

# DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang.

10. Februar 1922.

Heft 6.

## Ueber den motorlosen Flug.

Von Th. von Kármán, Aachen.

... Und Wieland der Schmied zeigte seinem Bruder Eigil ein kunstvoll gearbeitetes Federkleid. „Probiere es Eigil, — sagte er — daß ich sehe, ob es tauglich ist. Fliege auf gegen den Wind und dann abwärts mit dem Winde, wie der Vogel fliegt.“ Eigil tat, wie ihm geheißen war; er flog dahin, leicht wie ein Aar in hoher Luft, aber als er sich niederließ, kam er unsanft zur Erde. „Gut ist dein Gewand zum Fliegen“, rief er, als er sich aufgerafft hatte. „aber es taugt nicht zum Niederlassen“. Wieland lachte: „Bist ein Schütze, Eigil, und weißt nicht, daß kein Vogel sich mit, sondern gegen den Wind setzt? Grolle nur nicht, ich dachte, du flöhest davon, so ich dir die Wahrheit sagte.“ . . .

An die alte scherzhafte Geschichte aus den Heldensagen der Edda wurde erinnert, wer im August vergangenen Jahres, auf der Wasserkuppe in der Rhön, den Versuchen einer kleinen begeisterten Gruppe von Anhängern des Fluges ohne Motor beiwohnte. Wenn auch die Flieger nicht unmittelbar Flügelkleider an ihre Körper geheftet haben, sondern in mehr oder weniger Vertrauen erregende, mit Tragflügeln versehene Apparate sich gesetzt oder gehängt haben, bevor sie sich dem Winde anvertrauten, so mußte es auf den ersten Blick doch als abenteuerliche Idee erscheinen, nach der glänzenden Entwicklung des Motorfluges zum Flug ohne Motor zurückzukehren. Das eine Ziel der Veranstaltung, welche den Namen: „*Gleit- und Segelflug-Wettbewerb*“ führte, die Ausübung und Vervollkommnung des Gleitflugesportes, hatte allerdings nichts Abenteuerliches oder Gewagtes an sich. Jedes Flugzeug, welches nach dem Drachenprinzip gebaut ist, besitzt die Gleitfähigkeit, d. h. es kann in geradliniger oder spiralförmiger Bahn mit konstanter Geschwindigkeit nach unten schweben. Der Gleitflug ist die normale Art, in welcher das Motorflugzeug von der Höhe herabsteigt und die Möglichkeit des langsamen Gleitfluges bietet gerade die große Sicherheit des Drachenflugzeuges gegenüber anderen Systemen. Mit dem Gleitflug begann ja auch die Entwicklung des Flugzeugbaues. Der große Vorkämpfer der Flugtechnik *O. Lilienthal* hat durch Gleitflugversuche die Bahn für die Entwicklung des Flugzeugbaues vorgezeichnet; auch die Gebrüder *Wright*, die ersten Menschen, welche mit einem Apparat, welcher schwerer ist als die Luft, in die Höhe gestiegen sind, haben mit dem Gleitflug angefangen. Die Wasserkuppe in der

Rhön bietet zur Ausführung dieses Sportes ausgezeichnete Gelegenheit; ihre Abhänge sind nach allen Richtungen frei und der unbewachsene weiche Boden bietet gute Landungsmöglichkeit. Dazu ist Windstille an diesem Punkte der Erde fast unbekannt, so daß man beinahe stets Gelegenheit hat, nach dem berichtigten Rezept des tapferen Wielands, mit beträchtlichem Gegenwind starten und landen zu können. Bereits vor dem Kriege wurde die Wasserkuppe für Gleitversuche ausgenutzt. Der damals erreichte längste Gleitflug (783 m) wurde im Jahre 1913 von *H. Gutermuth* ausgeführt.

Wenn nun auch der Gleitflug an und für sich gewisses sportliches Interesse bietet und der Bau eines Gleitflugzeuges, da gute Profileigenschaften des Flügels und das Sparen mit Konstruktionsgewicht unmittelbar zur Geltung kommen, eine ausgezeichnete Vorschule zum Flugzeugbau darstellt, so hat man doch, solange man beim reinen Gleitflug bleibt, vom flugtechnischen Standpunkte aus keine grundsätzlich neuen Probleme vor sich. Der Ehrgeiz der Veranstalter und der Teilnehmer des genannten Wettbewerbs, dieser ersten flugsportlichen Veranstaltung nach dem unglücklichen Ausgange des Krieges, gingen jedoch weitaus über die Vervollkommnung des reinen Gleitflugesportes hinaus. Man hat den höheren Zweck mit dem Wort „Segelflug“ zum Ausdruck gebracht. Worin unterscheidet sich der Segelflug vom Gleitflug? Während man beim Gleitflug sich von einem höheren Orte schwebend herunterläßt, d. h. den Arbeitsbedarf des Schwebefluges durch die Arbeitsleistung der Schwerkraft deckt, strebt der Segelflieger sich in konstanter Höhe aufzuhalten oder auch höher zu steigen, und zwar ohne motorische Hilfe, sozusagen „aus eigener Kraft“. Wir wollen gleich hinzufügen, daß der Ausdruck „aus eigener Kraft“ nicht exakt zutreffend ist. Daß ein Schweben oder horizontales Fliegen, falls die notwendige Arbeitsleistung aus der Muskelkraft des Menschen entnommen werden soll, unmöglich ist, hat vor Jahrzehnten der große *Helmholtz* nachgewiesen, indem er bei den fliegenden Tieren und beim Menschen das Verhältnis der Arbeitsfähigkeit zu dem Körpergewicht verglich. Es ist vielleicht nicht ohne Interesse, seine Betrachtungen kurz zu wiederholen.

*Helmholtz* untersucht die Frage, wie die Flugfähigkeit eines Lebewesens sich ändert, wenn wir uns seinen Körper ähnlich vergrößert denken. Wir nehmen an, daß die linearen Abmessungen  $n$ -fach, die Flügelschwindigkeit  $k$ -fach vergrößert sind. Die Flügelfläche ist also  $n^2$ -mal

so groß geworden; der Druck auf die Flächeneinheit wird, da die Luftkräfte mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wachsen,  $k^2$ -mal vergrößert. Da das zu tragende Gewicht mit dem Volumen, d. h. mit  $n^3$  wächst, so muß die Beziehung bestehen:

$$n^2 k^2 = n^3$$

oder

$$k = \sqrt{n}$$

Mit anderen Worten: ein vierfach so großer Vogel muß zweimal so rasch fliegen, damit er sich schwebend erhalten kann. Nun können wir die Zunahme des Leistungsbedarfs berechnen. Dieser ist proportional dem Gewicht  $\times$  Geschwindigkeit, da der aerodynamische Widerstand, den der Vogel überwinden muß, bei gleicher Güte des Mechanismus mit dem Auftrieb bzw. ebenfalls mit den Flächen und dem Quadrat der Geschwindigkeit proportional ist. Der Leistungsbedarf wächst also mit  $n^3 k = n^{7/2}$ . Nimmt man nun an, daß die zur Verfügung stehende Energie mit dem Gewicht der Muskulatur proportional ist, so wächst diese nur mit  $n^3$ , während der Energiebedarf rapider, mit  $n^{7/2}$  zunimmt. Das Fliegen wird also mit Wachsen der linearen Abmessungen immer schwieriger. Nach *Helmholtz'* Meinung ist die obere Grenze etwa bei den großen Geiern erreicht und es ist „kaum als wahrscheinlich zu betrachten, daß der Mensch auch durch den allerschicktesten flügelähnlichen Mechanismus, den er durch seine eigene Muskelkraft zu bewegen hätte, in den Stand gesetzt werden würde, sein eigenes Gewicht in die Höhe zu heben und dort zu erhalten“<sup>1)</sup>.

Die *Helmholtz'schen* Betrachtungen, obwohl sie vollkommen richtig sind, haben leider infolge einer von ihm sicher nicht gewollten Verallgemeinerung der Entwicklung der Flugtechnik mehr geschadet als genützt. Da leichte Motoren zu jeder Zeit nicht zur Verfügung standen, hat man das *Helmholtz'sche* Urteil als ein Todesurteil aller Bestrebungen zur Verwirklichung des menschlichen Fluges aufgefaßt, und seine große Autorität genügte, daß die Flugtechnik für viele ernstesten Menschen als erledigt, als Hirngespinnst galt. Abgesehen davon, daß die *Helmholtz'schen* Vergleichsberechnungen natürlich mit dem Motorflug nichts zu tun haben, und *Helmholtz* selbst sicher gar nicht daran zweifelte, daß, sobald genügend leichte Motoren zur Verfügung stehen, das Problem des maschinellen Fluges gelöst werden kann, vermag man den *Helmholtz'schen* Argu-

menten aus folgendem Grunde nicht vorbehaltlos zuzustimmen: die wenigsten Vögel, und diese auch in den wenigsten Fällen, halten sich dadurch in den Lüften aufrecht, daß sie mit voller Anstrengung ihrer Kraft durch fortwährenden Flügelschlag die notwendige Schwebearbeit leisten. Man sieht vielmehr die meisten minutenlang fast unbeweglich schweben oder ohne sichtbaren Flügelschlag in ruhiger Haltung kreisen, als wenn sie eine geheimnisvolle Energiequelle hätten, aus welcher sie die zum Schweben notwendige Arbeitsleistung schöpfen.

*Diese geheimnisvolle Energiequelle ist der Wind*, genauer gesagt, die Richtungsabweichungen und Ungleichmäßigkeiten des Windes, seine *Schwankungen* nach *Richtung* und *Stärke*. Diese Art des Fluges, die Benutzung der Richtungsabweichungen und Ungleichmäßigkeiten der Luftströmung als Energiequelle, nennen wir „Segelflug“, und in den nächsten Zeilen wollen wir die Mechanik dieser Flugart und die Möglichkeiten der Übertragung auf den menschlichen Flug etwas näher beleuchten.

Es muß zunächst für jeden, der mit den Grundsätzen der Mechanik nicht vollkommen brechen will, als zweifellos gelten, daß jeder Körper, welcher schwerer ist als die Luft, sowohl zum Schweben an Ort und Stelle als zu einer horizontal fortschreitenden Bewegung durch das Luftmeer einer Arbeitsleistung bedarf. Da er in dynamischem Wege im Gleichgewicht gehalten wird, muß seinem Gewichte eine genau gleiche Reaktionskraft entgegeng gehalten werden, und diese kann nur durch fortwährende Beschleunigung von neuen und neuen Luftmassen nach unten erzeugt werden. Wie man nun auch die Sache einrichtet, ob die Beschleunigung dieser Luftmasse durch Flügelschlag, durch Luftschraube mit vertikaler Achse (Hubschraube) erzeugt wird, oder wie es bisher wohl am ökonomischsten geschieht, eine gekrümmte Tragfläche durch die Luft geschleppt wird, welche die an ihr vorbeistreichende Luftmasse, etwa in der Art einer Turbienschaukel, immerwährend nach unten ablenkt, in allen diesen Fällen muß außer dem unvermeidlichen Reibungsverluste zumindest die kinetische Energie der nach unten geschleuderten Luftmasse als Arbeitsleistung aufgebracht werden. Die neuere Tragflächentheorie zeigt, daß diese kinetische Energie durch geeignete Wahl der Tragflächen und insbesondere durch Vergrößerung der Spannweite im Verhältnis zur Tragflächentiefe stark vermindert werden kann. Zu Null kann sie jedoch auch theoretisch, d. h. mit Vernachlässigung aller Reibungskräfte und der durch die Reibungskräfte erzeugten Wirbelungen nur dann reduziert werden, wenn wir eine unendlich lange, unendlich schmale Tragfläche ausführen könnten. In der Wirklichkeit haben wir also erstens infolge der endlichen Spannweite der Tragflügel einen Energiebedarf zur fortwährenden Neuerzeugung von kinetischer Energie zu

<sup>1)</sup> Es sei übrigens bemerkt, daß im letzten Jahre dem Franzosen *Poullain* gelungen ist, mit einem Fahrrad, welches mit Tragflügeln versehen war, sich vom Boden zu erheben und einen Sprung von 12 m zu machen. Dies ist jedoch nur als eine Akrobalenleistung anzusehen, durch welche die Richtigkeit der *Helmholtz'schen* Behauptung nur bekräftigt wird. Bei dem *Poullain'schen* Versuch handelt es sich darum, ob es gelingt, mit dem Fahrrad, bei flachgestellten Tragflügeln, solche Geschwindigkeit zu erreichen, daß es bei plötzlicher Steilstellung der Tragflügel in die Höhe gehoben wird. Sobald jedoch der Apparat in die Höhe geht, verliert er die Geschwindigkeit und muß nach kurzem Sprung landen.

decken, zweitens den Energieverlust infolge der unvermeidlichen Reibungskräfte aufzubringen. Der Energiebedarf äußert sich in einem Stirnwiderstand, ohne welchen wir auch keinen Auftrieb zu erzeugen vermögen. Bei guten Tragflächen ist der unvermeidliche Stirnwiderstand allerdings auf einen geringen Bruchteil, im besten Falle etwa auf  $\frac{1}{15}$ — $\frac{1}{20}$  des Auftriebs reduziert, aber dieser geringe Bruchteil, zu welchem naturgemäß noch die schädlichen Widerstände der nichttragenden Konstruktionsteile oder, wenn man sich, wie bei einem Hängegleiter, unmittelbar an die Flügel klammern will, der Widerstand des menschlichen Körpers hinzutritt, genügt gerade, um den Wahn, daß der Arbeitsbedarf durch Muskelkraft gedeckt werden kann, zu zerstören.

Wir schließen also alle Theorien, die diesen unvermeidlichen Arbeitsbedarf umgehen wollen, z. B. alle Theorien über einen „geheimnisvollen Vortrieb“, welche von einigen Phantasten, die ihren zweifelhaften Experimenten mehr Vertrauen schenken als den Grundsätzen der Mechanik, noch immer vertreten werden, im vorhinein aus. Es steht mir alles ferner als der Standpunkt jenes Theoretikers, der, als man auf die Widersprüche seiner Theorie mit der Wirklichkeit hingewiesen hat, sich mit dem Satz tröstete: „um so schlimmer für die Tatsachen“. Aber andererseits muß es bedacht werden, daß der Weg vom Experiment bis zur Deutung des Experimentes auch nicht frei von jeder Theorie und Spekulation ist. Um aus dem Experiment schließen zu können, muß man insbesondere wissen, welche sekundären Einflüsse mitspielen und das Resultat verschleiern können. Ich denke hauptsächlich an den kleinen Bruder eines großen Mannes, der durch zweifelhafte Experimente und durch noch zweifelhaftere Wirbeltheorien der Welt immer wieder beweisen will, daß es geheimnisvolle Tragflächenprofile gibt, welche einen geheimnisvollen Vortrieb erzeugen und somit ohne jede Energiequelle ein Schweben ermöglichen. Es wäre immerhin zu wünschen, daß jemand sich einmal die Mühe nimmt, die Experimente genau nachzumachen und auch die Irrtümer der Theorie im einzelnen nachzuweisen.

Schließen wir mit dem geheimnisvollen Vortrieb die Möglichkeit des arbeitslosen Fluges aus, so müssen wir nach einer Energiequelle suchen, welche den Segelflug der Vögel ermöglicht.

Es ist hier zunächst die sogenannte *Schwirrltheorie* des Vogelfluges zu erwähnen.

Mehrere Forscher, insbesondere von der biologischen Seite, haben auf die Möglichkeit hingewiesen, daß, während wir den Vogel unbeweglich schweben sehen, in der Wirklichkeit die Flügelenden ungemein rasche Schwirrbewegungen mit geringer Amplitude ausführen und diese Schwirrbewegungen den Energiebedarf des Fluges decken. Diese Theorie kann dadurch gestützt werden, daß es tatsächlich möglich ist, statt wie beim Flugzeug durch die rotierende Luftschraube, durch Schwingungsbewegungen einen Vortrieb zu erzeugen. Es

sind z. B. Motorboote konstruiert worden bei welchen statt Triebsschrauben Flächen mit elastischen Enden angeordnet und durch motorische Kraft zu raschen Schwingungen erregt werden. Solche Konstruktionen haben sogar einen ganz annehmbaren Wirkungsgrad und man könnte sich denken, daß der segelnde Vogel durch einen solchen Mechanismus einen Vortrieb erzeugt und gewissermaßen als ein Drachenflugzeug mit Motorantrieb durch die Luft schwebt. Genaue Betrachtungen, insbesondere biologischer Natur, z. B. der Vergleich mit sonstigen Ermüdungsversuchen, zeigen jedoch, daß es unmöglich ist, anzunehmen, daß der Vogel fortlaufend und lange Zeit derartige Arbeitsleistungen zuwege bringt, so daß diese Theorie zur Erklärung des Segelfluges sicherlich nicht ausreichen kann.

Es bleibt also nichts anderes übrig, als, wie bereits angedeutet, die Energiequelle in den Luftbewegungen selbst zu suchen. Wir wollen zuerst einen Fall erwähnen, in welchem das mühelose Schweben am einfachsten erklärt wird: das ist der Fall des *aufsteigenden Windes*. Nehmen wir an, daß der Wind, der in diesem Falle gar nicht ungleichförmig angenommen zu werden braucht, eine nach oben gerichtete Vertikalkomponente besitzt. Denken wir uns nun in der schief nach oben gerichteten Windströmung eine Tragfläche angeordnet. Wie oben ausgeführt wurde, äußert sich die Wirkung der durch die Tragfläche erzeugten Luftbewegung in einem Auftrieb und in einem Stirnwiderstand. Unter Auftrieb verstehen wir die Kraft, die senkrecht zu der Anblaserichtung, d. h. senkrecht zu der relativen Geschwindigkeit zwischen der Tragfläche und der umgebenden Luft gerichtet ist; unter Stirnwiderstand verstehen wir die Komponente in der Anblaserichtung. Wenn nun der Steigungswinkel des Windes genügend groß ist, so kann man erreichen, daß die aus Auftrieb und Stirnwiderstand resultierende Luftkraft vertikal gerichtet ist und bei genügender Windstärke gleich groß dem Gewichte wird. Falls die Windrichtung genügend steil nach oben gerichtet ist, können wir (Fig. 1) sogar einen scheinbaren Vortrieb, d. h. Vortrieb gegen die Horizontale erhalten. Wir haben einen Gleichgewichtszustand, der naturgemäß unverständlich erscheint, sobald man nicht weiß, daß der Wind nach oben gerichtet ist; es geht jedoch alles mit vollkommen rechten Dingen zu, sobald man diese Tatsache berücksichtigt. In der Tat kann man oft beobachten, daß die Vögel mit Vorliebe sich an Berghängen und anderen Orten aufhalten, wo aus Gründen, welche lediglich von der Bodenbeschaffenheit abhängen, vornehmlich eine nach oben gerichtete Windkomponente herrscht, da sie an solchen Stellen sich mühelos in der Höhe erhalten können und Muße und Zeit haben, nach ihrer Beute Auslug zu halten.

Es ist auch klar, daß, wenn der Vogel bzw. das Flugzeug z. B. durch Fallen eine größere Geschwindigkeit erreicht hat als die horizontale Geschwindigkeit des Windes, so kann bei auf-

steigendem Winde ein Vorwärtsgleiten ohne Höhenverlust gegen den Wind erfolgen. Die Bedingung hierfür ist die, daß die aufsteigende Komponente des Windes wenigstens so groß ist, wie die „Sinkgeschwindigkeit“ (Höhenverlust in der Zeiteinheit) des Flugzeuges in horizontalem Wind oder in ruhiger Luft.

Wir wollen diesen Fall als „statischen Segelflug“ ansprechen. Der statische Segelflug bietet vom mechanischen Standpunkte aus nichts Überraschendes; seine Anwendungsmöglichkeit ist eingeschränkt, da doch die Luft nicht überall eine aufsteigende Komponente haben kann, vielmehr aus der Kontinuität der Bewegung, aus der Erhaltung der Masse folgt, daß in einem großen Gebiet genau dieselbe Luftmenge von unten nach oben als von oben nach unten strömen muß. Die Beobachtung zeigt aber, daß das mühelose Schweben oder Kreisen der Vögel keineswegs auf die Orte mit aufsteigender Luftkomponente beschränkt ist, daß vielmehr auch bei rein horizontalem Wind ein Segeln möglich ist.

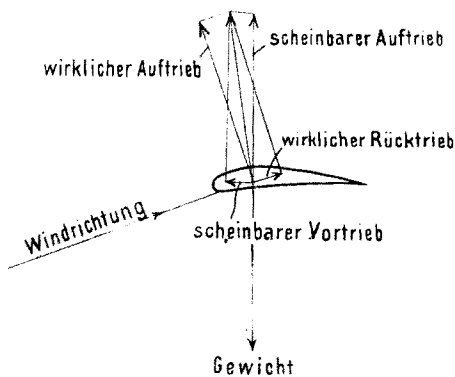


Fig. 1. Schweben im aufsteigenden Winde.

Es folgt nun wieder aus mechanischen Prinzipien, namentlich aus dem Prinzip der Relativität der mechanischen Erscheinungen, daß eine gleichmäßige, horizontale Luftströmung auf die Möglichkeit des Fluges keinen Einfluß haben kann. Beziehen wir alle Bewegungen auf ein Koordinatensystem, welches mit dem gleichmäßig fortschreitenden Winde verbunden ist, so kann sich der Fall von dem des ruhenden Luftmeeres in nichts unterscheiden; mit anderen Worten, es ist naturgemäß nicht möglich, eine örtlich und zeitlich konstante Luftbewegung als Energiequelle heranzuziehen. Wir haben also als Energiequelle die *Windschwankungen* anzusprechen und es ist die Frage, ob man durch geschicktes Manövrieren diese Energiequelle wirklich nutzbar machen kann. Es ist sicher, daß die Vögel dies tun. Hierdurch wird die Gültigkeit der Helmholtz'schen Betrachtungen, die wir anfangs erwähnt haben, eingeschränkt und sie müssen durch neue Überlegungen ersetzt werden, welche nicht die Arbeitsfähigkeit des betreffenden Lebewesens, sondern sozusagen die Schwankungsenergie des Windes zum Ausgangspunkt wählen, und die Möglichkeit ihrer Ausnutzung abschätzen.

Es muß zunächst hervorgehoben werden, daß die Schwankungserscheinungen beim natürlichen Wind keineswegs einen Ausnahmefall bilden, sondern ständig vorhanden sind. Der Meteorologe spricht dementsprechend von einer „*turbulenten Struktur des Windes*“. Leider sind die Gesetzmäßigkeiten bezüglich der Schwankungsausschläge in der Richtung und in der Größe der Windgeschwindigkeit, der mutmaßlichen Perioden usw., sehr schwer experimentell festzustellen und obwohl ein großes Material von verschiedenen meteorologischen Stationen mit großem Fleiß gesammelt wurde, kann man doch wenig Sicheres über die Struktur des Windes aussagen. Ich möchte nur auf den tieferen, mechanischen Grund hinweisen, welcher dafür spricht, daß eine rein parallele Windströmung ohne Schwankungen mechanisch gar nicht möglich ist.

Wir wollen den Fall etwas idealisieren und annehmen, daß die Luft mit gewisser mittlerer Geschwindigkeit an einer festen Fläche entlang strömt. Da die Fläche mit Reibung behaftet ist, wird die Luft unmittelbar an der festen Begrenzung haften, d. h. am Boden ist die Luftgeschwindigkeit gleich Null. Sie steigt mit der Höhe von Null allmählich auf den vollen Wert. Man kann den Vorgang auch so beschreiben, daß die Luftströmung durch die einseitige Begrenzung gebremst wird; von der Begrenzung aus wirkt somit eine Tangentialkraft, eine Reibungskraft auf die Luftmasse. Nun ist es klar, daß dieselbe Tangentialkraft, oder genauer gesagt, dieselbe Schubspannung, die auf dem Boden wirkt, in allen Ebenen parallel zur Begrenzungsfläche übertragen werden muß. Geschieht die Übertragung der Schubspannung ausschließlich durch die *innere Reibung* der Luft, so nennen wir die Strömung eine laminare. Die innere Reibung ist gleich dem Reibungskoeffizienten multipliziert mit dem senkrechten Gefälle der Geschwindigkeit. Nun wächst erfahrungsgemäß die Windstärke vom Boden aus zuerst sehr rasch mit der Höhe, dann aber immer langsamer. Es ist daher ein Übertragen der Schubkraft durch die innere Reibung allein höchstens in unmittelbarer Nähe der Begrenzung möglich, wo noch die Geschwindigkeit in der zur Fläche senkrechten Richtung außerordentlich schnell wächst. In einiger Entfernung vom Boden ist der Übertragungsmechanismus offenbar ein anderer, weil das senkrechte Gefälle der Geschwindigkeit mit der Höhe ständig, und zwar sehr stark abnimmt, währenddessen die zu übertragende Kraft konstant bleibt. Die andere Möglichkeit zur Übertragung der Schubspannung, falls die Reibung der aneinander vorbeiströmenden Schichten nicht ausreicht, ist die durch „*Impulsübertragung*“. Betrachten wir die Luftmasse zwischen der festen Begrenzung  $AB$  und zwischen einer willkürlich gewählten Begrenzung  $CD$  in der Entfernung  $h$  (Fig. 2), wobei wir die Höhe  $h$  so groß wählen, daß an der oberen Begrenzung die Windgeschwindigkeit mit der Höhe nur mehr

sehr langsam wächst. Die in dem Raum  $ABCD$  enthaltene Luftmasse muß offenbar im Gleichgewicht sein. Nun gilt nach dem Impulssatze für jedes begrenzte Luftvolumen bei stationärer Strömung (oder bei quasi stationärer Strömung, wenn wir über längere Zeit Mittelwerte nehmen), daß die an den Begrenzungsflächen wirkenden Kräfte mit dem Überschuß der aus- und eintretenden Impulsmengen im Gleichgewicht sein müssen. Da die Impulsmengen an den vorderen und hinteren Stirnflächen  $AC$  und  $BD$  des betrachteten Volumens über lange Zeiten genommen gleich sind, kommt nur der Impulstransport an der oberen Begrenzungsfläche  $CD$  in Betracht. Wenn wir also von der inneren Reibung an der Fläche  $CD$ , wo die Geschwindigkeitsänderung nach der Höhe sehr gering ist, absehen, muß an dieser Fläche in der Sekunde eine Impulsmenge austreten, welche genau gleich ist der Reibungskraft, die von der festen Begrenzung aus auf die Luftmenge wirkt. Bezeichnen wir die Geschwindigkeitskomponenten in horizontaler und vertikaler Richtung mit  $u$  und  $v$  und die Luftdichte mit  $\rho$ , so ist die nach der Windrichtung gerichtete Impulskomponente der Volumeneinheit

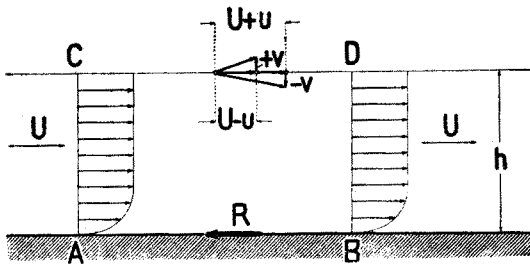


Fig. 2. Übertragung der Schubkraft durch „Impuls“.

$\rho u$ , und da durch die Flächeneinheit das Volumen  $v$  austritt, so ist die durch die Flächeneinheit durchtretende Impulsmenge gleich  $\rho u v$ . Bezeichnen wir die Reibungskraft für die Flächeneinheit, d. h. die Schubspannung mit  $R$ , so muß die Gleichung gelten:

$$-R = \overline{\rho u v}$$

wobei der Strich eine zeitliche Mittelwertbildung bedeutet. Wir sehen also, daß ein stationärer Zustand nur dann möglich ist, wenn der Wind wechselnde vertikale Komponenten hat, und zwar derart, daß in Augenblicken oder an Stellen, wo die Windgeschwindigkeit in der Horizontalrichtung vergrößert ist, eine nach unten gerichtete, und in dem Augenblick oder an Stellen, wo die horizontale Windgeschwindigkeit vermindert wird, eine nach oben gerichtete Windkomponente vorherrscht. Nur in diesem Falle können wir einen negativen Mittelwert für  $\overline{u v}$  erhalten, welcher die Übertragung der Schubspannung bewerkstelligen kann.

Diese Betrachtung ist für alle diejenigen Leser, welche mit der kinetischen Gastheorie einigermaßen vertraut sind, wohl bekannt. Sie enthält denselben Gedankengang, durch welchen

Maxwell und Boltzmann aus der ungeordneten Bewegung der Moleküle die Gesetze der inneren Reibung der Gase abgeleitet haben. Die Erscheinung, die wir als innere Reibung der Flüssigkeit oder des Gases ansprechen und welche wir als laminare Reibung bezeichnet haben, ist ebenfalls Impulsübertragung, namentlich eine Impulsübertragung infolge der ungeordneten Bewegung der Moleküle, während die Impulsübertragung, welche wir im Gegensatz zu der laminaren inneren Reibung als *turbulente Reibung* bezeichnen wollen, in den meßbaren Abmessungen vor sich geht. Wir haben daher zwei Arten übereinander gelagerter, ungeordneter Bewegungen: erstens die ungeordnete Bewegung der Moleküle, welche die laminare Reibung der aneinander vorbeiströmenden Schichten zur Folge hat; zweitens eine ungeordnete Bewegung von sichtbarer und meßbarer Größenordnung, die sogenannte turbulente Unordnung, welche durch Impulsübertragung die innere Reibung scheinbar vergrößert bzw. die Übertragung einer Schubspannung auch in den Fällen ermöglicht, wo das senkrechte Gefälle der mittleren Geschwindigkeit dazu nicht ausreicht.

Wir sehen also, daß die turbulente Struktur des Windes keineswegs ein Ausnahmefall ist, sondern in dem Wesen der Luftbewegung liegt, so daß außer dem seltenen Falle der Windstille stets eine mächtige Schwankungsenergie in der Luft enthalten ist.

Die Aufgabe der Theorie ist nun zu untersuchen, in welcher Weise ein Teil dieser Schwankungsenergie dem Winde entzogen werden kann.

Um den Vorgang zu veranschaulichen, kann man ein Beispiel aus der Punktmechanik heranziehen, welches gewisse Analogie mit unserem Problem aufweist.

Man denke sich eine wellenförmige Fläche, an welcher ein Massenpunkt sich bewegen kann<sup>2)</sup> (Fig. 3). Ist die wellenförmige Unterlage in Ruhe, und vernachlässigen wir die Reibung, so wird ein Massenpunkt, den ich z. B. im Punkte  $C$  mit der Anfangsgeschwindigkeit Null loslasse, Pendelbewegungen ausführen zwischen  $C$  und einem Punkte auf dem aufsteigenden Aste, welcher genau in derselben Höhe liegt. Es fragt sich nun, was geschieht, wenn ich die wellenartige Unterlage in Schwingungsbewegungen versetze? Man kann zeigen, daß man bei geeigneter Wahl der Periode und der Phase dem Massenpunkte Energie übertragen kann, so daß z. B. der Punkt die einzelnen Berge von immer wachsender Gipfelhöhe überschreitet. Die Schwingungsbewegung, das Rütteln der Unterlage dient als Energiequelle für den Massenpunkt, welche von dieser Energiequelle Arbeitsleistung zu entziehen vermag.

Ich will das Beispiel noch etwas vereinfachen, indem ich die Unterlage aus geradlinigen

<sup>2)</sup> Diese Anordnung haben zur Veranschaulichung des Segelfluges A. Bazin und W. Lanchester unabhängig voneinander angegeben.

Stücken zusammensetze (Fig. 4) und die geradlinigen Stücke mit kurzen Kreisbögen verbinde, wobei angenommen werden kann, daß die zur Umlenkung nötige Zeit vernachlässigbar klein ist gegen die Zeit, welche der Massenpunkt braucht, um an den schiefen Ebenen herunter- oder hinaufzugleiten. Ferner nehme ich die oszillierende Bewegung derart an, daß dem System abwechselnd eine konstante positive oder negative Beschleunigung von derselben Größe erteilt wird. Die Unterlage wird z. B. während der Zeit  $T$  mit der Beschleunigung  $b$  nach rechts gleichför-

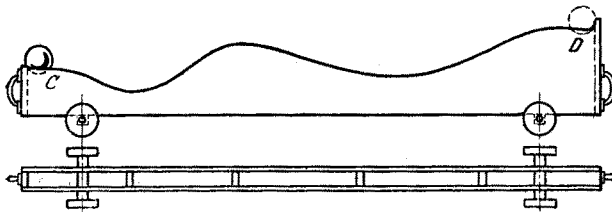


Fig. 3. Wellenförmige Unterlage, durch deren geeignete Hin- und Herbewegung man auf die Kugel  $C$  Energie übertragen kann, so daß sie dabei an Höhenlage gewinnt. (Auf das Problem des Segelfluges übertragen, entspricht die Kugel dem segelnden Vogel, die wellenförmige Bahn der Flugbahn, und die wechselnde Geschwindigkeit des Wagens stellt die veränderliche Windgeschwindigkeit vor.)

$A$  bis zum Tiefpunkt  $C$  gelangt, soll mit  $t_1$  bezeichnet werden; die Zeit, in welcher der Punkt zum Gipfelpunkt  $B$  steigt, mit  $t_2$ . Es ist daher:

$$t_1 + t_2 = 2T.$$

Die Beschleunigungen sollen so verteilt werden, daß von  $t = 0$  angefangen bis  $t = \tau$  die Beschleunigung  $b$  herrscht, dann von  $t = \tau$  bis  $t = \tau + T$  die Beschleunigung  $-b$ , schließlich von  $t = \tau + T$  bis  $t = 2T$  wieder die Beschleunigung  $b$ . Die Lagen, welche der Massenpunkt beim Wechsel der Beschleunigungen einnimmt, sollen mit  $M$  und  $N$  bezeichnet werden.

Wir wollen zunächst die mechanische Aufgabe ins Auge fassen; ein Massenpunkt, welcher sonst nur der Wirkung der Schwere ausgesetzt ist, bewege sich an einer schiefen Ebene, während die letztere eine horizontale Beschleunigung vom Betrage  $b$  erfährt. Betrachten wir die Bewegung des Massenpunktes *relativ* zur schiefen Ebene, so kann man nach einer, im Zeitalter der Relativitätstheorie wohl geläufigen Auffassung, sagen: der Punkt bewegt sich so, als wenn die Schwere durch die Resultierende der eigentlichen Schwere und der Zusatzkraft  $-mb$  ersetzt würde. Für die Bewegung gelten also die gewöhnlichen Gleichungen der Bewegung an der schiefen Ebene, nur ist als Beschleunigung der Schwere eine Größe

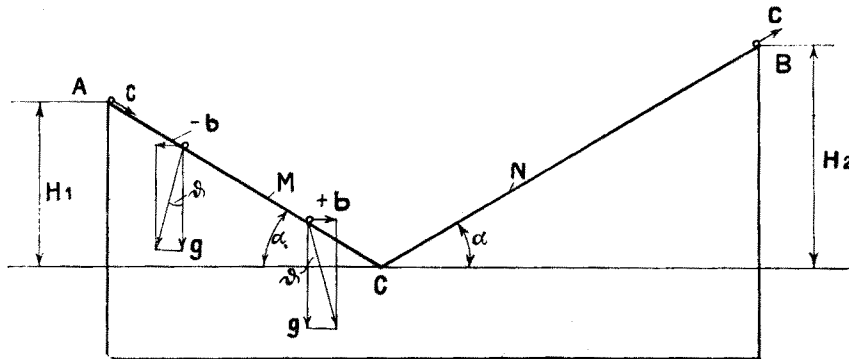


Fig. 4. Zur Erläuterung des durch Fig. 3 dargestellten Vorganges.

mig beschleunigt, alsdann ändert sich die Beschleunigung plötzlich und während desselben Zeitraumes  $T$  wird nun der Unterlage die konstante Beschleunigung  $b$  nach links erteilt. Wir wollen zeigen, daß bei geeigneter Wahl der Phase der Beschleunigung der am Gipfelpunkte  $A$  mit der Anfangsgeschwindigkeit  $c$  losgelassene Massenpunkt mit derselben Geschwindigkeit den höher befindlichen Gipfelpunkt  $B$  erreicht. Da die kinetische Energie dieselbe geblieben ist, so muß die der Höhendifferenz zwischen  $A$  und  $B$  entsprechende Hubarbeit von der Schwingungsbewegung der Unterlage herrühren.

Die Rechnung ist einfach, und so will ich sie in extenso durchführen:

Den gemeinsamen Neigungswinkel der beiden schiefen Ebenen (Fig. 4) bezeichne ich mit  $\alpha$ . Die Zeit, welche notwendig ist, daß der Punkt von

vom Betrage  $\frac{g}{\cos \theta}$  unter der Neigung  $\theta$  einzusetzen, wobei  $\theta$  durch die Gleichung:

$$-\operatorname{tg} \theta = \frac{b}{g}$$

gegeben ist.

Auf dieser Grundlage stellen wir zunächst die Bedingung auf, daß nach Ablauf der Zeit  $2T$ , d. h. im Gipfelpunkt  $B$  die Geschwindigkeit denselben Wert hat, wie im Punkt  $A$ . Eine einfache Rechnung liefert:

$$t_1 = t_2 = T$$

d. h. der Punkt legt die Strecke  $AC$  in derselben Zeit zurück als die Strecke  $CB$ .

Nun können wir den Verlauf der Geschwindigkeit leicht ermitteln. Die Geschwindigkeit ist stets eine lineare Funktion der Zeit, nur sind

die Beschleunigungen für alle Teilstrecken  $AM$ ,  $MC$ ,  $CN$ ,  $NB$  verschieden. Fig. 5 stellt die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit dar, wobei für die einzelnen Teilstrecken die Werte der tangentiellen Komponenten der Beschleunigung eingetragen sind. Das Zeitintegral der Geschwindigkeit, d. h. die Fläche zwischen Abszissenachse und dem gebrochenen Linienzug liefert den zurückgelegten Weg. Bezeichnen wir die Strecke  $AC$  mit  $s_1$ , die Strecke  $CB$  mit  $s_2$ , die

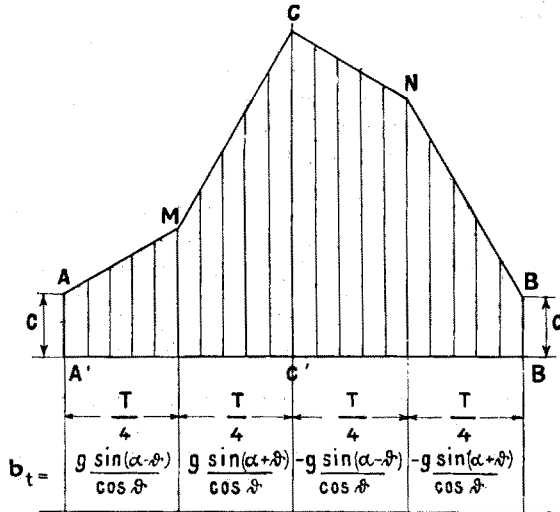


Fig. 5. Zur Erläuterung des durch Fig. 3 dargestellten Vorganges.

Anfangsgeschwindigkeit mit  $c$ , so haben wir offenbar aus Fig. 5:

$$s_1 = cT + \frac{g}{\cos \vartheta} \sin(\alpha - \vartheta) \frac{3T^2}{8} + \frac{g}{\cos \vartheta} \sin(\alpha + \vartheta) \frac{T^2}{8}$$

$$s_2 = cT + \frac{g}{\cos \vartheta} \sin(\alpha + \vartheta) \frac{3T^2}{8} + \frac{g}{\cos \vartheta} \sin(\alpha - \vartheta) \frac{T^2}{8}$$

Die Höhen  $h_1$  und  $h_2$  drücken sich durch die Formeln:

$$h_1 = s_1 \sin \alpha$$

$$h_2 = s_2 \sin \alpha$$

aus, so daß der Höhengewinn  $h = h_2 - h_1$

$$h = (s_2 - s_1) \sin \alpha = \frac{g \sin \alpha \cos \alpha \sin \vartheta T^2}{2 \cos \vartheta}$$

beträgt. Der Höhengewinn ist offenbar am größten, falls  $\alpha = 45^\circ$  ist. Wir erhalten für diesen Fall:

$$h_{\max} = \frac{g}{4} \operatorname{tg} \vartheta = \frac{b T^2}{4}$$

Nun ist  $bT = w$  die maximale Geschwindigkeit der Unterlagsfläche bei der oszillierenden Bewegung. Schreiben wir die Formel für  $h_{\max}$  in der Form:

$$h_{\max} = \frac{w T}{4} \quad \text{oder} \quad \frac{h_{\max}}{T} = \frac{w}{4}$$

so erhalten wir das einfache Resultat, daß der Höhengewinn in der Zeiteinheit, d. h. die *mittlere Steiggeschwindigkeit* im günstigsten Falle den vierten Teil der größten „*Böengeschwindigkeit*“  $w$  beträgt.

Der Verlauf der Bewegung ist folgendermaßen: der Punkt gleitet an der schiefen Ebene herunter, während die Ebene in derselben Richtung mitbewegt wird. Der Beschleunigungswechsel, d. h. das Maximum der Mitführungsgeschwindigkeit erfolgt in der halben Zeit der Abwärtsbewegung. Wenn der Punkt im Tal ankommt, wechselt gerade der Bewegungssinn der Unterlage, die schiefe Ebene  $CB$  wird *gegen den Punkt* in Bewegung gesetzt. Durch diesen Wechsel des Bewegungssinnes gelangt der Punkt höher als sein Ausgangspunkt  $A$  gewesen.

Noch überzeugender als das vorangehende Ex-

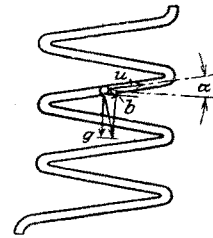


Fig. 6. Zur Ausführung des durch Fig. 3 angedeuteten Versuches in anderer Form.

periment ist das folgende (Fig. 6): Man denke sich ein Rohr zickzackförmig gebogen. Ich setze eine Kugel in das Rohr an dem unteren Ende und erteile dem System eine Schwingungsbewegung in horizontaler Richtung. Sobald das schief ansteigende Rohr gegen die Kugel beschleunigt wird, so wird diese nach oben in Bewegung gesetzt. Beschleunige ich das Rohr ständig mit einer Beschleunigung  $b$ , welche so gewählt ist, daß die Resultierende von  $b$  und der Beschleunigung der Schwere  $g$  senkrecht zur Rohrachse gerichtet ist, so wird die Kugel, abgesehen von der Reibung, ihre Geschwindigkeit behalten. Man braucht nun bloß die Phase so einzurichten, daß die Beschleunigung gerade die Richtung wechselt, wenn die Kugel umkehren muß, so wird die letztere mit konstanter Geschwindigkeit an der Treppe hinaufklettern. Man kann das Experiment geschickter so einrichten, daß man das Rohr spiralförmig biegt, wie es in Fig. 7 dargestellt ist. erteilt man dem System eine wechselnde Beschleunigung in horizontaler Richtung und trifft man die Phase einigermaßen richtig, so erscheint die Kugel alsbald in der oberen Windung zum sichtbaren Beweis, daß man durch die schwingungsartige Bewegung an die Kugel beliebige Arbeitsleistung zu übertragen vermag. Alles bisher Gesagte gilt auch naturgemäß für Bewegungen an

reibender Unterlage. Man kann z. B. statt einen Höhengewinn zu erzielen, die aus der schwingenden Bewegung der Unterlage gewonnene Energie zur Überwindung von Reibungsarbeit verwenden.

Es liegt nahe, diese einfachen mechanischen Experimente auf den Fall des Fluges bei schwankender Windgeschwindigkeit zu übertragen.

Zuerst das Analogon zu dem Fall der schwingenden, wellenartigen Unterlage kann so gedacht werden, daß ein Flugzeug das Luftmeer durchschreitet, wobei die Windstärke ständig periodischen Änderungen unterworfen ist. Das Flugzeug wird in diesem Falle eine wellenartige Bahn beschreiben müssen. Durch Änderung des Anstellwinkels der Tragfläche ist der Flugzeugführer in der Lage, seine Bahn und die auf das Flugzeug übertragenen Kräfte nach der Schwankung der Windgeschwindigkeit zu regeln: er ist dann in der Lage, den Wechsel von verstärktem

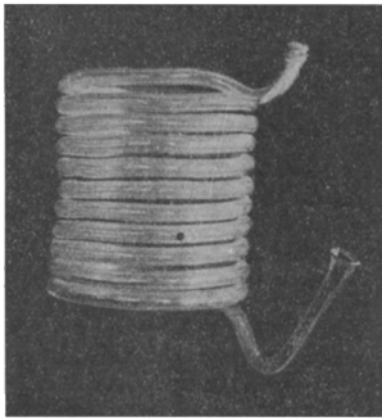


Fig. 7. Zur Ausführung des durch Fig. 6 angedeuteten Versuches in anderer Form.

Gegenwind und Mitwind so auszunutzen, daß er nach Ablauf jeder Schwankung weder an Geschwindigkeit noch an Höhe verloren hat. Im ganzen und großen wird er trachten bei Mitwind durch Fallen an Geschwindigkeit zu gewinnen und bei Gegenwind sich wieder hochtragen lassen. Ganz analog wie bei mechanischen Beispielen der Massenpunkt Wellenbewegungen beschreibt und an der schwingenden Unterlage immer höher schreiten kann oder an der reibenden Unterlage ohne Höhenverlust sich weiterbewegt, wird in diesem Falle die von den Geschwindigkeitsschwankungen des Windes entzogene Arbeit den Energieverlust infolge Luftwiderstand decken oder auch Hubarbeit leisten.

Noch einfacher läßt sich das zweite Beispiel auf den Fall des Fluges übertragen. Man denke sich wieder periodische Änderungen der Windgeschwindigkeit. Da eine konstante Geschwindigkeit entsprechend dem Relativitätsprinzip der Mechanik nicht von Einfluß sein kann,

so können wir uns auch denken, daß wir abwechselnd Windstöße nach rechts und links haben. Richtet man nun den Flug so ein, daß das Flugzeug fortwährend die Richtung ändert, und zwar so, daß es möglichst immer Gegenwind hat, so kann der Flieger den Gegenwind stets zum Heben des Flugzeuges benutzen. In den Zwischenzeiten, wo das Flugzeug umgelenkt wird, geht natürlich Höhe verloren. Sind aber die Windstöße genügend kräftig, so kann es erreicht werden, daß der Höhenverlust und der Höhengewinn sich ausgleichen, ja, daß sogar ein ständiger Höhengewinn zustande kommt. Das Flugzeug schraubt sich kreisend in die Höhe. Es ist klar, daß, je kleiner die Ausdehnung des Flugkörpers und je größer seine Beweglichkeit ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Windstöße an Intensität zu diesem Zwecke genügen. Es ist also klar, daß für den Vogel das ganze Manövrieren ungemein leichter ist als für ein Flugzeug, welches einen Menschen tragen soll. Es ist aber reizvoll zu versuchen, ob überhaupt, wenn auch in sehr beschränktem Maße, ein ähnliches Verfahren für den fliegenden Menschen innerhalb der Möglichkeiten liegt.

Wie wir für die Schwankung der Windgeschwindigkeit gezeigt haben, so kann fast jede Art zeitlicher und örtlicher Schwankungen im ähnlichen Sinne zur Entziehung von Energie mehr oder weniger nutzbar gemacht werden<sup>3)</sup>.

Den Einfluß von *Richtungsschwankungen* haben in einfacher Weise R. Knoller und A. Betz untersucht. Am einfachsten ist die Frage folgendermaßen zu stellen: man denke einen Tragflügel in einer gegebenen unveränderten Lage gegen die mittlere, horizontale Windrichtung, man nehme jedoch an, daß die augenblickliche Windrichtung Schwankungen um die mittlere Richtung unterworfen ist. Es fragt sich, wie ist die mittlere Resultierende der Luftkraft gerichtet? Man kann alsdann durch eine Mittelwertbildung zeigen, daß dieser zeitliche Mittelwert unter Umständen nicht nur keinen Rücktrieb liefert, sondern auch einen geringen Vortrieb in der horizontalen Richtung ergeben kann. Man kann dieses zunächst etwas paradox klingende Ergebnis veranschaulichen, indem man die Frage etwa so vereinfacht, daß man nur zwei wechselnde Windrichtungen in Fig. 8 mit  $\pm \beta^\circ$  Neigung annimmt. Wählen wir z. B. bei einem bestimmten Profil den Anstellwinkel gegen die Horizontale (d. h. den Winkel zwischen der Sehne des Tragflügels und der Wagerechten) zu  $\theta$ , so ist der effektive Anstellwinkel abwechselnd  $\theta + \beta$  und  $\theta - \beta$ . Fig. 8 zeigt die Lage und relative Größe der Luftkräfte entsprechend den zwei Anblaserichtungen. In beiden Fällen ergibt sich natürlich in der augenblicklichen Anblaserichtung ein Rücktrieb. Die Auftriebskraft

<sup>3)</sup> Auf eine Möglichkeit, statt der zeitlichen Schwankung aus örtlicher Verschiedenheit der Windstöße Nutzen zu ziehen, hat Lord Rayleigh hingewiesen.



ist jedoch bei Aufwind nach vorne, bei Abwind nach hinten geneigt, und da sie im ersten Falle viel größer ist als im zweiten Falle, so überwiegt die Wirkung der nach vorne geneigten Auftriebskomponente und man erhält im Mittelwerte einen scheinbaren Vortrieb gegen die mittlere Windrichtung. Diese Wirkung kann erheblich vergrößert werden, falls die Tragflügel immer in eine günstigste Lage gegen die augenblickliche Windrichtung gestellt werden.

Wie weit beim Segelflug des Vogels die Ausnutzung der Schwankungen in der Windstärke oder in der Windrichtung überwiegt, kann schwer entschieden werden, zumal die beiden Schwankungsarten nicht getrennt, sondern gemischt auftreten. Es kann jedoch als sichergestellt angesehen werden, daß ein „dynamischer Segelflug“, d. h. ein Flug ohne Höhenverlust bei mittlerer, horizontaler Windrichtung auf Kosten der in den Windschwankungen enthaltenen Energie theoretisch durchaus möglich ist.

Die hauptsächlichste praktische Schwierigkeit in der Verwirklichung des dynamischen Segelflugs durch bemannte Flugzeuge liegt meines Erachtens in folgendem Umstand: Der „Segel-effekt“, d. h. der aus den Windschwankungen entnommene Energiegewinn wächst mit dem Verhältnis der Windschwankung zur Fluggeschwindigkeit, d. h. zur Schwebegeschwindigkeit des

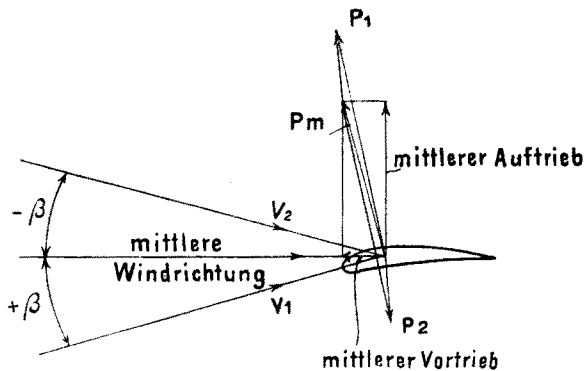


Fig. 8. Zur Untersuchung des Einflusses von Richtungsschwankungen des Windes.

Flugzeugs. Diese letztere ist jene Geschwindigkeit, welche zur Erzeugung des Auftriebes nötig ist; sie ist in erster Linie abhängig von der „Flächenbelastung“, d. h. davon, wie viel Gewicht die Flächeneinheit des Flügels zu tragen hat. Setzt man die Flächenbelastung und damit die Schwebegeschwindigkeit herunter, so hat man viel mehr Hoffnung, Böen und sonstige Schwankungen nutzbar zu machen. Andererseits aber werden mit Verminderung der Flächenbelastung bei demselben Gewicht die Tragflügel größer. Wenn aber die Abmessungen eines Flugzeuges sehr groß sind, so kann es natürlich nur die Böen von großer Ausdehnung ausnützen, d. h. man verdirbt wieder die Chancen des dynamischen Segelns. Man sieht aber, daß infolge der Unregelmäßigkeit der Windschwankungen das Er-

reichen des „Segeleffektes“ außer den Flugeigenschaften in erster Linie von der Übung und der Geschicklichkeit des Flugzeugführers abhängt, und es ist deshalb von großem Interesse, was bei den nun schon in zwei aufeinanderfolgenden Jahren abgehaltenen Wettbewerben in der Rhön erreicht wurde.

Der erste Wettbewerb im Jahre 1920 brachte in erster Linie schöne Gleitflüge; unter diesen war die bemerkenswerteste Leistung W. Klemperers Flug von der Wasserkuppe nach der Ort-

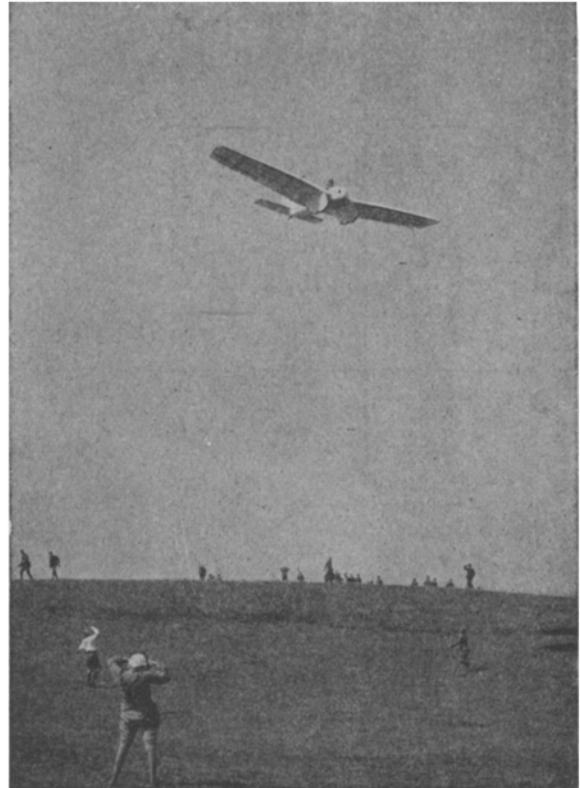


Fig. 9. Segelflug Klemperers auf der „Blauen Maus“ (Hochschule Aachen).

schaft Tränkhof, welcher die vor dem Krieg erreichte Höchstleistung für Flugstrecke ohne Motor mehr als verdoppelte. Die Flugzeit betrug etwa 2½ Minuten. Das Flugzeug, ein freitragender Eindecker, mit Kufen als Landungsgestell, wurde auf meine Anregung im Aerodynamischen Institut der Technischen Hochschule Aachen zum großen Teil von Studenten nach Klemperers Entwürfen gebaut. Mit Rücksicht auf seine schwarze Bespannung wurde er als „schwarzer Teufel“ getauft. Das Eigengewicht des Flugzeuges betrug 61 kg. Nach seinem schönen Gleitflug hat Klemperer einige Versuchsflüge zur Verwirklichung des Segelfluges ausgeführt, es gelang ihm auch, ungefähr eine Minute lang an einem Bergabhang fast an Ort und Stelle zu schweben, wobei er vom auf-

steigenden Wind etwa 15 m über den Abflugort gehoben wurde. Dieser Flug war lediglich als statischer Segelflug anzusprechen und als solcher sicherlich ein verheißender Anfang.

Die Erwartungen wurden durch den diesjährigen Wettbewerb nicht getäuscht. Es war vielleicht nicht Zufall, daß nach dem Aachener Beginnen gerade die Hochschulstädte (München, Hannover, Stuttgart) mit erfolgreichen Apparaten vertreten waren. Die Flüge während des Wettbewerbs selbst waren zum größten Teil eben-

rücksichtigt man, daß die in Betracht kommenden Flugzeuge eine Schwebegeschwindigkeit von 10—15 m/sec haben, so mußte das Flugzeug unter Zugrundelegung einer sehr guten Gleitzahl von 1 : 14 in der Sekunde 75—100 cm Höhe verlieren, während Sinkgeschwindigkeiten (z. B. für das Aachener und Münchener Flugzeug) von 45 cm/sec erreicht worden sind. Das Segeln am Berghang im aufsteigenden Wind, das Schweben an Ort und Stelle hat insbesondere wieder *Klemperer* mehrmals erfolgreich vor-



Fig. 10. Segelflugzeug der Technischen Hochschule Aachen.

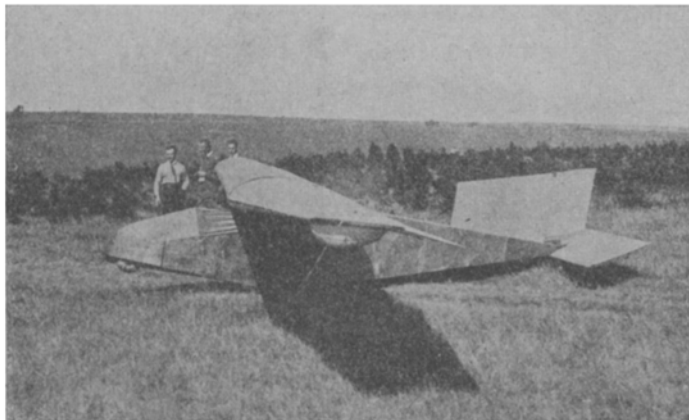


Fig. 11. Segelflugzeug der akademischen Fliegergruppe Hannover.

falls als Gleitflüge zu betrachten, wobei insbesondere der Apparat der Hochschule in Hannover durch einen sehr guten flachen Gleitwinkel sich auszeichnete. Aber auch bei diesen Gleitflügen haben fast immer das statische Segeln, sehr oft auch dynamische Manöver dazu beigetragen, Flugstrecke und Flugzeit gegenüber dem reinen Gleitflug erheblich zu vergrößern. Dies ist schon aus den ganz langsamen Sinkgeschwindigkeiten klar, welche erreicht worden sind. Be-

geführt. (Die Aachener Hochschule ist diesmal außer dem „schwarzen Teufel“ mit der „blauen Maus“ erschienen.)

Den größten Erfolg für die Lösung des „Segelflugproblems“ brachten einige Flüge nach Schluß des offiziellen Wettbewerbs (ein Beweis dafür, wie sehr es auf die Übung der Flugzeugführer ankommt). Am 30. August hat *Klemperer* einen Flug von der Wasserkuppe nach der etwa 5 km entfernt liegenden Ortschaft Gersfeld ausgeführt.

Die Schwierigkeit bei diesem Flug bestand darin, daß zwischen der Wasserkuppe und Gersfeld mehrere Bergrücken liegen, welche kaum niedriger sind als die Wasserkuppe selbst. Inzwischen kann man nicht nur nicht immer auf aufsteigende Winde rechnen, sondern sogar auf starke abwärts ziehende Strömungen gefaßt sein. Der

Möglichkeit eines längeren Segelns (Gesamtflugzeit über 13 Minuten) bewiesen<sup>1)</sup>.

Die beim Wettbewerb erfolgreichen Flugzeuge waren grundsätzlich, insbesondere was ihr Stabilisierungsprinzip anbelangt, nach denselben Regeln gebaut wie die normalen Drachenflugzeuge. Nur sind die Möglichkeiten des Leichtbaus bei der



Fig. 12. Segelflugzeug mit Flügelsteuerung kurz nach Start. (Flugzeug des bayer. Aeroclubs, Pilot Koller.)

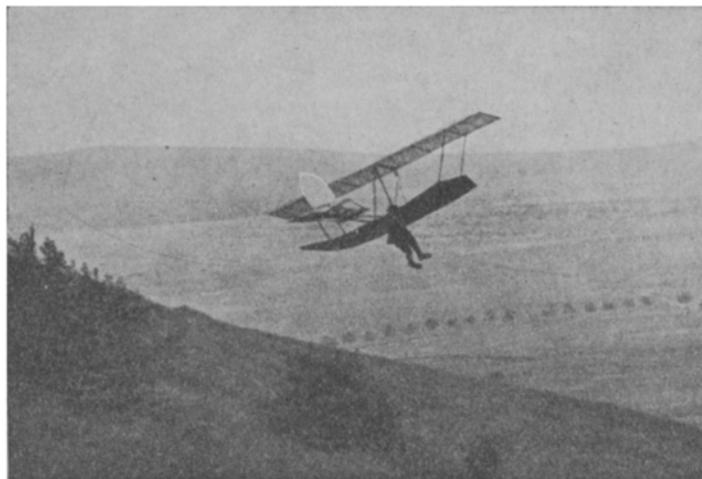


Fig. 13. Hängegleiter im Fluge.

Flieger muß also sich erst emporarbeiten, um die nächsten Bergrücken zu überfliegen. Dies erreichte *Klemperer*, indem er einerseits durch Schweben am Bergabhang in Kurven und Schleifen sich bewegte, andererseits Böen ausnutzte, indem er durch diese sich hochtragen ließ und soviel Höhe gewann, daß er 10 Minuten nach Abflug noch immer die ursprüngliche Höhe innehatte und dann erst in das Tal hinunterglitt, um an seinem Zielort zu landen. Damit war die

<sup>1)</sup> Einige Tage darauf hat *Martens* an dem Hannoveranerflugzeug eine ähnliche Leistung vollbracht (Flugzeit 15 Minuten); diese Leistung wurde dann, allerdings ohne objektive Zeugen, von *Harth*, einem alten Vorkämpfer des Segelfluggedankens, durch einen Flug von 21 Minuten ebenfalls überholt. Leider folgte diesem Fluge ein ziemlich schwerer Sturz mit demselben Apparat. In neuerer Zeit hat bei viel ungünstigeren Geländebedingungen *Koller* bei Pähl im bayerischen Hochland mit dem in Fig. 12 dargestellten Flugzeug schöne Segelflüge bis  $2\frac{1}{2}$  km Länge mit nur 80 m Höhendifferenz vollführt.

Konstruktion von Segelflugzeugen bis zum Extremsten ausgenutzt. Die erfolgreichen Maschinen wogen flugfertig 50—90 kg. Die größte Abmessung (die „Spannweite“) variierte etwa zwischen 9—13 m. Bei den meisten Apparaten war auch die Steuerung ähnlich wie bei Motorflugzeugen. Eine Ausnahme bildete das von *E. v. Lösch* und *A. Finsterwalder* konstruierte Flugzeug des Bayer. Aeroklubs, bei welchem, statt Höhenruder und Querruder, die Tragflügel selbst verdreht wurden. Außer diesen den Flugtechnikern geläufigen Typen sind zunächst die Hänggleiter zu erwähnen, welche recht hübsche Gleitflüge ausführten; die Steuerung bewirkt bei diesen der Flieger ganz oder teilweise durch Verstellung des eigenen Körpers. Für den Segelflug kamen bisher diese Hänggleiter nicht in Betracht, sie sind

ren Flügelhälften. Der Apparat, der nach Art einer Möve mit sehr langen schmalen Tragflügeln versehen war, hat einen schönen Flug ausgeführt, welcher sicherlich als Segelflug anzusprechen war, nach einer Minute Flugzeit jedoch durch einen Todessturz jäh abgebrochen wurde. Da das Flugzeug infolge unvollkommenen statischen Aufbaues in der Luft die Flügel verlor, konnte man sich kein endgültiges Urteil über Stabilität und Steuerfähigkeit bilden. Sicher ist es, daß kleine Modelle dieser Art sich wunderschön durch den Wind tragen lassen; ob nach dem Prinzip windtüchtige Flugzeuge sich bauen lassen, muß erst abgewartet werden.

Der erwähnte Unglücksfall war der einzige ernste Fall während des Wettbewerbs. Die erfolgreichen Maschinen hatten so gut wie gar keine Schäden erlitten. Sie zeichneten sich vielmehr

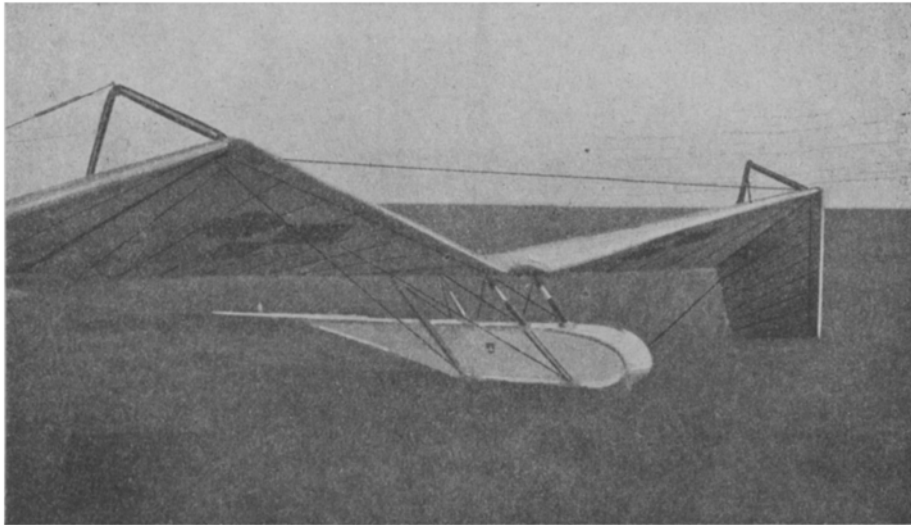


Fig. 14. Der „Weltensegler“.

jedoch infolge Einfachheit und Billigkeit zum reinen Gleitersport sehr geeignet; man kann sie als Sportzeuge mit dem Rodelschlitten vergleichen. Mit höherem Ehrgeiz sind einige Segler erschienen, die es zumeist auf eine Imitation des Mechanismus des Vogelflugs abgesehen haben, wobei aber die Nachahmung meistens in reichlich naiver Weise auf Äußerlichkeiten oder auf die Art der Steuerung sich beschränkt. Mehr Aufmerksamkeit als diese erfinderischen Leistungen verdiente der einzige „schwanzlose“ Apparat, der den etwas anmaßenden Namen eines „Weltenseglers“ trug. Während alle anderen Flugzeuge, wie die Motorflugzeuge im allgemeinen, ihre Stabilität durch außerhalb der Tragflügel angeordnete Dämpfungsflächen (Schwanzflächen) erreichen, hat dieses Flugzeug dasselbe Ziel durch eine starke Rückwärtsbiegung und etwas Aufwärtsbiegung der äußeren Flügelhälften erreicht. Die Steuerung geschieht durch Verdrehung der äußeren

durch bemerkenswerte Betriebssicherheit aus. Der Start erfolgte zumeist so, daß zwei bis vier Leute die Maschine in Bewegung setzten; bei geringem Wind brauchten sie nur einige Schritte zu laufen, und das Flugzeug hob sich ab. Die Landung erfolgte zumeist auf Kufen, die sich bei schwierigen Geländebedingungen sehr gut bewährten. Die Flieger landeten an Stellen, welche als Landungsplätze für Motorflugzeuge ganz unmöglich wären. Ein eigenartiges Landungsgestell hatte das Flugzeug der akademischen Fliegergruppe Hannover, welches auf pneumatisch federnde Bälle landete.

In technischen Fragen und insbesondere auf dem Gebiete der Flugtechnik ist das Prophezeien schwer und undankbar. Es kann jedoch bereits heute festgestellt werden, daß — ganz abgesehen von der großen Anzahl theoretischer Forschungsarbeiten, welche durch das Segelflugproblem angeregt worden sind — der motorlose

Flug schon jetzt eine reizvolle Sportbetätigung darstellt; von konstruktiv-technologischem Standpunkte aus ist der auf die Spitze getriebene „Leichtbau“ von großem Interesse. Für die Entwicklung der ganzen Flugtechnik ist aber von Wichtigkeit, daß gegenüber der maßlosen Steigerung der Motorstärke der Kriegsflugzeuge einmal der andere Grenzfall vor Augen geführt wurde; wir lernen daraus, daß die letzte Weisheit nicht darin besteht, durch riesige Motorreserve sich von Wind und Böen unabhängig zu machen; Wind und Böen kann der Flieger unter Umständen auch nützlich verwerten.

So bildet wahrscheinlich der motorlose Flug auch den verheißungsvollen Anfang einer neuen Richtung in der Kunst des Fliegens.

## Die Phylogenie der Getreide.

Von Elisabeth Schieman, Potsdam.

Zu dem Problem, dem diese Zeilen gewidmet sind, ist man geneigt, in *Hehns* „Kulturpflanzen und Haustiere“ Auskunft zu suchen, und ist überrascht, dort so gut wie nichts über die Abstammung der Getreide zu erfahren. Einige wenige Angaben über die Gerste finden sich in dem Kapitel über das Bier; etwas mehr steht in den dem Werke angefügten Anmerkungen, als „einige zerstreute Beiträge zu der alten Ackerbausprache, als eine nicht zu verachtende Ergänzung zu den Untersuchungen der Naturforscher über Herkunft und Vaterland der Getreidearten“. Im übrigen verweist *Hehn* auf *Humboldts* Darstellung in den „Ansichten der Natur“. Dort heißt es: „Der ursprüngliche Wohnsitz der mehrliebigen Grasarten ist mit dem der Haustiere, die den Menschen seit seinen frühesten Wanderungen begleiten, in dasselbe Dunkel gehüllt.“ Es folgt eine Kritik von Reiseberichten aus Osteuropa und Westasien, in denen über das Vorkommen wilder Getreide berichtet wird; *Humboldt* hält alle diese Funde für solche von verwilderten Pflanzen mit alleiniger Ausnahme der Angaben von *Carl Koch*, „der im pontischen Gebirge in 5–6000 Fuß Höhe viel wilden Roggen fand und im Schirwanschen Teile des Kaukasus eine Gerstenart, die er *Hordeum spontaneum* benennt und für das ursprünglich wilde *Hordeum zeocriton* Linn. hält“.

„Mehr als bei *Humboldt* enthalten ist“, sagt *Hehn* 1870, „läßt sich über diesen Gegenstand heute nicht sagen.“ Was er selber bringt, sind Erläuterungen der Namen und ihrer Wanderungen und Wandlungen durch die europäischen Sprachen hindurch, aus denen sich ja allerdings Schlüsse auf die Wanderungen der Pflanzen selber ziehen lassen.

Am weitesten in die Urgeschichte zurück reichen Weizen und Gerste; sie finden sich in allen Funden der Pfahlbauten, sie sind Bestandteile des ägyptisch-semitischen Kulturkreises. Hafer und Roggen sind dagegen in der Bronzezeit nur selten; sie sind jedenfalls erst später in

Kultur genommen und dem ägyptisch-semitischen Kulturkreise fremd. Den *Roggen* bezeichneten zur Römerzeit die Südländer als ein „schwärzliches, unverdauliches Korn“, und er ist ja auch heute noch von ihnen wenig geschätzt. Der *Hafer*, auch ein „nördliches“ Korn, galt den Alten als ein Unkraut, das sich unter das Korn mischte (*Theophrast*) und in welches das Korn sich verwandelte; aber schon *Plinius* berichtet, es gehe auch der Hafer in ein edleres Getreide über — und fügt hinzu, daß die Germanen ausschließlich davon leben. Den Namen Hafer deutet *Hehn* als „Bockskraut“ — m. a. W. dem Sinne nach als Unkraut; er sei wohl mit der Pflanze aus dem Süden gekommen, wenn diese auch im Norden zuerst in Kultur genommen wurde, und deute auf ein echtes Korn hin, zu dem es in Gegensatz gestellt wurde.

Aus den Etymologien, die *Hehn* über den Weizen bringt, greife ich nur eine Bemerkung heraus, auf die später noch zurückzukommen sein wird. Der Name für Weizen bedeutet in allen Sprachen *Weißkorn*. Auch dieser Name erlaubt einen Rückschluß, insofern er die frühere Bekanntheit mit einem schwärzeren Getreide voraussetzt.

Die Zeit von 1807—1870, die mit dieser philologischen Methode arbeitete, hatte demnach keine neuen Aufschlüsse über die Herkunft unserer Brotgetreide gebracht. Über die späteren Spekulationen und Untersuchungen auf philologischem Gebiet verweise ich auf die Schrift von *Schulz*: *Geschichte der kultivierten Getreide*<sup>1)</sup>, in der auch die sprachwissenschaftlichen und kulturhistorischen Forschungen über Verbreitung unserer Getreidearten in historischer und prähistorischer Zeit ausführlich dargestellt sind. Für unsere heutige Fragestellung sind diese Erörterungen von geringerem Interesse. Wo immer die ältesten Überreste menschlicher Nahrungsmittel gefunden sind, treten uns die Getreide schon als hochkultivierte Formen entgegen. Doch stand wohl längst die Ansicht fest, daß sie von Wildformen abstammen, und es ist denn auch gelungen, im Laufe der Zeit eine Anzahl dieser vermeintlichen (oder wahrscheinlichen) Stammformen in wildem Zustande aufzufinden. Es sind die folgenden:

1. *Weizen*: *Triticum dicoccoides*, 1855 von *Kotschy* am Hermon gefunden und für die wilde Gerste gehalten, 1899 aber von *Körnicker* nach dem Herbarmaterial beschrieben und richtig erkannt. Trotzdem wurde der Fund nicht recht beachtet, bis 1906 *Aaronsohn* am Hermon und im Jordantal (in 1900 m bis minus 190 m Höhe) die Pflanze wildwachsend wiederfand. *Schweinfurth* erkannte sofort die Bedeutung des Fundes und stellte die Pflanze als „Urweizen“ zu den Emmern. Die Früchte waren nicht einheitlich, sondern teils hell, teils schwarz. Die Sendung von *Aaronsohn*

<sup>1)</sup> Verlag Nebert, Halle 1912.