

## Hoogte en snelheidscontrole

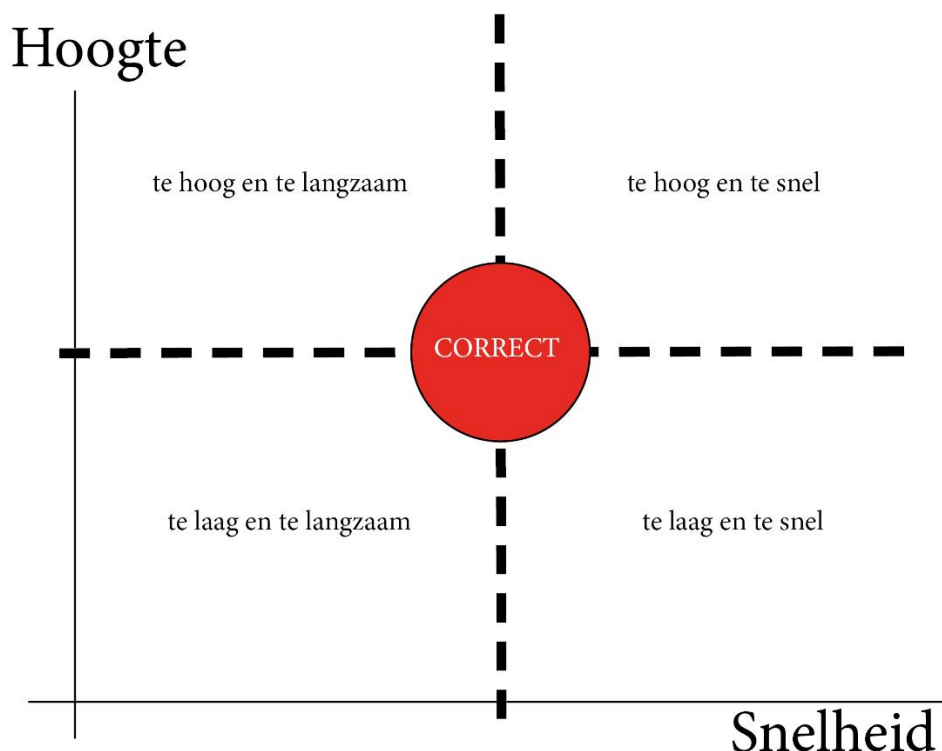
Een vliegtuig is moeilijker te besturen dan een auto. Dat komt niet alleen om dat de cockpit ingewikkelder is, meer knopjes bevat. Het werkelijke, achterliggende, probleem is dat een auto en een vliegtuig fundamenteel verschillen in hun reactie op correcties van hun bestuurder.

Zowel auto's als vliegtuigen hebben motoren die zorgen voor de voortstuwing. Als je de motor van een auto harder laat werken ("gas geeft") dan gaat de auto sneller rijden. Als je de motor(en) van een vliegtuig harder laat werken gaat het vliegtuig echter stijgen. Dit is dus een heel andere reactie en dat maakt het vliegen zoveel uitdagender dan autorijden.

We hebben in een vliegtuig niet onafhankelijke controls voor hoogte en snelheid. Beide parameters zijn namelijk aan elkaar gekoppeld via de wetten van de aerodynamica. Natuurlijk kun je een vliegtuig sneller laten vliegen door de yoke naar voren te duwen, dan zal je zeker versnellen. Het probleem is dat de hoogte van het vliegtuig als gevolg hiervan ook afneemt. Dit is dus zeker geen goede methode om te versnellen.

Een vliegtuig op een vooraf bepaalde vaste hoogte én op een vooraf bepaalde vaste snelheid te laten vliegen is een opgave en een uitdaging voor iedere (auto)piloot. Er is (vaak) een subtiele combinatie van twee controls nodig: de juiste instelling van throttle én yoke. Hoe pak je dat aan als (auto)piloot? Dáár probeert dit artikel een inzichtelijk antwoord op te geven.

Laten we eens kijken naar de volgende grafiek:



De gestippelde lijnen (horizontaal en verticaal) geven de gewenste hoogte en snelheid aan. Het kruispunt, de rode cirkel met daarin het woord "Correct", geeft de situatie die we wensen te vliegen: een vaste hoogte en een vaste snelheid.

Als het vliegtuig niet de juiste hoogte en/of snelheid heeft, dan is het in een ongewenste situatie terecht gekomen. Het vliegtuig vliegt dan in één van de vier onderstaande situaties:

1. Te hoog en te snel
2. Te hoog en te langzaam
3. Te laag en te snel
4. Te laag en te langzaam

De reactie van de piloot op elk van deze vier ongewenste situaties zal anders moeten zijn! Een goede piloot weet direct welke acties nodig zijn om het vliegtuig weer op de juiste hoogte en snelheid terug te krijgen.

Een wat minder geoefende piloot, die niet doorziet wat er aan de hand is of een verkeerd begrip heeft van aerodynamisch gedrag van een vliegtuig, zal eindeloos proberen, maar heel veel moeite hebben om zowel hoogte als snelheid blijvend te corrigeren. Het gevolg is vaak dat het vliegtuig als een dolfijntje op en neer dansend door de lucht gaat. Er is zelfs een officiële term voor bedacht en dat is: PIO's (Pilot-Induced-Oscillations).

### Intermezzo over energie

Nu volgt een intermezzo over energievormen en energieomzettingen. Als je daarmee bekend bent dat zou je dat kunnen overslaan. Mocht dat niet zo zijn, dan volgt nu een klein stukje middelbare school natuurkunde theorie. Weer even terug in de schoolbanken, dat is nooit weg voor een piloot.....

### Potentiële en kinetische energie

Aerodynamische gedrag van een vliegtuig is voor een groot gedeelte te verklaren vanuit het begrip energie. Het vliegtuig heeft tijdens een vlucht een bepaalde potentiële en kinetische energie. Zie hier de formules voor respectievelijk potentiële- en kinetische energie:

$$E_{pot} = mgh \qquad E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$$

In de formules geldt: m= massa, g = zwaartekrachtversnelling, h = hoogte, v = snelheid

Populair gezegd is potentiële energie gelijk aan "hoogte-energie" en kinetische energie gelijk aan "snelheids-energie". We gaan niet zozeer rekenen met deze formules maar zullen deze formules gebruiken om te begrijpen wat we moeten doen als het vliegtuig niet op de juiste hoogte en/of snelheid vliegt. Eerst nog even iets over waar al die energie vandaan komt, de throttle

### De throttle

De throttle gebruiken we om een bepaalde hoeveelheid energie aan het vliegtuig te geven. Hoe verder we de throttlehandles openzetten, des te meer energie wordt aan het vliegtuig toegevoegd. Deze energie ontstaat, zoals je wellicht weet, bij de verbranding van brandstof in de motoren. In een stabiele vliegsituatie (op vaste hoogte, vaste snelheid, vaste koers) leveren de motoren precies evenveel energie om de totale wrijving op te heffen.

### Wrijving

Tijdens het vliegen ondervindt het vliegtuig wrijving. Wrijving op het vliegtuig vermindert de hoeveelheid energie. Even een voorbeeld van hoe dit werkt in de praktijk.

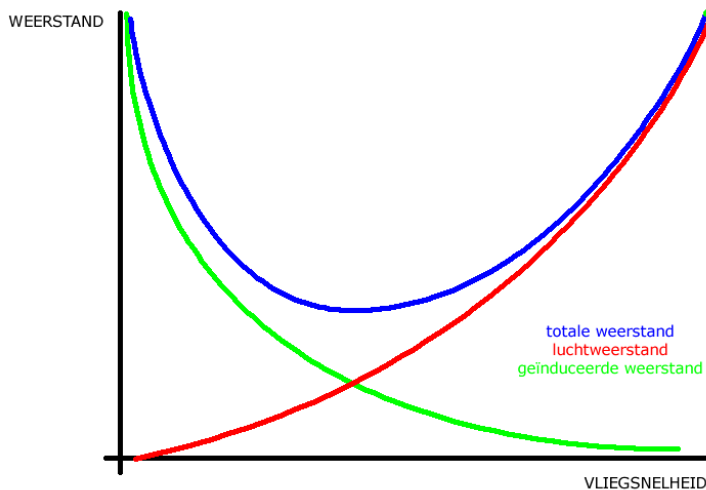
Voorbeeld: stel je hebt een horizontale tafel en daarop ligt een blokje hout. Je geeft het blokje met je hand een korte maar flinke duw en daarna beweegt het over de tafel. Met jouw spierkracht heb je kinetische energie gegeven aan het blokje.

Zodra het blokje is losgelaten zie je echter de snelheid minder worden. Wrijving verlaagt de kinetische energie totdat het weer stil ligt! Alle energie is omgezet in warmte. De onderkant van het blokje (en de tafel) zijn iets warmer geworden.

Stel een vliegtuig vliegt op een bepaalde hoogte en snelheid. Vervolgens stoppen alle motoren ermee. Mayday Mayday Mayday... De totale hoeveelheid energie (potentiëel én kinetisch) die het vliegtuig had op het moment net vóór de motorstoring maakt het mogelijk dat het vliegtuig nog een tijdje kan vliegen. Uiteindelijk zullen zowel de hoogte en de snelheid van het vliegtuig verminderen door de wrijving. In dit geval is het dus zaak om met zo min mogelijk wrijving te vliegen.

Als we heel precies gaan kijken naar de wrijving die een vliegtuig in de lucht ondervindt dan blijkt dat er twee belangrijke soorten weerstand te zijn:

- **Luchtweerstand**  
Dit is de weerstand die ieder voorwerp dat door lucht beweegt ondervindt. Auto's, fietsers, pingpong balletjes etc. De weerstand is evenredig met het kwadraat van de snelheid door de lucht: als je 2x zo snel gaat ondervindt je 4x zoveel wrijving.
- **Geïnduceerde weerstand**  
Dit is de weerstand die een vleugel veroorzaakt wanneer deze met een bepaalde snelheid door de lucht gaat. Het blijkt dat de hoek tussen de vleugel en de luchtstroom bepalend is voor de wrijving. Deze hoek heet de invalshoek of Angle of Attack (AoA) in het Engels.



In deze grafiek wordt de totale weerstand uitgezet tegen de vliegsnelheid (blauwe lijn). Je ziet duidelijk dat de lijn een minimum heeft bij een bepaalde snelheid. Dit is de snelheid waarbij de weerstand het kleinst is. Ga je sneller vliegen, neemt de weerstand toe. Ga je langzamer vliegen, ook dan neemt de totale weerstand dus toe!

De Boeing heeft bijvoorbeeld een "minimal clean" snelheid van ca. 220 knopen. Dat is dan ook typisch de snelheid die je wilt vliegen in een holding, daarbij is de weerstand zo laag mogelijk en verbrand je dus zo min mogelijk brandstof per uur.

## Energieomzettingen

Dit stukje theorie is nodig om te begrijpen dat zelfs een vliegtuig dat alle motoren heeft verloren toch nog zou kunnen klimmen naar een grotere hoogte. Hoe is dát mogelijk?

We hebben al gezien dat bewegingsenergie kan worden omgezet in warmte (het voorbeeld van het blokje op de tafel). De energie omzetting is dan als volgt:

Kinetische energie → warmte

Ook weten we dat verbranding van brandstof (in de motor) kan worden omgezet in bewegingsenergie. De energie omzetting (tijdens bijv. een take off roll) is dan als volgt:

verbrandings energie → kinetische energie

Maar ook potentiële energie en kinetische energie kunnen in elkaar worden omgezet (tegen elkaar worden uitgeruild zeg je ook wel eens):

Potentiële energie → kinetische energie

Een voorbeeld hiervan is dat we “aanduiken” met een vliegtuig. De hoogte neemt af maar de snelheid neemt toe! De throttles worden hierbij helemaal niet gebruikt.

Een vliegtuig met voldoende snelheid kan ook omhoog “zoomen”, daarbij klimt het vliegtuig maar neemt de snelheid (snel) af. De throttles worden hierbij niet gebruikt. De energieomzetting is dan:

Kinetische energie → potentiële energie

## Correctie strategie voor hoogte én snelheid (in combinatie)

We komen na het intermezzo weer terug op de beginvragen, namelijk wat we moeten doen in de volgende ongewenste situaties. Daarbij vliegen we:

1. Te hoog en te snel
2. Te hoog en te langzaam
3. Te laag en te snel
4. Te laag en te langzaam

We kunnen de bovenstaande situaties “vertalen” in totale energiesituaties en als volgt verwoorden:

1. In totaal teveel energie
2. Energie is verkeerd verdeeld (teveel potentiële en te weinig kinetische energie)
3. Energie verkeerd verdeeld (te weinig potentiële en teveel kinetische energie)
4. In totaal te weinig energie

Nu we deze “vertaling” hebben gemaakt kunnen we bepalen wat we het beste kunnen doen. We hebben daarbij twee opties namelijk reageren met de throttle (meer of minder energie toevoeren) of reageren met de yoke (neusstand veranderen)

Realiseer je goed dat situaties 1 en 4 gaan over de totale energiehoeveelheid die niet correct is. Situaties 2 en 3 gaan vooral over een verdeling van de energie die niet correct is.

## Reactie met de throttle

De throttle heeft een direct effect op de totale energie situatie en kan dus situaties 1 en 4 grotendeels oplossen. Bij energietekort méér en bij energieoverschot juist minder throttle geven is het advies.

Een probleem hierbij is dat er een secundair effect kan optreden. Bij de meeste vliegtuigen zal namelijk een verandering van de throttle ook de neusstand (en mogelijk dus ook de snelheid) veranderen. Zie het voorbeeld hieronder:

Voorbeeld: bij een Boeing hangen de motoren onder de vleugels. Als je het gas dichtzet gaat ook de neus omlaag. Houdt de snelheid in de gaten en pas de neusstand aan met de yoke om een constante snelheid te houden.

### Reactie met de yoke

De yoke heeft een direct effect op de verdeling tussen potentiële en kinetische energie (hoogte en snelheid).

De yoke kan dus situaties 2 en 3 oplossen. Je kunt een teveel aan snelheid (situatie 3) omzetten in hoogte door de neusstand te verhogen en daardoor hoogte te winnen en snelheid te verliezen. Omgekeerd kun je situatie 2 oplossen door de neusstand te verlagen, hoogte te verliezen en snelheid te winnen.

Ook bij de correctie met de yoke treedt een secundair effect op, de ingestelde snelheid verandert namelijk. Neusstand en snelheid zijn immers gekoppeld via de Liftformule. Bij een nieuwe snelheid zal de totale wrijving groter of kleiner worden (zie de blauwe lijn uit de grafiek). Het gevolg is dat de throttle daarop moet worden aangepast. Houdt de hoogte in de gaten en pas de throttle aan om op hoogte te blijven.

### Correcties steeds kleiner maken en een evenwicht bereiken

Nadat je steeds dichterbij je gewenste snelheid en hoogte komt, zullen de aanpassing (yoke/throttle) steeds kleiner moeten worden, totdat je precies de snelheid en hoogte hebt die je wenste. Als het goed is heb je nu min of meer een vaste throttle setting en een vaste neusstand bereikt.

Zolang je echter nog aan het schuiven bent met de throttle en de yoke kun je nog niet de laatste stap uitvoeren maar moet je eerst nog stabiliseren. Er moet echt een evenwichtssituatie van krachten ontstaan waarbij 4 principiële krachten elkaar opheffen. Dat is verticaal: zwaartekracht en lift en horizontaal: thrust en wrijving. Deze moeten met elkaar in evenwicht zijn vóórdat je de laatste stap kunt uitvoeren in dit proces.

### De laatste stap: aftrimmen

Controleer welke kracht je uitoefent op de yoke. Je kunt het makkelijk controleren door de yoke even kort los te laten. Valt de neus omlaag, dan was je kennelijk aan het trekken en omgekeerd, als de neus omhoog komt was je kennelijk aan het duwen. Het is nu de laatste stap die je moet maken, trim de goede kant op!

Als je aan de yoke trok, trim je de neus iets omhoog en omgekeerd trim je de neus iets omlaag. Nu begint het wachten totdat dit effect is uitgewerkt. Dat kan bij grotere vliegtuigen langer duren dan bij kleinere vliegtuigen. Als het secundaire effect optreedt: bijvoorbeeld je trimt omhoog en de snelheid neemt (teveel) af, geef dan heel ietsje gas bij en probeer opnieuw. Let op allemaal kleine correcties want anders kom je geheid in een PIO-situatie terecht.

De uiteindelijke meesterproef is dat het vliegtuig op de juiste hoogte en juiste snelheid vliegt en blijft vliegen zonder dat je de yoke of throttles hoeft aan te raken. Uiteraard kan dit alleen als het niet al te turbulent weer is anders moet je regelmatig ingrijpen. Je weet nu wat de juiste methode is, succes!

Houdt vol, blijf oefenen en vooral: blijf studeren, dat is de enige manier om een (nóg) betere piloot te worden.