

Elementaire begrippen over Aërodynamica voor modelluchtvaart

Vereniging voor Modelluchtvaartsport (VML) vzw

Auteur	:	Dirk Van Lint
Uitgegeven op	:	15/07/2006
Versie	:	0.0.1



Inhoud

1. Doel
2. Aërodynamische krachten
 - Algemeenheden
 - Strooming omheen een vleugelprofiel
3. Effecten van de stuurorganen
 - Algemeenheden
 - Primaire en secundaire effecten van de stuurorganen
 - Primaire effecten
 - Elevator of hoogteroer
 - Rudder of richtingsroer
 - Ailerons of rolroeren
 - Secundaire effecten
 - Elevator of hoogteroer
 - Rudder of richtingsroer
 - Ailerons of rolroeren
 - Windhaaneffect



1. Doel

Het doel van deze circulaire is om de piloten en bouwers van modelluchtvaarttoestellen een inzicht te geven over welke krachten zich in en rond een vliegtuig ontwikkelen, wanneer het in de lucht evolueert.

We trachten duidelijk te maken wat de vereisten zijn om een vliegtuig veilig te laten vliegen, door uit te leggen welke krachten hier juist verantwoordelijk voor zijn, en hoe deze moeten geïnterpreteerd worden.

We zullen uitleggen waarom vleugels en stuurorganen welbepaalde vormen hebben, welke krachten er op elk afzonderlijk inwerken welke de juiste effecten zijn die deze krachten hebben. We zullen ingaan op het belang van het zwaartepunt en andere aangrijpingspunten, en het waarom van deze belangrijkheid.

Het geheel van deze circulaire is dus bedoeld om een algemeen beeld te vormen over deze materie. Het is geenszins de bedoeling om van elke piloot een burgerlijk ingenieur in de aërodynamica te maken, maar we hopen enkel een klein beetje inzicht mee te geven dat U zou kunnen toelaten om bepaalde problemen vlugger op te lossen, wanneer die zich voordoen.

Ik heb me gebaseerd op de cursus die de kandidaten privaat piloot in de luchtvaart krijgen, en daaruit de punten gedistilleerd die voor de modelluchtvaart een zeker belang kunnen hebben.

Iedereen weet dat het zwaarste punt, waarop in de modelluchtvaart steeds weer gehamerd wordt, de veiligheid is.

Wel, de veiligheid begint met op elk moment weten wat je doet, dus hoe groter je kennis, hoe veiliger je wordt!



2. Aërodynamische krachten

Algemeenheden

Elk voorwerp dat gewoon maar in de wind geplaatst wordt, ondergaat een aantal krachten, die al dan niet van deze wind afhankelijk zijn. Als we over het begrip wind spreken, moeten we meteen een onderscheid maken tussen 2 verschillende wijzen om een voorwerp onderhevig te maken aan wind:

- Men kan een voorwerp een vaste plaats op een oppervlak geven, waardoor het enkel onderhevig zal zijn aan de heersende wind. Het voorwerp zal dan deze wind ervaren vanuit de richting dat deze waait, en met de kracht die die wind ontwikkelt door zijn eigen windsnelheid. Een toename van windkracht zal een vergroting van de krachten die op het voorwerp inwerken tot gevolg hebben. Deze kracht kan zo groot worden dat het voorwerp beschadigd, of weggeblazen kan worden. We spreken hier gewoon over “wind”.
- Men kan echter ook een voorwerp door een luchtmassa laten bewegen, door er een stuwende kracht op uit te oefenen. In dit geval zal het voorwerp ook een bepaalde windkracht ervaren. Echter, deze kracht zal niet meer gelijk zijn aan de kracht van de heersende wind, maar van de resultante van de heersende wind en de wind veroorzaakt door de beweging van het voorwerp: bv. een voorwerp dat statisch geplaatst wordt in een wind van 10 km/u zal deze 10 km/u ervaren. Bewegen wij dit voorwerp nu met een snelheid van 3 km/u met de wind mee, zal het voorwerp nog maar een windkracht van 7 km/u ervaren. Doen we nu hetzelfde, maar tegen de wind in, dan zal het voorwerp een windkracht van 13 km/u ervaren. De windkracht die het voorwerp nu ervaart noemt men “relatieve wind”. Noteer dat de relatieve wind dus afhankelijk is van de beweging van het voorwerp. Aangezien het voorwerp zich in alle richtingen aan alle snelheden kan bewegen, kan de relatieve wind dus niet enkel een andere snelheid, maar ook een andere richting hebben dan de heersende wind.

Dit is zeer belangrijk bij het opstijgen en landen: Bij wind heeft een vliegtuig altijd een verschillende snelheid ten opzichte van de lucht en ten opzichte van de grond, dus tegen de wind in zal het toestel met een lagere grondsnelheid toch reeds voldoende luchtsnelheid ontwikkelen om te vliegen!

Het wordt dus meteen duidelijk dat er meerdere krachten op een voorwerp gaan inwerken als we het voorwerp in de wind gaan plaatsen, al dan niet door het in beweging te brengen. Zolang een voorwerp in een windstille omgeving staat, werken er maar 2 krachten op in:

- De zwaartekracht, die afhankelijk is van het gewicht van ons voorwerp;
- De reactiekracht die het voorwerp behoed tegen het vallen.

Wanneer deze 2 krachten gelijk zijn aan elkaar zal het voorwerp geen hoogteverandering ondergaan.

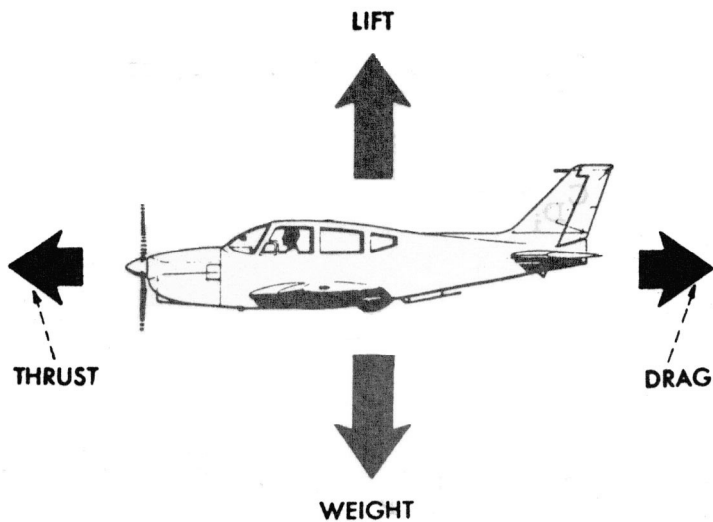
Plaatsen we nu dit voorwerp in de wind, dan komen er in principe 2 krachten bij:

- De duwkracht van de wind, al dan niet veroorzaakt door een kracht die het voorwerp doet bewegen, welke deze kracht dan verandert in stuwkracht of trekkracht;
- De reactiekracht die deze kracht tegenhoudt, welke we weerstand noemen.

Wanneer deze 2 krachten in evenwicht zijn, zal ons voorwerp nooit van snelheid veranderen.



Praktisch gezien kunnen we dus stellen dat op een vliegtuig dat zich in de lucht voortbeweegt in principe 4 krachten inwerken, nl: Trekkraft, weerstand, zwaartekracht en een kracht die de zwaartekracht tegenwerkt, welke wij draagkracht of lift noemen. Al deze krachten grijpen aan in het zwaartepunt van het vliegtuig. Wanneer deze krachten in evenwicht zijn (lift = zwaartekracht en trekkraft = weerstand) zal het toestel zich in een zogenaamde eenparig rechtlijnige horizontale vlucht bevinden. Dit komt erop neer dat het toestel tegen een constante snelheid op constante hoogte evolueert.



Figuur 1

De Trekkraft of Thrust is de kracht die door de motor ontwikkeld wordt, en overgebracht wordt door de schroef bij propeller vliegtuigen. Sommige vliegtuigen hebben een duw-schroef, of jet-motoren, en in dat geval wordt de trekkraft een stuwkracht.

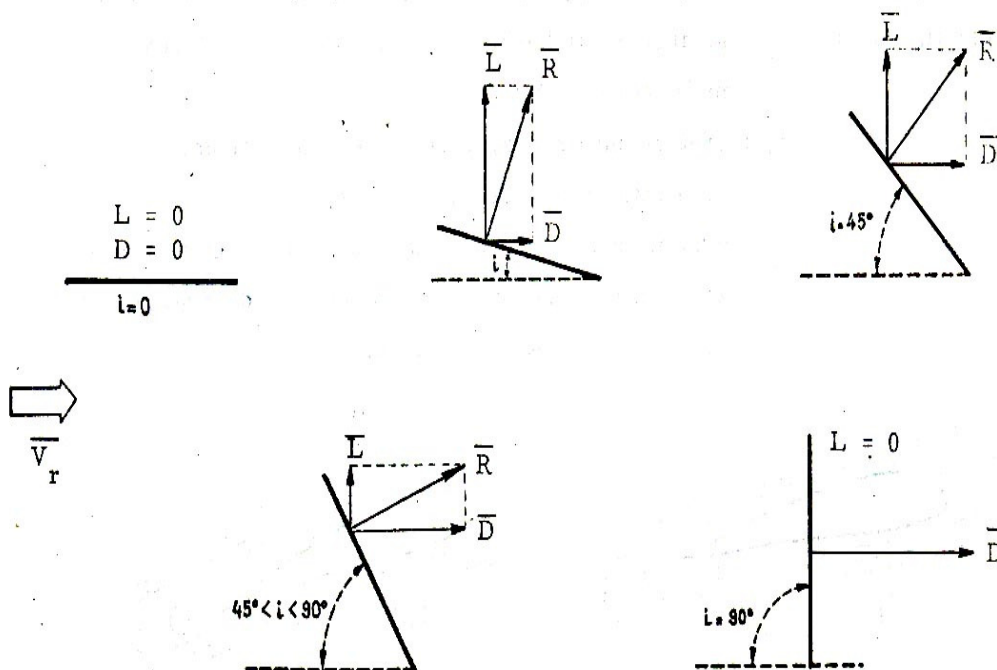
De Weerstand of Drag is de kracht die het vliegtuig ondervindt door de wrijving met de lucht, en die het vliegtuig tracht te vertragen.

De Zwaartekracht is gewoon het gewicht van het vliegtuig, die loodrecht naar beneden gericht is.

De Draagkracht of Lift is de kracht die de zwaartekracht tegenwerkt, en het vliegtuig tracht in de lucht te houden. Deze kracht wordt hoofdzakelijk opgewekt door de luchtstroming omheen het profiel van de vleugels van het vliegtuig.

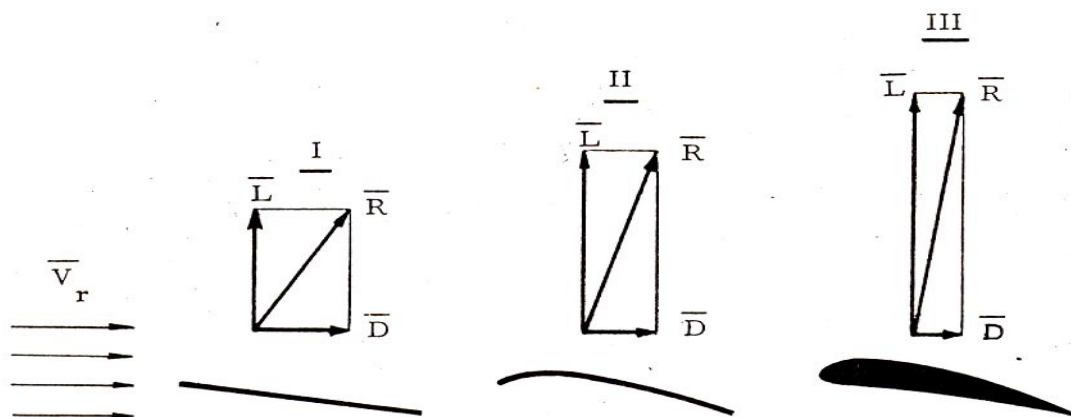
Laten we even nagaan hoe dit eigenlijk in zijn werk gaat:

Laten we gewoon een rechte plaat door de lucht bewegen. In onderstaande figuur zien we dat als de plaat gewoon horizontaal door de lucht klieft (of evenwijdig aan de relatieve wind) lift en drag geen betekenis hebben. Gaat men echter de plaat inclineren, dan gaat de plaat, naarmate ze steiler geïnclineerd wordt, meer en meer weerstand van de lucht ondervinden. De inclinatie van de plaat noemt men de aanvalshoek. Onder de plaat zal zich een overdruk opbouwen, en boven de plaat zal een vacuüm gecreëerd worden, zodat de plaat in feite gelijktijdig naar boven gestuwd en gezogen wordt. Noteer wel dat de lift steeds loodrecht op de plaat staat, en kan ontbonden worden in 2 nieuwe krachten, nl. de schijnbare lift en de weerstand. Het is nu de schijnbare lift die de zwaartekracht gaat tegenwerken. Als de lift steeds dezelfde blijft zal de schijnbare lift, naarmate de aanvalshoek vergroot, verkleinen, terwijl de weerstand verhoogt. Wanneer de aanvalshoek uiteindelijk 90° bereikt zal de lift volledig opgeheven worden door de weerstand en zal de schijnbare lift herleid worden tot 0.



Figuur 2

Bij het bouwen van een vleugel gaat men dus moeten zoeken naar een profiel dat zoveel mogelijk lift creëert, en tegelijkertijd zo weinig mogelijk weerstand. Proefondervindelijk heeft men ondervonden dat dit bereikt werd door de plaat te buigen, en uiteindelijk de onderste punten terug met elkaar te verbinden. Op deze manier is het vleugelprofiel ontstaan.



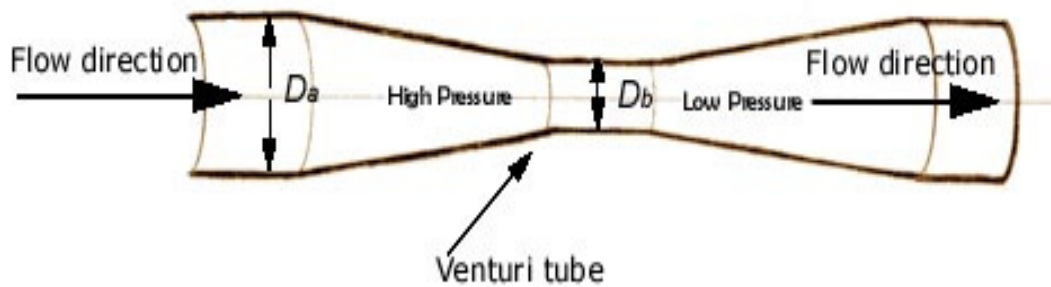
Figuur 3



Stroming omheen een vleugelprofiel

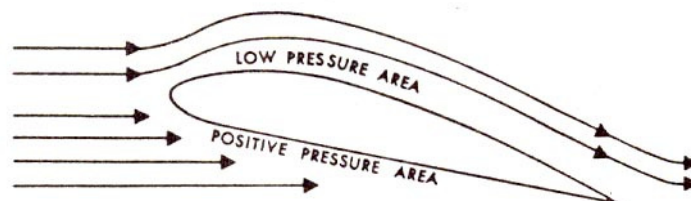
Om het effect van de stroming van de lucht omheen een vleugelprofiel te kunnen begrijpen, moeten we eerst even het Venturi effect bespreken:

Een Venturi buis is een buis die in het midden een vernauwing vertoont.



Figuur 4

Wanneer er lucht door deze buis gestuwd wordt, zal deze bij de vernauwing bijeengeperst worden. Zodra ze door de vernauwing heen is zal ze nog heel weinig weerstand ondervinden, en daardoor versnellen. Het secundaire effect hiervan is dat op het einde van de vernauwing een onderdruk zal worden gecreëerd. Het is nu deze onderdruk die bij een vleugel een enorme rol gaat spelen. Als je een venturi op zijn langs middendoor zaagt, hou je eigenlijk een vleugelprofiel over.



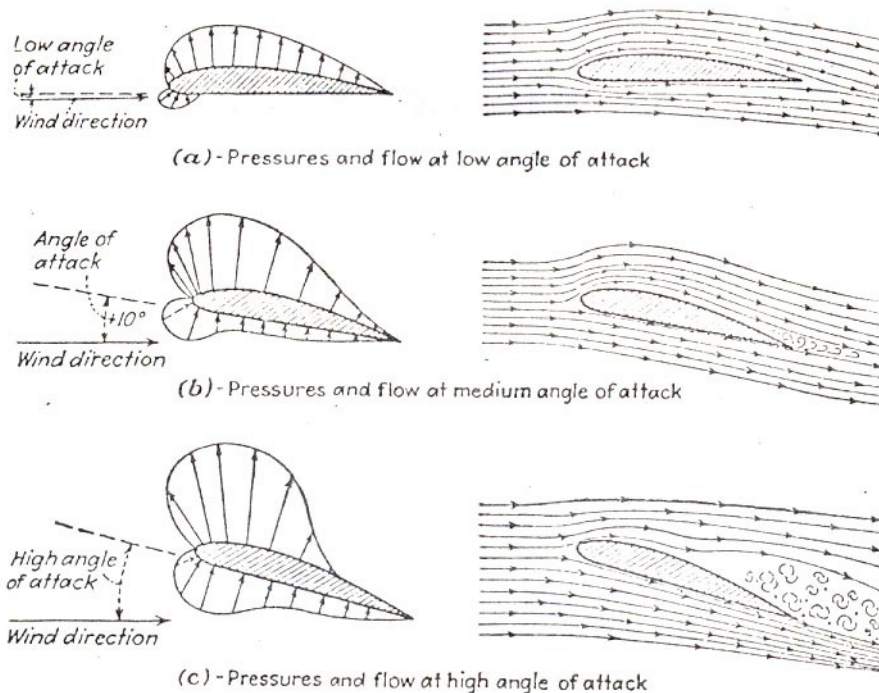
Figuur 5

Wanneer de lucht over het vleugelprofiel stroomt, zal onder de vleugel een overdruk, en boven de vleugel een onderdruk gecreëerd worden. Deze twee krachten samen resulteren in de lift, die voor het grootste deel bestaat uit de onderdruk aan de bovenkant, en voor een klein deel uit de overdruk onderaan. Het spreekt dus vanzelf dat, hoe groter de snelheid, hoe groter de effecten, en dus ook hoe groter de weerstand en de lift.



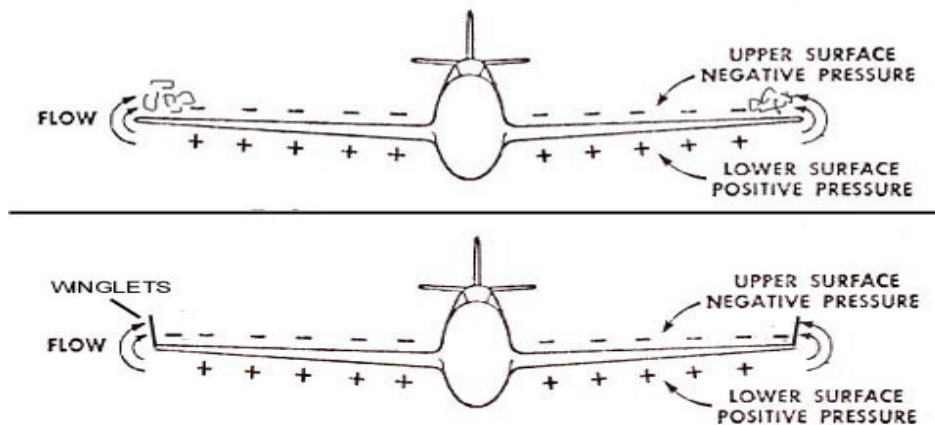
Wanneer men de twee uiterste punten van de vleugel (voor naar achter) met elkaar verbindt, krijgt men een lijn die men de koorde van de vleugel noemt. De hoek die de koorde maakt met de relatieve wind noemt men de aanvalshoek.

In onderstaande figuur wordt duidelijk dat, hoe groter de aanvalshoek is, hoe meer druk wordt opgebouwd, zolang de lucht zuiver over het vleugeloppervlak stroomt. Wordt de aanvalshoek te groot, begint de lucht af te haken van het vleugelvlak. Wanneer de aanvalshoek zo groot wordt dat de lucht volledig afhaakt, zal het vliegtuig niet langer naar boven gezogen worden, en valt het naar beneden. Dit noemt men een "stall".



Figuur 6

Ten slotte dient nog één effect besproken te worden. Aangezien we weten dat onder de vleugel een overdruk heerst, en boven de vleugel een onderdruk, zal de lucht onder de vleugel een weg zoeken naar de bovenkant. De gemakkelijkste weg hiervoor is via de vleugeltip. Dit veroorzaakt op de vleugeltip een zone van turbulente lucht, waardoor de weerstand verhoogt en het dragend deel van de vleugel verkleint, gezien de turbulente lucht afhaakt van de vleugel. Om dit effect tegen te gaan worden moderne vliegtuigen uitgerust met zogenaamde "winglets". Aan het uiteinde van de vleugel wordt een recht opstaand stuk vastgemaakt, dat gaat beletten dat de lucht onder de vleugel de bovenkant bereikt. Dit heeft uiteraard als resultaat dat de geïnduceerde weerstand behoorlijk zal verminderen, waardoor het vliegtuig aan snelheid en stabiliteit wint.



Figuur 7

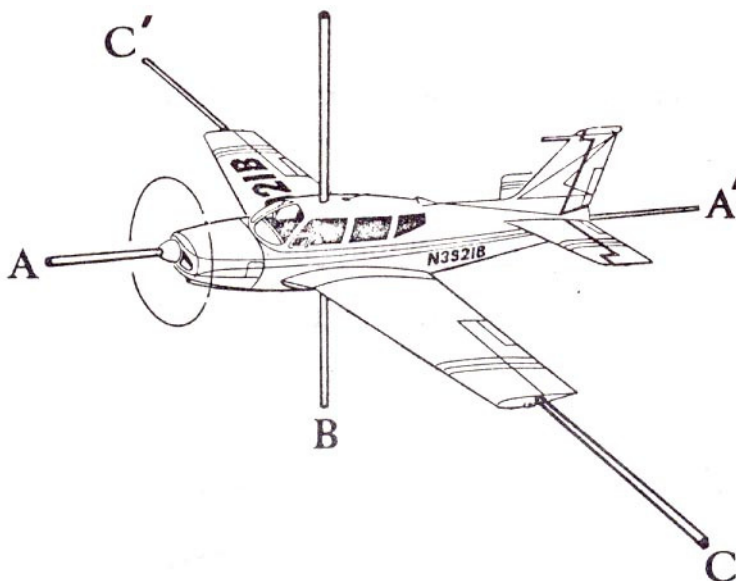


3. Effecten van de stuurorganen

Algemeenheden

Een vliegtuig beweegt zich om 3 assen, die alle drie door het zwaartepunt van het vliegtuig gaan:

- De top-as: Bij een yaw beweging draait het toestel om zijn top-as. (B-B')
- De langs-as of rol-as: Het toestel rolt rond de rol-as. (A-A')
- De dwars-as of pitch-as: De opwaartse en neerwaartse beweging van de neus gaat rond de pitch-as.



Figuur 8

De gewilde bewegingen van het vliegtuig rond deze assen gebeuren door het bedienen van de stuurorganen. Bij een conventioneel toestel zijn volgende stuurorganen te onderscheiden:

- De Ailerons of rolroeren: laten het toestel bewegen rond de rol-as
- De Elevator of hoogteroer: laat het toestel bewegen rond de dwars-as
- De Rudder of richtingsroer: laat het toestel bewegen rond de top-as

Verder zijn er nog 2 andere stuurorganen, nl. de trimvlakken, die de stuurorganen in een bepaalde stand houden en de flaps of remkleppen die een dubbel doel hebben: het vergroten van het vleugeloppervlak en de aanvalshoek, waardoor de lift vergroot en het toestel trager kan vliegen, en het vergroten van de weerstand, waardoor het toestel zal afgeremd worden. De functie is afhankelijk van de stand van de flaps. Bij kleinere vliegtuigen gaan de flaps gewoon omlaag draaien als men ze neerlaat. Bij grotere vliegtuigen gebruikt men echter een ander soort flaps, genaamd "fowler flaps". De flaps komen van onder de vleugel en bewegen zich eerst naar achter, alvorens naar beneden te draaien. Zodoende zal eerst het vleugeloppervlak flink vergroten, waardoor het vliegtuig kan blijven vliegen aan een behoorlijk lagere snelheid, alvorens het remeffect intreedt.

Volledigheidshalve dienen we nog toe te voegen dat bij Jets en ook bij zweefvliegtuigen aan de bovenkant van de vleugels spoilers kunnen uitgeklaapt worden, die de lift breken, en alzo een snellere daling aan gelijke snelheid kunnen veroorzaken. Op de grond verhinderen zij dat het vliegtuig na de landing terug opspringt en weer de lucht in gaat.

De stuurorganen hebben een profiel dat vergelijkbaar is met een vleugelprofiel, maar dan wel in symmetrische vorm. Dit is inderdaad nodig omdat stuurorganen in beide richtingen met hetzelfde effect moeten werken



Primaire en secundaire effecten van de stuurorganen

Primaire effecten

Elevator of hoogteroer

Wanneer we onze hoogtestick naar voor duwen, zal het hoogteroer een neerwaartse uitslag ondergaan. Hierdoor wordt het onderworpen aan een opwaarts gerichte resulterende aërodynamische kracht, die zal zorgen dat het vliegtuig ten opzichte van het zwaartepunt een duikmoment ondergaat rond de dwars-as of pitch-as, waardoor het vliegtuig gaat dalen. Wanneer we de stick naar achter trekken gebeurt juist het omgekeerde, en gaat het vliegtuig klimmen.

Rudder of richtingsroer

Wanneer we het richtingsroer naar links laten uitslaan zal een tegengestelde kracht ontwikkeld worden die de staart van het vliegtuig rond de top-as naar rechts zal duwen en zo de neus van het vliegtuig naar links zal laten gieren. Een uitslag naar rechts doet het tegengestelde.

Ailerons of rolroeren

De rolroeren zullen het vliegtuig rond de langs-as of rol-as laten draaien. Wanneer we de stick neutraal laten staan, zullen ook de rolroeren in neutrale stand staan, en zullen beide vleugels evenveel draagkracht produceren. Het vliegtuig zal dus horizontaal blijven vliegen. Duwen we de stick naar links, zal het linker rolroer omhoog uitslaan, terwijl het rechter rolroer naar beneden uitslaat. Hierdoor zal de draagkracht van de linker vleugel afnemen, terwijl die van de rechter vleugel toeneemt. De linker vleugel zal dus dalen, terwijl de rechter vleugel stijgt. Een tegengestelde beweging heeft weer het tegengestelde effect.

Secundaire effecten

Naast de primaire effecten, die het toestel doen draaien rond de as waarmee de betreffende stuurorganen overeenstemmen, zijn er ook secundaire effecten of neveneffecten. Deze doen het vliegtuig draaien rond een as die niet met dat roer overeenstemmen.

De voornaamste neveneffecten zijn:

- De tegengestelde gierbeweging om de top-as
- De geïnduceerde rolbeweging rond de rol-as
- De geïnduceerde gierbeweging rond de top-as
- Het windhaaneffect rond de top-as

Elevator of hoogteroer

Dit is het enige roer dat geen neveneffect vertoont. De effectiviteit van het hoogteroer bepaalt wel mee de limieten van de ligging van het zwaartepunt. Verleggen we het zwaartepunt, moet dit opgevangen worden door het hoogteroer.

Ailerons of rolroeren

Wanneer we de stick naar links duwen gaat het linker rolroer omhoog en het rechter omlaag. Hierdoor gaat het vliegtuig naar links banken. Aangezien de lift steeds loodrecht op de vleugels blijft staan zal het vliegtuig in een linkse bocht getrokken worden. Dit betekent dat de snelheid van de linkse vleugel zal verminderen en die van de rechtse vermeerderen. De rechtse vleugel krijgt dus meer lift, dus ook meer weerstand, waar de linkse vleugel minder lift en weerstand ondervindt. Ook de uitslag van de rolroeren zorgen voor een verhoging van de rechtse weerstand en een vermindering van de linkse.



Hierdoor ontstaat een giermoment dat een tegengestelde gierbeweging veroorzaakt, en de neus van het vliegtuig in tegengestelde zin van de bocht wil duwen. Om dit te compenseren dient een lichte rudderuitslag bijgegeven te worden om deze tegengestelde gierbeweging op te heffen.

Op grotere toestellen wordt dit effect herleid door het gebruik van rolroeren met differentiële uitslag. Dit wil zeggen dat het opgerichte rolroer een grotere uitslag zal vertonen dan het neergelaten, zodat de weerstanden voor beide rolroeren ongeveer gelijk worden en de tegengestelde gierbeweging ook geneutraliseerd wordt.

Rudder of richtingsroer

Wanneer het richtingsroer naar links uitslaat, zal het vliegtuig een gierbeweging naar links maken, waardoor de rechter vleugel een grotere snelheid krijgt dan de linker. Door de toename van snelheid krijgt de rechter vleugel meer lift, terwijl het omgekeerde effect plaatsvindt op de linker vleugel. Dit resulteert in een rolbeweging naar links. Tegelijkertijd zal ook de weerstand van de rechtervleugel verhogen terwijl die van de linkervleugel verkleint. Dit heeft een geïnduceerde tegengestelde gierbeweging voor gevolg, die het vliegtuig uit de bocht zal trachten te halen.

Windhaanefect

Het windhaanefect is een nevenefect te wijten aan de romp van het vliegtuig en zijn vertikaal staartvlak. Elke laterale beweging van het vliegtuig rond zijn top-as zal altijd tegengewerkt worden door het windhaanefect. Hierdoor wordt het mogelijk om het vliegtuig in een zogenaamde side-slip te brengen, wat vooral van belang is bij crosswind landingen. In dit geval weten we dat, om een rechte lijn te vliegen, het vliegtuig met een welbepaalde hoek moet opsturen in de wind. Indien we hier geen verbetering aanbrengen zullen de wielen haaks op de grond komen, met een mogelijke beschadiging van het landingsstel tot gevolg.

Als we nu met de rolroeren het vliegtuig laten banken met de lage vleugel in de wind, zal de lift, die loodrecht op de vleugels staat het vliegtuig naar de wind toe trekken. Al wat we nu nog moeten doen is vermijden dat het toestel begint te bochten. Dit kan je doen door met je richtingsroer een tegengestelde bocht te induceren, die de neus van het toestel terug in de as van de piste zal brengen. Een evenredige dosering van deze 2 gelijktijdige manoeuvres zal resulteren in een gecontroleerde side-slip. Hierdoor zal het vliegtuig in de as van de piste blijven dalen. Het wiel dat zich in de wind bevindt zal eerst de grond raken, en daarna zal, bij afname van de snelheid, ook het andere wiel neerkomen.

Dit is dan ook de enige goede methode om een crosswind landing te maken.

Het windhaanefect is ook van groot belang bij het taxiën, daar het vliegtuig altijd de neiging zal hebben om met zijn neus in de wind te gaan staan. In geval van wind is uiterste aandacht steeds geboden!