

Aerodynamica najaar 93

- 01. Welk verband bestaat er tussen de grootte van de aerodynamische krachten op een lichaam en zijn vliegsnelheid, zijn ontspoeld oppervlak, de luchtdichtheid?**
- 02. Verklaar het neveneffect van gieren en rollen.**
- 03. Teken het krachtenevenwicht van een zweefvliegtuig, en verklaar waarom het onder iedere omstandigheid ten opzichte van de lucht een dalende beweging moet maken.**
- 04. a. Wat is het verschil in de stromingstoestand om vleugel en staartvlakken bij een tolvlucht/spiraalduik en,
b. dientengevolge in het herstel ervan naar een horizontale vlucht situatie?**
- 05. a. Wat is geïnduceerde weerstand?
b. Hoe verhouden zich geïnduceerde weerstand en slankheid?
c. Geef twee manieren om de geïnduceerde weerstand te verkleinen.**
- 06. Schets een snelheidspolaire van een zweefvliegtuig en verklaar de karakteristieke punten.
Hoe verschuift de polaire met toenemend gewicht?
Laat zien hoe men de vliegsnelheid voor de minimum glijhoek bij mee- en tegenwind bepaalt.**

Aerodynamica voorjaar 94

- 07. Wat versta je onder:**
- profielwelling;
 - koorde;
 - spanwijdte
 - vleugelslankheid
- en welke van bovengenoemde grootheden verandert in belangrijke mate bij uitslag roeren en welvingskleppen?
- 08.**
- a. Wat is een grenslaag?
 - b. Wat gebeurt er bij het omslagpunt van een grenslaag?
 - c. Hoe verandert de ligging van dit omslagpunt bij gelijkblijvende invalshoek, nadat de oppervlakte ruwheid van de vleugelneus door inslag van insekten is toegenomen?
 - d. Wat is het gevolg van de onder 'c' beschreven omstandigheid voor de weerstand en de lift van een laminair profiel?
- 09.**
- a. Welke grootheid bepaalt primair het overtrekken van de vleugel?
 - b. Wat is de toestand van de stroming bij het overtrekken aan de bovenzijde en de onderzijde van het vleugelprofiel?
 - c. Waar (gezien in spanwijdterichting) zal bij een vleugel met goedige overtrekeigenschappen de onder 'b' te beschrijven stromingstoestand het eerst optreden en waarom is dat een noodzakelijke eigenschap van de vleugel?
- 10. Waarom neemt in een bocht bij gelijkblijvende vliegsnelheid in rustige lucht de daalsnelheid toe met de dwarshelling van de bocht?**
- 11. Welke volgorde in prioriteit kies je voor het herstel naar een veilige vliegsituatie op final na een plotselinge afname van de vliegsnelheid van 1,3 naar 1,1 maal de overtreksnelheid als gevolg van atmosferische omstandigheden. Doel is landen in het gemarkeerde landingsterrein want er zijn obstakels onder het glijpad aanwezig.**
- a. volgorde van prioriteit aangeven met 1, 2, 3.
 - herstel glijpad ()
 - herstel lift () s.v.p. keuze kort toelichten
 - herstel snelheid ()
 - b. Welke actie voer je eveneens uit en waarom?
 - c. Welke voorzorgsmaatregelen zou je hebben genomen bij bekendheid met deze weersomstandigheid voor het indraaien op final?
- 12. Verklaar de invloed van belading, resulterend in een voorlijk dan wel in een achterlijk zwaartepunt, op de mate van statische langsstabiliteit. Toelichten aan de hand van een schets.**
- 13.**
- a. Welk staartvlak bepaalt voor een belangrijk deel de statische richtingsstabiliteit, en
 - b. wat kan de consequentie van richtingsstabiliteit zijn op de landingsuitloop bij forse zijwind.
- Verklaar waarom.

Aerodynamica najaar 94

- 14. Schets de drukverdeling om een vleugelprofiel:**
 - a. bij een kleine invalshoek;**
 - b. vlak voor overtrek;**
 - c. na overtrek.**

- 15. Wat betekenen statische en dynamische stabiliteit voor een zweefvliegtuig?**

- 16. a. Omschrijf het verschil tussen een laminaire stroming en een turbulente stroming.**
 - b. Wat is het voordeel van een laminaire stroming t.o.v. een turbulente stroming.**
 - c. Hoe heet de overgang van een laminaire naar een turbulentestroming. Welke oplossingen heeft men gevonden om de weerstand van dit fenomeen te verkleinen.**

- 17. a. Wat is geïnduceerde weerstand.**
 - b. Hoe verhouden zich geïnduceerde weerstand en slankheid.**
 - c. Geef twee manieren om de geïnduceerde weerstand te verkleinen.**

- 18. Wat verstaat men onder langsstabiliteit van een vliegtuig?**
Hoe controleert u de langsstabiliteit wanneer u een zweefvliegtuig invliegt?
In hoeverre is hierbij uw gewicht van belang?

- 19. Schets een snelheidspolaire van een zweefvliegtuig en verklaar de karakteristieke punten.**
Hoe verschuift de polaire met toenemend gewicht?
Laat zien hoe men de vliegsnelheid voor de minimum glijhoek bij mee- en tegenwind bepaalt, alsmede de sollfahrt snelheid voor 2 m/s dalen.

- 20. Toon aan met behulp van een formule dat het vliegtuig bij een plotselinge knuppeluitslag naar achteren bij een lage snelheid niet en bij een hoge snelheid wel overbelast kan worden.**

Aerodynamica voorjaar 95

- 21. Teken een snelheidspolaire van een zweefvliegtuig en geef de vier specifieke punten aan en verklaar deze. Verandert de vliegsnelheid voor minimale glijhoek bij mee- en tegenwind? En in stijg- en daalwindgebied?**
- 22. Geef de definitie of een korte omschrijving van de volgende begrippen:**
 - a. drukpunt;**
 - b. invalshoek;**
 - c. slippende vlucht;**
 - d. geïnduceerde weerstand;**
 - e. wrong;**
 - f. vleugelbelasting.**
- 23. Geef de liftformule en verklaar de symbolen.**
- 24. a. Welke vormen van stabiliteit kent u?**
b. Welk onderdeel van het vliegtuig is van belang voor de langsstabiliteit?
c. Verklaar en teken het stabiliserend effect van het horizontale staartvlak indien het vliegtuig wordt getroffen door een verticale remousstoot; geef daarbij duidelijk het onstabiliserend moment en het stabiliserend moment aan.
- 25. a. Schets de grafiek die het verband aangeeft tussen de invalshoek en de draagcoëfficiënt.**
Geef in deze grafiek de situatie aan waarbij één vleugel reeds is overtrokken en de ander bijna. Hoe reageert het zweefvliegtuig?
b. Idem als vraag a maar dan voor wat betreft de weerstandcoëfficiënt.
c. Wat gebeurt er bij verder overtrekken van het vliegtuig?
- 26. Is de ligging van het zwaartepunt t.a.v. de overtreksnelheid belangrijk? Verklaar uw antwoord. Noem nog tenminste drie factoren die de overtreksnelheid kunnen beïnvloeden en verklaar deze.**

Aerodynamica najaar 95

- 27. Welke grootheden zet men tegen elkaar uit in een polair diagram?
Wat geeft de afstand van een punt van de polaire tot de oorsprong aan?
Wat komt er overeen met de hoek tussen deze afstand lijn en de verticale as?**
- 28. Wat verstaat u onder de geïnduceerde invalshoek?**
- 29. Geef enkele methoden om het ontstaan van flutter te beperken.**
- 30. Wat is de invloed van de ligging van het zwaartepunt van een zweefvliegtuig op de stabiliteit om de dwars-as? Verklaar uw antwoord met behulp van een tekening.**
- 31. Toon aan met behulp van een formule dat een zweefvliegtuig bij een plotselinge knuppel uitslag naar achter, bij lage snelheid niet en bij hoge snelheid wel overbelast kan worden.**
- 32. Schets het verband tussen draagkracht coëfficiënt en invalshoek.
Schets de luchtstroming rond een vleugel profiel voor:**
 - a. $C_l = 0$;**
 - b. $C_l = \text{maximaal}$;**
 - c. $C_l > \text{maximaal}$.**

Aerodynamica voorjaar 96

- 33. Verklaar het grondeffect.**
- 34. Wat is het verschil in de mate van langsstabiliteit tussen een zweefvliegtuig met een minimale belading (vlieger met een massa van bijv. 70 kg) en hetzelfde zweefvliegtuig met een maximale belading (vlieger bijv. 110 kg). Verklaren met behulp van een schets.**
- 35. a. Beschrijf de verschillende stadia van een overtrek ingezet vanuit een rechtlijnige vlucht en geef bij elk stadium aan wat men op dat moment in het vliegtuig ervaart.
b. Geef een vergelijkbare beschrijving voor een asymmetrische overtrek.**
- 36. Wat is de invloed van de snelheid op de straal van een bocht bij gelijke dwarshelling. (verklaren).**
- 37. Wat verstaat men onder "slankheid" van een vleugel? Verklaar met behulp van vleugelpolaires (verband tussen C_l en C_d) de invloed van slankheid op de prestatie van een zweefvliegtuig.**
- 38. Omschrijf of geef in een figuur aan de definities van:**
- baanhoek
 - invalshoek
 - instelhoek
 - standhoek.

Aerodynamica najaar 96.

39. Tijdens een lierstart situatie bedraagt de lift (L) van een zweefvliegtuig $L=1,96 \times$ het gewicht van zweefvliegtuig incl. belading. De aangewezen overtreksnelheid van het betreffende zweefvliegtuig in rechte lijnige vrije vlucht bedraagt 70 km/uur.
Gevraagd: de overtreksnelheid van het zweefvliegtuig bij de gegeven lierstart situatie.
40. Bij een bocht met constante snelheid in rustige lucht neemt de geïnduceerde weerstand toe met toenemende dwarshelling. Verklaar waarom en wat kunt u zeggen van de daalsnelheid?
41. Een bocht wordt alleen met rolroer ingezet (richtingsroer in middenstand) en na verkregen helling wordt deze helling gehandhaafd.
- beschrijf in volgorde welke bewegingen het vliegtuig maakt;
- benoem de effecten die samen hangen met deze bewegingen, en
- geef een verklaring voor het optreden van de vermeldde effecten.
42. Welke eigenschap(pen) van welvingskleppen
- beperkt / beperken het gebruik van deze kleppen voor regeling van het glijpad tijdens de nadering;
- is/zijn gunstig voor een korte uitzweef en korte landingsuitloop.
43. a. Wat is het effect van toenemende snelheid op de grootte van de stuurkrachten?
b. Op welke wijze kan door de constructeur de grootte van de stuurkrachten worden beïnvloed? Geef twee mogelijkheden aan.
c. Waarom is het gewenst dat de stuurkrachten niet te klein zijn?
44. a. Verklaar het effect van V-stelling van een vleugel op de rolstabiliteit van een vliegtuig. Toelichten aan de hand van een figuur.
b. Bij welke type vliegtuig, hoogdekker of laagdekker treedt er, betreffende de rolstabiliteit, een destabiliserende (negatieve) bijdrage op? Verklaar uw antwoord.

1. Omschrijf of geef in een figuur aan de definities van:
 - a. profielwelling
 - b. koorde
 - c. spanwijdte
 - d. vleugelslankheid
 - e. vleugelwring
2.
 - a. Wat is een grenslaag ?
 - b. Wat gebeurt er bij het omslagpunt van een grenslaag ?
 - c. Hoe verandert de ligging van dit omslagpunt, indien de vleugelneus door verpletterde insecten wordt vervuild ?
 - d. Welke aerodynamische kracht kan fors veranderen als gevolg van de onder c. beschreven omstandigheid en in hoeverre is deze verandering afhankelijk van het type vleugelprofiel ?
3. Waar, gezien in de spanwijdterichting, zal bij een vleugel met goedige overtrekeigenschappen
 - a. loslating van de stroming over de vleugel het eerst optreden en
 - b. in welke richting zal deze loslating uitbreiden bij verdere vergroting van de invalshoek ?
4. Geef aan de hand van een snelheidspolaire aan hoe de snelheid voor volgende condities worden bepaald:
 - a. minimale glijhoek
 - b. minimale daalsnelheidHoe kunt U, uitgaande van een polaire, voor een gegeven vleugelbelasting de polaire voor een hogere vleugelbelasting construeren?
5.
 - a. Welke aerodynamische kracht(en) verander(t)(en) aanzienlijk door het uitbrengen van de remkleppen?
 - b. Wat kun je er dientengevolge mee regelen?
 - c. Wat kun je ermee voorwaardelijk beperken ?
6. Verklaar de noodzaak van gekruiste roeren voor de handhaving van een stationaire rechtlijnige slipvlucht.
7. Een bocht wordt met alleen uitslag van het richtingsroer ingezet (aileronen neutraal).
 - beschrijf in volgorde welke bewegingen het vliegtuig maakt,
 - benoem de effecten die samenhangen met deze bewegingen, en
 - geef een verklaring voor het optreden van deze effecten.Welk risico is verbonden aan het op deze wijze inzetten van een bocht?
8.
 - a. Welke symptomen (aangeven in volgorde) waarschuwen de vlieger voor een naderende overtrek tijdens een rechtlijnige vrije vlucht?
 - b. Worden alle bij vraag a. aangegeven symptomen ook waargenomen bij een naderende overtrek tijdens de lierstart? Verklaar je antwoord.

1. Waarom wordt doorgaans een vleugel zo gebouwd dat in spanwijdterichting naar de tippen toe de instelhoek geleidelijk afneemt?
2. Luchtstroom door een buis met een begindoorsnede (1) met een oppervlak $A=40 \text{ cm}^2$ en een einddoorsnede (2) met een oppervlak van 10 cm^2 . De lucht wordt als niet-samendrukbaar beschouwd.
(figuur)
 - a. Hoe verhoudt zich de snelheid in doorsnede 2 tot de snelheid in doorsnede 1. ?
 - b. In welke doorsnede is de statische druk het hoogste?
 - c. Met welke wet (in formulevorm) kun je het statisch drukverschil tussen doorsnede 1 en 2 berekenen? (De stroming mag wrijvingsloos worden verondersteld)
3.
 - a. Teken de profielweerstand als functie van de invalshoek voor een klassiek (niet-laminair) profiel.
 - a. Welke conclusie trek je uit de figuur voor het vliegen met lage snelheid in een thermiekbeld met een zweefvliegtuig met vleugels met een laminair profiel in vergelijking met een zweefvliegtuig met vleugels met een klassiek profiel?
4. Bij sommige roeren wordt wel een hoornbalansvlak toegepast (zie onderstaande figuur)
Wat is het doel daarvan?
(figuur)
5. Indien de stroming langs het zweefvliegtuig geheel wrijvingsloos zou zijn, dus zonder profielweerstand en zonder schadelijke weerstand, zou het zweefvliegtuig in een stabiele atmosfeer dan wel of niet dalen? Verklaar Uw antwoord.
6. Wat is het voordeel van het meenemen van water als ballast tijdens de vlucht? Wat is het nadeel? Verklaar Uw antwoord aan de hand van een polaire.
Hoe verandert de minimale glijhoek van het zweefvliegtuig bij het meenemen van water?
7. Verklaar hoe een positieve pijlstelling bijdraagt aan de richtingsstabiliteit.

1. Welke factoren in de lift- en weerstandsformule representeren de effecten van vormgeving en aanstromingsrichting van een vliegtuig op de grootte van de aërodynamische krachten?
2.
 - a. Welke grootte bepaalt primair het overtrekken van een vleugel?
 - b. Wat is de invloed van de tapsheid van een vleugel op de plaats (gezien in de spanwijdterichting), waar de stroming over de vleugel het eerst loslaat als deze overtrokken wordt?
 - c. Welke bouwwijze van de vleugel wordt eveneens toegepast om deze plaats te beïnvloeden?
3. Hoe verandert de standhoek van een zweefvliegtuig, indien de snelheid overeenkomstig de minimum glijhoek wordt gewijzigd in een hogere snelheid?
Verklaar Uw antwoord o.a. aan de hand van een polaire en een schets van het vliegtuig, waarin de standhoek wordt aangegeven.
4. Wat is het verschil in de vliegtoestand bij een tolvlucht t.o.v. een spiraalduik en in de stuuracties voor het herstel van deze vliegtoestanden?
5. Welke aërodynamische krachten op welke delen van het vliegtuig veranderen voorafgaande aan de standsverandering als gevolg van de separate uitslag van respectievelijk:
 - * hoogteroer
 - * rolroeren
 - * richtingroerOm welke as(sen) begint het vliegtuig vervolgens bij elk van deze uitslagen te draaien?
6. Waarom wordt voor de langsbesturing van een zweefvliegtuig een instelbare triminrichting toegepast en waarom ontbreekt een dergelijke triminrichting voor de dwars- en richtingsbesturing?
7.
 - a. Verklaar de invloed van de ligging van het zwaartepunt op de mate van langsstabiliteit.
 - b. Wat kunt u concluderen uit het antwoord op vraag 7a. m.b.t. het verschil in langsbesturing voor de handhaving van een vluchtsituatie bij turbulent weer voor lichte en zware piloten?

Aerodynamica.

45 min.

1. Hoe noemt U de soort krachten, die werken op een zweefvliegtuig in de hierna volgende vluchtsituaties:
 - a. rechtlijnige stationaire vlucht.
 - b. bocht met constante helling en constante snelheid.
 - c. lierstart.
2. Bij een rechtlijnige stationaire glijvlucht maakt de resulterende luchtkracht op een vliegtuig evenwicht met het gewicht van dat vliegtuig.
 - a. Hoe noemt U de componenten waarin deze luchtkracht wordt ontbonden?
 - b. Hoe zijn de bijbehorende richtingen van deze componenten gedefiniëerd?
3.
 - a. Verklaar de oorzaak van het drukverschil tussen de onderzijde en de bovenzijde van een asymmetrisch vleugelprofiel dat is geplaatst onder een invalshoek met de stroming.
 - b. Welke druk aan welke zijde geeft daarbij de grootste bijdrage in de draagkracht?
 - c. Wat is de stromingsrichting vlak vóór de profielneus en vlak na het passeren van de achterlijst van de vleugel?
4. Teken een snelheidspolaire.
 - a. Geef hierin aan hoe de volgende karakteristieke snelheden kunnen worden bepaald:
 - Snelheid voor minimum dalen
 - Snelheid voor beste glijhoek
 - Minimum snelheid
 - b. Welke van de drie onder (a) genoemde snelheden veranderen niet bij situaties met wind mee of tegen?
 - c. Waarom neemt de daalsnelheid toe bij zowel een afname als een toename van de snelheid t.o.v. de snelheid voor minimum dalen?
5. Tijdens de eindnadering voor de landing , op 10 meter hoogte boven een terreingedeelte met struiken, neemt als gevolg van atmosferische omstandigheden de vliegsnelheid plotseling af van de geadviseerde landingssnelheid (gele pijl) naar $1,1 \times$ de overtreksnelheid. Doel blijft een landing in het gemarkeerde landingsterrein.
 - a. Op welke wijze herstelt U deze situatie. Bij het antwoord betrekken: invalshoek, weerstand, remkleppen, herstel lift, herstel glijpad, herstel snelheid.
 - b. Welke voorzorgsmaatregel zou U genomen hebben bij bekendheid met deze omstandigheid vóór het indraaien op final?
6. Een bocht wordt ingezet met alleen rolbesturing; voetenstuur blijft daarbij in de middenstand.
 - a. Omschrijf welke bewegingen het vliegtuig maakt voordat een min of meer normale bocht wordt bereikt.
 - b. Geef een verklaring van het waarom van deze bewegingen.
 - c. Benoem de betrokken effecten.
7. Een statisch langsstabiel zweefvliegtuig ondergaat tijdens een rechtlijnige vlucht een forse verticale remousstoot.

Geef in een figuur aan hoe de bewegingen in de tijd verlopen voor de gevallen dat bij dit vliegtuig

 - a. de dynamische langsstabiliteit stabiel is.
 - b. de dynamische stabiliteit indifferent is.

1. Verklaar de oorzaak van het drukverschil tussen onder- en bovenzijde van een vleugelprofiel dat onder een invalshoek staat met de luchtstroming.
Wat is de stromingsrichting vóór de profielneus en vlak na het passeren van de achterlijst?

Antw.:blz.70,96

2. Bij krachtige thermiek is het raadzaam om de thermiekbellen met verhoogde snelheid aan te vliegen.
Verklaar waarom dit wenselijk is.

Antw.:blz.91

3. Een bocht wordt alleen met het richtingroer ingezet (ailerons neutraal).
a. Beschrijf in volgorde welke bewegingen het zweefvliegtuig maakt.
b. Benoem de effecten die samenhangen met deze bewegingen en geef er een verklaring voor.
c. Welk risico is er verbonden aan het op deze wijze inzetten van een bocht?

Antw.:blz.93,101

4. Wat is het voordeel van het meenemen van water als ballast tijdens een vlucht?
Wat is het nadeel?
Verklaar Uw antwoord aan de hand van een polaire.
Hoe verandert de minimale glijhoek van een zweefvliegtuig bij het meenemen van water?

Antw.:blz.85

5. Een statisch stabiel vliegtuig ondergaat tijdens een rechtlijnige vlucht een forse afwijking door remous.
Teken en beschrijf hoe de oorspronkelijke evenwichtstoestand van het vliegtuig door zijn stabiliteit wordt hersteld voor de:
a. standhoek
b. richting
c. helling

Antw.:blz.98,99

6. Wat verstaat men onder de "slankheid" van een vleugel?
Verklaar met behulp van vleugelpolaires (verband tussen C_l en C_d) de invloed van slankheid op de prestaties van een zweefvliegtuig.

Antw.:blz.77

1. Verklaar de oorzaak van het drukverschil tussen onder- en bovenzijde van een vleugelprofiel dat onder een invalshoek staat met de luchtstroming.
Wat is de stromingsrichting vóór de profielneus en vlak na het passeren van de achterlijst?

Antw.: blz. 70, 96. Snelheid aan bovenzijde groter. Volgens Bernoulli dan lagere druk. Vóór profiel opgaande stroming; erachter neerwaarts.

2. Vliegend op final is er een plotselinge afname van de vliegsnelheid van 1,3 naar 1,1 maal de overtreksnelheid als gevolg van atmosferische omstandigheden. Doel is landen in het gemarkeerde landingsterrein want er zijn obstakels onder het glijpad aanwezig.
- Welke volgorde van prioriteit kiest u voor het herstel naar een veilige vlieg situatie m.b.t. herstel glijpad, herstel lift, herstel snelheid (keuze kort toelichten)
 - Welke actie voert u eveneens uit en waarom?
 - Welke voorzorgsmaatregelen zou u hebben genomen bij bekendheid met deze weersomstandigheid vóór het indraaien op final?

Antw.: niet in boek. a. lift (neusstand), glijpad, snelheid. b. sluiten remkleppen totdat gewenste glijpad weer bereikt is. c. hogere snelheid.

3. Welk staartvlak bepaalt voor een belangrijk deel de statische richtingsstabiliteit?
Wat kan de consequentie van richtingsstabiliteit zijn op de landingsuitloop bij forse zijwind. Verklaar waarom.

Antw.: blz. 93. kielvlak. Kist zal tegen de windrichting in willen draaien a.g.v. giermoment van kielvlak t.o.v. wiel

4. Wat verstaat men onder "slankheid" van een vleugel? Verklaar met behulp van een vleugelpolaire (d.i. het verband tussen C_l en C_d) de invloed van slankheid op de prestaties van verschillende zweefvliegtuigen met gelijk vleugeloppervlak.

Antw.: blz. 73 verhouding tussen spanwijdte en gemiddelde koorde. blz. 77. verhouding C_l/C_d , dus glijhoek, neemt toe bij grotere slankheid.

5. a. Verklaar de invloed van de ligging van het zwaartepunt op de mate van langsstabiliteit.
b. Wat kunt u concluderen uit het bij a. gegeven antwoord m.b.t. het verschil in langsbesturing voor handhaving van een vluchtsituatie bij turbulent weer voor lichte en zware piloten?

Antw.: blz. 98, 99 Bij lichte vlieger ligt zwaartepunt verder naar achteren waardoor de hefboom van de draagkracht vleugel groter en die van het stabilo kleiner wordt t.o.v. het zwaartepunt de langsstabiliteit is daardoor minder dan bij een zwaardere piloot; er zijn meer correctieve stuuracties nodig.

6. Hoe verandert de standhoek van een zweefvliegtuig, indien de snelheid overeenkomstig de minimum glijhoek wordt gewijzigd in een hogere snelheid?
Verklaar uw antwoord o.a. aan de hand van een polaire en schets van het vliegtuig, waarin de standhoek wordt aangegeven.

Antw.: blz. 84. standhoek (d. i. hoek van langsas t.o.v. horizon) wordt groter. glijhoek wordt groter en de invalshoek wordt kleiner

1.
 - a. Wat is een grenslaag?
 - b. Wat gebeurt er bij het omslagpunt van een grenslaag?
 - c. Hoe verandert de ligging van dit omslagpunt nadat, bij gelijkblijvende invalshoek, de oppervlakteruwheid van de vleugelneus door inslag van insecten is toegenomen?
 - d. Wat is het gevolg van de onder "c" beschreven omstandigheid voor de weerstand en de lift van een laminair profiel?

Antw.: blz. 69.
2. Tijdens een lierstartsituatie bedraagt de lift (L) van een zweefvliegtuig $L = 1,96 \times$ het gewicht van zweefvliegtuig incl. belading. De aangewezen overtreksnelheid van het betreffende zweefvliegtuig is in rechte lijnige vrije bedraagt 70 km/uur.
Gevraagd: de overtreksnelheid van het zweefvliegtuig bij de gegeven lierstartsituatie.
Antw.: blz. 71, liftformule.
3.
 - a. Wat betekenen statische en dynamische stabiliteit voor een zweefvliegtuig?
 - b. Welke vormen van stabiliteit kent u?
 - c. Welk onderdeel van het vliegtuig is van belang voor de langsstabiliteit?
 - d. Verklaar en teken het stabiliserend effect van het horizontale staartvlak als het vliegtuig wordt getroffen door een verticale remousstoot. Geef daarbij duidelijk het ontstabiliserend moment en het stabiliserend moment aan.

Antw.: blz. 97, 98.
4. Wat is het voordeel van het meenemen van water als ballast tijdens de vlucht?
Wat is het nadeel?
Verklaar uw antwoord aan de hand van een polaire.
Hoe verandert de minimale glijhoek van het zweefvliegtuig bij het meenemen van ballastwater?
Antw.: blz. 85, 86.
5. Toon aan met behulp van een formule dat het vliegtuig bij een plotselinge knuppeluitslag naar achteren bij een lage snelheid niet en bij een hoge snelheid wel overbelast kan worden.
Antw.: blz. 125
6. Bij een bocht met constante snelheid en in rustige lucht neemt de geïnduceerde weerstand toe met toenemende dwarshelling.
Verklaar waarom dat zo is en wat kunt u zeggen van de daalsnelheid?
Antw.: blz. 75, 87.

1. Welk verband bestaat er tussen de grootte van de aerodynamische krachten op een lichaam en zijn vliegsnelheid, zijn omspoeld oppervlak, de luchtdichtheid?

Antw. blz. 67, kwadratisch, lineair, lineair.

2. a. Welke aerodynamische kracht(en) verander(t)(en) aanzienlijk door het uitbrengen van de remkleppen?
b. Wat kun je er dientengevolge mee regelen?
c. Wat kun je er voorwaardelijk mee beperken?

Antw. blz. 80,81. a. weerstand, b. glijhoek, c. max. snelheid.

3. Lucht stroomt door een buis met een begindoorsnede (1) met een oppervlak $A=40 \text{ cm}^2$ en vervolgens een doorsnede(2) met een oppervlak van 10 cm^2 . De lucht wordt als niet-samendrukbaar beschouwd. De stroming mag wrijvingloos worden verondersteld.
a. Hoe verhoudt zich de snelheid in de doorsnede (2) tot de snelheid in de doorsnede (1) ?
b. In welke doorsnede is de statische druk het hoogste?
c. Met welke wet, in formulevorm, kun je het statisch drukverschil tussen doorsnede (1) en (2) berekenen ?

Antw. blz. 62 en 64.

4. Wat verstaat u onder de geïnduceerde invalshoek?

Antw. blz 76.

5. Welk staartvlak bepaalt voor een belangrijk deel de statische richtingsstabiliteit?
Wat kan de consequentie van de richtingsstabiliteit zijn op de landingsuitloop bij forse zijwind?
Verklaar waarom.

Antw. blz 99

6. Wat is het effect van toenemende snelheid op de grootte van de stuurkrachten?
Op welke wijze kan door de constructeur de grootte van de stuurkrachten worden beïnvloed?
Geef twee mogelijkheden aan.
Waarom is het gewenst dat de stuurkrachten niet te klein zijn?

Antw. blz 95.

1. Waarom past men bij zweefvliegtuigen in sommige gevallen een negatieve pijlstelling toe?
Wat betekent dit voor de richtingstabiliteit?
2. Van welke factoren hangt de straal van een correct gevlogen bocht af?
Welke van deze factoren heeft de grootste invloed op de bochtstraal?
3. Wat is het directe verband tussen glijhoek en de coëfficiënten voor draagkracht en weerstand?
4. Teken het verband tussen invalshoek en draagkracht-coëfficiënt voor zowel een symmetrisch als een gewelfd profiel.
5. Wat verstaat men onder een schuivende en een slippende bocht?
Geef voor beide bochten aan wat het resultaat is als het toestel overtrekt door te lage vliegsnelheid.
6. Wanneer spreekt men van een dynamisch stabiel lichaam?
7. Schets een polair diagram voor een zweefvliegtuig.
Geef aan welke grootheden hierin tegen elkaar zijn uitgezet.
Geef in de grafiek ook aan hoe de de beste glijhoek kan worden gevonden.
8. Geef de formule voor de totale of energie-druk in een stroming volgens de wet van Bernoulli.
Wat is de definitie van het stuwpunt?

1. Hoe luidt de wet van Bernoulli?
Breng deze wet in verband met het ontstaan van draagkracht.
2. Wat is geïnduceerde weerstand?
Hoe kan men deze vorm van weerstand zowel constructief als tijdens de vlucht verkleinen?
3. Schets het verband tussen profielweerstand en invalshoek voor een laminair en een niet-laminair profiel. Geef daarbij duidelijk het verschil van dit verband tussen beide profielsoorten aan.
4. Teken een belastingsdiagram en geef daarin bijzondere punten aan.
Waartoe dient het belastingsdiagram?
5. Geef in het kort aan welke invloed slippen heeft op het overtrekgedrag van een zweefvliegtuig.
Verklaar je antwoord.
6. Teken een snelheidspolaire en geef daarin de volgende punten aan:
 - a. Minimale daalsnelheid.
 - b. Snelheid voor de beste glijhoek in rustige lucht.
 - c. Snelheid voor de beste glijhoek in een dalende ($-a$ m/s) luchtmasa.
 - d. Overtrek snelheid bij een meewindcomponent.
 - e. Maximaal toegelaten snelheid.

Hoe en in welke mate zal een gewichtstoename van het vliegtuig de getekende polaire beïnvloeden?

1. Welke druk rondom een vleugel is, in een normale vlucht, constant?
2. Waarom vindt het omslagpunt van laminaire naar een turbulente stroming snel plaats bij een positieve drukgradient?
3. Welke grootheden worden in een vleugelpolaire (let op) tegen elkaar uitgezet?
Teken in één diagram de vleugelpolaire van een vleugel met slankheid 10 en een van een vleugel met slankheid 20.
4. Teken twee snelheidspolaires van eenzelfde vliegtuig bij verschillende gewichten.
Het verschil in gewicht bedraagt 20%. Geef aan hoe een en ander tot stand is gekomen.
5. Van een zweefvliegtuig is de overtreksnelheid in een normale rechtlijnige vlucht 60 Km/h.
Als dit toestel vervolgens een bocht maakt met 60 graden helling, wat is dan de overtreksnelheid in die bocht?
6. Welke typen flutter kent u?
Waardoor kunnen ze veroorzaakt worden en welke vorm komt het meest waarschijnlijk voor bij zweefvliegtuigen?
7. Wat is de invloed van het openen van de remkleppen op de volgende grootheden en geef telkens een korte verklaring voor uw antwoord:
 1. De standhoek.
 2. De invalshoek.
 3. De baanhoek.
 4. De lift.
 5. De vleugelbelasting.

1. U vliegt in een bocht waarbij u de snelheid langzaam terug laat lopen.
Op een bepaald moment overtrekt het zweefvliegtuig.
Geef aan op welke aërodynamische gronden u tot de conclusie bent gekomen dat de overtrek op de binnenvleugel, de buitenvleugel of symmetrisch plaats vindt.
2. Verklaar de invloed van het grondeffect op weerstand en lift van een zweefvliegtuig.
3. Waarom neemt de kans op overtrekken toe bij het binnenvliegen van thermiek?
4. Wat is het effect van het vliegen van een bocht met 60 graden helling op het glijgetal van een zweefvliegtuig als u dat vergelijkt met een rechte vlucht met dezelfde snelheid?
5. Geef een aërodynamische verklaring voor de rolstabiliteit van een zweefvliegtuig.
6. Wat verstaat men onder een aërodynamisch roermoment en geef een mogelijke toepassing hiervan.

1. Teken een snelheidspolaire en geef daarin aan:
 - a. De minimale daalsnelheid
 - b. De snelheid voor de beste glijhoek in een dalende luchtmasa
 - c. De snelheid voor de beste glijhoek met tegenwind
 - d. De overtreksnelheid bij een meewindcomponent
2. Wat is geïnduceerde weerstand?
Hoe kan men deze weerstand zowel constructief als tijdens de vlucht verkleinen?
3. Welke van de volgende kenmerken heeft betrekking op een schuivende bocht. Verklaar uw antwoord.
 - a. Te weinig voeten en de binnenvleugel kan wegvallen
 - b. Te weinig voeten en de buitenvleugel kan wegvallen
 - c. Te veel voeten en de binnenvleugel kan wegvallen
 - d. Te veel voeten en de buitenvleugel kan wegvallen
4. Van welke factoren hangt de straal van een correct gevlogen bocht af?
Verklaar welke factor de grootste invloed heeft op die bocht-sraal.
5. Hoe beweegt het trimvlakje op het hoogteroer, wanneer de stuurknuppel naar achteren wordt getrokken? Leg uit waarom dat zo is
6. Verklaar het mogelijk assymetrisch overtrekken van een zweefvliegtuig als gevolg van het snelheidsverschil tussen beide vleugels bij het vliegen van een bocht met kritisch lage snelheid.
7. Toon met behulp van een formule aan dat het vliegtuig bij een plotselinge knuppeluitslag naar achteren, bij een lage snelheid niet en bij een hoge snelheid wel overbelast kan worden.
8. Welke vormen van statische stabiliteit kent u?
Geef in het kort aan hoe men bij de constructie deze stabiliteit bewerkstelligt.

1. Een zweefvliegtuig vliegt horizontaal met een constante snelheid van 100 km/uur.
 - a. Geef in een tekening aan wat de invalshoek is.
 - b. Geef in de tekening aan de krachten die op het vliegtuig werken.
 - c. Geef aan onder welke omstandigheden de invalshoek plotseling kan veranderen.
 - d. Wat gebeurt er dan met de draagkracht?
2. Toon met behulp van een formule aan dat het vliegtuig bij een plotselinge knuppeluitslag naar achteren, bij een lage snelheid niet en bij een hoge snelheid wel overbelast kan worden.
3. Verklaar het mogelijk asymmetrisch overtrekken van een zweefvliegtuig als gevolg van het snelheidsverschil tussen de beide vleugels bij het vliegen van een bocht met kritisch lage snelheid.
4. Welke typen flutter kent u?
Waardoor kunnen ze veroorzaakt worden en welke vorm komt het meest waarschijnlijk voor bij zweefvliegtuigen?
5. Teken een belastingsdiagram en geef daarin bijzondere punten aan.
Waartoe dient het belastingsdiagram
6. Wat is geïnduceerde weerstand?
Hoe kan men deze vorm van weerstand zowel constructief als tijdens de vlucht verkleinen?
7. Er zijn hoogteroer-trimsystemen waarbij het trimvlakje automatisch beweegt als men het hoogteroer van stand verandert. Hoe is die beweging wanneer de stuurknuppel naar achteren wordt getrokken?
Leg uit waarom dat zo is.
8. Welke vormen van statische stabiliteit kent u?
Geef in het kort aan hoe men bij de constructie deze stabiliteit bewerkstelligt.

Aerodynamica.

1. Beschrijf wat er gebeurt bij een *assymetrische overtrek*.
 2. Wat van het onderstaande is juist, a.,b.,of c.:
 - a. Baanhoek en glijhoek zijn gelijk.
 - b. Invalshoek is hoek tussen langsas en ongestoorde luchtstroming.
 - c. Instelhoek en standhoek zijn gelijk.
 3. Er zijn, en dit vooral bij tandemtweezitters, zweefvliegtuigen die van een *negatieve* pijlstelling zijn voorzien.
Noem belangrijkste reden om dit zo te ontwerpen en het belangrijkste nadeel hiervan.
 4. Een zweefvliegtuig heeft een overtreksnelheid van 15 m/s
 - a. Hoeveel km/uur is dit ?
 - b. Met welke snelheid, in km/uur moet minimaal gevlogen worden om het zweefvliegtuig met 3 g te kunnen belasten ?
 5. Teken het krachtenevenwicht in een constante bocht met 60° helling.
Wat is tijdens deze constante bocht de overtreksnelheid indien bekend is dat die gedurende rechtlijnige vlucht 70 km/uur is.
 6. Gedurende een vliegtuigsleepstart wordt horizontaal gevlogen met een constante snelheid. In vrije vlucht zou bij deze snelheid een glijhoek van 1: 30 horen. Wat is de trekkracht in de sleepkabel op dat moment ?
 7. Sommige zweefvliegtuigen hebben een z.g. “*anti-servo*” trim.
Wat wordt hiermee bedoeld ?
-

Aerodynamica.

- 1) Beschrijf het gevaar van het overschrijden van de maximale belastingsfactor bij hoge vliegsnelheden.
Bij lagere snelheden wordt dit minder. Is er ook een snelheid waaronder dit gevaar verdwijnt? Verklaar uw antwoord.
- 2) Beschrijf hoe buiging en torsie in de zweefvliegtuigconstructie samenhangen met flutter.
Met welke bouwwijze zijn zweefvliegtuigen hiervoor vooral gevoelig?
Met welke maatregelen kan de constructeur dit beïnvloeden
- 3) Verklaar hoe de statische langsstabiliteit wordt bereikt.
Verklaar wat de invloed van de zwaartepuntsligging hierop is.
- 4) Wat is:
wrijvingsweerstand
profielweerstand
interferentieweerstand
schadelijke weerstand
- 5) Wat is wrong en waartoe dient het?
- 6) Een vliegtuig vliegt een bocht van 45° . Welke invloed heeft dit op de overtreksnelheid?
Geef hiervoor de berekeningsmethode. Dit mag zonder getallen, geef een geschatte uitkomst.

Aerodynamica

1.
 - a. Schets een snelheidspolaire, met een globale schaalverdeling langs de assen, van een standaard klasse zweefvliegtuig.
 - b. Geef aan hoe het glijgetal bij 150 km/h bepaald kan worden.
 - c. Geef aan hoe hieruit de snelheid van de beste glijhoek is te bepalen.
2. Een lierstart met harde tegenwind verloopt in het onderste gedeelte anders dan zonder wind
Geef aan hoe dit komt en wat het risico hiervan is.
3.
 - a. Waarom en wanneer is het voordelig de vleugelbelasting te verhogen door water mee te nemen?
 - b. Waarvoor dient waterbalast in de staart?
 - c. Geef drie redenen waarom er rekening gehouden moet worden met het gewicht van de (voorste) inzittende.
 - d. Mag of moet, in het geval van een tweezitter, het gewicht van de achterste inzittende hierin worden meegerekend.
4. Een zweefvliegtuig heeft uitsluitend een hoofdwiel en een staartwiel/slof.
 - a. Wat gebeurt er met de draagkracht van de vleugels bij een aangevlogen landing (landing op het hoofdwiel)?
 - b. Hoe moet dit vliegtuig altijd geland worden?
5.
 - a. Geef aan wat bedoeld wordt met haakeffect.
 - b. Hoe wordt de weerstand genoemd die hiervan het gevolg is?

1.
 - a. Geef de liftformule.
 - b. Geef het verband tussen lift en invalshoek.
 - c. Geef de relatieve verhoging van de overtreksnelheid in een bocht van 60° , ten opzichte van de V_{min} . in rechtlijnige vlucht.
2.
 - a. Draagt positieve of negatieve pijlstelling bij aan de richtingsstabiliteit van een zweefvliegtuig?
 - b. Leg uit hoe pijlstelling de richtingsstabiliteit beïnvloedt.
3.
 - a. Is flutter een probleem dat optreedt bij een gebrek aan sterkte of een gebrek aan stijfheid?
 - b. Noem twee vormen van flutter.
 - c. Leg een van beide uit.
4.
 - a. Maak een schets van een snelheidspolaire van een standaard zweefvliegtuig.
 - b. Geef hierin aan de snelheid voor minimum dalen, de minimum snelheid, en de snelheid voor maximaal glijgetal.
 - c. Geef aan hoe u het beste glijgetal berekent met gebruik van de door u geschetste polaire.
5.
 - a. Geef aan wat de neveneffecten zijn en hoe deze worden veroorzaakt.
 - b. Geef aan wat het haakeffect is en leg uit hoe dit wordt veroorzaakt.
 - c. Hoe wordt de weerstand genoemd, die aan het haakeffect ten grondslag ligt?
 - d. Is het haakeffect snelheidsafhankelijk?

Aerodynamica 2005

1

A Geef de liftformule.

$$L = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot S \text{ Formule 3.6 blz 71}$$

B Geef het verband tussen de lift en de invalshoek.

Zie figuur 3.25 blz 71

C Geef de relatieve verhoging van de overtreksnelheid in een bocht van 60° , ten opzichte van de V_{min} . in rechtlijnige vlucht.

De lift L moet twee keer zo groot worden (zie formule 6.7 blz 87) bij

gelijkblijvende C_L . Daarmee moet de v_{min} $\sqrt{2}$ keer zo groot worden vlgs:

$$v = \sqrt{\frac{L}{C_L \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot S}} \text{ met } L \text{ bocht is } 2L \text{ rechtuit.}$$

2

A Draagt positieve of negatieve pijlstelling bij aan de richtingsstabiliteit?

Ja

B Leg uit hoe pijlstelling de richtingsstabiliteit beïnvloedt.

Bij afwijking van rechtlijnige symmetrische vlucht verandert de weerstand van beide vleugels niet gelijk. Bij negatieve pijlstelling destabiliserend, bij positieve pijlstelling stabiliserend, zie fig 3.72 blz 99

3

A Is flutter een probleem dat eerder optreedt bij een gebrek aan sterkte of aan stijfheid?

Eerder bij gebrek aan stijfheid.

B Noem twee vormen van flutter.

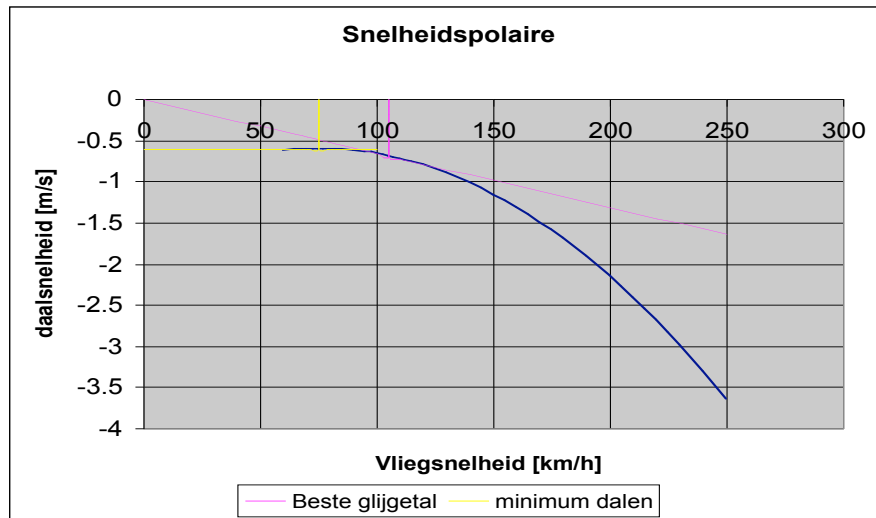
Roerflutter en torsiebuigflutter

C Leg één van beide uit.

Zie figuren 3.78 en 3.69 blz 103

4

A Maak een schets van een snelheidspolaire van een standaard zweefvliegtuig



B Geef hierin aan de snelheid voor minimum dalen, de minimumsnelheid en de snelheid voor maximaal glijgetal

C Geef aan hoe u het beste glijgetal berekent met gebruik van de door u geschetste polaire.

Vliegsnelheid bepalen in raaklijn beste glijgetal, daalsnelheid bepalen, daalsnelheid omzetten naar km/h door vermenigvuldiging met 3,6, vliegsnelheid delen door daalsnelheid.

5

A Geef aan wat de neveneffecten zijn en hoe deze worden veroorzaakt.

Neveneffect van rollen is gieren, neveneffect van gieren is rollen. Verklaring zie blz 93 en 94

B Geef aan wat het haakeffect is en leg uit hoe dit wordt veroorzaakt.

Het tegengesteld gieren van een vliegtuig ten opzichte van de rolrichting. Veroorzaakt door verhoogde weerstand van een naar beneden uitgeslagen rolroer.

C Hoe wordt de weerstand genoemd, die aan het haakeffect ten grondslag ligt.

Deels drukweerstand, het "aangestroomde oppervlak" verandert, deels geïnduceerde weerstand het profiel wordt sterker gewelfd.

D Is het haakeffect snelheidsafhankelijk?

Ja

Bij hogere snelheden neemt de richtingsstabiliteit van kielvlak en richtingsroer toe

Er is minder rolroer uitslag nodig om het rollen te bewerkstelligen en de geïnduceerde weerstand neemt af bij hogere snelheden.

1. Waarom overtrekt de binnenvleugel in een te langzaam gevlogen bocht meestal eerder dan de buiten vleugel. Verklaar het antwoord.
2. Noem twee manieren waarop bij een zweefvliegtuigvleugel flutter kan ontstaan. Geef van één van beide de uitleg.
3. Wat is en waardoor ontstaat geïnduceerde weerstand.
4. Als in een zweefvliegtuig van 400kg (incl. piloot etc), 129 liter water wordt meegenomen wat is dan de procentuele verhoging van de beste glijhoek en de snelheid voor beste glijhoek t.o.v. de situatie dat geen water wordt meegenomen? U kunt het antwoord in formulevorm geven, schat in dat geval het eindantwoord.
5. Wat is een $Cl-\alpha$ diagram en hoe komt het dat met toenemende α de grafiek op een bepaald punt vrij plotseling sterk naar beneden gaat?
6. Verklaar waarom in krachtig variërende thermiek er plotseling een overtrek kan optreden?
7. Verklaar hoe (bij de meeste zweefvliegtuigen) rolstabiliteit tot stand komt.
8. Hoe komt het dat in een bocht de overtreksnelheid hoger is? (bij de uitleg de lift formule gebruiken)

Antwoorden Aërodynamica

1. Overtrek is het gevolg van een te hoge invalshoek. De binnenvleugel heeft een lagere voorwaartse snelheidscomponent dan de buitenvleugel. Omdat de daalsnelheid aan beide zijden wel even groot is zal de invalshoek aan de binnenzijde iets groter zijn, waardoor de binnenvleugel eerder aan zijn maximum invalshoek zit. Verder is het zo dat door de iets lagere snelheid de lift van de binnenvleugel iets lager is waardoor de kist gaat rollen. Iedereen compenseert door met het rolroer iets tegen te rollen. Hierdoor is de invalshoek van de binnen vleugel ook iets hoger dan van de buitenvleugel.
2. Buiging/torsieflutter en rolroerflutter, zie verder pag. 103
3. De draagkracht en de tipwervel veroorzaken een neergaande stroming achter de vleugel. Door de invalshoekvergroting die hiervan het gevolg is staat de draagkracht verder naar achter gekanteld dan vanuit de niet verstoorde stroming te verwachten zou zijn. De achterwaartse component die hiervan het gevolg is de geïnduceerde weerstand.

4. De beste glijhoek blijft nagenoeg gelijk
 $\sqrt{529}/\sqrt{400}=23/20$ ofwel 15% verhoging van de snelheid voor beste glijhoek.
5. Zie pag. 71
6. Door een krachtige thermiekstoot vergroot de verticale snelheidscomponent terwijl de horizontale constant blijft. Hierdoor vergroot de invalshoek en zou dus een overtrek kunnen optreden.
7. Pag. 99
8. $L = \frac{1}{2} \rho C_L V^2 S$ Vlak voor overtrek is C_L maximaal, ρ en S zijn constant. In een bocht is lift gekanteld en zal dus groter moeten zijn om toch een voldoende verticale component te hebben die het gewicht kan compenseren, dus L moet groter. Derhalve zal maximum C_L bij een hogere snelheid moeten zijn.

Instructeur examen 2006/2
Aërodynamica met antwoorden

1. Hoe luid de wet van Bernoulli?

$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = C$ Voor een wrijvingsloze, incompressibele stroming. Deze wet is een afgeleide van de wet van behoud van energie per volume eenheid.

2. Noem 5 verschillende weerstanden die bij een zweefvliegtuig van toepassing zijn. Drukweerstand vleugel, wrijvingsweerstand vleugel, geïnduceerde weerstand vleugel, drukweerstand romp, wrijvingsweerstand romp. Interferentie weerstand tgv plaatsing diverse onderdelen.

3. Wat wordt verstaan onder laminaire stroming?

Een stroming waarbij de luchtdeeltjes in lagen langs elkaar stromen. Er is geen stroming dwars op de heersende stroomrichting. Snelheidsverschillen worden alleen door visceuze krachten tussen de lagen uitgewisseld.

4. Bepaal van onderstaande snelheidspolaire het beste glijgetal en bepaal het glijgetal bij een snelheid van 200 km/h. Bepaal ook de snelheid voor minimaal dalen.

Zie onder. Het beste glijgetal wordt bepaald door de raaklijn te trekken aan de polaire vanuit de oorsprong. Het raakpunt is de snelheid voor beste glijhoek. In dit punt is de voorwaartse snelheid ongeveer 108 km/h, dit is ca 30 m/s. de Daalsnelheid is hier ca 0,7 m/s het glijgetal is dan $30/0,7=43$.

De snelheid voor minimum dalen is de snelheid die hoort bij de horizontale raaklijn.

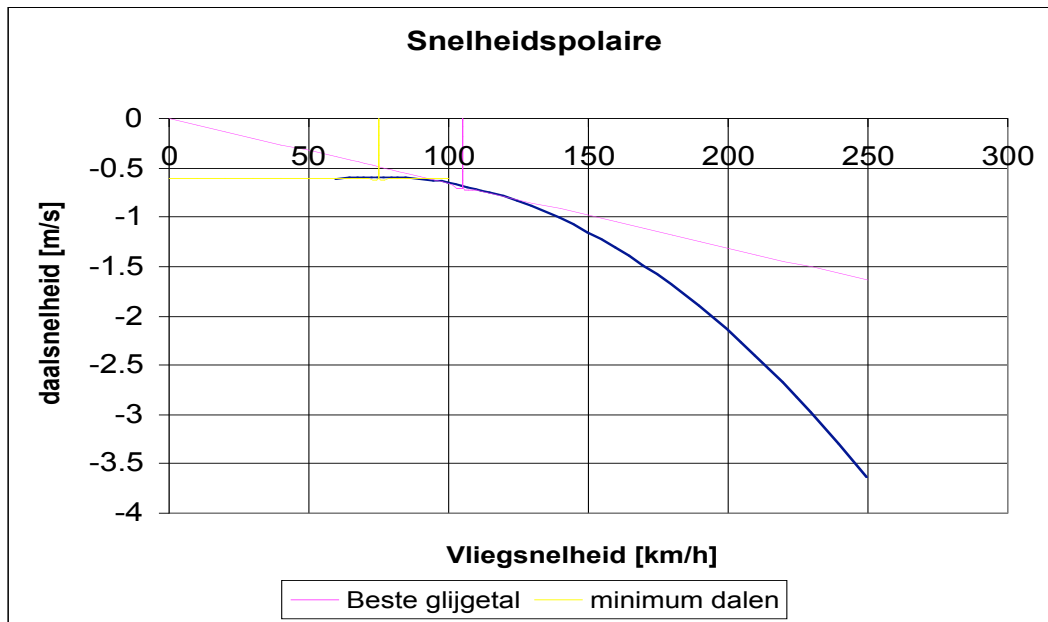
Ca 75km/h en 0,6 m/s dalen.

Het glijgetal bij 200km/h is de voorwaartse snelheid gedeeld door de daalsnelheid (in gelijke eenheden).

200km/h is ca 55m/s, de daalsnelheid is dan ca 2.2m/s het glijgetal is dan ca 25.

Wat gebeurt er met het beste glijgetal en het glijgetal bij 200km/h als de vleugelbelasting verhoogd wordt? (bijvoorbeeld door waterballast mee te nemen).

De polaire wordt vlakker en verschuift langs de raaklijn beste glijgetal naar hogere snelheden. Het beste glijgetal blijft gelijk, het glijgetal bij 200km/h wordt beter (hogere)



5. Verklaar met de lift formule en het diagram waarom een kist niet overtrekken kan als deze zich in een nul G situatie bevindt?

De lift formule luidt:

$$C_L \cdot S \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 = L$$

In een 0 G situatie is $L=0$ en als er voorwaartse snelheid is daarmee C_L ook 0. uit het C_L diagram blijkt dat dit alleen kan bij kleine invalshoeken, en nooit bij C_L max.

6 Richtingsstabiliteit wordt door meerdere constructieonderdelen bepaald. Geef van ten minste twee constructie kenmerken de werking?

Door het kielvlak achter het zwaartepunt: Lift in horizontale richting bij uitwijking van de rechtlijnige vlucht. (grote arm of groot kielvlak). Met de pijlstelling van de vleugel of vleugeltippen: Afwijking van de rechtlijnige vlucht geeft (bij positieve pijlstelling) een stabiliserend verschil in weerstand. Winglets achter het zwaartepunt, werking vergelijkbaar met het kielvlak.

7. Geef aan hoe het kan dat in een vrille of tolvlucht, ondanks de lage neusstand, één vleugel overtrokken is en de andere niet?

Invalshoek is de hoek tussen luchtstroming en vleugelkoorde. In een tolvlucht heeft de binnenste vleugel een hoge neerwaartse snelheid door de rotatie. Daardoor komt de luchtstroming veel verder van onder dan uitsluitend op grond van de neusstand verwacht zou worden. De invalshoek is daarmee groter dan de invalshoek voor maximale draagkracht.

8. Wat verstaan we onder het grondeffect? Verklaar waarom en hoe dit plaatsvindt?

Op welke hoogte begint het grondeffect merkbaar te worden. Verklaar het antwoord?

De verbetering van de glijhoek zeer dicht bij de grond met als gevolg langer uitzweven. De neerstroming van de stroming achter de vleugel wordt beperkt door de nabijheid van de grond, hierdoor neemt de geïnduceerde weerstand af. Dit effect treedt op maximaal enkele koorde lengtes van de grond (dus hooguit 2 a 3 m bij een koorde van 1 m) Een laagdekker zal dit effect daardoor sterker ondervinden dan een hoogdekker.

- 1: In een zweefvliegtuighandboek vindt u dat de overtreksnelheid 67 km/uur is.
- a-Voor welke situatie geldt dit?
 - b-Geef aan (min. 5) welke (praktijk) factoren de overtrek snelheid kunnen beïnvloeden?
 - c-In welke orde van grote ligt de invalshoek waarbij een profiel overtrekt?
 - d-Wat is dan de overtrek snelheid in een bocht met 60° helling? Verklaar uw antwoord.

Antwoord:

- a-bij een normale rechthoek vlucht. (maximum gewicht, geen G-krachten, natte vleugel, etc)
- b-het aanvliegen van thermiek
 - de lierstart
 - het optrekken uit een duikvlucht met grotere snelheid, waarbij de maximum invalshoek wordt overschreden
 - het grondeffect
 - het vliegen van bochten
 - het gewicht
 - welvingskleppen
 - toestand van de vleugels.
- c-ca. 15°
- d-De overtreksnelheid neemt toe met een factor:
 $1/\sqrt{\cos \alpha}$. Dus $1/\sqrt{\cos 60} = 1/\sqrt{0.5} = 1/0.707 = 1.41$
Dus $1.41 \times 67 \text{ km/h} = 94.4 \text{ km/h}$

- 2: a-Wat is de reden dat bij een vleugel een tipwervel ontstaat?
- b-Voor welke weerstand heeft de tipwervel gevolgen? Verklaar uw antwoord.

Antwoord:

- a-de druk onder een vleugel is hoger dan de druk boven de vleugel tijdens een vlucht. Via de tip kan dit vereffend worden, waardoor een stroming om de tip ontstaat. Door dit effect wordt de luchtstroom boven, maar ook onder de vleugel die van voorkant vleugel naar de achterlijst gaat ook beïnvloed. Deze buigen af. Beide effecten tezamen veroorzaken de tipwervel.
- b-de geïnduceerde weerstand. Door de tipwervel zal de invalshoek nabij de tippen anders zijn.

- 3: Verklaar m.b.v. een schets waarom en hoe de belastingsfactor bij het binnenvliegen van thermiek verandert?

Antwoord:

De invalshoek neemt toe. De draagkracht neemt toe en gaat ook voorover hellen. Er volgt een versnelling omhoog en voorwaarts. Deze versnelling veroorzaakt een verhoging van de belasting.
Dus de belastingfactor neemt toe.
Zie evt. fig. 3.59 in het boek.

- 4: Waarom hebben moderne zweefvliegtuigen een wing in de vleugel?

Antwoord:

Om er voor zorg te dragen dat de vleugel niet in eens in zijn geheel overtrekt. Eerst vindt overtrekken nabij de romp plaats. Het gedeelte bij de rolroeren overtrekt nog niet waardoor de kist langer bestuurbaar blijft. Dus indien er geen tipverdraaiing zou zijn dan zou een moderne tapse vleugel bij de tippen eerst overtrekken. (zie fig 3.43 in het boek)

- 5: Een kist bevindt zich in een bocht met veel te weinig helling.

- a: Verklaar met een schets hoe de krachten zich op deze kist gedragen.
 b: Hoe noemt men deze situatie?
 c: Zijn er risico's aan een dergelijke manoeuvre? Zo ja welke, zo nee waarom niet?

Antwoord:

a-Zie fig 3.57a en 3.57b in het boek. Bij een normale bocht is de resultante (R) van de lift (L), het gewicht (G) en de centrifugale kracht (F) gelijk aan 0.
 Bij een bocht met te weinig helling is dit niet het geval. Het vliegtuig "schuift" naar buiten. R is naar buitengericht. Dit moet dus gecompenseerd worden met een kracht (S) naar binnen. Dit kan alleen als de neus van het vliegtuig naar de binnenzijde van de bocht gericht wordt. Daardoor ontstaat een invallende zijdelingse luchtstroming op de romp die deze kracht (S) levert.

b-Schuiven

c-Ja, als ook de snelheid laag is, is de kans op een asymmetrische overtrek groot. Op lage hoogte dient daarom het maken van een langzaam gevlogen schuivende bocht voorkomen te worden.

6: Als we zo hoog mogelijk willen gaan vliegen met een kist met de volgende eigenschappen:

- 1: Flutter ontstaat bij een luchtstroom snelheid van precies 200 km/h (ongeacht de hoogte)
- 2: De kist een overtreksnelheid heeft van precies 100 km/h op zeeniveau.
- 3: De $\alpha \rightarrow Cl$ eigenschappen van de kist veranderen niet met de hoogte.

Wat is dan de maximale hoogte die deze kist kan bereiken als er geen flutter ontstaat en er niet overtrokken wordt gevlogen?

De relatieve luchtdichtheid t.o.v. hoogte is als volgt gegeven:

Hoogte in km	Relatieve luchtdichtheid	Hoogte in km	Relatieve luchtdichtheid
1	1.00	8	0.43
2	0.82	9	0.38
3	0.74	10	0.33
4	0.67	11	0.31
5	0.60	12	0.25
6	0.54	13	0.22
7	0.48	14	0.18

Antwoord:

Als met toenemende hoogte de kist een fractie boven de overtreksnelheid blijft vliegen zal door het dalen van de luchtdichtheid daar een steeds hogere luchtsnelheid voor nodig zijn. Het steeds hoger vliegen kan volgehouden worden tot een hoogte is bereikt waarop de luchtsnelheid 200 km/h is geworden. Op die hoogte wijst de snelheidsmeter nog steeds 100km/h aan, in werkelijkheid is de luchtsnelheid dan 200km/h.

De lift is op zeeniveau gelijk aan die op een hoogte.

$$L_{\text{zeeniveau}} = \frac{1}{2} \cdot S \cdot Cl \cdot \rho_{\text{zeeniveau}} \cdot V_{\text{zeeniveau}}^2 \quad \text{wat gelijk is aan} \quad L_{\text{hoogte}} = \frac{1}{2} \cdot S \cdot Cl \cdot \rho_{\text{hoogte}} \cdot V_{\text{hoogte}}^2$$

Hieruit volgt dat de snelheidverhouding in het kwadraat gelijk is aan de luchtdichtheid verhouding.

$$\frac{\rho_{\text{hoogte}}}{\rho_{\text{zeeniveau}}} = \frac{V_{\text{zeeniveau}}^2}{V_{\text{hoogte}}^2} \quad \text{ingevuld} \quad \frac{\rho_{\text{hoogte}}}{1} = \frac{100^2}{200^2} = 0.25$$

Hieruit volgt een hoogte van 12 km

1. Welke factoren verhogen de kans op een grondzwaai na de landing?
2. Noem vier verschillende weerstanden die bij een zweefvliegtuig van toepassing zijn en verklaar hoe ze tot stand komen.
3. Wat is het verschil tussen een laminaire en een turbulente stroming?
4. Schets een C_d -diagram van een laminair profiel.
Verklaar de vorm
5. a. Waarom is de instelhoek van vleugels van veel zweefvliegtuigen bij de tip kleiner dan bij de wortel?
b. Wat wordt ook toegepast om hetzelfde effect te bereiken?
6. Waarom is het glijgetal meestal groter bij een grotere vleugelslankheid?
7. Geef de lift-formule en geef aan wat de afzonderlijke variabelen betekenen
8. Stel de overtreksnelheid van de kist waarin u vliegt is tijdens een rechte lijnige normale vlucht 80 km/h. U wilt een bocht van 60 graden helling gaan vliegen en besluit om uw snelheid te verhogen naar 110 km/h.
Is dit voldoende om uw bocht zonder overtrekken te vliegen? Verklaar uw antwoord.
9. Wat verstaan we onder het zwaartepunt van een zweefvliegtuig?
10. a. Waarom is een vliegend vliegtuig stabiel om de dwarsas (d.w.z. het stampen is gedempt).
b. Zowel de piloot als de constructeur kunnen de stabiliteit om de dwarsas beïnvloeden.
Noem tenminste drie factoren die hierop van invloed zijn.

Antwoorden aerodynamica 2007/2

- 1: Welke factoren verhogen de kans op een grondzwaai na de landing.
Staartlastig of neuslastig van het vliegtuig, Effectiviteit van het remmen met de wielrem (met name bij staartlastige vliegtuigen), stand van het hoogteroer (getrokken landing minder kans op grondzwaai), rugwind, effectiviteit rolroeren, dwarswindgevoeligheid door bijvoorbeeld groot kielvlak of hoog zwaartepunt.
- 2: Noem vier verschillende weerstanden en verklaar hoe ze tot stand komen.
Zie blz: 78

- 3: Wat is het verschil tussen een laminaire en een turbulente stroming.
Laminair glijdt in lagen over elkaar, uitsluitend viskeuze wrijving, turbulent is ook stroming dwars op algemene stroming, extra wrijving door grotere uitwisseling van impuls.
- 4: Schets een C_d - α diagram. Verklaar de vorm en de karakteristieke punten.
Zie blz 72
- 5: Waarom is de instelhoek bij veel zweefvliegtuigen bij de tip kleiner dan bij de wortel.
Om bij de tippen de draagkracht zolang mogelijk te handhaven zodat de rolbesturing effectief blijft en overtrekgedrag acceptabel.
- 5a: Wat wordt ook toegepast om hetzelfde effect te bereiken.
Een afwijkend profiel.
- 6: Waarom is het glijgetal meestal groter bij een grotere vleugelslankheid
Omdat bij lage snelheid de geïnduceerde weerstand lager is (relatief minder tip per vleugellengte), terwijl de profielweerstand bij lage snelheden niet noemenswaardig groter is.
Zie blz: 79
- 7: Geef de lift formule en geef aan wat de afzonderlijke variabelen betekenen.

$$L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho \cdot S \cdot v^2$$
Formule 3.6 blz 71
- 8: Stel de overtreksnelheid van de kist waarin u vliegt is tijdens een rechtlijnige normale vlucht 80 km/h . U wilt een bocht met een hellingshoek van 60 graden gaan vliegen en besluit uw snelheid te verhogen naar 110km/h.
 Is dit voldoende om uw bocht zonder te overtrekken te vliegen? Verklaar uw antwoord.
*Nee, de lift moet twee keer zo hoog zijn ($1/\cos 60^\circ$), daarom moet de snelheid $\sqrt{2}$ hoger zijn.
 Dit is ongeveer $80 \text{ km/h} + 33 \text{ km/h} = 113 \text{ km/h}$.*
- 9: Wat verstaan we onder het zwaartepunt van een zweefvliegtuig.
Een denkbeeldig punt waar alle massa in geconcentreerd gedacht kan worden. In de vlucht is het vliegtuig als het ware hieraan opgehangen.
- 10a: Waarom is een vliegend vliegtuig stabiel om de dwarsas (dwz stampen is gedempt).
Als de vleugel achterover kantelt schuift de lift iets naar voren. Dit geeft een moment tov zwaartepunt. De lift van het stabilo verandert ook. Deze verandering moet dusdanig zijn dat de momenttoename van de lift van het stabilo groter is dan de momenttoename van de vleugellift.
- 10b: Zowel de piloot als de constructeur kunnen de dwarsasstabiliteit beïnvloeden. Kun je tenminste drie factoren noemen die hierop van invloed zijn.
De ligging van het zwaartepunt, de lengte van de staartboom, de grootte van het stabilo.

Aerodynamica

45 min

- 1 Een zweefvliegtuig met een massa van 400 kg, vliegt een bocht met een helling van 30° . De vliegsnelheid is 72 km/h. (=20.0 m/s).
Gegeven is verder:
-sin 30° = 0.5
-cos $30^\circ = \sqrt{3}/2 = 0.866$ en
-tg $30^\circ = 1/\sqrt{3} = 0.577$ en
-g = 9.81 m/s^2
De vlieger besluit om de snelheid op te voeren naar 108 km/h. (=30.0 m/s)
 - a. Is de bochtstraal (R) groter, kleiner of gelijk gebleven? (verklaar!)
 - b. Bereken de bochtstraal (R) bij die snelheid van 108 km/h.
Als het gewicht afneemt van 400 kg naar 350 kg omdat er waterballast wordt geloosd.
 - c. Wordt dan de bochtstraal (R) groter, kleiner of gelijk dan bij 108 km /h?
NB: schrijf de uitwerking / berekening op in logische stappen.
- 2 Wanneer een vliegtuig een bocht vliegt, met een helling van φ° , dan neemt het gewicht schijnbaar toe met een bepaalde factor.
Hoe wordt deze factor ook wel genoemd?
- 3 Wat is / zijn / betekenen de volgende begrippen?
(Gebruik evt. een aanvullende tekening om zaken duidelijker weer te geven)
a-drukpunt, b-vleugel belasting, c-geïnduceerde invalshoek, d-Skeletlijn, e-Slankheid,
f-Differentiaalrolroeren, g-Indifferent, h-vloeistuk,
i-Wat is het effect van een grotere spanwijdte op de geïnduceerde weerstand
- 4 In een zweefvliegtuig kan t.g.v. de belading een voorlijk- of juist een achterlijk Z-punt ligging ontstaan.
 - a Is de Z-punt ligging van invloed op de statische langsstabiliteit, en / of de rolstabiliteit en / of de richtingstabiliteit?
 - b. En wat is dan het effect, op de (ze) stabiliteit(en) , van een voorlijke Z-puntligging?
 - c. Wat voor een problemen kun je hebben met zo'n te voorlijk Z-punt (b.v. bij een te zware passagier voorin) tijdens de landing?
- 5 Flutter kan best wel eens een probleem zijn met vliegen.
 - a. Welke methoden zijn er zoal om flutter te beïnvloeden / voorkomen?
(Noem er 5 à 6.)
- 6
 - a. Leg het grondeffect uit.
 - b. Wat is de invloed van het grondeffect op de glijhoek?
- 7 Een zweefvliegtuig wordt gesleept met een snelheid van 110 km/h. Het gewicht van het zweefvliegtuig is 600 kg.
Gegeven: het glijgetal bij die snelheid van 110 km/h is: 25
Welke trekkracht moet het motorvliegtuig op de sleepkabel uitoefenen tijdens de stationaire sleepvlucht?

Antwoorden Aero:

- 1a Groter. (Omdat de bochtstraal $R = \frac{V^2}{g \times \tan \varphi}$. V neemt toe, V^2 dus ook, dus daarom R ook.
- 1b $30.0 \times 30.0 \text{ (m/s)}^2 / (9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.577) = 159 \text{ m}$
- 1c Gelijk. (Immers de bochtstraal is afhankelijk van V en φ en niet van het gewicht)
- 2 de belastingfactor. (zie bv. blz. 87 en 91)
- 3 a-Druk punt= zie boek blz.71
b-Vleugelbelasting= zie blz. 70
c-Geïnduceerde invalshoek=zie fig. 3.37. T.g.v. van de tipwervels ontstaat er een extra neerstroming. Daardoor wordt de invalshoek op de vleugel iets verkleint.
d-skeletlijn=zie blz. 70, fig. 3.20
e-slantheid= zie blz. 73
f-differentiaalrolroeren=zie blz. 94
g-indifferent= zie blz. 97
h-vloeistuk= zie blz.78
i-een groter spanwijdte geeft een lagere geïnduceerde weerstand.
(Is dus omgekeerd evenredig met het kwadraat van de spanwijdte. (zie blz. 77))
- 4 a. de langsstabiliteit
b. dit verhoogd de stabiliteit
c. t.g.v. de voorlijke Z-punt, wil het vliegtuig enigszins duiken. Bij een lage snelheid is dan de kracht op het hoogteroer niet voldoende om de neus op te tillen. Dit is in de landing dus riskant. Er moet immers afgerond worden.
- 5 Methoden:
-massa balanceren,
-vergroten van buig- en torsie stijfheid van de vleugel, romp en stuurvlakken,
-goede massaverdeling,
-de plaatsing van evt. waterballast,
-stijve stuurstangen i.p.v. kabels,
-weinig speling in stuurorganen.
- 6 a.grondeffect: zie blz. 81
b.glijhoek wordt kleiner (beter)
- 7 Trekkraft is: $600 \text{ kg} : 25 = 24 \text{ kg}$. In de stationaire vlucht.

Vragen plus antwoorden

- 1 Definieer de volgende begrippen, eventueel met behulp van een schetsje:
-profielwelling; -vleugelslankheid; -vleugelwring; -invalshoek; -baanhoek
-instelhoek; -geïnduceerde weerstand; -standhoek; -glijhoek

Antw:

De **profielwelling** is de maximale afstand, uitgedrukt in procenten van de lengte van de koorde, tussen die koorde en de sketletlijn.

De **vleugelslankheid** is de verhouding tussen de spanwijdte en de gemiddelde koorde.

In formule: $AR \text{ (Aspect Ratio)} = \frac{b^2}{S}$, waarbij b = spanwijdte en S = vleugeloppervlak

Vleugelwring is het fenomeen dat men de instelhoek vanuit het midden van de vleugel naar de tip toe, geleidelijk laat afnemen.

De **invalshoek** is de hoek tussen de ongestoorde luchtstroming en de koorde.

De **baanhoek** is de hoek, die de baan van het vliegtuig (t.o.v. de aarde, derhalve) maakt met het aardoppervlak [deze hoek is dus afhankelijk van wind!]

De **instelhoek** is de hoek die de koorde maakt met de langsas.

De **geïnduceerde weerstand** is de weerstand die ontstaat door de neerwaartse afbuiging van de ongestoorde luchtstroming, door de vleugel. Omdat de lift loodrecht op de gemiddelde luchtstroming staat, wordt de lift dus een beetje afgebogen naar achteren, ten opzichte van de lijn die loodrecht op de inkomende, ongestoorde, luchtstroming staat. Door die lift te ontbinden, wordt de resulterende draagkracht (per definitie precies loodrecht op de inkomende luchtstroom) iets kleiner en ontstaat er bovendien een ontbondene, evenwijdig aan de inkomende luchtstroming en in achterwaartse richting. Met andere woorden: een weerstandskracht. Dit nu is de geïnduceerde weerstand, die te beschouwen is als de prijs die betaald moet worden voor het opwekken van de draagkracht.

Een iets andere wijze van formuleren:

De geïnduceerde weerstand is de extra weerstand die ontstaat omdat er achter (maar ook vóór) de vleugel sprake is van een neerwaartse stroming. Zie fig. 3.36 en 3.38 uit het boek.

Ten gevolge van de tipwervel, die een gevolg is van de eindigheid van de vleugel, neemt de geïnduceerde weerstand nog eens flink toe. Dit verklaart waarom de geïnduceerde weerstand bij een grotere spanwijdte snel minder belangrijk wordt en waarom een grote vleugelslankheid leidt tot een aanzienlijk lagere vleugelweerstand en navenant betere prestaties. En het verklaart ook het gebruik van winglets.

De **standhoek** is de hoek die de langsas maakt met het aardoppervlak.

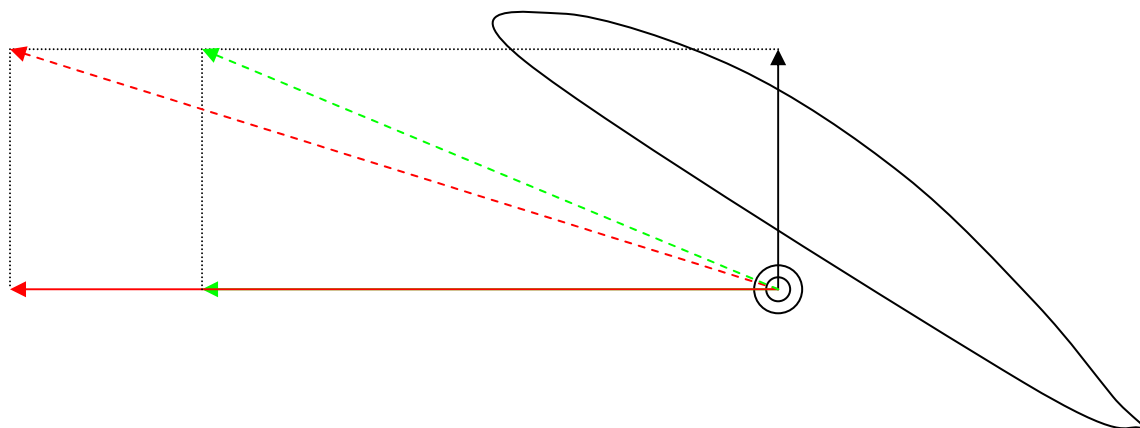
De **glijhoek** is de hoek, die het vliegtuig maakt ten opzichte van de omringende lucht. Het is dus de hoek die gedefinieerd wordt door de verhouding (tangens) van de verticale (= daal-)snelheid en de horizontale (ongeveer voorwaartse) snelheid ten opzichte van de omringende lucht. Deze hoek is uitsluitend afhankelijk van de aerodynamische eigenschappen van het vliegtuig en NIET van wind (= luchtsnelheden t.o.v. het aardoppervlak), i.t.t. de baanhoek. [Toegift: de glijhoek, d.w.z. verhouding tussen de twee snelheidscomponenten, is identiek aan de verhouding tussen L en D en uitsluitend afhankelijk van de gevlogen invalshoek. Terug te vinden in de polaire, die de relatie tussen C_L , C_D en de invalshoek beschrijft].

- 2
 - a. Indien u overtrekt in een klimmende bocht, valt uw vleugel dan weg over de hoge vleugel, of de lage vleugel?
 - b. Leg met behulp van een schets / tekening deze aerodynamische gebeurtenis uit.
 - c. Tijdens de EVO zult u o.m. de oefening “asymmetrische vertrek” demonstreren, waarbij u aanvangt met een klimmende bocht. Hierbij valt het zweefvliegtuig uiteindelijk over één vleugel weg. Over welke vleugel is dit en hoe verklaart u dit?

Antw:

- a. De hoge vleugel valt het eerste weg. De buitenvleugel (hoge vleugel) heeft een grotere voorwaartse snelheid, waardoor de invalshoek van die vleugel groter is dan die van de (lage) binnenvleugel. De hoge vleugel zal dus gaan overtrekken terwijl de lage vleugel nog lift produceert.

Voor de schets, zie figuur 1



Figuur 1

De buitenvleugel heeft een grotere voorwaartse snelheid (rode vector) dan de binnenvleugel (groene vector). Beide vleugels hebben uiteraard een even grote stijgsnelheid (zwarte vector). De resulterende baan van de buitenvleugel (gestippelde rode vector) t.o.v. de omringende lucht betekent een grotere invalshoek van die buitenvleugel. Deze vleugel zal dus het eerst

overtrekken, zodat het vliegtuig, in een klimmende bocht, over de buitenvleugel zal wegvallen.

b.

- c. Met een zweefvliegtuig is het niet mogelijk om in een *stationaire* vlucht een klimmende bocht te maken. Het is dan ook haast niet mogelijk om een zweefvliegtuig te overtrekken tijdens een klimmende bocht. Tijdens een initieel klimmende bocht loopt de snelheid eruit, vermindert de draagkracht en zal de kist uiteindelijk in een configuratie komen van een grote invalshoek, bij een *dalend* vluchtverloop. Er is dan dus sprake van een dalende bocht, waarbij een overtrek wordt bewerkstelligd. In dat geval heeft de binnenvleugel een grotere invalshoek dan de buitenvleugel en zal diens gevolg als eerste overtrekken. Het vliegtuig valt dus over de lage vleugel weg. Alleen met een *motorzwever* is het prima mogelijk om te overtrekken in een klimmende bocht. En dat zal dan, voor een “beroeps”zweefvlieger, tot een verrassend resultaat leiden. (NB: kunstzweefvliegexercises worden hier nadrukkelijk buiten beschouwing gelaten!)

- 3 a. Bewijs, door afleiding van een formule voor de belastingsfactor, dat bij het vliegen van een bocht met een helling van 30° , de belastingsfactor 1.15 bedraagt.
- b. Maak gebruik van een schets waarin de diverse krachten tot uiting komen.

Gegeven (voor vraag a en/of b): $\sin 30^\circ=0.5$, $\cos 30^\circ=0.866$ en $\tan 30^\circ=0.577$

Antw:

- 3 a. De belastingsfactor tijdens een bochtvlucht is de verhouding tussen de daadwerkelijke draagkracht, die op het vliegtuig werkt, en de “gewone” draagkracht bij een stationaire rechtlijnige vlucht met dezelfde snelheid. In een bocht moet de actuele draagkracht vergroot worden. De lift staat immers altijd loodrecht op de (van voren bekeken) vleugels en is dus in een bocht meer of minder naar het centrum van de bocht gericht. Enerzijds leidt dat tot een component L_2 die het vliegtuig in de bocht dwingt (de centripetale kracht). Anderzijds gaat dit scheef staan van de lift ten koste van de grootte van ontbondene L_1 , die echter altijd evenwicht moet blijven maken met het gewicht of nauwkeuriger gezegd: die *gelijk moet blijven aan de oorspronkelijke lift bij een rechtlijnige vlucht*.

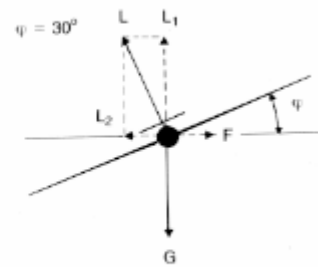
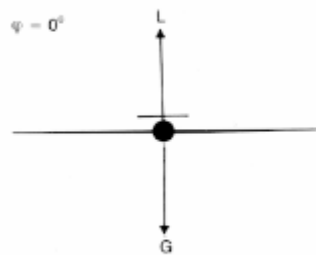
De lift L tijdens een bocht dient dus (wat) groter te worden en wel afhankelijk van de mate van dwarshelling. De verhouding tussen de *vergroete* lift bij dwarshelling φ en de *oorspronkelijke* lift bij dwarshelling “nul” is een eenvoudige goniometrische relatie en geeft tevens de belasting weer:

L is over een hoek van φ verdraaid naar het centrum van de bocht. Uit de figuur blijkt, dat de belasting nu is: $n = \frac{L}{L_1}$. Volgens de goniometrie geldt: $\cos \varphi = \frac{L_1}{L}$.

Maar als $\frac{L_1}{L} = \cos \varphi$, dan geldt: $\frac{L}{L_1} = \frac{1}{\cos \varphi}$

Dit alles betekent, dat $n = \frac{L}{L_1} = \frac{1}{\cos \varphi}$, waarbij φ de dwarshelling is. In het gevraagde geval is de belasting dus 1: 0,866 oftewel 1,15.

- 3 b. zie fig.



- 4 a. Teken een volledig belastingsdiagram
b. Geef daarin bijzondere punten aan, zoals b.v. :
- V_a
- V_{ne}
- V_{sl}

Geef er een korte verklarende tekst bij voor die bijzondere punten.

- c. Wat is de belasting die maximaal kan optreden als gevlogen wordt met 180 km/h, indien de overtreksnelheid (bij een maximale invalshoek) 60 km/h is?

Antw:

V.w.b. onderdelen a en b: zie het leerboek. Fig.3.58

(en evt.4.47, nog meer uitgewerkt)

Met als verklarende tekst, m.n: V_a is de maximale manoeuvreersnelheid; als vanuit een stationaire vlucht met die snelheid plotseling de invalshoek wordt gemaximaliseerd, dan blijft de dientengevolge optredende belasting nog juist binnen de toegestane grenzen. V_{ne} (ne = never exceed) is de snelheid die nimmer mag worden overschreden. Hierbij spelen nog andere dan dynamische belastingsfactoren een rol. Te denken valt aan o.m. de kans op flutter, de achterwaartse belasting op de vleugel door de weerstand, de grote neerwaartse belasting van de staart, etc.

V_{sl} (sl = stall), de overtreksnelheid (die plaatsvindt bij belasting $n = 1$).

- c. Conform de formule $n = \left(\frac{v}{v_{sl}} \right)^2$ kan de mogelijke belasting oplopen tot 9 g.

- 5 Er zijn hoogteroer-trimsystemen waarbij het trimvlakje automatisch beweegt als men het hoogteroer van stand verandert.
- Noem eens een paar bekende types zweefvliegtuigen die deze trim constructie hebben.
 - Hoe is die trimvlakbeweging wanneer de stuurknuppel naar achteren wordt getrokken?
 - Leg uit waarom dat zo is geconstrueerd.

Antw:

a. Ka 6, Ka 7, Ka 8 en Ka 13

b. Het trimvlakje beweegt omhoog ten opzichte van het hoogteroer.

c. Door de geselecteerde stand van het trimvlakje t.o.v. het hoogteroer is er bij één bepaalde stand van het hoogteroer een krachtenevenwicht. Dat houdt in, dat bij die specifieke trimsetting het hoogteroer die stand krachtenvrij zal handhaven. Met andere woorden: er treden geen krachten op de stuurknuppel op en voor de bij deze situatie behorende snelheid is de kist dus (stuurkrachtneutraal) afgetrimd. Bij een kleine verandering van de stand van het hoogteroer zullen er geen noemenswaardige stuurkrachten (gegenereerd door de hoogteroer/trim combinatie) optreden. Echter, als het trimvlakje, bij een geringe hoogteroeruitslag, méé gaat bewegen in dezelfde richting, dan zal dit ook bij relatief kleine hoogteroeruitslagen al gelijk resulteren in een zekere tegenwerkende stuurkracht. Met andere woorden: ook bij kleine wijzigingen rond de afgetrimde snelheid zal de vlieger dit aan de knuppel voelen. Het lijkt wel een goed afgestelde sturbekrachtiging, in tegenstelling tot een te zware sturbekrachtiging (welke leidt tot een “doods” aanvoelende besturing). Vandaar ook de benaming: servo-trim; dit type trim leidt immers tot een effect van (correct) bekrachtigde/ondersteunde besturing. Dit i.t.t. een “vast” trimvlak (zoals o.a. bij de motorzwever “Falke” en, voor de kenners van oldtimers, de Slingsby Skylark), dat weliswaar aftrimmen mogelijk maakt, maar rond dit aftrimpunt de besturing wat vaag laat aanvoelen.

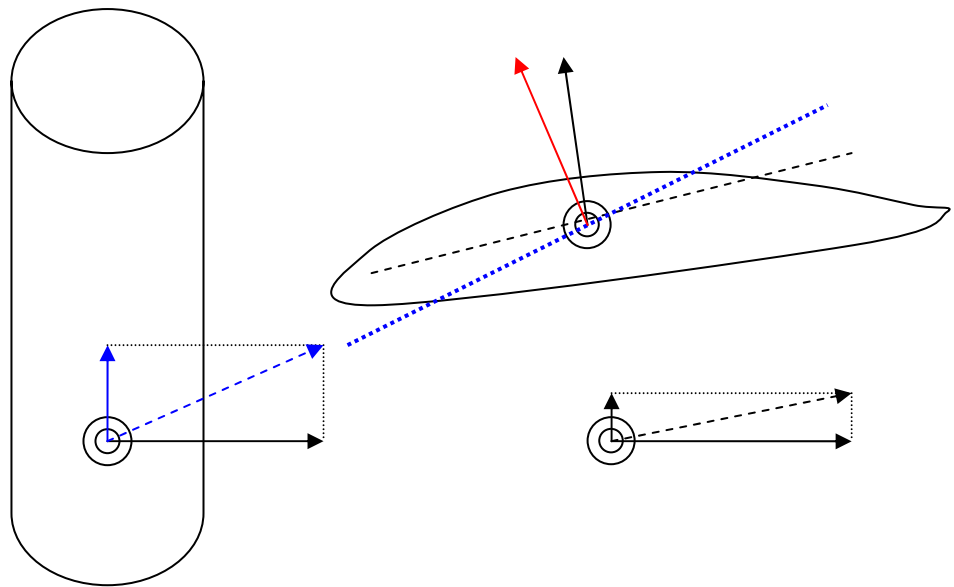
- 6
- Wat gebeurt er met de vliegsnelheid van b.v. 90 km/h indien een stijgwind gebied wordt ingevlogen?
 - Wat gebeurt er dan met de invalshoek?
 - Leg dit alles uit met een duidelijke tekening.

Antw:

a. De snelheid loopt kortdurend op.

b. De invalshoek neemt kortdurend toe.

c. Zie schets hieronder , of fig 3.59 uit het boek



In ongestoorde lucht levert de baan van het zweefvliegtuig een zekere inkomende luchtstroom op met bijbehorende invalshoek (zwarte gestippelde vector, rechts onder in de figuur). Bij het binnenvliegen van een thermiekbil blijft de baan in horizontaal opzicht gelijk. De luchtdeeltjes bewegen nu echter met een veel hogere *verticale* snelheid. De resulterende nieuwe baan (blauw gestippelde vector) leidt dus tot een marginaal hogere snelheid maar tegelijk tot een aanzienlijk grotere invalshoek. Rechts boven in de figuur is te zien, dat e.e.a. leidt tot een vergroting van de draagkracht (rode vector) die bovendien meer naar voren is gericht. Het resultaat is een acceleratie naar schuin vóór, m.a.w. de (voorwaartse) vliegsnelheid loopt op en de vlieger ervaart dat hij wordt opgetild. Zelfs is het niet uitgesloten (als met een grote invalshoek werd gevlogen) dat het zweefvliegtuig ineens overtrekt. De vlieger ervaart dan iets anders.

Instructeursexamen Zweefvliegen

14-2-2009

Aerodynamica

45 minuten

1.
 - a. Noem drie kenmerken die de werking van een kracht op een lichaam bepalen.
 - b. Wat is in het SI-systeem de eenheid van kracht? En wat is de eenheid van druk?
 - c. Als lucht om een voorwerp heen stroomt, welke krachten oefent de lucht dan op een deel van het oppervlak van dat voorwerp uit?
2. Geef de definitie van wrijvingsweerstand, profielweerstand, schadelijke weerstand en interferentieweerstand.
3.
 - a. Veel leerlingen hebben te weinig dwarshelling bij hun bocht naar final.
Hoe komt dat?
 - b. Leg in detail uit wat de risico's van een dergelijke bocht zijn.
 - c. Wat instrueert u de leerling om voortaan te doen?
4. Leg uit wat de functie van een zig-zag strip op de vleugel is.
5. U bent geland met relatief sterke zijwind. Hoe handelt u tijdens de uitloop en hoe legt u dat uit aan Uw leerling?
6. Leg uit met behulp van een vectordiagram waarom de overtreksnelheid in de bocht toeneemt. Gebruik hierbij de liftformule.

Antwoorden Instructeurs-examen Aerodynamica 14-2-2009

- 1a. Noem de drie kenmerken die de werking van een kracht op een lichaam bepalen.
De grootte van de kracht. De richting van de kracht. De lijn waarlangs de kracht werkt.
- 1b. Wat is in het SI stelsel de eenheid van kracht? En van druk?
De Newton. De Pascal.
- 1c. Als lucht om een voorwerp heen stroomt, welke krachten oefent de lucht dan op een deel van het oppervlak van dat voorwerp uit?
Twee krachten: Eén loodrecht op het oppervlak: een drukkracht. En één langs het oppervlak: een wrijvingskracht.
2. Geef de definitie van wrijvingsweerstand, profielweerstand, schadelijke weerstand, interferentieweerstand.
De wrijvingsweerstand is de kracht die een lichaam in een stroming ondervindt ten gevolge van de wrijving van de lucht langs het oppervlak van dat lichaam.
De profielweerstand is de totale weerstand die een vleugelprofiel in een luchtstroom ondervindt ten gevolge van de wrijvingsweerstand enerzijds en de drukweerstand anderzijds.
De schadelijke weerstand is de weerstand van alle delen van een vliegtuig behalve de weerstand van de vleugel.
De interferentieweerstand is de extra weerstand die ontstaat wanneer verschillende (weerstand leverende) onderdelen elkaars omstroming op een negatieve wijze beïnvloeden.
- 3 a. Veel leerlingen hebben te weinig dwarshelling bij hun bocht naar final toe. Hoe komt dat?

Hier zijn meerdere oorzaken voor. De meeste hebben meer te maken met “luchtvaartpsychologie” dan met aerodynamica. Hoewel het correcte antwoord dus wat buiten de examenstof van de aerodynamica valt (en ook niet wordt meegerekend!) is het toch te belangrijk om hier niet vermeld te worden. Dus voorafgaande aan het “examen antwoord” dus eerst wat luchtvaartfysiologische achtergronden:

Het is goed om vooraf op te merken dat er (voor de zintuiglijke ervaring) grote verschillen zijn tussen het vliegen op wat grotere hoogte (waar “het bovenwerk” wordt geoefend) en het vliegen (relatief) laag bij de grond. Bij het bovenwerk leert de cursist dat hij zijn vliegtuig gaat beheersen als hij dat vliegtuig steeds de gewenste stand in de ruimte laat aannemen. Zijn referentie daarbij is de stand ten opzichte van de horizon. Met die stand controleert hij zowel de koers als de snelheid. Hulp-instrumenten daarbij zijn o.m. de snelheidsmeter en het piefje. Qua gevoel EN qua visuele indrukken STAAT HIJ STIL. Hij heeft geen enkele clue van zijn werkelijke snelheid ten opzicht van de aarde en zijn werkelijke mate van dwarshelling (Die VOEL je niet. Die WEET je. En wat je verstand en je ogen

zeggen, dat GA je VOELLEN. Je evenwichtszin is daarbij volstrekt onbetrouwbaar.

Je voelt datgene wat je ogen je vertellen wat je zou moeten voelen).

Laag bij de grond (maar al duidelijk waarneembaar vanaf het begin van het circuitvliegen) krijgen we ineens te maken met een nieuwe, extra, visuele “input”: we worden ons ineens bewust van onze snelheid, want we registreren nu de beweging van het vliegtuig tegenover de knap nabij gekomen aarde. Ook zien we (?) hoe onze koers wordt verstoord bij crosswind. Nu pas ervaren we onze dwarshelling als (eng) scheefhangen, waar we eerst werden afgeleid door het proberen de horizon mooi gelijkmatig scheef te houden én het draadje mooi in het midden te houden. Toen was het een steriele les bochtenvliegen. Nu zien we dat we akelig scheefhangend op moeder aarde afscheren. En snel! Dat er zoiets bestaat als een bochtstraal en dat het RUIMTE vergt om op de juiste eindkoers (final) te komen, kon bovenin niet geoefend worden. En waar precies je bocht naar het dwarswindbeen UITKWAM kan eigenlijk niet zo erg boeien (nou, dan wordt je final zo’n zestig meter langer. No big deal. Maar zestig meter NAAST de landingslappen uitkomen, da’s andere koek).

Kortom: De leerling raakt gespannen als hij – zoals te verwachten was – **te laat** beginnend aan zijn beroemde final turn met (te) **weinig** dwarshelling ziet, dat hij ver naast het geplande landingsveldje zal gaan uitkomen en daarbij, verergerd door de nieuwe sensatie van snelheid, het gevoel krijgt TIJD tekort te hebben om de bocht goed te kunnen beëindigen. Dat hij gewoon te laat begonnen was met het INZETTEN heeft hij nooit geweten. En scheefhangen op lagere hoogte, met **snelheid** en een snel verslechterend vooruitzicht om nog in de buurt van de gewenste landingsplaats te kunnen sturen is toch slecht voor iemands gemoedsrust...

En dan nu het antwoord zoals we dat van onze kandidaten verwachten:

De voornaamste oorzaak waardoor leerlingen met te weinig dwarshelling hun final turn inzetten is enerzijds het gevolg van het feit dat het vliegen op relatief lage hoogte leidt tot een extra (mentale) belasting. Nieuwe visuele aspecten werken verstoring op het plaatje Neus-Horizon-Snelheid-Helling en het tamelijk abrupt ervaren gevoel van een toch wel hoge (grond!)snelheid leiden tot een zekere psychische druk die het aannemen van een redelijke dwarshelling behoorlijk in de weg kan staan. Het ziet er, laag gekomen, allemaal ineens een stuk enger uit. Om het woord angst maar niet in de mond te nemen. Anderzijds is er het misplaatste vertrouwen dat die geringe dwarshelling toch wel voldoende zal zijn om mooi voor het landingsveld uit te kunnen komen (met elke dwarshelling kom je ALTIJD 360⁰ rond...); hij heeft zich nooit gerealiseerd dat hij RUIMTE nodig heeft voor het maken van een kwart cirkel en omdat het veld nog relatief ver weg is, is dat ook heel lastig om te kunnen inzien en inschatten.

- b. Leg in detail uit wat de risico's van een dergelijke bocht zijn. Aerodynamisch gezien zijn de volgende risico's aanwezig: bij een schuivende bocht is er sprake van te weinig voetenstuur en te veel afsteunen met het rolroer. Daarbij is het binnenrolroer naar beneden uitgeslagen wat zeer ongunstig is,

aangezien deze vleugel ook al de grootste invalshoek heeft. De overtrekmarge wordt hier verkleind. Daarnaast wijst de rompneus naar de binnenzijde van de bocht en wordt dus niet meer recht aangestroomd, waardoor de stroming langs de rompneus aan de binnenkant van de bocht verslechterd wordt. Deze stroming spoelt over de vleugel wat leidt tot een verslechtering van de omstroming nabij de vleugelwortel, opnieuw voor de binnenvleugel. Ook dit vermindert de overtrekmarge.

Daarnaast zijn er de genoemde psychologische effecten: daardoor krijgt de leerling het gevoel, tijd tekort te komen. Hij begint achter de feiten aan te lopen en denkt onwillekeurig dat e.e.a. ook te maken heeft met die hoge (grond)snelheid. Hij zal niet snel op het idee komen om zijn dwarshelling fors te vergroten en ook niet op de gedachte komen om een S- bocht te gaan maken. Hij komt in alle opzichten in tijdnood en gaat primitief reageren.

In concreto gaat hij de kist met zijn voetenstuur in de gewenste neusstand (helaas niet hetzelfde als vliegbaan...) drukken. Hij vergeet zijn coördinatie-opdracht en verandert niets aan zijn dwarshelling, maar gaat over in een schuivende bocht. Daarmee lijkt – zeer tijdelijk – het probleem voor hem bezworen. We weten, dat met name een schuivende bocht berucht is vanwege het feit, dat er in die bocht een relatief lage neusstand is, die op zijn beurt de vlieger weer de **illusie** bezorgt van een veilige (neuslage!) stand **van het hele vliegtuig**. En omdat onze leerling toch al een toenemend gevoel krijgt van (hoge) snelheid én hij tijd tekort heeft, is de kans levensgroot dat hij onbewust nog gaat trekken óók! Van het checken van een piefje, laat staan een snelheidsmeter, zal echt niets meer komen. Tot zover de diepere achtergronden.

Samenvattend, wat we van u, de examinandus, willen horen:

We komen dus “als vanzelf” in de volgende configuratie: lage hoogte, geringe snelheid, ongecoördineerde (schuivende!) bocht met daaruit voortvloeiend gereduceerde overtrekmarges op de binnenvleugel door een meer naar beneden uitgeslagen binnenrolroer en een naar scheef aangestroomde rompneus. Voorts een, “verminderd toerekeningsvatbare” (want mentaal overbelaste en gespannen) vlieger. Nog maar even een spuugje aan de knuppel getrokken en de beroemde “floeprool” (het begin van een vrilleslag) is een feit en het leed niet meer te overzien. Een van de meest beruchte situaties en niet alleen in de EVO instructie maar bijvoorbeeld ook in kritische buitenlandingssituaties!

- c. Wat instrueert u de leerling om voortaan te doen?
1. Laat je niet afleiden/verrassen door het fenomeen dat je, laag gekomen, last krijgt van nieuwe sensaties van beweging en snelheid. Een zuivere bocht op lage hoogte gevlogen (bijvoorbeeld na een kabelbreuk!) wordt door de beginnende vlieger totaal anders ervaren dan dezelfde bocht, 200 meter hoger. Wapen je daar mentaal tegen en realiseer je, dat je vooral **zuivere** bochten moet vliegen. Wát je ook aan raars om je heen ziet bewegen als je om je heen kijkt tijdens het vliegen van die bocht. Je piefje is je gids. Hou die in het midden. Met je dwarshelling bepaal je de straal van de bocht en waar je naar toe gaat. Met je voeten **STUUR JE NIET!** Je houdt er **ALLEEN** het piefje mee in het midden.
 2. Realiseer je, dat je **vroegtijdig** moet beginnen met het inzetten van je final turn. Een kwart cirkel verplaatst je nog een heel eind in de richting waaruit je

kwam (dwarswindbeen) en dus naar een punt NAAST de plek waar je wilt landen. Zet gelijk een “gezonde, sportieve” dwarshelling in (Piefje!) en doe dat liever iets te vroeg op dwarswind dan iets te laat. Als je tijdens het maken van die bocht ziet, dat je misschien toch iets te vroeg was begonnen, dan neem je gewoon wat dwarshelling terug. Een bocht hoeft niet “AAN” of “UIT” gevlogen te worden... [Leg dit voor de vlucht uit m.b.v. een simpel schetsje. Leer ze te denken in termen van “oplijnen” vanuit de “extended centerline”= twee referentiepunten!!!]. Blijf voor de feiten uitlopen i.p.v. ze jou te laten inhalen.

3. Realiseer je ook, dat je, eenmaal zo laag gekomen, nu een nieuwe en ongewenste visuele prikkel krijgt in relatie tot je “snelheid”. Dat je ineens de sensatie van een hoge **grondsnelheid** krijgt is op zichzelf niet onjuist, maar als (je gemoedsrust) *verstorende* sensatie wel uiterst ongewenst. Het enige dat er echt toe doet is immers onze **luchtsnelheid**! Het kan niet bommen hoe snel we naar moeder aarde aan het terugkeren zijn. Als mijn luchtsnelheid (vliegsnelheid) te laag wordt, dan gaat die terugkeer nog véél sneller en wordt de klap ook véél harder. Hoe langzamer gevlogen, hoe sneller de dreun komt. Denk daar maar eens over na. Check je piefje, je neusstand, je snelheidsmeter.
4. Leg uit wat de functie van een zig-zag strip op de vleugel is.

Deze beïnvloedt de plaats, waar de laminaire grenslaag overgaat in een turbulente grenslaag. Deze laatste heeft weliswaar een grotere wrijvingsweerstand dan een laminaire stroming, maar leidt, afhankelijk van de plaats van het omslagpunt, tot een gunstiger. De zig-zag strip forceert de overgang op de aerodynamisch meest gunstige plaats. In zijn totaliteit wordt bij gelijkblijvende lift, de vleugelweerstand iets lager en daarmee de glijhoek iets beter.

5. U bent geland met relatief sterke zijwind. Hoe handelt u tijdens de uitloop en hoe legt u dat aan uw leerling uit?

Ik houd, vanaf het afronden, de tip aan de windzijde wat lager. Tijdens de uitloop zorg ik dat de knuppel maximaal getrokken blijft zodat de staart stevig aan de grond wordt gedrukt. Tijdens het laatste deel van de uitloop houd ik er rekening mee dat de kist naar de windzijde kan uitbreken. Ik leg uit wat het weerhaan effect ook al weer is. (Ik roep eerst de les in herinnering die ging over neveneffecten. Daarbij werd het **weerhaaneffect** voor het eerst genoemd als oorzaak van het in de wind draaien van de neus, als de wind niet recht van voren komt). Zo nodig herhaal ik nu het verhaal van het weerhaaneffect: Stel dat de wind van links komt. Die wind blaast dan van links tegen het kielvlak, dat daardoor net zo ver naar rechts wil verplaatsen totdat het weer fraai in de wind ligt. Daarvoor zal het vliegtuig om zijn zwaartepunt heen en dus met de neus naar links, in de richting van de wind moeten draaien. Zoals het weerhaantje op de toren zich richt met de kop in de wind, zo doet ons zweefvliegtuig dat ook in de lucht. (het neveneffect). Dat is een nuttige eigenschap en maakt dat het vliegtuig *uit zichzelf* netjes zuiver, **gecoördineerd**, wil vliegen. In de uitloop van de landing, met dwarswind van

links, zal ook nu weer het kielvlak een kracht ondervinden die het naar rechts wil doen verplaatsen. Het vliegtuig rolt over zijn hoofdwiel en zal dus de neiging krijgen om, met dat wiel als draaipunt, zijn neus in de richting van de wind te draaien. Wat daaraan hindert is het feit dat ik de staart stevig aan de grond gedrukt houd (vol getrokken knuppel/hogteroer) en de mogelijkheid om tegenstuur te geven met het richtingsroer. Afhankelijk van de ligging van het zwaartepunt ten opzichte van het hoofdwiel kan er een moment komen dat de staart los komt van de grond (afgenomen effectiviteit van hogteroer) en zo geen belemmering meer vormt voor het weerhaaneffect. De eveneens afgenomen effectiviteit van het richtingsroer kan dan ook geen weerstand meer bieden aan het weerhaaneffect. Dat ik al die tijd probeer om de linkertip wat lager te houden spreekt voor zich. De uitleg daarvan valt onder de theorie van het opsturen in start en landing.

6. Leg uit met behulp van een vectordiagram waarom de overtreksnelheid in een bocht toeneemt. Gebruik hierbij de liftformule.

Zie het diagram in het leerboek. De resulterende opwaartse luchtkracht, die bij een rechtlijnige vlucht evenwicht moet maken met het gewicht, staat nu scheef. Een deel van die kracht wordt gebruikt om het vliegtuig in de bocht te houden en een deel om, nog steeds, evenwicht te maken met het gewicht. Voor een stationaire situatie is het dus nodig, dat de resulterende opwaartse luchtkracht (die altijd loodrecht op het vleugeloppervlak staat) **groter** is dan bij een rechtlijnige vlucht. Uit de Liftformule blijkt, dat de draagkracht (dus ook de resulterende opwaartse kracht) onder overigens gelijke omstandigheden, afhankelijk is van de invalshoek en van de snelheid. Als er wordt gevlogen met de maximaal mogelijke invalshoek, dan past daar een minimaal mogelijke snelheid (de overtreksnelheid) bij. Aangezien in een bocht, de te leveren draagkracht groter moet zijn onder overigens gelijke omstandigheden, dan moet die vergroting uit de lengte of uit de breedte komen. Als de invalshoek al maximaal is, dan kan die toename dus alleen maar te realiseren zijn door een hogere snelheid. Bij dezelfde invalshoek en tegelijkertijd een hogere snelheid, kan de bocht gevlogen worden. Dit is een andere manier om te zeggen dat bij dezelfde maximale invalshoek een grotere minimale snelheid nodig is oftewel dat bij dezelfde maximale invalshoek een hogere overtreksnelheid hoort. Deze laatste zin inkorten, en er staat dat de overtreksnelheid hoger is geworden...

1. Geef een definitie van de volgende begrippen:
 - a. Profielwielving
 - b. Koorde
 - c. Spanwijdte
 - d. Vleugelslankheid
 - e. Wrong
2. Van welke factoren is de straal van een bocht afhankelijk?
Welke heeft normaliter de grootste invloed?
3. Zweefvliegtuigen hebben wel een trimrichting t.b.v. de langsbesturing, maar niet t.b.v. de richtings- en dwarsbesturing. Waarom is dat zo?
4. Welke van de volgende kenmerken hebben betrekking op een schuivende bocht:
 - a. Te weinig voeten en de binnenvleugel kan wegvallen.
 - b. Te weinig voeten en de buitenvleugel kan wegvallen.
 - c. Te veel voeten en de binnenvleugel kan wegvallen.
 - d. Te veel voeten en de buitenvleugel kan wegvallen.Verklaar uw antwoord.
5. Op het laatste gedeelte van final wordt u ineens pijnlijk geconfronteerd met een duidelijke snelheidsafname t.g.v. een blijkbaar wel heel forse windgradiënt. De eindnadering vindt plaats over lage begroeiing (struikgewas en heide), die zich vrijwel tot aan de drempel van het landingsterrein uitstrekt. U heeft dus een probleem.
Hoe lost u dit (veilig) op?
Het betrof een invliegstart op minder bekend terrein, tijdens een clubkamp. Het waait dus eigenlijk toch wel flink.
Hoe brieft u de solist die u voldoende bekwaam acht om nu te gaan vliegen?
6. Toon met behulp van een formule aan dat een zweefvliegtuig bij een lage snelheid nooit overbelast kan worden t.g.v. plotseling heftig trekken aan de stuurknuppel, terwijl dit bij hogere snelheden (ook als die ruim onder V_{ne} liggen) wel degelijk kan gebeuren.
Hoe wordt de snelheid genoemd/gedefinieerd, waarbij u die manoeuvre volgens het handboek nog juist veilig kunt uitvoeren?
Is dat ook echt veilig?

1. Een oudere prestatiekist kan als het matig weer is nog redelijk meekomen, maar verliest terrein als het heel goed weer is en er echt hard kan worden gevlogen. Verklaar dit, vanuit de ontwikkeling van kennis en techniek en de effecten daarvan op constructies en (dus) aerodynamische eigenschappen. Behandel hierbij profielvorm, vleugelbelasting, spanwijdte en tipvorm. In de polaire ziet men de sterk verbeterde eigenschappen bij m.n. hoge snelheden terug. Waaraan dan wel?
2. Bij het cirkelen in thermiek kom je soms vreemde vogels tegen. Zoals een parapente of een hangglider. Hoe zit dat eigenlijk met de draaicirkel (bochtstraal) van al die vliegeniers, mede in relatie tot hun gewicht en hun vliegsnelheid. Concreet: Wat is het effect van dwarshelling, gewicht en snelheid op de bochtstraal? Ga er daarbij vanuit, dat de dwarshelling van al die luchtvaarders tussen 30° en 50° zal bedragen. Welke medegebruikers zullen de meeste aandacht van je vragen? Waarom?
3. Je hebt na een kabelbreuk hersteld en vliegt nu op circa 40 meter; hoe bereik je een veilige landingsplek? Welke afstanden kun je eigenlijk nog vliegen? En kun je nog (veilig) een 360° bocht maken? En een 180°? Geef redeneringen voor verschillende situaties en voor een ASK 13 en een Duo Discus.
4. De aerodynamische prestaties zijn niet alleen afhankelijk van het vliegtuig, maar ook van de atmosferische omstandigheden. Van welke dan wel? Leg dit uit. Geef een definitie van het begrip standaardatmosfeer en noem de waarden van de daarin aangenomen grootheden. Wat houdt deze kennis concreet voor u in als u met een zelfstarter op grote hoogte op een warme dag wilt starten? Denk daarbij aan de prestaties van het vliegtuig, de motor én de propeller.
5. Opsturen tijdens een lierstart doe je niet alleen om recht boven de lier uit te komen, maar ook om de kabel + parachute niet al te ver uit de lierbaan te laten vallen. Nadat op een dag met forse crosswind, de chute regelmatig wel érg ver weggewaaid is, roept u de menigte bijeen voor een extra aanwijzing, die u eigenlijk bij de dagelijkse briefing had moeten geven (...). Uitgaande van een dwarswindcomponent van 15 km/h, rekent u de goegemeente even voor, hoever een kist zal afdrijven als men totaal niet opstuurt. Ook becijfert u nog even, hoe ver de kabelchute nóg verder zal verleieren tijdens het terugvallen naar moeder aarde. Nadat men onder de indruk is gekomen van uw rekenkundig genie, vertelt u, hoe er precies opgestuurd moet worden en wat de “target” van dat opsturen moet zijn.
Beschrijf kort, hoe uw geïnspireerde speciale briefing eruit ziet.

1. Geef in een schets van een polaire aan hoe deze verandert door het gebruik van waterballast.
Hoe verandert de minimum daalsnelheid en hoe verandert de beste glijhoek?
Wanneer zou je waterballast toepassen en waarom?
2. Een leerling wil graag van de LS-4 naar de LS-6. Het wordt zijn eerste vlucht op een kist met flaps.
Geef een korte weergave van:
 - * de eisen die je stelt aan de conversie
 - * de theoretische aspecten van het vliegen met flaps
 - * de risico's van de flaps.
3. Wat is een overtrek?
Beschrijf in een $CL-\alpha$ grafiek wat er gebeurt met de lift bij een overtrek.
4. Wat is een vrille (of tolvlucht)?
Waarom wordt ook wel van autorotatie gesproken?
Wanneer bestaat het risico op een onbedoelde tolvlucht?
De meeste vliegtuigtypen die wij kennen zijn goedaardig. Kent u typen die gemakkelijk tollen?
Hoe komt u achter de herstelmethode van een bepaald type?
5. U bent met uw club op vakantie in het buitenland, als er ineens golf blijkt te staan.
Geef een uitleg t.b.v. uw pupillen over waarop zij bedacht moeten zijn wanneer zij op grote hoogte komen.
Bespreek: temperatuur, hoogteaanwijzing, snelheidsaanwijzing, snel dalen.
6. Bij harde wind recht van voren moet u in de lierstart op lage hoogte rekening houden met de windgradient.
Wat is windgradient?
Hoe beïnvloedt dit de lierstart?
Geeft dit een extra risico t.o.v. een lierstart met weinig wind?

Antwoorden Aero 16-10-2010

1. De polaire heeft de volgende karakteristieke punten: Minimumdaalsnelheid, overtreksnelheid en beste glijhoek. De eerste twee worden hoger, de derde blijft gelijk door het gebruik van waterballast.

De stijgsnelheid in thermiek neemt af (door een verhoogde minimumdaalsnelheid en doordat de bochtstraal groter moet worden). Je kunt ook zeggen: door het grotere gewicht moet de thermiekbekkel meer arbeid verrichten om je op hoogte te krijgen. De snelheid tussen de bellen bij gelijke glijhoek wordt groter. De mechanica is te verklaren met de zware en lichte fietser op een helling: de zwaardere fiets krijgt de grootste snelheid. Bij sterke thermiek is het effect van langzamer klimmen kleiner dan het effect van sneller steken.

2. Conversie: de leerling moet de tijd hebben om:

Het vliegtuighandboek geheel door te nemen en de opvallende punten te bespreken met u of met een ervaren vlieger op het type;

Zich comfortabel te nestelen in de cockpit en te zorgen voor een goede ligging van het zwaartepunt;

De typische snelheden per flapstand uit zijn hoofd te leren.

Theoretische aspecten:

Flaps worden gebruikt om de welving van het profiel te wijzigen. Daardoor heeft iedere flapstand een eigen polaire. Positieve flapstanden zijn goed voor lage snelheden (lage minimumdaalsnelheid) negatieve flapstanden zijn goed voor hogere snelheden, de glijhoek wordt beter dan zonder gebruik van flaps.

Bij positieve klepstanden wordt eerder de maximale lift gehaald, daarom wordt de VNE verlaagd bij positieve standen (Aangegeven met een witte boog in de snelheidsmeter)

Doordat met de verandering van de flapstand ook de instelhoek van de vleugel verandert, heeft een vliegtuig met flaps veel minder lage neusstand bij hoge snelheden.

Door verschuiven van de liftvector over het profiel, vooral bij positieve flapstanden, verloopt de trimming bij verandering van de flapstand. Vaak wordt de trim ook bediend door de flaphandel te bewegen. Op die veranderende trim moet worden gelet.

De snelheid waarop van flapstand veranderd moet worden is gewichtsafhankelijk, maar staat in het vlieghandboek beschreven. (Alle flappolaires krijgen een beste glijhoek bij een hogere snelheid; zie vraag 1)

De risico's:

Negatieve flapstanden: de overtreksnelheid komt hoger te liggen. Bij het vergeten van de flapselectie bij reductie van de snelheid kan dit onverwacht te vroeg avertrekken veroorzaken (in thermiek of in de landing)

Positieve flapstanden: Bij het slechteren van positieve flapstanden kan het vliegtuig makkelijk overbelast worden als dit bij te hoge snelheden gebeurt. In het vlieghandboek staan ook maximale snelheden aangegeven.

Een extra handel vlak bij de klephandel heeft het risico van verwisseling. De vlieger moet weten welke handel hij beetpakt.

Bij positieve flapstanden neemt ook de weerstand toe. Onvoorbereid zijn op trimwisseling en hoge weerstand bij de selectie van de L stand vlak voor de landing, heeft menigeen in problemen gebracht. Voorzichtigheid met late veranderingen van configuratie en

improvisaties (uitwijken) is geboden.

3. Het loslaten van de stroming bij grote invalshoek waardoor de lift kleiner wordt dan het gewicht. De draagkracht is dan dus onvoldoende. In de $CL-\alpha$ grafiek wordt de liftcoëfficiënt boven een maximale invalshoek kleiner in plaats van groter.

4. Een vrille is een situatie, waarin één vleugel overtrokken is en de andere niet. Door het grote verschil in lift tussen de beide vleugels ontstaat een draaiende beweging om top en langsas.

Deze beweging is stabiel en kan zich doorzetten tot de grond.

Het risico hierop doet zich voor als de symmetrie in de luchtkrachten verstoord raakt: dat kan zijn in een slecht gecoördineerde bocht met te lage snelheid, door hevige turbulentie, b.v. in de bergen, door te lage snelheid in kritische situaties.

De meeste gangbare typen zijn moeilijk in tolvlucht te brengen. Sommige Poolse typen (Puchasz) doen het wel gemakkelijk. Het vlieghandboek vermeldt de methode om een vrille te herstellen, zoals de fabrikant dat heeft onderzocht.

5. Temperatuur: de temperatuur kan in vreemde oorden en in zomer of winter nogal afwijken van hetgeen wij gewend zijn. Denk bij temperatuur van ver onder nul aan ijsvorming (waterballast tijdig lozen), condensvorming of rijp door adem in de kap, ijsvorming buiten bij remkleppen of stuurvlakken. Bij hoge temperaturen vliegen we hoger dan de hoogtemeter aangeeft. Dat komt door de afwijking van de standaard atmosfeer. De snelheid op grote hoogte wordt lager aangegeven dan de werkelijkheid, door de geringere luchtdichtheid. Fluttergedrag van het vliegtuig is afhankelijk van de werkelijke luchtsnelheid. Bij typen die hiervoor gevoelig zijn, dient men zich dus van het verschil tussen aangegeven en werkelijke snelheid zeer bewust te zijn.

Soms kan het nodig zijn snel hoogte te verliezen. Wanneer grote hoogten worden gehaald, is het nuttig hiermee te rekenen. De remkleppen zijn bij moderne vliegtuigen gedimensioneerd op een daalhoek van 45 graden, zonder dat de V_{ne} wordt overschreden. Ook hier is het verschil tussen aangegeven en werkelijke snelheid van belang.

6. Windgradient is het scherp toenemen van de windsnelheid met de hoogte. Bij harde wind treedt dit altijd op met vlak bij de grond, omdat de onderste luchtlagen afgeremd worden door wrijving.

Bij de start zal de luchtsnelheid in het begin bij het stijgen door de windgradient plotseling sterk toenemen. Het gevolg is dat plotseling op lage hoogte met een te hoge liersnelheid gevlogen wordt, afhankelijk van het vliegtuig gecombineerd met een spontaan hogere neusstand. U kunt dit ondervangen door initieel vlakker weg te gaan dan u normaal zou doen.

1. Wat is het gevaar van overmatig trekken in de start?
 - Bespreek de fasen in de start: aanrollen, loskomen, veilige hoogte
 - Bespreek het verschil tussen lier- en sleepstart.
 - Bespreek het risico op kabelbreuk en overtrek.
2. Wat is het kritische ogenblik bij een hakende tip in hoog gras?
Waarom is dat zo?
Hoe wapent u uw leerling tegen dit risico?
3. Wat gebeurt er met de glijhoek als er (veel) waterballast wordt meegenomen?
Of als er sterke tegenwind is?
Verklaar de antwoorden.
4. Elke vlucht met een vliegtuig begint met het bepalen van de zwaartepuntsligging.
Hoe doen we dat en welke invloeden zijn daarop?
Bespreek:
 - Soorten ballast
 - Invloed vliegergewicht
 - Invloed tweede zitplaatsAls je de belading of ballast niet weet, hoe kom je daar dan achter?
Mogen de ballasttanks van een kist, waar waterballast in kan, geheel worden gevuld?
5. Wat versta je onder de baanhoek van een zweefvliegtuig?
En wat onder de glijhoek?
6. Vergelijk een vogel met een zweefvliegtuig.
Waarom kan een vogel in de thermiek goed met een zweefvliegtuig meeklimmen?
Waarom is een zweefvliegtuig in het voordeel als hoogte in snelheid en afstand wordt omgezet?
7. Geef de reden waarom opsturen aan de lier pas effectief wordt door ook helling te geven.
8. Waarom kan bij een prille leerling, bij stevige wind en verwaaide thermiek, het “Jan Daalwind” -effect optreden?
Hoe bereid je de leerling hierop voor?

Antwoorden Aerodynamica 12 februari 2011

1. Bij het aanrollen is de constructie van het onderstel bepalend voor de mogelijke invalshoek van de stroming. De invloed hierop met de knuppel is beperkt, maar wel van belang. Door te trekken kan het staartwiel tegen de grond worden gedrukt en een golfje in het startterrein kan dan een invalshoekvergroting tot gevolg hebben, waardoor je ineens vliegt. Door te drukken kan dit effect worden tegengegaan, maar bij veel vliegtuigen levert dit een negatieve invalshoek op, waardoor het loskomen sterk wordt bemoeilijkt of onmogelijk wordt, ook bij voldoende snelheid.

Daarom is het wenselijk het hoogteroer neutraal te houden. Het gaat om de overgang van rollen naar vliegen; daarbij is voldoende snelheid van belang, zodat je ook echt kunt sturen als dat nodig is door b.v. een kabelbreuk.

Lierstart

Bij het loskomen speelt het koppel als gevolg van de onder het zwaartepunt aangrijpende kabelkracht een zeer belangrijke rol. Factoren als windsnelheid, zwaartepuntsligging, belading, “acceleratie-geweld” e.d., maken dat het zweefvliegtuig in meer of mindere mate een staartlastig moment zal ondervinden. Als de vlieger daarbij ook nog met getrokken knuppel zit, is het risico van een ongewild veel te steile klimstand vlak bij de grond te groot. De vlieger dient juist in deze fase uiterst alert te zijn op een ongewenst snelle rotatie en die in de kiem te kunnen smoren door snel gepaste druk op het hoogteroer toe te passen. Een tweede reden om bij het begin van de lierstart de knuppel neutraal te hebben!

Voor de eerste 50 meter geldt het belang van een geleidelijke rotatie. Dit betekent dat het vliegtuig geleidelijk naar de ideale klimstand wordt gebracht, als tenminste de liersnelheid dit toelaat (voldoende is). In deze fase is er een zekere relatie tussen de hoogte, de snelheid en de vliegtuigstand, die bepaalt of bij een onverhoopt wegvallen van het liervermogen, nog een veilige correctie middels bijdrukken kan worden gegarandeerd. Deze fase is veruit de meest kritische – lees gevaarlijke – van de gehele lierstart. Als het gaat om de stand van het hoogteroer (vanzelfsprekend is een tip aan de grond tijdens de rol- en loskomfase eveneens levensgevaarlijk). In deze fase is de hoek waarmee de kabel aan het vliegtuig trekt nog vrij klein, waardoor met de knuppel een grote verandering van stand kan worden veroorzaakt, die zelfs bij voldoende snelheid tot een overtrek kan leiden.

Na het bereiken van die 50 meter (de veiligheidshoogte!) worden de risico's die inherent zijn aan elke lierstart, significant kleiner. Belangrijk is, dat tot aan het allerlaatste deel van de lierstart, de klimstand nu gelijk moet blijven. Het is dus NIET de bedoeling dat boven de 50 meter (geschat) er nog steiler gestart kan gaan worden. Na pakweg een hoogte van vijftig meter wordt bewaakt dat de klimstand niet verder toeneemt. Echter: hierbij blijft steeds de eis van voldoende snelheid gelden. Het is dus niet een vanzelfsprekendheid dat de klimstand steeds gelijk blijft. Dat mag alleen dán, als de snelheid voldoende is. Tijdens de verdere klimvlucht, moet geleidelijk wat meer en harder aan de knuppel worden getrokken om optimaal te klimmen. In deze fase is het risico van te hard trekken vooral, dat er een kabelbreuk wordt gegenereerd. Niet fraai,

maar uit veiligheidsoogpunt een veel kleiner risico dan te hard trekken in een eerdere fase. In de eindfase van de start zal de stand van het vliegtuig minder worden beïnvloed door een getrokken knuppel, maar grote invalshoeken en overtrekken zijn ook dan mogelijk.

In algemene zin moet worden gesteld, dat de overtreksnelheid tijdens de lierstart aanmerkelijk hoger kan liggen dan tijdens de vrije vlucht. Als zo'n overtrek "aan de kabel" onverhoopt zou plaatsvinden, dan zal de vlieger doorgaans zeer verrast zijn en bovendien zal de reactie van het zweefvliegtuig vaak veel geprononceerder/extremer zijn dan gebruikelijk. Deze twee factoren, samen met de vaak lage hoogte waarop e.e.a. zich dan zou voordoen, maken een overtrek tijdens de lierstart tot een zeer risicovol gebeuren. Als dát geen argument is om – zeker beneden veiligheidshoogte – uiterst voorzichtig te zijn met trekken aan de knuppel....

Sleepstart

De lier accelereert snel, hetgeen een sterk staartlastig moment kan veroorzaken bij versnellen en loskomen. Bij de sleep ligt dat anders: het sleepvliegtuig versnelt veel rustiger. Het moment van loskomen en de snelheid bij het loskomen is evenwel ook hier van belang. Doorgaans zal het sleepvliegtuig iets later overgaan van rollen naar vliegen dan het zweefvliegtuig. De start verloopt het mooiste, als die momenten niet ver uit elkaar liggen. Aan het begin van het aanrollen moet soms worden getrokken om schaats of neuswiel van de grond te krijgen; daarmee wordt besturing om de topas mogelijk, wanneer het zweefvliegtuig op het hoofdwiel balanceert. Het betekent ook dat niet zo hard moet worden getrokken dat het staartwiel de grond raakt: dit beperkt de bestuurbaarheid om de topas en heeft als bezwaar dat het zweefvliegtuig te snel gaat vliegen, door de te grote invalshoek. Door te balanceren op het hoofdwiel wordt bereikt dat de invalshoek wordt beperkt, waardoor het loskomen met een grotere snelheid dan de minimale plaatsvindt. Het voordeel daarvan is dat de bestuurbaarheid tijdens de overgang rollen-vliegen beter is.

Verder verloopt de start volgens de normale sleeptechniek. Van belang bij een sleepstart is wel dat de zweefvlieger zich realiseert dat een motor kan uitvallen: hij dient bij het uitvliegen na de start zich te realiseren wat de opties zijn, wanneer de sleep moet worden afgebroken. Waar kan buiten worden geland, wanneer kan een 180 graden bocht worden gemaakt?

2 .Als t.g.v. hoog gras of een vast obstakel een tip gaat haken, dan zal een sterke draaiing om de topas volgen ("uitbreken"), met als gevolg een dramatische asymmetrie van de lift over de beide vleugels. Immers, de snelheid is nog zeer laag en de achterblijvende vleugel zal dus ineens (vrijwel) geen lift meer kunnen leveren terwijl de andere vleugel zeker een zekere hoeveelheid draagkracht zal (blijven) genereren. Hierdoor zal een vrij fel rolmoment ontstaan; de lage vleugel komt aan de grond en versterkt zo het effect nog . Als daarbij de kist óók nog aan het roteren gaat, dan zal een "radslag" bij volle vliegsnelheid het gevolg zijn. Alle trekkracht wordt dan geïnvesteerd in die radslag. Een situatie met een grote kans op dodelijke afloop.

Het zal duidelijk zijn, dat bij een uitbreken in deze fase van de (lier)start, onmiddellijk moet worden ontkoppeld teneinde de energietoevoer zo snel mogelijk te onderbreken. De effectiviteit van de roeren zal in het algemeen tekort schieten om de abnormale stand/baan afdoende te kunnen corrigeren. De leerling moet een lijn zien, die het vliegtuig bij acceleratie moet volgen, zodat hij het gevaar bij 'uitbreken' onmiddellijk onderkent.

3. De glijhoek van een zweefvliegtuig wordt bepaald door de verhouding tussen de lift(coëfficiënt) en de weerstand(scoëfficiënt) en wordt dus niet beïnvloed door niet-aerodynamische factoren als gewicht of tegenwind. Wel is het zo, dat de polaire verschuift bij een wijziging van de vleugelbelasting. Bij een hoger gewicht wordt **dezelfde** (beste) glijhoek bereikt bij een **hogere** vliegsnelheid. Voor fjnslijpers: de ligging van het zwaartepunt heeft wél een (geringe) invloed op de glijhoek. Hoe meer achterlijk het zwaartepunt, des te beter de glijhoek.

4. De ligging van het zwaartepunt wordt allereerst bepaald door de belading van het vliegtuig. Zorg dat:

- de gewichten van de beide vliegers bekend zijn,
- dat je weet in hoeverre de achterste zitplaats meetelt bij de ligging van het zwaartepunt,
- dat je de mogelijkheden voor ballast kent, (bij de Duo Discus een hektank en lood tussen de benen van de voorste vlieger),

Als je niets weet van je vliegtuig, kijk je in de cockpit waar een plaatje hoort te zitten, met de minimale en maximale gewichten per stoel. Als dat onvoldoende informatie geeft, b.v. over de mogelijkheden voor en de wenselijkheid van ballast, kijk je in het handboek bij lading en gewichten.

De belading is altijd beperkt tot het maximale startgewicht dat in het handboek staat aangegeven. Dat maximum kan bij veel kisten inderdaad met water worden overschreden.

Dat is niet toegestaan; het kan tot trager reageren leiden, een hogere overtreksnelheid en te hoge belastingen tijdens de vlucht.

5. De baanhoek van een zweefvliegtuig is de hoek die de baan van dat vliegtuig maakt ten opzichte van moeder aarde. Deze hoek wordt zeer beslist beïnvloed door de wind(snelheid). De glijhoek van een zweefvliegtuig is de hoek, waaronder dat vliegtuig ten opzichte van de omringende lucht, naar beneden glijdt. Deze hoek wordt uitsluitend bepaald door de aerodynamische eigenschappen, t.w. de verhouding (bij een gegeven invalshoek) tussen de liftcoëfficiënt en de weerstandscoëfficiënt.

6. Een vogel vliegt in de thermiek doorgaans wat langzamer dan wij, kan daardoor kortere bochten maken en de thermiek goed centreren. Maar dat zegt natuurlijk nog helemaal niets over zijn glijvermogen. Omdat zij op eigen kracht bij ons in de bel kunnen komen en ons daarna met het grootste gemak eruit kunnen draaien zou je kunnen denken dat zij "dus" van nature ook goede zweefers moeten zijn. De essentie van de vraagstelling is natuurlijk, waarom – uitgaande van de aanname dat zweefvliegtuigen een betere glijhoek hebben dan vogels – die rotvogels ons er dan zo moeiteloos uitstijgen. De meest voor de

hand liggende reden daarvoor zou kunnen zijn, dat wij prutsvliegertjes zijn die niet fatsoenlijk kunnen centreren. Er zijn ook biologen, die beweren dat vogels thermiek kunnen ruiken. Iets vleiender is de uitspraak dat we gewoon een veel betere glijhoek hebben, maar dat we snellere bochten moeten vliegen om onze zware bierbuik in de lucht te kunnen houden, zodat onze cirkels vele malen groter moeten zijn dan die van onze licht geconstrueerde, gevederde vrienden. Die kunnen dus gebruik maken van véél krachtiger thermiek in het centrum van de bel en dus, ondanks een wellicht wat hogere eigen daalsnelheid, veel sneller bovenin zitten.

Maar de hamvraag is: waarom hebben vogels een duidelijk slechtere glijhoek (bij een veel lagere snelheid)? Nou, kijk maar eens naar de afwerking van hun vleugeloppervlak: veren in plaats van hard en glad plastic. Wát een weerstand, bij een profielvorm die ook al niet je van het is qua afwerking. En dan die spanwijdte en die vleugelslankheid. Neen, als je een hoge reissnelheid wil halen zonder steggelen met een wiekslag hier en daar... is een grotere slankheid en spanwijdte vrij noodzakelijk.

Voor een zweefvliegtuig is het omzetten van hoogte in afstand de kern: dus vleugel en profiel zijn ontworpen op een optimaal gedrag bij lage snelheid en klimmen, maar ook op een beperkte weerstand en goed glijden tussen de bellen in. Dat zijn verschillende dingen en de ontwerper sluit daarin compromissen. Zonodig kunnen wij de vleugel nog wijzigen door flaps, de prestatie door ballast.

De vogels kunnen maar ten dele de weerstand van hun profiel veranderen; zij zijn tijdens de evolutie gespecialiseerd: een gier komt bij onze vliegprestaties in de buurt, omdat hij over grote afstanden en relatief snel een prooi moet kunnen bereiken, voordat zijn concurrenten aan het smullen slaan. Een albatros heeft een grote slankheid en ook een vrij hoge vleugelbelasting, waarmee hij grote afstanden aflegt door dynamisch te zweven tussen de golven.

Interessant blijft het gegeven dat de eigenschappen die nodig zijn om goed te kunnen klimmen in thermiek haaks staan op de eigenschappen die je je wenst ten behoeve van adequaat steken met hoge snelheden. Zo kom je vanzelf terecht bij trucjes als waterballast en flaps.

7. De lift is de grootste kracht, die op het vliegtuig werkzaam is. Wanneer we een kracht willen, die tegen de wind in werkzaam is, dan is het aanrollen van helling effectief. Omdat er een verband bestaat tussen de helling en die kracht (de ontbondene) is ook nauwkeurige dosering mogelijk. Door de scheve aanblazing ontstaat wel een giermoment. Opsturen kan in algemene zin, op twee manieren:

Door gecoördineerd vliegend een andere koers te vliegen (meer met de neus tegen de wind in) dan bij windstilte. De baan, resultaat van de vliegkoers EN het wegzetten door de wind leidt dan toch naar het gewenste doel. Deze manier van opsturen heet krabben of traverseren. De tweede manier is, om een deel van de geproduceerde lift tegen de windkracht in te laten werken: door iets te rollen in de windrichting kan zo de baan naar het doel worden gerealiseerd. T.g.v. de gekozen dwarshelling ontstaat er een giermoment in de richting van de lage vleugel (en de wind) dat moet worden gecompenseerd met het richtingsroer: we slippen naar ons doel.

Tijdens de eindfase van de landingsnadering zou een traverserend vliegen leiden tot een traverserende landing en moet dus noodgedwongen worden overgegaan op de methode van slippen. Tijdens de lierstart is de situatie ietwat ingewikkelder, omdat er tevens een kabelkracht werkt. Aangezien met name de kabelchute een speelbal van de crosswind is,

zal de kabelkracht dus (ook als het zweefvliegtuig zich kaarsrecht boven de lier bevindt) een component in zijdelingse richting hebben. Toch blijft de beste manier van opsturen, om een klein deel van de draagkracht “af te tappen” om de zijdelingse krachten te compenseren. Dus helling in de richting van de dwarswind. Daarnaast zal m.b.v. het voetenstuur zodanig moeten worden gewerkt, dat het giermoment dat ontstaat t.g.v. de van loef komende, inkomende luchtstroom, wordt opgeheven. De primaire wijze van opsturen is dus middels slippen. Om op te sturen d.m.v. krabben, zou een extreme opstuurhoek noodzakelijk zijn

8. Bij harde wind zal er vaak sprake zijn van verwaaiide thermiek. Het probleem is dan, dat het stijgen brokkelig is, vaak wel forse uitschieters kent, maar het gemiddelde stijgen vaak beperkt is. De vlieger zal dan, druk bezig met continu centreren of verleggen, het gemiddelde stijgen (sterk) overschatten en daarnaast minder aandacht hebben voor het ongewoon snelle verlijeren t.g.v. de op vlieghoogte nóg krachtiger wind. Bij het terugvliegen moet dan véél sneller worden gevlogen dan gebruikelijk. Als Jan dat niet doet wordt zijn “glijhoek” (formeel: zijn BAANHOEK!!) slechter dan nodig. Als hij wél de benodigde snelheidsverhoging doorvoert dan wordt de absolute daalsnelheid groter dan hij gewend is. Omdat bovendien het langer duurt om de uitgangspositie weer te bereiken imponeert dit als een continu ondervinden van daalwind. Wanneer de leerling zich daarop heeft verkeken, komt de stress (ik haal het niet!) daar nog bij. De kans op een ongeval is dan aanzienlijk.

De voorbereiding – theoretisch – moet zijn dat de leerling zich het gevaar terdege realiseert. Dat voorbereiden zit tussen de oren: hij moet zich realiseren dat hij effectief (dus gemiddeld, cq geïntegreerd) een hoeveelheid stijgen moet behalen, dat kan opwegen tegen een snelle verlijering en een forse tegenwind om daarna tegen op te boksen. En soms zit er ook echt extra dalen. Aardig stijgen is te ener male onvoldoende. Het stijgen moet domweg meer dan voldoende zijn om straks weer op het uitgangspunt terug te kunnen komen en dat is een heel andere eis (“terugkomen”) dan alleen maar “klimmen”.

De praktische voorbereiding hangt af van het instrumentarium, (heeft de kist een betrouwbare integrerende vario?), de prestatie-eigenschappen van de kist én de weersomstandigheden. Afhankelijk van die factoren kun je mikken op een tevoren vastgelegde minimale geïntegreerde stijgsnelheid. Daarnaast is het geboden om regelmatig te bezien of de actuele hoogte voldoende is om met enige reserve naar het “oppikpunt” en ZEKER naar het aanknopingspunt, terug te kunnen steken. Tenslotte moet tevoren worden besloten wat de minimaal benodigde hoogte (bij een gegeven positie) is om een thermiekpoging te durven starten en wat de minimale hoogte is die je wilt hebben bereikt bij het verlaten van de grenzen van het vliegveld. Als de leerling daarvoor ontvankelijk is, kun je hem of haar ook door berekeningen (windsnelheid op 3000 voet) voorrekenen hoe snel het afdrijven gaat en hoeveel hoogte voor compensatie nodig is.

1. Beschrijf de luchtstroming over/om een gewelfd (vleugel)profiel.
Maak een schets.
2. Welke volgorde in prioriteit kies je voor het herstel naar een veilige vliegsituatie op final, na een plotselinge afname van de vliegsnelheid van 1,3 naar 1,1 maal de overtreksnelheid als gevolg van atmosferische omstandigheden?
Doel is landen in het gemarkeerde landingsterrein want er zijn obstakels onder het glijpad aanwezig.
 - a. Volgorde van prioriteit aangeven met 1,2,3. voor : herstel glijpad; herstel lift; herstel snelheid. Keuze kort toelichten
 - b. Welke actie voer je eveneens uit en waarom?
 - c. Welke voorzorgsmaatregelen zou je hebben genomen alvorens in te draaien op final, bij bekendheid van deze weersomstandigheden?
3. Welke grootheden worden in een vleugelpolaire tegen elkaar uitgezet?
Teken in één diagram de vleugelpolaire van een vleugel met slankheid 10 en één van een vleugel met slankheid 20
4.
 - a. Verklaar de invloed van de ligging van het zwaartepunt op de mate van langs-stabiliteit.
 - b. Wat kunt u concluderen uit het bij a. gegeven antwoord m.b.t. het verschil in langsbesturing, voor de handhaving van een vluchtsituatie bij turbulent weer, voor lichte en voor zware piloten?
5. Wat is een vrille (of tolvlucht)?
Waarom wordt bij deze vliegsituatie ook wel van autorotatie gesproken?
Wanneer bestaat het risico op een onbedoelde vrille?
Hoe komt u achter de herstelmethode van een bepaald type vliegtuig?
6. Welke factoren verhogen de kans op een grondzwaai na de landing?
Noem 3 factoren.

Antwoorden bij Aerodynamica 15-10-2001.

Antw. vr 1.: Blz 70

Antw.vr 2 Herstel lift door invalshoek vergroting, anders zakt de kist ten gevolge van de plotseling afgenomen snelheid door, tegelijkertijd kleppen sluiten / verminderen voor herstel glijpad en weerstandsvermindering opdat de kist kan accelereren voor herstel snelheid. Daarna kleppenstand zodanig kiezen dat in gemarkeerde doellandingsterrein geland kan worden

c. oversnelheid t.o.v. geadviseerde landingssnelheid

antw. Vr 3 De slankheid van een vleugel is de spanwijdte gedeeld door de gemiddelde koorde. Hoe hoger de slankheid hoe groter het glijgetal. De verhouding Cl/Cd .

Antw.:vr. 4 Bij lichte vlieger ligt zwaartepunt verder naar achteren waardoor de hefboom van de

draagkracht van de vleugel groter en die van het stabilo kleiner wordt t.o.v. het zwaartepunt. De langs stabiliteit is daardoor minder dan bij een zwaardere piloot; er zijn meer correctieve stuuracties nodig.

Antw. Vr 5 Een vrille is een situatie, waarin één vleugel overtrokken is en de andere niet. Door het grote verschil in lift tussen de beide vleugels ontstaat een draaiende beweging om top en langs as.

Deze beweging is stabiel en kan zich doorzetten tot de grond.

Het risico hierop doet zich voor als de symmetrie in de luchtkrachten verstoord raakt: dat kan zijn in een slecht gecoördineerde bocht met te lage snelheid, door hevige turbulentie, b.v. in de bergen, door te lage snelheid in kritische situaties. Het vlieghandboek vermeldt de methode om een vrille te herstellen, zoals de fabrikant dat heeft onderzocht

Antw. vr 6 Staartlastig of neuslastigheid van het vliegtuig, Effectiviteit van het remmen met de wielrem (met name bij staartlastige vliegtuigen), stand van het hoogteroer (getrokken landing minder kans op grondzwaai), rugwind, effectiviteit rolroeren, dwarswindgevoeligheid door bijvoorbeeld groot kielvlak of hoog zwaartepunt.

1. Definieer de begrippen baanhoek, glijhoek, invalshoek en instelhoek.
2. Schets een snelheidspolaire en geef de vier belangrijke snelheden daarin aan.
Wat gebeurt er door het toevoegen van waterballast?
3. Waarom is het mogelijk met een ASK 21 of ASK 23 wel 100 km per uur te rijden op de grond?
Verklaar dit door de constructie van het onderstel en aerodynamisch.
4. Wat is een wenselijke snelheid bij de overgang van rollen naar vliegen?
En welke is wenselijk bij de overgang vliegen naar rollen?
Als er verschillen in die gewenste snelheden zitten, verklaar dan waarom?
5. Welke soorten flutter kent u?
Welke komt het meest voor?
Wat zijn de risico-factoren en kunnen die zich voordoen tijdens een normaal clubbedrijf?
6. Tijdens de landing merkt u dat de tegenwind toch wat meer is dan u dacht, naderend met 1/3 kleppen. De corrigerende actie ligt voor de hand, maar verklaar wat u doet en waarom het effectief is.
7. Een vuistregel is dat de V_{ne} per 100 voet met 1.5% afneemt. Waarom is dit zo en wat is de zin van zo'n vuistregel?
8. Op een ruige dag hebben uw leerlingen, vliegend met lichte trainers, wat meer moeite met een stabiele nadering dan sommige anderen. Wat adviseert u hen, ter verbetering?
9. Wat moet u weten over de snelheden van een vliegtuig, dat u niet kent?
Welke vindt u op de sticker in de cockpit?
Welke snelheden zijn nog meer van belang en waar vindt u die?
10. Geef de verschillen van een vrille en een spiraalduik in een tabelletje.

Antwoorden bij Aerodynamica 11-02-2012

1. *De baanhoek is de hoek die de baan van het vliegtuig maakt met de horizon. Dat mag ook een glijhoek worden genoemd.
De invalshoek is de hoek tussen de koorde van de vleugel (de langst mogelijke rechte verbindingslijn tussen voorzijde en achterkant van het profiel) en de stroming. De instelhoek is de hoek tussen de koorde en de langsas van het vliegtuig, die is vastgelegd in het ontwerp en de constructie.*
2. *De vier snelheden zijn: de minimale snelheid, de snelheid van minimum dalen, de snelheid van de beste glijhoek en de maximum snelheid. Door ballast verschuift de polaire langs de raaklijn uit het nulpunt. Daardoor worden de prestaties van de gehele polaire met hogere snelheden bereikt.*
3. *Door de plaatsing van de wielen in de romp is het mogelijk door sterk drukken op de grond een negatieve invalshoek te veroorzaken. De lier of het sleepvliegtuig kan dan nog zo accelereren, maar de kist gaat niet vliegen. Door de negatieve invalshoek wordt het profiel van boven aangeblazen, waardoor een negatieve lift ontstaat. Het risico is dat de kist, zodra het neuswiel los van de grond komt, wel heel graag wil gaan vliegen. Daardoor kan een te heftige beweging en klimstand optreden, die sleepkist (te hoog er achter) of zwever (lage kabelbreuk) in gevaar brengt. Bij aanrollen instrueren we de knuppel strikt neutraal te houden.*
4. *Bij het starten is een redelijke snelheid meteen na het loskomen wel gewenst, zodat er een voldoende druk op de roeren is om te kunnen sturen en een mogelijke kabelbreuk op te vangen. Bij een neutrale knuppelstand zal die snelheid 10-15 km boven de overtrek liggen. Bij het landen is oversnelheid bij het raken van de grond weer een risico factor, omdat je door een kuiltje of molshoop weer kunt gaan vliegen. De overgang van vliegen naar rijden, zal dus in principe pas moeten, wanneer de overtreksnelheid is bereikt. De kist kan dan niet meer op springen. Die gewenste snelheid ligt dus wat lager dan bij het starten.*
5. *Onderscheiden worden stijfheid/buiging en torsie flutter, al dan niet met roerrotatie. De oorzaak is vaak dat de doorbuiging van de constructie te laat wordt gevolgd door het roer, die daardoor de buiging of torsie versterkt. Flutter wordt vaak geassocieerd met hoge snelheden of extreme omstandigheden, maar een niet aangesloten rolroer, niet sturen of slappe stuurkabels kunnen zeer wel tot flutter leiden.*
6. *Wanneer de progressie in de nadering onvoldoende is, dan sluiten we natuurlijk de remkleppen. Dat levert op:
Een verminderde schadelijke weerstand en een toeneming van de lift. Dat kan*

vervolgens in snelheid worden omgezet, waarmee het terrein alsnog wordt bereikt.

7. *De Vne is een belangrijke grootheid. Door een afnemende luchtdichtheid met de hoogte, geeft de snelheidsmeter minder aan dan de werkelijke snelheid bij grotere hoogte. Ook afwijkingen van de standaardatmosfeer (grote koude of grote warmte) hebben invloed op de snelheidsaanwijzing: de TAS is dan groter dan de IAS.*
8. *Turbulentie heeft meer invloed op lichte vliegtuigen dan zware. Met een wat hogere vleugelbelasting neemt de stabiliteit toe; ook een wat voorlijker zwaartepunt draagt bij aan stabiler vlieggedrag. Wanneer het effect niet voldoende is, kunt u beslissen de lichte trainers aan de grond te zetten.*
9. *In principe moeten alle snelheden die van belang zijn gekend worden. Op de sticker in de cockpit dienen de gangbare operationele limieten te zijn vermeld. Daartoe te rekenen:
Vne(maximaal), Vra(in ruige lucht), Vw(aan de lier), Vt(achter de sleepkist), VA (manoeuvresnelheid).
Daarnaast zijn van belang: aanbevolen snelheden bij regen, in de nadering bij harde wind of zijwind, alsmede de schakelsnelheden bij selectie van flaps.*

10.

*Spiraalduik
G-kracht neemt toe.
Helling neigt toe te nemen
Snelheid neemt toe
Daalsnelheid aanvankelijk niet hoog
Draaisnelheid hangt af van helling en
snelheid, maar is gekoppeld aan forse
G-kracht
Besturing werkt om alle assen
Trekken verhoogt de G-kracht*

*vrille
G-kracht blijft ongeveer constant
helling blijft constant of neemt af
snelheid blijft redelijk constant
daalsnelheid hoog
rotatiesnelheid doorgaans hoog
afhankelijk van stabiliteit van de
vrille
rolroeren werken niet
trekken heeft geen effect*

1. Besturing

Geef duidelijk en compleet de verklaring voor de volgende verschijnselen:

- a. In een stationaire bocht is het nodig een beetje voeten (richtingsroer) te geven in de richting van de bocht.
- b. In een stationaire bocht moet getrokken worden (hoogteroer omhoog) aan de knuppel
- c. In een stationaire bocht is het nodig rolroer te geven tegen de dwarshelling in.
- d. Bij het inzetten van een bocht moet heel veel voeten (richtingsroer) gegeven worden.

2. Stabiliteit

- a. Waar moet het zwaartepunt van een vliegtuig –ongeveer- liggen. Waarom?
- b. Waarom mag het niet te ver naar achter liggen?
- c. Waarom mag het niet te ver naar voren liggen?
- d. Als de vleugelslankheid groot is, is de ligging van het zwaartepunt dan kritischer of minder kritisch?

3. Prestaties

- a. Geef in algemene begrippen aan waardoor luchtweerstand tijdens de vlucht wordt veroorzaakt.
- b. Welke weerstand veroorzaakt een vast wiel.
- c. Welke weerstand veroorzaakt een vuile romp.
- d. Welke weerstand veroorzaakt een voorliggend zwaartepunt.
- e. Een vliegtuig heeft een glijhoek van 1 op 40 en weegt 4000 N met piloot. Hoe groot is dan de weerstandskracht?

4. Windgradient

Beschrijf nauwkeurig wat er gebeurt bij een lierstart met harde wind direct na het loskomen in termen van invalshoek, lichtsnelheid, grondsnelheid, kabelkracht.

5. Theorie examen Aerodynamica Zweefvlieg instructeur. Antwoorden

1 Besturing

Geef duidelijk en compleet verklaring voor de volgende verschijnselen:

In een stationaire bocht is het nodig een beetje voeten (richtingsroer) te geven in de richting van de bocht.

Er is een klein snelheidsverschil tussen binnen en buitenvleugel, waardoor er ook een weerstandsverschil is. Dit wordt gecompenseerd met het richtingsroer.

In een stationaire bocht moet getrokken worden (hoogteroer omhoog) aan de knuppel

Er is meer lift nodig, omdat er ook een kracht in horizontale richting nodig is (de centripetale kracht, deze zorgt dat het vliegtuig de bocht om gaat) meer lift betekent meer invalshoek en meer hoogteroer.

In een stationaire bocht is het nodig rolroer te geven tegen de dwarshelling in.

De binnenvleugel heeft gemiddeld een lagere snelheid en daardoor een grotere invalshoek (de daalsnelheid van elk punt op de vleugel is immers gelijk). Omdat het snelheidseffect overheerst (de lift is evenredig met de snelheid in het kwadraat) krijgt de binnenvleugel minder lift en de buitenvleugel meer. Om "doorrollen" te voorkomen moet dit gecompenseerd worden met rolroer tegen.

Bij het inzetten van een bocht moet heel veel voeten (richtingsroer) gegeven worden.

Een naar beneden uitgeslagen rolroer krijgt meer lift en daarmee ook meer weerstand (vice versa voor een naar beneden uitgeslagen rolroer) Rollen heeft daardoor als effect dat de omhooggaande vleugel meer weerstand krijgt en daardoor de neus naar buiten draait in plaats van in de richting van de gewenste bocht. Om dit te compenseren is veel richtingsroer nodig als er veel rolroeruitslag gegeven wordt.

2 Stabiliteit

Waar moet het zwaartepunt van een vliegtuig –ongeveer- liggen. Waarom?

Tenminste tussen de voor- en achterlijst van de vleugel, daar grijpt immers de lift aan. In werkelijkheid is het vaak beperkt tot een gebied tussen ongeveer 25 en 40% van de koorde.

Waarom mag het niet te ver naar achter liggen?

Het stabilo stabiliseert de beweging om de dwarsas. Hoe verder het zwaartepunt (oftewel het draaipunt waar het vliegtuig omheen draait in de vrije vlucht) naar achter ligt hoe instabieler het vliegtuig wordt om de dwarsas (en iha minder relevant ook hoe instabieler het wordt om de topas).

Waarom mag het niet te ver naar voren liggen?

De stabiliteit neemt toe met voorliggend zwaartepunt, maar de negatieve lift van het stabilo moet ook toenemen. Als het zwaartepunt te ver naar voren komt, kan het hoogteroer niet voldoende negatieve lift meer opwekken en zal met volledig getrokken stuurknuppel de overtreksnelheid niet meer gehaald worden. Dit is bijvoorbeeld bezwaarlijk voor het goed afvangen.

Als de vleugelslankheid groot is, is de ligging van het zwaartepunt dan kritischer of minder kritisch?

Kritischer, de koorde wordt immers veel korter. Vliegtuigen met grote vleugelslankheid kunnen dus ook kleinere beladingsgrenzen hebben.

3 Prestaties

Geef in algemene begrippen aan waardoor luchtweerstand tijdens de vlucht wordt veroorzaakt.

Er zijn 3 basis-mechanismes die luchtweerstand veroorzaken: 1) de drukverdeling over het vliegtuig en 2) de wrijvingskracht die de lucht op het oppervlak ondervindt (in beide gevallen draagt de in de richting van de luchtsnelheid wijzende component daarvan bij aan de weerstand). En 3) de door de draagkracht geïnduceerde weerstand. Deze componenten bepalen gezamenlijk de weerstand van het vliegtuig. Naar gelang de bron wordt deze weerstand nog wel onderscheiden in vleugelweerstand (de weerstand van de dragende delen) en schadelijke weerstand (niet dragende delen)

De schadelijke weerstand wordt klein gehouden door het frontale oppervlak klein en de staartboom dun te houden. De geïnduceerde weerstand kan worden beperkt door de vleugelslankheid op te voeren. De (visceuze) wrijvingsweerstand wordt beperkt door zoveel mogelijk laminaire omstroming en de drukweerstand onder ander door een intrekbaar wiel en een goede vormgeving van de overgangsgebieden tussen vooral vleugel en romp waar onderlinge interferentie optreedt.

Welke weerstand veroorzaakt een vast wiel. *Drukweerstand*

Welke weerstand veroorzaakt een vuile romp. *Wrijvingsweerstand*

Welke weerstand veroorzaakt een voorliggend zwaartepunt. *Geïnduceerde weerstand van vleugel en stabilo.*

Een vliegtuig heeft een glijhoek van 1 op 40 en weegt 4000 N met piloot. Hoe groot is dan de weerstandskracht?

L/D is 40, dus is de D 100 N (of in gewone mensentaal 10 kg)

4 Wind gradiënt

Beschrijf nauwkeurig wat er gebeurt bij een lierstart met harde wind direct na het loskomen in termen van invalshoek, luchtsnelheid, grondsnelheid, kabelkracht.

Bij het loskomen is invalshoek klein en de grondsnelheid klein, de vliegsnelheid is minimaal. Zodra het vliegtuig door de gradiënt heen komt blijft de grondsnelheid in eerste instantie gelijk, maar neemt de luchtsnelheid toe. Door de toenemende luchtsnelheid neemt de lift toe en daarmee de kabelkracht en, enigszins, de invalshoek. Bovendien zal de piloot de snelheid willen terugnemen tot de ideale liersnelheid waardoor de invalshoek verder vergroot wordt. Het resultaat kan zijn een plotselinge toename van de kabelkracht (met breuk tot gevolg en daarna een passage door de wind gradiënt in omgekeerde volgorde)

Aerodynamica

45 minuten

1. Hoe verklaar je het grondeffect?
Kun je het gebruiken bij een snelle wedstrijdfinish?
Wat kan een risico zijn bij de start in extreme omstandigheden? (hitte, hoogte, hoog gewicht, windstil)
2. Welke algemene eisen worden doorgaans gesteld aan vliegeigenschappen? In de JAR 22 wordt het in zijn algemeenheid geformuleerd. Noem er drie.
3. Wat is de invloed van waterballast op de snelheidspolaire? Geef een schets...
Mag een vliegtuig geheel worden volgetankt? Is dat altijd zinvol en verklaar waar dat van afhangt?
4. Teken een belastingsdiagram, met de positieve en negatieve belasting. Geef in de schets aan:
 - Welke grootte op welke as;
 - De V-max in rustige lucht;
 - De V-max in onrustige lucht.
5. Door een stapeling van onattentheid wordt een kist gestart met de staartwiel dolly nog aan de romp. Wat gebeurt er waarom en wat is het meest aannemelijke verloop?
6. Vroeger, met hout, leerden we leerlingen op het oog te bepalen wanneer ze het cirkelen moesten afbreken om terug te vliegen naar het terrein. Tegenwoordig, met kunststof vragen we leerlingen om te rekenen. Verklaar waarom ; gebruik de begrippen glijhoek en baanhoek en geef aan welke vuistregels de leerling moet gebruiken voor een benadering van de vraag of hij het veld nog kan bereiken bij tegenwind, meewind en daalwind.

Antwoorden aerodynamica voor instructeurs 16 februari 2013

Antwoord vraag 1.

Op lage hoogte kan een soort luchtkussen ontstaan tussen de vleugels en de grond. De neerwaartse afbuiging van de omstromende lucht wordt belemmerd door de nabijheid van de grond, waardoor meer lift ontstaat en met een beperkter invalshoek dezelfde prestatie wordt geleverd. Ook de verliezen aan de tippen nemen af.

Voor een snelle en lange wedstrijdfinish biedt het geen soelaas. Het effect treedt op zeer lage hoogte op, een of twee koordes. Bovendien is de geïnduceerde weerstand laag bij hoge snelheid, zodat de winst zeer beperkt is. Vooral bijlage snelheid is het effect manifest.

Bij een start onder vreemde condities (hitte, hoogte, zware belading) kan het vliegtuig wel loskomen, maar de overgang naar stijgvucht langer uitblijven, dan je zou verwachten; je vliegt dan op het grondeffect. Bij een sleepstart of zelfstart is het een soms verrassend effect. Bij een lierstart zal het meevallen, wanneer de lierist voldoende door accelereert.

Antwoord vraag 2.

- Bij een krachtenevenwicht moeten ook momenten in evenwicht zijn;
- Het evenwicht moet stabiel zijn, d.w.z. dat na een verstoring na enige schommelingen het evenwicht moet terugkeren;
- Geen grote inspanning of vaardigheid is vereist voor gewenste bewegingen of veranderingen of het tegengaan daarvan.

JAR-22.143

“It must be possible to make a smooth transition from one flight condition to another (including turns and slips) without exceptional piloting skills, alertness or strength, and without danger of exceeding the limit load factor, under any probable operating conditions...”

Antwoord vraag 3.

Schets p.86 oude boek.

Hoeveel water kan en moet worden getankt hangt af van:

- De weersverwachting, m.n. de verwachte sterkte van de thermiek;
- De belading van het vliegtuig, m.n. het bruto gewicht van de vlieger en uitrusting;
- De begrenzingen, m.n. het maximale startgewicht, zijn in het handboek te vinden.

Antwoord vraag 4.

Schets p.91 oude boek

Antwoord vraag 5.

Door het nog aan de romp hangende staartwiel verkleint de invalshoek bij de aanloop. Het gevolg daarvan is dat de kist meer snelheid nodig heeft dan gebruikelijk om los te komen. Mogelijk is die zelfs negatief en wordt de kist tegen de grond gedrukt, komt dan ook bij hoge snelheid niet los. Door een negatieve invalshoek ontstaat immers geen lift, maar een torderend neerwaartse kracht.

Mogelijk stuitert de kist door een kuil in het terrein, waardoor een positieve invalshoek toch eventjes ontstaat: bij een hoge snelheid vliegt de kist dan meteen.

In de lucht kan door een paar kilo gewicht aan de staart een achterlijke zwaartepuntsligging ontstaan. Weliswaar weegt een taildolly maar een paar kilo, maar door de afstand tot het zwaartepunt bestaat een behoorlijke last-arm.

Bij de landing zal het probleem omgekeerd optreden: een relatief lage neusstand leidt tot een grote ruimtebehoefte bij het landen. Oversnelheid kan tot structurele schade leiden.

Antwoord vraag 6.

In de tijd van de Rhonlerche en Grunau Baby lagen de glijhoeken onder de 1 : 20; bij tegenwind was dan net enige oefening goed te schatten wanneer de afstand kritiek werd. Met moderne kunststof vliegtuigen wordt dat lastig, omdat de baanhoeken klein zijn geworden. De glijhoeken zijn meer dan verdubbeld. De snelheden zijn toegenomen en de specifieke daalsnelheden zijn afgenomen. Bij 2/sec

dalen en een snelheid van 95 km/u is de baanhoek ongeveer 1.5 graden. Dat is niet goed waar te nemen.

Het is goed de leerling bewust te maken van de afstand, die teruggevlogen moet worden (in kilometers), de heersende omstandigheden in de berekening te betrekken. Dus:

- De afstand is xx km;(afleidbaar uit kaart)
- Wat hebben we per kilometer nodig in stilstaande lucht;(afleidbaar uit glijhoek)
- Welke invloed heeft de tegenwind daarop;(gevolg baanhoek)
- Welke invloed heeft eventuele daalwind daarop; (gevolg baanhoek)
- Welke gevolgen hebben die taxaties voor de snelheid?

Vuistregels: reken met 1 : 30; dat levert een hoogteverlies van 33 meter per kilometer. Reken met de windsterkte en richting op de gevlogen hoogte. Reken op basis van het weer op het traject (blauw, cumulus, regen) met dalen.