

Algemene Kennis van het Zweefvliegtuig

Constructies, Systemen, Instrumenten en Luchtwaardigheid

Inhoudsopgave

ALGEMENE KENNIS VAN HET ZWEEFVLIEGTUIG	1
CONSTRUCTIES, SYSTEMEN, INSTRUMENTEN EN LUCHTWAARDIGHEID	1
1. CONSTRUCTIES	6
1.1 ALGEMEEN	6
1.2 CONSTRUCTIE VAN DE VLEUGEL	9
1.3 CONSTRUCTIE VAN DE ROMP	13
1.4 CONSTRUCTIE VAN DE STAART	16
1.5 MATERIALEN EN EIGENSCHAPPEN	18
1.6 SOORTEN VERBINDINGSMETHODEN	20
2 SYSTEEMONTWERP, BELASTINGEN EN SPANNINGEN	24
2.1 SYSTEEMONTWERP	24
2.2 SPANNINGEN	26
2.3 BELASTINGEN OP EEN ZWEEFVLIEGTUIG	27
3 ONDERSTELLEN, WIELEN, BANDEN EN REMMEN	36
3.1 ONDERSTELLEN	36
3.2 WIELEN EN BANDEN	38
3.3 REMMEN	38
4 GEWICHT EN BALANS	41
4.1 ALGEMEEN	41
4.2 INVLOED ZWAARTEPUNT OP STABILITEIT, BESTURING EN PRESTATIES	43
4.3 INVLOED GEWICHTSVERDELING OP ZWAARTEPUNT	46
4.4 MAXIMAAL TOEGESTAAN VliegTUIGGEWICHT	48
5 STUURORGANEN EN ROEREN	49
5.1 ALGEMEEN	49
5.2 PRIMAIRE STUURORGANEN	51
5.3 SECUNDAIRE STUURORGANEN	54
6 INSTRUMENTEN	58
6.1 ALGEMEEN	58
6.2 MECHANISCHE INSTRUMENTEN	58
6.3 ELEKTRISCHE INSTRUMENTEN	74
7 MONTAGE VAN ZWEEFVLIEGTUIGEN EN AANSLUITEN VAN ROEREN	82
7.1 MONTAGE EN AANSLUITEN ROEREN	82
7.2 DAGELIJKSE INSPECTIE	82
8 HANDBOEKEN EN DOCUMENTEN	84
8.1 VliegHANDBOEK	84
8.2 OVERIGE DOCUMENTEN	85
9 LUCHTWAARDIGHEID EN ONDERHOUD	87

9.1	ALGEMEEN	87
9.2	INSPECTIES	88
9.3	TECHNISCHE ADMINISTRATIE	88
10	<u>MOTOREN EN PROPELLERS.....</u>	90
10.1	ALGEMEEN	90
10.2	ELEKTROMOTOR	90
10.3	VERBRANDINGSMOTOR.....	90
10.4	PROPELLERS	92
10.5	WERKING TWEETAKT ZUIGERMOTOR.....	93
11	<u>WATERBALLASTSYSTEMEN</u>	97
11.1	ALGEMEEN	97
11.2	BALLASTTANKS.....	97
12	<u>PRESTATIES EN OPERATIONELE BEPERKINGEN VAN BATTERIJEN</u>	100
12.1	PRESTATIES EN OPERATIONELE BEPERKINGEN VAN BATTERIJEN	100
13	<u>NOODPARACHUTES</u>	101
13.1	NOODPARACHUTE	101
13.2	REMPARACHUTE.....	101
13.3	BALLISTISCH TERUGBRENGSYSTEEM.....	101
14	<u>NOODUITSTAPSYSTEEM</u>	103
14.1	NOODUITSTAPSYSTEEM.....	103
15	<u>BIJLAGEN.....</u>	104
15.1	GROOTHEDEN, EENHEDEN EN ANDERE TERMEN	104
16	<u>OEFENVRAGEN</u>	106
16.1	CONSTRUCTIES	106
16.2	SYSTEEMONTWERP, BELASTINGEN EN SPANNINGEN	108
16.3	ONDERSTELLEN, WIELEN, BANDEN EN REMMEN.....	110
16.4	GEWICHT EN BALANS.....	112
16.5	STUURORGANEN EN ROEREN.....	114
16.6	INSTRUMENTEN.....	116
16.7	MONTAGE VAN ZWEEFVLIEGTUIGEN EN AANSLUITEN VAN ROEREN.....	118
16.8	HANDBOEKEN EN DOCUMENTEN	119
16.9	LUCHTWAARDIGHEID EN ONDERHOUD	121
16.10	MOTOREN EN PROPELLERS	123
16.11	WATERBALLASTSYSTEMEN	125
16.12	PRESTATIES EN OPERATIONELE BEPERKINGEN VAN BATTERIJEN	126
16.13	NOODPARACHUTES	127
16.14	NOODUITSTAPSYSTEEM.....	128

Voorwoord

In 2020 is de Europese regelgeving omtrent de opleiding en afgifte van vliegbrevetten (EU Part-FCL) uitgebreid met een apart gedeelte voor het zweefvliegen: de SFCL (Sailplane Flight Crew Licensing). Naast een 'soepeler' regelgeving, zijn er met de invoering van de SFCL ook een aantal theoretische leerdoelen bijgekomen. Zo ook voor het vak 'Algemene Kennis van het Zweefvliegtuig'. Ondanks deze herziening, constateert de auteur nog steeds een overlap van enkele leerdoelen met andere hoofdstukken en zelfs met andere vakken.

De overgang naar SFCL is dan ook de hoofdreden geweest om dit lesboek uit te breiden en te publiceren met een nieuw versienummer (2.0).

De theoretische syllabus gaat echter nog steeds niet verder dan het benoemen van de grove onderwerpen. Deze onderwerpen zijn in dit boek nog steeds terug te vinden als hoofdstuktitels. Ook nu weer heeft de auteur aansluiting gezocht bij de oorspronkelijke lesstof en deze aangepast aan de leerdoelen welke voor PPL zijn gepubliceerd op de website van het CBR. Daar waar dit niet mogelijk bleek, heeft de auteur naar beste eer en geweten gepoogd zijn visie op de nieuwe leerdoelen te beschrijven.

Ook nu weer probeert het boek dicht bij het dagelijks gebruik van het zweefvliegtuig te blijven: wat moet de vlieger minimaal weten om veilig met zijn toestel om te kunnen gaan. Desondanks wordt soms ter ondersteuning gebruik gemaakt van formules.

In schuinschrift termen die zowieso gekend meten worden. Teksten onder het kopje 'Opmerking' betreffen een verduidelijking van de lesstof voor iedereen. Onder de nieuwe regelgeving is er geen aparte instructeursstof meer. Degene die toch iets meer wil weten (instructeur, technicus, etc.) kan dit terugvinden onder het kopje 'Verdieping' met een kantlijn ervoor. Deze verdiepende stof is geen examenstof. Dat geldt ook voor de bijlage aan het eind van dit boek.

Lezers zullen teksten en afbeeldingen wellicht anders interpreteren dan de auteur heeft bedoeld. Regelgeving is aan verandering onderhevig en inzichten kunnen wijzigen. De auteur beseft zich terdege dat een lesboek daarom nooit af is; er is altijd ruimte voor verbetering. Voorstellen hiertoe zijn welkom. Dit alles maakt het boek tot een levend document.

Zo ben ik bijvoorbeeld nog steeds niet tevreden over het hoofdstuk 'Gewicht en Balans'. Ook ben ik nog op zoek naar het gewenste kennisniveau, lees: diepgang, met betrekking tot het nieuwe hoofdstuk 'Motoren en Propellers'. Moet dit nu wel of niet worden uitgebreid met de TMG? Ik hoop met jullie terugkoppeling hierover in een volgende versie een duidelijker verhaal te kunnen neerzetten.

Assen, voorjaar 2021
Marcel Heidinga
heidinga.mw@gmail.com

Revisiebeheer

V1.0	Voorjaar 2017	
V1.1	Winter 2019	Revisiebeheer opgenomen. Tekstuele en grammaticale wijzigingen. Afkorting 'gewicht' gestandaardiseerd op 'W'. Vragen aangepast. Verduidelijkingen. Tekeningen. Foto's.
V2.0	Voorjaar 2021	Document aangepast aan leerdoelen SFCL. Tekstuele en grammaticale wijzigingen. Vragen aangepast. Verduidelijkingen aangebracht. Afbeeldingen toegevoegd c.q. gewijzigd. Hoofdstuk 1: twee vleugels i.p.v. linker- en rechterdeel. Montage en aansluiten van roeren is nu apart hoofdstuk (7).

1. Constructies

Dit eerste hoofdstuk gaat over de constructie van het zweefvliegtuig, de gebruikte materialen en de samenbouw er van.

1.1 Algemeen

Definitie

Volgens de regelgeving is een zweefvliegtuig 'een luchtvaartuig met vaste vleugels, niet zijnde een Touring Motor Glider, zwaarder dan lucht dat hoofzakelijk in de lucht kan worden gehouden door aerodynamische reactiekrachten en waarvan de vrije vlucht niet afhankelijk is van een motor'.

Een zweefvliegtuig met intrekbare hulpmotor uitgevoerd als "thuisbrenger" of zelfs als "zelfstarter" blijft dus een zweefvliegtuig. Het maakt ook niet uit of de hulpmotor een verbrandingsmotor of een elektromotor is.

Vorm en sterkte

De constructie van (zweef)vliegtuigen is gebaseerd op een *vorm* welke een maximale draagkracht (lift) opwekt bij een minimale weerstand en welke een zo laag mogelijk gewicht combineert met voldoende *sterkte*. Afhankelijk van het gewenste gebruik kan de constructeur meer aandacht geven aan de thermiekeigenschappen (langzaam vliegen) of aan de steekeigenschappen (snel vliegen). Bij prestatiezweefvliegtuigen kan het onderstel worden ingetrokken en kan het vleugelprofiel worden aangepast. Ook kan de constructeur rekening houden met de ervaring van de vlieger; een opleidingstweezitter en een overgangstrainer hebben veelal vriendelijker stureigenschappen hetgeen vaak ten koste gaat van de vliegprestaties. Als laatste wordt vermeld dat er ook zweefvliegtuigen worden gebouwd speciaal voor kunstvliegen.

De sterkte is zodanig gekozen dat de meest voorkomende belastingen kunnen worden opgenomen. In hoofdstuk 2 wordt hier nader op ingegaan. Het is van belang dat men de vormgevende en belastingdragende functies van een constructie van elkaar kan scheiden.

Oorspronkelijk werden zweefvliegtuigen gebouwd op basis van een houten en/of metalen geraamte voor de sterkte welke bekleed werd met doek, hout of metaal voor de gewenste (stroomlijn)vorm. Tegenwoordig bestaan zweefvliegtuigen uit een kunststof schaal die plaatselijk wordt versterkt. Kunststof combineert een sterke, lichte constructie met een optimale vorm.

Categorieën en klassen

De meeste zweefvliegtuigen worden in Europa gebouwd en gecertificeerd volgens de luchtwaardigheidseisen van EASA. Deze zijn terug te vinden in CS-22 (Certification Specification nummer 22). Zweefvliegtuigen moeten voldoen aan tal van eisen. Een daarvan is een sterkte-eis. Zweefvliegtuigen voor "normaal" gebruik worden gecertificeerd in de Utility categorie (U). Zweefvliegtuigen waarmee men kunstvluchten wil uitvoeren, moeten gecertificeerd zijn in de Aerobatics categorie (A). Een zweefvliegtuig in de U-categorie is minder zwaar belastbaar dan een zweefvliegtuig uit de A-categorie en kan daardoor niet alle kunstvliegmanoeuvres maken. Zoals gezegd gaat hoofdstuk 2 dieper in op de belastingen tijdens het gebruik.

De 'International Gliding Commission (IGC)' van de 'Fédération Aéronautique Internationale (FAI)' definieert de volgende klasse-indelingen voor wedstrijden:

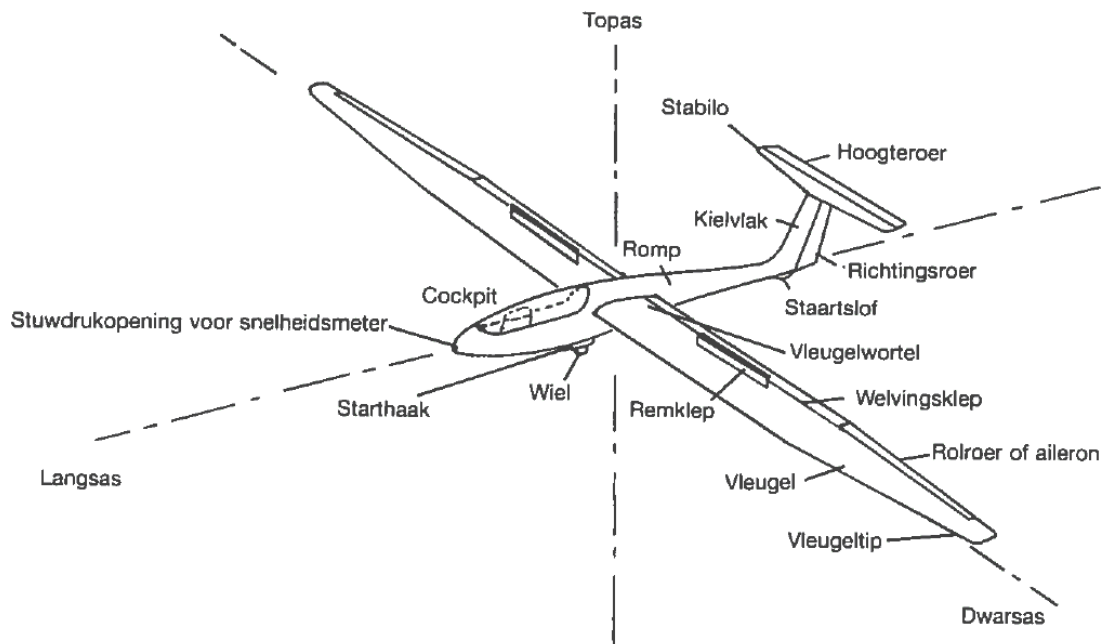
- standaardklasse: 15m spanwijdte, waterballast toegestaan, welvingskleppen niet toegestaan;
- 15m klasse: 15m spanwijdte, waterballast en welvingskleppen toegestaan;
- 18 m klasse: 18 m spanwijdte, waterballast en welvingskleppen toegestaan;

- open klasse: geen beperkingen qua spanwijdte, max 850 kg;
- tweezitterklasse: maximaal 20 m spanwijdte;
- clubklasse: hierin zijn de oudere, kleinere zweefvliegtuigen verzameld met verschillende prestaties welke middels een handicap met elkaar kunnen worden vergeleken; waterballast is niet toegestaan;
- wereldklasse: gereserveerd voor één type zweefvliegtuig; op dit moment de Poolse PW5.

Samenstellende delen

Een zweefvliegtuig bestaat uit de volgende samenstellende delen:

- Vleugels
 - De vleugels zijn voor het opwekken van draagkracht. De afneembare linker- en rechtervleugel zijn ter hoogte van de romp aan elkaar én aan de romp bevestigd. De vleugels herbergen ook een aantal stuurorganen zoals rolroeren, remkleppen en eventueel welvingskleppen. Daarnaast bevinden zich in de vleugels vaak watertanks of waterzakken. De vleugel kan uit meerdere segmenten bestaan: een binnendeel en een buitendeel. Tegenwoordig is vaak aan het buitendeel een opstaande tip bevestigd.
- Staart
 - De staart dient ter verkrijging van stabiliteit om twee van de drie besturingsassen. De staart bestaat uit een verticaal kielvlak en een horizontaal stabilo. Het kielvlak is ten behoeve van de richtingsstabiliteit om de topas; het stabilo is ten behoeve van de langsstabiliteit om de dwarsas. Het stabilo is afneembaar.
- Romp
 - De romp herbergt de vlieger, het onderstel, de startha(a)k(en) en een eventuele motor. Integraal onderdeel van de romp is de staartdrager of staartboom welke de staart op enige afstand van het zwaartepunt plaatst.
- Onderstel
 - Het onderstel vangt de belastingen op tijdens start en landing en vergemakkelijkt het grondtransport. Het onderstel is tegenwoordig veelal intrekbaar.
- Roeren
 - De roeren zijn voor de besturing om de drie assen, te weten een hoogteroer voor de beweging om de dwarsas (stampen), een richtingsroer voor de beweging om de topas (gieren) en rolroeren voor beweging om de langsas (rollen).
- Remkleppen
 - Met de remkleppen wordt de glijhoek geregeld en zo nodig voorkomen dat de vliegsnelheid al te grote waarden aanneemt tijdens een duikvlucht.
- Welvingskleppen
 - De welvingskleppen dienen ter aanpassing van het vleugelprofiel aan hoge- en lage vliegsnelheden.



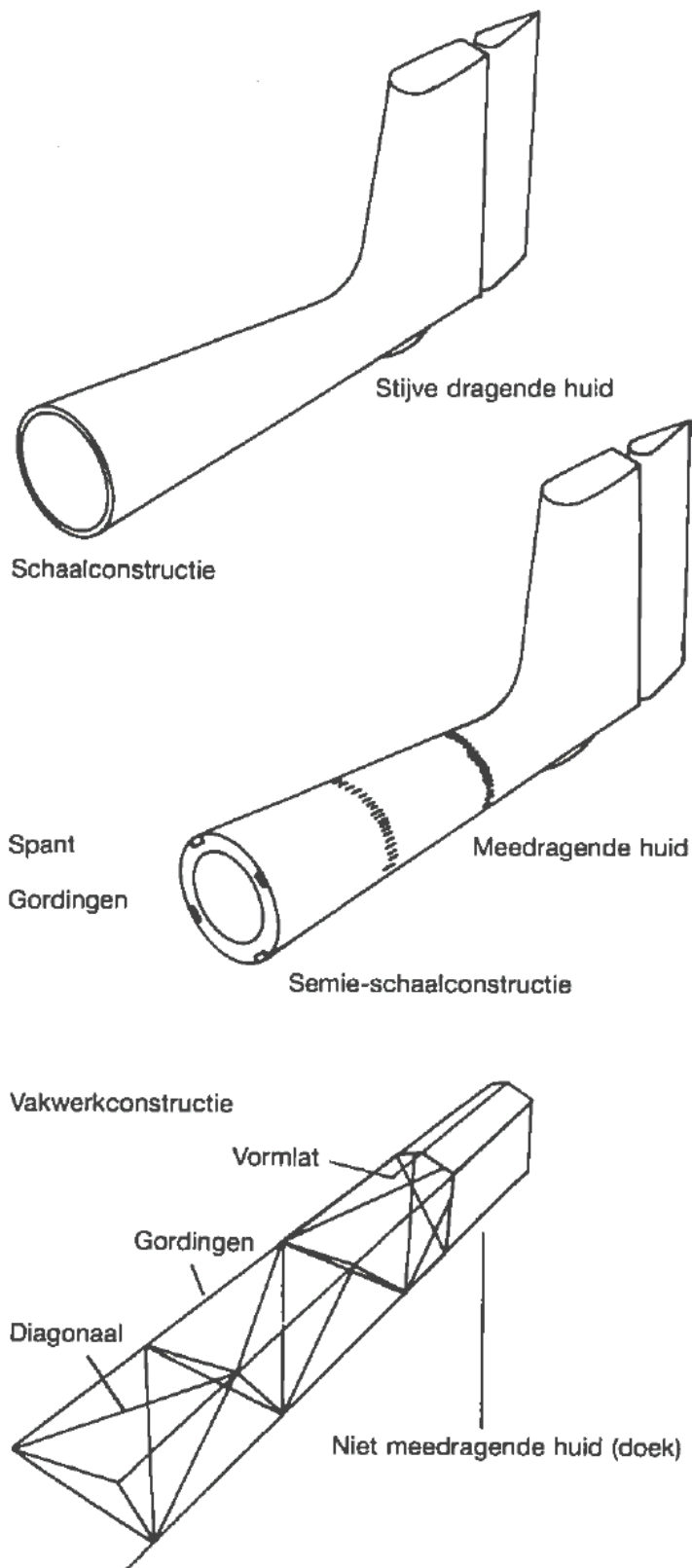
Afbeelding 1-1 Samenstellende delen

Vakwerkconstructie

De eerste zweefvliegtuigen hadden een *dragend geraamte* uitgevoerd als *vakwerkconstructie*. Dit is een constructie bestaande uit houten of metalen latjes, balken, staven en buizen. Deze waren omwille van voldoende sterkte als driehoeken aan elkaar bevestigd door middel van las-, klink-, bout- of lijmverbindingen. Verderop in dit hoofdstuk vind je een kort overzicht van de diverse verbindingsmethoden. Met de vakwerkconstructie lag de grove vorm vast. De uiteindelijke vorm werd gemaakt door het geraamte te bekleden met een *niet-meedragende huid* in de vorm van geïmpregneerd katoenen doek. Soms werd voor een vloeiender overgang tussen de verschillende onderdelen gebruik gemaakt van houten vloeistukken. Daar waar de vakwerkconstructie extra versterkt moest worden, werd gebruik gemaakt van een houten of metalen beslag of spant.

Schaalconstructie

Halverwege de vorige eeuw is men begonnen de huid te laten meedragen aan de sterkte. De huid wordt dan uitgevoerd als een schaal. Een *schaalconstructie* combineert vormvastheid en sterkte in een stijve huidschaal. Een dergelijke constructie is zeer licht en toch sterk (vergelijk met een eierschaal) maar ook kwetsbaar doordat deze bij beschadiging snel aan sterkte verliest. Bij geconcentreerde belastingen zoals aansluitingen van vleugels, stabilo en onderstel moet de schaalconstructie plaatselijk worden versterkt. Naast versterking moet de schaalconstructie ook worden verstijfd om plooivorming tegen te gaan. Uiteindelijk ontstaat dan een *semi-schaalconstructie* bestaande uit een vrijdragende huid met versterkingen in de vorm van gordingen in lengterichting (langsverstijvers) en open- of gesloten spanten of ribben dwars daarop (dwarsverstijvers). In eerste instantie werd deze constructie uitgevoerd in hout en metaal maar tegenwoordig wordt hiervoor kunststof gebruikt.



Afbeelding 1-2 Vakwerk- en schaalconstructie

1.2 Constructie van de vleugel

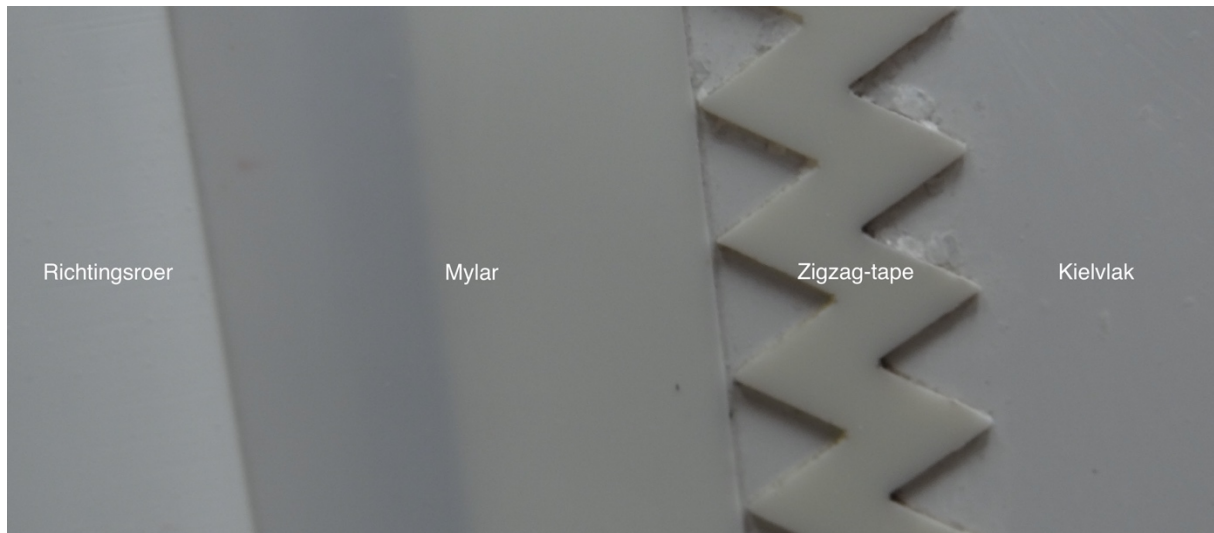
Algemeen

De linker- en de rechtervleugel worden zodanig aan elkaar bevestigd, dat beide vleugels één geheel vormen. In het verleden werden de vleugels ter hoogte van de romp nog ondersteund met vleugelstijlen (Grunau Baby). Tegenwoordig zijn de vleugels *vrijdragend*.

Het deel van de vleugel ter hoogte van de romp heet de *wortel*, het andere uiteinde is de *tip*. De wortel is versterkt teneinde de romp eraan te kunnen bevestigen. Verder bevinden zich in de wortel de doorvoeren voor de aansluitingen van roeren en (eventuele) waterkraan. De vleugel kan worden verlengd met *opsteektippen* voor een grotere slankheid. Ook kan ter verdere reductie van de (geïnduceerde) weerstand een verticaal eindstuk aan de tip worden bevestigd: de zogenaamde *winglet*.

De weerstand kan nog verder worden verminderd door de spleet tussen vleugel en roeren af te dekken met een plakband welke bekend staat onder de naam '*Mylar*'.

Deze plakband moet niet verward worden met de zigzag vormige plakband achter op de vleugel. De *zigzag band* forceert een turbulente stroming. Hoewel een turbulente stroming meer weerstand genereert zal deze langer blijven aanliggen en daardoor minder snel loslaten. Zie hiertoe het vak 'Beginselen van het Zweefvliegen'.



Afbeelding 1-3 Mylar en zigzag tape (Discus-cs)

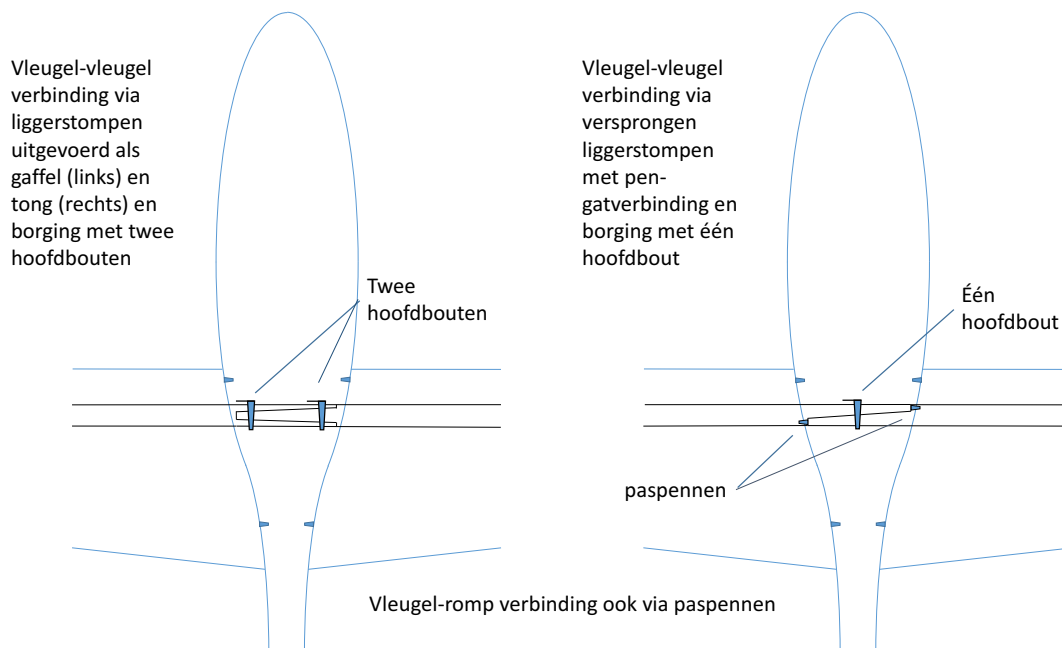
Als laatste worden de *muggenwissers* genoemd. Dit zijn een soort gekromde trekkers welke tijdens de vlucht heen en weer langs de vleugelvoorrand kunnen worden bewogen teneinde deze te ontdoen van al te veel insectenresten.



Afbeelding 1-4 Muggenwisser (LS4-b)

Het belangrijkste constructieve deel van de vleugel is de vleugelligger. De *ligger* is een vrij stijve buigbalk die van tip tot tip loopt. Ter hoogte van de romp zijn de liggers van beide vleugelhelften star aan elkaar bevestigd met een losneembare verbinding: de zogenaamde *hoofdbouten*.

De ligger bevindt zich op circa $\frac{1}{4}$ van de vleugelvoorrand en moet verschillende krachten kunnen opnemen. Tijdens het vliegen zijn dat het gewicht van, en de luchtkrachten op vleugel én romp. Zie afbeelding 1-5. Soms wordt gebruik gemaakt van zogenaamde hulpliggers welke de hoofdligger ondersteunen in het opnemen van deze belastingen, zie later.



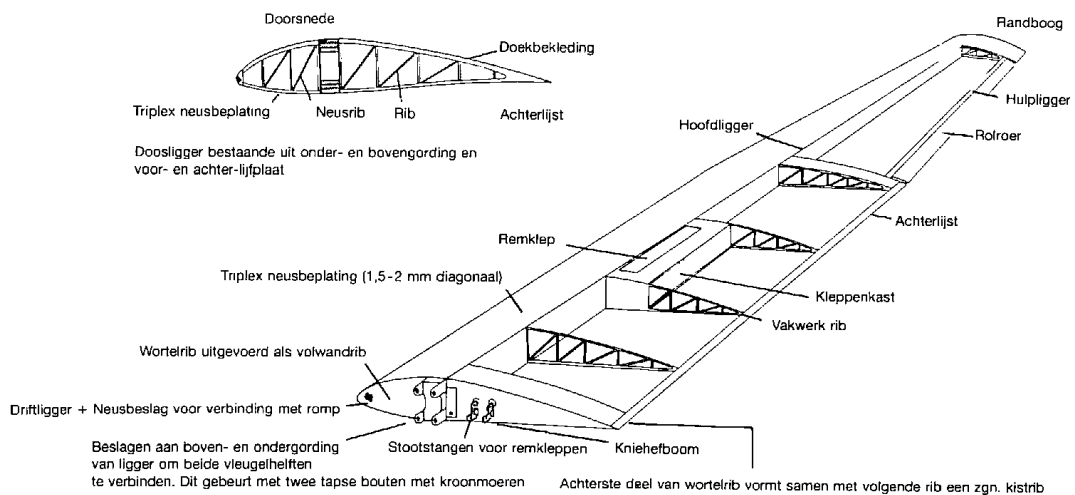
Afbeelding 1-5 In elkaar grijpende vleugelliggers met hoofdbout(en)

De luchtkrachten die op de huid werken worden rechtstreeks of via zogenaamde *ribben* overgebracht op de ligger. Ribben zijn de in koorderichting geplaatste, versterkte profielen welke de vleugel tevens zijn vorm geven. Zie afbeelding 1-6.

Vakwerk vleugelconstructie in hout

De houten vleugel werd in de basis uitgevoerd als een vakwerkconstructie van hout (soms metaal). De vakwerkribben welke aan de ligger zijn bevestigd waren bovendien aan de voorkant en achterkant aan elkaar bevestigd met latten. Op plekken met geconcentreerde belastingen zoals de vleugelvoorrand, de rolroeren en de kleppenkast werd in plaats van vakwerk vaak gebruik gemaakt van een triplex lijfplaat. Zo ontstonden respectievelijk de *D-vormige torsieneus* en de *volwandrib*. De meest in het oog springende volwandrib is die aan de vleugelwortel. Naast de uitstekende liggerstompen bevinden zich hier ook de paspennen voor de rompbevestiging, zie afbeelding 1-5. De ligger zelf bestond uit een *boven- en ondergording* verbonden door twee *triplex lijfplaten*. Dit werd een *doosligger* genoemd. Het geheel werd omspannen met geïmpregneerd katoenen doek dat tijdens het droogproces zichzelf straktrekt.

De roeren van de houten vleugel zijn net als de vleugel zelf gemaakt van een houten vakwerkconstructie bespannen met doek. De remkleppen zijn gemaakt van triplex.



Afbeelding 1-6 Constructie houten vleugel

Semi-schaal vleugelconstructie in kunststof

De semi-schaal vleugel kan in hout, metaal of kunststof worden uitgevoerd. Deze beschrijving gaat over de kunststof vleugel. Ook bij een kunststof vleugel zijn altijd versterkingen nodig in de vorm van een ligger en ribben. Het aantal ribben is echter wel minder dan bij de houten vleugel in verband met de stijve en daardoor vormvaste huid welke zelf ook krachten kan opnemen en doorvoeren naar de ligger. De huid en eventuele ribben zijn gemaakt van *glasvezellaminaat* (zie later) uitgevoerd als *sandwich* (zie later); in het begin kwam men nog wel houten ribben tegen. De ligger in spanwijdterichting maakt de vleugel enigszins buigstijf. Net als bij de houten vleugel bestaat de ligger uit één of meer lijfplaten met een boven- en ondergording. De lijfplaten zijn gemaakt als sandwich. De gordingen zijn gemaakt van strengen evenwijdige vezels. Voor de liggers wordt steeds vaker koolstof of aramide gebruikt. Net als op de wortelrib, bevinden zich op de uitstekende liggerstompen ook paspennen voor de juiste bevestiging van de beide vleugelhelften aan elkaar.

De roeren van de kunststof vleugel zijn in principe op dezelfde wijze opgebouwd als de vleugel. De remkleppen zijn gemaakt van metaal.



Afbeelding 1-7 Constructie kunststof vleugel (LS10-st)

1.3 Constructie van de romp

Algemeen

De romp is aan de vleugel bevestigd met paspennen in de vorm van een zogenaamde pen-gat verbinding. De paspennen in de wortelribben van beide vleugelhelften bevinden zich dan in gelagerde gaten in de romp (zie afbeelding 1-5) **maar andersom komt ook voor**. Op deze wijze worden tijdens de vlucht de rompkrachten doorgeleid naar de vleugel. De pen-gat verbinding wordt dus aanzienlijk belast. In de vleugel worden deze krachten via een volwand wortelrib doorgeleid naar de ligger. In de romp gebeurt iets soortgelijks. Hiervoor wordt een *spant* gebruikt. Een spant is net als een rib dwars op de lengterichting geplaatst en kan net als een rib open of gesloten zijn. De uiteindelijke romp is om dit/deze spant(en) heen gebouwd. De romp is verder voorzien van versterkingen in lengterichting (gordingen) om de cockpit- en staartkrachten op te vangen dan wel door te leiden. Tevens worden hiermee de krachten op het onderstel en starthaken opgevangen en doorgeleid.

Cockpit

De cockpit beslaat het gehele voorste deel van de romp. De cockpit is de plek waar de vlieger zich bevindt met in de directe nabijheid alle instrumenten en bedieningsorganen. De vlieger zit/licht in een min of meer ergonomisch gevormde kuip waarvan de zitting en/of rugleuning steeds vaker instelbaar is voor de perfecte pasvorm. Aan de kuip zijn vier in lengte verstelbare riemen bevestigd (twee heup, twee schouder). Categorie-A vliegtuigen hebben daarnaast een extra, vijfde riem tussen de benen. De riemen moeten in één beweging geopend kunnen worden. Een andere veiligheidsmaatregel is de aanwezigheid van een hoofdsteen. Voor het automatisch openen van een eventuele parachute na het uitstappen is vaak een (rood gekleurde) metalen ring (oog) bevestigd waaraan de 'ripcord' van de parachute kan worden bevestigd. Achterin de cockpit is veelal een klein bagagecompartiment aanwezig met een maximale capaciteit qua gewicht. Soms is er ook ruimte voor het installeren van een zuurstoffles. De cockpit is voorzien van een regelbare ventilatieopening welke frisse lucht van buiten uit de neus haalt. Voor het beïnvloeden van de zwaartepuntligging hebben de meeste cockpits een mogelijkheid tot het installeren van loodblokjes in de neus. De cockpit wordt afgedicht met een aerodynamisch gevormde kap, zie hierna.

Cockpitkap

De eerste zweefvliegtuigen hadden een open cockpit met hooguit een transparant windscherm. Pas later ontstond in verband met de hogere vliegsnelheden en de verbeterde stroomlijnvorm de gesloten cockpit. Deze werd afgedicht met een transparante kunststof kap in een metalen of kunststof frame. De kap is gemaakt van **een acrylaat, beter bekend onder de naam Plexiglas**. Plexiglas kan in elke gewenste vorm worden gemaakt maar is zeer kras- en scheurgevoelig, vooral bij het raampje. Men dient hier bij het gebruik van de kap dan ook rekening te houden: Pak de kap altijd beet bij het frame en steek nooit de hand door het open raampje om van buitenaf de ontkoppelhaak te bedienen. Gebruik de kaphoes om de kap te beschermen tegen te veel zonnewarmte welke de kap kan doen uitzetten waardoor deze moeilijker is te bedienen. Maak de kap alleen schoon met schoon water en een schone, krasvrije spons of doek.

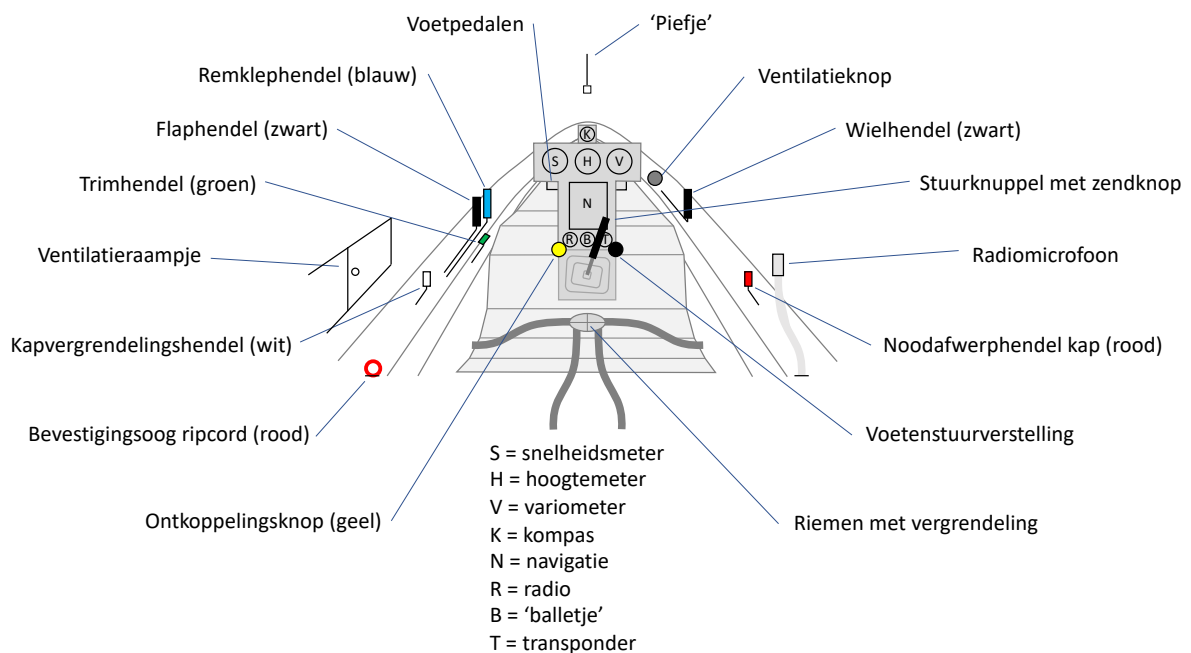
De kap is voorzien van een *ventilatieraampje*. Het raampje kan, nadat het aan de handgreep naar binnen is getrokken, naar achteren toe open schuiven. In het raampje zit tegenwoordig een kantelbaar klepje welke, zonder dat het raampje geopend is, een verkoelende luchtstroming van buiten naar binnen leidt.

De moderne kap heeft een scharnier ten behoeve van openen en sluiten. De kap die in zijwaartse richting (meestal naar rechts) opent is voorzien van een koord welke voorkomt dat de kap te ver opent. De kap die in voor-of achterwaartse richting opent is voorzien van een gasveer. Aan de andere kant van de kap is een vergrendelingsmechanisme aangebracht. Dit is een constructie met pennen of haken welke de kap dicht houden. Dit mechanisme wordt bediend met een wit (soms zwart of rood) gekleurde hendel.

In het geval de cockpit tijdens de vlucht moet worden verlaten, dient de kap in zijn geheel van het vliegtuig te worden losgemaakt. Gebruik hiervoor, naast de normale witte hendel(s), tevens de *rode noodafwerphendel*. De kap komt nu los van het scharnier met eventueel koord en kan worden weggeduwd. Bij sommige zweefvliegtuigen wordt de kap reeds op de normale wijze ver- en ontgrendeld met een roodgekleurde knop. In geval van nood wordt deze knop ook bediend waarbij de geopende kap door de kracht van de luchtstroming uit zijn scharnier scheurt.

Kappen kunnen voorzien zijn van zogenaamde *prikkeldraadstangen*. Dit is een metalen frame dat aan de binnenzijde van de kap is bevestigd. De prikkeldraadstangen moeten voorkomen dat bij een (buiten)landing een eventuele draadafrastering de cockpit kan binnendringen en voor zwaar letsel kan zorgen. Vroeger waren prikkeldraadstangen verplicht in Nederlands geregistreerde zweefvliegtuigen. Met de invoering van EU-luchtwaardigheidseisen is deze verplichting komen te vervallen.

Voor een buitenstaander is het *piefje* of wollen draadje het meest in het oog springende deel van de kap. Het draadje heeft een lengte van 10-15 cm en wordt met afplaktape midden voor op de kap bevestigd. Het is het meest simpele en betrouwbare instrument dat aangeeft of er gecoördineerd wordt gevlogen.



Afbeelding 1-8 Cockpit

Staartboom

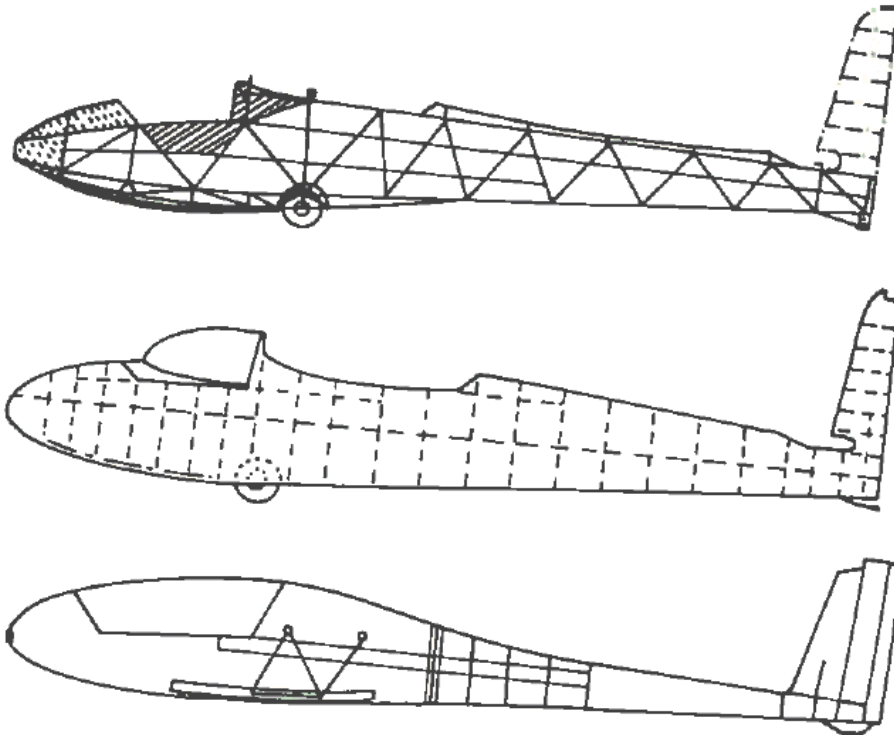
De staartboom of staartdrager houdt de staartvlakken op enige afstand van de vleugel waardoor het effect van hoogteroer en richtingsroer groter is. In de staartboom kan een antenne worden geplaatst evenals drukopnemers voor instrumenten. Verder herbergt het voorste deel van de staartboom tegenwoordig steeds vaker een uitklapbare motor met propeller welke scharnierend aan de romp is bevestigd.

Vakwerk rompconstructie in metaal

De vakwerkromp werd uitgevoerd in hout of metaal. Net als de vleugelneus werd ook de rompneus van een vakwerk romp bekleed met hout; de rest met doek. De metalen vakwerkromp had net achter het hoofd wiel een zwak punt. Bij een te harde landing wilde de constructie daar nog wel eens stuiken waardoor de staart als een soort banaan aan de romp kwam te hangen.

Semi-schaal rompconstructie in kunststof

De schaalromp kan gemaakt zijn van hout, metaal of kunststof. De kunststof romp is uitgevoerd als een semi-schaal constructie. Cockpit en neus zijn vaak extra versterkt ter bescherming van de vlieger. Om de puntlasten van wiel en starthaak door te leiden naar het vleugelbeslag werd nog wel eens gebruik gemaakt van een stalen geraamte.



Vakwerkromp (Ka-8), semischaalromp (Ka-6), kunststof romp met schaal-, semi-schaal- en vakwerkgedeelten (Cirrus)

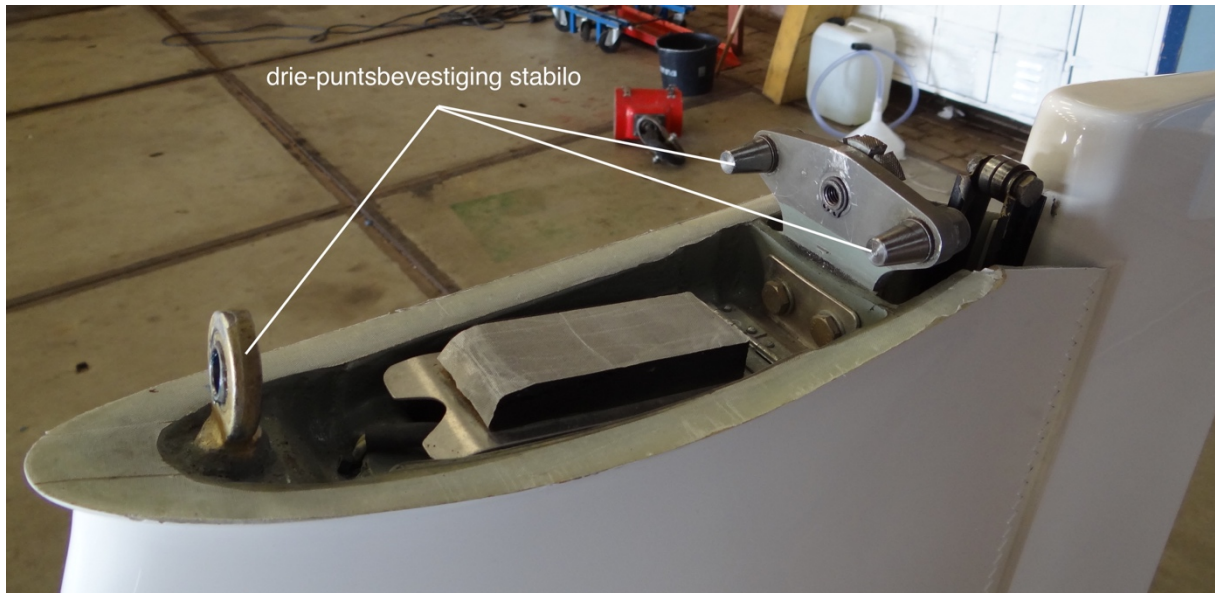
Afbeelding 1-9 Vakwerk en (semi) schaalromp

1.4 Constructie van de staart

Algemeen

De constructie van het verticale en horizontale staartvlak kan worden vergeleken met die van de vleugel. Bij een hoog geplaatst horizontaal stabilo (de T-staart) moet het kielvlak (verticale stabilo) sterker zijn dan bij een laag geplaatst horizontaal stabilo. Het extra gewicht dat daarvoor nodig is compenseert ruimschoots de lagere luchtweerstand, de simpeler constructie en de lagere kans op schade bij buitenlandingen in hoog gewas. De bevestiging van het afneembare horizontale stabilo op het kielvlak geschiedt met twee paspennen en een derde opsluitbout met meestal een automatische roeraansluiting van het hoogteroer. Bij een niet-automatische aansluiting van het hoogteroer wordt eerst het hoogteroer aangesloten en pas daarna het stabilo in positie gebracht welke vervolgens wordt vastgedraaid met een bout, moer of met een verende pen.

Op het kielvlak kunnen drukopnemers voor de snelheids- en variometer worden geplaatst.



Afbeelding 1-10 Driepuntsbevestiging horizontaal stabilo (Discus-cs)

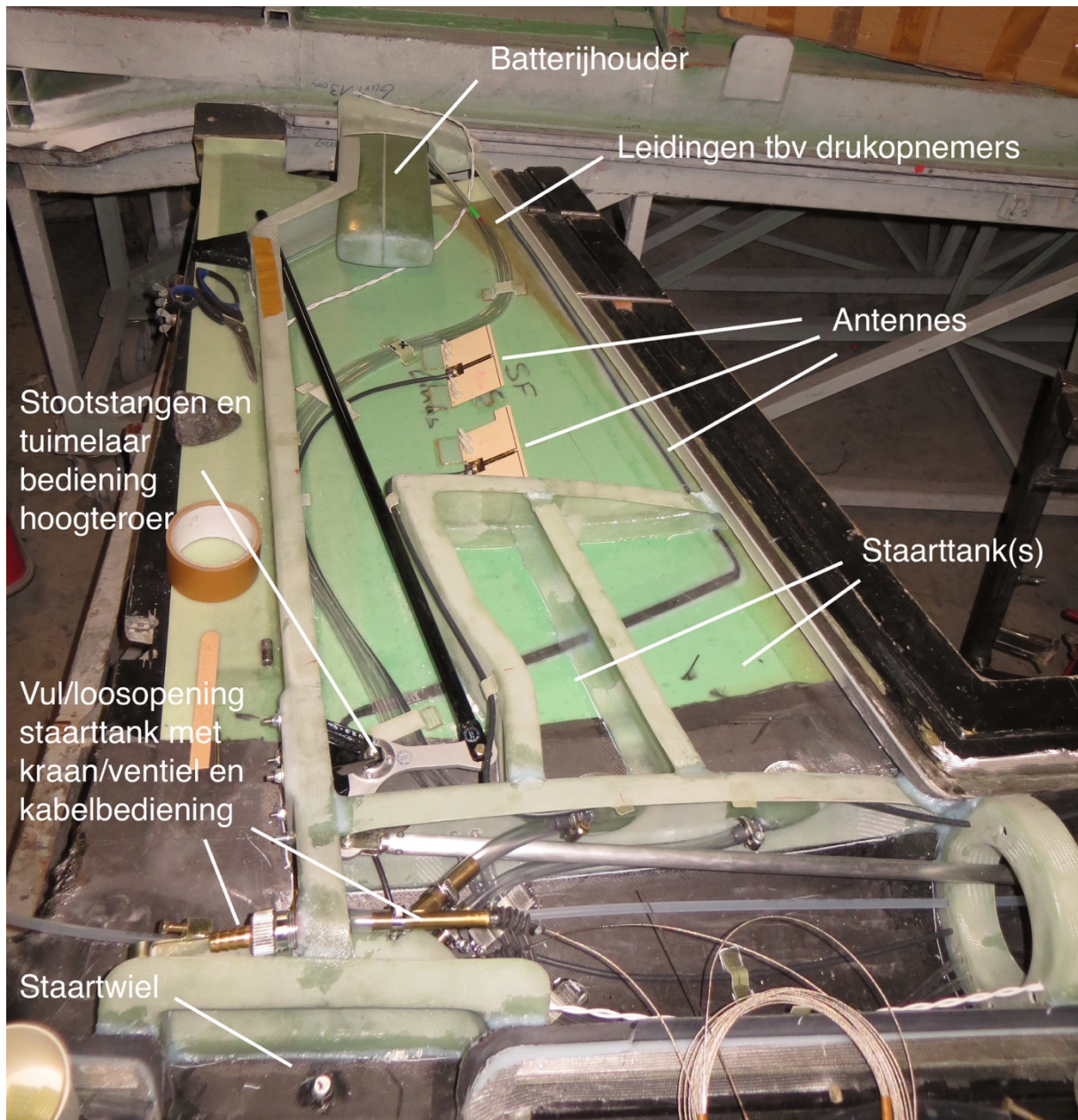
Vakwerk staartconstructie

De staart uitgevoerd in vakwerk had nog vaak een laag geplaatst horizontaal stabilo. Dit stabilo werd met een dubbele pen-gat verbinding en een opsluitbout bevestigd aan de staartboom. Het hoogteroer en eventueel trimvlak werden daarna aangesloten. De constructie van het hoogteroer volgt die van het stabilo en dus die van de vleugel. Het trimvlakje was vaak in zijn geheel uit triplex (zie later) gevormd.

Semi-schaal staartconstructie

Bij de semi-schaal constructie is het verticale stabilo (kielvlak) geïntegreerd in de constructie van de staart. Dus ook hier volglas of sandwich. Kielvlak en stabilo zijn verstevigd met één of meer liggers en enkele ribben. De eerste semi-schaalconstructies hadden nog een laag geplaatst horizontaal stabilo. Er zijn toepassingen geweest in de vorm van een gesimplificeerde en aerodynamisch betere constructie waarbij stabilo en hoogteroer werden gecombineerd tot één beweegbaar stuurvlak: het zogenaamde pendelhoogteroer (houten K-6, kunststof Cirrus). De minder prettige stuurkarakteristieken hebben er toe geleid dat tegenwoordig het stabilo weer vast is en het hoogteroer beweegbaar. Bovendien bevindt het stabilo zich tegenwoordig bovenop het kielvlak. De roeren zijn ook hier uitgevoerd als sandwich. De hoogteroertrim is bij de moderne constructies uitgevoerd als een instelbare veer op de stuurknuppel in plaats van een apart trimvlakje achter op het hoogteroer, zie hoofdstuk 5 Stuurorganen en Roeren.

In het kielvlak van een modern zweefvliegtuig kan men tegenwoordig naast de stuurstangen voor het hoogteroer ook nog een antenne voor de radio, een staartaccu voor extra elektriciteit en een watertank en/of loodhouder voor zwaartepunt beïnvloeding tegenkomen, zie afbeelding 1-11.



Afbeelding 1-11 Constructie kielvlak (LS10-st)

1.5 Materialen en eigenschappen

Hout

Hout is er in vele soorten. Hout is door de eeuwen heen een ideaal constructiemiddel gebleken. Het is licht, sterk, elastisch, makkelijk verkrijgbaar, duurzaam en makkelijk te bewerken zonder al te veel investeringen. Natuurlijk hout bestaat uit vezels welke in lengterichting zeer treksterk zijn. Bij drukkrachten bestaat de neiging om te knikken. Indien hout in meerdere richtingen sterk moet zijn, wordt gebruik gemaakt van verschillende dunne laagjes hout welke op elkaar worden gelijmd en waarvan de vezelrichting haaks op elkaar staat. Zo ontstaat *triplex* (drie lagen) of *multiplex* (meer dan drie lagen). Het werken met hout is echter arbeidsintensief en onderhoudsintensief.

Metaal

Metaal is net als hout een natuurproduct. Er zijn vele soorten metaal. Het meest bekende metaal is *ijzer*. IJzer is sterk maar door aan ijzer een klein deel koolstof toe te voegen ontstaat het nog sterkere *staal*. Nog sterker dan staal is *titanium* dat bovendien lichter is maar wel veel duurder en daarom in

zweefvliegtuigen niet wordt toegepast. Andere, veel gebruikte metalen in de luchtvaart zijn *aluminium* en *magnesium*. Door aluminium te legeren (mengen) met *koper* ontstaat *Dural*. Dural combineert een relatief laag gewicht met voldoende sterkte en elasticiteit en is daardoor geschikt voor romp, vleugel en staartvlakken. Magnesium daarentegen is bros en stijf en wordt vooral gebruikt voor delen die weinig buigen en toch licht en sterk moeten zijn zoals spanten en ophangbeslagen.

Anders dan hout bestaat metaal niet uit vezels. Het kan daardoor zijn dat de treksterkte van een stuk hout groter is dan van een stuk metaal van dezelfde afmetingen. Daar staat tegenover dat metaal in alle richtingen dezelfde treksterkte heeft. Metaal is daardoor, ondanks het hogere gewicht, sterker dan hout. Metaal is wel weer lastiger te verwerken dan hout.

Een ander nadeel van metaal is het ontstaan van *vermoeiingsscheuren*. Hoe groter de belasting of hoe vaker de belasting wisselt, hoe eerder het metaal zal breken. Vergelijk met een paperclip die vaak heen en weer wordt gebogen en uiteindelijk breekt.

Kunststof

Kunststof wordt steeds vaker toegepast in de vliegtuigbouw in verband met de gunstige sterkte-gewicht verhouding en de gunstiger corrosie-eigenschappen (zie hoofdstuk 2). In tegenstelling tot hout en metaal is kunststof een synthetisch product.

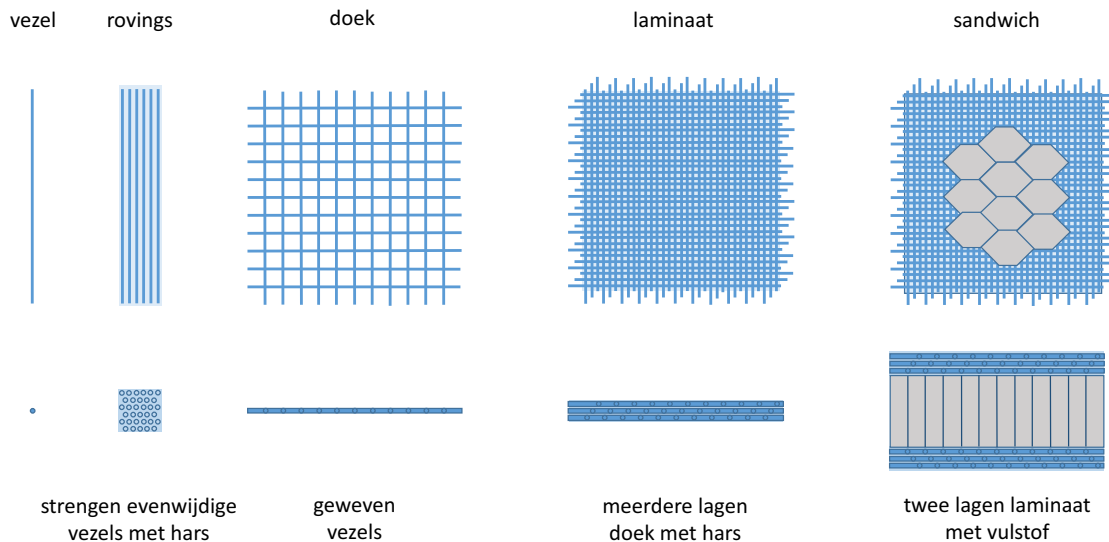
Kunststof wordt toegepast in de vorm van *vezels* welke in evenwijdige banen (*strengen* of *rovings*) worden gelegd of tot een *doek* worden geweven. De vezels worden vervolgens in *kunsthars* (*epoxy*) gedrenkt dat vervolgens uithardt. Deze constructie is enigszins te vergelijken met gewapend beton waarbij het uitgeharte beton zijn uiteindelijke sterkte dankt aan een gevlochten ijzeren mat. Het grote voordeel van deze constructie is dat de gewenste sterkte in elke vorm gemaakt kan worden.

De toegepaste vezels zijn gemaakt van *glas*, *koolstof* of *aramide*. Glas is het meest elastisch; koolstof is het meest stijf. Aramide is het best bestand tegen slagschade door puntbelastingen. Aramide staat ook wel bekend onder de naam Kevlar welke bekend is van de kogelwerende deuren en vesten. De specifieke sterkte (sterkte-gewicht verhouding) van koolstof en aramide is beter is dan die van glas.

Kunststof vezels (kunstvezels) hebben zo goed als geen last van vermoeiing. Wel kunnen er ten gevolge van zeer hoge belastingen scheurtjes ontstaan in de hars welke de kunststof versterkte vezel verzwakken.

Door meerdere lagen doek met hars op elkaar te lijmen ontstaat een *laminaat*. Het grote voordeel hiervan is dat door de keuze van de vezelrichting elke gewenste sterkte in elke gewenste richting kan worden bereikt.

Ook al is laminaat sterk, het is nog te slap om vervorming tegen te gaan. Daartoe dient het laminaat dikker te worden gemaakt maar dat gaat ten koste van het gewicht. Om gewicht te besparen kan een voldoende sterkte en stijfheid ook worden bereikt door twee dunne lagen laminaat op te vullen met een zeer licht vulmateriaal zoals balsahout, honingraat of schuim. Dit heet een *sandwich* constructie.



Afbeelding 1-12 Kunststof bouwwijze

Na de ruwbouw van de met vezel versterkte kunststof wordt een beschermende gladde laklaag of *gelcoat* aangebracht. Deze laag moet de constructie beschermen tegen de weersinvloeden en de luchtweerstand verder minimaliseren. Kunststof is namelijk gevoelig voor UV-licht, vocht en temperatuurwisselingen. Te hoge temperaturen (boven 50 graden Celsius¹) maken de kunststof te elastisch waardoor deze te slap en dus minder sterk wordt. Te lage temperaturen maken de kunststof juist stijf waardoor de kans op scheurvorming toeneemt. De gelcoat is zelf ook een kunststof en moet dus op zijn beurt ook weer beschermd worden tegen het weer. Ter voorkoming van hoge temperaturen worden de kunststof zweefvliegtuigen **bij voorkeur wit** gehouden omdat wit het zonlicht het best reflecteert. Alleen de minder belaste delen kunnen worden voorzien van een kleurmarkering **ter bevordering van een betere zichtbaarheid tegen een lichte achtergrond**. Regelmatig schoonmaken en poetsen met een beschermende waslaag verlengt de levensduur aanzienlijk.

Verkleuringen in kunststof duiden op eerder uitgevoerde reparaties of op *delaminatie*. Bij delaminatie laten de afzonderlijke laagjes van het laminaat los. Dit kan worden herkend door op en naast de verkleurde plek te kloppen en te luisteren naar verandering van het geluid.

Kleine barstjes of scheurtjes in de gelcoat (krakelee) zijn niet echt kritisch zolang men de kist regelmatig in de was zet. Als vocht de kans krijgt door de microscheuren heen in het vezelmateriaal te komen, dan kan dit bij temperaturen onder nul leiden tot scheurvorming en een fors verlies aan sterkte.

Samenvattend

Van alle genoemde materialen is kunststof het meest ideale constructiemateriaal. De sterkte-gewicht verhouding is hoog, het kan tot elke gewenste vorm worden verwerkt en het heeft niet direct last van corrosie of vermoeiing. Reparaties, hoewel arbeidsintensief, zijn relatief makkelijk uit te voeren.

1.6 Soorten verbindingsmethoden

¹ In theorie zijn hogere temperaturen mogelijk.

Men spreekt over permanente en semi-permanente verbindingen. Permanente verbindingen hoeven na samenbouw niet meer te worden losgenomen, semi-permanente verbindingen wél.

Lassen

Lassen is het onder hoge temperatuur aanbrengen van een permanente verbinding tussen twee metalen onderdelen in de vorm van een lasnaad. Stalen vakwerkconstructies werden meestal gelast. Tegenwoordig vindt men nog weleens een gelast buizenframe ten behoeve van de bevestiging van het onderstel.

Lijmen

Met lijm worden twee materialen aan elkaar vast geplakt. Tegenwoordig wordt gebruik gemaakt van twee-componentenlijm. Aan de lijm wordt een *harder* toegevoegd waarna de lijm uithardt en de verbinding permanent is. Het uitharden van de lijm wordt bespoedigd door warmte en druk. De moderne kunststof constructies zijn alle verlijmd.

Pennen

Een pen is een ronde, soms taps toelopende, metalen staaf welke gebruikt wordt om twee delen, al dan niet scharnierend, aan elkaar te bevestigen en weer te kunnen losnemen. Denk hierbij aan de pen-gat verbindingen tussen de verschillende draagvlakken en romp. Ook de tegenwoordige hoofdbouten zijn pen-verbindingen.

Klinken

Klinken is het onder hoge druk permanent vervormen van een metalen pen (klinknagel) welke door een gat in beide aan elkaar te bevestigen onderdelen is gestoken. De klinknagel heeft aan één kant een kop. Door deze kop tegen te houden en er aan de andere kant tegen aan te hameren wordt het uiteinde vervormt en is de verbinding permanent. De metalen huidplaten van de semi-schaalconstructie werden middels klinknagels bevestigd. Tegenwoordig wordt klinken nog sporadisch toegepast. Men wil nog weleens variant van de klinknagel tegenkomen bij de bevestiging van de metalen scharnieren van de kunststof wieldeurtjes.

Bouten

Een bout is een metalen pen met daarop een fijne, uitwendige schroefdraad. Aan één zijde heeft de bout een brede kop. De bout wordt door een gat in beide aan elkaar te bevestigen onderdelen gestoken waarna er aan de andere kant een moer op wordt gedraaid. Een moer is een ring met een inwendige schroefdraad. Ter vergroting van het contactoppervlak met het onderliggende materiaal kunnen onder boutkop en moer ringen worden aangebracht. Indien de moer niet los mag trillen kan deze geborgd worden. Hiertoe bestaan verschillende mogelijkheden. De zelfborgende moer bestaat naast de normale schroefdraad uit een kunststof binnenring welke zichzelf vast snijdt in de bout. Moet de verbinding vaker worden losgenomen dan kan gebruik worden gemaakt van een kanteel- of kroonmoer. Deze bestaat uit uitsparingen aan de zijkant welke oplijnen met een gat dwars door de bout. Een splitpen of Fokkernaald (zie afbeelding 1-13) kan hier doorheen worden gestoken ter voorkoming van het lostrillen van de moer.



Zelfborgende moer



Kroonmoer



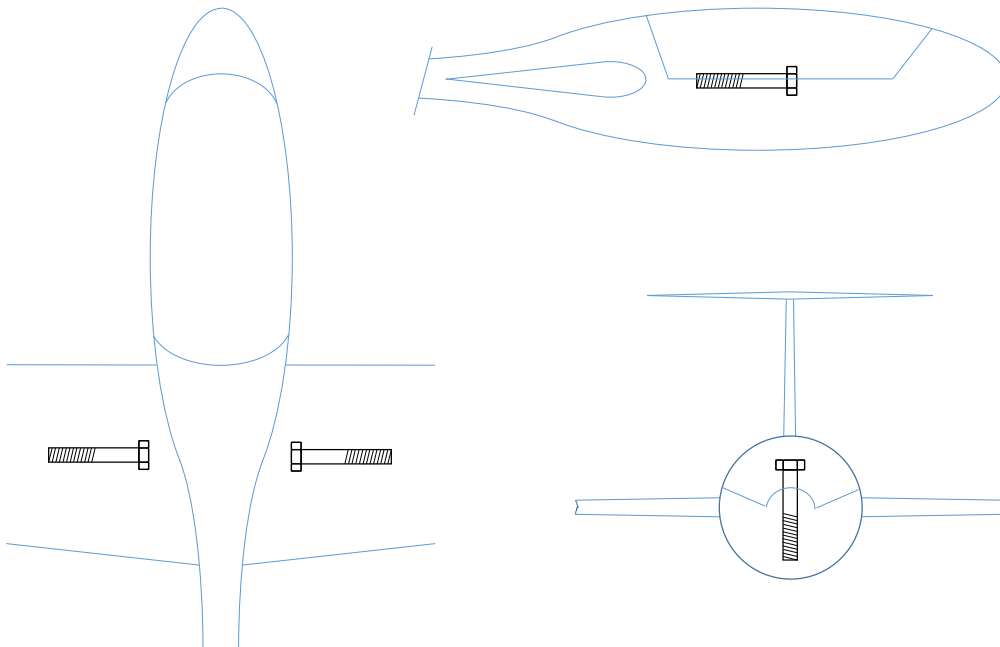
Splitpen



Fokkernaald

Afbeelding 1-13 Borgmethoden

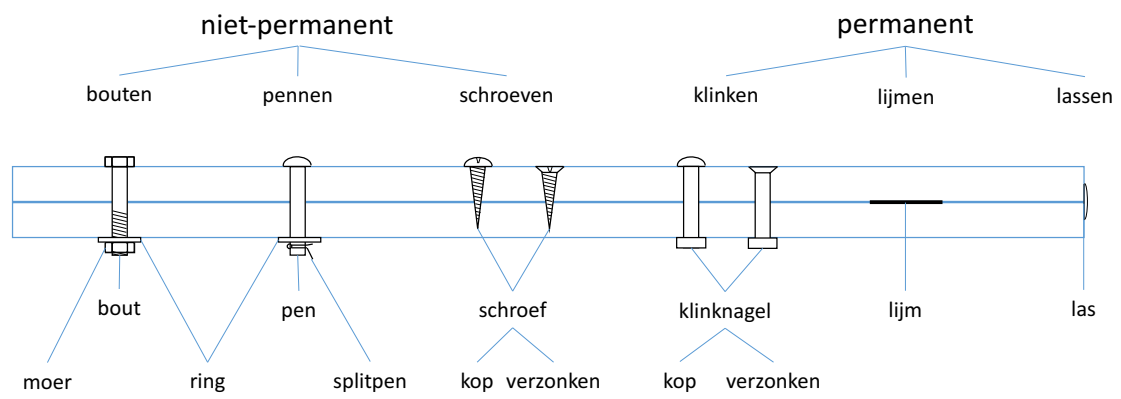
Losneembare boutverbindingen worden nog steeds toegepast. Denk aan het bevestigen van de roeren aan de stuurstangen. Van belang daarbij is dat de bouten zoveel mogelijk hangend, tegen de vliegrichting in en van wortel naar tip worden bevestigd (zie afbeelding 1-14).



Afbeelding 1-14 Boutbevestigingen

Schroeven

Een schroef is een taps toelopende metalen pen met een vrij grove, uitwendige schroefdraad. De schroef wordt in de aan elkaar te bevestigen onderdelen gedraaid waardoor deze zichzelf vast snijdt en daarmee de twee onderdelen op elkaar geklemd houdt. Een schroef kan nadat deze is verwijderd opnieuw worden aangebracht. Hoe vaker dat gebeurt, hoe sneller het schroefgat zal (uit)slijten. Voor vaak losneembare verbindingen zijn schroeven dan ook minder geschikt.



Afbeelding 1-15 Verbindingsmethoden

2 Systeemontwerp, Belastingen en Spanningen

Belasting is het effect van een uitgeoefende kracht of van een uitgeoefend moment. Effecten zijn onder andere (materiaal) spanning en druk. Dit hoofdstuk gaat over de vereiste sterkte van de constructie inzake het kunnen opnemen van (wisselende) krachten en momenten.

2.1 Systeemontwerp

Sterkte en specifieke sterkte

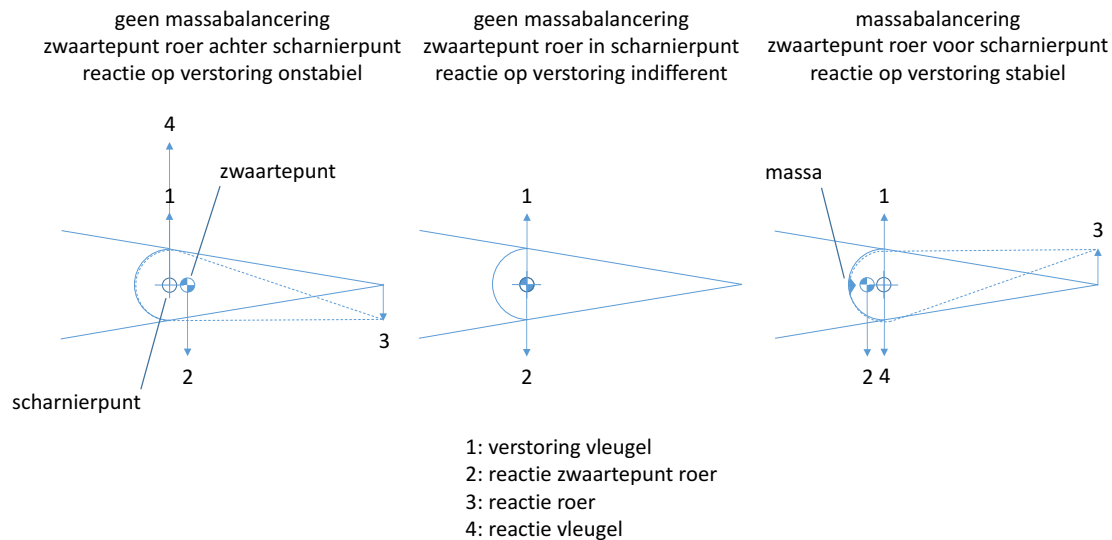
In de vliegtuigbouw is het van belang dat een constructie zo sterk mogelijk is tegen een zo laag mogelijk gewicht. Hoe lager het gewicht, hoe minder lift er nodig is om dat gewicht te dragen. Hoe minder lift, hoe minder weerstand. Dit komt tot uiting in de *specifieke sterkte* welke de verhouding is tussen breuksterkte en soortelijk gewicht. De breuksterkte is de trek- of drukspanning waarbij een materiaal breekt. In het algemeen is de treksterkte van een materiaal hoger dan de druksterkte.

Elasticiteit en stijfheid

De constructie dient enerzijds voldoende vormvast (*stijf*) te zijn maar anderzijds toch ook weer voldoende *elastisch* (slap) teneinde de wisselende belastingen (turbulentie) beter te kunnen opvangen. De constructie mag ook weer niet te elastisch zijn daar anders de kans op flutter toeneemt. Zie hierna.

Flutter

Flutter is een (onstabiele) slingering van één of meer samenstellende vliegtuigdelen welke zichzelf versterkt totdat het betreffende onderdeel breekt. Flutter ontstaat doordat de elastische constructie zodanig wordt vervormd dat er luchtkrachten ontstaan welke de vervorming doen verergeren waardoor de krachten alsmaar toenemen. Één van de ontwerpeisen is dat flutter niet mag voorkomen bij snelheden tot en met de maximale vliegsnelheid op zeeniveau. De constructeur houdt hiermee rekening door de onderdelen voldoende stijf te maken en te zorgen voor een juiste gewichtsverdeling in vleugels en roeren waarbij een voorlijke massa gunstiger is dan een achterlijke massa. Afbeelding 2-1 toont een voorbeeld van massabalancerings in een roer. Door het zwaartepunt van het roer vóór het scharnierpunt te leggen, zal bij een opwaarts gerichte kracht op de vleugel het roer **omhoog** uitslaan waardoor het effect van de opwaarts gerichte kracht teniet wordt gedaan. Massabalancerings kan door middel van externe of interne gewichten.



Afbeelding 2-1 Massabalancering tegen flutter

Ook al beschikt het roer over massabalancering, dan nog kan flutter ontstaan indien het roer over te veel speling beschikt.

Opmerking

Bij toenemende hoogte zal ten gevolge van de afnemende luchtdichtheid sneller moeten worden gevlogen om de aangewezen vliegsnelheid constant te houden. Door de toegenomen ware vliegsnelheid kan flutter reeds ontstaan nog voordat de maximaal aangewezen vliegsnelheid (V_{NE}) wordt bereikt. Zie ook hoofdstuk 6 Instrumenten.

Verdieping

Flutter ontstaat wanneer de buigfrequentie van het onderdeel samenvalt met diens torsiefrequentie. De buigfrequentie neemt toe met de vliegsnelheid; de torsiefrequentie neemt af met de vliegsnelheid. Bij een bepaalde vliegsnelheid zijn beide frequenties aan elkaar gelijk en gaan ze elkaar versterken. Het is van belang dat deze snelheid boven de maximale vliegsnelheid op zeeniveau ligt.

Elasticiteit en plasticiteit

Vliegtuigconstructies dienen dus enigszins elastisch te zijn. Elastisch materiaal vervormt onder belasting maar mag, nadat de belasting is weggenomen niet blijvend zijn vervormd. Gebeurt dat wel dan is de *elasticiteitsgrens* overschreden en is het materiaal *plastisch* (blijvend) vervormd. De *maximale ontwerpbelasting (limit load)* is dan overschreden en het vliegtuig is niet langer luchtwaardig. Het vliegtuig is echter nog niet bezwaken. De ontwerper houdt namelijk een *veiligheidsfactor* aan van tenminste 1,5 maal de maximale ontwerpbelasting voordat een constructie mag breken. Dit is de *ultieme belasting (ultimate load)*. In formulevorm opgeschreven is dit $UL = 1,5 LL$. Op Internet zijn filmpjes terug te vinden waarbij vleugels van zweefvliegtuigen worden getest op breuksterkte. Meer informatie over belastingen later in dit hoofdstuk.

Corrosie

Corrosie is elke chemische aantasting van een materiaal. Corrosie kan optreden in metaal, hout en kunststof. Er zijn vele vormen van chemische aantasting. De meest bekende is de aantasting door zuurstof oftewel oxidatiecorrosie. Bij ijzer en staal ontstaat dan roest welke het materiaal verzwakt. Niet elke vorm van oxidatiecorrosie is slecht; bij aluminium en magnesium wordt soms gebruik gemaakt van een beschermende oxidelaag welke verdere aantasting tegengaat. Als de beschermende

laag niet vanzelf ontstaat dan dient deze te worden aangebracht. De meest bekende bescherming is die met lak (verf).

Verdieping

Andere vormen van corrosie van metalen zijn spanningscorrosie en elektrolytische corrosie. Spanningscorrosie ontstaat wanneer de materiaalspanningen zo hoog zijn dat kleine haarscheurtjes ontstaan waartussen vocht en vuil zich kunnen ophopen en het materiaal kunnen verzwakken. Elektrolytische corrosie ontstaat ten gevolge van elektrolyse wanneer twee verschillende metalen rechtstreeks of via een tussenstof met elkaar in contact komen.

2.2 Spanningen

Een onderdeel wordt belast onder invloed van krachten die daarop werken. De krachten (F) werken op een oppervlak (A) en veroorzaken dan spanningen ($\sigma = F/A$). Er zijn verschillende soorten spanningen welke hierna worden toegelicht. Voor de duidelijkheid worden deze spanningen beschreven voor een aan één kant ingeklemde ronde staaf waarvan de lengte groter is dan de diameter, zie afbeelding 2-2. Een kracht in lengterichting kan resulteren in trek- en drukspanningen. Een kracht in dwarsrichting kan resulteren in buig-, schuif- en torsiespanningen. De uiteindelijke effecten van deze spanningen hangen mede af van de elasticiteit en van het materiaal waarvan de staaf is gemaakt.

2.2.1 Spanningen bij krachten in lengterichting

Trekspanning

Indien in lengterichting aan de staaf wordt getrokken zal deze langer worden en insnoeren, dat wil zeggen smaller in diameter worden. Indien dezelfde kracht op het ingesnoerde materiaal blijft werken zal de spanning toch toenemen als gevolg van het kleiner geworden oppervlak. Ondanks dezelfde kracht maar door de verhoogde spanning kan het materiaal uiteindelijk toch bezwijken. Een goed voorbeeld is het bekende breukstukje. Wordt de maximaal toegestane kabelkracht overschreden dan zal het materiaal breken daar waar de spanning het hoogst is, dus ter hoogte van de insnoering.

Drukspanning

Indien de staaf in lengterichting wordt ingedrukt zal deze korter worden en uitstulpen, dus dikker worden. Dit kan leiden tot een stuikbreuk zoals beschreven bij de harde landing van een zweefvliegtuig met vakwerkromp (het 'banaantje'). Drukrachten in lengterichting op een staaf kunnen ook leiden tot (uit)knikken. Vooral als het betreffende onderdeel veel langer is dan dik, zal het materiaal eerder knikken dan uitstulpen. Plaatmateriaal (lang en dun) is treksterk maar zal onder invloed van druk vrij makkelijk knikken. De knikbestendigheid kan verbeterd worden door in de richting van de drukkkrachten langsverstijvers aan te brengen.

2.2.2 Spanningen bij krachten in dwarsrichting

Buigspanning

Indien haaks op het uiteinde van de staaf een kracht wordt aangebracht wil deze (door)buigen. De buiging veroorzaakt trek- en drukkkrachten in de lengterichting. De trekkrachten kunnen het materiaal laten uitscheuren terwijl de drukkkrachten het materiaal kunnen laten stuiken of knikken. Buiging is goed te zien bij de lierstart van een zweefvliegtuig. Het gewicht van het vliegtuig plus de trekkracht van de lierkabel moeten worden gecompenseerd door de liftkracht van de vleugels. De bovenkant van de vleugels wordt dan op druk belast en de onderkant op trek. De elastische vleugel zal richting tippen

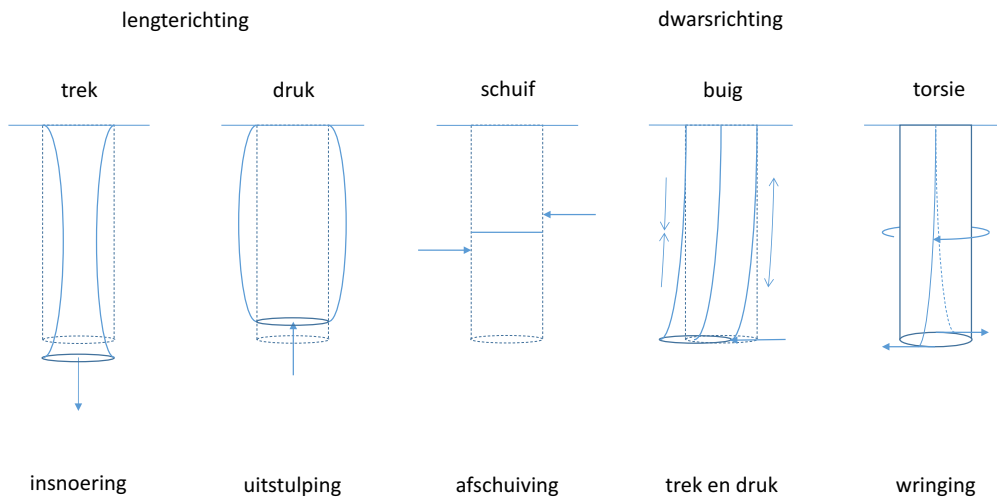
het meeste doorbuigen (het buigmoment neemt richting de tippen toe als gevolg van de langere arm). Bij een (harde) landing gebeurt het omgekeerde: de tippen willen als eerste omlaag.

Schuifspanning

Indien haaks op het uiteinde van de staaf een kracht wordt aangebracht wil deze niet alleen doorbuigen maar ook (af)schuiven. De afschuiving veroorzaakt trek- en drukkrachten in dwarsrichting. Het kappen van een lierkabel is een goed voorbeeld van afschuiving. De kapmessen worden met kracht haaks op de kabel gedrukt. De scherpe messen hebben een klein oppervlak waardoor de schuifspanning zeer hoog is en de kabel zal bezwijken. Ook scharnierpunten worden op afschuiving belast.

Torsiespanning

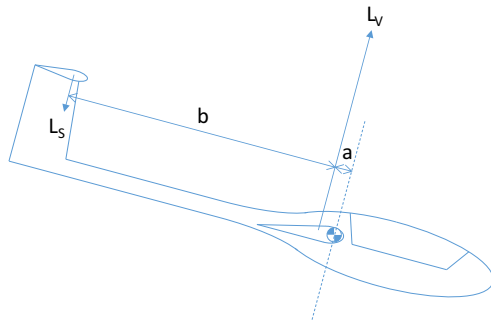
Indien haaks op het uiteinde van de staaf een kracht wordt aangebracht welke aangrijpt op een afstand (l) ten opzichte van de middellijn ontstaat een (draai)moment ($M = F \cdot l$). Dit draaimoment genereert een torsie- of wringingspanning. Een vleugelneus, bijvoorbeeld, zal omhoog willen torderen indien de liftkracht op de vleugel vóór de ligger aangrijpt; dezelfde vleugelneus wil omlaag torderen indien de liftkracht achter de ligger aangrijpt.



Afbeelding 2-2 Spanningen in lengte- en dwarsrichting

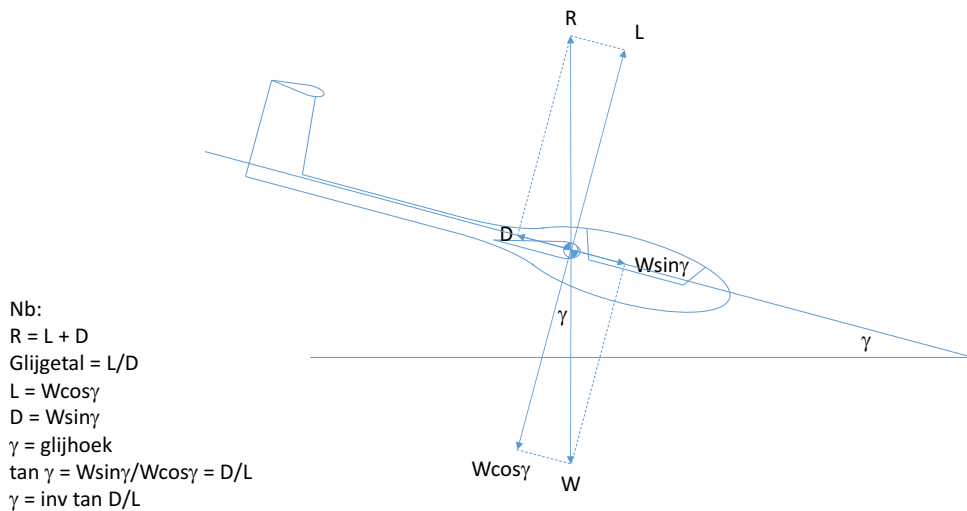
2.3 Belastingen op een zweefvliegtuig

Vanuit het vak 'Beginselen van het Zweefvliegen' is bekend dat tijdens een stationair rechtlijnige vlucht alle krachten en momenten met elkaar in evenwicht moeten zijn. In afbeelding 2-3 ligt het aangrijppunt van de omhooggerichte liftkracht van de vleugel (L_v) achter het zwaartepunt waardoor een neuslastig moment ontstaat. Dit wordt gecompenseerd door een omlaag gerichte staartkracht (L_s). Beide krachten worden uiteindelijk gecombineerd tot de liftkracht L welke in afbeelding 2-4 aangrijpt in het zwaartepunt.



$$\begin{aligned} M_{LV} &= L_V \times a \\ M_{LS} &= L_S \times b \\ M_{LV} &= M_{LS} \end{aligned}$$

Afbeelding 2-3 Momentenevenwicht om dwarsas



Afbeelding 2-4 Krachtenevenwicht in langsvlak, glijgetal en glijhoek

Een zweefvliegtuig met een glijgetal van 40 heeft een L/D verhouding van 40 op 1. De weerstand bedraagt dus 1/40 van de lift. Een zweefvliegtuig van 400 kg heeft in dit geval een weerstand van slechts 10 kg. De bijbehorende glijhoek kan worden uitgerekend op 1,4 graden. Dit is zeer weinig. Voor de duidelijkheid is de glijhoek in afbeelding 2-4 overdreven getekend. In de praktijk staan L en W zo goed als tegenover elkaar en worden ze qua grootte vaak aan elkaar gelijkgesteld.

In de zojuist geschetste rechtlijnige vlucht met constante snelheid maken de luchtkrachten evenwicht met de zwaartekracht op het vliegtuig. Men noemt dit de 1-g conditie, ofwel de *belastingfactor* 'n' is één ($n=1$). De belastingfactor is draagkracht of lift (L) gedeeld door vliegtuiggewicht (W). In formule: $n = L/W$.

De belastingfactor neem toe zodra de lift groter wordt dan het gewicht. Uit de liftformule blijkt dat de lift afhangt van de Cl-waarde, de luchtdichtheid, de snelheid en het vleugeloppervlak ($L = C_l \frac{1}{2} \rho v^2 S$). In praktische zin kan voor een zweefvliegtuig de lift worden vergroot door de Cl-waarde en/of de snelheid te verhogen. De Cl-waarde neemt toe met de invalshoek (én met een positieve uitslag van de welvingskleppen).

Indien men bij een bepaalde snelheid plots aan de knuppel trekt, verhoogt men de invalshoek waardoor de belastingfactor toeneemt tot boven $n=1$. Anders gesproken: het schijnbaar gewicht van vliegtuig en inzittende(n) neemt toe.

De belastingfactor wordt ook vergroot indien men, bijvoorbeeld, sterke thermiek aanvliegt. Ook nu wordt de invalshoek plots vergroot waardoor de lift sterk toeneemt.

Bij het vliegen van een bocht kantelt de lift mee met de dwarshelling. Om het gewicht te kunnen blijven compenseren moet de lift worden vergroot door een toename van de invalshoek. Ook in dit geval neemt de belastingfactor toe.

Uit voorgaande tekst blijkt dat een vergroting van de invalshoek bij gelijkblijvende snelheid, zorgt voor een verhoging van de belastingfactor. Per categorie (Utility of Aerobatic) geldt een maximale positieve en negatieve waarde van de belastingfactor, zie onderstaande tabel. Wordt deze waarde overschreden dan is de maximale ontwerpbelasting van het vliegtuig overschreden en is er kans op structurele schade.

Categorie	Max positieve belasting	Max negatieve belasting
Utility	+5,3	-2,65
Aerobatic	+7	-5

Het verhogen van de belastingfactor kan niet alleen leiden tot schade maar leidt ook tot een hogere overtreksnelheid (stallspeed of v_s). Hoe hoger de belastingfactor, hoe meer lift moet worden gegenereerd ($n = L/W \Rightarrow L = n W$). Gaan we uit van een maximale invalshoek (α_{MAX}), dan kan er alleen voldoende lift worden gegenereerd als de snelheid hoog genoeg is. De nieuwe overtreksnelheid is een functie van de wortel uit de belastingfactor maal de overtreksnelheid bij een 1-g belasting. In formulevorm: $v_s = v_{s1g} \sqrt{n}$.

Om dezelfde reden neemt ook de overtreksnelheid bij een bocht toe. De belastingfactor bij een bocht is een functie van de dwarshelling ϕ en kan worden uitgerekend met $n = 1/\cos\phi$.

Opmerking

De v_{s1g} wordt berekend aan de hand van een maximaal beladen toestel zonder waterballast! Bij een minder zwaar beladen toestel ligt de overtreksnelheid lager.

Opmerking

De maximale invalshoek wordt ook wel de kritieke invalshoek genoemd. Bij het overschrijden van de maximale- of kritieke invalshoek is de vleugel overtrokken.

Onderstaande tabel geeft inzicht in de relatie tussen dwarshelling, belastingfactor en overtreksnelheid voor een vliegtuig met een v_{s1g} van 68 km/h.

Dwarshelling ϕ	$1/\cos \phi$	n	$\sqrt{n}$	v_s
0°	1	+1	1	68 km/h
30°	1,15	+1,15	1,07	73 km/h
45°	1,41	+1,41	1,19	81 km/h
60°	2	+2	1,41	96 km/h
		+5,3	2,3	157 km/h
		-2,65	1,63	111 km/h

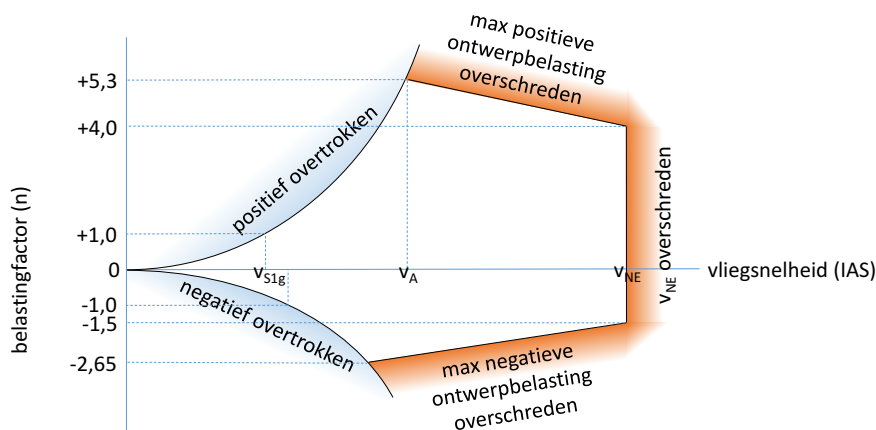
Verdieping

De overtreksnelheid bij een bepaalde belasting en bij een bepaald gewicht wordt berekend door de formule voor de belastingfactor ($n = L/W$) te combineren met de liftformule ($Cl \frac{1}{2} \rho v^2 S$).

$$L = n W \Rightarrow Cl \frac{1}{2} \rho v^2 S = n W \Rightarrow v = \sqrt{2 n W / Cl \rho S} \Rightarrow v_s = \sqrt{2 n W / Cl_{MAX} \rho S}.$$

Uit bovenstaande tabel moet duidelijk worden dat bij snelheden tot aan de overtreksnelheid die hoort bij de maximaal positieve belastingfactor (+5,3) het vliegtuig nooit kan worden overbelast omdat het dan al is overtrokken. Die snelheid is de manoeuvreersnelheid v_A . In het voorbeeld hierboven is dat 157 km/h. Tot aan de manoeuvreersnelheid mogen dus zonder gevaar voor overbelasting volledige roeruitslagen worden gegeven. Boven de manoeuvreersnelheid kan het vliegtuig worden overbelast tijdens bepaalde manoeuvres zoals plotse roeruitslagen of het vliegen in turbulente lucht. In dat snelheidsgebied mag dan ook alleen in rustige lucht en met de nodige voorzichtigheid worden gevlogen. De uiteindelijke maximale vliegsnelheid wordt vastgesteld op basis van sterkte- en flutteroverwegingen. Deze snelheid mag nooit worden overschreden en heet daarom de never-exceed speed oftewel v_{NE} .

Bovenstaande gegevens komen samen in het belasting- of manoeuvreerdiagram dat per vliegsnelheid de belastingmogelijkheden laat zien. Een andere naam voor dit diagram is dan ook wel het v-n diagram, zie afbeelding 2-5.



Afbeelding 2-5 Belasting-, manoeuvreer- of v-n diagram voor een Categorie-U vliegtuig

Langs de horizontale as staat de aangewezen vliegsnelheid; langs de verticale as staat de belastingfactor n . De twee gekromde lijnen tonen de overtreksnelheid per belastingfactor. Je ziet hier dat, nog voordat de maximale belastingfactor wordt bereikt, het vliegtuig overtrekt doordat de maximale (of kritieke) invalshoek α_{MAX} wordt bereikt. De maximaal toegestane positieve en negatieve belastingfactoren zijn terug te vinden in de twee schuin geplaatste rechte lijnen. Je ziet dat de maximaal positieve en negatieve belastingfactor afneemt met toenemende snelheid. Dit is om rekening te houden met de effecten van remous (verticale windstoten door turbulentie) welke bij hogere snelheid eerder tot overbelasting kunnen leiden. De verticale lijn tenslotte toont de v_{NE} .

Opmerking

Het belastingdiagram en de manoeuvreersnelheid v_A worden conform de certificatie-eisen vastgesteld bij een maximaal beladen vliegtuig zonder water en zonder welvingskleppen (flaps). In theorie leidt een lager gewicht dan tot een lagere manoeuvreersnelheid v_A . Het vliegtuig zou dan al kunnen worden overbelast bij snelheden onder v_A . De fabrikant van het zweefvliegtuig moet echter aantonen dat dit onmogelijk is. Water in de vleugels verhoogt juist de belastbaarheid. Dit komt met name doordat water de opwaartse vleugeldoorbuiging vermindert. Het selecteren van flaps omlaag (positief) veroorzaakt meer vleugelwelling waardoor de belastbaarheid omlaag gaat. Dit wordt aangegeven als de maximum flaps extended speed of kortweg de v_{FE} .

Samenvattend:

- v_{s1g} is de overtreksnelheid bij een 1-g belasting
- v_s is de overtreksnelheid
- v_{FE} is de maximale snelheid met flaps neergelaten (dus niet neutraal of omhoog)
- v_A is de manoeuvreersnelheid
- v_{NE} is de maximaal toegestane snelheid met flaps neutraal of omhoog

Naast de genoemde snelheidslimieten uit het belastingdiagram kent men ook nog:

- v_{RA} is de rough air speed waarbij de constructie remousstoten moet kunnen opvangen. In de kleine luchtvaart geldt meestal v_{RA} is v_A
- v_W is de maximale liersnelheid (winch speed)
- v_T is de maximale sleepsnelheid (tow speed)
- v_{LO} is de maximale snelheid waarbij het wiel mag worden bediend (landing gear operating)

2.3.1 Belastingen tijdens de start

Sleepstart

Tijdens de sleepstart wordt het zweefvliegtuig niet wezenlijk anders belast dan gedurende de vrije vlucht. Vliegsnelheid en invalshoek zijn niet hoog en de enige extra kracht is die van de sleepkabel op de starthaak (zie afbeelding 2-6). Deze trekkracht is bij rustig slepen voor een vliegtuig met een glijgetal van 40, $1/40^e$ van het vliegtuiggewicht. Bij een gewicht van 4000 N (400 kg) is dat dus 100 N (10 kg), en kan hooguit oplopen tot de breuklast van het breukstuk (3000-5000 N).

De sleepstart vindt in principe plaats aan de sleephaak. Dat is de starthaak welke zich in de neus van het vliegtuig bevindt. De werklijn van de kabelkracht loopt dan zo goed als door het zwaartepunt. Mocht er zich een verstoring voordoen in neusstand (links, rechts, omhoog, omlaag) dan ontstaat er een herstellend moment.

Lierstart

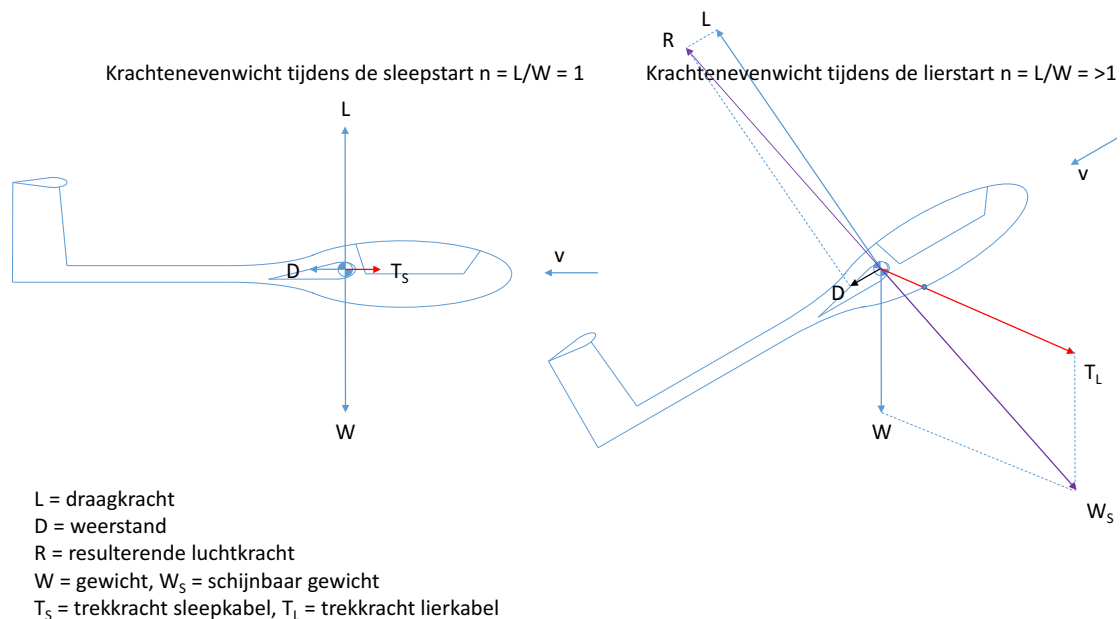
De belastingen tijdens de lierstart zijn veel hoger dan bij de sleepstart. Dat komt door de verhoogde vleugelbelasting. Het gewicht dat altijd omlaag is gericht kan de lift die altijd loodrecht op de vliegbaan staat niet voldoende tegenwerken waardoor de vleugel vaak erg doorbuigt (afbeelding 2-6). Om die reden is de maximale liersnelheid V_W lager dan de manoeuvreersnelheid V_A . Tegelijkertijd is de overtreksnelheid V_s hoger dan V_{s1g} .

De lierstart vindt plaats door een kabel te bevestigen aan de zwaartepunthaak. Dat is de starthaak die zich onderaan de romp vlakbij het zwaartepunt bevindt. De plaatsing is zodanig gekozen dat bij normale klimhoeken de werklijn van de kabelkracht zo goed als door het zwaartepunt gaat. Hierdoor is een eventueel neuslastig of staartlastig moment om de dwarsas tijdens een groot deel van de lierstart beheersbaar.

Aan het begin van de lierstart, als het vliegtuig nog geen klimhoek heeft, zal de hoge kabelkracht een staartlastig moment opwekken waardoor de neus makkelijk 'omhoog' wil. Wordt dit niet op tijd tegengewerkt met het hoogteroer, dan kan een overtrek op lage hoogte het gevolg zijn. Een ander risico is een kabelbreuk op lage hoogte welke niet tijdig of onvoldoende wordt hersteld.

Halverwege de lierstart bij normale klimhoeken zijn de stuurkrachten op het hoogteroer niet hoog. De trekkracht van de kabel begint af te nemen maar is nog steeds hoog.

Aan het eind van de lierstart neemt de klimhoek van het vliegtuig weer af en zal de kabelkracht een steeds groter wordend neuslastig moment opwekken welke in toenemende mate moet worden tegengewerkt door het hoogteroer.



Afbeelding 2-6 Krachten tijdens de start

2.3.2 Belastingen tijdens de vlucht

Zoals hiervoor uiteengezet werken er tijdens de vlucht de volgende krachten op het zweefvliegtuig: de draagkracht of lift (L), het gewicht (W) en de weerstand (D). Het effect van de staartkracht (S) is hier meegenomen in de lift. In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de daaruit resulterende belastingen op een zweefvliegtuig.

Vleugels

Tijdens de vlucht genereren de vleugels de lift om hun eigen gewicht plus dat van de romp te dragen. Het gewicht van de romp is ongeveer de helft van dat van de vleugels. Het gewicht van de vleugels voorkomt dat deze tijdens de vlucht te veel doorbuigen.

De luchtkrachten op de huid wordt via eventueel aanwezige ribben doorgeleid naar de ligger welke uitermate geschikt is om de buigbelasting op te vangen. Hierbij wordt nogmaals opgemerkt dat de bovenkant van de vleugel (en ligger) op druk wordt belast en de onderkant op trek. Op de grond is dat natuurlijk net andersom.

Naast bovengenoemde buigkrachten wordt de vleugel ook blootgesteld aan torsie. Indien bijvoorbeeld de liftkracht aangrijpt vóór de ligger ontstaat een moment welke de vleugelneus omhoog wil doen verdraaien. De vleugel is hier constructief tegen bestand middels een zeer stijve vleugelneus ook wel torsieneus genoemd. Dit is het D-vormige deel net voor de ligger.

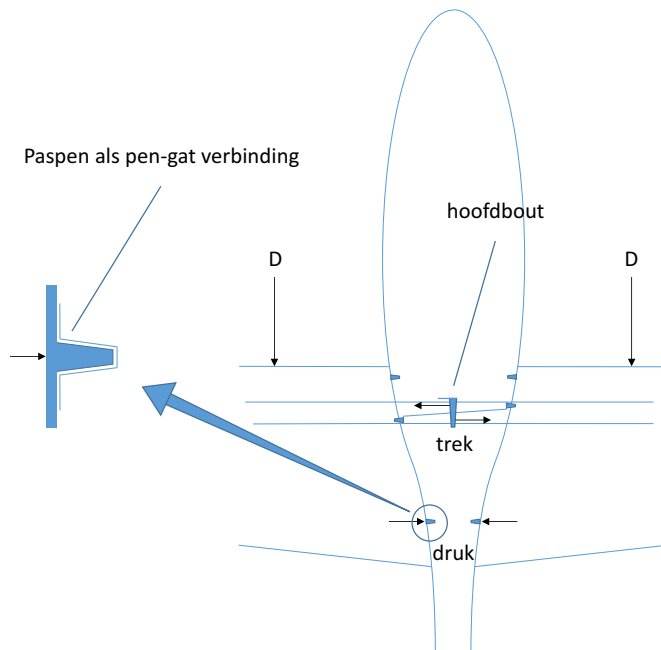
De verticale rompkrachten worden via paspennen in de vorm van pen-gatverbindingen overgebracht op de vleugel. Dit zijn schuifkrachten. Dezelfde pen-gatverbindingen kunnen ook op druk worden belast. Dat is bijvoorbeeld het geval bij krachten in de vliegrichting. Vleugelweerstand (D) en versnellingen (zoals bij de lierstart) veroorzaken drukkrachten op de achterste pen-gat verbindingen.

Vertragingen (zoals bij de landing) veroorzaken drukkrachten in de voorste pen-gatverbindingen. Pen-gat verbindingen zijn niet geschikt voor het opnemen van trekkrachten, zie afbeelding 2-7.

Opmerking

Aan de vleugelachterlijst van sommige zweefvliegtuigen (ASK-21) bevindt zich een pen-gat verbinding welke wordt gefixeerd met een uitneembare pen die voorkomt dat de vleugel naar voren klapt tijdens hard afremmen na de landing.

De liggerstompen bevinden zich tussen bovengenoemde pen-gatverbindingen. De hoofdbout welke de liggerstompen bij elkaar houdt, wordt in bovenstaande situaties op afschuiving belast.



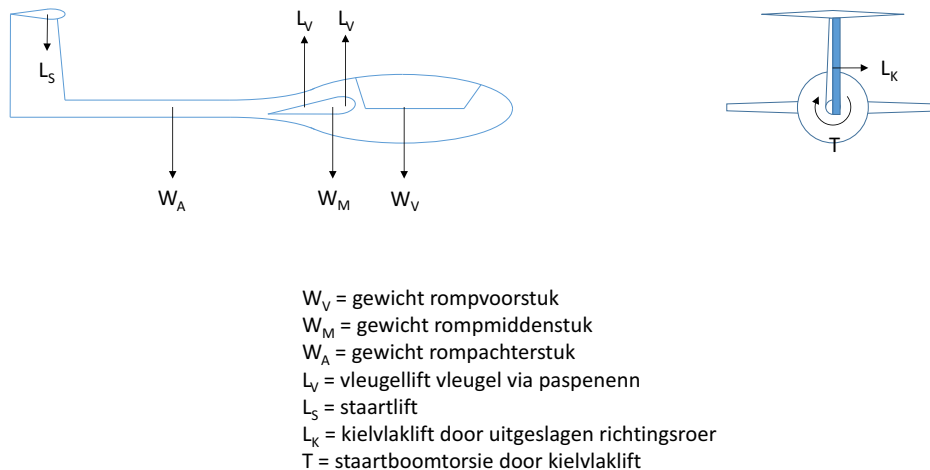
Afbeelding 2-7 Horizontale belastingen op de vleugel

Staartvlakken en roeren

Het krachterspel in staartvlakken en roeren vertoont grote overeenkomsten met dat in de vleugel en wordt daarom niet nader benoemd. In een eerdere paragraaf van dit hoofdstuk is al aandacht besteed aan het begrip massabalanceren van roeren ter voorkoming van flutter.

Romp

De rompkrachten worden via de paspennen overgebracht op de vleugel. Deze krachten worden met name veroorzaakt door het gewicht van de romp maar ook door de staartkracht L_5 . Vooral het gewicht van het rompachterstuk met de daaraan bevestigde staart leveren een relatief groot moment vanwege hun afstand tot de vleugel. In verband met de geringe diameter wordt de staartdrager of staartboom zelf ook zwaar belast. Op korte afstand van elkaar treden daar grote trek- en drukspanningen op. De belasting in de staartboom neemt nog verder toe als door een richtingsroeruitslag ook nog torsie optreedt, zie afbeelding 2-8.



Afbeelding 2-8 Belastingen op de romp

2.3.3 Belastingen tijdens de landing

Bij de ideale landing raakt het vliegtuig de grond op het moment dat de daalsnelheid nul is. Op dat moment wordt de draagkracht van de vleugel geleidelijk overgenomen door de reactiekracht van de grond. Tegelijkertijd wordt door wrijving met de grond de snelheid geleidelijk teruggebracht tot nul.

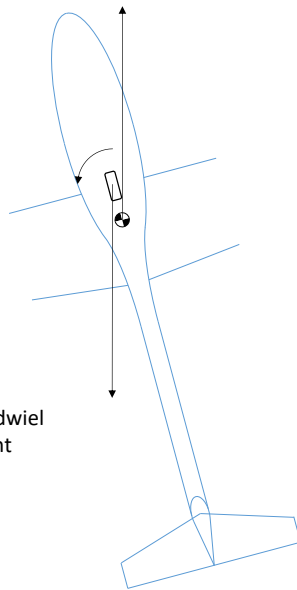
Bij een niet-ideale landing heeft het vliegtuig nog een daalsnelheid waardoor de reactie van de grond heftiger is. Dit kan gebeuren indien de draagkracht van de vleugel wegvalt terwijl het toestel zich nog in de lucht bevindt of wanneer er niet tijdig wordt afgerond dan wel voldoende wordt afgevangen. Afhankelijk van gewicht en daalsnelheid ontstaan er dan grote krachten op de romp welke niet altijd voldoende door het onderstel kunnen worden opgevangen. Hierbij kan niet alleen schade ontstaan aan het onderstel zelf maar ook aan de romp en de vleugels.

Indien door veel wrijving met de (zachte onder)grond en eventueel door bediening van de wielrem een te snelle afremming ontstaat kunnen de voorwaarts gerichte reactiekrachten zo hoog oplopen dat het vliegtuig de neiging heeft voorover te duiken. Tevens zal bij een te sterke afremming de vleugelrompverbinding zwaar worden belast.

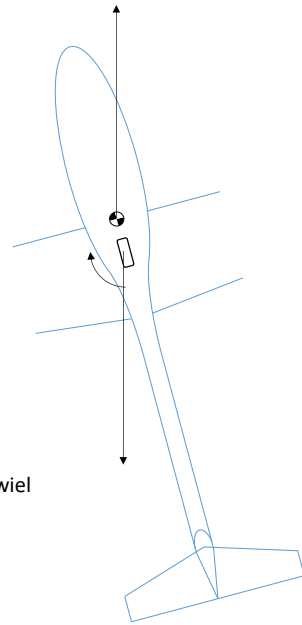
Tenslotte wordt nog aandacht gegeven aan de gevolgen van *traverserende landingen*. Dit zijn landingen waarbij de bewegingsrichting van het vliegtuig niet samenvalt met de richting waarin de neus wijst. Dit kan gebeuren indien na het opsturen voor zijwind, de neus onvoldoende in de bewegingsrichting van het vliegtuig wordt gebracht. Het hoofdwiel wordt dan zijwaarts belast met kans op schade aan wiel en ophanging, zie afbeelding 2-9.

Bij vliegtuigen met het zwaartepunt achter het hoofdwiel ontstaat dan tevens een giermoment om de topas welk de situatie snel kan doen verergeren. Als het vliegtuig om de topas begint te draaien zal een dwarshelling willen ontstaan waarbij al vrij snel een tip de grond raakt waardoor een grondzwaai volgt. Het vliegtuig draait nu om de tip die op de grond ligt en ondervindt daardoor nog meer schade. Bij vliegtuigen waarbij het zwaartepunt zich voor het hoofdwiel bevindt is de situatie bij een traverserende landing veel gunstiger. Door de ligging van het zwaartepunt ontstaat juist een herstellend moment welke de neus van het vliegtuig oplijnt met diens bewegingsrichting.

Zwaartepunt achter hoofdwiel
→ verslechterend moment



Zwaartepunt vóór hoofdwiel
→ herstellend moment



Afbeelding 2-9 *Traverserende landing*

3 Onderstellen, Wielen, Banden en Remmen

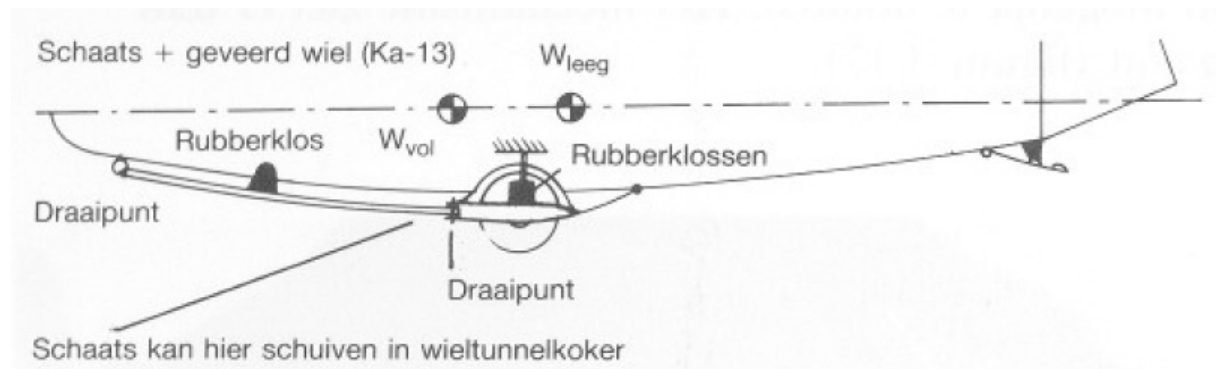
Dit hoofdstuk gaat over de constructie van het landingsgestel en de samenstellende delen.

3.1 Onderstellen

Een zweefvliegtuig heeft een *onderstel* om de krachten op te vangen die tijdens start en vooral- landing op het vliegtuig ontstaan. Daarnaast maakt het onderstel grondtransport mogelijk en stelt het de vlieger in staat om gecontroleerd af te remmen.

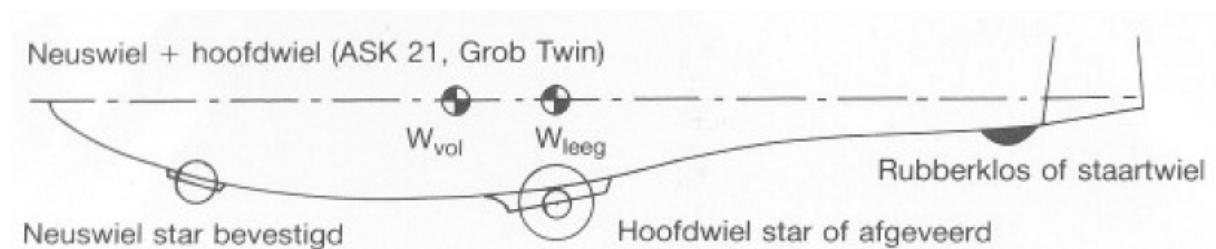
Het onderstel vindt zijn oorsprong in een met rubber afgeveerde houten *schaats* welke onder de neus was bevestigd. Aan de achterkant was onder de staart een houten of rubberen *slof* bevestigd. Zowel schaats als slof waren voorzien van een *metalen slijtplaat*.

Later werd achter de schaats een *wiel* met luchtband bevestigd voor minder weerstand tijdens start, landing en grondtransport.



Afbeelding 3-1 Onderstel Schleicher Ka-13

Met de introductie van kunststof zweefvliegtuigen is de schaats verdwenen. Afhankelijk van de zwaartepuntligging wordt dan naast een *hoofdwiel*, gebruik gemaakt van een *neuswiel*. Ligt het zwaartepunt achter het hoofdwiel, dan is er geen neuswiel nodig. Ook de staatslof wordt steeds vaker uitgevoerd als *staartwiel*. In een enkel geval (bijvoorbeeld bij zelfstartende zweefvliegtuigen) is het staartwiel bestuurbaar via het richtingsroer.



Afbeelding 3-2 Onderstel modern kunststof zweefvliegtuig

Afneembaar staartwiel

In het "houten tijdperk" werd bij grondtransport op het hoofdwiel gebalanceerd door de staatslof vrij van de grond te houden door de staart op te tillen. Tegenwoordig is voor grondtransport een afneembaar en vrij draaibaar staartwiel beschikbaar welke ter hoogte van het kielvlak om de staart wordt bevestigd. Het moge duidelijk zijn dat dit transportwiel vóór de start weer moet worden verwijderd.

Zwaartepuntligging

De zwaartepuntligging bepaalt de stand van het (beladen) vliegtuig op de grond. Een zwaartepunt achter het hoofdwiel zorgt ervoor dat het vliegtuig op de grond al iets achterover staat waardoor er tijdens de startaanloop al sprake is van enige invalshoek waardoor het vliegtuig eerder “loskomt”. Nadeel is soms het iets slechtere zicht naar voren tijdens de startaanloop. Een veel groter nadeel echter is het gedrag van het vliegtuig bij een traverserende landing, dat wil zeggen een landing waarbij de langsas van het vliegtuig niet samenvalt met diens bewegingsrichting. Zodra de grond traverserend wordt geraakt bestaat de kans dat het vliegtuig een *grondzwaai* maakt. Tijdens een grondzwaai wordt zeer fors om de topas gedraaid waarbij meestal ook de staart en een tip de grond raken. De kans op schade is hierbij aanzienlijk. Zou het zwaartepunt voor het hoofdwiel hebben gelegen dan ontstaat bij een traverserende landing juist een herstellend moment dat de grondzwaai tegengaat. Een bijkomend voordeel is de invalshoekverkleining na de landing welke het eventueel loskomen (“opspringen”) van de grond tegengaat.

Vering

Het onderstel bestaat tegenwoordig uit een *geveerd* hoofdwiel. De vering wordt bewerkstelligd door een rubberen klos en/of spiraalveer tussen wiel en rompconstructie. Ook de lucht in de band kan voor enige vering zorgen.

Intrekbaar hoofdwiel

Afhankelijk van het vliegtuig is het hoofdwiel *intrekbaar*. Een intrekbaar wiel vereist een ingewikkelder en dus zwaardere constructie. Daar staat tegenover de lagere weerstand tijdens vliegen welke vooral bij hoge snelheden tot voordeel kan strekken.

Op dit moment worden de meeste hoofdwielen nog mechanisch met spierkracht ingetrokken. Wel wordt ter ondersteuning gebruik gemaakt van een (*gas*)veer welke hulp biedt bij het intrekken van een zwaar wiel en/of helpt het wiel te vergrendelen in de neergelaten toestand. Een wielhendel in de cockpit bedient een arm van voldoende lengte waardoor een groot draaimoment ontstaat welke het wiel naar binnen kan bewegen. Het wiel trekt de aan de romp scharnierende wieldeurtjes dan mee omhoog zodat de romp keurig is afgesloten. Veel zweefvliegtuigen met een intrekbaar wiel kennen een maximale snelheid waarbij het wiel nog mag worden bediend. Dit is de v_{LO} (maximum landing gear operating speed).

Het is van belang dat het wiel vergrendeld is in de “uit” positie. Dit gebeurt met een constructie waarbij de bedieningsstangen een *overstreckte (overcenter) toestand* innemen. Deze toestand is te vergelijken met een knie of elleboog die “op slot” staat, dat wil zeggen overstrekt is. Daarom is het belangrijk dat na het omlaag bewegen van het wiel, de wielhendel maximaal naar voren (en soms ook opzij) wordt bewogen.



Afbeelding 3-3 Intrekbaar wiel

Elektrisch intrekbaar wiel

Wordt de bediening van het hoofdwiel te zwaar, dan is een elektrisch intrekbaar wiel een optie. Via een schakelaar in de cockpit kan dan met behulp van een elektromotor het wiel worden ingetrokken en neergelaten inclusief vergrendeling.

Wielalarm

Een wielalarm is een optie die je niet zo vaak tegenkomt omdat deze voor een schrikreactie kan zorgen. Zodra de remkleppen worden ontgrendeld terwijl het wiel nog niet is vergrendeld klinkt een duidelijk hoorbaar signaal welke vergezeld kan gaan van een zichtbare melding op een beeldscherm.

3.2 Wielen en banden

De wielen bestaan uit een metalen *velg* welke via gesloten spaken verbonden is met de naaf waar de as doorheen loopt. De wielen zijn in principe altijd voorzien van een *rubberen luchtband*. Bij een klein staartwiel wil men nog wel eens een *geheel rubberen of kunststof wiel* tegenkomen. De banden kunnen voorzien zijn van een binnenband. Teneinde de band op te pompen is in het wiel een *ventiel* aangebracht. Voor de juiste bandenspanning wordt verwezen naar het vlieghandboek. Teneinde de luchtweerstand te verminderen zijn om de niet-intrekbare wielen soms (afneembare) stroomlijnkappen aangebracht.

Een zachte of lekke band laat zich makkelijk herkennen als het gewicht van het vliegtuig er op rust. Dat is anders bij een neuswiel of staartwiel dat niet altijd op de grond rust. Door er *stevig* in te knijpen kan men erachter komen of de band zacht is. Een band die niet op spanning is kan uitscheuren en losraken van de velg.

Soms brengt de technicus een markering in de vorm van een lik verf aan op de buitenband en op de velg. Een eventuele verdraaiing van de band ten opzichte van de velg kan dan makkelijk worden herkend. Een verdraaide band kan leiden tot uitscheuren van het ventiel.

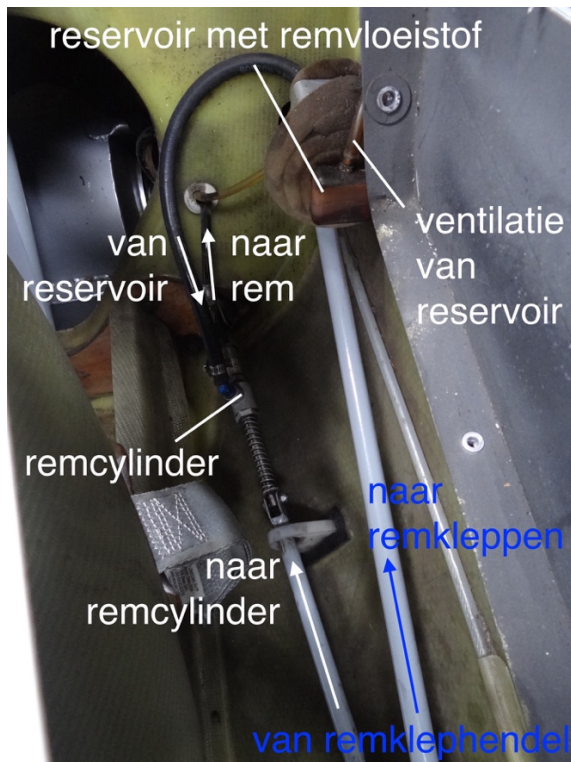
3.3 Remmen

Vroeger werd na de landing geremd door de wrijving van de schaats en/of sloop met de grond. Tegenwoordig bevindt zich op het hoofdwiel een *wielrem* welke voor wrijving zorgt met het draaiende

wiel. De wrijving veroorzaakt warmte welke door de rem moet worden geabsorbeerd. Een rem kan dus zeer heet worden!

Bediening

De wielrem kan op verschillende manieren worden bediend. De meest voorkomende is via de remklephendel door deze helemaal naar achteren te bewegen. Een andere mogelijkheid is via een knijphendel op de stuurknuppel. Soms komt men een constructie tegen waarbij de remmen bediend worden via de 'hakken' van de voetpedalen. Dit type rem is slecht te doseren en dient daarom meestal alleen te worden gebruikt als noodrem. In alle gevallen wordt aan een stang of kabel getrokken welke het mechanisme in werking zet. Hoe harder aan de kabel wordt getrokken, hoe harder er wordt geremd. Ten aanzien van dit laatste wordt opgemerkt dat bij te hard remmen het wiel kan blokkeren waardoor de remwerking zo goed als nihil is geworden. Ook heeft de neus de neiging om bij te hard remmen voorover te kantelen waarbij ernstige schade kan ontstaan.



Afbeelding 3-4 Rembediening via klephendel (ASK-21)

Hydraulische remmen

Bij de grotere zweefvliegtuigen met dito hogere landingssnelheid moet na de landing zoveel massa en snelheid (kinetische energie) worden afgeremd dat de wielremmen hydraulische versterking nodig hebben. Hiertoe bevindt zich nabij de wielrem een potje met *remvloeistof*. Door aan de remhendel te trekken wordt een kleine zuiger in een cilinder geduwd waardoor de verbinding met het potje wordt afgesloten. Door de kracht waarmee de zuiger wordt ingedrukt bouwt zich nu een druk op in de vloeistof. Deze druk is recht evenredig met de uitgeoefende kracht en omgekeerd evenredig met het oppervlak van de zuiger ($p = F/A$). Omdat de vloeistof niet samendrukbaar is zal dezelfde druk overal in de afgesloten vloeistof heersen. Aan de andere kant van de cilinder bevindt zich een zuiger met een groter oppervlak. Als gevolg van de hoge vloeistofdruk en de grotere zuiger ontstaat nu een zeer grote kracht ($F = p \cdot A$) waarmee de remmen bediend kunnen worden. Zodra de remhendel wordt losgelaten zal een veer de kleine zuiger terug bewegen waardoor de remdruk zakt en de vloeistof weer in verbinding komt met het voorraadpotje.

Er zijn twee typen wielrem in gebruik: de trommelrem en de schijfrem.



Afbeelding 3-5 Trommelrem (LS4): links gemonteerd, midden de trommel, en rechts de remvoeringen.

Trommelrem

Een trommelrem (afbeelding 3-5) bestaat uit een holle cilinder (de trommel) welke bevestigd is aan het draaiende wiel. Zodra er wordt geremd, worden twee C-vormige remvoeringen tegen de binnenkant van de trommel gedrukt waardoor de benodigde wrijving ontstaat. Door de relatief kleine en gesloten ruimte wordt de trommelrem slecht geventileerd en dus snel warm. Worden de remvoeringen te heet dan gaat dat ten koste van de remcapaciteit. Mede hierdoor zijn trommelremmen zijn slecht te doseren.

Schijfrem

Een *schijfrem* bestaat uit een relatief grote platte metalen schijf welke bevestigd is aan het draaiende wiel. Om de schijf bevindt zich een remklauw met daarin aan weerszijden de remvoering, zie afbeelding 3-3. Schijfremmen worden altijd hydraulisch bediend. Door het relatief grote oppervlak en goede ventilatiemogelijkheden zijn remschijven geschikt voor het absorberen van veel kinetische energie.

Controlemogelijkheden bij dagelijkse inspectie:

- conditie en vergrendeling (intrekbare) wielhendel;
- wieldeurtjes vast;
- staartslof vast en metalen slijtplaatje aanwezig;
- wiel kan vrij draaien;
- banden zijn onbeschadigd;
- band is niet verdraaid ten opzichte van velg;
- banden zijn op spanning (voor juiste spanning zie vlieghandboek);
- rem loopt niet aan (hoofdwiel kan vrij draaien);
- bediening en werking rem vanuit cockpit;
- voorraad remvloeistof in potje aanwezig (in geval van hydraulische remmen).

4 Gewicht en Balans

Dit hoofdstuk gaat over de invloed van de belading op de ligging van het zwaartepunt en op het (maximale) gewicht. Zwaartepuntligging en gewicht beïnvloeden de vliegeigenschappen (stabiliteit, besturing en prestaties). Daarnaast is het gewicht van invloed op de sterkte van de constructie.

4.1 Algemeen

Weegrapport

Bij de weging van het zweefvliegtuig wordt naast het *leeggewicht* tevens de *zwaartepuntligging* vastgesteld. Deze twee gegevens vormen de basis voor het *weegrapport* dat deel uitmaakt van de boorddocumenten. Aan de hand van dit weegrapport wordt gekeken of de minimum en maximum vliegergewichten uit het vlieghandboek nog steeds van toepassing zijn. Daarnaast wordt dit weegrapport gebruikt om te beoordelen of het maximaal toegestane vliegtuiggewicht niet wordt overschreden als men extra gewicht meeneemt. Dit weegrapport vormt dan ook de basis voor het correct beladen van het toestel.

Gewicht en massa

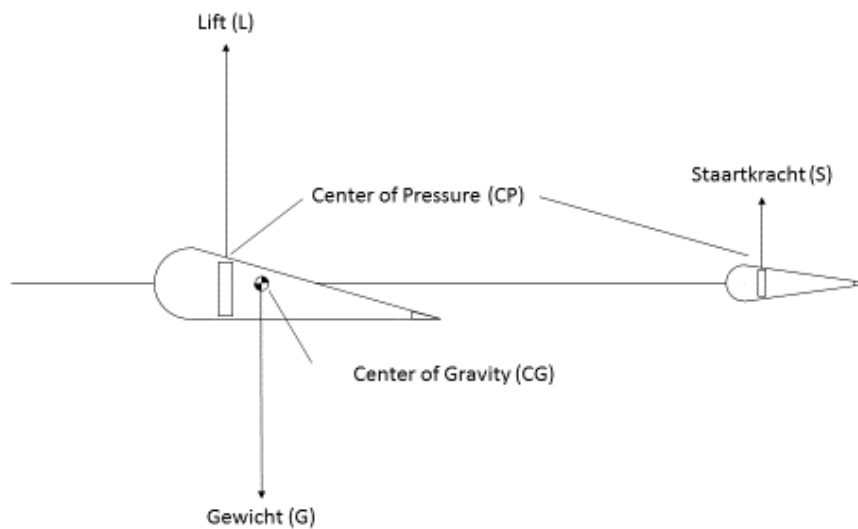
Gewicht (W van het Engelse 'weight') is het product van massa en zwaartekrachtversnelling ($W = m \times g$). Gewicht wordt uitgedrukt in Newton (N) en massa wordt uitgedrukt in kg. De zwaartekrachtversnelling², wordt in dit document gemakshalve afgerond op 10 m/s^2 . Tijdens een horizontale, stationaire vlucht zijn alle krachten en momenten met elkaar in evenwicht. Een vliegtuig met een massa van 290 kg weegt dan $290 \times 10 = 2900 \text{ N}$. In de luchtvaart wordt het steeds gebruikelijker te spreken over 'massa' in plaats van over 'gewicht'. Vandaar dat de 'gewichten' in dit hoofdstuk worden uitgedrukt in de eenheid kilogram (kg).

Zwaartepunt en liftaangrijppunt

Het zwaartepunt, in het Engels 'center of gravity' (CG), van een vliegtuig bevindt zich in de buurt van het drukpunt. Het drukpunt, in het Engels 'center of pressure' (CP) is de plek waar de lift aangrijpt op de hoofdvlugel. Dit drukpunt³ bevindt zich niet geheel toevallig ter hoogte van de vleugelligger dus op ongeveer een kwart van de vleugelkoorde, zie afbeelding 4-1. Het zwaartepunt (CG) van het vliegtuig bevindt zich niet altijd op dezelfde plek. Afhankelijk van de gewichtsverdeling in het vliegtuig zal het CG meer naar voren, achteren, links of rechts liggen. Hoe verder het CG daarbij is verwijderd van het CP, hoe groter de vereiste roerkracht (lees: hoogteroeruitslag of rolroeruitslag) om het toestel in balans te houden. Komt het CG te ver van het CP te liggen dan wordt de maximale roercapaciteit overschreden en wordt het toestel onbestuurbaar.

² De zwaartekrachtversnelling bedraagt in Nederland $9,81 \text{ m/s}^2$.

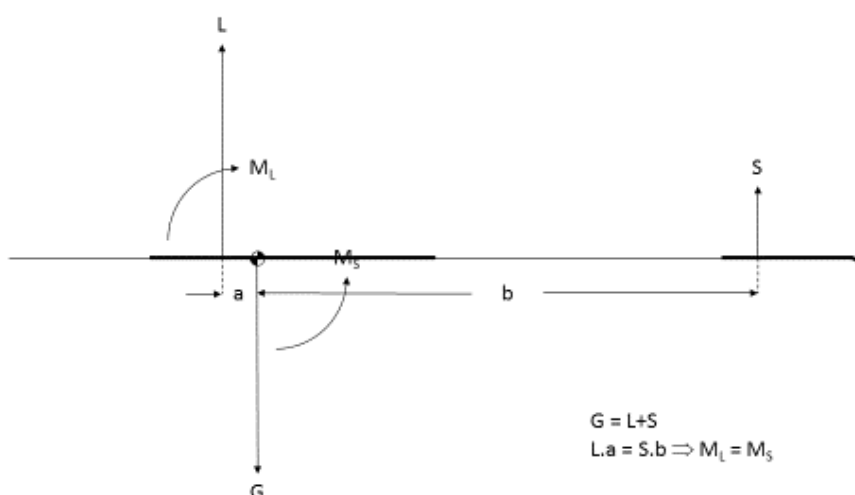
³ De exacte ligging van het drukpunt hangt af van het soort vleugelprofiel en van de invalshoek.



Afbeelding 4-1 CP en CG

Krachten en momenten

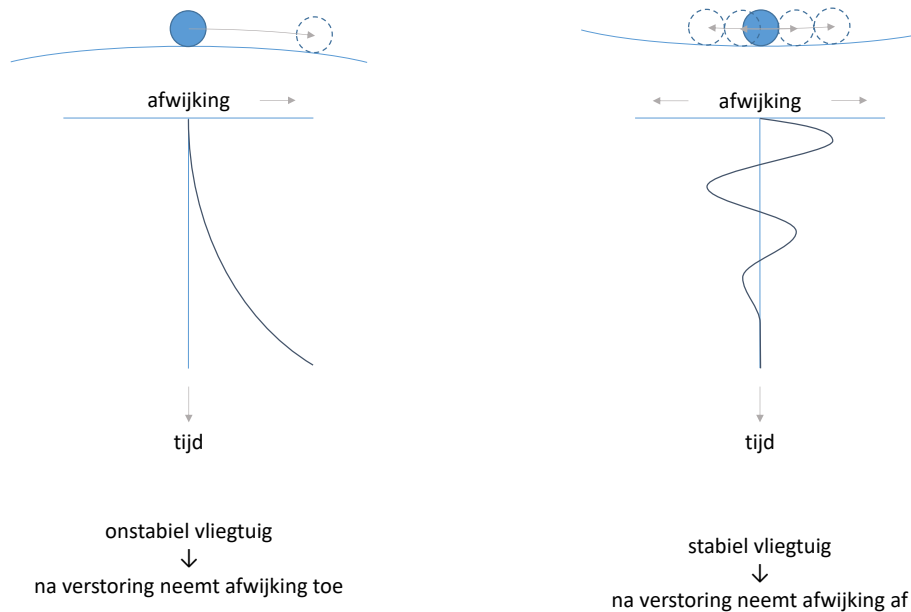
Voor een stationaire vlucht is het noodzakelijk dat alle krachten en momenten met elkaar in evenwicht zijn. Wat de krachten betreft, dienen gewicht (W), liftkracht (L) en eventuele staartkracht (S) elkaar op te heffen. De (maximale) staartkracht S wordt in belangrijke mate beïnvloedt door de (maximale) hoogteroeruitslag. Wat de momenten betreft dient een eventueel liftmoment (M_L) te worden gecompenseerd door een staartmoment (M_S) (zie afbeelding 4-2). Een liftmoment ontstaat als het CP zich op een afstand 'a' van het CG bevindt en wordt berekend met de formule $M_L = L \times a$. Afhankelijk van de ligging van het CG ten opzichte van het CP is dit een neuslastig of staartlastig moment. Dit neuslastige of staartlastige moment moet worden gecompenseerd door een staartmoment (M_S). Dit staartmoment ontstaat doordat een staartkracht S op een afstand 'b' van het CG werkt; in formule $M_S = S \times b$.



Afbeelding 4-2 Krachten en momentenevenwicht

Stabiliteit en onstabiliteit

Een stabiel vliegtuig zal na een verstoring willen terugkeren naar de oorspronkelijke evenwichtstoestand. Wordt bijvoorbeeld tijdens het aanvliegen van thermiek de neus omhoog getild dan neemt de invalshoek op de hoofdvleugel toe en gaat deze meer lift leveren. Afhankelijk van de ligging van het CP ten opzichte van het CG ontstaat dan een neuslastig of staartlastig moment welk moet worden hersteld door het staartmoment. Is de staart niet (langer) in staat dit herstellende moment te leveren dan is het vliegtuig onstabiel. In afbeelding 4-3 wordt dit geïllustreerd met een knikker op een schotel. Ligt de schotel op zijn kop, dan zal de knikker na een verstoring niet meer terugkeren naar de evenwichtstoestand (onstabiel). Ligt de knikker in de kom van de schotel, dan zal na een verstoring de knikker terugkeren naar de evenwichtstoestand (stabiel).

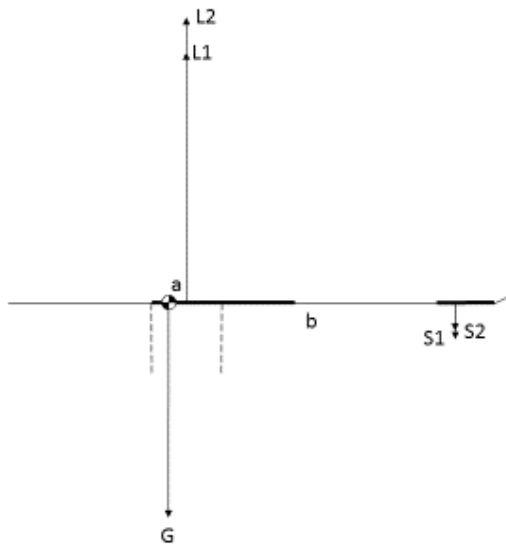


Afbeelding 4-3 Stabiliteit en onstabiliteit

4.2 Invloed zwaartepunt op stabiliteit, besturing en prestaties

Invloed zwaartepunt op langsstabiliteit

Bij het vak 'Beginselen van het Zweefvliegen' wordt ook aandacht besteed aan stabiliteit en onstabiliteit. Een zwaartepunt vóór het liftaangrijppunt levert altijd een stabiele situatie op in de zin van een herstellend moment na een verstoring, zie afbeelding 4-4.



Vliegtuig beladen, $G = 290 \text{ kg}$

Voorlijk zwaartepunt:

$a = 0,1 \text{ m}$

$b = 3 \text{ m}$

Nodig voor stationaire vlucht:

$L = G + S$

$M_L = M_S$

Berekening benodigde S en L :

$L \cdot a = S \cdot b \Rightarrow S = L \cdot a / b \Rightarrow S = L(0,1/3) \Rightarrow S = 0,033L \Rightarrow S =$

$0,033(G + S) \Rightarrow S = 0,035G \Rightarrow S = 10 \text{ kg} \Rightarrow$ maximale

hoogteroeruitslag niet overschreden $\Rightarrow$ bestuurbaar

$L = G + S \Rightarrow L = 290 + 10 \Rightarrow L = 300 \text{ kg}$

Gedrag bij verstoring neus omhoog:

$L2 = L1 + 15 \Rightarrow L2 = 315 \text{ kg}$

$S2 = S1 - 1 \Rightarrow S2 = 9 \text{ kg}$

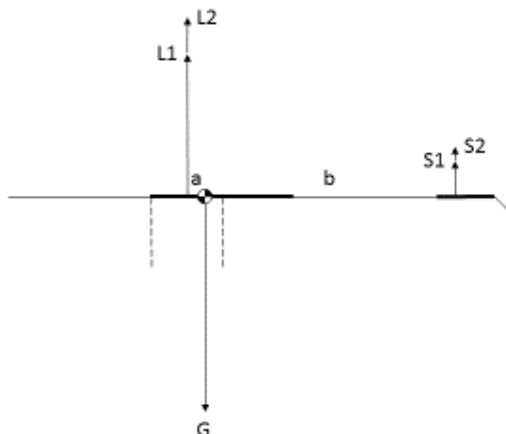
$M_L = 315 \cdot 0,1 = 31,5 \text{ Nm}$

$M_S = 9 \cdot 3 = 27 \text{ Nm}$

$M_L > M_S \Rightarrow$ herstellend moment $\Rightarrow$ stabiel

Afbeelding 4-4 Zwaartepunt voor liftaangrijppunt: altijd stabiel

Zodra het zwaartepunt achter het liftaangrijppunt komt te liggen, ziet men het herstellend vermogen (en dus de stabiliteit) afnemen naarmate het zwaartepunt zich steeds verder naar achteren verplaatst, zie afbeelding 4-5.



Vliegtuig beladen, $G = 290 \text{ kg}$

Achterlijk zwaartepunt:

$a = 0,1 \text{ m}$

$b = 2,8 \text{ m}$

Nodig voor stationaire vlucht:

$G = L + S \Rightarrow L = G - S$

$M_L = M_S$

Berekening benodigde S en L :

$L \cdot a = S \cdot b \Rightarrow S = L \cdot a / b \Rightarrow S = L(0,1/2,8) \Rightarrow S = 0,036L \Rightarrow S =$

$0,036(G - S) \Rightarrow S = 0,035G \Rightarrow S = 10 \text{ kg} \Rightarrow$ maximale

hoogteroeruitslag niet overschreden $\Rightarrow$ bestuurbaar

$L = G - S \Rightarrow L = 290 - 10 \Rightarrow L = 280 \text{ kg}$

Berekening gedrag bij verstoring (neus omhoog):

$L2 = L1 + 15 \Rightarrow L2 = 295 \text{ kg}$

$S2 = S1 + 1 \Rightarrow S2 = 11 \text{ kg}$

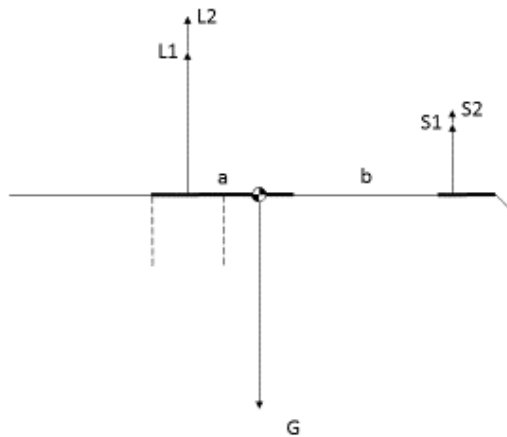
$M_L = 295 \cdot 0,1 = 29,5 \text{ Nm}$

$M_S = 11 \cdot 2,8 = 30,8 \text{ Nm}$

$M_S > M_L \Rightarrow$ herstellend moment $\Rightarrow$ stabiel

Afbeelding 4-5 Zwaartepunt achter liftaangrijppunt: afnemende stabiliteit

Om te voorkomen dat het vliegtuig onstabiel wordt, heeft men een *achterste limiet* voor het zwaartepunt vastgesteld, zie afbeelding 4-6. Deze achterste limiet heeft dus te maken met de stabiliteit en niet met de capaciteit van het hoogteroer. Een voorlijk zwaartepunt is vanuit het oogpunt van stabiliteit dan ook idealer dan een achterlijk zwaartepunt.



Vliegtuig beladen, $G = 290 \text{ kg}$

Zwaartepunt achter achterste limiet:

$a = 0,2 \text{ m}$

$b = 2,7 \text{ m}$

Nodig voor stationaire vlucht:

$$G = L + S \Rightarrow L = G - S$$

$$M_L = M_S$$

Berekening benodigde S en L:

$$L \cdot a = S \cdot b \Rightarrow S = L \cdot a / b \Rightarrow S = L(0,2/2,7) \Rightarrow S = 0,074L \Rightarrow S = 0,074(G - S) \Rightarrow S = 0,070G \Rightarrow S = 20 \text{ kg} \Rightarrow \text{maximale hoogteroeruitslag niet overschreden} \Rightarrow \text{bestuurbaar}$$

$$L = G - S \Rightarrow L = 290 - 20 \Rightarrow L = 270 \text{ kg}$$

Berekening gedrag bij verstoring (neus omhoog):

$$L_2 = L_1 + 15 \Rightarrow L_2 = 285 \text{ kg}$$

$$S_2 = S_1 + 1 \Rightarrow S_2 = 21 \text{ kg}$$

$$M_L = 285 \cdot 0,2 = 57 \text{ Nm}$$

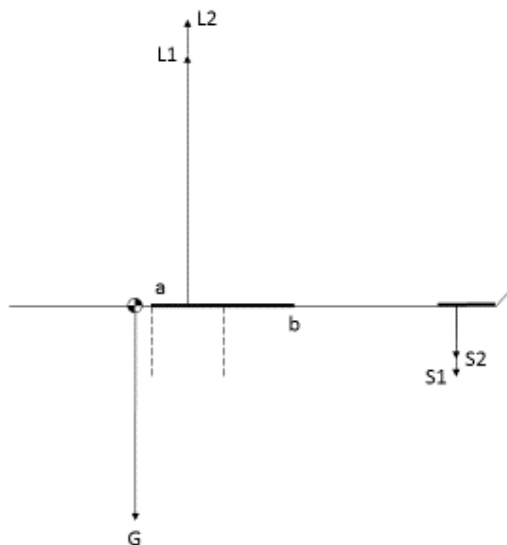
$$M_S = 21 \cdot 2,7 = 56,7 \text{ Nm}$$

$M_S < M_L \Rightarrow$ geen herstellend moment $\Rightarrow$ onstabiel

Afbeelding 4-6 Zwaartepunt achter achterste limiet: onstabiel

Invloed zwaartepunt op de langsbesturing

Vanuit het oogpunt van besturing is een voorlijk zwaartepunt echter niet altijd gewenst. Bij een voorlijk zwaartepunt dient de benodigde staartkracht S negatief te zijn om het neuslastige moment te compenseren. Hiertoe dient het hoogteroer omhoog uit te slaan. Bij een te voorlijke ligging van het zwaartepunt is de capaciteit van het uitgeslagen hoogteroer ontoereikend om het neuslastige moment te compenseren en wordt het vliegtuig onbestuurbaar, zie afbeelding 4-7. Om dit te voorkomen heeft men een *voorste limiet* voor het zwaartepunt vastgesteld.



Vliegtuig beladen, $G = 290 \text{ kg}$

Zwaartepunt voor voorste limiet:

$a = 0,25 \text{ m}$

$b = 3,15 \text{ m}$

Nodig voor stationaire vlucht:

$$L = G + S$$

$$M_L = M_S$$

Berekening benodigde S en L:

$$L \cdot a = S \cdot b \Rightarrow S = L \cdot a / b \Rightarrow S = L(0,25/3,15) \Rightarrow S = 0,079L \Rightarrow S = 0,079(G + S) \Rightarrow S = 0,086G \Rightarrow S = 25 \text{ kg} \Rightarrow \text{maximale hoogteroeruitslag overschreden} \Rightarrow \text{onbestuurbaar}$$

$$L = G + S \Rightarrow L = 290 + 25 \Rightarrow L = 315 \text{ kg}$$

Berekening gedrag bij verstoring (neus omhoog):

$$L_2 = L_1 + 15 \text{ kg} \Rightarrow L_2 = 330 \text{ kg}$$

$$S_2 = S_1 - 1 \text{ kg} \Rightarrow S_2 = 24 \text{ kg}$$

$$M_L = 330 \cdot 0,25 = 82,5 \text{ Nm}$$

$$M_S = 24 \cdot 3,15 = 75,6 \text{ Nm}$$

$M_L > M_S \Rightarrow$ herstellend moment $\Rightarrow$ stabiel

Afbeelding 4-7 Zwaartepunt voor voorste limiet: onbestuurbaar

Invloed zwaartepunt op de prestaties

Bij een voorlijk zwaartepunt is de benodigde staartkracht dus negatief. De vleugellift (L) moet nu niet alleen het gewicht (W) maar ook de staartkracht (S) compenseren. De vleugellift moet dus toenemen en dat kost energie. Bovendien kost het opwekken van de staartkracht zelf ook energie. Deze energie wordt betaald in de vorm van (geïnduceerde) weerstand. Vanuit prestatieoogpunt is dit niet gewenst en daarom probeert men het zwaartepunt zover mogelijk naar achteren te leggen opdat het nadelige effect van de staartkracht is geminimaliseerd en waarbij het vliegtuig toch voldoende stabiel blijft.

Samenvattend: het zwaartepunt dient zich binnen een voorste en een achterste limiet te bevinden. De voorste limiet heeft te maken met de besturingseigenschappen; de achterste limiet met de stabiliteit. Hoe voorlijker het zwaartepunt hoe stabiel het vliegtuig. Een te voorlijk zwaartepunt kan tot onbestuurbaarheid leiden (neuslastig moment dat niet kan worden opgevangen met het getrokken hoogteroer). Hoe achterlijker het zwaartepunt hoe minder stabiel het vliegtuig maar hoe beter de prestaties. Een te achterlijk zwaartepunt kan leiden tot onstabiel gedrag. Bij een verstoring is er dan geen herstellend moment.

4.3 Invloed gewichtsverdeling op zwaartepunt

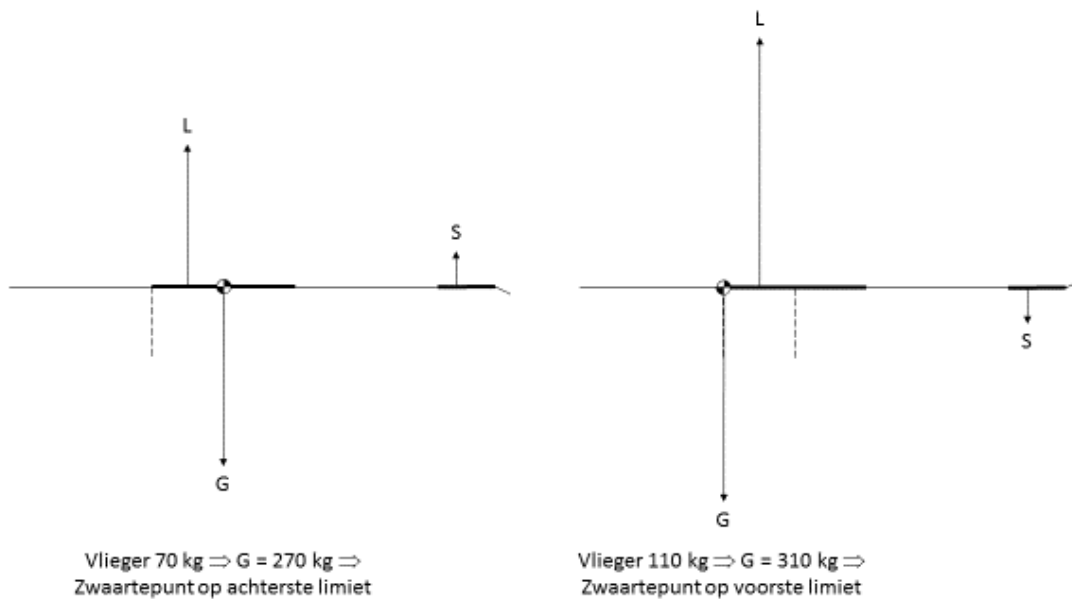
De gewichtsverdeling in romp en vleugels beïnvloedt dus de zwaartepuntligging in langsrichting en daarmee de stabiliteit, de besturingseigenschappen en de prestaties. De gewichtsverdeling wordt niet alleen beïnvloedt door het vliegergewicht maar ook door andere gewichten zoals ballast in de vorm van parachutes, loodblokjes, bagage, accu's en water. Het is dan ook zaak dat de vlieger zich terdege rekenschap geeft van de effecten van al deze vormen van ballast. Dit wordt hieronder verduidelijkt aan de hand van enige voorbeelden.

Invloed vlieger

De aanwezigheid van een vlieger brengt het zwaartepunt naar voren. Er kan worden uitgerekend wat het minimum- en het maximum vliegergewicht is teneinde het zwaartepunt binnen de limieten te houden. Bij veel zweefvliegtuigen wordt het minimumgewicht vastgesteld op 70 kg en het maximum gewicht op 110 kg. Bij een vlieger van 70 kg ligt het zwaartepunt dan op de achterste limiet (35% MAC) en is het vliegtuig enigszins staartlastig hetgeen kan worden gecompenseerd met een hoogteroeruitslag omlaag. Bij een vlieger van 110 kg ligt het zwaartepunt op de voorste limiet en is het toestel enigszins neuslastig hetgeen kan worden gecompenseerd met een hoogteroeruitslag omhoog. Zie afbeelding 4-8.

Opmerking

In het geval van een tweezitter, bevindt de achterste vlieger zich in of net voor het zwaartepunt waardoor de invloed op de zwaartepuntligging minimaal is.



Afbeelding 4-8 Vliegtuig beladen op de limieten

Invloed loodblokjes

Is de vlieger te licht, dan kan het tekort aan gewicht worden aangevuld door een parachute aan te trekken en/of loodblokjes te installeren in speciaal daarvoor bestemde bakjes in de cockpit. Volg hiertoe de aanwijzingen op uit het vlieghandboek. Omgekeerd kan men het gewicht van een te zware vlieger niet compenseren door extra gewicht aan te brengen in de staart. Het maximale gewicht heeft niet alleen te maken met de zwaartepuntligging maar ook met de sterkte van de cockpit. Toch kunnen in sommige tweezittervliegtuigen loodblokjes in de staart worden geplaatst teneinde een meer achterlijke zwaartepuntligging te bewerkstelligen bij een relatief zwaar beladen cockpit. Een achterlijke zwaartepuntligging is gunstiger voor de vliegprestaties maar maakt herstel uit een tolvlucht ook lastiger. Soms wordt tijdens een lesvlucht deze configuratie bewust opgezocht met als doel dit herstel te oefenen.

Invloed bagage

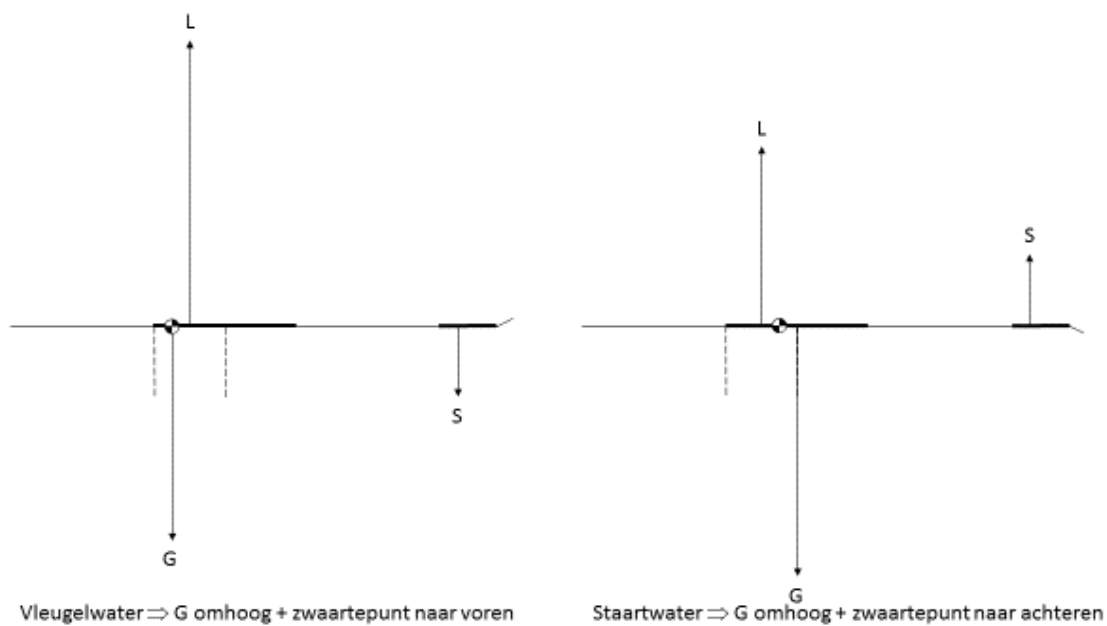
Het bagagecompartiment bevindt zich meestal ter hoogte van het zwaartepunt zodat eventueel aanwezige bagage de zwaartepuntligging niet of nauwelijks beïnvloedt. Het maximaal toegestane bagagegewicht heeft dan ook alleen te maken met de sterkte van het compartiment en dat het totaalgewicht van het vliegtuig niet wordt overschreden.

Invloed accu's

Deze paragraaf gaat met name over de invloed van een eventuele, extra te installeren staartaccu. Met een staartaccu wordt niet alleen de batterijcapaciteit verhoogd maar wordt ook het zwaartepunt naar achteren verplaatst. Van belang daarbij is dat het zwaartepunt niet voorbij de achterste limiet komt.

Invloed water

Vliegen met water verhoogt de vleugelbelasting hetgeen gunstig is voor de vliegprestaties. Het water wordt in principe opgeslagen in vleugeltanks bestaande uit waterzakken of afgeschermd compartimenten welke zich net vóór de hoofdligger bevinden, dus vóór het liftaangrijppunt. Het meenemen van water zal in de meeste gevallen het zwaartepunt naar voren verplaatsen en daarmee een neuslastig moment veroorzaken. Om dit neuslastige moment te compenseren kan in sommige zweefvliegtuigen óók water worden meegenomen in het kielvlak waardoor het zwaartepunt weer meer naar achter komt te liggen waardoor de prestaties nog verder verbeteren. Zie afbeelding 4-9.



Afbeelding 4-9 Invloed van vleugel- en staartwater op CG

Opmerking

Zoals bekend moet tijdens de vlucht het water geloosd kunnen worden. Om die reden zijn de tanks uitgerust met kranen die bediend worden vanuit de cockpit. De bediening van de hendels is zodanig dat **in de meeste gevallen** altijd eerst de staart wordt geleegd en pas daarna de vleugels om te voorkomen dat het zwaartepunt te ver naar achteren komt te liggen. Zodra men constateert dat een kraan niet open wil, dient men het lozen meteen te stoppen om een verdere onbalans te voorkomen.

4.4 Maximaal toegestaan vliegtuiggewicht

In het weegrapport wordt naast de zwaartepuntligging tevens het leeggewicht vermeld. Het leeggewicht is het gewicht van het vliegtuig zonder vlieger, parachute, lood, bagage, extra accu en water.

In het vlieghandboek staat het maximaal toegestane vliegtuiggewicht vermeld dat om structurele redenen niet mag worden overschreden. Met name geldt dit voor het maximale gewicht van de zogenaamde niet-dragende delen (romp met kielvlak). Het is dus belangrijk dat de combinatie vlieger(s), parachute(s), lood, accu's en water het maximaal toegestane vliegtuiggewicht niet overschrijdt.

5 Stuurorganen en Roeren

5.1 Algemeen

Met de stuurorganen wordt het vliegtuig bestuurbaar gemaakt. Er zijn primaire en secundaire stuurorganen. Primaire stuurorganen dienen voor de besturing om de drie assen. Dat wil zeggen stampen om de dwarsas met het hoogteroer, rollen om de langsas met de rolroeren en gieren om de topas met het richtingsroer. Met de secundaire stuurorganen wordt de lift en/of weerstand aangepast. Dit gebeurt met welvings- en/of remkleppen.

Door de stuurorganen uit te slaan worden de roeren bediend waarmee luchtkrachten worden opgewekt welke het vliegtuig van stand doen veranderen waarna de vliegbaan wordt aangepast.

Dit hoofdstuk gaat alleen over het besturingssysteem; de besturing zelf is onderdeel van het vak 'Beginselen van het Zweefvliegen'.

Kabels en (stoot)stangen en torsiebuis

De aansturing van de roeren vindt plaats via *kabels* en/of *stangen*. Kabels bestaan uit gevlochten metalen draden of tieren. De stangen bestaan uit holle metalen buizen. Kabels zijn lichter dan stangen, maar hebben het nadeel dat er alleen aan getrokken kan worden zodat er altijd twee kabels nodig zijn voor bediening naar twee kanten. Aan een stang daarentegen kan zowel getrokken als geduwd worden; bovendien kan een stang om zijn lengteas draaien. Tevens zal een kabel door temperatuurwisselingen meer last van krimp/rek hebben dan een stang. Een door temperatuur opgerekte en dus slappe kabel komt de besturing niet ten goede. Dit laatste kan kritisch zijn als het roer gevoelig is voor flutter (zie het vak 'Beginselen van het Zweefvliegen'). Om die reden worden het hoogteroer en de rolroeren **tegenwoordig** aangestuurd door stangen terwijl het richtingsroer wordt aangestuurd door kabels. Zie afbeelding 5-1.

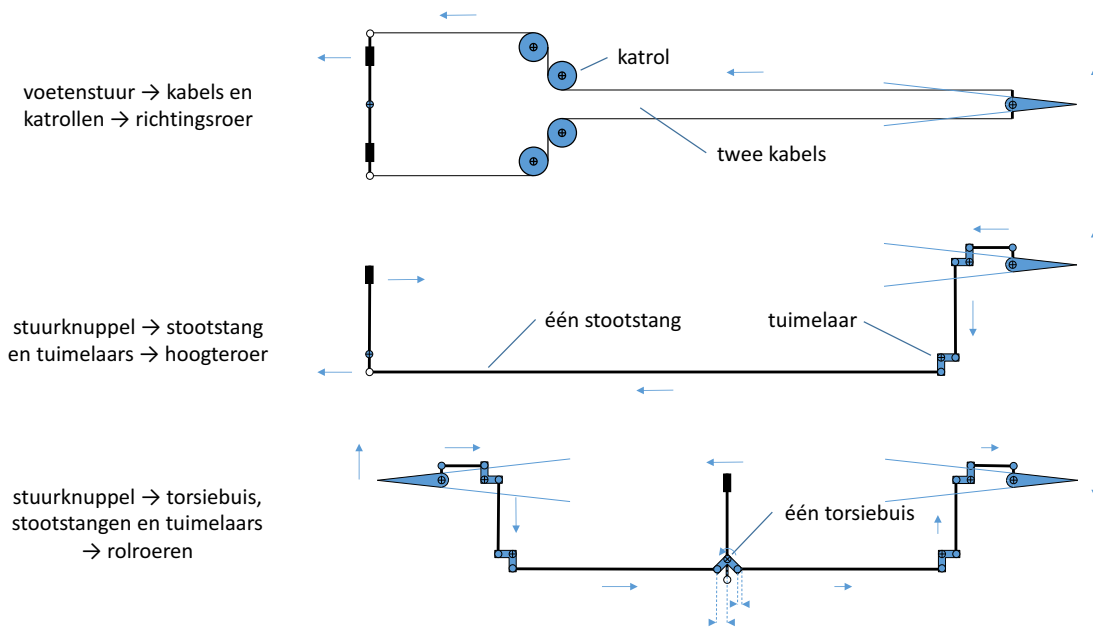
Opmerking

Een stang waaraan getrokken of geduwd wordt is een *stootstang*.

Een stang welke om zijn lengteas wordt verdraaid is een *torsiebuis*.

Katrollen en tuimelaars

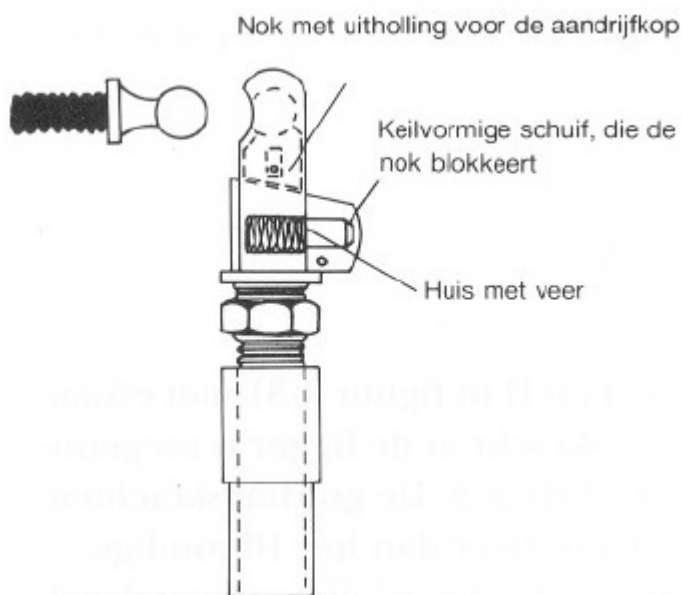
Om de bewegingsrichting van kabels te veranderen, wordt gebruik gemaakt van *katrollen*. Om de bewegingsrichting van stangen te veranderen wordt gebruik gemaakt van *tuimelaars* ook wel genoemd *kniehefbomen*. Zie afbeelding 5-1.



Afbeelding 5-1 Torsiebuis, stootstangen en kabels, katrollen en tuimelaars

Snelkoppelingen

Ten behoeve van een snelle en veilige montage zijn de aansluitingen van de roeren aan de vleugel en stabilo voorzien van makkelijk losneembare koppelingen. Daar waar in het verleden nog werd gewerkt met moeren waarvoor gereedschap nodig was en welke met Fokkernaalden of splitpennen werden geborgd, worden nu (automatische) *snelkoppelingen* gebruikt. Een snelle koppeling tussen roer en stuurorgaan kan worden bewerkstelligd door een zogenaamd kogel en komgewricht. Vergelijk de wijze waarop de menselijke heup of schouder werkt. Aan de rompkant bevindt zich een kom welke om een kogel aan de roerkant kan vallen. De kogel wordt vervolgens opgesloten in de kom waarna deze verbinding wordt geborgd. Afbeelding 5-2 toont een l'Hotellier snelkoppeling.



Afbeelding 5-2 l'Hotellier snelkoppeling

Tegenwoordig worden de meeste nieuwe zweefvliegtuigen voorzien van *automatische roeraansluitingen* welke bij (de-)montage van de vleugel/stabilo automatisch worden gemaakt en geborgd. Daarbij is het hoogstens van belang dat de betreffende roeren/stuurorganen vóór montage in de juiste stand staan.

Tenslotte wordt aan het eind van dit hoofdstuk de starthaak beschreven.

5.2 Primaire stuurorganen

In deze paragraaf wordt de constructie van de bediening van het hoogteroer, de rolroeren en het richtingsroer uitgelegd.

Hoogteroer

Het hoogteroer is de scharnierende achterlijst van het stabilo (horizontale staartvlak). De constructie van het hoogteroer (en andere roeren) is reeds beschreven in hoofdstuk 1 Constructies. Het hoogteroer is tegenwoordig steeds vaker met een automatische roeraansluiting, verbonden met een stangenstelsel dat door het kielvlak en de staartboom naar de stuurknuppel in de cockpit wordt geleid.

Pendel(hoogte)roer

Een *pendelroer* is in feite een geheel beweegbaar stabilo. Hierdoor vervalt de noodzaak van een apart hoogteroer. Ook het pendelhoogteroer wordt via de stuurknuppel, stangen, geleiders, tuimelaars en een snelkoppeling aangestuurd.

Hoogteroertrim

Bij zweefvliegtuigen wordt alle kracht die nodig is om de roeren uit te slaan opgewekt door de vlieger. De kracht om een roer uit te slaan neemt toe met de vliegsnelheid. Bij toenemende snelheid wordt het dus steeds lastiger om een roer uit te slaan. Op zich is dit een goede bescherming omdat een grote roeruitslag bij hoge snelheid makkelijk kan leiden tot ontoelaatbaar hoge luchtkrachten welke het roer en zelfs het vliegtuig kunnen beschadigen. Zie hiertoe de paragraaf over het v-n diagram bij hoofdstuk 2 Belastingen.

Omdat met het hoogteroer de neusstand en dus de vliegsnelheid wordt gecontroleerd is op het hoogteroer een triminrichting aangebracht. De *hoogteroertrim* maakt het mogelijk de stuurkrachten op het hoogteroer tot nul te reduceren binnen het normale snelheidsbereik. Hierdoor wordt het voor de vlieger minder vermoeiend een bepaalde neusstand, lees: snelheid vast te houden.

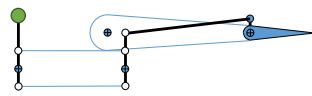
Aerodynamische trim

De hoogteroertrim werd in het verleden uitgevoerd als een vanuit de cockpit *instelbaar trimvlakje* achterop het hoogteroer. Door de *groene trimhendel* in de cockpit naar voren/achteren te bewegen werd via een zogenaamde *bowdenkabel* (dunne kabel in een omhulling waaraan getrokken én geduwd kan worden) het trimvlakje in een zodanige stand gezet dat er luchtkrachten ontstaan die het hoogteroer helpen uitslaan waardoor de stuurkrachten voor de vlieger afnemen. Vandaar de naam *aerodynamische trim*.

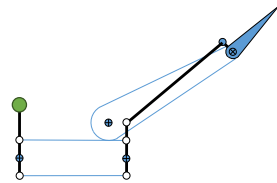
Veertrim

Tegenwoordig wordt meestal gewerkt met een *veertrim*. Ook deze wordt bediend door een groene hendel. Anders dan bij het trimvlakje wordt met de veertrim een veer ingesteld die de stuurknuppel in een bepaalde stand houdt.

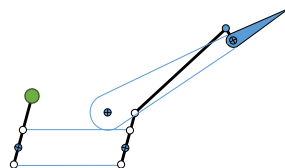
Aerodynamische hoogteroertrim



Trim neutraal + knuppel neutraal
= geen stuurkracht

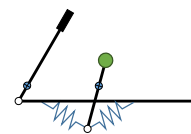
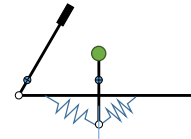
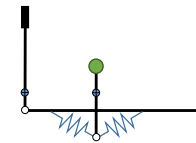


Trim neutraal + knuppel getrokken
= stuurkracht omlaag



Trim naar achteren + knuppel getrokken
= geen stuurkracht

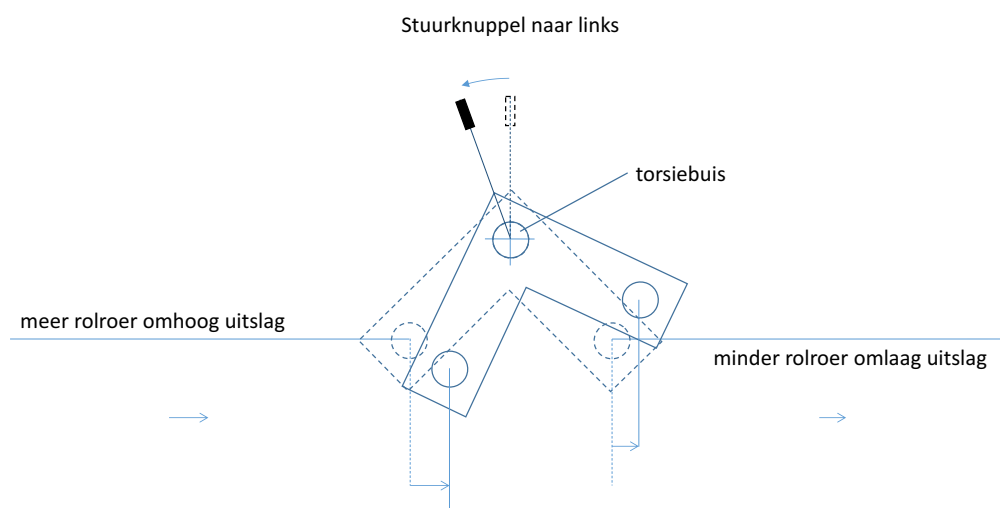
Veertrim



Afbeelding 5-3 Aerodynamische trim en veertrim

Rolroer

De rolroeren zijn de beweegbare stuurvlakken aan de buitenste achterlijst van beide vleugels. Deze zijn via een torsiebuis en/of stootstangen met geleiders, tuimelaars en de roeraansluitingen verbonden met de stuurknuppel in de cockpit. De zijwaartse beweging van de stuurknuppel veroorzaakt een asymmetrische uitslag van de rolroeren: het ene rolroer gaat omhoog, het andere omlaag. Ter voorkoming van het haakeffect (zie het vak 'Beginselen van het Zweefvliegen') wordt wel *differentiaalbesturing* toegepast waarbij het rolroer dat omhoog beweegt méér uitslaat dan het rolroer dat omlaag beweegt. Op deze wijze hebben beide vleugels ongeveer evenveel weerstand waardoor het haakeffect minder is. Zie afbeelding 5-4.



Afbeelding 5-4 Differentiaalbesturing bij rolroeren



Afbeelding 5-5 Stuurstang uitgevoerd als torsiebuis tbv rolroeren en hoogteroer (ASK-21)

Richtingsroer

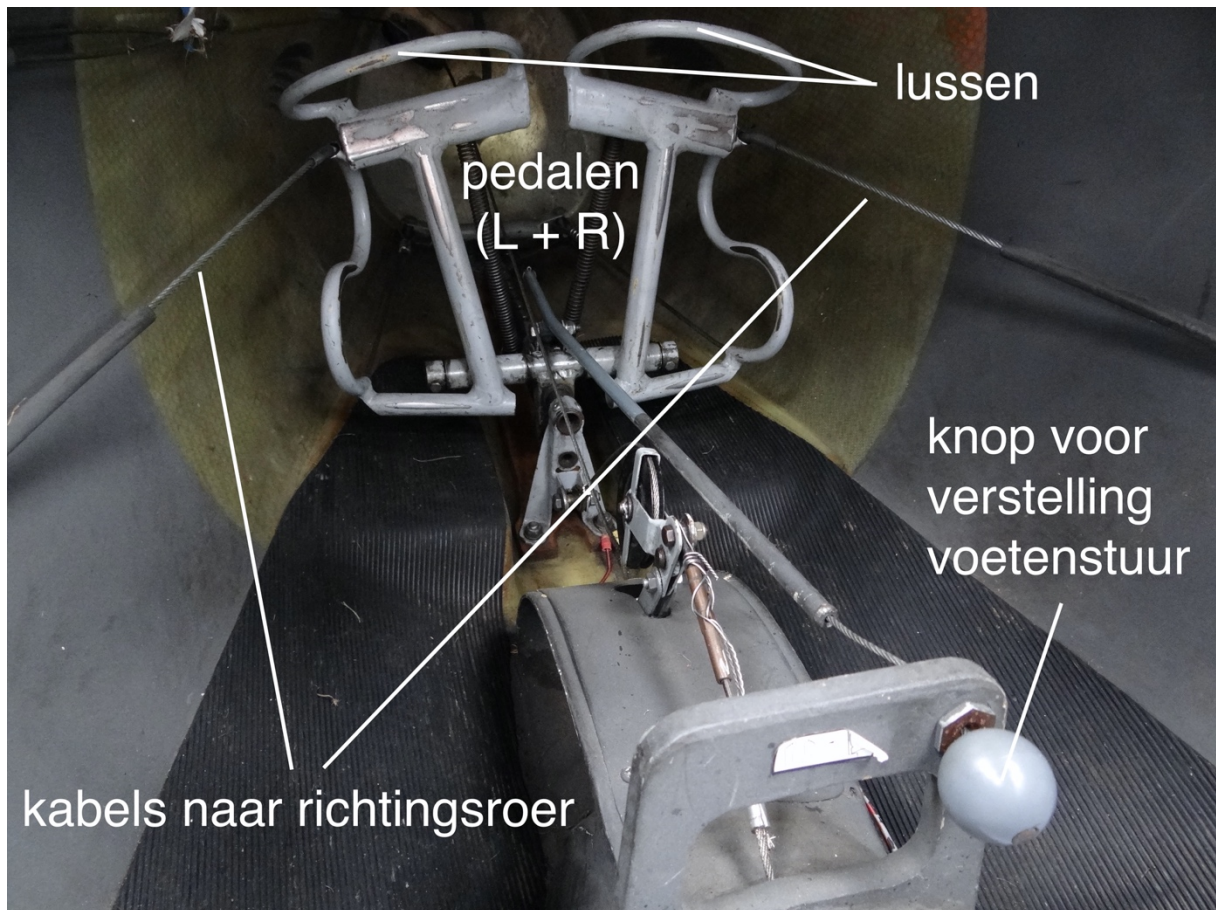
Het richtingsroer is de beweegbare achterlijst van het kielvlak. Omdat het richtingsroer bij demontage niet wordt ontkoppeld is de verbinding ervan niet uitgevoerd met een snelkoppeling. Het richtingsroer wordt met behulp van twee kabels in de staartboom aangestuurd vanuit het voetenstuur in de cockpit. Ook al zijn de voetpedalen in de cockpit met elkaar doorverbonden, dan nog zal alleen het voetpedaal dat wordt ingedrukt aan de daaraan bevestigde kabel trekken waardoor het roer de betreffende kant uitslaat.

Voetenstuurverstelling

Bij veel zweefvliegtuigen zijn de voetpedalen verstelbaar in voor- en achterwaartse richting. Dat kan door simpelweg de plek waar de voetpedalen aansluiten op de kabels aan te passen of via een *verstelmecanisme* dat met een zwarte of grijze hendel wordt bediend. Let op dat na verstelling het mechanisme opnieuw wordt gelockt.

Lussen

Bij zweefvliegtuigen uit de A-categorie (aerobatics) zijn de voetpedalen uitgerust met *lussen* welke de voeten op de pedalen moeten houden bij bepaalde kunstvlieg manoeuvres.



Afbeelding 5-6 Voetenstuur incl. verstelmecanisme (ASK-21)

5.3 Secundaire stuurorganen

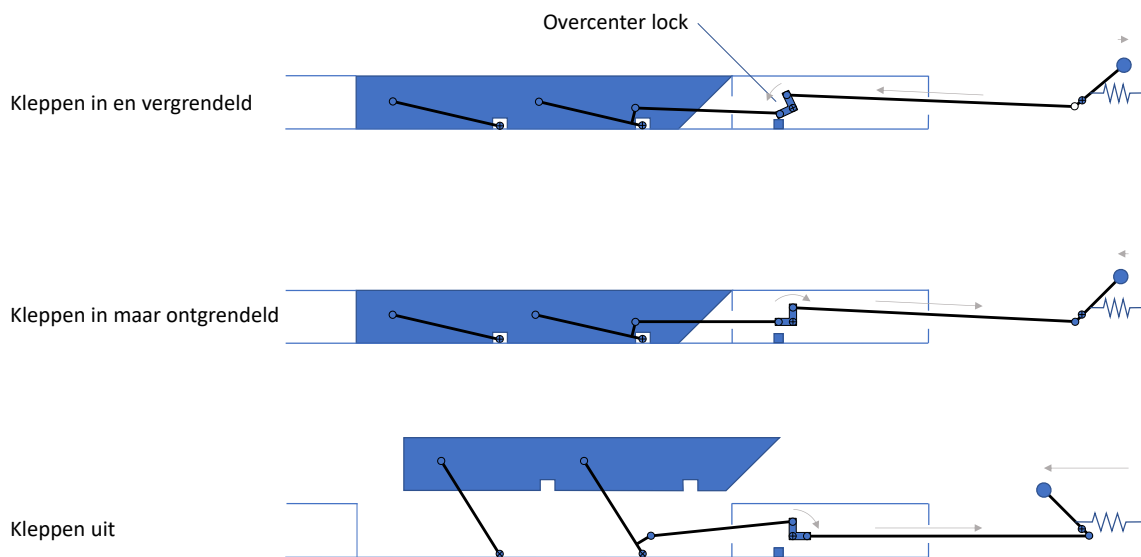
Nu volgt een beschrijving van de secundaire stuurorganen, te weten de remkleppen, de welvingskleppen en daaraan toegevoegd de starthaak.

Remkleppen

De remkleppen zijn de enkele of dubbele platen die boven en soms ook onder de vleugel uitsteken teneinde de luchtstroming te verstoren. Het verstoren gebeurt enerzijds door de lift ter plekke van de geopende kleppen te dumpen en anderzijds door de weerstand aldaar te verhogen. Formeel gesproken moeten dit dan *verstoorders* of *spoilers* worden genoemd; zuivere remkleppen verhogen alleen maar de weerstand zoals dat bijvoorbeeld bij een remparachute het geval is.

Ook de remkleppen zijn via stangen, geleiders, tuimelaars en snelkoppelingen doorverbonden met de *blauwe remklephendel* links in de cockpit.

Om te voorkomen dat tijdens de normale vlucht de kleppen door de onderdruk aan de bovenkant van de vleugel naar buiten worden 'gezogen', worden deze door een *vergrendelingsmechanisme* dicht gehouden. Dit mechanisme maakt gebruik van stangen welke 'overstrekt' (overcenter) zijn zolang de klephendel in de cockpit in de voorste stand staat. Vergelijk de overgestrekte toestand zijn met het "op slot" staan van knie, elleboog of kaak. Wordt de klephendel naar achteren bewogen dan wordt eerst de overgestrekte toestand beëindigd waarna de kleppen kunnen worden geopend. Zie afbeelding 5-7.



Afbeelding 5-7 Bediening remkleppen

Remparachute

Heel soms wordt als extra weerstandverhogend middel een *remparachute* toegepast. De remparachute kan zodoende zorgen voor een nog grotere daalhoek.

De remparachute zit opgeborgen in de staartboom en wordt bediend door een hendel met drie standen. In de vergrendelde stand houdt een veerbelaste haak het afdekplaatje met daarachter de opgeborgen parachute dicht. Door de hendel één stand naar achteren te bewegen wordt er via een kabel gedeeltelijk aan de veer getrokken zodat het afdekplaatje los komt te zitten en deze door de luchtstroming langs het vliegtuig naar achteren beweegt en de parachute mee naar buiten trekt. De parachute zal zich nu ontfouwen en zeer veel extra weerstand genereren. Om de snelheid constant te houden dient nu met een veel lagere neusstand te worden gevlogen waardoor de daalhoek fors toeneemt. Na de landing kan de hendel dan in de achterste stand worden bewogen waardoor nog verder aan de veer wordt getrokken en de parachute zich ontkoppelt van het vliegtuig.

Welvingskleppen (of flaps)

Prestatiezweefvliegtuigen zijn uitgerust met welvingskleppen. Dit zijn de scharnierende achterlijsten van de vleugel tussen romp en rolroeren. Ook deze worden via een stangenstelsel bediend welke via geleiders, tuimelaars en snelkoppelingen zijn doorverbonden met een *zwarte hendel* links in de cockpit. Deze hendel kan door uitsparingen in de zijwand van de cockpit in een *aantal gemarkeerde standen* worden gezet. Wat opvalt is dat, in tegenstelling tot in de grote luchtvaart, de welvingskleppen niet alleen naar beneden (positief) kunnen uitslaan maar tevens naar boven (negatief).

Flaperons

Bij sommige zweefvliegtuigen bewegen de welvingskleppen mee met de rolroeren. Dit worden *flaperons* genoemd, een acroniem van flaps (welvingskleppen) en ailerons (rolroeren). Op deze wijze kan het rolgedrag van het vliegtuig worden verbeterd bij gebruik van de welvingskleppen bij lage vliegsnelheden. Bij flaperons worden de welvingskleppen met de flaphendel in de gewenste stand gezet waarna via de stuurknuppel de welvingskleppen meebewegen met de rolroeren.

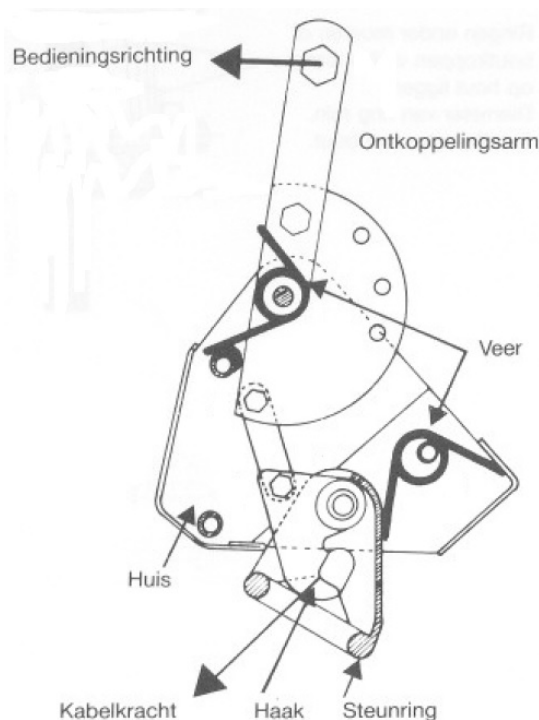
Kantelkleppen

Kantelkleppen zijn een combinatie van remkleppen en welvingskleppen. Vanaf een bepaalde positieve stand van de welvingskleppen kantelt de klep zodanig dat deze net als een remklep loodrecht op de luchtstroming komt te staan.

Starthaak

Tijdens de start worden zweefvliegtuigen via een kabel door een lier of sleepvliegtuig de lucht ingetrokken. Aan het uiteinde van de kabel bevindt zich een ring welke om een ontkoppelbare *starthaak* in het zweefvliegtuig wordt gelegd. Een zweefvliegtuig is altijd uitgerust met een *zwaartepunthaak*; een *sleephaak* is veelal een optie. De zwaartepunthaak die wordt gebruikt bij de lierstart bevindt zich aan de onderkant van de romp net iets onder en voor het zwaartepunt. De trekkracht van de lierkabel heeft dan tijdens een groot deel van de lierstart een werklijn dwars door het zwaartepunt hetgeen de bestuurbaarheid ten goede komt. Bij sommige zweefvliegtuigen kan ook aan de zwaartepunthaak worden gesleept maar dat levert een minder stabiele combinatie omdat de werklijn van de trekkracht van de sleepkabel zich dan onder het zwaartepunt bevindt, waardoor het vliegtuig steeds met de neus omhoog wil. Omwille van een meer stabiele situatie wordt dan vaak gekozen voor een speciale sleephaak in of nabij de neus. De werklijn van de trekkracht van de sleepkabel loopt dan zo goed als door het zwaartepunt en bovendien zal er bij een verstoring van de positie achter het sleepvliegtuig een herstellend moment optreden welke het zweefvliegtuig weer terug achter het sleepvliegtuig brengt.

Beide haken worden gelijktijdig via een kabel door de *gele knop* links in de cockpit bediend. Een veer, in combinatie met een overstreckte hefboom, houdt de haak gesloten totdat aan de gele knop wordt getrokken. Rondom beide haken is een *steunring* bevestigd welke beschadigingen aan de romp moeten voorkomen bij een te veel zijwaartse gerichte trekkracht. De steunring rondom de zwaartepunthaak is *kantelbaar* in achterwaartse richting. Indien het ontkoppelmechanisme weigert, dan zal zodra de kabelkracht naar achteren is gericht deze de steunring naar achteren laten kantelen waardoor de haak vrij komt te liggen en de kabel er vanzelf afschiet.



Afbeelding 5-8 Tosthaak

Opmerking

Zeer oude zweefvliegtuigen gebruiken een afwijkend type starthaak.

Controlemogelijkheden bij de dagelijkse inspectie zijn de conditie, werking, bevestiging en borging van:

- bedieningsorganen zoals stuurknuppel, voetpedalen inclusief verstelmechanisme, trimhendel, remklephendel inclusief vergrendeling, flaphendel en ontkoppelhendel;
- stootstangen inclusief tuimelaars, kabels inclusief katrollen;
- roeren inclusief scharnieren en aansluitingen;
- starthaak inclusief (kantelbare) steunring;
- remparachute: aanwezigheid, conditie.

6 Instrumenten

6.1 Algemeen

De eerste zweefvliegtuigen hadden geen instrumenten. De vlieger gebruikte al zijn/haar zintuigen om zich een beeld te vormen van snelheid, hoogte, stijgen of dalen en koers. Voor de eerste generatie zweefvliegtuigen was dit voldoende: de vluchten duurden niet lang en de vliegtuigen vlogen laag en langzaam. Allengs werden de vliegtuigen meer geavanceerd (en namen de prestaties toe) waarbij de behoefte ontstond aan een meer eenduidige, nauwkeurige en betrouwbare meting, verwerking en aanwijzing van deze vliegparameters.

Een *instrument* combineert meting, verwerking en aanwijzing van een parameter. Er zijn vlieginstrumenten maar ook systeem- en waarschuwinginstrumenten. Vlieginstrumenten zoals snelheidsmeter, hoogtemeter, variometer, kompas en navigatie (maar ook het piefje) geven informatie over vliegstand en vliegbaan. Systeeminstrumenten geven informatie over de toestand van een systeem zoals de motor, het elektrisch systeem, de radio en de transponder. Een voorbeeld van een waarschuwingssysteem is het anti-botsingsysteem FLARM.

Naast bovengenoemde indeling kan men instrumenten ook indelen in mechanische instrumenten en elektronische instrumenten. Mechanische instrumenten zijn over het algemeen minder nauwkeurig dan elektronische instrumenten maar hebben het voordeel dat deze zonder elektriciteit kunnen werken.

De instrumenten zijn geplaatst in een verend opgehangen instrumentenbord waarbij de vlieginstrumenten een meer prominente plaats hebben dan de niet-vlieginstrumenten.

De vlieginstrumenten worden regelmatig gecontroleerd op juiste aanwijzing. De aanwijzing hoeft niet honderd procent nauwkeurig te zijn; in verband met slijtage en belasting tijdens gebruik wordt een kleine *tolerantie* toegestaan. Onder tolerantie verstaat men het toelaatbare verschil tussen de werkelijke waarde en de aangewezen waarde. Wordt de tolerantiegrens overschreden dan moet het instrument opnieuw worden geijkt. Tijdens het *ijken* wordt de aanwijzing vergeleken en bijgesteld met de werkelijke en/of standaardwaarde. Dit proces wordt ook wel *kalibreren* genoemd. Ijken en/of kalibreren mag alleen door een erkend onderhoudsbedrijf worden gedaan.

6.2 Mechanische instrumenten

Inleiding

De meeste zweefvliegtuigen beschikken over de volgende mechanische instrumenten: de snelheidsmeter, de hoogtemeter, de variometer, het magnetisch kompas en de slipkogel. De snelheidsmeter, hoogtemeter en variometer berusten op het meten en verwerken van luchtdrukken. Dit zijn dan ook de drukmeetinstrumenten. Het magnetisch kompas berust op het meten van de (horizontale) richting van het aardmagnetisch veld en is daarmee een magnetische meting. Het magnetisch kompas maakt thans deel uit van de Navigatie syllabus en wordt om die reden hier niet verder behandeld. De slipkogel berust op het meten van de richting van de (schijn)normaal. Hiermee wordt bedoeld het gecombineerde effect van de zwaartekrachtversnelling en de centrifugaal versnelling. De slipkogel is daarmee een versnellingsmeter.

Drukmeetinstrumenten

De drukmeetinstrumenten maken gebruik van twee gemeten drukken: de totale druk en de statische druk.

Totale druk

De *totale druk* is de druk in een volledig tot stilstand gebrachte luchtstroming. De totale druk wordt gemeten met een *pitotbuis*. Dit is een holle buis waarvan de opening in de luchtstroming wordt geplaatst en waarin de luchtstroming geheel tot stilstand wordt gebracht. De pitotbuis bevindt zich in de neus of op het kielvlak van het vliegtuig.



Afbeelding 6-1 Pitotbuis (opening rechts)

Opmerking

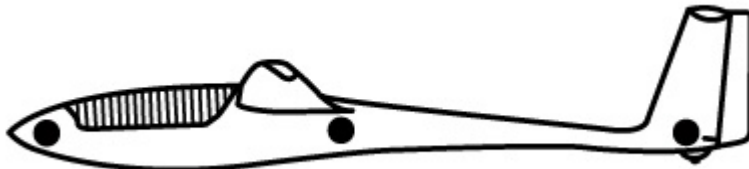
Volgens Bernoulli is de totale druk gelijk aan de *dynamische druk* plus de statische druk. In formulevorm: $p_T = \frac{1}{2} \rho v^2 + p_s$. De pitotbuis registreert dus dynamische druk plus statische druk.

Statische druk

De *statische druk* is de druk van de ongestoorde luchtstroming. De statische druk wordt gemeten met *statische poorten*. Dat zijn openingen welke loodrecht op de luchtstroming worden geplaatst zonder de luchtstroming te verstoren. De statische poorten bevinden zich links en rechts aan de romp en zijn met elkaar doorverbonden om het nadelige effect van slippen op de statische drukmeting te compenseren. Een voorbeeld moge dit verduidelijken. Indien de luchtstroming bijvoorbeeld van linksvoor komt, zal de linker statische poort een hogere druk registreren; de rechter statische poort zal echter door het venturi-effect als gevolg van de romp-omstroming een lagere druk registreren. Omdat beide poorten met elkaar zijn doorverbonden blijft de statische drukmeting vrijwel constant.

Opmerking

Sommige zweefvliegtuigen beschikken over meerdere afnamepunten voor de statische druk.



Afbeelding 6-2 Statische poorten

Intermezzo: De Standaardatmosfeer

Bij het vak Meteorologie wordt het verloop van de (statische) druk, de temperatuur en de dichtheid met toenemende hoogte uitgelegd. Om hieraan te kunnen rekenen heeft men een model van de atmosfeer gemaakt. Dit model is wereldwijd geaccepteerd als de *internationale standaardatmosfeer (ISA)*. In de internationale standaardatmosfeer wordt het *gemiddelde zeeniveau (mean sea level of kortweg MSL)* als referentie gebruikt. In ISA MSL gelden de volgende waarden voor druk (p), temperatuur (T) en dichtheid (ρ):

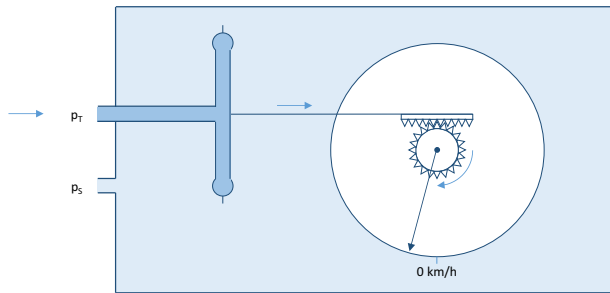
- $p_0 = 1013,25 \text{ hPa}$;
- $T_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$;
- $\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$.

Voorts geldt ten aanzien van het verloop van druk en temperatuur:

- $12,5 \text{ hPa}$ per 100 m (op lage hoogte, daarna afnemend);
- $0,65 \text{ }^\circ\text{C}$ per 100 m (tot aan de tropopause op ca. 11 km hoogte).

6.2.1 Snelheidsmeter

De *snelheidsmeter* is voor de vlieger belangrijk omdat deze informatie geeft over het (aerodynamisch) gedrag van het vliegtuig. Bepalend hiervoor is de dynamische druk $\frac{1}{2} \rho v^2$. Deze wordt verkregen door in de snelheidsmeter de gemeten statische druk af te trekken van de gemeten totale druk ($p_T - p_S = \frac{1}{2} \rho v^2$). In de snelheidsmeter bevindt zich hiertoe een *verschilddrukcapsule*⁴ waarvan de binnenkant wordt aangesloten op de totale druk en buitenkant op de statische druk. Bij toenemende snelheid zal de capsule uitzetten en via een overbrengmechanisme (mechaniek) de wijzer verstellen. Zie afbeelding 6-3.



Afbeelding 6-3 Werkingsprincipe snelheidsmeter

De snelheidsmeter maakt gebruik van een zogenaamde logaritmische schaalverdeling. Dit is een schaalverdeling welke bij een toenemende waarde steeds minder ruimte krijgt. Op deze wijze wordt een nauwkeurige aflezing van lagere snelheden gecombineerd met een groot schaalbereik. Zie afbeelding 6-4.



Afbeelding 6-4 Vooraanzicht snelheidsmeter

De snelheidsmeter is dus gekalibreerd om de dynamische druk aan te wijzen. Dit noemt men de '*calibrated airspeed*' of kortweg de CAS. De CAS wordt echter niet aangewezen. Dat komt door de

⁴ Een capsule is een drukdoos bestaande uit twee op elkaar geklemde membranen.

zogenaamde '*positie- en instrumentfout*' afgekort tot 'P&I'. De positiefout is de meetplaatsfout van de statische poorten: het is onmogelijk om onder alle vliegomstandigheden de juiste statische druk te meten. De instrumentfout wordt veroorzaakt door wrijving, slijtage, speling, vuil etc. De aanwijzing van de snelheidsmeter wordt daarom '*indicated airspeed*' oftewel IAS genoemd. Men kan dus stellen: $IAS = CAS + P\&I$.

Operationeel gebruik

Om op grotere hoogte dezelfde dynamische druk, lees IAS, te krijgen zal door de afgenomen luchtdichtheid (ρ) de ware luchtsnelheid (v) moeten toenemen. De ware luchtsnelheid is de '*true airspeed*' of kortweg TAS. De TAS is van belang voor onder andere het fluttergedrag van het vliegtuig. De TAS wordt echter niet aangewezen maar kan worden uitgerekend met de formule $TAS = IAS \sqrt{\rho_0/\rho_H}$ waarbij ρ_0 de dichtheid is op zeeniveau in de standaardatmosfeer ($1,225 \text{ kg/m}^3$) en ρ_H de dichtheid op hoogte H . In de praktijk gebruikt men de volgende vuistregel: voor elke 1000 m hoogte is de TAS 6% hoger dan de IAS. Indien bijvoorbeeld op 4 km wordt gevlogen met een aangewezen snelheid van 200 km/h, dan is de werkelijke luchtsnelheid $4 \times 6\% = 24\%$ hoger dus 248 km/h.

De snelheidsmeter is geijkt in km/h en kent een *kleurcodering*. De kleurcodering helpt de vlieger de snelheidsmeter juist te interpreteren:

- De witte band toont het gebied waarin met welvingskleppen (flaps) uit mag worden gevlogen. De band begint bij de overtreksnelheid met welvingskleppen maximaal positief ($1,1 v_{S0}$) en eindigt bij de maximale snelheid met welvingskleppen in een positieve stand (v_{FE} : maximum flaps extended speed).
- De groene band toont de 'normal operating range' en begint bij de overtreksnelheid ($1,1 v_{S1}$: stall speed) en eindigt bij de maximale snelheid in onrustige lucht (v_{RA} : rough air speed). Zoals aangegeven in hoofdstuk 8.2 over belastingen, wordt de v_{RA} bij zweefvliegtuigen gelijkgesteld aan de manoeuvreersnelheid v_A .
- De gele band toont de 'caution range' en begint bij de v_{RA} en eindigt bij de maximaal toegestane vliegsnelheid (v_{NE} : never exceed speed). Alleen als de lucht rustig is mag met de nodige voorzichtigheid in dit gebied worden gevlogen.
- De rode streep toont de v_{NE} welke nooit mag worden overschreden daar anders het vliegtuig onherstelbaar kan worden beschadigd.
- De gele driehoek toont de aanbevolen landingssnelheid.
- Een blauwe streep kom je tegen bij een gemotoriseerd zweefvliegtuig en staat voor de best climb speed v_Y . Dit is de vliegsnelheid welke resulteert in de hoogste klimsnelheid.

Opmerking

De kleurcoderingen gelden voor een maximaal beladen vliegtuig zonder water en bij een 1-g belasting.

Opmerking

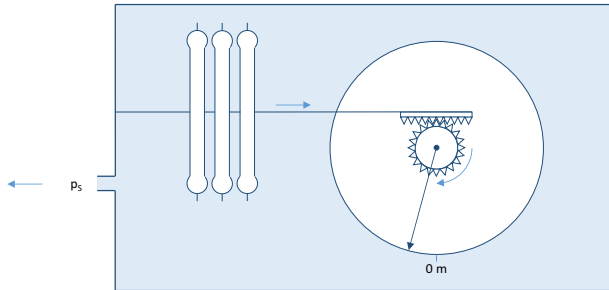
Een snelheidsmeter mag nooit worden getest door op de (aansluiting voor de) pitotbuis te blazen. Het instrument kan daardoor grondig worden vernield.

6.2.2 Hoogtemeter

De *hoogtemeter* biedt de vlieger de mogelijkheid zijn/haar vlucht optimaal te plannen daarbij rekening houdend met de prestaties van het vliegtuig en eventuele (wettelijke) hoogtebeperkingen.

De werking van de hoogtemeter is gebaseerd op het meten van de statische druk. Daartoe bevinden zich in het instrument enkele achter elkaar geplaatste en *vacuüm gezogen drukcapsules* welke bij toenemende statische druk (afnemende hoogte) inkrimpen en bij afnemende druk (toenemende hoogte) uitzetten. Een mechaniek brengt deze beweging over op *twee wijzers* welke samen de hoogte aanwijzen langs een lineaire schaal gekalibreerd in meters (m). Een grote wijzer wijst de honderdtallen

aan en gaat één keer rond per 1000 m; een kleine wijzer wijst de duizendtallen aan en gaat één keer rond per 10000 m. Op deze wijze combineert men een groot meetbereik met een nauwkeurige afleesmogelijkheid.



Afbeelding 6-5 Werkingsprincipe hoogtemeter

Kalibratie hoogtemeter

De hoogtemeter is gekalibreerd volgens het drukverloop van de standaard atmosfeer. Dat betekent dat de hoogtemeter nul meter aanwijst als de luchtdruk 1013,25 hPa en de temperatuur 15 °C bedraagt. Alleen in deze situatie heeft de hoogtemeter een tolerantie van ± 15 m; dat wil zeggen dat de hoogtemeter tussen de -15 en +15 m mag aanwijzen. Bij een tweezitter kunnen beide hoogtemeters in dat geval dus maximaal 30 m verschillend aanwijzen.

Drukafwijkingen

De standaardatmosfeer is slechts een rekenmodel bedoeld voor kalibratie. In de praktijk zijn luchtdruk en temperatuur op zeeniveau bijna nooit gelijk aan de waarden uit de standaardatmosfeer. De luchtdruk op zeeniveau kan bijvoorbeeld variëren tussen 950 en 1050 hPa. Een hoogtemeter welke 950 hPa registreert zal ca. 500 m⁵ aanwijzen ook al bevindt deze zich op zeeniveau. Om onder dergelijke omstandigheden de hoogtemeter toch nul te kunnen laten aanwijzen, kan de aanwijzing worden versteld met behulp van een *instelknop* aan de voorkant van de hoogtemeter. De ingestelde nieuwe referentiedruk kan worden afgelezen op een achterliggende schaal (*subscale*) welke via een uitsparing in de hoogteschaal zichtbaar is. Zie afbeelding 6-6. Het operationeel gebruik van de hoogtemeter wordt besproken bij het vak 'Navigatie'.

⁵ $1013 - 950 = 63 \text{ hPa}$; $63 \text{ hPa} / 12,5 = \text{ca. } 500 \text{ m}$.



Afbeelding 6-6 Vooraanzicht hoogtemeter

Dergelijke instellingen zijn onderhevig aan de volgende internationale afspraken:

QFE

Voor (zeer) lokale vluchten mag de hoogtemeter voor de start op nul worden gezet. De drukreferentie is dan de plaatselijk druk gemeten op het vliegveld. Dit is de *QFE*. De hoogtemeter wijst dan tijdens de vlucht een hoogte aan ten opzichte van de elevatie van het vliegveld. Zie afbeelding 6-7. Er bestaat in dat geval geen relatie met de elevatie van het overige onderliggende terrein en van eventuele obstakels. In het vlakke land is dit nog te billijken maar in bergachtig gebied is dit zeer lastig. Bovendien kan het voorkomen dat na een (lange) vlucht de plaatselijke luchtdruk is veranderd waardoor de hoogtemeter niet meer de juiste hoogte ten opzichte van het vliegveld aanwijst.

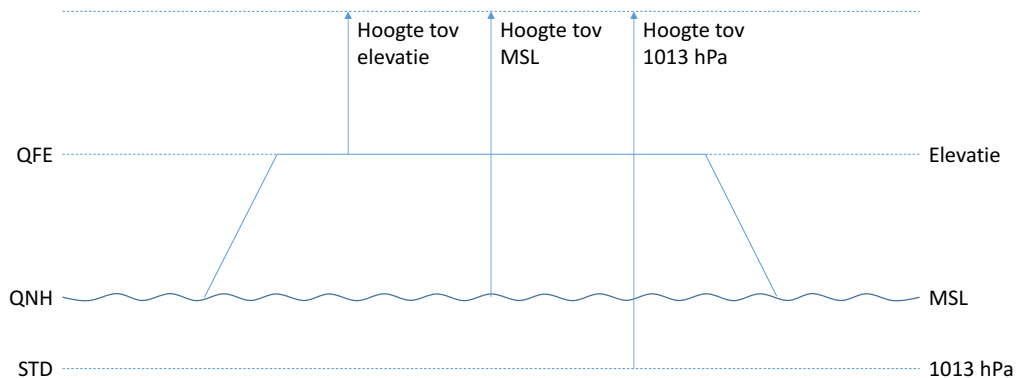
QNH

Voor (overland)verkeer onder de 3500 voet (ca. 1000 m) gebruikt men een instelling welke de hoogte ten opzichte van het gemiddelde zeeniveau aanwijst, zie afbeelding 6-7. Dit is gewenst omdat op vliegkaarten de elevatie van vliegvelden, bergen en andere obstakels ten opzichte van zeeniveau worden uitgedrukt. Het plaatselijke weerstation meet hiertoe de luchtdruk op de grond en rekent deze via de standaardatmosfeer terug naar de bijbehorende druk op zeeniveau. De aldus verkregen drukreferentie heet *QNH*. Indien je staat op het vliegveld de *QNH* indraait zal de hoogtemeter de elevatie van het vliegveld ten opzichte van zeeniveau weergeven.

STD

Formeel gesproken dient men tijdens een overlandvlucht boven de 3500 voet gebruik te maken van de standaard (*STD*) instelling van 1013,25 hPa. Alle hoogtemeters wijzen dan een hoogte aan ten opzichte van 1013,25 hPa zodat onderlinge hoogtevergelijking en separatie tussen vliegtuigen mogelijk is. Zie afbeelding 6-7. Er bestaat in dat geval geen relatie tussen de aangewezen hoogte met het onderliggende terrein. Dat is precies het bezwaar dat zweefvliegers hebben tegen deze instelling. Toch is er een belangrijke reden om deze instelling wel te kunnen toepassen. Bepaalde soorten (verboden) luchtruim worden aangegeven in Flight Levels (FL). Een flight level is een drukhoogte welke wordt aangegeven in eenheden van honderd voet ten opzichte van 1013,25 hPa. Een voorbeeld moge dit verduidelijken: Veel CTA's (verboden voor zweefvliegers) hebben een ondergrens van FL65. FL65 ligt 6500 voet (1967 m) boven het 1013,25 hPa drukvlak. Als je nu voor de vlucht de hoogtemeter op nul

zet, en je ziet dat de plaatselijke luchtdruk lager is dan 1013,25 hPa dan weet je dat het 1013,25 hPa drukvlak onder je ligt. Op het moment dat de hoogtemeter 1967 meter boven je veld aanwijst, bent je al boven FL65 en dus in verboden gebied. De transponders aan boord van zweefvliegtuigen registreren altijd de hoogte ten opzichte van het 1013,25 hPa vlak en sturen deze samen met de vliegtuigregistratie door naar de verkeersleiding.



Afbeelding 6-7 Overzicht hoogtemeterinstellingen

Temperatuurafwijkingen

Hoewel de hoogtemeter niet direct temperatuur registreert is de gemeten druk wel degelijk afhankelijk van de temperatuur. Vergelijk daartoe de volgende situatie. Twee dezelfde kolommen lucht van 200 m hoog worden met elkaar vergeleken. De ene kolom heeft een lagere temperatuur dan de andere. Bij de kolom lucht met de lagere temperatuur bevinden de luchtmoleculen zich dichter op elkaar en is de dichtheid dus hoger. Door de hogere dichtheid is deze kolom lucht zwaarder dan de kolom lucht met de hogere temperatuur. Door het hogere gewicht van de koude kolom drukt deze meer op het onderliggende terrein dan de warme kolom. De druk is dus hoger bij de kolom met koude lucht.

Zoals hiervoor besproken registreert de hoogtemeter luchtdruk. In een koude atmosfeer zal de hoogtemeter dezelfde druk al bij een lagere hoogte meten. Met andere woorden de hoogtemeter wijst in een dergelijke situatie te veel aan: de ware hoogte is dan lager dan de aangewezen hoogte. Voor de prestaties van het toestel maakt dit niet uit maar wel voor de obstakelvrijheid met de grond, vooral in bergachtig terrein.

In de praktijk is dit temperatuureffect op de hoogtemeting te verwaarlozen. De constructie van de hoogtemeter houdt hiermee dan ook geen rekening. In het uitzonderlijke geval van zeer lage temperaturen, dient de vlieger handmatig een correctie te gaan toepassen op de aangewezen hoogte. Dit laatste is niet relevant voor zweefvliegers.

Statische wrijving

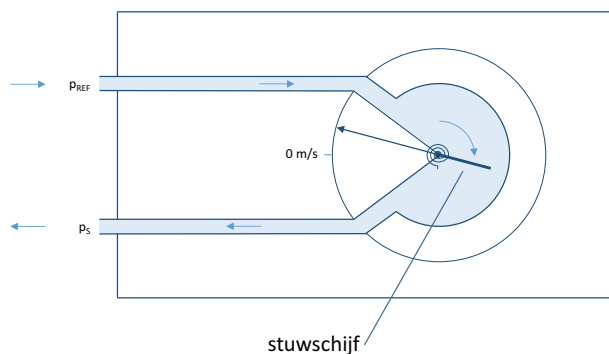
Een hoogtemeter moet met zeer weinig kracht meerdere wijzers meerdere malen rond laten gaan. Het overbrengmechanisme tussen drukcapsules en wijzers moet dus zo min mogelijk weerstand bieden. Tijdens gebruik zal door slijtage en vuilophoping de wrijvingsweerstand toenemen. Dit wordt als eerste zichtbaar tijdens een daalvlucht waarbij de drukcapsules moeite hebben de druktoename te volgen. De wijzers kunnen dan iets achterblijven. Door lichtjes tegen het instrumentenbord naast de hoogtemeter te tikken kan de *statische wrijving* van het overbrengmechanisme tijdelijk worden verminderd waardoor de hoogtemeter de kans krijgt, binnen de tolerantie, juist aan te wijzen. Hetzelfde geldt als bij de dagelijkse inspectie de hoogtemeter wordt gecontroleerd.

6.2.3 Variometer

De *variometer* heet in het Engels 'vertical speed indicator' en toont zoals de naam aangeeft de verticale snelheid van het vliegtuig in (meestal) meters per seconde (m/s). Het stelt de vlieger in staat plannen te maken voor het verdere verloop van de vlucht. Zweefvliegers in het bijzonder hechten veel waarde aan een nauwkeurige en betrouwbare variometer. Om die reden zijn er vaak meerdere variometersystemen in het vliegtuig aangebracht. De één nog meer geavanceerd dan de ander en al dan niet gekoppeld aan een navigatiesysteem.

Variometer met stuwschijf

De variometer meet de verandering van de luchtdruk per tijdseenheid. In het instrument bevindt zich daartoe een afgeveerde en draaibare *stuwschijf* welke aan een kant is aangesloten op een *reservoir* gevuld met lucht in de vorm van een thermosfles en aan de andere kant op de statische druk. Zolang er geen drukverschil is tussen reservoir druk en statische druk houdt de veer de stuwschijf in de middenstand. Een wijzer die direct is aangesloten op de stuwschijf, wijst in dat geval nul aan. Zie afbeelding 6-8.



Afbeelding 6-8 Werkingsprincipe stuwschijfvariometer

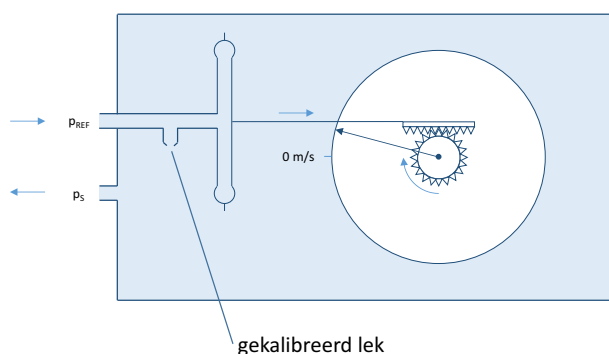
Tijdens een stijgvlucht neemt de statische druk af waardoor er een luchtstroom op gang komt van het reservoir (de thermosfles) langs de afgeveerde stuwschijf naar de statische poorten. De luchtstroom duwt tegen de stuwschijf waardoor deze wil gaan draaien. Tegelijkertijd wordt de veer opgewonden. Wanneer de kracht van de luchtstroom evenwicht maakt met de tegenwerkende kracht van de veer stopt de stuwschijf met draaien en zal de wijzer de bijbehorende verticale snelheid aanwijzen. Tijdens een daalvlucht gebeurt precies het tegenovergestelde.



Afbeelding 6-9 Vooraanzicht variometer

Variometer met drukcapsule

Voor de volledigheid wordt hier ook de minder vaak gebruikte variometer met *drukcapsule* beschreven. Het instrument beschikt over een verschildrukcapsule waarvan de binnenkant is aangesloten op het reservoir (thermosfles) en de buitenkant op de statische druk. In de aansluiting met de verschildrukcapsule bevindt zich een klein, *gekalibreerd lek*. De drukcapsule is via een mechaniek verbonden met een wijzer. Zie afbeelding 6-10. Zonder drukverschil wijst de wijzer nul aan. Bij een stijgvucht neemt de statische druk af. Door het gekalibreerde lek zal de druk in de capsule langzamer afnemen dan eruiten. Het aldus ontstane drukverschil doet de capsule uitzetten waardoor de wijzer 'stijgen' gaat aanwijzen. Bij een daalvlucht gebeurt het omgekeerde.



Afbeelding 6-10 Werkingsprincipe variometer met drukcapsule

Dit type mechanische variometer kent veel meer bewegende onderdelen dan de stuwschijfvariometer hetgeen ten koste gaat van de gevoeligheid en dus de nauwkeurigheid.

Reservoir (thermosfles)

Volgens de standaardatmosfeer daalt de luchtdruk 12,5 hPa per 100 m, dus 1 hPa per 8 m. Zou men met 1 m/s stijgen dan neemt de druk dus met 0,125 hPa per seconde af. Dit impliceert een zeer gevoelige meting. Bepalend hierin is het volume van het reservoir. Hoe groter het volume hoe gevoeliger de meting. Een variometer met een schaalbereik tot 1 m/s heeft een groter volume dan een

variometer met een bereik van 5 m/s. De grote gevoeligheid brengt tevens met zich mee dat kleine temperatuurveranderingen van het reservoir van grote invloed zijn op de druk in het reservoir. Een temperatuurverandering van één graad resulteert in een drukverandering overeenkomstig met 30 m hoogteverschil. Om dit te voorkomen is het reservoir uitgevoerd als “*thermosfles*”. Dit is een dubbelwandige glazen fles waarvan de tussenruimte vacuüm is gezogen. Op deze wijze wordt voorkomen dat warmtestraling van buitenaf de druk in de fles nadelig beïnvloedt. De fles zelf is weer omhuld met isolatiemateriaal en het geheel zit in een beschermende metalen of plastic koker.

De thermosfles draagt indirect ook bij aan de *traagheid* van het instrument. Tijdens een stijgvlucht expandeert de lucht in de fles en koelt daarbij (adiabatisch) af. Aan het einde van een korte en snelle stijgvlucht (bijvoorbeeld een lierstart) kan daardoor tussen de fles en de lucht een temperatuurverschil van enkele graden ontstaan. De relatief warme fles staat warmte af aan de lucht, die uitzet, door de variometer naar buiten stroomt en tijdelijk een onjuiste aanwijzing van de stijgsnelheid veroorzaakt. Dit verschijnsel, dat op omgekeerde wijze ook bij snelle daalvluchten optreedt, vergroot de al genoemde traagheidsfout. Onmiddellijk na het loskoppelen na de lierstart wordt hierdoor soms ten onrechte de indruk gewekt alsof men zich in thermiek bevindt. Een oplossing voor dit euvel bereikt men door in de thermosfles kopergaas of ietwat verfrommeld aluminiumfolie te doen, waardoor een snellere temperatuuraanpassing zal plaatsvinden. Nadeel hiervan is echter weer dat daardoor het effectieve volume van de thermosfles kleiner wordt. Bij gebruik van een knuppelthermiek-compensatie van het doostype (zie volgende paragraaf) moet het flesvolume juist worden verkleind; in dat geval slaat men door het gebruik van kopergaas of aluminiumfolie in de thermosfles juist twee vliegen in een klap.

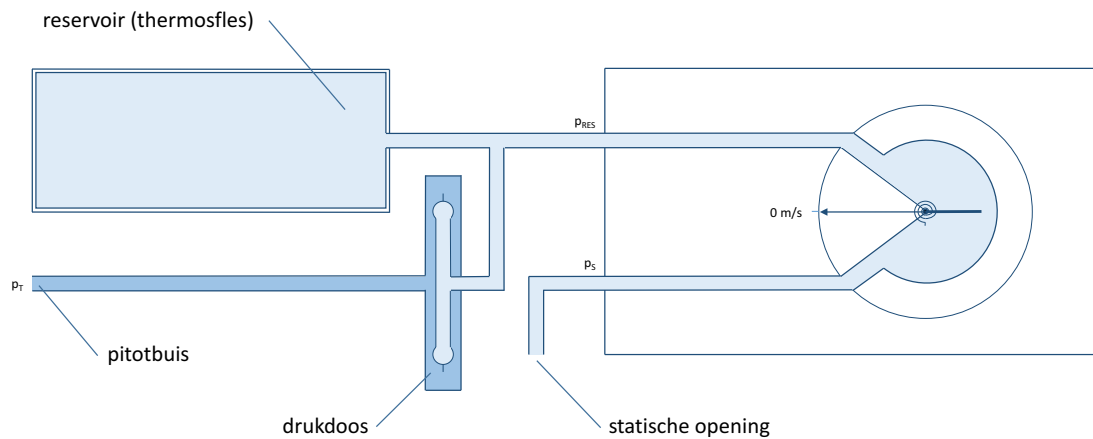
Gecompenseerde variometer

Indien tijdens het vliegen plots aan de knuppel wordt getrokken, wordt gedurende korte tijd vliegsnelheid omgezet in hoogte. De variometer zal hierop reageren waardoor een valse aanwijzing van het binnenvliegen van thermiek kan ontstaan. Men noemt dit *knuppelthermiek*. Hiervoor kan worden gecompenseerd door de aanwijzing van de variometer te compenseren voor vliegsnelheid. Hiertoe bestaan twee methoden.

Compensatie van flesvolume

Dit kan met een *drukdoos*⁶ welke, net als de snelheidsmeter, bestaat uit een verschildrukcapsule waarvan dit keer de buitenkant is aangesloten op de pitotbuis en de binnenkant op de aansluiting van de thermosfles op de variometer. Bij een snelheidsverhoging zal door de toegenomen druk in de pitotbuis de drukcapsule inkrimpen waardoor het effectieve flesvolume afneemt en de flesdruk toeneemt. Andersom zal bij een snelheidsverlaging de drukcapsule uitzetten waardoor het effectieve flesvolume toeneemt en de flesdruk afneemt. Zie afbeelding 6-11.

⁶ De drukdoos wordt ook wel compensatiedoos genoemd.



Afbeelding 6-11 Gecompenseerde variometer met drukdoos

Bij een hoogtetoename door knuppelthermiek zal de lagere gemeten statische druk worden gecompenseerd door een lagere druk in de thermosfles als gevolg van het uitzetten van de drukdoos door de lagere vliegsnelheid.

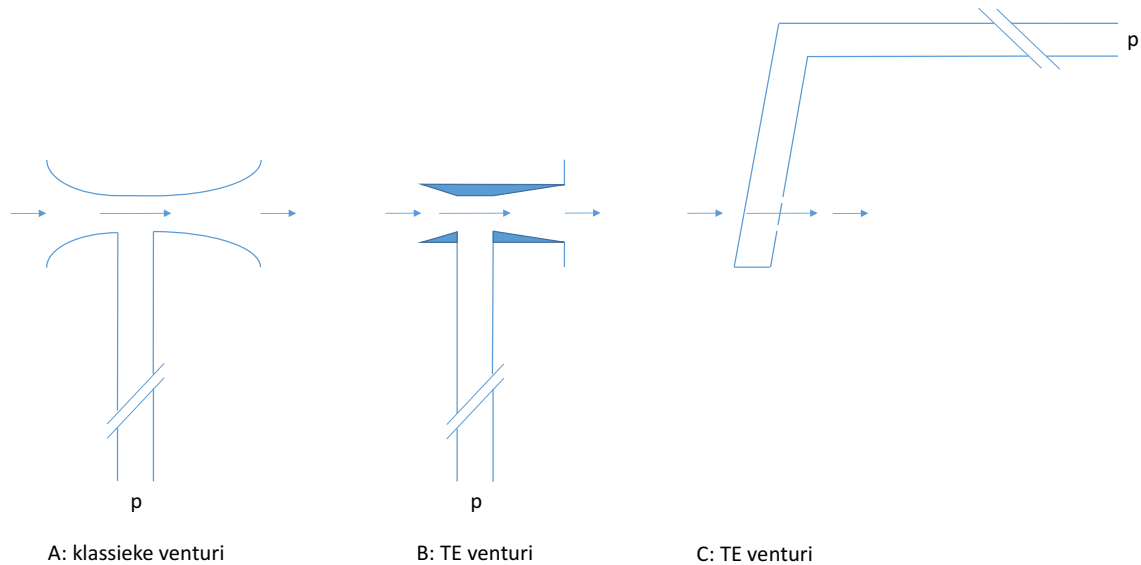
Compensatie van statische druk

Dit gebeurt met een *TE-venturi buis* welke de totale energie van de luchtstroming meet. Dit is de som van de kinetische energie en de potentiële energie. Kinetische energie is energie van beweging, in dit geval vliegsnelheid. Potentiële energie is energie van plaats, in dit geval vlieghoogte. Neemt door knuppelthermiek de hoogte toe en de snelheid af, dan blijft de totale energie gelijk en zal een hiervoor gecompenseerde variometer niks aanwijzen.

De TE-venturi buis doet dit met het venturi-effect. Dit is het effect dat bij een vernauwing van een stroombuis de stroomsnelheid toeneemt waardoor de dynamische druk (kinetische energie) toeneemt en, omdat de totale energie gelijk moet blijven, de statische druk (potentiële energie) afneemt. In het versmalde deel van de stroombuis heerst dus een snelheidsafhankelijke statische druk welke lager is dan de statische druk van de ongestoorde luchtstroming ($p_s - \frac{1}{2} \rho v^2$). Deze druk wordt ook wel de venturi-druk genoemd. Zie afbeelding 6-12A.

De TE-venturi heeft diverse ontwikkelingen doorgemaakt. In eerste instantie was dit een 'gewone' venturi zoals destijds ook werd gebruikt door de eerste snelheidsmeters. Een venturi is een holle buis met een vernauwing welke wordt geplaatst in de luchtstroming. In het smalste punt, de keel, bevindt zich loodrecht op de stroming een drukaansluiting. Latere uitvoeringen waren verbeterde versies waarbij vooral aandacht werd besteed aan het zuiver kunnen meten van de venturi-druk zelfs onder (kleine) sliphoecken. Zie bijvoorbeeld afbeelding 6-12B.

Tegenwoordig wordt ook vaak gebruik gemaakt van een buis welke onder een hoek van 80 graden met de luchtstroming is geplaatst en waar aan de achterkant twee evenwijdig geplaatste sleufgaten zijn aangebracht. Deze buis meet, net als de venturi, ook een snelheidsafhankelijke onderdruk. Afbeelding 6-12C toont dit type TE-venturi.

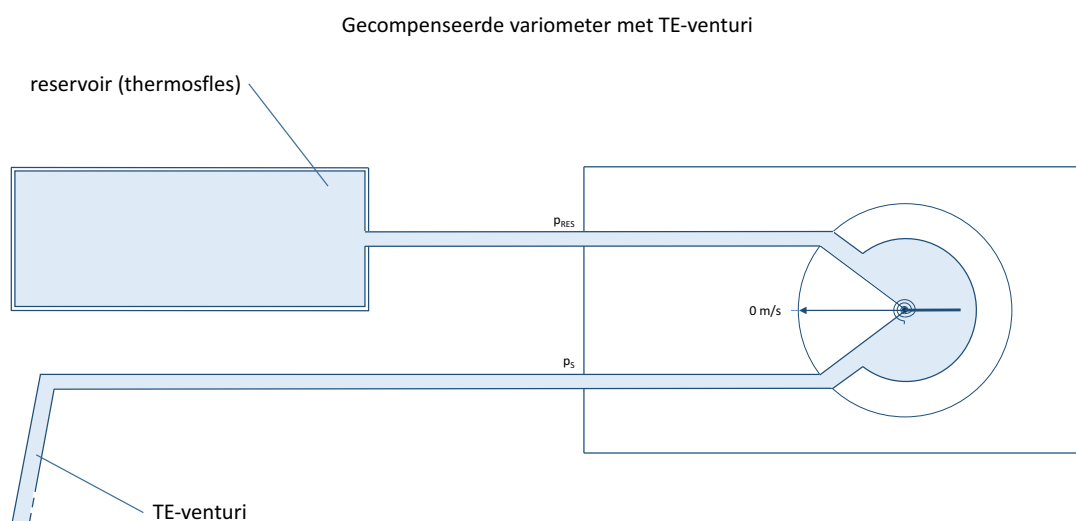


Afbeelding 6-12 TE-venturi buizen

Opmerking

Buis 'C' wordt meestal 'hangend' bevestigd om te voorkomen dat eventueel vocht kan binnendringen. De buis kan echter ook (omhoog) staand worden bevestigd als deze daardoor buiten de slipstream van een mogelijke propeller blijft.

De TE-buis wordt aangesloten op de statische aansluiting van de variometer. Indien hoogte wordt gewonnen ten koste van snelheid, zal ondanks de afgenomen statische druk, de gemeten venturi-druk ($p_s - \frac{1}{2} \rho v^2 = c$) constant blijven waardoor de gecompenseerde variometer geen verandering waarneemt.



Afbeelding 6-13 Variometer met TE compensatie

6.2.4 Slipmeter

De *slipmeter* geeft de vlieger inzage in de *sliphoek* (β) van het vliegtuig. De sliphoek is de hoek tussen het langsvlak van het vliegtuig en de richting van de luchtstroming. Komt de luchtstroming recht van voren, dan is het aangeblazen frontale oppervlak van het vliegtuig minimaal. Komt de luchtstroming van links of van rechts dan is het aangeblazen oppervlak, en dus de weerstand groter. Het is dus belangrijk om de sliphoek nul te houden. Men spreekt in dat geval van een gecoördineerde vlucht.

De slipmeter kent twee verschijningsvormen: het “balletje” en het “piefje”.

Balletje

Het *balletje* heet formeel de *slipkogel*. De slipkogel bestaat uit een in dwarsrichting geplaatst, convex (hol) gebogen glazen buisje gevuld met een dempingsvloeistof waarin zich een kogeltje bevindt. Zie afbeelding 6-14.



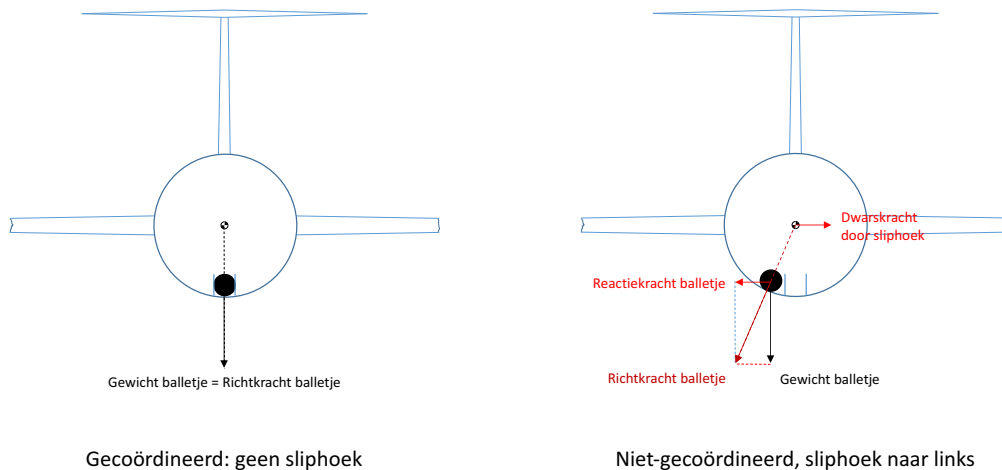
Afbeelding 6-14 Slipkogel

Werking

Door zijn bevestiging is de slipkogel gevoelig voor versnellingen in het dwarsvlak. Het dwarsvlak wordt gevormd door de topas en de dwarsas.

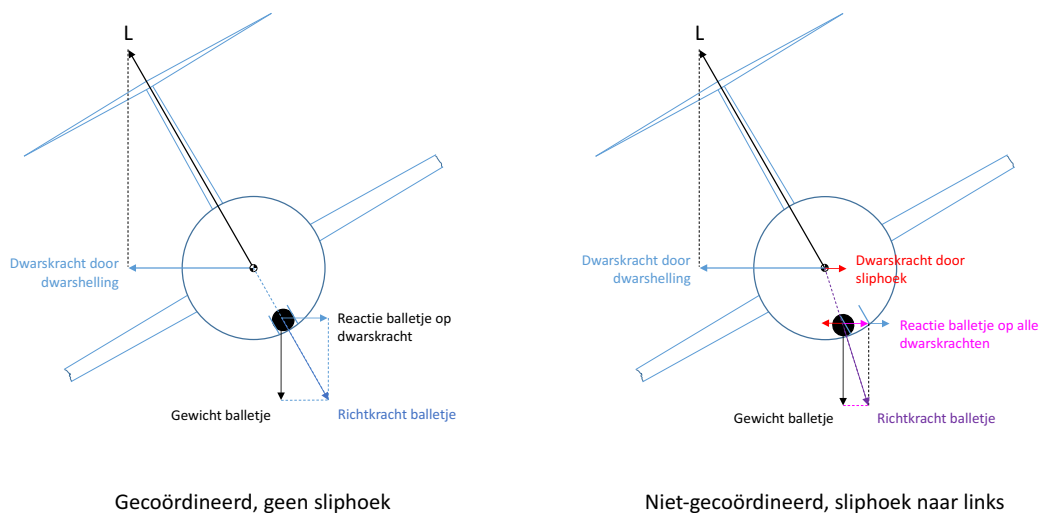
Op de grond werkt alleen de zwaartekrachtversnelling op de slipkogel. Door de vorm van het buisje zal het balletje het laagste punt opzoeken. Zonder dwarshelling is dat in het midden van het buisje precies tussen de twee verticale streepjes in. Op de grond gedraagt de slipkogel zich dus als een waterpas.

Indien tijdens een vlucht zonder dwarshelling de luchtstroming recht van voren komt, is er geen sprake van een dwarskracht en zal het kogeltje keurig in het midden staan. Zie afbeelding 6-15. Indien echter tijdens de vlucht zonder dwarshelling de luchtstroming niet recht van voren komt, ontstaat er een dwarskracht welke het vliegtuig met daarin het glazen buisje opzij doet versnellen. Door massa-traagheid blijft het kogeltje achter en zal dus, ten opzichte van het glazen buisje, tegengesteld aan de uitgeoefende dwarskracht gaan bewegen. Zie afbeelding 6-15. Door nu voeten te geven in de richting van het balletje, wordt de dwarskracht opgeheven en kan de evenwichtssituatie worden hersteld.



Afbeelding 6-15 Gedrag balletje tijdens vliegen zonder dwarshelling

Indien tijdens een vlucht dwarshelling wordt aangerold krijgt de draagkracht een component in horizontale richting. Ook deze dwarskracht doet het vliegtuig met daarin het gekromde buisje zijwaarts versnellen. En ook nu weer beweegt het balletje tegengesteld aan de richting van de versnelling. Doordat het vliegtuig nu dwarshelling heeft, blijft het balletje ten opzichte van het gekromde buisje in het midden. Dit is het geval zolang tijdens deze situatie de luchtstroming recht van voren komt. Er is dan geen sprake van extra horizontale dwarskrachten. Zie afbeelding 6-16. Indien echter tijdens deze situatie de luchtstroming niet recht van voren komt, ontstaat er een extra horizontale dwarskracht. Het balletje staat nu uit het midden. Zie afbeelding 6-16. Deze laatste situatie kan op twee manieren worden hersteld. Óf je beweegt de voetpedalen in de richting waarin het balletje staat, óf je beweegt de stuurknuppel in de richting waarin het balletje niet staat.



Afbeelding 6-16 Gedrag balletje tijdens vliegen met dwarshelling

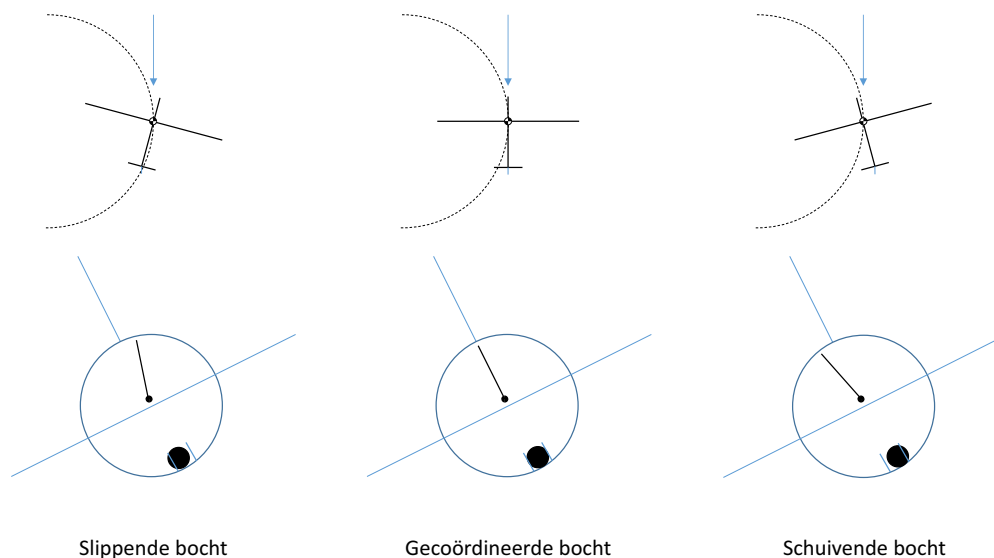
Piefje

Lang geleden bestond het *piefje* uit een kegeltje dat met een draadje was bevestigd aan een mast boven op de neus van het vliegtuig. Tegenwoordig is het piefje een (bij voorkeur wollen) *draadje* van circa 15 cm lang dat aan een kant is vastgeplakt midden boven op de cockpitkap. Het draadje richt zich naar de luchtstroming. Komt de luchtstroming recht van voren dan staat het draadje in het midden. Komt de luchtstroming van linksvoor (naar links slippen) dan staat het draadje naar rechts. Om het

draadje weer in het midden te krijgen kan je twee dingen doen: je geeft voeten aan de kant waar het draadje niet staat of je geeft knuppel aan de kant waar het draadje wel staat.

Piefje vs Slipkogel

Het piefje heeft enige voordelen ten opzichte van de slipkogel: het is stukken goedkoper, het weegt veel minder, je kan naar buiten blijven kijken en, zolang het niet regent, wijst het altijd juist aan. De slipkogel zal namelijk tijdens het opsturen bij een lierstart foutief aanwijzen wanneer zwaartekracht en kabelkracht niet in hetzelfde vlak liggen.



Afbeelding 6-17 Vergelijking aanwijzing piefje - balletje

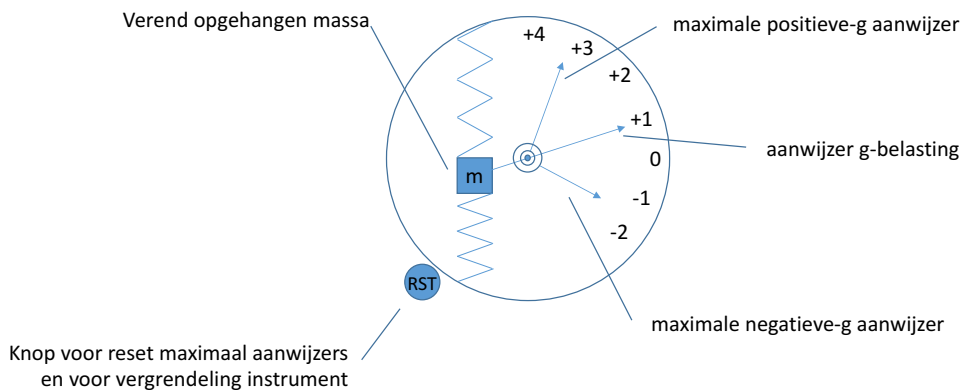
6.2.5 g-meter

Zweefvliegtuigen waarmee kunstvluchten worden uitgevoerd dienen te zijn uitgerust met een g-meter. Dit is een instrument dat de vlieger informatie verschaft over de g-belasting van het vliegtuig. De g-belasting is het aantal malen dat de zwaartekrachtversnelling (of gravitatieversnelling) op het vliegtuig werkt. Een ander woord voor g-belasting is de belastingfactor 'n'. Vanuit het vak 'Beginselen van het Zweefvliegen' is bekend dat de belastingfactor gelijk is aan de verhouding tussen draagkracht L en gewicht W ($n = L/W$). Bij een stationair rechtlijnige vlucht compenseert de draagkracht het gewicht van het vliegtuig en is de belastingfactor gelijk aan éénmaal de zwaartekrachtversnelling dus 1-g of nog korter '1'. Bij 0-g is de draagkracht nul en spreekt men van gewichtloosheid. Is de draagkracht groter dan nul dan spreekt men van positieve-g; is de draagkracht negatief, dan is er sprake van negatieve-g. Uit sterkteoverwegingen is het vliegtuig gecertificeerd volgens een bepaalde categorie waarbij per categorie waarden zijn vastgesteld voor de maximale positieve en negatieve g-belasting. De maximale negatieve g-belasting is altijd lager dan de maximaal positieve g-belasting. De 'aerobatics' vlieger moet deze waarden kennen en ervoor zorgen dat deze niet worden overschreden.

Constructie

Het instrument beschikt over een versnellingsmeter welke is opgehangen met de topas van het vliegtuig. De versnellingsmeter bestaat uit een verend opgehangen massa welke een drie-wijzer systeem aandrijft. Afhankelijk van de belasting wordt meer of minder aan de massa getrokken waardoor deze meer of minder inneert. Een wijzer volgt continue de beweging van de massa. De twee andere wijzers worden aangestoten door de eerste wijzer en blijven staan op de maximaal bereikte positieve en negatieve g-belasting. Zie afbeelding 6-18.

Aan de voorkant van het instrument bevindt zich een knop waarmee de maximaal-wijzers kunnen worden 'gereset' en waarmee het instrument kan worden 'gelockt' teneinde het zeer gevoelige mechanisme te beschermen tegen schokken tijdens grondtransport.

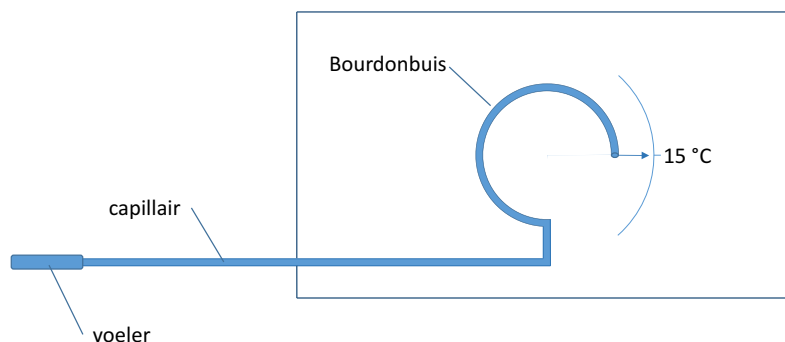


Afbeelding 6-18 g-meter

6.2.6 Buitenluchttemperatuurmeter

Als er wordt gevlogen met water is het belangrijk om kennis te hebben van de temperatuur van de buitenlucht. Bij temperaturen onder nul (graden Celsius) zal het water gaan bevriezen waarbij het uitzet en schade kan veroorzaken aan leidingen en kranen. Tevens zal water in vaste vorm niet langer geloosd kunnen worden. Daarom zijn zweefvliegtuigen die met watertanks zijn uitgerust verplicht voorzien van een *buitenlucht-temperatuurmeter*.

Deze bestaan meestal uit een met vloeistof gevulde voeler welke via een dunne leiding (capillair) verbonden is met een zogenaamde Bourdonbuis. De Bourdonbuis is een ellipsvormige buis gekromd in de vorm van de letter C. Neemt de temperatuur toe dan zal de vloeistofdruk ook toenemen waardoor de Bourdonbuis zich wil gaan strekken. Vergelijk dit met het rolfluitje uit de feestartikelenwinkel. Het strekken van de Bourdonbuis wordt overgebracht op een wijzer langs een schaal gekalibreerd in graden Celsius, waarbij een temperatuur onder nul in blauw wordt weergegeven en een temperatuur boven nul in het rood. Zie afbeelding 6-19.



Afbeelding 6-19 Buitenluchttemperatuurmeter

Magnetisch kompas

Hoewel ook een mechanisch instrument, is de constructie, de werking en het gebruik van het magnetisch kompas ondergebracht bij het vak 'Navigatie'.

6.3 Elektrische instrumenten

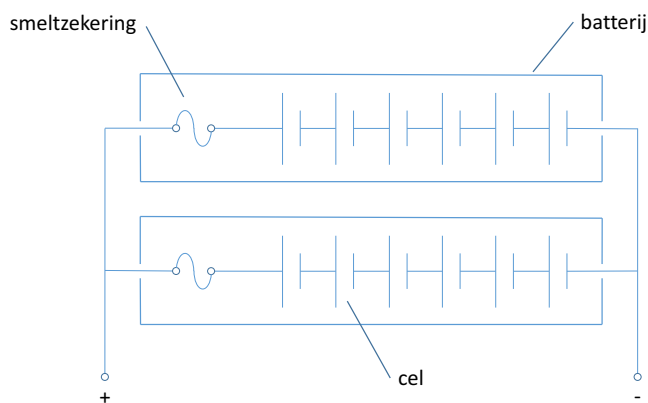
De elektrische instrumenten behoeven alle een elektrische voedingsspanning. Alvorens op deze instrumenten in te gaan wordt eerst een kleine verhandeling gegeven over de elektrische voeding aan boord van zweefvliegtuigen en de bijbehorende elektriciteitsleer.

6.3.1 Batterij

De bron van elektrische energie is de accu of *batterij*. Een batterij bestaat uit een verzameling elektrische *cellen* waarin door middel van een chemisch proces elektriciteit wordt opgewekt. Tijdens dat proces treedt corrosie op waardoor op een gegeven moment de opwekking van elektriciteit stagneert. Bij oplaadbare cellen is dit proces omkeerbaar. Afhankelijk van de chemische samenstelling van de cel wordt een bepaalde hoeveelheid elektriciteit opgewekt. Dit wordt tot uitdrukking gebracht met de term elektrische *spanning*. Elektrische spanning wordt uitgedrukt met de grootte U en de eenheid V van volt.

Een cel heeft een pluspool en een minpool. Bij de nog veel gebruikte loodzuurcel is de spanning op de pluspool ongeveer 2 V hoger dan op de minpool. Tussen de polen heerst dan een spanningsverschil van 2 V of anders gezegd de celspanning is 2 V. Indien nu meerdere cellen achter elkaar (in serie) worden gezet mogen de individuele celspanningen bij elkaar worden opgeteld en ontstaat een batterij. De elektriciteitsgebruikers aan boord van zweefvliegtuigen zijn gebouwd voor een voedingspanning van 12 V. Om een loodzuurbatterij van 12 V te maken zijn dus zes achter elkaar geplaatste loodzuurcellen nodig.

Soms worden meerdere batterijen gebruikt. Deze worden dan naast elkaar (parallel) geplaatst. De spanning blijft dan gelijk maar de *capaciteit* van de batterij wordt hierdoor verhoogd⁷. Met andere woorden: de batterijen houden het langer vol; zie afbeelding 6-20.



Afbeelding 6-20 Twee parallelle batterijen met elk zes cellen in serie en geïntegreerde smeltzekering

Opmerking

Soms kan met een aparte schakelaar een keuze worden gemaakt tussen batterij 1 of batterij 2.

De capaciteit van batterijen wordt uitgedrukt in hun vermogen om gedurende een bepaalde tijd een bepaalde elektrische stroom te leveren. *Elektrische stroom* wordt uitgedrukt met de grootte I en de eenheid A van Ampère. Een batterij met een capaciteit van 10 Ah kan in theorie gedurende een uur

⁷ Tijdens het parallel schakelen van batterijen moet worden voorkomen dat de batterijspanning te veel verschilt daar er anders grote vereffeningstromen gaan lopen welke de zekering doen doorsmelten.

(hour) een stroom leveren van 10 A. Diezelfde batterij kan in theorie tien uur lang een stroom leveren van 1 A etc. In de praktijk zijn deze waarden afhankelijk van temperatuur en conditie van de batterij.

Er kan alleen sprake zijn van een stroom als de pluspool en de minpool van de batterij op de een of andere wijze met elkaar zijn doorverbonden. Een batterij die niet is aangesloten heeft wel een spanning maar er loopt (zo goed als) geen stroom. Dat komt omdat er zich tussen de polen van de batterij niks anders bevindt dan lucht. Lucht is een goede *isolator* en dus een slechte *geleider* van elektriciteit. Anders gezegd, lucht heeft een zeer hoge *weerstand* tegen elektriciteit. Weerstand tegen elektriciteit wordt uitgedrukt met de grootte R en de eenheid Ohm welke wordt weergegeven met de Griekse letter omega (Ω). Lucht is dus een slechte geleider van elektriciteit; metaal daarentegen is een goede geleider van elektriciteit. Elektrische weerstand blijkt dus af te hangen van het soort materiaal dat zich tussen de polen bevindt (geleider of isolator). Daarnaast hangt de weerstand af van de lengte en dikte van de geleider. Hoe korter de geleider en/of hoe dikker de geleider hoe lager de weerstand. Worden de polen van de batterij via een stuk metaal rechtstreeks met elkaar doorverbonden dan is de weerstand zo goed als nul en zal - in theorie - een oneindig hoge stroom gaan lopen van pluspool naar minpool. In deze situatie is de batterij '*kortgesloten*'; deze zeer hoge stroom gaat gepaard met veel warmteontwikkeling en is daarom gevaarlijk voor batterij, vliegtuig en mens.

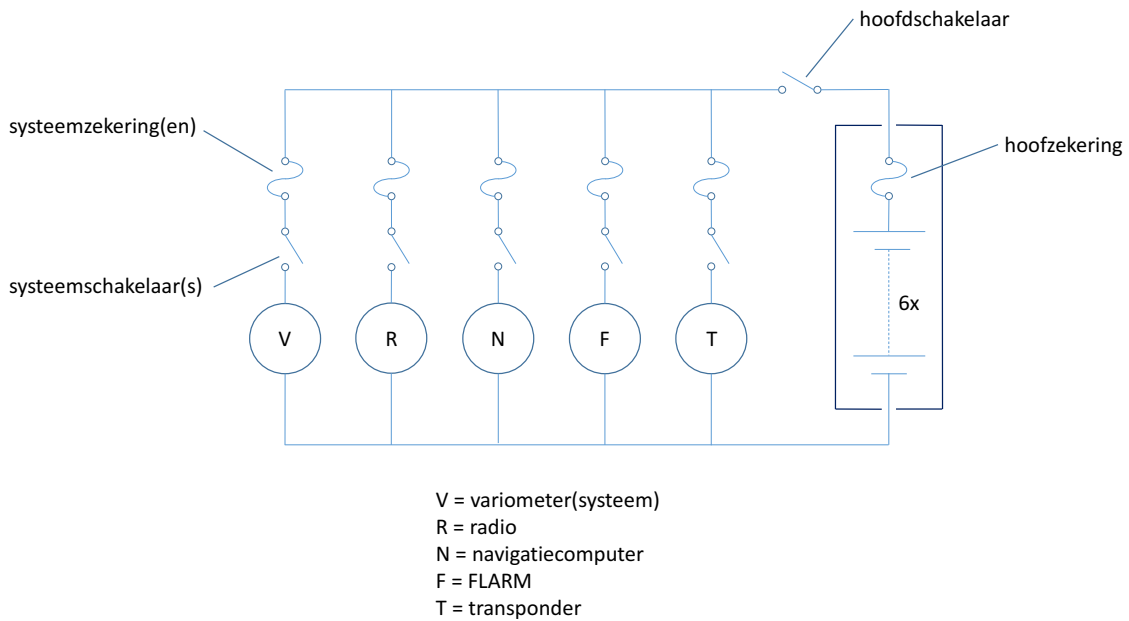
Als bescherming tegen de gevolgen van een te hoge stroom bevindt zich in de batterij een *smeltzekering*. Dit is een klein glazen buisje met daarin een dunne draad. Indien de stroom te hoog wordt zal de draadzekering doorsmelten waardoor de stroomkring wordt verbroken om schade te voorkomen.

De hoeveelheid stroom hangt dus af van de aangeboden spanning en de weerstand. Dit komt tot uitdrukking in de *Wet van Ohm* welke kan worden opgeschreven als $I = U/R$. Hier staat dat als bij gelijkblijvende weerstand R de spanning U toeneemt, de stroom I groter wordt. Hier staat ook dat als bij gelijkblijvende spanning U de weerstand R afneemt, de stroom I ook groter wordt.

Moderne batterijen kunnen hun spanning gedurende langere tijd min of meer constant houden waardoor de stroom zo goed als geheel afhankelijk is van de weerstand van de aangesloten stroomgebruikers.

6.3.2 Elektrisch systeem

Het elektrisch systeem wordt besproken aan de hand van een elektrisch schema van een generiek zweefvliegtuig. Zie daartoe afbeelding 6-21.



Afbeelding 6-21 Elektrisch systeem zweefvliegtuig

De gebruikers zijn allemaal aangesloten via een *hoofdschakelaar* op de pluspool van de batterij(en). Daarnaast heeft elke gebruiker een eigen aan/uit schakelaar.

Naast de hoofdzekering in/op de batterij heeft elke gebruiker heeft zijn eigen smeltzekering in het instrumentenpaneel. Deze smeltzekering beschermt de gebruiker tegen de gevolgen van een te hoge stroom.

Alle gebruikers staan dus aangesloten op 12 V. Afhankelijk van het aantal ingeschakelde gebruikers gaat er een stroom lopen van de pluspool van de batterij via de gebruikers terug naar de minpool van de batterij. Hoe meer ingeschakelde gebruikers tussen pluspool en minpool, hoe lager de weerstand en hoe hoger de stroom. Hoe hoger de stroom, hoe eerder de batterij leeg is. Een zwakker wordende batterij kondigt zich vaak aan doordat de radio niet meer wil zenden. Wanneer de zendknop wordt ingedrukt wordt dermate veel stroom gevraagd welke door de slechte conditie van de batterijcellen als gevolg van corrosie niet meer kan worden geleverd.

Aan het eind van een vliegdag dienen de batterijen te worden opgeladen. Dat gebeurt met speciale *batterijladers* die geschikt zijn voor het type batterij. Als men vergeet de batterij op te laden dan zal op een gegeven moment door vergaande corrosie van de cellen de batterij beschadigd raken waardoor deze niet langer volledig kan worden benut.

Naast de nog veel gebruikte loodzuurbatterij zijn er tegenwoordig ook *andere typen batterijen*. Naast de **Nikkelmetaalhydride** batterij is vooral de Lithium batterij sterk in opkomst. Vergeleken met de loodzuurbatterij hebben deze batterijen een lager gewicht en een hogere capaciteit.

Soms wordt voor de stroomlevering aan boord van zweefvliegtuigen een beroep gedaan op *zonnecellen*. In zonnecellen wordt licht via een chemische reactie omgezet in elektriciteit. Hiermee kan een batterij worden opgeladen of worden ontlast.

Hieronder wordt, soms kort, een beschrijving gegeven van de volgende elektrische stroomgebruikers:

- Elektrische variometer;
- Radio;

- Navigatiecomputer;
- FLARM;
- Transponder.

6.3.3 Elektronische variometer

Het grote nadeel van mechanische variometers is de traagheid in de aanwijzing waardoor men het 'stijgen' vaak eerder voelt dan ziet. Deze traagheid wordt deels veroorzaakt door (de wrijving van) het mechaniek maar komt grotendeels door het feit dat er eerst een drukverschil in het instrument moet opbouwen voordat het mechaniek hierop kan reageren. De mechanische wrijving kan worden voorkomen door gebruik te maken van elektrische sensoren, verwerking én aanwijzing. De eerste elektrische variometers maakten gebruik van twee *temperatuurafhankelijke elektrische weerstanden* welke achter elkaar zijn opgenomen in de luchtleiding tussen thermosfles en instrument. Tijdens een stijgvlucht stroomt er lucht uit de thermosfles naar buiten waardoor de ene weerstand meer wordt afgekoeld dan de andere. Tijdens de daalvlucht gebeurt het tegenovergestelde. Het verschil in weerstand resulteert in een elektrische stroom welke zonder tijdvertraging wordt verwerkt tot een aanwijzing met een elektrisch aangedreven mechanische wijzer.

Moderne, elektronische variometers gebruiken een *drukgevoelige sensor* en tonen de uitgerekende waarde op een beeldscherm. De voordelen van elektronische verwerking zijn legio. Naast de al eerdergenoemde snelle aanwijzing, kan men aanpassingen plegen aan schaalbereik, mate van compensatie voor knuppelthermie. Daarnaast kan men de verticale snelheid hoorbaar maken met geluidsignalen. Tot slot wordt genoemd de steeds verdergaande integratie met de moderne vluchtoptimalisatie- en navigatiecomputers. Nadeel is en blijft de afhankelijkheid van elektriciteit.



Afbeelding 6-22 Elektronische variometer

6.3.4 Radio algemeen

Een radio is een apparaat dat gebruik maakt van radiogolven om informatie te versturen en/of te ontvangen. Radiogolven zijn elektromagnetische golven met een bepaalde lengte die zich voortplanten met de snelheid van het licht (300.000 km/s). Het voortplanten van een korte golf kost minder tijd dan het voortplanten van een lange golf. In een seconde passen daarom meer korte golven dan lange golven. Het aantal golven per seconde heet *frequentie*. Frequentie (f) wordt uitgedrukt in de eenheid Hertz (Hz). In de luchtvaart worden radiofrequenties gebruikt van ettelijke duizenden tot ettelijke miljarden Hertz. Om te voorkomen dat men zeer grote getallen moet uitschrijven wordt met

voorvoegsels gewerkt. Het voorvoegsel kilo (k) staat voor duizend; het voorvoegsel Mega (M) staat voor miljoen en het voorvoegsel Giga (G) staat voor miljard.

Verder zijn de frequenties opgedeeld in frequentiebanden. De frequentieband van 30 tot 300 MHz is de Very-High Frequency (VHF) band. De daaropvolgende band van 300 tot 3000 MHz is de Ultra-High Frequency (UHF) band.

In een modern zweefvliegtuig bevinden zich tegenwoordig meerdere radio's. Dat zijn de communicatie radio, de navigatiecomputer, de FLARM en de transponder. Ook het noodbaken dat in sommige vliegtuigen kan worden aangetroffen is een radio.

6.3.5 Communicatieradio

De communicatieradio of kortweg 'radio' is een gecombineerde zend/ontvangstinstallatie welke wordt gebruikt voor spraakberichten. Het zenden met de radio kost relatief veel stroom hetgeen ten koste gaat van de laadstatus van de batterij(en). De communicatieradio maakt deel uit van de opleidingssyllabus van het vak 'Communicatie' en wordt aldaar verder besproken.

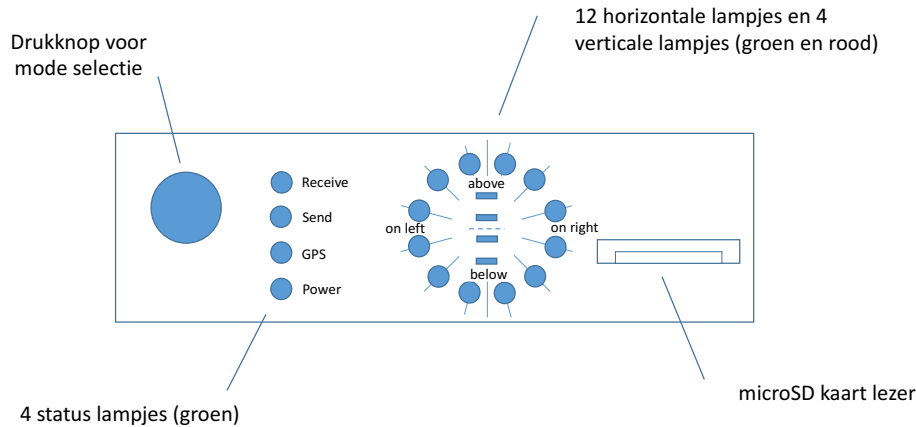
6.3.6 Navigatiecomputer

Zweefvliegtuigen beschikken in toenemende mate over een navigatiecomputer. Deze navigatiecomputer is gebaseerd op het gebruik van satellietnavigatie. Satellietnavigatie maakt gebruik van satellieten welke radiosignalen uitzenden waarmee een ontvanger diens positie, koers, snelheid en tijd kan vaststellen. Met een onderliggende elektronische (vlieg)kaart kan dan in twee, soms drie dimensies worden genavigeerd. De satellietontvanger maakt dus tegenwoordig deel uit van de navigatiecomputer. Het onderwerp 'Satellietnavigatie' maakt deel uit van de opleidingssyllabus van het vak 'Navigatie' en wordt om die reden hier niet verder besproken.

6.3.7 FLARM

FLARM (Flight Alarm) is primair een *anti-botsingsysteem* voor de kleine luchtvaart. Het geeft een zichtbare en hoorbare waarschuwing indien twee of meer met FLARM uitgeruste toestellen te dicht bij elkaar in de buurt komen. Elk FLARM beschikt daartoe over een ingebouwde *GPS satellietontvanger* welke de eigen positie (lengte, breedte en hoogte) van het vliegtuig meet. Op basis van opeenvolgende posities berekent FLARM dan ook nog koers en snelheid. Voor een zeer nauwkeurig hoogtemeting kan FLARM worden uitgerust met een druksensor. Positie, koers en snelheid worden vervolgens in intervallen van één seconde uitgezonden met een *bereik* van 3 tot 5 km. Andere vliegtuigen met FLARM ontvangen deze positie en vergelijken die met hun eigen positie, koers en snelheid. Indien op basis van deze vergelijking de tijdafstand tussen beide toestellen te krap wordt, klinkt een alarm.

In principe staat FLARM altijd aan. Op het bedieningspaneel van de FLARM bevindt zich een mode knop waarmee verschillende instellingen kunnen worden gepleegd (volume, type waarschuwing, test, etc.). Daarnaast bevinden zich een aantal 'status' lampjes. Het belangrijkste deel is echter het *aanwijsscherm* bestaande uit een verticale en cirkelvormige rij rode en groene lampjes. Deze zijn gegroepeerd ten opzichte van een (eigen) vliegtuigsymbool. De verticaal geplaatste lampjes geven een indicatie omtrent het relatieve hoogteverschil; de cirkelvormig geplaatste lampjes geven een indicatie omtrent het relatieve richtingsverschil. Zie afbeelding 6-23.



Afbeelding 6-23 FLARM paneel

FLARM kent een 'nearest' mode en een 'collision' mode. In de nearest mode wordt met behulp van groene lampjes de relatieve richting (horizontaal en verticaal) naar het meest dichtstbijzijnde toestel met FLARM aangewezen. Zodra FLARM detecteert dat op basis van snelheid en koers op korte termijn een botsing zou kunnen ontstaan, treedt de collision mode in werking en verandert de kleur van de lampjes naar rood en klinkt een geluidssignaal. Er moet dan meteen naar buiten worden gekeken in de richting die de FLARM aanwijst waarna een passende, correctieve actie door de vlieger moet volgen.

FLARM registreert tevens het verloop van de vlucht en is daarmee ook een *vluchtrecorder*. De vluchten kunnen worden opgeslagen op een geheugenkaart voor extern gebruik.

Daarnaast beschikt FLARM over een *databank* gevuld met obstakels. Wordt te dicht in de buurt gevlogen van een obstakel dan zal FLARM ook een waarschuwing geven. Je moet dan met name denken aan kabelbanen en hoogspanningsleidingen in bergachtig gebied. FLARM heeft hiermee ook de potentie om te waarschuwen voor het binnenvliegen van verboden (para spring) gebieden.

Opmerking

FLARM (Flight alarm) is bedoeld ter ondersteuning van het 'see-and-avoid' principe; niet als vervanging ervan! De vlieger is en blijft verantwoordelijk voor zijn eigen separatie met anderen!

6.3.8 Transponder

De transponder maakt het mogelijk dat (zweef)vliegtuigen zichtbaar zijn op de radar van de luchtverkeersleiding en van andere vliegtuigen waardoor het mogelijk is vliegtuigen ten opzichte van elkaar te separeren met als doel het voorkomen van botsingen in de lucht. De transponder is een verplicht instrument in een zgn. TMZ (transponder mandatory zone).

De transponder is een toepassing van radar. Radar staat voor 'radio detection and ranging', oftewel het kunnen detecteren van de richting en afstand naar een object met behulp van radiosignalen. Deze radiosignalen worden uitgezonden door een ondervrager (interrogator). In de basis zijn er twee typen radar: primaire radar en secundaire radar. Het gebruik van primaire radar is gebaseerd op het reflecterend vermogen van het object. Metaal reflecteert beter dan hout of kunststof. Een kunststof zweefvliegtuig is zeer moeilijk te detecteren. Bovendien kan met behulp van primaire radar meestal niet veel meer worden gedetecteerd dan richting en afstand. Bij primaire radar is het object dus een passieve antwoordgever. *Secundaire radar* daarentegen maakt gebruik van een actieve antwoordgever: de transponder. Bij secundaire radar wordt door de interrogator een gecodeerd ondervraagssignaal uitgestuurd welke door ingeschakelde transponders wordt beantwoord. Het type ondervraging is afhankelijk van de mode waarin het systeem werkt.

Mode-A

Een *Mode-A* ondervraging vraagt slechts naar de ingestelde *transponder code* (squawk code). Voor vluchten onder zichtvliegomstandigheden (VFR) in Nederland is dit code 7000. De transponder aan boord van zweefvliegtuigen moet altijd op deze code staan ingesteld. In andere landen kan dit een andere code zijn. Indien je de code opnieuw moet instellen is het belangrijk dat je weet dat er een aantal speciale code zijn codes die alleen onder zeer bijzondere omstandigheden mogen worden gebruikt. Dat zijn de codes 7500 (kaping), 7600 (communicatie storing) en 7700 (noodsituatie). Je kan je voorstellen dat als men op de grond één van deze codes van een vliegtuig ontvangt er allerlei hulpdiensten worden gewaarschuwd. Bij het zweefvliegen zijn er weinig situaties denkbaar die het gebruik van één van deze codes rechtvaardigen. Een kaping ligt niet voor de hand. Met communicatiestoring wordt bedoeld een storing in de verbinding met de verkeersleiding tijdens een vlucht in gecontroleerd luchtruim. Bij een noodsituatie moet je denken aan een probleem dat direct effect heeft op de vliegveiligheid.

Mode-C

Een *Mode-C* ondervraging vraagt naar de *drukhoogte* van het vliegtuig. De drukhoogte is de hoogte ten opzichte van het 1013,25 hPa vlak. Transponders in zweefvliegtuigen beschikken daartoe over een eigen, ingebouwde druksensor. De uitgezonden drukhoogte wordt op de transponder weergegeven in flight levels. FL65 betekent 6500 voet boven het 1013,25 hPa drukvlak. Omdat tijdens een lokale vlucht de hoogtemeter meestal staat ingesteld op QFE en tijdens een overlandvlucht op QNH, is deze extra aanwijzing van flight levels extreem nuttig voor het vaststellen van de verticale separatie met eventueel bovenliggend verboden luchtruim dat meestal wordt uitgedrukt in flight levels.

Mode-S

Tegenwoordig worden vliegtuigen ondervraagd in *Mode-S*. Mode-S combineert de Mode-A en -C ondervraging met extra vragen. Zo kan in Mode-S, naast de ingestelde transponder code en drukhoogte, ook worden gevraagd naar *type vliegtuig, registratie, positie, koers en snelheid etc.* Het type vliegtuig en registratie zijn voorgeprogrammeerd in de transponder. Positie, koers en snelheid kunnen eventueel worden verkregen via de navigatiecomputer.

ADS-B

Een zeer recente ontwikkeling is ADS-B. Dit staat voor Automatic Dependant Surveillance - Broadcast. In tegenstelling tot bij transponders, zendt ADS-B ongevraagd en met enige regelmaat bovengenoemde informatie uit. Er zijn dan geen ondervraagstations meer nodig. ADS-B maakt het mogelijk dat iedereen met een geschikte ontvanger deze informatie kan 'zien'. Dat zijn de verkeersleiders op de grond, maar ook de collega-vliegtuigen in de lucht. Op deze wijze kan ADS-B, net als FLARM, in de toekomst bijdragen aan het voorkomen van botsingen in de lucht.

Opmerking

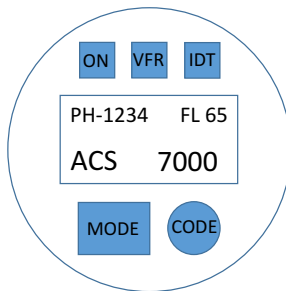
Tegenwoordig zijn er Internetsites die de gegevens van transponder met of zonder ADS-B en FLARM tonen op een onderliggende kaart.

Operationeel gebruik

Afhankelijk van de uitvoering vind je op het bedieningspaneel van de transponder één of meerdere knoppen met de volgende standen (zie ook afbeelding 6-24):

- ON
 - Met deze knop wordt de transponder aan/uit gezet.
- VFR
 - Met de 'VFR' knop kan in één keer worden overgeschakeld op een vooraf ingeprogrammeerde VFR code. In Nederland is dat 7000, maar zoals eerder genoemd kan dit per land verschillen.

- IDT (ident)
 - Alleen als de luchtverkeersleiding jou de opdracht 'squawk ident' geeft, druk je deze knop in. Gedurende een korte periode is jouw transponder dan extra goed zichtbaar op het radarscherm bij de verkeersleiding. Op deze wijze kan de verkeersleiding snel een bepaald vliegtuig terugvinden op een vaak druk bezet scherm.
- Mode
 - SBY
 - De transponder staat aan maar reageert niet op ondervragingen. Het wordt aangeraden deze stand na de landing te selecteren en pas bij de cockpitcheck de transponder weer te activeren. Op deze wijze kan men de batterij sparen.
 - A
 - De transponder reageert alleen op Mode-A ondervragingen (ingestelde squawk code). Soms wordt deze stand ook wel ON genoemd. Deze stand wordt alleen gebruikt op verzoek van de verkeersleiding als de uitgezonden hoogte informatie onbetrouwbaar blijkt te zijn.
 - C
 - De transponder reageert op Mode-A en op Mode-C ondervragingen. Deze stand wordt ook wel ALT (van altitude) genoemd.
 - S
 - De transponder reageert op Mode-A, -C en -S ondervragingen.
- Code
 - Met de code knop kan de vier-cijferige transpondercode worden veranderd.



Afbeelding 6-24 Transponder paneel

7 Montage van Zweefvliegtuigen en Aansluiten van Roeren

In tegenstelling tot motorvliegtuigen, zijn zweefvliegtuigen ontworpen om snel en makkelijk te kunnen worden ge(de)monteerd teneinde in een aanhanger (trailer) over de weg vervoerd te kunnen worden. In eerdere hoofdstukken is al aandacht besteed aan de bevestiging van draagvlakken aan de romp én aan de aansluiting van roeren. Hieronder volgen dan nog enkele praktische tips.

Toegevoegd aan dit hoofdstuk is een algemene beschrijving van een dagelijkse inspectie.

7.1 Montage en aansluiten roeren

Los van de aanwijzingen uit het vlieghandboek, zijn bij het monteren van een zweefvliegtuig de volgende algemene regels van belang:

- Zorg voor voldoende mensen of maak gebruik van een zogenaamde ‘tilhulp’ en/of vleugelsteunen.
- Het kost maar weinig moeite bouten, pennen en boutgaten vóór de montage schoon te maken en van een weinig vet te voorzien. Men ziet dan meteen of deze vitale delen nog schoon, gaaf en spelingsvrij zijn.
- Na montage van vleugels en stabilo verdient het aanbeveling om meteen de roeren aan te sluiten. Hoewel bij moderne zweefvliegtuigtypen de vleugels, staartvlakken en roeren steeds vaker ‘automatisch’ dan wel met behulp van snelsluitingen worden aangesloten, wordt toch nog hier en daar gebruik gemaakt van losse bouten met moeren en splitpennen en/of Fokkerspelden. In die gevallen geldt de volgende “gouden regel” uit de luchtvaart: bouten altijd van boven af of van voren insteken, zodat de boutknop (of handgreep) zich aan de bovenzijde respectievelijk voorzijde bevindt. Als in een enkel geval om constructieve redenen van deze regel moet worden afgeweken, behoort dit duidelijk in het montagevoorschrift te zijn vermeld.
- Gebruik bij voorkeur steeds nieuwe afplakband op een schoon oppervlak bij het afdichten van de naden tussen romp en vleugels/stabilo.
- In de aanhanger rust de romp meestal op een karretje welke via rails naar buiten getrokken kan worden. Het rompkarretje biedt stabiliteit tijdens wegtransport maar ook tijdens (de)montage. Tijdens wegtransport is het intrekbare hoofd wiel ingeklapt maar voordat de romp weer van het karretje wordt gehaald dient het wiel te worden uitgeklaapt en vergrendeld.

7.2 Dagelijkse Inspectie

De dagelijkse inspectie van een zweefvliegtuig staat beschreven in het vlieghandboek. Bij deze inspectie dient men aan een aantal voorgeschreven punten aandacht geven. Men kan dit het beste doen door bij de cockpit te beginnen en vervolgens een inspectieronde om het vliegtuig te lopen. Als voorbeeld wordt de dagelijkse inspectie van een ASK-21 – summier – beschreven. **Gebruik voor de dagelijkse inspectie altijd het door de fabrikant voorgeschreven inspectieschema uit het vlieghandboek, zie volgende hoofdstuk (8).**

Opmerking

Het wordt ten eerste aangeraden de inspectieronde niet te onderbreken. Ook wordt aangeraden de dagelijkse inspectie te laten uitvoeren door iemand die niet betrokken is geweest bij montage van het vliegtuig.

- Romp voor
 - Uiterlijk op beschadigingen.

- Neuswiel niet beschadigd, op spanning en vrije loop.
- Pitotbuis vrij van obstructies.
- Neushaak juiste werking.
- Cockpit
 - Kappen: schoon, sluitmechanisme, beschadigingen, raammechanisme en “draadje”.
 - Vreemde, losse voorwerpen verwijderd. **Kijk ook onder de kussens.**
 - Riemen aanwezig, juiste werking, schoon en niet beschadigd.
 - Stuurorganen: volledige uitslag van de roeren controleren. Zowel de roeren als de remkleppen laten vasthouden en controleren op juist functioneren onder belasting. **Controleer tevens de plastic hulzen in de s-vormige buizen van de voetpedalen.**
 - Instrumenten: Controle drukmeetinstrumenten zoals snelheidsmeter, hoogtemeter en variometer. Controle kompas en slipmeter. Batterijen installeren en aansluiten. Hoofdschakelaar aan en test van elektrische gebruikers zoals variometer, radio (denk aan radiocheck), navigatie, FLARM en Transponder (juiste code en ‘standby’ modus).
- Romp midden
 - Hoofdbouten op **bevestiging en borging** controleren.
 - Aansluitingen en **borging** van de rolroeren en de remkleppen in de romp controleren.
 - Achterste vleugelbouten op juiste montage en borging controleren.
 - Hoofdwiel niet beschadigd, op spanning en vrije loop.
 - Wielrem controleren. Bij het trekken aan de remklephandel dient op het laatste gedeelte een elastische weerstand voelbaar te zijn.
 - Zwaartepunthaak inclusief steunring dienen soepel open en dicht te gaan, inclusief daadwerkelijke controle door voorloopstuk aan te haken.
- Linker vleugel
 - Linker vleugeloppervlak zowel boven als onder controleren op beschadigingen of vervormingen.
 - Linker rolroer controleren op uiterlijk, vrije loop en speling.
 - Stootstangaansluiting controleren.
 - Remkleppen controleren op uiterlijk, functioneren en vergrendeling.
- Romp achter inclusief staart
 - Controleren op beschadigingen of vervormingen, vooral aan de onderkant.
 - Stabilo met hoogteroer controleren op uiterlijk, speling, juiste montage en borging.
 - Aansluitingen hoogteroer en richtingsroer controleren op vrije loop en speling.
 - Staartslof controleren op bevestiging en aanwezigheid slijtplaatje.
 - TE buis controleren op (juiste) bevestiging.
 - Statische poorten controleren op verstopping.
- Rechter vleugel
 - Zie linker vleugel.

8 Handboeken en Documenten

Dit hoofdstuk gaat voornamelijk over de technische “papieren” aan boord van het zweefvliegtuig. Naast het vlieghandboek, zijn dit het Journaal, het BvI, het ARC, de radiovergunning, het weegrapport, het verzekeringscertificaat en, in het geval van een aanwezige motor die geschikt is voor een zelfstart, het geluidcertificaat. Hoofdstuk 8 zal dieper ingaan op de onderhoudsgerelateerde documenten. Hieronder wordt met name aandacht besteed aan het vlieghandboek en slechts kort aan de overige boorddocumenten.

8.1 Vlieghandboek

Bij elk zweefvliegtuig hoort een goedgekeurd *vlieghandboek* dat aan boord kan worden opgeborgen. Het vlieghandboek geeft uitleg over het veilig gebruik van het zweefvliegtuig. Het navolgende overzicht geeft een voorbeeld-indeling van een willekeurig vlieghandboek.

Algemeen (General)

Omdat er pagina's kunnen worden aangepast, begint het boek altijd met een overzicht van geldige pagina's (list of effective pages).

Limieten (Limitations)

Dit zijn operationele limieten betreffende (aangewezen) snelheden, gewichten, zwaartepuntligging, toegestane manoeuvres, belastingfactoren, soort operatie (VFR, wolkenvliegen incl. noodzakelijke apparatuur), startmethoden (kabelengte, breukstuk), motor, waarschuwingsstikkens en gebruik van waterballast.

Normale- en Noodprocedures (Normal and Emergency Procedures)

Operationele gegevens en procedures (normaal en nood) betreffende: de overtreksnelheid, extreem hoogteverlies bij herstel van manoeuvres, tolvlucht eigenschappen, (begin)snelheden voor toegestane manoeuvres, slipeigenschappen tijdens landing, het starten en gebruik van de motor in de lucht, totale hoeveelheid brandstof, gebruik eventuele hoofdsteun en waterballast.

Prestaties (Performance)

Dit is prestatie gerelateerde informatie betreffende de kalibratie van de snelheidsmeter, de gedemonstreerde zijwind (component) en de invloed van afwijkingen van luchtdichtheid en baangesteldheid op de start.

Belading (Weight & Balance / Equipment List)

Belading zoals leeggewicht en de bijbehorende positie van het zwaartepunt. Maar ook informatie over invloed waterballast en andere apparatuur op het zwaartepunt. Let op: Voor een actueel overzicht van gewichten en zwaartepuntligging dient men altijd het weegrapport te raadplegen!

Beschrijving van het zweefvliegtuig en diens systemen (Sailplane and Systems Description)

Hier wordt in dit hoofdstuk niet nader op ingegaan aangezien hier in voorgaande hoofdstukken ruimschoots aandacht aan is besteed.

Omgang, Zorg en Onderhoud (Handling, Care & Maintenance)

Hier wordt onder andere aandacht besteed aan de (de)montage van het zweefvliegtuig en de dagelijkse inspectie.

Supplementen (Supplements)

Op het eind van het handboek bestaat de mogelijkheid om één of meerdere supplementen met extra informatie toe te voegen.

Opmerking

‘Warning’, ‘Caution’ en ‘Note’

In het vlieghandboek wordt gewerkt met standaarduitdrukkingen om voor een specifieke situatie aandacht te vragen. Bij een ‘Warning’ (waarschuwing) zal het niet volgen van de betreffende procedure leiden tot een onmiddellijke of aanzienlijke degradatie van de vliegveiligheid. Bij een ‘Caution’ (pas op) leidt het niet volgen van de procedure (op termijn) tot een degradatie van de vliegveiligheid. Een ‘Note’ (let op) vraagt aandacht voor iets belangrijks of ongewoons dat niet direct is gerelateerd aan de vliegveiligheid.

8.2 Overige documenten

Journal (vliegtuiglogboek)

In het *Journal* wordt het aantal starts en vliegreizen bijgehouden. Door dit consequent bij te houden ontstaat een goed overzicht van het aantal uren tot de volgende inspectie. Tevens worden in het Journal klachten en defecten gemeld. Let op: met een klacht kan gevlogen worden, met een defect niet. Indien een defect niet meteen kan worden verholpen kan deze door een bevoegd technicus op de lijst met uitgestelde defecten worden geplaatst. Zie voor meer informatie hoofdstuk 8.

Bewijs van Inschrijving (BvI)

Het *Bewijs van Inschrijving* (BvI) geeft aan dat het zweefvliegtuig staat ingeschreven in het Nederlandse luchtvaartregister (type, registratie en eigenaar). De inschrijving is eenmalig en wordt pas verwijderd als het vliegtuig weer wordt uitgeschreven. Dit gebeurt bijvoorbeeld na verkoop naar het buitenland of als het toestel definitief niet meer luchtwaardig is.

Airworthiness Review Certificate

De *Airworthiness Review Certificate* (ARC) is de opvolger van het “oude” Bewijs van Luchtwaardigheid (BvL). Na een eerste luchtwaardigheidskeuring wordt dit ‘certificaat’ afgegeven. Vervolgens dient er elke 12 maanden een herkeuring plaats te vinden welke moet kunnen worden aangetoond middels een geldig ‘review’ document. Meer hierover in hoofdstuk 8 Luchtwaardigheid en Onderhoud.

Onderhoudsverklaring

De *Onderhoudsverklaring* is een document waarin staat vermeld wanneer het volgende, geplande onderhoud dient te worden uitgevoerd. Dit kan zijn op datum of op vliegreizen. Zie ook hoofdstuk 8 Luchtwaardigheid en Onderhoud.

Vergunning gebruik recreatieve luchtvaartfrequenties

Communicatie- en navigatieradio's in luchtvaartuigen maken gebruik van een deel van de beschikbare radiofrequentieruimte. Voor dit gebruik is per luchtvaartuig een internationale ‘Aircraft Radio Station License’ (ARSL) vereist. Indien slechts gebruik wordt gemaakt van de recreatieve luchtvaartfrequenties (zie hoofdstuk 6 Instrumenten) is een ‘Vergunning Categorie Recreatieve Luchtvaartfrequenties’ voldoende. Onder deze vergunning valt ook het gebruik van de transponder, maar niet van een eventueel noodbaken, de z.g. Emergency Locator Transmitter (ELT). De vergunning wordt voor vijf jaar afgegeven door het Agentschap Telecom in Groningen en is alleen geldig binnen Nederland. Wil je ook gebruik maken van de andere luchtvaartfrequenties, dan dien je alsnog een vergunning in de categorie ‘Beperkte- of volledige toegang’ aan te vragen; de ARSL zit hierbij in. Het hebben van een ARSL ontslaat de gebruiker van de radio niet van het hebben van een radiotelefoniebevoegdheid indien deze met de radio wil zenden op andere dan de vrijgegeven zweefvliegfrequenties.

Actuele informatie omtrent spectrumgebruik voor luchtvaartuigen in het algemeen en zweefvliegtuigen in het bijzonder, kan je vinden op de website van Agentschap Telecom (www.agentschaptelecom.nl).

Weegrapport

Het *Weegrapport* geeft actuele informatie over gewicht en zwaartepuntligging. Dit weegrapport wordt, in tegenstelling tot het 'weight & balance sheet' uit het vlieghandboek, wél bijgehouden. Na een belangrijke reparatie of wijziging dient het rapport opnieuw te worden opgemaakt. Afhankelijk van hetgeen de fabrikant voorschrijft is het rapport maximaal 4 à 5 jaar geldig. Meer informatie over de invloed van gewicht op zwaartepunt wordt gegeven in hoofdstuk 4 Gewicht en balans.

Geluidcertificaat

Zweefvliegtuigen met een "zelfstarter" als hulpmotor dienen te beschikken over een *Geluidcertificaat* waarin staat aangegeven in welke geluidsklasse zij vallen. Zweefvliegtuigen met een zogenaamde "thuiskomer" als hulpmotor zijn hiervan vrijgesteld omdat deze, op de grond gemeten, weinig tot geen geluid produceren. Deze vrijstelling staat dan weer in een mee te voeren verklaring.

WA-verzekeringscertificaat

Het *WA-verzekeringscertificaat* is het jaarlijkse bewijs dat het zweefvliegtuig verzekerd is voor schade aan derden. Deze WA-verzekering verzekert alle schade waarvoor je wettelijk aansprakelijk bent, dus niet de schade aan je eigen vliegtuig.

9 Luchtwaardigheid en Onderhoud

Dit hoofdstuk gaat over luchtwaardigheid en het onderhouden ervan. De onderliggende vraag daarbij is: wanneer is het zweefvliegtuig wél of niet luchtwaardig?

9.1 Algemeen

Een nieuw zweefvliegtuig dat na een uitgebreide keuring en beproeving voldoet aan de EASA luchtwaardigheidseisen zoals verwoord in CS-22 ontvangt een *type-certificaat*. Dit type-certificaat is geldig in de landen die zijn aangesloten bij de Europese Unie maar kan ook worden overgenomen door andere landen. Soms komt het voor dat een niet-aangesloten land aanvullende eisen stelt en op basis daarvan een eigen type certificaat introduceert. Op basis van het type-certificaat kan een eventuele seriebouw plaatsvinden. Elk volgend vliegtuig van die serie ontvangt na vele kwaliteitsinspecties en een proefvlucht een goedkeuring van de fabriek waarmee, op basis van het type certificaat, een luchtwaardigheidscertificaat kan worden aangevraagd.

Dit luchtwaardigheidscertificaat heet tegenwoordig een *ARC (Airworthiness Review Certificate)*. Een ARC wordt steeds voor 12 maanden afgegeven namens een *CAMO (Continuing Airworthiness Management Organisation)*. In Nederland is dit de KNVvL afdeling Zweefvliegen. Deze organisatie beschikt over inspecteurs (*Airworthiness Review Inspectors: ARI's*) die de luchtwaardigheid beoordelen aan de hand van een technische keuring en een beoordeling van de technische administratie.

De technische administratie omvat -onder andere- een goedgekeurd *onderhoudsprogramma (Aircraft Maintenance Program: AMP)* plus documenten die aantonen dat het vliegtuig voldoet aan alle luchtwaardigheidseisen. Te denken valt aan het ARC, het journaal, de onderhoudsverklaring, het vrijgave document maar ook de status van verplichte inspecties (*Airworthiness Directives: AD's*) en/of modificaties (*Service Bulletins: SB's*). Het gehele scala aan onderhoud bestaat dus uit inspecties, modificaties, reparaties met bijbehorende administratie.

Het onderhoudsprogramma en het onderhoud zijn de verantwoording van de eigenaar. Het onderhoudsprogramma moet zijn goedgekeurd door een AMP Inspector (AMPI) welke ook onder de CAMO valt. Naast het goedgekeurde onderhoudsprogramma dient de eigenaar ook te zorgen voor de tijdige uitvoering van het onderhoud door de juiste personen. In die zin kent men de volgende categorieën onderhoud: pilot/owner maintenance (POM), non-complex maintenance en complex maintenance. Vlieger/eigenaar onderhoud kan bestaan uit kleine, simpele klussen welke beschreven zijn in het AMP waarna de vlieger/eigenaar zelf het vliegtuig weer luchtwaardig verklaart middels een 'certificate of release to service'. Dit gaat dus verder dan de inspectie na montage; denk bijvoorbeeld aan het wisselen van een wiel. Het overige (non) complexe onderhoud dient altijd te worden uitgevoerd door een bevoegd technicus.

Verdieping

Op dit moment beschikken de technici nog over een Aircraft Maintenance License (AML) met bevoegdheden A, B en/of C. De A-bevoegdheid geldt voor algemene werkzaamheden, de B-bevoegdheid is voor motoren, en de C-bevoegdheid is voor elektronica. Met de invoering van een nieuwe onderhoudscategorie voor vliegtuigen onder de 1000 kg (de European Light Aircraft: ELA-1) probeert EASA het onderhoud voor deze groep vliegtuigen beter toe te snijden op de doelgroep. De komende jaren worden de technicus bevoegdheden omgezet naar een EASA Part-66L bevoegdheid. Hiermee kan een technicus ook in de toekomst onderhoud blijven uitvoeren aan zweefvliegtuigen voor niet-commercieel gebruik.

9.2 Inspecties

Teneinde voor een ARC in aanmerking te komen, dient men het goedgekeurde onderhoudsprogramma te volgen. Dit onderhoudsprogramma is gebaseerd op de door de fabrikant voorgeschreven inspecties met bijbehorend intervallen.

De meest bekende inspectie is de *dagelijkse inspectie*. Deze dient voorafgaand aan de eerste vlucht van de dag, maar ook na montage, te worden uitgevoerd. Iedereen in het bezit van een geldig LAPL(S) of SPL mag deze inspectie uitvoeren en aftekenen. Hierbij wordt opgemerkt dat deze inspectie moet worden afgetekend door een instructeur of technicus zodra het toestel gevlogen gaat worden door een solist. In de bijlage vind je een voorbeeld van de dagelijkse inspectie van een ASK-21.

Meestal vindt tijdens de winterstop de *jaarinspectie* plaats. Deze inspectie wordt uitgevoerd en afgetekend door een bevoegd technicus.

De meeste fabrikanten kennen daarnaast nog tussentijdse inspecties voor zaken die niet kunnen wachten tot de jaarinspectie. Deze inspecties die op *vliegreizen*, op *starts/landingen (cycles)* of op *kalenderbasis* gaan, worden ook uitgevoerd en afgetekend door een bevoegd technicus.

Naast deze voorgeschreven routine inspecties zijn er de bijzondere en/of speciale inspecties zoals na overbelasting (bijvoorbeeld na een harde landing of grondzwaai) of een extra inspectie op aangeven van de fabrikant.

9.3 Technische administratie

De *technische administratie* van het vliegtuig bevindt zich slechts gedeeltelijk aan boord en moet tenminste drie jaar, goed beschermd worden bewaard. In de navolgende paragrafen worden - nogmaals - de belangrijkste documenten uit de technische administratie beschreven.

ARC

Het ARC is het luchtwaardigheidscertificaat en is zoals eerder beschreven 12 maanden geldig na een inspectie van vliegtuig en technische administratie.

Journal (vliegtuiglogboek)

Het juist invullen van het *Journal* is belangrijk om tijdig onderhoud te kunnen plannen. Door het aantal starts en uren te totaliseren ontstaat een goed inzicht in het aantal uren tot de volgende inspectie. Het journal bevindt zich daarom altijd aan boord van het vliegtuig.

Het Journal is ook de plek om *klachten en defecten* te noteren en administratief af te handelen. Een klacht is een gebrek welke de luchtwaardigheid niet beïnvloedt. Denk aan een waterkraan die niet dicht wil. Een defect is een gebrek welke de luchtwaardigheid wél beïnvloedt zoals bijvoorbeeld een scheur ter hoogte van de kleppenkast. Brevethouders bepalen zelf of een gebrek een klacht of een defect is; bij twijfel raadpleegt men altijd een technicus. Zolang het defect niet is afgehandeld door een technicus, is het vliegtuig niet luchtwaardig. De technicus kan er voor kiezen een defect meteen te verhelpen of deze op een lijst met *uitgestelde defecten* te plaatsen. Indien de scheur uit het vorige voorbeeld slechts een lakscheur blijkt, kan de technicus besluiten de scheur af te plakken en de lakreparatie uit te stellen tot het winteronderhoud.

Onderhoudsverklaring

In de *Onderhoudsverklaring* staat wanneer het eerstvolgende onderhoud dient te worden uitgevoerd. Men kan dit controleren aan de hand van de urenstaat uit het journal. Het document bevindt zich

dan ook in de map met vliegtuigpapieren aan boord van het vliegtuig. Is het vliegtuig aan onderhoud toe, dan is het niet langer luchtwaardig.

Vrijgavedocument

Het *Vrijgavedocument* is een document dat, zoals de naam al aangeeft, het vliegtuig weer vrijgeeft na een reparatie of modificatie. Het document maakt deel uit van de technische administratie welke zich niet aan boord bevindt.

10 Motoren en Propellers

10.1 Algemeen

Tegenwoordig beschikken steeds meer zweefvliegtuigen over een hulpmotor, in de volksmond nogal eens “Turbo” genoemd. Afhankelijk van het vermogen is deze motor geschikt om zelfstandig mee te kunnen starten (de ‘zelfstart’ functie) of om tijdens de vlucht afstand te overbruggen zonder hoogteverlies (de ‘thuisom’ functie). Sommige “thuiskomers” kunnen worden gebruikt om tijdens de grondrol van de sleepstart vlotter te accelereren en daardoor eerder los te komen van de grond.

Een motor is een apparaat dat kinetische (bewegings) energie produceert. Zweefvliegtuigen maken gebruik van twee typen motor: de elektromotor en de verbrandingsmotor.

10.2 Elektromotor

De *elektromotor* zet elektrische energie rechtstreeks om in het laten ronddraaien van een as. Op die as is dan een propeller bevestigd welke een bepaalde massa-hoeveelheid lucht (m) naar achteren versnelt (a). Dit resulteert volgens Newton in een kracht $F = m \cdot a$. Volgens diezelfde Newton ontstaat er dan een even grote, doch tegengestelde reactie. Dat is de trekkracht T welke het vliegtuig naar voren wil trekken. Bij dit proces zijn er minimaal energieverliezen.

Ook de bediening is uiterst simpel. Er is een knop om de motor te laten uit- en inklappen. Ook dat gebeurt met een elektromotor. De vermogensregeling gebeurt door het regelen van het toerental van de motor met een andere knop. De noodzakelijke energie komt uit een zwaar batterijpakket dat zich in de buurt van het zwaartepunt bevindt.

Naast een *elektrische klapmotor* is er tegenwoordig ook de zogenaamde ‘front electric sustainer’ (FES) waarbij een propeller in de neus door centrifugaalkrachten naar buiten wordt getrokken zodra de motor wordt aangezet.



Afbeelding 10-1 Elektrische klapmotor (Antares) en FES

10.3 Verbrandingsmotor

De *verbrandingsmotor* zet chemische (brandstof) energie, via verbranding, om in hitte/warmte. Hierdoor zet de lucht uit en neemt de druk toe. De toegenomen druk kan op twee manieren worden gebruikt. Men onderscheidt daartoe de zuigermotor en de turbinemotor.

10.3.1 Zuigermotor

Bij een *zuigermotor* wordt de druk gebruikt om één of meerdere *zuigers in cilinders* omlaag te drukken hetgeen via een overbrengmechanisme resulteert in het ronddraaien van een (*kruk*)*as*. Op die as kan dan weer een propeller worden bevestigd. Dit proces vereist meer stappen dan bij een elektromotor. Dientengevolge zijn de energieverliezen groter dan bij een elektromotor.



Afbeelding 10-2 Zuigermotor op een zweefvliegtuig (Ventus 2cxt)

10.3.2 Turbinemotor

Bij een *turbinemotor* wordt een (klein) deel van de druk gebruikt om een luchtstroming op gang te brengen over een turbine welke hierdoor gaat draaien (vergelijk met een windturbine). De turbine wordt op zijn beurt gebruikt om een compressor aan te drijven welke de inlaatlucht comprimeert. Hierdoor zal het rendement van de verbranding toenemen. De verbrandingsgassen zullen na de turbine de motor verlaten via een steeds smaller wordende uitlaatbuis. Hierdoor zal de massa-hoeveelheid lucht (m) een versnelling (a) krijgen. Aldus ontstaat een kracht $F = m \cdot a$ met als reactie een trekkracht T . Het voordeel van dit type motor is dat de lucht zonder tussenkomst van een propeller wordt versneld. Hierdoor zijn er minder energieverliezen. Aan de andere kant zijn er energieverliezen door de wrijving van de zeer hoge uitstroomsnelheid met de omgevingslucht (hetgeen goed hoorbaar is).

Opmerking

Vaak staat de motor enigszins scheef om te voorkomen dat de hete uitlaatgassen het kielvlak raken.

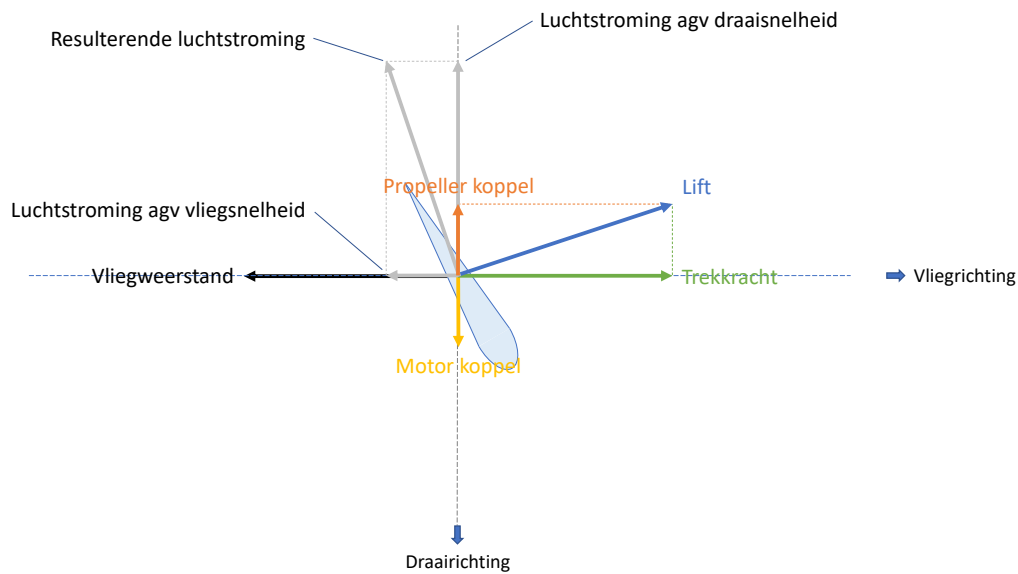


Afbeelding 10-3 Turbinemotor op een zweefvliegtuig (Duo Discus)

10.4 Propellers

Een *propeller* is een ronddraaiend stelsel van bladen met als taak het creëren van trekkracht. De bladen hebben de aerodynamische vorm van een vleugelprofiel. Daar waar een vleugelprofiel wordt aangeblazen door de luchtstroming, moet de propeller voor zijn eigen luchtstroming zorgen. Dit gebeurt door het laten ronddraaien van de propeller door een motor. De aldus ontstane luchtstroming over de propeller genereert, net als bij een vleugel, lift, zie afbeelding 10-4.

De lift staat per definitie loodrecht op de binnenkomende luchtstroming. Deze lift genereert de trekkracht. De trekkracht staat in de vliegrichting. Daarnaast produceert de propeller weerstand. Deze weerstand staat in de draairichting. Als de weerstand van de propeller gelijk is aan de kracht die de motor levert, dan blijft het toerental constant. Neemt de motorkracht toe door gas te geven, dan zal het toerental toenemen. Hierdoor neemt de propeller weerstand ook toe totdat er weer evenwicht is tussen motorkracht en propeller weerstand.



Afbeelding 10-4 Motor-aangedreven propellerblad tijdens de vlucht

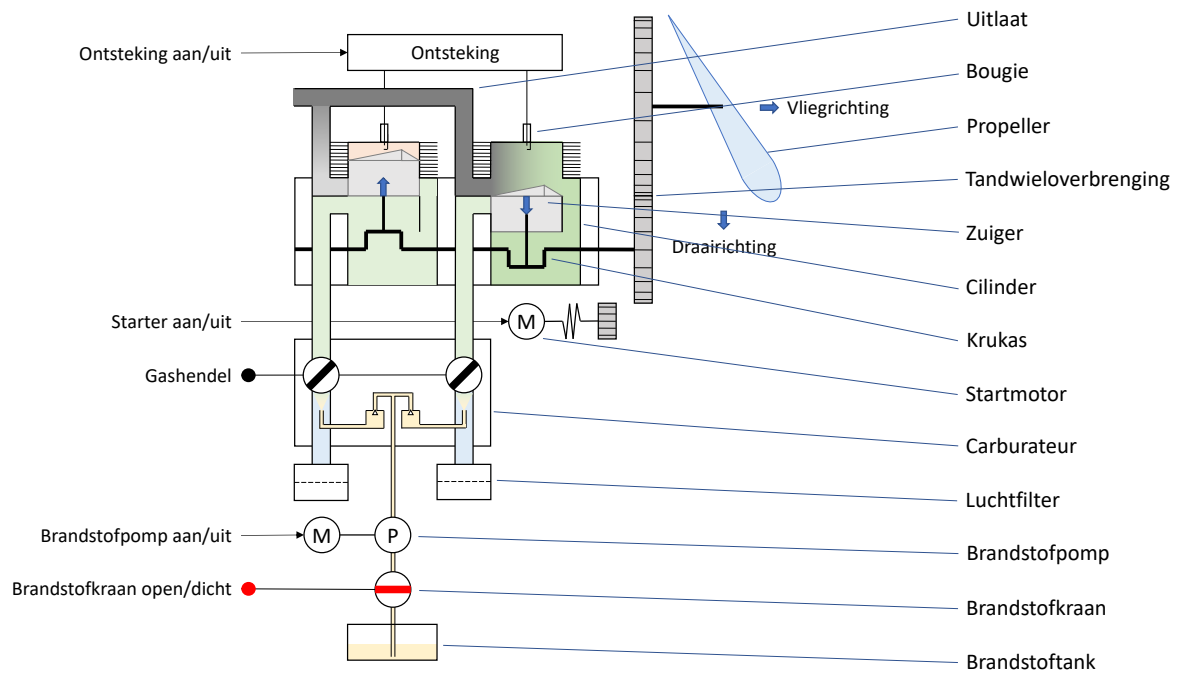
Opmerking

Bij het versnellen tijdens de startaanloop zal door de toenemende voorwaartse snelheid de propeller steeds meer worden aangeblazen. Hierdoor krijgt de motor het makkelijker en zal het toerental willen toenemen. Omdat juist bij de startaanloop al vaak een maximaal toerental staat geselecteerd moet je oppassen dat hierdoor het maximale toerental niet wordt overschreden. Een te hoog toerental leidt tot schade aan motor én propeller.

Tandwiel of riem

Het optimale toerental van de propeller is vaak lager dan dat van de motor. Dit lost men op met een *vertragende tandwiel- of riemoverbrenging*. Het (tand)wiel op de krukas is dan kleiner dan het (tand)wiel op de propelleras.

10.5 Werking tweetakt zuigermotor



Afbeelding 10-5 Tweecilinder tweetakt-zuigermotor

De tweetakt zuigermotor bestaat uit één of meerdere cilinders met daarin zuigers die alle verbonden zijn met een centrale krukas. De krukas is een as met zijwaartse verspringingen welke de heen en weer gaande beweging van de zuigers omzet in een rotatie. De propeller is vervolgens via een overbrengmechanisme aangesloten op de krukas. Vergelijk met de trappers van een fiets waarvan de op- en (vooral) neergaande beweging wordt omgezet in de rotatie van de trapas en daarna via een aandrijfketting de rotatie van het achterwiel.

De noodzakelijke kracht om de krukas aan te drijven komt van de hoge druk die ontstaat bij de verbranding van een brandstof-lucht mengsel in een verbrandingskamer boven de zuiger. Dit mengsel wordt aangestoken door de vonk van een bougie op het moment dat de zuiger helemaal 'boven' staat. Zodra de zuiger met kracht omlaag wordt bewogen zal deze de krukas in werking zetten. Op datzelfde moment zal deze beweging het nieuwe mengsel dat reeds in de ruimte (onderkamer) onder de zuiger gereed stond, via een zijkanaal omhoog worden geperst richting verbrandingskamer (bovenkamer). Als de zuiger bijna helemaal onderin staat, komen er twee openingen vrij. De ene opening laat het nieuwe, voorgecomprimeerde mengsel toe tot de verbrandingskamer; de andere opening laat de verbrandingsgassen ontsnappen richting de uitlaat. Wanneer, door de draaiing van de krukas, de zuiger weer omhoog begint te bewegen, worden beide openingen weer afgesloten en zal het zojuist ingelaten mengsel verder worden gecompriëerd. Tijdens deze opgaande beweging komt er nu aan de onderkant een opening vrij waardoor er in de ruimte onder de zuiger een onderdruk ontstaat, welke van buitenaf alvast een nieuw brandstof luchtmengsel aanzuigt.

Één arbeidscyclus kost dus twee bewegingen ook wel genoemd 'slagen' of 'takten' van de zuiger. In die twee slagen draait de krukas één keer rond. Tijdens elke volgende omwenteling van de krukas zal er weer een arbeidscyclus plaatsvinden.

In het geval van meerdere cilinders op één krukas zullen hun zuigers achter elkaar hun vrijgekomen verbrandingsenergie aanbieden om de krukas te laten draaien. Dit voor een gelijkmatiger loop van de motor.

Ontsteking

De bougie bestaat uit twee elektroden waarover een zeer hoge elektrische spanning wordt gezet op het moment dat de zuiger boven in de verbrandingskamer van de cilinder staat. Deze spanning resulteert in een krachtige vonk die het brandstof-luchtmengsel aansteekt.

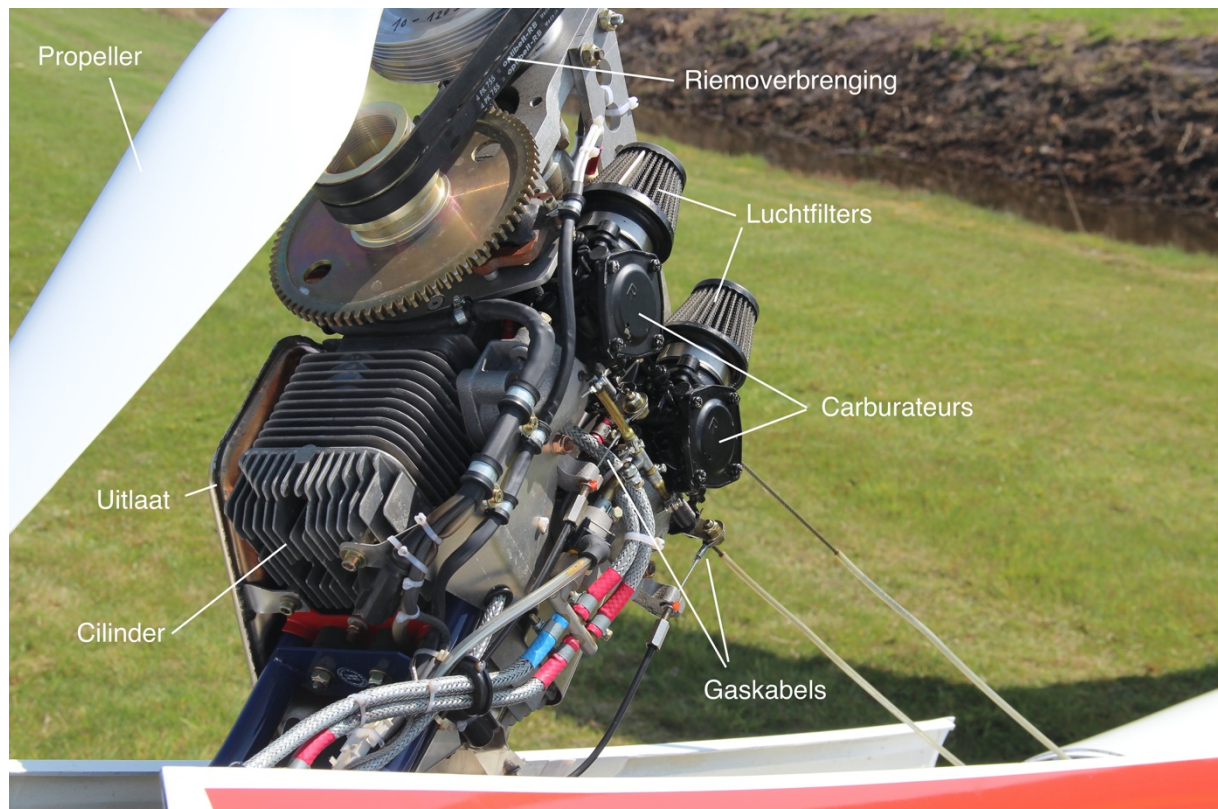
De bougie krijgt zijn energie via een ontstekingsmagneet. Deze bestaat uit een magneet die ronddraait langs een stilstaande spoel (net als bij een fietsdynamo) waardoor een elektrische spanning wordt opgewekt. Door tussenkomst van een stukje elektronica, wordt deze spanning omgevormd tot een kortdurende puls met een zeer hoge waarde die op het juiste tijdstip aan de bougie(s) wordt doorgegeven.

Carburateur

Het brandstof-luchtmengsel wordt gevormd in een carburateur. De carburateur bestaat uit een venturi met in de keel een brandstofsproeier. De carburateur beschikt ook over een op afstand bedienbare klep welke de hoeveelheid lucht die door de carburateur stroomt regelt. Tijdens het aanzuigen ontstaat er een luchtstroming door de venturi. In de keel ontstaat hierdoor een onderdruk welke brandstof opzuigt uit een voorraadpotje. Dit voorraadpotje wordt gevuld gehouden door een (meestal) elektrische brandstofpomp welke via een filter de brandstof uit de tank haalt. De carburateur probeert onder alle omstandigheden de juiste verhouding tussen hoeveelheid lucht en hoeveelheid brandstof aan te houden. Komt er naar verhouding te veel brandstof bij de lucht dan wordt het mengsel te rijk en bestaat er de kans op het verzuipen (en dus afslaan) van de motor. Komt er naar verhouding te weinig brandstof bij de lucht dan wordt het mengsel te arm, waardoor de motor ook kan afslaan. Moderne carburateurs hebben een automatische mengselregeling die tevens rekening houdt met vlieghoogte.

Luchtfilter

Voordat de lucht de carburateur binnenkomt passeert deze een luchtfilter. Het luchtfilter voorkomt dat stof- en zanddeeltjes in de motor terecht komen.



Afbeelding 10-6 Luchtgekoelde twee-cilinder tweetaktmotor met vertragende riemoverbrenging (Solo 2350)

Tank

De tank bevat de hoofdvoorraad brandstof. Aan de onderkant van de tank bevindt zich een 'drain' mogelijkheid. De brandstof voor een tweetaktmotor bestaat uit een mengsel van benzine en een

speciale olie (geen gewone motorolie). De olie is nodig voor de noodzakelijke smering van de bewegende delen. Men spreekt dan ook over mengsmering. De exacte mengverhouding staat aangegeven in het handboek van de motor maar zal variëren tussen de 1:25 en 1:50. Een 1:40 mengsel betekent dat er aan 40 liter benzine, één liter smeeroil is toegevoegd.

Starten/stoppen

De motor wordt gestart door deze met een kracht van buitenaf te laten ronddraaien. Traditioneel gebeurde dat met de hand maar dat leverde steeds minder handen op.

Tegenwoordig wordt de motor aan het draaien gebracht met behulp van een *elektrische startmotor*. Tijdens het inschakelen van de startmotor wordt deze via een veerbelast tandwiel gekoppeld aan de krukas waardoor deze ook gaat ronddraaien en alles in beweging en werking wordt gezet. Zodra de startknop wordt losgelaten, stopt de startmotor met draaien en ontkoppelt deze zich van de krukas. Deze startmethode is geschikt voor zowel op de grond als in de lucht.

Een andere mogelijkheid om de motor in de lucht te starten, is met behulp van '*decompressie*'. Tijdens het vliegen wordt, nadat de motor is uitgeklapt aan een zgn. Decompressie-knop getrokken. Hiermee wordt een klep geopend waardoor de cilinders niet op druk kunnen komen. De propeller die verbonden is met de krukas ervaart dan geen tegenwerking. Hierdoor zal door 'windmilling' de krukas snel op toeren komen. Bij een bepaald toerental wordt de decompressieknop losgelaten, en zal de motor opstarten.

Het stopzetten van de motor gebeurt door het uitzetten van de ontsteking. De bougies zullen dan niet meer vonken en het mengsel wordt derhalve niet meer aangestoken. Mocht deze methode niet werken, dan kan men altijd nog de hoofdbenzinekraan dichtzetten. Deze laatste methode wordt ook gebruikt bij een motorbrand.

Batterij

De motor heeft een eigen batterij voor de elektrische in- en uitklap motor én voor de startmotor. Als door een te lage batterijspanning (of om een andere reden) de motor niet meer kan worden gestart, en ook niet kan meer worden ingeklapt, dient men rekening te houden met fors verminderde vliegprestaties. Bovendien zal een landing met een uitgeklapte motor eerder leiden tot schade aan de motorbevestiging dan wanneer deze is ingeklapt.

Opmerking

In tegenstelling tot een tweetakt zuigermotor, heeft een viertakt zuigermotor vier slagen nodig teneinde één keer arbeid te verrichten. Dat zijn achtereenvolgens een inlaatslag waarbij het brandstof-luchtmengsel wordt aangezogen, een compressieslag welke het mengsel comprimeert alvorens het aan te steken, de arbeidsslag, en tenslotte een uitlaatslag waarbij de verbrandingsgassen naar buiten worden gedreven. Een viertakt zuigermotor maakt geen gebruik van mengsmering maar heeft een aparte olietank voor de smering van de bewegende delen.

11 Waterballastsystemen

11.1 Algemeen

De meeste kunststof zweefvliegtuigen beschikken over ballasttanks in de vleugel welke gevuld kunnen worden met water. Hiermee wordt de vleugelbelasting (vliegtuiggewicht per vierkante meter vleugeloppervlak) verhoogd waardoor het maximale glijgetal wordt bereikt bij een hogere snelheid. Hierdoor kan men in de beschikbare tijd meer kilometers afleggen. Bovendien zullen de zwaardere vleugels minder last hebben van turbulentie bij snel (helling)vliegen. Het nadeel van water is dat het vliegtuig zwaarder wordt waardoor de overtreksnelheid toeneemt en het vliegtuig minder makkelijk in de thermiek klimt. Meer hierover bij het vak 'Vliegprestaties en Vluchtplanning'.

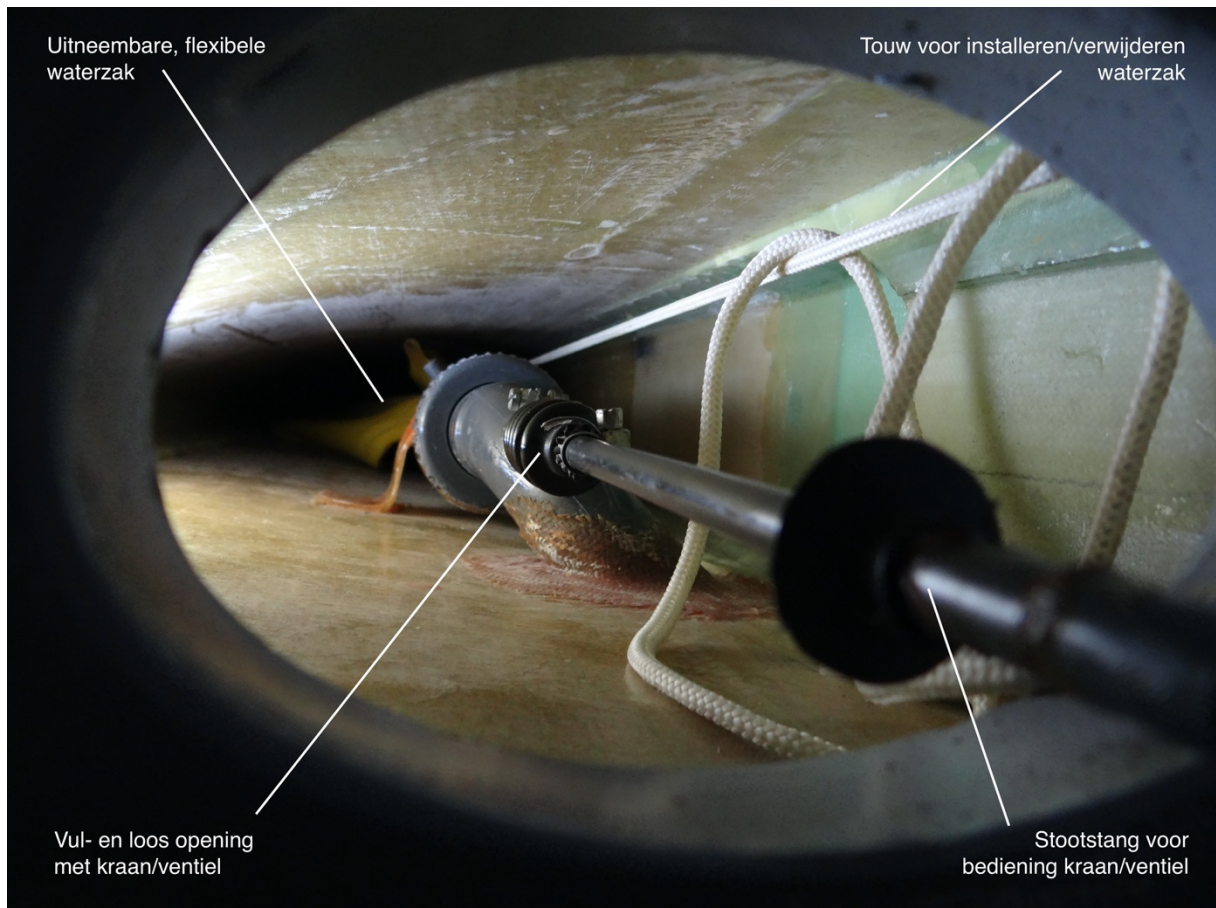
11.2 Ballasttanks

De tanks bevinden zich in de vleugel net voor de hoofdligger ter hoogte van de wortel. Door het water op te slaan in de vleugels en niet in de romp, wordt de vleugel-rompverbinding minder zwaar belast. Bovendien zal door het gewicht van het water, de vleugel minder ver doorbuigen bij hoge vliegsnelheden. In de meeste gevallen zal water in de vleugel het zwaartepunt iets naar voren verplaatsen waardoor een neuslastig moment ontstaat. De effecten hiervan op besturing en stabiliteit worden beschreven in hoofdstuk 4 'Gewicht en Balans'.

Veel prestatiezweefvliegtuigen beschikken naast *vleugeltanks* ook over een *staarttank*. De staarttank bevindt zich in het kielvlak. Met 'staartwater' kan een voorlijk zwaartepunt als gevolg van 'vleugelwater' worden gecompenseerd waardoor een optimale zwaartepuntligging kan worden ingesteld.

Constructie

Traditioneel bestonden de tanks uit losse, uitneembare flexibele *zakken*. Tegenwoordig zijn de tanks *geïntegreerd* in de holle binnenruimte van vleugels en kielvlak. De tanks kunnen op hun beurt weer bestaan uit meerdere compartimenten. De capaciteit kan oplopen tot enkele tientallen liters.



Afbeelding 11-1 Flexibele watertank in vleugelvoorrand (LS4)

Vullen/lozen

De tanks worden gevuld via een *vulopening* aan de bovenkant of onderkant (hevelwerking). Een veerbelast *ventiel* (*kraan*) houdt de *uitstroomopening(en)* aan de onderkant gesloten. Het ventiel kan via een *hendel* in de cockpit worden geopend, zie afbeelding 11-1.

Het constructieve nadeel van het meevoeren van water is de kans op schade bij temperaturen onder nul en bij een slecht uitgevoerde landing. Indien water bevroest, zet het uit en kan tank en leidingen doen barsten. Om die reden is een *buitenluchttemperatuurmeter* vereist. Bij een harde landing zal de vleugel door massastraagheid te ver omlaag doorbuigen met kans op breuk. Bovendien zal door het hogere gewicht de landingssnelheid navenant hoger moeten zijn. Daarom moet het water tijdens de vlucht geloosd kunnen worden. Men dient rekening te houden met een loostijd van enkele minuten.

Bij het bedienen van de ventielen zorgt een technische oplossing ervoor dat altijd eerst het staartwater wordt geloosd en pas daarna het vleugelwater. Dit om een eventueel staartlastig moment tijdens het vliegen te voorkomen.

Opmerking

Indien tijdens het lozen een rolmoment ontstaat, dient men het lozen meteen te stoppen. Het zou kunnen dat één van de ventielen niet opengaat. Zou men doorgaan met lozen, dan kan het rolmoment zo groot worden dat dit de autoriteit van het rolroer overschrijdt.



Afbeelding 11-2 De cockpithendel(s) bedienen een tuimelaar in de romp welke via een stang de kraan in de vleugel open duwt

12 Prestaties en Operationele Beperkingen van Batterijen

Verdeeld over dit document is reeds aandacht gegeven aan de prestaties en operationele beperkingen van batterijen (accu's). Zie hiertoe de hoofdstukken 4 'Gewicht en Balans' en 6 'Instrumenten'. Zonder in herhaling te willen treden, vat ik deze hieronder samen.

12.1 Prestaties en Operationele Beperkingen van Batterijen

Batterij

Batterijen bestaan uit één of meerdere chemische cellen. In de cel van een batterij vindt een chemische reactie plaats waarbij elektriciteit wordt opgewekt. In een *primaire cel* is dit proces niet omkeerbaar; in een *secundaire cel* wél. Een *primaire cel* is derhalve niet oplaadbaar, een *secundaire cel* kan een groot aantal malen opnieuw worden opgeladen.

Capaciteit

Batterijen hebben een beperkte *capaciteit* welke afneemt met afnemende temperatuur. Batterijcapaciteit wordt uitgedrukt in Ampère-uur (Ah). Hoe meer stroom de batterij moet leveren, hoe korter deze dit kan volhouden. Om de capaciteit van batterijen te vergroten, kunnen meerdere, dezelfde, batterijen naast elkaar worden gebruikt.

Als de batterij bijna leeg is, zullen als eerste de grote stroomgebruikers er mee stoppen. Dat zijn de radiozenders (VHF-COM radio en Mode-S transponder) en de elektromotor van het uit- en in klapmechanisme van een eventuele hulpmotor. Vaak hebben dit soort hulpmotoren aparte batterijen welke niet in verbinding staan met de overige elektrische apparatuur aan boord.

Laden

Als de batterij 'leeg' is, dient deze opnieuw te worden opgeladen. Het laden van moderne batterijen dient op de grond te gebeuren met *speciale batterijladers*. Batterijen in zweefvliegtuigen worden tijdens het vliegen niet opgeladen. Eventuele zonnecellen op een zweefvliegtuig worden alleen gebruikt ter ontlasting van de batterij.

Veiligheid

Batterijen zijn beveiligd tegen de nadelige gevolgen van een te hoge stroom als gevolg van een kortsluiting door middel van een *smeltzekering* op de batterij.

Zwaartepunt

Afhankelijk van hun plaatsing, beïnvloeden batterijen de *ligging van het zwaartepunt* en daarmee de besturings- en stabiliteitseigenschappen van het vliegtuig.

Onderhoud

Batterijen moeten te allen tijde onbeschadigd, schoon en droog worden gebruikt.

Opmerking

Een speciaal punt van aandacht geldt voor *Lithium* batterijen. Lithium batterijen staan bekend om hun zeer hoge energiedichtheid en zijn daarom populair bij elektromotoren die een propeller aandrijven. Bij verkeerd gebruik of bij een beschadiging kunnen deze batterijen tot zelfontbranding komen.

13 Noodparachutes

13.1 Noodparachute

Omdat een parachute niet behoort tot de vaste uitrusting van een zweefvliegtuig, is de verwachting van de auteur dat EASA hier niet de noodparachute van de vlieger bedoelt. Desalniettemin wordt herhaald (zie hoofdstuk 1 'Constructies') dat de '*ripcord*' van een dergelijke *noodparachute* via een zogenaamde '*static line*' aan een speciaal rood oog in de cockpit kan worden bevestigd. Mocht een vlieger met omgegespte parachute het vliegtuig moeten verlaten, dan zal, zodra de static line wordt strakgetrokken, de parachute zich automatisch gaan openen. Meer informatie over dit soort noodparachutes kunt u vinden bij het vak 'Operationele procedures'.

13.2 Remparachute

Ook wordt hier herhaald dat sommige zweefvliegtuigen kunnen zijn uitgerust met een *remparachute* in de staart welke kan worden 'getrokken' om een zeer steile nadering mogelijk te maken bij een dreigende 'overshoot' in een te kort landingsveld. Zie verder hoofdstuk 5 'Stuurorganen en Roeren'.

13.3 Ballistisch terugbrengsysteem

Een andere ontwikkeling op het gebied van veiligheid is de inbouw van een zogenaamd *ballistisch terugbreng systeem* (ballistic recovery system, BRS) welke de kans op het overleven van een crash aanzienlijk vergroot. Kleine vliegtuigen kunnen hiertoe worden uitgerust met een *parachute* welke in geval van nood door een *raket* kan worden afgevuurd. Raket en parachute zijn onzichtbaar ingebouwd in de romp ter hoogte van de vleugels. De parachute is via koorden verbonden met een stel banden die ingebed zitten in de (kunststof) constructie van het vliegtuig. Wanneer aan een *hendel* achter het hoofd wordt getrokken, zal de raket onder medeneming van de parachute, een gat in de romp schieten. Als de parachute is geopend, zal het vliegtuig in een nagenoeg horizontale positie met ongeveer 5-7 m/s omlaag bewegen.



Afbeelding 13-1 Ballistisch terugbrengsysteem in actie

Opmerking

De raket bevat een levensgevaarlijke, explosieve lading. Bij verkeerd gebruik, bij brand, of bij een crash waarbij de raket niet is gebruikt, kan deze tot ontbranding komen en daarbij personen dodelijk verwonden. Het wordt aanbevolen om waarschuwingstickers aan te brengen op de romp ter hoogte van de raket.



Afbeelding 13-2 Waarschuwingsticker

Opmerking

Een ballistisch terugbrengsysteem brengt de nodige (gewichts) implicaties met zich mee. Zo moet de cockpit extra worden versterkt en dient men rekening te houden met het extra gewicht van parachute en raket. Om deze redenen wordt een dergelijk systeem in zweefvliegtuigen niet door iedereen⁸ als haalbaar gezien.

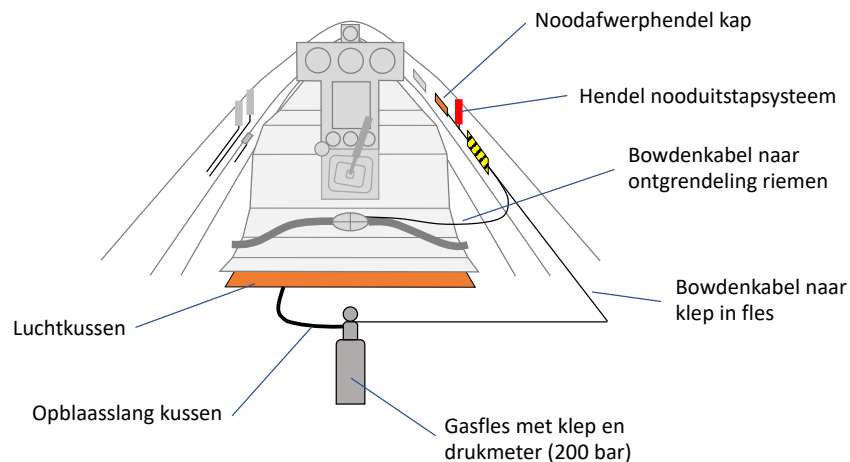
⁸ <https://www.dg-flugzeugbau.de/en/library/recovery-system>

14 Nooduitstapsysteem

Vliegtuigfabrikanten blijven investeren in veiligheidsmaatregelen. Een recent voorbeeld is de verstevigde, crashbestendige cockpit. Ook zijn we al een tijdje gewend om met parachutes om te vliegen welke keurig passen in uitsparingen in de rugleuning. Sommige zweefvliegers gebruiken het rode metalen oog in de cockpit om via een 'static line' het ripcord van hun parachute aan te bevestigen. Zodra ze 'uitstappen' en op voldoende afstand van het vliegtuig zijn, opent de parachute dan automatisch. Het uitstappen zelf kan in sommige gevallen nog wel eens lastig zijn, vooral als er hoge g-krachten aanwezig zijn.

14.1 Nooduitstapsysteem

Een zeer recente ontwikkeling is het *nooduitstapsysteem* (emergency bail-out system). Dit bestaat uit een *opblaasbaar luchtkussen* onder de zitting welke binnen één seconde kan worden opgeblazen vanuit een *drukcilinder/gasfles*. Activatie is een twee-staps proces. Eerst dient de noodafwerphendel van de kap te worden bediend, pas daarna kan de *hendel* van het nooduitstapsysteem worden bediend. Dit is om te voorkomen dat de piloot tegen de kap wordt gedrukt tijdens het opblazen van het kussen. Tegelijkertijd met het activeren van het nooduitstapsysteem, worden ook de *veiligheidsriemen* automatisch ontkoppelt. De vlieger wordt nu binnen een seconde tot boven de cockpitrand getild en kan dan makkelijker uitstappen.



Afbeelding 14-1 Nooduitstapsysteem

15 Bijlagen

15.1 Grootheden, eenheden en andere termen

Opmerking

Alle genoemde grootheden en eenheden worden uitgedrukt in het internationaal afgesproken SI-stelsel van eenheden (Système International: SI).

Kracht (F)

Heel algemeen kan een kracht (F) worden omschreven als datgene dat beweging wil veroorzaken. De kracht wordt uitgedrukt met de hoofdletter F (van force). Kracht wordt uitgedrukt in de eenheid Newton (N). Een kracht kan een beweging in een rechte lijn (translatie) en/of een beweging om een as (rotatie) veroorzaken.

Druk (p)

Druk is de (uitwendig) uitgeoefende kracht per eenheid van oppervlak ($p = F/A$) en wordt uitgedrukt in de eenheid Pascal (Pa). 1 Pa is 1 kg/cm², oftewel 100.000 N/m². Een andere veel gebruikte eenheid is de bar waarbij 100.000 Pa gelijk is aan 1 bar, oftewel 100 hPa = 1 mbar.

Moment (M)

Een moment ontstaat wanneer een kracht loodrecht op een arm met een lengte (l) wordt aangewend. In formule $M = F \cdot l$. De eenheid is de Nm. De loodrecht aangebrachte kracht wil een rotatie veroorzaken.

Belasting

Belasting is het effect van een uitgeoefende kracht of van een uitgeoefend moment. Effecten zijn onder andere (materiaal) spanning en druk.

Gewicht (G)

Gewicht is de kracht die de zwaartekracht- of gravitatieversnelling (g) uitoefent op een bepaalde massa (m) oftewel $G = m \cdot g$. Gewicht wordt net als kracht uitgedrukt in Newton (N). In de luchtvaart wordt veel gewerkt met Engelse termen. Vandaar dat gewicht meestal wordt afgekort met de W van weight.

Gravitatieversnelling (g)

De gravitatie- of zwaartekrachtversnelling (g) hangt af van de afstand tot het middelpunt van de aarde maar wordt voor het gemak gesteld op 9,81 m/s² en desgewenst afgerond op 10 m/s².

Spanning ($\sigma = \text{sigma}$)

Spanning is de (inwendig) uitgeoefende kracht op een bepaald oppervlak en wordt uitgedrukt in Newton per vierkante meter (N/m²). In tegenstelling tot druk wordt spanning geassocieerd met inwendige materiaalkrachten.

Massa (m)

De eenheid van massa (m) is de gram (g). Een veel gebruikte eenheid is de kilogram (kg) waarbij het voorvoegsel kilo staat voor de factor 1000 (1 kg is 1000 g).

Lengte (l)

De eenheid van lengte (l) is de meter (m).

Oppervlakte (A)

Oppervlakte A van 'surface area' is het product van lengte en breedte van een object en wordt uitgedrukt in vierkante meter (m^2). Er wordt opgemerkt dat in de liftformule gebruik wordt gemaakt van de hoofdletter S voor vleugeloppervlak.

Volume (V)

Volume of inhoud is het product van lengte, breedte en hoogte van een object en wordt uitgedrukt in kubieke meter (m^3) of in liter (l).

Dichtheid (ρ)

Dichtheid is de massa (m) per eenheid van volume ($\rho = m/V$) en wordt uitgedrukt in kg/m^3 .

Torsie (koppel of wringing)

Torsie kan het best worden omschreven als een krachtloos moment, dus ook uitgedrukt in Nm. Indien twee even grote, doch tegengesteld gerichte, krachten met verschillende werklijn ten opzichte van elkaar werken is de som van de krachten nul maar de som van de momenten niet. Het object wil torderen. Een mooi voorbeeld is de motor die een koppel afgeeft op de propelleraandrijfas waardoor de propeller gaat draaien.

Zwaartekrachtversnelling

Zie gravitatieversnelling.

16 Oefenvragen

16.1 Constructies

- 1) De vleugel-rompbevestiging geschiedt met...
 - a) tong en gaffelverbinding van de liggerstompen.
 - b) hoofdbout(en) door de vleugelligger.
 - c) paspennen in de vorm van pen-gatverbindingen.
 - d) losneembare bouten en zelfborgende moeren.
- 2) Een vakwerkconstructie is een...
 - a) constructie gemaakt door een gespecialiseerd vakman.
 - b) dragend geraamte bestaande uit latjes, balken en buizen.
 - c) meedragende vleugel huid versterkt met liggers en ribben.
 - d) bouwwijze met een hoge sterkte-gewicht verhouding.
- 3) Vermoeiingsscheuren kunnen ontstaan in...
 - a) metaal.
 - b) houtvezels.
 - c) kunststofvezels.
 - d) katoenvezels.
- 4) Het meest stijve vezelmateriaal is...
 - a) hout.
 - b) glas.
 - c) koolstof.
 - d) aramide.
- 5) De cockpitkap is gemaakt van...
 - a) glas.
 - b) vinyl.
 - c) plexiglas.
 - d) glasvezel.
- 6) Een sandwich constructie bestaat uit...
 - a) twee laagjes laminaat met een opvulstof.
 - b) drie laagjes hout waarvan de vezelrichting haaks op elkaar staat.
 - c) verschillende laagjes doek met elkaar verlijmd.
 - d) vezelmateriaal verweven tot doek.

- 7) Delaminatie is het...
- a) verkleuren van de huid door UV licht.
 - b) loslaten van laagjes laminaat.
 - c) ontstaan van barstjes in de gelcoat
 - d) scheuren van afplakband, Mylar of zigzag-tape.
- 8) Wat wordt bedoeld met een twee-componentenlijm?
- a) Warmte en druk zijn nodig om de lijm te laten uitharden.
 - b) Aan de lijm wordt een harder toegevoegd om uit te harden.
 - c) De lijm moet eerst over beide te lijmen oppervlakken worden verdeeld.
 - d) De lijm bestaat uit een vezel en een kunsthars.
- 9) Boutverbindingen welke vaak moeten worden losgenomen, worden geborgd met...
- a) borgdraad.
 - b) zelfborgende moeren.
 - c) kroonmoeren.
 - d) splitpennen.
- 10) Een voorbeeld van een losneembare verbindingsmethode is...
- a) lassen.
 - b) lijmen.
 - c) klinken.
 - d) schroeven.

1c, 2b, 3a, 4c, 5c, 6a, 7b, 8b, 9d, 10d.

16.2 Systeemontwerp, Belastingen en Spanningen

- 1) De specifieke sterkte van een materiaal is de verhouding tussen...
 - a) belasting en maximale ontwerpbelasting.
 - b) breuksterkte en soortelijk gewicht.
 - c) elasticiteit en stijfheid.
 - d) kracht en oppervlak.

- 2) Maatregelen die de kans op flutter verkleinen zijn...
 - 1: onder de v_{NE} te blijven;
 - 2: massabalanceren van roeren;
 - 3: een voldoende elastische constructie;
 - 4: afdichten van spleten op de vleugel met afplakband.
 - a) 1 alleen
 - b) 1 en 2
 - c) 1, 2 en 3
 - d) 1, 2, 3 en 4

- 3) De belastingfactor neemt toe indien tijdens de...
 - 1: vlucht bij gelijkblijvende snelheid plots aan de knuppel wordt getrokken;
 - 2: vlucht stijgwind wordt aangevlogen;
 - 3: vlucht een gecoördineerde bocht wordt gevlogen;
 - 4: normale lierstart de baanhoek steeds steiler wordt.
 - a) 1 alleen
 - b) 1 en 2
 - c) 1, 2 en 3
 - d) 1, 2, 3 en 4

- 4) Wat is - in theorie - de overtreksnelheid bij een 0-g conditie?
 - a) 0 (nul)
 - b) iets minder dan v_{S1g}
 - c) v_{S1g}
 - d) iets meer dan v_{S1g}

- 5) Wat is - in theorie - de belastingfactor tijdens een bocht met 90 graden dwarshelling?
 - a) 0 (nul)
 - b) drie keer zoveel als die voor 30 graden
 - c) twee keer zoveel als die voor 45 graden
 - d) ∞ (oneindig hoog)

- 6) De belastingfactor is de verhouding tussen...
- a) gewicht en vleugeloppervlak.
 - b) lift en weerstand.
 - c) lift en gewicht.
 - d) gewicht en weerstand.
- 7) De ontwerp-manoeuvresnelheid v_a is de maximale snelheid...
- a) waarbij het vliegtuig niet positief kan worden overtrokken.
 - b) waarbij het vliegtuig niet positief kan worden overbelast.
 - c) tijdens aerobatics manoeuvres (kunstvliegen).
 - d) tijdens manoeuvreren op de grond (grondtransport).
- 8) Wat is de betekenis van v_F ?
- a) Voorkomen overbelasting vliegtuig.
 - b) Optimale snelheid voor beste glijgetal.
 - c) Minimale snelheid met flaps in de geselecteerde stand.
 - d) Maximale snelheid vleugelkleppen in de landingsstand.
- 9) Ten aanzien van de vleugel geldt dat tijdens de vlucht de...
- a) bovenkant van de vleugel op druk wordt belast en de onderkant op trek.
 - b) voorste passpennen op druk worden belast en de achterste op trek.
 - c) ligger op afschuiving wordt belast.
 - d) liggerstompen op torsie worden belast.
- 10) Wat is het voordeel van een zwaartepuntligging vóór het hoofd wiel?
- a) kleinere kans op voorover duiken bij hard remmen.
 - b) herstellend moment bij een getraverseerde landing.
 - c) geen staartwiel of staartslof nodig.
 - d) grotere invalshoek bij de start.

1b, 2b, 3d, 4a, 5d, 6c, 7b, 8d, 9a, 10b.

16.3 Onderstellen, Wielen, Banden en Remmen

- 1) Het zweefvliegtuig heeft een onderstel voor...
 - a) transport tussen hangaar en startplaats.
 - b) intrekken van het hoofdwiel.
 - c) opvangen van krachten bij start en landing.
 - d) bevestiging van schaats en/of wiel.
- 2) Het hoofdwiel bestaat uit een...
 - a) velg met een luchtband.
 - b) schaats en een staartslof.
 - c) massief rubberen band.
 - d) kunststof roller.
- 3) Het hoofdwiel wordt afgeveerd door een...
 - a) gasveer en/of een rubberen klos.
 - b) rubberen klos en/of een spiraalveer.
 - c) spiraalveer en/of een hydraulische veer.
 - d) torsiebuis en/of een bladveer.
- 4) Het grote bezwaar van een zwaartepunt achter het hoofdwiel is...
 - a) lastiger intrekbaar.
 - b) gevoeliger voor grondzwaai.
 - c) slecht zicht tijdens eindnadering.
 - d) noodzaak voor staartwiel.
- 5) De kracht om een wiel in te trekken wordt normaal gesproken geleverd door...
 - a) menselijke spierkracht.
 - b) mechanische hefbomen.
 - c) elektrische motor.
 - d) hydraulische druk.
- 6) Een intrekbaar wiel wordt vergrendeld in de 'uit' positie door...
 - a) de zwaartekracht.
 - b) een spiraalveer.
 - c) de wielhendel.
 - d) een overstrekke arm.

- 7) Een zachte band leidt tot...
- a) een langere startaanloop en remweg.
 - b) een getraverseerde landing en wingdip.
 - c) problemen bij het intrekken en uitdoen.
 - d) het sneller uitscheuren van het ventiel.
- 8) Wanneer de wielrem wordt bediend, wordt geremd op het...
- a) neuswiel.
 - b) hoofdwiel.
 - c) staartwiel.
 - d) neuswiel, hoofdwiel en staartwiel.
- 9) De wielrem wordt meestal bediend door het helemaal naar achteren bewegen van de...
- a) remklephendel.
 - b) stuurknuppel.
 - c) trimhendel.
 - d) flaphendel.
- 10) Welke bewering ten aanzien van een trommelrem en een schijfrem is juist?
- a) Een schijfrem wordt bediend met de voetpedalen; een trommelrem met de remklephendel.
 - b) Een schijfrem werkt mechanisch; een trommelrem hydraulisch.
 - c) Een schijfrem wordt slechter geventileerd dan een trommelrem.
 - d) Een schijfrem is beter te doseren dan een trommelrem.

1c, 2a, 3b, 4b, 5a, 6d, 7d, 8b, 9a, 10d.

16.4 Gewicht en Balans

- 1) De achterste CG grens wordt bepaald door...
 - a) het leeggewicht van het vliegtuig.
 - b) de bestuurbaarheid.
 - c) de langsstabiliteit.
 - d) het gewicht van de vlieger.
- 2) Het leeggewicht van een zweefvliegtuig is het gewicht van...
 - a) de niet-dragende delen (romp).
 - b) de dragende delen (vleugels).
 - c) het vliegtuig klaar om te vliegen met piloot en eventuele parachute, lood en accu's maar zonder bagage en waterballast.
 - d) het vliegtuig klaar om te vliegen maar zonder piloot, parachute, lood, bagage, extra accu en water.
- 3) Wat is de juiste volgorde voor het lozen van water?
 - a) Linkervleugeltank, rechternvleugeltank, staarttank.
 - b) Staarttank, linker vleugeltank, rechternvleugeltank.
 - c) Beide vleugels gelijktijdig, staarttank.
 - d) Staarttank, beide vleugels gelijktijdig.
- 4) Voor maximale vliegprestaties ligt het zwaartepunt ter hoogte van...
 - a) de voorste limiet.
 - b) de achterste limiet.
 - c) het center of pressure (CP).
 - d) het hoofd wiel.
- 5) Je bent 55 kg en wil solo vliegen in een zweefvliegtuig met een minimaal vliegergewicht van 70 kg.
Welke maatregelen kun je nemen om hieraan te voldoen?
 - 1: Loodblokje meenemen in cockpit;
 - 2: Parachute aantrekken;
 - 3: Vleugelwater meenemen;
 - 4: Extra gewicht in het bagagecompartiment.
 - a) 1 alleen
 - b) 1 en 2
 - c) 1, 2 en 3
 - d) 1, 2, 3 en 4

- 6) Gegeven een vliegtuig met het zwaartepunt achter het hoofdwiel.
Indien vleugelwater wordt meegenomen verplaatst het CG...
- a) naar voren.
 - b) naar achteren.
 - c) niet omdat watertanks zich op het CG bevinden.
 - d) niet omdat de vlieger vleugelwater compenseert.
- 7) Wat zou de reden kunnen zijn dat het maximaal toegestane vliegergewicht nu 105 kg is in plaats van eerst 110 kg?
- 1: Zwaartepuntligging te ver naar voren als gevolg van water in de vleugels;
 - 2: Overschrijden maximum gewicht van de niet-dragende delen;
 - 3: Ouderdom vliegtuig ten gevolge van vermoeiing;
 - 4: Extreme temperaturen waardoor de kunststof romp aan sterkte verliest.
- a) 1 alleen
 - b) 1 en 2
 - c) 1, 2 en 3
 - d) 1, 2, 3 en 4
- 8) Met een vliegergewicht van 110 kg ligt het zwaartepunt op de voorste limiet.
Mag je staartwater meenemen teneinde het zwaartepunt naar achteren te verplaatsen?
- a) Nee, de romp wordt dan nog zwaarder belast.
 - b) Nee, de vleugel wordt dan nog zwaarder belast.
 - c) Nee, staartwater is alleen voor gebruik in combinatie met vleugelwater
 - d) Ja, mits het maximaal gewicht niet wordt overschreden.
- 9) Een stabiel vliegtuig...
- a) zal na een verstoring in de nieuwe stand willen blijven.
 - b) kan niet symmetrisch worden overtrokken.
 - c) keert na een verstoring terug naar de evenwichtstoestand met een afnemende uitwijking.
 - d) heeft geen last van turbulentie.
- 10) CG staat voor...
- a) zwaartepunt.
 - b) liftaangrijppunt.
 - c) drukpunt.
 - d) scharnierpunt.

1c, 2d, 3d, 4b, 5b, 6a, 7b, 8d, 9c, 10a.

16.5 Stuurorganen en Roeren

- 1) Moderne zweefvliegtuigen gebruiken besturingskabels voor...
 - a) richtingsroer.
 - b) hoogteroer.
 - c) rolroer.
 - d) remkleppen
- 2) Een torsiebuis kan je nog wel eens tegenkomen bij de bediening van...
 - a) het hoogteroer.
 - b) de rolroeren.
 - c) het richtingsroer.
 - d) de welvingskleppen.
- 3) Differentiaalbesturing kom je tegen bij...
 - a) het richtingsroer.
 - b) de rolroeren.
 - c) de remkleppen.
 - d) de welvingskleppen.
- 4) Met behulp van de voetenstuurverstelling...
 - a) wordt het richtingsroer naar links of naar rechts getrimd.
 - b) wordt de maximale richtingsroeruitslag versteld.
 - c) worden de wielremmen bediend.
 - d) worden de pedalen dichterbij of verder weg gezet.
- 5) De remkleppen worden in de vergrendelde toestand gehouden door...
 - a) een hydraulische cilinder.
 - b) een overgestrekte kniehefboom.
 - c) het stevig vasthouden met de hand.
 - d) een overdruk boven de vleugel.
- 6) De welvingskleppen worden bediend via...
 - a) de stuurknuppel.
 - b) de trimhendel.
 - c) de remklephendel.
 - d) een aparte hendel.

- 7) Flaps op zweefvliegtuigen kunnen...
- a) in diverse positieve en negatieve standen worden “ingerasterd”.
 - b) in elke stand omlaag worden ingesteld.
 - c) evenveel omhoog als omlaag bewegen.
 - d) meebewegen met het hoogteroer.
- 8) Kantelkleppen zijn een combinatie van...
- a) rolroeren en welvingskleppen.
 - b) remkleppen en welvingskleppen.
 - c) rolroeren en hoogteroer.
 - d) hoogteroer en richtingsroer.
- 9) Welke bewering ten aanzien van de starthaak is juist?
- a) De lierhaak beschikt over een overstreckte hefboom.
 - b) De zwaartepunthaak is voor de sleepstart; de neushaak is voor de lierstart.
 - c) Door te trekken aan de gele knop kantelt de steunring van de zwaartepunthaak.
 - d) De sleephaak ontkoppelt zichzelf zodra de spanning van de kabel is.
- 10) Het doel van de kantelbare steunring rond de zwaartepunthaak van de firma Tost is het automatisch ontkoppelen bij...
- a) te grote kabelkrachten.
 - b) te grote dwarskrachten bij verkeerd opsturen.
 - c) een achterwaarts gerichte kabelkracht.
 - d) een te achterlijk zwaartepunt.

1a, 2b, 3b, 4d, 5b, 6d, 7a, 8b, 9a,10c.

16.6 Instrumenten

- 1) De totale druk wordt gemeten met de...
 - a) statische poorten.
 - b) Pitotbuis.
 - c) TE-venturi buis.
 - d) Bourdonbuis.
- 2) Mag je in het gele snelheidsgebied vliegen?
 - a) Ja, mits de lucht rustig is en geen volledige en plotse roeruitslagen worden gemaakt.
 - b) Ja, mits de flaps negatief staan.
 - c) Ja, mits het wiel ingetrokken is, de remkleppen in de lock, en de flaps neutraal.
 - d) In principe niet omdat het een veiligheidsmarge betreft.
- 3) 's Ochtends aan het begin van de vliegdag is de QFE 1013 hPa en wordt de hoogtemeter op nul gezet. Na een lokale vijf-uurs vlucht is de QFE afgenomen tot 1000 hPa. Wat wijst de hoogtemeter na de landing aan?
 - a) +100 m
 - b) -100 m
 - c) + 13 m
 - d) -13 m
- 4) De snelheidsmeter is aangesloten op...
 - a) TE-venturi en compensatiedoos.
 - b) TE-venturi en statische poorten.
 - c) pitotbuis en thermosfles.
 - d) pitotbuis en statische poorten.
- 5) Een luchtreservoir in de vorm van een thermosfles kom je tegen bij de...
 - a) drukhoogtemeter.
 - b) luchtsnelheidsmeter.
 - c) stuwschijfvariometer.
 - d) temperatuurmeter.
- 6) Een gecompenseerde variometer wordt gecompenseerd voor...
 - a) knuppelthermiek.
 - b) positie- en instrumentfout.
 - c) druk- en temperatuurafwijkingen.
 - d) slippende- en schuivende bochten.

- 7) Bij een stationaire, rechtlijnige slipvlucht naar links staat de slipkogel...
- a) naar links en het draadje naar rechts.
 - b) naar links en het draadje in het midden.
 - c) in het midden en het draadje naar rechts.
 - d) in het midden en het draadje naar links.
- 8) De hoofdzekering onderbreekt de stroomkring op basis van een te hoge batterij...
- a) temperatuur.
 - b) spanning.
 - c) stroom.
 - d) capaciteit.
- 9) De elektronische variometer meet de stijgsnelheid door te kijken naar de...
- a) toename van de GPS hoogte.
 - b) toename van de afstand tot de grond.
 - c) afname van de luchtdruk.
 - d) afname van de luchttemperatuur.
- 10) Het anti-botsingsysteem FLARM werkt op basis van het...
- a) 'squawken' van de transpondercode.
 - b) uitpeilen van de communicatieradio.
 - c) ondervragen door een radar.
 - d) uitzenden van de eigen positie.

1b, 2a, 3a, 4d, 5c, 6a, 7a, 8c, 9c, 10d.

16.7 Montage van Zweefvliegtuigen en Aansluiten van Roeren

- 1) Waar kan je de officiële montagehandleiding van je vliegtuig raadplegen?
 - a) Vlieghandboek
 - b) Vliegtuiglogboek
 - c) BvL
 - d) ARC
- 2) Wat is de juiste volgorde van het monteren van de vleugels?
 - a) Eerst de linker vleugel, en dan de rechter vleugel.
 - b) Eerst de vleugel met de gaffel, en dan de vleugel met de tong.
 - c) Eerst de vleugel met de voorste ligger, en dan de vleugel met de achterste ligger.
 - d) Eerst de vleugel met de hoofdligger, en dan de vleugel met de hulpligger.
- 3) Waartoe dient een 'rompkarretje'?
 - a) Voor grondtransport tussen hangaar en startplaats.
 - b) Om de romp tijdens winteronderhoud op de kop te kunnen draaien.
 - c) Om de romp op de grond en in de aanhanger te kunnen fixeren.
 - d) Om het vliegtuig makkelijk in de hangaar te kunnen verplaatsen.
- 4) Een 'l'Hotellier koppeling' geborgd door middel van...
 - a) een huls die de kom op de kogel houdt.
 - b) een Fokker naald door de hoofdbout.
 - c) een splitpen door een kroonmoer.
 - d) een veerbelaste pen of kogel.
- 5) Afplaktape wordt toegepast om...
 - a) De interferentieweerstand te verminderen.
 - b) Het vliegtuig beter zichtbaar te maken tegen een lichte achtergrond.
 - c) De watertanks waterdicht te maken.
 - d) De vleugel-romp verbinding te borgen.
- 6) Een eventuele hulp- of driftligger wordt...
 - a) niet gefixeerd en niet geborgd omdat deze moet kunnen bewegen.
 - b) gefixeerd met een pen en daarna geborgd.
 - c) Niet gefixeerd en niet geborgd.
 - d) niet gefixeerd maar wél geborgd.

1a, 2b, 3c, 4a, 5a, 6b.

16.8 Handboeken en Documenten

- 1) Waar kan je informatie terugvinden over de eerstvolgende inspectie?
 - a) Vlieghandboek
 - b) Vliegtuiglogboek
 - c) BvL
 - d) ARC

- 2) Wat is de geldigheid van het ARC review document?
 - a) tot de volgende inspectie
 - b) 12 maanden
 - c) 24 maanden
 - d) permanent, mits het onderhoud tijdig wordt uitgevoerd

- 3) Je bent in het bezit van een 'aerobatics rating' en wilt een looping gaan uitvoeren. Waar kan je terugvinden of je toestel is toegelaten tot het uitvoeren van deze kunstvliegmanoeuvre?
 - a) BvL
 - b) ARC
 - c) vlieghandboek
 - d) onderhoudsverklaring in het Journaal

- 4) Wat is het verschil tussen een 'warning' en een 'caution' in het vlieghandboek?
 - a) Een 'warning' betreft de veiligheid van het vliegtuig; een caution de veiligheid van de vlieger.
 - b) Een 'warning' betreft de veiligheid in de lucht; een caution de veiligheid op de grond.
 - c) Een 'warning' raakt de veiligheid meteen; een caution raakt de veiligheid op termijn.
 - d) Een 'warning' gaat over vliegveiligheid; een caution niet.

- 5) Een 'Vergunning gebruik recreatieve luchtvaartfrequenties' geeft het recht tot...
 - 1: zenden op de zweefvliegfrequenties;
 - 2: gebruik van de transponder in 'ACS';
 - 3: ontvangen op alle luchtvaartfrequenties;
 - 4: gebruik van de FLARM.
 - a) Alleen 1
 - b) 1 en 2
 - c) 1, 2 en 3
 - d) 1, 2, 3 en 4

- 6) De 'Vergunning gebruik recreatieve luchtvaartfrequenties' is gekoppeld aan een...
 - a) persoon.
 - b) radio.
 - c) vliegtuig.
 - d) club.

- 7) Waar kan je informatie vinden over het gebruik van waterballast?
- a) Vlieghandboek
 - b) Vliegtuiglogboek
 - c) Weegrapport
 - d) BvL
- 8) Hoe meld je dat de waterkraan van de linkervleugel niet dicht wil?
- a) Als een klacht in het Journaal.
 - b) Als een defect in het Journaal.
 - c) Als een uitgesteld defect in het Journaal.
 - d) Je meldt niks want anders is het vliegtuig niet langer luchtwaardig.
- 9) Je zweefvliegtuig is uitgerust met een hulpmotor die niet krachtig genoeg is voor een zelfstart maar wél gebruikt mag worden ter ondersteuning van de sleepstart en als "thuiscomer".
Je bent niet van plan de motor te gebruiken.
Dient het vliegtuig te beschikken over een geluiddocument?
- a) Ja, een geluidcertificaat.
 - b) Ja, een verklaring dat het toestel is vrijgesteld van een geluidcertificaat.
 - c) Nee, zolang het geen "zelfstarter" betreft is er geen enkel geluiddocument nodig.
 - d) Nee, zolang de motor niet wordt gebruikt is er geen enkel geluiddocument nodig.
- 10) Waar kan je informatie vinden over de snelheidslimieten van je vliegtuig?
- a) Vlieghandboek
 - b) Airworthiness Review Certificate (ARC)
 - c) Bewijs van Inschrijving (BvI)
 - d) Journaal

1b, 2b, 3c, 4c, 5b, 6c, 7a, 8a, 9b, 10a.

16.9 Luchtwaardigheid en Onderhoud

- 1) Is ná montage een 'release to service' nodig?
 - a) Nee, montage is geen vlieger/eigenaar onderhoud (POM).
 - b) Ja, af te tekenen door een bevoegd technicus (AML).
 - c) Ja, af te tekenen door een bevoegd zweefvlieger (LAPL(S) of SPL).
 - d) Ja, af te tekenen door een bevoegd inspecteur (ARI of AMPI).

- 2) Een vliegtuig is niet langer luchtwaardig wanneer...
 - 1: de ARC is verlopen;
 - 2: uit de onderhoudsverklaring blijkt dat het vliegtuig aan een inspectie toe is;
 - 3: de dagelijkse inspectie niet is afgetekend;
 - 4: een klacht in het Journaal niet is afgetekend.
 - a) 1
 - b) 1 en 2
 - c) 1, 2 en 3
 - d) 1, 2, 3 en 4

- 3) Je bent op de startplaats en wilt een vlucht maken met een gerepareerd vliegtuig.
Hoe controleer je aan de hand van de boordpapieren of na deze reparatie het toestel weer luchtwaardig is?
 - a) Afgetekend vrijgavedocument
 - b) Afgetekende onderhoudsverklaring
 - c) Afgetekend Journaal
 - d) Afgetekende ARC

- 4) Welk van onderstaande handelingen valt onder vliegtuigonderhoud?
 - 1: Reparatie,
 - 2: Modificatie,
 - 3: Inspectie,
 - 4: Montage,
 - 5: Schoonmaken.
 - a) 1 alleen
 - b) 1 en 2
 - c) 1, 2 en 3
 - d) 1, 2, 3, 4 en 5

- 5) Wie is uiteindelijk verantwoordelijk voor de luchtwaardigheid van het vliegtuig?
 - a) de ARI (airworthiness review inspector)
 - b) de AMPI (aircraft maintenance program inspector)
 - c) de technicus in het bezit van een AML (aircraft maintenance license)
 - d) de eigenaar

- 6) Technische inspecties zijn, onder andere, georganiseerd op basis van...
 - 1: starts/landingen;
 - 2: kalenderdagen;
 - 3: vliegingen.
 - a) 1 alleen
 - b) 1 en 2 alleen
 - c) 2 en 3 alleen
 - d) 1, 2 en 3

- 7) Een verplichte, extra inspectie is terug te vinden in een...
- a) Service Bulletin (SB).
 - b) Airworthiness Directive (AD).
 - c) Aircraft Maintenance Program (AMP).
 - d) Airworthiness Review Certificate (ARC).
- 8) Een ander woord voor het 'Journaal' is...
- a) onderhoudsprogramma.
 - b) vliegtuiglogboek.
 - c) onderhoudsverklaring.
 - d) luchtwaardigheidscertificaat.
- 9) Wat is het verschil tussen een 'klacht' en een 'defect'?
- a) Met een klacht is het toestel nog luchtwaardig; met een defect niet.
 - b) Een klacht wordt een defect zodra deze wordt opgeschreven in het Journaal.
 - c) Een klacht beïnvloedt de vliegveiligheid; een defect de luchtwaardigheid.
 - d) Er is geen verschil; een klacht is hetzelfde als een defect.
- 10) Voorbeelden van vlieger/eigenaar onderhoud zijn...
- a) inspectie na harde landing en vervangen wollen draadje.
 - b) wisselen wiel en vervangen TE-venturi.
 - c) lakreparatie en vervangen ontkoppelhaak.
 - d) modificatie speling rolroer en vervangen veiligheidsriem.

1a, 2c, 3c, 4c, 5d, 6d, 7b, 8b, 9a, 10b.

16.10 Motoren en Propellers

- 1) Een motor in een zweefvliegtuig is een...
 - a) elektromotor.
 - b) zuigermotor.
 - c) turbinemotor.
 - d) a, b, en c komen alle voor.
- 2) In zweefvliegtuigen wordt de propeller aangedreven door een...
 - a) raketmotor of een turbinemotor.
 - b) turbinemotor of een zuigermotor.
 - c) zuigermotor of een elektromotor.
 - d) elektromotor of een raketmotor.
- 3) De energie om een elektrisch aangedreven propeller rond te laten draaien komt van...
 - a) een zuigermotor die een startmotor aandrijft.
 - b) een turbinemotor die een dynamo aandrijft.
 - c) een batterij.
 - d) zonnecellen.
- 4) De term 'tweetakt' bij een zuigermotor betekent dat...
 - a) de brandstof bestaat uit benzine vermengd met olie.
 - b) een arbeidscyclus uit twee slagen bestaat.
 - c) er een brandstof-luchtmengsel wordt verbrand.
 - d) de motor uit twee cilinders bestaat.
- 5) Hoe wordt de zuigermotor van een "zelfstarter" in het algemeen opgestart?
 - a) De krukas wordt aan het draaien gebracht door een startmotor.
 - b) Door het handmatig ronddraaien van de propeller.
 - c) Brandstof wordt vermengd met lucht en aangestoken door een bougie.
 - d) Door middel van 'windmilling' in combinatie met een decompressieknop.
- 6) Het starten van een "turbo" zonder startmotor gebeurt door middel van het met vliegwind aanblazen van...
 - a) krukas.
 - b) zuiger.
 - c) turbine.
 - d) propeller.
- 7) Een tweetakt verbrandingsmotor heeft in het algemeen geen...
 - a) olietank.
 - b) bougies.
 - c) carburateur.
 - d) startmotor.

- 8) Wat is de functie van een eventueel aanwezige decompressie (DECO) knop in een “turbo”?
- a) Het openen van een klep in de cilinder(s) waardoor de propeller makkelijker op toeren kan komen tijdens een windmilling start.
 - b) Het ontkoppelen van de zuiger(s) waardoor de krukas makkelijker op toeren kan komen tijdens een motorstart.
 - c) Het ontkoppelen van de propeller waardoor de startmotor wordt ontlast.
 - d) Het openen van een klep waardoor de cilinder(s) beter worden gekoeld.
- 9) De taak van de propeller is...
- a) aandrijven van een krukas.
 - b) koelen van de motor.
 - c) verhogen van de druk achter de motor.
 - d) versnellen van lucht naar achteren.
- 10) De propeller draait met een ...
- a) hoger toerental dan de krukas.
 - b) lager toerental dan de krukas.
 - c) hetzelfde toerental als de krukas.
 - d) een constant toerental.

1d, 2c, 3c, 4b, 5a, 6d, 7a, 8a, 9d, 10b.

16.11 Waterballastsystemen

- 1) Waterballastsystemen worden gebruikt om...
 - a) flutter tegen te gaan.
 - b) de linker en rechter vleugel te balanceren.
 - c) het zwaartepunt zoveel mogelijk naar voren te krijgen.
 - d) de vleugelbelasting te verhogen.
- 2) Vleugeltanks bevinden zich...
 - 1: voor de hoofdligger;
 - 2: achter de hoofdligger;
 - 3: ter hoogte van de wortel;
 - 4: ter hoogte van de tip.
 - a) 1 en 2.
 - b) 1 en 3.
 - c) 2 en 3.
 - d) 2 en 4.
- 3) Wat is de juiste volgorde tijdens het lozen van water?
 - a) Linker vleugeltank, rechter vleugeltank, staarttank.
 - b) Staarttank eerst, daarna beide vleugeltanks.
 - c) Vleugeltanks gelijktijdig, daarna staarttank
 - d) Er is geen volgorde: vleugeltanks en staarttanks worden gelijktijdig geloosd.
- 4) Hoe lang duurt het lozen van een volle tank water?
 - a) Minder dan 1 minuut.
 - b) Ongeveer 5 minuten.
 - c) Ongeveer 10 minuten.
 - d) Ongeveer 15 minuten.
- 5) Je moet stoppen met het lozen van vleugelwater wanneer...
 - a) je gaat landen.
 - b) de temperatuur onder het vriespunt komt.
 - c) je merkt dat het vliegtuig staartlastig wordt.
 - d) je merkt dat het vliegtuig wil gaan hellen.

1d, 2b, 3b, 4b, 5d.

16.12 Prestaties en Operationele Beperkingen van Batterijen

- 1) Een batterij wordt tijdens de vlucht...
 - a) opgeladen door de verbrandingsmotor.
 - b) opgeladen door de elektromotor.
 - c) opgeladen door zonnecellen.
 - d) niet opgeladen.
- 2) Wat gebeurt er met de capaciteit van de batterij als het aantal stroomgebruikers afneemt?
 - a) De capaciteit neemt toe.
 - b) De capaciteit neemt af.
 - c) De capaciteit blijft gelijk.
 - d) De capaciteit gaat naar nul.
- 3) Wat gebeurt er met de laadstatus van de batterij als het aantal stroomgebruikers afneemt?
 - a) De laadstatus neemt toe.
 - b) De laadstatus neemt minder snel af.
 - c) De laadstatus neemt sneller af.
 - d) De laadstatus blijft gelijk.
- 4) Als twee batterijen naast elkaar (parallel) worden gebruikt...
 - a) neemt de capaciteit toe.
 - b) neemt de stroom toe.
 - c) neemt de spanning toe.
 - d) neemt de weerstand toe.
- 5) Batterijcapaciteit neemt af met...
 - a) toenemend stroomgebruik.
 - b) afnemende temperatuur.
 - c) afnemend stroomgebruik.
 - d) toenemende temperatuur.

1d, 2c, 3b, 4a, 5b.

16.13 Noodparachutes

- 1) Een BRS zal na activatie...
 - a) de vlieger optillen tot boven de cockpitrand.
 - b) de ripcord van de parachute van de vlieger automatisch opentrekken.
 - c) de vlieger met een schietstoel afschieten.
 - d) een parachute afschieten die het gehele vliegtuig gecontroleerd kan terugbrengen.
- 2) Waar bevindt zich de parachute van het BRS?
 - a) Op dezelfde plek als waar de menselijke reddingsparachute zich bevindt.
 - b) In de romp ter hoogte van de vleugels.
 - c) In de staart van het vliegtuig.
 - d) Onder de zitting van de piloot.
- 3) Hoe gaat de parachute van het BRS naar buiten?
 - a) Met oliedruk.
 - b) Met een explosief.
 - c) Met springveren.
 - d) Met luchtdruk.
- 4) Hoe wordt het ballistisch terugbrengsysteem geactiveerd?
 - a) Bij het afwerpen van de kap met de rode hendel.
 - b) Via hetzelfde trekkoord als dat van de menselijke reddingsparachute.
 - c) Door het bedienen van een elektrische schakelaar.
 - d) Door een separaat trekkoord.
- 5) Hoe weet een hulpverlener dat het vliegtuig is uitgerust met een BRS?
 - a) Dat is niet direct zichtbaar: dat staat in het vlieghandboek.
 - b) Door een rode waarschuwingstikker op de romp.
 - c) Door de aanwezigheid van een rode hendel in de cockpit.
 - d) Door een waarschuwingstikker in de cockpit.

1d, 2b, 3b, 4d, 5b.

16.14 Nooduitstapsysteem

- 1) Het nooduitstapsysteem bestaat uit een...
 - a) opblaasbaar kussen dat de piloot tot boven de cockpitrand optilt.
 - b) reddingparachute die door een raket kan worden gelanceerd.
 - c) static line tussen ripcord parachute en cockpit.
 - d) rode noodafwerphendel hendel voor de kap.
- 2) Het nooduitstapsysteem werkt met behulp van een...
 - a) gecomprimeerd gas.
 - b) pakket springveren.
 - c) explosieve lading.
 - d) elektromotor.
- 3) Activatie van het nooduitstapsysteem is door middel van...
 - a) het openen van de veiligheidsriemen.
 - b) een aparte hendel welke toegankelijk is na noodafwerp kap.
 - c) bedienen van de rode noodafwerphendel kap.
 - d) opendraaien van de gasfles.
- 4) Tegelijk met het activeren van het nooduitstapsysteem...
 - a) wordt de kap afgeworpen.
 - b) worden de riemen ontgrendeld.
 - c) wordt de parachute geactiveerd.
 - d) wordt de transponder op 7700 ingesteld.
- 5) Het nooduitstapsysteem staat bekend onder de Engelse naam...
 - a) emergency parachute system.
 - b) ballistic recovery system.
 - c) emergency bail-out system.
 - d) search and rescue system.

1a, 2a, 3b, 4b, 5c.

Literatuurlijst, bronvermelding en dankzegging

Part-(S)FCL, EASA
CS-22, EASA
Theorie van het Zweefvliegen, KNVvL
Glider Flying Handbook, FAA
Aerodynamica, Prestatieleer en Vliegtuigtechniek, Bas Vrijhof
Informatiebrochure Winter Bordgeräte
Technologie voor de Zweefpiloot, Liga van Vlaamse zweefvliegclubs
Foto's LS10st, Jelmer Wassenaar, DG Flugzeugbau
Glasfaser Flugzeug Service GmbH

Dankzegging:

Diverse (proef)lezers, mede voor hun opbouwende commentaar, in het bijzonder:
Dirk Corporaal,
Arjan van Dijk,
Nico Peursum,
Roald Munnig Schmidt,
Sikko Vermeer,
Agentschap Telecom.