gleichen Ursachen plötzlich in hochgelegenen Orten, in München, Zürich, versagen. Auch mit zunehmender Lufttemperatur und mit der erreichten Flughöhe nimmt die Wirkung ab!

Lösen wir Gleichung 4 nach F auf, so erhalten wir das Gesetz der Abhängigkeit von F zu N_e und A. Es wird: $F = \left(\frac{\sqrt{A^3}}{26{,}7\ N_e}\right)^2$ qm. Setzen wir beispielsweise $A = 300$ kg, so wird $F = (38000 : N_e^2)$ qm. Zur Illustration der Abhängigkeit von F zu N_e ist hieraus umstehende Tabelle II berechnet.

0,1 PS entspricht etwa einer Menschenkraft. Wir erwähnten schon, dass es im Prinzip möglich ist, eine Flugmaschine durch Menschenkraft zu bewegen. Wir können jetzt aber feststellen, dass hierzu ein ungeheures Tragdeck gehört, von dessen Grösse die entsprechende Zahl in der Tabelle natürlich nur ein Bild geben soll, denn bei so grossen Tragdecks treten Nebenumstände auf, die wir bisher nicht zu berücksichtigen brauchten. Die Tabelle zeigt aber auch, wie wünschenswert für die Flugschiffahrt ein leichter Motor ist; könnte man einen Motor von 50 PS bekommen, der insgesamt nur 50 kg wiegt, so böte die Ausführung einer betriebsfähigen und sehr kompendiösen Flugmaschine nur geringe Schwierigkeiten: Das Flugschiff soll insgesamt 300 kg wiegen, davon wiegt nach Voraussetzung der Motor 50 kg, der Flugschiffer mag 80 kg wiegen, der Benzinvorrat für eine zweistündige Fahrt muss mit 100 kg veranschlagt werden, bleiben für das Flieger-Gestell 70 kg, für das es bei nur 15 qm Tragdeck ohne Schwierigkeit herstellbar ist. Die Motore, die uns heute zur Verfügung stehen, wiegen aber noch 3 bis 4 kg per PS (wenn man das notwendige Zubehör mit berücksichtigt, was bei Angaben über Motorgewichte sehr oft nicht geschehen ist).

Tabelle II.

N_e in PS	F in qm
0,1	3800000
0,2	950000
1	38000
5	1520
10	380
15	169
20	95
25	61
30	42
35	31
40	24
45	19
50	15

Anleitung zur Konstruktion der Parabel eines Tragdecks.

Wird der Gleitflieger im Fluge 400 kg wiegen, und soll er 40 qm Tragkraft erhalten, so dass jeder qm 10 kg zu tragen haben wird, und wird vorausgesetzt, dass er bei einer Geschwindigkeit von 18 m/sek. in der Luft fliegen wird, so wird aus (1) $10 = 18^2$ (0,52 cos α tg^2 α), oder 0,52 cos α tg^2 α = 0,031. Aus diesem Wert bestimmt man den Winkel α, z. B. aus der Tabelle I, aus der man ihn sofort abgreifen kann. Er beträgt ungefähr 14 Grad. Es hätte also gar keinen Zweck, der Sehne der Parabel eine geringere Neigung gegen die Horinzontale zu geben, wie man das gewöhnlich ausgeführt sieht, denn im Fluge stellt sich die Flugmaschine (notabene, wenn sie stabil ist) unfehlbar auf diesen Flugwinkel von selbst ein (wenn das Tragdeck nicht richtig geformt ist, wird der Flugwinkel noch steiler). Vergewissert man sich vorher über den Flugwinkel, so kann man auch der Welle der Treibschraube die rechte Lage geben, wodurch an Motorleistung gespart wird. Nun bestimmt man die Breite S des Tragdecks, und findet dann die Werte von H und B. Für $S = 2$ m wird $H = 0{,}485$ und $B = 1{,}94$ m (eine Tafel für sin und cos findet man im Anhang II dieses Buches). Aus der Beziehung

$$\frac{H}{B^2} = \frac{G}{2\,V^2} = 0{,}13$$

findet man dann $y = 0{,}13\,x^2.$

Nun legt man ein rechtwinkliges Liniensystem durch den Anfangspunkt a der Parabel, und lässt auf der x-Linie x allmählich zunehmen, z. B. immer um je 0,05 m, d. h. um 5 cm, und bestimmt jedes Mal das senkrecht darunter liegende y. Auf diese Weise würde man erhalten

für $x =$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	m etc.
$y =$	0,0003	0,0013	0,0029	0,005	0,008	0,012	0,016	0,021	m etc.

Die so erhaltenen Punkte für y verbindet man mit einander und erhält dann die gesuchte Parabel. Man sieht, dass die Kurve zunächst ausserordentlich flach liegt; allmählich nur lässt das parabolische Tragdeck seine Druckfläche auf die Luft wirken.

Schraubenflieger.

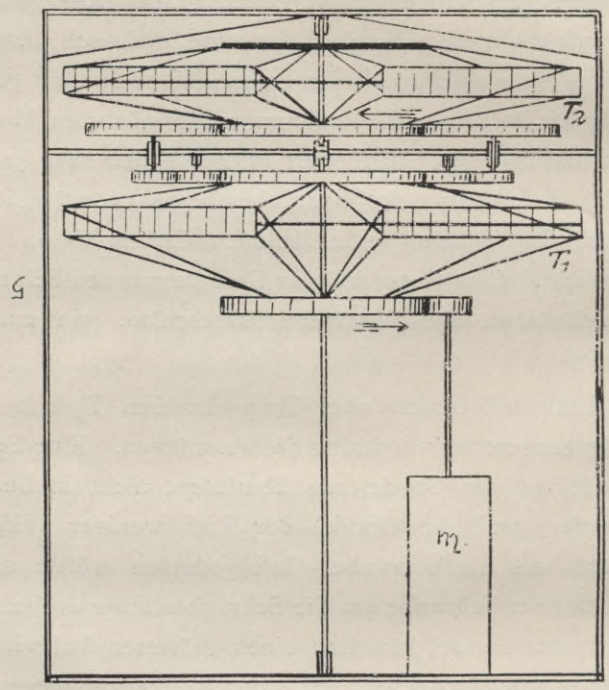
Der Motor-Gleitflieger hat zwar das Flugproblem praktisch gelöst, so ganz zufrieden ist man mit der Lösung aber doch nicht. Es bleibt noch ein beträchtlicher Rest von Wünschen übrig, die der Gleitflieger infolge seiner Eigenart nicht befriedigen kann. Ein Flug mit dem Gleitflieger ist ein Kunststück, zu dem sich nicht jeder bereit finden wird. Auch der geübte Lenker muss während des Fluges seine gespannteste Aufmerksamkeit auf seinen Apparat und seinen Flugzustand richten; ein Augenblick der Geistes-Abwesenheit genügt, um ihn zu Boden zu schleudern.

Die Gleitflieger werden in Zukunft natürlich noch sehr verbessert und dadurch relativ gefahrloser werden. Die Gleitflieger werden natürlich nicht durch theoretische Spekulationen vollkommener, sondern nur durch die praktischen Flieger. Ohne diverse Unfälle pflegt aber die Entwicklung derartiger Apparate nicht abzugehen. Man sollte deshalb bei Unfällen nicht mehr als notwendig erschrecken und dem System deswegen Misstrauen entgegenbringen.

Eine vom Gleitflieger untrennbare, wenn nicht gefährliche, so doch sehr unangenehme Eigenart ist die, dass er mit grosser Geschwindigkeit auf der Erde anlaufen muss, und dass sich auch dem Fluge ein Auslauf auf der Erde anschliesst. Hierdurch wird die praktische Brauchbarkeit des Gleitfliegers beschränkt. Man kann ihn nur dort verwenden, wo eine gut geebnete freie Anlaufbahn resp. Auslaufbahn oder ein Startapparat nach dem Wrigh'schen Muster zur Verfügung stehen. Unsere Chausseen in Deutschland können für diese Zwecke nicht benutzt werden, da sie mit Bäumen bepflanzt sind, und von Telegraphenleitungen garniert werden. Und das ist auch ganz gut so, denn es wäre wenig angenehm für die Passanten der Landstrasse, wenn sie auch diese rasenden umfangreichen Apparate unsicher machen könnten. Für die Zukunft der Gleitflieger hat das auch wenig zu sagen. Wenn sie wirklich die einzigen brauchbaren Flieger bleiben sollten, dann wird schon jeder

Dorfwirt in seinem eigenen Interesse für Landungsgelegenheiten sorgen. Vorläufig rechtfertigt dies alles aber noch den Wunsch nach einem andern Luftschiff. Man ist denn auch sehon seit langer Zeit bemüht, Flugmaschinen mit Tragschrauben zu bauen, mit Tragdecks, die sich unabhängig vom Luftschiff bewegen können, und die deshalb auch im beengten Revier aufsteigen, in beliebig langsamen Tempo die Luft durchstreifen, und zu jeder Zeit dort landen können, wo sich ein Platz findet, grade gross genug, den Apparat aufzunehmen. Bis jetzt ist eine praktisch brauchbare Konstruktion eines solchen idealen Luftschiffs noch nicht gelungen. Das sie möglich ist, zeigen die Rechnungen des nächsten Abschnitts. Die Konstruktion eines Gleitfliegers erfordert eine sehr geschickte Hand. Um das Prinzip des Schraubenfliegers verständlicher zu machen, ist das Schema eines solchen Luftschiffs in Fig. 26 veranschaulicht. (Die Figur soll das Gesagte nur deutlich machen, und ist nicht etwa ein Konstruktionsvorschlag, wie man wohl gemeint hat!)

Das Luftschiff besitzt zwei Tragschrauben T_1 und T_2, die sich in entgegengesetzter Richtung drehen müssen. Eine Schraube allein könnte von der Gondel aus überhaupt nicht in Bewegung gesetzt werden, weil die Gondel der Luft weniger Widerstand entgegensetzt, als die Schraube. Infolgedessen würde sich die Gondel anstatt der Schraube um die Schraubenachse drehen. Man könnte zwar der Gondel künstlich einen grösseren Luftwiderstand geben; das ist auch vorgeschlagen worden. Durch diesen künstlichen Widerstand würde aber alles in allem das Luftschiff mit nur einer Tragschraube schliesslich doch komplizierter, ausserdem aber auch unhandlicher und unselbständiger werden als mit zwei Tragschrauben und ein grosser Teil der Arbeit des Betriebsmotors würde dem Flugzweck nutzlos verloren gehen. Deshalb sind also mindestens zwei Schrauben notwendig, die sich in entgegengesetzter Richtung so drehen, dass das Drehmoment der einen Schraube das Drehmoment der andern Schraube aufhebt, damit die Gondel unbewegt bleibt. Die Schrauben können auch nebeneinander aufgestellt werden. Besser scheint es aber zu sein, sie übereinander anzuordnen, wie in Fig. 26. Von dieser Anordnung ist auch eine gute Wirkung auf den Wirkungsgrad der Schrauben zu erwarten, da die obere Schraube der unteren die Luft entgegengesetzt ihrer Umdrehungsrichtung zuwirft. Auch beim Gleitflieger ersteht ein Drehmoment auf den Apparat, wenn man nur eine Treibschraube verwendet. Dort kann man sich aber durch



Figur 26

eine entsprechende Verteilung der Tragdecke helfen. Aber auch dort ist es besser, wenn man zwei Treibschrauben verwendet, die sich in entgegengesetztem Sinne drehen.

In Fig. 26 treibt nun der Motor M zunächst die Tragschraube T_1 vermittels eines Zahnrades an, das zugleich zur Absteifung der Schraubenflügel dient. Über der Schraube T_1 sitzt wieder ein Zahnrad, natürlich allerleichtester Konstruktion, das durch ein Getriebe das gleichartige Zahnrad der Schraube T_2 in

Gang setzt, so dass sich T_2 entgegengesetzt von T_1 durch die Arbeit des Motors dreht. Das Ganze wird durch ein Gestell G zusammengehalten.

Rein technisch betrachtet ist die Konstruktion eines derartigen Schraubenpaares eine Kleinigkeit. Ein Kunststück wird die Konstruktion aber, sobald es sich dabei um ein Luftschiff handelt. In dieser Beziehung ist Fig. 26 ein schönes Beispiel dafür, wo die Schwierigkeiten beim Luftschiffbau eigentlich liegen. Von dem, der sie ausführen will, muss man vor allem eine glückliche Kombinationsgabe verlangen, damit ihm durch zweckentsprechenden Entwurf des Ganzen die Gewichtsbeschränkung der Maschine bis aufs Äusserste gelingt, jedoch so, dass ihre Festigkeit eine für die Praxis genügende bleibt. Das bischen Theorie, das in der Sache steckt, beschränkt sich auf die Schrauben, und deren Leistung ist bald festgelegt. An der Lösung dieser Aufgabe kann sich deshalb mit derselben Aussicht auf Erfolg neben dem Techniker auch der Laien-Konstrukteur, der Amateur, beteiligen.

Die Tragkraft und die notwendigen Motorstücke der Tragschrauben kann man bei der Veranschlagung nach Gleichung 9 bestimmen. In Tabelle III sind auch einige Werte für Tragschrauben bis 5 m Durchmesser unter verschiedenen Betriebsbedingungen zusammengestellt.

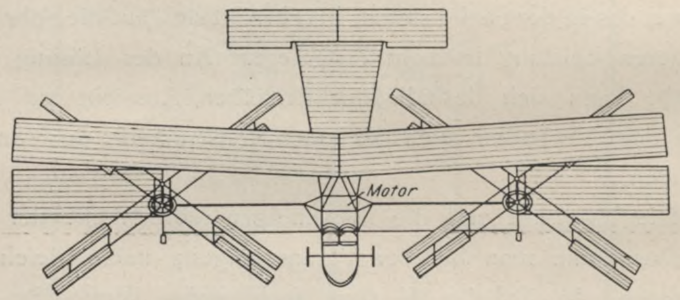
Ein Luftschiff mit Tragschrauben ist eine vollkommen selbstständige Maschine, die sich auch in horizontaler Richtung durch die Tätigkeit der Tragschrauben allein fortbewegen kann, wenn auch nur relativ langsam. Soll die Vorwärtsbewegung eine schnellere werden, so muss man auch dieses Luftschiff mit einer Treibschraube ausrüsten.

Sehen wir uns nun etwas von dem an, was von Schraubenfliegern in der Praxis auf der Bildfläche erschienen ist.

Von Breguet und Richet ist ein Schraubenflieger gebaut worden, der wie folgt aussah[1]): Das Untergestell besteht aus einem

1) W. Kaemmerer, „Neuere Flugmaschinen" Z.d.V.d.I. Nr. 24 Seite 956, 1908.

kreuzförmigen Träger aus Stahlröhren, die durch diagonal gespannte Drähte versteift sind. An den vier äusseren Enden des Kreuzes sind je zwei zweiflüglige Tragschrauben angebracht deren Achsen verstellbar sind und die bei wagerechter Achsstellung zur Fortbewegung in der Luft dienen sollen, die zum Aufsteigen aber senkrecht gestellt werden. Die Schrauben werden unter Zwischenschaltung von Wellen und Kegelrädern durch einen 8 zylindrigen Motor von 45 PS angetrieben. Zur Erhöhung der Stabilität sind oberhalb des Gestelles einige feste Flügel angebracht. Der Führersitz befindet sich im Schnittpunkt der beiden Kreuze. Darüber liegt der 45 pferdige Motor, der 1386 Touren macht. Das Gesamtgewicht des ganzen Fliegers einschliesslich des Führers soll



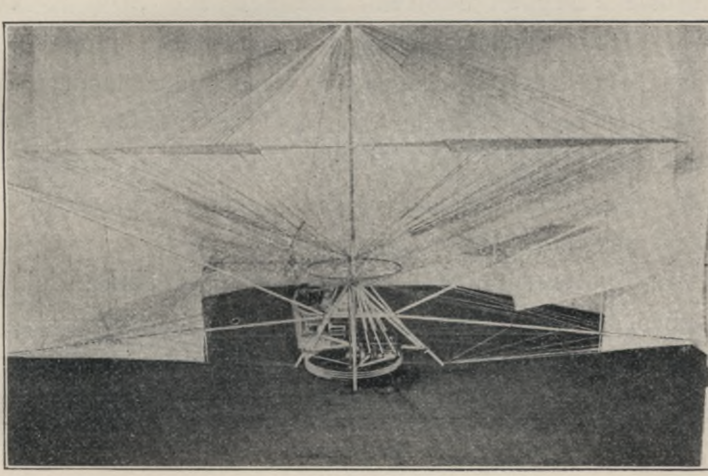
Figur 27

578 kg betragen. Das Gestell ruht auf vier Füssen, die unterhalb der Mitte der Schraubenachsen angebracht sind und unten kleine Rollen tragen.

Bei einem Versuche soll sich der Flieger nach Ingangsetzen des Motors plötzlich etwa 1,5 m über den Boden erhoben haben. Hierbei wurde durch Unachtsamkeit der Bedienung eine Schraube beschädigt, so dass der Versuch abgebrochen werden musste. Seitdem hat man nichts mehr von dem Apparat gehört. Ist die Angabe zutreffend, so hätten die Schrauben per Pferdestärke etwa 13 kg getragen.

Der in Figur 23 dargestellte Schraubenflieger mit Gleitflächen ist ein späterer Bau derselben Flugtechniker. Sie scheinen danach von der Anordnung von 4 Tragschrauben abgekommen zu sein, und haben dafür 2 Doppelschrauben und einige Gleitflächen von zusammen 30 qm angebracht. Die neue Maschine ist mit 550 kg etwas leichter als ihr erster Flieger. Über Versuche mit dem Apparat ist noch nichts bekannt geworden.

Nach derselben Quelle[1]) hat Cornu einen nur durch 2 Tragschrauben ohne Gleitflächen getragenen Flieger gebaut, der sich durch seine besondere Leichtigkeit von nur 260 kg samt Lenker



Figur 28

auszeichnet. Die zweiflügligen Schrauben von rd. 6 m Durchmesser werden durch Riemen von dem in der Mitte gelagerten 24 PS Motor angetrieben. Besonders bemerkenswert sind zwei kleine verstellbare Reaktionsflächen unter den Schrauben, auf die der von den Schrauben erzeugte Luftstrom so einwirken soll, dass das Flugschiff je nach der Einstellung vorwärts oder rückwärts getrieben wird. Näheres über Versuche mit dem Flieger hat man nicht erfahren.

Auch in Deutschland ist ein Schraubenflieger, von Hermann Ganswind gebaut worden, der in Figur 28 abgebildet ist. Der Flieger besitzt nur eine zweiflüglige Schraube, aber eine von ca.

1) W. Kaemmerer „Neuere Flugmaschinen" Z. d. V. d. I., 1908, Seite 959.

20 qm Flügelflächeninhalt. Die Schraube hat 14 m Durchmesser bei etwa 2 m Breite. Die Flügel bestehen aus einer besonders leichten Komposition, und ihre Flächen sind parabolisch gekrümmt. Ganswind formt aus theoretischen und praktischen Gründen die Flächen möglichst genau parabolisch; er will mit derartig geformten Schrauben seit Jahren die besten Erfolge erzielt haben. Die Flügelflächen sind durch Bandstahl, dessen Flächenneigung die Wirkung der Schraube unterstützen soll, abgestreift, so dass sie eine grosse Festigkeit besitzen. Die Schraube wird durch das unter ihr sichtbare leichte Zahnrad aus Stahlblech unter Vermittlung der Bandstahlversteifungen von einem unten in der Gondel befindlichen Motor in Rotation versetzt. Sie soll etwa 100 Touren machen. Das Gewicht des Luftschiffs samt Flieger wird auf etwa 600 kg angegeben. Geflogen ist die Maschine noch nicht, da es an einem passenden Motor von 50 bis 60 PS fehlt. Sie ist auf einer Wage postiert, mit der man die jeweilig erzielten Hubkräfte bestimmen kann.

In den nächsten Abschnitten werden wir uns noch mit einigen Tragschrauben näher beschäftigen.

Eine einfache Tragschraubentheorie.

(Die Berechnung der Schraubenflieger und ihres Wirkungsgrades.)

Beim Gleitflieger sind die Flügel, die Tragdecks starr mit dem Fliegergestell, dem Chassis, verbunden, und Flügel und Gestell bewegen sich gemeinsam. Trennt man Chassis und Tragdecks, und steckt durch die zweckentsprechend geformten Tragdecken so eine vertikale Achse, dass sie darum in einer horizontalen Ebene rotieren können, so können sich die Flügel bewegen und eine Hubkraft entwickeln, ohne dass das Flügelgestell an der Bewegung teilnimmt. Man hat dann eine Flugmaschine mit einer Tragschraube, einen Schraubenflieger. In Figur 29 ist eine Tragschraube schematisch dargestellt. Es seien zwei gewöhnliche Tragdecks, nach unserer Entwicklung auf Seite 30 parabolisch gekrümmt, von der Länge R_a — R_i m und der Breite b so an einer Achse A befestigt, dass sie sich um die Achse in einer horizontalen Ebene bewegen können, und dabei mit dem Winkel a gegen die Luft anfahren. In Fig. 29 sind die Tragdecks als ebene Flächen gezeichnet, die sie in der Tat natürlich nicht sein dürfen; die Breite b der Flügel ist mit der Sehne S des Tragdecks in Fig. 25 identisch. Wir nehmen hier vorläufig an, dass die Flügel gleichmässig breit seien; ihr Flächeninhalt ist also annähernd $2\ b\ (R_a - R_i)$ qm.

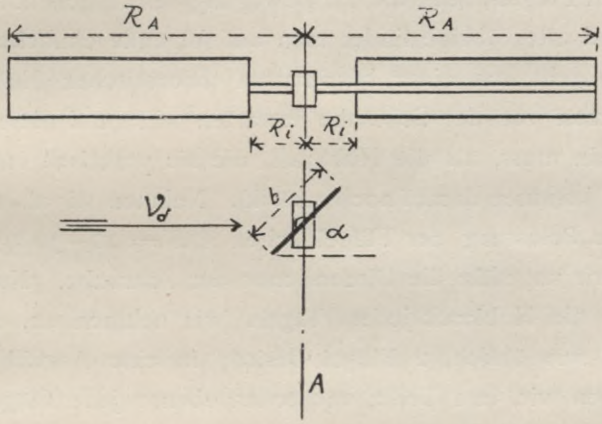


Fig. 29

Rotieren nun die Flügel um die Achse, so bewegen sich die Flügelteile nahe der Achse relativ langsam, die Teile an den äusseren Enden relativ schnell. Gäben wir also den Flügeln eine überall gleichmässige Neigung a gegen die Horizontale, so entwickeln die äusseren Enden der Schraube eine relativ grosse, die inneren eine kleine Hubkraft, entsprechend der Bewegungsgeschwindigkeit der Teile, denn der entwickelte Auftrieb A ist ja bei parabolischen Flügelflächen nach Gleichung 1 in der Weise: $A = F\,V^2\,(0{,}52\ cos\ a\ tg^2\ a) = F\,V^2\,A'$ Kilogramm, von der Bewegungsgeschwindigkeit V des Tragdecks abhängig. Vollbringen die Flügel n Umgänge in der Minute um die Achse, so bewegt sich das äusserste Flügelende mit der Geschwindigkeit $V_a = 2\ R_a$

$\pi \frac{n}{60} = 0{,}1045$ n R_a *m/sek*, das innerste Ende mit der Geschwindigkeit $V_i = 0{,}1045$ n R_i *m/sek*, ein Flügelteil mit einer beliebigen Entfernung R von der Achse mit der Geschwindigkeit $V = 0{,}1045$ n R *m/sek*. Diesen Geschwindigkeiten entsprechen nach Gleichung 1 die Auftriebskräfte A dieser Punkte. Nun kann man aber die Schraubenflügel so formen, dass jeder kleine Flügelteil, an welcher Stelle des Flügels er sich auch befinde, den gleichen Auftrieb liefert, wenn man der Entfernung des Flügelteils von der Achse entsprechend die Neigung α wählt. Diese Neigung, resp. die Form des ganzen Flügels, auch die zur Bewegung des Flügels notwendige Arbeit und alles übrige findet man auf folgende einfache Weise:

Man geht von einer bestimmten theoretischen Hubkraft A aus, die man von der Schraube erwarten will (und die natürlich grösser sein muss, als die Hubkraft, die sie praktisch entwickeln kann; wir kommen darauf noch zurück). Nehmen wir als zulässige spezifische Belastung der Flügelflächen $A/F = 20$—30 kg an, so erhalten wir ungefähr die Dimensionen der Schraube. Nun teilen wir $A : 2$, die Hubkraft jedes Flügels (wir nehmen an, dass die Schraube, wie üblich, 2 Flügel besitzt) in eine Anzahl gleiche Teile, sagen wir, in t Teile, und teilen ebenso jede Flügelfläche, die die Länge R_a—R_i besitzt, in die gleiche Anzahl, also in t konzentrische Teile, und bestimmen für jeden dieser Teile die Neigung α besonders unter der Voraussetzung, dass jeder der Flügelteile, der sich mit der mittleren Geschwindigkeit von $V = 0{,}1045\ n\ R$ m/sek bewegt, die gleiche Hubkraft $A : (2 \cdot t)$ entwickeln soll, nachdem wir uns über die Tourenzahl der Schraube schlüssig geworden sind. Nach Gleichung 1 wird für jeden dieser Flügelteile $A : 2\,t = (F : 2\,t)\ V^2\ (0{,}52\ \cos\alpha\ tg^2\,\alpha) = (F : 2\,t)\ (0{,}52\ \cos\alpha\ tg^2\,\alpha)\ (0{,}1045^2\ n^2\ R^2)$ kg oder

$$\cos\alpha\ tg^2\,\alpha = \frac{A}{F}\ \frac{175}{n^2\ R^2} \tag{5}$$

woraus man α leicht bestimmen kann ($\cos\alpha$ ist nahezu gleich 1).

In Gleichung 5 kommt unsere Flügeleinteilung in t konzentrische Teile garnicht mehr vor, oder doch nur insofern, als sie die spezielle Grösse des Wertes von R beeinflusst. Nehmen wir aber an, wir hätten F in unendlich viele kleine konzentrische Teile gestellt, t wäre also unendlich gross, wozu wir gezwungen wären, wenn wir die Flügel recht genau formen wollten, so könnten wir für R jeden beliebigen Wert zwischen R_i und R_a annehmen, es wäre stets ein Mittelwert für ein unendlich kleines Flügelteilchen. Die Gleichung 5 gibt dann also für jeden beliebigen Radius die dazugehörige Neigung α an, wenn man eine Tragschraube mit Flügeln bauen will, deren Hubkraft A per Flächeneinheit überall gleich der spezifischen Belastung A/F sein soll.

Man kann auch den Winkel α aus den in Tabelle I gegebenen Werten für A^1 auf sehr bequeme Weise abschätzen, denn es ist $A^1 = 0{,}52 \cos \alpha \, tg^2 \alpha$, also

$$6) \qquad A^1 = \frac{A}{F} \, \frac{91.5}{n^2 R^2}.$$

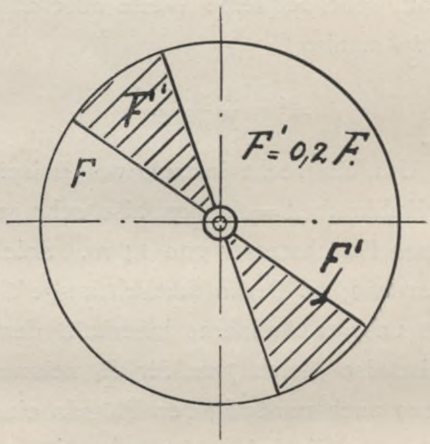
Beispiel: Um ein recht instruktives Beispiel zu erhalten, wählen wir die Hubkraft $A = 600$ kg, also sehr gross, und geben der Schraube einen Durchmesser von 14 m. Solche Schraube ist von Hermann Ganswind in Berlin faktisch ausgeführt worden, wir bleiben also mit unserer Annahme innerhalb des praktisch Ausführbaren. R_a ist also gleich 7 m, für R_i nehmen wir vorläufig 1 m an, und geben auch vorläufig den Flügeln eine gleichmässige Breite von $b = 2$ m. Wir haben demach: $F = 24$ qm, und $A/F = 25$. Die Tourenzahl möge $n = 100$ betragen. Nun bestimmen wir nach (6) von R_i bis R_a von Meter zu Meter die Neigung α, und erhalten nach Tabelle I (aus Gleichung 6)

für $R =$ 1 m,	$A^1 =$ 0,228	und $\alpha =$ 36	Grad
2	0,057	19	
3	0,025	12—13	
4	0,014	9—10	
5	0,009	7— 8	
6	0,006	6— 7	
7	0,005	6	

Aus diesen Werten für a formt man nun gleichmässig gekrümmte Flügel. Die Parabeln konstruiert man nach der Anweisung auf Seite 36.

Die zur Bewegung der Flügel theoretisch notwendige Motorleistung N_i können wir, wenn an den Flügeln keine erheblich grösseren Neigungen als solche von 30 Graden vorkommen, ohne weiteres aus Gleichung 3 bestimmen. Es ist also $N_i = 1{,}4(A/75)\sqrt{A/F}$

Beispiel: Für unsere Schraube wird demnach $N_i = 1{,}4 \cdot 8 \cdot 5$ oder 56 PS. Dieser Betrag lässt sich noch ermässigen durch Verkleinerung von A/F oder Vergrösserung von F.



Figur 30

Man darf F nicht beliebig gross machen, F darf immer nur einen bestimmten Bruchteil der Kreisfläche $(2\,R_a)^2\,\pi = (\pi/4)\,D^2$ ausmachen, denn die parabolischen Schraubenflügel haben nur die eben festgelegte Wirkung, wenn sie gegen unbewegte Luft arbeiten. Je grösser man aber die Flügelflächen macht, desto mehr wird die Luft im Flügelkreis aufgerührt. Annehmbare Verhältnisse erhält man noch, wenn man den Flügel an jeder Stelle $0{,}2\,R\,\pi$ m breit macht, gleich dem zehnten Teil der Länge der Kreisbahn des Flügelteils. Diese Verhältnisse veranschaulicht

Figur 30. Die Flügel bekommen dann eine dreieckige Form, die Spitze nach innen, und die Flügelfläche wird:

$$7) \qquad F = 0{,}2\ \pi\ R_a^2$$

gleich einem Fünftel der Flügelkreisfläche.

Beispiel: Die Flügel unseres Beispiels bestreichen einen Kreis von $R_a^2\ \pi = 153$ qm. Geben wir den Flügeln einen Flächeninhalt von 1/5 dieser Fläche, so enthalten sie ungefähr 30 qm. Die Flügel besitzen dann eine dreieckige Form, die Spitze nach innen. Die Flügelneigungen bleiben dieselben, wie wir für gleichmässig breite Flügel feststellten. An den äusseren Enden sind die Flügel etwa 4,4 m breit. Jetzt ist $A/F = 20$ und $N_i = 50$ PS.

Wie gross ist nun das Verhältnis $\eta = N_i/N_e$, oder wie gross ist $N_e = N_i : \eta$, die Leistung des Motors an der Schraubenwelle, wenn die Schraube die Arbeit N_i leistet?

Nach Versuchen von Wellner (vergl. «Beitrag zur Theorie der Luftschrauben» in der Zeitschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins No. 51 1908) scheint η bei Tragschrauben sehr hoch, gleich 0,9 oder noch höher zu sein, so dass wir ungefähr würden setzen können:

$$8) \qquad N_e = 1{,}5\ \frac{A}{75} \sqrt{\frac{A}{F}} \text{ Motor-Pferdestärken.}$$

Für unser Beispiel gäbe das etwa 54 PS. Die Schraube würde für jede Pferdestärke des Motors 600 : 54 oder 11 kg Tragkraft entwickeln.

Wellner's Faustformeln für Tragschrauben.

Zur weiteren Information über diese Verhältnisse seien die Angaben von Wellner hier wiedergegeben.

Wellner gibt für Tragschrauben die Faustformel an

$$9) \qquad A = (k\, N_e\, D)^{2/3} \text{ kg}$$

wobei vorausgesetzt ist, dass die Schraube richtig ausgeführt ist. In (9) ist D der Durchmesser der Schraube in m, N_e die Leistung des Motors an der Schraubenwelle, und k eine Konstante, deren Wert je nach der Güte der Schrauben zwischen 18 und 22 liegt. Mit dieser Faustformel darf man aber nur Schrauben von mittleren Dimensionen, bis $D = 5$ m etwa, veranschlagen, denn für dieses Gebiet ist sie durch Versuche nachgeprüft. Wir werden bei der Berechnung der Treibschrauben sehen, dass die Wellner'schen Gleichungen für ganz grosse Durchmesser, über 5 m, falsche, gradezu perpetuummobile Werte geben. Mit Hilfe dieser Gleichung hat Wellner folgende Tabelle berechnet.

Tabelle III.

Die Tragkraft von Tragschrauben, $A = (18\, N_e\, D)^{2/3}$ kg

N_e,	$D = 1$,	1,5	2	2,5	3	4	5 Meter
5	20,1	26,3	31,9	37,0	41,8	50,6	58,7
10	31,9	41,8	50,6	58,7	66,3	80,3	93,2
15	41,8	54,8	66,3	77,0	86,9	105,2	122,2
20	50,6	66,3	80,3	93,2	105,2	127,4	148,0
25	58,7	77,0	93,2	108,2	122,2	148,0	171,6
30	66,3	86,9	105,2	122,2	137,9	167,2	194,0
40	80,3	105,2	127,4	148,0	167,2	202,4	235,0
50	93,2	122,2	148,0	171,6	194,0	235,0	272,8

Hieran fügt Wellner mehrere Beispiele, von denen zwei hier wiedergegeben seien:

1) Die Wellner-Tragschraube, orthogonal achterförmig gebaut, von 4,25 m Durchmesser mit Aluminiumblechbelag und Ballonstoffüberzug ergab bei einer Antriebskraft von $N_e = 4{,}5$ PS und 280 Touren/min. einen Auftrieb von $A = 54$ Kg. Die Gleichung 12 liefert: $A = (k\ 4{,}5\ 4{,}25)^{2/3}$ für $k = 22$ den Wert 53,8 kg; A/N_e war gleich 12 kg.

2) Der Schraubenflieger von Bertin 1908 besass zwei Tragschrauben von 2,8 m Durchmesser, die mit 1250 Touren/min. umliefen, und durch einen Motor von 150 PS (bei 2500 Touren/min.) getrieben wurden. Das Fahrzeug, das 450 kg schwer war, stieg durch die Wirkung der Schrauben längs einer Säule 3 Meter in die Höhe. Auf eine Schraube entfällt: $D = 2{,}8$, $N_e = 75$, und eine Tragleistung von 225 kg. Gleichung 12 liefert mit $k = 18$ den Wert $A = 242$ kg, also etwas mehr.

Prüfen wir diese beiden Beispiele mit unserer Gleichung 3 bezüglich des Wirkungsgrades η, so finden wir folgendes:

Der Flügelkreis der Wellner-Schraube misst ca. 14,2 qm, nach Gleichung 10 sollte man also den Flügeln der Schraube 0,2 14,2 = 2,8 qm insgesamt geben. Es ist $A = 54$, $A/75 = 0{,}72$ und $\sqrt{A/F} = 4{,}4$; folglich wird nach Gleichung die Nutzleistung $N_i = 1{,}4\ 0{,}72\ 4{,}4$ oder 4,4 PS, also nur wenig geringer, als vom Motor aufgewendet wurde. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass wir gesetzt haben $F = 0{,}2\ 14{,}2$ qm, sind die Flügelflächen im Verhältnis zum Flügelkreis grösser bemessen, so wird N_i kleiner. Immerhin scheint Wirkungsgrad sehr hoch zu sein.

Der Flügelkreis der Bertin-Schraube misst 6,15 qm. Setzen wir wieder $F = 0{,}2\ 6{,}15 = 1{,}23$ qm, und berücksichtigen, dass $A = 225$ kg ist, so finden wir $N_i = 1{,}4\ A/75\ \sqrt{A/F} = 57$ PS, der Wirkungsgrad dieser Schraube wäre demnach $57/75 = 0{,}76$, ein Wert, der immer noch sehr hoch genannt werden muss. Die hohe spezifische Belastung der Flügelflächen mit $A/F = 180$ kg scheint den Wirkungsgrad aber doch ungünstig zu beeinflussen. Das Verhältnis $A : N_e$ beträgt dann auch nur 3.

Wie die Wirkung der Tragdecken ist natürlich auch die der Schrauben etwas vom Barometerstand abhängig. Wir erwähnten diese Einflüsse schon auf Seite 35. Danach kann die Wirkung um etwa 5 % nach oben oder unten besser oder schlechter werden.

Eine einfache Treibschraubentheorie.

(Die Berechnung der Treibschrauben und ihres Wirkungsgrades.)

Ganz ähnlich wie das der Tragschrauben können wir das Problem der Berechnung von Treibschrauben anfassen. Wir können wieder die Vorgänge an der Treibschraube auf die an einfachen Tragdecken reduzieren, wenn wir die spezielle Bewegungsform der Treibschrauben berücksichtigen. Die Treibschraube bewegt sich nicht stationär, wie die Tragschraube, sondern schreitet während des Ganges in der Luft vorwärts. Wir wollen nun ermitteln, welche Treibkraft T eine Schraube entwickelt, wenn sie mit ihrer Flugmaschine mit der Geschwindigkeit V in der Luft vorschreitet, und was der Motor hierbei theoretisch und was er praktisch leisten muss.

Würden wir die Flügelflächen so formen, dass sie sich bei der Geschwindigkeit V nur in der Luft vorschrauben, wie in einer Mutter, ohne einen Druck, eine Wirkung auf die Luft auszuüben, so müssten wir der Flügelfläche eine gewisse „Steigung" geben, eine Neigung von b Graden gegen die Ebene des Flügelkreises, die sich aus der Beziehung $V = 0{,}1045\ n\ R\ tg\ b$ berechnen lässt. Hierin ist b die Neigung eines Flügelflächenteils, der die Entfernung R von der Achse besitzt, n ist wieder die Tourenzahl/Min. der Schraube, und $0{,}1045 = (2\ \pi) : 60$, $0{,}1045\ n\ R$ ist die Bewegungsgeschwindigkeit jedes Punktes mit der Entfernung R von der Achse in der Ebene des Flügelkreises. Jeder Punkt der Flügelfläche besitzt aber noch die Geschwindigkeit V in den Achsenrichtung, woraus folgt: $tg\ b = V : (0{,}1045\ n\ R)$

Beispiel: Die Schraube habe einen Durchmesser von 2,2 m, V betrage 18 m/sek oder ca. 65 Km/Std, die Tourenzahl n sei 1400, dann wird mit Hilfe der Tabelle für Tangens im Anhang II für $R = 0{,}30$ m der Neigungswinkel $b = 22$—23 Grad

0,40	17
0,50	14
0,60	11—12
0,70	10
0,80	9
0,90	7—8
1,00	7
1,10	6—7

Der Wert $S_t = 2\,R\,\pi\,tg\,b$ hat an jedem Punkte des Flügels denselben Wert, bei unserem Beispiel den von etwa 0,78 m. S_t ist die tote Steigung oder die tote Ganghöhe der parabolischen Treibschraube, oder der Weg, den eine solche Schraube, bei einer Umdrehung zurücklegen würde, wenn sie in der Luft wie in einer Schraubenmutter vorgeschraubt werden würde. Da S_t der Weg ist, den das Flugschiff bei einer Umdrehung der Schraube zurücklegt, so ist auch

10) $$S_t = (V : n)\,60.$$

Die Treibschraube soll bei der Geschwindigkeit V nun aber eine Treibleistung hervorbringen, die, wie wir in dem von den Tragdecks handelndem Abschnitt gesehen haben, gleich N_i PS, gleich der „nützlichen Arbeit des achsialen Schubes“ ist. Hierzu müssen wir den Flügelflächen zu der toten Neigung b gegen die Rotationsebene eine weitere Treibneigung c geben. Die gesamte Neigung der Flügelfläche beträgt dann $(b + c) = a$ Grad.

Zur Ermittlung der Treibneigung haben wir nun zu beachten, dass sich jeder Flügelteil, dessen Entfernung von der Achse $R\,m$ beträgt, im Flügelkreis mit der Geschwindigkeit $0{,}1045\,n\,R$ m/sek, in der Achsrichtung mit der Geschwindigkeit von V m/sek, bewegt, dass er aber im Raume in jeder Sekunde einen Weg zurücklegt, oder eine Bewegungsgeschwindigkeit V_e besitzt, die

11) $$V_e = \sqrt{V^2 + (0{,}1045\,n\,R)^2} \text{ m/sek}$$

zu setzen ist.

Die kleine Treibkraft t eines kleinen Teils f der gesamten Flügelfläche von F qm Inhalt können wir aus Gleichung 1 ohne weiteres bestimmen, es ist

12) $t = f\, V_c^2\, (0{,}52 \cos c\; tg^2\, c) \cos b = f\, V_c^2\, A^1 \cos b$ Kg,

neu hinzugetreten ist hierin nur der Faktor (cos b), der daher rührt, dass die Treibkraft t nicht achsial, sondern normal zur toten Steigung S_t gerichtet ist, so dass für die Achsrichtung vom ganzen Betrage der entwickelten Treibkraft nur t wirksam werden kann. Dieser Faktor kompliziert die Rechnnng aber nur wenig, und macht sie nicht schwieriger.

Bestimmen wir wieder, wie bei den Tragschrauben, dass gleiche Flächen gleiche Treibkräfte hervorbringen sollen, so erhalten wir wieder als Beziehung zur Ermittlung von c, da $t/f = T/F$ ist

$$(\cos c\; tg^2\, c) = \frac{T}{F} \frac{1}{V_c^2 \cos b\; 0{,}52},$$

oder zur bequemen Ermittlung von c aus Tabelle I

13) $$A^1 = \frac{T}{F} \frac{1}{V_c^2 \cos b}.$$

Beispiel: Für unsere Schraube sei $N_i = 24$, also $T = \frac{75\, N_i}{V}$ $= 100$ kg. Den gesamten Flächeninhalt der Treibschraube können wir wieder, wie bei den Tragschrauben gleich dem fünften Teil des Flügelkreises machen; er wird dann $0{,}2\, \pi\, 1{,}1^2 = 0{,}76$ qm. Der Wert T/F, die spezifische Belastung der Flügelfläche wird $100 : 0{,}76 = 131$. Wir erhalten nun mit Hilfe der Tabelle I aus der Gleichung 13:

für $R = 0{,}3$ m wird $A^1 = 0{,}060$, also $c = 19$ Grad, u. $b \div c = 42$ Grad

0,4	0,36	15	32
0,5	0,23	12	26
0,6	0,14	9—10	21
0,7	0,13	9	19
0,8	0,09	8	17
0,9	0,07	7	15
1,0	0,06	6—7	14
1,1	0,05	6	13

Hiermit ist die Treibschraube in ihren Dimensionen festgelegt.

Der Wert $2\,R\,tg\,a$ oder die totale Steigung der Schraube ist auch bei der parabolischen Treibschraube einigermassen konstant, bei unserm Beispiel gleich ca. 1,5 m. Man könnte also die totalen Neigungswinkel dieser Schraube annähernd auch aus diesen Eigenschaften bestimmen, indem man $a = 2\,b$ Grad setzt, worin man b aus der Beziehung: $tg\,b = V : (0{,}1045\,n\,R$ leicht findet.

Jetzt wollen wir aber mal die Treibschraube zerteilen, wir wollen zwei Treibschrauben daraus machen, von denen jede $N_i = 12$ PS leisten soll. Die tote Steigung S_t der Schrauben bleibt dieselbe, demnach auch die tote Ganghöhe b, nur die Treibneigung c wird anders. Nach Gleichung 13 wird A' grade halb so gross, da T auf die Hälfte, auf 50 kg für jede Schraube reduziert ist. Wir erhalten jetzt mit Hilfe der Tabelle I

für $R = 0{,}3$	wird $A' = 0{,}030$,	also $c = 14$ Grad,	und $b + c = 36$ Grad
0,4	0,018	11	28
0,5	0,012	9	23
0,6	0,007	7	18
0,7	0,006	6	16
0,8	0,005	6	15
0,9	0,004	5	13
1,0	0,003	5	12
1,1	0,003	5	11

Der Wert $2\,R\,\pi\,tg\,a$ oder die totale Steigung ist bei diesen Schrauben etwa 1,35 m, also nur wenig kleiner als bei der kräftigeren Schraube.

Zur Berechnung der notwendigen Leistung des Motors zum Betriebe der Treibschrauben ist folgendes zu überlegen: Die Schraube selbst leistet $N_i = (T\,V) : 75$ PS dadurch, dass sie in der Achsrichtung mit der Treibkraft T vorwärts schreitet. Diese Arbeit muss natürlich der Motor leisten. Der Motor soll aber auch alle die Flügelteilchen f unter der Treibneigung c mit der Geschwindigkeit V_c gegen die Luft in Schraubenwindungen um die Achse der Schraube vortreiben. Solange c keine erheblich grösseren Werte annimmt als 30 Grad, kann man zur Bewertung dieser Arbeit, die wir N_e nennen wollen, ohne weiteres Gleichung 3 benutzen, nach der theoretisch $N_e = 1{,}4\,\frac{T}{75}\sqrt{\frac{T}{F}}$ PS ist. Die gesamte Motorleistung muss also den theoretischen Betrag

$$13a)\quad N_t = N_i + N_e = 1{,}4\,\frac{T}{75}\sqrt{\frac{T}{F}} + \frac{TV}{75}\ \text{Pferdestrk.}$$

übersteigen.

Beispiel: Bei unserer einfachen Schraube ist nach Voraussetzung $N_i = 24$ PS. Hierzu kommt noch der Betrag $N_e = 1{,}4\,\frac{100}{75}\sqrt{131} = 21{,}4$ PS. Demnach wäre $N_t = 24 + 21{,}4$ oder 45,4 Pferdestärken. Der theoretische Wirkungsgrad dieser Schraube, die unter einem Arbeitsaufwand von 45,4 PS. eine Nutzarbeit von 24 PS leistet, wäre demnach 24/45,4 = 0,53 oder 53 Prozent. Unser Schraubenbeispiel gleicht der Treibschraube des Ferberschen Fliegers, der ca. 50 PS zum Fliegen erfordert. Das würde einem Wirkungsgrade von 24/50 oder 47 % entsprechen. In der Praxis bleibt der Wirkungsgrad also nur wenig hinter dem theoretischen Wert zurück.

Bei der doppelten Schraube ist N_i ebenfalls 24 PS insgesamt, F ist aber $2 \cdot 0{,}76 = 1{,}52$ qm, und $T/F = 66$. Es wird also $N_e = 1{,}4\,\frac{100}{75}\sqrt{66} = 15$ PS oder 7,5 PS für jede Schraube. Demnach wird $N_t = 24 + 15 = 39$ Pferdestärken. Der theoretische Wirkungsgrad der Doppelschraube, die 24 PS nützlicher Arbeit leistet, wäre demnach 24/39 oder 0,61 oder 61 Prozent. Durch Verwendung mehrerer Schrauben spart man also an Motorkraft, wie auch der Wrightsche Flieger (dessen Schrauben aber andre Dimensionen haben) in der Praxis erkennen lässt. Nach 13a) wird für Wrights Flieger N_t ca. 25 PS und η ca. 70 %.

Im nächsten Abschnitt wollen wir uns ausschliesslich der Praxis zukehren.

Wellners Faustformeln für Treibschrauben.

Im vorigen Abschnitt haben wir die Leistungen von Treibschrauben aus ihren individuellen Werten bestimmt. Es ist für den praktischen Flugschiffer sehr instruktiv, einige solcher Rechnungen durchzuführen, denn er lernt dadurch die Eigenschaften seiner Treibschrauben viel besser kennen, als durch mechanisches Probieren. Für den praktischen Gebrauch sind aber Wellners Faustformeln sehr bequem (vgl. Wellner „Beitrag zur Theorie der Luftschrauben", Zeitschrift des Österreichischen Architekten und Ingenieurvereins, No. 51, 1908). Mit ihrer Hilfe wollen wir noch einige instruktive Rechnungen durchführen, um ihre Verwendbarkeit zu zeigen.

Nach Wellner ist die Treibkraft einer Treibschraube

14) $$T = (k\ N_t\ D)^{2/3} \text{ Kilogramm,}$$

worin D der Durchmesser der Schraube in Metern, N_t die Motorleistung an der Schraubenwelle und k eine Konstante ist, die zwischen 9 und 11 liegt, je nach der Güte der Ausführung der Schraubenkonstrucktion. T ist die Treibkraft der Schraube. Bewegt sich der Gleitflieger mit der Fluggeschwindigkeit von V m/sek, so ist $(T\ V) : 75$ die nützliche Arbeit des achsialen Schubes in PS, eine Grösse, die wir in einem früheren Abschnitt N_i nannten. Nach Gleichung 3 erhalten wir deshalb

15) $$T = 1{,}4 \frac{A}{V} \sqrt{\frac{A}{F}} \text{ Kilogramm,}$$

woraus wir T für einen bestimmten Gleitflieger ermitteln können. Wir wollen das durch ein Zahlenbeispiel verdeutlichen. Der Gleitflieger wiege samt Flugschiffer 400 kg, und besitze 40 qm Tragdeck. Die spezifische Belastung des Tragdecks A/F ist dann gleich 10. Die Tragflächen des Gleitfliegers sollen so geformt sein, dass er bei einer Fluggeschwindigkeit von 11 m/sek oder ca. 40 Kilometer/Stunden am besten fliegt. Es ist also $A/V = 36{,}4$. Nun finden wir aus Gleichung 15 als notwendige Treibkraft der Treibschraube oder der Treibschrauben $T = 1{,}4 \cdot 36{,}4 \cdot 3{,}16$ oder 161 Kilogramm. Auf diese Weise haben wir also das T eines bestimmten Fliegers kennen gelernt. Wir müssen nun nach Gleichung 14 den Gleitflieger mit einer oder mehreren Treibschrauben so ausstatten, dass die Treibschrauben die geforderte Treibkraft hervorbringen.

Um die Abmessungen dieser Treibschrauben festsetzen zu können, lösen wir zunächst Gleichung 13 nach N_t auf, und erhalten

16) $$N_t = \frac{1}{a\,D} \sqrt{T^3} \text{ Pferdestärken,}$$

oder, wenn für T der gefundene Wert von 161 kg eingesetzt wird

$$N_t = \frac{2000}{a\,D} \text{ PS}$$

Aus 14 geht hervor, dass N_t, die Motorleistung um so kleiner sein darf, je grösser wir den Durchmesser der Treibschrauben wählen, eine Treibschraube von doppelt so grossem Durchmesser bedingt nach (16) nur die halbe Motorleistung. Das stimmt mit den Tatsachen natürlich nur innerhalb gewisser Grenzen überein, denn sonst brauchten wir nur eine Schraube von sehr grossem Durchmesser anzuwenden, um N_t ganz beliebig klein machen zu können, sogar kleiner als N_i zu machen, was einer perpetuum-mobilen Vorrichtung entsprechen würde. Die Wellnersche Gleichung 14, aus der 16 hervorgeht, ist eben nur eine sog. empirische Faustformel, die nur innerhalb ihres Geltungsbereichs für Schrauben bis 5 m Durchmesser ungefähr zutrifft und gute Dienste leistet, aber auch nur für relativ grosse Treibleistungen, wie wir noch sehen werden. Hierauf sei ausdrücklich aufmerksam gemacht.

Setzen wir für $k = 10$ ein, so wird für $D = 1$ m die Motorstärke $N_t = 200$ PS, für $D = 2$ m wird $N_t = 100$ PS, und für $D = 4$ m wird $N_t = 50$ PS. Da die nützliche Arbeit des achsialen Schubes N_i aus (3) für unsern Flieger 24 PS beträgt, so wäre der Flugwirkungsgrad im ersteren Falle $\eta = N_i/N_t = 0{,}12$ oder 12 %, im zweiten Fall 24 %, und im dritten Fall 47 %. Da wir bei einem Gleitflieger aber nur Schrauben von wenig mehr als 2 m Durchmesser anwenden können, so müssten wir uns also mit einem sehr mässigen Wirkungsgrad begnügen, wenn wir an den Verhältnissen nichts ändern könnten. Die Fahrzeuge der Praxis lassen aber erkennen, wie wir bei den Gleitfliegern gesehen haben, dass man einen höheren Wirkungsgrad, so von 50 % etwa, erreichen kann. Die Abmessungen unseres Fliegers gleichen etwa denen des alten Ferber-Fliegers, der mit einem 50 PS Motor ausgerüstet ist, und dieser Flieger besitzt eine Schraube von 2,2 m Durchmesser, was etwa einem Wirkungsgrad von 50 % entspricht. Wir müssen also bei unserm Flieger etwas verfehlt haben.

Sehen wir uns Gleichung 16 darauf hin an, welche Faktoren wir darin ändern können: wenn wir für D auch einen Wert von 2,2 m festsetzen, so finden wir nur den Wert von T als veränderbar. Nach Gleichung 15 wieder können wir T nur verändern durch Veränderung von V, der Fluggeschwindigkeit. Wir müssen V erhöhen, wenn unser Flieger besser abschneiden soll. Nun finden wir zwar angegeben, dass der Ferber-Flieger mit einer Geschwindigkeit von etwa 11 m/sek auffliegt, es ist aber zu beachten, dass dies mit Hilfe des Höhensteuers und der Massenträgheit des Flugschiffs geschieht, (Manipulationen, die das Auffliegen schwierig machen, weshalb Wright eine andere Methode des Auffliegens gewählt hat) in der Luft nimmt das Flugschiff aber eine grössere Geschwindigkeit an, die bei 60 Km/Std. liegt.

Nehmen wir nun eine Fluggeschwindigkeit von ca. 18 m/sek an, einer Stundengeschwindigkeit von etwa 65 km entsprechend, und formen wir das Tragdeck dieser Geschwindigkeit gemäss nach Gleichung 1 oder der Tabelle des vorigen Abschnitts, so wird jetzt nach Gleichung 15 ungefähr $T = 100$ kg, und nach Gleichung 16 wird $N_t = 1000 : (a\ D)$. Setzen wir jetzt $D = 2{,}2$ m (um die Verhältnisse wie beim Ferber-Flieger zu erhalten), und schätzen wir k nur auf den Wert 9, so wird $N_t = 50$ PS, und der Wirkungsgrad $\eta = 26{,}6 : 50$ oder etwa 47 %.

Verwenden wir zwei gleichartige Treibschrauben, so wird $T = 50$ kg, und nach Gleichung 16 wird $N_t = 18$ PS. für jede Schraube, für 2 Schrauben also etwa 36 PS. Im vorigen Abschnitt stellten wir als theoretischen Kraftbedarf der 2 Schrauben 39 PS. fest. Verwenden wir 10 Schrauben, so wird $T = 10$ kg, und $N_t = 1{,}6$ PS. für jede Schraube, für alle 10 Schrauben also 16 PS.

Da der Gleitflieger aber schon theoretisch zum Fliegen 24 PS. verbraucht, so finden wir, dass Wellners Formel für kleine Treibleistungen nicht mehr zutrifft. Solche Schrauben müssen in der umständlicheren Weise des vorigen Abschnitts berechnet werden.

Zum Schluss sei noch eine Tabelle mitgeteilt, die Wellner an der erwähnten Stelle selbst angibt, und in der die Leistungen von Treibschrauben unter verschiedenen Betriebsumständen enthalten sind. Für die Benutzung dieser Tabelle gilt das eben festgestellte!

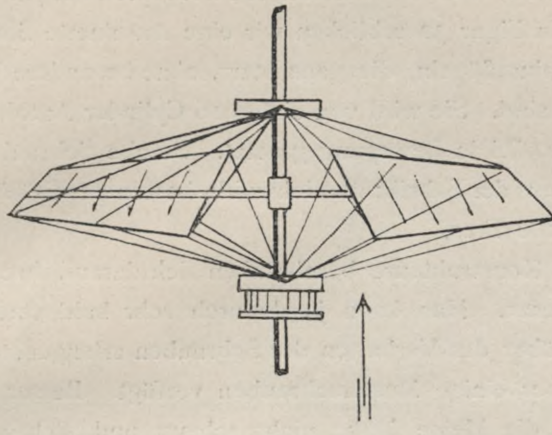
Tabelle IV.

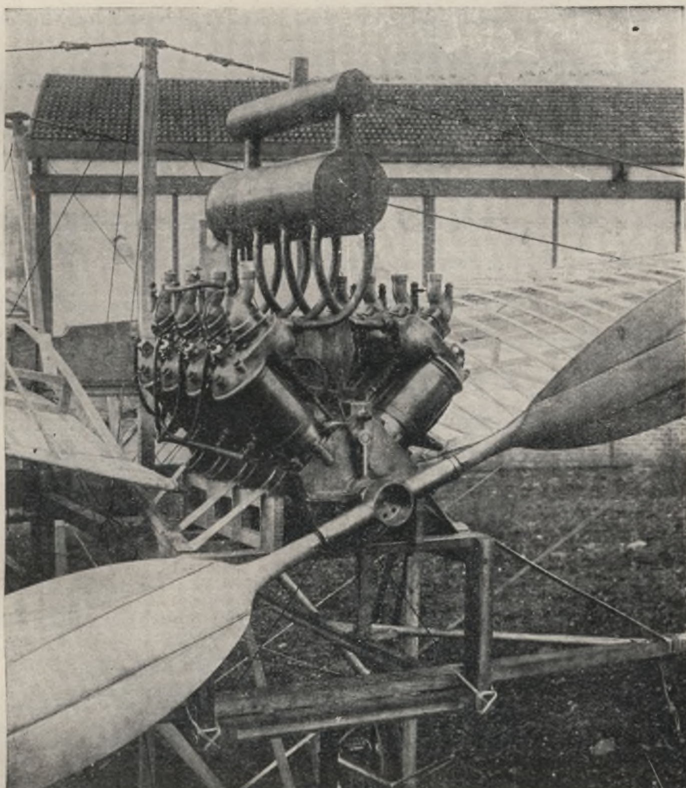
Die Treibkraft $T = (9\ N_t\ D)^{2/3}$ Kilogramm bei:

N_t PS und $D =$ 1		1,5	2	2,5	3	4	5 Meter
5	12,6	16,6	20,1	23,3	26,3	31,9	37,0
10	20,1	26,3	31,9	37,0	41,8	50,6	58,7
15	26,3	34,4	41,8	48,5	54,7	66,3	80,0
20	31,9	41,8	50,6	58,7	66,3	81,3	93,2
25	37,0	48,5	58,7	68,2	80,0	93,2	108,1
30	41,8	54,7	66,3	80,0	86,9	105,3	121,0
40	50,6	66,3	81,3	93,2	105,3	127,5	148,0
50	58,7	83,6	93,2	108,1	121,0	148,0	171,8

Man führt Treibschrauben bis zu 2,5 m Durchmesser zweiflüglig aus, grössere wohl auch drei- und vierflüglig. Die Flügel stellt man aus Stoff, Holz oder Metallblechen dar, und versteift sie durch Stahlbänder, oder durch einen steifen Rahmen etc., oder man verwendet gegossene starre Metallflügel aus Aluminium oder Magnalium etc., oder endlich, man bildet die Flügel aus Tuchstreifen, die einerseits an der Nabe befestigt sind, und deren äussere freie Enden mit Blei so beschwert sind, dass sie bei der Rotation durch die Zentrifugalkraft nach aussen streben. Die richtige Form der Fläche sucht man dann durch Drahtseile zu erreichen, die einerseits an der Nabe, und andrerseits am Flügelstoff befestigt sind. (Parseval-Schraube.)

Fig. 31 zeigt das Schema einer Treibschraube mit Holz- oder Metallblechflügeln, die durch Drähte oder Stahlbänder so





Figur 31 und 32

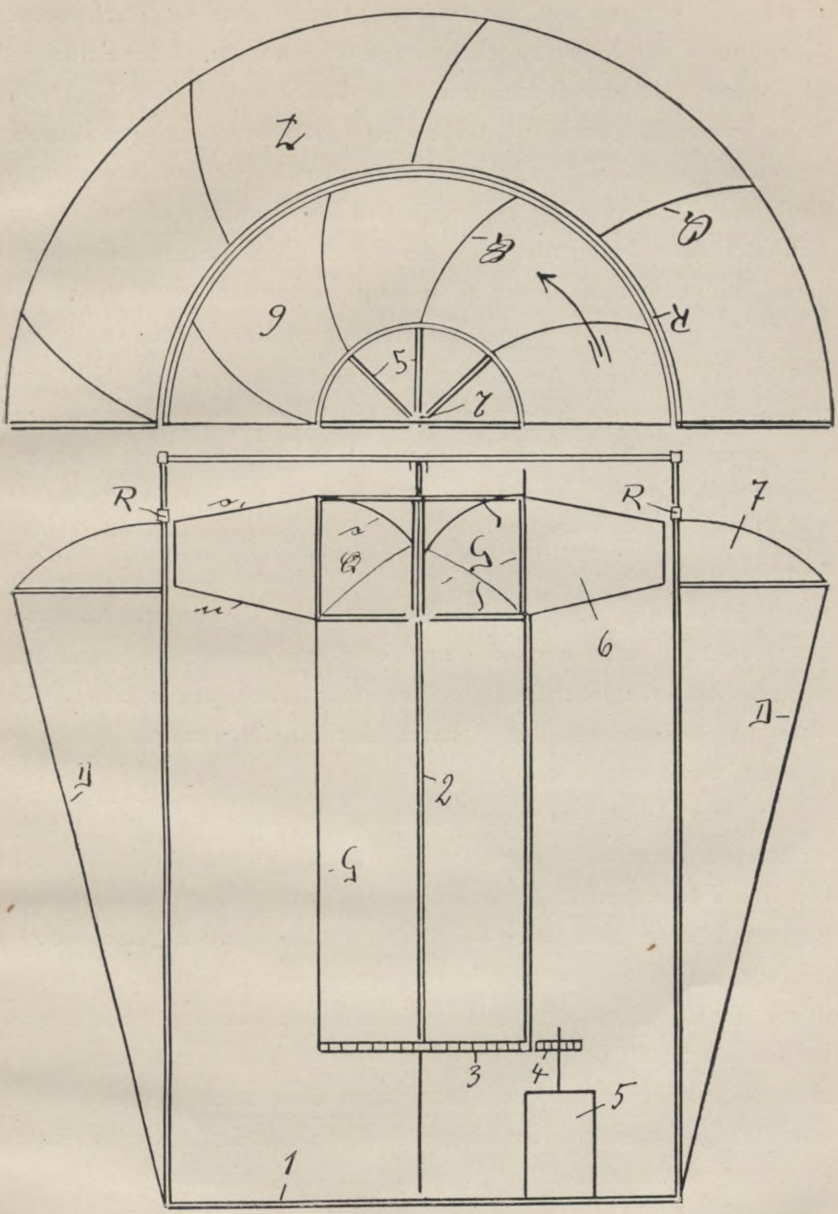
abgesteift sind, dass die auftretenden Beanspruchungen abgefangen werden. In Figur 32 erblicken wir eine Antoinette Stahlschraube mit Aluminiumflügeln, die ganz starr, ohne besondere Versteifung hergestellt sind. Sie wird von einem 16 Cylinder Antoinette Motor von 100/120 PS in Bewegung gesetzt. Solche Schrauben bezieht man fertig aus der Fabrik; die Schaufeln kosten per Stück 300 Frcs., die Nabe 100 Frcs.

Viele Konstrukteure beschränken sich darauf, ihre Schrauben auszuprobieren. Man kann ja dadurch sehr bald einen sicheren Überblick über das Verhalten der Schrauben erlangen, sobald man nur erst über einige Musterschrauben verfügt. Besser ist es aber, wenn man die kleine Mühe nicht scheut, und sich auch einen theoretischen Einblick in die Arbeitsweise der Schrauben zu verschaffen sucht, wozu wir in den vorhergehenden Abschnitten Anleitungen gegeben haben.

Schaufelflieger mit Kunstwind (Schwebeflieger).

Auf eine neuartige Fliegerkonstruktion wollen wir noch aufmerksam machen, die Tragdecken besitzt wie ein Gleitflieger, bei der aber der Luftzug, der die Auftriebswirkung an den Tragdecken auslöst, in der Maschine selbst erzeugt wird. Die Konstruktion (von Adolf Wagner in Rhoda bei Hatzfeld) führt zu Luftschiffen, die wie Schraubenflieger vom Stillstand direkt aufsteigen können, sie zeichnet sich dadurch praktisch aus, dass die Flieger sehr leicht ausfallen, und dass sie weit weniger konstruktive Ansprüche stellen, als die mit Tragschrauben, dass die Flieger eine relativ grosse Sicherheit gegen Abstürze besitzen, und dass sie leicht repariert werden können. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass die neuen Flieger den Fliegern mit Tragschrauben ernsthafte Konkurrenz machen werden.

In Figur 33 und 34 ist ein solcher Flieger im Längsschnitt und Querschnitt schematisch dargestellt. Um die vertikale Welle 2 wird ein leichtes Gestell G aus Holz oder dergleichen vom Motor 5 in Bewegung gesetzt. An diesem Gestell ist der Luftschlauch 6



Figur 33 und 34

aus leichtem Ballonstoff befestigt, bestehend aus der der oberen Stoffwand o, und der unteren Stoffwand u. Beide Wände sind durch die eingenähten Querwände Q mit einander verbunden. Nach innen, der Achse zugekehrt, und nach aussen ist der Schlauch also offen. Bei der Rotation um die Welle strömt nun Luft von unten in den Schlauch, wird von den Querwänden mitgenommen, zentrifugiert und nach aussen geschleudert. Die durchströmende Luft und die Zentrifugalkraft geben dem Ventilatorschlauch (der Schlauch ist ja weiter nichts als ein Ventilatorrad) eine straffe Form. Beim Stillstand fällt er schlaff in sich zusammen.

Die nach aussen abgeschleuderte Luft bläst unter die Tragdecken T, die den Ventilator wie eine kranzförmige Schaufel umgeben. Diese Kranzschaufel besteht ebenfalls aus Ballonstoff, der innen am Holz- oder Stahlrohr-Ring R resp. am Fliegergestell befestigt ist, und dessen äusseren Saum die Drahtseile D am Hochklappen verhindern. Die Kranzschaufel wird von der Ventilatorluft so aufgeblasen, dass ihr Querschnitt vollkommen viertelkreisförmig wird, (in der Figur ist die Krümmung zu flach gezeichnet), so dass der aus dem Ventilator kommende Luftstrom von horizontaler Richtung rechtswinklig nach unten abgelenkt wird. Die Kranzschaufel T wirkt auch als Fallschirm bei Abstürzen, wenn der Motor versagt.

Wenn der Motor den Ventilator in einer Richtung dreht, wirkt nach der andern Richtung eine gleich grosse Reaktionskraft, die das Fliegergestell herumschleudern will. Um dem zu begegnen, könnte man zwei Ventilatoren übereinander oder nebeneinander anordnen, die sich in entgegengesetzter Richtung drehen, damit die Reaktionskräfte sich gegenseitig aufheben. Einen eventuellen Rest paralysiert man durch eine grosse Steuerfläche, die man doch anbringen muss. Man kann aber auch in die Kranzschaufel Querwände Q einbringen, auf die der Luftstrom in einer Richtung einwirkt, die entgegengesetzt der Wirkung der Reaktionskraft ist.

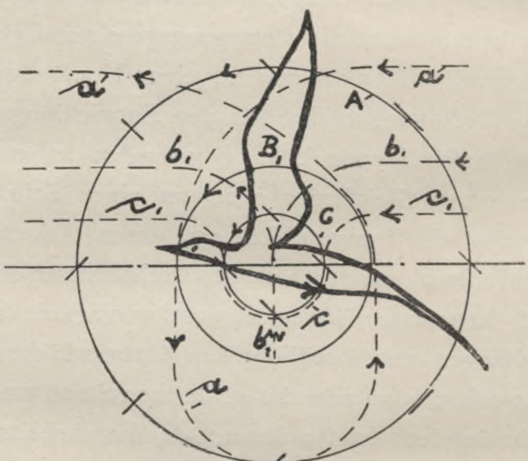
Wie gross ist nun die Tragkraft und die notwendige Motorkraft dieses eigenartigen Fliegers, und wie schwer wird er ungefähr? Nach einem Prinzip der Mechanik wirkt senkrecht auf die Richtung eines Luftstromes von der sekundlichen Luftmasse M und der Strömungsgeschwindigkeit V m/sek eine Kraft von MV kg, wenn man den Luftstrom durch eine Schaufel in eine Richtung ablenkt, die senkrecht auf seiner ursprünglichen Strömungsrichtung steht. In dem Schaufelflieger wird die Luft nun zweimal aus ihrer Strömungsrichtung abgelenkt, einmal im Ventilator, in den sie von unten senkrecht nach oben einströmt, und von der gekrümmten Oberdecke des Ventilators in die horizontale Richtung abgelenkt wirkt, und dann in der Kranzschaufel, in die sie wieder senkrecht nach unten gerichtet wird. Strömt aus dem Ventilator in jeder Sekunde die Luftmasse M mit der Sekundengeschwindigkeit V aus, so entsteht also in der Kranzschaufel ein Auftrieb von MV kg; im Ventilator entsteht ein Auftrieb von nur Mv kg, da die Strömungsgeschwindigkeit der einströmenden Luft wohl kleiner als V sein wird. Sache der Ventilatorkonstruktion ist es, möglichst $v = V$ zu machen. Die Tragkraft des Fliegers ist also gleich $A = k\,MV$ kg, worin k zwischen 1 und 2 liegt. Hierzu muss in jedem Falle der Motor theoretisch $N_i = \frac{MV^2}{150}$ Pferdestärken leisten, praktisch entsprechend mehr, je nach dem Wirkungsgrad der Vorrichtungen, den wir aber wohl auf 75 % schätzen dürfen. Es ist demnach $A/N_i = (150\,k):V$, oder $N_i = (AV):(150\,k)$, und N_e, die wirkliche notwendige Motorleistung annähernd $(AV):(112\,k)$ PS, wenn die Vorrichtung mit 75 % Nutzeffekt arbeitet. (Wir haben bei den Trag- und Treibschrauben ja gesehen, dass der praktische Arbeitsaufwand den theoretischen nur um sehr wenig überwiegt). Setzen wir $k = 1{,}5$, so wird für einen Flieger von 500 kg Gewicht $N_e = 3\,V$ PS. Wollen wir für diesen Flieger einen Motor von 60 PS und einem Gewicht von ca. 200 kg verwenden, so dürfen wir mit V bis 20 m/sek gehen, wodurch der Flieger schon ziemlich unabhängig von natürlichen Luftströmungen wird. Es wäre also $k\,M\;20 = 1{,}5\;M\;20 = 500$, oder $M = 17$; in der Sekunde hat der Ventilator die Luftmenge von 17 kg Masse oder 170 kg Gewicht entsprechend 132 cbm auszuwerfen, mit 20 m/sek Geschwindigkeit, der Luftschlauch hat demnach eine äussere Öffnung von 6,7 qm. Bei einer Höhe von 25 cm gibt das eine Länge von 27 m resp. einen Durchmesser des Ventilators von 8,6 m. Die Tourenzahl des Ventilators würde bei 60 per Minute liegen. Der Ballonstoff des Ventilators, aus dem er ja zum grössten Teil besteht, misst etwa 120 qm, der der Kranzschaufel würde auf ca. 60 qm zu bemessen sein. Bei einem Gewicht von 0,2 kg per qm würde der Ballonstoff ca. 40 kg wiegen; es bleiben also noch 250 kg für die übrige Ausrüstung. Wenn der Motor während des Fluges versagt, wirkt die Kranzschaufel wie ein Fallschirm. Man könnte die Einrichtung leicht so treffen, dass auch die Fläche des Ventilators beim Absturz wie ein Fallschirm wirkt, wobei dann bei unserm Beispiel ungefähr 100 qm Fläche die Absturzgeschwindigkeit auf einen Wert mindern würden, der nach den Eiffelschen Versuchen bei 8 m/sek liegt.

Die Flügelflieger.

Der gleichen Ursache, wie die Schraubenflieger, verdanken auch die Flügelflieger ihr Entstehen: man wollte eine Flugmaschine bauen, die sich vom Platz weg in die Luft erheben kann. Nebenbei lief bei der Wahl grade dieser Flugmaschinenart auch wohl etwas fanatische Naturanbetung mit unter, die des Glaubens ist, das uns immer und überall die Natur das nachzuahmende Vorbild sein soll. Dem gegenüber darf man immer wieder auf die Unsinnigkeit eines laufenden Automobils oder einer Lokomotive auf Stelzen hinweisen. Übrigens, grosse Vögel können sich garnicht vom Fleck weg in die Luft erheben, sie müssen immer erst einen Anlauf nehmen, wie ein moderner Gleitflieger. Man fängt bekanntlich einige grosse Vögel dadurch, dass man sie durch Köder in ein umzäuntes Gehege lockt, aus dem sie dann nicht entkommen können, weil es ihnen an Raum zum Anlaufen fehlt. Man sollte deshalb endlich aufhören, Flugmaschinen mit schlagenden Flügeln bauen zu wollen. Die Prüfung dieser Idee hat bekanntlich dem verdienstvollen deutschen Ingenieur Lilienthal, der das Flugproblem sozusagen aus den Windeln gehoben hat, das Leben gekostet. Der Flieger, mit dem er verunglückte, besass schlagende oder oscillierende Flügel.

Sachlich lässt sich das Problem mit wenigen Worten abtun. Die Wirksamkeit einer Flugmaschine beruht darauf, dass die Luft auf in Bewegung befindliche Flächen einen gewissen Druck ausübt. Die Grösse der Wirkung hängt ab von der Grösse der Fläche und dem Quadrat der Bewegungsgeschwindigkeit. Die zur Bewegung aufzuwendende Arbeit wächst aber mit dem Cubus der Bewegungsgeschwindigkeit (unter sonst gleichen Umständen). Man hat also so grosse Flächen anzuwenden, als man irgend unterbringen kann, damit die Bewegungsgeschwindigkeit so klein wie möglich wird. Ist man nun zu einer Konstruktion gelangt, bei der diese Bedingungen ihre für den Entwicklungszustand der Flugmaschine befriedigende Lösung gefunden haben, handle es sich nun um einen Gleitflieger oder um einen Schraubenflieger, und wollte man die konkrete Lösung, deren Arbeitsflächen die beabsichtigte Luftwirkung durch die den Verhältnissen entsprechende kleinste und konstante Bewegungsgeschwindigkeit auslösen, in einen Flügelflieger mit oscillierenden Arbeitsflächen umbauen, so muss man schon vom rein theorethischen Standpunkte folgende Nachteile mit in den Kauf nehmen: da die Arbeitsflächen sich nicht mehr konstant in einer Richtung bewegen, sondern mit Unterbrechungen, so ist entweder zur Auslösung der gleichen Wirkung die Bewegungsgeschwindigkeit zu erhöhen, womit vermehrte Motorarbeit verbunden ist, oder die Arbeitsfläche zu vergrössern. Wir hatten aber bei dem konkreten Flieger schon die praktisch grösste Arbeitsfläche eingebaut; könnten wir sie noch weiter vergrössern, so würde auch die Betriebsarbeit des Fliegers mit konstant bewegten Arbeitsflächen noch kleiner werden. Der Umbau würde also schon theoretisch in jedem Falle Betriebsarbeit kosten, d. h., den Flieger unwirtschaftlicher machen. Solche Nachteile lässt man sich nun sehr gern gefallen, wenn man dabei praktisch oder konstruktiv Vorteile eintauscht. Es gibt zum Beispiel Motore, die sehr unwirtschaftlich arbeiten, und trotzdem verwendet man sie, weil sie bequem sind. Beim Flügelflieger liegen die Dinge aber anders, der Umbau würde auch konstruktiv keine Vorteile, sondern, wie man sich leicht vorstellen kann, grosse Nachteile mit sich bringen. Die hierzu notwendigen Einrichtungen werden kompliziert und gehen auch sehr leicht entzwei[1]).

Über die Mechanik des Vogelfluges scheint unter den Flügelflieger-Konstrukteuren oft Unklarheit zu herrschen; die Vögel bewegen nämlich ihre Flügel nicht einfach auf und ab, wie ihre Flügelflieger, sondern bedienen sich zum Fliegen einer rationelleren



Figur 35

Methode der Flügelbewegung. Figur 35 veranschaulicht den Vogelflug: Der Vogel schnellt seine Flügel nahezu im Kreise um das Schultergelenk herum, und verdreht die Flügel dabei entsprechend seiner augenblicklichen Stellung. Da der Vogel sich während des Fluges vorwärts bewegt, beschreiben die Flügelteile nahe dem Schultergelenk andre Bahnen in der Luft, als die äusseren

1) Wer sich für ausgeführte Flügelflieger interessiert, dem sei No. 15 und 16 der „Deutschen Zeitschrift für Luftschiffahrt“ empfohlen, dort beschreibt W. H. Wallin einige schwedische Flügelflieger.

Teile und hiernach richtet sich auch die Flügeleinstellung, die also nicht überall die gleiche ist. Die äusseren Flügelteile, die sich in der Kreisbahn *A* Figur 35 um das Gelenk bewegen, beschreiben in der Luft (unter der Voraussetzung, dass der Vogel mit einem vollständigen Flügelschlage um den Durchmesser des Kreises *A* vorwärts bewegt) ungefähr die gestrichelte Bahn *a*, sie besitzen demnach zeitweise eine rückläufige Bewegung, nach der der Vogel instinktiv die äusseren Flügelteile einstellt. Die kleinen geneigten Striche an der Kreisbahn *A* deuten den Richtungssinn dieser Einstellung an. Die Flügelteile, die sich in der Kreisbahn *B* um das Gelenk bewegen, beschreiben in der Luft die Kurve *b*, die während eines Teils der Bewegung eine stationäre Auf- und Abwärtsbewegung erkennen lässt. Die Teile näher dem Gelenk endlich, etwa die, die auf der Kreisbahn *C* schwingen, beschreiben in der Luft eine Bahn, die der Kurve *c* ähnelt; diese Flügelteile besitzen also stets positive Geschwindigkeit, und brauchen in der Einstellung nur wenig verändert werden. Die inneren Flügelteile wirken als Tragdeck, die äusseren als Ruder. Auch die Oberfläche des Vogelkörpers wirkt als Tragdeck, namentlich auch der Schwanz. Der gezeichnete Vogel bewegt die Flügel „oberläufig"; man kann aber auch „unterläufigen" Flügelschlag beobachten. Die Flügelteilchen bewegen sich natürlich faktisch nicht in ebenen, sondern in Raumkurven, was aber prinzipiell nichts an der Bewegung ändert. Der Flügelschlag der Vögel lässt sich schwer beobachten, wegen der Schnelligkeit, mit der er erfolgt; es gibt aber einige Fischarten mit grossen Flügeln, z. B. „Raja marginata" oder „Myliobatis aquila" aus der Gruppe der Rochen, wahre Muster für Eindecker-Gleitflieger, bei denen man den langsamen Flügelschlag sehr hübsch verfolgen kann. Wer Gelegenheit hat, ein Aquarium zu besuchen (z. B. in Berlin), sollte sich diese Tiere einmal daraufhin ansehen.

Anhang I.

Die Luftschiffe.

Der praktische Flugschiffer wird mit Luftschiffen zwar wenig praktisch zu tun bekommen, denn die Luftschifferei ist ein sehr kostspieliger Sport, aber er kann doch in die Lage gelangen, wenigstens theoretisch zu einer Frage der Luftschifferei Stellung nehmen zu müssen; mit andern Worten: er muss etwas auch von der Luftschiffahrt verstehen. Und deshalb sei das Wichtigste aus diesem Gebiet hier noch angeführt, das dem praktischen Flugschiffer die Mittel in die Hand geben soll, sich vom „System" irgend eines auftauchenden Luftschiffes ein Bild zu machen, die „Ballon- und Ballonet-Dimension" für ein bestimmtes Luftschiff zu ermitteln, und die notwendige „Motorleistung" und die „Treibschrauben" eines Luftschiffs abzuschätzen. Mehr über diese Fragen findet man z. B. im „Hilfsbuch für den Luftschiff- und Flugmaschinenbau" vom Autor dieser Arbeit (Verlag Volckmann in Rostock, 1909).

Die Systeme.

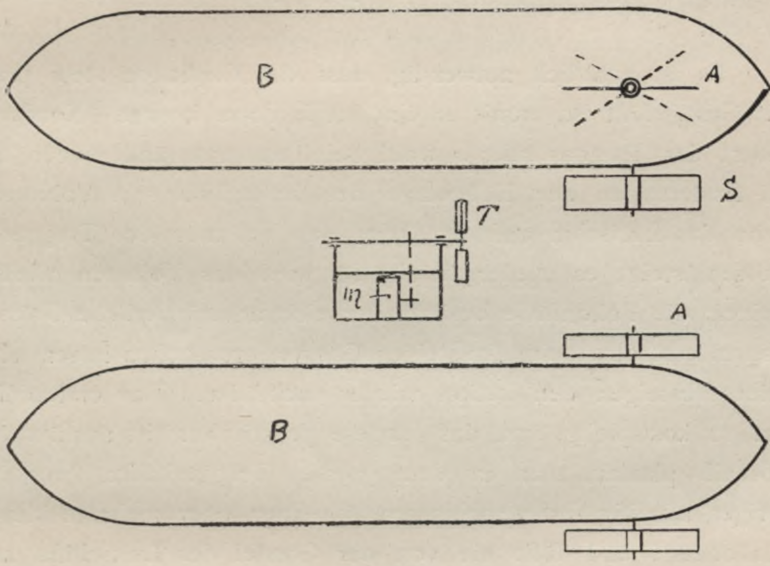
Die drei wichtigsten Bauelemente der Luftschiffe sind: 1. Der Gasballon, B Figur 36, der das Gewicht des Luftschiffs durch den Auftrieb des in ihm enthaltenen Gases ausgleichen soll.

Man verwendet dazu in der Bewegungsrichtung langgestreckte, zigarrenförmige Ballons, um den Luftwiderstand gegen die Bewegung möglichst zu verringern; 2. die Gondel, die den Motor enthält; 3. die Treibschrauben, die das Luftschiff in der Luft vorwärts treiben sollen. Die Verbindung dieser drei Elemente untereinder bestimmt das System des Luftschiffs. Man kann unterscheiden:

1. Das starre System.

Beim starren System, dessen bekanntester Vertreter das Zeppelin-Luftschiff ist, enthält der Ballon *B* ein festes starres Gerippe aus Aluminium oder, neuerdings, Holz. Dieses Gerippe ist mit Ballonstoff überspannt und bildet nun den Behälter für die eigentlichen Trag-Gas-Ballons. Die äussere Hülle des Zeppelin-

Luftschiffs enthält 17 solcher Tragballons, die etwa 15000 cbm Wasserstoffgas enthalten, und damit eine Tragkraft von ca. 16000 kg entwickeln. Der äussere Ballon hat einen Durchmesser von ca. 12 m bei einer Länge von 123 m. An dem starren Gasträger ist nun zunächst ein starrer Längskiel befestigt, der die Gondeln (beim Zeppelin 2 Stück) aufnimmt. In den Gondeln werden die Motore aufgestellt. Der Zeppelin besass 2 Stück Daimler-Motore von je 110 PS. Die von den Motoren in Bewegung zu setzenden Treibschrauben können nun in sehr bequemer Weise seitlich am



Figur 36

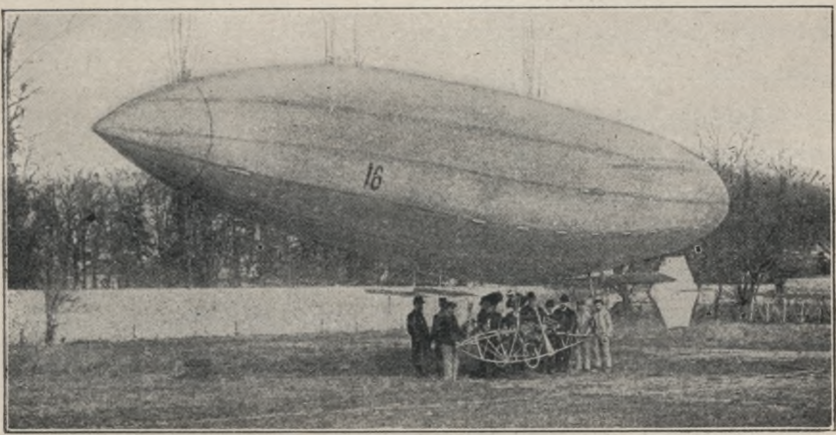
starren Gasträgergerüst so angebracht werden, dass ihre Treibkraft in der horizontalen Ebene wirksam wird, die durch den Schwerpunkt des Luftschiffs geht. Der Zeppelin besass 4 Treibschrauben. Das Luftschiff erreichte mit einem Motor eine Geschwindigkeit von 11,1 m/sek, oder ca. 40 km/std., mit 2 Motoren 13,9 m/sek. oder 50 km/std. Das starre System hat zwar viele Vorzüge vor den anderen Systemen, die Luftschiffe fallen aber verhältnismässig schwer aus, und haben deshalb immer sehr grosse Abmessungen.

2. Das halbstarre System.

Beim halbstarren System befindet sich das Traggas unmittelbar im Ballon *B*, und innerhalb dieses Ballons befinden sich keine Versteifungen. Unter dem Gasballon ist aber ein starrer Kiel aus einem Gitterwerk aus Aluminium oder Holz so angebracht, dass der Gasballon seine Lage zu diesem starren Längsträger möglichst wenig verändern kann. Die Gondel ist nun am Kiel befestigt, ebenso die Treibschrauben. Luftschiffe des halbstarren Systems sind die meisten französischen Militärballons, auch der deutsche Militärballon „Bauart Basenach 1907“ gehört zum halbstarren System.

Es ist natürlich notwendig, dass der Gasballon stets prall mit Gas gefüllt ist, damit er eine steife Form besitzt. Nun verändert das Traggas aber sowohl bei Temperaturänderungen als bei Änderungen der Höhenlage des Luftschiffs sein Volumen; wenn das Luftschiff aufsteigt, wird das Volumen des Traggases grösser, steigt es wieder herab, so wird das Volumen wieder kleiner; die Ballonhülle besitzt aber eine unveränderliche Grösse. Man müsste also beim Aufsteigen Gas verloren gehen lassen, und beim Absteigen den Ballon wieder nachfüllen. Das erstere ist nun zu kostspielig, und das letztere praktisch nicht ausführbar. Deshalb plaziert man in dem grossen Traggasballon (der im übrigen allseitig fest verschlossen ist) einen oder mehrere kleine „Ballonets“, und füllt sie von der Gondel des Luftschiffs aus durch einen Ventilator stets soweit mit Luft auf, dass dieser Luftsack einen Druck (etwa 16 mm Wassersäule) auf das Traggas im Tragballon ausübt, und ihn in die günstigste Form presst, die er durch den Zuschnitt in der Ballonfabrik erhalten hat. Wäre der Tragballon nicht prall gefüllt, so wäre seine äussere Gestalt nicht glatt, und der Luftwiderstand des Luftschiffs würde vergrössert resp. seine Fluggeschwindigkeit würde verkleinert werden. Ist dieser Grund schon wichtig genug zur Anwendung der Ballonets, so bedingen aus einem andern Grunde gut funktionierende Ballonets die Sicherheit des Luftschiffs. Denn das Luftschiff nimmt nur so lange eine horizontale Lage ein, so lange der Schwerpunkt des Auftriebs der Gase senkrecht zur Längsachse des Kiels über dem Schwerpunkt des Kiels und der Gondel etc. liegt. So lange der Ballon *B* prall gefüllt ist, ist der Schwerpunkt des Auftriebs der Gase unveränderlich, das Luftschiff befindet sich also in horizontaler Lage im stabilen Gleichgewicht. Ist aber die Ballonhülle schlaff, so kann sich das Traggas darin verschieben, und ebenso der Schwerpunkt seines Auftriebs; das Luftschiff kann dann auch senkrechte und andere gefährliche Stellungen annehmen.

Die Ballonets müssen einen verhältnismässig grossen Inhalt besitzen. Wir beschäftigen uns weiter hinten noch eingehender



Figur 37

damit. Hier sei erwähnt, dass z. B. der französische Militärballon „Ville de Paris", dessen Gasballon einen Gesamtinhalt von 3196 cbm besass, ein Ballonet von 500 cbm Inhalt, also dem 6. Teil des Gasballons führte.

3. Das unstarre System.

Das unstarre System verzichtet auch auf den starren Kiel, und legt dafür die Gondel, den einzigen starren Teil des Luftschiffs, etwas tiefer. Die Treibschrauben befinden sich an der Gondel, wie Figur 36 ungefähr zeigt. Der Gasballon enthält wieder Ballonets. Die Betriebsverhältnisse sind im übrigen dieselben, wie beim halbstarren System. Der bekannteste Vertreter des unstarren Systems ist der Parseval-Ballon.

Der grösste Durchmesser des neuen Parsevalballons beträgt 8,57 m bei einer Länge von 48 m. Die Motorstärke beträgt, 100 bis 120 PS bei etwa 1300 Touren/Min. Die Schraube macht etwa 300 Touren/Min. Die grösste erreichte Eigengeschwindigkeit des Ballons betrug 13 m/Sek. Die Hülle wiegt 600 kg, die Gondel komplett 1200 kg, Benzin 200 kg, Wasser für den Motor 100 kg, Passagiere 300 kg, Ballast 400 kg. Der Inhalt des Ballons beträgt 2500 cbm.

Ein kleiner unstarrer Motor-Sportballon, der den Flugschiffer besonders interessieren wird, ist in Fig. 37 abgebildet. Er ist von dem bekannten Sportsmann Santos Dumont erbaut worden[1]). Das kleine Fahrzeug besitzt einen 8 PS Motor, der die hinten sichtbare Treibschraube betätigen soll. Der Gasballon besitzt nicht genug Auftrieb, um den Flieger zu tragen, er soll nur dem Absturz der Maschine vorbeugen. Beim Auffliegen sollen die Tragdecks der Maschine zur Wirkung kommen. Der Flieger ist also halb noch Motorballon, halb schon Gleitflieger.

Die Luftschiffe dieser 3 Systeme gleichen äusserlich ungefähr der Fig. 36, in der S und A Steuerflächen andeuten, die in den verschiedenartigsten Formen zur Verwendung kommen. Die Steuer-Flächen sollen den Lauf des Luftschiffs in horizontaler und vertikaler Richtung beeinflussen. Es gibt noch andere Systeme, deren Äusseres zum Teil erheblich von den beschriebenen abweicht, z. B. das Komet-System, das Kalotten-System u. a. Wir übergehen sie hier, da sie zur Zeit weniger wichtig sind[2]).

Die Berechnung von Luftschiffen.

Einige Angaben über die Berechnung der Abmessungen von Luftschiffen scheinen hier angebracht. Wir können uns natürlich

1) Nach der „Automobilwelt" No. 38, Berlin 1908.

2) Über den Komet-Typ findet man Näheres im „Hilfsbuch für den Luftschiff- und Flugmaschinenbau" vom Autor dieser Arbeit. (Verlag C. J. E. Volckmann Nachflg., Rostock.)

hier nur um die Hauptabmessungen kümmern, denn die detaillierte Durchkonstruktion und Ausbalanzierung eines bestimmten Projektes ist eine sehr komplizierte Arbeit, die überdies für jedes Projekt andere Formen annimmt. Aber wenigstens über die Ballongrösse, über die Treibschrauben und die notwendige Motorstärke wollen wir uns kurz informieren.

Ballondimensionen.

Zur Füllung der Gasballons von Luftschiffen kommt zur Zeit nur Wasserstoffgas in Frage, da dieses Gas von den bekannten und leicht herstellbaren Gasarten den grössten Auftrieb von 1 bis 1,2 kg per cbm liefert, je nach der Reinheit. Ist G in Kilogramm das gesamte Gewicht des Luftschiffs samt Motorbenzin und Luftschiffern, so hat man also G cbm Wasserstoffgas in den Gasballon einzufüllen, damit er das Luftschiffgewicht ausgleichen kann. Wenn der Ballon aufsteigt, so dehnt sich sein Traggas entsprechend dem abnehmenden äusseren Luftdruck aus; auch durch die Wirkung der Insolation, der Bestrahlung der Ballonhülle durch die Sonne kann das Volumen des Traggases bedeutend zunehmen, namentlich in höheren Regionen. Diese Einflüsse berücksichtigt man dadurch, dass man den Gasballon nicht prall füllt, damit die Hülle dem zunehmenden Gasvolumen folgen kann, ohne dass Gas aus der Hülle entweicht und verloren geht; oder, man bringt einen oder mehrere Luftsäcke, die Ballonets, in die Traghülle ein und füllt sie von aussen durch Ventilatoren stets so weit mit Luft, dass die Hülle des Traggasballons prall und steif ist. Der Luftdruck in den Ballonets, also auch der Gasdruck im Tragballon, beträgt bis 16 mm Wassersäule. Für Steighöhen bis 500 m muss man den Ballonets einen Gesamt-Rauminhalt von etwa 0,2 G cbm geben, wenn man sparsam mit dem Traggas umgehen will. Die Wirkung der Insolation ist dabei bis zu Temperaturen von 50 Grad C berücksichtigt. (Näheres darüber und über die übrigen Angaben findet man z. B. im „Hilfsbuch für den Luftschiff- und Flugmaschinenbau“ des Autors, Verlag Volckmann, Rostock 1909.)

Wir können für diese Verhältnisse also festsetzen: Der gesamte Rauminhalt des Traggasballons eines Luftschiffs von G kg Gewicht muss etwa $G + 0,2\,G$ oder $1,2\,G$ cbm betragen, wovon $0,2\,G$ cbm auf die ev. Ballonets kommen.

Das Gesamt-Gewicht G des Luftschiffs setzt sich zusammen aus dem Gewicht der Ballonhüllen und ihrer Armatur an Leinen, Steuern und Ventilen, dem Gewicht der ev. Versteifungen, der Gondel samt Armatur und Ausrüstung mit Apparaten, Ventilatoren, Treibschrauben etc. und Motoren, aus dem Gewicht der Luftschiffer, des Betriebsstoffs für die Motoren und des Ballastes. Zur Abschätzung dieser Werte mögen folgende Angaben dienen:

Ballonstoff wiegt per qm etwa 0,15 kg (einfacher Ballonstoff, sogenannter Aeroplanstoff) bis 0,5 kg (dreifacher Ballonstoff, speziell für Motorluftschiffe und Prallballons). Um spezielle Auskünfte hierüber wendet man sich am besten an eine unserer renommierten Ballonstofffabriken, z. B. „Franz Clouth, G. m. b. H., in Köln-Nippes“, oder der „Continental-Kautschuck- und Guttapercha-Cie in Hannover“, von denen man auch näheres über Ventile, Leinen, Stabilisierungsflächen und Gondeln erfahren kann.

Über das Gewicht der Versteifungen lassen sich keine allgemein gültigen Angaben machen, auch nicht über das Gewicht der Gondeln. Solche Bauelemente muss man durchkonstruieren, wenn man sich über ihr Gewicht vergewissern will. Erwähnt sei, dass das Gerüst der Gondel des Parsevalballons, die von der A.E.G. gebaut ist, ca. 250 kg wiegt.

Für den Motor muss man heute noch 3 bis 4 kg für die Pferdestärke veranschlagen. Zur Bestimmung der Motorleistung für ein Luftschiff bedient man sich der Gleichung $N_e = C\,D^2\,V^3$ PS, worin V die verlangte Luftschiffgeschwindigkeit in m/sek, D der grösste Durchmesser des Gasballons in Metern, und C eine Konstante ist, die z. B. für das Zeppelin-Luftschiff 0,00061, und für den Parseval 0,000623 ist. Für ein unbekanntes Luftschiff setzt man den letzteren Wert ein.

Eine starke Belastung erfährt das Luftschiff durch den für die Motore notwendigen Betriebsstoff. Die Benzinmotore verbrauchen ca. 0,35 bis 0,50 kg Benzin für die PS Stunde; ein 100 PS Motor verschluckt also in der Stunde 35 bis 50 kg davon. Für eine längere ununterbrochene Fahrt ergibt das eine respektable Anfangsbelastung.

Um sich ein Bild von den Treibschrauben der Luftschiffe machen zu können, muss man seinen Luftwiderstand ermitteln, wenigstens annähernd. Der Ausdruck $(75\ N_e) : V$ ergibt den scheinbaren Luftwiderstand in kg, denn in ihm steckt noch der Wirkungsgrad der Treibschraube. Wollte man danach die Treibschrauben bemessen, so würde man ihnen zu grosse Dimensionen geben. Aus Seite 33 ist ausgeführt, das wir zur rechten Bemessung der Treibschrauben des Wertes für N_i, der nützlichen Arbeit des achsialen Schubes bedürfen. Es ist nun $N_i/N_e = \eta$, gleich dem Wirkungsgrad der Treibschraube, wofür wir, wie wir im Abschnitt „Die Leistungen der Treibschrauben“ erkannt haben, mit guter Annäherung an die Wirklichkeit den Wert 0,5 einsetzen dürfen. Es wäre also annähernd $N_i = 0{,}5\ N_e$. Daraus würden wir als wirklichen Widerstand für Veranschlagungs-Rechnungen erhalten: $k = 37{,}5\ (N_e/V)$ kg.

Vermittels der Gleichung 14 auf Seite 57 können wir nun leicht die Dimensionen von passenden Treibschrauben annähernd ermitteln, oder aus Tabelle IV ohne weiteres ungefähr entnehmen.

Der Zeppelin brauchte z. B. bei einer Höchstgeschwindigkeit von 13,9 m/sek ca. 220 PS an Motorleistung. Es wird also etwa $k = 600$ kg, wovon jede der Treibschrauben den vierten Teil oder etwa 150 kg zu bewältigen hat. Auf jede Schraube kommen ca. 55 PS, der Schraube ist nach Gleichung 5 also ein Durchmesser von ca. 3 m zu geben. Der Parseval fuhr mit 100 PS Motorleistung etwa mit einer Geschwindigkeit von 13 m/sek, es wird also $k = 288$ kg. Nach Gleichung 14 müsste der Schraube ein Durchmesser von etwa 4,9 m gegeben werden. Die unstarre und langsam rotierende Parseval-Schraube hat aber einen bedeutend kleineren Durchmesser, ihr Wirkungsgrad ist also grösser als 0,5.

Anhang II.

Die Werte der Kreisfunktionen sinus, cosinus und tangens für die Winkel von 1 bis 90 Grad.

Grad	sin. = cos von Grad;		sin. = cos von Grad;		tg	tg	Grad
0	0,00000	90	1,00000	0	0,00000	1,03553	46
1	0,01745	89	0,99985	1	0,01746	1,07237	47
2	0,03490	88	0,99939	2	0,03492	1,11061	48
3	0,05234	87	0,99863	3	0,05241	1,15037	49
4	0,06976	86	0,99756	4	0,06993	1,19175	50
5	0,08716	85	0,99619	5	0,08749	1,23490	51
6	0,10453	84	0,99452	6	0,10510	1,27994	52
7	0,12187	83	0,99255	7	0,12278	1,32704	53
8	0,13917	82	0,99027	8	0,14054	1,37638	54
9	0,15643	81	0,98769	9	0,15838	1,42815	55
10	0,17365	80	0,98481	10	0,17633	1,48256	56
11	0,19081	79	0,98163	11	0,19438	1,53987	57
12	0,20791	78	0,97815	12	0,21256	1,60033	58
13	0,22495	77	0,97437	13	0,23087	1,66428	59
14	0,24192	76	0,97030	14	0,24933	1,73205	60
15	0,25882	75	0,96593	15	0,26795	1,80405	61
16	0,27564	74	0,96126	16	0,28675	1,88073	62
17	0,29237	73	0,95630	17	0,30573	1,96261	63
18	0,30902	72	0,95106	18	0,32492	2,05030	64
19	0,32557	71	0,94552	19	0,34433	2,14451	65
20	0,34202	70	0,93969	20	0,36397	2,24604	66
21	0,35837	69	0,93358	21	0,38386	2,35585	67
22	0,37461	68	0,92718	22	0,40403	2,47509	68
23	0,39073	67	0,92050	23	0,42447	2,60509	69
24	0,40674	66	0,91355	24	0,44523	2,74748	70
25	0,42262	65	0,90631	25	0,46631	2,90421	71
26	0,43837	64	0,89879	26	0,48773	3,07768	72
27	0,45399	63	0,89101	27	0,50953	3,27085	73
28	0,46947	62	0,88295	28	0,53171	3,48741	74
29	0,48481	61	0,87462	29	0,55431	3,73205	75
30	0,50000	60	0,86603	30	0,57735	4,01078	76
31	0,51504	59	0,85717	31	0,60086	4,33148	77
32	0,52992	58	0,84805	32	0,62487	4,70463	78
33	0,54464	57	0,83867	33	0,64941	5,14455	79
34	0,55919	56	0,82904	34	0,67451	5,67128	80
35	0,57358	55	0,81915	35	0,70021	6,31375	81
36	0,58779	54	0,80902	36	0,72654	7,11537	82
37	0,60182	53	0,79864	37	0,75355	8,14435	83
38	0,61566	52	0,78801	38	0,78129	9,51436	84
39	0,62932	51	0,77715	39	0,80978	11,43005	85
40	0,64279	50	0,76604	40	0,83910	14,30067	86
41	0,65606	49	0,75471	41	0,86929	19,08114	87
42	0,66913	48	0,74314	42	0,90040	28,63625	88
43	0,68200	47	0,73135	43	0,93252	57,28996	89
44	0,69466	46	0,71934	44	0,96569	∞	90
45	0,70711	45	0,70711	45	1,00000		

Es ist: $\sin a = \sqrt{1 - \cos^2 a} = \cos (90^0 - a)$

$$\text{tg}\, a = \frac{\sin a}{\cos a}$$