

1.) GRUNDBEGRIFFE

1.1.) EINTEILUNG D.FLUGKÖRPER

Der Modellflug bietet uns die Möglichkeit nahezu alle Flugkörper als Modell nachzubauen und praktisch zu fliegen. In der Luftfahrt gibt es eine international übliche Einteilung, die auch auf den Modellflug übertragbar ist. Wenn das gesamte Gewicht eines Flugkörpers kleiner ist, als das Gewicht der Luft die von ihm verdrängt wird, dann spricht man von einem „Luftfahrzeug leichter als Luft“. Diese Geräte standen am Anfang der Luftfahrt und haben nur mehr geringe Bedeutung gegenüber Luftfahrzeugen „schwerer als Luft“.

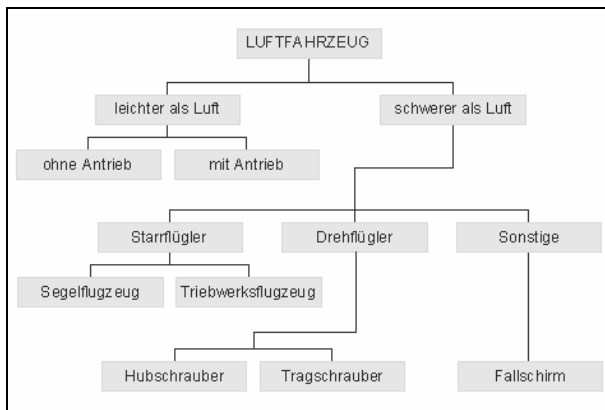


Bild 01

1.1.1.) Luftfahrzeuge leichter als Luft

Ein Luftfahrzeug dieser Bauart schwebt zufolge des aerostatischen Auftriebs (ähnlich einem Stück Holz in Wasser). Da in der Praxis alle Konstruktionswerkstoffe schwerer als Luft sind muss ein Flugkörper dieser Art in seinem Innenraum mit einem Gas gefüllt sein, das leichter als die Umgebungsluft ist (also weniger Dichte aufweist). Dies führt zwangsläufig zu vergleichsweise großen Geräten. Erhitzte Luft hat gegenüber der kälteren eine wesentlich geringere Dichte und hat bereits 1783 den Heißluftballon ermöglicht (Montgolfiere). Als „Traggas“ verwendete man früher Wasserstoff, der heute durch Helium ersetzt wurde.

1.1.1.1.) Lfzg. leichter als Luft ohne Antrieb

Freiballone und Fesselballone haben keinen Antrieb und eine Fortbewegung erfolgt eigentlich nur durch die Horizontalbewegung der Luft.

1.1.1.2.) Lfzg. leichter als Luft mit Antrieb

heißen Luftschiffe, die entweder ihre äußere Gestalt durch den in ihnen herrschenden Gasdruck halten (Blimps), oder aber eine starre Form besitzen, also einen bespannten Gerüstaufbau haben. (Zeppeline). In ihnen sind Gaskammern angeordnet.

Als Antriebe werden hauptsächlich Motoren mit Propellern verwendet. Sie verfügen meistens auch über Steuerflächen und somit manövrierbar.

1.1.2.) Luftfahrzeuge schwerer als Luft

Bei Luftfahrzeugen schwerer als Luft ist der aerostatische Auftrieb vernachlässigbar gering. Um den notwendigen Auftrieb zu erzeugen, müssen sie, oder Teile von ihnen gegenüber der Luft ständig in Bewegung sein. Im Wesentlichen sind es die Tragflügel, die durch ihre besondere konstruktive Gestaltung in der Lage sind, aerodynamischen Auftrieb zu liefern. Für Bewegung wird stets Energie benötigt, die dem Flugkörper zugeführt werden muss. Die zwei Hauptgruppen sind Starrflügler und Drehflügler.

1.1.2.1.) Starrflügler

Die Tragflügel dieser Flugzeuge führen gegenüber anderen Teilen keine Bewegung aus, um Auftrieb zu erzeugen. Daher ist stets eine Bewegung des gesamten Flugkörpers in der umgebenden Luft erforderlich. Größe und Richtung dieser Bewegung spielen für die Auftriebserzeugung eine entscheidende Rolle.

1.1.2.1.1.) Segelflugzeuge

Bei Segelflugzeugen muss durch ständiges Sinken in der das Flugzeug umgebenden Luftmasse aus potentieller Energie (Energie der Lage) kinetische Energie gewonnen werden (Bewegungsenergie). Trotzdem ist eine nach oben gerichtete Flugbahn für kurze Zeit möglich, da durch zunächst größeres gewähltes Sinken ein Überschuss an Bewegungsenergie geschaffen wird, der sich beim Steigflug wieder abbaut. Zusätzlich kann durch aufsteigende Luftmassen (z.B.: Thermik oder Hangaufwind) das Flugzeug Höhe gewinnen.

1.1.2.1.2.) Triebwerksflugzeuge

Triebwerksflugzeuge haben Antriebe, die ständig oder zeitweise dem Luftfahrzeug Energie zuführen. Sie sind daher in der Lage, horizontal zu fliegen und auch zu steigen. Bei stillgesetzten Triebwerken verhalten sie sich wie Segelflugzeuge und führen einen Gleitflug aus. Die pro Sekunde zugeführte Energie nennt man Leistung. Um bei einer bestimmten Geschwindigkeit horizontal fliegen zu können, benötigt ein Flugzeug eine bestimmte Leistung. Wird diese nun erhöht, so kann der Leistungsüberschuss entweder dazu verwendet werden, dass das Flugzeug steigt, oder aber die Geschwindigkeit zunimmt. Umgekehrt führt eine Reduktion der Motorleistung zum Sinken oder zur Geschwindigkeitsreduzierung.

1.1.2.2.) Drehflügler

Bei Drehflüglern führen die Tragflächen Relativbewegungen gegenüber den anderen Flugzeugteilen aus. Diese Tragflügel heißen daher auch Rotoren. Infolge ihrer Drehbewegung kommt es zur Umströmung der Rotorblätter und damit zur Entstehung des Auftriebs.

1.1.2.2.1.) Tragschrauber

Bei Tragschraubern wird der Rotor nicht direkt angetrieben, vielmehr wird er durch die über ihn hinwegstreichenden Luftmassen in Rotation gebracht. So benötigt der Tragschrauber immer eine Vorwärtsgeschwindigkeit. Hierzu ist erforderlich, dass entweder, wie beim Segelflugzeug die Energie dadurch gewonnen wird, dass potentielle Energie in Bewegungsenergie umgewandelt wird, was beim Gleitflug geschieht, oder aber durch ein Triebwerk soweit Energie zugeführt wird, dass aus der Vorwärtsbewegung genügend kinetische Energie zur Erzeugung des Auftriebs gewonnen werden kann. Der Tragschrauber muss also stets als gesamter Flugkörper in Bewegung sein, um nicht herunterzufallen.

1.1.2.2.2.) Hubschrauber

Beim Hubschrauber wird der Rotor über eine Welle direkt vom Triebwerk angetrieben. Somit ist der Hubschrauber das einzige Luftfahrzeug, das wie ein Ballon ruhig in der Luft stehen kann. Da durch den direkten Rotorantrieb ein Drehmoment auf den Rumpf wirksam wird müssen beim Hubschrauber Vorkehrungen zur Kompensation dieses Moments getroffen werden. In den meisten Fällen geschieht dies durch einen Heckrotor. Bei Motorausfall wird die Rotorwelle entkuppelt und der Hubschrauber wird zum Tragschrauber (Autorotation).

1.1.2.3.) Sonstige Luftfahrzeuge

Hierzu kann man alle Typen von Luftfahrzeugen zählen, die sich in den bisher genannten Kategorien nicht einordnen lassen (z.B. Fallschirme, aber auch ballistische Flugkörper wie Raketen etc.).

1.2.) BAUGRUPPEN

Wenn man ein Flugzeug betrachtet, so kann man von sechs großen Baugruppen sprechen. Diese sind:

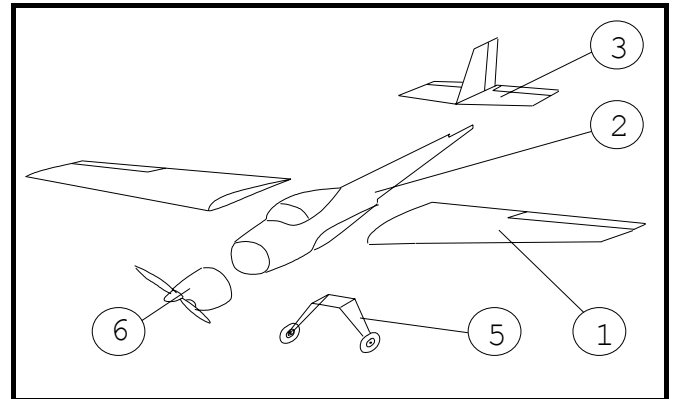


Bild 02

1) Tragwerk, (2) Rumpf, (3) Leitwerk, (4) Steuerwerk, (5) Fahrwerk (6) Triebwerksanlage

1.2.1.) Tragwerk

Das Tragwerk besteht aus dem Tragflügel und dessen Einzelteilen, wie Streben und Verspannungen. Bei Drehflüglern sind die Rotorblätter und Rotorköpfe Tragwerksteile. Es handelt sich beim Tragwerk also um ein Bauteil, das den Hauptanteil des Auftriebs für das Flugzeug erzeugt.

1.2.1.1.) Tragflügelanordnung

Die Tragflügelanordnung ist bei Flächenflugzeugen ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal hinsichtlich ihrer Baugestaltung.

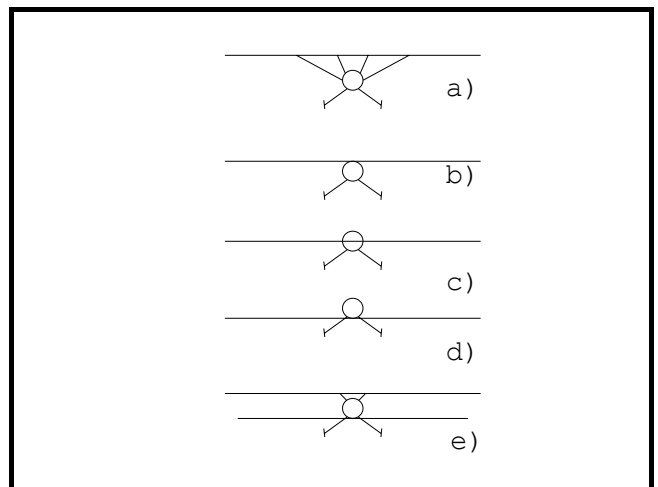


Bild 03

- a) Hochdecker: Der Tragflügel befindet sich an Streben über dem Rumpf befestigt. (z.B.: Fokker E.V.)
- b) Schulterdecker: Tragflügel sitzt am Rumpf oben auf. (z.B.: Cessna 150)
- c) Mitteldecker: Tragflügel ist mehr oder minder in der Rumpfmittle angeordnet. (z.B.: Extra)
- d) Tiefdecker: Der Tragflügel sitzt an der Unterseite des Rumpfes. (z.B.: CAP 21)
- e) Doppeldecker Mehrdecker: Flugzeug mit einem Flügelpaar oder mit mehrern Flügeln übereinander. (z.B.: Bucker, Pitts).

Normalerweise sind die Tragflächen vorne angeordnet, bei sogenannten Entenflugzeugen hinten. Als Sonderform gibt es auch die Tandemanordnung mit einem Flügel vorne und hinten.

1.2.1.2.) Grundrissformen

Die Grundrisse der Tragflächen können die unterschiedlichsten Formen aufweisen. Im Wesentlichen sind fünf Grundformen zu nennen, die wiederum, gerade oder gepfeilt sein können. Man spricht von einer Vorpfeilung (negative Pfeilung), wenn die Flügelenden nach vorne zeigen, oder von Rückpfeilung (positive Pfeilung), wenn die Flügel nach hinten gerichtet sind. Die Grundrissform eines Tragflügels gibt dem jeweiligen Flugzeug nicht nur sein charakteristisches Aussehen, sondern beeinflusst sehr wesentlich die Verteilung der Auftriebskräfte entlang der Spannweite, sowie das Verhalten bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Darüber hinaus ist die Wahl der Flügelform auch für den zu tätigen Bauaufwand entscheidend.

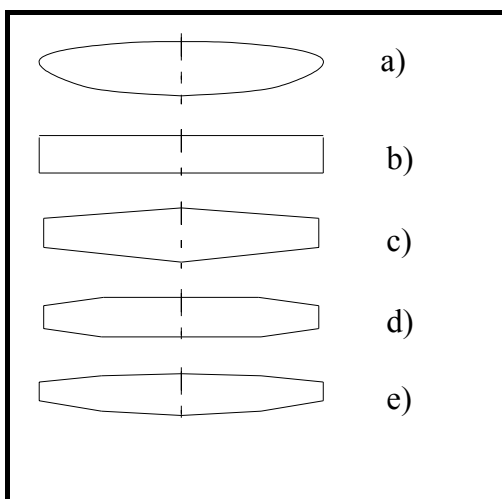


Bild 04

- (a) Ellipsenflügel: ellipsenförmig mit stetig gekrümmten Umrisslinien. Aerodynamisch günstigste Form mit geringem Widerstand, jedoch schwierig zu bauen.
- (b) Rechteckflügel: Vorder- und Hinterkante des Flügels zueinander parallel. Aerodynamisch gesehen Form mit hohem Widerstand, jedoch günstigem
- (c) Verhalten im Langsamflug. Herstellung einfach.
- (d) Trapezflügel: Vorder- und Hinterkante laufen zur Flügelspitze hin zusammen, damit ergibt sich eine gewisse Annäherung an den Ellipsenflügel bei einfacher Bauweise. (Sonderform: Deltaflügel)
- (e) Quasitrapezflügel: aus einem Rechteckflügel mit trapezförmigen Außenteilen bestehend. Ist damit eine verbesserte Annäherung an den elliptischen Tragflügel.
- (f) Doppeltrapezflügel : Grundriss besteht aus zwei oder mehreren Trapezen. Der Flächenverteilung nach ist damit die optimalste Annäherung an den ellipt. Flügel erreichbar. (Sonderformen: Mehrfachtrapezflügel, Discus-flügel)

1.2.1.3.) V-Stellungen

Blickt man von vorne auf ein Flugzeug, so kann man sehen, dass die Flügel entweder gerade sind oder mehrere Knicke aufweisen. Durch diese Knicke, beziehungsweise V-Stellung der Flächen kann die Flugstabilität wesentlich beeinflusst werden. Man spricht von einer positiven V-Stellung, wenn die Flügelspitzen nach oben zeigen und von einer negativen, wenn sie nach unten gerichtet sind.

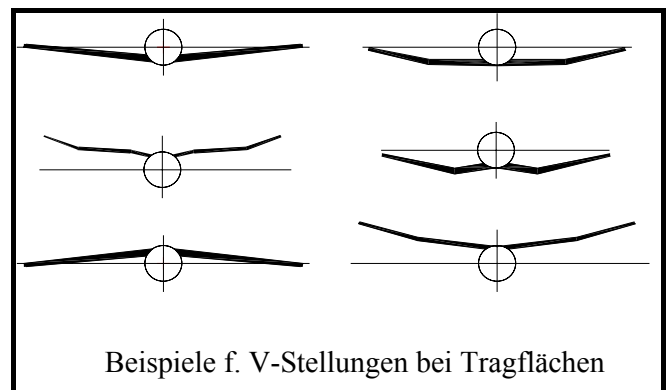


Bild 05

1.2.1.4.) Tragflügelgeometrie

Ein Tragflügel ist ein Körper mit einer bestimmten Länge, Breite und Dicke. Um genau zu wissen wovon geredet wird haben sich bestimmte Fachausdrücke eingebürgert, die in diesem Kapitel behandelt werden sollen.

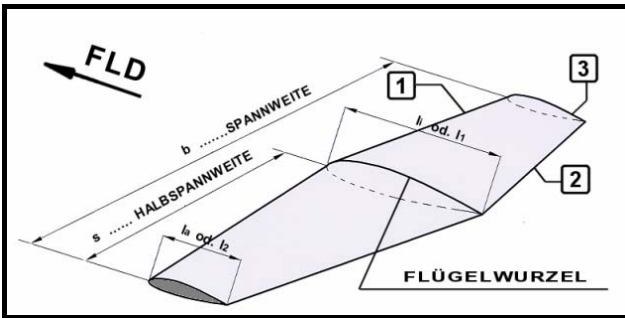


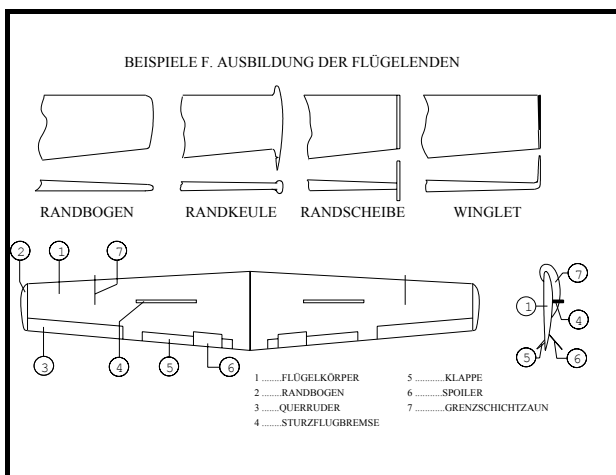
Bild 06-R01

- 1 Flügelvorderkante (Flügel Nase)
- 2 Flügelhinterkante
- 3 Flügelspitze (Randbogen, Flügelende)
- b Spannweite
- $s=b/2$... Halbspannweite
- l_i od. l_1 ... Flügeltiefe (zugleich Profiltiefe) an Wurzel
- l_a od. l_2 ... Flügeltiefe an Flügelende
- d Dicke (zugleich Profildicke)
- FLD Flugrichtung (Flight direction)

Die angeführten Ausdrücke können auch in Zusammenhang mit dem Leitwerk verwendet werden und definieren auch die Abmessungen von Rudern und Klappen.

1.2.1.5.) Baugruppen des Tragwerks

Das Tragwerk besteht aus dem Tragflügelkörper, der mit Randbögen, Randkeulen oder Randscheiben versehen sein kann. An der Tragflügelhinterkante sind Querruder, Klappen (Flap) und eventuell auch Spoiler angebracht. Ist der Flügel mit Sturzflugbremsen ausgestattet, so liegen diese etwa an der dicksten Stelle des Flügelprofils, jeweils im ersten Spannweitendrittel. Auftriebserhöhende Einrichtungen können entweder direkt an der Flügelvorderkante, oder ein Stück davor angebracht sein (z.B. Fisseler Storch). Weitere die Aerodynamik beeinflussende Einrichtungen sind ebenfalls möglich (z.B.: Turbulatoren, Verdrängungskörper, Grenzschichtzäune etc.). Ebenfalls zum Tragwerk zu zählen sind Streben und Verspannungen des Flügels.



1.2.2.) Rumpf

Der Rumpf ist Verbindungsglied zwischen Tragflügel und Leitwerk. Er ist derjenige Teil eines Flugzeugs, der zur Aufnahme von Fracht und Passagieren dient.

Das Rumpfvorderteil wird auch Rumpfnase genannt. Der hinter der Tragfläche liegende Teil heißt Leitwerksträger oder Rumpfhinterteil (auch Rumpf-Schwanz). Wenn es sich um einmotorige Flugzeuge handelt, so ist das Triebwerk am Rumpf angebracht.

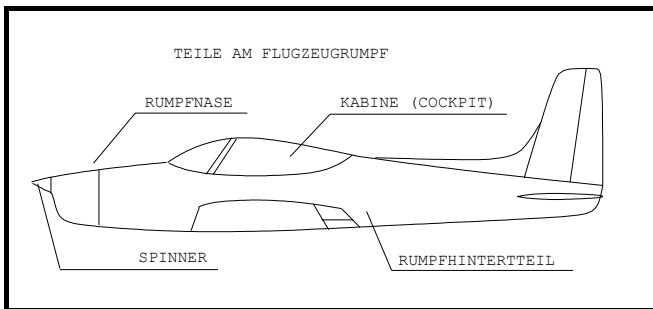


Bild 08

Eine Sonderform ist die Ausführung als Doppelrumpf. Dabei ist das Rumpfhinterteil in zwei Leitwerksträgern ausgebildet, die in der Regel am Flügel angesetzt sind. Diese Anordnung ermöglicht als Antrieb die Verwendung eines Schubpropellers. Bei besonderen Tragflügelkonstruktionen ist ein Höhenleitwerk nicht nötig, sodass es auch schwanzlose Flugzeuge (Nurflügler) gibt. Bei ihnen ist der Rumpf nur zur Aufnahme des Cockpits beziehungsweise des Motors notwendig.

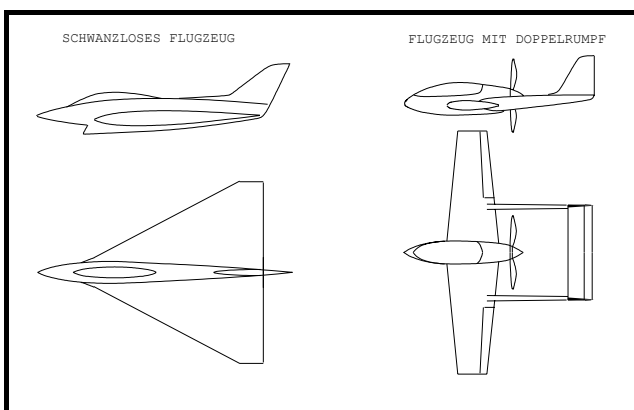


Bild 09

1.2.3.) Leitwerk

Das Leitwerk besteht aus dem Höhen- und Seitenleitwerk. Das Leitwerk dient zur Stabilisierung des Flugzeugs im Flug und zu dessen Steuerung. Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Anordnung.

In Normalausführung ist das Höhenleitwerk mit dem Rumpf verbunden. Beim Kreuzleitwerk bilden Höhen- u. Seitenleitwerk zusammen ein Kreuz. Sitzt das Höhenleitwerk oben am Seitenleitwerk auf, so handelt es sich um ein T-Leitwerk. Die T- und Kreuzanordnung bieten den Vorteil, dass sie in der unverwirbelten Luftströmung liegen und damit gut wirksam sind. Zudem sind sie durch ihre Hochlage von Beschädigung geschützt. Eine Sonderform stellt das V-Leitwerk dar, das Seiten- und Höhenleitwerk kombiniert.

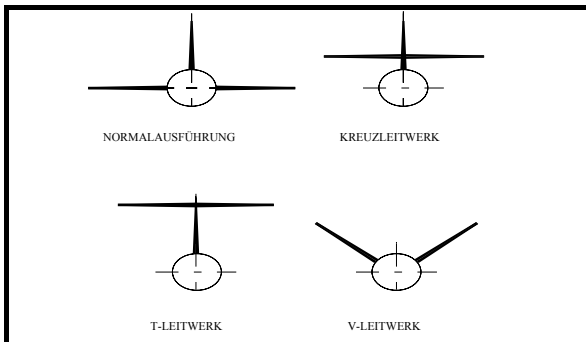


Bild 10

1.2.3.1.) Seitenleitwerk

Das Seitenleitwerk dient zur Stabilisierung des Flugzeugs um die Hochachse, also die Kontrolle der Bewegung nach rechts oder links. Im allgemeinen besteht es aus zwei Teilen, der feststehenden Seitenflosse, auch Dämpfung genannt, und einem beweglichen Teil, dem Ruder. Ein Pendelleitwerk, bei dem nur eine Ruderfläche um eine Drehachse geschwenkt wird, ist beim Seitenleitwerk eher selten zu finden. Zum Luftkraftausgleich hat das Seitenruder manchmal eine Ausgleichsfläche, die über die Flosse nach vorne ragt und dadurch Ruderkräfte reduziert. Denkbar sind auch feststehende Seitenleitwerke.

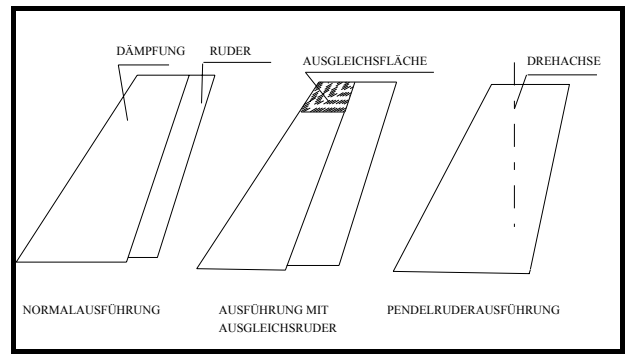


Bild 11

1.2.3.2.) Höhenleitwerk

Höhenleitwerke bestehen ebenfalls aus Dämpfung, beziehungsweise Flossenteil und Ruder. Pendelausführungen sind öfter anzutreffen als bei Seitenleitwerken. Wie bei Seitenrudern findet man auch an den Höhenrudern Ausgleichsflächen zur Verringerung der Steuerkräfte.

Ruder sollten so leicht als möglich gebaut sein, da sie bei hohen Fluggeschwindigkeiten zum Flattern neigen und eine hohe Masse das Ruderflattern begünstigt. Abhilfe schaffen Massenausgleiche, die vor den Ruderdrehachsen angebracht werden und damit dämpfende Drehmomente erzeugen. Diese Ausgleichsmassen werden oftmals in den Ausgleichsflächen der Ruder eingebaut.

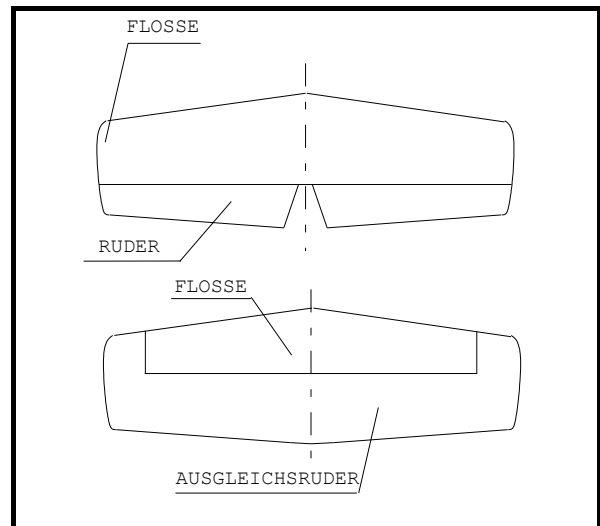


Bild 12

1.2.3.3.) Geometrie der Leitwerke

Für Leitwerke gelten dieselben Bezeichnungen wie für die geometrischen Abmessungen bei den Tragflächen. Lediglich beim Seitenleitwerk spricht man nicht von der Spannweite, sondern von Leitwerkshöhe.

Die für die Längen gegebenen Buchstaben erhalten den Index "H" oder "Hlwk" für das Höhenleitwerk und "SL" bzw. "Slwk" für das Seitenleitwerk. Analog dazu stehen für das Höhenruder "HR" und für das Seitenruder "SR". (z.B.: Spannweite Höhenleitwerk = b_{Hlwk} ; Seitenruderhöhe = b_{SR}).

1.2.4.) Steuerwerk

Zum Steuerwerk zählen alle Antriebsorgane für die Steuerflächen, die Fahrwerksbetätigung und sonstige Bedienelemente. Grundsätzlich kann zwischen mechanischen, hydraulischen, pneumatischen und den elektrischen Steuersystemen unterschieden werden. Bei mechanischen Steuerungen erfolgt die Kraftübertragung ausschließlich über mechanische Teile wie Hebel, Gestänge, Seilzüge, Umlenkrollen und Bowdenzüge. In hydraulischen Anlagen wird die Kraft durch die Hydraulikflüssigkeit in den Leitungen übertragen. Pneumatische Antriebe arbeiten mit Luftdruckleitungen. Von elektrischen Steuersystemen spricht man, wenn die Ruder von Elektromotoren angetrieben werden.

Im Modellflug finden sich rein mechanische Anlagen bei den Fesselflugmodellen und Freiflugmodellen. RC gesteuerte Modelle sind elektromechanisch gesteuert. Für Einziehfahrwerke wird auch oft ein pneumatischer Antrieb oder elektrischer Antrieb verwendet.

1.2.5.) Fahrwerk

1.2.5.1.) Fahrwerksarten

Zur Bewegung des Flugzeugs am Boden, zum Start und zur Landung werden Fahrwerke benötigt. Die einfachste Form eines Fahrwerks ist die Gleitkufe, die hauptsächlich bei Segelflugzeugen Anwendung findet. In manchen Fällen kommt zusätzlich zur Gleitkufe ein einzelnes Rad in der Rumpfmittle. Versuchsflugzeuge und Rekordflugzeuge, die besonders leicht sein sollen und bei denen man sich den Aufwand eines Fahrwerks sparen möchte, landen ebenfalls auf Kufen. Ebenso sind Hubschrauber mit Kufen ausgestattet, da sie ja senkrecht starten und landen können.

Das schon im Zusammenhang mit der Gleitkufe erwähnte Zentralrad ist bei Segelflugzeugen das häufigst anzutreffende Fahrwerk. Aus aerodynamischen Gründen ist es vielfach einziehbar.

Das Dreibeinfahrwerk ist das heute gebräuchlichste, soweit es sich um Triebwerksflugzeuge handelt. Es besteht aus einem Hauptfahrwerk, das sowohl am Rumpf, als auch an

den Tragflächen angebracht sein kann, und einem Bugfahrwerk an der Rumpfnase. Es weist ausge-sprochen gutes Rollverhalten auf. Sein Nachteil ist das relativ hohe Baugewicht.

Das Spornradfahrwerk hat neben dem Hauptfahrwerk, das vor dem Flugzeugschwerpunkt montiert ist am Rumpfschwanz ein Spornrad. Damit kann es leichter gebaut werden, als ein Dreibeinfahrwerk. Das Spornrad wird oft überhaupt durch einen Schleifsporn ersetzt. Sein Nachteil ist die geringe Richtungsstabilität beim Rollen und die Neigung zum Springen des Flugzeugs bei der Landung.

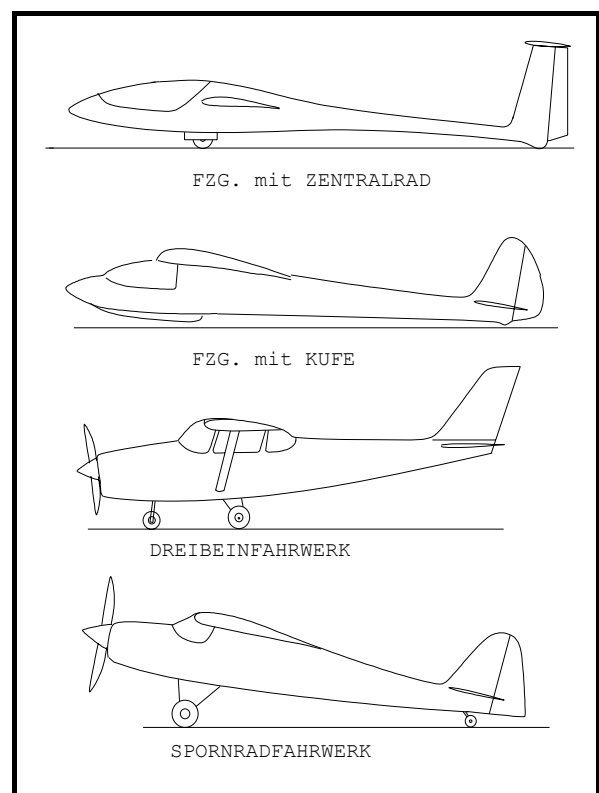


Bild 13

1.2.6.) Triebwerk

Damit ein Flugzeug fliegen kann muss ihm ständig Energie zugeführt werden. Im Gleitflug erfolgt die Energiezufuhr durch Umwandlung von potentieller Energie, die das Flugzeug in einer bestimmten Höhe hat in kinetische Energie. Soll es in der ursprünglichen Höhe weiterfliegen, so bedarf es einer Energiezufuhr. Ein Segelflugzeug das steigt erhält seine Energie von der aufsteigenden Luftmasse in der es sich bewegt. Motorflugzeuge beziehen ihre Energie aus mitgeführten Treibstoffen, die mit Verbrennungskraftmaschinen dem Flugzeug nutzbar gemacht werden. Bei Flugzeugen mit

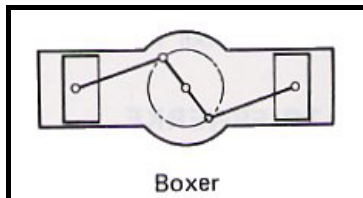
elektrischem Antrieb wird gespeicherte elektrische Energie oder direkt aus Sonnenlicht gewonnene Energie den Motor drehen.

Der zur Kompensation des Luftwiderstands notwendige Schub kann entweder direkt erzeugt werden, wie dies bei Jet- und Raketenantrieben der Fall ist, oder der Schub wird über den Umweg der sich drehenden Luftschraube gewonnen. Jede der Antriebsarten hat Vor- und Nachteile und wird deshalb in die jeweils geeignetsten Luftfahrzeuge eingebaut. Bei kleinen Flugzeugen ist der Antrieb mittels eines Kolbenmotors mit starren oder verstellbaren Propellern üblich. Werden größere Leistungen notwendig, so verwendet man Propellerturbinen. Die den Schub erzeugenden Propeller sind wegen ihrer aerodynamischen Wirkungsweise und den an den Blattspitzen auftretenden hohen Umfangsgeschwindigkeiten nur innerhalb gewisser Betriebsgrenzen verwendbar und die damit erzielbaren Fluggeschwindigkeiten sind begrenzt.

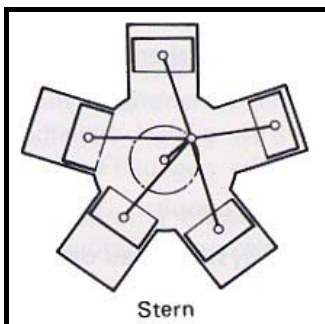
Kolbentriebwerke

Bei Kolbentriebwerken sind zwei Arbeitsweisen zu unterscheiden, deren eine nach dem Diesel – Prinzip arbeitet (Selbstzünder), die andere folgt dem Prinzip des Otto – Motors (Gemischzündung erforderlich). Die Arbeitsverfahren stellen ein weiteres Merkmal dar und wir müssen zwischen Zweitakt- und Viertaktverfahren unterscheiden. Abgesehen von Motoren für Flugmodelle sind Flugzeugmotore meistens mit mehreren Zylindern ausgestattet. Am weitesten Verbreitung haben dabei die Boxermotoren mit 4 bis 6 Zylindern. Reihen- und Sternmotore sind vor allem in Oldtimern anzutreffen.

Dieselantriebe für die Luftfahrt zu entwickeln um kostengünstigere Antriebe verwenden zu können. Die Gemischaufbereitung erfolgt entweder durch Vergaser oder durch Kraftstoff- Einspritzsysteme. Um auch in größeren Flughöhen ausreichende Leistungen zu erreichen sind manche der Motoren mit Turboladern ausgestattet.



Boxer
Bild T01



Stern
Bild T02

Die Kühlung erfolgt größtenteils durch Luft und eine Flüssigkeitskühlung wird selten verwendet. Nach dem Dieselpinzip arbeitende Motore sind bei Flugmodellen weit verbreitet (entweder richtige Selbstzünder- oder Motore mit Glühkerzen). Derzeit sind verstärkt Bemühungen festzustellen brauchbare

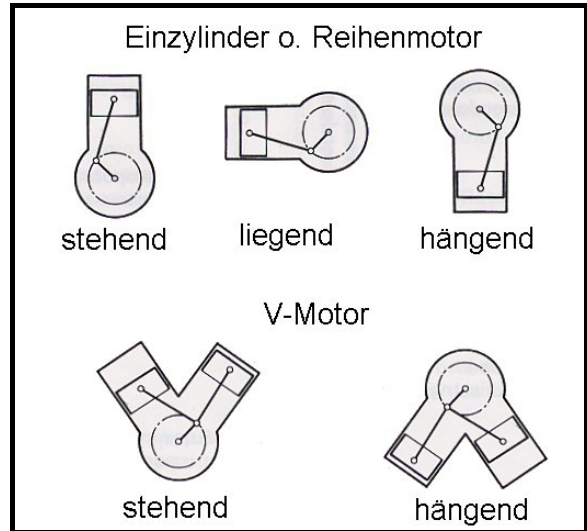


Bild T03



Bild T04



Bild T05

Bild T04 zeigt den Motor eines viersitzigen Reiseflugzeugs mit einem Hubraum von 550 cuin (=9,5 Liter) und 280 PS Leistung. Bild 105 ist ein Zweitakt Modellmotor mit 30 cm³ Hubraum und Bild 106 ist ein Viertaktmodellmotor mit Vierzylinder Boxeranordnung.



Bild T06

Strahltriebwerke

Strahltriebwerke sind Antriebsaggregate die infolge von Verbrennungsvorgängen Schub erzeugen, der großteils direkt als Vortrieb für das Flugzeug genutzt wird. Der Schub ist die Reaktionskraft die durch das ausströmende Gas auf das Triebwerk wirkt.

Raketenantrieb

Die Austrittsgase entstehen durch rasche Verbrennung mitgeführter fester oder flüssiger Treibstoffe, wobei die Verbrennungsgeschwindigkeit durch entsprechende Sauerstoffzufuhr erhöht wird. Man benötigt also einerseits Treibstoff und andererseits Oxydationsmittel. Feststoffbrennsätze bestehen aus einem Gemenge von brennbaren und von sauerstoffhaltigen Chemikalien. Raketen mit flüssigen Treibstoffen benötigen auch einen Tank mit flüssigem Sauerstoff, der bei der Verbrennung zugeführt wird. Da in jedem Fall Oxydationsmittel mitgeführt werden sind diese Antriebe vom in der Atmosphäre vorhandenen Sauerstoff unabhängig.

Staustrahltriebwerk

Es ist die einfachste Form eines Luftstrahlantriebs und ist eigentlich lediglich ein Rohr im Luftstrom in dem im vorderen Drittel Kraftstoff zugeführt und verbrannt wird. Durch die Verbrennung nimmt das Gasvolumen zu und strömt am hinteren Ende aus dem Rohr. Dies ist allerdings nur dann der Fall, wenn am vorderen Rohrende genügend Luftdruck vorhanden ist. Je nach Bauform und Ausführung sind daher Flugeschwindigkeiten zwischen 300 und 500 km/h notwendig damit es arbeitet.

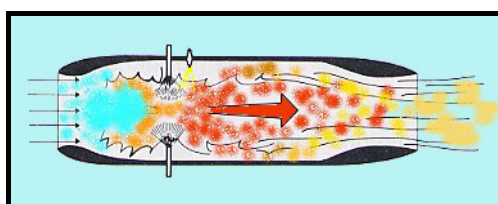


Bild T07

Pulsationsstrahltriebwerk

Wird kurz auch „Pulso“ genannt und ist die Weiterentwicklung des Staustrahltriebwerks. Flatterventile an der Stirnwand lassen nur eine Strömungsrichtung zu. Nach Zündung entsteht durch das am hinteren Rohrende ausströmende Gas ein Unterdruck in der Brennkammer. Die Flatterventile öffnen sich und von vorne strömt Frischluft in den Brennraum, wo die nächste Zündung stattfindet. Es stellen sich also zwei Takte ein, ein Ansaug- und ein Zündungstakt. Es kommt zu einer pulsierenden Arbeitsweise und dabei stellen sich Zündfrequenzen zwischen 50 und 300 Hertz ein. Eine Fremdzündung ist dabei nicht mehr notwendig.

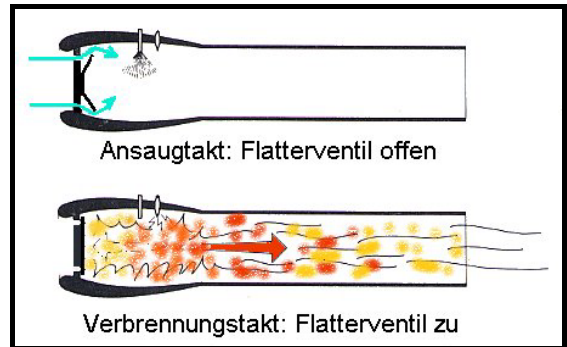


Bild T08

Turbinenluftstrahltriebwerk

Es ist eine Gasturbine und besteht im wesentlichen aus drei Teilen: dem Verdichter, der Brennkammer und der Abgasturbine. Der Verdichter fördert Frischluft und bringt sie in verdichteter Form in die Brennkammer, wo sie mit eingespritztem Kraftstoff vermischt zur Zündung gebracht wird. Durch den Vorgang der Verbrennung steigt die Bewegungsenergie des Gases und ein Teil dieser Energie wird in der Turbine in Drehbewegung umgewandelt, die zum Antrieb des Verdichters benötigt wird. Der andere Teil wird als Schub wirksam.

Turbinenstrahltriebwerk (TL)

Es ist dies das allgemein als Düsentriebwerk auch Turbojet bezeichnete Triebwerk. Hier ist es tatsächlich wie eingangs beschrieben, dass der gesamte Abgasstrahl als Schub genutzt wird. Lediglich die für den Verdichter und allenfalls für Zusatzaggregate notwendige Energie wird von der Abgasturbine verbraucht. Es eignet sich besonders für Geschwindigkeiten ab etwa 1000 km/h.

Zweikreis- Turbinenluftstrahltriebwerk (ZTL)

Es ist dies eine Entwicklung die besonders durch die Anforderungen der Verkehrsfliegerei und die dabei auftretenden Flugeschwindigkeiten begünstigt wurde. Diese Triebwerksart wird auch als Mantelstromtriebwerk oder Bypass Turbojet bezeichnet. Dem Abgasstrahl wird hier weitere Energie entzogen, die zum Antrieb eines Niederdruckverdichters verwendet wird. Der dabei entstehende Nebenluftstrom wird in einer äußeren

Ummantelung beschleunigt. Damit hat das Triebwerk infolge des hohen Luftdurchsatzes bei reduzierter Abgasgeschwindigkeit hohen Schub. Wegen der niedrigeren Abgasgeschwindigkeit reduziert sich auch der Lärm.

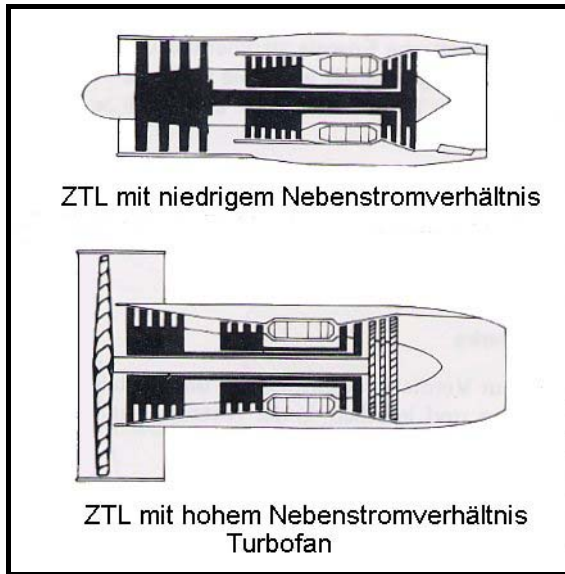


Bild T09

Propeller-Turbinenluftstrahltriebwerk (PTL)

Dem Gasstrahl wird möglichst viel Energie entzogen die zum Antrieb eines Propellers verwendet wird. Der Abgasstrom bringt nur mehr wenig direkten Schub, sondern der Propeller erteilt einer großen Luftmasse mäßige Beschleunigung.

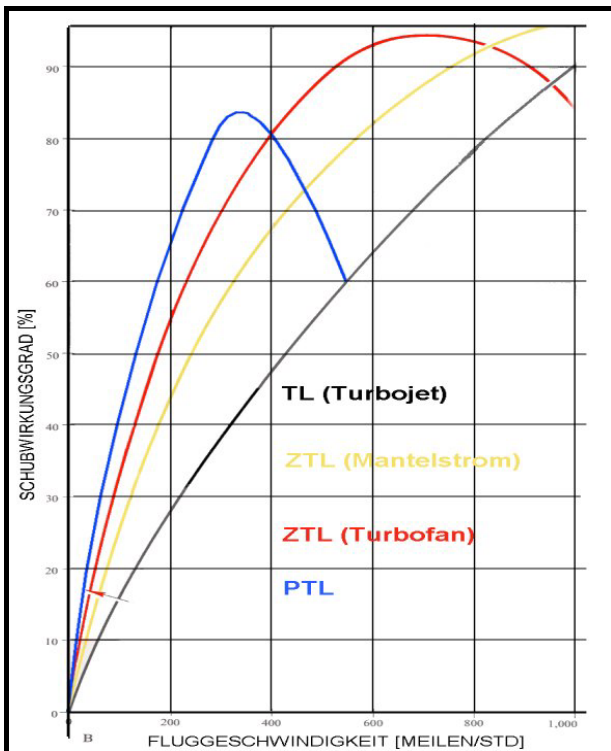


Bild T10

Aus Bild 10 ist ersichtlich, für welchen Geschwindigkeitsbereich die einzelnen Antriebe am besten geeignet sind.

Betriebsstoffanlagen

Treibstoffe, Schmieröl und Hydraulikflüssigkeiten zählen zu den Betriebsstoffanlagen. Schmieröl und manchmal auch Hydraulikflüssigkeit wird oft in direkt am Motor integrierten Behältern mitgeführt. Die Treibstoffbehälter sind normalerweise in den Tragflächen untergebracht. Kraftstoffleitungen führen über Tankwahlschalter und Pumpen zum Motor. Die Tanks selbst können einzeln eingebaute Tanks sein oder sie sind als Integraltanks ausgeführt, dann ist die Außenhaut des Flugzeugs zugleich Tankwand. Nachdem die in den Tanks mitgeführten Treibstoffmengen einen nicht unerheblichen Teil der Gesamtmasse eines Flugzeugs ausmachen ist eine Beeinflussung der Schwerpunktslage des Flugzeugs in Abhängigkeit von der Füllmenge gegeben. Durch entsprechendes Verbrauchsmanagement muss der Pilot dafür Sorge tragen, dass während des gesamten Flugs der Schwerpunkt immer im zulässigen Bereich bleibt. Sehr große Flugzeuge müssen deshalb manchmal Treibstoff von einem Tank zu einem anderen pumpen um im Limit zu bleiben.

Propeller

Der Propeller ist ein rotierender Tragflügel und erzeugt den erforderlichen Schub. Wichtige Parameter eines Propellers sind sein Durchmesser, seine Steigung und die Blattanzahl. Die Drehzahl eines Propellers ist dadurch begrenzt, dass an den Blattspitzen sehr hohe Umfangsgeschwindigkeiten erreicht werden und man rasch an die Schallgeschwindigkeit gelangt. Ein Propeller kann zudem mit einem Getriebe verglichen werden und er hat nur bei einer bestimmten Fluggeschwindigkeit seine optimale Schubwirkung. Fliegt man langsamer, so muss die Steigung kleiner sein, als bei höherer Geschwindigkeit um den vollen Schub zu erhalten. Verstellpropeller tragen dem Rechnung und können entweder manuell angepasst werden, oder es erfolgt eine automatische Blattwinkelsteuerung (Constant Speed Propeller). Die Verstellung kann sowohl elektrisch als auch hydraulisch erfolgen und die erforderlichen Stellwerte werden über Regler vorgegeben. Als Werkstoff wird Holz, Metall und Kunststoff eingesetzt. Jeder dieser Werkstoffe hat seine Vor- und Nachteile. Holz hat zum Beispiel den Vorteil des geringen Gewichts bei äußerst günstigem Schwingungsverhalten und hoher Steifigkeit.

1.3.) BAUWEISEN

Luftfahrzeuge können auf die verschiedenste Art produziert werden und die Art und Weise wie dies geschieht und die dabei zur Anwendung kommenden Materialien sind als Bauweisen zu verstehen. Übergeordnet wird das verwendete Bearbeitungsverfahren als erstes Unterscheidungsmerkmal herangezogen.

1.3.1.) Bauweisen nach Bearbeitungsverfahren

1.3.1.1.) Integralbauweise

Ein in der Integralbauweise gefertigter Holm wäre aus einem Materialstück hergestellt (z.B.: aus Aluminium Vollmaterial gefräst). Die allseits bekannte Concorde hat einen Tragflügel, der großteils in Integralbauweise ist. Der Vorteil der Integralbauweise ist, dass qualitativ hochwertige Bauteile geschaffen werden können, die aus einem einzelnen Werkstoffstück bestehen. Es kommt somit bei entsprechender Formgebung zu keinen Festigkeitssprüngen und die Lastaufnahme im Bauteil ergibt günstige Spannungsverläufe. Der Nachteil besteht in der Fertigung, da die Teile gefräst werden müssen und dabei hohe Kosten entstehen, nicht zuletzt auch deshalb, weil große Mengen Abfallmaterial anfallen.

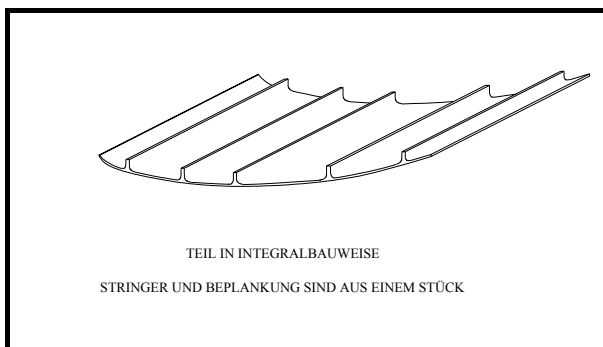


Bild 14

1.3.1.2.) Differentialbauweise

Alle Einzelteile des Flugzeugs und seiner Baugruppen werden einzeln gefertigt und diese Kleinteile zusammenmontiert. Typisch für eine Differentialbauweise ist zum Beispiel ein Flügelholm, der aus einem Obergurt, einem Untergurt und Holmstegen besteht. Die drei hier genannten Teile ergeben zusammen einen neuen größeren Teil, den Holm, der wiederum Teil der Baugruppe Tragflügel ist. Die Fertigung ist mit einfachen Arbeitsmethoden möglich und bedarf keiner Spezialmaschinen. Der zur Fertigung benötigte Platzbedarf ist verhältnismäßig gering. Die Herstellung kann dezentral in verschiedenen Werkstätten erfolgen. Reparaturarbeiten sind durch Ersatz schadhafter Teile möglich. Die Verbindung der Teile untereinander bedarf jedoch großer Sorgfalt und ist

somit der Nachteil der Differentialbauweise. Man muss hierbei an die Weiterleitung der Kräfte denken (Klebestellen, Nietstellen), sowie an mögliche Korrosionsgefährdung und eventuelle Festigkeitsminderung durch auftretende Kerbwirkung.

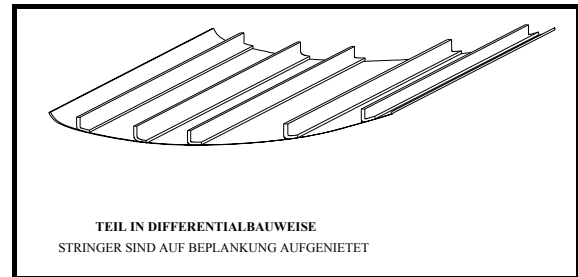


Bild 15

1.3.2.) Bauweisen nach Werkstoffen

1.3.2.1.) Holzbauweise

Im wesentlichen sind alle Teile und Baugruppen des Flugzeugs aus Holz hergestellt. Der Baustoff Holz erfüllt die Aufnahme der auftretenden Belastungen im Flug. Die Baukosten sind infolge der einfachen Bearbeitungsmethoden gering. Die Bauweise ist besonders für kleine Flugzeuge geeignet, da bei Holz ein günstiges Verhältnis zwischen Baugewicht und Festigkeit besteht, solange keine zu großen Kräfte zu übertragen sind. Die bei größeren Motorflugzeugen auftretenden Belastungen sind jedoch erheblich höher und in der Holzbauweise müssten verhältnismäßig große Bauteilquerschnitte angewendet werden, sodass hier andere Werkstoffe zum Einsatz kommen müssen. Ein sehr wesentlicher Nachteil bei manntragenden Flugzeugen ist die geringe Witterungsbeständigkeit von Holz. Besondere Probleme schafft die Luftfeuchtigkeit, weil Holz sehr viel Feuchtigkeit aufnehmen kann. Damit verliert es aber an Festigkeit und wird schwerer. Eine sorgfältige Imprägnierung ist also notwendig.

1.3.2.2.) Metallbauweise

Zur Herstellung des Luftfahrzeugs wird metallischer Werkstoff eingesetzt. Meistens sind dies Aluminiumlegierungen Titan und in geringerem Maße Stahl. Aluminium stellt dabei wegen seiner geringen Dichte von $2,7 \text{ kg/dm}^3$ den Hauptanteil im Flugzeugbau dar. Für Flugmodelle ist mit Ausnahme weniger Konstruktionen der Metallbau nicht maßgebend. Der Grund hierfür liegt darin, dass zur Erzielung der erforderlichen Festigkeit im Betrieb, wegen der vergleichsweise zu Holz zu hohen Belastbarkeit, zwar sehr dünne Querschnitte der Bauteile ausreichend wären, die aber zufolge geringer Formsteifigkeit keine ausreichende Griffestigkeit ergeben. Demzufolge müssten die Querschnitte soweit vergrößert werden, dass ein Flugmodell nicht schon beim Transport Beschädigungen erfahren würde. Das Ergebnis ist

dann ein zu schweres, für die Betriebsbelastungen überdimensioniertes Flugzeug.

1.3.2.3.) Kunststoffbauweise

In jüngerer Zeit haben Kunststoffe verstärkt ein breites Anwendungsgebiet in der Technik gefunden und ihr Einsatz ist weiter zunehmend. Im besonderen werden im Flugzeugbau Faserverbundstoffe eingesetzt. Sie bestehen aus Glas (GFK), Kohle oder Carbon (CFK), Aramid oder Kevlar (KFK), seltener Naturfasern. Diese Fasern können den Festigkeitserfordernissen angepasst verlegt werden. Sie werden mit Harzen durchtränkt in der gewünschten Lage gehalten. Die Kräfte werden dabei über die Fasern geleitet. Die Fasern selbst sind in der Regel zu Geweben verarbeitet. Als Harze werden Kunstharze wie Epoxyd-, Polyester-, Phenolharze und dergleichen eingesetzt. Die Fertigung erfolgt in geeigneten Formen, in denen das Laminat aufgebaut wird. Bei geringen Stückzahlen und komplizierten Teilen wird diese Arbeit im Handlaminierverfahren erledigt. Bei besonders hochwertigen Teilen wie Tragflügeln und Leitwerken sind auch sogenannte Prepregs in Verwendung. Dies sind mit Harz getränkte Gewebe, die gekühlt gelagert werden müssen und zum Aushärten erhöhte Temperaturen und Druck benötigen (Autoklaventechnik).

Der immense Vorteil der Kunststoffbauweise ist neben dem geringen Baugewicht die praktisch unbegrenzte Freiheit in der Formgebung und überaus hochwertige Bauteiloberfläche, sodass sich glatte Flugzeugoberflächen ohne störende Kanten herstellen lassen. Im Modellflugbereich werden in erster Linie Rümpfe im Handlaminierverfahren gebaut. Die Zahl der Hersteller von komplett im Faserverbund gebauten Flugmodellen ist ständig im steigen.

1.3.2.4.) Gemischtbauweise

Wie schon der Name verrät, handelt es sich bei der Gemischtbauweise um eine Kombination der drei vorher genannten Bauweisen. Auch wenn in einem Flugzeug verschiedenartige Materialien verwendet werden, wird eigentlich nur dann von einer Gemischtbauweise gesprochen, wenn beispielsweise der Rumpf aus Kunststoff und die Tragflächen aus Holz bestehen, oder die Tragflächen aus Holz und der Rumpf aus Metall. Im Modellflug findet sich eigentlich immer die Gemischtbauweise oder eben eine reine Holz- bzw. Kunststoffbauweise. Die meisten Modelle bestehen vorwiegend aus Balsaholz. Bei Seglern ist die Gemischtbauweise am häufigsten anzutreffen, da immer mehr Modelle mit Kunststoffrümpfen angeboten werden.

1.3.3.) Bauweisen nach Konstruktionsaufbau

1.3.3.1.) Fachwerkbauweise

Konstruktionsprinzip der Fachwerkbauweise ist die Herstellung eines Gerüsts, das den Festigkeitsverband für das Flugzeug bildet.

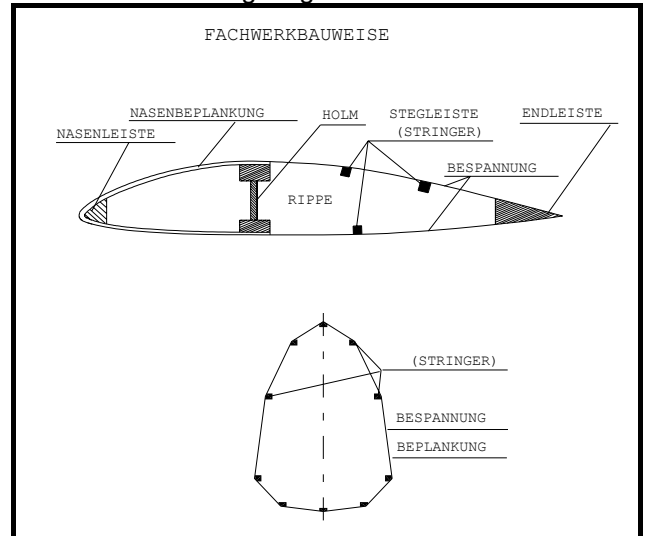


Bild 16

Die das Gerüst umschließende Außenhaut trägt zur Festigkeit nur unwesentlich bei und hat den Charakter einer Verkleidung. Ein bespannter Tragflügel ist ein typisches Beispiel für einen Fachwerkbau. Der Fachwerkbau ist einfach auszuführen und ergibt eine leichte Konstruktion. Von Nachteil ist die eher schwer zu erzielende Oberflächengüte (z.B.: Einfallen der Bespannung zwischen den Flügelrippen).

1.3.3.2.) Schalenbauweise

Bei der Schalenbauweise übernimmt die Außenhaut die tragende Funktion. Die angreifenden Kräfte werden nicht wie beim Fachwerksbau durch ein im Inneren des Flugzeugs liegendes Gerüst, sondern direkt in der Außenschale weitergeleitet. Der Vorteil liegt in einer guten Oberflächenqualität und in guter Beanspruchbarkeit gegenüber Verdrehung der Bauteile. Die Außenhaut kann die Belastungen jedoch nur solange übernehmen, solange sie ihre Form beibehält. Wenn sie zu beulen beginnt, kommt es zu einem instabilen Zustand und sie kann nur mehr ein Bruchteil der Last tragen. Um ein Ausbeulen zu verhindern sind im Inneren der Schale entsprechende Verstärkungsleisten (Stringer) anzubringen.

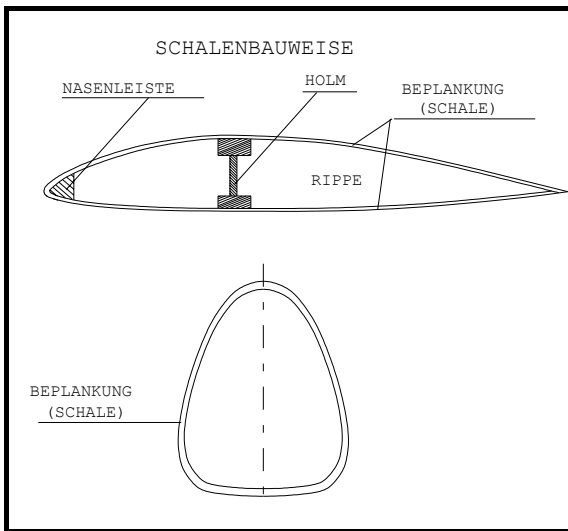


Bild 17

Eine weitere Möglichkeit der Aussteifung der dünnen Schale besteht in der Möglichkeit der Verwendung einer Sandwichplatte. Dabei handelt es sich eigentlich um eine doppelte Schale, bei der beide außen liegenden Oberflächen durch Schaumstoffe, Papier-, Kunststoff-, oder Metallwaben in einem bestimmten Abstand gehalten werden.

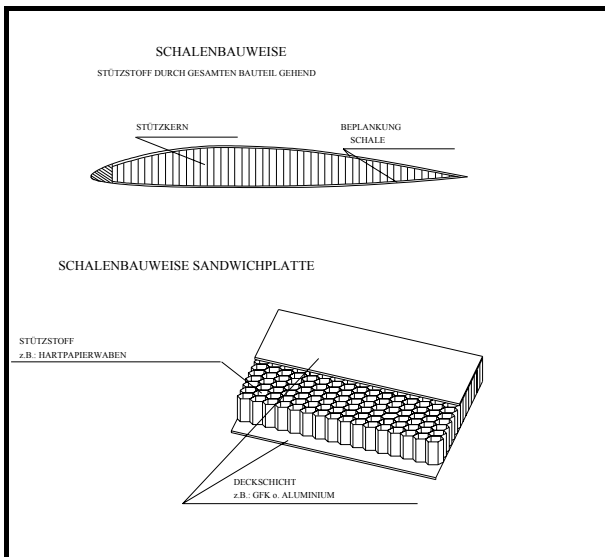


Bild 18