

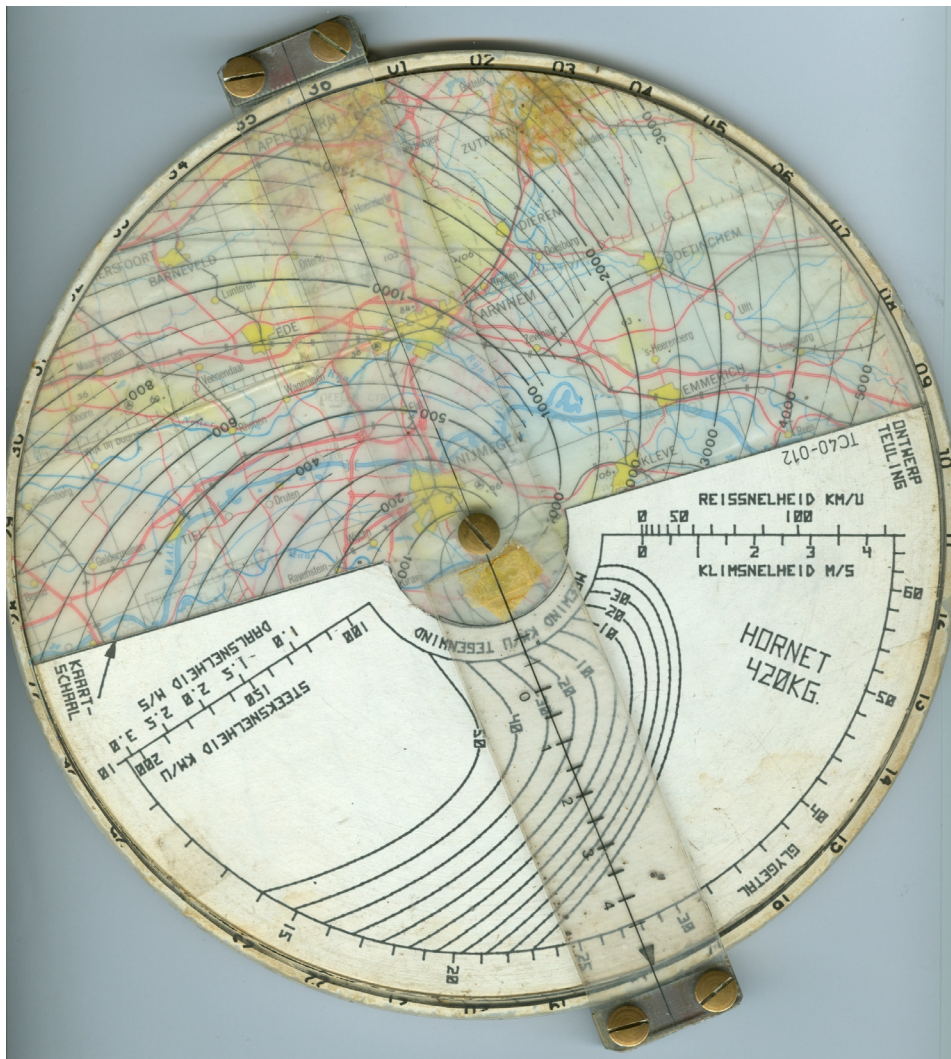
## Kaartcomputer voor zweefvliegtuigen

### Inleiding

Zweefvliegen is een van de vele gebieden waar de modernste technieken voor meten en rekenen worden toegepast, vooral in de wedstrijdvaart. De neus van een wedstrijdtoestel is tegenwoordig volgebouwd met GPS (Global Positioning System) en “datalogging” apparatuur, gekoppeld aan een “handheld pocket computer” voor de piloot in de cockpit. In de 70'er en 80'er jaren was dat anders: men vloog enkel op de klassieke boordinstrumenten en het gevoel. Toch bestonden er ook toen rekenhulpmiddelen, waarvan de hier afgebeelde “Kaartcomputer” er een is.

Deze rekenschijf (voor een Hornet zweefvliegtuig, met als doelveld het zweefvliegveld Malden in het kaartcentrum) is in figuur 1 zo ingesteld dat de zweefvlieger kan aflezen:

*Ik moet een hoogte van 1300 meter bereiken in de thermiekbel boven Hoenderloo, bij een klimsnelheid van 2 m/s, om zo snel mogelijk op Malden te kunnen landen na een laatste glijvlucht met glijgetal 27,7.*



figuur 1: Kaartcomputer, ontwerp Teuling

### Wedstrijdvliegen

De afgebeelde rekenschijf is een gespecialiseerd rekenmiddel voor de laatste fase in een wedstrijdvlucht. Bij een snelheidswedstrijd moeten een aantal vaste punten op de kaart, binnen bepaalde grenzen, worden gepasseerd. Vaak is dit een driehoeksvlucht.

De zweefvlieger maakt zijn vliegtocht van thermiekbeld naar thermiekbeld. Binnen een thermiekbeld draait hij rondjes om tot een gewenste hoogte te klimmen. Buiten de thermiekbellen maakt hij een glijvlucht met een bepaalde glijhoek, waarbij hoogte wordt verloren. Dit wordt "steken" genoemd.

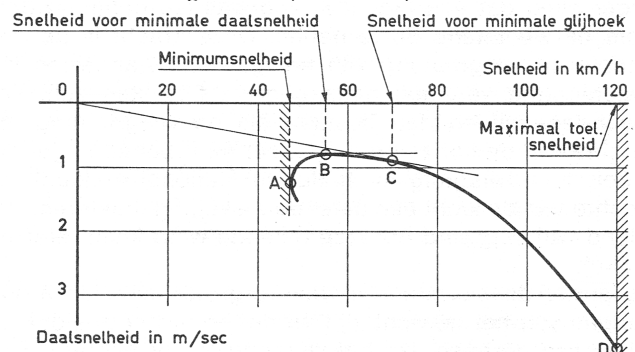
De laatste steek, de glijvlucht tot op het doelveld, vereist dat de optimale hoogte in de laatste thermiekbeld wordt bereikt om zo snel mogelijk het doelveld te halen.

De kaartcomputer (ook wel "final-glide computer" of "Endanflugrechner" genoemd) kan worden gebruikt om deze optimale hoogte in de laatste thermiekbeld te bepalen.

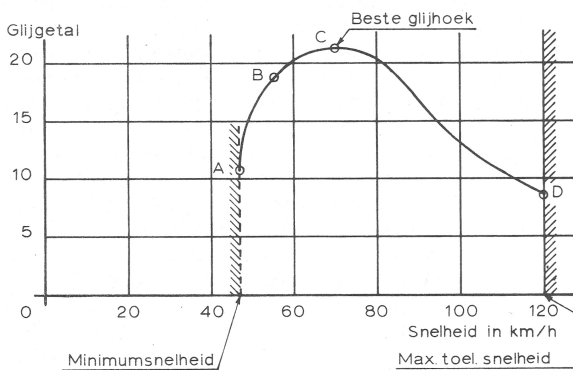
### Theorie van de glijvlucht

Elk type zweefvliegtuig heeft zijn eigen aerodynamische eigenschappen, die voor een stationaire glijvlucht worden uitgebeeld in de "snelheidspolaire". Deze grafiek geeft het verband tussen vliegsnelheid (horizontaal) en daalsnelheid (verticaal), zie figuur 2 als voorbeeld van een tamelijk gedateerd zweefvliegtuig. De lijn vanaf het nulpunt naar een punt van de polaire geeft de glijhoek bij die snelheid, en de raaklijn aan de polaire geeft dus de minimale glijhoek.

In het gedeelte links van het punt met minimale daalsnelheid is het toestel "overtrokken", met gevaar voor instabiel vlieggedrag (trillen, wegzakken, vrilles etc.).



figuur 2: Polaire met vliegsnelheid vs. daalsnelheid



De snelheidspolaire wordt meestal in een iets andere vorm gegeven waarbij de daalsnelheid op de verticale as vervangen is door het "glijgetal", de cotangens van de glijhoek: als in een glijvlucht 1 meter hoogte wordt verloren in een horizontale afstand van x meter, dan is het glijgetal gelijk aan x. In deze grafiek, zie figuur 3, wordt de minimale glijhoek gevonden als het maximum van de polaire curve.

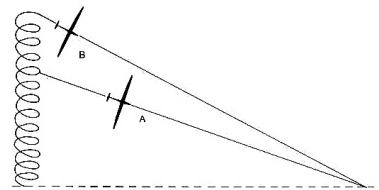
figuur 3: Polaire met vliegsnelheid vs. glijgetal

### "Final Glide"

Tijdens de oversteek in rustige lucht naar een volgende thermiekbeld gelden de principes van de glijvlucht, die in de polaire worden samengevat. Binnen een thermiekbeld echter wordt alleen hoogtewinst gehaald tijdens het draaien van rondjes, terwijl geen horizontale afstand wordt afgelegd. De kunst is nu om tot die hoogte te klimmen in de thermiekbeld, dat het eindpunt van de laatste glijvlucht niet alleen gehaald kan worden, maar dat ook de totale tijd van klimmen en de daaropvolgende glijvlucht minimaal is.

Hierbij spelen factoren een rol als de vorm van de polaire, de klimsnelheid binnen de thermiekbel, maar ook correcties in de polaire voor mee- of tegenwind tijdens de eindvlucht.

Van dat complex aan factoren zal afhangen of alternatief A of B de snelste oplossing is.



figuur 4: Twee alternatieven A en B voor "Final Glide"

### **Ontwerp en constructie van de Kaartcomputer**

De Kaartcomputer is rond 1978 ontworpen door Ir. D. Teuling, toen (en nu nog) een actief en succesvol wedstrijdzwefvlieger. Het doel was een rekenschijf voor optimalisatie van de "Final Glide" fase, waarin als parameters werden gebruikt:

- Afstand van beginpunt "Final Glide" tot doelveld
- Polaire van het toestel
- Klimsnelheid in de thermiekbel
- Mee- of tegenwind

Na instelling van deze parameters kan als resultaat op de Kaartcomputer afgelezen worden:

- De optimale klimhoogte (het resultaat)
- Glijgetal voor de daarop volgende glijvlucht

Noot: in de praktijk wordt vaak nog een ander hulpmiddel gebruikt, de "MacCready-ring" (1949). Dit is een ronde schaal met vliegsnelheden, gemonteerd rond de variometer (daalsnelheidsmeter), waarmee tijdens de glijvlucht op vliegsnelheid kan worden geregeld, in plaats van daalsnelheid of glijgetal

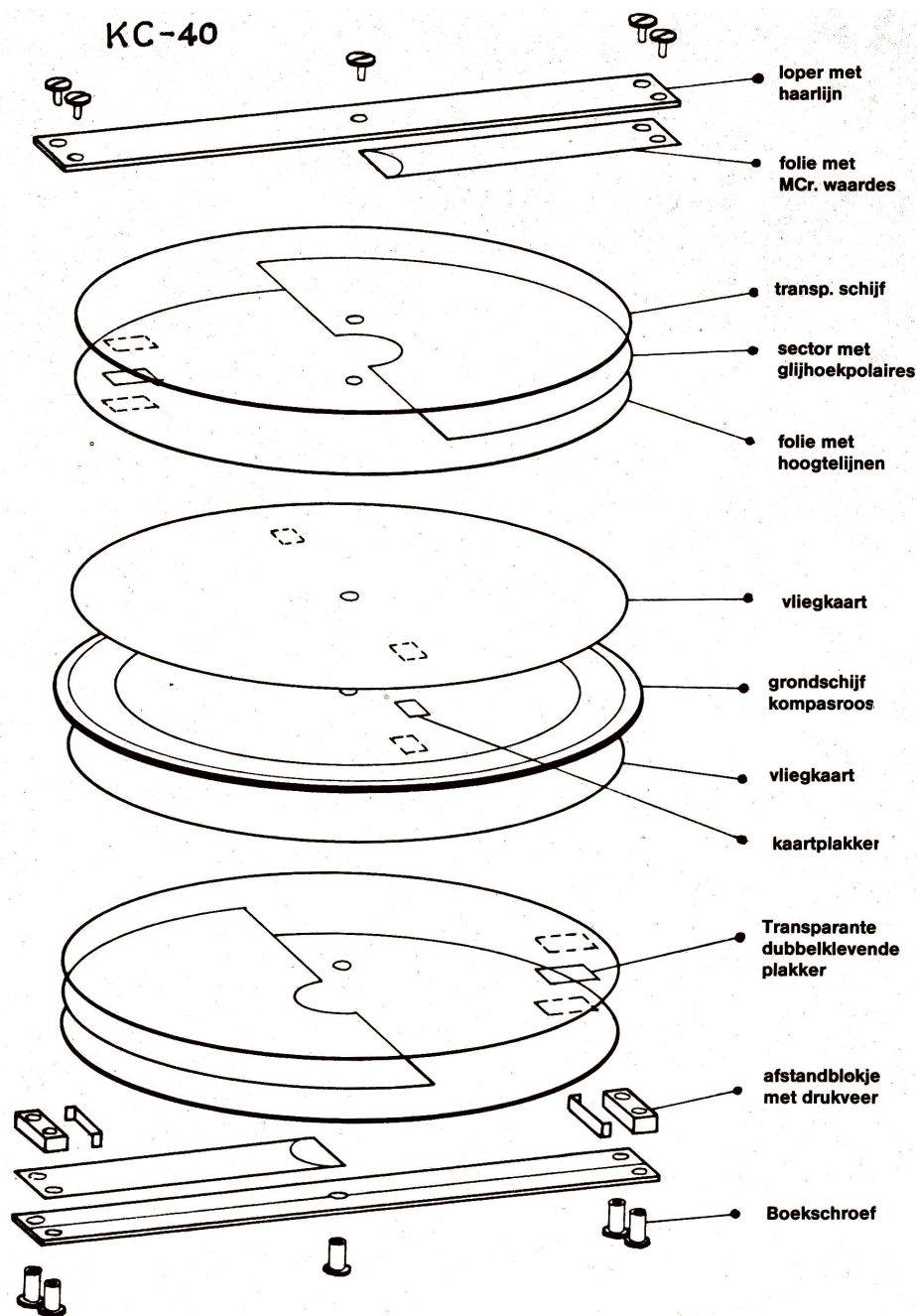
Een groot voordeel van het ontwerp is dat de afstand niet als getal wordt ingebracht, maar als beginpunt op een vliegkaart ten opzichte van het doelveld. Per wedstrijd is de specifieke kaart van het wedstrijdgebied als ondergrond van de schijf aan te brengen. Door het ingenieuze ontwerp van "hoogte"-lijnen in de vorm van logaritmische spiralen, kan de optimale hoogte afgelezen worden in relatie tot het beginpunt. Door justeren van de losse polaire schaal ten opzichte van de hoogtelijnen wordt de schaal van de kaart ingesteld.

Dank zij het gebruik van uitwisselbare schalen was de Kaartcomputer geschikt voor diverse toesteltypes met verschillende polaires. In de kaartcomputer van figuur 1 is de polaire gebruikt van een Hornet van 420 kg, waarbij de vleugelballasttanks volledig gevuld zijn (de ongeballaste Hornet, die 350 kg weegt, is op de achterzijde van deze schijf afgebeeld).

De polaire van de Hornet is radiaal weergegeven op de draaibare half-cirkelvormige schaalplaat boven de landkaart. De polaire is getekend als een schaar van krommen, die de invloed van mee- of tegenwind weergegeven.

De constructie van de Kaartcomputer is eenvoudig doch doeltreffend. De grondschiif (doorsnede 21 cm) is van perspex, de transparante schijf is van Lexan, de hoogtelijnen opgebracht op doorzichtige folie. Omdat de polaire uitwisselbaar moet zijn, is deze ingeklemd tussen de transparante schijf en de hoogtelijnen-folie, welke onderling verbonden zijn met tweezijdige plakkertjes; helaas zijn de plakkertjes met de tijd vergeeld.

Figuur 5 spreekt verder voor zich.



figuur 5: Constructie van de Kaartcomputer

Het type van de kaartcomputer wordt in figuur 1 aangeduid met "TC40-012". TC staat voor "Teuling-Computer", het getal 40 was in 1978 het best haalbare glijgetal van een modern toestel, en 012 was een productie-nummer van de Kaartcomputer. Er zijn ongeveer 100 exemplaren geproduceerd, dus verzamelaars kunnen deze rekenschiif als zeldzaam beschouwen.

### **Gebruik van de Kaartcomputer**

1. Check dat de polaire inlegschaal van het juiste toesteltype wordt gebruikt
2. Check dat de juiste vliegkaart wordt gebruikt met het doelveld op de schijf (Zweefvliegveld Malden, ten zuiden van Nijmegen)
3. Check dat de “kaartschaal”-pijl op de polaire inlegschaal staat ingesteld op de hoogtelijn die de waarde heeft van de kaartschaal gedeeld door 100 (in figuur 1 als voorbeeld is dit hoogtelijn 500 voor een kaartschaal 1:50.000)
4. Zet de haarlijn (de kant waar niet de schaal op staat) van de roterende looper boven het beginpunt (Hoenderloo) van de “Final Glide”
5. Zoek op de polaire de curve met de verwachte mee- of tegenwind (de rekenschijf geeft geen hulp bij het omrekenen van windsterkte/richting naar vliegkoers, dit moet geschat worden). In figuur 1 is dit de middelste curve, die geen windsnelheid heeft
6. Zoek op de roterende looper de waarde van de actuele klimsnelheid (2 m/s)
7. Draai de transparante schijf met polaire en hoogtelijnen zo, dat de polaire curve zonder mee- of tegenwind samenvalt met de klimsnelheid van 2 m/s op de loperschaal
8. Lees af welke hoogtelijnspiraal door het vertrekpunt (Hoenderloo) loopt: dit is de optimale hoogte om de “Final Glide” naar Malden te beginnen (1300 m).  
Op de buitenschaal van het polaire blad kan afgelezen worden dat bij deze glijvlucht het glijgetal 27,7 hoort, dus een glijhoek van  $\arccot(27,7) = 2^\circ 4' 3''$
9. Ook tijdens de glijvlucht kan de Kaartcomputer gebruikt worden om te checken of men op elk punt nog de optimale hoogte heeft: het is zelfs mogelijk bij onverwachte daal- of stijgwind een veranderde hoogte bij de actuele positie in te stellen door draaien van de schijf, en zo een nieuw glijgetal af te lezen.

Met dank aan Dick Teuling voor alle zweefvliegtechnische explicaties en correcties op dit artikel.

### **Referenties**

- [1] Teuling, Ir. D., “De Kaartcomputer”, tijdschrift *thermie*, 1978/3, p. 64-65  
[2] Gesprek met de ontwerper op 10 juni 2005