

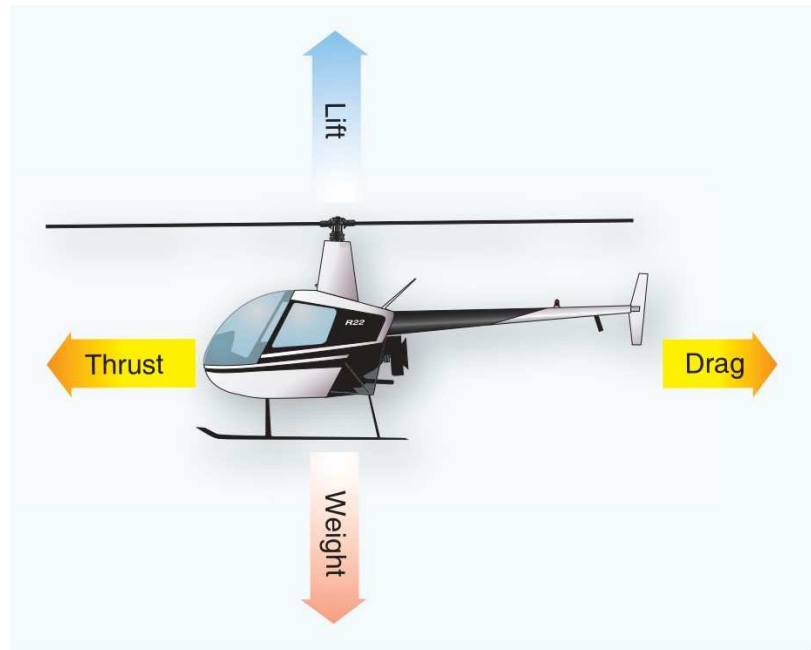
Helikopters

Na deel 1 met een korte geschiedenis van de helikopter is het nu tijd voor deel 2 waarin zoals beloofd nader wordt ingegaan op wat principes van het hefschroefvliegtuig.

Deel 2: enkele principes van een hefschroefvliegtuig

Het plaatje hiernaast zal je bekend voorkomen. Het laat de 4 krachten zien die tijdens de vlucht op een vliegtuig, dus ook op een heli werken. Enigszins vereenvoudigd:

- **Thrust:** de voorwaartse aandrijfkraft die door de motor moet worden geleverd
- **Drag:** de remmende kraft door de luchtweerstand
- **Weight:** het gewicht van het toestel
- **Lift:** de opwaartse kraft die geleverd moet worden door de rotor.



De rotorbladen kunnen worden beschouwd als snel ronddraaiende vleugels. Bij helikopters zorgt de rotor niet alleen voor de lift, maar speelt daarnaast een hoofdrol bij de voortstuwing en de besturing van het toestel.

In de basis cursus hebben we het gehad over hoe een vleugel lift kan genereren. Zie eventueel onze website, onder het kopje “training” basis cursus les 1, dia 3 t/m 6.

Bij de heli-rotor werkt dat principe niet anders, alleen komt de bewegende lucht over de “vleugels” nu omdat de rotorbladen met een bepaalde snelheid ronddraaien. Het overgrote deel van de lift van een helirotor wordt door het Bernoulli-principe (drukverschil) opgewekt. Slechts een klein deel is het gevolg van de 3^e wet van Newton (actie = - reactie). Hoeveel lift door een rotorblad wordt gegenereerd hangt af van 4 factoren:

1. De snelheid van de luchtstroom
2. De dichtheid van de lucht
3. Het totale oppervlak en vorm van het rotorblad
4. De hoek tussen de luchtstroom en het rotorblad

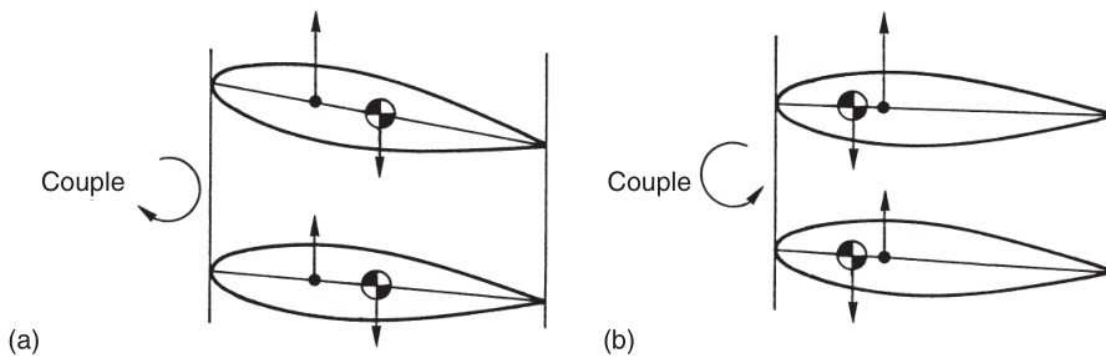
De snelheid van de luchtstroom wordt op de eerste plaats bepaald door de draaisnelheid van de rotor. Zeker als de heli “hovert” (stil hangt), overheerst de invloed van de draaisnelheid alle andere invloeden, zoals de wind. Dit is de belangrijkste reden dat helikopters prima in slecht weer kunnen

opereren: hun lift wordt bepaald door de rotorsnelheid, min of meer los van de externe windomstandigheden. De heli heeft daarom weinig last van harde wind of windstoten.

Rotorbladen zijn lang en dun en erg buigzaam. Als de bladen met hoge snelheid draaien worden ze door de middelpuntzoekende kracht die tracht de bladen als het ware uit te rekken stugger en buigen op snelheid dus minder door.

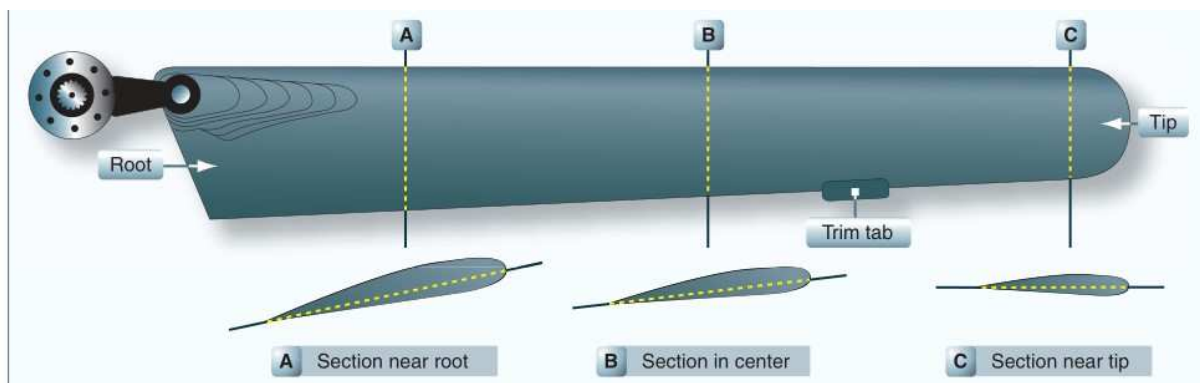
De eerste rotorbladen werden vaak gemaakt van massief hout of metaal. Zo'n blad is gevoelig voor "flutter". Flutter is een fenomeen van snelle trillingen in het blad die uiteindelijk onvermijdelijk leiden tot vernielen van het rotorblad.

Ter verduidelijking onderstaande figuur:

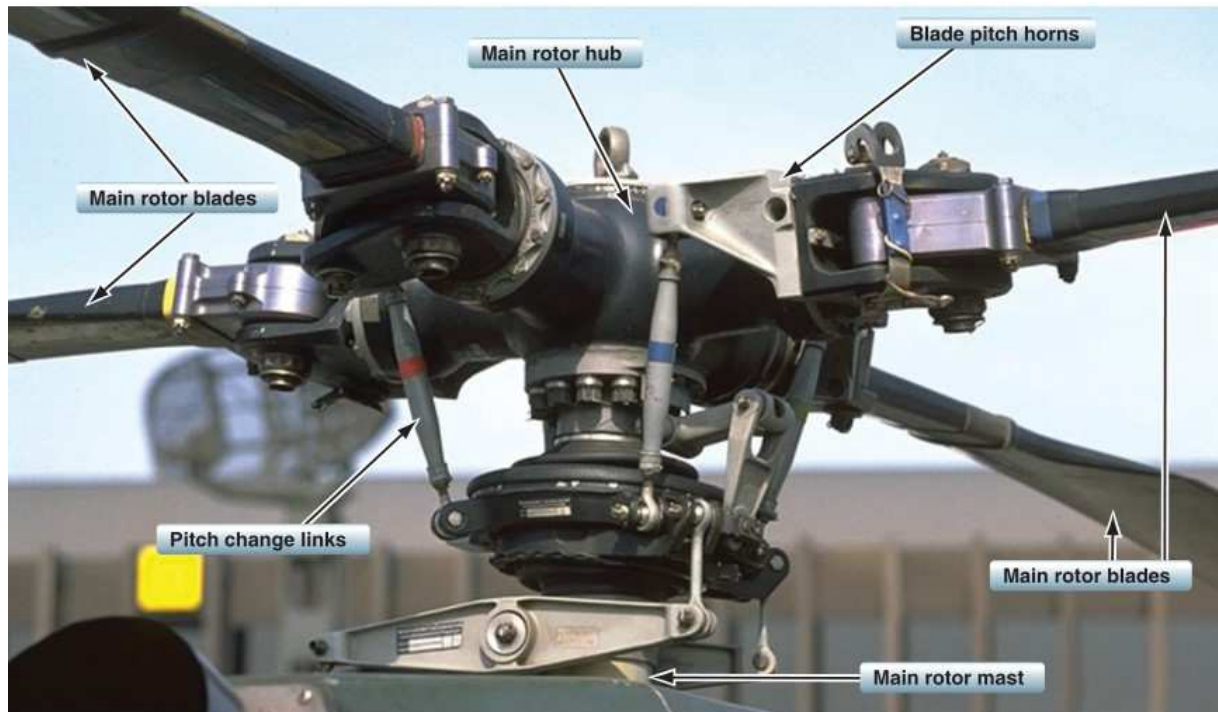


Als je gewoon een massief of hol rotorblad neemt ligt het aangrijpingspunt van de lift vóór het zwaartepunt van het blad (figuur a, onderste tekeningetje). Als je meer lift wilt, vergroot je de invalshoek (figuur a, bovenste tekeningetje) met als gevolg dat het rotorblad niet alleen maar meer lift genereert, maar tegelijkertijd ontstaat er een toenemend moment dat het blad wil torderen naar een nog grotere invalshoek, waardoor nog meer lift, waardoor nog meer torsie, met als gevolg de gevreesde "flutter" en een blad dat uiteindelijk afbreekt. In alle huidige heli's zijn daarom de bladen zo gemaakt dat ze aan de voorzijde zwaarder zijn dan aan de achterzijde (zie figuur b). Dit voorkomt bladflutter.

Een tweede probleem wat moest worden opgelost voordat er bruikbare heli's kwamen is dat – in tegenstelling tot een vliegtuig – bij een heli de luchtsnelheid en dus de lift niet over de hele lengte van het rotorblad constant is. Dichtbij de as is de luchtsnelheid laag, om dan naar het uiteinde toe steeds groter te worden. Daarom heeft het rotorblad een variabel verloop, zg. "twist", waarbij dichtbij de as (A in onderstaand plaatje) de invalshoek en het oppervlak groot zijn en afnemen naarmate je verder naar de tip gaat.



OK, we hebben nu een draaiende rotor die kan zorgen voor lift, maar om de heli bestuurbaar te maken is meer nodig. Er zijn in de loop van de tijd een aantal verschillende benaderingen voor het besturen van de heli bedacht. Vanwege de complexiteit ga ik niet in op alle varianten.



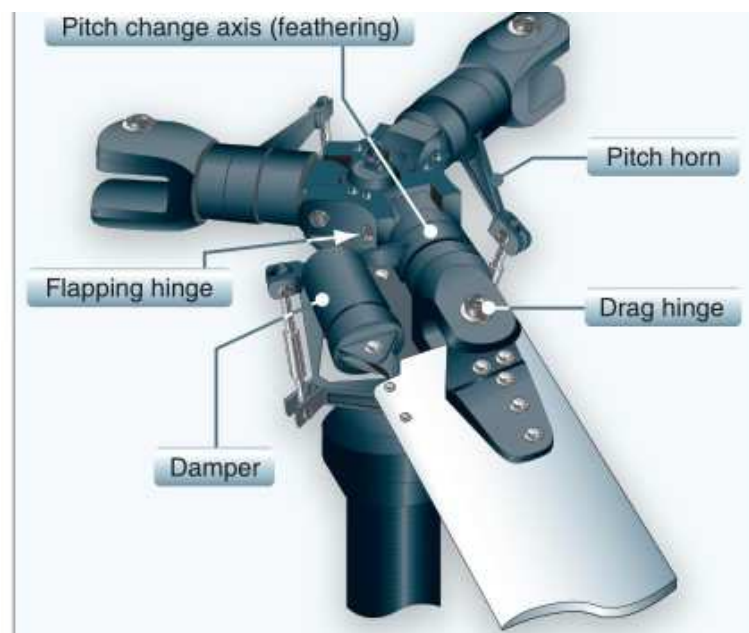
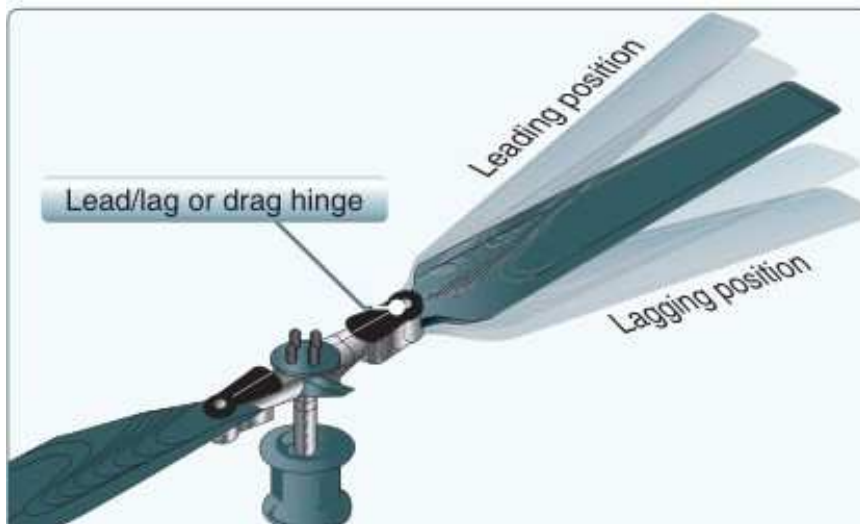
Als voorbeeld bovenstaand een foto van een “rigid” hoofdrotor. De rotorkop (“main rotor hub”) is een gesmeed stuk titanium. Deze rotorkop kan in alle richtingen enigszins kantelen, waarbij de motorkracht door een homokinetische kruiskoppeling wordt overgebracht op de rotor. Tussen twee haakjes: een homokinetische kruiskoppeling is een kruiskoppeling waarbij de afgaande zijde, hier de rotor, ongeacht de hoek die de as maakt met de aangedreven zijde een constante hoeksnelheid heeft. Dit type koppeling is b.v. ook veel in gebruik in voorwiel aangedreven auto’s, waar het wiel om te kunnen sturen ook een hoek moet kunnen maken t.o.v. de aandrijf-as. De stangetjes (“pitch change links”) op de foto kunnen in één keer alle 4 rotorbladen van pitch doen veranderen.

De optelsom van de opties van deze rotorkop maakt een bestuurbare heli (op de staartrotor na) mogelijk: kantelen van de rotorkop levert de voor-, achter- of zijwaartse kracht op die nodig is voor het besturen in het horizontale vlak; optillen of laten zakken van de pitch change links levert de collectieve vergroting of verkleining van de invalshoek op die nodig is om te klimmen of te dalen.

Zoals gezegd: er zijn nog wel wat andere varianten van rotorblad-ophanging in gebruik, waarbij meestal de rotorbladen ook nog kunnen vóór- of achterlopen in hun draaibeweging, dan wel in hoogte kunnen op en neer klappen.

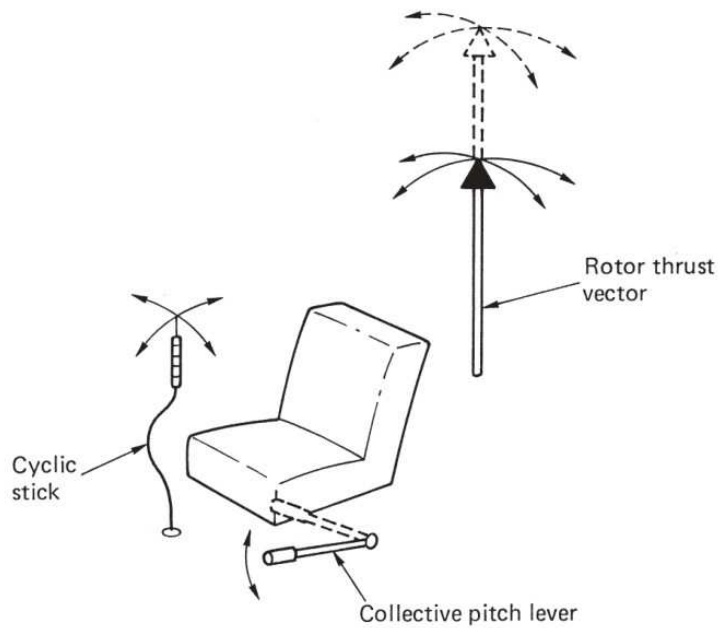
Onderstaand zonder verdere uitleg 2 afbeeldingen van “lagging hinges, die voor- of achterlopen van het blad mogelijk maken en van “flapping hinges” die bladen in staat stellen enigszins in verticale richting van hun plek af te wijken.

Bij de “rigid” ophanging worden de bewegingen in de bladen zelf door verbuigen en vervorming van het blad opgevangen.



Afbeeldingen: Lagging (ook “drag hinge” genoemd) en flapping hinges

Het besturen van de rotor instelling kan worden duidelijk gemaakt aan de hand van onderstaand plaatje:



De stuurknuppel, in de heli "Cyclic" genoemd, regelt het voorwaarts, achterwaarts of zijwaarts kantelen van de rotorkop. De "collective" regelt de collectieve invalshoek van alle rotorbladen en daarmee de lift: stijgen of dalen.

Wat nog ontbreekt zijn de "anti-torque"-pedalen. Met de pedalen oefen je in principe dezelfde invloed op de heli uit als met de pedalen in een vliegtuig: rechts intrappen draait de neus naar rechts, links naar links.

Het verschil is dat bij het vliegtuig dit kan worden bereikt met enkel een richtingsroer, terwijl bij de heli vooral het reactiemoment ten gevolge van de rotoraandrijving moet worden opgeheven. Daar is wat zwaarder geschikt voor nodig: een staartrotor, een straalpijp of dubbele rotors zorgen voor de compensatie; maar een roer is meestal ook van de partij, al was het alleen al als stabilisatie wanneer de heli voorwaarts beweegt.

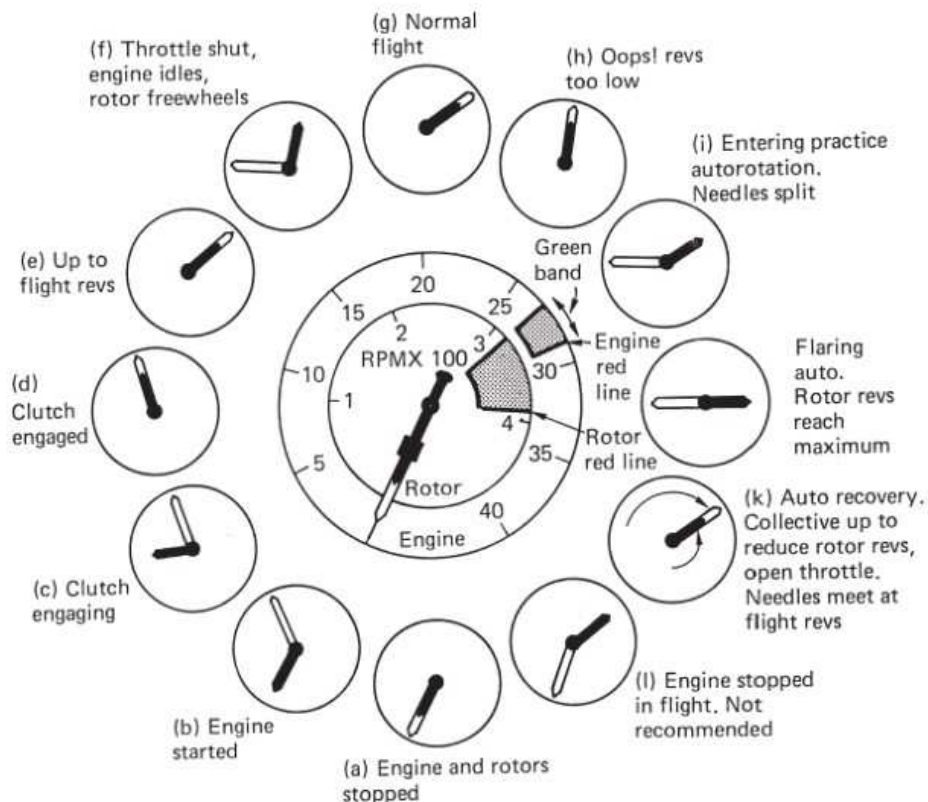
De collective is meestal gecombineerd met de gashandle, zoals in onderstaande foto te zien is.





Een belangrijk instrument in een helikopter wat in vliegtuigen ontbreekt is de gecombineerde motor/rotor toerenteller. Meestal wordt deze zo uitgevoerd dat in één instrument zowel het motortoerental (of de N2 in % als het een turbinemotor betreft) als het rotortoerental wordt aangegeven. Zoals te zien in de afbeelding hiernaast van verschillende uitvoeringen van dit instrument is deze dubbele toerenteller qua opzet en schaalindeling zo ontworpen dat in de normale situatie de naalden over elkaar vallen of gelijk staan als beide toerentallen correct zijn.

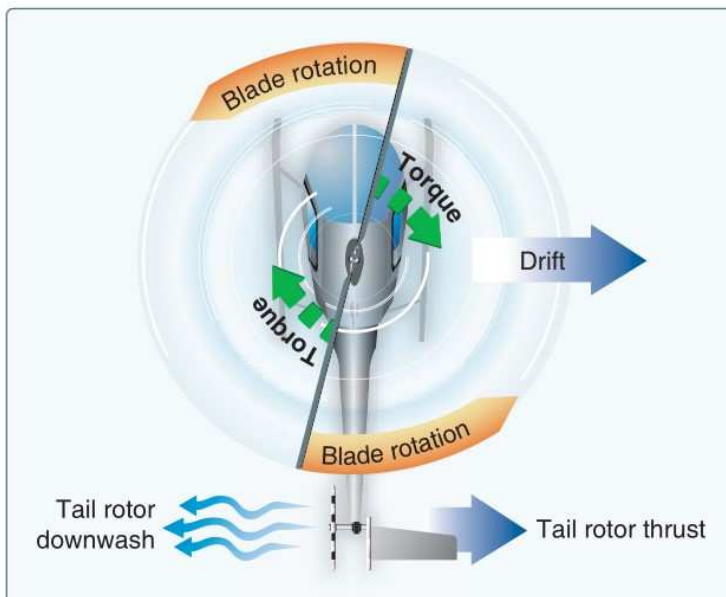
De afbeelding hier onder toont met een korte uitleg de principiële stand van de naalden in een aantal niet-standaard situaties.



Bij vliegtuigen kennen we het grond-effect. Dat treedt op als de kist nabij de grond de effecten ondervindt van de downwash die als het ware terugkaatst tegen het vliegtuig.

Ook helikopters ondervinden dit grond effect, zij het wat uitgesprokener dan bij vliegtuigen met vaste vleugel. Nabij de grond (als vuistregel: hoogte kleiner dan de rotordiameter) neemt de druk die door de rotor aan de onderzijde wordt gecreëerd toe ten gevolge van het "opsluiten" van de luchtkolom onder de rotor. De neerwaartse snelheid van de downwash neemt af en de lift wordt groter. Dit effect, dat bekend staat onder de naam In Ground Effect, is het sterkst bij hoveren boven harde oppervlaktes. Het is kleiner bij stilhangen boven ruw terrein of water.

Het omgekeerde effect treedt op bij opstijgen, het zg. Out Of Ground Effect. Boven een hoogte gelijk aan circa de rotordiameter neemt de lift vrij abrupt af en moet worden gecompenseerd door een grotere invalshoek via de collective en vervolgens meer power om het rotortoerental vast te houden.



Tijdens het hoveren zal bij een heli met een enkele rotor de neiging aanwezig zijn om af te drijven van de stilhang positie. Dit komt door de stuwkracht van de staartrotor. De piloot kan dit met de cyclic compenseren, maar ook constructief wordt hier rekening mee gehouden. Soms resulteert dit effect bij kleinere heli's in een inherente side-slip bij rechtuit vliegen.

Een ander effect waar bij de heli altijd aan gedacht moet worden is het feit dat het toestel eigenlijk met zijn gewicht slechts aan één punt is opgehangen, nl. aan de rotorkop. Dit leidt er toe dat het toestel bij vertragen of versnellen altijd een pendelbeweging zal vertonen, zie nevenstaand plaatje ter illustratie.

Tot zo ver wat principes van het hefschroefvliegtuig. In deel 3 zal ik ingaan op een aantal basismanoeuvres voor de heli en hoe die uit te voeren.

