

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

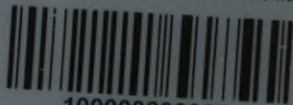
BIBLIOTEKA GŁÓWNA



6828

L. inw.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000299337

Die beste Tragdeck-Form und der Luftwiderstand

Eine leichtfassliche Entwicklung der Luftwirkungs-Gesetze für
Flugtechniker und Freunde physikalischer Naturbetrachtung

von

Dr. Wegner von Dallwitz

Physiker und Dipl.-Ingenieur

=====
Mit 47 Abbildungen
=====



Rostock i. M.

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

1910



116828

Das Übersetzungsrecht, sowie alle Rechte aus dem Gesetz vom
19. Juni 1901 sind vom Verlage vorbehalten.

Copyright

1910

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

Rostock i. M.

Greifswald.

Druck von Julius Abel

1910.

Akc. Nr. 2676 51

Vorwort.

Nachdem sich die theoretische und praktische Welt der Flugmänner einigermaßen von ihrer Überraschung erholt hat, dass das Flugproblem nun wirklich praktisch gelöst ist, beginnt sie ins Detail des Flugmaschinenbaus zu gehen. Es kann bei der heterogenen Zusammensetzung der Förderer des Flugproblems nicht auffallen, dass manche Böcke dabei geschossen werden. Denn auch Neukonstruktionen, die aus einem Kreise nur allerzünftigster Fachleute hervorgehen, lassen ja manchmal manches vermissen. Namentlich am Tragdeck ist viel herumgedoktert worden, und auch Ingenieure vom Fach haben sich eigenartige Ansichten über die „beste Tragdeck-Form“ geleistet.

Hier soll nun auf möglichst einfache und gemeinverständliche Weise gezeigt werden, dass gar keine Veranlassung vorliegt, in dieser wichtigen Frage nach der besten Tragdeck-Form den allbewährten Gesetzen der Mechanik Gewalt anzutun; und es soll allgemeiner plausibel gemacht werden, dass wirklich das einfache gewölbte Tragdeck, das seine Vorderkante grade vor sich in die Flugrichtung steckt, das beste mögliche ist. Es soll auch gezeigt werden, wie die abweichenden Ansichten entstehen konnten, und wie vor allem ein Faktor dazu beiträgt, die Resultate von Experimenten mit Tragdecks zu fälschen: Die Vernachlässigung des Einflusses der Erdnähe!

Daneben soll in auf diese Hauptfrage vorbereitender Weise auf andre Probleme der Luftbewegung und Luftwirkung populär eingegangen werden.

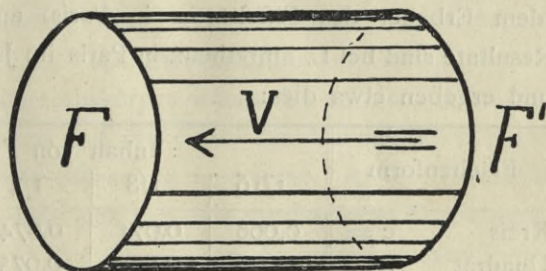
Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Die Wirkung der Luft auf bewegte Flächen	2
a) Ebene senkrechte Flächen	2
b) Geneigte Flächen	5
c) Flächendruck	6
d) Die Wirkungssphäre bewegter Flächen	10
1. Sekundärer Wirkungsbereich	10
2. Primärer Wirkungsbereich	17
e) Stirnwiderstände	20
Die beste Tragdeckform	23
Erste Annahme	24
Zweite Annahme	28
Dritte Annahme	30
Dynamische Deutung der Gleichungen	36
Störende Strömungen	39
a) Einfluss der Rückströmung	40
b) Einfluss der Erdboden-Nähe	48
Hubkraft der Tragflächen	53
Konstruktion der Parabel eines Tragdecks	55
Konstruktion der Wurfparabel	56
Konstruktion der Streckparabel	57
Konstruktion des Tragdecks nach einem Kreisbogen	58
Der Aufbau der Tragdecks	60
Die notwendige Flugarbeit N_i der Motordrachen	60
Die notwendige Motorstärke bei Motordrachen, der theoretische Treib- schraubenwirkungsgrad und der Ausführungswirkungsgrad	62
Die annähernde Bewertung der Motordrachen	63
Elastische Tragdecks	64
Barometerstand und Flugversuche	65
Anhang: Das Rechnen mit Logarithmen	66
Sinus, Cosinus und Tangens-Tafel	69
Die Mantissen der Briggschen Logarithmen	70

Die Wirkung der Luft auf bewegte Flächen.

a) Ebene senkrechte Flächen.

Wird eine ebene Fläche F von F qm Flächeninhalt, Fig. 1, mit der Geschwindigkeit V m/sek. so durch die Luft bewegt, dass die Bewegungsrichtung auf der Fläche senkrecht steht, so wird sie in jeder Sekunde ein Volumen von $F \cdot V$ cbm beschreiben. Wir nehmen hier an, die Luft sei vollkommen unbewegt; wäre die Luft selbst bewegt, so könnten wir unter V die relative Geschwindigkeit der Fläche zur Luft verstehen. In diesem Sinne könnte F auch still stehen, und die Luft sich mit der Geschwindigkeit V bewegen.



Figur 1.

Wäre die Fläche vollkommen durchlässig für Luft, so würde in jeder Sekunde ein Luftquantum von $F \cdot V$ cbm durch sie hindurch gehen. Ist sie nicht durchlässig für Luft, was wir hier voraussetzen, so kann dieses Luftquantum irgend eine Wirkung auf sie ausüben. Ist die Fläche vollkommen elastisch, und könnte das ganze Luftquantum in einem elastischen Stoss auf die Fläche aufprallen, so würde nach einem Naturgesetz (das wir hier nicht ableiten wollen), ein Druck gleich dem doppelten Bewegungsmoment der Luft oder gleich $2 \cdot M \cdot V$ darauf ausgeübt werden, worin M die Luftmasse bedeutet, die sekundlich

auf die Fläche mit der relativen Geschwindigkeit V m/sek. auftrifft. Nun ist die Masse der getroffenen Luft gleich ihrem Gewicht, dividiert durch die Beschleunigung der Schwere $g = 9,81$ m/sek². Ein cbm Luft wiegt in mittelfeuchtem Zustande bei 0 Grad C. etwa 1,285 kg, $F \cdot V$ cbm besitzen also eine Masse von $(1,285 : 9,81) \cdot F \cdot V$ oder $0,13 \cdot F \cdot V$; der Luftdruck auf F betrage unter diesen Voraussetzungen $P = 2 \cdot M \cdot V = 0,26 \cdot F \cdot V^2 = c \cdot F \cdot V^2$ kg, worin c eine von der Gestalt der Fläche und von V unabhängige Konstante ist. Versuche lehren nun, dass der Druck der Luft auf F numerisch erst etwa diesem Ausdruck entspricht, wenn V grösser ist als 400 m/sek. (nach Schell); für den Geschwindigkeitsbereich von 0,2 bis 250 m/sek., der für Luftschiffe in Frage kommt, gilt aber das gleiche Gesetz, worin jedoch c kleiner ist als 0,26. Die neuesten Untersuchungen, die über den numerischen Wert von c vorliegen, sind von G. Eiffel (dem Erbauer des Eiffelturms in Paris) angestellt worden, die Resultate sind bei L. Maretheux in Paris im Jahre 1908 erschienen, und ergeben etwa dies:

Flächenform		Inhalt von F in qm				
		1/16	1/8	1/4	1/2	1
Kreis	$c =$	0,068	0,071	0,074	0,077	—
Quadrat	„ „	0,070	0,072	0,075	0,077	0,079
Rechteck a	„ „	0,073	0,074	0,075	0,077	0,079
Rechteck b	„ „	0,070	0,072	0,075	0,077	0,079

(Rechteck a hatte ein Seitenverhältnis von 4 : 1, Rechteck b von 2 : 1). Ähnliche Ergebnisse hatte Frank (mitgeteilt in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure. 1906 Seite 593 u. f.) mit kleinen Geschwindigkeiten von 1 bis 4 m/sek. Während Eiffel die Flächen bei Geschwindigkeiten von 18 bis 40 m/sek. untersuchte. Andre Forscher dagegen fanden für c ganz andere Werte, die unserm aus theoretischen Erwägungen abgeleiteten Wert von 0,26 zum Teil ziemlich nahe kommen. Die Unsicherheit dieser Versuchswerte hat ihre verschiedenen Gründe: denn erstens wird der Abfluss der auf eine ebene Fläche aufprallenden Luft in

hohem Masse von Seitenströmungen selbst ganz geringfügiger Natur beeinflusst werden, und damit kann die Art des Aufpralls Formen annehmen, die sich der Kenntnis des Experimentators entziehen; wir kommen im Abschnitt „Störende Strömungen“ darauf noch eingehend zurück; und zweitens wird meistens die sonstige Form des Körpers, der an seiner Stirnseite die ebene Fläche besitzt, nicht beachtet, namentlich nicht, dass er auch eine Rückseite besitzt, die sich oft unter ähnlichen mechanischen Bedingungen bewegt, wie die Vorderseite, wenn auch bezüglich der Luft mit negativer Geschwindigkeit. Was aber auf die mechanische Wirkung ganz ohne Einfluss ist. In den technischen Büchern findet man, oder fand man wenigstens bis vor kurzem denn auch unter den sogenannten Luftdruckgleichungen nur Formeln, die die Gestalt der vorderen Seite und ihre Grösse in Rechnung ziehen, alles übrige aber durch den höchst unsicheren Koeffizienten c bewerten. Auch Eiffel hat seine umstehend angeführten Werte für c nur aus Berechnungen abgeleitet, die auf die Vorderseite der Versuchskörper Rücksicht nehmen, ihre rückseitigen Flächen dagegen und die durch den Versuchskörper hervorgerufenen sekundären Störungen ignorieren. An der Rückseite der Versuchskörper befand sich nun eine mechanische Vorrichtung, die die Körper festhielt und das Messen der verschiedenen Werte gestattete. Der Luftwiderstand dieser Vorrichtung wurde besonders bestimmt, und fiel so aus den Berechnungen des Luftwiderstandes der Versuchskörper heraus. Je kleinere Stirnflächen die Versuchskörper nun besaßen, desto weniger machte sich der Luftwiderstand ihrer Rückseite in der Berechnung geltend, weil hinter ihnen der Mechanismus sass. Deswegen darf man annehmen, dass die von Eiffel berechneten Werte für den Koeffizienten c umsomehr den wahren Luftwiderstand einer ebenen Fläche zum Ausdruck bringen, je kleiner die Fläche war. Wir wollen uns dies noch durch eine andere Überlegung plausibel machen:

Wenn F mit der Geschwindigkeit V durch die Luft bewegt wird, während der Luftdruck P als Bewegungs-Widerstand wirkt,

so muss die Sekundenarbeit oder Leistung $P \cdot V$ Kilogramm-Meter für diese Bewegung aufgewendet werden, denn Arbeit ist Kraft (P in kg) mal Weg (V in m).

Wird die Luft durch einen elastischen Stoss von der sich mit der Geschwindigkeit V bewegenden Fläche F abgestossen, so besitzt sie relativ zu F in der Bewegungsrichtung die Geschwindigkeit V , zu einem ruhenden Punkt eine Geschwindigkeit von $2V$. (Dopplersches Prinzip.) Der Energiegehalt der Luft war vor dem Stoss gleich Null (wir nehmen ja an, sie sei unbewegt), nach dem Stoss wäre er $(M \cdot (2 \cdot V)^2) : 2 = 0,26 \cdot F \cdot V^3$ kgm für jede sekundlich abgestossene Luftmenge, also gleich der sekundlich für die Bewegung von F aufzuwendenden Arbeit $P \cdot V$. Wir finden demnach die gesamte aufgewendete Energie in der abgestossenen Luft als Bewegungsenergie wieder, und erkennen als Ursache des grossen Wertes von c die hohe Bewegungsgeschwindigkeit $2 \cdot V$ der abgestossenen Luft. Im vollkommen unelastischen Stoss dagegen prallt die Luft nicht von der sich bewegenden Fläche F zurück, sondern wird von ihr mit der Geschwindigkeit V vor ihr hergeschoben. F erteilt der Luft also in der Sekunde nur die Energiemenge $(M \cdot V^2) : 2 = 0,065 \cdot F \cdot V^3$, also nur den 4. Teil der Energie im ersteren Falle. Entsprechend ist auch nur etwa der 4. Teil der Arbeit auf die Bewegung der Fläche aufzuwenden, gleich $c \cdot F \cdot V^3$, wobei c den Wert $0,065$ besitzt, und der Luftwiderstand der Fläche F müsste ebenfalls $P = 0,065 E V^2$ geschrieben werden. Wir sehen, dass tatsächlich die Eiffelschen Koeffizienten für kleine Flächen gegen diesen theoretisch abgeleiteten Wert konvergieren, und dass der Luftwiderstand einer ebenen Fläche, die senkrecht zur Bewegungsrichtung steht, wahrscheinlich aus einem total unelastischen Stoss herrührt. Versuche hierüber unter Berücksichtigung der Umstände, die zur Unsicherheit der Resultate auch der Eiffelschen Versuche führten, sind noch nicht bekannt geworden, werden aber angestellt. Wir können aber trotzdem hier den Wert $c = 0,065$ als zutreffend ansehen, umsomehr, als er, auf die Berechnung von Ballonwiderständen

angewendet, praktisch brauchbare Resultate liefert; wir schreiben also: der Luftwiderstand P in kg auf eine ebene, zur Bewegungsrichtung senkrecht stehende Fläche von F qm Flächeninhalt ist

$$1) \quad P = \frac{M V}{2} = 0,065 F V^2 \text{ kg}$$

oder gleich dem halben Bewegungsmoment $M V$ der Luft, bezogen auf die relative Bewegung der Fläche. Auf Ausnahmen von Gleichung 1 kommen wir im Abschnitt „Die beste Tragdeckform“ zurück.

Der Luftwiderstand des in Figur 1 dargestellten Körpers, der eine vordere Fläche F und eine hintere ebenso grosse der ersteren parallelen Fläche F' besitzt, betrage demnach $2 \cdot 0,065 F V^2 = 0,13 F V^2$ kg, da sich die hintere Fläche unter denselben mechanischen Verhältnissen bewegt, wie die vordere; die vordere Fläche schiebt die Luft vor sich her, die hintere zieht sie nach sich unter ähnlichen Vorgängen an der Fläche, die vorne zu einem unelastischen Stosse führen. Im Abschnitt „Die beste Tragdeckform“ kommen wir nochmal darauf zurück. Aus dieser Anschauungsweise heraus wollen wir nun die Stirnwiderstände solcher Flächen, die an Luftfahrzeugen vorkommen, zusammenstellen.

b) Geneigte Flächen.

Ganz anders gestalten sich zum Teil die Verhältnisse bei geneigten Flächen.

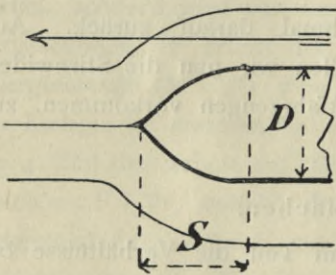
Wird ein Körper, etwa eine Latte von der Dicke D mit einer Zuspitzung von der Länge S versehen, wie Figur 2 veranschaulicht, und wird diese Latte mit der Geschwindigkeit von V m/sek. durch die Luft bewegt, so teilt sie die Luft vor sich, wie die Abbildung zeigt. Dabei vermittelt sie der getroffenen Luft aber nicht die Geschwindigkeit V , sondern erteilt ihr nur eine kleinere Geschwindigkeit C , so dass der Luftwiderstand einer solchen zugespitzten Latte entsprechend kleiner wird, als der einer platten. Durch Bestimmung der Geschwindigkeit C und ihrer

Festlegung und Ausdrückung in den Bauverhältnissen der Latte gelangt man zu den im Absatz e angegebenen Stirnwiderständen. Eine Ableitung dieser Formeln findet man im Abschnitt „Die beste Tragdeckform“ im Absatz „Erste Annahme“.

Das Merkwürdige ist nun, dass der Luftwiderstand nicht, wie man nach dem Augenschein und den Gleichungen des Absatzes e vermuten möchte, um so kleiner wird, je spitzer die Latte zugespitzt wird, bei einer Zuspitzung über ein sehr enges Mass hinaus, über das im Absatz f Andeutungen gemacht sind, wird vielmehr der Luftwiderstand zunächst relativ grösser, resp., er nimmt zunächst nicht weiter ab. Den Grund dafür werden wir im Abschnitt „Die beste Tragdeckform“ im Absatz „Dritte Annahme“ kennen lernen.

c) Flächendruck.

Bei einer ebenen Fläche, Figur 1, ist der Luftwiderstand natürlich gleich dem Druck auf die Fläche F und F' ; auf jede der Flächen lastet der halbe Widerstand als Druck. Auf der vorderen Fläche ist der Druck positiv, er beansprucht den Körper wirklich auf Druck, an der hinteren Fläche ist er negativ, er zieht am Körper. Anders liegen diese Verhältnisse bei zugespitzten Körpern. Diese Vorgänge sind einigen Experimentatoren (z. B. Kaptein und

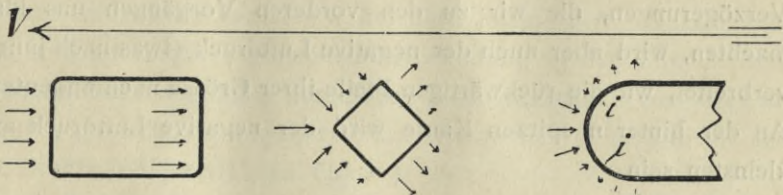


Figur 2.

sonstigen) nicht verborgen geblieben, und haben zur Aufstellung von eigenartigen Theorien über die Luftwirkung geführt, die augenblicklich in der flugtechnischen Literatur herumspuken und zu sehr komischen Tragdeckkonstruktionen Veranlassung wurden. Zur Klärung der Sache sei deshalb mit einigen Worten auf die Vorgänge eingegangen:

Figur 3 stellt noch mal eine Latte mit platten Kanten im Querschnitt dar, die sich in der Pfeilrichtung gegen die Luft be-

wegen möge. Auf der vorderen Seite resp. Kante lastet ein annähernd gleichmässiger positiver Druck, was die gleichgerichteten und gleichlangen Pfeile der Richtung des Druckes und seiner Grösse nach andeuten. Auf der Rückseite ist die Druckverteilung ebenso, aber negativ, wie wieder die Pfeile veranschaulichen. Figur 4 zeigt eine quadratische Latte, die spitz gegen die Luft bewegt wird. Hierbei werden die Druckverhältnisse schon komplizierter. An der spitzen Kante vorn ist der Druck am grössten, denn hier wird die Luft plötzlich in eine seitliche Bewegung versetzt (über deren Grösse und Richtung im Abschnitt „Die beste Tragdeckform“ ausführlich gesprochen wird). Die Luft beginnt sich also mit dem Stoss auf die spitze Kante zu teilen und in Bewegung zu setzen.



Figur 3, 4 und 5.

Da die zum Stoss kommenden vorderen Seitenwände der Latte eben sind, und unter gleich bleibendem Winkel auf die Luft treffen, so wird ihr von jedem Teil dieser Wände dieselbe Bewegungsgeschwindigkeit von C m/sek. (kleiner als V m/sek.) zu geben gesucht, soweit sie diese noch nicht besitzt. Entsprechend gross ist der Druck der Luft auf die Wandteile, der weiter nichts als die Reaktion des Beschleunigungsdruckes der Wandteile auf die Luft ist. Theoretisch müsste schon an der spitzen Kante vorn die Geschwindigkeit C erreicht werden. Dann würde die Luft von den schrägen Wänden der Latte nicht mehr beschleunigt werden, sie würde an diesen Wänden infolge der dynamischen Beeinflussung von der spitzen Kante nur entlang gleiten, und könnte also keinen Druck auf sie ausüben. Der Gesamtluftdruck, resp. der Luftwiderstand würde dennoch denselben Wert behalten, nur sein Angriffspunkt würde an der vorderen Kante liegen. Praktisch

verzögert sich aber die Beschleunigung der Luft auf die Geschwindigkeit C so, dass auch noch die mittleren Partien der Seitenwände daran teilnehmen. Der Druck auf die Seitenwände nimmt dann naturgemäss nach aussen ab, wie die vorderen Pfeile zu Figur 4 ihrer Grösse und Richtung nach andeuten.

Auf der hinteren Seite der Latte ist die Sache grade umgekehrt. Zunächst wird der nach aussen fliessende, auf die Geschwindigkeit C m/sek. beschleunigte Luftstrom nach innen scharf umgelenkt. Theoretisch müsste er hier sofort die neue Richtung nach innen erhalten, und der rückwärtige negative Luftdruck, dessen Ausdruck im Absatz e dieses Abschnitts mitgeteilt ist, würde nur an den äusseren Kanten der Latte entstehen. Durch dieselben Verzögerungen, die wir zu den vorderen Vorgängen uns klar machten, wird aber auch der negative Luftdruck etwas nach innen verbreitet, wie die rückwärtigen Pfeile ihrer Grösse nach andeuten. An der hinteren spitzen Kante wird der negative Luftdruck am kleinsten sein.

Nach diesen vorbereitenden Betrachtungen kommen wir zu Figur 5, die eine Latte mit abgerundeter vorderer Kante oder eine Latte von kreisförmigem Querschnitt darstellt. Die Vorgänge an solchen Körpern haben zu den eingangs erwähnten Irrtümern Veranlassung gegeben.

Vorn, am Scheitel der Abrundung in der Bewegungsrichtung, wo die getroffene Luft sich teilen muss, ist wieder der Luftwiderstand am grössten. Würde die Luft hier sofort die den relativ steilen Neigungswinkeln der Abrundung am Scheitel entsprechende hohe Seitengeschwindigkeit C erlangen, so würde sie, wie wir am vorigen Beispiel verfolgten, auf die weiter nach aussen liegenden Teile der Abrundung nicht mehr positiv drücken. Anstatt dessen beteiligen sich aber noch breitere nach aussen zugelegene Teile der Abrundung an der Beschleunigung der Luft, die dann aber nur die kleinere Seitengeschwindigkeit C' erhält, entsprechend dem kleineren mittleren Neigungswinkel der Abrundungsstelle, die sich an der Beschleunigung beteiligen, und die bis zu den Punkten i

der Abrundung in Figur 5 reichen mögen. Nun sei also die Luft auf C' m/sek. beschleunigt. Sie wird eine dieser Geschwindigkeit entsprechende Bewegungsrichtung besitzen, denn diese Richtung und C' sind von einander abhängige Grössen. (Wegen des Näheren über diese Verhältnisse muss auf den Abschnitt „Die beste Tragdeckform“ verwiesen werden.) Die weiter aussen liegenden Teile der Abrundung, in Figur 5 also von den Punkten i ab, besitzen aber eine flachere Neigung, als diese Bewegungsrichtung, so dass von hier ab der Luftstrom wieder zurückgebogen, entgegengesetzt der Bewegungsrichtung der Latte abgelenkt wird. An den äusseren Teilen der Abrundung entsteht demnach ein negativer Druck, der, da er vorn entsteht, den Widerstandsdruck, der von den inneren Teilen der Abrundung, bis i , herrührt, vermindert. Tatsächlich hat ja die in Figur 5 gezeichnete Abrundung in den dargestellten Verhältnissen ungefähr denselben Luftwiderstand, wie die in Figur 4 gezeichnete zugespitzte Latte, trotzdem C' grösser ist als die Geschwindigkeit C bei Figur 4.

Die Pfeile in Figur 5 deuten die Grösse und Richtung der entstehenden Drücke an (natürlich qualitativ, nicht quantitativ!).

Was uns nun aber hier interessiert, sind die Punkte i , die zwischen den positiven und negativen Drücken liegen. Es sind indifferente Druckpunkte, an ihnen herrscht kein Druck!

Diese Punkte lassen sich experimentell finden. Sie haben in manchen Köpfen den Irrtum veranlasst: als würde ein Körper, dessen Vorderkante nur unter der Winkelneigung der indifferenten Punkte gegen die Luft bewegt wird, ohne Luftwiderstand die Luft durchdringen. Man übersah dabei, dass die Luft an runden Körpern, an denen man solche indifferenten Punkte beobachtete, schon vorher auf ein Mass beschleunigt wurde, dass die indifferenten Punkte mit ihrer Winkelneigung diese Geschwindigkeit nicht mehr vergrössern können. Spasshafte Tragdeckkonstruktionen waren die Folge dieses Irrtums.

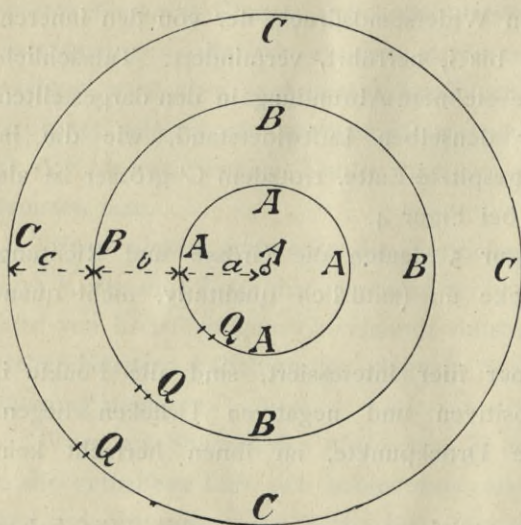
d) Die Wirkungssphäre bewegter Körper.

1. Sekundärer Wirkungsbereich.

Wenn ein Körper in der Luft oder durch die Luft hindurch bewegt wird, so setzt sich diese Störung des dynamischen Gleichgewichts der Luft sehr weit, bis an die Grenzen der Atmosphäre fort. Ein Beispiel ist der Schall. Wegen eines andern Beispiels, das auch zu schiefen Deutungen Anlass gegeben hat, müssen wir näher auf die Schallausbreitung eingehen.

Wird eine Membrane so bewegt, dass sie in Schallwellen schwingt, so teilt sich diese feine Bewegung der Luft mit, und

wird von ihr bis an die Grenzen der Atmosphäre geleitet. Die hörbare Abnahme der Intensität der Schallwellen mit der Entfernung von der Schallquelle (von der Membrane) rührt bekanntlich nicht daher, dass etwas von den Schallwellen verloren geht, sondern daher, dass die Schallwellen sich „sphärisch“ ausbreiten. Figur 6 ver-



Figur 6.

anschaulicht das. Von der Schallquelle A verbreiten sich die Schallwellen in Flächen, die die Oberflächen von Kugeln darstellen (sofern das Medium, in dem sich der Schall verbreitet, homogen ist, was wir hier voraussetzen wollen). In einem gewissen Moment treffen die gleichzeitig von A ausgehenden Wellen z. B. in der Kugelzone A ein, in einem späteren Moment in B, noch später in C und so weiter. Jede der in Figur 6 gezeichneten Zonen

A, B und C usw. stellt einen Schnitt durch eine Kugeloberfläche dar, deren Flächeninhalt mit dem Quadrat des Durchmessers wächst. Die Oberfläche der Kugelzone A verhält sich demnach zu der von B oder C, wie a^2 zu $(a + b)^2$ oder $(a + b + c)^2$, wenn a, b oder c die radialen Entfernungen der Zonen von einander und von der Schallquelle sind, wie in Figur 6 eingeschrieben ist. Da in jeder der sphärischen Zonen die Gesamtenergie des Schalles gleichmässig verteilt ist, so vermag ein Schallmessapparat, etwa ein Ohr Q, Figur 6, in der Zone A, B oder C nur Teile der Schallenergie resp. des gesamten Schalls der Quelle aufzunehmen, die sich wie a^2 zu $(a + b)^2$ oder $(a + b + c)^2$ zu einander verhalten, d. h., die Schallenergie nimmt mit der Entfernung von der Schallquelle für das Ohr ab. Aus der Figur 6 geht ja ohne weiteres das Gesetz hervor: Die Schallintensität nimmt mit dem Quadrat der Entfernung ab! In grossen Entfernungen kann deshalb die Schallenergie auch durch sehr feine Instrumente nicht mehr nachgewiesen werden. Trotzdem ist sie auch in den grössten Entfernungen von der Schallquelle noch fast zum vollen Betrage vorhanden, sie ist nur über eine entsprechend grosse Kugelzone verteilt. (Etwas von der Schallenergie kann übrigens auch unterwegs als solche verloren gehen, wenn sie sich zum Teil z. B. unter besonderen Umständen in andere Energieformen, Wärmeenergie, Elektrizität usw. umsetzt).

Wir konstatieren aus dem Schallbeispiel: Eine Energie kann bis zu unmerklichen Intensitäten abnehmen oder scheinbar ganz verschwinden, und doch noch zum vollen Betrage vorhanden sein.

Diese Tatsache wird bezüglich des Schalls öfter in Räumen sehr hübsch demonstriert, die elliptische oder parabolische Wände besitzen. Kreisförmige Wände tun zur Not auch. Die Ellipse hat nämlich die Eigentümlichkeit, alle Wellen, die von einem ihrer beiden Brennpunkte ausgehen, im andern wieder zu vereinigen; die Parabel vereinigt alle parallel in sie einfallenden Wellenstrahlen in ihrem Brennpunkt, und sendet alle von ihrem Brennpunkt ausgehenden Strahlen parallel aus. In manchen Kirchen

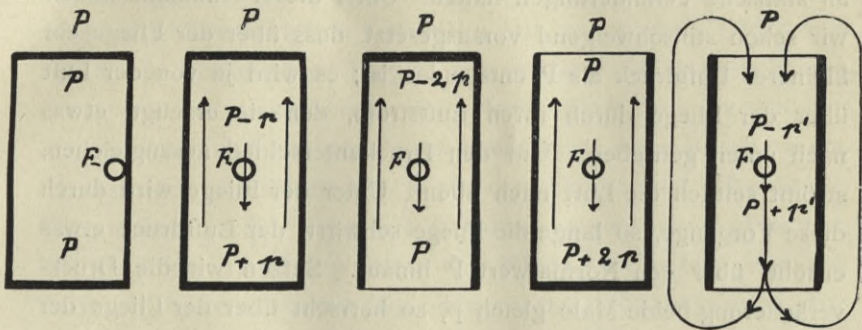
(Flüsterkirchen) sind diese Bauverhältnisse durch Zufall oder Absicht vorhanden; wenn man in solchen Gebäuden an bestimmten Stellen, die nahe dem Brennpunkt einer parabolischen oder elliptischen Wand liegen, leise spricht oder auch nur flüstert, so kann man das doch an anderen Stellen, die nahe dem Brennpunkt einer gegenüberliegenden parabolischen oder elliptischen Wand liegen, deutlich vernehmen, während man im übrigen Teil des Gebäudes nichts vernimmt. Noch überraschender wirkt die nachträgliche Vereinigung von Lichtstrahlen zu einer sekundären Lichtquelle. Wenn man z. B. in den Brennpunkt eines nicht zu kleinen parabolischen Spiegels eine elektrische Glühlampe bringt, und ihm, selbst in beträchtlicher Entfernung, einen ähnlichen parabolischen Spiegel gegenüberstellt, so erscheint in deren Brennpunkt die komplette Glühlampe. Wir sehen sie im Raume vor uns frei schweben, aber wir können sie doch nicht greifen, da sie ja nicht materiell besteht. Man kann durch und durch durch die Glühlampe fassen. Es fühlt sich „warm“ an. Der Eindruck der Erscheinung ist direkt spiritistisch vierdimensional. In der Urania in Berlin (Mohrenstrasse) kann man dies Experiment selbst anstellen. Sowa ist dem Flugtechniker nur zu raten, er frischt dadurch seine vergessenen physikalischen Kenntnisse wieder auf, die ihm viele Dinge der Natur leichter in sein mathematisches Verständnis einordnen liessen.

So weit mussten wir ausholen, um ein andres Beispiel von vornherein verständlicher zu machen, dem man jetzt öfter in der flugtechnischen Literatur begegnet, und an das gewöhnlich sehr tief sinnige Bemerkungen über die Wunderbarkeit der Luftwirkungen geknüpft werden.

Wenn eine Fliege oder ein anderer Flugler in einen Pappzylinder gesperrt wird, der oben und unten durch Böden verschlossen ist, und dieser Zylinder auf einer Wage ausbalanciert wird, so wiegt er samt Inhalt, also z. B. samt der Fliege gleich viel, ob nun die Fliege an der Wandung des Zylinders irgendwo ansitzt, oder im Innern des Zylinders herumschwirrt. Das Gleiche

ist selbst dann noch der Fall, wenn man den unteren oder den oberen Boden des Pappzylinders entfernt (und etwa durch ein Netzwerk ersetzt, damit die Fliege nicht heraus kann). Entfernt man aber beide Böden, den oberen und den unteren, so wird der Pappzylinder um das Gewicht der Fliege erleichtert.

Das bisher Behandelte über Luftwirkungen reicht zwar nicht vollständig zur Erklärung dieser Erscheinung aus, wir müssen etwas vorgreifen, und Luftwirkungen beachten, auf die wir



Figur 7, 8, 9, 10 und 11.

erst im Abschnitt „Die beste Tragdeckform“ und „Störende Strömungen“ näher zu sprechen kommen; die Vorgänge sind ja aber alle so einfach, dass sie ohne weiteres verständlich sind. Es ist nur notwendig, eine Fährte zur Erklärung der Erscheinung anzudeuten.

Wenn die Fliege F in Figur 7 an der Wandung des Pappzylinders sitzt, so beschwert sie eben mit ihrer Erdschwere den Pappzylinder und damit die Wage, ein Fall, der nach den landläufigen Begriffen keiner weiteren Erklärung bedarf. Ausserhalb des Zylinders herrsche der Luftdruck P , innerhalb des Zylinders befindet sich dann der gleiche Luftdruck P . (Das sei wenigstens angenommen, der Pappzylinder braucht ja nicht vollkommen luftdicht verschlossen sein.)

Nun verlasse die Fliege F die Wand, und schwebe im Innern des Zylinders, wie Figur 8 kenntlich macht. Die Fliege schwebt

dadurch in der Luft, dass sie fortgesetzt Luftmassen nach unten beschleunigt, in der Pfeilrichtung. Sie erzeugt also einen Luftstrom. Mit andern Worten, Luft strömt von oben nach unten, durch die Muskelkraft des kleinen Fluglers getrieben. Entsprechend wird an den Seiten des Zylinders die Luft wieder nach oben strömen. Notabene, mit kleinerer Geschwindigkeit, entsprechend dem breiteren Strome des Luftstroms. Die Strömungsgeschwindigkeiten wollen wir hier aber nicht beachten, wir wollen uns nur an statische Veränderungen halten. Unter dieser Annahme haben wir schon stillschweigend vorausgesetzt, dass über der Fliege ein kleinerer Luftdruck als P entstanden ist; es wird ja von der Luft über der Fliege durch ihren Luftstrom, den sie erzeugt, etwas nach unten getrieben. Um den Druckunterschied auszugleichen, strömt seitlich die Luft nach oben. Unter der Fliege wird durch diese Vorgänge, so lange die Fliege schwirrt, der Luftdruck etwas erhöht, über den Normalwert P hinaus. Setzen wir die Druckveränderung beide Male gleich p , so herrscht über der Fliege der Druck $P - p$, und unter ihr der Druck $P + p$. Aussen, ausserhalb des Zylinders, herrscht der Druck P nach wie vor. Auf die Flächeneinheit der beiden Böden des Zylinders drückt also ein Überdruck von $2 p$ einseitig nach unten, ein Überdruck, der insgesamt gleich dem Gewicht der Fliege ist. Dabei wird an unserm Bild von den Vorgängen nichts geändert, wenn die Druckminderung p über der Fliege numerisch einen andern Wert besitzt, als die Druckmehrung p unter der Fliege. Die numerischen Werte von den p sind ja von vielen Nebenumständen abhängig. Sie sind auch an verschiedenen Stellen des Zylinders verschieden, je nach den dynamischen Zuständen der Luft. Denn Druck und Strömungsgeschwindigkeit sind Werte, die in Wechselbeziehung mit einander stehen. Die Entstehung des praktischen Effekts dieser Vorgänge kann auch so aufgefasst werden: als dränge die Fliege den gesamten Luftinhalt des Zylinders mit einer Kraft nach unten, die gleich ist der Kraft, mit der die Luft auf die Fliege zurückdrückt, und sie trägt, also gleich ihrem Gewicht. Und die beiden

Böden des Zylinders sind die Teile, auf die dieser Luftschub zunächst mit einem gewissen Druck, den wir p nannten, einwirkt. Mit der Figur 6 haben wir uns ja vergegenwärtigt, dass Einwirkungen auf die Luft, so geringfügig sie auch sein mögen, sich unendlich weit im Luftraume verbreiten, so dass diese Einwirkungen überall zu spüren sind.

Man könnte die Grössen p des Überdruckes synthetisch zu berechnen versuchen; Wege dazu werden wir im nächsten Abschnitt kennen lernen. Hier wollen wir zur Illustration der Vorgänge nur überschläglich feststellen, wie gross der Überdruck p bei einem bestimmten Beispiel sein müsste: Wiegt die Fliege $20 \text{ mg} = 0,000020 \text{ kg}$ (das Gewicht einer Stubenfliege von mittlerer Konstitution), und hat der Pappzylinder resp. seine Böden 10 cm Durchmesser, die Böden also je 785 qcm Fläche, und schwebt die Fliege genau in der Mitte des Zylinders, so dass das p über der Fliege gleich ist dem p unter der Fliege, so besteht also die Beziehung $0,000020 = p \cdot 2 \cdot 785$, oder $p = 0,00000013 \text{ kg/qcm}$, entsprechend einem Überdruck von $0,00000013 \text{ Atm.}$ auf jedem der Böden, ein Wert, den man mit den allerfeinsten Wagen eben noch feststellen könnte.

In Figur 9 ist der untere Boden des Zylinders entfernt. Unmittelbar über und unter der Fliege werden wieder genau die selben Luftdruckverhältnisse entstehen, wie im Fall der Figur 8. Über der Fliege entsteht eine Luftverdünnung, unter ihr eine Verdichtung, von derselben numerischen Grösse wie dort. Im übrigen Raum des Zylinders werden die Druckverhältnisse aber andre. In der unteren Hälfte wird sich kein mittlerer Druck $P + p$ einstellen können, da der untere Boden fehlt. Hier wird nur der äussere Druck P herrschen. Wird nun zunächst in der oberen Hälfte des Zylinders die Luft nur auf einen Betrag $P - p$ verdünnt, wie im Falle Figur 8, so würde von der unteren Hälfte nicht genügend Luft zuströmen können, um die Luftverdrängung nach unten durch die Arbeit der Fliege auszugleichen. Denn hierzu ist, wie im Falle der Figur 8, ein mittlerer Druckunter-

schied zwischen der oberen und unteren Hälfte von $2p$ notwendig. Die Luftströmung an den Wänden entlang ist bei so niedrigen Überdrücken proportional den Druckunterschieden zu setzen. Infolgedessen wird der Druck oben so lange kleiner und kleiner werden, bis die Verhältnisse der Figur 8 wieder erreicht sind, bis also der Druckunterschied auch $2p$ erreicht. Dann herrscht in der oberen Hälfte des Zylinders ein mittlerer Druck von $P - 2p$, wie in Figur 9 angegeben ist, und auf den oberen Boden lastet jetzt der doppelte Überdruck, entsprechend $2p$, mit der Druckrichtung nach unten, der nun gleich dem Gewicht der Fliege ist.

Wird an Stelle des unteren Bodens der obere Boden entfernt, wie Figur 10 annimmt, so werden diese Verhältnisse umgekehrt. Die Figur lässt die Druckverhältnisse erkennen.

Sind die Böden in Falle der Figur 8, 9 und 10 nicht ganz luftdicht, so kann der Gewichtsausgleich durch die Arbeit der Fliege auf die Luft kein ganz vollkommener sein, es wird sich ein den Undichtigkeiten entsprechendes Manko einstellen. Werden die Böden vollkommen entfernt, wie Figur 11 wiedergibt, so stellt sich zwar wieder unmittelbar über und unter der Fliege eine Verdünnung resp. Verdichtung ein, die in Figur 11 mit p' bezeichnet ist, der Druckausgleich kann aber sowohl innerhalb, als ausserhalb des Zylinders vor sich gehen, durch den ganzen, mit Atmosphären erfüllten Raum, und nirgends stösst die Ausgleichsströmung auf mit dem Zylinder verbundene Flächen, auf die sie statisch oder dynamisch einen Druck ausüben könnte, abgesehen von den seitlichen Zylinderwänden, auf die die Strömung durch Reibung geringfügig einwirkt. In der Situation der Figur 11 ist also der Zylinder von dem Gewicht der Fliege entlastet.

Diese Vorgänge sind bemerkenswert genug, um ein Eingehen darauf zu rechtfertigen. Es erscheint auf den ersten Blick überraschend, dass z. B. ein Wright-Flieger die Erde gleichmässig belastet, ob er nun fliegt, oder an der Erde ruht, sobald man die Erde als Ganzes betrachtet. Könnte man einen Wright-Flieger

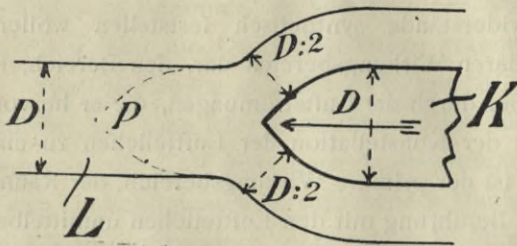
in eine grosse Schachtel einsperren, und diese an eine Wage hängen, so würde diese Schachtel immer gleichviel wiegen, ob nun der Flugler in der Schachtel herumfliegt, oder sich auf dem Schachtelboden niederlässt.

Denkt man aber an die ganz ähnlichen Verhältnisse bei einem Aquarium oder Terrarium, so wird man es schon plausibler finden, dass das Gefäss gleichviel wiegt, ob seine Bewohner nun auf dem Tuffstein-Felsen herum turnen, oder sich im Wasser ergehen.

2. Primärer Wirkungsbereich.

Neben dieser Wirkungssphäre bewegter Körper, die bis in die Unendlichkeit reicht, müssen wir noch eine andre unterscheiden, wenn wir den Luftwiderstand für die Ermittlung der Tragdeckwirkungen und Stirnwiderstände synthetisch feststellen wollen. Jener stellt den sekundären Wirkungsbereich dar, den Bereich, in dem der bewegte Körper durch die Luftströmungen, die er hervorrief, Veränderungen in der Konstellation der Luftteilchen zu einander bewirkte; dieser ist der primäre Wirkungsbereich, der Raum, den der Körper durch Berührung mit den Luftteilchen unmittelbar bearbeitet. Beide Wirkungsbereiche werden oft durcheinandergeworfen, wodurch eine ziemliche Unklarheit entstanden ist. Mit dem sekundären Wirkungsbereich, der Wirkungssphäre, die wir soeben betrachtet haben, kann man mathematisch gar nichts anfangen. Er spielt auch für die Berechnung des Luftwiderstandes resp. für die Berechnung von Tragdeckwirkungen usw. gar keine Rolle, denn die Luftteilchen, die nicht mehr in unmittelbarer Berührung mit dem sich bewegenden Körper sind, können dessen dynamische Verhältnisse nicht mehr beeinflussen. Ebenso wenig, wie der Lauf oder der Kraftbedarf eines Schiffes von dem Wasser beeinflusst wird, das vom Schiffskörper abgeglitten ist, und nun als Welle durch das Weltenmeer eilt, und hier und dort noch die mannigfachsten Kraftwirkungen äussert. (Streng genommen, bewegt sich ja das Wasser nicht mit der Welle weiter, sondern nur die Wellenenergie; trotzdem sei das anschauliche Bild gestattet.)

Bewegt sich der Körper K von der Stärke D in Figur 12 in der Pfeilrichtung, so durchteilt er in der Zeiteinheit einen Raum, der gleich ist dem Querschnitt des Körpers senkrecht zur Bewegungsrichtung, nennen wir in F in qm , multipliziert mit dem Sekundenweg V in m , also FV cbm . Dieser ist gleich der Luftmenge, mit der seine Vorderseite und seine Rückseite in unmittelbare Berührung kommt, oder sein primärer Wirkungsbereich. Dabei kann der Körper eine ganz beliebige Gestalt besitzen. Der Körper K gleitet also durch den Luftraum L vor sich, sein Profil P teilt die Luft, und drängt sie an die Seite. (Sein rückwärtiges Profil drängt eine ebenso grosse Luftmenge hinter sich, denn würde die Luft nicht nachfolgen, so würde ein vollkommenes Vakuum entstehen,



Figur 12

resp. es entsteht ein so grosses Vakuum (und dessen Schaffung bringt den rückwärtigen Luftwiderstand hervor) als notwendig ist, um die Luft hinter sich zu zwingen. Doch da-

von soll hier nicht die Rede sein, um die Betrachtung nicht zu komplizieren, im nächsten Abschnitt kommen wir zu Figur 21 nochmal darauf zurück.)

In Figur 12 sind die Vorgänge so dargestellt, als lege sich nun die Luft gleichmässig als zwei Lufthüllen von der Stärke $1/2 D$ seitlich an den Körper an. Das tut die Luft nun wirklich, wie wir gleich sehen werden, aber das ist ganz ohne Einfluss auf den Luftwiderstand, den der Körper beim Vordringen fand. Die Luft an der Seite ist mit seinem Vorderprofil schon in unmittelbarer Berührung gewesen und gehört nun dem sekundären Wirkungsbereich an. Sie mag dort draussen herumströmen, wie sie will, das ist ganz ohne Belang für den Luftwiderstand, den sie schon früher bereitet hat! Wir wollen das besonders betonen, weil



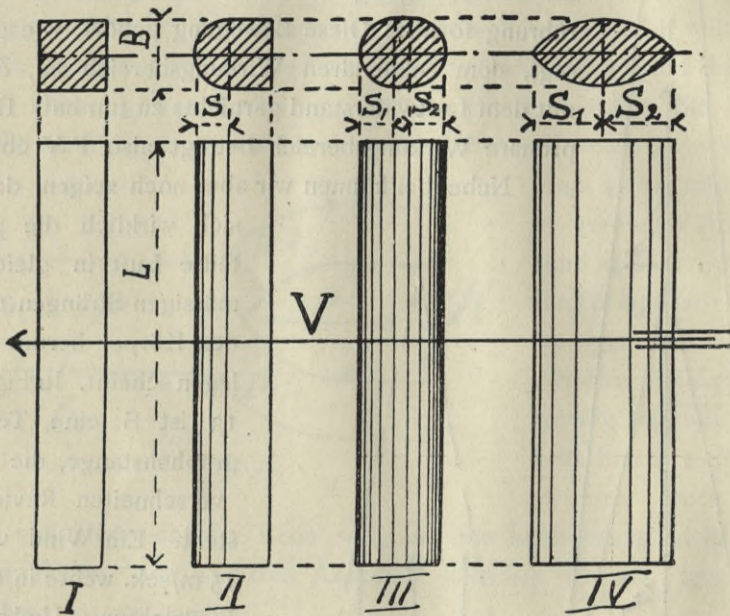
Figur 13 und 14.

sich viele Theoretiker daran anklammern, dass der Körper doch nicht in die Ferne wirken könne, und nun ausgerechnet zwei Luftstränge von der Stärke $1/2 D$ um sich herum bugsirt. Mit solchen Ansichten kommt man nicht weiter. Wir sehen ja bei unserer Disposition der Betrachtungsweise auch, dass es herzlich gleichgiltig ist, wie sich die Luftbewegung nach der unmittelbaren Berührung formt. Diese Bewegung gehört, wie gesagt, dem sekundären Wirkungsbereich an, der mit dem Luftwiderstand garnichts zu tun hat. Der primäre Wirkungsbereich beträgt also $F V \text{ cbm.}$

Nebenbei können wir aber noch zeigen, dass

sich wirklich die geteilte Luft in gleichmässigen Strängen um den Körper herum zu legen scheint. In Figur 13 ist *S* eine Telegraphenstange, die im verschneiten Revier steht. Ein Wind von 15 m/sek. wehte in der Pfeilrichtung. Und nun war vom Wind der Schnee ringsherum um die Stange zu einem Ringe herausgeweht, der eine Breite von $1/2 D$ besass, wenn *D* der Durchmesser der Stange ist. Hinter dem Ringe befand sich noch eine mählich verlaufen-

de Furche F im Schnee, die von einer Umhörung W aus Schnee umwallt war. (Mitgeteilt im „Flugsport“ Nr. 5 von 1910.) Dieses der Natur entnommene Bild passt sehr gut zu der Annahme: der Luftstrom, der der Stange Platz machen muss, ummantelt die Stange in gleichmässigen Luftsträngen, und vereinigt sich nacher wieder zum gemeinsamen Strom, wie Figur 14 andeutet. Hierbei werden aber noch Ausgleichsströmungen eine Rolle spielen, von denen im



Figur 15, 16, 17 und 18.

Absatz „Einfluss der Rückströmung“ noch gesprochen wird. Zu diesem Absatz kann Figur 14 eine Illustration sein, namentlich, was die Entstehung der Furche anbelangt.

e) Stirnwiderstände.

In Figur 15 bis 18 sind vier Stäbe gezeichnet, die aufrecht stehend in der Pfeilrichtung mit der Geschwindigkeit V m/sek. gegen die Luft bewegt werden mögen. Die Stäbe bewegen sich alle mit der gleichen grössten Breite B gegen die Luft, sie be-

sitzen ferner die gleiche Länge L , beeinflussen die Luft also alle mit der gleichen Längsschnittfläche $B \cdot L = F$. Ferner besitzen die Stäbe ungefähr alle den gleichen Querschnitt, könnten also, auf Zug beansprucht, gleichmässig belastet werden. Wir wollen nun die allgemeinen Formeln aufstellen, nach denen man den Widerstand ermitteln kann, den die Luft der Bewegung dieser Stäbe entgegensetzt, und die Widerstände mit einander vergleichen.

I) Rechteckiger Stab, senkrecht zu einer Seitenfläche bewegt. Der Widerstand ist ohne weiteres aus Gleichung 1)

$$2) \quad P_1 = 0,13 F V^2 \text{ kg.}$$

II) Vorwärts zur Bewegungsrichtung abgerundeter oder zugespitzter Stab: Es ist gleichgiltig, ob die Vorderkante gerundet oder elliptisch oder dachförmig ist, massgebend ist nur die Länge oder Höhe S der Abrundung resp. Zuspitzung. Nach den Ausführungen im Abschnitt „Die beste Tragdeckform“ im Absatz „Erste Annahme“ wird in diesem Falle der Widerstand der Vorderkante $= 0,065 F V^2 \cdot \frac{B^2}{B^2 + 4S^2}$; da der Widerstand der Hinterkante gleich gross, wie im Falle I geblieben ist, so wird der gesamte Widerstand

$$3) \quad P = 0,065 F V^2 \cdot \left(1 + \frac{B^2}{B^2 + 4S^2}\right) \text{ kg.}$$

Wie wir im Abschnitt: „Die beste Tragdeckform“ erkennen werden, gilt aber Gleichung 3 nur, solange S nicht zu gross wird. Wird $S = B$ und grösser, so beginnt der Luftwiderstand relativ auf den vierfachen Wert zu wachsen; resp., er nimmt mit einer steileren Zuspitzung zunächst nicht weiter ab.

Besteht die Abrundung in einer halbkreisförmigen Spitze, so dass $S = B/2$ wird, wie in der Figur, so wird aus (3) der Gesamtwiderstand:

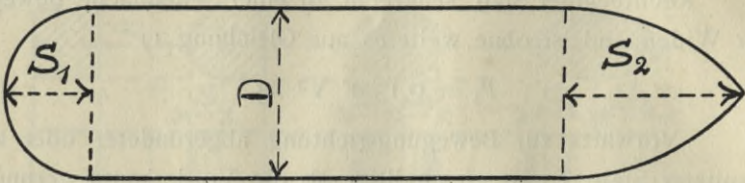
4) $P_{II} = 0,0975 F V_2 \text{ kg.}$ Der Luftwiderstand ist also durch die geringfügige Abrundung um ca. 25 % kleiner geworden.

III) Vorwärts und rückwärts zur Bewegungsrichtung abgerundeter Stab. Die Abrundungen können auch durch entsprechende Abdachungen ersetzt werden. Beträgt die Höhe

der vorderen Abrundung S_1 , die der hinteren S_2 , wobei aber $S_1 < B > S_2$ sein muss, so ergibt sich in derselben Weise, wie im letzten Fall zu II der Gesamtwiderstand:

$$5) \quad P = 0,065 F V^2 \cdot \left(\frac{B^2}{B^2 + 4S_1^2} + \frac{B^2}{B^2 + 4S_2^2} \right) \text{ kg}$$

Erhält hierin, wie die Figur zu III die vordere wie die hintere Abrundung halbkreisförmigen Querschnitt, wird also



Figur 19.

$S_1 = S_2 = B/2$, so wird der Gesamtwiderstand, der auch für runde Stäbe gilt

$$6) \quad P_{III} = 0,065 F V^2 \text{ kg.}$$

IV Stäbe mit elliptischem Querschnitt. Der Widerstand solcher Stäbe kann ohne weiteres nach Gleichung 5 bestimmt werden, denn auf die Querschnittsform kommt wenig an, massgebend für den Widerstand ist nur die Höhe der Spitzen S . Beträgt die Spitzenhöhe, wie in der Figur zu IV, $S_1 = S_2 = B$, was wohl die höchste noch zulässige Zuspitzung bedeuten würde, so wird der Gesamtwiderstand aus (5)

$$7) \quad P_{IV} = 0,065 F V^2 \frac{2}{5} = 0,026 F V^2 \text{ kg.}$$

Wir sehen also, dass alle Stirnflächen an Luftfahrzeugen, namentlich aber an Flugmaschinen, abgerundet werden müssen, wenn es angeht. Den Streben z. B. soll man eine Form mit annähernd elliptischem Querschnitt geben. Die grösste Bedeutung erlangt aber der Stirnwiderstand bei den Luftschiffen, die ihren Gasballon durch die Luft treiben müssen.

Zur Bestimmung des Stirnwiderstandes von Gasballons kann man auch ohne weiteres Gleichung 5 benutzen, in der dann S_1 bzw. S_2 die Länge der vorderen oder hinteren Spitze des

Gasballons, und F den grössten Querschnitt des Gasballons bedeutet. Führt man an Stelle des grössten Querschnitts den grössten Durchmesser D des Gasballons in die Gleichung ein, so erhält sie die für Ballonberechnungen bequemere Form:

$$8) \quad P = 0,0516 V^2 D^4 \left(\frac{1}{D^2 + 4S_1^2} + \frac{1}{D^2 + 4S_2^2} \right) \text{ kg,}$$

da hier $D = B$ ist. In (8) soll wieder $S_1 < D > S_2$ sein.

Das Anwendungsgebiet dieser Gleichung und ihre Leistungsfähigkeit ist ziemlich eng begrenzt. Näheres darüber findet man im „Hilfsbuch für den Luftschiff- und Flugmaschinenbau“, das im gleichen Verlage erschienen ist.

Die beste Tragdeckform.

Wenn sich das Tragdeck T des in Figur 20 skizzierten Eindeckers samt dem Motordrachen mit der Geschwindigkeit von V m/sek. vorwärts bewegt, so wird es die Luftmasse vor sich durch seine Form in Bewegung bringen. Hierdurch muss durch das Tragdeck einerseits eine Arbeit geleistet werden, die einen Teil der Flugarbeit darstellt, andererseits wird aber auch ein Druck auf das Tragdeck von der Luft ausgeübt, durch den die Flugmaschine getragen werden soll. Dem Tragdeck ist nun eine solche Lage und Form zu geben, dass dieser Druck in vertikal nach aufwärts gehender Richtung bei einer möglichst kleinen Flugarbeit den möglichst grossen Betrag erreicht. Im Abschnitt „Die Wirkung der Luft auf bewegte Flächen“ haben wir gesehen, dass die Luftteilchen von steil gestellten bewegten Flächen, also auch von den Tragdecks der Drachenfieger nicht zurückprallen, wie etwa Gummibällchen von einer Wand, sondern dass sie sich von den Flächen bei Seite schieben lassen, etwa, um ein anschauliches Bild zu gebrauchen, wie Schnee von einem Schneeflug bei Seite geschoben wird; die Verhältnisse liegen nur insofern anders, als der verdrängten

Luft sofort andere Luft folgt, so dass die Tragflächen stets mit Luft in Berührung bleiben, sie müssten denn mit sehr grosser Geschwindigkeit, mit der Geschwindigkeit einer Peitschenklappe z. B. vorwärts bewegt werden, (hinter der sich beim Schwingen der Peitsche ein Vakuum bildet, in das dann die Luft mit einem Knall eindringt). Solche Geschwindigkeiten kommen für unsere Betrachtungen nicht in Frage. Bei relativ flach gestellten Tragflächen sind Vorgänge aber doch andere, als bei steil gestellten. Die Luftstromlinien in Figur 20 veranschaulichen ungefähr die Bewegung, die ein gut geformtes Tragdeck in die Luft bringt.

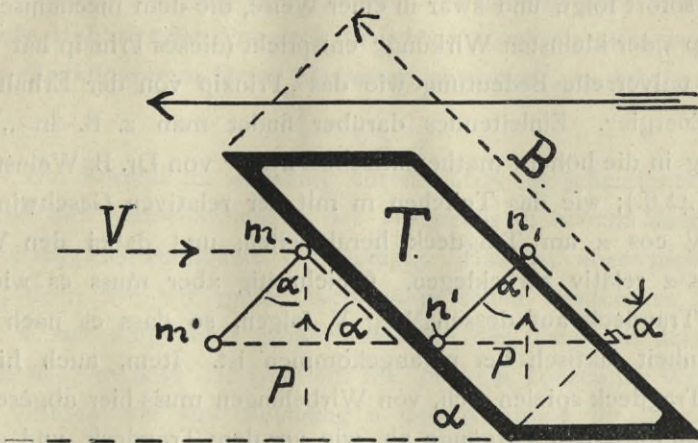


Figur 20.

Wir wollen nun zunächst auf eine möglichst elementare Weise auf theoretischem Wege unter verschiedenen Annahmen für die Luftbewegung festzustellen suchen, welche Wirkungen aus dieser Luftbewegung auf das Tragdeck bezüglich der Hubkraft und der Flugarbeit bei verschiedenen Tragdeckanordnungen resultieren, und hiernach die beste Tragdeckanordnung zu bestimmen suchen. Dann wollen wir untersuchen, ob sekundäre Luftströmungen nicht doch noch eine andere Tragdeckform fordern könnten. Wir werden das verneinen müssen.

Erste Annahme. Die Luft wird vom Tragdeck nur beiseite geschoben, wie bei steilen Stirnflächen. Das ebene Tragdeck T in Figur 21 sei mit dem relativ grossen Winkel α gegen die Horizontale geneigt, und bewege sich mit der Geschwindigkeit V m/sek. in der horizontalen Pfeilrichtung. Das ruhend gedachte Luft-

teilchen m trifft demnach mit der relativen Geschwindigkeit von V m/sek. an der Unterseite des Tragdecks ein. Es wird nun vom Tragdeck beiseite geschoben. Die Richtung und Geschwindigkeit dieser Schiebung setzt sich aus zwei Komponenten zusammen: Mit der relativen Geschwindigkeit $V \cos \alpha$ wird m dem Tragdeck auszuweichen suchen; es liegt hierdurch in der Zeiteinheit der Weg $V \cos \alpha$ zurück, in der das Tragdeck selbst den Weg V vollendet. Das Teilchen m wird um dieses Wegstück vom Trag-



Figur 21.

deck in der Flugrichtung mitgenommen. Das Teilchen m ist nach dieser Zeit also faktisch beim m' angekommen, hat also inzwischen den absoluten Weg $m m' = V \sin \alpha$ durchlaufen, der auf der Ebene des Tragdecks senkrecht steht. Die absolute Geschwindigkeit C des Teilchens ist gleich dem durchlaufenen Weg, dividiert durch die Zeit, es ist also $C = V \sin \alpha$ m/sek.

Nun ergreift die Vorderseite des Tragdecks in jeder Sekunde die Luftmasse $M' = \frac{\gamma}{g} B V \sin \alpha = 0,13 B V \sin \alpha$, wenn wir B die Breite des Tragdecks, wie in der Figur gekennzeichnet, nennen, und annehmen, seine Länge sei $= 1$, so dass wir die Tragdeckfläche der Unterseite gleich B setzen können. Die Vorderseite erteilt also in jeder Sekunde der Luftmasse M' die Geschwindig-

keit C m/sek. Im Absatz „Primärer Wirkungsbereich“ des vorigen Abschnitts haben wir uns die Berechtigung dieser Annahme schon klar gemacht.

Das Luftteilchen n hinter der hinteren, oberen Seite des Tragdecks befindet sich bei Beginn der Bewegungsperiode, die wir grade betrachten, also bei Beginn der Zeiteinheit in der gezeichneten Stellung. Dann wird es, da die Luft bei allen praktisch in Frage kommenden Geschwindigkeiten der Bewegung des Tragdecks sofort folgt, und zwar in einer Weise, die dem mechanischen Prinzip „der kleinsten Wirkung“ entspricht (dieses Prinzip hat dieselbe universelle Bedeutung wie das „Prinzip von der Erhaltung der Energie“. Einleitendes darüber findet man z. B. in „Einleitung in die höhere mathematische Physik“ von Dr. B. Weinstein, Seite 42 ff.); wie das Teilchen m mit der relativen Geschwindigkeit $V \cos \alpha$ am Tragdeck herabgleiten, und dabei den Weg $V \cos \alpha$ relativ zurücklegen. Gleichzeitig aber muss es wieder dem Tragdeck auf dessen Weg V folgen, so dass es nach der Zeiteinheit faktisch bei n' angekommen ist. Item, auch hinter dem Tragdeck spielen sich, von Wirbelungen muss hier abgesehen werden, dieselben Vorgänge ab, wie vor dem Tragdeck, und auch die Rückseite des Tragdecks wird einer Luftmasse $M'' = M'$ eine absolute Bewegungsgeschwindigkeit von C m/sek. erteilen.

Das ebene Tragdeck erteilt also theoretisch einer Luftmasse $M' + M'' = M$ in der Sekunde die Geschwindigkeit C m/sek.; vom Motor des Drachenfliegers ist hierzu die reine Flugarbeit E kgm/sek. aufzuwenden, die deshalb wird

$$a) \quad E = \frac{M C^2}{2} = \frac{0,26}{2} B V^3 \sin^3 a \text{ kgm/sek.}$$

Die Luft leistet gegen die Inbewegungsetzung des Tragdecks einen Widerstand, der entgegengesetzt der Bewegungsrichtung den Betrag $W = E/V$ kg erreicht, denn die reine Flugarbeit ist ja $E = WV$ kgm/sek. Die vertikale Komponente P dieses Widerstandes, die $P = W : \operatorname{tg} a$ kg beträgt, wird als Hubkraft des Tragdecks wirksam. Wie wir im Abschnitt „Die Wirkung der Luft

auf bewegte Flächen“ zur Gleichung 1 gesehen haben, ist der Druck resp. hier die Hubkraft unter den angenommenen Bewegungsumständen gleich dem halben Bewegungsmoment der Luft, ein Wert, den wir hier noch mit $\cos a$ multiplizieren müssen, da die Richtung des Bewegungsmoments MC den Winkel a mit der Vertikalen bildet. Es ergibt sich demnach

$$b) \quad P = \frac{E}{V \operatorname{tg} a} = \frac{W}{\operatorname{tg} a} = \frac{MC \cos a}{2} = \frac{0,26}{2} B V^2 \sin^2 a \cos a \text{ kg.}$$

Stellen wir nun den Quotienten P/E fest, der ausdrückt, welche Hubkraft das Tragdeck für jedes theoretisch aufzuwendende Sekundenkilogramm-Meter Flugarbeit entwickelt, so erhalten wir:

$$c) \quad \frac{P}{E} = \frac{1}{V \operatorname{tg} a}$$

Die Formel (c) ist wenig durchsichtig; es scheint nach ihr, als sei die Wirtschaftlichkeit des Tragdecks in hohem Masse von der Fluggeschwindigkeit V abhängig. Das ist aber nicht der Fall, denn wie wir später noch näher sehen werden, es ändert sich V fast umgekehrt proportional mit der Tangente des Flugwinkels a , so dass der Quotient P/E fast ein konstanter Wert ist.

Bilden wir aus Gleichung a den Ausdruck für $W = E/V$, so geht daraus ohne weiteres die Gleichung 5 des Absatzes „Stirnwiderstand“ des vorigen Abschnitts hervor, wenn $S_1 = S_2$ gesetzt wird. Denn es ist nach a

$$W = 0,13 B V^2 \sin^3 a \text{ kg;}$$

setzt man hierin für $B \sin a$ den entsprechenden Wert F in Gleichung 5, so folgt

$$W = 0,13 F V^2 \sin^2 a \text{ kg.}$$

Nun ist

$$\sin a = \frac{B/2}{\sqrt{(B/2)^2 + S^2}},$$

also

$$\sin^2 a = \frac{B^2}{B^2 + 4S^2}$$

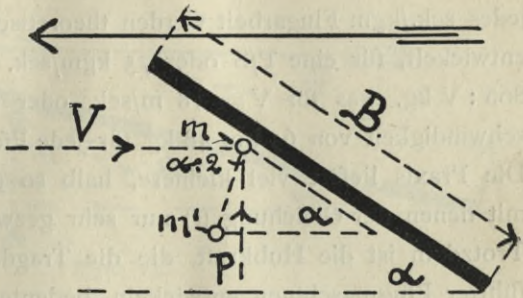
wobei B den zu den Figuren 15 bis 18 festgesetzten Wert besitzt. Hieraus kommt dann die Gleichung 5

$$W \text{ resp. } P = 0,13 F V^2 \left(\frac{B^2}{B^2 + 4S^2} \right) \text{ kg.}$$

Die Flugschiffpraxis lehrt nun, dass das Verhältnis P/E unter Berücksichtigung der unvermeidbaren Verluste zwar dem eben gefundenen Werte nach zutrifft, dass aber sowohl P als auch E bei kleinem Neigungswinkel α in Wirklichkeit bedeutend grösser sind, als der Gleichung (a) und (b) entsprechen würde. Das liegt nun nicht etwa daran, dass wir die Wirkungen an einem ebenen Tragdeck ermittelt haben; der Querschnitt des Tragdecks kann gekrümmt sein, wie immer er will; berechnen wir seine Wirkung bezüglich der Flugarbeit und der Hubkraft, so stossen wir stets auf eine Gleichung $E = M t \int V^2 \cos a \cdot \sin a \cdot da$ und $P = M t \int V \cdot \cos^2 a \cdot da$, Integrale, die vollkommen den Werten der Gleichungen (a) und (b) analog sind, vorausgesetzt, dass wir für die Bewegungen der Luftteilchen dieselben Annahmen machten, die zu diesen Gleichungen führten. Die eigentliche Kurvengleichung der Tragdecke, die Gleichung ihrer „Erzeugenden“, fällt aus den Rechnungen vollkommen heraus. Wir müssen daraus schliessen, dass sich die Luftteilchen an Tragdecken, die unter relativ kleinem Winkel a gegen die Luft bewegt werden, anders bewegen, als an steil gestellten Flächen. Wir wollen nun noch einige plausible Annahmen in dieser Richtung machen und eine wird uns zum Ziele führen. Wir legen den Rechnungen wieder ebene Tragdecken unter, denn, wie gesagt, rechnerisch ergibt ein ebenes Tragdeck genau dasselbe Resultat, wie ein gekrümmtes, an einem gekrümmten Tragdeck lässt sich die beabsichtigte Luftbeeinflussung praktisch nur besser durchführen. Doch darauf kommen wir noch zurück.

Zweite Annahme. Denken wir uns zunächst das Tragdeck in Figur 22 feststehend und die Luft mit der Geschwindigkeit von V m/sek. gegen die vordere Öffnung $B \sin a$ bewegt, so wird sie am Tragdeck wie an einer Rohrwandung fortgeleitet werden und in der Richtung des Tragdecks parallel zur Wand ebenfalls die Geschwindigkeit V m/sek. besitzen. Nimmt man nun an, die gleichen Bewegungsverhältnisse haben auch statt, wenn die Luft unbewegt bleibt, das Tragdeck aber mit der Geschwindigkeit

V m/sek. fortschreitet, so ergeben sich folgende Kraftwirkungen: (die Annahme rührt von A. Baumann her, näheres über eine in dieser Weise vollständig durchgeführte Flugmaschinenberechnung findet man in seiner Arbeit. „Die Berechnung von Gleitfliegern“ in der Z. d. V. d. I. Heft 8 und 9 von 1909). Das Luftteilchen m gleitet an der Wand des Tragdecks mit der relativen Geschwindigkeit von V m/sek. entlang und wird gleichzeitig vom Tragdeck in der Bewegungsrichtung der Flugmaschine mit der Geschwindigkeit von V m/sek. mitgenommen, so dass es sich nach einer entsprechenden Zeit in m' befindet. Es hat dann einen absoluten Weg zurückgelegt, der den Winkel $\alpha/2$ mit der Vertikalen einschliesst (das Tragdeck bewege sich in der Horizontalen).



Figur 22.

Die absolute Geschwindigkeit des Luftteilchen beträgt in diesem Falle $2 V \sin (\alpha : 2) = 2 V \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}} = C$ m/sek. Da in jeder Sekunde der Luftmasse $0,26 B V = M$ diese Geschwindigkeit von C m/sek. erteilt wird (wir berücksichtigen damit wieder die Vorgänge auf der Rückseite des Tragdecks, die qualitativ und quantitativ gleichartig sind, ähnlich, wie zu Figur 21 beschrieben wurde), so beträgt die reine Flugarbeit für ein Tragdeck von der Länge l :

$$d) E = \frac{M C^2}{2} = \frac{M}{2} 2 V^2 (1 - \cos \alpha) = 0,26 B V^3 \sin \alpha (1 - \cos \alpha) \text{ kgm/sek.}$$

und die Hubkraft

$$e) P = M C \cos (\alpha : 2) = M 2 V \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}} \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}} \\ = 0,26 B V^2 \sin^2 \alpha \text{ kg,}$$

wobei angenommen ist, das zur Erzeugung der Hubkraft wirklich

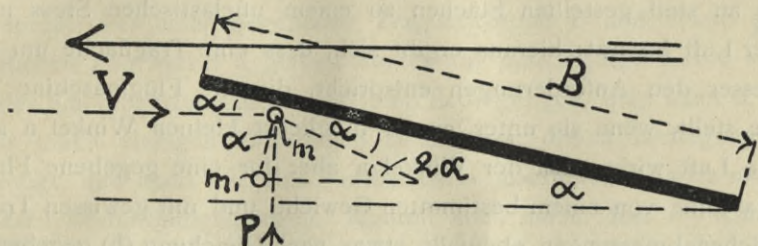
das ganze Bewegungsmoment $M C \cos(a : 2)$ wirksam wird, faktisch ist ja auch $\frac{E}{V \operatorname{tg}(\alpha : 2)}$ hier gleich dem Werte von (e), während wir bei der ersten Annahme, beim steilen Tragdeck im Sinne der ganzen Anschauungsweise nur das halbe Bewegungsmoment in Rechnung setzen durften. Der Quotient wird

$$f) \quad \frac{P}{E} = \frac{1}{V} \cdot \frac{\sin a}{1 - \cos a}$$

Das Verhältnis P/E ist nach dieser Annahme sehr gross; für $a = 10^0$ wird es zum Beispiel gleich $11,5 : V$, das heisst, für jedes sek./kgm Flugarbeit werden theoretisch $11,5 : V$ kg Hubkraft entwickelt, für eine P/S oder 75 kgm/sek. also nicht weniger als $865 : V$ kg, was für $V = 18$ m/sek. oder bei einer Stunden-Geschwindigkeit von 65 km 48 kg für jede Pferdekraft geben würde. Die Praxis liefert viel kleinere, halb so grosse Werte, die sich mit denen der Gleichung (f) nur sehr gezwungen vereinen lassen. Trotzdem ist die Hubkraft, die die Tragdecken praktisch ausgeführter Flugmaschinen entwickeln, bedeutend grösser, ca. doppelt so gross als der Gleichung (e) entsprechen würde. Die zweite Annahme trifft also auch nicht die wirklichen Kraftverhältnisse der Praxis. Schreibt man die Gleichung (d) aber so, dass E als Funktion von P ausgedrückt wird, und setzt man anstatt P das Gewicht G der gesamten Flugmaschine in die Gleichung ein, da ja natürlich $P = G$ sein muss, schreibt man also $E = G V \operatorname{tg}(a : 2)$, so kann ein Zutreffen der Gleichungen dadurch vorgetäuscht werden, da der Fehler, der in der Anschauungsweise steckt, dann praktisch herausfällt.

Dritte Annahme. Die erreichbaren Kraftwirkungen entsprechen sofort den Ergebnissen der Praxis, wenn wir annehmen, dass bei relativ kleinen Neigungen der Tragdeckflächen gegen die Bewegungsrichtung, also bei kleinen Winkeln a elastische Kräfte zwischen der beeinflussten Luft und der Tragdeckfläche wachgerufen werden, dass also der Stoss zu einem elastischen wird. Auf die Bewegungsverhältnisse der Luft können wir dann unmittelbar die Gesetze der Optik bezüglich der Reflektion anwenden.

Figur 23 stelle ein Tragdeck von der Breite B und der Länge l dar, das mit dem kleinen Winkel a gegen die Horizontale geneigt ist, und mit der Fluggeschwindigkeit von V m/sek. in der Pfeilrichtung bewegt wird. Das mit dem Winkel a und der relativen Geschwindigkeit V gegen die Tragfläche einkommende Luftteilchen m wird dann von der Tragfläche reflektiert, und mit eben der Geschwindigkeit V unter dem Ausfallwinkel a relativ zurückgeworfen (Einfallswinkel gleich dem Ausfallwinkel). Im Moment der Berührung mit der Tragfläche hat es aber auch die Geschwindig-



Figur 23.

keit V in der Bewegungsrichtung des Tragdecks erhalten. (Das Dopplersche Prinzip der Optik, nach dem man die Bewegungsgeschwindigkeit und Bewegungsrichtung von Sternen und anderen Himmelskörpern bestimmt; das Prinzip wird auch durch Beobachtung in der Akustik verifiziert). Aus den beiden Geschwindigkeitskomponenten, die den Winkel $2a$ mit einander einschließen, resultiert eine absolute Geschwindigkeit $2V \sin a$, wie aus der Figur ersehen werden kann, und die das Teilchen m in der Richtung nach m' befördert. Die absolute Bewegungsrichtung schließt mit der vertikalen den Winkel a ein. Aus diesen Bewegungsverhältnissen lässt sich nun ohne weiteres ableiten:

$$g) \quad E = \frac{M C^2}{2} = \frac{0,26 B V \sin a}{2} (2 V \sin a)^2 \\ = 0,52 B V^3 \sin^3 a \text{ kgm/sek.}$$

und die Hubkraft

$$h) \quad P = \frac{W}{\operatorname{tg} a} = \frac{E}{V \operatorname{tg} a} = M C \cos a \\ = 0,52 B V^2 \cos a \sin^2 a \text{ kg;}$$

Der Quotient wird

$$i) \quad \frac{P}{E} = \frac{1}{V \operatorname{tg} a}$$

Die Gleichungen (g) und (h) geben nun faktisch das wieder, was in der Praxis unter Berücksichtigung der Nebenumstände, auf die wir noch zu sprechen kommen, erreicht werden kann. Danach werden an flach gestellten Tragdecks tatsächlich elastische Kräfte wachgerufen. Aus dem Abschnitt „die Wirkung der Luft auf bewegte Flächen“ wissen wir aber, dass es an steil gestellten Flächen zu einem unelastischen Stoss mit der Luft kommt; hieraus ergibt sich, dass eine Tragfläche um so besser den Anforderungen entspricht, die die Flugmaschine an sie stellt, wenn sie unter einem möglichst kleinen Winkel a auf die Luft wirkt. Da der Winkel a aber für eine gegebene Flugmaschine von einem bestimmten Gewicht, und mit gewissen Tragflächenabmessungen ebenfalls etwas nach Gleichung (h) gegebenes ist, so müssen wir das Tragdeck so einrichten, dass die Luftmasse M es doch stets nur unter einem kleinen Winkel a treffen kann, dass sie aber trotzdem im Mittel mit den Winkel a abgelenkt wird, das heisst: wir müssen das Tragdeck krümmen! Wir wiederholen hier, die Krümmung an sich ergibt rechnerisch keine bessere Leistung, denn jede Kurvengleichung fällt aus einer entsprechenden Rechnung ohne weiteres heraus, und nur immer der Betrag (h) und (i) ist das Ergebnis der Rechnung, wenn die gleichen Voraussetzungen auch für die Bewegung an der Kurve gemacht wurden. Aber durch Krümmung des Tragdecks können wir erreichen, dass die Luft, die an der Krümmung entlang gleitet, immer wieder von neuem, so lange sie mit dem Tragdeck in Berührung bleibt, unter einem kleinen Winkel, der die Entstehung eines elastischen Stosses begünstigt, abgelenkt wird. Die Krümmung hat für das Tragdeck im Sinn dieser Anschauung also weniger eine dynamische, als eine geometrische Bedeutung.

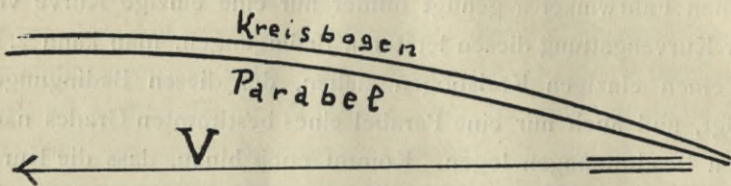
Dagegen müssen Stirnflächen steiler gegen die Luft gestellt werden, damit die Stirnwiderstände nicht durch das Auftreten

elastischer Luftwirkungen vergrößert werden. Das praktisch Zulässige ist im Abschnitt „Stirnwiderstände“ gekennzeichnet.

Die Frage, welche Krümmung man dem Tragdeck geben soll, lässt sich leicht dahin beantworten, dass die Krümmung einen möglichst grossen Krümmungsradius besitzen muss; woran aber die Bedingung geknüpft ist, dass die Tangente der Kurve am Kurvenbeginn, also an der Vorderkante des Tragdecks, horizontal stehen muss, damit hier die Luft ganz ohne Stoss unter das Tragdeck treten kann, um dann fortlaufend nach unten abgelenkt zu werden. Bei einer gegebenen Tragdeckbreite B und einem gegebenen Fahrwinkel α genügt immer nur eine einzige Kurve von jeder Kurvengattung diesen letzteren Bedingungen, man kann z. B. nur einen einzigen Kreisbogen ziehen, der diesen Bedingungen genügt, und auch nur eine Parabel eines bestimmten Grades nach diesen Bestimmungen legen. Kommt noch hinzu, dass die Kurve den grössten Krümmungsradius besitzen soll, so gibt es nur zwei (gesetzmässige) Kurvengattungen, die praktisch einen kleinen Unterschied im Aussehen besitzen, d. h. praktisch durch Tragdeckrippen so verifiziert werden können, dass man nachher sagen kann, die Rippen seien nach der einen oder andern Kurve geformt; das sind die Kreisbögen und gewisse Parabeln. Der Krümmungsradius des Kreisbogens ist bekanntlich gleich R , mit dem er gezogen wurde, oder gleich dem Abstand des Bogens vom Mittelpunkt des Kreises. Drückt man den Radius als Funktion der Sehne des Kreisbogens aus, resp. des Wertes, den wir hier die Breite B des Tragdecks nennen, so wird $R = B : (2 \sin \alpha)$, wenn α der Flugwinkel ist. Der Krümmungsradius der gemeinen oder Wurf-Parabel von der Gleichung $y = k x^2$, bezogen auf rechtwinklige Koordinaten, oder in Polarkoordinaten: $B' \sin \alpha' = K B'^2 \cos^2 \alpha'$ ist:

$$\rho = \frac{\left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right)^{3/2}}{\frac{d}{dx} \left(\frac{dy}{dx}\right)} = \frac{(1 + 4ky)^{3/2}}{2k} = \frac{(1 + 4KB' \sin^2 \alpha')^{3/2}}{2K}$$

Setzt man hierin für B' und a' nacheinander verschiedene zusammengehörige Werte, und vergleicht man sie mit entsprechenden Werten des Krümmungsradius des Kreisbogens, so findet man, dass der Krümmungsradius der Wurfparabel grössere Werte annimmt, als der des entsprechenden Kreisbogens, so dass die Wurfparabel den Luftstrom mählicher ablenken wird, als der Kreisbogen, und besser geeignet ist, als dieser, elastische Wirkungen an den Arbeitsflächen wach zu rufen. Die gewöhnliche Parabel zweiten Grades unterscheidet sich aber nur wenig im Äusseren vom Kreisbogen; in Figur 24 sind z. B. ein Kreis-



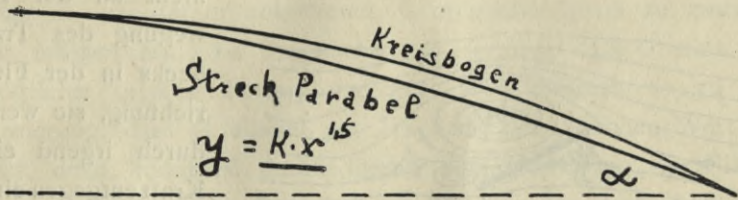
Figur 24.

bogen und ein Bogen einer entsprechenden Wurfparabel übereinander gezeichnet. Man sieht, dass die Parabel nur wenig flacher verläuft, als der Kreisbogen.

Man kann die gemeine Parabel aber ausrecken zu einer Parabel niederen Grades; man kann sie so flach machen, dass sie einer graden Linie fast gleicht, und doch an der Vorderkante eine horizontale Tangente, und im übrigen einen gesetzmässigen gewölbten Verlauf hat. In Figur 25 ist eine solche niedrige Parabel vom $1,5^{\text{ten}}$ Grade neben einem entsprechenden Kreisbogen gezeichnet, die erkennen lässt, dass sie sich erheblich vom Kreisbogen abhebt. Auf die Konstruktion solcher Kurven wird im Abschnitt „Anleitung zur Konstruktion der Parabel eines Tragdecks“ zurückgekommen.

Das Tragdeck kann nicht seine Aufgabe, eine möglichst grosse Luftmenge unter einem möglichst geringen Arbeitsaufwand nach unten zu beschleunigen, wodurch die möglichst grosse Hubkraft erzielt wird, erfüllen, wenn die vorderen Flächen des Trag-

decks, unter und über die die zu bearbeitende Luft zuerst tritt, gegen die Horizontale resp. gegen die Flugrichtung geneigt stehen. Figur 26 (aus der Arbeit „Der heutige Stand der Flugtechnik in Theorie und Praxis“ von Dr. Bendeman in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure Heft 20 ff., mit der wir uns noch weiter unten beschäftigen müssen) zeigt, dass sich hinter der Vorderkante eines solchen Tragdecks ein grosser Wirbel W bildet. Infolge der dadurch gestörten Abwärtsbewegung der Luft über dem Tragdeck bildet sich sogar hinter der Unterkante des Tragdecks noch ein Wirbel w, der sich bei richtig ein-



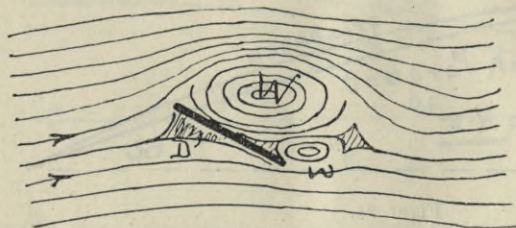
Figur 25.

gestellter Vorderkante nicht bilden kann. Auch im Übrigen ist die Luftbewegung am Tragdeck arg gestört, wie die Verdichtungsstelle D zeigt.

Soll die Vorderkante in der Flugrichtung liegen, so gilt das natürlich nicht für die Hinterkante. Man begegnet aber wirklich manchmal der Ansicht, dass die „Hinterkante des Tragdecks entgegen der Flugrichtung zurückgebogen sein müsse, damit die Luft gut ablaufen könne“. Eine solche Ansicht stellt die Tragdeckwirkung gerade auf den Kopf. Denn der Luft ist vom Tragdeck eine Bewegung nach unten gegeben, hierauf beruht ja seine Wirkung. Man würde also das Weiterfliessen der Luft nach unten, sowohl der unter, als der über dem Tragdeck innerhalb der primären Wirkungssphäre des Tragdecks behindern, und damit die positive Wirkung des Tragdecks vermindern, wenn man da am hinteren Tragdeckende plötzlich eine Fläche in den Luftstrom presst, die die Strömung nach unten auf Kosten der Motorkraft aufhält.

Dynamische Deutung der Gleichungen (g) und (h). Es entsteht nun die Frage: gibt die Gleichung (h) den höchstmöglichen Betrag an Hubkraft überhaupt an, den ein Tragdeck nach den Naturgesetzen zu entwickeln im Stande ist, oder kann es auf die eine oder andere Weise möglich werden, die Hubkraft noch zu erhöhen; und gibt Gleichung (g) nach den allgemeinen Naturgesetzen wirklich den kleinst-möglichen Betrag an Flugarbeit für die Hubleistung an?

Zur Untersuchung dieser Möglichkeiten nehmen wir den idealen Fall an: die vom Tragdeck beeinflusste Luft beteilige sich



Figur 26.

nicht an der Bewegung des Tragdecks in der Flugrichtung, sie werde durch irgend eine Kraft entgegen einer solchen Bewegung fest gehalten, und folge nur der Form, resp. der Wölbung

des Tragdecks so, dass sie eine entsprechende Bewegung nach unten ausführt, wenn das Tragdeck an der Luft vorbei gleitet. Ist B die Breite des Tragdecks von der Länge l , sein Flächeninhalt also gleich $F = B \cdot l$, beträgt die Bewegungsgeschwindigkeit des Tragdecks in der Flugrichtung V m/sek., und ist der Flugwinkel, unter dem sich das Tragdeck, resp. die Sehne B seiner Wölbung gegen die Luft in der horizontalen bewegt, gleich α , dann wird in jedem der Zeitabschnitte $\frac{B \cos \alpha}{V}$ Sekunden die Luftmasse $M' = 2 B \sin \alpha \frac{\gamma}{g} \cdot B \cos \alpha$ (mit Berücksichtigung der Vorder- und Rückseite des Tragdecks) senkrecht nach unten bewegt.

Die Geschwindigkeit c' , die die Masse dabei in jedem Augenblick dt erhält, ist $c' = G dt$, wenn G die Beschleunigung der Masse in dem betreffenden Zeitteilchen dt ist. Beschleunigt das Tragdeck die Luftmasse in jedem Augenblick mit derselben

Kraft, so hat G stets den gleichen Wert, und der Effekt der Beschleunigung nach der Zeit $\frac{B \cos a}{V}$ ist der, dass die Luftmasse dann die Geschwindigkeit $C = G \frac{B \cos a}{V} = G t'$ besitzt, worin t' die Zeit ist, während das Tragdeck die Luftmasse beeinflussen kann. Ist die beschleunigende Kraft des Tragdecks nicht immer gleich gross, ist also die Beschleunigung der Luftmasse nicht stets G , so kann trotzdem die Luftmasse nach der Zeit t' die Geschwindigkeit C besitzen, die Beschleunigung müsste nur eine entsprechende Zeit lang grösser sein als G , als sie kleiner als G ist. Da aber die Hubkraft der Luft auf die Tragflächen protortional mit C wächst und da wir eine möglichst grosse Hubkraft erzielen wollen, so muss es uns darauf ankommen, C möglichst gross zu machen, wir müssen also die Tragflächen so formen, dass G stets den möglichst grossen Betrag erreicht. Wir kommen so zu der Forderung, dass G überall am Tragdeck den gleichen Wert besitzt, denn könnte G durch irgend eine Gestaltung der Fläche an einer Stelle grösser werden, so könnten wir auch die ganze Fläche so gestalten, dass G überall diesen grösseren Wert erreicht. Die Kurve, die nun der Bedingung genügt, dass G stets gleich gross ist, ist die gemeine oder Wurf-Parabel von der Gleichung $y = k x^2$, bezogen auf rechtwinkliche Koordinaten, von denen die y Achse mit der Achse der Parabel zusammenfällt. Gestalten wir also unser Tragdeck in dieser Weise parabolisch, so erreicht G für einen gewissen Flugwinkel a überall den gleichen und grössten Wert. Nach der Zeit t' hat die Luftmasse M' den Weg $B \sin a$ nach unten zurückgelegt, der nach den mechanischen Gesetzen der beschleunigten Bewegung gleich ist $\frac{G}{2} t'^2$, so dass wir erhalten $G = 2 B \sin a \left(\frac{V}{B \cos a}\right)^2$, und $C = 2 V \operatorname{tg} a \operatorname{m}/\operatorname{sek}$. In jeder Sekunde erteilt das Tragdeck der Luftmasse $M' \frac{V}{B \cos a} = M$ die Geschwindigkeit C . Mit diesen Beziehungen können wir nun die Wirkung unseres idealen Tragdecks feststellen; es wird

$$k) \quad E = M \frac{C^2}{2} = 0,52 B V^3 \sin a \operatorname{tg}^2 a \operatorname{kgm}/\operatorname{sek}.$$

und

$$l) \quad P = M G t' = M C = 0,52 B V^2 \cos a \operatorname{tg}^2 a \operatorname{kg},$$

Gleichungen, die bis auf den Faktor $\operatorname{tg}^2 a$ anstatt $\sin^2 a$ konform sind den Gleichungen (g) und (h). Für kleine Flugwinkel a ist $\operatorname{tg} a$ nur verschwindend grösser als $\sin a$, die Gleichungen geben deshalb numerisch fast dasselbe Resultat.

Mit (k) und (l) haben wir nun die Beträge erhalten, die im denkbar besten Falle mit Tragflächen theoretisch erreicht werden können; machen wir aber der Forderung der Ausführungsmöglichkeit die Konzession, dass die Luft durch keinerlei bekannte Mittel daran verhindert werden kann, an der Bewegung des Tragdecks in der Flugrichtung Teil zu nehmen, dass sie vielmehr, anstatt senkrecht nach unten abzugleiten, eine Bewegungsrichtung einschlagen wird, die den Winkel b mit der Vertikalen einschliesst, so müssen wir sowohl E als P aus Gleichung (k) und (l) mit dem Quadrat des Cosinus dieses Winkels b multiplizieren, um die höchst möglichen Beträge unter dieser einschränkenden Voraussetzung zu erhalten. Ist $b = a$, so gehen die Gleichungen (k) und (l) ohne weiteres in die Gleichungen (g) und (h) über. Wir haben aber zu den Gleichungen (d) und (e) gesehen, dass keineswegs $b = a$ sein muss, hierzu sind vielmehr wieder ganz bestimmte Voraussetzungen über die Bewegungsart der Luftteilchen nötig; nach der zweiten Annahme wird z. B. $b = a : 2$.

Das eine können wir jedenfalls festhalten: Der grösste, nach den Naturgesetzen mögliche Betrag der Tragdeckwirkung wird durch die Gleichungen (k) und (l) bezüglich E und P zum Ausdruck gebracht, sie bilden die Grenze, gegen die die praktischen Tragdeckleistungen konvergieren. Sache des Konstrukteurs ist es, die Leistungen seiner Konstruktion so nahe wie möglich an diese Beträge, die praktisch unerreichbar sind, heranzubringen.

Es ist auch vollkommen berechtigt, wenn wir in die Gleichungen als beeinflusste Luftmassen die vollen Beträge $2 B \sin a V$ einsetzen. Wir haben im Absatz „Primärer Wirkungsbereich“ zu Figur 12 diese Verhältnisse besprochen.

Für den praktischen Gebrauch können wir uns also nun der Gleichungen g und h nebst i bedienen, weil diese aus praktisch

ohne weiteres verifizierbaren Elementen aufgebaut sind. Damit erhalten wir die ideale Leistung eines Tragdecks, die in der Praxis natürlich nicht vollkommen erreicht werden kann. Es ist aber ganz allgemein im Maschinenbau üblich, dass man zunächst feststellt, was eine Maschine leisten könnte, wenn sie ganz ohne Verluste arbeiten würde, und misst hieran die Vollkommenheit irgend einer Ausführung.

Das Gleiche tun wir hier auch: wir berücksichtigen zunächst nur die idealen Verhältnisse, denen sich die Ausführungen von Gleitflächen theoretisch beliebig annähern lassen, und messen daran die Wirkung praktisch ausgeführter Gleitflächen, um ihren absoluten Gütegrad beurteilen zu können. Nur auf diese Weise können wir erfahren, ob unsere jeweilige Konstruktion noch verbesserungsfähig ist! Das Verhältnis der praktischen Leistung der Vorrichtung zur theoretisch möglichen Leistung nennt man den Wirkungsgrad.

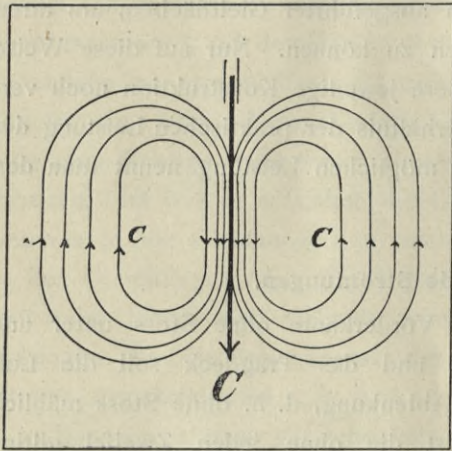
Störende Strömungen.

Die Luft soll an der Vorderkante ohne Stoss unter und über das Tragdeck treten, und das Tragdeck soll die Luft ohne gewaltsame plötzliche Ablenkung, d. h. ohne Stoss mählich nach unten treiben, das ist die ohne jeden Zweifel giltige Betriebsbedingung, die ein gutes Tragdeck erfüllen muss. Für jeden andern Maschinenteil, der unter ähnlichen Umständen arbeitet, z. B. für Schraubenpropeller oder für die Schaufeln von Dampf- oder Wasserturbinen gelten dieselben Gesetze. Es fragt sich nun, ob ein Tragdeck, dessen vordere Teile der Arbeitsfläche parallel zur Flugrichtung stehen, bei der Vorwärtsbewegung die Luft vor sich wirklich so vorfindet, dass diese Betriebsbedingung erfüllt wird. Da das in der flugtechnischen Literatur zur Zeit vielfach bezweifelt wird, mit manchmal anscheinend plausiblen Gründen, so wollen wir auf diese Gründe hier näher eingehen, um nachzuweisen, dass sie falsch sind, und dass ein gutes Tragdeck doch so aussehen muss, wie wir im

vorigen Abschnitt feststellten, und wie weiter hinten noch weiter ausgeführt wird.

a) Einfluss der Rückströmung. Aus diesem Einfluss ist von manchen Flugtechnikern die Notwendigkeit eines vorn niederbeugten Tragdecks gefolgert worden. Wir wollen uns hier von der Grundlosigkeit dieses Schlusses überzeugen, und benutzen dazu den Weg, den Bendemann („Der heutige Stand der Flugtechnik in Theorie und Praxis“ von Dr. Ing. F. Bendemann, Geschäftsführer des Sonderausschusses für Flugtechnik der Jubiläumsstiftung

der deutschen Industrie, [Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure Nr. 21 von 1910]) gegangen ist, um dann allerdings zu einem Resultat zu kommen, das dem seiner Arbeit entgegengesetzt ist.



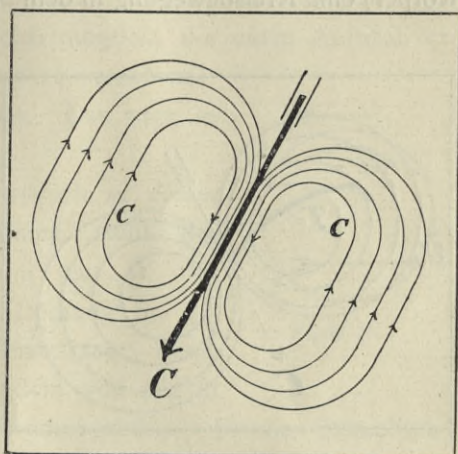
Figur 27.

Wenn in der Pfeilrichtung C Figur 27 auf irgend eine Weise ein kontinuierlicher Luftstrom erzeugt wird, wobei vorausgesetzt sei, dass der Luftstrom im freien Raume, fern von festen Flächen entstehen möge, so wird sich um diesen Luftstrom herum im Raume ein kontinuierlicher Rückstrom einstellen, wie Figur 27 andeutet. An diesem Luftstrom werden grössere Luftmassen teilnehmen, als ursprünglich durch die Vorrichtung in Bewegung gesetzt wurden; jedenfalls aber muss die Rückstrom-Geschwindigkeit c nach den Gesetzen der Mechanik kleiner sein als die durch die Vorrichtung erzwungene primäre Strömungsgeschwindigkeit C . Der Rückstrom wird den primären Strom ganz gleichmässig konzentrisch umgeben, wenn wir nicht noch andre Luftströmungen

voraussetzen, die mit den Vorgängen, die wir uns hier klar machen wollen, nichts zu tun haben.

An diesem Strömungsbilde wird nun offenbar nicht das geringste geändert, wenn wir voraussetzen, die primäre Strömung finde nicht senkrecht nach unten statt, wie in Figur 27 infolge der Stellung der Zeichnung wiedergegeben ist, sondern sie habe irgend eine andere Richtung, z. B. eine seitlich geneigte, was Figur 28 veranschaulichen könnte. Das Strömungsbild muss das gleiche bleiben. Nur seine Disposition im Raume ist eine andre.

Nehmen wir nun an, das zentrale primäre Luftstrombündel werde durch ein Tragdeck erzeugt. Wir haben ja im Abschnitt „Die beste Tragdeckform“ gesehen, dass von den Tragdeckflächen ein Luftstrom schräg nach unten gebildet wird; darauf beruht ja ihre Wirksamkeit. Es würde dann ungefähr das in Figur 28 abgebildete Strömungs-



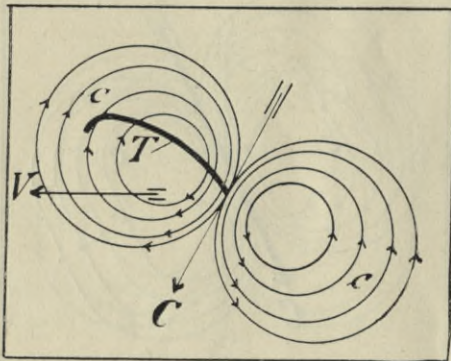
Figur 28.

schema entstehen, wenn wir vorläufig von den Änderungen absehen, die das Tragdeck mit seiner undurchlässigen Fläche im Verlauf der Luftstromlinie hervorbringt. Bemühen wir uns nun, ein Tragdeck so zu formen, dass es in die von ihm hervorgerufenen Stromlinien so hineinpasst, dass die Luft ohne Stoss unter die Vorderkante des Tragdecks treten kann, so entsteht ungefähr das in Figur 29 Abgebildete. Der Pfeil über C deutet die mittlere Richtung der Luftströmung an, wie bei Figur 28. T ist das den Stromlinien eingeordnete Tragdeck.

Ein solches Tragdeck würde unter den festgelegten Umständen wieder von einem Teil der von ihm beschleunigten Luft

getroffen werden, so dass diese Luft auf doppelte Weise eine Tragkraft erzeugt. Das Tragdeck würde demnach mehr tragen, als wir im vorigen Abschnitt als nach den physikalischen Gesetzen möglich eruiert haben.

Mit dieser Anschauungsweise in der einen, und einem Lamb'schen Satz (Hydrodynamics S. 88) in der andern Hand, nach dem: „Wenn an einem wagrecht durch die Luft bewegten Körper eine senkrecht nach oben gerichtete Reaktion entstehen soll, die Stromlinien der Luft (bezogen auf den ruhend gedachten Körper) eine Kreisbewegung in dem Sinne aufweisen müssen, dass



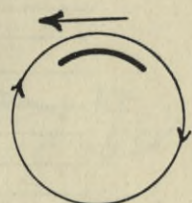
Figur 29.

sich ihre Geschwindigkeiten über dem Körper zuder fortschreitenden addieren, unten von ihr subtrahieren. Dann entstehen nämlich oben grosse Geschwindigkeiten, also niedrigere Drücke, unten kleinere Geschwindigkeiten und entsprechend höhere Drücke“¹⁾; also mit solchen Sätzen stellt nun Bendemann als Ideal

für Konstrukteure auf: man solle das Tragdeck so formen, dass der Strömungsausgleich möglichst nur vorn stattfindet! In Figur 30 (Figur 15 „Bewegungssinn der Kreisströmung nach dem Lamb'schen Satz“ der Arbeit von Bendemann) ist die Lage des Tragdecks in diesem Strömungsbilde veranschaulicht. Die absoluten Bahnen der Luft sollen aber kleinere, in sich geschlossene Kreise sein. Das Tragdeck ist an der Vorderkante tief nieder

1) Ein solcher Satz hat in seiner Verschwommenheit keinen Platz in der Mechanik, wenigstens nicht in der deutschen. Wie wir im vorigen Abschnitt gesehen haben, reichen die landläufigen Ansichten von Aktion und Reaktion vollkommen zur Erklärung der Tragdeckwirkungen aus.

gebeugt; die Luft soll zunächst nur nach oben beschleunigt werden, um dann so nach unten abgelenkt zu werden, dass sie eine ganz einseitige Kreisbahn beschreibt, an die das Tragdeck sich sozusagen anschmiegt, oder über die es, da die absoluten Luftbahnen ja doch kleine Kreisbewegungen sein sollen, hinwegrollt. Die einmal beschleunigte Luft trifft immer wieder das Tragdeck, und die ganze der Luft mitgeteilte Energie wird für den Tragzweck nutzbar. Die Luft soll also dazu gezwungen werden, nur nach vorn aufzusteigen; „dann ist, wenigstens in einer vollkommenen Flüssigkeit (resp. einem vollkommenen Gase) sogar eine Bewegung (des Tragdecks) möglich, die einen Auftrieb erzeugt, ohne überhaupt Arbeit zu verzehren!“ sagt Bendemann in der Arbeit. Das wäre so eine Art Perpetuum mobile.



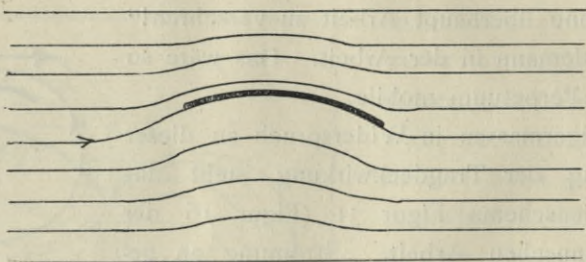
Figur 30.

Einigermassen in Widerspruch zu dieser Herleitung der Tragdeckwirkung steht das Stromlinienschema Figur 31 (Figur 16 der Bendemannschen Arbeit, „Strömung an gewölbtem Flügel, richtige Vorstellung“ überschrieben, im Gegensatz zu dem von mir in Figur 2 wiedergegebenen Strömungsbild). Solche Stromlinien können nur dann entstehen, wenn die vom fortschreitenden Tragdeck berührten Luftteilchen eine kleine Kreisbahn beschreiben, um wieder in ihre alte Ruhelage zurückzukehren. Es entsteht dabei etwas der Wasserwellen-Bewegung Ähnliches. Ein Auftrieb kann dabei aber nie frei werden. Auf die von Lilienthal beobachteten Phänomene, die die Bendemannsche Ansicht zu bestätigen scheinen (um diese zu retten, resp. zu verifizieren, hat Bendemann die neuen Theorien versucht) kommen wir im nächsten Absatz zurück. Wir werden sie uns dort plausibel machen, und finden, dass sie mit der Sache, die hier zur Diskussion steht, nichts zu tun haben.

Wir mussten auf die Bendemannsche Veröffentlichung, die im übrigen sehr wertvoll ist, und jedem Flugtechniker zum Studium

nur empfohlen werden kann, näher eingehen, da sie quasi offiziell vom Verein deutscher Ingenieure ausgeht; sie könnte mit dem Teil, der sich mit der Herleitung der Tragdeckformen beschäftigt (der aber nur einen kleinen Teil der ganzen Arbeit ausmacht), einer sinnlosen Erfinderei und Probiererei Tür und Tor öffnen, zum Schaden unserer Sache.

Das Strömungsbild nach Figur 29, das durchaus mit den Gesetzen der Mechanik im Einklang steht, bekommt nämlich sofort ein anderes Aussehen, und damit fallen die Schlussfolgerungen, die zur Niederbiegung der Vorderkante führten, ohne

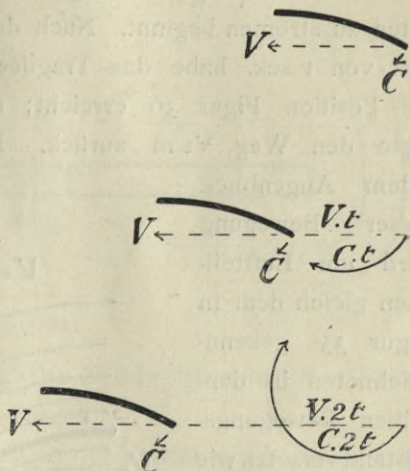


Figur 31.

weiteres unter den Tisch, wenn man berücksichtigt: dass sich das Tragdeck während der Strömung der von ihm beschleunigten Luft mit der Geschwindigkeit V vorwärts bewegt. V ist in allen Fällen der Praxis weit grösser als C . Es besteht ungefähr die Beziehung: $C = 2 V \sin a$, worin erst $C = V$ wird, wenn $a = 30^\circ$ beträgt. Nehmen wir aber selbst an, es sei $C = V$, so entstehen die in Figur 32 bis 34 dargestellten Strömungsverhältnisse. Figur 32 stelle das Tragdeck k beim Beginn der Bewegungsperiode dar, die wir eben betrachten. Es wird sich in der horizontalen Pfeilrichtung mit der Geschwindigkeit V m/sek. weiter bewegen; und ein Luftteilchen sei eben in der Pfeilrichtung schräg nach unten auf die Abströmgeschwindigkeit C m/sek. beschleunigt worden. Nach Voraussetzung ist $C = V$. Die Abströmgeschwindigkeit C kann natürlich nachträglich nicht einen grösseren Wert

erlangen, denn hierzu müsste dem Luftteilchen eine entsprechende Energiemenge zugeführt werden, die ihm von nirgends zur Verfügung steht.

In Figur 33 hat sich das Tragdeck bereits ein Stück Weges von Vt m weiter bewegt, wenn t die Bewegungszeit in Sekunden bedeutet. In der gleichen Zeit t würde nach dem Bewegungsschema Figur 29 das vor der Zeit t beschleunigte Luftteilchen (Figur 32) den Weg $Ct = Vt$ m in irgend einer Kurve zurücklegen. Dabei setzen wir voraus, dass C nicht abgenommen hat, was praktisch sicher der Fall sein würde. Man sieht deutlich, dass dieses und jedes andere Luftteilchen, das vom Tragdeck beschleunigt wird, niemals das Tragdeck erreichen, und den Zustand der Luft vor dem Tragdeck beeinflussen kann. Figur 34 zeigt das noch besser. Sie bildet dieselben Bewegungsverhältnisse nach der Bewegungszeit $2t$ sek. ab. Wenn also keine



Figur 32, 33 und 34.

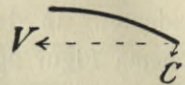
andern Einflüsse auf die vom Tragdeck beschleunigten Luftteilchen einwirken, so findet der durch Figur 29 veranschaulichte Strömungsausgleich nur hinter dem sich weiter bewegenden Tragdeck statt. Dieser Strömungsausgleich kann den Zustand der Luft vor dem Tragdeck nicht beeinflussen.

Wenn keine andern Einflüsse auf die vom Tragdeck beschleunigten Luftteilchen einwirken, so bietet der Strömungsausgleich das in Figur 29 dargestellte Bild. Faktisch können sich aber die Luftteilchen nur einfach annähernd gradlinig nach unten bewegen, aus prinzipiellen Gründen, die man in der Optik und Wellenlehre das Huygenssche Prinzip nennt.

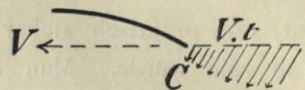
In Figur 35 bis 38 sind diese Strömungsvorgänge möglichst einfach zu veranschaulichen gesucht:

Figur 35 stellt wieder das Tragdeck im Beginn der Bewegungsperiode dar, die wir eben betrachten wollen. Es wird sich mit der Geschwindigkeit V m/sek.

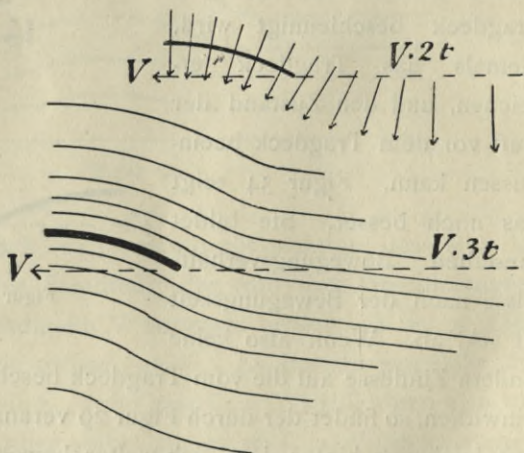
in der horizontalen Pfeilrichtung fortbewegen, während irgend ein Luftteilchen, auf die Geschwindigkeit C m/sek. beschleunigt, schräg nach unten zu strömen beginnt. Nach der Zeit von t sek. habe das Tragdeck die Position Figur 36 erreicht; es legte den Weg Vt m zurück. In



jedem Augenblick dieser Bewegung wird ein Luftteilchen gleich dem in Figur 35 gekennzeichneten in denselben Bewegungszustand versetzt, wie jenes, und wird deshalb dieselbe Ausgleichsbewegung ausführen wollen.



Alle die Luftteilchen, von denen je



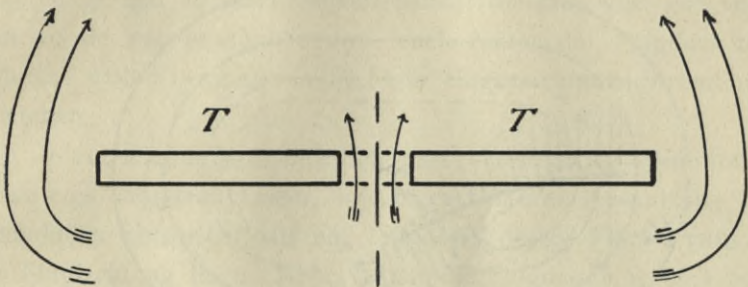
Figur 35, 36, 37 und 38.

zwei benachbarte unendlich nahe bei einander sich befinden, wollen also dieselbe Bewegung ausführen. Man kann sich vorstellen, und das ist ungefähr der Inhalt des Huygensschen Prinzips, über das man sich aus jedem Lehrbuch der Physik, oder auch aus einem Konversationslexikon näher informieren kann, dass sie sich hierdurch in der Ausführung dieser Bewegungsform gegenseitig so behindern werden, dass sie als resultierende Bewegung eine,

in diesem Falle annähernd gradlinige Strömung schräg nach unten ausführen müssen. In Figur 36 ist diese Strömungsrichtung angedeutet.

Figur 37 will weiter ein Bild davon geben, wie sich ungefähr die Gesamtheit der vom Tragdeck beschleunigten Luftmasse bewegt, und Figur 38 veranschaulicht die Lage der sogenannten Stromlinien, die senkrecht auf den Strömungsrichtungen stehen.

Wir konstatieren also nochmal: die Rückströmung beeinflusst nicht den Zustand der Luft vor dem Tragdeck,

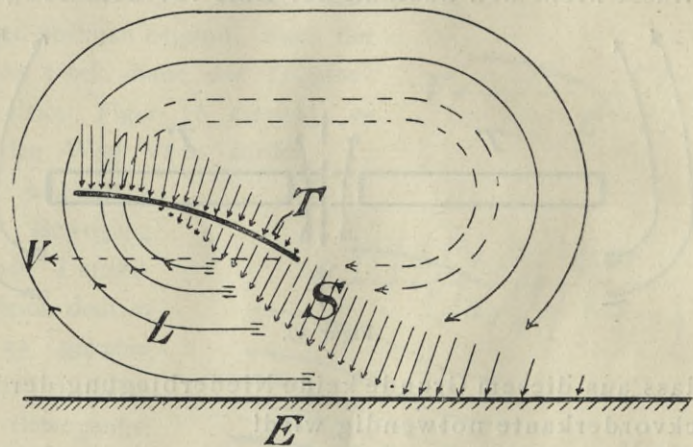


Figur 39.

sodass aus diesem Grunde keine Niederbiegung der Tragdeckvorderkante notwendig wird!

Wo findet aber nun eigentlich der Strömungsausgleich statt? Da das Tragdeck nicht sozusagen über sich ein Loch in der Luft hervorbringen kann, so muss die Rückströmung irgendwo stattfinden. Sie wird natürlich da eintreten, wo sie durch keinerlei dynamische Vorgänge gehindert wird. Und dies ist seitlich vom Tragdeck der Fall, wie Figur 39 erkennen lässt. T ist das Tragdeck, von vorn oder hinten gesehen, darunter und darüber wird die Luft durch die Arbeit des Tragdecks nach unten bewegt, und seitlich kann die Luft wieder aufsteigen. Ist das Tragdeck in der Mitte, in der Gegend des Rumpfes offen, so wird auch hier die nach unten gedrängte Luft nach oben zu strömen suchen. Da durch solche Strömungen die Arbeit des Tragdecks gestört wird, so sind Öffnungen in der Mitte des Tragdecks zu vermeiden.

b) Einfluss der Erdboden-Nähe. Im vorigen Absatz haben wir im Anschluss an den vorigen Abschnitt festgestellt, dass die beste Wirkung ein Tragdeck ergibt, an dessen Vorderkante die Tangente der Tragdeckwölbung in die Flugrichtung fällt, so dass die Luft ohne Stoss vom Tragdeck bearbeitet werden kann. Mit diesem Resultat stehen aber scheinbar manche Beobachtungen von Lilienthal u. a. in Widerspruch, der unter gewissen Umständen feststellte, dass ein Tragdeck, dessen Vorderkante etwas nieder-



Figur 40.

gekantet ist, bessere Betriebsresultate ergibt, resp. dass ein solches Tragdeck bei dem gleichen Arbeitsaufwand einen grösseren Auftrieb liefert, als ein Tragdeck ohne Niederkantung. Zur Erklärung dieses Widerspruchs muss auf eine Erscheinung aufmerksam gemacht werden, die die Arbeit des Tragdecks in der Nähe des Erdbodens begleitet. Diese Erscheinung wird auch einige andere, auf den ersten Blick rätselhafte Tragdeckwirkungen nach Beobachtungen von Lilienthal zwanglos erklären:

Wird das Tragdeck T, Figur 40, vorwärts bewegt, so bringt es in der Luft eine Strömung hervor, die die Pfeilstiche S andeuten. Zu Figur 37 haben wir uns das Entstehen der Strömung klar gemacht. Auf dem Zustandekommen dieser Strömung beruht die

Wirksamkeit des Tragdecks. Bewegt sich nun aber das Tragdeck in der Nähe des Erdbodens E, so wirkt die niederströmende Luft offenbar so auf die vor dem Tragdeck befindliche Luftmenge, als reiche das sich bewegendes Tragdeck annähernd bis zur Erde. Figur 40 macht das anschaulich. Die Luft vor dem Tragdeck wird also nach den Seiten und nach vorn ausweichen müssen. Vor den mittleren Tragdeckteilen wird die Luft hauptsächlich nach vorn getrieben, wie die Pfeile L andeuten. Hierbei werden nun ebenfalls Ausgleichsströmungen auftreten, wie wir sie uns zu den Figuren 27 und 28 klar gemacht haben; die Luft wird von vorn, von wo sie weg geschoben wird, nach hinten das Tragdeck umströmen, wobei etwa die in die Figur eingezeichneten Stromlinien entstehen.

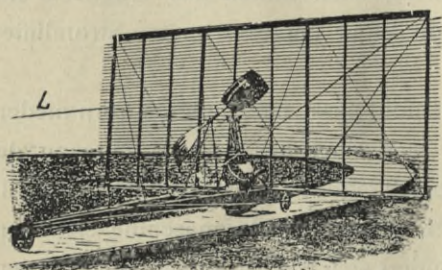
In ein solches Stromlinienfeld passt natürlich ein vorn niedergekantetes Tragdeck besser, was einer besseren Ausnutzung der Stromlinien entspricht, als ein Tragdeck, dessen Fläche vorn in der Flugrichtung liegt. Aber, sobald die Flugmaschine sich vom Erdboden erhoben hat, so ändert sich die Strömung auch zu dem normalen Strombilde der Figuren 35 bis 38. Besitzt also eine Flugmaschine vorn niedergekantete Tragdecks, so ist sie nur zum Fluge unmittelbar über der Erde geeignet; es existieren eine ganze Anzahl solcher Maschinen; beim Hochflug arbeiten solche Tragdecks sehr unwirtschaftlich. Man baut doch aber eine Flugmaschine für den Hochflug!

Es ist bisher nicht bemerkt worden, dass durch die Nähe der Erde allein die Tragdeckarbeit so modifiziert werden muss, dass sie Begleiterscheinungen zeigt, die den einfachen Regeln der Mechanik widersprechen. Die Folge davon waren jene merkwürdigen Theorien über die Tragdeckwirkung wie die von Lamb oder die von Kutta (Dr. W. M. Kutta, Illustrierte Aeronautische Mitteilungen, 1902 S. 133). Wie Figur 40 zeigt, darf man Tragdecks in der Nähe der Erde nicht ausprobieren, wenigstens nicht in horizontaler, sozusagen natürlicher Lage. Experimentiert man mit vertikal stehenden Tragdecks, so erhält man schon einwand-

freiere Resultate, da hierbei störende Strömungen nicht in der Masse auftreten können.

An dieser Stelle sei auch davor gewarnt, Resultate von Tragdecken ableiten zu wollen, die an Rundläufen befestigt sind, wie das so oft geschieht! Denn hierbei müssen an Versuchsobjekte Zentrifugalkräfte auftreten, die jedes Resultat fälschen. Ein Beispiel aus der Praxis möge das erläutern:

Der englische Flugtechniker Phillips hat Motordrachen mit sehr vielen schmalen Tragdecken gebaut in der Art der Maximischen Flugmaschine. Einer dieser Motordrachen, der in Figur 41

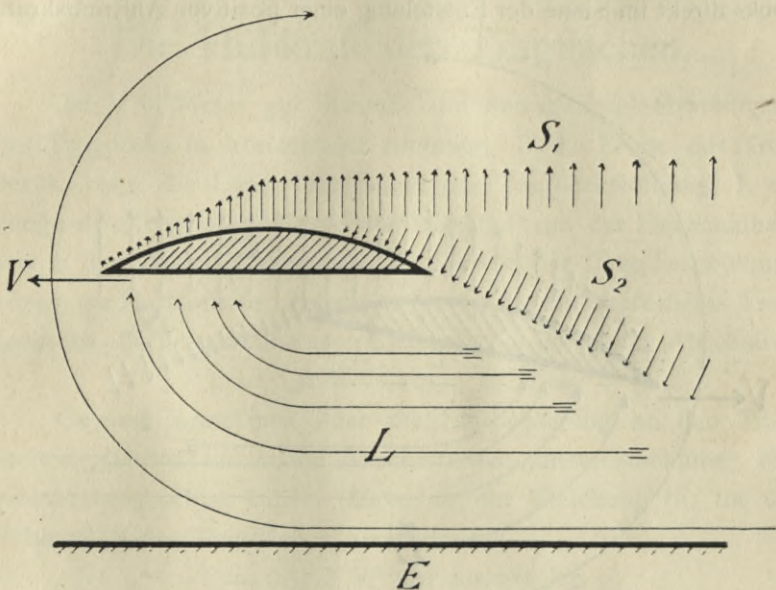


Figur 41.

abgebildet ist, ein kleines Versuchsmodell, soll insgesamt 12 qm Tragdeck besessen haben, mit einem Motor von 8 bis 9 PS getrieben worden sein, und bei einem Gesamtgewicht von 173 kg mit einer Geschwindigkeit von 16,6 m/sek. geflogen sein. Ein

solcher Motordrachen verlangt aber schon theoretisch nicht weniger als 12,5 PS. Sieht man sich nun die Figur näher an, so bemerkt man, dass sich das Modell um einen Mittelpunkt herum an einer Longe L, also an einem Rundlauf bewegt, wie ein Zirkuspferd. Unter diesen Umständen wird aber beim Laufe des Modells eine Zentrifugalkraft frei, die bei der Sekundengeschwindigkeit von 16,6 m, bei der die Flugmaschine geflogen sein soll, den Betrag $(M \cdot V^2) : R = 5000 : R$ Kilogramm erreicht, worin R der Radius des Laufkreises in Metern ist. Wäre $R = 28$ m, so würde die Zentrifugalkraft allein schon den gesamten Betrag des Motordrachengewichts ausmachen, es kommt ganz darauf an, wie und wo die Longe L am Motordrachen befestigt ist, je nach dem wird die Zentrifugalkraft das Flugmaschinengewicht vermehren oder vermindern. Sie kann unter Umständen auch bewirken, dass die

Maschine sich schon allein durch die Zentrifugalkraft von der Bahn erhebt. Wie ein Mensch, der sich am Rundlauf bewegt. Philipps hat mit seinem Modell auch die beste Form von Tragdecks festgestellt. Wir brauchen wohl nicht hinzufügen, dass die Versuche und alle ähnlichen gar keinen Wert besitzen. Spätere Bauten von Freiflugmaschinen von Philipps haben auch versagt.

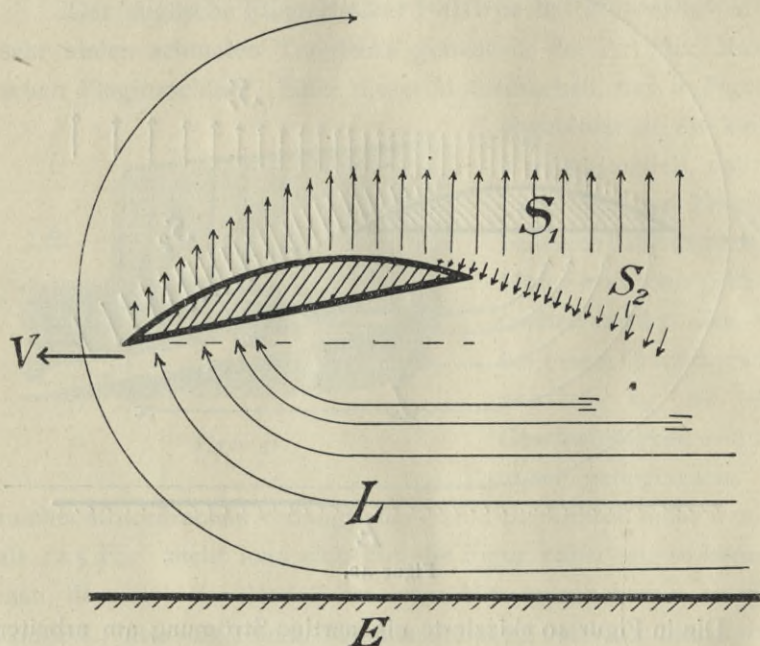


Figur 42.

Die in Figur 40 skizzierte eigenartige Strömung am arbeitenden Tragdeck in der Nähe des Erdbodens kann auch ohne weiteres zur Erklärung gewisser Phänomene dienen, die z. B. Lilienthal beobachtet hat, und die unsere mechanische Deutung der Tragdeckwirkung scheinbar auf den Kopf stellt. Er stellt u. a. fest, dass ein Tragdeck (Figur 42), das unten eben und oben nach einem Kreisbogen gewölbt ist, noch einen Auftrieb produziert, wenn es in der gezeichneten horizontalen Lage bewegt wird.

Nach unserer Entwicklung zu Figur 35 bis 38 entstehen an diesem Tragdeck die beiden Strömungen S_1 , die negativ bezüglich der Tragdeckwirkung ist, und S_2 , die einen positiven Auftrieb her-

vorbringt. Da beide gleich gross, aber entgegengesetzt gerichtet sind, so heben sie sich gegenseitig auf. Das Tragdeck produziert keinen Auftrieb. Das trifft aber nur zu, wenn das Tragdeck in freier Luft fern von der Erde arbeitet. In der Nähe der Erde E kommt noch eine Ausgleichsströmung L hinzu, deren Entstehen wir zu Figur 40 verfolgten. Die Strömung beeinflusst die untere Seite des Tragdecks direkt im Sinne der Entstehung einer positiven Auftriebskraft.



Figur 43.

Wird das Tragdeck noch weiter negativ geneigt, wie Figur 43 zeigt, und wieder in der Nähe der Erde bewegt, so bleibt doch so lange eine positive Auftriebskraft bestehen, als die von der L -Strömung herrührende positive Wirkung grösser ist, als die negative von S_1 , vermindert um die positive Wirkung der Strömung S_2 .

Auch diese, von Lilienthal ohne ausreichende Erklärung beobachtete sonderbare Erscheinung wird mit Hilfe des Strömungsbildes Figur 40 also ohne weiteres plausibel.

Es kann also zusammengefasst werden: Ist eine Flugmaschine nicht speziell für den Flug dicht über den Erdboden bestimmt; und das ist wohl keine eigentliche Flugmaschine; so dürfen die vorderen Teile des Tragdecks nicht niedergekantet werden.

Die Hubkraft der Tragflächen.

Ist V in Meter per Sekunde die Bewegungsgeschwindigkeit des Tragdecks in horizontaler Richtung, B die Breite des Tragdecks, resp. die Länge der Sehne der Tragdeckwölbung, L die Länge des Tragdecks, also B mal L oder F qm der Flächeninhalt, und a der Winkel, unter dem die Sehne der Tragdeckwölbung gegen die Horizontale geneigt ist, so ist die Hubkraft dieses Tragdecks im allerbesten Falle nach Gleichung (l) des letzten Abschnitts:

$$P = 0,52 F V^2 \cos a \operatorname{tg}^2 a \text{ kg.}$$

Gewisse Annahmen über die Luftbewegung an den Tragflächen, die wir im letzten Abschnitt als „dritte Annahme“ eingehend besprochen haben, führen zu der Gleichung (h) für die Hubkraft P der Tragflächen, nach der ist

$$9) \quad P = 0,52 F V^2 \cos a \sin^2 a \text{ kg.}$$

Über die Entstehungsweise dieser Gleichungen und ihre Berechtigung vergleiche man das im vorletzten Abschnitt zu Gleichung (l) und (h) Ausgeführte. Der numerische Unterschied der Werte der hier angeführten beiden Gleichungen ist für alle praktisch in Frage kommenden Flugwinkel nur sehr gering. Die praktischen Ergebnisse von Tragdecken kommen den Resultaten aus Gleichung (9) nahe.

Hierbei ist vorausgesetzt, dass das Tragdeck parabolisch gewölbt ist, entweder nach der Wurfparabel oder einer Streckparabel. Näheres darüber im Abschnitt „Anleitung zur Konstruktion der Parabel eines Tragdecks“.

Zur Erleichterung von Rechnungen mit Gleichung (9) sind in der nachstehenden Tabelle die Auftriebe per Quadratmeter Trag-

deck ($F = 1$ in Gleichung 9) bei der Geschwindigkeit von 1 m/sek. für einen Winkelbereich von 1 bis 30 Grad eingetragen. Man kann mit Hilfe dieser Tabelle den theoretischen Auftrieb eines jeden Tragdecks sofort erhalten, wenn man den reduzierten Auftrieb P^1 für den gleichen Neigungswinkel a mit seinem Flächeninhalt F und dem Quadrat seiner Bewegungsgeschwindigkeit V multipliziert, also:

$$10) \quad P = P^1 \cdot F \cdot V^2$$

Werte des reduzierten Auftriebs $P^1 = 0,52 \cos a \sin^2 a$
 Neigungswinkel a P^1

Grad	Kilogramm
1	0,0001586
2	0,000632
3	0,001426
4	0,00253
5	0,00391
6	0,00568
7	0,00768
8	0,0100
9	0,0126
10	0,0154
11	0,0186
12	0,0219
13	0,0256
14	0,0295
15	0,0336
16	0,038
17	0,042
18	0,047
19	0,051
20	0,057
21	0,062
22	0,067
23	0,073
24	0,078
25	0,084
26	0,090
27	0,095
28	0,101
29	0,107
30	0,112

Die Angaben der Tabelle beziehen sich auf mittleren Barometerstand von 760 mm, denn dieser Barometerstand steckt in dem Faktor 0,52 der Gleichung 9. Motordrachen, die sehr hoch steigen sollen oder an Orten gebraucht werden sollen, die sehr hoch liegen, hat man mit reichlicheren Tragdecken auszurüsten. Beträgt der geringste Barometerstand, unter dem die Flugmaschine noch funktionieren soll, b mm, so wird

$$11) \quad P_b = \frac{b}{760} \cdot P = \frac{b}{760} \cdot P^1 \cdot F \cdot V^2 \text{ kg.}$$

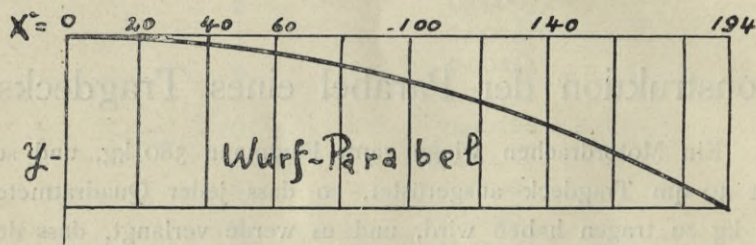
Konstruktion der Parabel eines Tragdecks.

Ein Motordrachen wiege samt Flugmann 380 kg, und sei mit 40 qm Tragdeck ausgerüstet, so dass jeder Quadratmeter 9,5 kg zu tragen haben wird, und es werde verlangt, dass der Motordrachen unter normalen Verhältnissen und niederen Flughöhen bei einer Geschwindigkeit von $V = 18$ m/sek. fliegen soll. Setzt man diese Werte in Gleichung (9) ein, so erhält man $9,5 = 0,52 \cdot 18^2 \cos a \sin^2 a$, oder $0,52 \cos a \sin^2 a = 0,0293 = P'$ der vorstehenden Tabelle, aus der man den Winkel sofort abgreifen kann. Er beträgt ungefähr 14 Grad.

Es hätte also gar keinen Zweck, der Sehne der Parabel eine geringere Neigung gegen die Horizontale 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. Man vergleiche jedoch den Abschnitt „Elastische Tragdecken“!

Sind nun die 40 qm Tragdeck in einem Doppeldecker untergebracht, und macht man die zwei Tragdecken je 10 m lang und 2 m breit, so sind alle Elemente zur Konstruktion der Tragdeckrippenform gegeben.

Man hat sich nun zu entscheiden, welche Art von Parabel man verwenden will: hält man sich mehr an die dynamische Definition der Wirkung des Tragdecks auf die Luft, die im Abschnitt „Die beste Tragdeckform“ gegeben ist, so wird man das Tragdeck nach einer Wurfparabel formen wollen, neigt man dagegen der Ansicht zu, dass die Parabel nur eine geometrische Bedeutung am Tragdeck besitzt (Annahme 3 des eben erwähnten



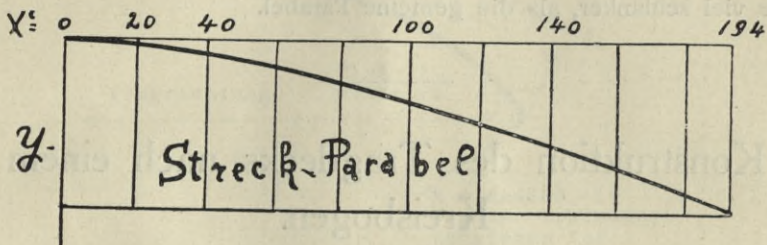
Figur 44.

Abschnitts), so wird man eine Streckparabel wählen. An den ausgeführten Eindeckern findet man meistens Streckparabeln; was aber noch kein Beweis dafür ist, dass sie die beste Lösung der Formfrage darstellen.

Konstruktion der Wurfparabel.

Da der Flugwinkel des Tragdecks 14 Grad betragen soll, so ist die vordere Erhebung der 2 m breiten Fläche $H = 2 \sin 14$ Grad oder 0,49 m. Den Sinus entnimmt man aus dem Anhang dieses Buches. Nun zeichnet man sich ein Rechteck von 49 cm Höhe und $2 \cos 14$ Grad oder 1,94 m oder 194 cm Breite, das die Sehne des Tragdecks diagonal mit einer Länge von 2 m durchspannt, wie Figur 44 erkennen lässt. Das Rechteck enthält das rechtwinklige Koordinatensystem, in das die Kurve nach ihrer Gleichung $y = k x^2$ nun einzuzeichnen ist. Die y Achse ist die

linke Seite des Rechtecks, die x Achse die obere Seite. Im oberen linken Eckpunkt ist $y = 0$ und $x = 0$; im unteren linken Eckpunkt ist $x = 194$, gleich der Breite des Rechtecks, und $y = 49$, gleich der Höhe des Rechtecks, entsprechend dem geforderten Flugwinkel von 14° . Da für jeden Punkt der Kurve die Gleichung erfüllt sein muss, so ist also $49 = k \cdot 194^2$ oder $49 = k \cdot 37600$, woraus folgt: $k = 49 : 37600 = 0,0013$. Für andre Dispositionen nimmt natürlich k einen andern Wert an, für diese Kurve aber ist nun stets $k = 0,0013$. Für $x = 180$ finden wir daraus: $y = 0,0013 \cdot x^2 = 0,0013 \cdot 180^2 = 0,0013 \cdot 32500$, oder $y = 42$.



Figur 45.

Diesen Wert trägt man nun nach unten ab. Für andere Werte von x ergibt sich ungefähr:

$x =$	20	40	60	80	100	120	140	160	180	194
$y =$	0,5	2	5	8	13	19	25	33	42	49

Hat man dann diese Werte alle abgetragen, wozu man noch beliebig viele Zwischenwerte hinzu rechnen kann, so verbindet man sie durch einen Kurvenzug, der die gesuchte Wurfparabel darstellt. Wie man sieht, gleicht sie fast einem Kreisbogen.

Konstruktion der Streckparabel.

Hierzu stellt man sich zunächst ein gleiches Rechteck her, in das man nun in derselben Weise die Streckparabel von der Gleichung $y = k x^n$ einträgt, worin n grösser als 1 und kleiner als 2 sein muss. In Figur 45 ist eine Streckparabel von der Gleichung $y = k x^{1,5}$ eingetragen ($n = 1,5$).

Für $x = 0$ ist wieder $y = 0$; für $x = 194$ ist $y = 49$, woraus man erhält: $k = 49 : 194^{2,5} = 49 : 2700 = 0,0180$. Daraus erhält man für $x = 180$, $y = 0,0180 \cdot 180^{2,5} = 43$. Zur Ermittlung der Werte von x^n bedient man sich der Logarithmentafel im Anhang dieses Buches nach der Anleitung dazu. Auf diese Art findet man für

$x = 20$	40	60	80	100	120	140	160	180	194
$y = 1,3$	4,5	8,5	13	18	24	30	37	43	49

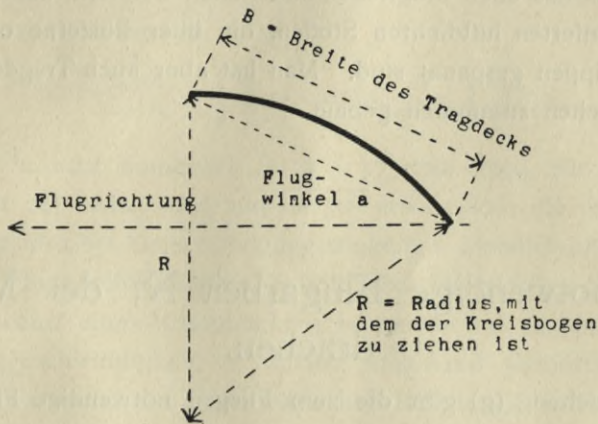
Verbindet man die Punkte dann miteinander, so erhält man die Streckparabel. Wie man aus der Figur 45 sehen kann, ist sie viel schlanker, als die gemeine Parabel.

Konstruktion des Tragdecks nach einem Kreisbogen.

Die günstigste Form für Tragdecken ist die parabolische Form, aber auch Tragdecken mit kreisbogenförmigem Profil haben gute Resultate gegeben. Da sich die kreisbogenförmige Gestalt der Tragdecken leichter festlegen lässt, als die parabolische, so sei hier auch auf diese näher eingegangen.

Für jedes Tragdeck von einer bestimmten Breite B , das unter einem bestimmten Flugwinkel a gegen die Flugrichtung arbeiten soll, existiert nur ein passender Kreisbogen, durch den es geformt werden kann. Nennt man R Meter den Radius dieses Kreisbogens, so ist $R = B : (2 \sin a)$ Meter. In Figur 46 sind diese Verhältnisse veranschaulicht. Man sieht den Kreisbogen, nach dem das Tragdeck gebogen ist, dessen Sehne B man die Breite des Tragdecks nennt. Die Neigung dieser Sehne B gegen die Flugrichtung ist der Flugwinkel a . Von dem Kreisbogen wird nun verlangt, dass seine Richtung, seine „Tangente“ an der Vorderkante des Tragdecks parallel mit der Flugrichtung ist, damit hier die Luft zunächst ohne Stoss, ohne plötzliche gewaltsame Ablenkung unter

die Tragfläche treten kann, weil dadurch Stossverluste entstehen, und dass zweitens eben die Sehne B über die Spannung des Tragdecks so gezogen werden kann, dass sie mit der Flugrichtung den Winkel α einschliesst. Diese Forderungen werden erfüllt, wenn man den Kreisbogen von einem Punkte aus zieht, von dem er $R = B : (2 \sin \alpha)$ Meter entfernt ist. Dieser Punkt liegt rechtwinklig zur Flugrichtung unter der Vorderkante des Tragdecks.



Figur 46.

Von der Grösse des Radius R für Tragdecken üblicher Abmessungen gibt nachstehende Tabelle für verschiedene Flugwinkel eine kleine Übersicht:

Flugwinkel a	der Radius R, (Meter), mit dem der Formkreisbogen des Tragdecks zu ziehen ist, wenn das Tragdeck					
	1,5	2	2,5	3	Meter breit ist oder $B \times$ 2,88 Meter	
10	2,88	4,3	5,8	7,2	8,6	„ $B \times 2,72$ „
11	2,72	4,1	5,4	6,8	8,2	„ $B \times 2,40$ „
12	2,40	3,6	4,8	6,0	7,2	„ $B \times 2,22$ „
13	2,22	3,3	4,4	5,6	6,7	„ $B \times 2,07$ „
14	2,07	3,1	4,1	5,2	6,2	„ $B \times 1,94$ „
15	1,94	2,9	3,9	4,9	5,8	„ $B \times 1,81$ „
16	1,81	2,7	3,6	4,5	5,4	„ $B \times 1,62$ „
18	1,62	2,4	3,2	4,1	4,8	„ $B \times 1,47$ „
20	1,47	2,2	2,9	3,7	4,4	„ $B \times 1,12$ „
25	1,12	1,7	2,2	2,8	3,4	„ $B \times 1$ „
30	1	1,5	2	2,5	3	„ $B \times 1$ „

Der Aufbau der Tragdecks.

Die Tragdecks werden in der mannigfachsten Weise aufgebaut, ein Eingehen darauf würde hier zu weit führen, es muss auf mein „Hilfsbuch für den Luftschiff- und Flugmaschinenbau“, oder „Der praktische Flugtechniker“ oder „Konstruktionsblätter für Flugtechniker“ verwiesen werden. (Die Bücher sind im gleichen Verlag erschienen.) Nur soviel sei erwähnt, dass man heute die Tragdecks aus allen möglichen Materialien herstellt, zumeist aber aus gummierten luftdichten Stoffen, die über hölzerne oder metallene Rippen gespannt sind. Man hat aber auch Tragdecks aus Metallblechen zusammen gebaut.

Die notwendige Flugarbeit N_i der Motor- drachen.

Gleichung (g) gibt die zum Fliegen notwendige Flugarbeit in kgm/sek. an; drücken wir die Flugarbeit in P/S aus, so wird N_i , die reine Flugarbeit im Sinne dieser Anschauung von den Vorgängen an den Tragflächen

$$12) \quad N_i = \frac{0,52}{75} F V^3 \sin^3 \alpha \text{ P/S,}$$

worin F der Flächeninhalt der Tragdecks in qm und V die Flugeschwindigkeit in m/sek. bedeutet. Bei einem niederen als dem normalen Barometerstand nimmt die Flugarbeit N_i ab; da aber wie Gleichung 9 zeigt, die Hubkraft der Tragdecks ebenfalls abnimmt und zur Ausgleichung dieser Abnahme in höheren Fluglagen der Neigungswinkel der Tragdecke gegen die Horizontale entsprechend vergrößert werden muss, so bleibt N_i praktisch konstant.

Die Hubkraft per Pferdestärke reiner Flugarbeit wird

$$13) \quad \frac{P}{N_i} = \frac{75}{V \operatorname{tg} \alpha}$$

Hieraus erhält man zunächst

$$a) \quad N_i = \frac{P V \operatorname{tg} a}{75} P/S$$

Nun ist nach (9)

$$b) \quad P = 0,52 F V^2 \cos a \sin^2 a \text{ kg,}$$

also; wenn wir $P = G$, gleich dem gesamten Gewicht der Flugmaschine setzen:

$$c) \quad V = \frac{1,386}{\sin a} \frac{1}{\sqrt{\cos a}} \sqrt{\frac{G}{F}} \text{ m/sek.};$$

setzt man (c) in (a) ein, so wird

$$14) \quad N_i = \frac{1,386}{\cos^{3/2} a} \frac{G}{75} \sqrt{\frac{G}{F}} = 0,0185 \frac{G}{\cos^{3/2} a} \sqrt{\frac{G}{F}} P/S.$$

Der $\cos^{3/2} a$ wird numerisch für $a = 5^0$ etwa 0,994, für 10^0 etwa 0,977 für 20^0 etwa 0,912 und für 30^0 etwa 0,806; die reine Flugarbeit ist also bei kleinen Neigungswinkeln a ziemlich unabhängig von der Fluggeschwindigkeit, es gilt also der wichtige Satz: Der Energiebedarf eines Motordrachsens ist annähernd unabhängig von der Fluggeschwindigkeit, er wächst annähernd proportional mit der Quadratwurzel aus der spezifischen Belastung des Tragdecks! Nach Gleichung 12 nimmt N_i mit der dritten Potenz der Bewegungsgeschwindigkeit V zu, aber mit dem Neigungswinkel a ab. Nach Gleichung 9 nimmt die Tragkraft eines Tragdecks mit dem Quadrat der Geschwindigkeit V und mit dem Neigungswinkel a zu; nach 14 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), ohne etwas am Motor ändern zu müssen. Man kann aber einen bereits ausgeführten Motordrachen 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 Motor nur N_i P/S 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 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 Schiffspropeller gleicher Leistung.

Die notwendige Motorstärke bei Motordrachen, der theoretische Treibschraubenwirkungsgrad η , und der Ausführungswirkungsgrad η' .

Ist η der Wirkungsgrad der Treibschraube des Motordrachsens, so müsste sein Motor an der Treibschraubenwelle $N'_e = N_i : \eta$ PS leisten können. Nach Gleichung (30) des „Hilfsbuch für den Luftschiff- und Flugmaschinenbau“ im Abschnitt „Der theoretisch erreichbare Wirkungsgrad der Treibschrauben“ ist nun

$$\eta = \frac{V}{V + \frac{1,386}{\cos^{3/2}c} \sqrt{\frac{T}{f}}}$$

oder für regulär gebaute Schrauben

$$\eta = \frac{V}{V + \frac{3,5}{\cos^{3/2}c} \frac{VT}{D}}$$

worin T der Triebdruck der Triebschraube, c ihr mittlerer Treibwinkel, D ihr Durchmesser und f der Flügel-Flächeninhalt ist. Wenn wir vom Widerstand der Stirnflächen des Motordrachsens absehen, wird $T = (N_i : 75) : V$ kg, da natürlich $N_i = (TV) : 75$ PS ist. Setzen wir diesen Wert ein, so kommt

$$15) \quad \eta = \frac{V}{V + \frac{12}{\cos^{3/2} c} \sqrt{\frac{N_i}{Vf}}}, \text{ oder } \frac{V}{V + \frac{30,3}{D \cos^{3/2} c} \sqrt{\frac{N_i}{V}}}$$

Der letztere Wert gilt für reguläre gebaute Treibschrauben, deren Flügelfläche $\frac{1}{5}$ des gesamten Flügelkreises an Flächeninhalt enthält. Aus (15) erhält man als notwendige Motorleistung an der Treibschraubenwelle allgemein:

$$16) \quad N'_e = \frac{N_i}{\eta} = \frac{N_i}{V} \left(V + \frac{12}{\cos^{3/2} c} \sqrt{\frac{N_i}{Vf}} \right) \text{ PS}$$

Faktisch wird aber das Flugschiff die grössere Motorleistung $N_e = N'_e : \eta'$ beanspruchen, wenn wir η' oder das Verhältnis $N'_e : N_e$ den Ausführungswirkungsgrad nennen.

Die annähernde Bewertung von Motordrachen.

Ein allgemeiner Wirkungsgrad von 50⁰/₀ scheint leicht erreichbar zu sein; wir können deshalb zur annähernden Bestimmung der Motorstärke für einen Motordrachen ohne weiteres schreiben

$$17) \quad N_e = 2,8 \frac{G}{75} \sqrt{\frac{G}{F}} = \frac{G}{27} \sqrt{\frac{G}{F}} = 0,037 G \sqrt{\frac{G}{F}} \text{ PS}$$

worin N_e die Motorstärke bezeichnet, mit der der Flieger auch bei mittelmässiger Ausführung auskommt. Für einen allgemeinen Wirkungsgrad von 70⁰/₀, der bei den besten Ausführungen erreicht wird, ist:

$$18) \quad N_e = 0,027 G \sqrt{\frac{G}{F}}$$

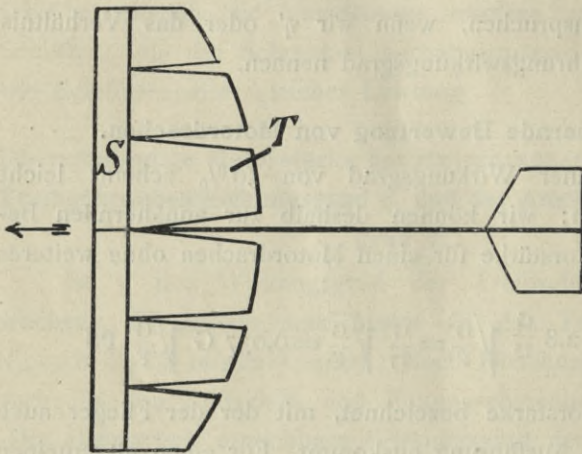
Löst man (17) nach G auf, so kommt

$$19) \quad G = 9 \sqrt[3]{F \cdot N_e^2} \text{ kg,}$$

woraus die Abhängigkeit des zulässigen Fluggewichtes von der Motorstärke N_e und den Tragflächen F zu erkennen ist. Von G hängt die Brauchbarkeit der Flugmaschine ab, ist G gross, so kann man einen soliden Motor in den Apparat einsetzen, und ihn auch sonst solide aufbauen.

Elastische Tragdecks.

Wir wissen, dass man ein Tragdeck nur für eine einzige Flugeschwindigkeit richtig konstruieren kann. Viel besser ist ein Vogel daran, der seine Flügel der Flugeschwindigkeit entsprechend krümmen kann, wenigstens in weiteren Grenzen. Ein ähnliches Ziel verfolgt Prandl mit seinem Vorschlag elastischer Tragdecks, der in Figur 47 illustriert ist. („Betrachtungen über das Flugproblem“ von Prof. Dr. L. Prandl in Heft 18 von 1910 der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure.)



Figur 47.

Die Tragdecks T sind quer geschlitzt, und sollen deshalb ihre Krümmung der jeweiligen Beanspruchung leichter anpassen können. Die Vorderkante S bleibt dabei starr, und verändert nicht ihre richtige Einstellung. Es wird gehofft, dass ein

Motordrachen mit solchen Tragdecks besser in böigem Winde fliegt, als ein solcher mit starren Tragdecks. Man stelle sich z. B. folgendes vor: Der Motordrachen fliege eben mit einer Flugeschwindigkeit von 18 m/sek. gegen einen Wind von 10 m/sek., und befinde sich in vollkommenem Gleichgewicht. Er wird dann absolut 8 Meter in der Sekunde zurücklegen. Der Wind sei aber nicht stetig, sondern böig, und setze plötzlich aus. Nun plötzlich besitzt der Drachen also nur 8 m/sek. Flugeschwindigkeit, bei der er nicht fliegen können. Er muss sich nun schleunigst wieder 18 m/sek. Flugeschwindigkeit holen. Befindet sich der

Drachen hoch in der Luft, so hat das weiter keine Schwierigkeiten. Durch eine kurze Fallbewegung kann er schnell eine höhere Fluggeschwindigkeit erlangen. Schwieriger wird aber seine Lage, wenn nicht genügend Raum unter ihm zur Verfügung steht. Hier soll nun das elastische Tragdeck helfen, indem es bei abflauendem Winde sich momentan stärker krümmt, wodurch ja die Tragfähigkeit der Tragdecks zunimmt und dem Drachen mehr Zeit zur Korrigierung seiner Fluggeschwindigkeit gelassen wird.

Barometerstand und Flugversuche.

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 (9). 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. Gleichung 11 bewertet diese Verhältnisse. Auch mit zunehmender Lufttemperatur und mit der erreichten Flughöhe nimmt die Wirkung der Tragdecken bezüglich ihrer Hubkraft ab.

Demnächst erscheint von gleichem Verfasser:

Konstruktionsblätter für Flugtechniker.

Bd. I: Der Schrauben(Propeller)-Konstrukteur.

Eine neue elementare und erschöpfende Theorie der Treib- und Tragschrauben für Luft- und Wasserfahrzeuge und Anleitung zur Ausführung von günstig wirkenden Treib- und Tragschrauben. ca. M. 2,25.

Anhang I.

Das Rechnen mit Logarithmen.

Die Basis der Briggschen Logarithmen ist die Zahl 10. Ist irgend eine Zahl $A = 10^a$, eine andere Zahl $B = 10^b$, so nennt man a resp. b die Briggschen Logarithmen der Zahl (oder des Numerus) A oder B . Es ist z. B. die Zahl $2 = 10^{0,30103}$; der Briggsche Logarithmus von 2 ist demnach 0,30103. Ferner ist $20 = 10^{1,30103}$, und $200 = 10^{2,30103}$, $2000 = 10^{3,30103}$. Die Zahl 0 resp. 1 resp. 2 resp. 3 etc. vor dem Logarithmus nennt man seine „Charakteristik“, sie gibt an, in welchem Zahlenbereich der Numerus liegt. Die Logarithmen der Numeri bis 9,999999 . . . haben also die Charakteristik 0, die von 10 bis 99,9999 . . . haben 1 als Charakteristik des Logarithmus. Die Stellen hinter dem Komma des Logarithmus nennt man seine „Mantisse“. Die Rechnung mit Logarithmen ist deshalb vorteilhaft, weil:

$$A \text{ mal } B = 10^a \text{ mal } 10^b = 10^{a+b},$$

$$A \text{ durch } B = 10^a \text{ durch } 10^b = 10^{a-b},$$

$$A^n = (10^a)^n = 10^{n \cdot a},$$

$$\sqrt[n]{A} = \sqrt[n]{10^a} = 10^{a:n}$$

ist. Multiplikationen werden also auf Additionen, Divisionen auf Subtraktionen, Potenzierungen auf Multiplikationen, und Radizierungen auf Divisionen zurückgeführt, die Rechnungen demnach sehr vereinfacht. Soll zum Beispiel 0,018 mit 1260 multipliziert werden, so verfährt man wie folgt: Der Logarithmus von 0,018 befindet sich nicht in den Logarithmentafeln, da der Numerus kleiner als 1 ist. Solche Logarithmen sind negativ. Auf Näheres hierüber wollen wir uns an dieser Stelle nicht einlassen. Man hilft sich aber sehr einfach dadurch, dass man schreibt $\log 0,018 = \log (1,8 : 100)$, was nach dem obigen Schema gleich ist $\log 1,8 - \log 100$. Nun ist $\log 1,8 = 0,25527$, und $\log 100 = 2$, folglich ist $\log 0,018 = 0,25527 - 2$. Den Logarithmus von 1260

entnehmen wir ohne weiteres der Tabelle. Beachten wir, dass die Zahl, der Numerus 4stellig ist, dass dem Logarithmus also die Charakteristik 3 zukommt, so müssen wir schreiben: $\log 1260 = 3,10037$. Man erhält jetzt: $0,018$ mal 1260 ist gleich dem Numerus der Summe der Logarithmen von $0,018$ plus 1260 , gleich $(0,25527 - 2)$ plus $3,10037$ oder gleich $1,35564$. Die Charakteristik 1 zeigt an, dass der Numerus 2stellig ist. Die Tafel ergibt nun, dass $0,018$ mal $1260 = 22,7$ ist. Genauer erhält man den Wert durch Interpolation, wovon weiter unten ein Beispiel folgt, mit $22,68$. Solche Genauigkeit ist aber in den weitaus häufigsten Fällen nicht notwendig. Der Techniker sieht stets darauf, dass er Rechnungen nicht genauer durchführt, als der Genauigkeit der Werte entspricht, die er in die Rechnungen einsetzt.

Besondere Schwierigkeiten pflegen Anfängern Rechnungen von der Form $y = k x^n$ zu machen, namentlich, wenn n keine ganze Zahl ist. Im Absatz „Konstruktion der Streckparabel“ sind solche Rechnungen zur Anwendung gekommen. Mit Hilfe einer Logarithmentafel lassen sich die Gleichungen am leichtesten ausrechnen. Es sei $y = 49$ und $x = 194$, und k solle bestimmt werden, wenn $n = 1,5$ ist. Aus der Logarithmentafel entnimmt man: $\log 194 = 2,28780$, dann wird demnach: $\log x^n = \log 194^{1,5} = 1,5 \log 194 = 3,43170$. Da der Logarithmus die Charakteristik 3 besitzt, so ist der dazugehörige Numerus also 4stellig; aus der Tafel ergibt sich dann: $x^n = 2700$. Für technische Rechnungen ist eine grössere Genauigkeit nicht nötig. Will man das Resultat für irgendeinen Zweck aber genauer ermitteln, so beachtet man, dass $\log 2700 = 3,43136$ ist, ferner ist $\log 2710 = 3,43297 = 3,43136 + 0,00161$. Der $\log x^n$ ist gleich $3,43170 = 3,43136 + 0,00034$. Der gesuchte Numerus wird deshalb um $10 \frac{0,00034}{0,00161} = 2,1$ grösser sein als 2700 , gleich $2702,1$. Rechnen wir nun k aus, so kommt $k = y : x^n = 49 : 2700 \cong 0,018$. Man kann die Division auch logaritimisch ausführen: Es ist $\log (y : x^n) = \log 49 - \log 194^{1,5} = 1,69020 - 3,43170 = 0,25850 - 2$; aus der

Tafel finden wir, dass der Numerus des Logarithmus 0,25850 die Zahl 1,8 ist (mit genügender Genauigkeit), der Numerus von 2 ist 100, die gesuchte Zahl demnach $1,8 : 100 = 0,018$.

Man kann derartige Rechnungen auch ohne Logarithmen errechnen. Zu diesem Zweck hat man sich die Zahl n in einen Bruch zu verwandeln. In unserm Beispiel ist $n = 1,5 = 3/2$. Nun ist $x^{3/2} = \sqrt{x^3}$. Will man $194^{1,5}$ bilden, so hat man die Zahl also zuerst in die dritte Potenz zu erheben; $194^3 = 7301384$; und hieraus zieht man die Quadratwurzel aus, gibt ~ 2700 . Man kann auch zuerst aus 194 die Quadratwurzel ausziehen, und diese dann in die dritte Potenz erheben. Das kommt auf dasselbe heraus.

Man kann Potenzen-Rechnungen auch durch Reihenentwicklung erledigen. Hierzu gehören aber einige matematische Fertigkeiten. Am einfachsten ist die Logarithmen-Rechnung.



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; $\sin a = \sqrt{1 - \cos^2 a} = \cos(90^\circ - a)$

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sin a}{\cos a}$$

Anhang I.

Mantissen der Briggs'schen Logarithmen.

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	00 000	00 432	00 860	01 284	01 703	02 119	02 531	02 938	03 342	03 743
11	04 139	04 532	04 922	05 308	05 690	06 070	06 446	06 819	07 188	07 555
12	07 918	08 279	08 636	08 991	09 342	09 691	10 037	10 380	10 721	11 059
13	11 394	11 727	12 057	12 385	12 710	13 033	13 354	13 672	13 988	14 301
14	14 613	14 922	15 229	15 534	15 836	16 137	16 435	16 732	17 026	17 319
15	17 609	17 898	18 184	18 469	18 752	19 033	19 312	19 590	19 866	20 140
16	20 412	20 683	20 952	21 219	21 484	21 748	22 011	22 272	22 531	22 789
17	23 045	23 300	23 553	23 805	24 055	24 304	24 551	24 797	25 042	25 285
18	25 527	25 768	26 007	26 245	26 482	26 717	26 951	27 184	27 416	27 646
19	27 875	28 103	28 330	29 556	28 780	29 003	29 226	29 447	29 667	29 885
20	30 103	30 320	30 535	30 750	30 963	31 175	31 387	31 597	31 806	32 015
21	32 222	32 428	32 634	32 838	33 041	33 244	33 445	33 646	33 846	34 044
22	34 242	34 439	34 635	34 830	35 025	35 218	35 411	35 603	35 793	35 984
23	36 173	36 361	36 549	36 736	36 922	37 107	37 291	37 475	37 658	37 840
24	38 021	38 202	38 382	38 561	38 739	38 917	39 094	39 270	39 445	39 620
25	39 794	39 967	40 140	40 312	40 483	40 654	40 824	40 993	41 162	41 330
26	41 497	41 664	41 830	41 996	42 160	42 325	42 488	42 651	42 813	42 975
27	43 136	43 297	43 457	43 616	43 775	43 933	44 091	44 248	44 404	44 560
28	44 716	44 871	45 025	45 179	45 332	45 484	45 637	45 788	45 939	46 090
29	46 240	46 389	46 538	46 687	46 835	46 982	47 129	47 276	47 422	47 567
30	47 712	47 857	48 001	48 144	48 287	48 430	48 572	48 714	48 855	48 996
31	49 136	49 276	49 415	49 554	49 693	49 831	49 969	50 106	50 243	50 379
32	50 515	50 651	50 786	50 920	51 055	51 188	51 322	51 455	51 587	51 720
33	51 851	51 983	52 114	52 244	52 375	52 504	52 634	52 763	52 892	53 020
34	53 148	53 275	53 403	53 529	53 656	53 782	53 908	54 033	54 158	54 283
35	54 407	54 531	54 654	54 777	54 900	55 023	55 145	55 267	55 388	55 509
36	55 630	55 751	55 871	55 991	56 110	56 229	56 348	56 467	56 585	56 703
37	56 820	56 937	57 054	57 171	57 287	57 403	57 519	57 634	57 749	57 864
38	57 978	58 082	58 206	58 320	58 433	58 546	58 659	58 771	58 883	58 995
39	59 106	59 218	59 329	59 439	59 550	59 660	59 770	59 879	59 988	60 097
40	60 206	60 314	60 413	60 531	60 638	60 746	60 853	60 959	61 066	61 172
41	61 278	61 384	61 490	61 595	61 700	61 805	61 909	62 014	62 118	62 221
42	62 325	62 428	62 531	62 634	62 737	62 839	62 941	63 043	63 144	63 246
43	63 347	63 448	63 548	63 649	63 749	63 849	63 949	64 048	64 147	64 246
44	64 345	64 444	64 542	64 640	64 738	64 836	64 933	65 031	65 128	65 225
45	65 321	65 418	65 514	65 610	65 706	65 801	65 896	65 982	66 087	66 181
46	66 276	66 370	66 464	66 558	66 652	66 745	66 839	66 932	67 025	67 117
47	67 210	67 302	67 394	67 486	67 578	67 669	67 761	67 852	67 943	68 034
48	68 124	68 215	68 305	68 395	68 485	68 574	68 664	68 753	68 842	68 931
49	69 020	69 108	69 197	69 285	69 373	69 461	69 548	69 636	69 723	69 810
50	69 897	69 984	70 070	70 157	70 243	70 329	70 415	70 501	70 586	70 672
51	70 757	70 842	70 927	71 012	71 096	71 181	71 265	71 349	71 433	71 517
52	71 600	71 684	71 767	71 850	71 933	72 016	72 099	72 181	72 263	72 346
53	72 428	72 509	72 591	72 673	72 754	72 835	72 916	72 997	73 078	73 159
54	73 239	73 320	73 400	73 480	73 560	73 640	73 719	73 799	73 878	73 957

Anhang I.

Mantissen der Briggs'schen Logarithmen.

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	74 086	74 115	74 194	74 273	74 351	74 429	74 507	74 586	74 663	74 741
56	74 819	74 896	74 974	75 051	75 128	75 205	75 282	75 358	75 435	75 511
57	75 587	75 664	75 740	75 815	75 891	75 967	86 042	76 118	76 193	76 268
58	76 343	76 418	76 492	76 567	76 641	76 716	76 790	76 864	76 938	77 012
59	77 085	77 159	77 232	77 305	77 379	77 452	77 525	77 597	77 670	77 743
60	77 815	77 887	77 960	78 032	78 104	78 176	78 247	78 319	78 390	78 462
61	78 533	78 604	78 675	78 746	78 817	78 888	78 958	79 029	79 099	79 169
62	79 239	79 309	79 379	79 449	79 518	79 588	79 657	79 727	79 796	79 865
63	79 934	80 003	80 072	80 140	80 209	80 277	80 346	80 414	80 482	80 550
64	80 618	80 686	80 754	80 821	80 889	80 956	81 023	81 090	81 158	81 224
65	81 291	81 358	81 425	81 491	81 558	81 624	81 690	81 757	81 823	81 889
66	81 954	82 020	82 086	82 151	82 217	82 282	82 347	82 413	82 478	82 543
67	82 607	82 672	82 737	82 802	82 866	82 930	82 995	83 059	83 123	83 187
68	83 251	83 315	83 378	83 442	83 506	83 569	83 632	83 696	83 759	83 822
69	83 885	83 948	84 011	84 073	84 136	84 198	84 261	84 223	84 386	84 448
70	84 510	84 572	84 634	84 696	84 757	84 819	84 880	84 942	85 003	85 065
71	85 126	85 187	85 248	85 309	85 370	85 436	85 491	85 552	85 612	85 673
72	85 733	85 794	85 854	85 914	85 964	86 034	86 094	86 153	86 213	86 273
73	86 332	86 392	86 451	86 510	86 570	86 629	86 688	86 747	86 806	86 864
74	86 923	86 982	87 040	87 099	87 157	87 216	87 274	87 332	87 390	87 448
75	87 506	87 564	87 622	87 679	87 737	87 795	87 852	87 910	87 967	88 024
76	88 081	88 138	88 195	88 252	88 309	88 366	88 423	88 480	88 536	88 593
77	88 649	88 705	88 762	88 818	88 874	88 930	88 986	89 042	89 098	89 154
78	89 209	89 265	89 321	89 376	89 432	89 487	89 542	89 597	89 653	89 708
79	89 763	89 818	89 873	89 927	89 982	90 037	90 091	90 146	90 200	90 255
80	90 309	90 363	90 417	90 472	90 526	90 580	90 634	90 687	90 741	90 795
81	90 849	90 902	90 956	91 009	91 062	91 116	91 169	91 222	91 275	91 328
82	91 381	91 434	91 487	91 540	91 593	91 645	91 698	91 751	91 803	91 855
83	91 908	91 960	92 012	92 065	92 117	92 169	92 221	92 273	92 324	92 376
84	92 428	92 480	92 531	92 583	92 634	92 686	92 737	92 788	92 840	92 891
85	92 942	92 993	93 044	93 095	93 146	93 197	93 247	93 298	93 349	93 399
86	93 450	93 500	93 551	93 601	93 651	93 702	93 752	93 802	93 852	93 902
87	93 952	94 002	94 052	94 101	94 151	94 201	94 250	94 300	94 349	94 399
88	94 448	94 498	94 547	94 596	94 645	94 694	94 743	94 792	94 841	94 890
89	94 939	94 988	95 036	95 085	95 134	95 182	95 231	95 279	95 328	95 376
90	95 424	95 472	95 521	95 569	95 617	95 665	95 713	95 761	95 809	95 856
91	95 904	95 952	95 999	96 047	96 095	96 142	96 190	96 237	96 284	96 332
92	96 379	96 426	96 473	96 520	96 567	96 614	96 661	96 708	96 755	96 802
93	96 848	96 895	96 942	96 988	97 035	97 081	97 128	97 174	97 220	97 267
94	97 313	97 359	97 405	97 451	97 497	97 543	97 589	97 635	97 681	97 727
95	97 772	97 818	97 864	97 909	97 955	98 000	98 046	98 091	98 137	98 182
96	98 227	98 272	98 318	98 363	98 408	98 453	98 498	98 543	98 588	98 632
97	98 677	98 722	98 767	98 811	98 856	98 900	98 945	98 989	99 034	99 078
98	99 123	99 167	99 211	99 255	99 300	99 344	99 388	99 432	99 476	99 520
99	99 564	99 607	99 651	99 695	99 739	99 782	99 826	99 870	99 913	99 957

Verlag von C. J. E. Volckmann Nachfolger (E. Wette).
Rostock i. M.

Ballon- und Flugmotoren

Ihre technische Entwicklung und gegenwärtige Gestaltung.

von **A. Haenig**, Ingenieur.

==== Mit 111 Abbildungen und 5 Tabellen. ====

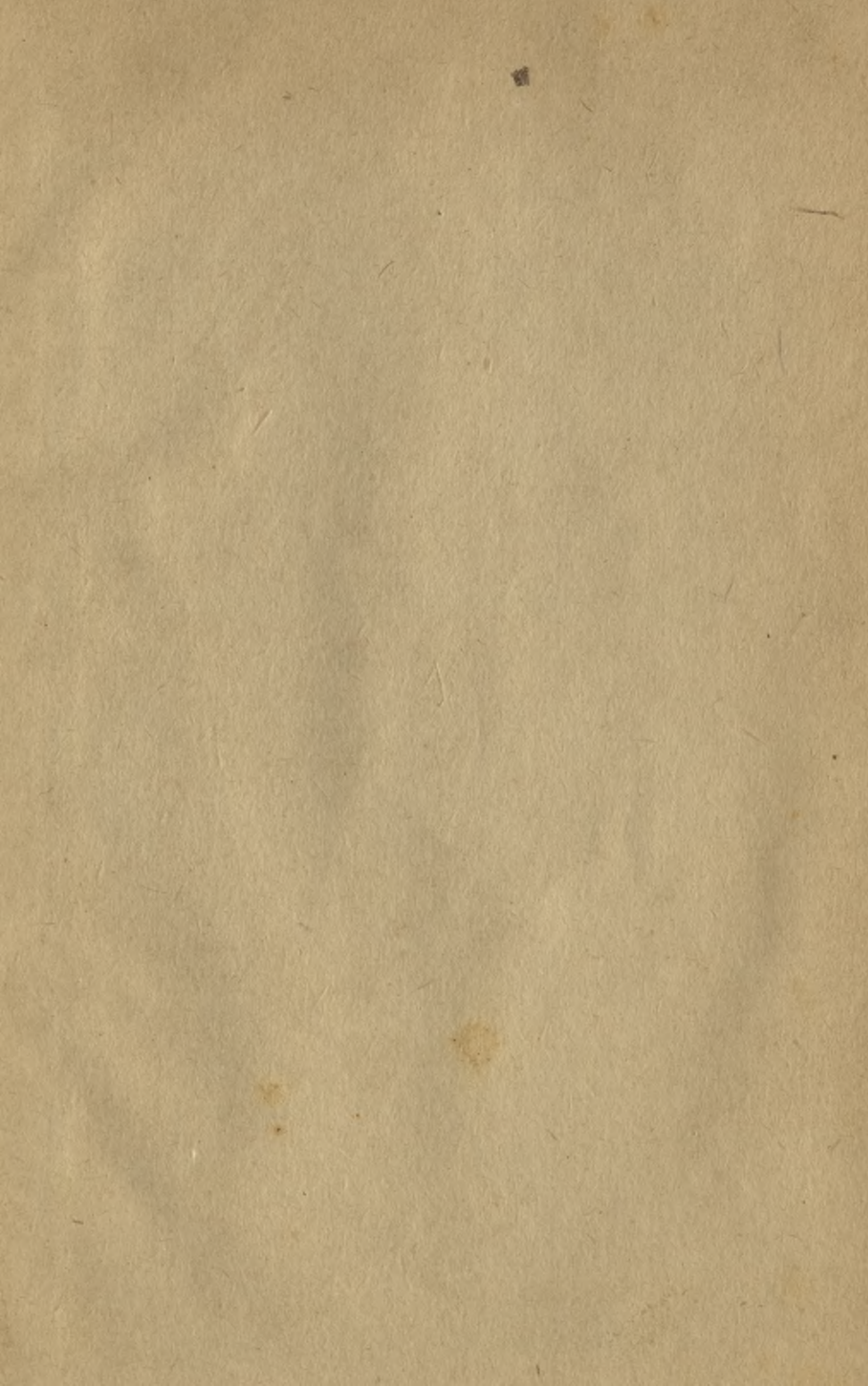
Mark 5,50, in Leinen geb. Mark 6.50.

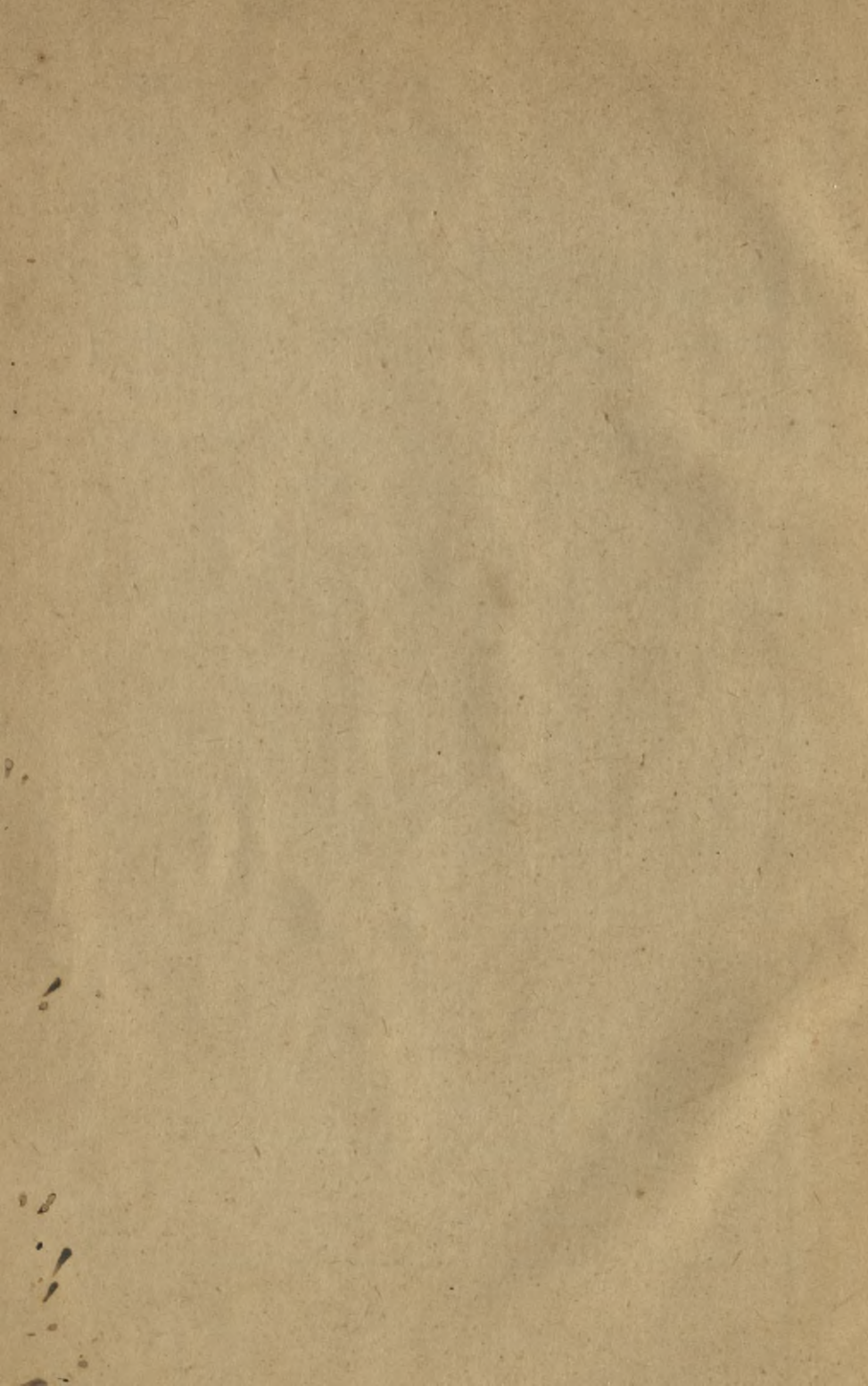
Urteile: Mit grossem Fleiss und grosser Sorgfalt hat Verfasser alles Wissenswerte über die Luftschiffmotoren zusammengestellt. Nach einer kurzen historischen Einleitung gibt er zunächst eine allgemeine Übersicht über die zu stellenden Anforderungen, und erörtert dann die Möglichkeit, diese Anforderungen zu erfüllen. Interessant ist hierbei die Zusammenstellung, dass in bezug auf die Zylinder grosse Verschiedenheiten obwalten; ihre Zahl schwangt zwischen 2 $\frac{1}{2}$ bei Santos Dumont und 16 bei Antoinette. Die Verminderung der Motorgewichte im Verhältnis zu ihrer Pferdestärke zeigt, dass man von 290 kg pro PS bei Giffard im Jahre 1852, heute bis zu 1 kg für die Pferdestärke beim 100 PS-Motor von Levavasseur gelangt ist. Ganz besonders bemerkenswert ist in dem Werke die Aufzählung der 11 deutschen Flugmotoren, bei denen die ältesten und grössten Firmen beteiligt sind, Firmen, welche lediglich den Motorbau betreiben. Deshalb muss ganz besonders hervorgehoben werden, dass die Luftfahrzeug-Baugesellschaft E. Rumpler in Berlin ausser den Motoren auch Flugmaschinen anfertigt. Von ausländischen Maschinen werden noch besprochen: dreizehn französische, eine amerikanische, zwei belgische, eine dänische, drei englische und eine italienische. Das knapp und klar beschriebene Werk ist allen Luftschiffern aufs beste zu empfehlen.

(Die Luftflotte, Juni 1910).

In klaren sachlichen Ausführungen behandelt A. Haenig die Entstehungsgeschichte der Motoren für Luft- und Flugschiffe. Er führt nach einer historischen Einleitung aus, welche Ansprüche an den Ballon und Flugmotoren gestellt werden müssen und wie die moderne Technik diesen Ansprüchen zu genügen sucht. Der zweite Teil des Haenigschen Werkes ist der Praxis gewidmet, beschreibt nach Ländern geordnet die vorhandenen deutschen, französischen, amerikanischen, belgischen, dänischen, englischen und italienischen Motoren. Gute Abbildungen und schematische Zeichnungen helfen das Verständnis der Ausführung erleichtern. Wir können die Arbeit Haenigs allen Freunden und Interessenten der Motorluftschiffahrt und der Flugmaschinen nur wärmstens empfehlen.

(Luftschiffahrt, Flugtechnik und Sport, 19. April 1910).





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000299337