

Werkstukhulp "Hoe vliegt een vliegtuig?"

In deze werkstukhulp krijg je informatie over hoe een vliegtuig nu eigenlijk kan vliegen. Er zijn eenvoudige proefjes uit te voeren en waar iets niet zelf uit te proberen is kun je Youtube filmpjes bekijken op de link: www.hansonline.eu/leerlink/technieklinks.htm

Je kunt de informatie van deze werkstukhulp gebruiken om je werkstuk te schrijven maar nog beter bij het houden van een presentatie. En misschien wel eens een presentatie zonder Powerpoint! Maar wél met interessante proefjes en Youtube filmpjes op het digibord in de klas.

Het wonder van het vliegen kun je hieronder zelf ontdekken. We doen dat in zeven stappen:

- 1 Luchtdruk
- 2 Vleugels
- 3 propeller en aandrijving
- 4 Besturing
- 5 Licht en sterk
- 6 De straalmotor
- 7 Luchtweerstand en stroomlijn.

1 Luchtdruk

Lucht heeft gewicht. Dat komt omdat de atmosfeer op aarde drukt. Het is een dikke laag die zich rondom de aarde bevindt. Die atmosfeer is het dichtst aan het aardoppervlak. Dus vlak boven de grond vind je de meeste luchtdeeltjes. Hoe hoger je in de atmosfeer komt, hoe lager de luchtdruk wordt. Daar zitten minder luchtdeeltjes. Als je op vier of vijf kilometer hoogte zou vliegen is er al zo weinig lucht dat je beter een zuurstofmasker zou kunnen opzetten. Op 12.000 meter is de luchtdruk nog maar een vijfde van de druk op aarde. Als straalvliegtuigen witte condens strepen trekken dan vliegen ze ongeveer op die hoogte. De Concorde vloog op ongeveer 16.000 meter. Daar is de luchtdruk nog maar een tiende van die op aarde. Op 40.000 meter hoogte is er bijna geen lucht meer en op 100 kilometer hoogte begint officieel de ruimte. De luchtdruk op zeeniveau is gemiddeld 1013 millibar, of hectopascal. Veel ouderen noemen dat nog één atmosfeer en heel veel mensen gebruiken nog steeds de *bar*. Dat mag eigenlijk niet meer, maar iedereen weet wat je bedoelt.

Het is wel eens leuk om met een proefje te testen of die lucht inderdaad zoveel druk heeft.

Daarvoor is nodig:

- een drinkglas
- een stukje dun karton, bijvoorbeeld een ansichtkaart
- water

De Proef

1. Vul het glas tot de rand.
2. Leg het stukje karton op het glas.
3. Houd het karton met de hand tegen en keer het glas om.
4. Haal je hand van het karton.

Als je het goed hebt gedaan blijft het kartonnetje onder het glas hangen.



Werkstukhulp "Hoe vliegt een vliegtuig?"

De luchtdruk drukt het kartonnetje tegen het glas en zo kan het water niet uit het glas stromen.

In theorie zou het glas bijna 10 meter lang kunnen zijn. Zo sterk is de lucht.

De lucht drukt ook overal: van boven, van onderen, van opzij.

Dit kun je zelf testen.

Daarvoor is nodig:

- een lege bronwater fles (met dunne wand!)
- heet water uit de kraan (niet meer dan 60 graden)

De Proef

1. Doe een bodempje heet water in de bronwaterfles, zo'n 3 centimeter.
2. Doe de dop erop.
3. Schud het water goed rond in de fles.
4. Laat het water weglopen.
5. Draai de dop erop en wacht.



Wat gebeurt er? Juist, de fles wordt in elkaar gedrukt.

Waarom?

Omdat de lucht aan alle kanten drukt.

Wat wij gedaan hebben is de lucht in de fles verwarmen. Daarna is de lucht afgekoeld en is de druk in de fles lager geworden. De luchtdruk buiten de fles heeft hem daardoor wat in elkaar

gedrukt.

De luchtdruk is zoals gezegd 1013 milibar of 1 bar. Je kunt ook zeggen dat de luchtdruk 1 kilogram per vierkante centimeter is. Dat is best veel!

2 Vleugels

Er zijn veel soorten vleugels en ook veel soorten *vleugelprofielen*:



aan twee zijden bol



licht gebogen, onderkant hol


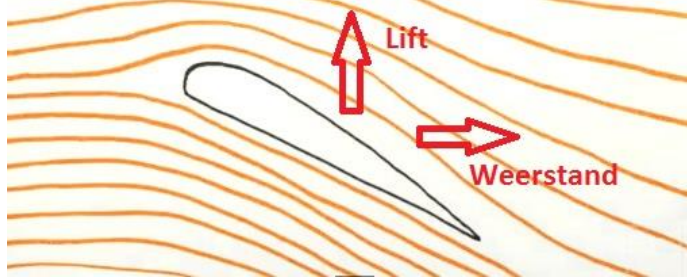


dun en messscherp

Vleugels kun je vergelijken met een vlieger. Het maakt niet uit welke vorm de vlieger heeft. De meest bekende vlieger, met de ruit vorm, werd al vóór onze jaartelling gebruikt. Je hebt wind nodig en als de wind langs de vlieger blaast gaat hij omhoog.

Bij een vliegtuig wordt de wind "gemaakt" doordat het vliegtuig snel over de startbaan voort beweegt. En als het kan start een vliegtuig altijd bij tegenwind. Dat telt dan mooi mee in de luchtsnelheid, want die is belangrijk bij de start.

Werkstukhulp "Hoe vliegt een vliegtuig?"

	
<i>vlieger – wind blaast erlangs en de vlieger gaat omhoog</i>	<i>de vleugel wordt voortbewogen, de wind blaast erlangs en de vleugel gaat omhoog</i>

Rechtsboven zie je de dat de vleugel door de luchtstroom omhoog gaat (*lift* of draagvermogen) en daardoor het vliegtuig optilt. Dit voorbeeld benadert de werkelijkheid, maar is wel gemakkelijker te begrijpen. De lift is de kracht van de lucht die wordt afgebogen door de vleugel. De luchtstroom heeft dus werk verricht en dat wordt niet gratis gedaan! Door dit werk ontstaat er *weerstand*. Om die weerstand te overwinnen heeft een vliegtuig een of meer sterke motoren nodig.



We gaan zelf een *windtunnel* bouwen om dit te onderzoeken.

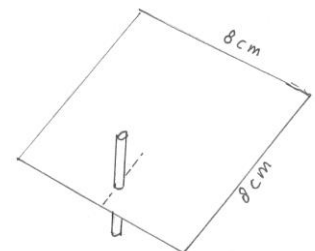
Windtunnels gebruiken heel sterke ventilatoren en de lucht loopt langs schotten of door buizen om er een gelijkmatige luchtstroom van te maken.

Helaas, onze luchtunnel is een haardroger en daar komt de luchtstroom heel erg slordig uit vandaan. Maar het werkt. Een haardroger met een voet is handig, anders moet iemand hem even vasthouden.

Als de haardroger een mondstukje heeft, haal dat er dan vanaf, zodat de lucht uit een wat grotere, ronde opening blaast.

Daarvoor is nodig:

- een haardroger
- een twee-gats perforator
- stukje karton van 8 bij 8 cm (dikte: ansichtkaart)
- satéprikker
- een dik rietje (McDonald's bijvoorbeeld)



De klus

We gaan onze testvleugel maken van 8 bij 8 cm.

Zet in het midden, dus op 4 cm uit een kant een streepje. Daar komt het gaatje.

Maak dat gaatje met de perforator. Als je het karton zo ver mogelijk aandrukt, komt het gaatje ongeveer een centimeter uit de kant.

Knip 5 cm van het rietje af. Steek dat in het gaatje. Dat zal niet passen, dus met een potlood of balpen moet je het gaatje voorzichtig iets groter maken. Niet te groot, want het rietje moet in het karton *klemmen*.

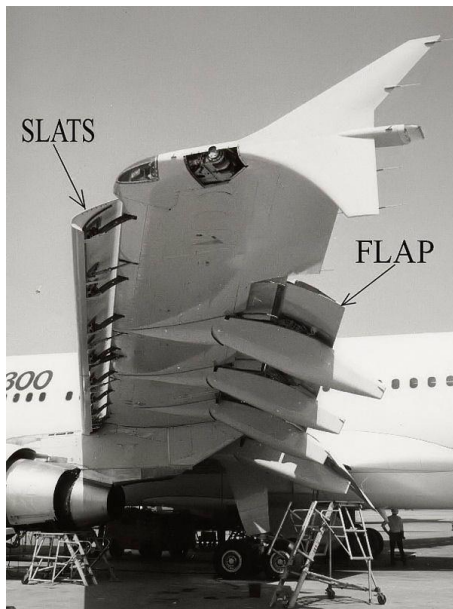
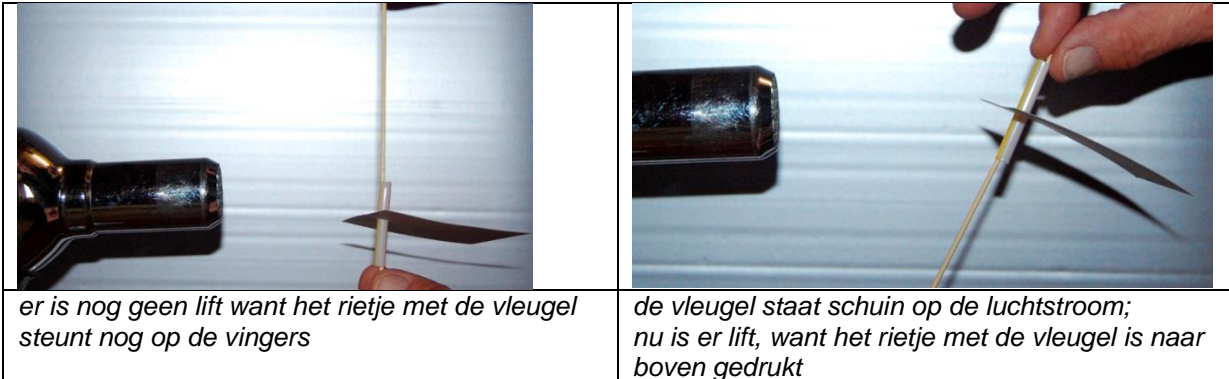
Werkstukhulp "Hoe vliegt een vliegtuig?"

Dit is onze test vleugel.

De Proef

1. Zet de haardroger aan (alleen op *koud* als het kan).
2. Doe het stukje karton met rietje over het saté stokje.
3. Houd het stokje loodrecht voor de haardroger en laat de onderkant van het rietje op je vinger steunen.
4. Beweeg het saté stokje achterover.

Op zeker moment zie je dat de vleugel omhoog gaat door de luchtstroom:



Flaps en Slats

Bij de start heeft het vliegtuig nog weinig snelheid. Om de vleugel toch voldoende *lift* te geven hebben vleugels al heel lang *flaps* aan de achterkant van de vleugel. Flaps zijn panelen die uit de vleugel schuiven. Ze geven de vleugel een kromming.

Die kromming zorgt ervoor dat er nog meer lucht afgebogen wordt. Natuurlijk neemt de luchtweerstand ook toe. Daarom worden de flaps al snel na de start ingetrokken, waarna het vliegtuig sneller kan vliegen.

Met de komst van de grote straalvliegtuigen kwamen er ook nog *slats* bij. Die worden aan de voorkant van de vleugel uitgeschoven. Ze zorgen ervoor dat er ook een kromming aan de voorkant van de vleugel komt. Ook dit verhoogt de lift van het vliegtuig. En uiteraard ook weer de weerstand, zodat de slats ook al snel na de start ingetrokken worden.

De kokers bij de flaps bevatten het mechanisme waarmee ze uitgeschoven kunnen worden.

In het begin vonden de passagiers het uitschuiven van de flaps geen prettig gezicht, zoals bij deze Boeing 727:



De flaps worden ook bij de landing gebruikt.

Bij de landing moet het vliegtuig ook weinig snelheid hebben, want de landingsnelheid mag niet te hoog zijn. Dit in verband met het landingsgestel en de lengte van de uitloop op de baan. Hiernaast zie je ook nog de *spoilers* van de 727 omhoog staan. Dat zijn *luchtrekken*. Ze verhogen de luchtweerstand en helpen bij het afremmen

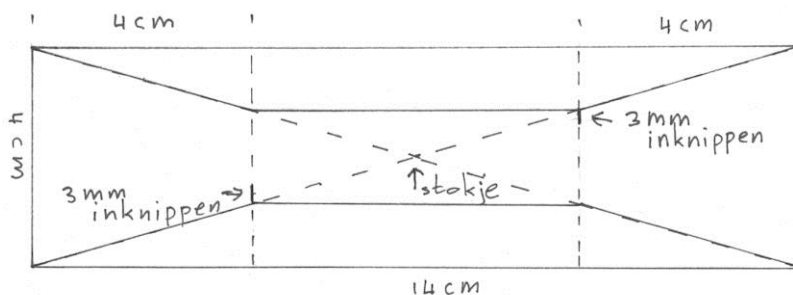
3 Propeller en aandrijving

De oudst bekende manier om een vliegtuig aan te drijven is de propeller. In het vliegtuig van Clement Adèr waren dat nog vier schepjes. Wilbur en Orville Wright bedachten dat een propeller ook de vorm van een vleugel moest hebben. Zij lijmde een aantal planken op elkaar en schraapten toen met messen de propeller in de juiste vorm. Dat lijmen van planken op elkaar levert een veel sterkere propeller op. Vaak worden er ook verschillende houtsoorten gebruikt in één propeller.

Wij hebben geen tijd om met hout te werken, dus we maken een propeller van vóór de Wrights. Schepjes dus.

Daarvoor is nodig:

- satéstokje
- stuk karton (dikte: ansichtkaart) van 4 bij 14 cm
- hete-lijmspuit



De klus

Teken de lijnen op het stukje karton en teken twee *diagonale* lijnen van hoek tot hoek. Teken dan een lijn op 4 cm afstand van de linkerkant en ook een op 4 cm van de rechterkant. Trek dan met dikke lijnen de omtrek van de propeller, zoals hierboven.



Knip op de hierboven aangegeven plaatsen de propeller 3 mm in.

Vouw aan die ingeknipte kanten het karton omhoog.

Maak op het kruispunt een gaatje met de saté prikker (bij "stokje"). Niet te groot!

Knijp wat hete lijm uit de spuit op het stokje en je propeller. Zorg ervoor dat de propeller recht op het stokje staat en laat de lijm goed hard worden.

De proef

1. Rol het stokje tussen je handen. Eén hand vooruit en één hand achteruit.
2. Doe je handen daarna snel opzij.

Werkstukhulp "Hoe vliegt een vliegtuig?"

De propeller zal nu iets omhoog gaan en als de draaisnelheid minder wordt, valt hij naar beneden..

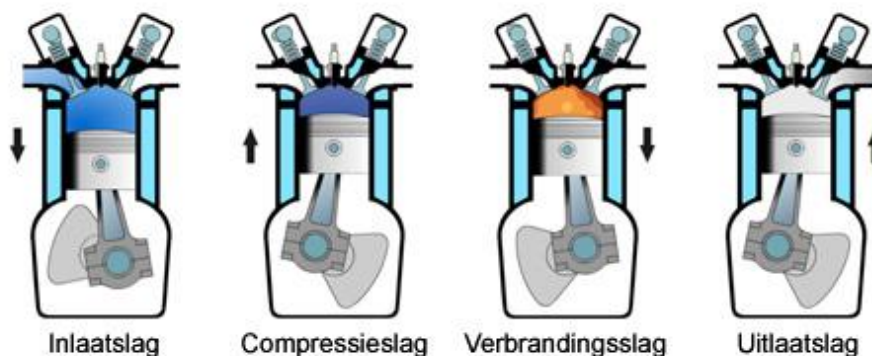
Je zag al dat de propeller snel uitgedraaid is. Om hem blijvend te laten draaien, hebben we een motor nodig. Een lichte en sterke motor. De beste keus was heel lang de benzine motor. Dus dezelfde motor als in de meeste personenauto's: een zuigermotor.

De zuigermotor

Hoe werkt die zuigermotor?

De meest eenvoudige is die met één cilinder. Daarin zit de zuiger die goed afgedicht is. De zuiger is door een zuigerstang verbonden met de krukas. Bovenin de cilinder zitten twee kleppen een inlaatklep (links) en een uitlaatklep (rechts). De brandstof wordt vóór de cilinder goed met de lucht vermengd. Dat gebeurt in de *carbureteur*. Vaak wordt de benzine ook meteen in de cilinder gespoten en dan wordt er alleen lucht aangezogen.

In de luchtvaart gebruiken we, net als bij auto's, *viertakt* motoren.



Dat betekent dat de motor in twee rondwentelingen maar op één moment kracht levert. Er zijn vier slagen bij de viertakt motor.

1 Inlaatslag

De zuiger gaat naar beneden, de inlaatklep staat open en het lucht-brandstofmengsel wordt aangezogen. Als de zuiger op het laagste punt staat wordt de inlaat klep gesloten.

2 Compressieslag

De zuiger gaat omhoog en perst het lucht-brandstofmengsel samen. Net voordat de zuiger helemaal bovenaan staat wordt het mengsel door een vonk ontstoken. Die vonk wordt veroorzaakt door de bougie.

3 De Verbrandingslag

De ontsteking zet het lucht-brandstofmengsel in vuur en vlam. Het is geen explosie maar een snelle *verbranding*. Door de druk van het verbrande mengsel gaat de zuiger naar beneden. Dit is het enige moment dat de motor kracht levert.

4 Uitlaatslag

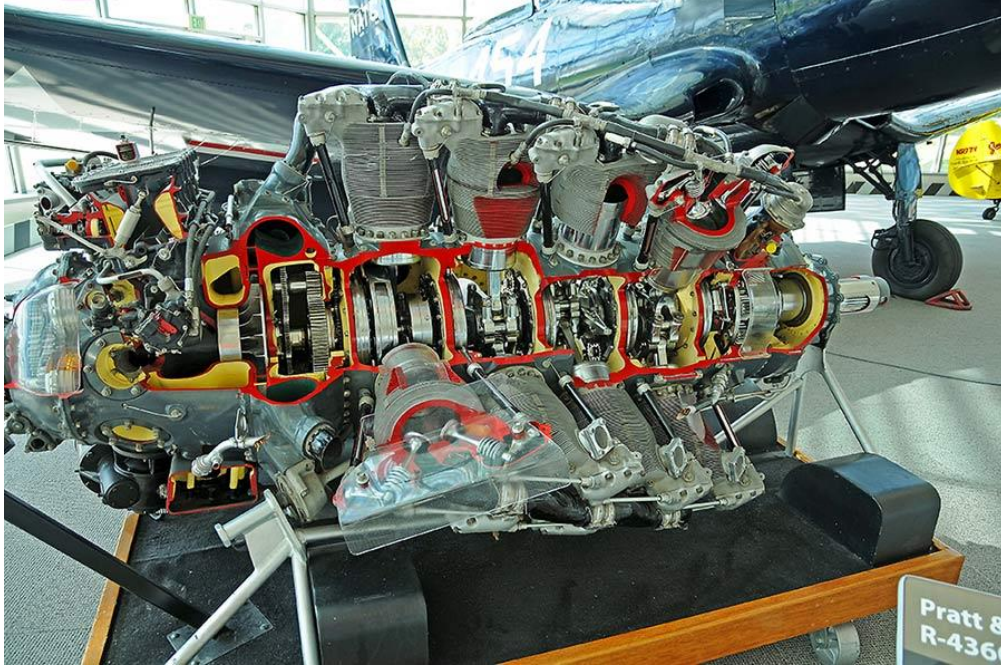
Als de zuiger onderaan gekomen is, gaat de uitlaatklep open. Als de zuiger weer omhoog gaat wordt het verbrande mengsel naar de uitlaat geblazen.

In een vliegtuigmotor zitten veel meer cilinders en ze worden in een bepaalde volgorde ontstoken om de trillingen te verminderen.

Als de werking van de één cilinder je duidelijk is, mag je je verbazen over de Pratt & Whitney R-4360 motor. 4 kransen van 7 cilinders. Achtentwintig dus, bij elkaar. Dit is de sterkste zuigermotor die ooit *gevlogen* heeft. De sterkste uitvoering uit de serie was er een die 3500 pk kon leveren. Zie voor filmpjes www.hansonline.eu/leerlink/technieklinks.htm

Werkstukhulp "Hoe vliegt een vliegtuig?"

De R-4360 is een stermotor, of radiaal motor. Die zijn altijd luchtgekoeld. Bij snelle vliegtuigen zoals de Spitfire werden lijnmotoren gebruikt. Die worden net als een automotor met koelvloeistof gekoeld. Een uitzondering is bijvoorbeeld de lijnmotor van de Tiger Moth. Die wordt weer met lucht gekoeld. Lijnmotoren zijn smaller en hebben een kleiner oppervlak, van voren gezien.



De inhoud van een motor is belangrijk omdat het een idee geeft hoe sterk hij kan zijn. Die inhoud wordt gemeten met de zuigers van de cilinders in de onderste stand.

Als je ooit iemand eens hoort opscheppen over de 2 liter motor in zijn auto, weet dan dat deze R-4360 motor bijna 72 liter inhoud heeft!



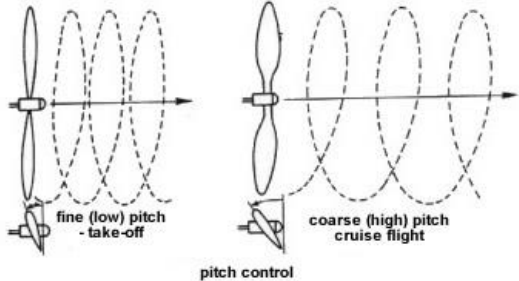

Draai en speed

Propellers kunnen twee, maar ook drie, vier, vijf en zes bladen hebben. Dat hangt o.a. samen met de kracht van de motor. Propellerbladen staan schuin op de as. Als ze draaien dan "snijden" ze in de lucht en werpen die lucht naar achteren. Net als een ventilator. Daardoor beweegt het vliegtuig vooruit. Als je naar de foto van de propeller kijkt zie je dat er een draai in het blad zit. Dat heeft een reden. Als de propeller draait beschrijft het gedeelte vlak bij de as een kleine cirkel en de uiteinden van de propeller een grote cirkel. Je kunt ook zeggen dat de snelheid van de propeller bij de as lager is dan aan het uiteinde van de propeller. Dat betekent dat de uiteinden van de propeller meer lucht verplaatsen dan het binnenste deel. Dat zou niet goed werken. Het is beter dat de luchtstroom gelijkmatig is. Dus dat "de tip" van de propeller net zo veel lucht verplaatst als het gedeelte bij de

Werkstukhulp "Hoe vliegt een vliegtuig?"

as. Daarom is de propeller aan de tip wat "vlakker" gedraaid. Dan verplaatst hij daar minder lucht.

Propellers kunnen bij veel vliegtuigen verdraaid worden. Dat heeft voordelen:

	
<p><i>Bij de start staat de propeller in een kleine "spoed" zoals links te zien is. De motor draait sneller en de propeller neemt wat kleinere hapjes uit de lucht. Je kunt dit een beetje met de eerste versnelling van een auto vergelijken.</i></p> <p><i>Als het vliegtuig eenmaal op de kruishoogte is, wordt de spoed van de propeller groter gezet en kan het toerental van de motor omlaag. Dit vliegt zuiniger.</i></p>	<p><i>Als een motor uitvalt, en dat gebeurde vroeger nogal eens, dan zou de propeller veel weerstand opleveren. Ook kan de motor door de snelheid van de lucht gaan draaien. Er zijn wel motoren wit-heet geworden door dit draaien. Als de propellers in de vaanstand worden gezet, is er minder weerstand en de motor gaat dan niet draaien.</i></p> <p><i>Dit is een motor van de Lockheed Super Constellation.</i></p>

Als een vliegtuig na de landing snel moet afremmen wordt de spoed van de propellers omgedraaid, zodat ze naar achteren gaan blazen. De Lockheed Hercules kan zelfs achteruit rijden op de baan.

Propellers kunnen van hout gemaakt worden. Dit is meestal het geval bij kleine vliegtuigen. De vorm van de propeller wordt gemaakt uit een stuk hout dat is samengesteld uit verschillende op elkaar gelijmde planken en meestal ook uit verschillende houtsoorten. Als er meer kracht geleverd moet worden zijn de propellers van aluminium of zelfs staal gemaakt. De stalen propellers van de Super Constellation zijn hol, om gewicht te besparen. De meest moderne propellers zijn van koolstofvezel en kunstharz gemaakt. Om de propeller te laten draaien is een zuigermotor nodig of een turboprop straalmotor (zie bij de straalmotor).

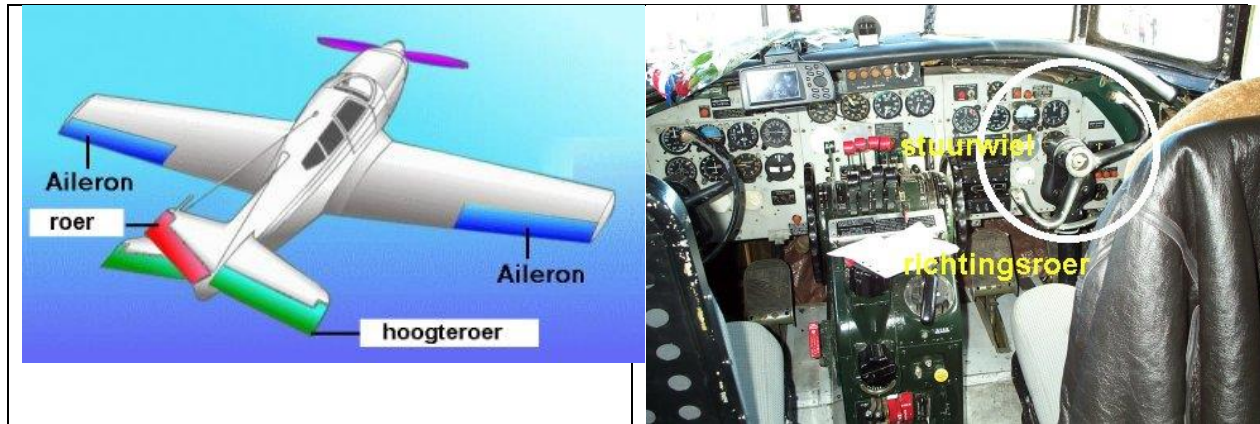
4 Besturing

Een vliegtuig wordt bestuurd met *stuurvlakken*.

De blauwe vlakken in de tekening zijn de *aileron*s en die worden bediend door het stuurwiel links of rechts te draaien. Op de foto van de Connie cockpit zou het toestel naar links rollen, als het vloog.

De groene vlakken vormen het *hoogteroer*. Het hoogteroer zit achteraan het *stabilo*. De piloot bedient dit door het stuurwiel van zich af te drukken (dalen) of naar zich toe te halen (stijgen). Het rode vlak is het richtingsroer achteraan het staartvlak. Dat bedient de piloot met zijn voeten.

Het staartvlak en stabilo zijn bedoeld om het vliegtuig stabiel te laten vliegen, zodat het minder op-en-neer en heen- en-weer slingert.



Ailerons

Dit betekent eigenlijk "kleine vleugeltjes". Ze zorgen voor deze beweging van het vliegtuig:



Ailerons kennen deze standen:

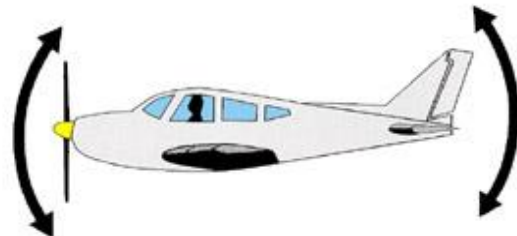
		
1 aileron recht: normale draagkracht	2 aileron omlaag: meer draagkracht	3 aileron omhoog: minder draagkracht

(vleugel van opzij gezien)

Als de ene aileron omhoog gaat, gaat de andere naar beneden. Hiermee kan het vliegtuig om zijn lengte as draaien. En die draagkracht wordt eigenlijk ook gewoon veroorzaakt omdat de luchtstroom afgebogen wordt, net zoals bij de vleugel. Bij **2** blaast de luchtstroom de vleugel omhoog en bij **3** naar beneden. Snelle, grote vliegtuigen hebben aan elke vleugel twee ailerons. Een dichtbij de romp. Die wordt bij hoge snelheden gebruikt. En ook een aan de tip van de vleugel. Die wordt erbij gebruikt als het vliegtuig langzamer vliegt.




Hoogteroer

Dit zit achter aan het stabilo en bestaat uit twee roeren die tegelijk omhoog en omlaag gaan. Ze zorgen voor deze beweging van het vliegtuig:



Werkstukhulp "Hoe vliegt een vliegtuig?"

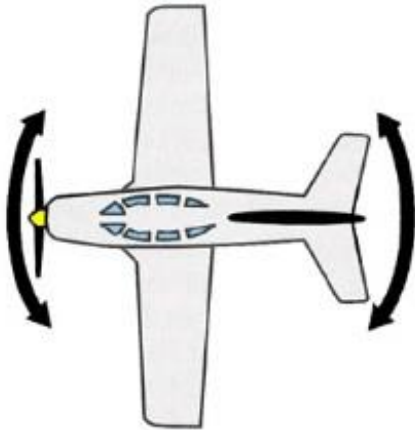
Het hoogteroer kent deze standen:

		
1 hoogteroer omhoog, minder draagkracht, de staart van het vliegtuig gaat omlaag en de neus omhoog	2 hoogteroer normaal, vliegtuig vliegt horizontaal	3 hoogteroer omlaag, meer draagkracht, de staart van het vliegtuig gaat omhoog en de neus omlaag




(het stabilo en het hoogteroer van opzij gezien)

Richtingsroer

Het richtingsroer zorgt voor deze beweging van het vliegtuig:



Het werkt hetzelfde als het roer van een schip. Het roer kent deze standen:

		
1 roer naar links, de staart gaat naar rechts	2 roer normaal, vliegtuig vliegt rechtuit	3 roer naar rechts, de staart gaat naar links

(Het richtingsroer is van bovenaf bekeken)



We gaan het effect van de roeren testen met een papieren vliegtuig. Maar een vliegtuig zoals hierboven, met vleugels, stabilo en staart is wat lastig om te vouwen.

We bouwen een Concorde!

Daar is geen hoogteroer meer, maar een vleugel met *elevons*. Dat is ailerons en hoogteroer gecombineerd.

Als de beide elevons omhoog staan gaat de Concorde stijgen.

Als ze beide omlaag staan, daalt de Concorde.

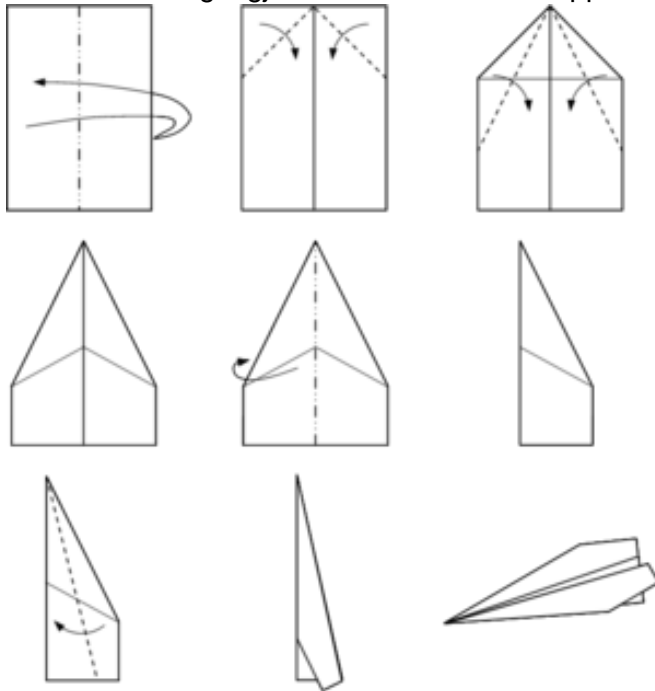
Als er een omlaag staat en de andere omhoog, dan maakt de Concorde een draai om zijn as. Door combinaties van die bewegingen kan de Concorde alles dat een "normaal" vliegtuig ook kan.

Daarvoor is nodig:

- een A4 blaadje zoals voor de printer
- misschien een nietje

De klus

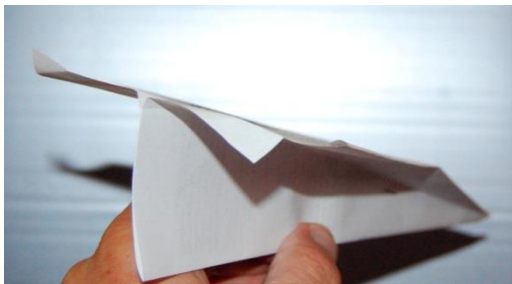
Vouw het vliegtuigje zoals hier in deze stappen staat:



Op

www.hansonline.eu/leerlink/technieklinks.htm kun je een Engelstalig filmpje zien waarin het vouwen duidelijk voorgedaan wordt. In onderstaand vliegtuigje is in het midden een nietje gebruikt

De Proef



Door de puntjes van de vleugels om te vouwen kunnen we de elevons nabootsen.

Vouw een puntje van de vleugel omhoog en de andere omlaag. Werp het vliegtuigje en zie wat het doet.

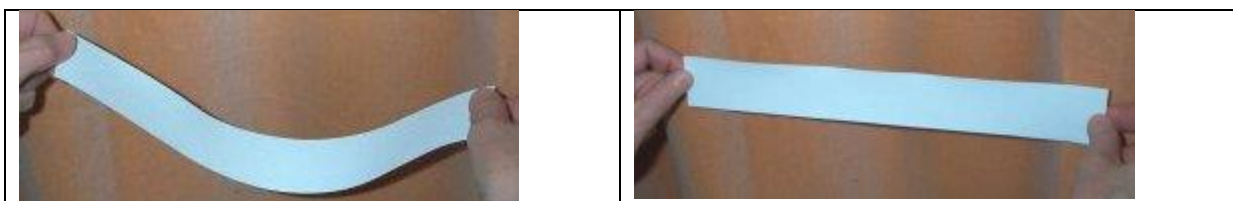
Vouw beide punten omhoog. Zie wat het vliegtuigje doet.

Vouw beide punten omlaag. Zie wat het vliegtuigje doet.

Bedenk zelf enkele andere standen van de elevons.

5 Licht en sterk

Een vliegtuig moet licht zijn, maar ook sterk. Dat is een lastig geval. Als iets licht is, is het vaak niet sterk. En als iets sterk is, is het meestal zwaar. Toch zijn er wel manieren te bedenken waardoor we iets sterk kunnen maken zonder dat het teveel weegt. Het eenvoudigst kunnen we dat laten zien met een strookje papier:



Werkstukhulp "Hoe vliegt een vliegtuig?"

hier zakt het strookje door

nu staat het strookje op zijn kant en het buigt niet meer door

Hiervan kunnen we gebruik maken door een balkje te maken. Geen enkele kant kan meer doorzakken omdat het altijd wordt gesteund door "een blaadje op zijn kant". Het is dus veel sterker geworden.

Daarvoor is nodig:

- A4 blaadje
- potlood
- schaar

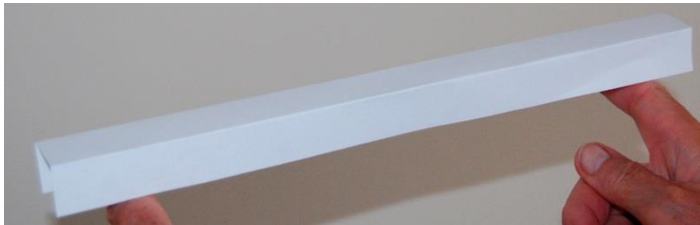
De klus

Leg het A4 blaadje in de breedte voor je.

Zet aan de linker zijkant een streepje op 2, 4 en 6 cm van de bovenkant. Doet dat ook aan de rechterkant.

Trek lijnen tussen deze streepjes. Knip de strook op de "6 cm lijn" af. Vouw de strook om op de 2 cm en 4 cm lijn.

Je krijgt dan dit: (volgende bladzijde).



De proef

Probeer met kleine voorwerpjes uit te vinden hoe sterk het balkje is.

Kun je op deze manier ook een vierkante koker maken? (streepjes op 2, 4, 6, 8 en 9 cm en wat lijm)

Is de koker sterker dan de balk?



In de Constellation worden ook balkjes gebruikt. Ze zijn hier een beetje afgerond.

De kleine lopen in de lengte van de romp en de dikke zijn cirkels in de breedte.

Een andere manier om iets lichter te maken is het weglaten van metaal door er bijvoorbeeld gaten in te maken:



Modern is het gebruik van kunststof om lichtere onderdelen te maken. Hiervoor gebruikt men koolstofvezels en kunsthars. De voorwerpen worden laag voor laag opgebouwd

(koolstofvezel, kunsthars, koolstofvezel, enz.) en daarna in een grote oven verwarmd zodat het één geheel wordt.

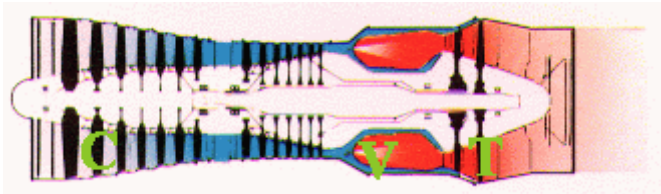


Hiernaast zie je het achterste drukschot van de Airbus A380. Het weegt maar 250 kg...

6 De straalmotor

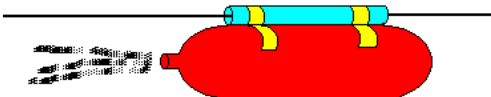
De straalmotor werkt heel anders dan de zuigermotor. Die maakt twee omwentelingen voor een slag waarmee de kracht geleverd wordt.

De straalmotor doet dat allemaal tegelijk:



De *compressor C* preste de lucht samen. Dat heet *comprimeren*. Daarna komt de lucht in de *verbrandingskamer V*. Daar wordt brandstof aan de samengeperste lucht toegevoegd en het mengsel wordt ontstoken. De *turbine T* begint snel te draaien door die gassen. Omdat de turbine verbonden is met de as van de compressor drijft de turbine de compressor aan. Dit is een **turbojet**. De gassen die snel uit de uitlaat stromen drijven het vliegtuig aan. Een bekende turbojet is die van de Lockheed Starfighter.

Het is erg lastig om een straalmotor na te bouwen, maar onze proef komt in de buurt.



Daarvoor is nodig:

- een langwerpige ballon
- vliegertouw
- een dik rietje
- twee stukjes sterk plakband

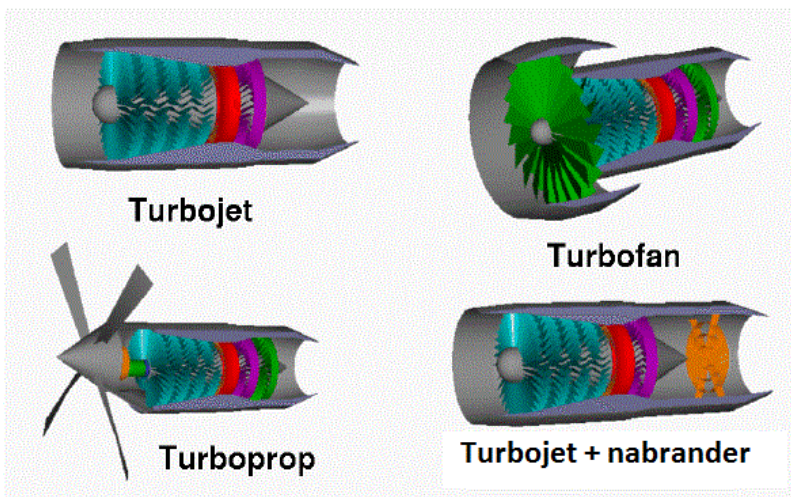
Schuif het rietje om het vliegertouw. Span het vliegertouw tussen twee punten. Blaas de ballon op en houd het tuitje dicht. Plak het plakband over het rietje en de ballon.

De proef

Lat het tuitje los en zie wat er gebeurt. Eigenlijk is dit meer een raket, omdat er geen lucht aan de voorkant aangezogen wordt. Maar het idee is hetzelfde.

Als je minder werk wilt doen, kun je de ballon ook gewoon vrij laten vliegen.

Soorten



De **turbojet** is al genoemd. Als je in de hete gasstraal van de turbojet nog eens extra brandstof inspuut, wordt de stuwkracht van de motor nog groter. Dit noemt men een *nabrander*. De Lockheed Starfighter heeft zo'n nabrander, maar ook de F-16.

Als je een van de turbines gebruikt om een propeller aan te drijven heb je een **turboprop**. Een voorbeeld is de Rolls Royce Dart van

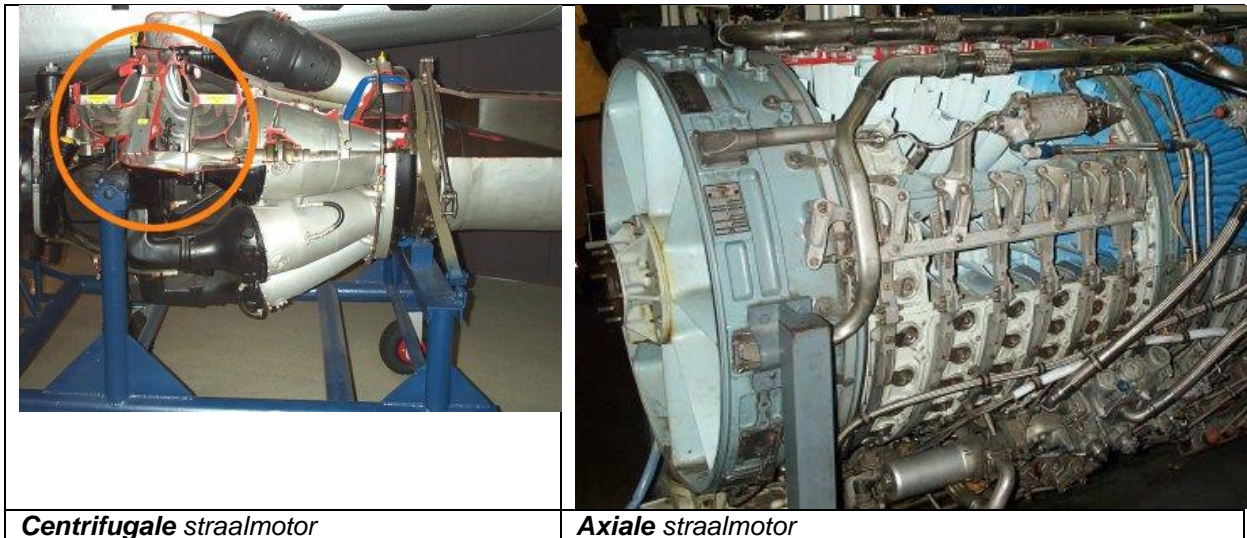
de Fokker F27.

Een turboprop is voor de niet zo snelle vliegtuigen. Zeg maar tot zo'n 500 tot 600 km/u. De turbojet is voor heel snelle vliegtuigen van 1000 tot meer dan 2000 km/u. Voor daartussen in, dus de vliegtuigen die tussen de 700 en de 1000 km/u vliegen is de **turbofan** uitgevonden. Bij de turbofan drijven een of meer turbines een grote fan aan de voorkant aan. Bij zo'n turbofan gaat de meeste lucht om de motor heen. Bij de motoren van de Boeing 747 van de Aviodrome gaat er ongeveer vijf keer zoveel lucht om de motor heen dan dat er doorheen gaat. Dit vliegt zuinig en het geluid van zo'n turbofan is ook minder.

(Alle voorbeelden in deze tekening zijn *axiale* straalmotoren, daarover meer bij "Extra").



Je kunt ook nog een andere verdeling maken:

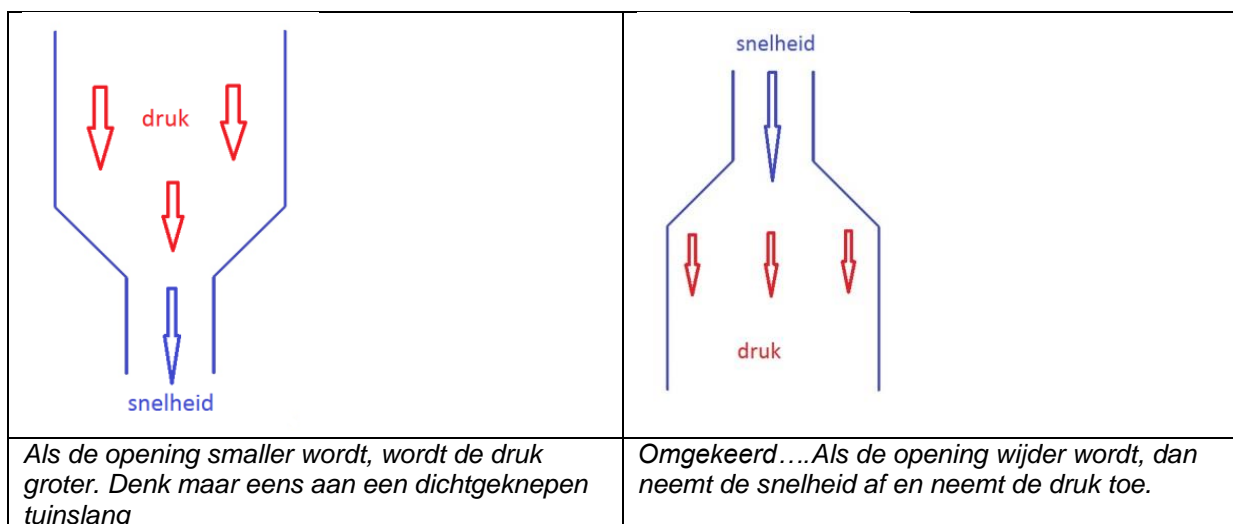


Het verschil zit eigenlijk alleen in hoe de compressor gebouwd is.

Bij de **centrifugale** straalmotor wordt de lucht door een schijf met schoepen naar buiten geslingerd.

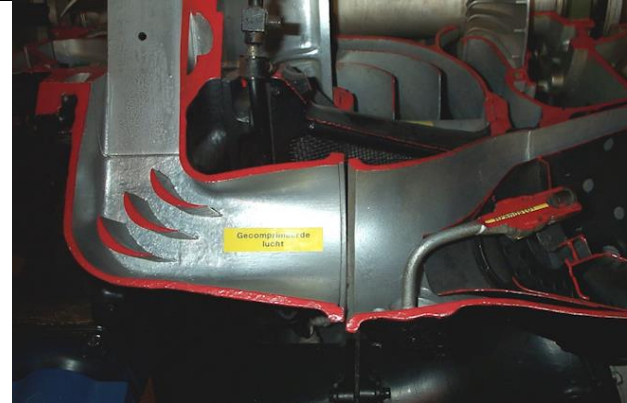

Bij de **axiale** straalmotor zorgen kleine schoepjes ervoor dat de lucht wordt verplaatst. De axiale straalmotor is meestal lang en smal. De centrifugale straalmotor is meestal kort en dik. De axiale straalmotor wordt het meest gebruikt is kan tot heel sterke uitvoeringen gebouwd worden. De centrifugale motor is voor het lichtere werk, zoals bij kleine helikopters en de hulpmotor in de staart van het vliegtuig, de APU.

Als je tekst hierboven leest zou je denken dat het bij deze motoren gewoon over het verplaatsen van lucht gaat, net zoals bij een ventilator. Dat is niet zo. Er wordt echt druk gemaakt en daarvoor hebben we een wet van meneer Bernoulli nodig:



Werkstukhulp "Hoe vliegt een vliegtuig?"



Voor de straalmotor is het omzetten van snelheid naar druk belangrijk.

	
<p>De centrifugale motor. Je ziet hier duidelijk dat de opening wijder wordt en daardoor wordt de snelheid lager en de druk groter. In deze motor tot 4 bar.</p>	<p>De axiale motor. Deze compressor bestaat uit draaiende rotorbladen R en vaste stator bladen S. De stator bladen zitten vast in het omhulsel van de motor. Zij hebben een vleugelvorm en, hoewel het hier moeilijk te zien is, vormen de stator bladen ook een opening die wijder wordt. Dus telkens als de rotorbladen de lucht snelheid geven, zetten de statorbladen de snelheid weer om in druk. (Omdat de druk steeds hoger wordt, worden de vaantjes steeds korter). Bij deze J-79 motor uit de Starfighter wordt de druk zo'n 13 bar.</p>

Zie voor de filmpjes van de straalmotor www.hansonline.eu/leerlink/technieklinks.htm

7 Luchtweerstand en stroomlijn

Bekijk deze twee foto's eens:

	
1 Fokker F-3	2 Lockheed Super Constellation

Wat valt je op?

de Super Constellation is:

- glad
- rond
- er steekt niets uit

Werkstukhulp "Hoe vliegt een vliegtuig?"

- de wielen zijn ingetrokken
- de Connie heeft een "vis" vorm

En je ziet vast nog wel meer verschillen. De Connie heeft minder luchtweerstand dan de Fokker F-3. Die luchtweerstand gaan we testen.

Daarvoor is nodig:

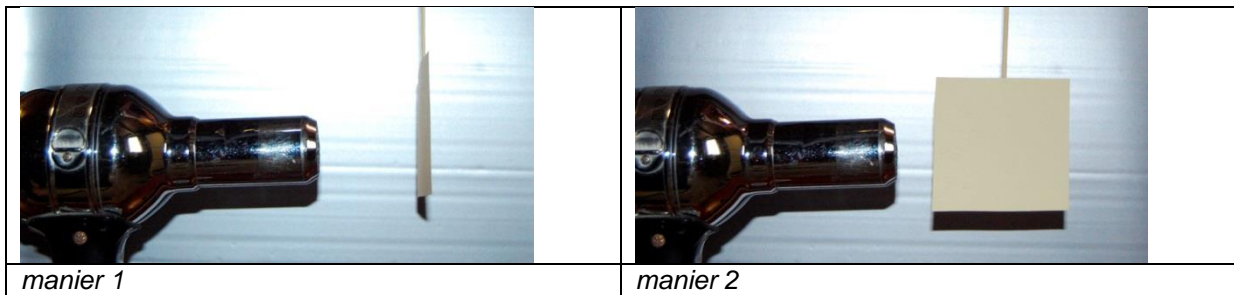
- haardroger
- saté stokje
- stukje karton 8 bij 8 cm
- hete lijm spuit

De klus

Knip het stukje karton uit. Teken een lijn precies in het midden. Spuit daar hete lijm op en druk het stokje op de lijm.

De proef

Zet de haardroger aan en houd het kartonnetje op twee manieren voor de haardroger.



Je voelt de krachten heel duidelijk. Bij welke manier heeft het kartonnetje de meeste luchtweerstand?

Als je snel wilt gaan en zuinig wilt vliegen moet de luchtweerstand zo klein mogelijk zijn. Daarover is ook een wet: *als de snelheid van een vliegtuig twee keer hoger wordt, wordt de luchtweerstand vier keer zo groot*. Daarom vloog de Fokker F-3 maar 135 km/u en er was geen sterkere motor om hem tweemaal zo snel te laten vliegen. Hier zie je enkele voorbeelden van stroomlijn:



Hans Walrecht