

De FNA navigatie-rekenschijf

Nico Smalenburg

De firma Teldix GmbH in Heidelberg.

In aansluiting op mijn artikel over navigatie met een draagbare zonnwijzer in combinatie met een zakhorloge, gaat dit artikel over de navigatie met de speciaal daartoe ontwikkelde FNA-rekenschijf van de firma Teldix GmbH, in Heidelberg.

De firma Teldix is in 1960 opgericht; de firmanaam is een samenvoeging van de namen van het Duitse *Telefunken* en het Amerikaanse *The Bendix Corporation*. Teldix was gevestigd in het plaatsje Wieblingen, nabij Heidelberg.

Teldix was een belangrijke firma voor vliegtuigelektronica, vooral op het gebied van vliegtuignavigatie. In latere jaren ontwikkelde het een systeem voor vliegtuignavigatie dat *real time* navigatie mogelijk maakt in (militaire) vliegtuigen. Heel modern: een bewegende, digitale kaart, geprojecteerd op een achtergrond.

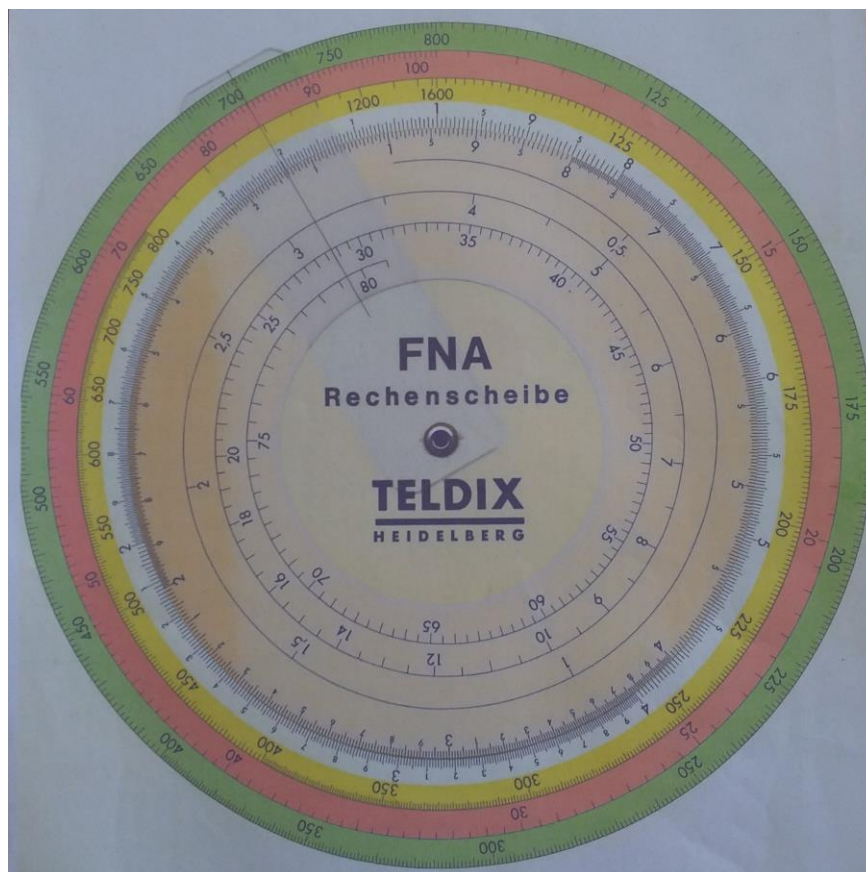


Fig. 1. De Teldix-schijf voor kalibratie van navigatiesystemen in vliegtuigen.

De FNA-rekenschijf voor kalibratie en navigatie

Op de rekenschijf van Teldix, ontwikkeld in de jaren 60, staan de letters FNA, vermoedelijk een afkorting voor *Flight Navigation*. Zie figuur 1.

In de huidige tijd kunnen wij niet meer zonder de *real time* navigatiesystemen. Een voorbeeld vinden we in de auto, waarbij een aantal satellieten continu de verplaatsing van de auto volgt. De bestemming wordt van tevoren ingegeven; de positie van de auto wordt gedurende de rit dynamisch en continu geprojecteerd op een bewegend, topografische kaartbeeld, totdat de bestemming is bereikt.

In de jaren 60 bestond zo'n geavanceerd systeem nog niet. De FNA-rekenschijf uit die tijd is in het bijzonder bedoeld om de navigatiesystemen van de (militaire) vliegtuigen, die Teldix produceerde, effectief te kunnen kalibreren. Met de schijf worden correctiewaarden berekend.

Verder is de rekenschijf te gebruiken voor:

- De berekening van afstand en richting tussen twee vaste punten.
- De foutenberekening van de richting en de lengte van de route tussen twee vaste punten.
- De bepaling van de meridiaan-convergentie van vertrek- of eindpunt.
- Schaalgrootte-bepaling van bijvoorbeeld figuratieve kaarten.
- Algemene rekenkundige bewerkingen.

De schaalindeling van de vaste schijf, van buiten naar binnen, is:

- Groen = hoeken van 100 tot 800 mil.
- Rood = hoeken van 10 tot 100 mil.
- Geel = hoeken van 100 tot 1600 mil.
- Wit = basisschaal.

Zoals ook te lezen is in het artikel van Meine van Essen in MIR 87, wordt in sommige militaire toepassingen, een hoek uitgedrukt in mil, de *Artillerie-promille*, (ongeveer) één duizendste van een radiaal. De cirkelomtrek is feitelijk $2\pi \text{ rad} = 2\pi \cdot 1000 \text{ mil} = 6.280 \text{ mil}$, maar die waarde wordt opgehoogd tot 6.400 mil (NATO) om gemakkelijker te kunnen rekenen. Merk op, dat $90^\circ = 1.600 \text{ mil}$. Men gebruikt de mil omdat voor kleine hoeken $\sin \alpha \approx \alpha$. Die formule geldt wel voor α in radialen, en dus ook voor de mil, maar niet voor de gebruikelijke sexagesimale graden (cirkel = 360°).

De NATO-mil is dus iets kleiner dan $1/1000 \text{ rad}$, maar dat is nog voldoende nauwkeurig voor de specifieke toepassingen waarvoor hij bedoeld is. Voor kleine hoeken (artillerie, zie het artikel van Meine van Essen in MIR 87) komt een hoek(je) van 1 mil, over een afstand van 1000 m, overeen met 1 m.

De schaalindeling van de beweegbare binnenste schijf is:

- Beige = basisschaal.
- Spiraalschaal = geografische breedte $0 - 80^\circ$.

Figuur 2 toont de gebruiksaanwijzing van de FNA-rekenschijf. We bespreken een aantal voorbeelden.

Voorbeeld 1

In dit voorbeeld wordt de afstand tussen Meppel en Gouda berekend. Eerst moeten de coördinaten van Meppel en Gouda worden bepaald.

Hiertoe is gebruik gemaakt van Google Maps:

- Meppel ligt op $52,692123^\circ \text{ N}$ (Noorderbreedte) en op $6,193719^\circ \text{ E}$ (East = Oosterlengte).
- Gouda ligt op $52,011521^\circ \text{ N}$ en op $4,710463^\circ \text{ E}$.

Verschil N = $0,680602^\circ$ en verschil E = $1,483256^\circ$.

De landkaart van Nederland in mijn Bosatlas heeft een schaal van 1:460.000. Op deze kaart komt een verschil van 1° E overeen met 69 km. Een verschil van 1° N. komt overeen met 112 km. Het hierboven gevonden verschil van 0,680 graden N komt dus overeen met 76 km. Het verschil van 1,483° komt overeen met 102 km.

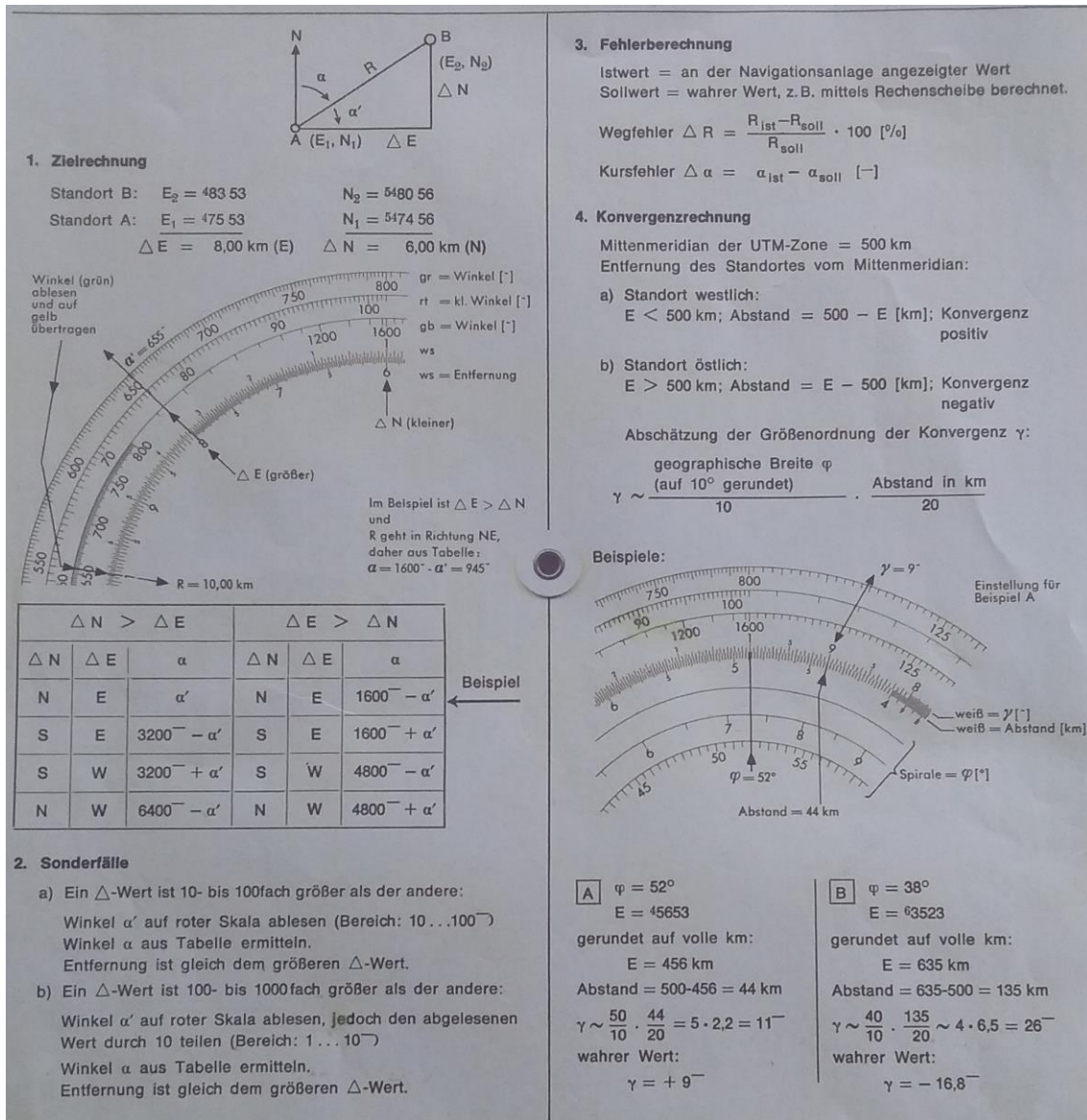


Fig. 2: Gebruiksaanwijzing voor de FNA-rekenschieff.

We gaan vervolgens naar de rekenschieff:

- Plaats de kleinste afstand N = 76 km op de basisschaal van de binnenste schijf onder de 1 op de vaste witte basisschaal.
- Verplaats de tong naar de grootste afstand E = 102 km op de basisschaal van de binnenste schijf
- Lees op de groene schaal de hoek in af: 655 mil.
- Verplaats de tong naar deze hoek op de gele schaal.
- Lees op de basisschaal van de binnenste schijf de afstand in rechte lijn op de FNA-schieff, = 127 km op de geografische kaart af.

De afstand in rechte lijn, gemeten in cm, op de kaart in de Bosatlas, tussen het centrum van Meppel en het centrum van Gouda, is 27 cm. Bij een schaal van 1:460.000 is dat in werkelijkheid 124,2 km. Volgens Google Maps is de vliegafstand in rechte lijn op een topografische (platte) kaart 126 km.

De met de FNA-schijf berekende vliegafstand heeft een foutenmarge ten opzichte van de werkelijke waarde, die via Google Maps is bepaald, van $R = \frac{126 - 124,2}{126} \approx 1,4\%$.

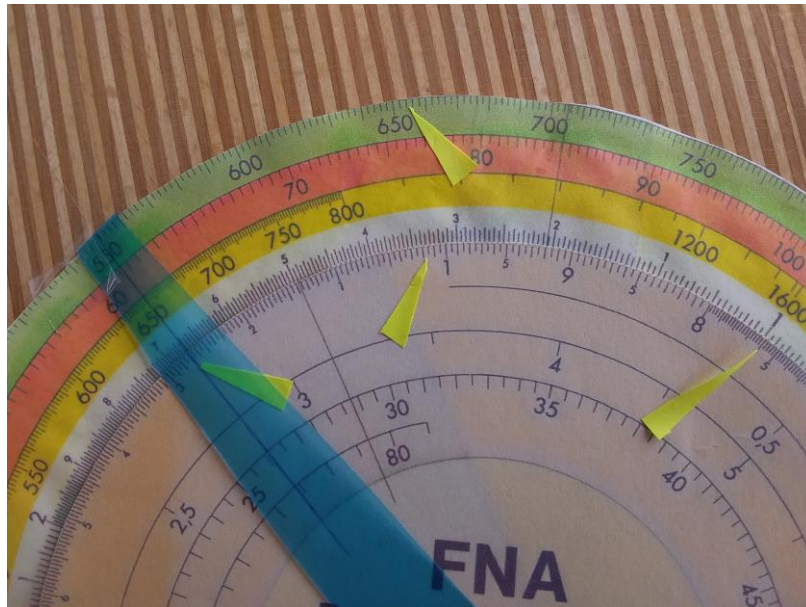


Fig. 3. Berekening in voorbeeld 1.

Voorbeeld 2

Een tweede toepassing van deze Teldix-schijf is de vaststelling van de topografische schaal van bijvoorbeeld een figuratieve kaart. Ik bezit een figuratieve kaart van de omgeving van Rotterdam uit 1832. Zie figuur 5. De schaal is echter onbekend. Op de kaart staan wel een noordpijl, alsmede de plaatsen Schiedam en Gouda.



Fig. 4. Berekening in voorbeeld 2.

Door met de FNA-schijf de vliegafstand tussen Schiedam en Gouda te bepalen is, nadat die afstand op de figuratieve kaart, in cm, is opgemeten, de schaal van de figuratieve kaart vast te stellen. We vinden Gouda: $52,011521^{\circ}$ N en $4,710463^{\circ}$ E, alsmede Schiedam: $51,921497^{\circ}$ N en $4,409465^{\circ}$ E. Dus verschil N = $0,09001^{\circ}$ en verschil E = $0,3010^{\circ}$.

Op de kaart in de Bosatlas komt een verschil van 1° E overeen met 69 km; een verschil van 1° N komt overeen met 112 km. Dus het verschil N = 10 km; het verschil E = 21 km.



Fig. 5. Figuratieve kaart 1832, omgeving Rotterdam met Gouda en Schiedam.

1. Plaats de kleinste afstand N = 10 km op de basisschaal van de binnenste schijf onder de 1 op de vaste, witte schaal.
2. Verplaats de tong naar de grootste afstand E = 21 km op de basisschaal van de binnenste schijf, en lees op de groene schaal de hoek af: 454 mil.
3. Verplaats de tong naar deze hoek op de gele schaal.
4. Lees op de basisschaal van de binnenste schijf de afstand in rechte lijn af: 23,3 km. Volgens Google Maps is die 23,6 km.
5. De afstand op de figuratieve kaart is 20,5 cm. Uit de Google Maps-afstand van 23,6 km tussen de centra van Gouda en Schiedam volgt de schaal van de figuratieve kaart, namelijk 1:115.000.

In voorbeeld 2 is de foutenmarge $R = \frac{23,6 - 23,3}{23,6} \approx 1,3\%$.

Voorbeeld 3: Berekening van de convergentie

De meridiaan-convergentie is de hoek tussen de magnetische – en de geografische Noordpool. Deze is van belang bij de ijking van elektronische navigatiesystemen.

Op de nulmeridiaan (over Greenwich, Londen) is de convergentiehoek per afspraak 0° . De convergentiehoek stijgt met toename van de oostelijke of westelijke afstand vanaf de nulmeridiaan. De convergentiehoek neemt toe met toenemen noordelijke breedtegraad N, gerekend vanaf de evenaar, waar deze waarde 0° is.



Fig. 6. Bepaling met de FNA-schijf van de convergentie hoek.

Bij de vaststelling van de meridiaan-convergentie moet eerst de afstand van de eigen standplaats, in dit geval Gouda, tot de middenmeridiaan worden bepaald. De 15° -afstand (1 uur) tussen twee meridiaanlijnen op 53° N is nagenoeg 1000 km, zodat de afstand in dit geval tussen de middenmeridiaan tot de nulmeridiaan 500 km bedraagt.

Een bepaalde plaats kan oostelijk of westelijk van de middenmeridiaan E liggen. Als $E < 500$ km is, dan is de afstand $500 - E$ km. en de convergentie positief. Indien de standplaats oostelijk van de middenmeridiaan ligt, is de afstand bij $E > 500$ km gelijk aan $E - 500$ km. en de convergentie negatief.

Stel nu de geografische breedtegraad van Gouda (afgerond op hele breedtegraden, $N = 52^{\circ}$) in op de spiraalschaal van de middelste schijf, onder de 1 van de basisschaal. De positie is $4,710^{\circ}$ E. Dat wil zeggen dat $E = 471$ km. Gouda ligt westelijk van de middenmeridiaan, zodat de afstand van Gouda tot de middenmeridiaan $500 - 471$, dus 29 km in westelijke richting is.

De berekende waarde van de convergentiehoek γ ligt in de orde van grootte $50/10 \times 29/20 = + 7$ mil (afgerond). Met de FNA-schijf bepaalde waarde is afgerond +6 mil. Zie ook figuur 2 in de handleiding.

Hierop dient het te ijken elektronische navigatiesysteem te worden gecorrigeerd.

Bronnen:

1. Wikipedia.
2. Gebruiksaanwijzing van de FNA-rekenshijf van Teldix, Heidelberg.
3. MIR 87: *De ALRO Militaire rekenshijf*, Meine van Essen.