

# Über die Wirkung des Windes auf schwach gewölbte Flächen

A. v. Obermayer,

M. k. Akad.

Mit 8 Textfiguren.)

In jüngster Zeit ist dem Segelfluge der Vögel besondere Aufmerksamkeit zugewendet und das Interesse daran noch durch den Umstand erhöht worden, dass es Herrn O. Lilienthal in Berlin nach langjährigen, mühevollen, mit seltener Ausdauer geführten Versuchen gelungen ist, einen Flugapparat zu construiren, mittelst dessen es möglich ist, sich über einen Hang herablaufend in die Luft zu erheben und unter Benützung des Windes eine grössere Strecke nach Art der Segelvögel schwebend zurückzulegen.<sup>1</sup>

Zur Erklärung des Segelfluges werden die zwei folgenden, zuerst aus den Versuchen von Lilienthal, später aus solchen von G. Wellner in Brünn über den Luftwiderstand gewölbter Flächen gefolgerten Sätze benützt:

1. Besitzen solche Flächen, wenn sie unter geringer Neigung gegen die Luft bewegt werden, ein weitaus grösseres Tragvermögen als ebene Flächen.

2. Eine schwach gewölbte Fläche, horizontal gelagert und unter einem gewissen Winkel nach abwärts bewegt, vergrössert zufolge des Luftwiderstandes selbständig ihre horizontale Geschwindigkeit.<sup>2</sup>

---

Zeitschrift für Luftschiffahrt und Physik der Atmosphäre, redigirt von Dr. V. Kremser in Berlin. XII. Jahrgang, S. 259—272.

Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst, von Otto Lilienthal in Berlin, 1889, S. 100.

Das letztere Resultat wird sowohl aus den nach verschiedenen Methoden angestellten Versuchen von Lilienthal, als auch aus den nach einer wesentlich verschiedenen Methode angestellten Versuchen von G. Wellner<sup>1</sup> gefolgert. Dieser letztere Experimentator fasst seine Versuchsergebnisse in folgende Sätze zusammen: »Die Hebekraftwirkung gut geformter, sanft nach oben parabolisch gewölbter Tragflächen ist sowohl bei ruhendem Zustande im Winde, als auch bei Vorwärtsbewegung derselben in ruhender Luft, selbst wenn sie unter sehr kleinen Elevationswinkeln eingestellt sind, eine sehr bedeutende, und die Richtung des geweckten Luftwiderstandes fällt noch um einige Grade vor die Senkrechte zur Flächensehne, kommt also im treibenden Sinne zu stehen.«

Dieses befremdliche Resultat, dass der Luftwiderstand unter Umständen eine treibende Wirkung geben soll, steht mit dem Gesetze von der Bewegung des Schwerpunktes im Widerspruche, ist in den Versuchen von Lilienthal dem Umstande zuzuschreiben, dass nicht mit freien Systemen experimentirt wurde, sondern mit solchen, welche sich um feste Axen drehen, und dürfte in den Versuchen von Wellner vielleicht durch andere Umstände bedingt sein, die sich nicht so ohne Weiteres erlassen lassen.

Ich habe nun Versuche ähnlich den Lilienthal'schen unternommen, bei welchen eine Fläche, die um eine ausserhalb liegende Axe beweglich ist, durch den Winddruck gegen die Windrichtung gedreht wird und versuche diese Erscheinung durch das Moment zu erklären, welche der Winddruck bezüglich der Drehaxe der Fläche gibt, wenn diese um weniger als den Krümmungshalbmesser von derselben absteht. Ich zeige auch weiter nach der Wellner'schen Methode, dass die von mir theoretisch ermittelte Lage der Resultirenden höchst

Zeitschrift für Luftschiffahrt, XII. Jahrgang, 1893, Beilage, S. 1—48. Versuche über den Luftwiderstand gewölbter Flächen im Winde und auf Eisenbahnen, mit Rücksicht auf das Problem dynamischer Flugmaschinen. Sonderabdruck aus der Zeitschrift des öster. Ingenieur- und Architektenvereines, 1898. Nr. 25—28.

wahrscheinlich, und dass somit eine negative Tangentialkomponente des Luftdruckes nicht anzunehmen ist.

Der Einfachheit der Rechnung und der Erzeugung wegen habe ich statt der Flächen, wie sie Lilienthal und Wellner anwendeten, Cylinderflächensegmente benützt, deren Wölbungshöhe  $\frac{1}{12}$  der Sehnenlänge beträgt. Ein solches Segment  $AOB$  (Fig. 1) hat eine Öffnung von  $\varphi = 37^{\circ}48'$ . Die

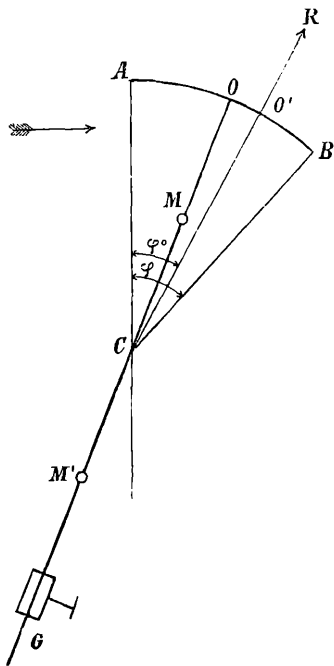


Fig. 1.

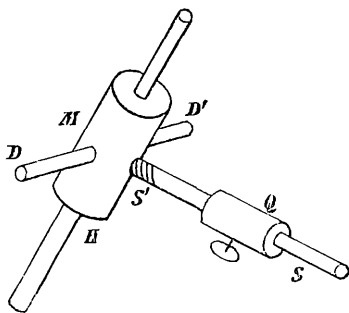


Fig. 1a.

(Cylinderaxe gehe durch den Punkt  $C$  und stehe senkrecht auf der Ebene der Zeichnung.

Die Fläche wird an einem Stabe  $OMCM'G$  befestigt, welcher durch die Cylinderaxe  $C$  und die Mitte der Fläche  $AOB$  geht und auf der Sehne  $AB$  senkrecht steht.

Auf dem Stabe lassen sich verschieben:

1. eine Hülse  $H$  (Fig. 1a) mit einer zur Bohrung derselben senkrechten Axe  $DMD'$  und einem das klemmbare Gewicht  $Q$

Das letztere Resultat wird sowohl aus den nach verschiedenen Methoden angestellten Versuchen von Lilienthal, als auch aus den nach einer wesentlich verschiedenen Methode angestellten Versuchen von G. Wellner<sup>1</sup> gefolgert. Dieser letztere Experimentator fasst seine Versuchsergebnisse in folgende Sätze zusammen: »Die Hebekraftwirkung gut geformter, sanft nach oben parabolisch gewölbter Tragflächen ist sowohl bei ruhendem Zustande im Winde, als auch bei Vorwärtsbewegung derselben in ruhender Luft, selbst wenn sie unter sehr kleinen Elevationswinkeln eingestellt sind, eine sehr bedeutende, und die Richtung des geweckten Luftwiderstandes fällt noch um einige Grade vor die Senkrechte zur Flächensehne, kommt also im treibenden Sinne zu stehen.«

Dieses befremdliche Resultat, dass der Luftwiderstand unter Umständen eine treibende Wirkung geben soll, steht mit dem Gesetze von der Bewegung des Schwerpunktes im Widerspruche, ist in den Versuchen von Lilienthal dem Umstande zuzuschreiben, dass nicht mit freien Systemen experimentirt wurde, sondern mit solchen, welche sich um feste Axen drehen, und dürfte in den Versuchen von Wellner vielleicht durch andere Umstände bedingt sein, die sich nicht so ohne Weiteres ermessen lassen.

Ich habe nun Versuche ähnlich den Lilienthal'schen unternommen, bei welchen eine Fläche, die um eine ausserhalb liegende Axe beweglich ist, durch den Winddruck gegen die Windrichtung gedreht wird und versuche diese Erscheinung durch das Moment zu erklären, welche der Winddruck bezüglich der Drehaxe der Fläche gibt, wenn diese um weniger als den Krümmungshalbmesser von derselben absteht. Ich zeige auch weiter nach der Wellner'schen Methode, dass die von mir theoretisch ermittelte Lage der Resultirenden höchst



Zeitschrift für Luftschiffahrt, XII. Jahrgang, 1893, Beilage, S. 1—48. Versuche über den Luftwiderstand gewölbter Flächen im Winde und auf Eisenbahnen, mit Rücksicht auf das Problem dynamischer Flugmaschinen. Sonderabdruck aus der Zeitschrift des öster. Ingenieur- und Architektenvereines, 1898. Nr. 25—28.

wahrscheinlich, und dass somit eine negative Tangentialkomponente des Luftdruckes nicht anzunehmen ist.

Der Einfachheit der Rechnung und der Erzeugung wegen habe ich statt der Flächen, wie sie Lilienthal und Wellner anwendeten, Cylinderflächensegmente benützt, deren Wölbungshöhe  $\frac{1}{12}$  der Sehnenlänge beträgt. Ein solches Segment  $AOB$  (Fig. 1) hat eine Öffnung von  $\varphi = 37^{\circ}48'$ . Die

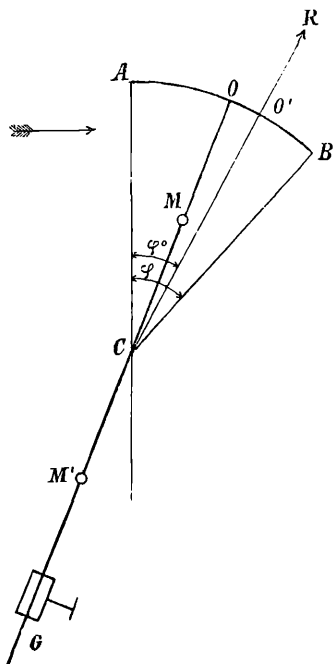


Fig. 1

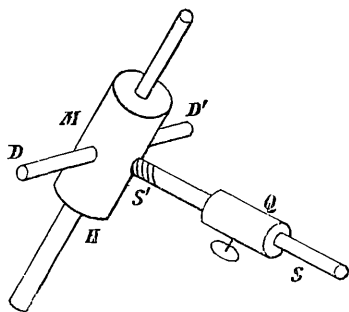


Fig. 1a.

Cylinderaxe gehe durch den Punkt  $C$  und stehe senkrecht auf der Ebene der Zeichnung.

Die Fläche wird an einem Stabe  $OMCM'G$  befestigt, welcher durch die Cylinderaxe  $C$  und die Mitte der Fläche  $AOB$  geht und auf der Sehne  $AB$  senkrecht steht.

Auf dem Stabe lassen sich verschieben:

1. eine Hülse  $H$  (Fig. 1a) mit einer zur Bohrung derselben senkrechten Axe  $DM'D'$  und einem das klemmbare Gewicht  $Q$

tragenden Stiele  $SS'$ , der gleichzeitig zum Klemmen der Hülse dient;

2. ein Gegengewicht  $G$ .

Die Hülse  $H$  wird an einem Punkte  $M$  oder  $M'$  des Stabes geklemmt, die Axe in die Lager eines gabelförmigen Trägers so eingelegt, dass der Stiel frei schwingen kann. Die Gewichte  $G$  und  $Q$  erhalten eine solche Stellung, dass der Halbmesser  $CA$  der Cylinderfläche vertical ist.

Wird ein horizontaler Windstrom gegen die Fläche  $AOB$  gelenkt, so wird dieselbe gegen den Windstrom gedreht, wenn die Axe in  $M$  je nach der Grösse der Fläche circa  $\frac{1}{3} OC$  bis  $\frac{2}{3} OC$  von  $O$  absteht, vom Winde aber weggeblasen, wenn die Axe in  $M'$  unterhalb von  $C$  gelegen ist.

Ich habe mit zwei Flächen von verschiedener Grösse experimentirt. Die kleinere hatte einen Halbmesser von  $30\text{ cm}$ , eine Wölbungshöhe von  $1.6\text{ cm}$ , eine Breite von  $18\text{ cm}$  und war im Bogen gemessen  $20\text{ cm}$  lang; die grössere hatte einen Halbmesser von  $60\text{ cm}$ , war  $20\text{ cm}$  breit,  $40\text{ cm}$  im Bogen gemessen lang und hatte eine Wölbungshöhe von  $3.3\text{ cm}$ . Die Flächen waren aus gelben Pressspänen hergestellt und der mittleren Kreislinie nach an eine schwache Messingblechrippe genietet, welche die Krümmung bedingt und erhält. In den kleineren Dimensionen habe ich auch Zinkblechflächen angewendet.

Der Wind wurde durch einen Centrifugalventilator mit  $45\text{ cm}$  Flügeldurchmesser, durch einen cylindrischen Röhrenansatz von  $19\text{ cm}$  Durchmesser geliefert. Zum Antriebe des Ventilators diente eine elektrische Kraftübertragung, welche von den 2 Pferdekraften des Gasmotors nahe an  $\frac{2}{3}$  Pferdekraften an den Ventilator übertrug. Derselbe vollführte dabei circa 2400 bis 2800 Touren in der Minute.

Die Fläche war mit ihrem Träger auf einem Hebetische befestigt und wurde so hoch aufgestellt, dass die vordere Kante  $3\text{—}4\text{ cm}$  unter dem oberen Rande der Ventilatoröffnung lag.

Am besten gelangen die Versuche mit der grösseren Fläche. Bei einem Abstände der Axe  $OM = 20\text{ cm}$  und einer Entfernung der Fläche von der Ventilatormündung von  $35\text{ cm}$  wurde die Fläche unzweifelhaft gegen die Ventilatormündung bewegt und

zum Überschlagen gebracht, so dass die convexe Seite gegen den Wind gerichtet war. In dieser Stellung scheint der Winddruck auch eine Resultierende hervorzubringen, welche gegen den Wind dreht. Auch dann, wenn die Stange  $OMM'$  und damit die Fläche um  $45^\circ$  geneigt wurden, trieb der in die concave Seite der Fläche blasende Wind dieselbe bis zum Überschlagen gegen die Ventilatoröffnung.

Bei Entfernungen von  $OM = 25\text{ cm}$  und  $30\text{ cm}$  ging die Drehung der Fläche gegen den Wind sehr ausgesprochen vor sich, auch dann noch, wenn die vordere Kante der Fläche  $50\text{--}65\text{ cm}$  von der Ventilatoröffnung entfernt ist.

Bei  $OM = 40\text{ cm}$  war die zulässige Grenze des Abstandes  $OM$  erreicht. Hier schlug die Fläche mitunter schon im Sinne des Windes aus, insbesondere, wenn derselbe die Fläche zu federnder Schwingung veranlasst. Gleichwohl wurde die Fläche noch vielfach aus der in Fig. 1 angegebenen Anfangsstellung gegen die Ventilatoröffnung hinbewegt.

Bei grösserer Neigung des Stabes gegen den Ventilator schlug die Fläche stets im Sinne des Windes aus.

Mit den kleineren Flächen tritt bei einem Abstände  $OM = 10\text{--}12\text{ cm}$  eine ganz ausgesprochene Bewegung gegen die Ventilatoröffnung ein. Bei grösserem Abstände  $OM$ , d. i. über  $13\text{ cm}$ , wird die Fläche bereits im Sinne des Windstromes gedreht.

Zur Erklärung dieser Erscheinung kann von der üblichen Voraussetzung ausgegangen werden, dass der Winddruck normal auf die Flächenelemente wirke. Es ergibt sich so eine Resultierende, welche durch die Axe  $C$  der Cylinderfläche  $AB$  hindurchgeht.

Je nachdem vorausgesetzt wird, dass der Luftwiderstand gegen ein geneigtes Flächenelement der ersten oder der zweiten Potenz des Sinus des Winkels zwischen Flächenelement und Richtung der Luftgeschwindigkeit proportional ist,<sup>1</sup> findet man für die Tangente des Neigungswinkels  $\varphi_0$  der Luftwiderstandsresultierenden zur Verticalen

---

Die erste Potenz findet für den Widerstand geneigter Flächen Wasser, Fink, »Civil-Ingenieur«, 1892, S. 635.

$$\operatorname{tg} \varphi'_0 = \varphi^{-1/2} \frac{\sin^2 \varphi}{\sin^2 \varphi} \qquad \operatorname{tg} \varphi''_0 = \frac{2 - 3 \cos \varphi + \cos^3 \varphi}{\sin^3 \varphi},$$

Für den Winkel  $\varphi = 37^\circ 48'$  ergeben sich so  $\varphi'_0 = 25^\circ 3'$  und  $\varphi''_0 = 28^\circ 6'$

Die Luftwiderstandsresultierende  $R$  hätte hiernach die in Fig. 1 angedeutete Lage. Später anzuführende Versuche bestätigen dieses Rechnungsergebnis, und zwar bezüglich  $\varphi''_0$  zufällig auch ziffermässig genau.

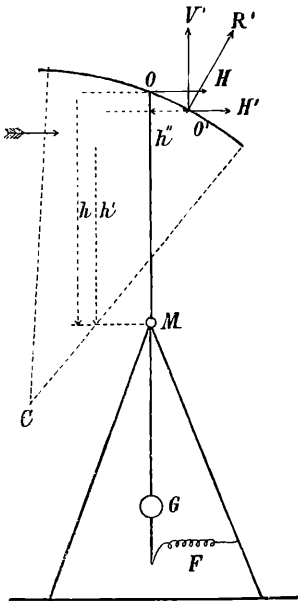


Fig. 2.

Wird diese Lage der Resultierenden vorausgesetzt, dann dreht dieselbe um einen Drehpunkt  $M$  oberhalb von  $C$  gegen den Windstrom zurück, sonst wie bei  $M'$  mit dem Windstrom. Der Stoss des Windes gegen die vordere Flächenkante und gegen den Stiel geben ein Moment, welches im Sinne des Windes dreht; es wird daher die Entfernung  $OM$ , für welche Drehung gegen den Wind eintritt, stets kleiner als  $OC$  bleiben, und zwar umso kleiner, je kleiner  $OC$  selbst gewählt wird.

Das Princip der Lilienthal'schen Versuche ist in den beiden Figuren 2 und 3 anschaulich gemacht. Die Flächen  $AB$  sind an den Enden abbalancirter Hebel  $OMG$  befestigt, und die Kräfte werden durch Dynamometer gemessen. Aus den Versuchen Fig. 2 werden von Lilienthal die Horizontalcomponente  $H$ , aus jenen Fig. 3 die Verticalcomponente  $V$ , unter der nicht zutreffenden Voraussetzung gerechnet, dass die Luftwiderstandsresultierende durch den Befestigungspunkt  $o$  der Fläche an der tragenden Stange hindurchgeht.

Wird, wie in vorhergehender Fig. 1 vorausgesetzt, die Resultierende  $R'$  in  $O'$  angreifend angenommen, dann gibt der Versuch Fig. 2 nicht die Componente  $H$  selber, sondern die



Differenz der Momente der beiden Componenten  $H'$  und  $V'$  der Luftwiderstandsresultirenden  $R'$  und der Versuch Fig. 3 die Summe dieser Momente um die Drehpunkte  $M$ .

Nach der Lilienthal'schen Berechnung wird daher  $H$  zu klein,  $V$  zu gross gefunden.

Wäre die Lage des Punktes  $o'$  bekannt und sind nach dem Lilienthal'schen Verfahren die Kräfte  $H$  und  $V$  gemessen,

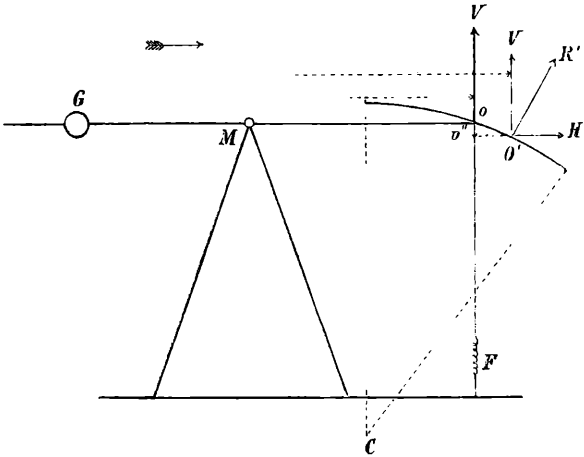


Fig. 3.

dann hätte man zur Berechnung von  $H'$  und  $V'$  die vier Gleichungen:

$$\begin{aligned} Hh &= H'h' - V'h'' & h' &= h - v'' \\ Vv &= V'v' + H'v'' & v' &= v + h'' \end{aligned}$$

Ist die Lage von  $o'$  unbekannt, dann wäre der Abstand  $OM$  in beiden Apparaten zu ändern und zwei weitere Versuchsreihen durchzuführen, wodurch eine hinreichende Anzahl von Gleichungen zur Berechnung der vier Grössen  $H'$ ,  $V'$ ,  $h''$  und  $v''$  gewonnen werden. Allerdings sind derlei Versuche so schwierig, dass auf besonders genaue Resultate nicht zu hoffen ist und Fehler in bestimmtem Sinne nicht ausgeschlossen erscheinen.

Für Flächen von einer Wölbungshöhe gleich  $\frac{1}{12}$  der Sehnenlänge, bei  $18^\circ$  Neigung der Sehne gegen den Horizont

gibt Lilienthal, was hier in grober Annäherung übertragen werden soll,<sup>1</sup> eine Resultierende  $R = 138$  mit einer negativen Tangentialkomponente  $T = 9$ . Der Winkel der Resultierenden gegen die Normale im Punkte  $o$  ist um  $3^{\circ}44'$  gegen den Wind hin gelegen. Die beiden Komponenten, welche Lilienthal der Rechnung zu Grunde legt, sind  $H = 34$  und  $V = 134$ .

Unter der sehr ungünstigen Annahme von  $h = v = 30$ ,  $h' = 28 \cdot 2$ ,  $v' = 34 \cdot 5$ ,  $h'' = 4 \cdot 5$ ,  $v'' = 1 \cdot 80$ , was etwa der in Fig. 1 vorausgesetzten Lage der Resultierenden  $R'$  bei einem Halbmesser der Fläche von  $30 \text{ cm}$  entspricht, wird nach den obigen Formeln erhalten:

$$H' = 54 \cdot 3 \quad V' = 113 \cdot 9 \quad \sphericalangle H'oR' = 64^{\circ}30',$$

während  $63^{\circ}12'$  die Neigung der Normalen durch den Punkt  $o$  zum Horizont ist, also nur mehr eine Neigung der Resultierenden um  $1^{\circ}18'$  gegen den Wind.

Wird aber vorausgesetzt, dass der Abstand  $oM = h = 25 \text{ cm}$  beträgt und  $h' = 23 \cdot 2$ ,  $v' = 29 \cdot 5$ ,  $h'' = 4 \cdot 5$ ,  $v'' = 1 \cdot 8$  angenommen, dann sind

$$H' = 57 \cdot 97 \quad V' = 110 \cdot 0 \quad \sphericalangle H'oR' = 62^{\circ}13',$$

also bereits ein Winkel, der um  $1^{\circ}$  jenseits der Normalen liegt. Nach der Annahme von  $oM = h = 20$  wird dieser Winkel sogar  $58^{\circ}52'$

Nach diesen Darlegungen ist also nicht ausgeschlossen, dass eine andere Berechnung der Lilienthal'schen Versuche im Winde keine negative Tangentialkomponente ergeben haben dürfte.

Eine sehr einfache Bestimmung der Richtung der Luftwiderstandsresultierenden gestattet die Versuchsanordnung von G. Wellner. In derselben findet keine Drehung der Fläche, sondern eine Translation statt, und das Gleichgewicht wird nicht durch ein Kraftmoment, sondern durch die Kraft selber hergestellt.

Die Wellner'sche Versuchsanordnung besteht (Fig. 4) aus einem mit Gelenken versehenen Parallelogramme  $ABDC$ ,

dessen obere Seite  $CD$  die Fläche  $MN$  trägt. Die Axen in  $A$  und  $B$  liegen in Lagern, die nach abwärts reichenden Stangen  $CAP$  und  $DBC$  tragen Gegengewichte  $P$  und  $Q$ , welche gestatten, den Apparat so abzubalanciren, dass er in jeder Lage im Gleichgewichte bleibt. Wird die Fläche dem Winde ausgesetzt, so neigen sich die Stangen  $CAP$  und  $DBQ$  so weit,

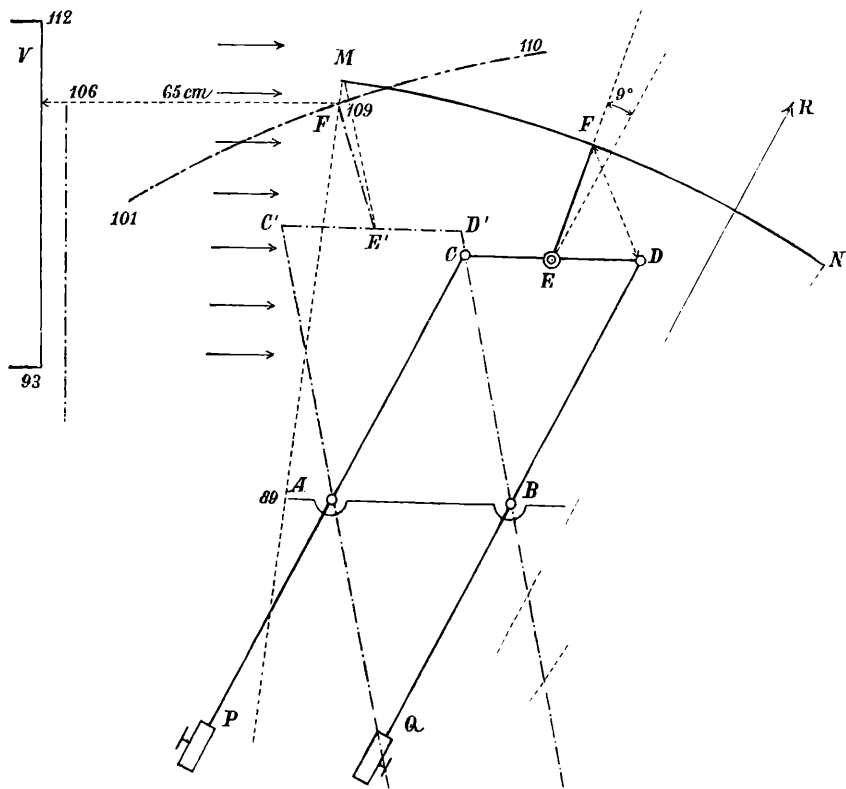


Fig. 4.  $\frac{1}{4}$  nat. Gr.

bis dieselben mit der Luftwiderstandsresultirenden parallel sind, und dann tritt wieder Gleichgewicht ein.

Wellner hat mit diesem Apparate in sorgfältiger Ausführung experimentirt, unter Anderem denselben auch auf der Vorderseite fahrender Locomotive aufgestellt und die Fläche  $MN$  dabei unter verschiedenen Winkeln gegen den Horizont geneigt.

Für meine Versuche mit dem Windstrom des Ventilators wurde die Anordnung sehr einfach ausgeführt. Die Axen bei  $A$  und  $B$  waren wie in Fig. 1a an klemmbaren Hülsen befestigt und gestatteten so die Arme  $AC$  und  $BD$  beliebig zu verändern; sie ruhten in den Lagern eines gabelförmigen Trägers, der den Stielen  $AP$  und  $BQ$  freie Bewegung gestattet. Die Gegengewichte  $P$  und  $Q$  sind schwere, mit Schrauben zu klemmende Hülsen. Die Stange  $EF$ , welche die Fläche  $MN$  trägt, ist in der Mitte von  $CD$  mit einem mit Reibung beweglichen Gelenke befestigt und gestattet die Fläche  $MN$  unter verschiedenen Winkeln zu neigen. Die Stange ist senkrecht auf der Sehne  $MN$  und geht durch die Mitte der Fläche. Es wurden hier dieselben aus Pressspan gefertigten Flächen wie in den früher angeführten Versuchen benützt, und es gehen die Versuche auch hier mit der grösseren Fläche von 60 cm Halbmesser besser. Mit Hilfe der Reibung gelingt die Abbalancirung der Fläche durch die Gegengewichte  $P$  und  $Q$  sehr leicht.

War die Sehne  $MN$  horizontal gestellt, so wurde die Fläche vom Winde jedesmal so weit weggeblasen, als die sich neigenden Stangen es zuliessen, ebenso wenn die convexe Seite der Fläche gegen den Windstrom geneigt wurde; eine Einstellung in eine Gleichgewichtslage war nicht vorhanden.

Wurde die concave Seite der Fläche dem Winde zugewendet, dann war eine nach mehreren Schwingungen erfolgende, deutliche Einstellung in eine Gleichgewichtslage vorhanden, welche sich auch beliebig lang erhielt.

Zur Bestimmung der gegenseitigen Lage der Apparbestandtheile wurden die Distanz  $FD$  und die Diagonale  $CB$  des Parallelogramms gemessen.

Im Apparate war  $CD = AB = 9.5 \text{ cm}$ ,  $EF = 7 \text{ cm}$  hergestellt worden. Dabei ist die Sehne der Fläche um nahe  $18^\circ$  gegen den Horizont geneigt. Für Abstände  $AC = BD = 14.5 \text{ cm}$ , unter Anwendung der grossen Fläche, bei  $FD = 7.0 \text{ cm}$ , war die Länge der Diagonalen bei der Einstellung im Winde 13 cm. Eine Construction des Apparates nach diesen Daten, wie in Fig. 4, liefert die Neigung der Mittellinie  $EF$  der Fläche und der Resultirenden, welche parallel zu  $AC$  und  $BD$  liegt. Durch Abmessen des Winkels mit einem Transporteur

wird dieser Winkel gleich  $9^\circ$  gefunden. Die Resultirende des Luftwiderstandes liegt also, wie ich eingangs mit Hilfe einer einfachen Rechnung ableitete, nicht in der mittleren Diametralebene der Fläche, sondern in einer um  $9^\circ$  im Sinne der Windrichtung dagegen verschobenen Diametralebene. Zufällig ist bei der Voraussetzung, dass der Luftwiderstand eines geneigten Flächenelementes dem Quadrate der Sinus des Neigungswinkels der Flächenelemente zum Windstrome proportional sei, der Winkel von  $28^\circ 6'$  als Neigung der Luftwiderstandresultirenden gegen die Verticale gefunden worden, während die Neigung der mittleren Diametralebene  $18^\circ 54'$  beträgt.

Es hat mich selbstverständlich interessirt, ob es in meiner Versuchsanordnung keine Stellung der Fläche gibt, bei welcher dieselbe gegen den Wind getrieben wird, da ja Wellner bei seinen Versuchen auf dem Locomotive eine Neigung der Stäbe gegen den Wind bis zu  $3^\circ$  beobachtet hat.

Bei voller Öffnung des Ventilatorrohres ist mir dies nicht gelungen, dagegen wohl, wenn die Öffnung des Ventilators bis auf  $6\text{ cm}$  vom oberen Rande abgedeckt, die Fläche mit der convexen Seite gegen den Wind geneigt war. In Fig. 4 ist durch die Linien —.— die gegenseitige Anordnung der Apparate unter Benützung der grossen Fläche dargestellt.  $V$  ist dabei die Öffnung des Ventilators, und die beigeschriebenen Zahlen sind die Höhengoten der einzelnen Punkte der Apparate über dem Zimmerboden. Der Winkel zwischen  $EF$  und der Richtung der Stangen, d. i. der Richtung der Resultirenden ist dann auch nahe  $9^\circ$ . Es wird bei dieser Versuchsanordnung hauptsächlich der rückwärtige Theil der Fläche vom Winde getroffen. Unter diesen abnormen Verhältnissen konnte ich eine Bewegung der Fläche gegen Wind und eine dauernde Einstellung in eine Gleichgewichtslage erzielen. Auch mit der kleineren Fläche habe ich eine ähnliche, wenn auch weniger auffällige Einstellung gegen den Wind erhalten.

Wenn auch diese letzteren Versuche gegen jene Wellner' nichts beweisen, so zeigen dieselben doch, dass solche Erscheinungen wie die Einstellung gegen den Wind durch Nebenumstände bedingt sein können, die bei den complicirten Versuchsverhältnissen sich nicht immer voraussehen lassen.

Zum Schlusse füge ich noch einen Versuch an, welcher die Lilienthal'sche Erklärung des grösseren Tragvermögens gekrümmter Flächen gegenüber ebenen Flächen zu illustriren geeignet ist. Lilienthal<sup>1</sup> behauptet nämlich, dass durch die allmähliche Ablenkung des Luftstromes, durch eine schwach gekrümmte Fläche ein weitaus grösserer Druck auf dieselbe entstehe, wie die auf Wirbelbewegungen veranlassende, ebene Fläche.

Mit Hilfe des Dvořak'schen Schlierenapparates ist es mir gelungen, die Bestätigung dieser Voraussetzungen zu erbringen. Ich habe diesen Apparat aus einer Dubosq'schen Biconvexlinse, von etwa 22 *cm* Brennweite und 12 *cm* Öffnung und

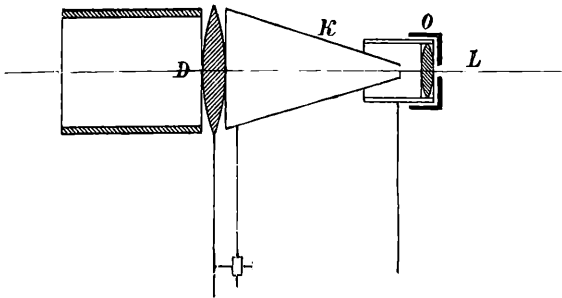


Fig.

einem alten Fernrohrobjectiv, von etwa 20 *cm* Brennweite und 3·5 *cm* Öffnung zusammengestellt. Die Dubosq'sche Linse ist (Fig. 5) einerseits mit einer cylindrischen, andererseits mit einem conischen Rohre versehen worden, wovon sich letztere an einem eigenen Stiel verstellen lässt, und das Fernrohrobjectiv *O* ist in eine cylindrische Hülse aus Holz gefasst, worüber ein Diaphragma mit etwa 7 *mm* weiter Öffnung geschoben ist. Das vom Heliostaten gelieferte Sonnenlicht wird durch den Apparat zu einer grossen Lichtscheibe auf dem etwa 4 *m* entfernten Schirme ausgebreitet. Wird ungefähr 2 *m* von den Linsen eine Fläche so aufgestellt, dass ihr Schatten so schmal als möglich erscheint, und unterhalb ein Bunsenbrenner, womöglich ein mehrfacher, angebracht, so sieht man auf dem Schirme die

Bewegung der erhitzten Luft deutlich abgebildet. An der schwach gekrümmten Fläche, so gestellt, dass deren untere Tangentialebene nahe vertical steht, ist deutlich die allmähliche Ablenkung des gesammten, die Fläche treffenden Luftstromes zu beobachten, während bei einer ebenen Fläche, die ungefähr nach der Sehne der krummen Fläche geneigt ist, der Luftstrom sich nahe dem unteren Ende unter Bildung von Wirbeln theilt und der untere Theil um die untere Kante herumgeht.

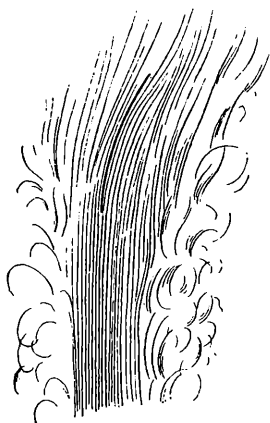


Fig. 6a.



Fig. 6b.

Nach dem regelmässigen Verlaufe der Luftströmung an schwach gekrümmten Flächen erscheint die vortheilhaftere Anwendung derselben zur Arbeitsleistung und deren grösseres Tragvermögen gegenüber den, Wirbel bedingenden, ebenen Flächen vollkommen erklärbar.

Während nun das grössere Tragvermögen schwach gekrümmter Flächen im Winde thatsächlich experimentell vollkommen sichergestellt ist, weisen die vorangeführten Versuche darauf hin, dass zur Annahme einer negativen Tangentialcomponente des Luftwiderstandes, d. i. einer solchen, die gegen die Windrichtung gelegen ist, kaum ein Grund beigebracht werden kann, zumal diese Annahme mit den Gesetzen der Mechanik im Widerspruche steht.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1895

Band/Volume: [104\\_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Obermayer Albert von

Artikel/Article: [Über die Wirkung des Windes auf schwach gewölbte Flächen. 963-975](#)