

Inhoudsopgave

8	Technologie	3
8.0	Inleiding.....	3
8.1	Constructie.....	4
8.1.1	Materialenkennis	4
8.1.1.1	hout	4
	gebruikte houtsoorten.....	4
	balken, latten, triplex, lijm	4
8.1.1.2	staal: buizen, kabels, beslagen, hefbomen	6
8.1.1.3	dural	6
8.1.1.4	kunststof	7
	plexiglas	7
	epoxy en polyester	7
	glasvezel, koolstofvezel, aramidevezel (kevlar), polypropyleen	8
	kunststofweefsels, rovings.....	9
8.1.1.5	doekbekleding, kleeflak, spanlak, verf.....	10
8.1.2	Eigenschappen van de materialen	11
8.1.2.1	Vakwerkconstructie.....	12
	vleugels: hoofdlijger, torsieneus, ribben, achterlijst, bevestiging van de vleugels ..	12
	romp.....	14
	staartvlakken	15
8.1.2.2	Schaalconstructie	17
	eigenschappen, voor- en nadelen	18
	kunststofconstructie in mallen	18
	zuivere schaalconstructie	18
	sandwichconstructie	18
8.2	Systeemontwerp en belastingen.....	18
8.2.1	op de grond (landing)	19
8.2.2	in vlucht.....	22
8.3	Landingsgestel, wielen, schaats en staartslof.....	26
8.4	Gewicht en evenwicht (Mass & balance)	27
8.4.1	hoogteroer.....	29
8.4.2	rolroeren.....	29
8.4.3	trim: trimvlak, veertrim (trimhendel = groen)	30
8.4.4	richtingsroer	31
8.4.5	remkleppen (remklephendel = blauw).....	32
8.4.6	welvingkleppen (flaps).....	33
8.4.7	borging van de aansluitpunten	33
8.4.8	Sleephaak (ontkoppelknop = geel)	35
8.4.8.1	Tosthaken: neushaak en zwaartepunthaak.....	35
8.4.8.2	andere sleephaaksystemen: Aerazur, PZL, Blanik, zijdelingse,	35
8.4.8.3	sleepringen en breukstukken	35
8.5	Instrumenten	35
8.5.1	Meten van drukken.....	36
8.5.1.1	statische druk	36
8.5.1.2	dynamische druk: venturibuis / pitotbuis	36
8.5.1.3	compensatiebuis.....	37
8.5.2	Instrumenten	38
8.5.2.1	snelheidsmeter: kleurencode	38
8.5.2.2	hoogtemeter: instellingen, types (aantal wijzers).....	42
8.5.2.3	variometer	45
	Membran- of capsulevariometer, stuwschijfvariometer, draaibandvariometer, elektrische en elektronische variometer.....	45
	Compensatie door membraan / compensatiebuis / elektronisch	48
	MacCreadyring.....	51

8.5.2.4	kogel en koordje	53
8.5.2.5	kompas.....	54
	werking.....	54
	variatie	56
	deviatie.....	57
	inclinatie en de gevolgen ervan	58
	versnellingsfout	58
8.5.2.6	gyroscopische instrumenten (pro memorie)	58
8.5.3	Radio zendontvanginstallatie.....	61
8.5.3.1	Instellingen en gebruiksaanwijzingen.....	61
8.5.3.2	Frequenties.....	61
8.5.3.3	Draagwijdte.....	62
8.5.3.4	Gebruik van de radio	62
8.5.3.5	Instellingen:	62
8.5.3.6	Controle en onderhoud:	63
8.5.4	Elektrische installatie.....	63
8.5.4.1	Flight Data Recorder & GPS.....	64
8.5.4.2	Transponder	64
8.5.4.3	FLARM	66
8.5.4.4	Correct gebruik van batterijen	67
8.5.4.5	Begrippen over beveiliging.....	68
8.6	Handboeken en documenten	69
8.6.1	Bewijs van luchtwaardigheid (BVL) - bestaat nu uit twee elementen:	69
8.6.2	Gebruikshandboek (Flight Manual of Vlieghandboek)	69
8.7	Controles en onderhoud.....	69
8.7.1	Kennis van het gevlogen zweefvliegtuigtype	69
8.7.1.1	montage / demontage.....	69
8.7.1.2	controlepunten.....	69
8.7.1.3	zwakke punten.....	70
8.7.2	Controle na montage.....	70
8.7.2.1	systematische montage en borging	70
8.7.2.2	positieve check van de beweegbare delen	70
8.7.2.3	dubbelcheck alvorens controleluikjes af te plakken (liefst controle door bevoegde derde).....	70
8.7.3	Dagelijkse controle	71
8.7.3.1	systematische rondgang.....	71
8.7.3.2	bij onderbreking, herbeginnen	71
8.7.3.3	positieve check van de beweegbare delen	72
8.7.4	Controle na incidenten	72
8.7.4.1	harde landing.....	72
8.7.4.2	grondzwaai	72
8.7.4.3	botsing met obstakel.....	72
8.7.4.4	andere beschadigingen	73
8.8	Index.....	74
Bijlage 1	Eigenschappen van materialen	71
Bijlage 2	Gewicht en evenwicht (Mass & balance)	72

8 Technologie

8.0 Inleiding

Technologie van het (zweef)vliegtuig, zowel qua constructie als qua instrumentatie, is een basiskennis die onmisbaar is om efficiënt het toestel structureel te controleren voor de vlucht, om de technische beperkingen van het toestel te begrijpen, en om de instrumenten correct te interpreteren of abnormale aanduidingen te identificeren en hun oorzaak te verhelpen.

Het beheersen van dit hoofdstuk zal dus leiden tot een positieve attitude bij de uitwendige controle, de cockpitcheck, maar ook bij het vliegen zelf, en zal de vliegveiligheid beduidend verbeteren.

Dit onderdeel werd voornamelijk opgesteld door Yves Verburgh, aan de hand van zijn eigen cursus, en bijgewerkt door Stéphane Vander Veken. Voor sommige onderdelen werd teruggerepen naar het boek "Praktijk van het zweefvliegen" van de KNVvL.

8.1 Constructie

8.1.1 Materialenkennis

Er worden bij de constructie van zweefvliegtuigen heel wat verschillende materialen gebruikt. Een beperkte kennis van hun eigenschappen en gebruikswijzen leidt tot een beter begrip van hun voor- en nadelen, en tot een betere evaluatie van hun toestand bij controles.

8.1.1.1 hout

De bouw van een houten zweefvliegtuig vraagt geen grote investeringen. Het kan met eenvoudige gereedschappen gebeuren. De bouw is echter wel arbeidsintensief, waardoor serieproductie duur uitvalt. Dit, tezamen met de matige aerodynamische kwaliteit (vormnauwkeurigheid) maakt dat hout thans in de nieuwbouw van zweefvliegtuigen totaal is verdrongen, behalve voor prototypen en amateurbouw. Een voordeel van houten zweefvliegtuigen is dat deze op goedkope wijze kunnen worden onderhouden en gerepareerd door bevoegde amateurs.

gebruikte houtsoorten

In de zweefvliegtuigbouw worden hoofdzakelijk de volgende houtsoorten gebruikt:

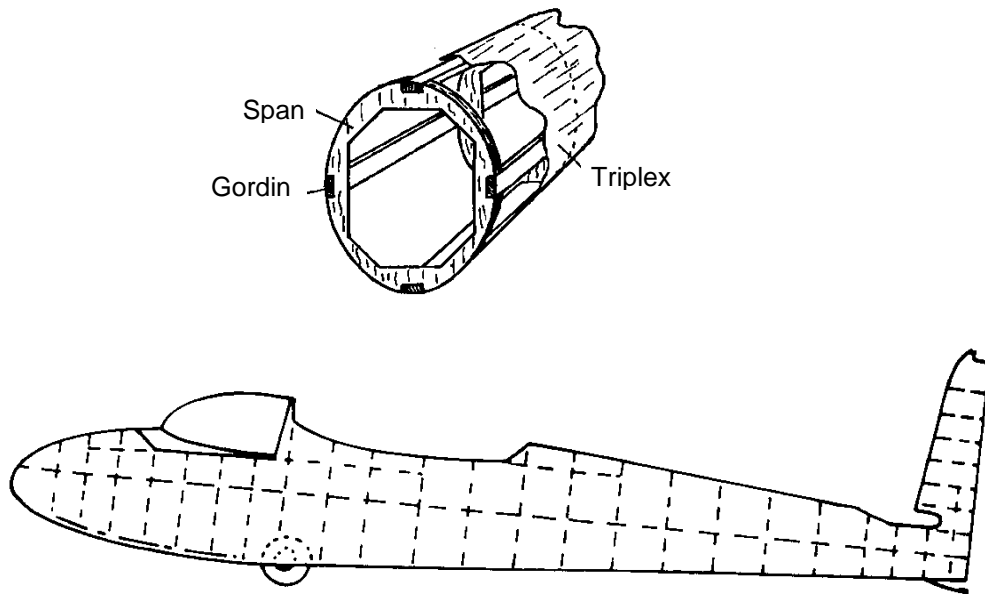
- **dennenhout**, bijvoorbeeld **spruce** (Amerikaanse den), **grenen** of **kiefer** (grove den of spar uit Oost Europa) voor gordingen en latjes;
- **essenhout** (een taaie maar flexibele houtsoort) voor onderdelen als schaats en vleugelrandboog;
- **berkenhout** wordt gebruikt in de vorm van triplex: plaatmateriaal dat bestaat uit drie op elkaar gelijmde fineerlagen.
- **balsa** (een zeer lichte en gemakkelijk op vorm te schuren houtsoort die weinig stevigheid bezit) wordt gebruikt voor niet belaste onderdelen met een complexe vorm. Het wordt soms als ondersteuningsmateriaal voor dun triplex of voor **kunstvezellaminaat** gebruikt.
- **okumé**: een tropische houtsoort, gebruikt men ook wel voor triplex in plaats van berkenhout. De sterkte maar ook het gewicht zijn minder. Het voordeel is dat men bij eenzelfde gewicht dikkere plaat kan gebruiken, hetgeen een grotere **vormvastheid** geeft.

balken, latten, triplex, lijm

- **balken**: massieve balken worden in de vliegerij nauwelijks gebruikt. Het is namelijk moeilijk om perfecte stukken hout te vinden die aan de nodige afmetingen voldoen. Er wordt dus gebruik gemaakt van balken die samengesteld zijn uit stapeltjes aan elkaar gelijmde dunne latjes die wel zo perfect mogelijk moeten zijn. Soms wordt een volle balk vervangen door twee dunne balken verbonden door lijfplaten (o.a. voor de liggers).
- **latten**: op elkaar gekleefde latten worden vaak gebruikt om complex gevormde onderdelen samen te stellen (o.a. spanten). Massieve latjes kunnen ook gebruikt worden om vorm te geven, bijvoorbeeld bij een bespande romp, of als gordingen in vakwerk- of halfschaalconstructie.
- **triplex**: plaatmateriaal dat bestaan uit drie dunne op elkaar gelijmde lagen (fineerlagen) hout. Daarvan ligt de vezelrichting van de middenlaag onder een hoek van 90° met die van de beide buitenste lagen. De dikteverhouding van de lagen is 1:1:1 bij plaatdikten beneden 1,2 mm; 1:1,5:1 bij dikten tussen 1 en 3 mm en 1:2:1 bij dikten groter dan 3 mm. Wanneer de plaat dunner is dan 3 mm is deze in één richting sterker dan in de richting

loodrecht daarop. Soms past men meer dan drie lagen (altijd een oneven aantal) toe. Men spreekt dan van **multiplex**.

- **lijm:** voor het lijmen van houtconstructies gebruikt men tegenwoordig altijd **kunstharslijm**. Toegestane lijmen zijn onder andere **aerlolite** en **aerodux**. Aerodux wordt het meest gebruikt. Deze lijm bestaat uit twee componenten: de eigenlijke lijm en de hardener, die in de juiste verhouding moeten worden gemengd. Na het insmeren van beide lijmvlakken moeten de onderdelen onder druk uitharden. De meeste lijmsorten zijn binnen 24 uur bruikbaar uitgehard, maar de volle sterkte wordt pas na een week bereikt.



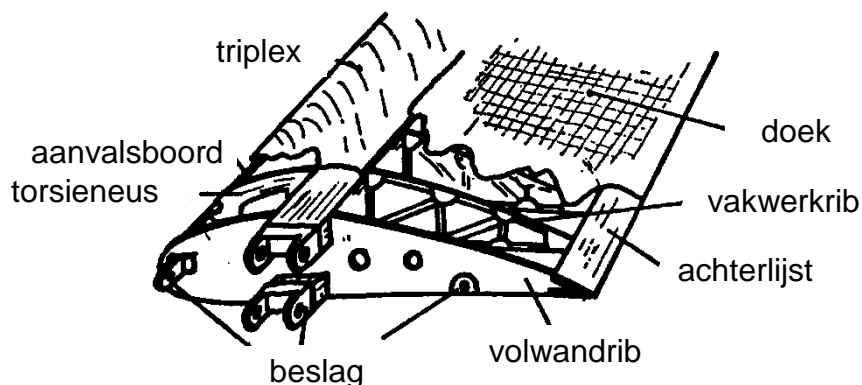
Houten romp: halfschaalstructuur K-6

Kenmerken van een houten constructie:

- kleine beschadiging van de triplex huid heeft weinig effect op de globale sterkte van de rompstructuur
- eenvoudig te herstellen mits bevoegde hersteller (weinig infrastructuur nodig)

maar:

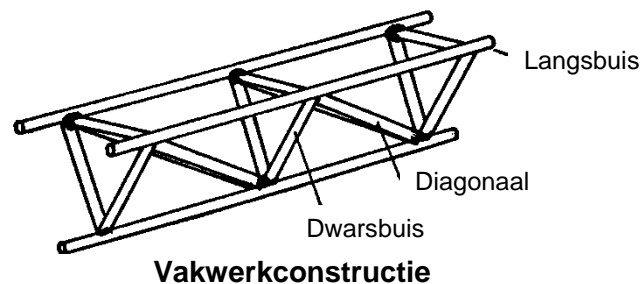
- triplexhuid biedt nauwelijks bescherming tegen binnendringende voorwerpen
- zal bij ongeval zonder veel energieopname versplinteren
- kritisch voor onderhoud: hout kan onder vochtige omstandigheden zwellen, rotten



Houten vleugelstructuur

8.1.1.2 staal: buizen, kabels, beslagen, hefbomen

- **Staal:** Op beperkte schaal wordt staal in de luchtvaart gebruikt, met name voor zeer zwaar belaste delen als motorophangingen, vleugel/rompverbindingen, stuurkabels, hefbomen. Verder ook als rompstructuur op basis van buizen (lichter). Staal ontleent zijn gunstige mechanische eigenschappen (sterkte, hardheid) aan het betrekkelijk lage koolstofpercentage t.o.v. ruwijzer; dit percentage varieert nl. tussen de 0,1-0,7%. Door verder kleine hoeveelheden nikkel, chroom en molybdeen toe te voegen worden staalsoorten bekomen met verbeterde eigenschappen (o.a. roestweerstand) maar de lasbaarheid vermindert.
- **Buizen:** de oudste toepassing van metaal als constructiemateriaal in de (zweef-) vliegtuigbouw is de **staalbuisromp**. Een dergelijke romp kan een (gecertificeerde) vliegtuiglasser in korte tijd en met weinige typegebonden gereedschap bouwen. Door de efficiënte **vakwerkconstructie** valt zo'n romp betrekkelijk licht uit, ondanks het feit dat de staalbuis een lage sterke / gewichtsverhouding heeft (4 Km). Bij schade (meestal geplooid buizen) kan zo'n romp snel worden gerepareerd. Het onderhoud van de staalbuisromp met linnen bekleding is tamelijk arbeidsintensief.



- **Besturingskabels:** worden gemaakt van heel dun staaldraad met een hoge treksterkte (tot 200 kN / cm²). Zeven draden, de **tieren**, worden schroefvormig in elkaar gedraaid tot een **streng** of **kardeel**. Vervolgens worden 6 kardelen ook schroefvormig gewonden om een 7^e kardeel dat de kern vormt. De schroefrichting van de dieren is tegengesteld aan die van de kardelen om het terugdraaien van de kabel zoveel mogelijk te verminderen. Men noemt dit **kruisslagkabel**. Een kabel met deze opbouw noemt men een 6 x 7 kabel (6 kardelen van 7 dieren, plus een kern van 7 dieren). Er bestaat ook 7 x 19 besturingskabel, die wat soepeler is dan 6 x 7.
- **Beslagen:** gezien beslagen hoge belastingen moeten ondergaan worden deze uitgevoerd in hoogwaardig staal. Schleicher past bijvoorbeeld voor de **liggerbeslagen** (Ka-6, 7, 8 en 13) een chroommolybdeen staalsoort toe met een treksterkte van ongeveer 65 kN / cm², die nog redelijk lasbaar is.
- **Hefbomen:** worden vaak gemaakt van staal als een lasconstructie wanneer de vorm ingewikkeld is. Voor simpele vormen die uit plaat kunnen worden gefreesd kiest men meestal dural (een harde aluminiumlegering, zie verder).

8.1.1.3 dural

Dural (duraluminium): is een legering van **aluminium** met 4 – 6% koper en een geringe hoeveelheid magnesium. Door middel van een bepaalde warmtebehandeling krijgt dural zijn sterkte-eigenschappen die overeenkomen met zacht staal, dus harder en veerkrachtiger dan gewoon aluminium. Omwille van de combinatie van laag soortelijk gewicht (aluminium) en de

verbeterde sterkte-eigenschappen wordt dural gebruikt in de vliegtuigconstructie voor structuren (liggers, vleugelribben, rompspanten, rompgordingen) en voor huidplaten voor romp en vleugels. Tegenwoordig maakt men aluminiumlegeringen waarvan de sterktecijfers nog hoger liggen.

De bouw van lichtmetalen zweefvliegtuigen (dural) vraagt een grote investering aan typegebonden mallen en gereedschappen, maar het bouwproces zelf vraagt weinig arbeidstijd. Het is dus bij uitstek een productiemethode voor grote series (assemblage). De duralplaten worden bij middel van **klinknagels (rivetten)** aan mekaar en aan de structuur bevestigd. Er bestaan echter ook gekleefde aluminiumstructuren, wat de oneffenheden van de klinknagels vermijdt.

De aerodynamische kwaliteit van een gekleefd aluminium zweefvliegtuig hoeft niet noodzakelijk onder te doen voor een kunststofvliegtuig. Een nadeel blijft de kwetsbaarheid voor plooiën en deuken. Reparaties vragen veel vakmanschap en het juiste gereedschap in speciale werkplaatsen. De onderhoudsbehoefte van een lichtmetalen zweefvliegtuig is gering, maar **corrosie** kan een probleem vormen evenals **metaalmoetheid**.

8.1.1.4 kunststof

In moderne zweefvliegtuigen worden vooral diverse kunststoffen aangewend, hout en metaal komen nog sporadisch voor bij spanten, beslagen en stuursystemen.

plexiglas

Plexiglas (Perspex) is een zeer heldere kunststof uitermate geschikt voor het vervaardigen van cockpitkappen. De technische benaming is polymethylmetacrylaat (PMMA) en deze kunststof wordt aangeleverd onder de vorm van dunne vlakke platen die naderhand via een procedé van opwarmen en blaasvormen in de gewenste kapvorm kunnen worden omgevormd.

Plexiglas is erg krasgevoelig (nooit met een droge doek stof afwrijven), scheurt of barst bij schokken (let op voor dichtslaande cockpitkap) en onder spanning.

Scheurtjes die gemakkelijk vanuit boutgaten of beschadigingen kunnen ontstaan, moeten daarom zo snel mogelijk aan het einde van de scheur van een stopgat worden voorzien. Dit kan gebeuren met een hete staaldraad of door voorzichtig afboren. Het materiaal kan goed worden gepolijst, maar moet daarna wel antistatisch worden gemaakt.

Plexiglas wordt snel aangetast door allerlei vloeistoffen en dampen, zoals bijvoorbeeld verfoplosser en celluloseverdunder (voor spanlak). Het oppervlak wordt mat door heel kleine barstjes, die de doorzichtigheid verminderen en tot scheuren kunnen leiden.

epoxy en polyester

In de vijftiger jaren ontdekte chemici dat uit glas zeer sterke vezels konden worden geproduceerd. Deze vezels zijn uitstekend in staat om trekkrachten op te nemen, maar geen andere belastingen. Bovendien was één enkele vezel erg kwetsbaar. Daartoe werden de vezels ingegoten in een **hars**. Het hars waar de vezels in liggen, wordt de **matrix** genoemd. Versterkende vezels worden met de kunsthars samenstelling vermengd tot een **composiet**, dus hars + vezel. Na uitharden is het composiet sterk en vormvast. Een typisch voorbeeld van een composiet gebruikt bij de bouw van zweefvliegtuigen is een **laminaat** (zie verder).

Bekende kunstharsen zijn **epoxy** en **polyester**. Zij worden in vloeibare vorm in de juiste verhouding vermengd worden met een **harder**. Het zijn **twee-componentsystemen**. Het uitharden gebeurt in enkele uren tijd. Het uithardingsproces noemt men **polymeriseren**: het vormen van lange moleculaire ketens (**polymeren**). Het polymeriseren wordt versneld door opwarming, hetzij in een autoclaaf, hetzij via het verwarmen van de mallen zelf.

De mechanische eigenschappen van kunsthars, en dus van de ermee vervaardigde composieten, variëren met de temperatuur. De meeste zwevers worden zodanig vervaardigd dat de stevigheid gegarandeerd is tot $\pm 57^\circ \text{C}$. Daarom zijn alle kunststof zweefvliegtuigen wit, want dan is de reflectie van de zonnewarmte het grootst: in volle zon zouden anders gekleurde zweefvliegtuigen snel over die limiet heen kunnen opwarmen. Enkele uitzonderingen bestaan: de Pik 20 kon ook in het oranje, rood en groen geleverd worden, omdat die tot een hogere temperatuur gepolymeriseerd was.

Behalve goedkeuring van de constructeur doet men er in ieder geval goed aan om geen kleurmarkeringen aan te brengen op sterk belaste onderdelen. Veilige plaatsen zijn rompneus en vleugeltippen.

glasvezel, koolstofvezel, aramidevezel (kevlar), polypropyleen.

Composietmaterialen bestaan uit twee ingrediënten: vezels en een hars. Vandaar dat composietmaterialen ook wel worden aangeduid als vezelversterkte kunststoffen.

De bouw van een kunststofzweefvliegtuig vraagt grote investeringen in de vorm van zeer gladde nauwkeurige **mallen**. De bouw is ook arbeidsintensief en vraagt bovendien een goede kwaliteitsbewaking omdat het materiaal, het laminaat, ter plaatse wordt gemaakt. De mogelijkheden van vormgeven en de hoge sterkte/gewicht-verhouding (zie tabel) maken deze materialen favoriet voor de bouw van zweefvliegtuigen.

Laminaat: materiaal bestaande in met kunsthars (epoxy-, polyesterhars) gedrenkte vezelmatten (**kunststofweefsels, rovings**) die aan mekaar kleven. Na het uitharden van het kunsthars wordt – dankzij het versterkend effect van de vezelmatten - een sterke taaie gelaagde structuur bekomen.

Glasvezel: goedkoopste vezel, wordt veel toegepast. Een nadeel is de grote elasticiteit van laminaat op basis van glasvezel. Bijvoorbeeld een vleugel die men precies sterk genoeg bouwt, wordt hierdoor zo slap dat gevaar voor flutter bestaat. Men moet dus uit stijfheidoverwegingen meer materiaal (laminaat) in de constructie stoppen; waardoor de gunstigste sterkte / gewichtsverhouding niet helemaal wordt benut.

Koolstofvezel: men past daarom tegenwoordig, voor onderdelen die tegelijk sterk en stijf moeten zijn, **koolstofvezel** toe in het laminaat, bijvoorbeeld in de vleugelliggers en in het frame van de cockpitkap. Koolstof is aanmerkelijk duurder en ook moeilijker te verwerken tot vezels dan glas. Het laminaat is bovendien een vrij bros materiaal dat gemakkelijk slagschade kan oplopen. Daarom zal men voor clubgebruik niet gauw een geheel koolstof zweefvliegtuig ontwerpen, hoewel het door de hoge sterkte en de grote stijfheid *het* materiaal is voor topzweefvliegtuigen.

Aramidevezel (Kevlar); een interessante kunstvezel is aramide. Laminaat op basis van deze vezel heeft een bijzonder hoge specifieke treksterkte, maar helaas een relatief lage druksterkte, hoewel deze nog vergelijkbaar is met die van dural (zie verder). en 70% beter dan die van hout. Het laminaatmateriaal is uitstekend bestand tegen slagschade.

Polypropyleenvezel: sterke taaie vezel. Zeer vochtbestendig. Eenvoudig en goedkoop te fabriceren. Daarentegen is speciale aandacht nodig voor het realiseren van een goede

hechting van het kunsthars met de polypropyleenvezels. Op polypropyleenoppervlak hechten harsen moeilijk waardoor de sterkte van het composiet sterk kan achteruitgaan.

Het voordeel van de genoemde vezelmaterialen is dat men deze goed in combinatie kan gebruiken. Men kan hierbij de sterke punten van de afzonderlijke materialen optimaal benutten, bijvoorbeeld door een zweefvliegtuig hoofdzakelijk te bouwen van glasvezellaminaat (kosten), met liggers, verstijvers en kapframe van koolstofvezellaminaat (sterkte + stijfheid) en een cockpitkuip en romponderkant van aramidevezellaminaat (veiligheid). De glasvezels zijn te herkennen aan de witte kleur (ze worden groen als ze gedrenkt zijn in epoxy). De aramidevezels zijn geel van kleur en koolstofvezels zijn gitzwart.

Sommige vezels zijn vochtgevoelig (glasvezel) zodat het belangrijk is dat de beschermende harslaag niet wordt beschadigd. Ze zijn ook gevoelig voor UV-licht, en worden daarom beschermd door een **gelcoat** (schuurlaag op polyesterbasis) of door verf (acrylaat of polyurethaan). Scheurtjes in die bovenlaag kunnen leiden tot aantasting van het laminaat.

De noodzaak van onderhoud van composietmaterialen is betrekkelijk gering, maar het in stand houden van de oppervlaktegladheid kan toch veel tijd vragen. De kwetsbaarheid van kunststofvliegtuigen is minder dan die van houten zweefvliegtuigen, maar eventuele reparaties vragen veel tijd en vakmanschap en de beschikking over een goed outillage.

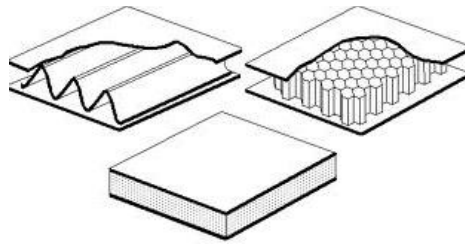
kunststofweefsels, rovings

Kunststofweefsels: voor goedkope toepassingen worden de vezels vaak versnipperd opgenomen in de matrix. Men verkrijgt dan vezelplaten waarvan de sterkte zeker onvoldoende is voor de vliegtuigbouw. Ze zijn wel even sterk in alle richtingen, men kan dus spreken over een **omnidirectioneel** materiaal.

Voor sterkere structuren moeten de vezels geweven worden. Als er even veel weefsels worden gebruikt voor schering als voor inslag, heeft het vezeldoek dan in beide richtingen vergelijkbare sterkte-eigenschappen. Maar men kan ook veel meer vezels gebruiken in de ene dan in de andere richting, zodat de sterkte vooral in één richting bestaat. Men spreekt dan van **unidirectioneel** weefsel.

Verschillende lagen met kunsthars (epoxy) geïmpregneerde vezelmatten op elkaar vormen een laminaat. Een dergelijk uitgehard laminaat vormt een uiterst stijve huid (vormvast) voor romp en vleugels. Het aantal ribben in de vleugel en het aantal spanten in de romp kunnen hierdoor tot een minimum beperkt blijven. De vezels in de verschillende doeklagen worden vaak onder een hoek gelegd, om het laminaat zo sterk mogelijk te maken in verschillende richtingen.

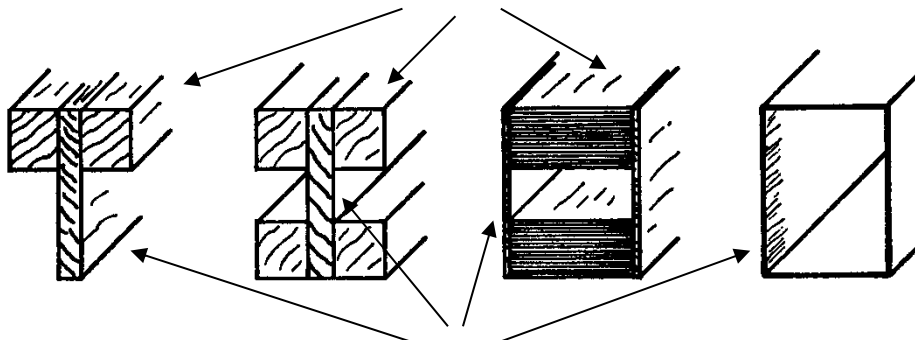
Sandwichconstructie: gezien de kleine laagdikte (0,5 tot 1,0 mm) van zo'n laminaat is het o.a. voor vleugels noodzakelijk om de vormvastheid nog te verbeteren, hierbij wordt de voorkeur gegeven om twee laminaten samen te lijmen met een lichte vulstof als kern. Als kernmateriaal gebruikt men meestal een kunststof schuim (PVC: polyvinylchloride of polyurethaan) of ook wel (schaars maar sterker) balsahout. Een kern met een honigraatstructuur komt ook voor. Op deze manier ontstaat een sandwichplaat van circa 1 cm dikte, die stijf genoeg is om de vleugel in koordrichting vormvast te maken.



Lijfplaten en gordingen: om de vleugel in spanwijdterichting buigstijf te maken, wordt nog een **ligger** aangebracht. Deze bestaat uit één of meer lijfplaten en een onder- en bovengording. De lijfplaten worden vaak weer als sandwich uitgevoerd.

Rovings: De vezels worden soms in rechte banen in de hars gelegd. De vezels liggen dan allemaal in dezelfde richting. Er wordt dan gesproken van een **unidirectioneel** materiaal. Het materiaal heeft alleen sterkte in de vezelrichting van het composietmateriaal. **Rovings** zijn dus strengen evenwijdige kunststofvezels. Zij worden gebruikt in liggergordingen en lopen dus in de spanwijdterichting, d.w.z. in de richting van de trek- en drukkrachten die door buiging van de vleugel in de onder- respectievelijk bovenhuid ontstaan.

Gordingen uit hout of kunststofvezel-rovings



Lijfplaten uit multiplex of laminaat sandwich

T - Ligger

Dubbele T-Ligger

Doosliggers

Bij een aantal kunststofzweefvliegtuigen gebruikt men voor de liggergordingen geen **glasvezelrovings** maar **koolstofvezelrovings**. Koolstof is stijver, d.w.z. minder elastisch en buigbaar, dan glasvezel, waardoor minder materiaal nodig is. Een koolstofligger weegt daarom minder en is toch stijver dan een glasvezelligger.

8.1.1.5 doekbekleding, kleeflak, spanlak, verf

Doekbekleding: het zogenaamde linnen dat wordt gebruikt voor doekbekleding is in werkelijkheid **katoendoek** (tegenwoordig wordt ook veel doekbekleding van **polyester** gebruikt omwille van het lagere gewicht). Het doek wordt op de constructie gelijmd met **kleeflak**, een **celluloselijm**. Het doek wordt vervolgens een keer of zes gedoopt, dat wil zeggen geïmpregneerd met **spanlak**, tot de bekleding strak staat en gelijkmatig glimt.

Verf: op de spanlak komt een beschermende laag zilverdope (spanlak met aluminiumpoeder) om UV-straling te weren, en een decoratieve verflaag. De volgende verfsoorten worden voor zweefvliegtuigen gebruikt:

- **Cellulose verf:** een soort die hard wordt doordat het oplosmiddel verdampt. Dit gebeurt erg snel. De gedroogde verf is later ook weer oplosbaar in zijn oplosmiddel. Een nadeel

is dat deze verf – aanvankelijk soepel – bij verouderen gaat barsten wanneer de ondergrond werkt.

- **Synthetische verf:** een soort die hard wordt door het verdampen van het oplosmiddel, waarbij tevens een chemische omzetting plaatsvindt (met behulp van de zuurstof uit de lucht), zodat de gedroogde verf niet meer in het oplosmiddel oplosbaar is. Synthetische verven hebben een langere droogtijd omwille van deze chemische reactie (circa 24 uur) maar zijn chemisch beter bestendig en gaan minder “kraken”. Daarom zijn deze vooral geschikt voor gebruik op hout en linnen.
- **Tweecomponenten lak:** een lak die bestaat uit een hars en een hardener die een chemische reactie met het hars veroorzaakt. Deze laksoorten zijn bijzonder goed bestand tegen allerlei chemicaliën en ze zijn erg hard. Daardoor zijn ze goed geschikt voor een harde ondergrond, bijvoorbeeld een staalbuisconstructie, een licht metalen zweefvliegtuig, een kunststofzweefvliegtuig. Dus minder geschikt voor gebruik op een vervormbaar oppervlak zoals linnen, tenzij men een passende versoepelaar toevoegt.

8.1.2 Eigenschappen van de materialen

Aan de materialen die worden gebruikt in de vliegtuigbouw wordt de eis gesteld dat die sterk en stijf zijn en tegelijkertijd een laag gewicht hebben.

De sterkte van materialen geeft men aan als de **breukspanning**:

breukspanning = kracht waarbij breuk optreedt / oppervlak van de materiaaldoorsnede

Het gemak waarmee een materiaal uitrekt en samendrukt wordt aangeduid door de **elasticiteitsmodulus**. Dit is de spanning waarbij een materiaal 100% rekt (tweemaal zo lang wordt). Een hoge elasticiteitsmodulus betekent dat er een grote kracht per oppervlakte-eenheid nodig is om het materiaal uit te rekken. Dat materiaal is stijf.

Het verband tussen soortelijk gewicht en breukspanning van een materiaal wordt uitgedrukt door de **specifieke sterkte**: de breuksterkte van het materiaal gedeeld door het soortelijk gewicht. Stel dat men een staaf materiaal verticaal ophangt, dan zal deze bij een bepaalde lengte door het eigen gewicht breken. Het gewicht van de staaf is dan gelijk aan de breukkracht: ***lengte x doorsnede x soortelijk gewicht = doorsnede x breukspanning***. Hieruit volgt: ***lengte = breukspanning / soortelijk gewicht = specifieke sterkte***
De specifieke treksterkte is de (theoretisch) maximale lengte van een staaf materiaal voor deze onder haar eigen gewicht bezwijkt.

Overzichtstabel van enkele veel gebruikte materialen in de vliegtuigbouw:

Materiaal	Treksterkte N/mm ²	Druksterkte N/mm ²	Elasticiteits- modulus N/mm ²	Soortelijk gewicht N/m ³	Specifieke trek- (druk)sterkte KM	Specifieke stijfheid KM
Grenen	80	48	11500	5000	16,0 (9,6)	2300
Spruce	70	40	10000	4500	15,6 (8,9)	2220
Ongelegeerd staal (koolstofstaal)	400		210000	78500	5,1	2675
Gelegeerd staal met chrom, molybdeen, 650-1800 nikkel, vanadium enz.)			210000	78500	8,3 (23,0)	2675
Dural (alu- minium gele- geerd met vnl. koper en magnesium	400		70000	28500	14,0	2755
GVK (50% glas) vierkant weefsel	400	300	24000	17000	23,5 (17,6)	1410
KVK (60% koolstof vierkant weefsel	500	400	60000	10000	31,2 (25,0)	4065
Aramide vezel (60% aramide, vier- kant weefsel)	600	180	37000	13300	45,1 (13,5)	2780

8.1.2.1 Vakwerkconstructie

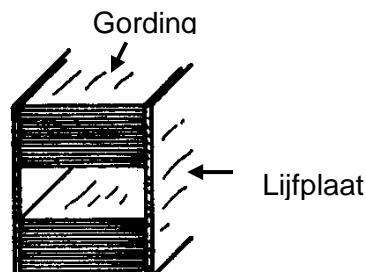
vleugels: hoofdlijger, torsieneus, ribben, achterlijst, bevestiging van de vleugels

De vleugelconstructie bestaat uit volgende onderdelen:

Ribben: bepalen het profiel van de vleugel. De meeste ribben zijn als vakwerk uitgevoerd en vervaardigd van grenenhouten latjes.

- **volwandrib:** bij zwaarder belaste ribben zijn de diagonaal latjes vervangen door een triplex-lifplaat, waardoor een **volwandrib** ontstaat.
- **kistrib:** wordt een rib zijdelings belast, zoals aan de wortel en bij het rolroer het geval is door de spanning op het linnen, dan wordt zo'n rib dubbel uitgevoerd en worden boven' en onderzijde ingedekt met triplex.

De ribben ondersteunen de huid, en wel zo dat de luchtkrachten op de huid worden opgenomen door de ribben. Deze brengen de belasting over naar de ruggengraat van de vleugel, de **lijger**. Dit is een **buigbalk**, die bestaat uit een onder- en een bovengording, verbonden door twee triplex (of multiplex) lifplaten. Zo'n type noemt men een **dooslijger**.

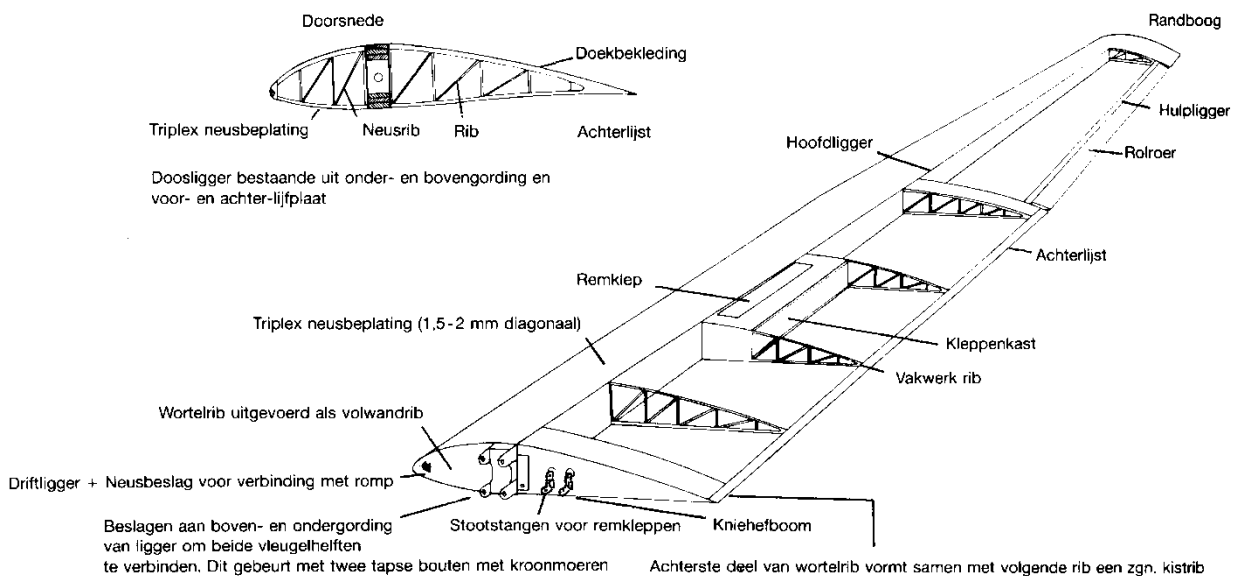


Doosligge

De gordingen zijn grenen latten, dun bij de tip en geleidelijk dikker wordend naar de wortel vanwege de toenemende buigbelasting op de vleugel.

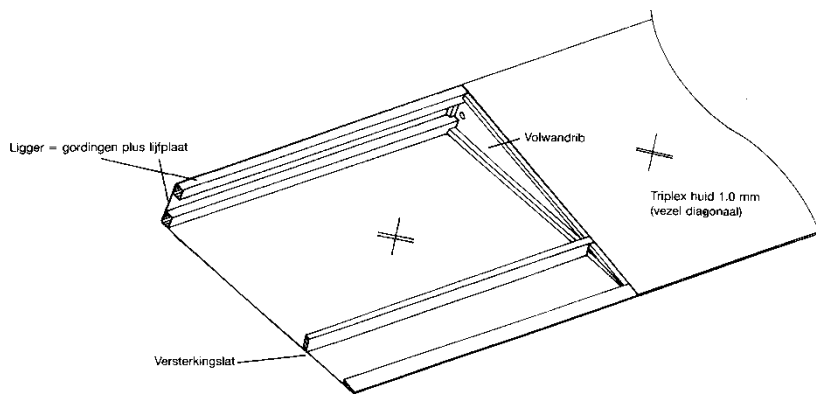
Het voorste gedeelte van de vleugel is voorzien van een stijve triplex huid. Hierdoor ontstaat de zgn. **torsieneus**. De triplexhuid met aan de achterkant de ligger vormt een D-vormige buis, die torsiestijf is. De uitslagen van de **rolroeren** veroorzaken een torsiemoment op de vleugel, torsieverbodding wordt tegengewerkt door de **torsieneus**. De ribben – die zelf vormvast bevestigd zitten op de ligger - beletten dat de torsieneus door torsiebelasting van vorm kan veranderen. De ribben verminderen tevens het plooiën van de huid.

Neuslijst: (vooraan) en **achterlijst** (achteraan) dienen om de ribben op vaste afstanden van elkaar te houden. Om gewicht te besparen is de achterlijst hol uitgevoerd, door deze op te bouwen uit triplex en grenen latten. De achterlijst is in horizontale richting redelijk sterk (buigvast), maar door zijn geringe dikte verticaal erg zwak (**niet op de achterlijst duwen bij grondtransport**).



Rolroer:

Is een triplex doosconstructie met driehoekige doorsnede waarin een aantal volwandribben is aangebracht. Dit om vormvastheid tegen torsie te bekomen.

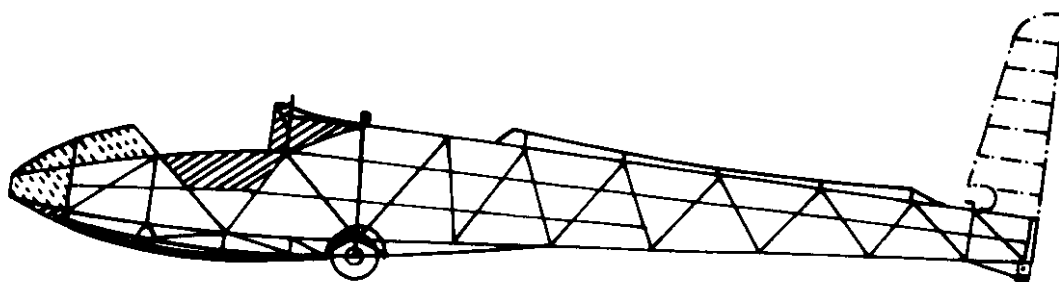
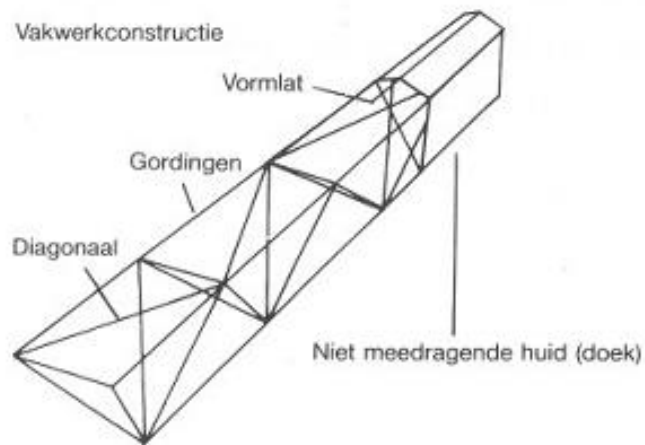


Constructie van een rolroer

Het rolroer kan ook gebouwd zijn met **diagonaalribben** met doek bespannen. Een structuur met diagonaalribben werkt torsieverneming tegen.

romp

Stalen vakwerkconstructie voor een romp



Stalen vakwerkromp Ka-8

Kenmerken van een romp met stalen vakwerkconstructie:

- Eenvoudig te herstellen.
- Neemt goed energie op bij een slechte landing.

- Kreukelzone: neemt goed energie op bij een ongeval waarbij de klap wordt afgedempt door het vervormen van de buizen.
- Beschadiging van de huid (doek) heeft weinig effect op de sterkte van de rompstructuur.

Maar:

- Biedt weinig bescherming tegen binnendringende voorwerpen.

staartvlakken

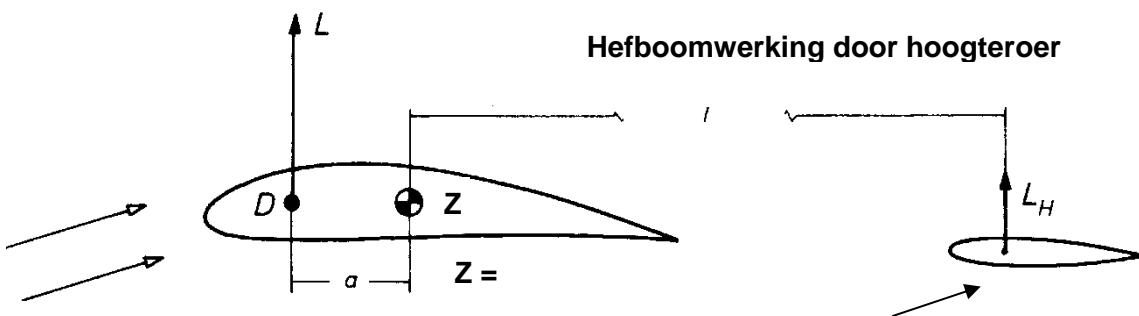
Horizontaal staartvlak: bestaat uit het (horizontale) **stabilo** met **hoogteroer** en eventueel trimvlak. Soms worden stabilo en hoogteroer als één, beweegbaar, geheel uitgevoerd, het **pendelroer**.

Verticaal staartvlak: bestaat uit het (verticale) **kielvlak** en **richtingsroer**.

De staartvlakken worden in principe op dezelfde wijze opgebouwd als een vleugel. Bij de houten staartvlakken ziet men eveneens (veel) ribben en een ligger en triplex beplating voor het vormen van een torsiekoker.

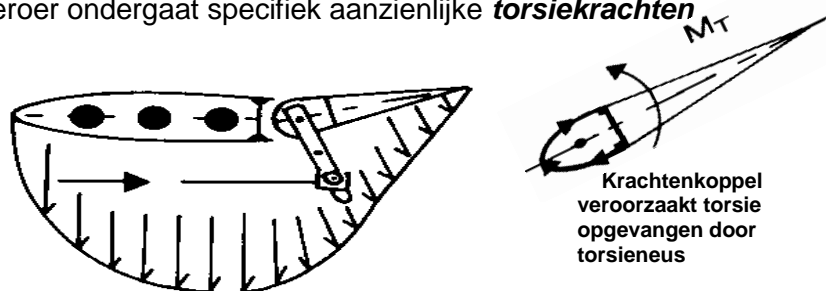
Stabilo en hoogteroer

Het stabilo is noodzakelijk om de stabiliteit rond de dwarsas te verzekeren, het hoogteroer dient om rotaties om de dwarsas uit te voeren, via een hefboomeffect om de dwarsas doorheen het zwaartepunt.



Het horizontaal staartvlak is onderhevig aan hoge belastingen:

- grote **positieve en negatieve draagkrachten** als gevolg van de (aanzienlijke) uitslagen van het hoogteroer
- het hoogteroer ondergaat specifiek aanzienlijke **torsiekrachten**



**Aandrijfarm zorgt voor het krachtenkoppel nodig om het hoogteroer te laten uitslaan.
Bv. bij een omhoog geslagen hoogteroer ontstaat een sterke negatieve draagkracht**

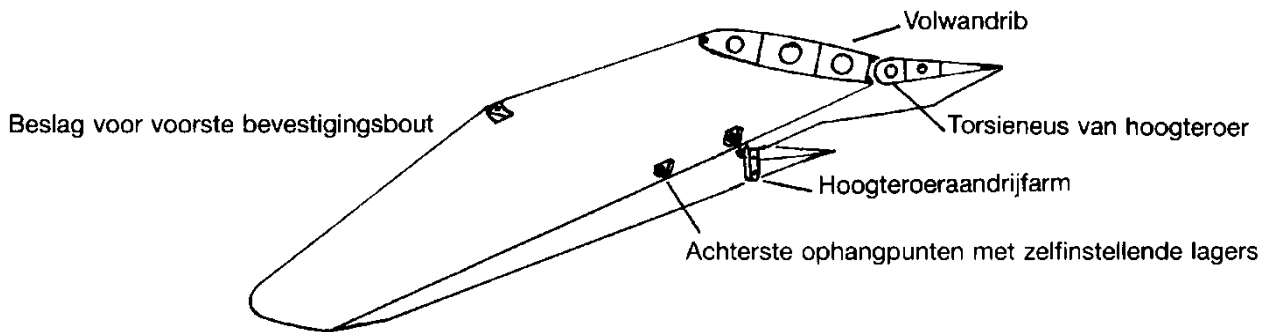
De constructie van het horizontale staartvlak is gelijkaardig met dat van de vleugel: en bestaat uit ribben, liggers, torsioneus uit triplexbeplating. Omwille van de diverse krachten wordt vooral belang gehecht aan een stijvere constructie, gerealiseerd:

voor het **stabilo** door middel van:

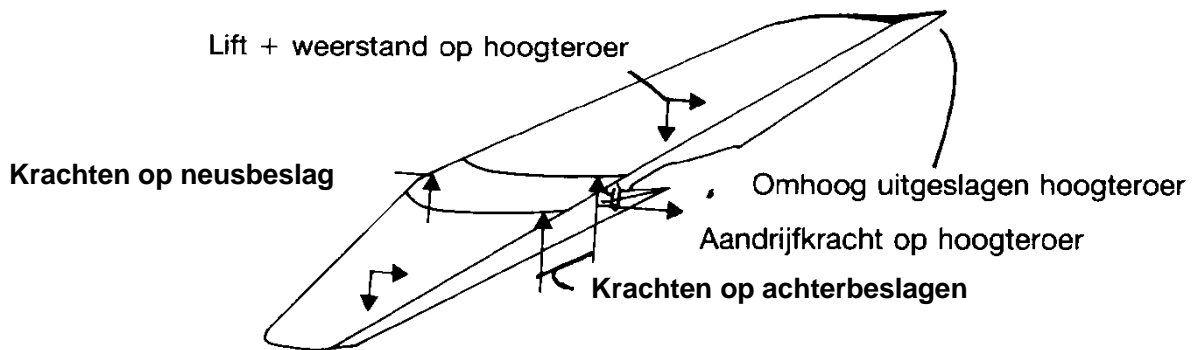
- gebruik van volwandribben;
- kleine afstand tussen de ribben om vervormingen tegen te gaan;
- kleine spanwijdte om vervormingen tegen te gaan.

voor het **hoogteroer**: alhoewel dikwijls met doek bespannen wordt het hoogteroer torsiestijf gemaakt door:

- de neusligger uit te voeren als een D-vormige torsiekoker uit triplex;
- extra neusribben;
- de constructie uit te voeren met diagonaalribben (wordt ook wel bij rolroeren en richtingsroeren toegepast).



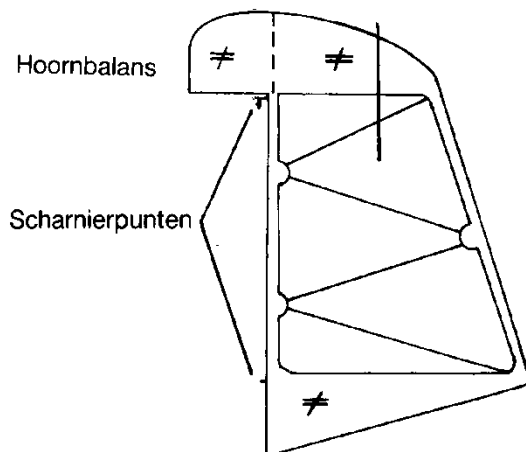
Diverse krachten die inwerken op stabilo en hoogteroer:



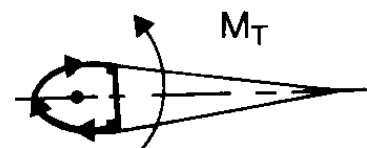
Richtingsroer

De constructie van het richtingsroer is vrijwel identiek aan die van het hoogteroer.

Richtingsroer met diagonaalribben (bijv. Rhönlerche)



Houten roer



Ook hier is het weer de D-vormige torsieneus die het hele torsiemoment moet doorgeleiden naar het aandrijfbeslag.

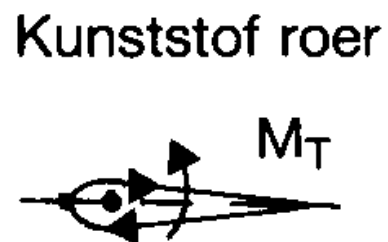
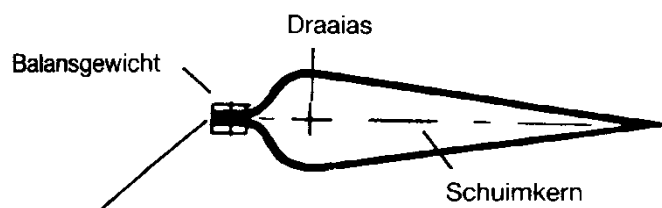
Kunststof staartvlakken: worden als halfschaalconstructie uitgevoerd.

Het **kielvlak** is meestal geïntegreerd met de romp en opgebouwd uit een volglasvezel laminaat huid of een sandwichhuid.

Het **stabilo** heeft meestal sandwichhuiden, ondersteund door een of twee liggers en enige ribben. Het middengedeelte is versterkt door de huid te verdikken met extra lagen glasdoek en/of een hulpligger. Het stabilo wordt op drie punten met pennen in stalen of lichtmetalen beslagen aan de romp bevestigd of meestal bij moderne kunststofzweefvliegtuigen boven het kielvlak als T-staart gemonteerd.

T-staart: voordeel is de lagere weerstand, eenvoud en kleinere kans op beschadiging bij buitenlandingen. Nadeel: hogere belasting in het kielvlak en romp, dus extra gewicht voor versterking.

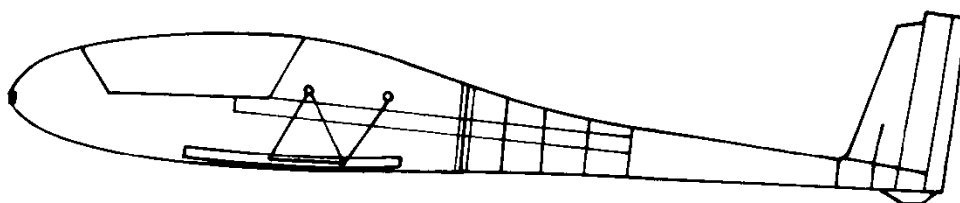
Kunststofroeren: worden vaak uitgevoerd als een schaalconstructie met schuimkern.



Kunststof roeren worden inwendig relatief lichter belast omdat de hele roerdoornede een stijve koker vormt die het torsiemoment kan opnemen.

8.1.2.2 Schaalconstructie

De romp van kunststof zweefvliegtuigen worden vervaardigd uit glasvezellaminaat. Een romp uit glasvezellaminaat is zelfdragend waardoor het aantal spanten tot een minimum herleid is, de romp is hoofdzakelijk hol. Het oppervlak van het glasvezellaminaat wordt afgewerkt met een witte gelcoatlaag die bestaat uit een mengsel van polyesterhars en witte kleurstof (titaniumdioxide). Deze witte afwerkinglaag is zeer glad en beschermt de onderliggende glasvezellaminaatstructuur tegen warmte en vocht.



eigenschappen, voor- en nadelen

Voordelen:

- zeer goede vormgeving en vormvastheid (romp en vleugel)
- de laminaathuid zorgt voor de sterkte (zelfdragend)
- de gelcoatlaag is tamelijk onderhoudsvriendelijk
- de laminaathuid biedt een goede bescherming tegen het binnendringen van voorwerpen
- bij ongeval versplintert de romp, maar bij hogere belastingen dan bij een houten romp

Maar:

- beschadiging van de huid leidt tot verzwakking, dit is meer het geval voor de schaalconstructie als voor de halfschaalconstructie
- glasvezellaminaat, hoewel zeer goed bestand tegen trekkrachten, niet bestendig tegen drukspanning.

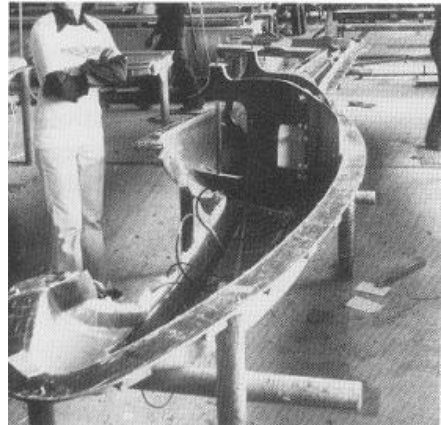
Er wordt soms verweten dat kunststof toestellen gevoeliger zijn voor de regen, met slechte vliegeigenschappen als gevolg. Dit is echter te wijten aan de gebruikte profielen, niet aan de bouwwijze.

kunststofconstructie in mallen

De bouw van een kunststof zweefvliegtuig vereist zeer gladde, nauwkeurige mallen. De bouw is ook arbeidsintensief en vraagt bovendien een goede kwaliteitsbewaking omdat het materiaal, het laminaat, ter plaatse wordt gemaakt. De mogelijkheden van vormgeven en de hoge sterkte/gewichtsverhouding maken deze materialen favoriet voor de bouw van zweefvliegtuigen.

zuivere schaalconstructie

De afzonderlijke romphelften worden vervaardigd door opeenvolgende lagen glasvezeldoek en epoxyhars in de mal aan te drukken. Het hars impregneert de glasvezeldoeken, na uitharden wordt een vormvaste schaalstructuur bekomen. Beide romphelften worden aan elkaar gekleefd tot een holle romp.



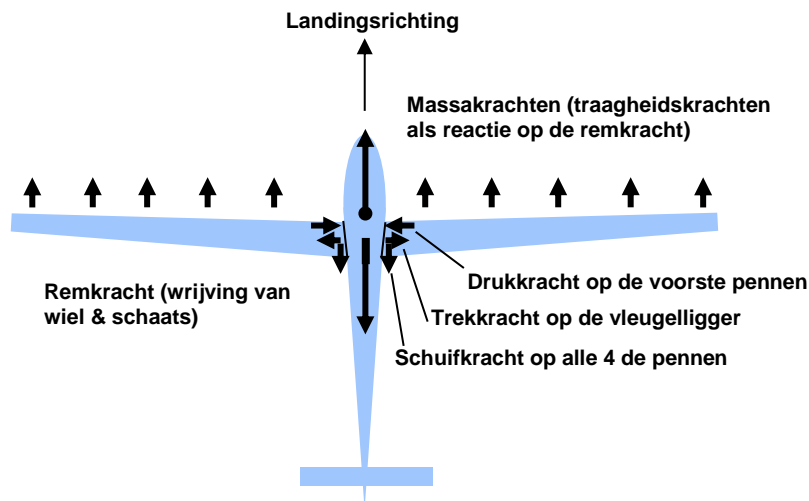
sandwichconstructie

Bij de vervaardiging van vleugels wordt extra vormstijfheid bereikt door een combinatie van halfschaalconstructie en sandwichconstructie. Hierbij worden twee laminaatlagen aaneengelijmd met een lichte vulstof als kern. Als kernmateriaal gebruikt men meestal een kunststof schuim (PVC: polyvinylchloride of polyurethaan) of ook wel (schaars, sterker, maar gevoelig voor verrotting) balsahout. Op deze manier ontstaat een sandwichplaat van circa 1 cm dikte, die stijf genoeg is om de vleugel in koorderichting vormvast te maken.

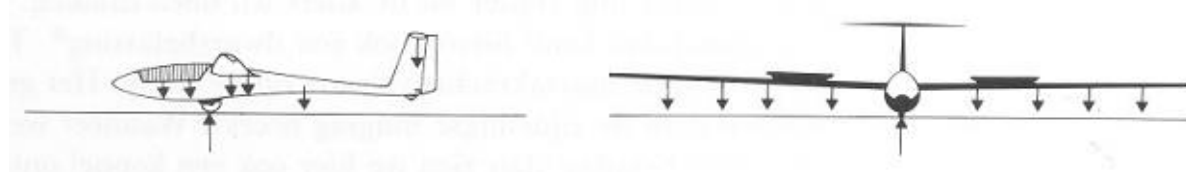
8.2 Systeemontwerp en belastingen

8.2.1 op de grond (landing)

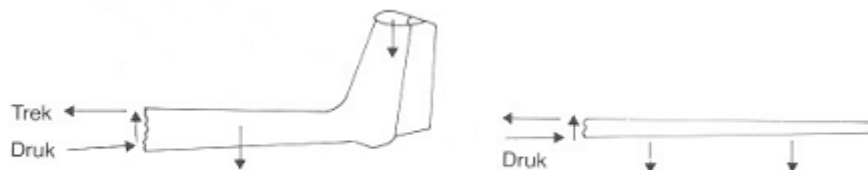
Bij een **correcte landing**, waarbij het vliegtuig met een daalsnelheid gelijk aan nul aan de grond komt, wordt de draagkracht van de vleugel geleidelijk overgenomen door de reactie van de aardbodem op het wiel. Door het gelijktijdig afremmen ontstaan voorwaartse traagheidskrachten op het hele vliegtuig. Door de voorwaartse massakrachten die inwerken op de vleugels (terwijl de romp afremt door de wrijving van wiel & schaats met de grond) kan vooral de **vleugel-rompverbinding** hoog worden belast.



Wanneer **te hoog wordt afgevangen** kan het toestel wanneer het doorzakt met een klap op het wiel terecht komen. Alle neerwaartse massakrachten moeten worden opgevangen door het wiel. Verder veroorzaken deze neerwaartse massakrachten een neerwaartse buiging van de romp en de vleugels.



Hierbij ontstaan drukspanningen in de romp- en vleugelonderkant en trekspanningen in de bovenkant.

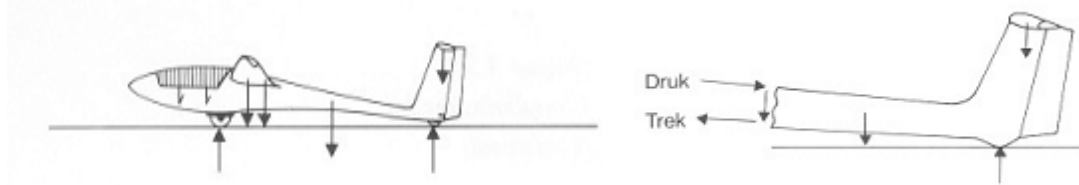


De drukspanningen kunnen tot **stuikbreuken** leiden. Vooral bij de **staalbuisrompen** zoals bij Ka-7, Ka-8 kan vaak een stuikbreuk ontstaan in de staalbuis ondergording, ongeveer achter het wiel, waar de dubbele buis overgaat in de enkele. Hierdoor staat dan de hele romp krom, de zogenaamde "banaan".

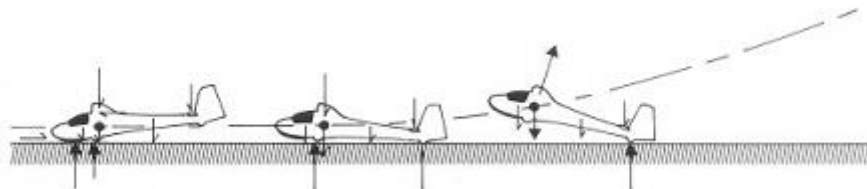
Ook in hout of glasvezel kunnen stuikbreuken ontstaan. Het is eveneens mogelijk dat de huidplaten van de gordingen en spanten of ribben losspringen. Uiteraard zouden er ook scheuren kunnen ontstaan bovenaan de romp en de vleugels waar trekspanningen heersen, maar dat komt in de praktijk minder vaak voor.

Wanneer **te veel wordt afgevangen**, of met **te weinig snelheid** wordt geland, komt het voor dat het toestel met een klap op de grond komt, wat door hoofdwiel en staartslof moet worden opgevangen. In dit geval zal het rompachterstuk omhoog worden gebogen, waardoor

trekspanningen aan de onderkant en drukspanningen aan de bovenkant van de romp ontstaan.



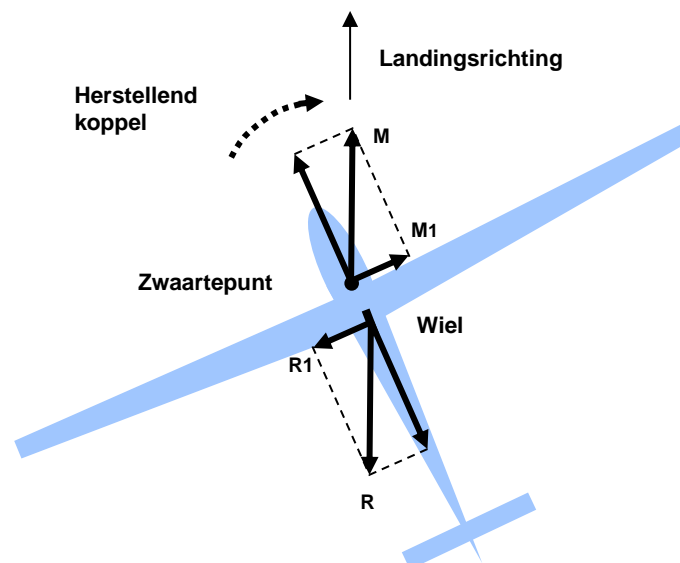
Wordt deze slechte landing gemaakt met een zweefvliegtuig dat het wiel achter het zwaartepunt heeft (bijv. Ka-13, Ka-8) dan zal dit voorover duiken tot de schaats tegen de grond komt. Hierbij kunnen dus grote krachten op de schaatsbevestiging komen.



Traverserende landing: gebeurt wanneer het toestel na afvangen de grond raakt terwijl de langsas van het toestel **niet** samenvalt met de landingsrichting. Hierdoor ontstaat een behoorlijke zijdelingse remkracht (**R1**) op het wiel, en een tegenwerkende massakracht (**M1**) door het zwaartepunt.

- **Ligging van het wiel achter het zwaartepunt**

Zit het wiel zoals getekend, achter het zwaartepunt, dan ontstaat een koppel dat het traverseren tegenwerkt en het toestel terug in de landingsrichting wil doen draaien.



M Voorwaartse massakracht (of traagheidskracht) door het zwaartepunt

M1 Zijwaartse component van de massakracht

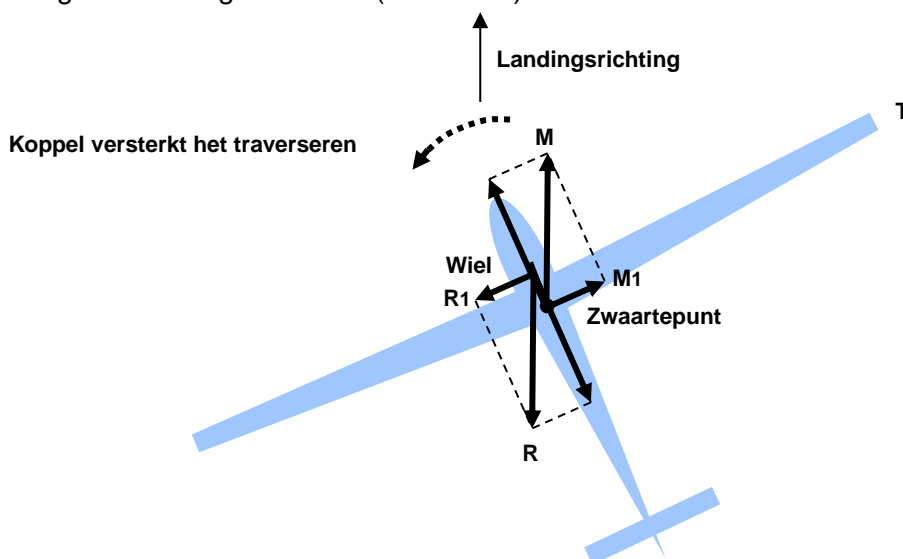
R Achterwaartse remkracht op het wiel

R1 Zijwaartse component van de remkracht op het wiel

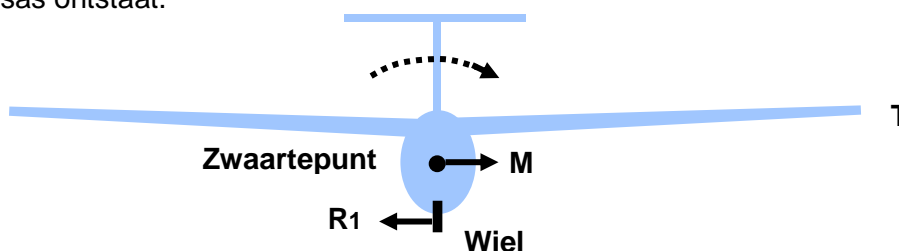
- **Ligging van het wiel voor het zwaartepunt**

Traverserende landingen kunnen, vooral bij zweefvliegtuigen met het wiel voor het zwaartepunt, tot gemene reacties leiden. Zit zoals getekend, de ligging van het wiel voor het zwaartepunt, dan gaat het krachtenkoppel $M1 - R1$ het traverseren eerder

versterken. Dit is een meer ongunstige situatie: het toestel zal de neiging hebben om verder uit de koers weg te draaien. Dit kan zelfs leiden tot een grondzwaai, zonder dat een vleugel eerst de grond raakt (zie verder).



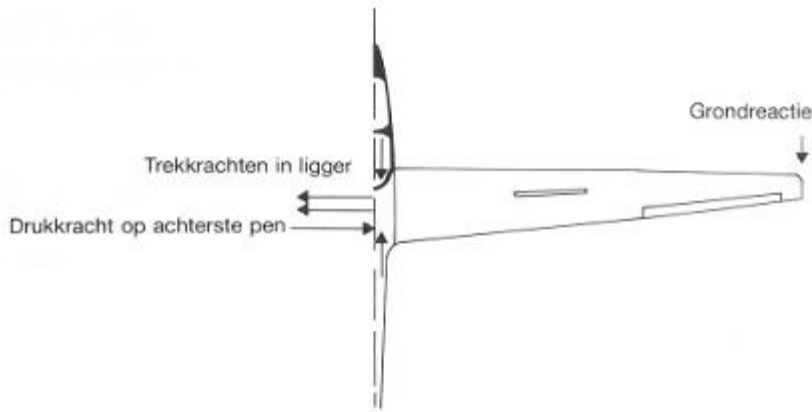
Bij de constructie -wiel voor het zwaartepunt- bestaat tevens een groter gevaar dat bij een traverserende landing de voorste vleugeltip (T) de grond raakt met mogelijk een grondzwaai tot gevolg. Dit komt doordat de aangrijpingspunten van de zijdelingse remkracht (R1) op het wiel en de zijdelingse massakracht (M1) op het zwaartepunt, vertikaal gezien van elkaar verwijderd liggen waardoor een neiging tot rolbeweging om de langsas ontstaat.



Rolneiging veroorzaakt door het verticaal krachtenkoppel. Hierdoor kan de “voorste” vleugel (T) de grond raken. Dit effect is meer dominant aanwezig bij de constructie -wiel voor het zwaartepunt - omwille van de versterking van het traverseren, dus grotere kans op grondzwaai

Raakt de staartslof al de grond, dan komt hierop ook een **dwarsbelasting**. Het gevolg kan zijn dat de romp door zijdelingse buiging en torsie breekt.

Grondzwaai: kan gebeuren wanneer een vleugeltip de grond raakt, dit als gevolg van een getraverseerde landing of doordat de piloot de vleugels onvoldoende lang evenwijdig met de grond gehouden heeft na het afvangen. Ook kan in hoog gras bij het uitrollen (of zelfs bij de start) een vleugel vastraken met grondzwaai tot gevolg.



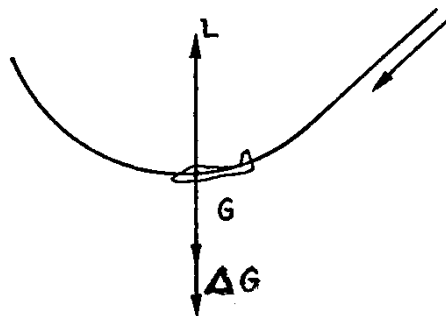
Hierbij wordt vooral de **vleugel-rompverbinding** zwaar belast. Zoals reeds vermeld kan de romp breken indien de staartslof mee de grond raakt en niet vrij kan meedraaien (bv. in hoog gras).

8.2.2 in vlucht

De krachten in vlucht worden kunnen onderverdeeld worden in **manoeuvreerkrachten** en krachten veroorzaakt door **turbulentie**.

Manoeuvreerkrachten: worden veroorzaakt via het besturen van het toestel: plotseling optrekken, bochten. Door deze bewegingen ontstaat een schijnbaar gewicht (groter dan het normale gewicht) dat wel degelijk fysisch op het toestel en de piloot inwerkt. De verhouding tussen het schijnbaar gewicht **Gsch** en het reële gewicht **G** (bij normale rechte vlucht) is de **belastingsfactor n**.

Plotseling optrekken is een typisch manoeuvre waarbij een hoge belastingsfactor **n** kan bereikt worden.

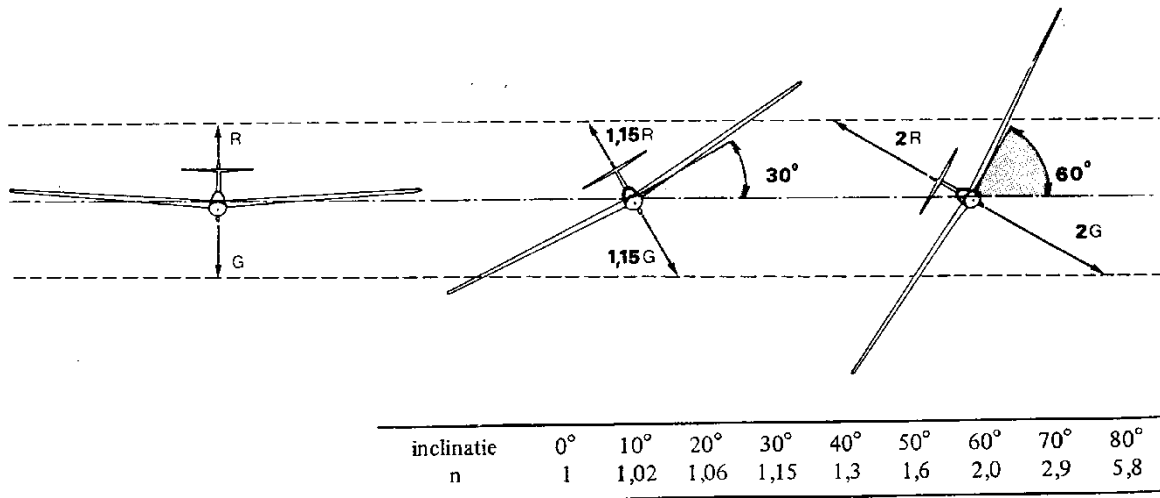


Door het optrekken verhoogt zeer kortstondig de invalshoek waardoor de draagkracht **L** kortstondig toeneemt. Deze grotere lift wordt gelijktijdig gecompenseerd met een schijnbaar gewicht **Gsch >> G** (gewoon gewicht) waardoor een belastingsfactor **n > 1** bereikt wordt.

$$G_{sch} = G + \Delta G = -L$$

$$N = \frac{G_{sch}}{G}$$

Onderstaande figuur toont aan dat ook tijdens een bocht het schijnbaar gewicht toeneemt bij toenemende helling (bv. $G_{sch} = 2G$ bij 60° helling) en dus ook de belastingsfactor n . In vergelijking met het manoeuvre "plotseling optrekken" is de opbouw van de belastingsfactor n in bocht minder brutaal.



Bij bruske optrekken is belastingsfactor n gelijk aan het kwadraat van de verhouding V (gevlogen snelheid) / V_{sl} (overtreksnelheid bij 1 G).

$$n = \frac{C_{L \max} \cdot V^2}{C_{L \max} \cdot V_{sl}^2} = \left(\frac{V}{V_{sl}} \right)^2$$

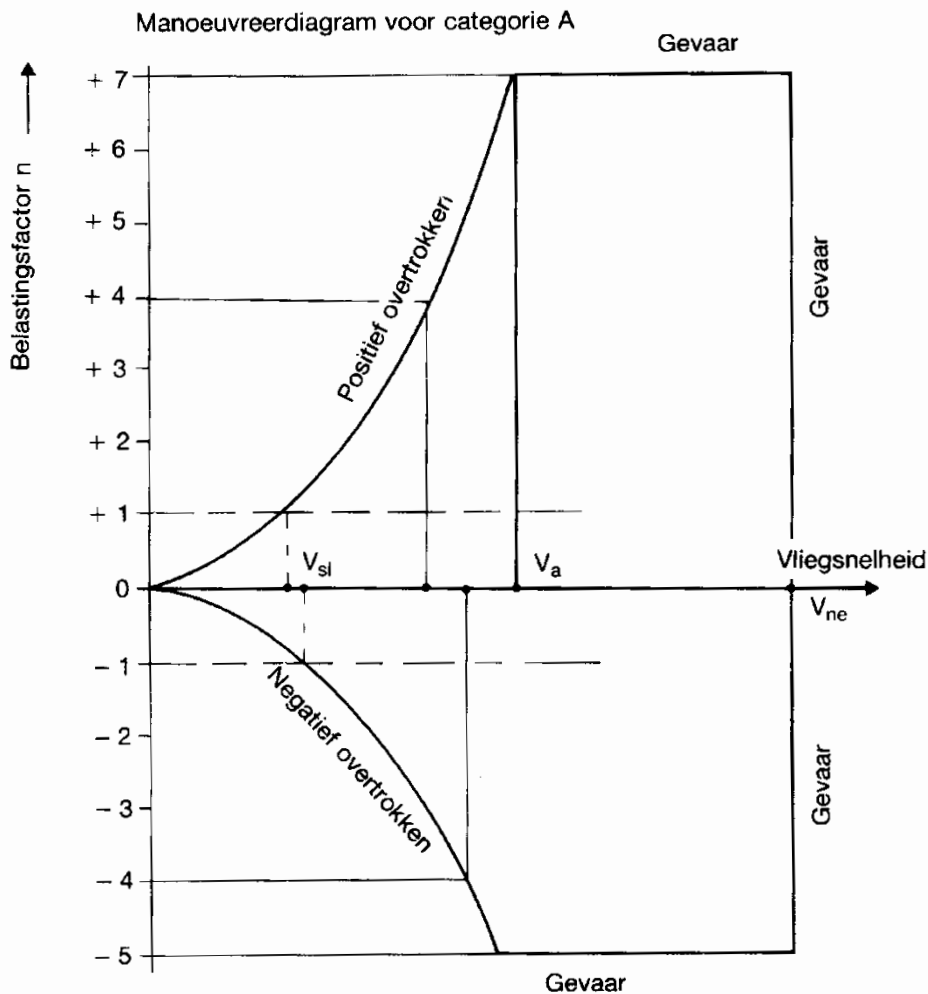
V_{sl} is de overtreksnelheid bij 1 G: bijv. 60 km/h. Door een plotselinge hoogteroeruitslag bij 120 respectievelijk 180 km/h wordt de kritische invalshoek overschreden. Het overtrekken bij snelheid V gebeurt bij een belastingsfactor van:

$$V = 60 \text{ km/h} \rightarrow n = \left(\frac{60}{60} \right)^2 = 1$$

$$V = 120 \text{ km/h} \rightarrow n = \left(\frac{120}{60} \right)^2 = 4$$

$$V = 180 \text{ km/h} \rightarrow n = \left(\frac{180}{60} \right)^2 = 9$$

Uitgezet in een grafiek (het manoeuvreerdiagram – hier voor een kunstvluchttoestel) krijgen we het volgende beeld:



De belastingsfactor stijgt dus snel wanneer bij hoge snelheden de invalshoek wordt vergroot. Hierop is het zweefvliegtuig, tot een zekere grens, berekend. Het manoeuvrerdiagram hierboven toont de maximale belastingsfactoren voor een zweefvliegtuig van de **categorie A** (mag kunstvluchten uitvoeren). De maximale belastingsfactoren zijn hierbij $n = +7$ en $n = -5$.

Naaste de opwaartse belasting geldt dezelfde redenering nl. ook voor de neerwaartse of negatieve belasting (zoals bij rugvlucht of bij een plotselinge stuurknuppelbeweging naar voren). De vorm van de belastingskromme is in dit geval iets verschillend omdat de overtreksnelheid bij $n = -1$ (rugvlucht) normaal wat hoger zal zijn.

De meeste zweefvliegtuigen zijn ondergebracht in de **Categorie U (= Utility)**: niet of beperkt voor kunstvlucht geschikt zweefvliegtuig. De maximale belastingen $n = +5,3$ en $n = -2,65$ zijn lager dan voor categorie A, en zijn enkel toegestaan tot de manoeuvreersnelheid. Daarboven verminderen de maximum toegelaten belastingsfactoren geleidelijk tot V_{ne} : $n = +4$ en $n = -1,5$.

Op het manoeuvrerdiagram staan volgende vliegsnelheden aangeduid:

Overtreksnelheid V_{sl} : bij deze snelheid bereikt men de kritische invalshoek bij belastingsfactor $n = 1$)

Manoeuvreersnelheid V_a : maximale snelheid waarbij het zweefvliegtuig zonder gevaar positief kan worden overtrokken, waarbij $n = +7$ wordt bereikt (A klasse). Boven deze snelheid mag geen plotselinge volle roeruitslag worden gegeven, omdat de belastingsfactor

$n = +7$ kan worden overschreden. Voor negatieve manoeuvres is de belastingsfactor kleiner ($n = -5$) omwille van constructie-eigenschappen. **Va** wordt niet op de snelheidsmeter aangegeven. Anderzijds is de **VA** vaak gelijk of gelijkaardig aan de **VRA**.

Maximale snelheid VNE (V Never Exceed): Deze begrenzing is bijv. het gevolg van de achterwaartse belasting op de vleugel door de weerstand, de grote neerwaartse staartbelasting bij hoge snelheid of het fluttergedrag van het vliegtuig. Bij moderne zweefvliegtuigen mogen de remkleppen (voorzichtig) tot **VNE** geopend worden. Wanneer een zweefvliegtuig buiten controle is, moeten de remkleppen geopend worden vooraleer **VNE** bereikt wordt, zo is er meer kans dat de snelheid beneden **VNE** blijft. Tot in de jaren 60 moesten de remkleppen van standaardklasse zweefvliegtuigen de snelheid beperken tot beneden de **VNE**, zelfs in verticale duikvlucht. Met de betere glijhoek van de kunststof toestellen is deze norm vervallen, omdat die niet meer haalbaar was. **VNE** wordt op de snelheidsmeter aangegeven als een rode streep op het einde van de gele boog.

Maximale snelheid in turbulente lucht VRA (allowable Rough Air speed): (wordt aangeduid in een apart diagram = remousdiagram). Dit is de hoogst toegelaten snelheid bij sterke turbulenties. Tot deze snelheid is het zweefvliegtuig bestand tegen verticale windstoten van $+15$ m/s en -15 m/s. **VRA** wordt op de snelheidsmeter aangegeven als de grens tussen de groene en gele boog. Bij turbulent weer zal men dus binnen het groene bereik blijven vliegen, tussen **VSL** en **VRA**.

Wanneer men aan hoge snelheid plots een turbulente zone binnenvliegt, is het afgeraden om door bruusk aan de stuurknuppel te trekken de snelheid te willen verminderen. Trekken aan de stuurknuppel leidt immers tot invalshoekvergroting, wat snel tot overbelasting of zelfs breuk kan leiden.

Andere snelheden in het vlieghandboek genoemd:

Vw : de max. liersnelheid

VT: de max. sleepsnelheid

VF: max. snelheid met welvingskleppen positief (= neergelaten om de profielkromming en dus de lift te vergroten) – soms zijn er verschillende, overeenkomstig de verschillende positieve flapstanden.

Het is niet zo dat een zweefvliegtuig bij overschrijding van de toegelaten belastingsfactor ogenblikkelijk zal breken. De ontwerper past bovenop de belastingsfactor **n** nog een afwijking toe: de **veiligheidsfactor**. Deze bedraagt **1,5**. De veiligheidsfactor is bedoeld om fouten op te vangen in het materiaal, de rekentechniek, de belastingsaanname enz., en niet om bewust belastingsgrenzen te kunnen verleggen.

Voor boutverbindingen (bv. de hoofdbouten) wordt meestal een hogere veiligheidsfactor voorgeschreven.

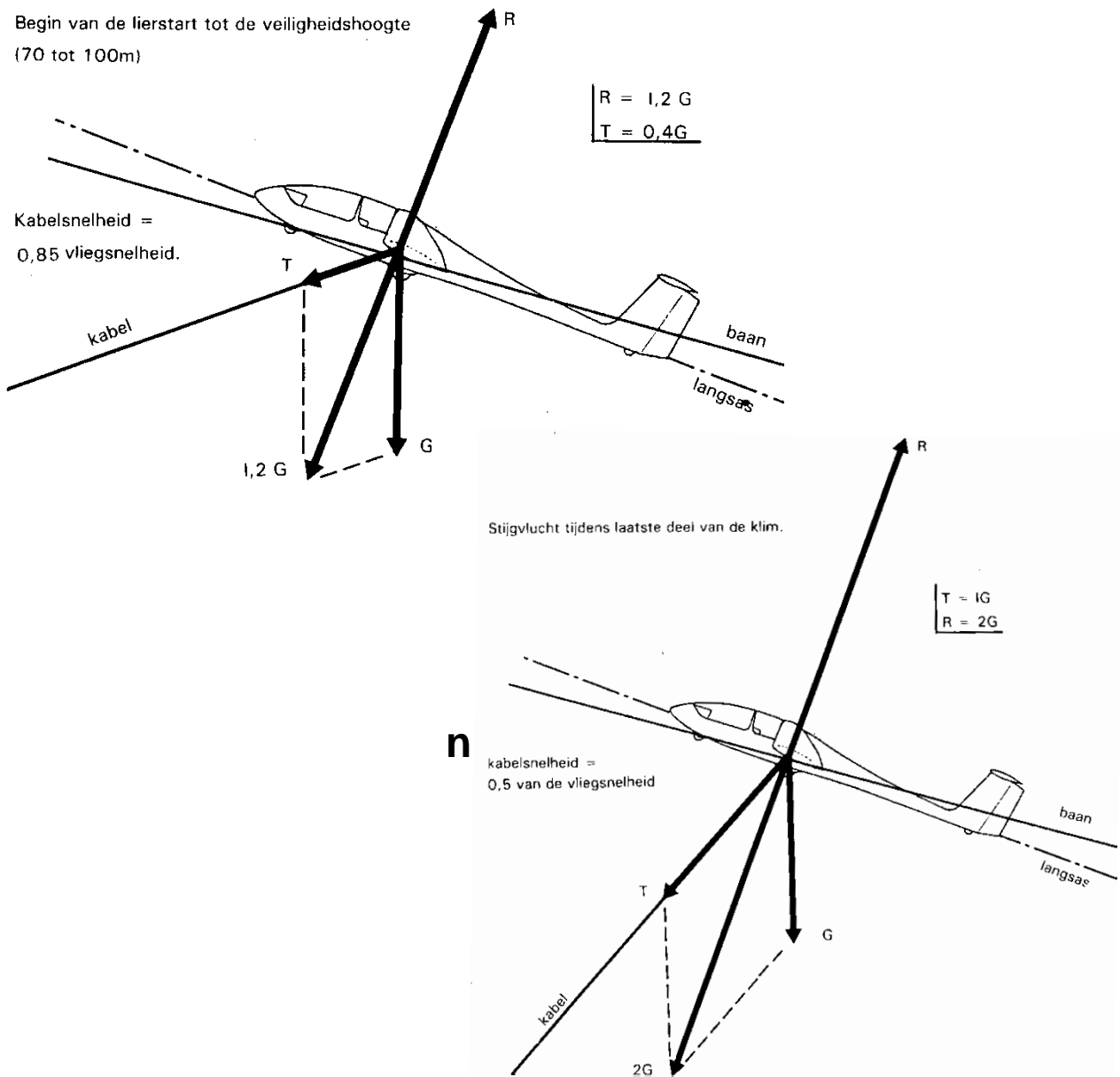
rekenfactor: product van **belastingsfactor n x veiligheidsfactor**, dus bij de categorie A zweefvliegtuigen is de rekenfactor $1,5 \times 7 = 10,5$.

Belastingsfactor tijdens lierstart:

De belastingen tijdens de lierstart zijn veel hoger dan bij de sleepstart. Dit komt omwille van de hoge draagkracht die de vleugel moet opbrengen om zowel de trekkracht van de lierkabel (**T**) als het gewicht van het toestel (**G**) compenseren. Om dit te realiseren is de invalshoek aanmerkelijk groter. De vleugel buigt vaak erg door.

Trekracht en belastingsfactor (**n**) worden groter

- naarmate het toestel hoogte wint en de hoek van de kabel met de grond toeneemt (zie illustraties).
- bij een zwaarder toestel.
- naarmate de snelheid toeneemt. Men moet beneden de maximaal toegelaten liersnelheid **V_w** blijven. **Opgelet: V_w is lager dan de manoeuvreersnelheid V_A.**

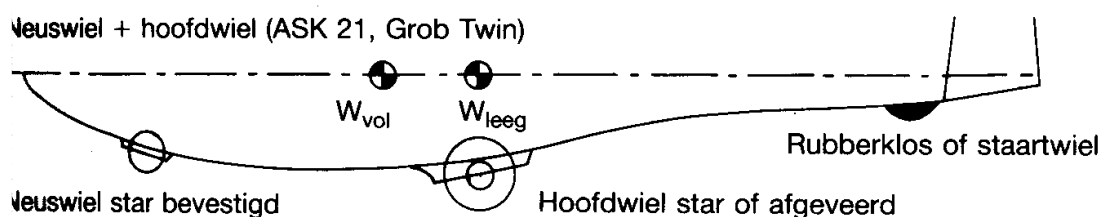
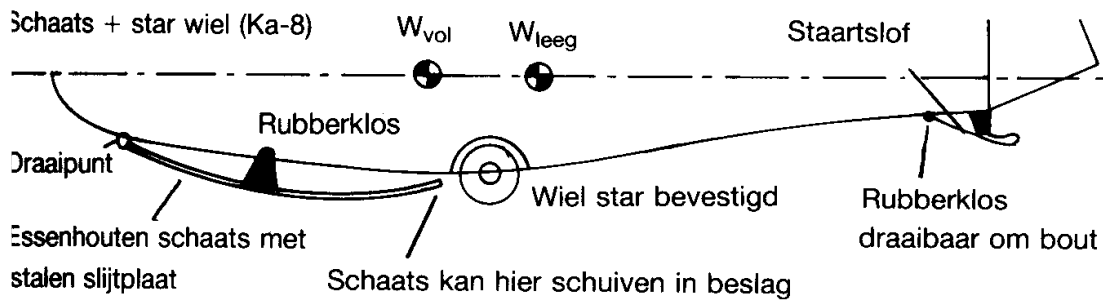


8.3 Landingsgestel, wielen, schaats en staartslof

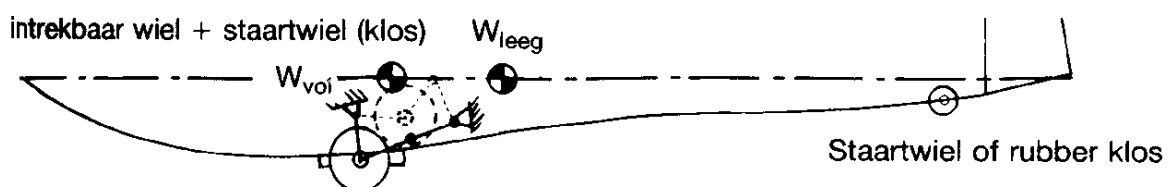
Het **landingsgestel** van een zweefvliegtuig kent twee varianten:

- **Een hoofd wiel achter het zwaartepunt** (totaal gewicht met piloot) met een schaats of hulpwiel onder het rompvoorstuk. Hierbij komt dan nog een staartslof of wiel ter bescherming van de staart. Deze variant wordt gebruikt voor lesvliegtuigen en overgangstrainers vanwege de gemakkelijke landingseigenschappen. De automatische invalshoekverkleining bij het neerkomen (het zwaartepunt bevindt zich meer naar voren)

voorkomt opspringen. Eventueel traverseren wordt automatisch gecompenseerd. Tevens biedt de schaats of het neuswiel extra bescherming bij harde landingen.



- **Het hoofdwiel voor het zwaartepunt**, met een staartslof of –wiel. De onderkant van het rompvoorstuk is hierbij vaak extra versterkt voor het geval van voorwaarts kantelen bij hard remmen. Een zweefvliegtuig met dit type landingsgestel is moeilijker te landen vanwege de automatische invalshoekvergroting (het zwaartepunt bevindt zich achter het wiel), en dus opspringen, indien geen nette tweepunts- of “staartslof eerst”-landing wordt gemaakt. Bovendien leidt traverseren hier tot uitbreken met grondzwaai. De constructie is echter erg eenvoudig en het enkele wiel is gemakkelijk intrekbaar te maken.



8.4 Gewicht en evenwicht (Mass & balance)

De belading van een zweefvliegtuig moet voldoen aan de maximale toegelaten gewichten met een zwaartepunt binnen de toelaatbare limieten. De gegevens betreffende deze limieten en toelaatbare belastingen zijn steeds terug te vinden in het vlieghandboek (Flight Manual) van het toestel. Bij overschrijden van deze limieten is een toestel niet langer luchtwaardig. Ze dienen dus strikt gerespecteerd te worden. We onderscheiden volgende begrippen:

1. Maximale toelaatbaar gewicht

Is het totale maximale vlieggewicht van het toestel, alles inclusief. Op toestellen met waterballast is dat vaak een beperkende factor voor de maximaal toegelaten waterballast in functie van uitrusting en pilootgewicht.

2. Maximale toelaatbaar gewicht van de niet-dragende delen

Is de som van het leeggewicht van de romp plus staartvlakken, met volle uitrusting (meestal inclusief batterij – zie uitrusting op het laatste weegverslag) plus het gewicht van de piloot of piloten met parachute(s) en eventuele trimgewichten, plus het gewicht van de supplementaire uitrustingen zoals bijv. een losse zuurstofinstallatie, plus de eventuele waterballast in de romp en staart. Dit is vaak een beperkende factor voor het maximale pilootgewicht.

3. Vlieggewicht

Is de som van het leeggewicht van het toestel met volle uitrusting (meestal inclusief batterij – zie uitrusting op het laatste weegverslag) plus het gewicht van de piloot of piloten met parachute(s) en eventuele trimgewichten, plus het gewicht van de supplementaire uitrustingen zoals bijv. een losse zuurstofinstallatie, plus de eventuele waterballast.

4. Zwaartepuntligging

Uitgedrukt in millimeter vanaf een referentielijn die meestal de aanvalsboord van de vleugel is. De zwaartepuntligging van het vliegklare, lege toestel wordt vastgesteld bij de periodieke weging. In functie daarvan worden de minimum- en maximumgewichten berekend voor de piloot of piloten. Deze inlichtingen zijn terug te vinden op een plaatje vastgezet op de cabinewand van het toestel. In de meeste toestellen is tevens de mogelijkheid voorzien om het minimumgewicht in de zit (voorste zit bij tweezitters) te compenseren met trimgewichten om zodoende het toestel steeds te kunnen vliegen binnen de toegelaten limieten. De zwaartepuntligging kan ook een beperkende factor zijn voor de hoeveelheid waterballast.

5. Voorste limiet van de zwaartepuntligging

Een zweefvliegtuig met een zwaartepunt tegen de voorste limiet vliegt stabiel en is dus zwaar te vliegen.

6. Achterste limiet van de zwaartepuntligging

Een zweefvliegtuig met een zwaartepunt tegen de achterste limiet is onstabiel; het is dus meer wendbaar te vliegen, maar vergt constante aandacht en bijsturen.

Sommige zweefvliegtuigen zijn voorzien van een waterballasttank in het staartvlak, om het verschuiven van het zwaartepunt naar voren bij gevulde vleugeltanks te compenseren. Opgelet! De waterballast in de vleugels en in de staart moeten gecontroleerd gelost worden om het zwaartepunt steeds binnen de voorgeschreven limieten te houden. Raadpleeg hiervoor steeds het handboek van het toestel.

Sommige zweefvliegtuigen zijn voorzien van systemen voor trimgewichten in de staart. Hier moet men ook nauwlettend het trimplan van het toestel volgen.

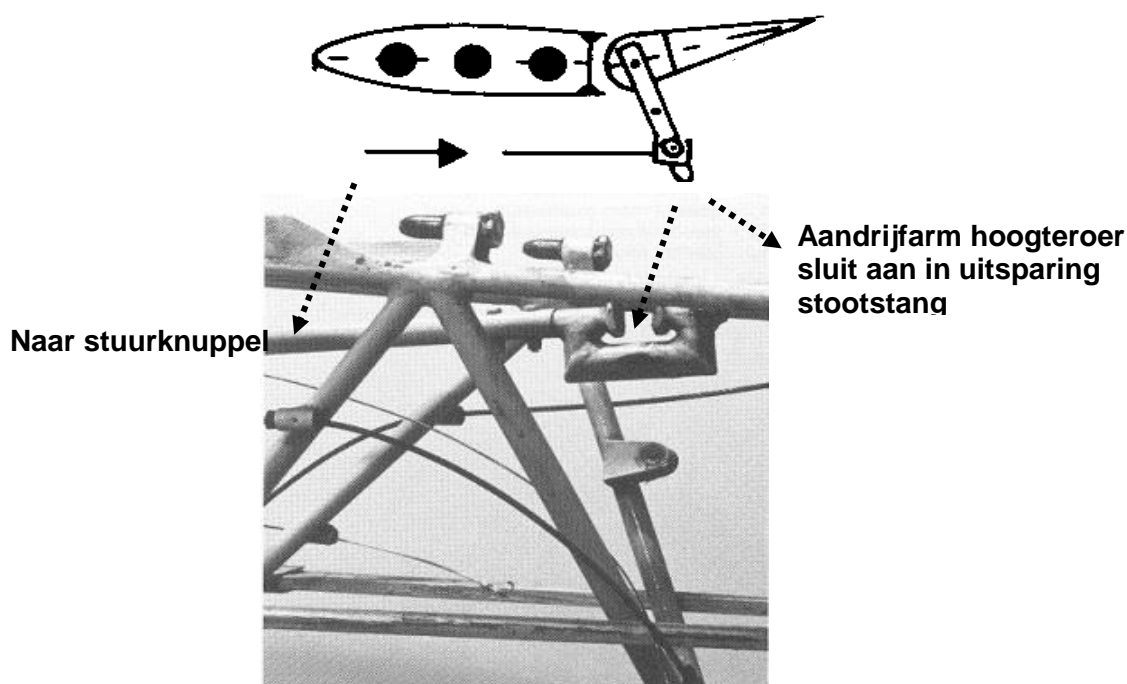
Bedieningsorganen en de werking ervan

De stuurknuppel van een Ka-8 (en andere oudere zweefvliegtuigen) is onderaan verbonden met de **torsiebuis**. De torsiebuis kan zowel **voor- en achterwaarts** bewegen (om het hoogteroer te laten werken) en naar **links / rechts roteren** (om de rolroeren te laten werken). De torsiebuis loopt vanaf de stuurknuppel onder de stoel door; achter de rugleuning worden de bewegingen van de torsiebuis overgebracht op hoogteroer en rolroeren via **stootstangen**.

Bij moderne zweefvliegtuigen worden de knuppelbewegingen naar achteren geleid via **tuumelaars** en **stootstangen** die langs de romp wanden rond de cockpit verlopen, dit laatste om plaats te besparen en dus de romp minder hoog te maken.

8.4.1 hoogteroer

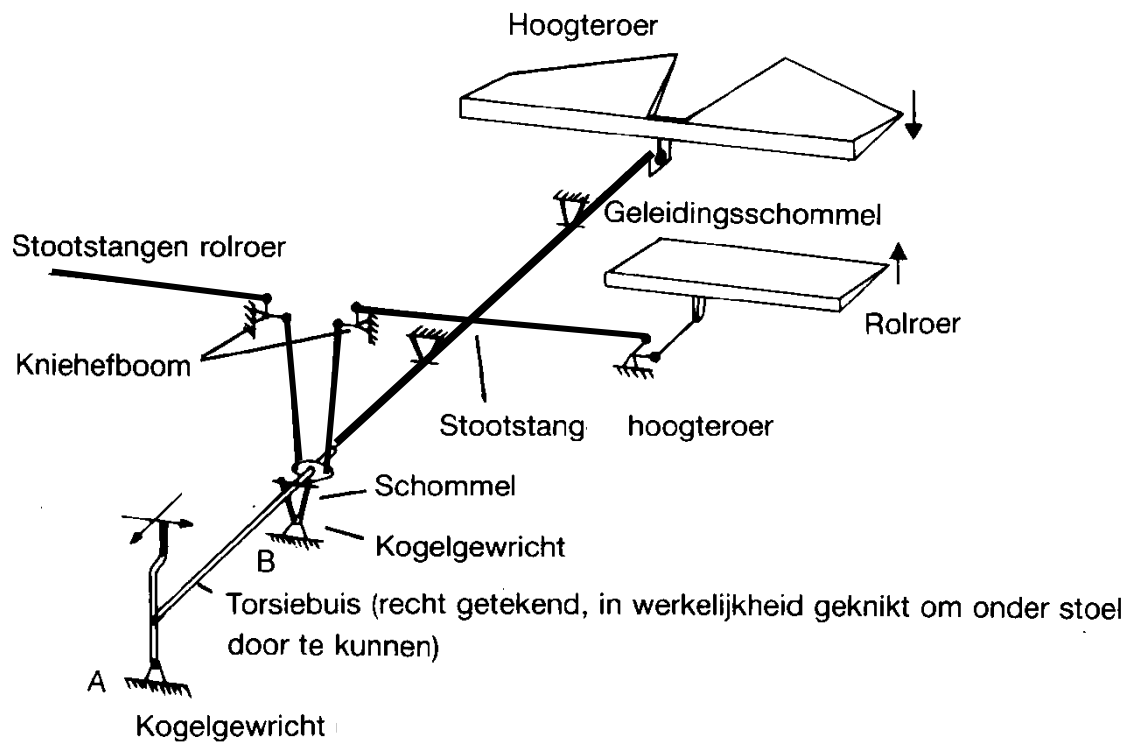
Het hoogteroer wordt in beweging gebracht door een voor- en achterwaartse beweging van een **stootstang**, een stalen buis die doorheen de romp loopt en die de voor- en achterwaartse beweging van de stuurknuppel (via torsiebuis of tuimelaars) overbrengt via een hefboom (de **aandrijfarm**) op het hoogteroer. De stootstang wordt op enkele plaatsen in de romp ondersteund door scharnierende schommels (o.a. in B). (Zie besturingschema rolroeren & hoogteroer).



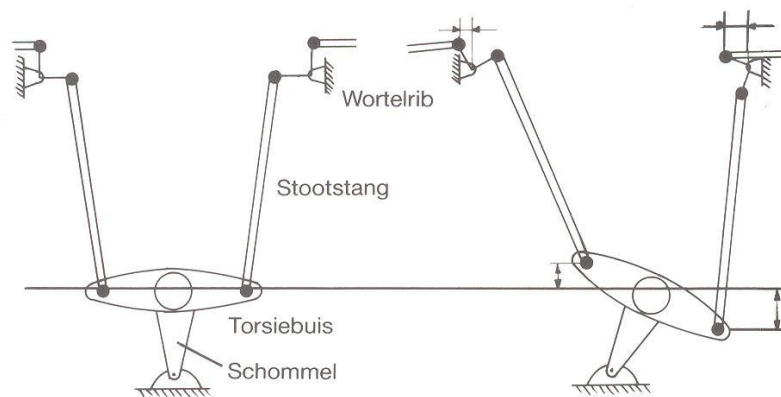
8.4.2 rolroeren

De stuurknuppel kan ook zijdelings scharnieren, waardoor de torsiebuis roteert of een reeks tuimelaars en stootstangen de beweging omleiden. Hierdoor wordt de ene **verticale rolroerstang** omlaag getrokken, de andere omhoog gedrukt. Via twee **kniehefbomen** en twee horizontale **stootstangen** doorheen de vleugel (één naar ieder rolroer) wordt hierdoor het ene rolroer omhoog en het andere omlaag uitgeslagen.

Schema rolroer- en hoogteroerbesturing van bv. Ka-8.

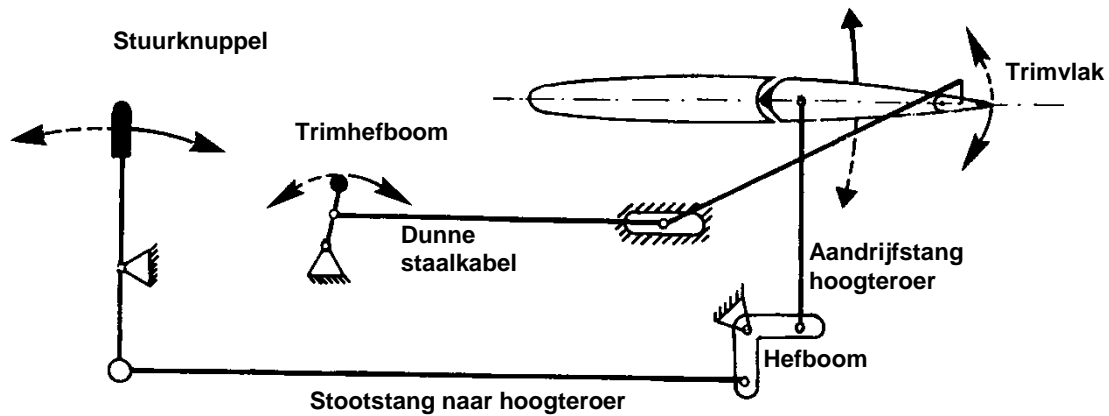


Om het haakeffect (gieren naar de buitenkant van de bocht) tegen te gaan, dat veroorzaakt wordt door de positieve uitslag van het rolroer aan de buitenkant van de bocht (grotere kromming, dus meer lift maar ook meer weerstand) en de negatieve uitslag van het rolroer aan de binnenkant (minder kromming, dus minder lift maar dus ook minder weerstand), passen de constructeurs een differentiatie toe op de overbrenging naar de rolroeren. Dit betekent dat de overbrenging zo ontworpen wordt, dat een vrij kleine uitslag naar beneden overeenkomt met een vrij grote uitslag naar boven. Hieronder het systeem van de Ka-8.

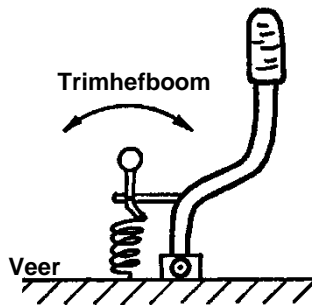


8.4.3 trim: trimvlak, veertrim (trimhendel = groen)

Aerodynamische trim met trimvlak: met een separaat hefboompje kan men de hoek van het trimvlak vast instellen t.o.v. het hoogteroer.

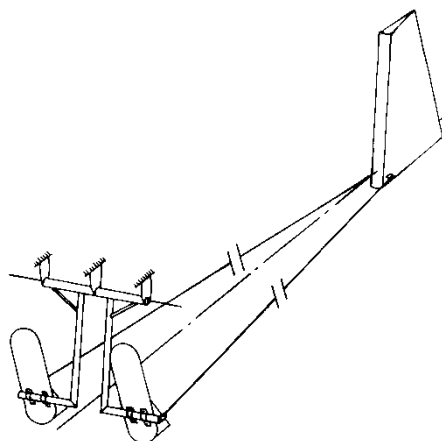


Mechanische trim of veertrim: via een veer bediend door een separaat hefboompje (of draaiknop) wordt de druk op de stuurknuppel ingesteld, hetzij op snel vliegen (weinig tegendruk bij een voorwaartse stand van de stuurknuppel), hetzij op traag vliegen (hierbij moet men weinig trekkracht uitoefenen bij een achterwaartse stand van de stuurknuppel). Bij een veertrim is er geen trimvlak op het hoogteroer.

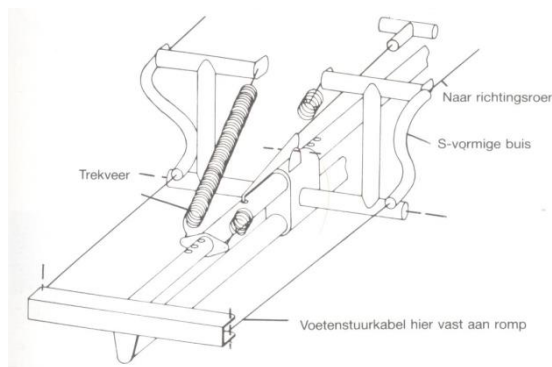


8.4.4 richtingsroer

Het richtingsroer wordt rechtstreeks met staalkabels aangestuurd vanaf het voetenstuur.



Bij oudere zweefvliegtuigen is het voetenstuur instelbaar via verstelbare haken of schroefsystemen, op recente toestellen is er op de zijkant van elke pedaal een S-vormige buis gelast waar de stuurkabel doorloopt. De onderkant van de buis zit bij het scharnierpunt en beweegt niet bij het intrappen, de bovenkant daarentegen gaat met de pedaal mee. Bij verzetten van de pedaal (via een kliksysteem) schuift de kabel gewoon door de buis.



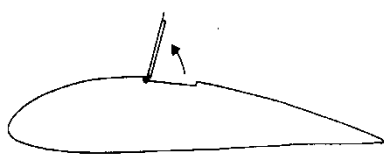
8.4.5 remkleppen (remklephendel = blauw)

Doel: aanzienlijke verhoging van de daalmaat (slechtere glijhoek).

Werkingsprincipe: Verhoging van de weerstand van de vleugels. Verhoging van de weerstand is dus een **gewenst** effect.

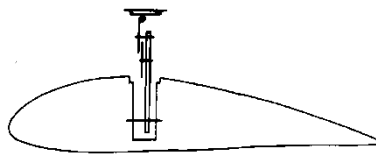
Met enkelvoudige remkleppen is er weinig draagkrachtverlies omdat de door de remkleppen veroorzaakte turbulentiezone beperkt is tot het vleugelgedeelte in de "schaduw" van de remkleppen. De opstaande klep geeft wel veel extra weerstand.

Sommige remkleppen zijn uitgevoerd met een boven- en een onderklep met een verbindingsspleet. Hier zijn zowel weerstand als draagkrachtverlies aanzienlijk. Ze komen enkel voor op oudere toestellen, want de spleet is moeilijk luchtdicht te krijgen bij gesloten kleppen, wat ook dan tot bijkomende weerstand leidt.



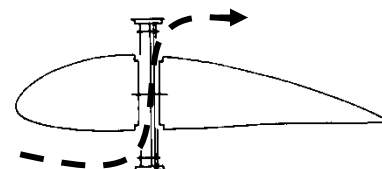
Verstoorder aan bovenzijde (bijv. Rhönierche)

Weinig effectief



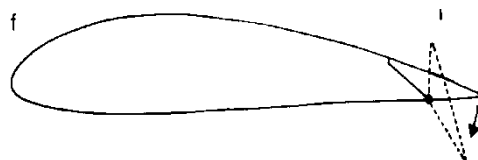
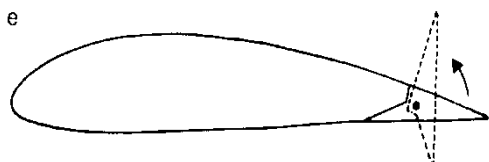
Remklep aan bovenzijde (meeste kunststof zweefvliegtuigen)

Effectief



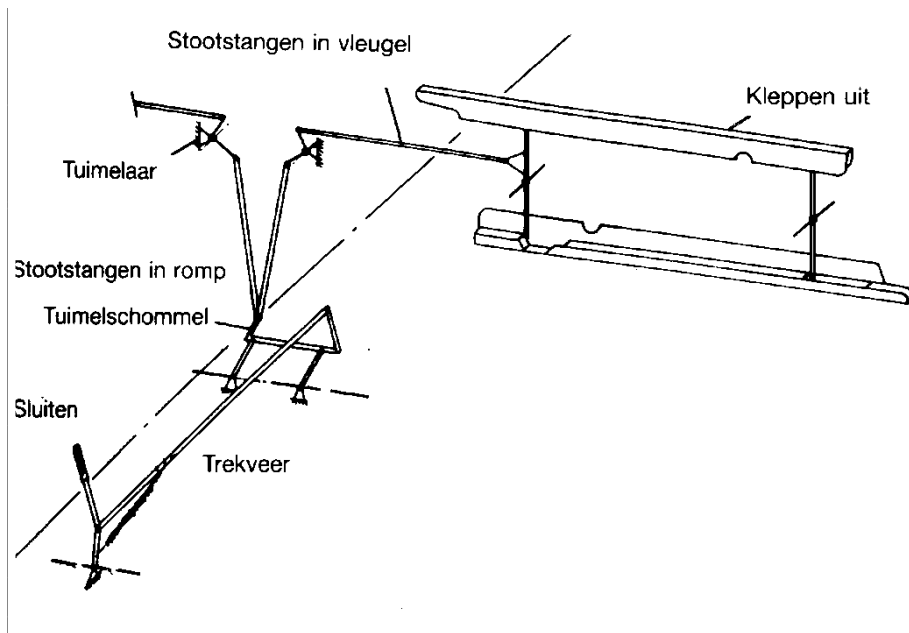
Remklep aan boven- en onderzijde met verbindingsspleet, zgn. Schempp-Hirth kleppen (Ka-6, Ka-7 enz.)

Zeer effectief: dubbele klep + doorgang luchtstroom doorheen de vleugel zorgt voor extra weerstand en een verhoogd draagkrachtverlies



Kantelkleppen aan de vluchtboordzijde van de vleugel, Ventus, Club Libelle, Mosquito, etc. Het draagkrachtverlies is zeer gering omdat het vleugelprofiel enkel helemaal achteraan verstoord wordt. Sommige van deze kleppen geven zelfs extra draagkracht; opgelet bij sluiten!

Remkleppen worden in en uit de kleppenkast aangedreven bij middel van stootstangen:

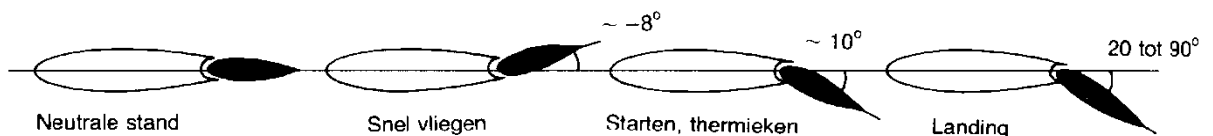


8.4.6 welvingkleppen (flaps)

Welvingkleppen (ook wel flaps genoemd) hebben tot doel de vliegeigenschappen van het zweefvliegtuig aan te passen voor traag vliegen (in thermiek, bij de landing) of voor snel vliegen ("doorsteken" tussen de thermiek, eindaanvlucht bij hoge snelheid).

Werkingsprincipe: aanpassen van het vleugelprofiel via:

- **positieve** standen van de welvingkleppen. Door de verhoging van de invalshoek verhoogt de draagkracht van het profiel. Hierdoor blijft het toestel beter manoeuvreerbaar bij lage snelheden.
- **negatieve** standen: worden gebruikt om het glijgetal te verbeteren bij snel vliegen.



Bij een grote positieve stand gaat de weerstand sterk toenemen en hebben de welvingkleppen het effect van remkleppen.

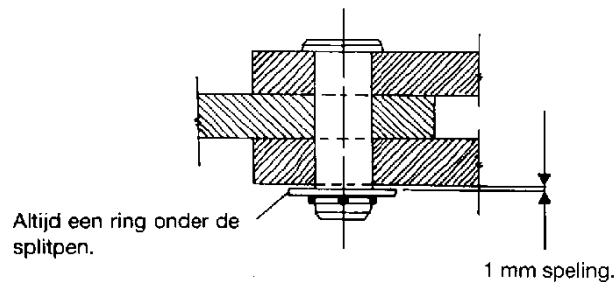
De constructie van de welvingkleppen is identiek aan die van de rolroeren.

Fowler-klep: speciale uitvoering waarbij de welvingklep bij het neerdraaien tevens naar achter schuift. Door de resulterende vleugeloppervlakvergroting wordt de draagkracht extra verhoogd. Bv. bij Blanik L-13.

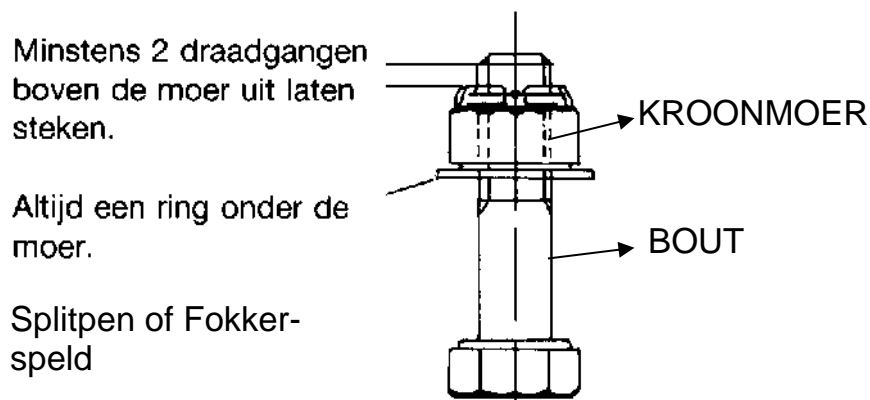
Het plotseling reduceren van de positieve stand van welvingkleppen kan tot gevolg hebben dat het zweefvliegtuig oncontroleerbaar gaat doorzakken.

8.4.7 borging van de aansluitpunten

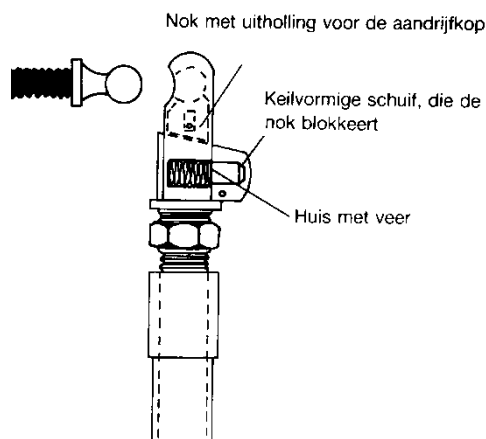
Splitpenbout: voor draaipunten met enkel schuifbelasting, geen trekkracht (bv. assen van rolroeren). Borging met splitpen (eventueel Fokkerspeld) doorheen de bout.



Bout + (kroon) moer: bevestigingspunten met trekbelasting, de moer wordt geborgd door een splitpen of een Fokkerspeld. Bijv. hoofdbouten vleugelliggers van Ka-8.



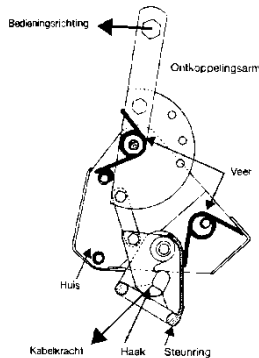
Snelkoppeling: koppeling voor bedieningsstangen tussen romp en vleugel, aansluiting hoogteroer. De veel voorkomende L'Hotellier-koppeling moet geborgd worden door een borgveer of een fokkerspeld in het controlegat, of door een bijkomende borgingshuls.



Er bestaan andere snelkoppelingen, bijv. op Poolse zweefvliegtuigen.

8.4.8 Sleephaak (ontkoppelknop = geel)

8.4.8.1 Tosthaken: neushaak en zwaartepunthaak

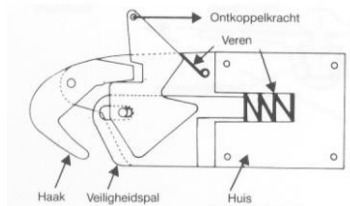


Meest voorkomend type, hetzij als neushaak met vaste steuning, hetzij als lierhaak (of zwaartepunthaak) met mobiele steuning onder veerdruk. Verder hebben neushaak en zwaartepunthaak nagenoeg dezelfde constructie. Gemakkelijke bediening bij hoge trekkracht (ook bij zijwaartse trekkracht). De mobiele steuning is een veiligheidssysteem bij weigering van het ontkoppelmechanisme.

Breukstukken aan lier- en sleepkabel blijven noodzakelijk als eerste beveiliging bij incidenteel te hoge trekkracht.

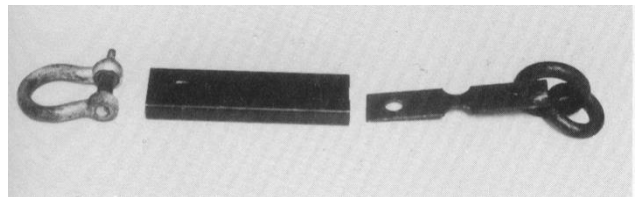
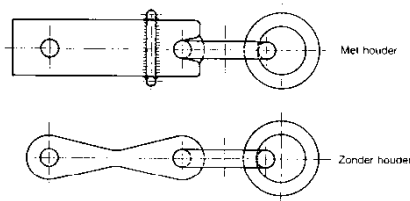
8.4.8.2 andere sleephaaksystemen: Aerazur, PZL, Blanik, zijdelingse, ...

Deze systemen komen nog sporadisch voor in de clubs, maar zijn vooral te vinden op oldtimer zweefvliegtuigen. Ze worden hier pro memorie vermeld.



Aérazurhaak (nog te vinden op sommige sleepvliegtuigen zoals Morane Rallye)

8.4.8.3 sleepringen en breukstukken



Breukstukken hebben een welbepaalde treksterkte; het vliegtuighandboek geeft de **voorgeschreven sterkte** voor lier- en sleepstart. Een zwakker breukstuk zal leiden tot kabelbreuk, een sterker kan leiden tot overbelasting van het toestel.

Meestal gebruikt men voor de lierstart volgende vuistregel:

- Blauw (600 dN): lichte eenzitters
- Bruin (800 dN): tweezitters hout
- Rood (700 dN): zwaardere eenzitters
- Zwart (900 dN): tweezitters kunststof

Voor de vliegtuigsleep worden voor moderne kunststoftoestellen doorgaans dezelfde breukstukken gebruikt als voor het lieren. Dit is echter niet het geval voor oudere types, waar voor het slepen beduidend lichtere breukstukken zijn voorzien.

8.5 Instrumenten

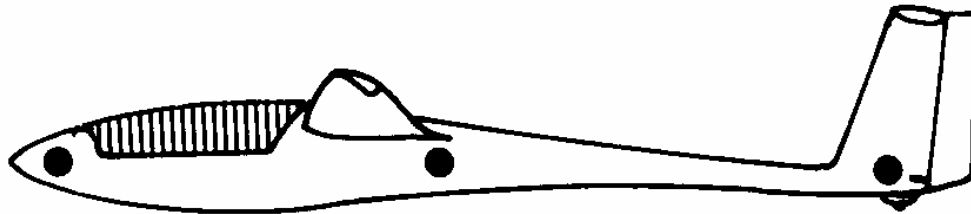
8.5.1 Meten van drukken

8.5.1.1 statische druk

De statische druk wordt gedefinieerd als de druk van de ongestoorde lucht. Deze luchtdruk is op een bepaalde plaats afhankelijk van het gewicht van de luchtkolom erboven, uitgedrukt per eenheid van oppervlak. Met het toenemen van de hoogte neemt de statische druk af.

In stilstaande lucht is het eenvoudig om de statische druk te bepalen. Wanneer een vliegtuig zich door de lucht beweegt is dat moeilijker omdat de stroming van de lucht om het vliegtuig een drukverandering tot gevolg heeft. De statische druk moet worden gemeten op een punt waar de invloed van de luchtstroom om het vliegtuig zo gering mogelijk is.

In de zijkant van de romp zijn daartoe een aantal openingen aangebracht – **statische openingen**- (soms plaatjes voorzien van een gaatjespatroon) voor het opnemen van de statische druk. De constructeur zal de openingen op diverse plaatsen op beide zijden van de romp aanbrengen, op een plaats waar bij normale vliegsnelheid **geen** verhoging of verlaging van de druk optreedt.



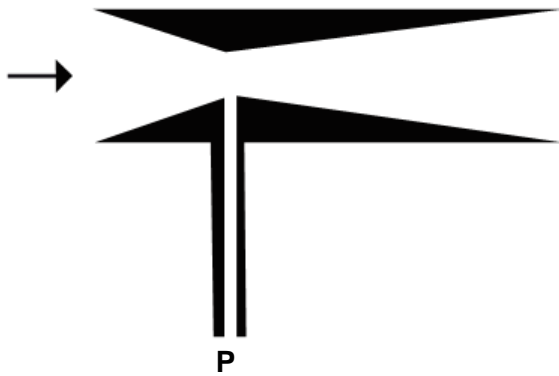
Plaatsing van de statische openingen

Bij een hogere of een lagere vliegsnelheid verandert echter het drukpatroon enigszins zodat niet meer precies de statische druk wordt gemeten, maar een hogere of lagere druk. Vermits de statische druk aangewend wordt als referentiedruk voor o.a. snelheidsmeter en variometer en als rechtstreekse meetdruk voor de hoogtemeter, heeft dit een invloed op de aanwijzing van de “ongestoorde” instrumenten.

8.5.1.2 dynamische druk: venturibuis / pitotbuis

Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen een systeem waar de luchtstroom vrij doorheen kan stromen (**venturibuis**) en een systeem waar de luchtstroom tot stilstand komt omdat er achteraan geen uitgang is (**pitotbuis**), de luchtstroom wordt hier immers in de snelheidsmeter gestopt waarbij een totale druk of energiedruk wordt opgebouwd.

Venturibuis: een buis die aan beide zijden open is en die met de langsas evenwijdig aan de ongestoorde luchtstroom wordt opgesteld. De diameter van de voor- en achterzijde is gelijk, maar op ongeveer een derde van de lengte heeft de buis een vernauwing, die “keel” wordt genoemd.



In een **venturibuis** geldt de wet van Bernoulli: de som van statische druk (**P**) en dynamische druk ($\frac{1}{2}\rho V^2$) in een systeem bij een ongestoord doorstromende luchtstroom is constant.

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 = C$$

$$\frac{1}{2} \rho V^2 = \text{Dynamische druk of}$$

Er is dus een direct verband tussen de luchtsnelheid en de luchtdruk. Neemt **V** toe, dan daalt **P** (= onderdruk) en omgekeerd. De meting van de onderdruk **P** in de keel van de venturibuis geeft dus een indicatie voor de luchtsnelheid van het vliegtuig.

Pitotbuis: wordt ook wel stuwbuis of kortweg pitot genoemd, is enkel aan de voorzijde open en wordt ook met de langsas evenwijdig aan de ongestoorde luchtstroom opgesteld. De lucht die in de buis tot stilstand komt, veroorzaakt een drukverhoging of stuwing, die direct zal samenhangen met de snelheid van het zweefvliegtuig. De druk opgebouwd in de stuwbuis is de **totale druk** of **energiedruk**, deze is gelijk aan de som van de statische druk en de dynamische druk.

$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 = \text{Totale druk (P}_{\text{tot}}) \text{ of}$$

De energiedruk is gelijk aan de som van de statische druk en van de dynamische druk (of stuwdruk).

8.5.1.3 compensatiebuis

De compensatiebuis gedraagt zich zoals een venturibuis en meet dus een onderdruk. Het is in feite een modernere versie (minder weerstand) van de venturibuis. Net zoals bij de venturibuis wordt een onderdruk **P** opgenomen gelijk aan:

$$p = p_s - \frac{1}{2} \rho V^2$$

P is de statische onderdruk opgenomen bij een zekere snelheid **V**.

P_s is de statische druk wanneer de snelheid van het zweeftoestel nul is.

De compensatiebuis is verbonden met de variometer (zie verder) waarbij de opgenomen statische onderdruk **P** gebruikt wordt (in plaats van de gewone statische druk **P_s**) ter compensatie van het fenomeen knuppelthermiek (zie verder).

Voorbeelden van uitvoeringen van compensatiebuizen:

Uitvoering als kleine venturi (Kendall, Irving, Althaus).



Uitvoering als Braunschweig-buis.



De Braunschweig-buis is een buis van circa 6 mm buitendiameter, aan één kant gesloten en aan die kant benedenstrooms voorzien van twee gleufjes (bij de Althaus-variante volstaat één gaatje), die wordt opgesteld onder een hoek van circa 80°C. Deze buis is eenvoudig te maken, geeft niet veel weerstand en de opstelling is niet kritisch. Wordt meest toegepast. Bij zweefvliegtuigen met een T-staart gewoonlijk bevestigd aan het kielvlak (in dit geval is de Braunschweig-buis voorzien van een lang horizontaal deel).

8.5.2 Instrumenten

8.5.2.1 snelheidsmeter: kleurencode

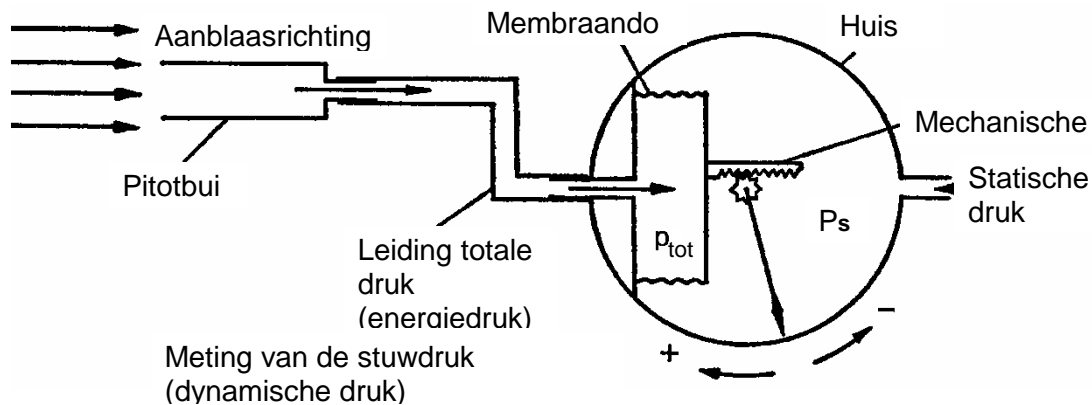
De snelheidsmeter geeft de luchtsnelheid aan: dit is de snelheid van het vliegtuig ten opzichte van de omringende lucht.

Snelheidsmeting via de pitotbuis

Het principe van de snelheidsmeting via de pitotbuis berust op het meten van het drukverschil tussen de totale druk (energiedruk) enerzijds en de statische druk anderzijds. De grootte van de dynamische druk is een maat voor de snelheid van het vliegtuig ten opzichte van de omringende lucht.

De constructie bestaat uit een huis met membraandoos, een overbrengingsmechanisme en een wijzer met schaal (meestal in km/h).

Principewerking:



De snelheid die door het instrument wordt aangegeven is de aangewezen luchtsnelheid (**IAS**: indicated airspeed). De pitotbuis is verbonden met een membraandoos en de statische drukleiding is verbonden met het instrumenthuis. Tijdens het vliegen heerst in de membraandoos **totale druk (P_{tot}) of energiedruk** en in het instrumenthuis **statische druk (P_s)**.

Ten gevolge van het drukverschil tussen de druk in de membraandoos en de statische druk

$$P_{tot} - P_s = (P_s + \frac{1}{2} \rho V^2) - P_s = \frac{1}{2} \rho V^2$$

zal de membraandoos uitzetten bij toenemende snelheid. Deze beweging wordt via een hefboommechanisme overgebracht op de wijzer van het instrument. De membraandoos reageert dus op de dynamische druk

$$\frac{1}{2} \rho V^2$$

De grootte van de dynamische druk is een maat voor de snelheid van het vliegtuig ten opzichte van de omringende lucht.

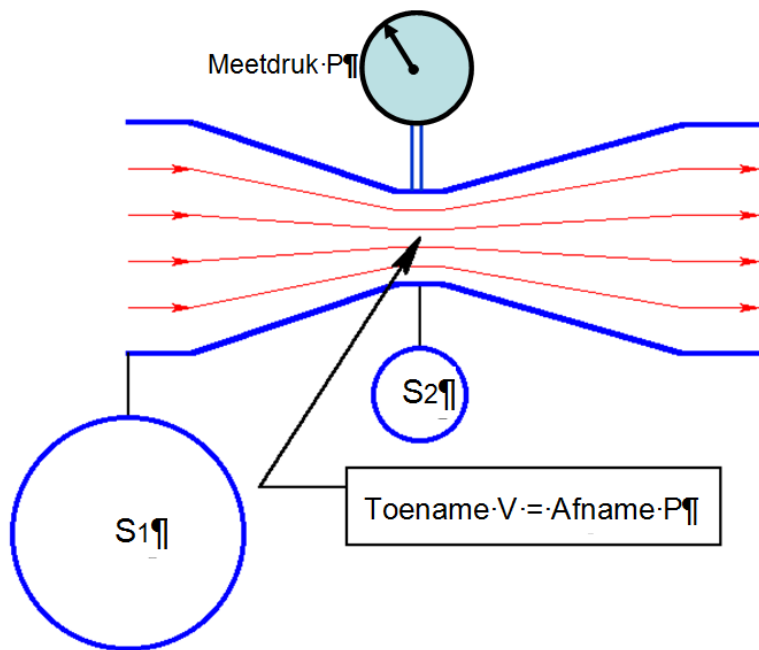
Bij een snelheid van 200 km/h op zeeniveau bedraagt de dynamische druk 18,9 hPa. Met uw ademhalingspijpen kunt u zonder moeite een druk van 150 hPa opwekken. Een snelheidsmeter mag dus nooit worden uitgetest of proper gemaakt door op de pitotbuis te blazen. Het instrument zou daardoor grondig worden vernield.

Snelheidsmeting via de venturibuis

De keel van de venturibuis is verbonden met de membraandoos. Vermits in de venturibuis de Wet van Bernoulli geldig is:

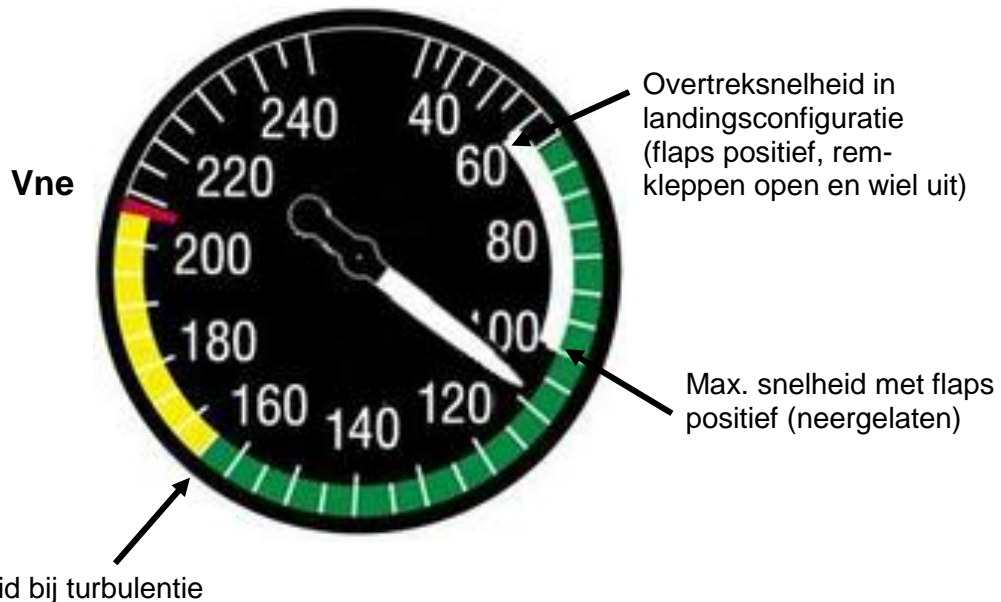
$$p + \frac{1}{2} \rho V^2 = C$$

zal bij toenemende snelheid **V** de meetdruk **P** in de keel en dus in de membraandoos afnemen. Ten gevolge van het drukverschil tussen de druk **P** in de membraandoos en de statische druk **P_s** in het instrumenthuis zal de membraandoos krimpen bij toenemende snelheid en uitzetten bij lagere snelheid.



Het voordeel van een venturibuis op een stuwbuis is dat de aanwijzing bij lagere snelheden nauwkeuriger is. Omdat echter de vliegsnelheid van moderne zweefvliegtuigen hoger is dan die van oudere typen is dit voordeel gedeeltelijk verdwenen. Venturibuizen veroorzaken meer luchtweerstand en zijn zeer gevoelig voor water en ijsafzetting, zodat ze om deze redenen niet meer worden gebruikt voor de snelheidsmeting.

Kleurencode



De snelheidsmeter heeft een naald en een schaal die een indeling heeft in km/h. Soms is aan de rand een kleurenband aangebracht, die de volgende betekenis heeft:

- groene boog: veilige vliegsnelheden
- gele boog: voorzichtig bij turbulent weer in verband met mogelijke zware belasting van het zweefvliegtuig. De overgang tussen groen en geel geeft in feite de maximale snelheid bij turbulente omstandigheden
- witte boog: toegelaten snelheden met welvingkleppen positief (neergelaten)
- rode meet **Vne**: snelheid die niet mag worden overschreden

Op de rand van de snelheidsmeter is meestal een gele driehoek aangebracht, die komt overeen met de laagste aanbevolen snelheid in de nadering voor de landing, bij maximale vleugelbelasting voor de landing (dus met zware piloot en uitrusting maar zonder waterballast) en zwakke wind.

Snelheidsmeterfouten:

Instrumentfout: Eigen aan de constructie van het instrument, verschillend voor iedere snelheidsmeter. Te reduceren door ijking.

Positiefout: Als gevolg van een foutieve opstelling van de pitotbuis en de statische openingen (statische buis).

Temperatuur- & hoogtefout: De dynamische druk $\frac{1}{2}\rho V^2$ is afhankelijk van de luchtdensiteit ρ welke vermindert bij toenemende hoogte (ρ neemt af bij vermindering van de statische druk) maar vergroot bij afnemende temperatuur. Bij een standaardatmosferische toestand overheerst echter de invloed van de drukafname. Hierdoor is de werkelijke luchtsnelheid **TAS** groter dan de door de snelheidsmeter aangeduide luchtsnelheid **IAS**:

TAS > IAS

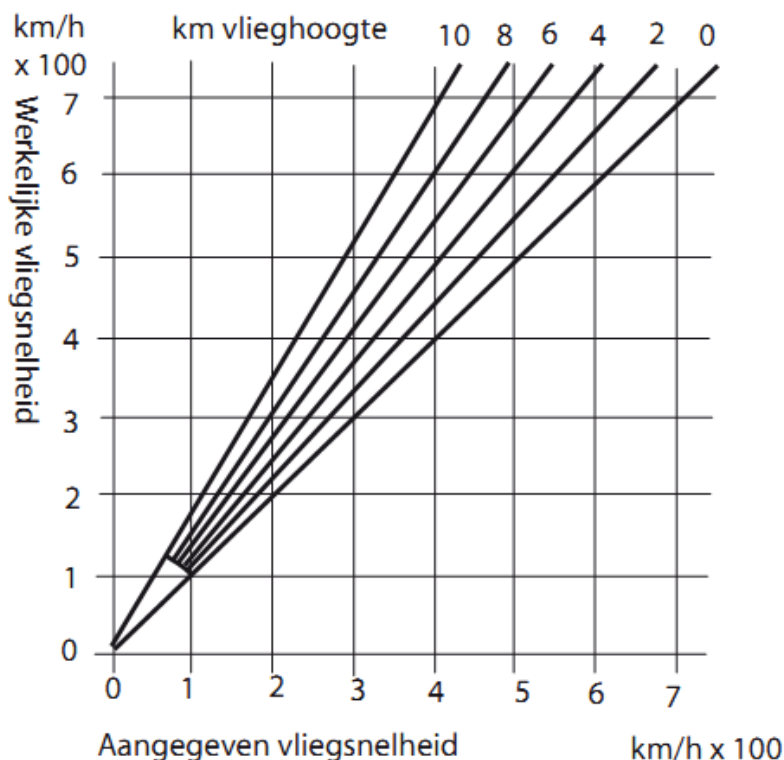
Per 1 000 meter hoogtetoename zal de aanwijzing van de snelheidsmeter (**IAS**) (tot een hoogte van 6 000 meter) 6% lager zijn dan de werkelijk gevlogen snelheid (**TAS**).

De TAS kan voor een bepaalde IAS en hoogte berekend worden via de relatie:

$$\text{TAS} = \text{IAS} + (\text{IAS} \times 6/100 \times h)$$

waarbij h de hoogte is, uitgedrukt in km. Op 4 000 m hoogte komt een aanwijzing van 90 km/h (IAS) dus overeen met 111,6 km/h (TAS).

Onderstaande figuur is een grafische voorstelling van deze afwijking.



De miswijzing van de snelheidsmeter heeft geen invloed op de belasting van het zweefvliegtuig omdat ook draagkracht en weerstand evenredig zijn met $\frac{1}{2}\rho V^2$, hetgeen betekent dat de aangewezen snelheid van overtrekken niet verandert, evenmin als de maximaal toegelaten vliegsnelheid (deze laatste is in eerste instantie gelimiteerd door de weerstand).

In verband met de kans op flutter op grote hoogte is wel alertheid vereist. Gezien de werkelijk gevlogen snelheid TAS op die hoogte groter is, loopt men het gevaar de kritische

fluttersnelheid (een TAS gegeven) te overschrijden terwijl de IAS nog onder de V_{NE} ligt. Omwille van veiligheidsredenen wordt hiermee ook rekening gehouden bij het vastleggen van de V_{NE} die dus ook gelimiteerd is omwille van gevaar voor flutter op grote hoogte. In veel vlieghandboeken staat zelfs een degressieve tabel waarbij de V_{NE} (IAS) met de hoogte effectief beperkt wordt.

8.5.2.2 hoogtemeter: instellingen, types (aantal wijzers)

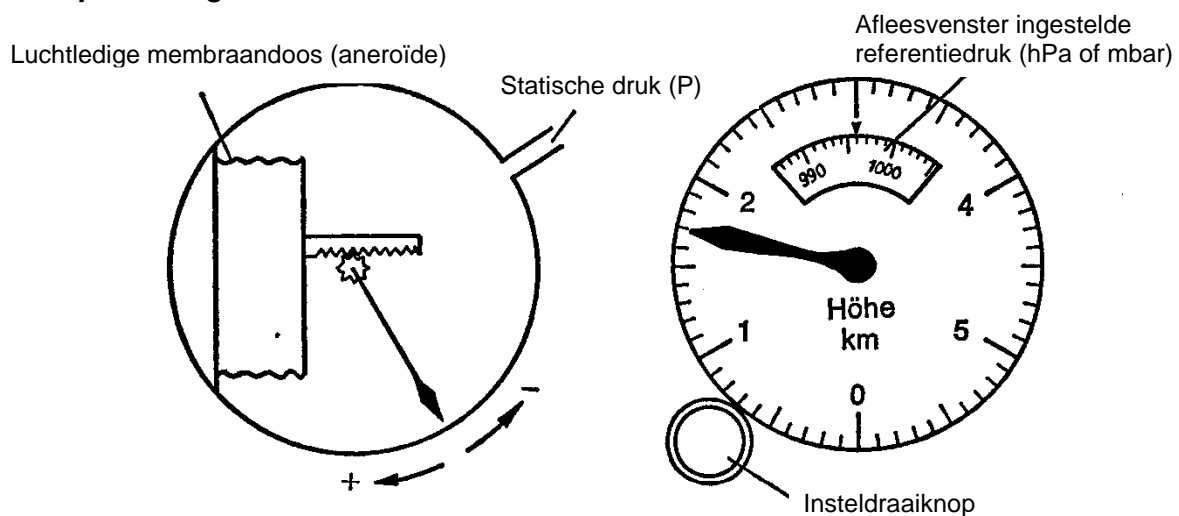
Het principe van de hoogtemeter is gelijk aan dat van de barometer. Ook hier wordt een luchtledige membraandoos (**aneroïde capsule**) of een stelsel van aneroïde capsules onder de invloed van statische druk (P) ingedrukt. De drukschaal wordt geijkt in een meterschaal op basis van de standaardatmosfeer:

- temperatuur op zeeniveau + 15°C
- temperatuurafname: 0,65 °C per 100 m hoogtetoename
- luchtdruk op zeeniveau 1013,2 hPa

Op lage niveaus is de relatie drukafname per hoogtetoename gelijk aan 12,5 hPa per 100m (en omgekeerd). Op zeeniveau geldt dat 1 hPa (of mBar) overeenkomt met een hoogteverschil van 8 m. Hierop zijn de eenvoudige hoogtemeters geijkt.

Op grotere hoogte zal een drukverschil van 1 hPa overeenkomen met een hoogteverschil > 8 m omdat de druk minder snel daalt in functie van de hoogte.

Principewerking:



De statische druk (P) drukt op de luchtledige membraandoos. Het uitzetten (doordat P vermindert bij klimmen) of krimpen (doordat P toeneemt bij dalen) van de membraandoos wordt via een stelsel van tandwielen op een hoogteschaal doorgegeven.

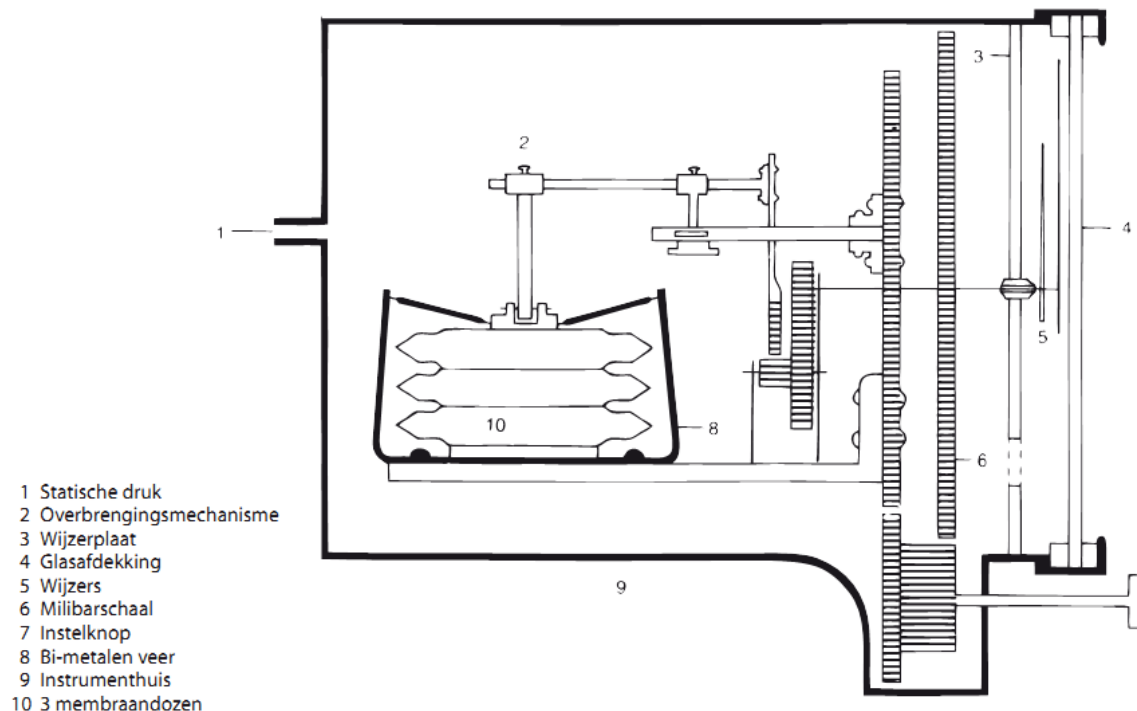
De hoogtemeter is voorzien van een drukschaal, een draaibare schaal in hPa of mBar afleesbaar via een afleesvenster in de wijzerplaat van het instrument. De drukschaal kan met behulp van een draaiknop ingesteld worden op de gewenste referentiedruk (**drukvlak**) ten opzichte waarvan men de hoogte wil bepalen.

Via het overbrengingsmechanisme gaat bij draaien van de instelknop niet alleen de drukschaal draaien maar ook de wijzers van de hoogtemeter. Tegelijk met het instellen van de referentiedruk verandert dus ook de hoogteaankwijzing.

Eens ingesteld op een bepaalde waarde blijft de ingestelde druk op de drukschaal onveranderd ongeacht de hoogte waarop gevlogen wordt. De hoogtemeter meet dus het hoogteverschil tussen de actuele hoogte waarop de hoogtemeter zich bevindt en het drukvlak dat ingesteld is op de drukschaal.

Constructie:

Gewoonlijk heeft de hoogtemeter drie luchtledige membraandozen (aneroïden) die elkaars uitzetting of inkrimpen vergroten. Om het platdrukken van deze luchtledige dozen door de statische druk te voorkomen zijn ze voorzien van een veer (dikwijls in U-vorm). Deze veer is uitgevoerd als bimetalen veer om bewegingen van de aneroïden als gevolg van temperatuurswijzigingen te compenseren.



Verder bestaan er types hoogtemeters met één of meerdere wijzernaalden. Bij de uitvoeringen met **twee wijzers** geeft de grote wijzer een aanduiding in honderdtallen (meters of voet) en de kleine wijzer een aanduiding in duizendtallen (meters of voet). Het overdrachtsmechanisme naar de wijzers zorgt dat de omloopsnelheid van grote en kleine wijzers zo ingesteld is dat voor elke volledige omloop van de grote wijzer de kleine wijzer een duizendtal opschuift. Zeer nauwkeurige hoogtemeters hebben zelfs 3 wijzers waarbij de grootse wijzer een aanduiding geeft op een nauwkeurigheid van het tiental.

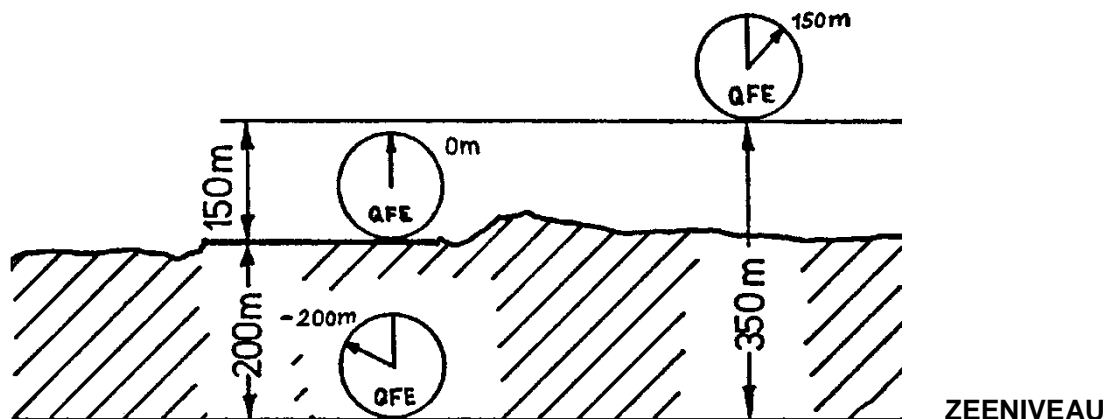


Hoogtemeterinstellingen:

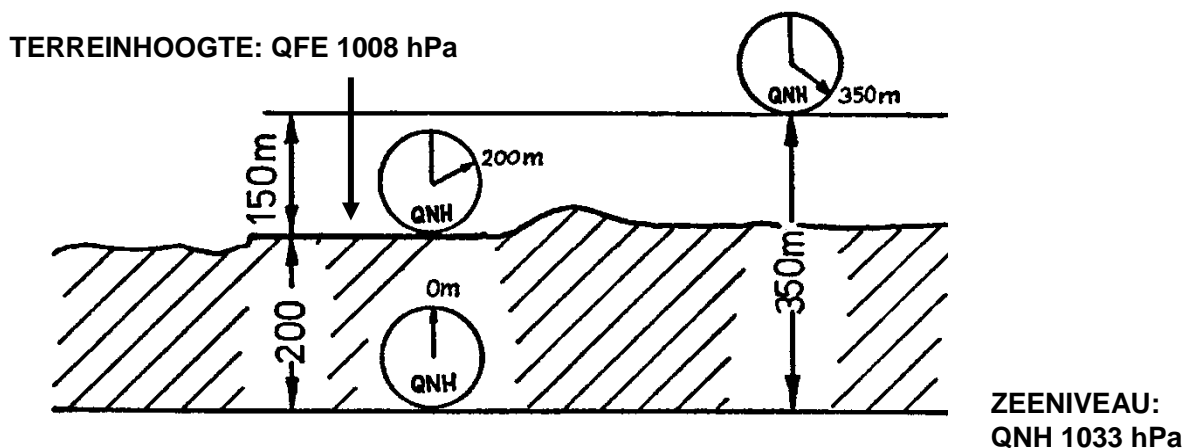
Omdat de werkelijke luchtdruk op zeeniveau zelden 1013,2 hPa bedraagt, moet de hoogtemeter via de drukschaal ingesteld worden op de werkelijke referentiedruk. Voor geringe hoogten worden twee soorten instellingen courant gebruikt, **QNH** en **QFE**.

QFE: is de luchtdruk op terreinhoogte. Wanneer men de **QFE** op de hoogtemeter instelt (drukschaal instellen op luchtdruk terreinhoogte), zal deze op de grond een hoogte van **nul meter** aanwijzen. Men werkt meestal andersom: de hoogtemeter wordt met de draaiknop op

nul meter gezet; de drukschaal in het afleesvenster toont dan de luchtdruk op terreinniveau. Bij het zweefvliegen is het voor lokale vluchten gebruikelijk dat men **QFE** instelt. Hierdoor duidt de hoogtemeter de hoogte boven het vliegveld aan. Bij de landing duidt de hoogtemeter opnieuw nul meter aan (voor zover de druk tijdens de vluchtduur niet veranderd is).



QNH: is de luchtdruk gecorrigeerd naar zeeniveau (MSL = Mean Sea Level). De correctie bestaat uit een omrekening waarbij bij de actuele QFE druk, het drukverschil wordt opgeteld dat overeenkomt met het hoogteverschil tussen het terrein en het zeeniveau. Voor deze omrekening gaat men uit van de verhouding 1 hPa (mBar) voor iedere 8 m (of 25 voet) hoogteverschil. Wanneer men op het terrein de hoogtemeter op **QNH** instelt, zal de hoogtemeter de terreinhoogte ten opzichte van het zeeniveau aanwijzen. Gebruik van **QNH** is standaard in bergachtige gebieden omdat het reliëf (bergpieken en obstakels) op de ICAO vliegkaarten ten opzichte van het zeeniveau worden aangeduid. In onze streken is ook voor overlandvluchten **QNH** instelling aanbevolen (obstakels zoals masten, torens, enz.) worden op de vliegkaart eveneens ten opzichte van het zeeniveau aangeduid. Hierdoor wordt de veiligheid gediend. Ook in geval van landing op een vreemd veld is QNH nuttig.

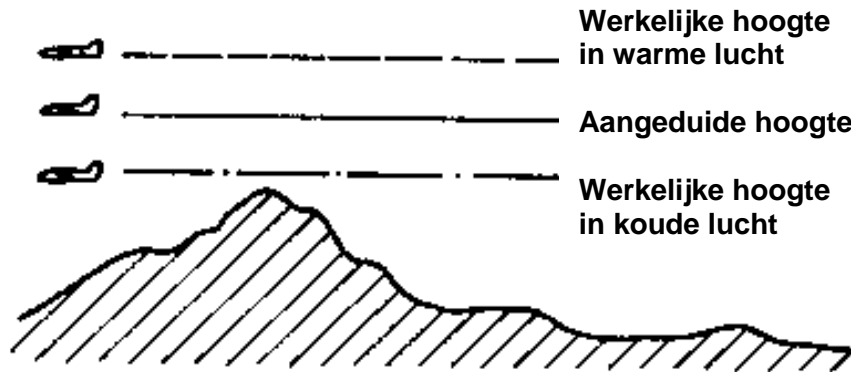


Voor het omrekenen van druk in hoogte (of andersom) kan men aanhouden dat 1 hPa drukverschil overeenkomt met 8 meter of 25 voet. Dit geldt alleen voor geringe hoogtes, tot 1 000 à 2 000 meter boven zeeniveau. In de figuur hierboven is de **QFE** gelijk aan 1008 hPa (mBar) op een vliegveld dat een elevatie (hoogte t.o.v. de zeespiegel) heeft van 200 meter. Een hoogteverschil van 200 m komt overeen met ongeveer 25 hPa. De **QNH** is dan $QFE + 25 \text{ hPa} = 1008 \text{ hPa} + 25 \text{ hPa} = 1033 \text{ hPa}$.

Hoogtemeterfouten:

Hysteresische fout: de hoogtemeter blijft haperen ten gevolge van kleine restvervormingen in het mechanisch overdrachtsysteem. Bijv. na snel dalen duidt de hoogtemeter te veel aan (dit kan gevaarlijk zijn), na snel stijgen duidt de hoogtemeter te laag aan.

Temperatuur / drukfout: Afwijking van de juiste hoogte omdat de omstandigheden (bv. temperatuur) afwijken van de standaardatmosfeer waarvoor de hoogtemeter geijkt is.



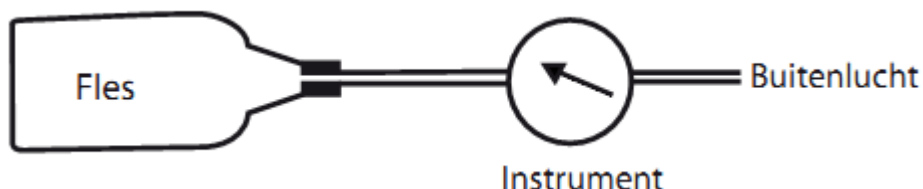
Hoogtefout: Op grote hoogte (vanaf 2 000 m) daalt de druk minder snel in functie van de hoogte: dus een drukverschil van 1 hPa wordt bereikt bij **meer** dan 8 m hoogteverschil.

Kalibratie- of schaalfout: Bij dalen van de atmosferische druk (bv. bij vliegen in de richting van lage druk) duidt de hoogtemeter te veel aan (dit kan gevaarlijk zijn). Andersom bij verhoging van de atmosferische druk duidt de hoogtemeter te laag aan. Bij verhogen van de temperatuur duidt de hoogtemeter te veel aan (doordat de luchtdensiteit en dus de druk verlaagt).

8.5.2.3 variometer

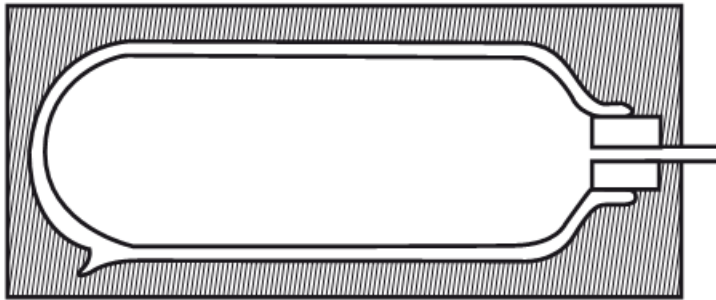
Membraan- of capsulevariometer, stuwschijfvariometer, draaibandvariometer, elektrische en elektronische variometer

Algemeen werkingsprincipe: De variometer geeft de stijg- en de daalsnelheid van een zweefvliegtuig weer, uitgedrukt in meter per seconde (m/s). Wanneer een zweefvliegtuig stijgt, beweegt het zich naar een hoger niveau met lagere luchtdruk dan op het beginniveau van de stijgvlucht. Bij dalen is het andersom. De werking van de variometer berust op deze drukverandering. Het principe van de meest gangbare variometers is dat men een fles via het instrument verbindt met de buitenlucht:



Als het zweefvliegtuig stijgt, zal er wegens de dalende druk (statische druk P_s) van de buitenlucht, lucht stromen uit de fles via het instrument naar de buitenlucht. Het instrument meet deze **luchtstroom** of een **drukverschil** dat door deze luchtstroom wordt veroorzaakt.

Vermits deze luchtstroompjes of drukverschillen die moeten gemeten worden zeer klein zijn, is het instrument zeer gevoelig (en dus kwetsbaar). Door verwarming van de lucht in de fles met 1°C zet de lucht in de fles ongeveer even veel uit als een hoogteverschil van 30 meter. Bij wisselende verwarming van de fles (bijvoorbeeld door de zon) zou de meting daarom zeer onnauwkeurig worden. Om die reden wordt er altijd een thermosfles gebruikt. Dit is een dubbelwandig glazen vat, met vacuüm tussen de wanden om warmtegeleiding door de lucht uit te sluiten. Aan de vacuümzijde zijn deze wanden voorzien van een spiegelende laag om de invloed van warmtestraling zoveel mogelijk te beperken. De fles zelf is omhuld met isolatiemateriaal en het geheel zit in een beschermende metalen of plastic koker.



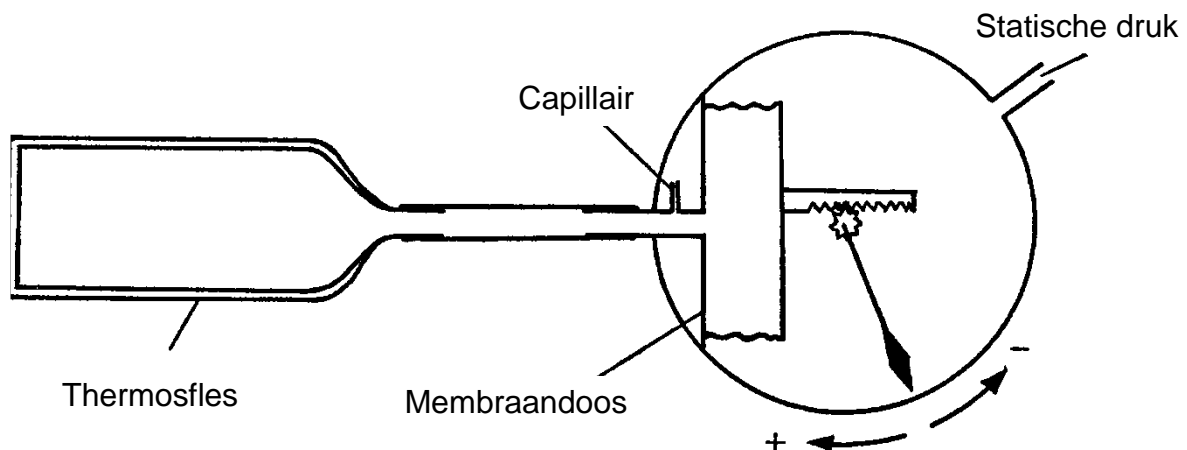
Thermosfles

Het volume van de fles en het type van variometer zijn op elkaar aangepast (bij een groter flesvolume is het geëxpandeerd luchtvolume groter waardoor de variometer gevoeliger wordt). Meestal worden thermosflessen van 0,45 Liter gebruikt. Gevoelige variometers zijn soms op 2 parallelle flessen van 0,45 Liter aangesloten (dubbele luchtstroom).

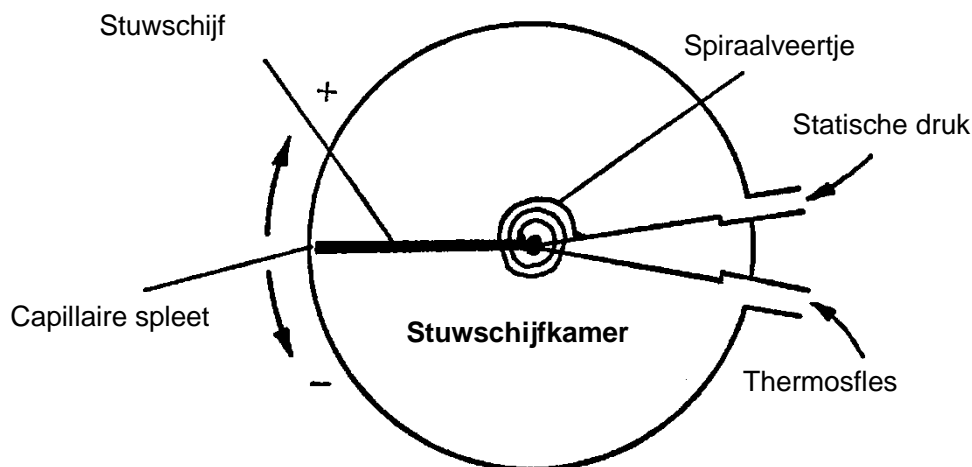


Membraan- of capsulevariometer: De thermosfles is aangesloten op een **membraandoos** die kan uitzetten of krimpen. Bij stijgen neemt de statische druk af naarmate de hoogte toeneemt, waardoor er in de thermosfles en de membraandoos **overdruk** ontstaat. De uitzetting van de doos wordt door een mechanisch overdrachtmechanisme op de wijzerplaat als stijgen weergegeven. Hoe sneller men stijgt, hoe groter het drukverschil en dus hoe groter de aanduiding in m/s. De rol van het **capillair** (zie tekening) bestaat erin om tijdens een continue stijgvlucht voortdurend een weinig lucht te laten ontsnappen, klein genoeg om het drukverschil tijdens het stijgen te handhaven maar groot genoeg om van zodra het stijgen ophoudt het drukverschil tussen thermosfles en buitenlucht voldoende snel uit te vlakken, waardoor de variometer quasi ogenblikkelijk stopt met het aanduiden van stijgen. Bij een dalende vlucht werkt alles andersom, en ontstaat er in de thermosfles en

membraandoos een onderdruk ten opzichte van de buitenlucht, de membraandoos krimpt waardoor het instrument dalen weergeeft.



Stuwschijfvariometer: meest gebruikte pneumatisch/mechanische variometer. In dit instrument bevindt zich een ronde, doosvormige kamer, waarin een wand (**stuwschijf**) draaibaar om de centrale as van de cilindervormige doos is aangebracht. Tussen deze stuwschijf en de **stuwschijfkamer** bevindt zich een **capillaire spleet** (zie tekening), waardoor lucht rond de stuwschijf kan stromen. De wijzer van het instrument is rechtstreeks aan de stuwschijf bevestigd, wat een overbrengingsmechanisme overbodig maakt en de daarmee gepaard gaande wrijving voorkomt. Een licht spiraalveertje houdt de stuwschijf in nulstand zolang er geen lucht door het instrument stroomt. De ruimte aan de ene zijde wordt met de thermosfles verbonden en die aan de andere zijde met de buitenlucht (statische druk leiding).



Variometerfouten:

Instrumentfout:: Eigen aan de constructie van het instrument. Vermits zeer kleine drukverschillen gemeten worden die in een soort van evenwichtstoestand bestaan tussen drukopbouw door volume-expansie en drukafbouw via het capillair, moet het instrument zeer gevoelig zijn en nauwkeurig geijkt. Grote instrumentele fouten (10% afwijking) zijn niet uitzonderlijk.

Traagheidsfout: Het drukverschil blijft even nabestaan nadat de verticale beweging van het vliegtuig stopt. Heeft te maken met de werking van het capillair. Wordt erger naarmate het volume van de fles niet aangepast is (te groot) voor de gebruikte variometer.

Adiabatisch effect: Bij snel stijgen (bv. bij een lierstart) gaat de lucht in de fles sterk expanderen waardoor de lucht ook snel afkoelt. Er ontstaat een situatie waarbij de fleswand warmer is dan de lucht in de fles. De fleswand verwarmt dan de lucht in de fles waardoor de luchtdruk in de fles verhoogt en waardoor de variometer na het beëindigen van de stijglucht nog even stijgen blijft aanduiden.

Omgekeerd gebeurt dit ook waarbij na snel dalen de fleswand de lucht in de fles nu afkoelt (met als gevolg drukafname in de fles) en de variometer nog even dalen blijft aangeven.

Dit fenomeen wordt tegengewerkt door kopergas of aluminiumfolie in de thermosfles aan te brengen om de warmte-uitwisseling tussen lucht en fleswand te versnellen.

Knuppelthermiek: De variometer reageert niet alleen op verticale bewegingen van het zweefvliegtuig bij het doorvliegen van stijg- en daalwind, maar ook op (kortstondige) verticale bewegingen veroorzaakt door de stuurknuppel. Dit wordt verholpen door het **compenseren** van de variometer (zie verder).

Compensatie door membraan / compensatiebuis / elektronisch

Het compenseren van een variometer tegen knuppelthermiek kan gebeuren op volgende wijze:

Compensatie door correctie van de statische druk (compensatiebuis):

Een variometer heeft twee aansluitingen: de thermosfles en de statische druk P_s . Als in rustige lucht de snelheid uit het zweefvliegtuig getrokken wordt, dan zal het toestel gedurende enkele seconden stijgen terwijl de snelheid afneemt. Door de hoogtetoename neemt de statische druk af en de gewone (ongecompenseerde) variometer zal hierop reageren door stijgen aan te wijzen.

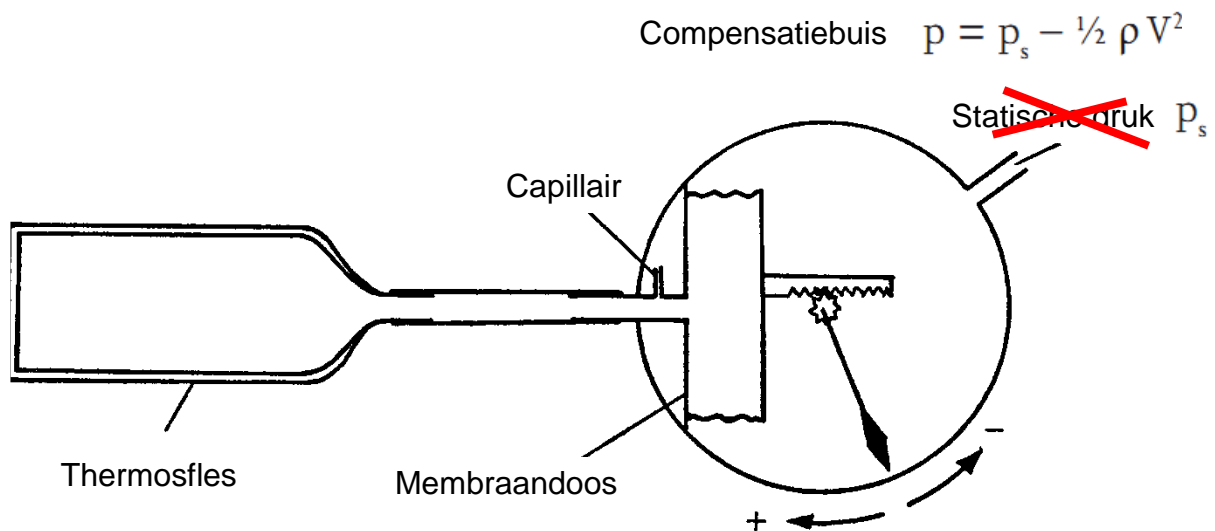
Wordt de variometer niet aan de statische druk P_s aangesloten maar op een (kleine) venturi die een druk levert

$$P = P_s - \frac{1}{2} \rho V^2$$

dan zal tijdens de kortstondige stijglucht P_s kleiner worden, maar doordat tegelijk de snelheid afneemt wordt ook $\frac{1}{2} \rho V^2$ kleiner. Dit laatste effect overheerst: P zal blijven toenemen zodat de variometer dalen zal blijven aanwijzen.

Een soortelijke redenering kan worden opgesteld door kortstondig aanduiken waarbij de snelheid en dus $\frac{1}{2} \rho V^2$ toeneemt.

Bij constante snelheid is $\frac{1}{2} \rho V^2$ constant, zodat de verandering van P alleen wordt veroorzaakt door de verandering van P_s en het instrument werkt als een gewone variometer.



In plaats van op de statische drukleiding wordt de variometer nu aangesloten op een ingang die een druk $P = P_s - \frac{1}{2} \rho V^2$ levert. Dit is dus een kleine **venturi** of een **compensatiebuis**.

Een veel gebruikt type van compensatiebuis is de **Braunschweig-buis**. Dit is een buis van circa 6 mm diameter, aan het uiteinde gesloten maar wel aan die kant benedenstrooms voorzien van twee gleufjes. Deze buis geeft net als een venturi ook een druk $P = P_s - \frac{1}{2} \rho V^2$ maar is eenvoudig te maken, geeft minder weerstand, is niet slipgevoelig en de opstelling is niet kritisch. Bij zweefvliegtuigen met een T-staart wordt hij gewoonlijk bevestigd aan het kielvlak. Een verticale opstelling op de rug van het zweefvliegtuig is ook mogelijk.



Braunschweig-buis

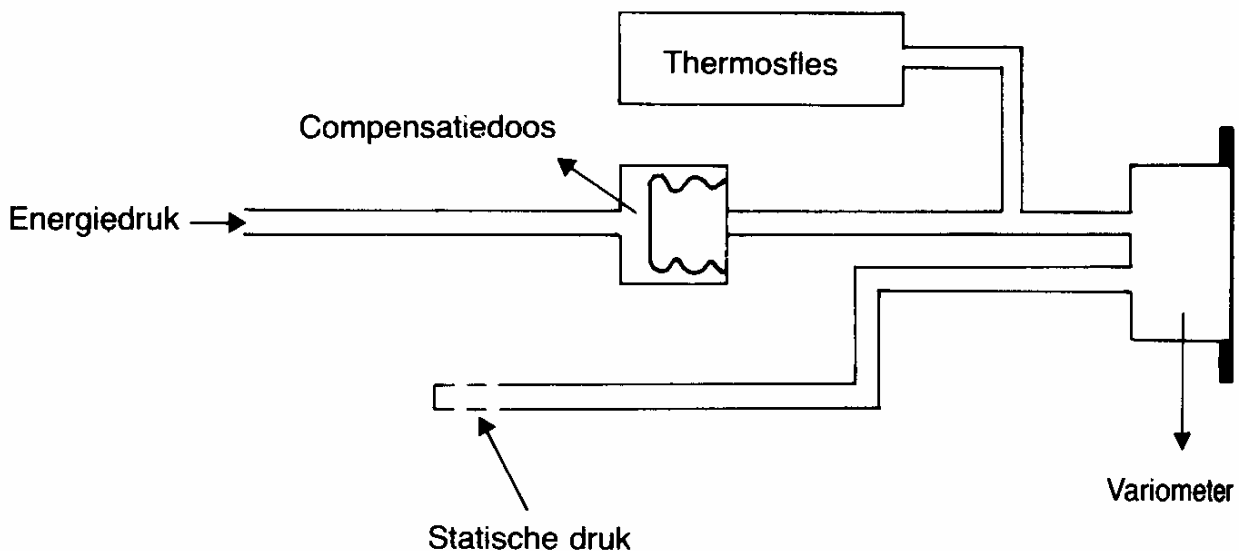


Venturi



Compensatie door correctie van het flesvolume (membraandoos)

Bij dit systeem wordt ook een normale variometer gebruikt, aangesloten op de statische leiding en op de thermosfles. De leiding tussen de variometer en de thermosfles is evenwel vertakt naar een zogenoemde **TE-compensatiedoos** (een elastische membraandoos die kan uitzetten of krimpen en dus zijn volume kan vergroten of verkleinen naargelang de snelheid van het zweefvliegtuig afneemt of toeneemt. Hiervoor is de TE-compensatiedoos in contact met de energiedruk afkomstig van een pitotbuis.



Vermits de membraandoos langs de ene kant uitwendig in contact is met de energiedruk uit de pitotbuis:

$$P = P_s + \frac{1}{2} \rho V^2$$

en langs de andere kant inwendig in contact is met de druk vanuit de thermosfles die nagenoeg gelijk is aan de statische druk P_s is het drukverschil tussen binnen en buiten de membraandoos gelijk aan

$$P_s + \frac{1}{2} \rho V^2 - P_s = \frac{1}{2} \rho V^2$$

en dus afhankelijk van de snelheid van het zweefvliegtuig. Dit geldt ook voor het volume van de membraandoos.

De variometer is dus aangesloten op een variabel volume bestaande uit thermosfles (constant volume) + compensatiedoos (variabel in functie van de snelheid). Bij optrekken vermindert de snelheid \rightarrow dus $\frac{1}{2} \rho V^2$ neemt af waardoor het gezamenlijk volume thermosfles + compensatiedoos vergroot (de membraandoos zet uit). Hierdoor ontstaat een drukdaling in de thermosfles waardoor het drukverschil tussen de thermosfles en de statische druk wordt tegengewerkt hetgeen de aanduiding van knuppelthermiek verhindert.

Begrip TE – compensatie:

De hierboven aangehaalde compensatietechnieken worden ook **TE-compensatie** genoemd. De totale energie (**TE**) van een zweefvliegtuig bestaat uit potentiële energie (bepaald door de hoogte, deze 'hoogte-energie' kan immers omgezet worden in snelheid) en kinetische energie (bepaald door de snelheid).

$$\text{Totale energie (TE) = potentiële energie (hoogte) + kinetische energie (snelheid)}$$

Wanneer een zweefvliegtuig in thermiek bij constante snelheid naar hogere niveaus stijgt neemt de totale energie (**TE**) toe omdat de potentiële energie toeneemt. De kinetische energie blijft constant omdat de snelheid onveranderd blijft. Het door de variometer aangegeven stijgen is dus ook een aanduiding voor de toename van de **TE** via toename van de potentiële energie.

Het omgekeerde gebeurt bij een daalvlucht bij constante snelheid, de negatieve aanduiding van de variometer toont aan dat de **TE** afneemt via de daling van de potentiële energie.

Wanneer een (motor)vliegtuig een hoogteniveau handhaaft bij constante snelheid, duidt de variometer 0 aan, wat ook betekent dat de **TE** constant blijft.

Bij “knuppelthermie” stijgt een zweefvliegtuig (de potentiële energie neemt toe), maar neemt tegelijkertijd de snelheid af (de kinetische energie vermindert). De **TE** blijft constant (op een klein verlies na veroorzaakt door de wrijving). Het aandeel van het optrekken op de **TE** is nul, de constante **TE** moet tot uitdrukking komen doordat de variometer geen (extra) stijgen of dalen aanwijst. Om die reden spreekt men van **TE-compensatie** van de variometer.

Elektronische variometer en compensatie:

Bij een elektronische variometer berust de werking meestal op het meten van de luchtstroom die bij stijgen of dalen een thermosfles in- of uitstroomt. Hierbij stroomt de lucht over subminiatuur **thermistoren**. Dit zijn temperatuursgevoelige weerstanden in een elektrisch circuit. Bij afkoelen in contact met de luchtstroom zal de weerstand en dus de stroomsterkte in het circuit wijzigen, hetgeen vertaald wordt in een aanduiding stijgen of dalen. Hoe sterker het stijgen of dalen, hoe groter de luchtstroom, hoe sterker de afkoeling en verandering van weerstand en dus hoe groter de aanduiding.

Er bestaan ook elektronische variometers die rechtstreeks de drukverandering per seconde (afname bij stijgen, toename bij dalen) meten via een drukgevoelige chip (transducer) met tijdregistratie. Hiervoor is geen thermosfles nodig.

De voordelen van elektronische variometers zijn:

- snelle aanwijzing
- mogelijk tot eenvoudig omschakelen van meetbereik en demping (gevoeligheid)
- mogelijkheid tot een akoestisch signaal
- mogelijkheid van elektronische compensatie van hoogte- & temperatuurfouten
- mogelijkheid van elektronische TE-compensatie

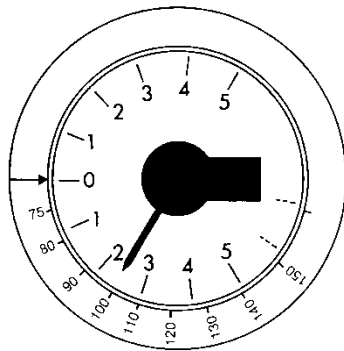
De noodzakelijke elektrische voeding gebeurt via een (centrale) accu (die o.a. ook de radio en GPS van stroom voorziet).

Elektronische TE-compensatie: Bij bv. optrekken worden (1) de werkelijke (totale niet gecompenseerde) stijgsnelheid zoals gemeten via het drukverschil tussen thermosfles en statische druk en (2) de snelheidsverandering (via het signaal verandering van de stuwdruk $\frac{1}{2} \rho V^2$ in de pitotbuis), gezamenlijk elektronisch geregistreerd waarbij het totale stijgen elektronisch gecorrigeerd wordt naar het zuivere thermisch stijgen.

MacCreadyring

De snelheid om aan het beste glijgetal te vliegen is afhankelijk van het totale dalen van het zweefvliegtuig (= eigen dalen + daal- of stijgwind). Vermits het totale dalen voortdurend verandert, dient de piloot ook de snelheid telkens weer aan te passen.

Hiervoor is rond de variometer een draaibare ring aangebracht waarop een snelheidsschaal in km/h is afgebeeld. Voor elke aflezing van het totale dalen op de variometer komt een snelheid overeen die de piloot op dat moment moet vliegen.



De relatie tussen de schaal van de daalsnelheid (totale dalen) en de snelheidsschaal voor het beste glijgetal op de ring, wordt bepaald door de snelheidspolaire en is dus verschillend voor elke type zweefvliegtuig. Dit wordt meer in detail besproken in het deel Aerodynamica.

De ring is draaibaar gemaakt om het beginpunt (pijl of driehoekje) te kunnen instellen. Hierdoor verschuift de snelheidsschaal ten opzichte van de variometerschaal. In principe zijn er drie basisinstellingen van de ring mogelijk:

- Afleggen maximale afstand (zonder wind) rekening houdend met stijg- of daalwind > Ring instellen op 0
- Afleggen maximale afstand rekening houdend met tegenwind > Ring instellen op 0,5 of 1 naargelang windsterkte
- Behalen maximale reissnelheid rekening houdend met het te verwachten stijgen in de volgende thermiekbel > Ring instellen op het gemiddelde stijgen dat verwacht wordt in de volgende bel: bv. Instellen op 1



Voorbeeld: ringinstelling voor het behalen van de maximale reissnelheid bij een verwacht gemiddeld stijgen van 1 m/s. De MacCreadyring is ingesteld op 1m/s. Dit betekent dat de piloot een stijgen van 1 m/s verwacht in de volgende thermiekbel. De variometer duidt 130 km/h aan als aanbevolen snelheid om aan de maximale reissnelheid te vliegen.

8.5.2.4 kogel en koordje

De kogel en het koordje (piefje) zijn eenvoudige slipmeters. Deze hulpmiddelen informeren de piloot of er al dan niet gecoördineerd wordt gevlogen.

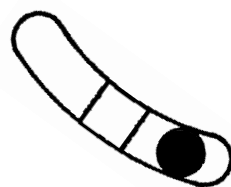
Kogel: bestaat uit een lichtgebogen, met vloeistof gevulde buis, waarin zich een kogeltje bevindt.



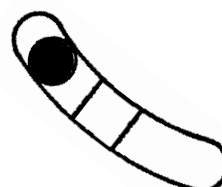
De beweging van de kogel wordt gedempt door de vloeistof in de buis. Bij gecoördineerde rechtlijnige vlucht bevindt het kogeltje zich door de zwaartekracht in het laagste punt, dus in het midden van de buis tussen twee verticale streepjes. Ook bij een zuiver (gecoördineerd) gevlogen bocht zal de kogel tussen deze twee streepjes blijven (omdat de zwaartekracht die de kogel naar onderen – naar de binnenkant van de bocht - wilt positioneren perfect gecompenseerd wordt door de middelpuntvliedende kracht die de kogel naar de buitenkant van de bocht wilt plaatsen).

Bij een slippende bocht (te veel dwarshelling) bevindt de kogel zich buiten de verticale streepjes aan de onderkant van de buis (binnenkant van de bocht).

Bij een schuivende bocht (te veel giersnelheid) bevindt de kogel zich aan de bovenkant van de buis (buitenkant van de bocht).



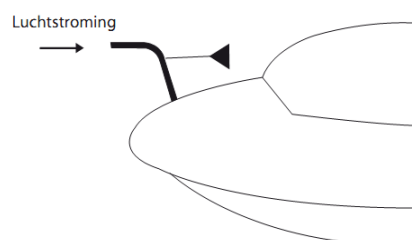
Slippende bocht



Schuivende bocht

Koordje:

Het koordje is een zeer eenvoudig en bruikbaar hulpmiddel bij het vliegen. Het is niet meer dan een draadje (of een kegeltje van papier of plastic aan een draadje), dat in de vrije luchtstroom (met een uiteinde gekleefd op de cockpitkap of aan de pitotbuis bevestigd) is opgehangen.

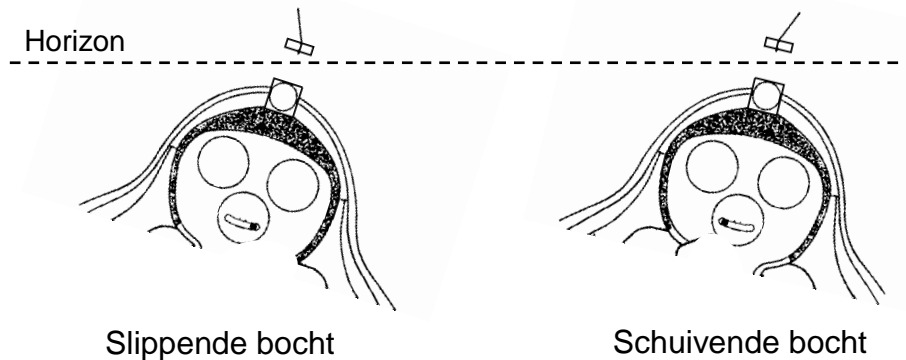


Het koordje bevindt zich in de luchtstroom (relatieve wind) en zal de richting daarvan aanwijzen. Wanneer het zweefvliegtuig naar links of rechts giert of slipt, zal de luchtstroming van die richting komen, waardoor het koordje, vanuit de cockpit gezien, naar de andere zijde

wordt geblazen. Het maakt dan een hoek met de langsas van het zweefvliegtuig, wat betekent dat een correctie met de roeren nodig is.

Bij een slippende bocht (te veel dwarshelling) wijst het koordje vanuit de cockpit naar de buitenkant van de bocht (dus tegengesteld ten opzichte van de kogel).

Bij een schuivende bocht (te veel giersnelheid) wijst het koordje naar de binnenkant van de bocht (teggengesteld ten opzichte van de kogel).

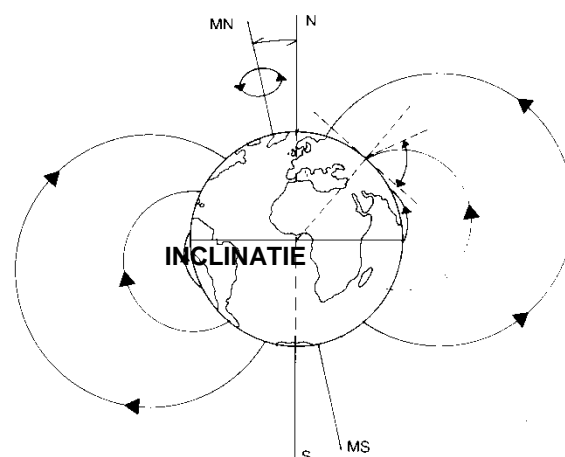


Het koordje heeft het grote voordeel dat het boven het instrumentenpaneel in het gezichtsveld van de piloot (naar buiten uit) bevestigd is, wat aanzienlijke extra veiligheid oplevert in verband met de look out. Een nadeel is dat het draadje bij regen kan vastplakken op de cockpitkap en dus onbruikbaar wordt.

8.5.2.5 kompas

werking

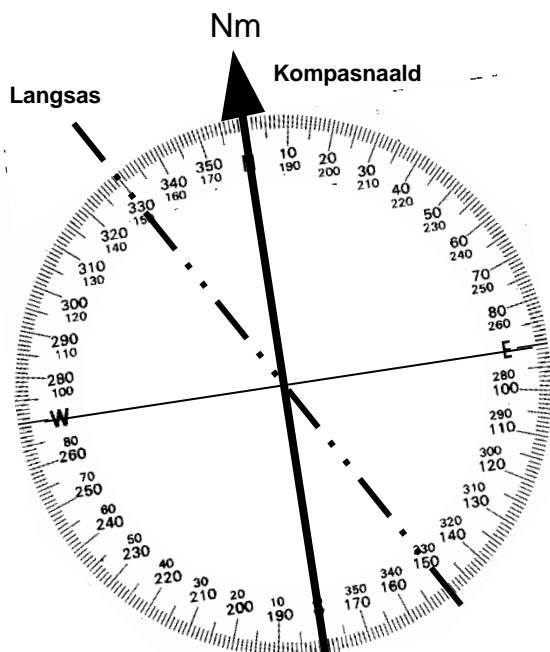
Aardmagnetisch veld: is de ruimte rond de aarde waarbinnen de werking van het aardmagnetisme zich doet gevoelen. Het aardmagnetisch veld wordt gekenmerkt door de **magnetische veldlijnen** die een symmetrisch patroon volgen rond de magnetische as. De magnetische as maakt een hoek van 12° met de aardas. Waar de magnetische as doorheen de aardbol snijdt, bevinden zich de magnetische polen: voor het noordelijk halfrond is dit de **magnetische noordpool** (MN), voor het zuidelijk halfrond **de magnetische zuidpool** (MS). De magnetische veldlijnen snijden het aardoppervlak volgens een hoek.



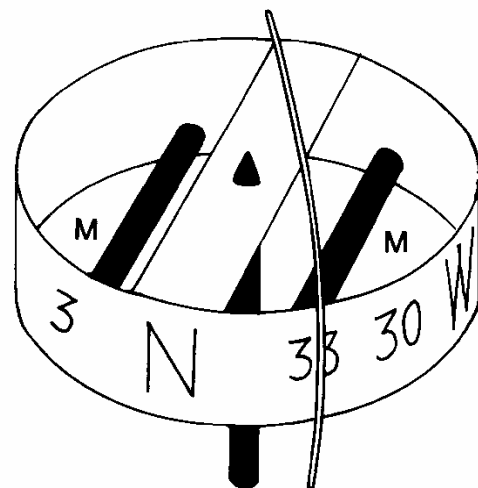
Inclinatie: een vrij opgestelde magneetnaald oriënteert zich volgens de magnetische veldlijnen (dus evenwijdig met de magnetische veldrichting), dit betekent dat op onze breedtegraad de magneetnaald schuin naar beneden in de noordelijke richting zal wijzen. De **inclinatie** op een punt van het aardmagnetische veld is de hoek die de magnetische veldrichting in een punt maakt met het horizontaal vlak (het aardoppervlak) door dat punt.

Zijn de veldlijnen gericht naar het aardoppervlak toe, dan is de inclinatie positief (noordelijk halfrond). Op het zuidelijk halfrond is de inclinatie negatief. Op onze breedte is de **inclinatie** circa 66° . De kromme die de punten verbindt waar de inclinatie 0° is, heet de **magnetische equator**. Bij te grote inclinatie, vanaf 75° (dus op hoge breedten), wordt een kompas onbetrouwbaar.

Bij een gewoon handkompas kan de kompasnaald vrij draaien over de windroos. In het navigatiekompas dat in de zweefvliegtuigen zit, vormt de kompasnaald doorgaans een vast geheel met de windroos. De windroos (nu kompasroos) behoudt haar oriëntatie t.o.v. het magnetische noorden ongeacht de oriëntatie van de as van het vliegtuig.



360° Kompasroos en naald vormen een vrijdraaiend geheel in het kompashuis



Bolkompas: kompasroos omgezet tot bandvormige rooskaart

Het in de zweefvliegerij meest gebruikte kompas is het **bolkompas**. Een voordeel van het bolkompas is dat het kan geplaatst worden in het (verticale) instrumentenbord van het vliegtuig en daardoor gemakkelijk horizontaal afleesbaar is. Het kompas bestaat uit een cilindervormig huis, waarin zich het magneetsysteem bevindt dat bestaat uit twee of meer magneetstaafjes die evenwijdig zijn aangebracht en met de **roos** een geheel vormen. De roos is uitgevoerd als een **bandvormige rooskaart**, waardoor het kompas horizontaal afleesbaar is. Het gehele huis is gevuld met vloeistof voor de demping van de



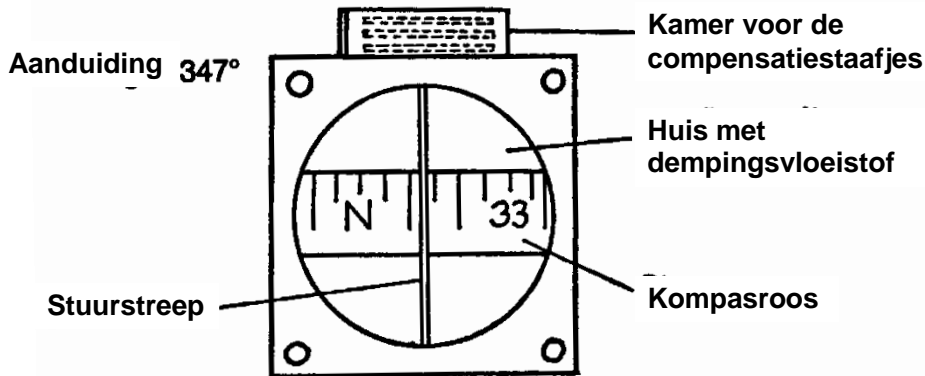
bewegingen van de roos. Het aflezen van de roos geschiedt ten opzichte van de verticale **zeilstreep** of **stuurstreep** (op de afbeelding hierboven 330°). Omdat men tegen de achterkant van de roos aankijkt is de richting van de roos over 180° verdraaid ten opzichte van de werkelijke kompasrichting.

variatie

Variatie: richtingsafwijking (in graden) van de magnetische pool ten opzichte van de geografische pool. De variatie verschilt naargelang de plaats op Aarde en verandert in de tijd, omdat de magnetische Noordpool zich verplaatst. Op luchtvaartkaarten is er gewoonlijk ook een kleine kaart met de lijnen van gelijke variatie afgedrukt, waar men de lokale deviatie kan aflezen.

deviatie

Deviatie: afwijking (in graden) tussen de aanwijzing van het kompas en de richting van het magnetische noorden. Dit ten gevolge van de lokale verstoring van het aardmagnetisch veld door metalen onderdelen van het zweefvliegtuig zoals bv. de instrumenten, de metalen romp, eventueel de motor bij motorzwevers. Om de deviatie zo klein mogelijk te houden, wordt het kompas gecompenseerd met behulp van magneetjes die in de compensatiedoos van het kompas zijn aangebracht. Regeling kan ook gebeuren via draaiing van stelschroeven. Merk op dat het al dan niet in werking zijn van elektronische instrumenten eveneens een invloed heeft; men moet dus een kompas compenseren terwijl alle gebruikelijke instrumenten aan staan.



Deviatietabel: Meestal is het, ondanks het regelen met compensatiestaafjes, niet mogelijk om de aanwijzing van het kompas geheel goed te krijgen. Daarom bestaat er voor elke vliegtuig een **deviatietabel**, waarop voor een aantal magnetische koersen de afwijking van de kompasnaald in graden vermeld wordt. Een plusteken betekent dat het kompas meer aanwijst (**oostelijke deviatie**), een minteken (**westelijke deviatie**) betekent dat de aanwijzing minder is dan de magnetische koers.

Magn. Koers	δ	Magn. Koers	δ
0	-1	195	+3
15	-2	210	+2
30	-1	225	+1
45	-2	240	-1
60	-4	255	-3
75	-5	270	-2
90	-2	285	-3
105	-1	300	-1
120	± 0	315	+1
135	+2	330	+3
150	+3	345	+1
165	+3	360	-1
180	+4		

Voorbeeld van een deviatietabel

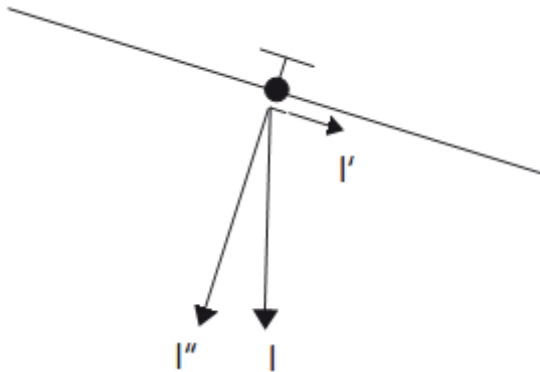
Een variante is de zgn. **for/steer tabel**, waar voor een aantal kompaskoersen een gecorrigeerde koers wordt uitgezet.

Te vliegen magnetische koers	Stuur kompas koers	Te vliegen magnetische koers	Stuur kompas koers
000	001	---	---
015	015	195	192
030	031	210	218
045	047	225	224
060	063	240	240
075	079	255	256
090	095	270	272
105	109	285	288
120	123	300	302
135	137	315	316
150	151	330	330
165	165	345	345
180	178	360	001

Deviatietabel met de magnetische koers rechtsreeks omgerekend naar de kompaskoers

inclinatie en de gevolgen ervan

Noordelijke draaiingsfout: Vermits de magneetstaafjes zich willen oriënteren volgens de magnetische veldlijn, ondergaan ze buiten de horizontale kracht die naar het noorden gericht is ook een verticale kracht naar beneden toe: **inclinatiekracht (I)**. Daardoor krijgt de roos een weinig helling naar het Noorden.



Bij een bocht gaat, als gevolg van de dwarshelling, een krachtcomponent I' ontstaan naar de binnenkant van de bocht. Dus bij dwarshelling, bijvoorbeeld bij het inzetten van een bocht (ook bij slippen), zal de roos al gaan draaien (niet noodzakelijk in de goede richting) voordat de langsas (vliegkoers) is veranderd van richting. Tijdens de bocht gaat het kompas zich vreemd gedragen, al naargelang het vliegtuig dwarshelling naar links of naar rechts heeft. Afhankelijk van de kompasrichting die de langsas op dat moment heeft, gaat de roos **niet synchroon** meedraaien met de

richtingsverandering (het draaien) van de langsas van het vliegtuig.

Een vuistregel is dat men net voor het bereiken van een beoogde noordelijke vliegkoers, een aantal graden op voorhand het vliegtuig al horizontaal brengt. Dit omdat het kompas enkele graden doordraait nadat het vliegtuig terug horizontaal vliegt: "never see North". Andersom, bij het bochten naar een zuidelijke koers, moet men op het moment waarop de kompasaanwijzing de doelkoers bereikt, nog enkele graden doordraaien en dan pas uitbochten naar horizontaal. Het kompas draait enkele graden terug: "always see South".

Het valt ook op te merken dat het kompas bij grote dwarshelling soms vastloopt en helemaal niet meer uit te lezen valt. Dit is vooral het gevolg van het asymmetrisch geplaatste balansgewicht op de kompasnaald (zie hieronder). Er bestaan kompassen die dit opvangen en waarbij men het instrument bij het bochten kan inclineren zodat een correcte uitlezing mogelijk is, zoals die van Bohli en Schanz. Zij zijn echter duur en bij wedstrijden verboden, omdat ze beperkt wolkenvlucht mogelijk maken.



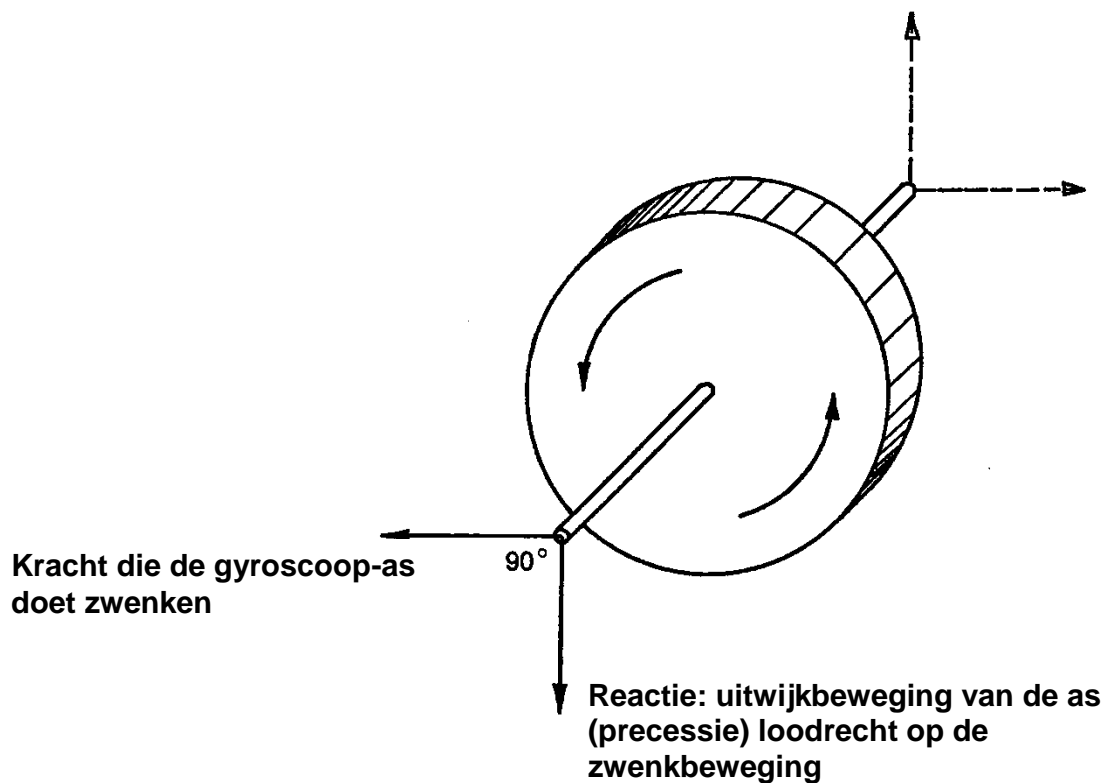
versnellingsfout

Versnellingsfout: om te vermijden dat de kompasnaald (magneetstaafje) door de inclinatiekracht te veel naar voren helt, is de tegenpool (zuidpool) van de naald zwaarder gemaakt zodanig dat deze beter in balans komt. Het nadeel hiervan is dat bij acceleratie of vertragen de massakracht op dit tegengewichtje inwerkt en de naald doet afwijken. Die afwijking wordt belangrijker naarmate de acceleratie of vertraging bij een meer westelijke of oostelijke koers gebeurt, gezien de naald dan meer dwars op de koers staat.

8.5.2.6 gyroscopische instrumenten (pro memorie)

Gyroscop: is een rotatiesymmetrische massa (bv wiel) die om zijn as kan draaien. Een snel draaiende gyroscop zal zich verzetten tegen verandering van de stand van de draaias. Als de draaias verplicht wordt om te zwenken, dan ontstaat er als reactie een

uitwijkbeweging van de as (precessie) loodrecht op het vlak van de zwenkbeweging. De gyroscoop wordt gebruikt in de bochtaanwijzer, de kunstmatige horizon en het gyrokompas.



Opmerking: Alhoewel af en toe gyroscopische instrumenten zoals bochtaanwijzers en soms ook een kunstmatige horizon in instrumentenpanelen van zweefvliegtuigen zijn ingebouwd, horen deze instrumenten in de meeste landen niet thuis in een zweefvliegtuig.

Bochtaanwijzer en kunstmatige horizon zijn bedoeld voor gebruik in omstandigheden van zeer slechte zichtbaarheid, dus in principe buiten de operationele voorwaarden waarin zweefvluchten mogen uitgevoerd worden (VMC = Visual Meteorological Conditions). Bovendien vereist het veilig gebruik en interpreteren van deze instrumenten (in slechte zichtomstandigheden) veel ervaring. In sommige landen is wolkenvlucht met zweefvliegtuigen beperkt toegelaten, dan zijn gyroscopische instrumenten verplicht aanwezig.

Voor een bochtaanwijzer moet de gyroscoop al zeer snel draaien (20 000 tot 25 000 omwentelingen per minuut); dit gebeurt via elektrische aandrijving (hetgeen de batterij behoorlijk belast). Vroeger gebeurde dat pneumatisch via een venturi (hetgeen extra weerstand genereert en gemakkelijk dichtvriest) of een blaasbalg (die dan door armbewegingen aangedreven wordt, zoals voor bepaalde doedelzakken).

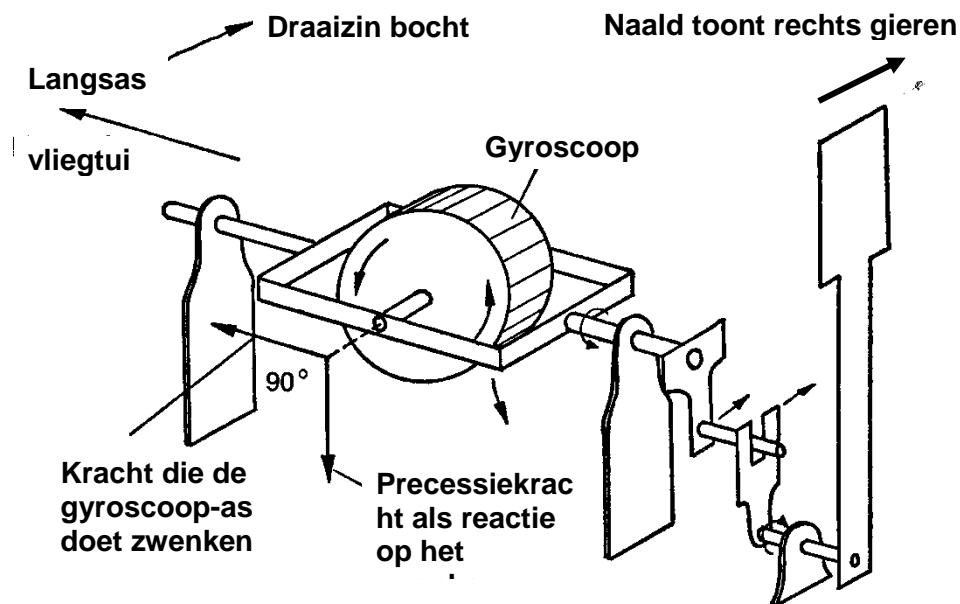
Bochtaanwijzer:

Dit is een instrument dat aantoont in welke richting een bocht gemaakt wordt en hoe snel (giersnelheid). Dus bewegingen rond de topas worden aangetoond. De gyroscoop is geplaatst met zijn as in een hoek van 90° ten opzichte van de langsas van het vliegtuig, in een kader dat kan roteren volgens een as die samenvalt met de langsas van het vliegtuig. De aanduiding gebeurt met een wijzer die in



de richting van de bocht uitslaat, in verhouding tot de giersnelheid. Meestal bevat hetzelfde instrument ook een kogeltje (slipmeter).

Werkingsprincipe:

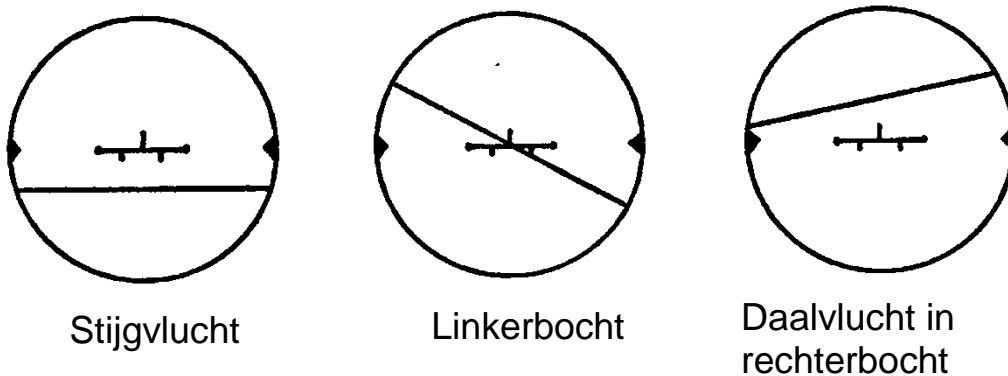


In de tekening hierboven maakt het vliegtuig een bocht naar rechts. De as van de gyroscoop zwenkt naar rechts. Er ontstaat een precessiebeweging die de as naar omlaag doet kantelen waardoor het kadertje naar links kantelt. Via een mechanisch overdrachtmechanisme wordt deze beweging omgezet in een rechtse uitslag van de instrumentnaald.

Vermits het kadertje enkel kan roteren om de langsas, is de bochtaanwijzer ongevoelig voor helling en standhoek.

Kunstmatige horizon:

Het hart van het systeem is eveneens een gyroscoop maar nu met de as loodrecht geplaatst ten opzichte van het horizontale vlak van de grond (dus ten opzichte van de horizon), en opgehangen in een kadersysteem dat volgens twee richtingen kan kantelen ten opzichte van de as van de gyroscoop. De as verzet zich tegen zijwaarts (dwarshelling) en voorwaarts (standhoek) kantelen en houdt dus zijn positie ten opzichte van de horizon. Hierdoor kunnen kantelposities van de dwarsas (helling) en van de langsas (standhoek) van het vliegtuig ten opzichte van de horizon gelijktijdig weergegeven worden.



Gyrokompas:

Het gyrokompas steunt op de eigenschap van de gyroscoop-as om zijn beginoriëntatie te behouden nadat de richting van de as (die gekoppeld is met de kompasroos) is ingesteld ten opzichte van het magnetisch noorden. Dat de oriëntatie ten opzichte van het magnetisch noorden gekozen wordt voor de begininstelling is omwille van praktische redenen. De begininstelling (of het kalibreren) wordt door de piloot uitgevoerd op het ogenblik dat het vliegtuig opgelijnd staat op de startbaan net voor het opstijgen. Runway oriëntaties worden altijd gedefinieerd ten opzichte van het magnetisch noorden.



Een gyrokompas is vrij van de typische fouten van kompassen die werken volgens het aardmagnetisme, zoals de noordelijke draaiingsfout (voor- en nalopen van het kompas) en de acceleratie/vertragingfout.

Anderzijds kan de ingestelde oriëntatie van de gyroscoop-as na een tijd gaan afwijken en dient het gyrokompas regelmatig opnieuw gekalibreerd te worden.

8.5.3 Radio zendontvanginstallatie

8.5.3.1 Instellingen en gebruiksaanwijzingen

De minimale eis om alle burgerluchtvaartfrequenties te mogen gebruiken (dus om op een nationaal of internationaal vliegveld te mogen landen en voor wederzijds contact met verkeersleiders) is het beschikken over een Bepaalde Vergunning Radiotelefonist. Hiervoor dient een examen te worden afgelegd.

Anderzijds moet er een vergunning worden afgeleverd voor de plaatsing van een zendontvangtoestel in een luchtvaartuig.

Het hoofdstuk hieronder is geen radiocursus. Er worden enkel in het kort enkele technische eigenschappen en procedures van de in het zweefvliegen gebruikte radio's beschreven.

8.5.3.2 Frequenties

De radio's in zweef- en sportvliegtuigen werken in het **VHF** frequentiegebied (Very High Frequency's). Deze band bestrijkt het gebied van 30 MHz tot 300 MHz. Specifiek voor luchtvaarradiotelefonie is hiervan het gebied **118 MHz – 137 MHz** beschikbaar.

De overige frequenties worden o.a. gebruikt voor radionavigatie – instrumenten die eerder gebruikt worden bij motorvliegtuigen.

Spacing (scheiding):

De scheiding tussen opeenvolgende frequenties is momenteel nog 25 kHz (0.025 MHz). Zo onderscheiden we 121,400 – 121,425 – 121,450 – 121,475 MHz, enz. Op het afleesvenster van de radio wordt het derde decimaal niet weergegeven: 121,40 – 121,42 – 121,45 – 121,47. Aangezien er in de luchtvaart een tekort aan frequenties is, wordt de scheiding in de toekomst 8,33 kHz. Dit is nu al het geval in het hogere luchtruim. Eurocontrol voorziet de veralgemening van deze scheiding thans voor 2018. Wie een nieuwe zendontvanginstallatie gaat kopen, kan daarom beter één met 8,33 kHz scheiding kopen, of een goedkope tweedehands radio.

8.5.3.3 Draagwijdte

Deze radio's werken op zichtafstand: de antennes moeten elkaar kunnen "zien". Dus niet vanuit achter de horizon. Met de hoogte neemt de draagwijdte vliegtuig – grond dus toe:

500 ft → 30 NM
1000 ft → 43 NM
2000 ft → 60 NM (1 Nautical Mile = 1,852 km)

Wanneer een zweefvlieger tijdens een overland laag zit of ver weg is, kun je hem niet ontvangen. Het bereik van de radiozendinstallatie is niet oneindig. De reikwijdte bereken je ruwweg als volgt: bereik in kilometers = 4 x de wortel uit de vlieghoogte in meter. Voorbeeld: Bij een vlieghoogte van 900 m is het bereik 4 x 30 = 120 km. Het bereik van twee zweefvliegtuigen die elkaar oproepen en elk op zo'n 900 m hoogte zitten is het dubbele hiervan, dus 2 x 120 = 240 km.

Uiteindelijk is de maximaal overbrugbare afstand tussen een hoogvliegend vliegtuig en een grondstation ca. 350 km.

8.5.3.4 Gebruik van de radio

Simplex – methode: Men kan slechts 1 per 1 spreken, de andere moet luisteren. Het onnodig indrukken van de zendknop, of een zendknop die soms blijft haken, veroorzaakt hinder op de zendfrequentie. Houd dus de berichten kort en gericht op de vliegsituatie. De spraakregels en prioriteit van de berichten wordt trouwens beschreven in de ICAO fraseologie.

Rond het vliegveld is de radio een belangrijk veiligheidshulpmiddel (uitluisteren verkeer, leiding of hulp krijgen, doorgeven informatie i.v.m. verloop circuit, communicatie tussen zweefvliegtuigen bij complexe of gevaarlijke situaties, enz.)

Bij overlandvluchten: de gecontroleerde gebieden waarin (bilaterale) radiocommunicatie verplicht is met de verkeersleiding, worden beschreven in het deel Reglementen.

8.5.3.5 Instellingen:



Afbeelding van een zend- ontvanginstallatie van het merk Becker. Dit vrij complex type radio tref je in veel zweefvliegtuigen aan. Deze radio kun je gebruiken op de frequenties van de luchtvaartband. Dat is de band van 118 tot 137 MHz. Bijna alle zweefvliegtuigen hebben tegenwoordig een zendontvanginstallatie.

- Display geeft in dit geval de actieve frequentie weer (boven – niet rechtstreeks wijzigbaar, enkel omwisselbaar met de stand-by frequentie) en de stand-by frequentie (onder) die men rechtstreeks kan wijzigen.
- Volumeknop (linksonder) gecombineerd met aan/uit knop (OFF)
- Frequentie (met behulp van dubbele draaiknop rechtsonder). Op dit toestel kunnen kanaalpreselecties (via STO knop) op voorhand ingesteld worden.
- Squelch (SQL linksboven) dient om storingen weg te filteren (automatisch op nieuwere radio's). Bij het opzetten van de squelch wordt ruis onderdrukt. Zwakke (verre) uitzendingen worden echter eveneens onderdrukt. Bij slechte ontvangst van een belangrijk bericht kan men dus best even de squelch afzetten.

- Mode (rechtsboven) laat toe te kiezen uit verschillende opties: werken met de geprogrammeerde frequenties of met alle frequenties, scannen, enz.
- De toets met verticale pijltjes laat toe te wisselen tussen de actieve en de stand-by frequentie.
- Zendknop: zit meestal op de stuurknuppel. Als je de zendknop indrukt gaat de ontvanger "uit" en de zender "aan".
- Koptelefoon met micro: ongebruikelijk in zweefvliegtuigen, want dient vooral om het motorgeluid te onderdrukken. Wel noodzakelijk bij gebruik van thuisbrenger of zelfstarter.

8.5.3.6 Controle en onderhoud:

Zoals voor alle elektrische toestellen is het aangewezen dat de radio op "uit" staat alvorens de batterij aan te sluiten en de hoofdschakelaar op "aan" te zetten. Bij het verwijderen van de accu eerst de radio uit, daarna de hoofdschakelaar uitzetten en vervolgens de accu verwijderen.

Om de radio te checken in het begin van de vliegday, leg je de squelch uit om via de ruis het volume voorlopig te regelen. Definitief regelen doe je met squelch aan tijdens een radiocheck.

Wanneer aan het eind van de dag een verklikkerlichtje of het display van de radio begint te knipperen, dan wijst dat er meestal op dat de accu bijna leeg is. Het voltage is dan lager dan 12 Volt. Oudere radio's (met kristallen) knipperen helemaal niet.

De zendontvanginstallatie moet onderhouden worden volgens het voorschrift van de fabrikant van het zweefvliegtuig. Zegt die er niets over, dan volgens het voorschrift van de fabrikant van de zendontvanginstallatie.

Zorg ervoor dat je de zender alleen gebruikt als de antenne is aangesloten. Wanneer je zendt zonder aangesloten antenne, beschadig je meestal de zender.

Meestal is de micro gemonteerd op een zwanenhals. Dit is een kwetsbaar onderdeel. Gebruik die niet als handgreep, vermijd er aan te haperen.

8.5.4 Elektrische installatie

Voor het gebruik van elektrische instrumenten in een zweefvliegtuig is een batterij (accu) nodig. Dit is gebruikelijk een 12 Volt batterij (loodaccu). Hierop kunnen diverse instrumenten aangesloten worden zoals:

- Elektrische variometer
- Boordcomputer
- Flight Data Recorder (logger), meestal met GPS-antenne en geïntegreerde GPS-ontvanger
- PDA met navigatiesoftware, soms met eigen GPS-ontvanger
- Transponder
- FLARM
- Radio

Flight Data Recorder & GPS, transponder en FLARM worden hieronder besproken.

8.5.4.1 Flight Data Recorder & GPS

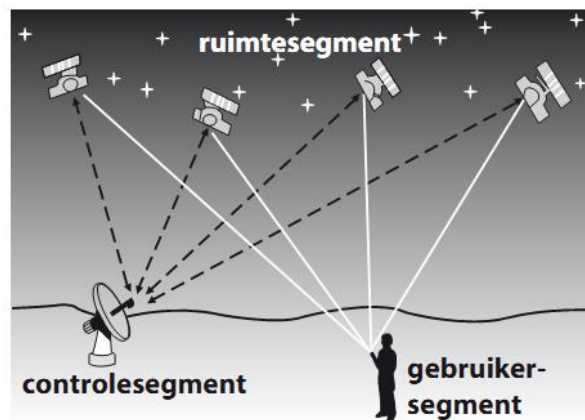


De Flight Data Recorder, meestal **Logger** genoemd, is een instrument dat tijdens de vlucht een aantal gegevens registreert zoals de geografische positie en de hoogte van het zweefvliegtuig. Deze gegevens kunnen later op een computer worden afgelezen. Doel: wedstrijd- of brevetproeven registreren. Voor het zweefvliegen zijn de meeste loggers goedgekeurd door de IGC (International Gliding Commission van de Fédération Aéronautique Internationale). Niet gehomologeerde loggers kunnen slechts beperkt gebruikt worden. Er zijn ook verschillende graden van homologatie, die overeenkomen met andere gebruiksbepalingen. Zie FAI-sportcode voor meer details.

Voor de bepaling van de positie van het zweefvliegtuig wordt gebruik gemaakt van de **GPS (Global Positioning System)**. Het systeem bestaat uit drie grote onderdelen:

- Ruimtesegment (**satellieten**)
- Controlesegment (**grondstations**)
- Gebruikersegment (**ontvanger**)

Satellieten: Het systeem werkt met een aantal satellieten (24) in de ruimte, die in een zestal vaste banen op een hoogte van iets meer dan 20 000 km om de aarde draaien en elke een eigen signaal uitzenden. Elke satelliet zendt een zeer nauwkeurig radiosignaal uit met daarin een identificatie en een zeer precieze tijdmeting. Ook de positie van elke satelliet is op elke tijdstip gekend.



Ontvanger: Berekent de afstand tot de satelliet door na te gaan hoe groot de vertraging is tussen vertrek en ontvangst van een tijdsignaal vanuit de satellieten. Op basis van de tegelijkertijd berekende afstand tot minstens 4 satellieten kan de ontvanger een zeer precieze positiebepaling berekenen.

In het algemeen kan men twee typen GPS-ontvangers onderscheiden: handontvangers (op een scherm kan de piloot o.a. de positiebepaling volgen ten opzichte van verkeersleidinggebieden) en ingebouwde, met de vluchtcomputer gekoppelde ontvangers. Deze laatste bezitten navigatiesoftware die de GPS-gegevens continu verwerkt tot informatie voor de piloot (windberekeningen, eindaanvluchtberekening).

Grondstations: Bepalen de banen van de satellieten alsmede de klokinstelling. Zorgen er ook voor dat de banen van de satellieten en de klokafwijkingen binnen de vooropgestelde limieten blijven.

8.5.4.2 Transponder

Dit is een elektronische apparaat dat automatisch positie, hoogte en identiteit van een vliegtuigsignaal op het **radarscherm** van een verkeersleider duidelijk maakt, als antwoord op een signaal dat van de radar uitgaat. De transponder is dus een zender (transmitter) en antwoordapparaat (responder),



vandaar de samentrekking tot het Engelse transponder.

Transponders maken het ook mogelijk dat vliegtuigen elkaar detecteren, waarbij er in de cockpit een alarm afgaat wanneer ze elkaar te dicht naderen. Dit systeem wordt **ACAS** genoemd (Airborne Collision Avoidance System).

De door de transponder uitgezonden informatie wordt op het radarscherm van de verkeersleider weergegeven. Dit systeem waarbij het radarsignaal aangevuld wordt met de door het vliegtuig uitgezonden transponderinformatie wordt **SSR** genoemd (Secondary Surveillance Radar). In de burgerluchtvaart worden volgende types transponderinformatie opgevraagd (zogenoemde **modes**):

- Mode A : identiteitscode van 4 cijfers die opgegeven wordt door de vluchtleiding en in de cockpit ingesteld wordt. Sommige codes hebben bijzondere betekenissen. Zo is 7000 de standaard VFR code bij gebrek aan instructies, en 7500 de code om een vliegtuigkaping te melden.
- Mode C : hoogte, geleverd door een hoogte-encoder (soort elektronische hoogtemeter)
- Mode S : nieuw soort SSR. S betekent Selectief. Elk vliegtuig wordt ondervraagd via zijn eigen adres. De transponder antwoordt dan met zijn registratie of de roepnaam die in het vliegplan staat. Nu kan er geen verwarring meer ontstaan met de antwoorden van andere vliegtuigen. Selectief betekent ook dat de vluchtleider toestel per toestel kan parametriseren: zo kan hij bijvoorbeeld besluiten bepaalde toestellen slechts af en toe of zelfs helemaal niet op zijn scherm te laten verschijnen.

Omwille van het radartoezicht en ACAS zijn er bepaalde luchtruimsectoren waar transponder ook voor zweefvliegtuigen verplicht is. Dit is bijv. zo boven gans Nederland en in Duitsland rond drukke vliegvelden zonder TMA. Deze **TMZ** (Transponder Mandatory Zones) staan op de kaart. Ook in alle gecontroleerde luchtruimklassen is transponder meestal verplicht. Zonder transponder mag ook over de radio een klaring worden gevraagd, maar die wordt vanwege het andere verkeer zelden gegeven.

Gebruik van de transponder

Transponders kunnen volgende modi gebruiken: uit – stand by – mode A – mode C – mode S. In de meeste landen is men verplicht permanent de transponder aan te zetten indien het toestel is uitgerust. Omdat ACAS-systemen een alarm kunnen geven als beneden hen een zweefvliegtuig met transponder uitgerust in een lierstart omhoog komt, laat men de transponder in stand by bij de lierstart, en schakelt pas nadien over op een andere modus. Bij een sleepstart kan men de transponder wel voor de start activeren. Maar er wordt aangeraden, indien ook de sleper is uitgerust, slechts één van beide te activeren.

Nadelen:

Transponders hebben voor zweefvliegtuigen een paar lastige nadelen:

- ze zijn duur
- de installatie is specialistenwerk (door erkende installateur). De plaatsing moet door EASA goedgekeurd zijn; indien de constructeur van het zweefvliegtuig dit niet voorziet, kan dit ingewikkeld en duur worden
- jaarlijkse controle verplicht (door erkende installateur)
- een goede plaatsing van de antenne is niet simpel, zeker met koolstofrompen
- hoog stroomverbruik belast de 12 V accu van het zweefvliegtuig

8.5.4.3 FLARM

FLARM (Flight Alarm) is een op GPS gebaseerd waarschuwingssysteem dat via een klein scherm de relatieve positie en hoogte aangeeft van een ander vliegtuig in de nabije omgeving. Het bestaat uit een klein apparaat, dat op of in het instrumentbord wordt gemonteerd, en dat met korte intervallen de eigen positie en hoogte uitzendt (die het via het GPS systeem verkregen heeft).



Andere vliegtuigen die met **FLARM** zijn uitgerust vangen de gegevens op. **FLARM** vergelijkt positie en hoogte van andere vliegtuigen met de eigen gegevens en toont de relatieve positie en hoogte van deze vliegtuigen ten opzichte van het eigen toestel. FLARM berekent ook de voorziene vliegbanen en bepaalt of er al dan geen risico op botsing bestaat. De piloot kan op eenvoudige wijze de richting aflezen van waaruit een ander zweefvliegtuig nadert en ook de relatieve hoogte waarop dat vliegtuig zich bevindt. Een extra waarschuwing (o.a. geluidssignaal) wordt gegeven bij botsingsgevaar.

FLARM is ongetwijfeld een essentieel hulpmiddel ter bevordering van de veiligheid.

Opmerking: Op FLARM kan nooit volledig vertrouwd worden daar niet elk zweefvliegtuig FLARM heeft. **Look out blijft dus onverminderd noodzakelijk.**

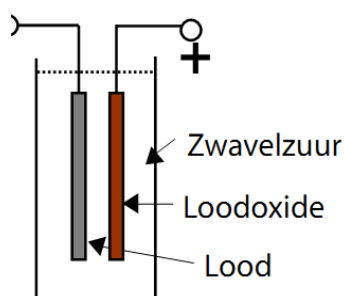
FLARM verwittigt ook voor de nabijheid van grondobstakels (zoals hoogspanningskabels, torens, kabelbanen in bergachtige gebieden, enz.) voor zover die in de database van de FLARM zijn ingegeven.

Meer gesofisticeerde FLARMs kunnen ook gegevens geven over de toestellen op het scherm, zoals de stijgsnelheid, de identiteit, enz. Verder bestaan er nu systemen die FLARM combineren met transponder, ACAS en ADSB.

8.5.4.4 Correct gebruik van batterijen

Van belang voor het zweefvliegen is vooral de onderhoudsvrije, gesloten loodaccu. Dit omwille van de prijs en de eigenschappen die redelijk goed passen bij het gebruik in zweefvliegtuigen.

Werking:



Een loodaccu bestaat uit:

Metaal 1 : lood

Pb

Metaal 2 : loodoxide

PbO_2

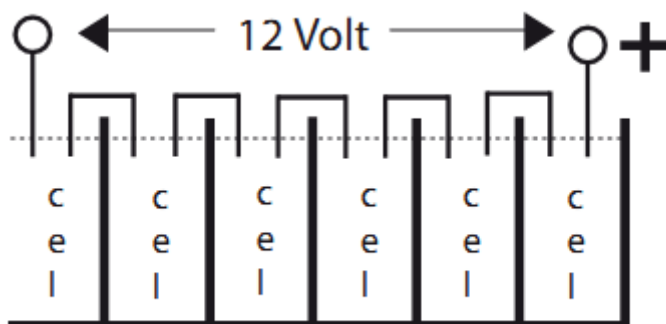
Elektrolyt: water en zwavelzuur H_2O en H_2SO_4

Een omhulling: meestal van kunststof

Aansluiting (+ en -)

Een cel bestaat uit 2 elektroden (metaal 1 & metaal 2) waartussen een spanning van ongeveer (iets meer dan) 2 volt wordt opgebouwd door de elektrochemische reactie tussen de elektroden en het elektrolyt (mengsel van water en zwavelzuur).

Meestal is een batterij (accu) opgebouwd uit meerdere cellen die aan elkaar in serie geschakeld zijn (achter elkaar). Hierdoor kunnen veelvoudigen van 2 Volt gemaakt worden. Met 6 cellen kan zo een **12 Volt accu** geconstrueerd worden zoals in auto's en zweefvliegtuigen gebruikelijk is.



Vermits elke cel een weinig meer dan 2 Volt spanning levert zal een "12 Volt" batterij bestaande uit 6 cellen in werkelijkheid 12,7 Volt leveren wanneer volledig opgeladen. Een batterij met een klemspanning lager dan 11,9 Volt moet als leeg beschouwd worden. De batterij gaat het langst mee als de spanning tussen 11,5 en 13,4 Volt wordt gehouden. De temperatuur is hierbij van invloed, genoemde waarden gelden bij 20°C. Is de spanning lager dan 11,5 Volt, dan treedt er een extra chemisch proces in de batterij op. Dit proces is onomkeerbaar waardoor de accu in maximale capaciteit achteruit gaat: dus is het van belang de batterij na gebruik **bij te laden of te herladen** voor ze te ver leegloopt.

Is de spanning hoger dan 13,4 Volt, dan is er een grote kans dat het water van de zwavelzuurverdunding ontleed wordt waardoor de batterij aan capaciteit verliest. Het is dus belangrijk dat de lader de laadspanning goed bewaakt en het **laadproces automatisch onderbreekt** als de spanning te hoog wordt.

Capaciteit: Een veel toegepaste loodaccu in het zweefvliegen heeft een spanning van 12 Volt en een capaciteit van ongeveer 7 Ah (Ampère uur). Dit betekent dat een stroom van 0,7 A gedurende 10 uur kan geleverd worden op voorwaarde dat de batterij vooraf volledige geladen is.

Zekering: Wanneer een batterij op korte tijd ontladtd, bijv. bij een kortsluiting, kan er brand ontstaan als gevolg van oververhitting van de bedrading door de hoge stroomsterkte die er kortstondig doorheen gaat. Om deze reden is een zekering essentieel om brand te voorkomen als er elektrisch wat fout gaat. De zekering dient aangebracht zo dicht mogelijk bij de batterij of liefst er deel van uitmaken.

Gevaar van zuur: In een loodaccu bevindt zich elektrolyt op basis van zwavelzuur dat zeer corrosief is en brandwonden veroorzaakt. Om deze reden zijn de gebruikte batterijen van het gesloten type om te vermijden dat er door turbulentie & schokken elektrolyt buiten de batterij terecht komt. Verder bevatten moderne batterijen het elektrolyt niet meer in de vorm van vloeistof maar in de vorm van een **gel** dat min of meer vast is en dus beter bestand tegen het wegvloeien uit de batterij in geval van een lek.

Laden: Bij overladen gaat het elektrolyt ontleden in twee gassen (waterstof en zuurstof) die een explosief mengsel vormen. Daarnaast zal de druk in de batterij oplopen. De batterij is voorzien van drukventielen waardoor het gasmengsel kan ontsnappen als de druk te hoog wordt.

Batterijen van zweefvliegtuigen dienen opgeladen te worden met een **automatische lader** die geschikt is voor het type accu. Deze laders regelen de laadstroom en gaan op "druppellading" over als de batterij vol is. Een batterij mag daardoor permanent op een dergelijke lader aangesloten worden (en wordt zo in goede conditie gehouden).

8.5.4.5 Begrippen over beveiliging

Het elektrische systeem van een zwever moet degelijk uitgevoerd zijn, met bedrading van voldoende doorsnee en uitgerust met de passende zekeringen. Naast een zekering op de batterij zelf verdient het aanbeveling om voor elk afzonderlijk elektrisch instrument een zekering en een aan/uitschakelaar te voorzien. Bij gebruik van meerdere batterijen zal er ook een schakelaar voorzien worden om over te schakelen van de ene op de andere.

Bijzonder belangrijk is een degelijke batterijhouder. Deze zou bestand moeten zijn tegen hoge G-krachten bij ongevallen. Een batterij in een lichte houder met elastieken, velcro's of lichte spanbanden is absoluut te mijden, zeker als ze achter het hoofd van de piloot is ingebouwd. Dergelijke montages hebben al levens gekost! Jammer genoeg is het pas bij recente vliegtuigtypes dat de constructeurs zelf batterijhouders voorzien, die structureel voldoende stevig zijn.

8.6 Handboeken en documenten

8.6.1 Bewijs van luchtwaardigheid (BVL) - bestaat nu uit twee elementen:

- EASA BVL, ook bekend als CoA (Certificate of Airworthiness), het eigenlijke luchtwaardigheidsbewijs, dat slecht eenmalig wordt uitgereikt;
- ARC (Airworthiness Review Certificate), of “Bewijs van herbeoordeling”, is maximaal 12 maanden geldig en moet vergezeld zijn van een recent weegverslag.

8.6.2 Gebruikshandboek (Flight Manual of Vlieghandboek)

Zeker indien het meevoeren ervan in het handboek zelf verplicht gesteld is.

8.7 Controles en onderhoud

8.7.1 Kennis van het gevlogen zweefvliegtuigtype

Alvorens als boordverantwoordelijke van een zweefvliegtuig te vliegen, moet men verplicht vertrouwd zijn met alle aspecten van het toestel. Daartoe zal men aandachtig het vlieghandboek bestuderen en bij twijfel raadplegen. Het vlieghandboek is verplicht aanwezig in het toestel.

8.7.1.1 montage / demontage

De voorschriften hiertoe variëren volgens het toesteltype, of zelfs subtype (zo hebben bepaalde uitvoeringen manuele koppelingen van de roeren, andere automatische). Zonder grondige kennis ervan is het onmogelijk om een toestel voor de vlucht degelijk te controleren. Overigens is het de verantwoordelijkheid van de piloot om de (de)montage te leiden, bijvoorbeeld bij een buitenlanding.

Enkele vuistregels (uitzonderingen zijn mogelijk!):

- Bij het monteren van de vleugels zal men eerst die monteren waarvan de ligger een uiteinde heeft dat als gaffel is uitgevoerd, daarna de tong inpassen; of eerst die met de achterste tong, dan de voorste.
- Het horizontale staartvlak wordt pas gemonteerd na de vleugel, en gedemonteerd voor de vleugel.
- Na montage niet vergeten het wiel uit te steken en te vergrendelen alvorens de romp naar beneden te laten.

8.7.1.2 controlepunten

Ook deze verschillen naargelang het toesteltype, maar samengevat komt het neer op:

- hoofdbouten die de vleugels samenhouden geplaatst en vergrendeld
- idem voor secundaire bouten
- stabilo bevestigd en geborgd
- alle connectoren van de besturing (rolroeren, remkleppen, welvingkleppen, hoogteroer, trim, enz.) bevestigd en geborgd
- geen uitwendige beschadigingen aan romp of vleugels
- alle zichtbare stuurstangen, tuimelaars en stuurkabels intact, bouten in plaats en geborgd
- stuurorganen vrij en bewegen in de correcte richting

8.7.1.3 zwakke punten

Elk toestel heeft specifieke zwakke punten, waar bijzondere aandacht moet aan besteed worden. Vaak werden die proefondervindelijk vastgesteld en staan niet altijd in het vlieghandboek. Voorbeelden: stuikbreuken onderaan romp achter wiel van Ka-8, bevestiging achterwiel van Blanik, aluminium hoofdspant Astir CS, lijmingen van houten spanten in romp Pégase, enz. Na harde landingen worden die best nagekeken. Na een grondzwaai met een kunststoftoestel zal men aandachtig uitkijken naar haarscheuren in de lak achter de romp/vleugelovergang, of aan de voet van het kielvlak. Spreek een ervaren vlieger aan of ga te rade bij een technicus.

8.7.2 Controle na montage

In tegenstelling tot motorvliegtuigen worden zweefvliegtuigen heel vaak gedemonteerd en opnieuw in elkaar gestoken, voor sommige toestellen zelfs elke vliegdag! Hoewel de zwevers daarvoor ontworpen zijn, is er heel wat dat kan foutlopen, door gebrek aan kennis en/of aandacht. Na elke montage zal men daarom een grondige inspectie van het toestel uitvoeren. De piloot die met het toestel zal vliegen, draagt normaliter de verantwoordelijkheid voor deze controle. Indien het een leerling betreft, zal een instructeur die taak op zich nemen. Voor deze controle zal men een beroep doen op een helper, en eventueel de controle laten overdoen door een bevoegd persoon.

8.7.2.1 systematische montage en borging

De montage van een toestel moet in een bepaalde volgorde gebeuren, dit om problemen en vergetelheden te vermijden. Ook het koppelen en borgen van stuurorganen volgt deze regel. Na borging van een koppeling zal men proberen de koppeling in die toestand alsnog los te koppelen. Als dit lukt bewijst dit dat de koppeling niet deugde, en moet men onderzoeken waarom. Bij twijfel, niet vliegen! Raadpleeg een technicus.

8.7.2.2 positieve check van de beweegbare delen

Soms kan een koppeling onvolledig of helemaal aangesloten zijn, maar met de roeren onbelast toch lijken te functioneren: het roer slaat zoals gewenst uit, omdat de beide delen van de koppeling op elkaar rusten en blijven in elkaar haken. In vliegtoestand kan die situatie leiden tot een volledige ontkoppeling of een blokkering van het roer. Vandaar de procedure van de "positieve check", waarbij elk roer gemanoeuvreerd wordt via het passende stuurorgaan, terwijl een helper het roer blokkeert. Opgelet! Systeem niet overbelasten door te hoge krachten toe te passen!

8.7.2.3 dubbelcheck alvorens controleluikjes af te plakken (liefst controle door bevoegde derde)

Bij manuele koppelingen die na afplakken van een controleluikje niet meer toegankelijk zijn, is een dubbele check onmisbaar. Bij voorkeur vraagt men ook aan een andere piloot die met het type vertrouwd is, om het nog eens na te checken voor men het luikje afplakt.

De LVZC heeft een controleboekje ingevoerd, waar de verantwoordelijke piloot na elke montage bevestigt dat het toestel correct werd gemonteerd en gecheckt.

8.7.3 Dagelijkse controle

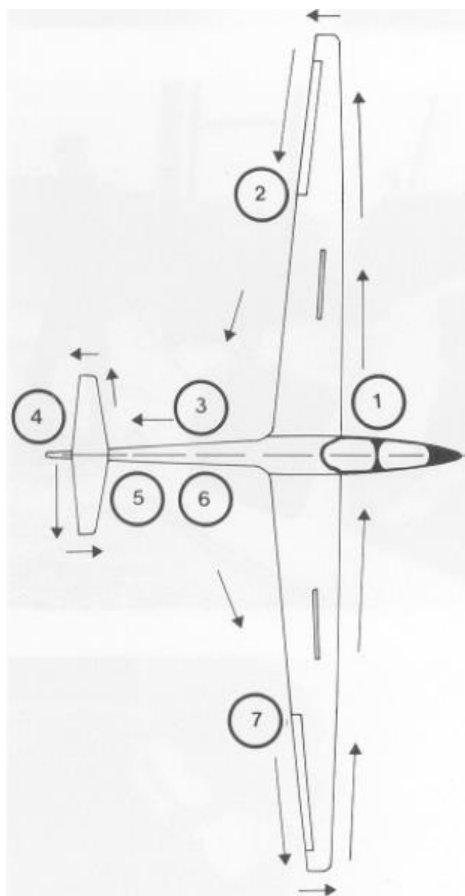
Ook na de dagelijkse uitwendige controle wordt het controleboekje voortaan ingevuld en afgetekend door de bevoegde piloot.

8.7.3.1 systematische rondgang

Bij de dagelijkse inspectie van een zweefvliegtuig moet men achtereenvolgens aan een aantal punten aandacht geven. Men kan dit doen door om het zweefvliegtuig heen te lopen en daarbij het schema volgen dat hierna is afgedrukt. Dit is het schema voor de dagelijkse inspectie van de ASK 21. Bij een ander type zweefvliegtuig kan dezelfde inspectievolgorde worden aangehouden, waarbij men voor de specifieke controlepunten het handboek van het betreffende zweefvliegtuig moet raadplegen.

Voorbeeld: dagelijkse inspectie ASK-21

1. Kappen openen. Hoofdbouten op borging controleren.
Aansluitingen van de rolroeren en remkleppen in de romp controleren.
Boven de linkervleugel bevindt zich in de romp het inspectieluik.
Achterste vleugelbouten op juiste montage en borging controleren.
Cockpit controleren op vreemde voorwerpen.
Volledige uitslag van de roeren controleren. Zowel de roeren als de remkleppen laten vasthouden en controleren op juist functioneren onder belasting (positieve check).
Bandenspanning controleren (hoofdwiel, neuswiel, staartwiel).
Ontkoppelhaken controleren. Dienen soepel open en dicht te gaan.
Wielrem controleren. Bij het trekken aan de remklephendel dient op het laatste gedeelte een elastische weerstand voelbaar te zijn.
2. Linker vleugeloppervlak zowel boven als onder controleren op beschadigingen of vervormingen.
Linker rolroer controleren op uiterlijk, vrijloop en speling. Stootstangaansluiting controleren.
Remkleppen controleren op uiterlijk, functioneren, veren van de sluitplaat, en vergrendeling.
3. Romp controleren op beschadigingen of vervormingen, vooral aan de onderkant, maar ook aan de voet van het kielvlak.
4. Stabilo en hoogteroer controleren op juiste montage en borging. Stootstangaansluiting controleren .
5. Staartslof en stuwbuis controleren.
6. Statische aansluiting en compensatiebuis controleren op verstopping.
7. Rechtervleugel, rolroer en remkleppen controleren zoals bij linkervleugel.



8.7.3.2 bij onderbreking, herbeginnen

Men moet absoluut vermijden om een vlieger te storen of te onderbreken tijdens een controle. Indien dit toch gebeurt, moet de controle herbegonnen worden, minstens twee

stappen voor die waarbij de storing of onderbreking gebeurde. Best herbegint men van voor af aan.

8.7.3.3 positieve check van de beweegbare delen

Zoals bij de controle na een montage, is het aanbevolen om ook bij de dagelijkse controle een positieve check uit te voeren. Zie 3.5.2.2.

8.7.4 Controle na incidenten

Na een ernstig incident moet men een zweefvliegtuig als niet luchtwaardig beschouwen zolang het niet vakkundig gecontroleerd werd; vooral niet doen alsof er niets aan de hand was. Een kleine, moeilijk zichtbare beschadiging kan bij een volgende vlucht verstrekkinge gevolgen hebben. Hieronder enkele tips.

8.7.4.1 harde landing

Wij hebben gezien in 3.1.2.1 wat de belastingen waren bij een gewone landing. Hier is een zweefvliegtuig tegen bestand, en er is nog een ruime veiligheidsmarge ingebouwd. Maar bij een harde landing kan schade optreden op moeilijk zichtbare plaatsen, bijvoorbeeld aan de romp/vleugelverbinding. Bij metalen vakwerkconstructie treedt vaak de “banaan” op, waarbij de onderste rompbuis gestuikt wordt. Dit ziet men gemakkelijk aan plooiën die ontstaan in de linnen bekleding. Bij kunststof toestellen zal men uitkijken naar haarscheurtjes in de laklaag, die het symptoom zijn voor delaminering of breuk van de composietstructuur.

8.7.4.2 grondzwaai

Hier hebben we vaak te maken met overmatige torsie van de staartbuis tussen vleugel en staart, zeker met een T-staart waarbij de staartslof of het staartwiel met een zijdelingse beweging de grond geraakt hebben. De staartslof is daarom vrij licht op de romp gekleefd, zodat het losscheuren van de lijming energie opneemt. Een staartwiel biedt dit voordeel niet. Als de staartbuis niet compleet afbreekt, kan er toch beschadiging van het laminaat optreden. Zoek naar haarscheurtjes in de lak achter de romp/vleugelovergang en aan de voet van het hoogteroer, of builen en deuken in een metaalconstructie. Kijk na of de staartslof nog compleet is en vastkleeft, en of het startwiel intact is.

8.7.4.3 botsing met obstakel

Uiteraard kijken naar de plaats van impact, maar ook, naargelang de aard van de botsing, naar de romp/vleugelovergangen, hoofd- en hulpspanen in de romp, spelingen, enz. Door een botsing aan de aanvalsboord ontstaat door stuiken soms breuk, delaminering of openbarsten van de vluchtboord.

8.7.4.4 andere beschadigingen

Regelmatig de toestand van de banden controleren, zeker na een buitenlanding. Na een buiklanding controleren of de hulpspanen onder de zitting niet losgekomen zijn, of gebroken. Bij verlies van een wieldeurtje, de onderkant van de vleugel nazien: af en toe snijdt zo'n wieldeurtje dwars door de composietsandwich. De lijst is helaas eindeloos...

8.8 Index

A

aandrijfarm, 30
aardmagnetisch veld, 55
achterlijst, 13
acrylaat, 9
aerolite: lijm, 5
aerodux: lijm, 5
Airworthiness Review Certificate, 70
aluminium, 7
aramide, 9
aramidevezel, 8

B

balken, 4
balsa: hout, 10; hout, 4
batterijen, 68
belastingen, 19
belastingfacor, 24
belastingfactor, 23, 24, 25, 26, 27
belastingkromme, 25
Beperkte Vergunning Radiotelefonist, 62
berkenhout: hout, 4
beslagen, 7
besturingskabels, 6
Bochtaanwijzer, 60
bolkompas, 57
borging, 35
Braunschweig-buis, 50
breukstukken, 36
buizen, 6

C

capillair, 48
capillaire spleet, 48
capsulevariometer, 48
cellulose verf, 11
celluloselijm, 11
Certificate of Airworthiness, 70
compensatiebuis, 38, 49, 50
composieten, 8
composietmaterialen, 8, 9
controle na incidenten, 73
controle na montage, 71
controle, dagelijkse, 72
controleboekje, 72
corrosie, 7

D

dagelijkse controle, 72
dagelijkse uitwendige controle, 72
demontage, 70
dennenhout: hout, 4
deviatie, 58
deviatietabel, 58
doekbekleding, 11
doekbekleding van polyester, 11
doosligger, 13

draagwijdte, 63
draaiingsfout, 59
dural, 7, 9
dynamische druk, 37

E

EASA BVL, 70
Elektronische TE-compensatie, 52
elektronische variometer, 52
epoxy, 8, 10
epoxyhars, 19
essenhout: hout, 4

F

flaps, 34
FLARM, 67
Flight Data Recorder, 65
Fokkerspeld, 35
Fowler-klep, 34
frequenties, 62

G

gelcoat, 9
glasvezel, 8, 9
glasvezeldoek, 19
glasvezellaminaat, 18
glasvezelroving, 11
gordingen, 10
GPS, 65
grenen: hout, 4
grondzwaai, 21, 22
gyroscop, 59

H

halfschaalconstructie, 4, 17, 18, 19
harder, 8
hefbomen, 7
hoofdwiel, 27, 28
hoogtemeter, 43
hoogtemeterfouten, 46
hoogtemeterinstellingen, 45
hoogteroer, 15, 16, 30
hout, 4
houtsoorten, 4

I

inclinatie, 56, 59

K

kardeel: kabels, 6
katoendoek, 11
kevlar, 8
Kevlar, 9
kiefer: hout, 4
kielvlak, 15, 17

kleeflak, 11
kleppenkast, 34
kleurenband, 41
klinknagels, 7
kniehefbomen, 30
knuppelthermiek, 39, 49, 51
kogel, 54
kompas, 55
koolstofvezel, 8, 9
koolstofvezelroving, 11
koordje, 54
kruisslagkabel, 6
kunsthars, 8, 10
kunstharslijm, 5
Kunstmatische horizon, 61
kunststof, 7
kunststofroeren, 18
kunststofweefsels, 9
kunstvezellaminaat, 4
kunstvluchttoestel, 24

L

laminaat, 8, 10, 19
landing, 19
landingsgestel, 27
latten, 4
lierhaak, 36
lierstart, 26
ligger, 13
lijfplaten, 10
lijm, 4
lijmen, 5
logger, 65
loodaccu, 68, 69
look out, 67

M

MacCreadyring, 52
magnetische noordpool, 55
magnetische veldlijnen, 55
magnetische zuidpool, 55
mallen, 8, 19
manoeuvrereerdiagram, 24
manoeuvreerkrachten, 23
manoeuvreersnelheid, 25, 26
materialenkennis, 4
maximale snelheid, 26
membraandoos, 43, 48, 50
metaalmoetheid, 7
montage, 70
montage, controle, 71
MSL, 45
multiplex: hout, 5

N

neushaak, 36
neuslijst, 13

O

okumé: hout, 4

omnidirectioneel materiaal, 10
overtreksnelheid, 24, 25

P

pendelroer, 15
Perspex, 7
piefje, 54
pitot, 38
pitotbuis, 37, 38
plexiglas, 7
polyester, 8
polymeren, 8
polymeriseren, 8
polymethylmetacrylaat, 7
polypropyleen, 8
polypropyleenvezel, 9
polyurethaan, 9, 10, 19
polyvinylchloride, 10, 19
positieve check, 71

Q

QFE, 45
QNH, 45

R

radio, 62
rekenfactor, 26
remkleppen, 33
ribben, 13
richtingsroer, 15, 17, 32
rivetten, 7
rolroer, 14
romp, 14, 15
rovings, 8, 9, 10
rugvlucht, 25

S

sandwichconstructie, 10, 19
schaalconstructie, 18
schuivende bocht, 54, 55
Simplex – methode, 63
sleephaak, 36
slipmeter, 54
slippende bocht, 54, 55
snelheidsmeter, 39
snelheidsmeterfouten, 42
snelheidspolaire, 53
spacing, 62
spanlak, 11
splitpen, 35
splitpenbout, 35
spruce: hout, 4
staal, 6
staalbuisconstructie, 11
staalbuisromp, 6, 20
staartvlakken, 15
stabilo, 15, 16, 18
statische druk, 37, 38, 43
statische onderdruk, 38
statische openingen, 37

stootstang, 30, 34
streng: kabels, 6
stuikbreuken, 20
stuwbuis, 38, 41
stuwschijf, 48
stuwschijfkamer, 48
stuwschijfvariometer, 48
synthetische verf, 11

T

TE-compensatie, 51, 52
TE-compensatiedoos, 50
terreinhoogte, 45
thermistoren, 52
thermosfles, 47, 48, 51
tieren: kabels, 6
torsiebuis, 30
torsiekrachten, 16
torsieneus, 13
Tosthaken, 36
transponder, 65
traverserende landing, 21
trekkracht, 27
treksterkte, 36
trim, 31
trimhendel, 31
trimvlak, 15, 31
triplex, 4; hout, 4; hout, 4
T-staart, 18
tuimelaars, 30
turbulentie, 23, 26
tweecomponenten lak, 11
twee-componentsystemen, 8

U

unidirectioneel weefsel, 10

V

vakwerkconstructie, 4, 6
Vakwerkconstructie, 13
variatie, 57
variometer, 38, 46, 53
variometerfouten, 49
veertrim, 31
veiligheidsfactor, 26
venturibuis, 37, 38, 40, 41
versnellingsfout, 59
vezelmatten, 9
VF, 26
vlieghandboek, 70
VNE, 26
voetenstuur, 32
vormvastheid, 4
VRA, 26
VT, 26
Vw, 27
VW, 26

W

welvingskleppen, 34
wet van Bernouilli, 40

Z

zendontvanginstallatie, 62
zwaartepunt, 21, 22
zwaartepuntshaak, 36