Industriële Wetenschappen

De smartbird

Naam leerlingen:

Mathias Baert, Laurens Cavey,

Kjell Deboysere, Sven Dedeene,

Daan Demeulenaere, Ruben Goethals,

Tim Maertens, Arne Vervaecke en Jeroen Viaene

Mentor:

Dirk Verhaeghe

Paul Hemeryck

DOSSIER GEINTEGREERDE PROEF 2012-2013

VRIJ TECHNISCHE INSTITUUT | Papebrugstraat 8A | 8820 TORHOUT

Tel 050 23 15 15

e-mail: vti@sint-rembert.be | website: http://www.sint-rembert.be/vti

GIP: 2012-2013:

Leerlingen: Mathias Baert, Laurens Cavey, Kjell Deboysere,
Sven Dedeene, Daan Demeulenaere, Ruben Goethals, Tim Maertens,
Arne Vervaecke en Jeroen Viaene

Klas: 614

Afdeling: Industriële Wetenschappen

Begeleidende leerkracht(en): Dhr. Verhaeghe D. , Dhr. Hemeryck P.

Schooljaar: 2012 - 2013

VTI TORHOUT,

Papebrugstraat 8A,

8820 TORHOUT

Voorwoord:

Wanneer het nieuwe schooljaar in zijn startblokken kwam, zochten wij op het internet naar onderwerpen voor onze GIP. Onze leerkracht vatte alles samen in de klas en er kwamen een aantal GIP-keuzes uit de bus. Nadat we erover gestemd hadden, was de knoop doorgehakt. De multikopter en de smartbird waren de 2meest gekozen onderwerpen. Wij hebben gekozen voor de smartbird. Iedereen die de smartbird heeft gekozen, was overtuigd dat dit een hele uitdaging zal zijn. De meeste vonden het interessant genoeg om deze GIP te kunnen realiseren. Het bekijken van een filmpje op de website van het Duitse bedrijf FESTO, prikkelde ons allemaal om eraan te beginnen.

We wilden de werking van de smartbird ontdekken aan de hand van enkele proefjes. Het maken van de smartbird zou een hele uitdaging worden voor ons allemaal. We hebben het allerbeste ervan gemaakt om deze GIP tot een goed einde te brengen. Het doel van ons project is veel bijleren en samen in groep kunnen werken. Het vliegen van de smartbird zou de kers op de taart zijn. We zouden dit project niet kunnen volmaakt hebben zonder enkele mensen. De heer Verhaeghe willen we in eerste plaats bedanken voor het oneindig lange geduld en voor de vele uurtjes die hij op school gebleven is zodat wij zouden kunnen verder werken. We willen ook de heer Hemeryck bedanken voor het helpen met het elektrisch gedeelte van ons project. Als laatste zouden we mevrouw Boeyden willen bedanken voor het controleren van ons gipboek.

Inhoud

1 Geschiedenis: 9
1.1 De geschiedenis van het klapvliegen: 9
1.1.1 De pioniers: 9
2 Basis aerodynamica 15
2.1 Inleiding 15
2.2 Historisch overzicht 16
2.2.1 Dieren 16
2.2.2 De mens 16
2.3 De basis 17
2.3.1 De beweging van lucht 17
2.3.2 Lift en weerstand 18
2.3.3 Stuwkracht of thrust 21
2.4 Schattingen van krachten en vermogens: 22
2.5 De stroming rond de vleugels van een zwevende vogel 25
3 De slagvleugeltheorie: 27
3.1 Werkingsprincipe van de slagvleugel: 27
3.2 Slagvleugeleigenschappen gedurende de vlucht 30
3.2.1 Vloeiend toenemende stijgvlucht 30
3.2.2 De kruisvlucht (vogel vliegt op een constante hoogte): 31
3.2.3 Sterk stijgende klimvlucht en bidvlucht 33
3.3 Hoe vogels vliegen ? 35
3.4 Soorten slagvleugels 37
3.4.1 De vogelvleugel, het ideaal 37
3.4.2 Membraanslagvleugels 38
3.4.3 Geprofileerde slagvleugels 38
4 De veren: 43
4.1 Mechanische eigenschappen van veren: 43
5 Elektronica 46
5.1 Inleiding 46
5.2 De batterij 46
5.3 De motor 47
5.4 De servomotor 47
5.5 De sturing 48
5.6 Toepassing op eigen constructie 48
6 De massabepaling 49
7 Momenten 50

8 Praktische constructie 52
8.1 Snijden van de schuimprofielen 52
8.2 De windtunnel 53
9 Verslagen van de groepsleden 55
9.1 Mathias Baert 55
9.2 Laurens Cavey 56
9.3 Sven Dedeene 57
9.4 Daan Demeulenaere 58
9.5 Kjell Deboysere 59
9.5.1 Inbreng in de gip 59
9.5.2 De site 60
9.6 Ruben Goethals 62
9.7 Tim Maertens 63
9.8 Arne Vervaecke 64
9.9 Jeroen Viaene 65
9 Besluit 67
10 Bibliografie 68

Overzicht figuren:

Figuur 1: Icarus op een houtsnede uit 1493 9
Figuur 2: fatale poging om te vliegen 10
Figuur 3: tekening van Da Vinci 10
Figuur 4: luchtschip van Francesco de Lana de Terzi 11
Figuur 5: eerste hete luchtballon van Montgolfier 11
Figuur 6: de eerste vleugel van Cayley, 1804 12
Figuur 7: de vliegende stoommachine van Hensons 12
Figuur 8: de albatros van Le Bris 13
Figuur 9: eerste vlucht van Orville, 1903 14
Figuur 10: schematisch overzicht van het vliegen 15
Figuur 11: fossiel van de archaeopterix. 16
Figuur 12:pterosaurus 16
Figuur 13: Aristoteles 16
Figuur 14: Leonardo da Vinci 16
Figuur 15: Galileo Galilei 17
Figuur 16 18
Figuur 17 19
Figuur 18: luchtstromen over verschillende vormen 19
Figuur 19: de luchtstroom lekt over de vleugel 20
Figuur 20: tipwervels 20
Figuur 21: taps bij de vogels zijn veren die men omhooghoudt. 21
Figuur 22: eenvoudige voorstelling van de lucht rond een vliegende vogel 22
Figuur 23: vermogenverloop bij een vliegende vogel 24
Figuur 24: resulterende krachten tijdens de opgaande vleugelslag 27
Figuur 25: vectordiagram van de krachten op een slagvleugel 28
Figuur 26: vergelijking van diverse aerodynamische machines 28
Figuur 27: liftkrachtverdeling met gebalanceerd moment tijdens de opgaande vleugelslag 30
Figuur 28: krachten op de vleugel van een ooievaar tijdens de op- en neergaande slag 31
Figuur 29: liftverdeling voor een kruisvlucht 33
Figuur 30: kleine vogel tijdens nadering 34
Figuur 31: Veranderingen van dwarskracht en weerstand tijdens een slagperiode op een willekeurig punt van de arm- en handvleugel 36
Figuur 32: vleugel van een vogel 37
Figuur 33: het zeil als basisvorm 38
Figuur 34: vleugels met kunstveren 39
Figuur 35: bovenaanzicht van vogel 40
Figuur 36: vleugels met getrapte verdraaiing 40

Figuur 37: het model EV4 40
Figuur 38: smartbird van Festo 41
Figuur 39: het verschuivingsprincipe 42
Figuur 40: voorbeeld van een spanning-rek diagram 44
Figuur 41: de verschillende onderdelen van een veer 45
Figuur 42: de Lipo-batterij 46
Figuur 43: de motor 47
Figuur 44: figuur van Geogebra 50
Figuur 45: de constructie 52
Figuur 47: afbeelding van de opstelling 53
Figuur 46: het snijden van de vleugels 53
Figuur 48: afbeelding van de windtunnel 54

Inleiding:

Het doel van deze GIP is dat we veel bijleren en leren hoe we goed kunnen samenwerken. Het zou natuurlijk heel leuk zijn als de smartbird ook echt zou vliegen. Het is dus vooral de bedoeling dat we de beweging van een vogel zullen bestuderen. Deze beweging moeten we dan trachten te verwezenlijken in de werkelijkheid. Het is een heel nieuw en spannend domein voor ons omdat we er nog niet eerder mee in contact gekomen zijn. De domeinen zoals aerodynamica en mechanica zullen uiteraard zeer belangrijk zijn.

1 Geschiedenis:

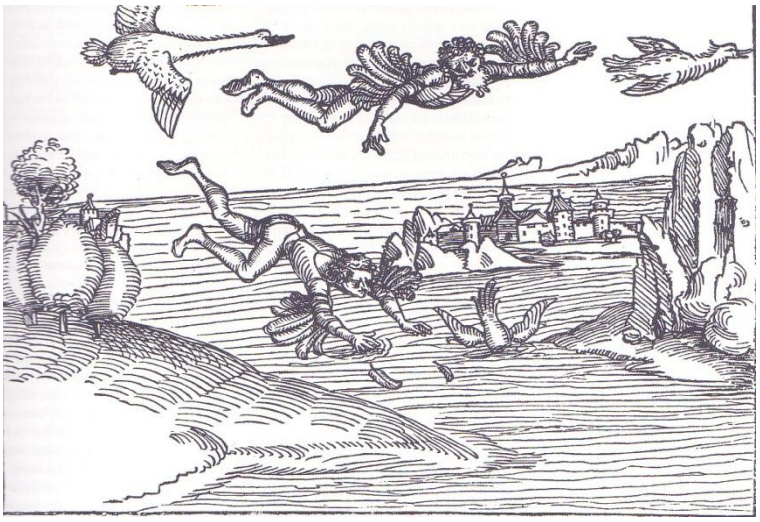
1.1 De geschiedenis van het klapvliegen:

1.1.1 De pioniers:

Al eeuwen geleden raakten mensen gefascineerd door het verschijnsel vliegen. Een droom van menig pionier! Reeds in de prehistorie maakte men afbeeldingen en beelden van gevleugelde wezens, waaraan men een zekere kracht of god aan toekende. Ook in fabels en legenden en bepaalde godsdiensten kwamen ze later voor. In zowel Oosterse als Westerse mythologie en in de literatuur wemelt het van gevleugelde bovennatuurlijke personen en legendarische gevleugelde wezens. In Egypte werd de ziel voorgesteld als een vogel met een mensenhoofd. In feite was de vogel de voornaamste inspiratiebron van deze mensen en later ook voor de pioniers van de vliegtuigbouwers.

Niemand weet exact wanneer de eerste poging werd gedaan om te vliegen. Wel weet men dat men allereerst de vleugels van een vogel probeerde na te maken. Men had nog geen wetenschappelijk inzicht in lift en draagkracht.

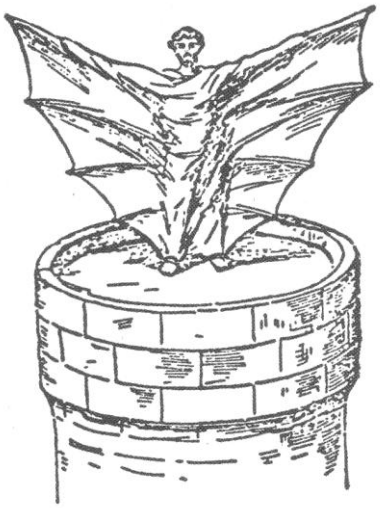
Het meest befaamde experiment is vastgelegd in de legende van Icarus**.**



Figuur 1: Icarus op een houtsnede uit 1493

Hij maakte vleugels van veren die hij met was aan elkaar kleefde. De was smolt echter door de zon en hij stortte in zee en stierf.

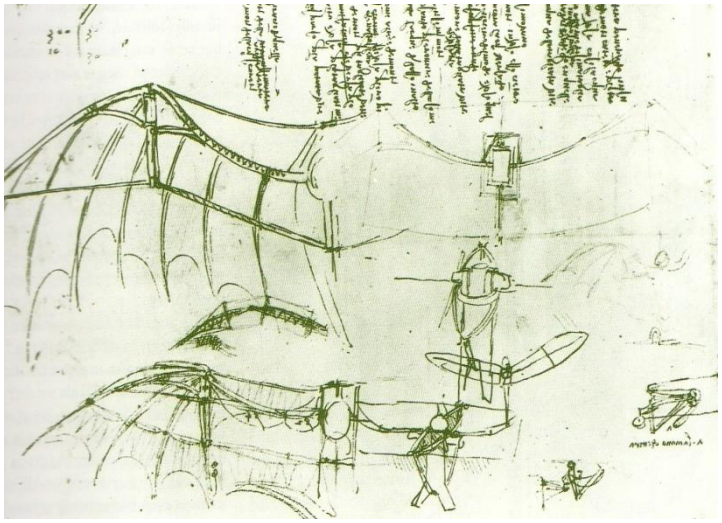
Maar er werden ook al heel vroeg in de geschiedenis voorwerpen als pijlen, boemerangs en vliegers ontwikkeld. De boemerang is een gecompliceerd aerodynamisch voorwerp dat puur door proberen werd ontwikkeld. De vlieger was al bekend 1000 jaar v.C., toch begreep men pas in de 19de eeuw hoe hij werkte. Een dwaze maar moedige poging werd ondernomen door een persoon in Constantinopel die probeerde met een wijde mantel van een toren af te vliegen. Natuurlijk overleefde hij de poging niet.



Figuur 2: fatale poging om te vliegen

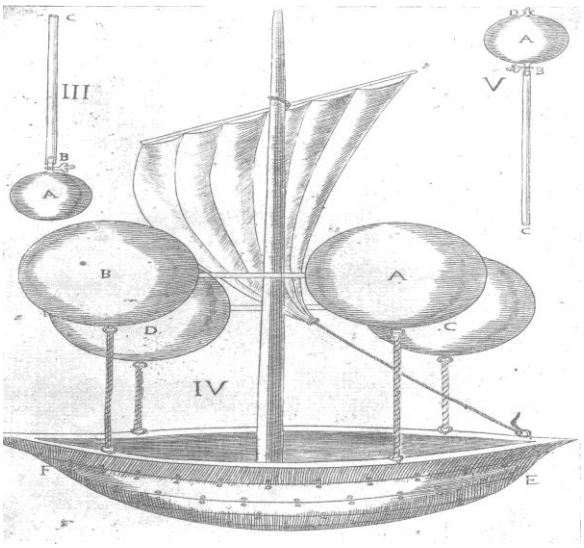
Andere mensen probeerden het ook, maar uiteraard zonder succes.

Leonardo da Vinci was de eerste die een studie maakte van het vliegen (1505). Hij zag in dat een grondige kennis van de luchtstroming om de vleugels van een vogel nodig was. Jarenlang bestudeerde hij de beweging van de vleugels van de vogel en probeerde het mechanische principe te begrijpen. Hij begreep dat luchtdruk, zwaartepuntsligging en stroomlijn belangrijk waren. Toch zat hij op een verkeerd spoor. Hij richtte zich op het ontwerp van een klappende vleugel, de ornithopter. Hij vergeleek de vogelvlucht met roeien en ontwierp ingewikkelde constructies aangedreven door armen en benen. Gelukkig zijn zijn ontwerpen nooit in de praktijk getest! Pas veel later besteedde hij kort aandacht aan het zweefvliegen. Men kan eenvoudig aantonen dat de verhouding vermogen/gewicht van de mens te klein is. Het is onmogelijk om klappend te vliegen met spierkracht. De mens is te zwaar en zijn spieren te zwak. De mens zou twee meter breed moeten zijn om de spieren die nodig zijn om te vliegen te kunnen dragen.



Figuur 3: tekening van Da Vinci

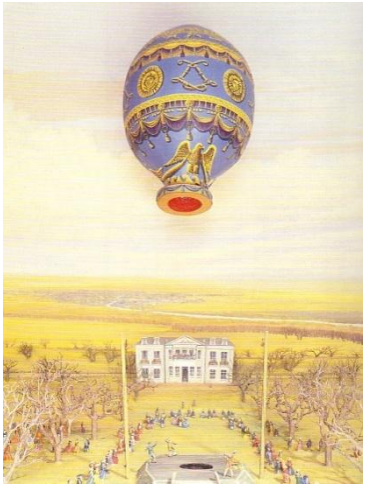
In de zeventiende en achttiende eeuw kwamen mensen met bizarre ontwerpen van luchtschepen.



Figuur 4: luchtschip van Francesco de Lana de Terzi

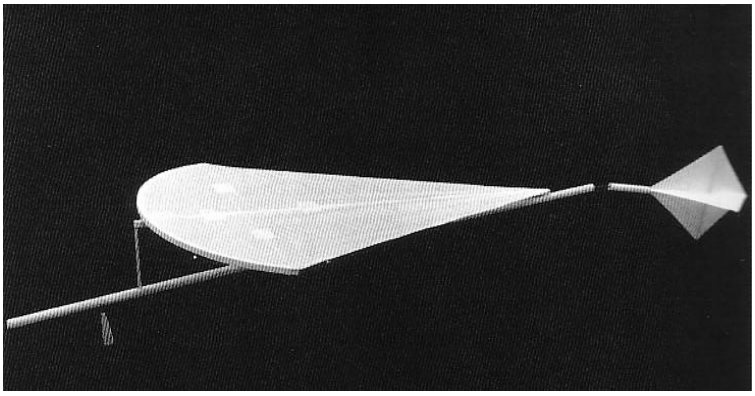
Een van de eerste ontwerpen was die van Francesco de Lana de Terzi (1670). Het hing aan vier luchtledige bollen en had een zeil. Het is de voorloper van de hete luchtballon.

In de achttiende eeuw werd de hete luchtballon uitgevonden. In 1783 vond de eerste luchtreis plaats. Montgolfier ontdekte dat opstijgende warme lucht gebruikt kon worden voor opstuwing. In Parijs demonstreerde hij zijn ontwerp: de eerste menselijke luchtreis.



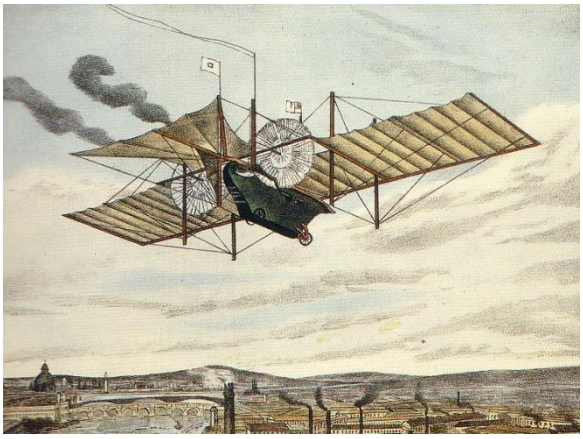
Figuur 5: eerste hete luchtballon van Montgolfier

In 1804 begon Cayley met experimenten waarbij hij gebruik maakte van een vleugelvorm. In feite was hij de eerste die inzag dat je lift krijgt door een vlakke plaat schuin in de wind te plaatsen. Cayley wordt wel beschouwd als de eigenlijke uitvinder van het vliegtuig. Hij zag ook in dat de liftkracht verbeterd kon worden door een ander profiel te kiezen voor de vleugel.



Figuur 6: de eerste vleugel van Cayley, 1804

In 1809 vloog zijn zwevende vleugel met een jongen aan boord. Het had al een stabilisator aan de achterkant en een kielvlak.Het werk van Cayley werd lang genegeerd. Pas in1843 werd het werk van Cayley toegepast door William Samuel Hensons. Hij bouwde de eerste vliegende vleugel met motor. Omdat in zijn tijd alleen de stoommachine bekend was, plaatse hij een stoommotor in zijn ontwerp. Natuurlijk was deze te zwaar. Zijn model heeft dan ook nooit gevlogen.



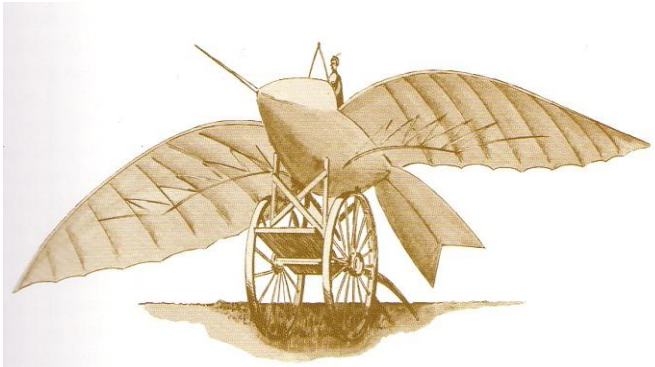
Figuur 7: de vliegende stoommachine van Hensons

Vele pogingen werden gedaan om het ontwerp van Hensons te verbeteren. Men richtte de eerste luchtvaartmaatschappij op, Aerial Transit Company, in de hoop geld voor de bouw van een lichtere stoommotor binnen te halen.

Patenten werden aangevraagd, maar uiteindelijk mislukte het project.Stingfellow ging door met het ontwikkelen van de machine van Hensons. Hij plaatste een lichtere motor op een vliegtuig met 3 vleugels boven elkaar. Alle modellen vlogen niet! Toch kan men stellen dat Hensons en Stingfellow de grondleggers zijn geweest van het vliegtuigmodel met vaste vleugels en door propellers aangedreven.

In de jaren hierna ging men steeds beter begrijpen hoe de stabiliteiten bestuurbaarheidmoesten worden verbeterd. De vleugels werden in een lichte V-vorm geplaatst en de stand van de stabilisator ten opzichte van de vleugels werd veranderd. Maar het probleem van de zware motor en de te geringe lift bleef bestaan. Bovendien kregen de modellen te veel stabiliteit, wat niet gewenst is voor een goede bestuurbaarheid.

Wenham (1824-1908) ontdekte dat een gewelfde vleugelvorm een grotere lift leverde. Hij ontdekte dit door de bestudering van vogelvleugels. Deze zijn aan de voorkant ook dikker dan achter. Dit verschijnsel wordt verklaard met de wet van Bernouilli**.** De Fransman Le Bris (1857) was geïntrigeerd door de perfecte vogelvlucht van de albatros. Hij bouwde een zweefvliegtuig met een beweegbare staart.



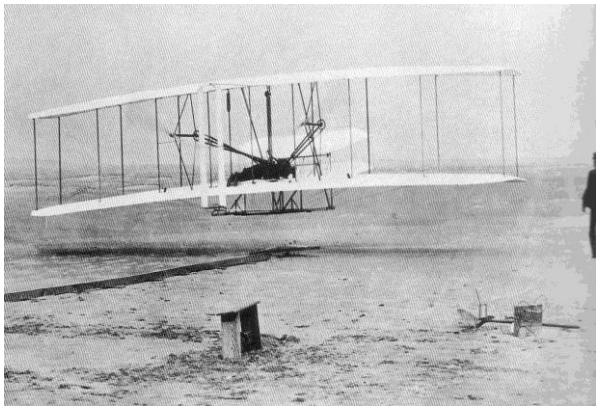
Figuur 8: de albatros van Le Bris

Hij bereikte een hoogte van 90m!

De Duitser Otto Lilienthal (1848-1896) maakte gebruik van de verworven kennis van zijn voorgangers en begon te experimenteren met alle mogelijke zweefvliegtuigen, waaronder ook dubbeldekkers. Hij was de eerste onderzoeker die de aerodynamica van vleugeltypes in kaart bracht. Begin 1890 ontwierp hij de eerste dubbeldekker, nog zonder motor. Met de positie van zijn lichaam zorgde hij voor het evenwicht en de besturing van het toestel. Hij dacht ook na over de besturing van het toestel met vleugeltippen. Helaas verongelukte hij in 1896 en kon hij zijn plannen niet verwezenlijken.

In Amerika waren begin 1900 ook pioniers bezig met het ontwikkelen van vliegtuigmotoren.

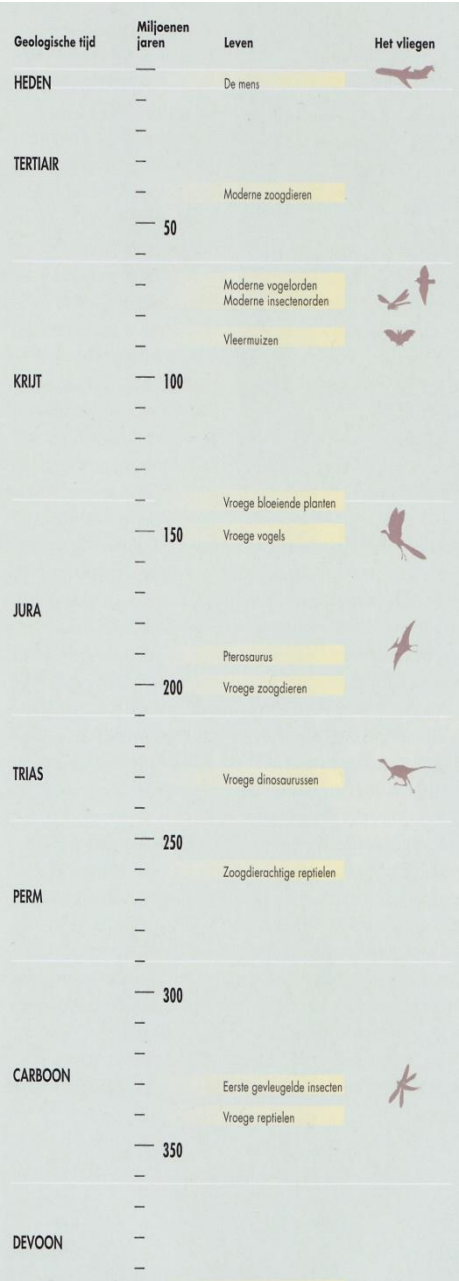
Octave Chanute (1832-1910) begreep uit de mislukkingen van onder andere Lilienthal dat de stabiliteit vaak de oorzaak was. Hij ontwierp een stabiel zweefvliegtuig, dat door verstoringen in luchtstromingen, automatisch zijn evenwicht terugvond. De gebroeders Wright (Orville en Wilbur)gebruikten deze kennis later bij hun ontwerp. De ontwerpen van Wright maakten voor het eerst gebruik van het laten rollen van het toestel door de vleugelvorm te veranderen tijdens de vlucht en niet meer door het verplaatsen van het lichaam. Hun toestellen kregen ook kielvlakken met een richtingsroer om het slippen tegen te gaan en om meer stabiliteit te geven. Uiteindelijk waren ze instaat om met het zweeftoestel goede bochten te maken. In de zomer van 1903 bouwden de gebroeders hun gemotoriseerde vliegtuig. De motor was een watergekoelde 12 pk motor van 90 kg. Op 17 december vloog Orville 12 seconden met een goede landing! Dit was een mijlpaal in de geschiedenis van de luchtvaart.



Figuur 9: eerste vlucht van Orville, 1903

2 Basis aerodynamica

2.1 Inleiding



Figuur 10: schematisch overzicht van het vliegen

Waar velen het vliegen zelf nu nog als een wonder beschouwen, moet dat zeker gegolden hebben voor de primitieve mens. Ondanks onze huidige kennis van de aerodynamica blijft vliegen iets mysterieus.

In het begin probeerden mensen het klapwieken van vogels na te bootsen. Dat leidde tot niets omdat men geen idee had van de manier waarop de lucht en diverse krachten op vleugels werken. Eeuwen later begon men te experimenteren met vaste vleugels. Het lukte om van de grond te komen, en de mens begon de aard van het medium waarin hij zich waagde enigszins te begrijpen. Door daadwerkelijk de lucht in te gaan leerde hij snel, evenals de insecten en vogels miljoenen jaren voor hem.

De vernuftige menselijke vliegmachines leken slechts weinig gemeen te hebben met de vogels die men aanvankelijk had willen imiteren. Tegenwoordig weten wij dat vogels en vliegtuigen toch in grote lijnen op dezelfde manier functioneren.

Het vliegvermogen en de aerodynamische “kennis” van vogels en insecten zijn aangeboren en instinctief. Ze zijn voortgekomen uit een ontwikkeling van honderden miljoenen jaren.

Voor de mens is het vliegen een kwestie van uiterste inspanning en geavanceerde technologie. Om de intrinsieke eigenschappen van het vliegen in al zijn biologische en technische verscheidenheid te doorgrondenis het nodig om enig begrip te hebben van aerodynamische principes. Aerodynamica betekent letterlijk “de dynamica van lucht” en is zodanig een onderdeel van de mechanica. Het gaat om de snelheid en versnelling van luchtdeeltjes en de krachten die daardoor werken op lichamen, zoals vogels en vliegtuigen. Na een korte samenvatting van de historische ontwikkelingen van de aerodynamica komen ook de grondslagen van het vliegen aan bod. Als voorbeeld zullen we daarbij meestal een simpel vliegtuig nemen.

2.2 Historisch overzicht

2.2.1 Dieren

Insecten vlogen 350 miljoen jaar geleden rond, maar wij zijn daar pas honderd jaar mee bezig. Dit is te vergelijken met een stukje van 2,5 meter op de vliegafstand van 9650km van Londen naar Johannesburg.

Figuur 12:pterosaurus

Insecten, pterosaurussen, vogels en vleermuizen zijn de enige diergroepen die werkelijk hebben leren vliegen. Alleen insecten hebben daartoe vleugels als echt nieuwe lichaamsdelen ontwikkeld. Naast de Archaeopterixen bestaat er weinig materiaal waaruit kan worden opgemaakt hoe het vermogen om te vliegen bij dieren is ontstaan. Sommige hedendaagse zwevende dieren geven wel een indicatie over de vroegste ontwikkeling. Behalve de bijlzalm bestaan er verder geen dieren met primitieve bewegende vleugels. We kunnen daarom slechts speculeren over de evolutie van vleugelstructuren.

Figuur 11: fossiel van de archaeopterix.

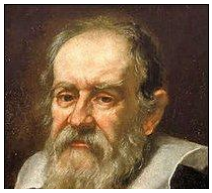
2.2.2 De mens

Figuur 13: Aristoteles

Aristotelesdeed omstreeks 350 v.C. de eerste serieuze poging om een verklaring van het vliegen te geven. Hij beweerde dat er voortdurend kracht nodig was om een voorwerp, bijvoorbeeld een pijl, door de lucht te laten bewegen. Als de kracht wegvalt, stopt het voorwerp. Omdat een krachtwerking op afstand ondenkbaar was, nam hij aan dat de kracht door direct contact op het voorwerp moest worden overgebracht. Aristoteles concludeerde tevens dat een voorwerp niet door het luchtledige kon bewegen en dat het daarom de lucht of atmosfeer was die de vlucht voortstuwde. Een pijl bewoog volgens hem doordat de atmosfeer het vacuüm achter de pijl binnendringt. Dit betekent dat de lucht de pijl niet zou afremmen, maar juist zou voortstuwen. Deze opvatting werd pas in de 15de eeuw door Leonardo da Vinci(1452-1519) betwist en uiteindelijk door hem verworpen.

Figuur 14: Leonardo da Vinci

Da Vinci nam aan dat lucht de beweging niet gaande houdt, maar juist weerstand biedt. Het is deze gedachte die de basis vormt voor de aerodynamica. Het is het begin van een juiste verklaring voor het vliegen. Da Vinci's analyse van de vogelvlucht was echter niet correct: hij veronderstelde dat de klapbeweging van de vleugels leidt tot verdichting van de lucht aan de onderzijde. De vogel zou als het ware door een soort vast lichaam gedragen worden. Zo verklaarde hij ook de glijvlucht: als door sterke wind de relatieve luchtsnelheid maar groot genoeg is, zou de verdichting onder de vleugel ervoor zorgen dat de vogel zonder vleugelslag kon vliegen. Er is wel iets van waar: onder de vleugels treedt inderdaad een zekere verdichting op, maar die wordt pas merkbaar bij extreem hoge snelheden. Dan gaan dichtheidsvariaties ten gevolge van samendrukbaarheid van de lucht een rol spelen.



Figuur 15: Galileo Galilei

Honderd jaar later kwam Galileo (1564-1642) met het idee dat beweging ook zonder krachtwerking kon bestaan. Dit was de genadeslag voor de theorie van Aristoteles. Evenals da Vinci zag Galileo in dat een bewegend voorwerp door de lucht wordt afgeremd. Hij probeerde het verband tussen luchtweerstand en snelheid te vinden. Maar het zou nog even duren voordat de mens over een echte wetenschappelijke analyse van het vliegen beschikte.

Pas toen Isaac Newton (1642-1727) de algemene wetten voor beweging en zwaartekracht had geformuleerd, werd het mogelijk om de eigenschappen van vloeistoffen en gassen wetenschappelijk te bestuderen. Vanaf dat moment werden de geheimen van het vliegen geleidelijk ontraadseld.

2.3 De basis

Om te kunnen vliegen is er in de eerste plaats een kracht naar boven nodig om de zwaartekracht te overwinnen. In die zin vliegen een ballon, een kogel en een vliegtuig alle drie, zij het op totaal verschillende manieren. Alle drie overwinnen ze de zwaartekracht, die hen terug op de aarde probeert te dwingen. Een ballon drijft net zo in de lucht als een kurk in het water: een voorwerp dat is ondergedompeld in een vloeistof of een gas ondervindt een opwaartse kracht (of verlies aan gewicht) gelijk aan het gewicht van het verplaatste medium. Archimedes ontdekte dit in de derde eeuw voor Christus. Zo ondervindt een ballon met een volume van $30m^3$ een opwaartse kracht van ongeveer 35kg (dit is het gewicht van $30m^3$ lucht). Als het totaalgewicht van de ballon met alles erop en eraan minder is dan 35 kg, dan stijgt hij op. Het verschil tussen zijn eigen gewicht en het gewicht van de verplaatste massa lucht bepaalt of hij stijgt of daalt. Het probleem met ballonnen is dat ze niet helemaal bestuurbaar zijn. Ze zijn afhankelijk van de wind. We spreken pas werkelijk over vliegen wanneer we niet afhankelijk zijn van de wind en we zelf kunnen beslissen over hoe hoog, hoe snel en in welke richting we vliegen.

2.3.1 De beweging van lucht

Lucht en water zijn beide stromende media, maar lucht is een gas en water een vloeistof. Een vloeistof is vrijwel niet samendrukbaar, bij een gas gaat dat makkelijker. Bij vliegen zijn er twee soorten. Je kan supersoon (in de buurt van de snelheid van het geluid) en subsoon vliegen. Bij supersoon vliegen gaat de samendrukbaarheid een rol spelen. Doordat de lucht geen tijd heeft om uit te wijken botst deze op het voorwerp en treedt er een verhoging van de dichtheid op. Dit heb je bij subsoon vliegen niet. Daar heeft de lucht de tijd om uit te wijken en om het voorwerp heen te stromen. Daardoor moeten de vleugels de zwaartekracht overwinnen door de impuls van bewegende lucht.

We leven op de bodem van een geweldige oceaan van lucht, maar we merken dat pas als deze begint te bewegen. Hoe sneller de lucht beweegt, hoe beter we dat merken. We hebben luchtbeweging al duizenden jaren gebruikt om windmolens en zeilschepen aan te drijven, maar pas bij zeer hoge snelheid krijgen we een idee van de buitengewone kracht van de lucht. Die komt tot uiting in de verschrikkelijke verwoestingen van een orkaan, maar ook in de aerodynamische krachten die een jumbojet van 500 ton met 400 passagiers in de lucht houden.

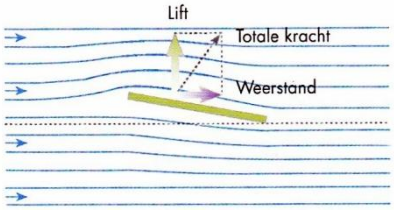
Vleugels functioneren alleen in de atmosfeer, een betrekkelijk dunne luchtlaag die de aarde omgeeft. Met toenemende hoogte wordt de atmosfeer ijler, de grootste dichtheid heerst op zeeniveau.

De lucht "kleeft" aan het aardoppervlak door de zwaartekracht, dus door eigen gewicht, dat op zeeniveau ongeveer 1,2kg/m^3 bedraagt. Door zijn gewicht oefent de lucht druk uit van ongeveer 1kg/cm^2. De druk neemt af met de hoogte: op 6100m is de druk gedaald tot minder dan 0,5kg/cm^2. De atmosferische druk werkt alzijdig op het gehele buitenoppervlak van een lichaam, en ook in de met de atmosfeer verbonden binnenruimtes. Dit komt doordat lucht een stromend medium is. Als de druk aan weerszijden om één of andere reden verschillend is, zal een voorwerp een kracht in de richting van de laagste druk ondervinden. Ook de lucht zelf zal dan in de richting van de lagere druk gezogen worden. Op dit principe berust de werking van alle dierlijke en door mens gemaakte vleugels.

2.3.2 Lift en weerstand

Bewegende lucht gedraagt zich heel anders dan stilstaande lucht. Zodra een voorwerp gaat bewegen ten opzichte van de lucht, treedt een verschijnsel op dat ons zo gewoon voorkomt dat we er niet bij stilstaan. Toch ontlenen alle vleugels hieraan hun werking.

We bedoelen hiermee de traagheid van de lucht: zij verzet zich tegen de verplaatsing. Het is vreemd dat dit niet eerder onderkend werd, terwijl we reeds op de hoogte waren van de beweging van sterren en planeten. De traagheid van lucht komt op een tweede manier tot uiting: als weerstandskracht die tegen de bewegingsrichting van een voorwerp inwerkt als de draagkracht (lift) die loodrecht op de bewegingsrichting werkt. Als een lichaam op constante hoogte met constante snelheid in een rechte baan vliegt, dan heft de stuwkracht (trust) de luchtweerstand (drag) op en is de draagkracht gelijk aan het gewicht (weight). Een lichaam kan bewegen door stilstaande lucht of stilstaan in stromende lucht (denk aan een vogel die tegen een harde wind in op dezelfde plaats blijft hangen), aerodynamisch maakt dit geen verschil, het gaat uitsluitend om de relatieve beweging.



Figuur 16

De grootte van de aerodynamische krachten zijn afhankelijk van een aantal factoren: luchtdichtheid, luchtsnelheid, vorm van het voorwerp, stand en frontaal oppervlak van het omstroomde lichaam. De optredende kracht is recht evenredig met de dichtheid van de lucht, met het kwadraat van de snelheid en het oppervlak. De relatie tussen vorm en de stand van het lichaam is veel complexer en vereist een preciezere uitleg.

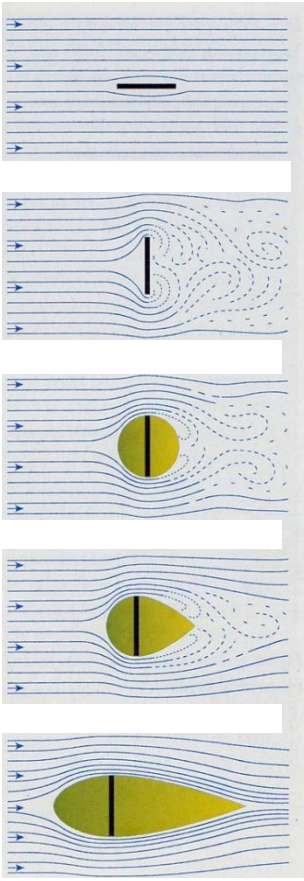
Als de luchtstroom niet gehinderd wordt, zal hij de kortste weg van hoge naar lage druk volgen. Een obstakel in de luchtstroom dwingt de lucht af te wijken waardoor er een reactiekracht ontstaat op het voorwerp. Deze kracht wordt groter naarmate de luchtstroom meer van richting moet veranderen. De vorm heeft dus een grote invloed.

Figuur 17

Als een obstakel evenwijdig ligt met de luchtstroom ondervindt deze bijna geen weerstand van de lucht. Wanneer deze echter loodrecht staat ontstaat er een kolkende chaos (stall). Dit veroorzaakt echter een grote weerstand. We kunnen deze weerstand drastisch verkleinen door de plaat te stroomlijnen. We geven de voorzijde een meer spitse en rondere vorm en vullen de turbulente ruimte achter de plaat op. De lucht volgt het oppervlakten gevolge van het Coandaeffect[1]. De weerstand wordt hierdoor wel zo'n 95% kleiner. Ook heeft het opvullen van de achterzijde meer effect dan het afronden van de voorzijde. De verhouding tussen lengte en breedte van een lichaam noemen we de slankheid. Hoe groter de slankheid hoe kleiner de weerstand. Net als lift is de weerstand ook afhankelijk van de snelheid, vleugeloppervlak, luchtdichtheid en vorm van het oppervlak. Hoe dunner het oppervlak hoe kleiner de weerstand is. Bij supersone vliegtuigen speelt dit een zeer grote rol, net als de ruwheid van het oppervlak.

Ook van groot belang is de hoek waarin het voorwerp de luchtstroom raakt: de aanvalshoek α_A. deze hoek is niet gerelateerd aan de stand van het lichaam t.o.v. de aarde, alleen de hoek waaronder de luchtstroom het voorwerp treft is van belang.

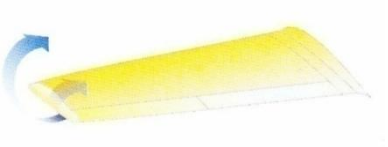
We gaan terug naar de vlakke plaat. Als de richting van de plaat evenwijdig is, is de weerstand minimaal, en bij een loodrechte stand maximaal. Maar wat gebeurt er als we de plaat een kleine aanvalshoek geven? Aan de onderkant is de druk nu iets hoger dan aan de bovenkant. Dit levert een lift die loodrecht op de ongestoorde stromingsrichting staat. Maar het opwekken van lift zorgt voor weerstand tegen de bewegingsrichting in. Het resultaat is een totale kracht die zowel naar boven als naar achteren werkt. Lift maakt het mogelijk dat voorwerpen die zwaarder zijn dan lucht kunnen vliegen, terwijl de weerstand dit tegenwerkt. Beide zijn componenten van een dezelfde kracht, maar zij hebben een verschillend effect. Het is daarom van belang dat we deze apart van elkaar beschouwen. Bij horizontale vlucht met constante snelheid en op een constante hoogte moet de lift gelijk zijn aan het gewicht en moet de weerstand gelijk zijn aan de stuwkracht. Het ideale vliegtuig of de ideale vogel zou niet meer zijn dan een vliegende vleugel, vrij van uitsteeksels zodat er geen weerstand optreedt die niet afkomstig is van de lift. Deze weerstand wordt parasitair of schadelijk genoemd. Bij een vliegtuig is deze weerstand zo klein mogelijk. Maar zelfs het meest ideale vliegtuig heeft een vorm van weerstand die direct gekoppeld is met het opwekken van lift. Dit is de geïnduceerde weerstand.



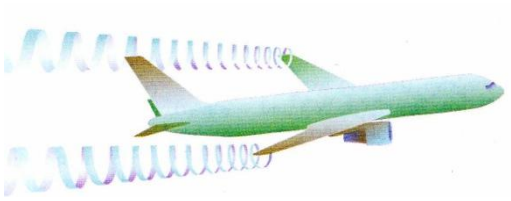
Figuur 18: luchtstromen over verschillende vormen

[1]Coandă-effect: dit houdt in dat vloeistoffen en gassen gebogen oppervlakken volgen. Ze zullen ze niet rechtlijnig passeren. Dit valt zelf te beproeven door simpelweg een ballon deels onder de kraan te houden. Je ziet dat deze de vorm van de ballon zal volgen.

Het werkingsprincipe van elke vleugel berust op de vormgeving, die ervoor zorgt dat lucht naar beneden geduwd wordt, zodat een reactiekracht naar boven ontstaat. Dit gehoorzaamt aan één van de wetten van Newton die zegt dat elke actie een reactie teweegbrengt. De neerwaartse luchtbeweging achter de vleugel noemen we de neerstroming. Hoe meer lucht naar beneden wordt afgebogen, hoe groter de lift wordt en hoe meer de lucht verstoord wordt, hoe groter de weerstand wordt. Een vlakke plaat kan bij lage Reynoldsgetallen[2] (Re) redelijk dienstdoen als vleugel. Vleugelprofielen zijn vleugeldoorsneden die zo gevormd zijn om een maximum aan lift te geven en een minimum aan weerstand. De bijzondere eigenschappen van profielen berusten op de 250 jaar oude wet van Bernouilli[3], die het verband geeft tussen de plaatselijke snelheid van een stroming en de druk die daar bij optreedt. Het principe is zeer eenvoudig en te illustreren met een voorbeeld. Wanneer je tussen twee blaadjes papier blaast zie je dat deze naar elkaar toe getrokken worden. Dit verschijnsel heb je ook wanneer je een blaadje papier neemt en erboven blaast, dan zie je dat het blad naar boven komt. Dit komt omdat je de lucht daar in beweging zet waardoor een lagere druk ontstaat en zo in het eerste geval de blaadjes naar elkaar toe komen en in het tweede geval het blaadje naar boven komt. Dit is bij vliegtuigvleugels hetzelfde. Doordat het profiel door de lucht stroomt ontstaat er een onderdruk aan de bovenkant van het profiel omdat de lucht daar sneller stroomt (de lucht moet een grotere afstand afleggen) en aan de onderkant van het profiel ontstaat er een grotere druk. Wat uiteindelijk resulteert in lift. Ook deze profielen kunnen we onder een bepaalde hoek plaatsen. Hoe groter de aanvalshoek wordt hoe groter de lift wordt. Maar houd er ook rekening mee dat de weerstand zal toenemen. Op een bepaald ogenblik zal de weerstand zodanig snel toenemen dat deze veel groter wordt dan de lift. Elke vleugel heeft een optimale hoek. Die hoek wordt proefondervindelijk bepaald door het profiel te maken en in een windtunnel[4] te plaatsen. Het drukverschil tussen onder- en bovenzijde van een vleugel zorgt niet enkel voor lift maar ook voor een belangrijk neveneffect. Namelijk de wervels bij de vleugeltippen. Dit komt doordat lucht van hoge druk naar lage druk wil stromen. Dit gebeurd langs de uiteinden van de vleugel (er wordt lucht "gelekt"). Onder de vleugel stroomt de lucht daardoor een beetje naar buiten en aan de bovenzijde naar binnen. Achter de vleugels komen de zo enigszins verschillende gerichte stromingen bij elkaar en vormen kleine wervels die zich bij iedere vleugeltip verenigen tot één grote wervel. Het op gang brengen van tipwervels kost energie en dit komt tot uiting in de eerdergenoemde geïnduceerde weerstand. Die wordt dus veroorzaakt door het opwekken van lift en is daarmee onverbeterlijk verbonden (in het Engels wordt deze dan ook "drag due to lift" genoemd). De geïnduceerde weerstand neemt niet toe met het kwadraat van de snelheid zoals de andere weerstandsvormen. Integendeel: geïnduceerde weerstand is op zijn grootst bij de laagste snelheid, vlak voor het overtrekken (bij de maximale lift/weerstandsverhouding). Dit komt doordat de invalshoek bij lage snelheid vergroot om lift te behouden. Het drukverschil is daardoor sterk



Figuur 19: de luchtstroom lekt over de vleugel

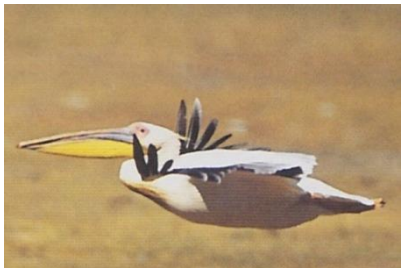


Figuur 20: tipwervels

[2]Reynoldsgetal: dit is de verhouding tussen de traagheidskrachten en de wrijvingskrachten. Dit heeft ook te maken met de vorm van de vleugels. Insecten hebben een flinterdun vliesje als vleugels en hebben een laag Reynoldsgetal.

[3]Wet van Bernouilli: $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g h + p = cte$

[4]Windtunnel: een windtunnel is een tunnel waar een laminaire luchtstroom wordt opgewekt om zo de luchtstroom over een profiel te meten/weten. Er bestaan ook computerprogramma's die een virtuele tunnel maken.



Figuur 21: taps bij de vogels zijn veren die men omhooghoudt.

geconcentreerd in een klein gebied aan de voorzijde zodat de tipwervels heftiger worden. Men kan dit verschijnsel verminderen door de vleugels langer te maken. Ook wordt er door de natuur en de mens gebruik gemaakt van taps om de tipvortexen te verminderen. Deze leveren een grotere lift, minder weerstand en minder weerstand kost minder energie.

2.3.3 Stuwkracht of thrust

Wanneer men wil vliegen door de lucht heeft men niet enkel lift of draagkracht nodig. Je moet ook een voorwaartse beweging maken. Bij vliegtuigen wordt deze stuwkracht veroorzaakt door de motoren. De derde wet van Newton zegt dat actie gelijk is aan reactie. De motoren leveren een kracht naar achteren waardoor het vliegtuig voorwaarts wordt gestuwd. Bij vogels is dit heel anders. Op de vleugels zijn geen motoren gemonteerd. Dit wil zeggen dat de voortstuwing gebeurt doormiddel van de vleugels.De vleugel beweegt op en neer en de vleugel verandert ook constant van aanvalshoek. Concreet komt dit neer op: de vleugel begint aan de opwaartse beweging daarbij kent de vleugel een grote aanvalshoek waardoor hij weinig weerstand ondervindt. Bij de neerwaartse slag wordt de aanvalshoek kleiner zodat een groter contact oppervlak ontstaat. Daarom is dit een grote moeilijkheid om een vogel te laten vliegen. Doordat de aanvalshoek steeds veranderd kan je moeilijk theoretische waarden en/of uitleg vinden over de vleugelbeweging.

De samengestelde krachten grijpen in verschillende punten van de vogel aan, waardoor de resulterende krachten niet in één punt samenkomen. Dat veroorzaakt draaimomenten rond het zwaartepunt die elkaar op moeten heffen wil de vogel met constante snelheid op één hoogte rechtdoor blijven vliegen. We veronderstellen voor het gemak dat alle draaimomenten zich voordoen in het verticale symmetrievlak midden door de vogel en ook dat ze elkaar opheffen waardoor we ze kunnen negeren.

2.4 Schattingen van krachten en vermogens:

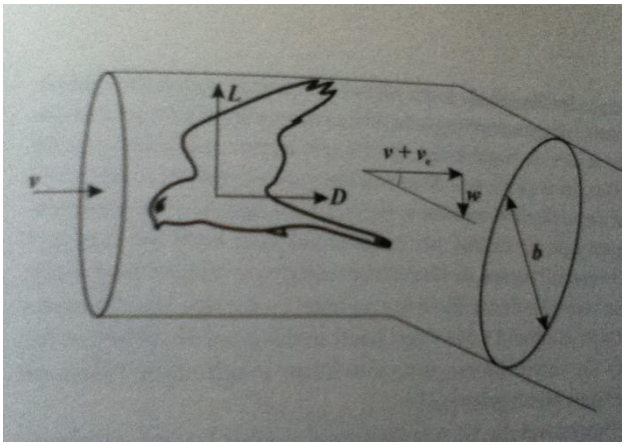
Vogels produceren lift- en stuwkracht door massa's lucht schuin naar beneden en naar achteren te versnellen. Ruwe schattingen van de mechanische energie die nodig is om op dezelfde hoogte te blijven vliegen zonder van snelheid te veranderen, kunnen worden gemaakt door naar de horizontale en verticale krachten afzonderlijk te kijken. Eerst moeten we schatten hoeveel lucht er per eenheid gevlogen afstand wordt versneld. Dat zal ongeveer een cilinder lucht zijn met een diameter ter grootte van de spanwijdte b (m). De formule voor het oppervlak van de dwarsdoorsnede is:

$$A = (\frac{1}{2}b)^2\,\pi \qquad (m^2\ )$$

Per eenheid gevlogen afstand is het volume van de cilinder met spanwijdte b (l = 1) gelijk aan:

$$V = (\frac{1}{2}\,b)^2\,\pi \qquad (m^3\,)$$

Om de massa te vinden vermenigvuldigen we dit volume met de dichtheid van de lucht ϱ (kg/m^3). We kennen nu de massa lucht per gevlogen meter m (kg/m). De vogel vliegt met een snelheid v (m/s) en daarmee wordt de massa lucht die per tijdseenheid wordt afgebogen gelijk aan mv (kg/s). Voor wat de liftkracht betreft wordt deze massa door de slaande vleugels loodrecht naar beneden toe versneld. De richting van de aanstromende lucht is horizontaal en de verticale snelheid is dus nul. Stel dat de neerwaartse snelheid toeneemt wan o tot w (m/s).



Figuur 22: eenvoudige voorstelling van de lucht rond een vliegende vogel

De verticale snelheid w maal de naar beneden geblazen massa lucht per tijdseenheid mv is de naar beneden gerichte impuls per tijdseenheid mvw (kgm/s^2 = N). De reactiekracht op de vogel is volgens de derde wet van Newton de liftkracht L (N). De verticale kinetische energie die de vogel de lucht per tijdseenheid meegeeft, is

$$E_k = \frac{1}{2}mvw^2 \quad (\left(\frac{kg}{m}\right).\left(\frac{m}{s}\right).\left(\frac{m}{s}\right)^2 = \left(\frac{kgm^2}{s^2}\right).\left(\frac{1}{s}\right) = \left(\frac{Nm}{s}\right) = W$$

Dit is het vermogen, P_L, dat de vogel gebruikt om lift te genereren. Tijdens een horizontale vlucht door stilstaande lucht is de liftkracht L gemiddeld gelijk aan het gewicht van de vogel M. Dus L = M = mvw. Hieruit kunnen we concluderen dat de verticale snelheid w, gelijk is aan M/mv (het gewicht van de vogel gedeeld door de massa lucht die per tijdseenheid wordt afgebogen). Als we nu de kinetische energie berekenen met de term W/mv in plaats van w, dan zien we dat die gelijk is aan

$$E_k = \frac{1}{2}\, mv \left(\frac{M}{mv}\right)^2 = \frac{1}{2}\frac{M^2}{mv}$$

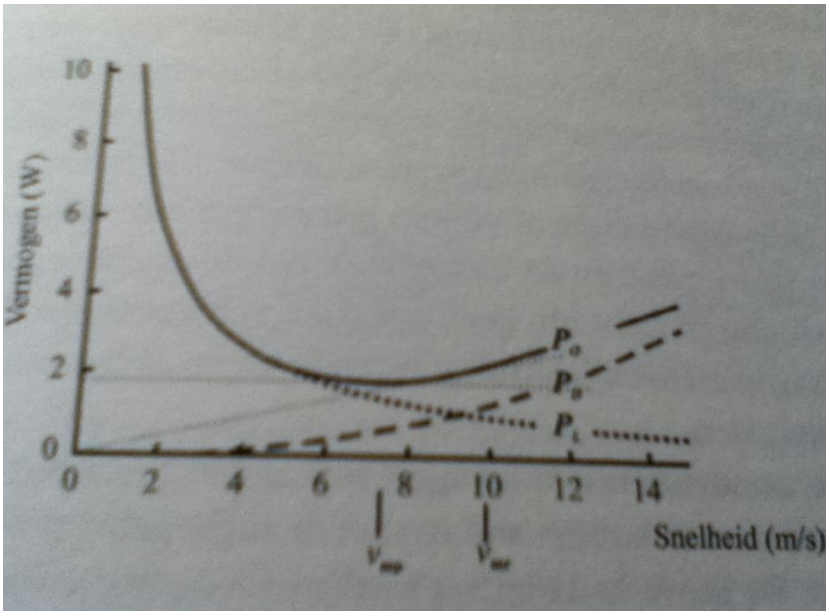
Met andere woorden: het vermogen dat nodig is om lift te genereren, is evenredig met het kwadraat van het gewicht van de vogel en omgekeerd evenredig met de vliegsnelheid. Deze redenering bewijst dat vogels bij lage snelheden heel veel energie moeten leveren om in de lucht te blijven.

Om met dezelfde snelheid v te blijven vliegen moet een vogel zoveel stuwkracht (T) leveren dat de totale weerstand in de vliegrichting (D) wordt gecompenseerd. Om dat te bereiken versnellen de slaande vleugels de lucht niet alleen naar beneden (nodig voor het genereren van lift), maar ook naar achteren toe. De lucht achter de vogel krijgt daarbij een hogere snelheid $v + v_e$. De stuwkracht is gelijk aan de versnelde massa lucht per tijdseenheid maal de snelheidstoename v_e.

$$T\ (\left(\frac{kg}{s}\right) . \left(\frac{m}{s}\right) = \left(kg\,\frac{m}{s^2}\right) = N)$$

De kinetische energie die daarbij per tijdseenheid in de lucht wordt gestopt is het verschil tussen de kinetische energie per tijdseenheid van de massa lucht die de snelheid ($v+v_e$) heeft en die van dezelfde massa lucht met snelheid v. De uitkomst van deze aftreksom is het vermogen P_D dat aan stuwkracht wordt geleverd.

Het benodigde vermogen P_D waarmee de weerstandskrachten kunnen worden gecompenseerd, is gelijk aan de kracht maal de snelheid. De kracht is evenredig met de snelheid in het kwadraat en dus is P_D evenredig met de snelheid tot de derde macht. Bij hogere snelheden is P_D de belangrijkste component van het totale vliegvermogen P_O dat de som is van P_L en P_D. P_O is de mechanische arbeid die een vogel per eenheid tijd moet verrichten om in de lucht te blijven.



Figuur 23: vermogenverloop bij een vliegende vogel

Deze grove analyse voorspelt dat het vermogen om te vliegen als functie van de snelheid een U-vormige curve volgt. Een dergelijke kromme heeft een laagste punt waarbij het vermogen minimaal is. De snelheid daar is v_{mp}. Er is een hogere snelheid v_{mr} waarbij de hoeveelheid arbeid die per gevlogen afstand geleverd moet worden zo klein mogelijk is. Deze laatste snelheid kan worden gevonden door de raaklijn aan de curve te tekenen vanuit de oorsprong van de grafiek. Het is de snelheid waarbij de verhouding tussen het vermogen P en de snelheid v minimaal is. Die verhouding is de hoeveelheid arbeid per eenheid gevlogen afstand (J/m).

De grove benadering waarbij we de hoeveelheid lucht voorstelden als een naar beneden afgebogen cilinder, komt niet in de buurt van wat er zich werkelijk afspeelt.

2.5 De stroming rond de vleugels van een zwevende vogel

De enige manier om de gevolgen van de wisselwerking tussen vleugels en lucht volledig te begrijpen is het zichtbaar maken en het meten van de stroming rond de vleugels tijdens de vlucht. Dat is niet zo eenvoudig. Wij gebruikten eerder al DPIV (Digital Particle Image Velocimetry) om stromingen in water te analyseren. DPIV in water is technisch eenvoudiger dan in lucht omdat bij hetzelfde Re-getal de stroming langzamer kan zijn en het is gemakkelijker om precies gewichtloze zwevende deeltjes te vinden. Onze watertunnel heeft een testgedeelte dat 50 cm lang is en de doorsnede is daar 25x25 cm. Het water wordt rondgepompt met snelheden tot 1 m/s en de stroming wordt laminair gemaakt door het vlak voor de testsectie door opeenvolgende roosters met een honinggraatstructuur te laten stromen. De zwevende deeltjes hebben een diameter van 50 µm.

Met deze opstelling komen we erachter dat de vleugels van zwevende vogels in de lucht gehouden worden door ten minste twee stromingspatronen die elk lift- en weerstandskrachten genereren: een conventionele stroming die het profiel van de vleugel volgt en een afbrekende stroming die een voorrandwervel (LEV) vormt boven de vleugel. Eenmaal in de lucht is er een stabiel drukverschil tussen de onderkant en de bovenkant van de vleugels dat de vogel in de lucht houdt. Nu gaan we de details van conventionele stroming bij een vogelvleugel nader bestuderen. We kijken daarvoor naar de verplaatsing van waterdeeltjes rond een profiel van de armvleugel van een stormvogel.

Stormvogels (zoals bv. de meeuw) zijn zweefspecialisten met lange slanke vleugels. De armvleugels zijn relatief lang. Dwarsdoorsneden door de armvleugels hebben een ronde voorrand en een scherpe achterrand. Profielen van vogelvleugels zijn meestal meer gebogen dan die van vliegtuigvleugels. Dicht bij het lichaam is die kromming het sterkst en wordt minder naar de pols toe. De sterkste kromming is waarschijnlijk een aanpassing waarmee bij lage snelheden toch lift kan worden gegenereerd met conventionele aanliggende stroming. We gebruiken een profiel van een stormvogel zoals dat er tegen het einde van de armvleugel net voor het polsgewricht uitziet. De lengte van de koorde, dat is de lengte van het profiel van voor naar achter gemeten, is op dat punt 12,5 cm. Het model moet doorzichtig zijn om het licht van de laser door te laten. De laserstraal gaat eerst door een cilindrische lens die er een dunne plaat licht van maakt. Die schijnt parallel aan de stroming midden door het model in het centrum van de tunnel. De deeltjes in het water rondom de vleugel weerkaatsen het licht en kunnen zo worden gefilmd. De aanwezigheid van de vleugel in de stroming veroorzaakt het patroon van pijltjes die verschillen in lengte eb richting. De hoogste snelheden vinden we boven de vleugel achter de ronde voorrand. Van daar volgt het water de kromming van het profiel naar beneden. Onder de vleugel zijn de snelheden gereduceerd, vooral in de holte van de kromming. Het is duidelijk zichtbaar dat de stroming op de aanwezigheid van het profiel anticipeert door al naar boven af te wijken voor het profiel bereikt is. Dit is de opstroming voor de vleugel.

De wetten van Newton worden gebruikt om te weten te komen wat dit patroon zegt over de krachten die spelen. In de vrije ongestoorde stroming boven en onder het gebied met verstoring door de aanwezigheid van het profiel is de stroming rechtdoor en de snelheid gelijk. Voor iedere verandering van richting en snelheid oefent het profiel een kracht uit op het water. Het water oefent eenzelfde tegengesteld gerichte reactiekracht uit op de vleugel. De opstroming voor de vleugel resulteert in een neerwaarts gerichte kracht op de vleugel. Vervolgens zien we hoe de naar boven gerichte stroming boven de vleugel opnieuw van richting verandert en opnieuw horizontaal wordt. Deze verandering van richting resulteert in een opwaarts gerichte reactiekracht op de vleugel. Dit gebeurt ook iets verderop waar het water naar beneden afbuigt. De stroming volgt daar de convexe vorm van de vleugel, en de verandering van richting van horizontaal naar neerwaarts levert een opwaartse kracht op de vleugel op.

We zien niet alleen veranderingen van richting in het omstromingspatroon van de vleugel, maar ook snelheidsverschillen. De stroming stagneert aan de onderkant, versnelt over de gebogen bovenkant en bereikt de hoogste waarden net boven de vleugel. De vloeistof wordt omhoog gedwongen door de ronde voorkant en er zou een leemte ontstaan net achter het hoogste punt als de vloeistof niet zou afbuigen. We zagen al dat de stroming het oppervlak volgt, en in plaats van een leemte te creëren stroomt de vloeistof snel over het achterste deel van de vleugel naar beneden. Dit veroorzaakt de hoge snelheden boven de vleugel. De stroming wordt omlaag gedwongen en dat levert een reactiekracht op in opwaartse richting. De totale liftwerking van de vleugel komt ook tot uiting in het verschil tussen de hoge snelheid boven en de lagere snelheid onder de vleugel. Dit snelheidsverschil resulteert volgens de Wet van Bernouilli in een drukverschil waardoor de vleugel omhoog gezogen wordt. Zowel de snelheidsverschillen als de richtingsveranderingen worden veroorzaakt door de aanwezigheid van de vleugel in de stroming.

De handvleugels van de meeste vogels hebben een scherpe voorrand, kunnen onder een grote hoek naar achteren gehouden worden en lijken dan op een deltavleugel met een grote pijlstelling. Vogels kunnen bij het zweven beide aerodynamische principes benutten. Gestrekte vleugels met handvleugels die in het verlengde van de armvleugel of onder een kleine hoek naar achteren gehouden worden, genereren lift op de conventionele manier. Naar achter gebogen handvleugels kunnen een LEV gebruiken terwijl de armvleugel conventioneel vliegt.

3 De slagvleugeltheorie:

Er zijn altijd verschillende versies van de slagvleugeltheorie geweest. Ze bestaan allemaal naast elkaar en hun beschrijvingen zijn wijd verspreid. Het berekenen van het krachtenevenwicht van een vlakke en meestal langzame op- en neergaande slagvleugel blijft tot op de dag van vandaag moeilijk. In het algemeen is dit alleen in vereenvoudigde vorm mogelijk. Verder geldt dat de kennis van de aandrijfwijze en het vleugelontwerp nog veel aan onze wensen overlaat.

3.1 Werkingsprincipe van de slagvleugel:

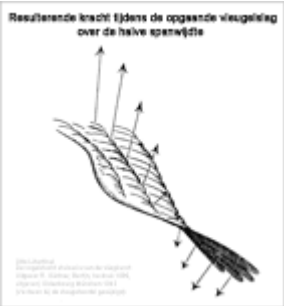
Bij een gestrekte slagvleugel wordt de lift, net als bij een vaste vleugel, door een luchtstroom vanaf de voorzijde opgewekt.

Maar bij de opgaande slag raakt de luchtstroom de vleugel meer aan de bovenzijde en bij de neergaande slag meer aan de onderzijde. De veranderingen zijn klein bij de vleugelwortel en worden groter richting de vleugeltip.

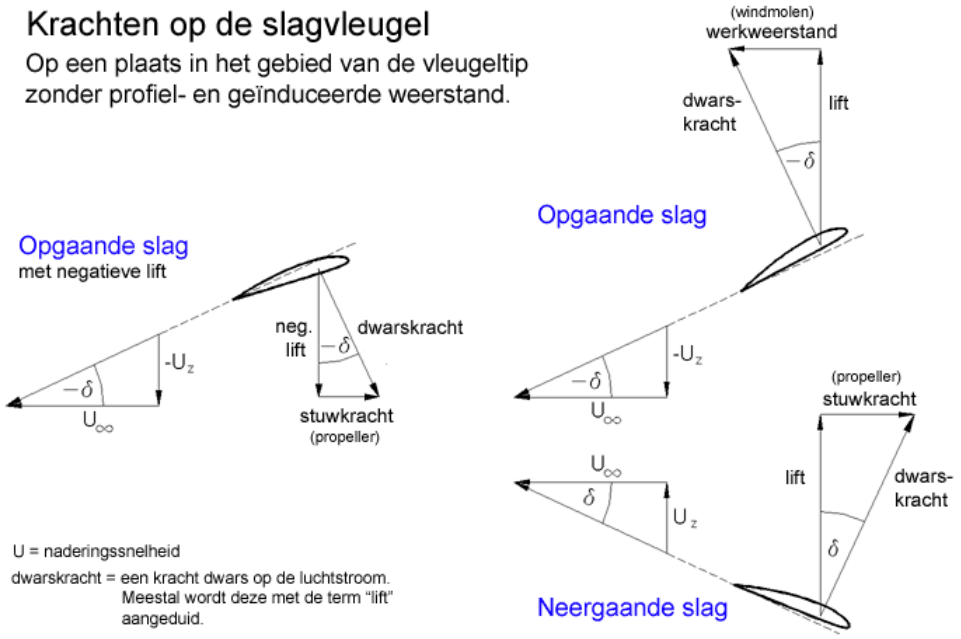
Met het permanent veranderen van de slagrichting moet de vleugel enigszins draaien om zich aan te passen aan de toestromende lucht. Hierdoor wordt de liftverdeling over de gehele spanwijdte aangepast.

Bij de neergaande slag van de vleugel is de lift groter dan tijdens de glijvlucht en ook meer verplaatst naar de vleugeltip. Het is eenvoudig voor te stellen dat er meer stuwkracht wordt gegenereerd over de gehele spanwijdte gedurende de slagbeweging. Dit werkt identiek als een propellerblad met een hele grote spoed, met dit verschil dat de propeller-omtrekskracht die moet worden opgewekt hier lift wordt genoemd en ook als zodanig wordt gebruikt.

Bij de opgaande slagis de situatie omgekeerd. Over het geheel genomen is de liftverdeling kleiner en meer verschoven naar de vleugelwortel. Bewegend in de richting van de liftkracht zal de vleugel meer werken als een windmolenblad. Als de liftkracht groot genoeg is dan drukt deze de vleugel omhoog zelfs zonder mechanische aandrijving. Daarbij werkt de vleugel met de bewegingsweerstand en de werkweerstand van de windmolen tegen de vliegrichting in.



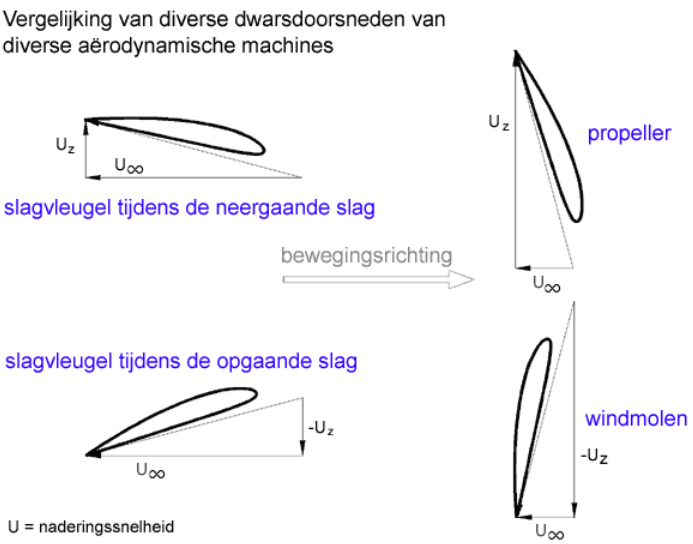
Figuur 24: resulterende krachten tijdens de opgaande vleugelslag



Figuur 25: vectordiagram van de krachten op een slagvleugel

Op hetzelfde moment worden de buitenste vleugelgebieden meer van boven aangestroomd. Er wordt inderdaad negatieve lift geleverd zoals bij een propeller maar ook stuwkracht (zie ook het vectordiagram).

Of bij de opgaande slag de windmolen- of de propellerfunctie domineert hangt af van de vorm van de liftverdeling.



Figuur 26: vergelijking van diverse aerodynamische machines

Een slagvleugel is een aerodynamische machine met twee arbeidsslagen, de op- en de neergaande slag. Bij een niet versnellende horizontale vlucht van een vliegende staartloze ornithoptervleugel is de efficiëntie van deze machine gelijk aan nul. Het beweegt alleen zichzelf maar levert geen vermogen.

Maar als je een romp en een staart aan de vliegende ornithoptervleugel verbindt dan moet de slagvleugel vermogen leveren om de weerstand te overwinnen. Nu levert de slagvleugel opbrengst. De efficiëntiegraad van een slagvleugel zal bijvoorbeeld toenemen met de afmeting van de staart bij het in stand houden van het krachtenevenwicht.

De totale kracht wordt groter naarmate de liftverdeling van de op- en neergaande slag meer van elkaar verschillen - speciaal aan de vleugeluiteinden waar het meeste werk moet worden verricht om stuwkracht op te wekken. Als het verschil gelijk is aan nul, zijn werkweerstand en stuwkracht even groot en heffen ze elkaar op. Het totale aandrijfvermogen is dan gelijk. Bij een bestaand liftverschil wordt de stuwkracht ook verhoogd bij toenemende slagfrequentie.

De grootte van de lift wordt ook bepaald door de invalshoek van de vleugel. Bij de bovengenoemde liftverdeling wordt de invalshoek altijd constant gehouden. De waargenomen verschillen in lift bij de vleugelwortel komen voort uit verschillende geïnduceerde down wind hoeken.

Bij een rustige vlucht moeten alle krachten met elkaar in evenwicht zijn. Het propellereffect moet niet alleen in balans zijn met het windmoleneffect maar ook met alle nog optredende weerstanden op de vleugel en de romp van de ornithopter. Op hetzelfde moment moet het positieve deel van de lift het negatieve deel opheffen en wel zodanig dat deze nog groot genoeg is om het vliegtuig te dragen.

3.2 Slagvleugeleigenschappen gedurende de vlucht

3.2.1 Vloeiend toenemende stijgvlucht

Bij de opgaande slag kunnen de aerodynamische krachten worden aangepast met voldoende vleugelverdraaiing zodat de draaimomenten rond de vleugelophanging zichzelf uitbalanceren (zie de volgende afbeelding). Hier is te zien dat de vleugel in de nabijheid van de romp werkt als een windmolen en deze vermogen levert om de vleugeleinden te laten werken als een propeller. Dit is de eerste mogelijkheid om de opgewekte windenergie toe te passen.

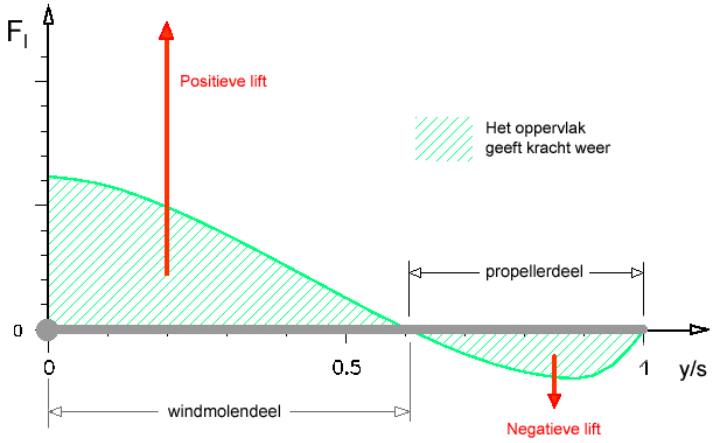


Diagram 3
Liftkrachtverdeling met gebalanceerd moment tijdens de opgaande vleugelslag.
Het drukpunt van zijn liftverdeling ligt precies op de slag-as.

Figuur 27: liftkrachtverdeling met gebalanceerd moment tijdens de opgaande vleugelslag

Er is geen energiegebruik of overdracht bij de configuratie van de opgaande slag. De vleugel kan bij wijze van spreken zonder kracht omhoog bewegen. Propeller en windmoleneffecten heffen elkaar op. De totale energieopbrengst van de opgaande slag is dan ook gelijk aan nul.

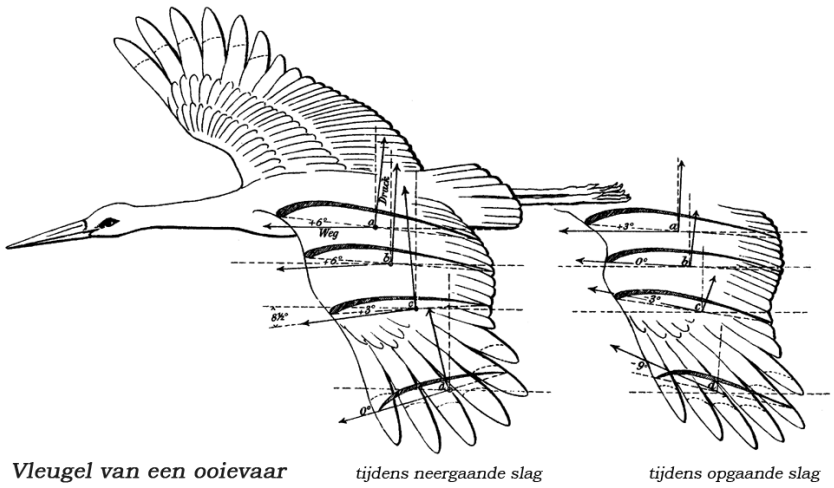
Door het hefboomeffect van de vleugel moet de positieve lift vlakbij de romp groter zijn dan de negatieve lift aan de vleugeltip. Opgeteld resteert er steeds een positieve lift tijdens de opgaande slag. De neergaande vleugelslag met zijn, over het algemeen, hoge liftopwekking en stuwkracht zorgen voor de resterende krachten gedurende de gehele slagperiode.

Als men in plaats van aan lift, de voorkeur geeft aan stuwkracht tijdens de opgaande slag, dan moet het volgende worden overwogen. Om de totale liftbehoefte, alleen gedurende de neergaande slag op te wekken, in principe de helft van de tijd, dan moet de liftkracht (dus ook het vleugeloppervlak) bijna verdubbeld worden. In ieder geval resulteert dit bij een lage slagfrequentie in een duidelijke pendelbeweging van de romp. Maar door de daarbij gegenereerde variaties van de invalshoek wordt dit effect aanzienlijk gedempt.

Natuurlijk zijn er andere instelmogelijkheden in de omgeving van het gebied van de voorgaand genoemde liftverdeling. Deze zijn erg geschikt voor een rustig toenemende klimvlucht met een gemiddelde slagfrequentie.

3.2.2 De kruisvlucht (vogel vliegt op een constante hoogte):

Uitgaand van het hiervoor beschreven vluchtscenario voor de horizontale kruisvlucht is het voordeliger om de totale lift tijdens de opgaande slag te verhogen en het tevens een beetje richting de vleugeltip te verschuiven. Daar wordt namelijk slechts een klein beetje lift gegenereerd of zelfs helemaal niets (zie de krachtvectoren in de volgende afbeelding). Maar op deze manier worden het windmoleneffect en zijn arbeidsweerstand verhoogd.



Otto Lilienthal: De vogelvlucht als basis van de vliegkunst
Uitgever R. Gärtner, Berlijn, herdruk 1889, uitgeverij Oldenbourg München 1943

Figuur 28: krachten op de vleugel van een ooievaar tijdens de op- en neergaande slag

Dat dit voordelig zal blijken te zijn is op het eerste gezicht verwonderlijk. Het windmoleneffect kan nu niet langer worden gebruikt om aandrijfvermogen te leveren in de buurt van de vleugeltip. Zou het niet beter zijn om eenvoudig de slagfrequentie te verhogen?

In overeenstemming met een voorstel van Otto Lilienthal mag de windmolenenergie en de energie van de opgaande slag gebruikt worden in eentweede mogelijkheid. In het begin zal de ornithopter vertragen door de werkweerstand. De daarbij onttrokken kinetische energie kan worden opgeslagen in een veer. De veer moet zodanig gemonteerd worden dat deze opgespannen wordt tijdens de opgaande slag. De veer ontspant zich weer tijdens de neergaande slag en ondersteunt daarbij de slagbeweging, genereert stuwkracht en zet energie uit de opgaande slag weer om naar kinetische energie van het model.

Gedurende de opgaande slag is in dit soort gevallen geen aandrijving nodig van de slagvleugels. De vleugel levert dan zelfs energie aan de hiervoor genoemde veren. In ieder geval moet de windmolenbeweging wat voor kracht dan ook tegenwerkenanders kan er geen lift worden opgewekt bij een bewegelijke losse vleugel.

De energieopwekking van de vleugel bij de opgaande slag is relatief klein. Deze zal groter worden naarmate het model aerodynamischer is gebouwd.

Een goede manier om het windmoleneffect te verminderen is, ondanks sterke liftopwekking, het trekken of slippen van de buitenste vleugelsectie gedurende de opgaande slag van de binnenste vleugelsectie. Daardoor gedraagt de buitenste sectie zich als een winlet voor de binnenste sectie van de vleugel.

Dit heeft voornamelijk een tweedelingseffect op de effectieve windmolenspanwijdte.

Op hetzelfde moment wordt de geïnduceerde weerstand van de binnenste vleugelsectie verminderd door het wingleteffect.

Verder reduceert het nog de problemen van de massatraagheid van de vleugel, met name in de omgeving van de bovenste vleugelpositie.

Om bij de opgaande slag veel lift op te wekken is het vleugelprofiel van de vleugel voorzien van een grote welving.

Als gedurende de opgaande slag de totale lift opgewekt wordt dan werkt de slagvleugel inderdaad als een tweetakt motor in de liftrichting, maar wanneer dit gezien wordt in de vliegrichting dan is deze wisselend omgekeerd. Niettegenstaande dat, wordt de windmolenenergie gebruikt voor opwekking van stuwkracht - uiteraard onder aftrek van de gebruikelijke verliezen als profielweerstand en geïnduceerde weerstand. Maar deze nemen ook toe bij liftopwekking.

Onafhankelijk van de versnellingsrichting dient de vliegsnelheid constant gehouden te worden. Hieraan draagt een hoge slagfrequentie en een hoge modelmassa zeker bij.

Gedurende zulke kruisvluchtconfiguraties van de opgaande slag wordt de lift groter dan bij een geleidelijk toenemende klimvlucht. Los van opwekking van trekkracht kan lift ook gedurende de neergaande slag worden opgewekt. Daarvoor moet de liftverdeling verschoven worden naar de vleugelwortel en in verhouding lager worden afgesteld.

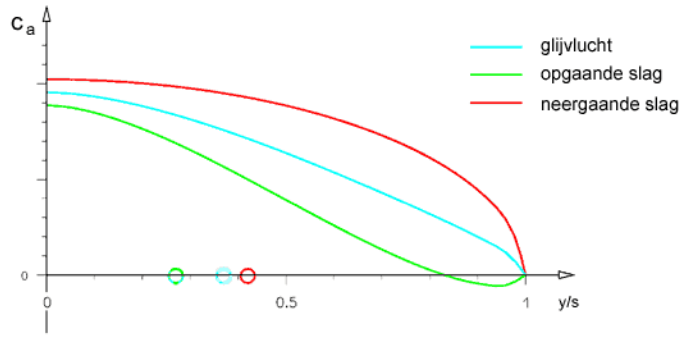


Diagram 4

Voorbeeld van liftverdelingen van een slagvleugel gedurende de kruisvlucht, met een relatief laag moment bij de slag-as in relatie tot de vleugelspanwijdte.

Als de invalshoeken bij de vleugelwortel en de liftverdelingen gedurende de opgaande slag, met langs de gehele spanwijdte een neergaande luchtstroom(downwash), constant worden gehouden dan laat de verdeling tijdens de opgaande slag de minste geïnduceerde weerstand zien. Onder deze condities is deze kleiner dan tijdens de glijvlucht.

Figuur 29: liftverdeling voor een kruisvlucht

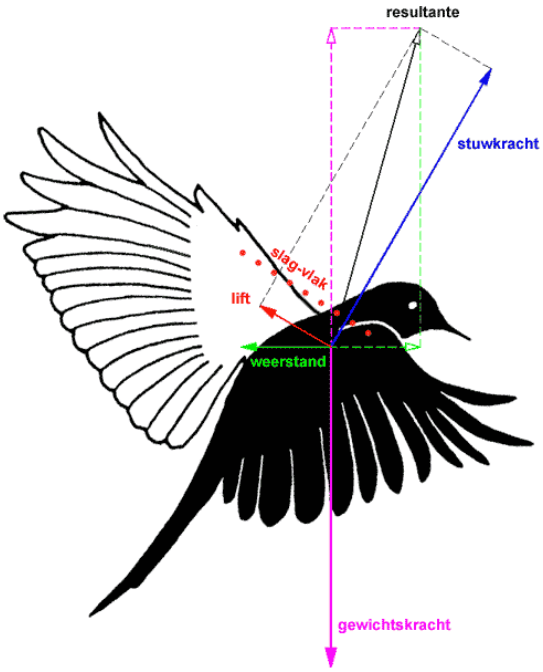
Alles bij elkaar genomen wordt de liftverdelingen van beide werkcycli bijna gelijk aan die van de liftverdeling tijdens de zweefvlucht. Deze wordt beter benaderd naarmate het vliegtuig aerodynamisch is geoptimaliseerd. Er is dan minder stuwkracht nodig. Verder zal hierdoor de geïnduceerde weerstand tijdens de neergaande slag aanmerkelijk minder zijn.

Waarschijnlijk is het genoeg de lift slechts een beetje langs de spanwijdte te verschuiven, zonder de afmeting te wijzigen, richting de vleugelwortel tijdens de opgaande slag en richting de vleugeltip tijdens de neergaande slag. Daarvoor is echter een verdraaiing van de vleugelwortel vereist

3.2.3 Sterk stijgende klimvlucht en bidvlucht

In het voorgaande zijn vluchtomstandigheden beschreven waarbij de lift omhoog en de stuwkracht naar voren is gericht. Het totale gewicht wordt gedragen door de vleugelliftkracht. Kortweg noemen we dit vliegen met lift.

Maar in vergelijking met een helikopter kan de gewichtskracht gedurende de vlucht door een krachtstroom die omlaag gericht is en een trekkracht die omhoog gericht is. Dit heet vliegen met stuwkracht. Daarbij wordt de opgaande vleugelslag praktisch alleen verricht door de aandrijving. In principe staat gedurende de onversnelde vlucht de stuwkracht altijd loodrecht op het vlak van de vleugelslag en kan deze worden aangepast door de instelhoek.



Figuur 30: kleine vogel tijdens nadering

Als de stuwkracht precies in de vliegrichting wijst, dan is er sprake van zuiver vliegen met stuwkracht (verticale klimvlucht) of een zuivere vlucht met lift (horizontale vlucht). Bij instellingen tussen deze uitersten in en gedurende niet te langzame horizontale beweging wordt de gewichtskracht uitgebalanceerd door de door de vleugel geleverde lift- en stuwkracht. Deze gemengde vormen worden toegewezen aan het zogenaamde vliegen met stuwkracht.

In de praktijk fungeert de invalshoek van het vlak van de vleugelslag als een criterium voor de vliegmethode. Tijdens de horizontale vlucht is deze verticaal ten opzichte van de vliegrichting. Als dit aanzienlijk afwijkt (meer dan 10 graden) dan wordt gevlogen met stuwkracht. Verder geldt dat wanneer er een grote vleugelverdraaiing wordt geconstateerd bij een normale vlucht slechts weinig vleugelverdraaiing optreedt.

Verder zijn de poten van de vogels, in ieder geval bij de grotere, niet volledig naar achteren gestrekt als ze met stuwkracht vliegen. Ook is het lichaam niet volledig in de vliegrichting gericht. Het hoge vermogen dat benodigd is gedurende de langzame vlucht wordt in het algemeen alleen toegeschreven aan de toegenomen geïnduceerde weerstand.

Vliegen met stuwkracht wordt al toegepast bij een technisch model sinds het begin van het luchtvaarttijdperk. Maar het horizontaal vliegen van grote en zware ornithopters vraagt aanzienlijk meer vermogen dan wanneer alleen met lift wordt gevlogen.

Otto Lilienthal maakte al een duidelijk onderscheid tussen deze twee manieren van de vogelvlucht met behulp van vermogen en heeft ook de enorme hoeveel werkbelasting aangegeven die nodig is bij een langzame vlucht.

3.3 Hoe vogels vliegen ?

Hoewel biologische slagvleugels dienen als voorbeeld voor de vleugels van ornithopters, moet gezegd worden dat ze veel complexer zijn. In tegenstelling tot kleinere vogels worden hier de slagpennen gespreid tijdens de op- en neergaande vleugelslag.

De basis bewegende delen van een vogelvleugel met betrekking tot de voorwaartse beweging zijn:

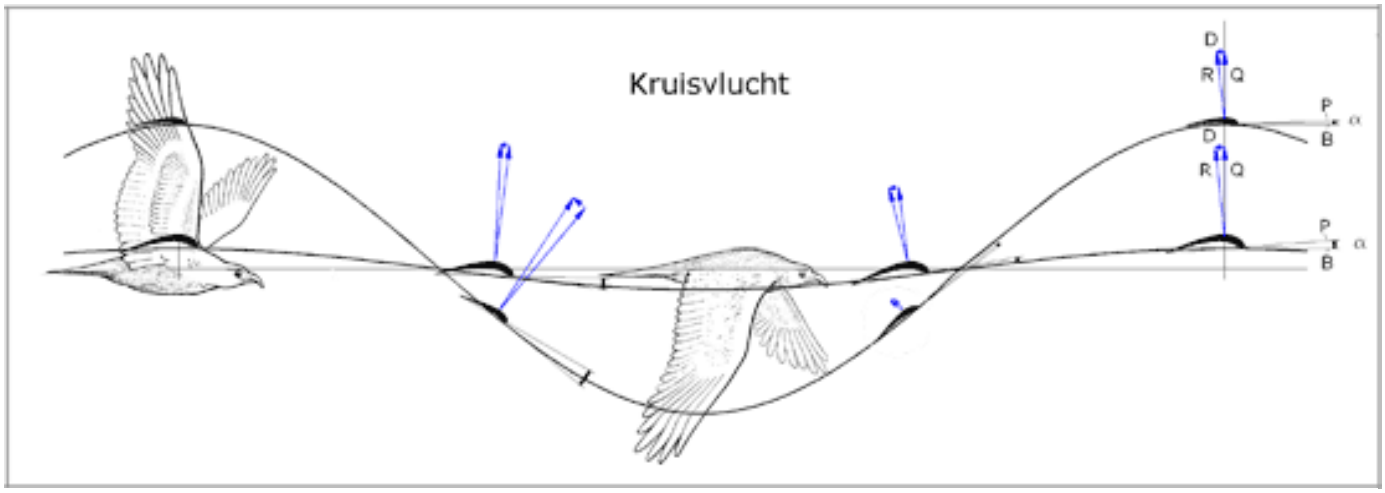
- Slagbeweging in het schoudergewricht. Tijdens de kruisvlucht ligt de as vrijwel parallel aan de as van de romp. Slaghoek, slagfrequentie en tijdverdeling bevinden zich binnen ruime grenzen.
- Trekken van de buitenste vleugelsectie en weerstand bij de binnenste vleugelsectie tijdens de opgaande slag. Afhankelijk van het soort vogel en de vliegsituatie kan deze beweging aanzienlijk verschillen.
- Hoek van het vlak waarin de slag plaatsvindt. Deze wordt bepaald door hoek van de vleugelslag-as. Vogels hebben de mogelijkheid om de slag-as aan de voorzijde ten opzichte van de romp en naar boven te verschuiven, daarbij kan deze as ook nog in de slagrichting naar voren verplaatst worden.
- Draaiing van de vleugel. Deze neemt toe in de richting van de vleugeltip. Tijdens de opgaande slag in de richting van een positieve invalshoek en tijdens de neergaande slag in de richting van een negatieve invalshoek.
- Draaien van de vleugelwortel, speciaal bij het vliegen met stuwkracht, zal de hoek van de vleugelverdraaiing volgen. Dit is zelden waarneembaar bij grote vogels in kruisvlucht.
- Snelle beweging**,** speciaal van de buitenste vleugelsectie gedurende de opgaande slag met een achterwaartse beweging van de vleugeltip. In het algemeen zijn er meervoudige snelle bewegingen op de spanwijdte op hetzelfde moment. Dit komt met name voor bij kleine vogels.

De slagbeweging van de vleugel is absoluut noodzakelijk voor het opwekken van stuwkracht. In het algemeen geldt dat de vleugelverdraaiing plaatsvindt om aerodynamische redenen. In tegenstelling hiermee zijn de snelle bewegingen en het draaien van de vleugel net als het trekken van de buitenste vleugelsectie alleen bedoeld om de efficiëntie te verhogen. Wat dat betreft is er nog weinig inzicht ten aanzien van de effecten.

Alle voorgaand genoemde bewegingscomponenten worden gebruikt en daarnaast nog:

- aanpassing van het vleugelprofiel
- flapeffecten worden gebruikt door het spreiden van de duimen
- veren aan de vleugeltip worden gebruikt om de geïnduceerde weerstand te verminderen door middel van uitschuiven en spreiden

De luchtstroom wordt naar buiten gedrukt door een sinusvormige en in faseverschoven slagbeweging van de binnenste en buitenste vleugelsecties, samen met het buigen van de vleugeltippen waardoor de geïnduceerde weerstand nog verder afneemt.



Figuur 31: Veranderingen van dwarskracht en weerstand tijdens een slagperiode op een willekeurig punt van de arm- en handvleugel

Loodrecht naar boven c.q. in de vliegrichting werkende aandelen van de resulterende kracht leveren liftkracht en voortstuwing. In de bovenste en onderste vleugelpositie zijn de krachten gedurende een kort moment vrijwel gelijk aan die tijdens een glijvlucht. Bewegingen van de vliegbaan van de romp als gevolg van de schommeling in liftkracht worden verwaarloosd.

Het zal nog lange tijd technisch onmogelijk zijn zo'n zelfde graad van perfectie te bereiken voor zover dat al mogelijk is.

Ook in beschrijvingen van de vogelvlucht wordt de functie van de neergaande vleugelslag vaak met de werking van een propeller vergeleken. Echter bij de vogels zal dit alleen voor het buitenste vleugelbereik gelden. Bovendien is men het er over eens dat bij de neergaande vleugelslag de meeste aandrijving wordt gerealiseerd. Deze voorstelling komt nagenoeg overeen met de bovenstaande beschreven theorie.

Bij de opgaande vleugelslag ziet het er echter geheel anders uit. Tenminste voor de kruisvlucht geldt dat deze verschillend en vaak ook vaag beschreven wordt. Om bij de opgaande slag de bijkomende weerstand te vermijden wordt vaak alleen in de buurt van de romp liftkracht gevraagd.

Kleine vogels omzeilen meestal deze problematiek van de toegevoegde weerstand. Zij zien bij deze vleugelslag dan bijna geheel af van de liftkracht. Daarvoor vouwen ze in deze slagrichting grotendeels hun vleugels samen. Bijna altijd wordt de liftkracht bij de opgaande slag als klein ten opzichte van de neergaande slag beschouwd.

De voor de neergaande slag van de vogel aangegeven liftverdeling is als gevolg van de daarbij optredende luchtdrukvereffening langs de spanwijdte nauwelijks te maken. Een dergelijke liftverdeling spreekt ook de werveltheorieën tegen. Wegens het aan vleugeltippen ontbrekende drukverschil tussen de boven- en de onderste vleugelzijde kan men dan lift opwekken zonder dat er randwervels ontstaan. Vogels zijn zeer zeker in staat, gedurende de opgaande slag, de gemiddelde liftkrachtopwekking tot nul te reduceren.

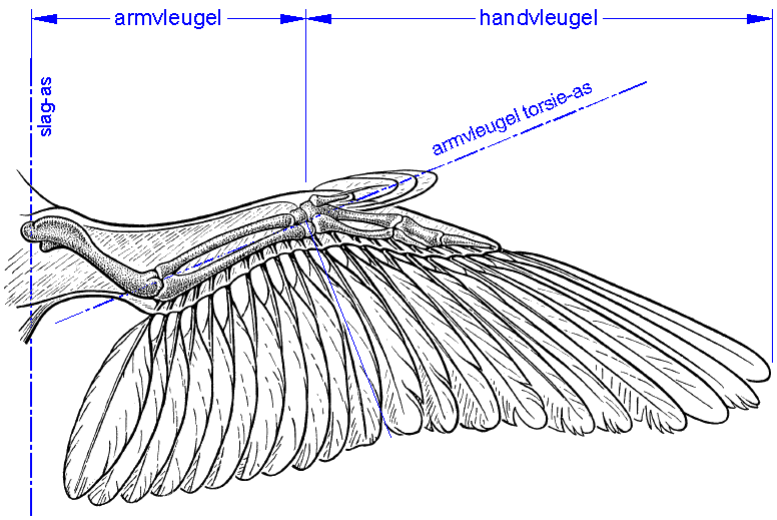
3.4 Soorten slagvleugels

Bij de constructie van ornithoptermodellen zijn er behalve het intensieve gebruik van de slagvleugeltheorie in hoofdzaak twee hoofdactiviteiten namelijk het ontwikkelen van de aandrijving en het ontwikkelen van de slagvleugels. De brede interesse ligt in het algemeen bij de aandrijfsystemen en de componenten. Echter het hoofdprobleem bij de ontwikkeling van zo'n soort vliegtuig vormt toch wel het ontwerpen van de vleugels. In dit ontwerpgebied zijn de verschillen tussen wens en realiteit erg groot.

In het onderstaande wordt getracht een ruw overzicht te verschaffen over de fysische karakteristieken van bekende slagvleugels. Maar deze verzameling is verre van compleet.

3.4.1 De vogelvleugel, het ideaal

Natuurlijk is het grote voorbeeld voor de technische slagvleugels die van de natuurlijke vogelvleugel. Zijn grote effectiviteit dankt het aan het feit dat de gelede delen zich heel doelmatig kunnen bewegen en kunnen veranderen op een manier die zeker voor een lange tijd voor modelvliegtuigbouw onhaalbaar zal zijn. Dit geldt ook voor de verdeling van de vleugelbelasting en de gebruikte sensortechnieken.



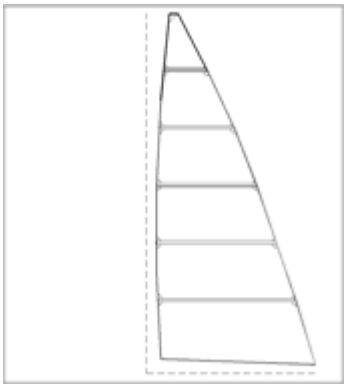
Figuur 32: vleugel van een vogel

In deze afbeelding van wordt de onderverdeling van de vogelvleugel in de hand- en armsectie getoond. Deze afbeelding kan ook heel goed worden gebruikt wanneer de techniek van de slagvleugels wordt besproken. De overlangse delen van deze vleugelsecties verschillen bij de diverse vogelsoorten aanzienlijk. In het algemeen is de bionica van de vogelvleugel erg interessant.

3.4.2 Membraanslagvleugels

Membraanslagvleugels zijn in staat om de richting van het profiel van de handsectie aan te passen aan de slagrichting. Op deze manier leveren ze veel stuwkracht en kunnen daardoor steil klimmen (vliegen met stuwkracht). Tot op heden zijn ze minder geschikt voor glijvluchten en voor het vliegen met lift.

3.4.2.1 Het zeil als basisvorm



Figuur 33: het zeil als basisvorm

Een zeil, hoewel op een andere manier toegepast, heeft bijna dezelfde functie als een slagvleugel. Het moet zoveel mogelijk stuwkracht leveren bij veranderlijke richtingen van de luchtstroom.

Door materiaalkeuze, samenstelling, onderverdeling en vormgeving kunnen de zeileigenschappen behoorlijk verschillen. Zeillatten geven het zeil meer stabiliteit en een optimale vorm.

Er zijn inderdaad veel membraanslagvleugelsystemen ontwikkeld, maar er is nauwelijks gedetailleerde informatie beschikbaar.

3.4.2.2 Rotorvleugels

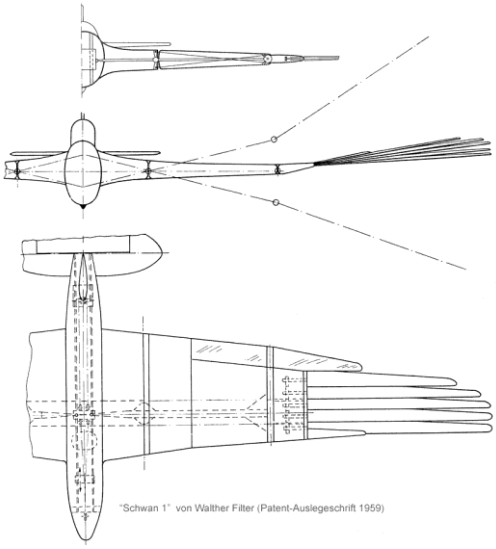
Om acceleratiekrachten te voorkomen bij de eindposities worden soms slagvleugels gebouwd die ronddraaien in een conusachtige houder waarvan het drukpunt bij de vleugelwortel ligt.

Voorbeeld:
De Rotorlibelle (1944 en 1989) van Adolf Pikorsch

3.4.3 Geprofileerde slagvleugels

Geprofileerde slagvleugels met respectievelijk aan beide zijden beklede vleugels zouden met een zeer hoge efficiëntie kunnen werken. Met hun meestal relatief lage slagfrequentie en het kleine bereik van de liftcoëfficïent van eenvoudig vleugelprofiel kan maar weinig stuwkracht worden geleverd. Tenminste als er zoveel mogelijk lift moet worden geproduceerd voor het vliegen met lift. Daarom zijn geprofileerde slagvleugels met name geschikt voor een horizontale vlucht, de soepel toenemende stijgende klimvlucht en natuurlijk bij het omschakelen naar de glijvlucht.

3.4.3.1 Met kunstveren



Figuur 34: vleugels met kunstveren

Om het verdraaien te vergemakkelijken kan het gesloten vleugelprofiel worden open gespreid. Dit wordt tot nu toe in het bijzonder bij grote mandragende slagvleugelconstructies toegepast.

Zelfs voor de schuif- en de spreidbeweging van de veren bestaan oude ontwerpvoorstellen. In tegenstelling daarmee zijn bij de EV7b slechts simpele toepassingen met veren uitgevoerd.

3.4.3.2 Met een onder een hoek geplaatste ophanging van de handvleugel

Bij deze vleugel staan zowel de rotatie- en de verdraaiingsas niet haaks op de slag-as.

Figuur 35: bovenaanzicht van vogel

De armvleugel zou de slagbeweging en een verdraaiingsbeweging moeten uitvoeren in het schoudergewricht. Met behulp van rubberbanden tussen de arm- en handvleugel wordt de laatste een beetje naar beneden getrokken (aero-elastische vleugel).

Dit is ook al een eerdere suggestie voor een door gewrichten verbonden slagvleugel met een aanvullende slagbeweging van de handvleugel.

De knik van het profiel tussen de arm- en de handvleugel ligt op ongeveer hetzelfde punt als bij de bovengenoemde membraanvleugel.

3.4.3.3 Met getrapte verdraaiing

Figuur 36: vleugels met getrapte verdraaiing

Een benaderde vleugelverdraaiing kan ook worden gerealiseerd door een stapsgewijze rotatie van relatief niet verdraaibare vleugelsecties.

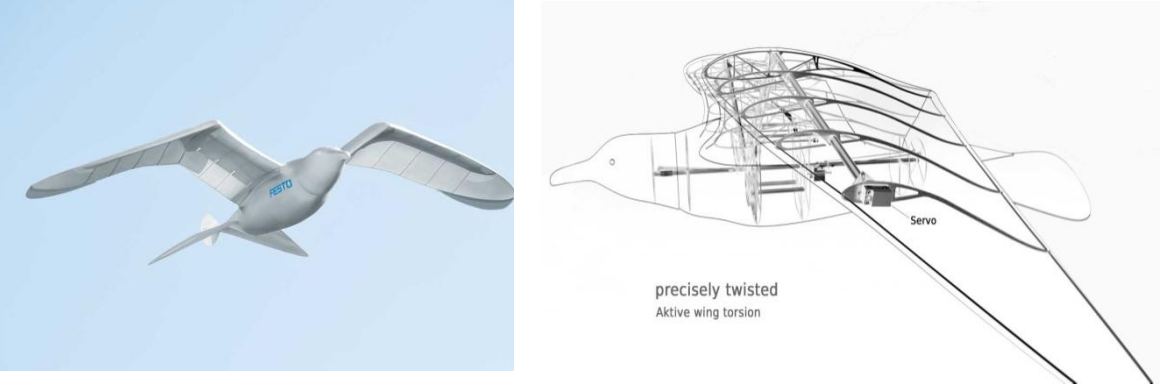
Het model EV4 werd ook zo uitgerust met zo'n soort rotatie van de enkele vleugelsecties. Echter in dit geval werden de rotaties bestuurd door de vleugelaandrijving.

Figuur 37: het model EV4

3.4.3.4 Servogestuurde vleugelverdraaiing

De aerodynamica van deze ornithopter zou volkomen overeen moeten komen met het origineel.

De vleugelverdraaiing wordt door servo's gestuurd en de vliegpositie wordt door heen- en weergaande bewegingen van de vleugeltips en door knikbewegingen van de kop gestabiliseerd.



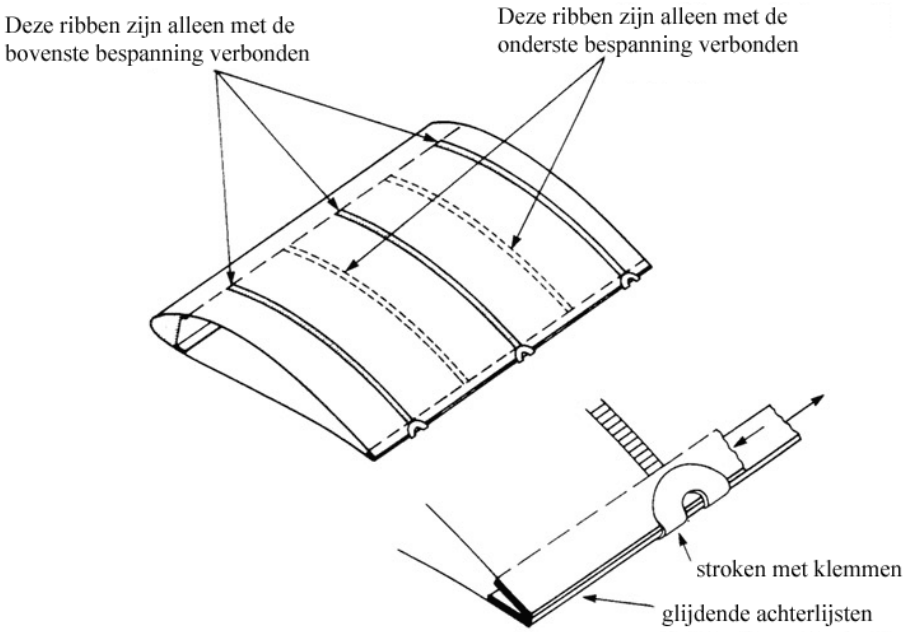
Figuur 38: smartbird van Festo

Ook bij de smartbird van het bedrijf Festo wordt het verdraaien van elke vleugelzijde gecontroleerd door een servo. In dit geval is alleen het verdraaien van het handgedeelte van de vleugel regelbaar. De binnenste armsectie is niet draaibaar. De spanwijdte is 2,0 meter.

De vleugelbekleding is gemaakt van2 mm Polyurethaanschuimplaat die is gevormd op een vleugel. Boven- en onderkant van deze bedekking zijn niet gelijmd aan de achterzijde. Ze kunnen dus tegen elkaar glijden. De vleugel is in staat om een draaiende beweging te maken zonder zichzelf te plooien (zie verschuivingsprincipe in de volgende paragraaf).

Bij de smartbird valt het op dat het vleugelmechanisme de buiging tussen arm- en handgedeelte van vogelvleugels imiteert.

3.4.3.5 Verschuivingsprincipe



Figuur 39: het verschuivingsprincipe

In dit geval gaat het om een aero-elastische verdraaibare geprofileerde slagvleugel volgens het verschuivingsprincipe. Dit systeem maakt het mogelijk een relatief niet-elastische bekleding toe te passen. Als de verdraaiing langs de vleugel constant is en niet te groot dan blijven de contouren van het vleugelprofiel erg goed.

Hier wordt de verdraaiingselasticiteit hoofdzakelijk bepaald door de voorlijst van de vleugel.

4 De veren:

Tegen het einde van de opslag staat er waarschijnlijk geen druk op de vleugel en staan de veren los van elkaar. De vleugel kan zonder wrijving worden gespreid. Dan begint de neerslag en de veren worden op elkaar gedrukt. De lange veren maken contact met de bovenliggende veren en houden die vast zodat ze niet verder kunnen spreiden. Het werkt als een soort klittenband dat alleen onder druk functioneert. De richting van de grote veren is de richting waarin ze de andere veren vasthouden. Ze zetten als het ware de veren ten opzichte van elkaar op slot. Aan het einde van de neerslag wordt de vleugel gevouwen. De veren schuiven daarbij verder over elkaar heen en de verbinding is meteen los. De microstructuren spelen dus waarschijnlijk een belangrijke rol bij het fixeren en loslaten van veren tijdens de slagcyclus. Vogels moeten zich elke dag poetsen om de microstructuren op de juiste plaats te houden

4.1 Mechanische eigenschappen van veren:

Arm- en handpennen moeten licht, sterk en winddicht zijn. Ze moeten licht zijn want ze worden bij elke vleugelslagcyclus versneld en vertraagd. De amplitude van de slagbeweging en de traagheidskrachten nemen toe naarmate de afstand tot het schoudergewricht en de massa die roteert groter zijn. Daarom moeten de handpennen zo licht mogelijk zijn. Maar tegelijkertijd moeten ze sterk zijn want ze vangen de grootste krachten op. Sterkte is geen eenvoudige eigenschap bij een complex ding als een pen. Ze moet stijf zijn maar tevens elastisch om knikken en breken te voorkomen.

Veren zijn gemaakt van keratine, met een molecuulmassa[5] van 10000 Dalton[6]. Keratine is een verzamelnaam voor een groot aantal complexe eiwitten die in de huid van gewervelde dieren worden gevonden. De molecuulmassa zegt iets over de hardheid van materialen en reflecteren de weerstand tegen slijtage.

Biomechanicus Richard Bonser gebruikt nagelknippers om de taaiheid van veren te meten. De kracht die nodig is om de scherpe randen van een nagelknipper dwars door een stukje veer naar elkaar toe te bewegen blijkt rechtlijnig toe te nemen tot de randen elkaar raakten. De opstelling meet de kracht (in N) als functie van de afstand tussen de randen van de knipper (in m). Het oppervlak onder de grafiek daarvan is de arbeid in Nm (Joules) die nodig was om door de keratine te knippen.

$$W = F \,.\, s$$

Daar moet de arbeid die het kost om dezelfde afstand te knippen met een lege knipper (zonder keratine) vanaf worden getrokken. Voor de netto sterkte (Joules/m^2) delen we de netto arbeid door het oppervlak van de dwarsdoorsnede van het stukje keratine.

---

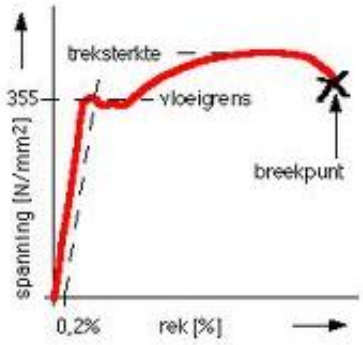
[5] De som van de massa's van alle atomen waar een substantie van gemaakt is.

[6] Ongeveer 1,66 x 10^{-23} kg

Elasticiteit is voor veren die tijdens de vlucht zwaar worden belast een belangrijke eigenschap. Van een stukje materiaal kan de elasticiteit worden gemeten met een machine die de rek en de kracht waarmee eraan getrokken wordt registreert. Het teststukje mag daarbij niet breken. Bij het verminderen van de kracht neemt bij elastische materialen de lengte weer af tot de oorspronkelijke waarde zonder trekkracht is bereikt. De verhouding tussen kracht en rek is dan constant.

$$\frac{F}{\varepsilon} = cte$$

Hiermee is de elasticiteitsmodulus[7] uit te rekenen. De eenheid hiervan is Pascal (N/m^2). Bij zeer elastische materialen zal het lukken om ze zo ver uit te rekken dat het stukje materiaal in lengte verdubbelt. Veel stugge materialen breken echter al lang voor ze die dubbele lengte bereikt hebben. De kracht die daarvoor nodig is, is de breeksterkte. Minder bros materiaal, zoals metaal of kauwgum, laat een ander gedrag zien. Als daaraan wordt getrokken, rekt het eerst rechtlijnig uit door de toenemende kracht. Over dat traject is de lengteverandering omkeerbaar en wanneer de kracht afneemt, neemt ook de lengte weer af. Bij een bepaalde kracht (de vloeikracht) gaat de verlenging plots zeer gemakkelijk, de kracht neemt nauwelijks verder toe en toch wordt het proefstukje steeds langer. Het keert vanuit deze uitgerekte staat niet meer terug tot de oorspronkelijke lengte wanneer de kracht afneemt. Uiteindelijk breekt het toch.

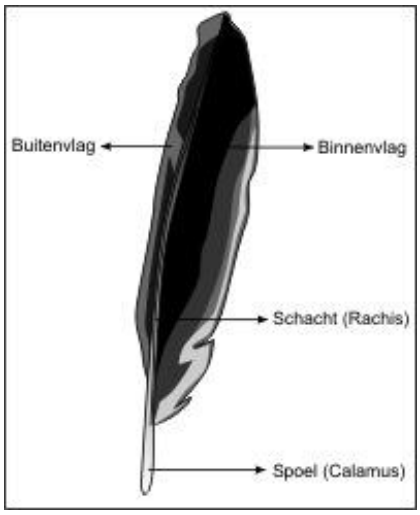


Figuur 40: voorbeeld van een spanning-rek diagram

Hoe elastisch zijn veren? Er zijn metingen gedaan en men bekomt een gemiddelde elasticiteitsmodulus van 2,5 GPa. De elasticiteit van veren is daarmee vergelijkbaar met die van nylon en plastic. De elasticiteit neemt toe naar de punt. De verschillen in elasticiteit hebben duidelijk met vliegen te maken. Bij vliegende vogels zorgen de hogere waarden naar de punt toe ervoor dat de stijfheid in de veer niet zo sterk afneemt als je zou vermoeden op grond van de afname van de grootte van de dwarsdoorsnede in die richting. Vogels gebruiken de stijfheid om er tijdens de slag energie in op te slaan die ze tijdens een ander deel van de slagcyclus weer kunnen benutten.

[7] De kracht per eenheid oppervlak van de dwarsdoorsnede die nodig is om de lengte van het stukje materiaal te verdubbelen.

De vraag blijft hoe het mogelijk is dat de elasticiteit van de schacht verandert terwijl hij over de hele lengte uit keratine bestaat. Microscopisch onderzoek laat zien dat veren worden omgeven door twee lagen keratine waarin de richting van de vezels verschillend is. In de buitenste laag liggen de vezels dwars op de lengterichting van de veer. Daaronder lopen ze in de lengterichting. Naar de punt toe wordt de laag met vezels die in de lengterichting lopen relatief dikker waarbij de buitenste dwarse laag dunner wordt. Bij ganzen en zwanen is bovendien vastgesteld dat keratinevezels strakker langs elkaar liggen naarmate ze zich dichter bij de punt bevinden. Dit draagt waarschijnlijk ook bij aan de gevonden hogere waarde van de elasticiteitsmodulus.



Figuur 41: de verschillende onderdelen van een veer

5 Elektronica

5.1 Inleiding

In dit deel van het gipboek zullen we een aantal elektrische en elektronische zaken bespreken die er bij de smartbird van FESTO aan te pas komen. Dit zijn: de batterij, de motor, de servomotoren en de sturing. Daarna zullen we overlopen wat we hiervan toegepast hebben op onze gip.

5.2 De batterij

FESTO maakt voor hun smartbird gebruik van een LiPo – batterij met 2 cellen. Dit soort batterijen hebben het voordeel dat ze zeer licht wegen en toch grote vermogens kunnen leveren. Door hun lage interne weerstand kunnen ze ook hoge stromen afgeven. Dit soort batterijen hebben ook geen last van het geheugeneffect. Dit is een verschijnsel dat uitsluitend voorkomt bij het opladen van NiCd – batterijen. Bij het opladen lijkt de capaciteit van de batterij lager te worden wat leidt tot een zogenaamde 'luie batterij'. Dit laatste verschijnsel kan bij meerdere batterijen voorkomen, dit is vooral de oorzaak van te lang opladen. De LiPo – batterij heeft hier dus geen last van. Hij laadt ook heel snel op, binnen 1 à 1,5 uur is de batterij weer gebruiksklaar. Wel is het aan te raden om voorzichtig te zijn bij het gebruik van de opladers. Bij het gebruiken van een verkeerde oplader om LiPo – batterijen op te laden, heb je een grote kans op brand of explosie. Daarom zijn er ook speciale LiPo – laders op de markt. Eén LiPo – cel heeft een bronspanning van 3,7 Volt. FESTO maakt gebruik van 2 cellen en zet ze in serie waardoor de bronspanning in totaal 7,4 Volt bedraagt.

Figuur 42: de Lipo-batterij

5.3 De motor

Bij de modelbouw wordt vooral gebruik gemaakt van DC – motoren. Dit zijn motoren die elektrische energie (gelijkstroom) omzetten in mechanische arbeid. Het principe komt neer op een stroomvoerende geleider waarop er een kracht wordt uitgeoefend door een magnetisch veld. Deze kracht noemt men de Lorentzkracht. De rotatiesnelheid van zo'n motor is ook makkelijk te regelen.
Hoe kleiner het vliegtuigje, hoe minder de motor weegt. De smartbird van FESTO moest zo weinig mogelijk wegen dus zochten ze naar een sterke motor die niet veel weegt. Met de Graupner Compact 135 hebben ze die gevonden, zij het aan een dure prijs. Deze motor heeft een nominale spanning van 7,4 Volt, met name de hoeveelheid spanning die de motor permanent moet kunnen verdragen. In totaal weegt de motor 18,5 gram, wat dus bijna niets is. De hoofdmotor wordt bij de smartbird gebruikt om de translatiebeweging aan te drijven. Voor de rotatie van de vleugels gebruikt men servomotoren.

Figuur 43: de motor

5.4 De servomotor

Dit is een apparaat dat zonder mechanische verbindingen, een mechanisch systeem kan regelen. Binnen de modelbouw komen dit soort motoren neer op een klein elektromotortje, verbonden met een variabele weerstand (potentiometer) en regelelektronica. In de servo wordt voortdurend een referentiesignaal opgewekt, dat vergeleken wordt met een stuursignaal. Zodra er verschil optreedt, zal de motor rechtsom of linksom gaan draaien wat dus toepasbaar is op het roteren van vleugels bij de smartbird. Hiervoor wordt er per vleugel 1 Servo Unit gebruikt dat in 0,03 seconden, 45° kan roteren. Ook om de kop en de staart van de vogel te gaan draaien, gebruikt met servomotoren, wat dus in totaal neerkomt op vier Servo Units voor de totale vogelconstructie.

5.5 De sturing

Om de vogel van een goede sturing te voorzien is de smartbird uitgerust met een aantal sensoren. Met name de Hall-sensoren. Dit zijn apparaten die werken volgens het Hall-effect. Als er dwars op een stroomdrager, een elektrische spanning wordt opgewekt, met loodrecht daarop een magnetisch veld, spreekt men van het Hall – effect. Hall sensoren detecteren dus een bepaalde toestand om daarna wel of niet stroom op te wekken. Indien er stroom wordt opgewekt, treedt het magnetisch veld in werking en wordt er elektrische spanning opgewekt waardoor het apparaat waarop de sensor is aangesloten, in werking treedt (of stopt met werken). Binnen de smartbird worden deze sensoren gebruikt voor het positioneren van de vogel en de motor binnen een bepaalde situatie. Uiteraard wordt de smartbird ook gestuurd via een sturing, aangesloten op een kanaal. Dit dient vooral om hem in bepaalde richtingen te gaan sturen. Het reageren op bepaalde situaties gebeurd automatisch via z'n sensoren.

5.6 Toepassing op eigen constructie

We zijn pas laat op het jaar beginnen fantaseren over de elektronica die er bij onze vogel aan te pas zou komen. Het volledige concept van een vliegende vogel bleek wat te hoog gegrepen waardoor we ons doel verandert hebben naar het tonen van de perfecte vleugelbeweging op een statief. Daardoor hebben we er ook voor gekozen om niet te ver te gaan binnen de elektronica. We hielden het bij een simpele DC-motor, aangesloten op een regelbare weerstand en een spanningsbron (12/24 V DC).

6 De massabepaling

Om de massa van de onderdelen te bepalen hebben we als volgt gewerkt. We hebben een Excel-bestand opgesteld. Daar kunnen we snel en eenvoudig gegevens invoeren. Eerst hebben we gezocht naar de massadichtheid van carbon, aangezien dat carbon te duur is om te gebruiken hebben we gekozen om aluminium te gebruiken. Maar door tijdgebrek hebben we de woensdag voor de opendeurdag onderdelen laten laseren in plastic. We hebben de dag zelf besloten om naar Kortrijk te gaan. In Kortrijk werken ze namelijk alleen met pdf, normaal gezien werkt iedereen met dxf, dus we vonden dat zeer raar. Maar doordat we op school onze bestanden niet als pdf kunnen opslaan hebben we dan maar besloten om het als dxf op te slaan. Gelukkig konden ze met een andere programma onze bestanden converteren naar pdf, waardoor onze onderdelen door de laserkop uit gesneden werden. Het materiaal dat we voor die onderdelen hebben gebruikt was namelijk plexiglas. Dat heeft een relatief kleine massadichtheid, zelfs kleiner als carbon. Het is wel sterk, maar ook bros. We hebben dus gekozen voor gebruik te maken van plexiglas en aluminium. De waarden hebben we in ons Excel-bestand geplaatst. Dan hebben we een tabel gemaakt met de lijst van de onderdelen. Met daarnaast de lijst van hun volume. Om het volume te bepalen van de onderdelen kunnen we dat eenvoudig doen met behulp van Solid Edge. Met de nieuwste versie van Solid Edge (dat je gemakkelijk kunt downloaden via internet) dat ST5 noemt, kan men nog sneller werken en het volume weergegeven zien. Je moet naar “Inspect” gaan, dit is een knop die bij de hoofdonderwerpen staat. Dan zie je een groot icoon staan van “Properties”, daar klik je op. Bij de versie op school moet men bij change de massadichtheid linken van een bepaald materiaal dat je gaat gebruiken voor je onderdeel. Daarna druk je op update en je zal de massa en het volume van je onderdeel te zien krijgen. Bij ST5 kan men direct op update klikken, waarbij je het volume te zien krijgt. De massa dat je bij Solid Edge te zien krijgt is niet nauwkeurig. Dit hebben we dan gekopieerd en in de lijst van het volume van de onderdelen geplaatst. We werken in ons Excel-bestand alleen in de basiseenheden. Dus het volume moet nog vermenigvuldigd worden met 10^{-9}. Voor de lijst van de onderdelen hebben we een lijst geplaatst met het aantal keer dat een onderdeel gebruikt is. Naast de lijst met het volume hebben we een lijst geplaatst waar de massa weergegeven wordt. Dit door het volume te vermenigvuldigen met de massadichtheid waaruit het onderdeel is gemaakt. Naast de lijst met de massa hebben we een lijst gemaakt met de totale massa. Het totaal van het volume en de massa van de onderdelen staat onder de lijsten. Zo kunnen we ongeveer weten hoeveel de smartbird weegt. We hebben nog een tabel gemaakt met de som van massa van de onderdelen die aan de motor staan, dus de onderdelen die bewegen. Ziezo, dit zou een snelle wegwijs moeten zijn om de massa te bepalen.

7 Momenten

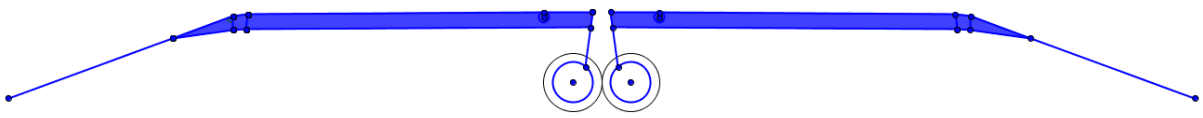
We zullen in dit hoofdstuk alle berekeningen maken in verband met de belastingen en momenten die op de opstelling zal komen. Deze gegevens moeten berekend worden zodat we kunnen controleren of het materiaal sterk genoeg zal zijn, en de sterkte van de motor zullen we ook hieruit kunnen afleiden.

Er zijn verschillende soorten belastingen:

- De belasting door eigen gewicht
- De belasting door de luchtweerstand

Zodra de momenten gekend zijn, weten we welke momenten de motor zal moeten overwinnen. Daaruit kunnen we het nodige vermogen afleiden.
Al deze berekeningen zijn gemaakt voor één

Belasting door eigen gewicht:



Figuur 44: figuur van Geogebra

Eerst zullen we de momenten rond het vaste punt bepalen (zie fig. punt A). We beschouwen iedere staaf en iedere buis als gelijkmatig verdeelde belasting. Dus de kracht naar beneden uitgeoefend door het eigen gewicht zal in het midden van de staven aangrijpen.

$M_A = l \cdot F_g$

* M_A = moment rond het vaste punt A, in newtonmeter.
* l = afstand het aangrijpingspunt van de kracht tot het vaste punt A, in m.
* $F_g = Q \cdot l_s \cdot g$ (in Newton)
    * Q = r . A (in Kg/m)
        * r = massadichtheid aluminium = 2755 kg/m³
        * A = Oppervlakte doorsnede van de buis of staaf, in m².

    * l_s = lengte onderdeel, in meter.
    * g = aardversnelling = 9,81 m/s²

Er zijn verschillende onderdelen:

- Buizen:

  $A = r^2 \cdot \pi = 0{,}05^2 \cdot \pi = 0{,}0079\ m^2$

  We nemen drie buizen in beschouwing.

  1. $l_s = 0{,}487$; $l = 0{,}244$
  2. $l_s = 0{,}567$; $l = 0{,}204$
  3. $l_s = 0{,}383$; $l = 0{,}704$
- Platen

  $A = b \cdot h = 0{,}03 \cdot 0{,}1 = 0{,}003\ m^2$

  1. $l_s = 0{,}092$; $l = 0{,}5$ (Dit zijn de vier platen van het scharnierpunt vereenvoudigd naar één punt.)
  2. $l_s = 0{,}01$; $l = 0{,}558$

Na het invullen van deze waarden in de formule komen we aan een totaal moment van 1,488 Nm.

Er zal een arm en een hand gebruikt worden, dit gewicht moet zeker meegerekent worden.

De arm heeft een massa van 0,115 kg, met het zwaartepunt op een afstand van 0,324 m.

De hand heeft een massa van 0,051 kg, met het zwaartepunt op een afstand van 0,72 m

Dit geeft een extra moment van 0,726 Nm.

Belasting door lucht weerstand:

$F_{lucht} = 0,5 * r * C_w * A * v^2$

* r = massadichtheid lucht = 1,293 kg/m³
* C_W = aerodynamische vormfactor = 1
* A = oppervlakte profielen
    * Oppervlakte arm = 0,351 * 0,395 = 0,139 m²
    * Oppervlakte hand = 0,105 m²
* v = snelheid vleugels = 0,204 m/s (Als de motor 30tr/min draait)

M_{arm}= F . l = 0,0037 . 0,324 = 0,0012 Nm
M_{hand}= F . l = 0,005649 . 0,720 = 0,0040 Nm

De luchtweerstand heeft dus een uiterst kleine invloed op het mechanisme.

Besluit:

De materialen die we zullen gebruiken zijn aluminium en plexiglas. Deze zullen zeker sterk genoeg zijn om deze belasting te kunnen dragen.

Een 12V DC-motor (6 Ampère) zal voldoen om heel het mechanisme te bewegen.

8 Praktische constructie

8.1 Snijden van de schuimprofielen

Om de vleugels die op de smartbird zitten te realiseren zijn we een lange weg begaan. We hebben eerst enkele weken informatie opgezocht over welke vleugels er zijn en wat ze doen. De vleugels van een vliegtuig of die van een vogel zoals een zeemeeuw zijn niet volledig hetzelfde. De vorm van de vleugel speelt een grote rol om een profiel te kiezen die het best bij z'n toepassing past. We hadden eerst gekozen om de vogel te laten vliegen, maar daar zijn we in de loop van het jaar vanaf gestapt. Nu laten we de vogel klapperen op een vast statief. We hebben dan ook nog altijd hetzelfde profiel gehouden als voorheen namelijk de clark-Y, dit profiel is zowel geschikt voor het klapperen als voor het zweven.

De profielen hadden we eerst gemaakt uit individuele houten stukken om dan een vleugelprofiel mee te maken door er een folie over te spannen. Door deze individuele houten stukken met de folie zou de vleugel zo licht mogelijk worden zonder dat we er de dure kant mee opgaan. Als we niet moesten kijken naar een budget zouden we de individuele stukken in koolstofvezel gemaakt hebben in plaats van hout. Omdat we dan de vogel niet meer zouden laten vliegen in de lucht hebben we besloten om de vleugel te maken uit vier vaste delen blauw isolatieschuim. Zo is de vleugel nog steeds tamelijk licht en zijn de kosten niet hoog.

We hebben gekozen voor het blauwe isolatieschuim omdat deze makkelijk thuis te bewerken is in tegenstelling tot koolstofvezel waar je een gespecialiseerde werkplaats voor nodig hebt omdat bij het bewerken van koolstofvezel giftige gassen vrijkomen.

We hebben het blauwe isolatieschuim bewerkt door middel van een gloeidraad, met deze gloeidraad ging het snijden van de profielen in de juiste vorm moeiteloos. Enkel het opzetten van de schakeling in het lokaal waar dat niet voor bedoelt was, was misschien nog het meeste werk.

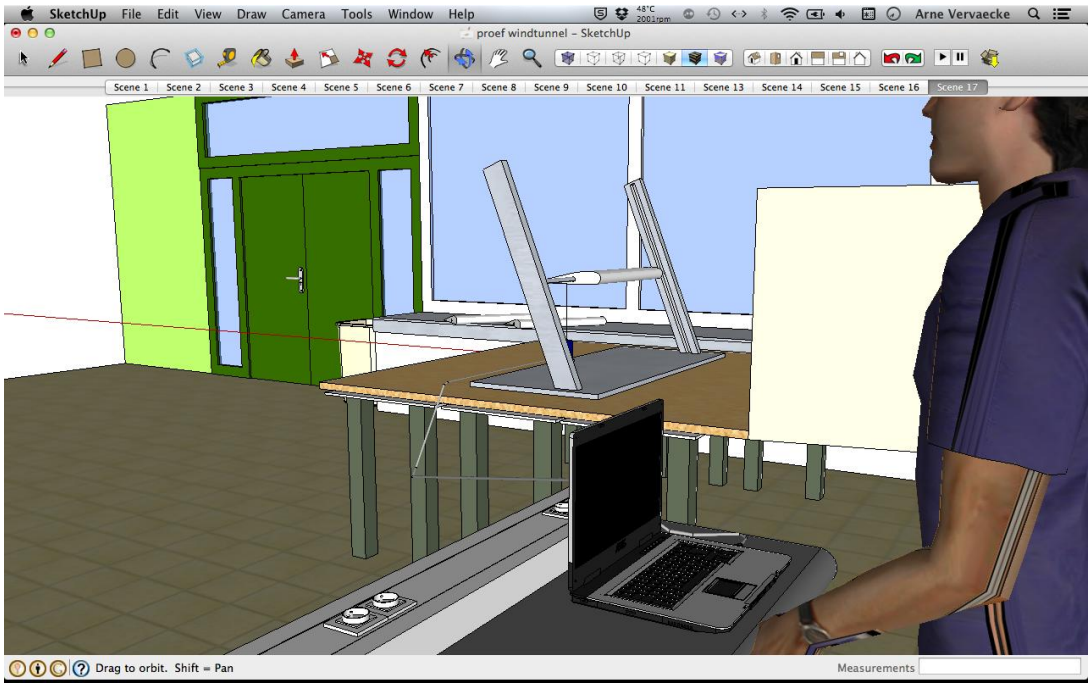
Figuur 45: de constructie

Figuur 46: het snijden van de vleugels

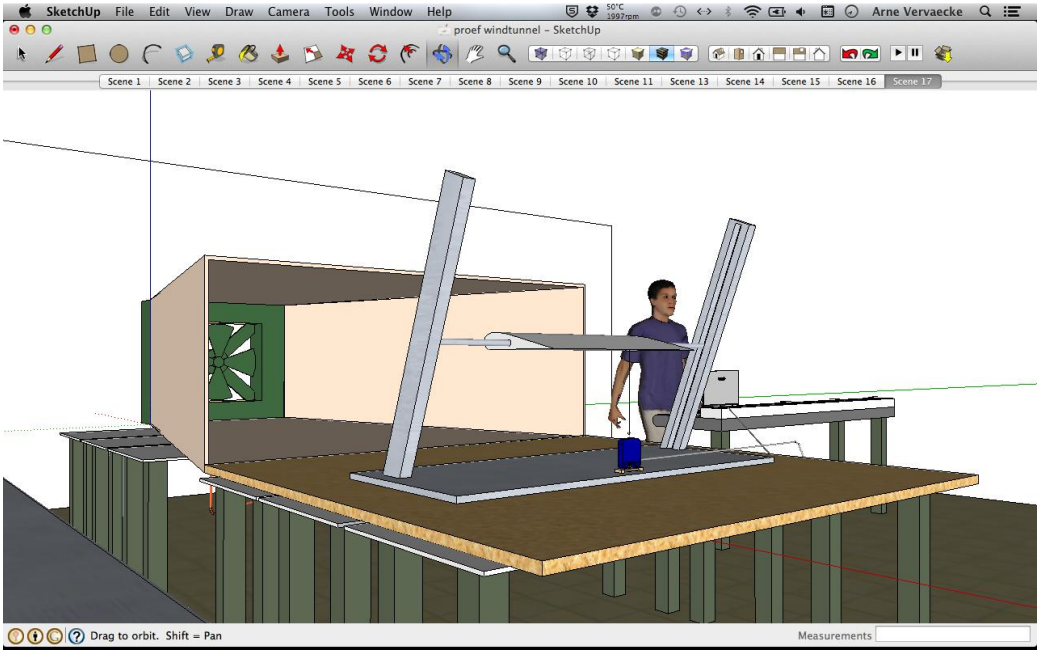
8.2 De windtunnel

Om te testen welk vleugelprofiel het beste was voor onze vogel hebben we een windtunnel gemaakt. In deze windtunnel konden we testen wat de gevolgen waren op bijvoorbeeld de liftkracht als we de profielen van aanvalshoek of afstand tot de ventilator aanpasten. We konden er ook verschillende profielen in vastzetten. Na enkele tests te hebben gedaan hebben we en profiel gekozen.

Foto's van de plannen voor de wintunnel, gemaakt in SketchUp:



Figuur 47: afbeelding van de opstelling



Figuur 48: afbeelding van de windtunnel

9 Verslagen van de groepsleden

9.1 Mathias Baert

In de loop van het jaar heb ik veel kunnen bijleren door onze gip. Het was dan ook een zeer grote uitdaging, het bouwen van zo'n mechanische vogel. Zelf heb ik zowat van alles gedaan aan deze gip, gaande van het tekenen op Solid Edge en info opzoeken over motors etc. tot de praktische constructie van onze vogel. In de eerste periode hield ik me vooral bezig met info opzoeken over de smartbird van het bedrijf Festo en nadenken over de eerste proefjes. Eén daarvan was een eerste prototype van het skelet, waar we dan later verder over hebben nagedacht op papier en uitgetekend hebben op het wiskundig programma Geogebra. Een ander proefje was de windtunnel, om te kijken hoeveel wind een vleugelprofiel kan verdragen, welke krachten er daarbij te pas kwamen, etc. Dit was vooral een soort toepassing op de cursus over aerodynamica, die we gekregen hadden van Dhr. Jon Verbeke uit het khbo Oostende. Aan die windtunnel werd er dan vooral verder gewerkt in de projectweek. Ook werden er toen al eerste prototypes gemaakt van de vleugelprofielen (in hout) om te bestuderen. Verder heb ik toen ook Tim een handje geholpen met het skelet op Geogebra. Na periode Kerst werkte ik vooral verder aan de windtunnel en werden er ook een aantal proefjes op uitgevoerd. Vrij veel nieuwe dingen kwamen we hierdoor niet te weten maar het was zoals verwacht wel een bevestiging van wat we al wisten.

Na de kerstvakantie begon het skelet op Geogebra z'n finale vorm te krijgen dus werd het eindelijk tijd om te beginnen tekenen in Solid Edge. Ook brachten we de elektronica van Festo in kaart en probeerden we die zoveel mogelijk te gaan vergelijken met onze GIP. Nadat de beslissing viel om de vogel te bouwen op een statief werd alle sturing dan ook geschrapt wegens onnodig en hielden we het bij een DC-motor met regeling via een spanningsbron. Ten slotte stond periode juni totaal in het teken van de finale samenstelling. Stukken werden gemaakt zowel in aluminium (statief, assen) als in plexiglas (skelet) en de vleugelprofielen (schuim) werden gesneden via een opgespannen gloeidraad met een spanningsbron eraan verbonden. De profielen werden daarna geplamuurd om de laatste putten eruit te krijgen. Zo waren we tegen de opendeurdag klaar met de praktische constructie van onze gip.

9.2 Laurens Cavey

Hallo,

Ik heb me vooral bezig gehouden met het maken van het gipboek en het samenstellen en tekenen van de 3D-tekeningen in Solid Edge. Het zijn 2 onderwerpen waar vele uurtjes zijn ingekropen. Naast deze onderwerpen heb ik in de eerste periode ook geholpen met de bouw van de windtunnel. Helaas hebben we hem niet veel kunnen gebruiken. In de eerste periode hebben we ook een vleugelprofiel gemaakt in hout, waar ik veel bij geholpen heb. Tijdens het schooljaar heb ik ook een boek gelezen namelijk: “Hoe vogels vliegen”. Dit was zeer interessant om echt te begrijpen hoe een vogel nu precies vliegt. Er zijn dus ook enkele stukken uit het gipboek die uit dit boek komen.

Windtunnel:

We hebben dus een windtunnel gebouwd. Het was dus eerst de bedoeling om dus de vogel of de vleugels te maken en die dan in de windtunnel te plaatsen. Zo konden we dan meten hoeveel lift de vleugels produceerden. Als we overgestapt zijn naar het idee om een vogel op een statief te maken konden we deze windtunnel niet meer gebruiken.

Gipboek:

Zoals ik dus al gezegd had ben ik verantwoordelijk geweest voor het gipboek. Dit betreft een groot deel van de tekst te hebben gezocht en het samenstellen en opmaken van de tekst die anderen naar mij gestuurd hadden. Ik heb veel bijgeleerd over het werken met Microsoft Word. Dit waren handige trucjes zoals: automatische inhoudstafel, automatische opmaak van titels, pagina-einde invoegen, je tekst laten uitlijnen aan beide kanten… Er komen ook heel wat stukken uit een boek. Het was dan wel lastig om al die tekst over te typen.

Samenstellen en tekenen van 3D-tekeningen:

Ik heb dus ook de taak op mij genomen om alle 3D-tekeningen samen te stellen tot een gehele samenstelling. Dit was een enorme opgave! We hebben echt heel veel verandert aan de tekeningen, maar ze werden steeds beter. Hier heb ik ook enkele dingen bijgeleerd zoals het gebruik van een motor in Solid Edge. Hierdoor konden we de beweging zoals in het echt nabootsen. Dit was wel handig want hierdoor hebben we kunnen vaststellen dat bijvoorbeeld 2 stukken tegen elkaar botsten bij het bewegen van de vleugels. We hebben deze fouten er zo dan ook kunnen uithalen.

Je moet dus wel weten dat alle tekeningen zelf “verzonnen” zijn. We hadden niets van tekeningen van vooraf. We hebben ons wel wat gebaseerd op een filmpje van het bedrijf Festo. Zo konden we ongeveer zien welke verhoudingen we moesten gebruiken.

9.3 Sven Dedeene

De eerste kennismaking met de gip was in het begin van het jaar. Ik koos voor de smartbird omdat ik het een interessant onderwerp vond. Het bleek voor mij een zeer boeiend project om het jaar mee te vullen. De eerste weken bestonden vooral uit informatie zoeken op het internet. Er waren zoveel nieuwe onderwerpen in onze gip dat het toch een tijdje duurde vooraleer we een gedacht hadden wat het precies inhield.
Na wat mislukte overhaaste pogingen zijn we tot het besluit gekomen dat een goed vogelprofiel een must is. Om metingen en proeven te doen op profielen, besloten we dat we een windtunnel zouden nodig hebben. Dit was redelijk veel werk om te maken. Hij werkte niet volledig naar onze zin, want er zijn namelijk veel wervelwinden in de tunnel zelf. Na een goede opstelling die bestond uit de windtunnel, een profiel en een newtonmeter konden we aan de slag. Uit deze resultaten hebben we niet veel kunnen te weten komen, maar ze waren wel van nut. Tijdens deze periode werd ook nog veel informatie over de elektronica, die eventueel zou gebruikt worden, opgezocht.

Nu kwamen we langzaam tot het besluit dat onze vogel nooit echt zal vliegen, en we besloten dus om het te maken op een statief.

Nu waren er mensen die bezig waren met alle tekeningen van de van de vogel op statief te maken, maar er waren ook andere mensen (waaronder ik) die de profielen moesten maken.
Na het zoeken naar een gepast soort schuim en een juist soort profiel, konden we aan de slag. Met een techniek waarbij we gebruik maken van een gloeidraad en veel geduld slaagden we erin mooie profielen te maken.

Nu was het tijd voor het grootste werk. Het volledig maken en in elkaar steken van de vogel. Hierin werd enorm veel tijd gestoken, maar uiteindelijk is de vogel afgeraakt tegen de opendeurdag.
Achteraf bekeken, vind ik het wel een mooi project die we samen tot een goed einde gebracht hebben.

9.4 Daan Demeulenaere

Hallo,

Het doorlopen jaar heb ik me bezig gehouden met het realiseren van de windtunnel voor onze proeven in uit te voeren. Ook heb ik meegeholpen aan de praktische constructie van de vleugelprofielen.

Ook heb ik samen met Ruben en Laurens geholpen, dit was niet zo eenvoudig, want in iedere tekening zaten hier en daar wat fouten. Ook moesten er veel tekeningen aangepast worden omdat er hier en daar wat afmetingen veranderden.

Ook vind ik het jammer dat naarmate het jaar vorderde het duidelijk werd dat we onze doelstelling om de vogel te laten vliegen niet meer zouden halen. Dit werd dan aangepast zodat het haalbaar zou blijven. Na het helpen met de tekeningen ben ik bezig geweest met het berekenen van de momenten en de krachten die op de constructie zouden komen nadat het juiste moment bepaald was konden ik en Sven de juiste motor bepalen die we nodig zouden hebben om de gehele constructie te laten bewegen.

Ook was ik bezig met het bepalen van de juiste servomotoren maar na het aanpassen van onze doelstellingen werd het duidelijk dat we deze nooit zouden gebruiken. Naar het einde toe heb ik meegeholpen met Tim aan de afwerking van het deel van Geogebra hierdoor heb ik veel bijgeleerd over de werking van het programma en ook heb ik de beweging van de vleugels beter leren begrijpen.

Dit jaar was dus een zeer leerrijk jaar en heb ik veel bijgeleerd over hoe vogels vliegen maar ook vliegen in het algemeen (weerstand, vleugelprofielen…)

Ik ben zeer blij dat ik in deze groep mocht zitten soms was er wel eens een meningsverschil maar dit duurde meestal niet te lang.

9.5 Kjell Deboysere

9.5.1 Inbreng in de gip

In het begin van het jaar konden we kiezen wat we als GIP onderwerp wilden. Je kon de keuze maken uit de multikopter en de smartbird. Bij mij was de keuze snel gemaakt. Ik ging volop voor de smartbird. Dit omdat ik er een grote uitdaging in zag en het is toch wel leuk om zoiets te realiseren. Na het kiezen van de smartbird ben ik op zoek gegaan naar informatie over de smartbird. Op de site van Festo, die de vogel gemaakt hadden, stonden enkele filmpjes die ons op weg helpen maar geen concrete informatie over welke onderdelen ze gebruikten en waarom. Daarom moesten we het over een andere boeg gooien om te weten te komen hoe onze vogel moest gemaakt worden om te vliegen.

Uit het filmpje zagen we het principe van het mechanisme. Thuis heb ik deze proberen na te maken uit K'nex. Omdat ik in K'nex niet over de juiste materialen beschikte, heb ik het mechanisme nagemaakt in hout. Die constructie heb ik gemaakt zonder rekening te houden met enige invloed van de lengte van bepaalde onderdelen. Op deze constructie is er dan verder gebouwd.

Om verder te geraken moesten we iets te weten te komen over aerodynamica. Dit was de aanzet. Ik mailde naar een leerkracht aan het khbo Oostende, die aerodynamica gaf, of hij ons kon helpen. Hij antwoordde terug en zei dat we zijn cursus konden gebruiken. Na deze gekregen en gelezen te hebben konden we nog niet veel vooruit. We wisten wat essentieel is om te vliegen maar dan bij gewone vliegtuigen en zweefvliegtuigen. Ik mailde hem nog maal met de vraag of hij specifiekere lectuur had over vogels en hun bewegingen. Na een eindje wachten kreeg ik een hele reeks aan boeken allemaal over hoe (vooral insecten) vliegen. Dit allemaal uit universiteiten zoals Cambridge (allemaal in het Engels dus). Zo kreeg ik, samen met nog enkele want de collectie bestaat uit een paar honderden cursussen, wat meer inzicht over hoe een vogel vliegt en wat daar essentieel voor is. En omdat dit nog niet genoeg was ben ik nog een boek gaan halen over de aerodynamica van vogels (“De magie van het vliegen”). Na dit allemaal te lezen was ik capabel om zelf een basiscursus aerodynamica te schrijven wat nu in het gipboek verwerkt zit.

Zo is om een vogel te laten vliegen het vleugeloppervlak van tel (hoe groter hoe beter). De draaiing van de vleugels moet ook gemaakt worden zodat er tijdens opgaande slag zo weinig weerstand is en tijdens de neergaande slag veel lucht wordt naar beneden wordt geslagen. En natuurlijk is de slagfrequentie hier ook van belang.

Dit leverde ook geen concrete waarden op. Daarom moest er een deel op de gok gedaan worden, wat Jeroen gedaan heeft.

Verder heb ik vooral getekend. De stukken die we nodig hebben werden getekend in Solid Edge zodat we daaruit onze 2D tekeningen konden maken en laten realiseren. Terwijl we dit tekenden moesten we rekening houden met allerlei factoren waar je in het begin nog niet aan dacht zoals het samenstellen en praktische uitvoerbaarheid.

Naast het tekenen heb ik ook nog 2 vleugelprofielen gemaakt uit een isolatieschuim die dan worden gebruikt om op de constructie te bevestigen. En als dit nog niet genoeg was hebben ik en Arne ook nog een meeuwenkop gemaakt zodat het geheel wat realistischer wordt. Deze zijn dan ook geschilderd door ons. Om die profielen te maken hebben gebruikt gemaakt van een gloeidraad die door het schuim smelt.

Nadat alles is getekend is er op zoek gegaan naar een of andere firma/plaats waar we de stukken konden realiseren. Hierbij ben ik meegegaan tot in Kortrijk om daar de plaatstukken te laten laseren uit plexiglas.

Omdat de vogel niet enkel en alleen bestaat uit plaatmateriaal moesten we ook een plaats vinden waar we onze assen konden bewerken. Dit vond plaats bij Dieter (medeleerling uit de andere groep). Daar heb ik dan ook geholpen met het vervaardigen van die stukken. Daar is hij dan ook samengesteld en hebben we de opendeurdag gehaald.

9.5.2 De site

9.5.2.1 Inleiding:

Na jaarlijkse gewoonte en omdat buitenstaanders ons project kunnen volgen heb ik een site gemaakt. Waarop al onze vorderingen te volgen waren met korte teksten met wat uitleg en enkele sfeerfoto's. Omdat we in moderne tijden leven moest ik ook gebruik maken van moderne middelen. Daarom is er naast de site ook nog een Facebook-pagina opgericht waar ik onze vorderingen op kan plaatsen.

9.5.2.2 Het maken van de site

Om de site te maken heb ik gekozen om dit te doen met de gratis service van Google. Ik heb dit bewust gedaan omdat ikzelf niets afwist van het programmeren of het schrijven in html, en omdat dit natuurlijk ook gratis was. Om een site te maken met Google Sites hoef je niets van dit alles te kennen. Het is een zeer gebruiksvriendelijke omgeving om je eigen site te maken en vorm te geven.

Het enige wat je nodig hebt is een Google-account en wat gezond verstand. Om de site te maken kon je kiezen uit bestaande thema's of kon je kiezen om vanaf nul te beginnen. Zo kon je kiezen welke kleur je pagina moet hebben en hoe de indeling ervan moet zijn. Je kunt pagina's toevoegen, verwijderen, bewerken zoveel je wilt. Elke pagina kan je een naam geven en een plaats waar deze moet staan. Zo heb ik verschillende pagina's gemaakt. Die ik hieronder zal opnoemen met daarbij geschreven wat je er kunt vinden.

Zo hebben we:

- De startpagina: hier staat een inleiding over wat je op de site kunt vinden. Concreet wil dit zeggen dat er staat dat deze site bedoeld is om te communiceren over onze GIP.
- Verloop: hier staan al onze vorderingen in de loop van het jaar chronologisch opgetekend.
- Contact: voor deze pagina heb ik onze groep opgedragen om een kort tekstje te schrijven over waarom ze IW kozen, wie ze zijn en waarom zo voor deze GIP gekozen hebben. Dit kan je dus allemaal vinden volgens de persoon die je wenst te bekijken.
- Links: de naam spreekt voor zich. Hier kan je allerlei nuttige links vinden omtrent onze GIP
- Afbeeldingen: hier kom je op een pagina met een ander zijbalk in deze zijbalk vind je nu de verschillende thema's waar we foto's over hebben. Deze foto's zijn in video vorm gegoten om het aantrekkelijk te bekijken.
- Video's: hier vind je filmpjes over de werking van de smartbird
- De activiteiten na school: hier vind je links naar activiteiten die de mensen uit onze groep na de schooluren doen.
- Proefjes: op deze pagina vind je een document met daarin enkele proeven beschreven die we kunnen doen.

Op onze site staan dus verschillende filmpjes en foto's. Om deze op de site te kunnen zetten, moeten deze op de Google Drive staan. Zo heeft de site geen onnodig zware bestanden en laadt hij sneller.

Het maken van de site met Google sites heeft ook wel z'n nadelen. Zo kan je de domeinnaam niet kiezen. Waar dat vond ik niet opwegen tegen de voordelen. Ook kan je de site makkelijk terug vinden door in Google "Smartbird 2012-2013" te tikken. Dan is een van de eerste titels al onze site. Je moet ook wel leren werken met Google sites maar naar wat vallen en opstaan, kan je heel wat bereiken met de site. Wat wel ietsje lastiger is, is wanneer je foto's wilt plaatsen op de site zeker als het heel wat foto's zijn. Zo moet je ze elk apart uploaden op de Google Drive en dan elk apart op de site een plaats geven. Dus als je meer dan 100 foto's wilt plaatsen is dit heel onhandig. Daarom heb ik de foto's per dag gebundeld en in een video gegoten met een achtergrondmuziek die op een of andere manier wel iets met vogels of de omstandigheden te maken hebben. Die video's heb ik gemaakt met Microsoft PowerPoint en met Windows Movie Maker.

Hieronder zie je een screenshot van onze startpagina.

Zoals hierboven gezegd is er ook nog een Facebook-pagina gemaakt. Dit was ook makkelijk te maken en je bereikt er snel veel mensen mee.

Hier zijn nog onze webadressen van onze site en de Facebook-pagina.

http://sites.google.com/site/smartbird20122013/

http://www.facebook.com/Smartbird20122013

9.6 Ruben Goethals

In het begin van het schooljaar hebben we lange tijd zitten wikken en wegen van welke soort GIP men wil aan werken, er zijn tenslotte 2 groepen ontstaan: de multikopter en de ornithopter (smartbird). Ik heb gekozen voor de ornithopter.

Bij het volgende heb ik een opsomming gemaakt met de beschrijvingen van waar ik me mee beziggehouden heb tijdens het schooljaar.

- In het begin heb ik veel opzoekwerk gedaan op het internet om informatie te winnen.
- Ik heb me ook voor een gedeelte beziggehouden met de website: om structuur te geven aan onze website, nieuwe items te plaatsten … . Dat was vooral in het verloop van de periode voor de herfstvakantie.
- Ik heb geholpen aan een prototype in hout, waar we probeerden vat te krijgen over de 2 vaste assen in de vleugelbeweging van onze smartbird, die we bij de eerste gip-voorstelling hadden getoond.
- Voor de eerste projectweek heb ik meegeholpen aan een tweede prototype in hout, waarbij dat de juiste beweging weergegeven was. Dankzij gegevens van Geogebra(zie Jeroen).
- We wouden proefjes doen.We zijn we op het idee gekomen om een windtunnel te maken. Ik heb veel tijd besteed aan het realiseren van de windtunnel. Door onbekende redenen en niet de juiste meettoestellen konden we er helaas amper proefjes mee doen.
- De periode voor de kerstvakantie hebben we veel aandacht besteed aan de elektronica van de smartbird, zonder al te veel succes, omdat er gegevens te kort waren om de geschikte motor en de sturing ervan te vinden. Op het einde van het jaar hadden we al meer gegevens om de geschikte elektronica te vinden.
- We hebben verschillende groottes van ons gekozen profiel op papier laten afdrukken en ik heb ze uitknipt om daarna de vorm met potlood op hout te tekenen. Waar die dan in de houtbewerking werden uitgezaagd.
- De periode achter kerst heb ik me vooral beziggehouden met Solid Edge, met doel de smartbird in 3D te laten bewegen in Solid Edge. Ik heb een gedeelte van de 3D-tekeningen gemaakt. We konden die gegevens halen uit het vleugelmechanisme van Jeroen in Geogebra. Hoofdzakelijk heb ik me met de bovenarm en onderarm bezig gehouden.Ook heb ik geholpen met het statief en nog enkele andere tekeningen.
- Onderdelen die samen hoorden heb ik samengesteldzo was het gemakkelijker voor Laurens (die met de totale samenstelling bezig was).
- Ik heb zelf voorgesteld om de 2D-tekeningen te maken en ik heb ze dan ook zelfstandig gemaakt.
- De massabepaling van onze onderdelen is ook iets wat ik op mij heb genomen. Ik heb alles ervan zelfstandig gemaakt.
- Op een middag ben ik mee geweest naar Kortrijk om een gedeelte van onze onderdelen te laten laseren.
- Om de smartbird zijn vleugelbewegingen in praktijk te zien bewegen, mochten we de werkplaats van Dieter gebruiken, waarbij hij heeft geholpen. Ik heb mijn laptop meegedaan naar hem zodanig dat we alle afmetingen wisten.Ik heb de hele vrijdagavond tot 00u30 en de zaterdag de hele dag van 8u30 tot 21:00 gewerkt. Gelukkig dat ik bij Dieter mocht slapen. De zaterdagavond zijn we dan uit de bol te gaan, want onze smartbird bewoog met mooie vleugelbewegingen.

9.7 Tim Maertens

Ik vond mijn GIP zeer interessant. Er waren dingen die een probleem veroorzaken, waarbij we ze zorgvuldig tot een oplossing verwerkt hebben. Ook dingen die ons fascineerden, die ons tot een volgende stap leiden. Ik ben zeer blij dat we deze GIP voor een zeer groot deel zelfstandig hebben opgebouwd met bloed, zweet en tranen.

Ik geloofd eerst niet dat wij een constructie zouden hebben. Iets tastbaar dat wij kunnen tonen aan de mensen buitenaf. Zelfstandig en stapsgewijs opgebouwd. Dit is het geleverde werk.

Jammer genoeg kon ik er niet bij zijn wanneer ze aan de constructie werkten. Het ging allemaal plotseling zeer snel. Al bij al heb ik wel mijn steentje bijgedragen. Dit is het werk van ons allen waarbij we toch allemaal fier op kunnen zijn.

Ik zelf vond dat de samenwerking nog wat sleutelwerk nodig had. Het was soms niet oké en soms wisten we niet van een ander waarmee ze bezig waren. Dit was onze zwaktepunt in onze groep dat er wel eens spanningen gebeurden. Toch is het tot een goed einde gebracht doordat de samenwerking beter verliep dan in het begin.

Jeroen begon als eerste aan een ontwerp van de vleugelbeweging. Later ben ik met hem samen verder gaan ontwerpen. Tekeningen werden allemaal getekend op papier, zelfs ik heb op een dergelijk, groot, bruin papier thuis verder getekend.

We hadden 1 nadeel: de nauwkeurigheid. Tot op een dag onze leerkracht wiskunde een tip gaf om het programma Geogebra te gebruiken. Want alles is meetkundig bepaald en niets is beter dan dat programma te gebruiken ervoor.

Na het wat gewend te worden van het programma lukte het ons om mooie tekeningen te maken. We verbeterden keer op keer de vleugelbeweging die leidde tot een mooi resultaat. We kunnen zelfs de vleugel bewegen.

Een geslaagde GIP door ons allen!

9.8 Arne Vervaecke

Tijdens het doorlopen jaar hebben ik en de rest van de groep die aan de smartbird werkte beter met elkaar leren werken en zijn we beter op elkaar afgesteld. Er waren natuurlijk ook soms tijden die wat minder waren en wat geruzie in de groep maar dat duurde nooit lang. Eens we dan alle hoofden samen hadden gestoken en eens goed over het probleem nagedacht hadden kwamen we telkens aan een oplossing waar we allen mee eens waren.

Het doorlopen jaar heb ik me vooral bezig gehouden met het praktisch realiseren van de smartbird, ook meedenken aan het oplossen van problemen en opzoekwerk in het begin van het jaar. Maar met het tekenen op de computer heb ik me niet bezig gehouden. De uiteindelijke doelstelling van de G.I.P. is in de loop van het jaar veranderd en dat is inderdaad ook een beetje jammer. We moesten er ook voor zorgen dat het nog haalbaar was en dat we iets hadden op het einde van het jaar. Het is toch leuker dan enkel een gipboek afleveren en we een echt resultaat kunnen zien.

Het zou wel leuk geweest zijn om op het einde van het jaar een vogel in de lucht te laten vliegen, maar dat was iets te hoog gegrepen voor dat in zo’n korte periode te proberen te realiseren. Enkel de vleugelbeweging nabootsen is op zich ook al een zeer mooie prestatie denk ik.

Ik en nog enkele andere leden: Kjell, Sven en Mathias zijn dus bezig geweest met het praktische van de vogel te maken. We hebben onder andere de vleugels gemaakt (een Clark-Y profiel) uit blauwisolatieschuim en een kop met behulp van een gloeidraad. Ook hebben we verschillende groottes gemaakt van de doorsnede voor het skelet uit hout maar dat was bedoeld voor een vliegende vogel dus nu hebben we dat achtergelaten en een vleugel uit één stuk gemaakt met het blauwe isolatieschuim.

Ook hebben we in het begin van het schooljaar een windtunnel gerealiseerd waar we profielen op konden testen.

Dit jaar was dus zeer interessant en ik heb dan ook veel bijgeleerd over vliegen en hoe vogels vliegen. Ik ben zeer blij in deze groep te zitten en met wat we hebben bereikt.

9.9 Jeroen Viaene

Ik heb gekozen voor de smartbird, omdat ik dat een enorme uitdaging vond. Van het opzoeken van informatie over vogels, tot het maken van de uiteindelijke vogel. De doorlopen weg, van begin tot het eindresultaat vroeg veel inspanning, tijd, geduld, overleggen, afspraken maken enz.

Het werken in groep is een element waarmee we zeker rekening moesten mee houden. Maar op een moment hebben we ons onderverdeeld in 4 groepjes. Het was vooral mijn taak om alles in goede banen te leiden. Leden van de groep uitleg geven, mogelijke proeven voorstellen, helpen bij mogelijke problemen bij het maken van de onderdelen in Solid Edge, …
Aan bijna elk onderwerp die we bestudeerd hebben omtrent de smartbird was ik betrokken om berekeningen te maken, de juiste materialen te kiezen, de grote ervan te bepalen, de sterkte …

De overige tijd hebben ik en Tim een verslag gemaakt van het hele vleugelmechanisme en een stappenplan van de opbouw ervan.

Hieronder een korte samenvatting van de studies, testen, ondernemingen waar ik aan gewerkt heb tijdens het schooljaar:

1. Het eerste wat we deden was het opzoeken van informatie over vogels, specifiek meeuwen. Eens we wisten hoe de werking van een vleugel in elkaar zat, konden we zelf aan de slag gaan. Dingen die we hieruit onthouden is: de vleugels slaan op en neer. In de opgaande beweging moet de weerstand (die de omgeving biedt om de vleugel omhoog te laten gaan) zo klein mogelijk zijn. In de neergaande slag zo groot mogelijk, met gevolg dat de vogel liever omhoog gaat dan een bepaalt volume lucht verplaatst.
2. De tweede stap was het maken van een vleugelskelet met rietjes en naalden. De bedoeling was om een bepaalde manier van mechanisme te kiezen om de vleugel op en neer te laten slaan. De bijbedoeling was hoe we de hand zouden laten scharnieren rond de elleboog. Nadat we gekozen hadden hoe we tewerk gingen gaan, onderzochten we ook hoe we ons scharnierpunt (elleboog) zouden maken. Door praktische ondervindingen bleek een 4-punts scharniersysteem het beste te zijn.
3. De derde grote stap was het maken van een vleugel met houten plankjes, bevestigd met bouten en moeren. Dit deden we omdat we zagen dat je de rietjes kon vervormen, wat je bij houten plankjes niet kan doen (of toch minder).
   Deze vleugel hebben we dan vastgemaakt aan een houten statief, waar we dan de vleugel konden laten bewegen door te draaien aan het tandwiel (in de romp).
   De bedoeling was om te onderzoeken welke invloed (op welke manier de vleugel op en neer gaat, hoe hoog, welke hoek verandering dat de hand maakt ten opzichte van het scharnierpunt, …) ieder onderdeel heeft. Dit deden we door de onderdelen te verlangen, te verkorten of vast te nemen op een andere plaats (vast punt = schouder)
4. Na de proeven die we deden (in stap 3) concludeerden we dat het werk die we deden op gissen neer kwam. Dus ben ik begonnen aan de theoretische opstelling van het mechanisme. De eisen die we stelden waren miniem (maximale en minimale hoek van de arm, respectievelijk 45° en -3° ten opzichte van de x-as en afstand tussen de 2 vaste punten (= de schouders).) Hieruit heb ik op een wetenschappelijke manier, met gebruik van mechanica, sterkteleer en wiskunde, een bewegingsmechanisme uit gewerkt op papier, daarna op Geogebra (wiskundig programma) om nauwkeuriger te kunnen werken.
5. De vijfde grote stap was het maken van een houten constructie, aan de hand van de berekende waarden in Geogebra. Nadien bleek dat de gestelde eisen voldeden.
6. De 6de stap was het tekenen van ieder onderdeel in 3D en 2D op de computer in het programma Solid Edge. Daar kroop zeer veel tijd in, omdat er veel onderdelen gewijzigd werden (door botsingsgevaar, niet sterk genoeg …)
   Op het zelfde moment maakten we een ook een samenstelling in Solid Edge.

7. De 7de stap was een uitleg die we te horen kregen van een leerkracht uit Nederland die we bereikt hadden doordat Mevr. De Laere een blog had geplaatst op het internet. Die uitleg bevatte het stappenplan die we moesten volgen om de vleugel te laten bewegen in Geogebra. Het enorme voordeel was dat we nu het geprojecteerde oppervlak zeer snel konden berekenen. Hierdoor verliep het onderzoek naar de invloed van onderdelen sneller. Vooraf hadden we praktisch al eens geprobeerd om deze oppervlakten te meten maar de nauwkeurigheid was onvoldoende om te kunnen meten met duidelijke verschillen.
8. De 8ste stap was het maken van een berekening rond het vermogen van de motor. We deden momentberekeningen om het nodige aantal Nm te bepalen die onze motor minstens moest over beschikken.

9 Besluit

De originele doelstelling van onze gip was om een echte vliegende robotvogel te maken. Deze moest bestuurbaar zijn van op afstand.Jammer genoeg hebben we niet voldaan aan deze doelstelling. Wat we bereikt hebben bestaat uit het nabootsen van de vleugelbeweging van een meeuw. Deze simulatie staat bevestigd op een statief en wordt aangedreven door een motor. Natuurlijk zijn er bepaalde redenen waarom we ons einddoel niet volledig behaald hebben. De voornaamste reden was de kostprijs. Het maken van een smartbird moet uit zeer licht en sterk materiaal. Koolstofvezel heeft beide eigenschappen. Maar het aankopen en bewerken van dit materiaal is extreem duur en complex. Het budget van de school zou dit nooit kunnen financieren.

Om een vogel te laten vliegen is er meer dan alleen een vleugel beweging nodig. Bijvoorbeeld word er gestuurd met de staart, kop en het roteren van de vleugels. Dit kon door middel van servomotoren. Moesten we deze hebben gebruikt, zou er veel meer tijd nodig geweest zijn. Hierdoor zou de hele constructie veel ingewikkelder worden. We hebben dan doorheen het jaar beslist om onze doelstelling te veranderen naar een simpeler model. Het maken van de vleugelbeweging alleen nam veel meer tijd in dan verwacht. Het lijkt simpel, maar er komt veel meer bij kijken dan je denkt.

Het maken van de gip en samenwerking in de groep verliep vlotjes. Iedereen had zijn eigen taak, die werd meestal op tijd tot een goed einde gebracht. De één boekte al wat meer resultaat dan de ander, maar achteraf bekeken heeft iedereen z'n best gedaan. In het begin van het jaar werd een nieuw idee soms wat bevlogen en overhaast gemaakt, uiteindelijk bleek dat idee een slecht idee te zijn. Na nieuwjaar hadden we dit door en maakten we veel meer vorderingen.

Uit het maken van deze gip kunnen we nog besluiten dat wanneer we samenwerken veel meer kunnen bereiken. Ook hebben we gezien dat we over sommige beslissingen te lang gedaan hebben om tot een conclusie te komen, hierdoor hebben we veel tijd verloren. Gelukkig werd deze tijd goed gemaakt door de hulp van Dieter (van de andere groep) bij de praktische uitwerking van de vogel.

In het algemeen zijn er vooral veel positieve ervaringen opgedaan tijdens het maken van de gip. Een van die ervaringen was het leren samenwerken in een grote groep. Zoals de meeste weten is dit niet erg gemakkelijk. We kregen dit toch voor elkaar door goed de taken te verdelen onder alle groepsleden. Ondanks de takenverdeling blijft het een groepswerk, daarom zorgden we ervoor dat iedereen op de hoogte bleef van alle vorderingen van de andere groepjes.

We stonden er zeker niet alleen voor, we konden altijd met vragen terecht bij onze leerkrachten. Die stonden op iedere moment van de dag klaar om ons van leerrijke informatie te voorzien. Daarvoor willen we hen zeker nogmaals bedanken.

Het feit dat er twee projecten waren in onze groep was goed. We hadden zeker niet het gevoel dat we concurrenten zijn. In tegendeel, als de ene groep toevallig informatie vond in verband met de andere groep hun gip, werd die informatie altijd doorgespeeld. Soms waren er gemeenschappelijke onderwerpen, daarover konden we spontaan samen over discussiëren.

Als we nu met z'n allen terug kijken op het afgelopen jaar vinden we ons resultaat geslaagd. Natuurlijk kon het hier en daar wel een stuk vlotter verlopen hebben, maar het gaat om het resultaat. We hebben een geslaagde simulatie, en we hebben veel informatie over het vliegen van een vogel verzameld.

We zijn trots op onze gip!

10 Bibliografie

(sd). Opgeroepen op 11 15, 2012, van Theorie van het vliegen - Asfyon: http://www.asfyon.nl/theorie.htm

(sd). Opgeroepen op 11 15, 2012, van Leonardo Da Vinci - Cultuurnetwerk.nl: http://www.cultuurnetwerk.nl/producten_en_diensten/bronnenbundels/1994/1994_20.htm

(sd). Opgeroepen op 9 26, 2012, van Hoe ornithopters vliegen: http://www.ornithopter.de/nederlands/index_nl.htm

(sd). Opgeroepen op 05 23, 2013, van Wikipedia - Lithium-ion polymeer accu: http://nl.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion-polymeer-accu

(sd). Opgeroepen op 05 23, 2013, van Wikipedia - geheugeneffect: http://nl.wikipedia.org/wiki/Geheugeneffect

(sd). Opgeroepen op 05 23, 2013, van Graupner - Graupner Compact 135, 7,4 V: http://www.graupner.de/en/products/7736/product.aspx

(sd). Opgeroepen op 05 23, 2013, van Wikipedia - gelijkstroommotor: http://nl.wikipedia.org/wiki/Gelijkstroommotor

(sd). Opgeroepen op 05 23, 2013, van Wikipedia - servomotor: http://nl.wikipedia.org/wiki/Servomotor

(sd). Opgeroepen op 05 24, 2013, van Wikipedia - Hall-effect: http://nl.wikipedia.org/wiki/Hall-effect

(sd). Opgeroepen op 05 24, 2013, van Wikipedia - Hall-sensor: http://nl.wikipedia.org/wiki/Hall-sensor

(sd). Opgeroepen op 05 25, 2013, van smartbird20122013: http://sites.google.com/site/smartbird20122013/

(sd). Opgeroepen op 05 25, 2013, van facebook - Smartbird20122013: http://www.facebook.com/Smartbird20122013

Dalton, S. (2004). *De magie van het vliegen.* Paperback.

Videler, J. J. (2012). *Hoe vogels vliegen.* Atlas.