

## B. Flugtechnik.

### I. Allgemeines.

#### 1. Grundbegriffe der Flugtechnik.

**Auftrieb, Vortrieb, Luftwiderstand.** Bei den Flugzeugen schafft man die zum Schweben nötige Auftriebskraft auf dynamischem Wege, d. h. durch Bewegungen geeigneter Trag- oder Hubflächen gegen die Luft. Die Art der Bewegung, die Größe und Anordnung der Flächen bilden den kennzeichnenden Unterschied für die Gruppen der Flugzeuge: *Drachenflugzeuge*, *Schraubenflugzeuge* und *Schwingenflugzeuge*. Zu den Drachenflugzeugen gehören auch die *Gleitflugzeuge*, die nichts anderes sind als Drachenflugzeuge ohne Motor. Bei den eigentlichen *Drachenflugzeugen* wird der zum Schweben nötige Auftrieb dadurch geschaffen, daß eine gegen die Horizontalebene um einen kleinen Winkel mit der Vorderkante aufwärts geneigte, ebene oder schwachgewölbte Tragfläche durch einen motorisch angetriebenen Propeller, in der Regel einen Schraubenpropeller, mit großer Geschwindigkeit annähernd horizontal vorwärts bewegt wird. Die Tragfläche erleidet hierbei einen Luftwiderstand, dessen Normaldruck sich nach dem Parallelogramm der Kräfte zerlegen läßt in eine horizontale und eine vertikale Komponente, von denen die letztere, größere den nützlichen Auftrieb, die erstere, kleinere einen schädlichen Rücktrieb erzeugt. Hieraus erhellt, daß das Drachenflugzeug, wenn es auch nach dem heutigen Stande der Technik das einzige praktisch brauchbare Flugzeug darstellt, dennoch unwirtschaftlich ist, da ein Teil der vom Motor geleisteten Arbeit zur Vernichtung einer neben der nützlichen Auftriebskraft erzeugten schädlichen Rücktriebskraft aufgewendet wird. Ein Drachenflugzeug muß also, um schwebefähig zu bleiben, stets eine solche mittlere Eigengeschwindigkeit haben, daß die aufwärts gerichtete Komponente des Luftwiderstandes der abwärts gerichteten Schwerkraft gleich ist. Ist die Geschwindigkeit größer, so steigt das Flugzeug; ist sie geringer, so sinkt es. - Da hierfür nur die Relativgeschwindigkeit des Flugzeuges zur umgebenden Luft in Frage kommt, so ergibt sich, daß auch ein Flugzeug ohne Eigenantrieb, also ein Gleitflugzeug, zeitweilig schwebefähig sein kann, sofern der Abflug gegen den Wind erfolgt und dieser die nötige Stärke besitzt. Ist die Relativgeschwindigkeit jedoch nach erfolgtem Abschweben unter das zur Erzeugung einer der Schwerkraft gleichgroßen Auftriebskraft erforderliche Maß gesunken, so tritt ein allmähliches Fallen ein. Stellt der Fliegende während dieses Fallens die Vorderkante der Gleitfläche tiefer als die Hinterkante, so kann gleichzeitig eine Vorwärtsbewegung eintreten, sofern die nach vorn gerichtete Horizontal Komponente des durch die Fallbewegung auf der Unterseite der Tragfläche auftretenden Luftwiderstandes größer ist als die horizontale Kraftkomponente des rücktreibenden Windes. Durch Ausnutzung aufsteigender Luftströmungen, die z. B. fast immer vorhanden sein werden, wenn der Abflug von einem allmählich ansteigenden erhöhten Punkte erfolgt, kann die Vortriebswirkung noch erhöht werden. Das Flugzeug gleitet dann gleichsam auf einer schiefen Ebene abwärts. Auf diese Weise sind z. B. Lilienthal Flügel von 300 m Länge gegen den Wind gelungen.

Außer der rückwärts gerichteten horizontalen Kraftkomponente, die aus dem Luftwiderstand gegen die geneigte Tragfläche entsteht, ist bei der Vorwärtsbewegung des Drachenflugzeuges noch eine zweite rückwärts gerichtete Kraft zu überwinden, der sogenannte *Stirnwiderstand*, der von der Größe der quer zur Flugrichtung liegenden Teile abhängt und durch den Widerstand des Körpers des Fliegenden, des Motors, der Vorderkanten der Tragflächen, der Gestänge usw. hervorgerufen wird. Dieser schädliche Widerstand kann durch geeignete Zuschärfung der Querschnitte zwar verringert, doch nie völlig beseitigt werden. Zu diesen beiden Widerständen kommt als dritter der von der Größe der luftbestrichenen Oberflächen abhängige Reibungswiderstand hinzu, der jedoch bei Flugzeugen infolge der sehr viel geringeren Größe der Oberflächen lange nicht die Rolle spielt wie bei Luftschiffen. Die Summe dieser drei Widerstände muß durch den motorisch erzeugten Vortrieb, den *Schraubenzug*, überwunden werden. — Wie bereits erwähnt, erhalten die Tragflächen der Drachenfahrzeuge in der Regel eine schwache

Wölbung in der Flugrichtung. Lilienthal hat durch eingehende Versuche die erheblich günstigere Wirkung der gewölbten Fläche gegenüber der ebenen festgestellt. Sie hat ihren Grund darin, daß die Richtungsänderung des Luftstromes bei der gewölbten Fläche allmählich, bei der ebenen dagegen plötzlich erfolgt, und daß daher in letzterem Falle schädliche Wirbelungen erzeugt werden.

Während bei den Drachenflugzeugen der zum Schweben erforderliche Auftrieb durch Vorwärtsbewegung größerer geneigter Tragflächen erzielt wird, und die den Vortrieb bewirkenden Schraubenpropeller nur indirekt zur Erzeugung von Auftrieb dienen, sollen bei dem zweiten Flugzeugtyp, den *Schraubenflugzeugen*, die Propeller diesen Auftrieb direkt erzeugen, indem sie die Luftmassen nicht nach hinten, sondern nach unten beschleunigen und daher statt um horizontale Achsen um vertikale rotieren. In gewisser Hinsicht ist das Prinzip der Auftriebserzeugung dasselbe wie beim Drachenflugzeug. In beiden Fällen werden geneigte Flächen in der Horizontalebene gegen die Luft mit großer Geschwindigkeit bewegt, und die aus dem Luftwiderstand dieser Flächen sich ergebenden Auftriebskomponenten sollen der Schwerkraft entgegenwirken. Beim Schraubenflugzeug bilden die einzelnen Flügel der Hubschrauben diese Tragflächen, die, anstatt in einer Richtung wie beim Drachenflugzeug, im Kreise bewegt werden. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, daß die entstehenden Horizontalkomponenten nicht, wie beim Drachenflugzeug, einen Rücktrieb erzeugen, sondern lediglich ein Drehmoment hervorrufen, das durch Anordnung zweier gegenläufiger Hubschrauben unschädlich gemacht werden kann, so daß ein Schraubenflugzeug ohne Vorwärtsbewegung schwebefähig ist. Daß es praktisch noch nicht gelungen ist, ein Schraubenflugzeug dauernd zum Schweben zu bringen, liegt an dem außerordentlich schlechten Wirkungsgrade kleinerer, und an der technischen Schwierigkeit der Herstellung größerer Hubschrauben.

Das theoretisch wirtschaftlichste Flugzeug ist entschieden das *Schwingenflugzeug*. Es erscheint hier durchaus möglich, die ganze aufgewendete Energie während des Arbeitsganges, d. h. während des Niederschlagens der Flügel, zur Erzeugung nutzbringenden Auftriebs oder Vortriebs auszunutzen. Die Schwierigkeit liegt dabei in der Bewegungsumkehr und der Rückführung der Schwingen in die Anfangsstellung des Arbeitsganges ohne Erzeugung schädlicher Nebenwirkungen. Die Bestrebungen der auf diesem Gebiete sich versuchenden Erfinder laufen darauf hinaus, die bei der Aufwärtsbewegung der Schwingen entstehenden abwärts gerichteten Kräfte durch Anordnung von selbsttätig sich öffnenden Jalousieklappen oder durch Zusammenfallen der Flügelfläche oder endlich durch Einstellung der Flügelfläche in die Richtung der Bewegungresultante möglichst unschädlich zu machen. Theoretisch ist die Schaffung eines wirtschaftlich arbeitenden Schwingenflugzeuges sicher möglich, sofern motorischer Antrieb vorgesehen ist. Dagegen dürften die Bestrebungen vieler Laienerfinder, die danach trachten, ein Flugzeug zu schaffen, mittels dessen der Mensch durch eigene Muskelkraft bei ruhender Luft sich zu erheben vermag, kaum jemals Erfolg haben. Nach Lilienthals Versuchen würde hierzu eine Arbeitsleistung von mindestens 1,5 PS erforderlich sein, während der Mensch höchstens 0,25 bis 0,3 PS zu leisten vermag, und auch das nur auf ganz kurze Zeit. Praktische Erfolge haben aber auch die motorisch angetriebenen Schwingenflugzeuge infolge der großen konstruktiven Schwierigkeiten bisher nicht gehabt, ebenso auch nicht die Bestrebungen, durch umlaufende Schaufelräder oder durch Rückstoßwirkung verdichteter Luftmassen oder Gase den erforderlichen Auftrieb zu schaffen. Daher sind hier lediglich die Drachenflugzeuge zu berücksichtigen.

**Stabilität.** Außer einer genügenden Eigengeschwindigkeit und der hiervon in erster Linie abhängigen Tragfähigkeit ist das Haupterfordernis eines brauchbaren Drachenflugzeuges eine genügende Stabilität, d. h. die Fähigkeit, bei Lagenveränderung durch äußere Einflüsse (z. B. Windstöße) die Normallage schnell und sicher wiederzuerlangen bzw. dieser Lagenveränderung einen genügenden Widerstand entgegenzusetzen. Die Änderungen der Gleichgewichtslage können erfolgen durch Drehungen um eine vertikale Mittelachse, um eine horizontale Querachse und um eine horizontale Längsachse. Den ersten beiden Bewegungen wirkt die Längsstabilität, der letzten die Querstabilität entgegen. Zur annähernden Erhaltung der Normallage dienen feste

*Dämpfungs- und Kielflächen*, zur Zurückführung in dieselbe bewegliche Stabilisierungsorgane. Während eine genügende *Längsstabilität* durch Dämpfungs- und Kielflächen möglichst nach den Enden zu sich ziemlich sicher erreichen läßt, bildet die Sicherung einer genügenden *Querstabilität* eine der Hauptschwierigkeiten der Flugtechnik. Ist ein Flugzeug durch einen seitlichen Windstoß um seine horizontale Längsachse geneigt, so muß zur Wiedererlangung der Normallage ein entgegengesetztes Drehmoment künstlich geschaffen werden. Dies geschieht dadurch, daß an der tiefer liegenden Seite der Auftrieb verstärkt, an der höher liegenden dagegen verringert wird, und zwar entweder durch kleine, um horizontale Querachsen drehbare Hilfsflächen, die derart geneigt eingestellt werden, daß an der tieferen Seite die Vorderkante, an der höheren Seite die Hinterkante höher liegt, oder durch schraubenförmige *Verwindung* der Tragflächen selbst. Da hiermit in der Regel einseitige Veränderungen des Stirnwiderstandes verbunden sind, wird eine gleichzeitige Einstellung des Seitensteuers erforderlich. Das Verdienst der Gebrüder Wright ist es, diesen Zusammenhang als erste erkannt und eine diesen Forderungen Rechnung tragende Stabilisierungseinrichtung geschaffen zu haben. Die nähere Erläuterung folgt bei Besprechung des Wrightschen Flugzeuges. Die von Hand zu bewegenden Stabilisierungsvorrichtungen leiden jedoch alle an dem Mangel, daß sie bei sehr plötzlich eintretenden starken Neigungen nicht schnell genug wirken und ständige Aufmerksamkeit erfordern. Man strebt daher danach, automatische, von den Maßnahmen des Flugzeugführers unabhängige Stabilisierungsvorrichtungen zu schaffen. Vielfach vorgeschlagen ist z. B. der Einbau schnell rotierender Kreisel, deren stabilisierende Wirkung sich auf anderen Gebieten, z. B. zur Vermeidung von Schlingerbewegungen von Schiffen usw., bewährt hat. Andere Erfinder wollen durch Pendel, die bei Neigungen des Flugzeuges ihre Lage im Raume beibehalten, automatisch ausgleichende Flächen einstellen. Alle diese Bestrebungen haben bisher keine praktisch brauchbaren Ergebnisse gehabt.

**Steuerung.** Die Steuerungsorgane der Flugzeuge entsprechen im wesentlichen den bei Luftschiffen gebräuchlichen. Hier wie dort dienen zur Seitensteuerung vertikale, zur Höhensteuerung horizontale drehbare oder biegsame Flächen. Die Höhensteuerflächen wirken wie die horizontalen Dämpfungsflächen auch als zusätzliche Tragflächen.

## 2. Einteilung der Drachenflugzeuge.

Die gebräuchlichste Einteilung der Drachenflugzeuge ist die nach der Anzahl der übereinander angeordneten Tragflächen. Man unterscheidet danach *Eindecker*, *Zweidecker*, *Dreidecker* usw. Die Ein- und Zweidecker, zu denen die bei weitem größte Zahl der modernen Flugzeuge gehört, müssen nach dem heutigen Stande der Flugtechnik wohl als gleichwertig betrachtet werden. Dagegen konnten Flugzeuge mit drei und mehr Tragflächen übereinander bisher besondere Erfolge nicht aufweisen. Der Eindecker hat gegenüber dem Zweidecker den Vorteil, daß sein Stirn- und Reibungswiderstand erheblich geringer ist, und daß er infolgedessen bei gegebener Motorleistung eine höhere Geschwindigkeit erreicht. Dagegen hat er den Nachteil, daß die *spezifische Flächenbelastung*, d. h. die Belastung pro Flächeneinheit, in der Regel größer sein muß als beim Zweidecker. Während beim Zweidecker die spezifische Flächenbelastung gewöhnlich zwischen 10 und 15 kg pro Quadratmeter beträgt, steigt sie beim Eindecker bis über 40 kg pro Quadratmeter. Dies hat darin seinen Grund, daß es natürlich konstruktiv sehr viel leichter ist, ein bestimmtes Flächenmaß in zwei kleineren Tragflächen unterzubringen, die gegeneinander abgestützt und verspannt werden können, als in einer großen, welche die erforderliche Festigkeit in sich besitzen muß und höchstens mit dem Rumpf des Flugzeuges verspannt werden kann. Infolge der geringeren Tragflächengröße wird daher für den Eindecker die größere Geschwindigkeit, die wegen des kleineren Stirnwiderstandes erreichbar ist, auch durchaus erforderlich, um die zum Schweben nötige Auftriebskraft zu gewinnen. Der Zweidecker besitzt also die größere Tragfähigkeit, der Eindecker die größere Geschwindigkeit.

Die Stabilitätseigenschaften hängen weniger von der Anzahl der Tragdecke als von der besonderen Ausführung des Flugzeuges ab.