

# Stabiliteit van een dartpijl

E. de Vries (1099116), M. de Vries (1180614), D.C. Doedens (1019570), R. de Jong (1180533)

## Samenvatting

De meeste dartpijlen hebben vier staartvinnen, maar wat is de invloed op de stabiliteit van de dart als hij maar 3 vinnen heeft? De claim is dat de stabiliteit beter wordt. Het antwoord op deze vraag is op twee manieren onderzocht, zowel experimenteel als met behulp van een theoretisch model. Uit beide manieren blijkt dat een dart met drie vinnen niet stabiel is dan een dart met vier vinnen.

**Trefwoorden:** Stabiliteit, dartpijl, lift, weerstand, windtunnel

## 1. Inleiding

De traditionele dartpijlen hebben vier staartvinnen. Omdat de ontwerpeisen van een 'wedstrijddart' slechts beperkt zijn tot gewicht en lengte [1] is er waarschijnlijk ruimte voor verbetering. Sinds kort zijn er dan ook dartpijlen op de markt met maar drie vinnen, de zogenaamde Tri-fins. Hierbij wordt geclaimd dat deze dart stabiel is dan een traditionele dart [2]. In de praktijk wordt een dart nooit precies recht geworpen en slingert hij tijdens de vlucht om zijn zwaartepunt. Hoe meer deze slingering gedempt wordt, hoe stabiel de dart is en hoe groter de kans dat de worp in het juiste vakje komt.

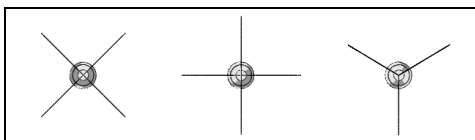
Als hypothese wordt gesteld dat *de 3-vin dart stabiel is dan de 4-vin dart*.

## 2. Methode

De hypothese is experimenteel te toetsen (zie experiment). Om ook inzicht te krijgen in wat er werkelijk gebeurt, is er gekozen om ook een theoretisch model te maken gebaseerd op de theorie van Barrowman voor slanke objecten met vinnen [3].

Voor het model en het experiment zijn een aantal vereenvoudigingen aangebracht:

- De dart heeft een rechtlijnige vlucht, dus geen parabool baan zoals in de werkelijkheid. Dit vereenvoudigt de windtunnelmetingen.
- De rotatie rond zijn eigen lengteas wordt buiten beschouwing gelaten.
- De slingering in het horizontale en verticale vlak wordt hetzelfde verondersteld. Er wordt daarom alleen onderscheid gemaakt in de oriëntatie van de 4-vin dart (zie Figuur 1). In het model wordt de slingering rond één as bekeken.
- De vorm van de flight, de lengte van de dart en zijn gewicht worden constant gehouden

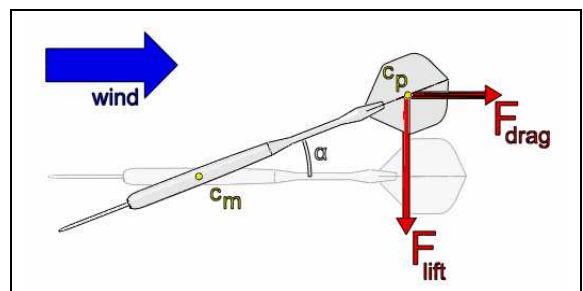


Figuur 1. De drie verschillende flight configuraties, respectievelijk X, + en Y

### Model

Het model is gebaseerd op krachtenevenwicht. Op een dartpijl werken verschillende krachten (zie Figuur 2). De lift staat loodrecht op de wind en de weerstand

(drag) evenwijdig aan de wind. Deze twee krachten grijpen aan in het aerodynamische drukpunt. En veroorzaken een terugdraaiend moment. De ligging van dit drukpunt kan berekend worden volgens de theorie van Barrowman [3].



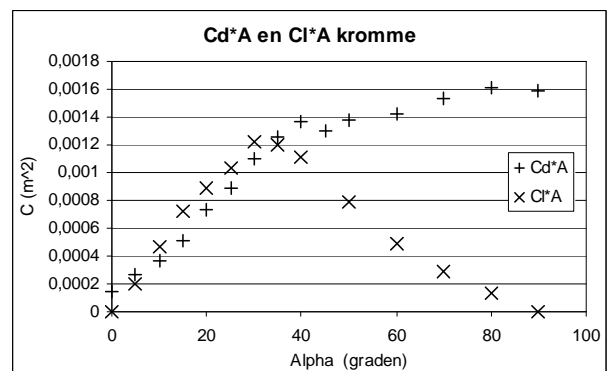
Figuur 2. De gebruikte parameters.  $C_m$  = zwaartepunt,  $C_p$  = drukpunt,  $F_{drag}$  = dragkracht,  $F_{lift}$  = liftkracht,  $\alpha$  = hoek tov neutrale as

Met de volgende formule zijn de lift en drag krachten te berekenen:

$$F = \frac{1}{2} C * A * \rho * v^2$$

Hierin is C een weerstand- of liftcoëfficiënt ( $C_d$  of  $C_l$ ), A is het aangestroomd oppervlakte,  $\rho$  de dichtheid van lucht en v de snelheid.

Aangezien er hier sprake is van kleine Reynolds getallen ( $10^4$ ) en te grote hoekuitwijkingen, kunnen deze waarden niet uit de standaard luchtvaart literatuur gehaald worden [4]. De coëfficiënten zijn daarom experimenteel verkregen (zie Figuur 3), door de dartpijl op een krachtopnemer in de windtunnel te plaatsen.



Figuur 3  $C_d$  en  $C_l$  kromme van de 4-vin dart in x-configuratie.

### Experiment

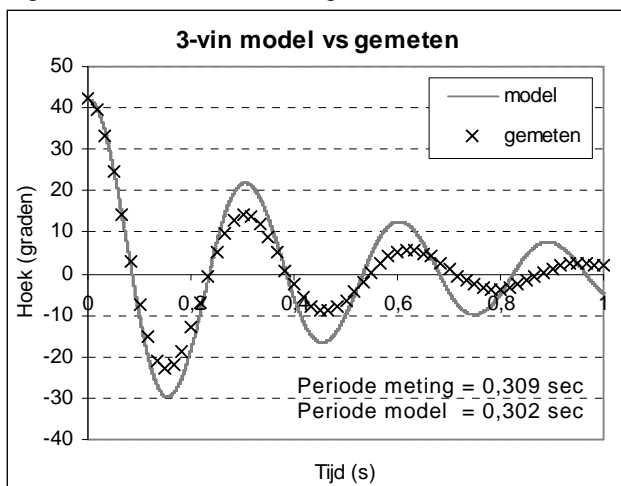
Om de uitkomsten van het model te kunnen toetsen aan de werkelijkheid is de dartpijl nogmaals in de windtunnel geplaatst. Deze keer kon de dartpijl echter om zijn zwaartepunt roteren in het horizontale vlak. Aan de dart wordt een beginhoek  $\alpha$  opgelegd. Vervolgens is het slingeren van de dart vast gelegd met een videocamera. Uit deze beelden is in Matlab met behulp van beeldherkenning de slingering gereconstrueerd.

### Vergelijking

Om vervolgens een vergelijking te kunnen maken van de stabiliteit tussen de verschillende darts, is de standaard oplossing van de bewegingsvergelijking ( $B \cos(\omega t) e^{-\zeta \omega t}$ ) op de verschillende uitkomsten gefit. Hierin is B een constante,  $\omega$  de periodetijd, t de tijd en  $\zeta$  de dempingscoëfficiënt (welke een maat is voor de stabiliteit).

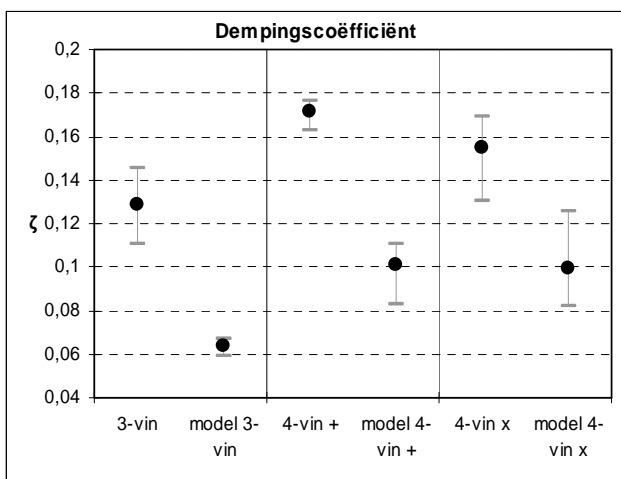
## 3. Resultaten

In Figuur 4 is de hoek van de 3-vin tegen de tijd uitgezet van zowel de meting als het model.



Figuur 4 Resultaten van de 3-vin dart model en gemeten

In figuur 5 zijn de dempingscoëfficiënten van de verschillende darts uitgezet voor zowel de meting als het model.



Figuur 5. Dempingscoëfficiënten van de verschillende darts

## 4. Discussie

Wat op valt in Figuur 4 is dat de periode van de slingering redelijk goed voorspeld wordt. Met behulp van de periodetijd kan er een schatting gemaakt worden van het Strouhal-getal ( $St = \frac{L}{VT_s} \approx 0.02$ ).

Dit laat zien dat de periodetijd van de slingering van de dart ( $T_s$ ) veel groter is dan de tijd die de stroming nodig heeft om zich te ontwikkelen. Dit houdt dus in dat de vereenvoudiging die aangebracht is, door het dynamische proces statisch te modelleren, toegestaan is [5].

Uit figuur 4 blijkt ook dat, ondanks het feit dat er in het model rekening is gehouden met wrijving, de toppen van de gemeten slingering lager liggen dan de toppen uit het model. Door dit verschil vallen de dempingscoëfficiënten van het model lager uit dan die van de metingen (zie figuur 5).

De spreiding in het model komt voort uit de eerder gemeten lift en drag (zie figuur 5). De gemeten krachtverschillen liggen in de buurt van de gevoeligheid van de gebruikte meetapparatuur.

In figuur 5 blijkt er een klein verschil te zitten in de gemeten dempingscoëfficiënt van de 4-vin dart bij een + en x-configuratie. Uit het model komt dit echter niet naar voren. In het model wordt het drukpunt van een 4-vin + hetzelfde verondersteld als bij een 4-vin x. In werkelijkheid zal het drukpunt van de 4-vin x dichterbij de zwaartepunt van de dart liggen, waardoor de dart minder stabiel wordt.

## 5. Conclusies

Uit zowel het model als het experiment blijkt dat de 3-vin dart niet stabiel is dan de 4-vin dart. De hypothese wordt daarom verworpen. Op basis van de metingen is niet te zeggen of er verschil is tussen de stabiliteit van de verschillende configuraties van de 4-vin.

## 6. Aanbevelingen

Voor vervolg onderzoek kan gekeken worden naar:

- Verbeteren van het model, zodat de beweging beter voorspeld wordt.
- Model uitbreiden naar een echte worp, dus ook met rotatie om lengteas én parabolbaan.
- Andere parameters variëren zoals shaft lengte, massa van de barrel, vorm en grootte van de flight, om zo tot een verbeterd ontwerp te komen.

## Referenties

- [1] <http://www.ndfdarts.nl>
- [2] Haagse Courant website, *Raymond van Barneveld komt met de 'klappijl'*, (Den Haag, 22 december 2004)
- [3] J.S. Barrowman, *The practical calculation of the aerodynamic characteristics of slender finned vehicles*, (Washington D.C., March 1967)
- [4] John D. Anderson, Jr., *Introduction to flight*, (Singapore, September 1999)
- [5] F.H. White, *Fluid Mechanics* (New York, 2003)