

mt610

juni 1986

Navigatiekunde II

Rapport no. 646-K/647-K

Prof.ir. J.A. Spaans

TU Delft
Technische Universiteit Delft

Afdeling der Maritieme Techniek
Vakgroep Hydronautica

1 KOERS- EN VERHEIDSBEREKENINGEN

1.1 Inleiding

Het navigatieproces tijdens de reis vraagt om regelmatige berekening van koers en verheid naar de bestemmingsplaats, of een tussenliggend "waypoint", om de ETA (expected time of arrival) te bepalen en om eventueel de vaart aan te passen indien niet vóór een bepaald tijdstip kan worden naar binnen gevaren (brandstofbesparing!)

Voordat een reis aanvangt wordt tijdens de reisvoorbereiding een aantal trajecten met elkaar vergeleken en wordt een route gekozen na afweging van diverse factoren zoals verheid, stormpercentages, mistpercentages, ijsgrens, loadline-grenzen, zeestromen, visserijconcentraties, aanbevolen routes, enz. De koers- en verheidsberekening of gegis-bestekberekening omvat twee problemen:

- a. het bepalen van koers en verheid tussen twee gegeven posities
- b. het bepalen van de gispositie (DR = dead reckoning position) als de afge- varen positie, de geschatte grondvaart en de geschatte grondkoers bekend zijn.

Een gekozen route van A naar B kan verlopen volgens

- de grootcirkel
- de loxodroom
- combinaties van beide.

Bij "weerrouteren", waar een tijdoptimale route over de oceaan wordt bepaald aan de hand van het actuele en voorspelde weer, is de gevolgde baan vaak grillig van vorm; onderdelen van deze route zijn weer loxodromen.

Def. Een grootcirkel is de doorsnijding van de aardbol met een plat vlak door het middelpunt.

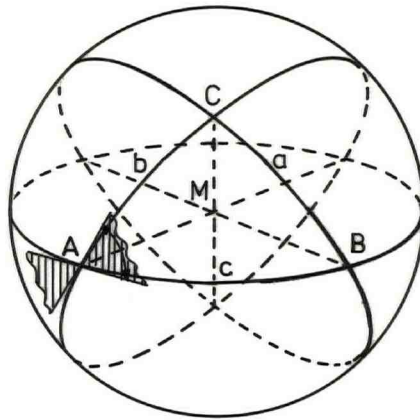
Def. Een loxodroom is een lijn op de aardbol (of ellipsoïde) die met elke meridiaan gelijke hoeken maakt.

In het navolgende zal de aarde beschouwd worden als een bol waarvan 1 boog- minuut van de grootcirkel precies 1852 meter is (1 zeemijl). De fouten die door deze benadering bij verheidsberekening optreden zijn in alle gevallen kleiner dan 0.5%. Hoewel deze fout in absolute zin op zeer lange trajecten enkele tientallen mijlen kan bedragen, is dit voor de praktijk toch van weinig belang. Bij dergelijke lange trajecten is de verheidsberekening name- lijk vooral van belang bij de keuze tussen loxodroomroute en grootcirkel- route. Het verschil in verheid tussen beide routes wordt "de bekorting" genoemd. Deze bekorting wordt het beste benaderd indien de loxodroomroute en de kortste route beide op de ellipsoïde worden berekend of beide op de bol. De kortste-routeberekening is op de ellipsoïde nogal omslachtig, zodat in de praktijk volstaan wordt met berekeningen op de bol. Daarvoor worden eerst enkele eigenschappen van boldriehoeken afgeleid.

1.2 Boldriehoeksmeting

1.2.1 Inleiding

Een boldriehoek is een gedeelte van een boloppervlak ingesloten door bogen van drie grootcirkels, elk kleiner dan 180° , die elkaar twee aan twee snijden.



Figuur 1.1

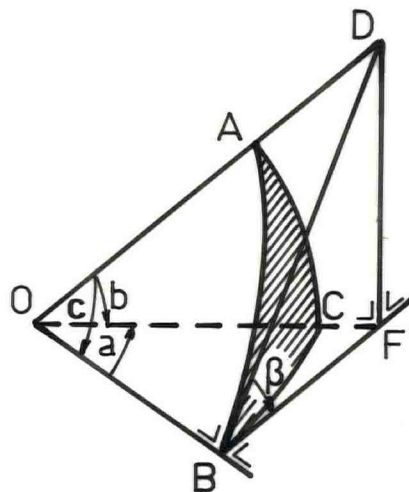
Let dus op, niet elke driehoek op een bol is een boldriehoek! De hoeken en zijden van de boldriehoek worden gemeten in graden (of radialen). In een boldriehoek gelden de volgende eigenschappen voor de zijden en hoeken [1]:

$$0^\circ < a + b + c < 360^\circ$$

$$180^\circ < A + B + C < 540^\circ$$

1.2.2 Rechthoekige boldriehoeken

In figuur 1.2 is een rechthoekige boldriehoek getekend met de bijbehorende drievlakshoek in het middelpunt van de bol. Het aantal graden van een middelpuntshoek bij O is gelijk aan het aantal graden van de zijde van de boldriehoek. Voorts wordt hoek β van de boldriehoek gevormd door de hoek tussen de raaklijnen aan de grootcirkels in B en staan de vlakken OFD en OFB loodrecht op elkaar.



Figuur 1.2

Neem nu $OD = 1$ dan

$$\left. \begin{array}{l} OF = \cos b \text{ en } OB = \cos a \cos b \\ \text{óók} \quad \quad \quad OB = \cos c \end{array} \right\} \Rightarrow \cos c = \cos a \cos b \quad (1.1)$$

$$\left. \begin{array}{l} DB = \sin c \\ DF = \sin b \end{array} \right\} \Rightarrow \sin \beta = \frac{\sin b}{\sin c} \Rightarrow \sin b = \sin \beta \sin c \quad (1.2)$$

Nemen we $OB = 1$ dan

$$\left. \begin{array}{l} BD = \tan c \text{ en } BF = \tan c \cos \beta \\ \text{ook} \quad \quad \quad BF = \tan a \end{array} \right\} \Rightarrow \cos \beta = \tan a \cot c \quad (1.3)$$

In totaal kunnen op bovenstaande wijze $\binom{5}{3} = 10$ formules worden afgeleid in de rechthoekige boldriehoek.

Neper heeft ze alle samengevat in één regel:

De cosinus van een middenelement is gelijk aan het product van

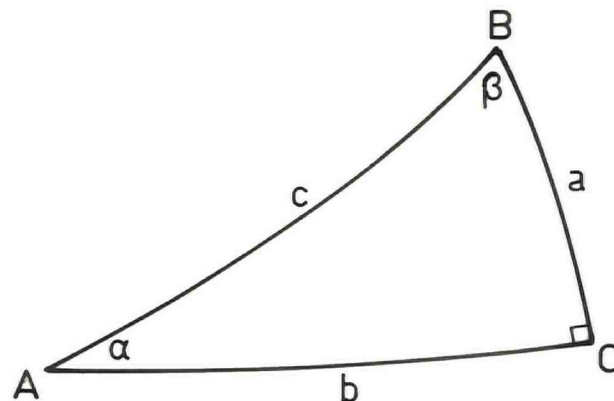
a. de cotangenten van de aanliggende elementen

b. de sinussen van de afliiggende elementen

mits de rechte hoek als element niet meetelt en bij de rechthoekzijden de complementfunctie genomen wordt.

In [2] wordt een aantal voorbeelden gegeven.

Ga zelf na dat de volgende formules uit de regel van Neper volgen:

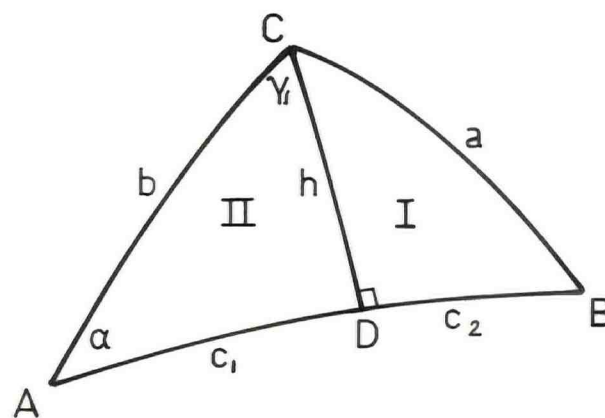


$$\begin{aligned} \cos c &= \cot \beta \cot \alpha \\ \cos c &= \cos a \cos b \\ \cos \beta &= \cot c \tan a \\ \cos \beta &= \cos b \sin \alpha \\ \sin a &= \cot \beta \tan b \\ \sin a &= \sin c \sin \alpha \\ \sin b &= \tan a \cot \alpha \\ \sin b &= \sin \beta \sin c \\ \cos \alpha &= \cot c \tan b \\ \cos \alpha &= \sin \beta \cos a \end{aligned}$$

Figuur 1.3

1.2.3 Niet-rechthoekige boldriehoeken

In een scheefhoekige boldriehoek is voornamelijk de cosinusregel van belang. Voor overige regels en stellingen wordt verwezen naar [1] en [2].



Figuur 1.4

Correcties en overige aantekeningen te plaatsen in de rechtermarge rechts van de onderbroken lijn.

$$\begin{aligned} \text{Voorts } \cos a &= \cos h \cos c_2 = \cos h \cos (c - c_1) \\ &= \cos h \cos c \cos c_1 + \cos h \sin c \sin c_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M.b.v. } \cos b &= \cos h \cos c_1 \quad (\text{Neper in II}) \\ \cos \alpha &= \cos h \sin \gamma_1 \quad \text{"} \\ \sin c_1 &= \sin b \sin \gamma_1 \quad \text{"} \quad \text{volgt} \end{aligned}$$

$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos \alpha$	(1.5)
--	-------

De cosinusregel wordt gebruikt om
 a. de derde zijde te berekenen bij ZHZ
 b. een hoek te berekenen bij ZZZ.

1.3 Grootcirkelvaren

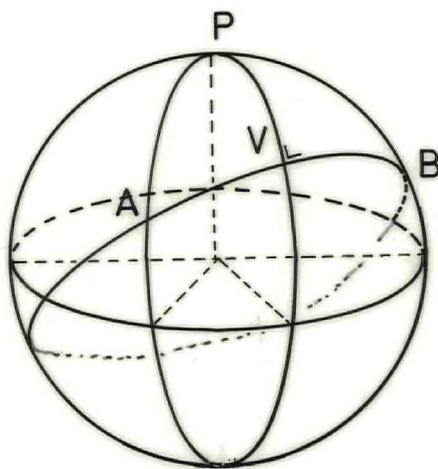
Van de grootcirkelroute zullen we achtereenvolgens formules afleiden voor

- de grootcirkelafstand
- de koers langs de grootcirkel
- de positie van het noordelijkste of zuidelijkste punt van een grootcirkel, de vertex
- posities van willekeurige punten op de grootcirkel, teneinde de grootcirkelroute in de kaart te kunnen tekenen.

De resultaten van de berekeningen zullen steeds volgens de volgende criteria worden afgerond:

- breedte en lengte van posities op tienden van boogminuten
- verheden op tienden van zeemijlen
- koersen op tienden van graden.

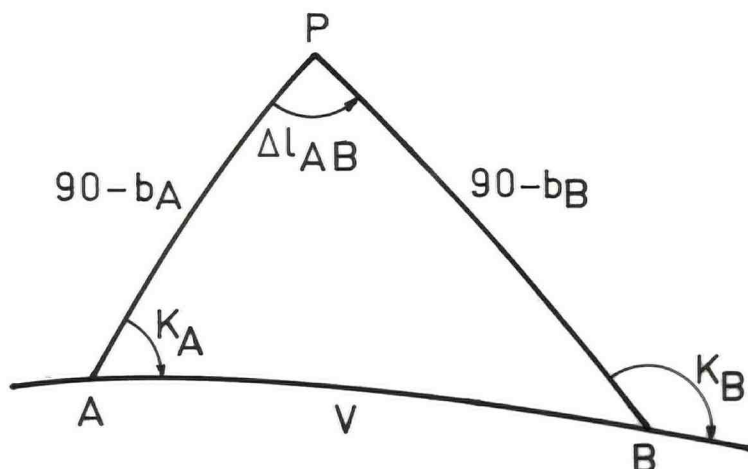
1.3.1 De grootcirkelverheid



Figuur 1.5

In figuur 1.5 is de grootcirkel getekend over de positie van afvaart A en de bestemming B. De meridiaan loodrecht op deze grootcirkel snijdt deze in de vertex V. Er zijn dus twee vertices, waarbij natuurlijk alleen de vertex op het traject AB van belang is.

De boldriehoek waarin de koers- en de verheidsformules worden afgeleid is afgebeeld in figuur 1.6.



Figuur 1.6

De cos-regel in $\triangle APB$:

$$\cos AB = \cos (90 - b_A) \cos (90 - b_B) + \sin (90 - b_A) \sin (90 - b_B) \cos \Delta l_{AB}$$

of

$$\cos AB = \sin b_A \sin b_B + \cos b_A \cos b_B \cos \Delta l_{AB}$$

of

$$\boxed{V_{\text{grc}} = 60 \arccos (\sin b_A \sin b_B + \cos b_A \cos b_B \cos \Delta l_{AB})} \quad (1.6)$$

Opm.: 1. Noorderbreedte positief en zuiderbreedte negatief stellen.

2. Neem $\Delta l_{AB} = l_B - l_A$, óók als hierdoor $|\Delta l_{AB}| > 180^\circ$. Vanwege $\cos \Delta l_{AB}$ maakt dit geen verschil.

3. Formule (6) geeft de grootcirkelverheid op de aardbol in zeemijlen.

1.3.2 De grootcirkelkoers

Na de verheidsberekening zijn de drie zijden in de boldriehoek ABP bekend en kan hoek A (K_A) berekend worden. Varende langs de grootcirkel wordt deze hoek aan boord aan het einde van elke wacht berekend om te controleren of de koers aangepast moet worden (er wordt op hele graden gestuurd!).

$$\cos (90 - b_B) = \cos (90 - b_A) \cos AB + \sin (90 - b_A) \sin AB \cos K_A$$

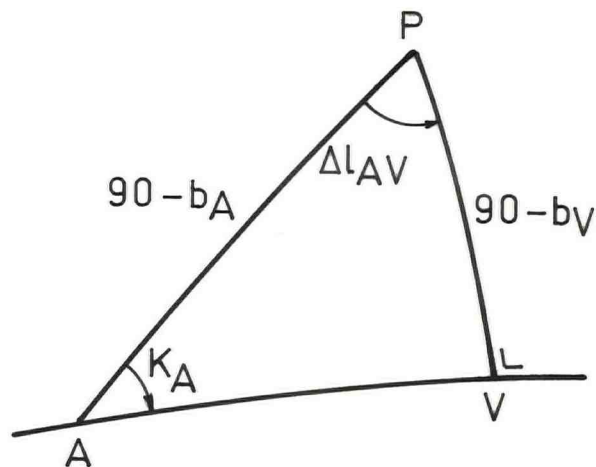
$$\boxed{K^* = \arccos \left(\frac{\sin b_B - \sin b_A \cos AB}{\cos b_A \sin AB} \right)} \quad (1.7)$$

$$\boxed{\text{if } \sin (l_B - l_A) > 0 \text{ then } K_A = K^* \text{ else } K_A = 360^\circ - K^*}$$

- Opm. 1. De totale koersverandering langs de grootcirkel volgt uit $K_B - K_A$. De koers van aankomst K_B kan gevonden worden door de koers K_A te berekenen van B naar A en dan de tegenkoers te nemen.
2. Als de koers op noorderbreedte toeneemt gaande langs de grootcirkel, dan zal zij vanaf de equator op zuiderbreedte afnemen en omgekeerd. De totale koersverandering is dan de som van de veranderingen op noorderbreedte en zuiderbreedte.

1.3.3 De vertex

In figuur 1.7 wordt de positie van de vertex berekend door Δl_{AV} te berekenen en b_V uitgaande van b_A en K_A .



Figuur 1.7

Neper:

$$\cos (90 - b_A) = \cot K_A \cot \Delta l_{AV}$$

$\tan \Delta l_{AV} = \frac{1}{\sin b_A \tan K_A}$	(1.8)
$l_V = l_A + \Delta l_{AV}$	

Eventueel l_V aanpassen indien $|l_V| > 180^\circ$.

Verder $\cos \Delta l_{AV} = \cot (90 - b_A) \tan (90 - b_V)$
of

$\tan b_V = \frac{\tan b_A}{\cos \Delta l_{AV}}$	(1.9)
--	-------

1.3.4 Snijpunten van grootcirkel met meridiaan of parallel

Om de grootcirkel in de zeekaart te kunnen plotten worden een aantal punten van de grootcirkel berekend. In figuur 1.7 wordt nu aangenomen dat de vertex al berekend is en dat A een punt op de grootcirkel is waarvan de lengte bekend is.

Correcties en overige aantekeningen te plaatsen in de rechtermarge rechts van de onderbroken lijn.

Uit de regel van Neper volgt dan

$$\tan b_A = \tan b_V \cos \Delta l_{AV} \quad (1.10)$$

Willen we het snijpunt van de grootcirkel met een bepaalde parallel met breedte b_A berekenen, dan gebruiken we:

$$\cos \Delta l_{AV} = \frac{\tan b_A}{\tan b_V} \quad \text{en} \quad l_A = l_V \pm |\Delta l_{AV}| \quad (1.11)$$

Er zijn immers twee snijpunten met een parallel.

Voorbeeld:

Afgevaaren positie A ($34^\circ 40.0' N, 139^\circ 55.0' E$)
 Bekomen positie B ($37^\circ 45.0' N, 122^\circ 50.0' W$)

- Op1.: 1. $\Delta b = 03^\circ 05.0' N$ $\Delta l = 262^\circ 45.0' W$
 2. Grootcirkelverheid met formule 1.6: $V = 4473.8 \text{ M}$
 3. Koers van afvaart met formule 1.7; $K = 054.5$
 4. Lengte vertex met 1.8 en breedte met 1.9
 Vertex ($47^\circ 59.4' N, 168^\circ 36.8' W$)
 5. Snijpunt met 180° meridiaan met 1.10
 S ($40^\circ 20.8' N, 180^\circ 00' E/W$)
 6. Snijpunten met de 38° breedteparallel met 1.11
 ($38^\circ 00.0' N, 146^\circ 06.8' E$) en
 ($38^\circ 00.0' N, 123^\circ 20.4' W$)

1.3.5 De convergentie van een grootcirkel

Voor een aantal problemen, waar o.a. later op wordt teruggekomen, is het van belang om een uitdrukking te hebben voor de verandering van de koers over een stuk grootcirkel. Deze hoek wordt de convergentie ($= 2\varphi$) genoemd.

In figuur 1.8 geldt

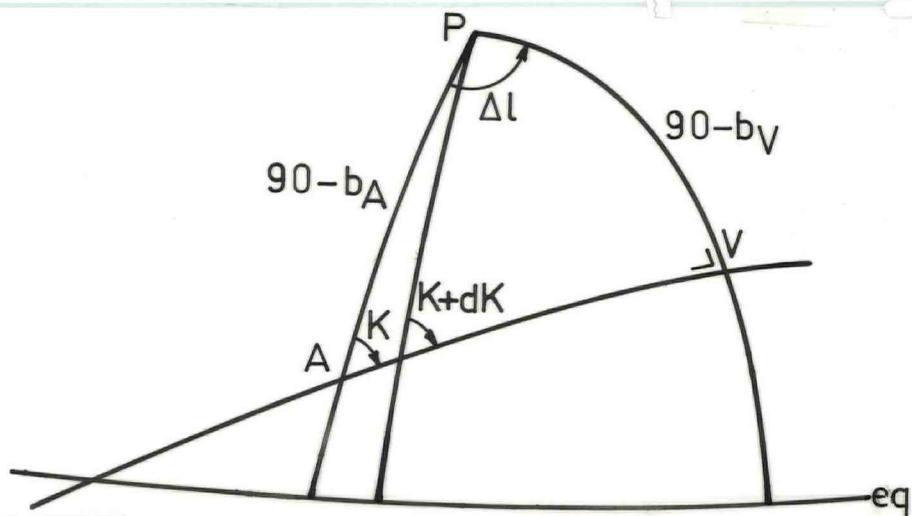
$$\begin{aligned} \cos K &= \sin b_V \sin \Delta l \quad \text{of} \quad \cos K = \sin b_V \sin (l_V - l) \quad \text{dus} \\ \sin K \, dK &= \sin b_V \cos \Delta l \, dl \end{aligned} \quad (1.12)$$

De relatie 1.12 is juist voor alle situaties van koers, breedte en lengteverschil met de vertex.

Substitueren we in 1.12 tweemaal een betrekking volgens de regel van Neper nl.
 $\sin b_A = \cos AV \sin b_V$ en
 $\cos \Delta l = \sin K \cos AV$, dan volgt

$$dK = \sin b_A \, dl \quad (1.13)$$

Correcties en overige aantekeningen te plaatsen in de rechtermarge rechts van de onderbroken lijn.



Figuur 1.8

Integreren we dit over een stuk grootcirkel, dan vinden we de convergentie van A naar B:

$$\Delta K = \int_A^B dK = \int_A^B \sin b \cdot dl$$

Voor niet te grote stukken mogen we dit benaderen door

$$\Delta K = \sin b_m \cdot \Delta l \tag{1.14}$$

Hierin is $b_m = \frac{1}{2} (b_A + b_B)$

In [3] wordt met boldriehoeksmeting de exacte formule voor de halve convergentie afgeleid:

$$\tan \frac{\Delta K}{2} = \frac{\tan (\frac{1}{2} \Delta l_{AB}) \sin b_m}{\cos \frac{1}{2} \Delta b_{AB}} \tag{1.15}$$

Aan boord is het handig om te weten hoeveel mijl er loxodromisch gevaren moet worden voordat weer een graad koers moet worden veranderd, om de grootcirkelroute zo dicht mogelijk te volgen. De instelling op de stuurautomaat geschiedt namelijk in de praktijk op hele graden.

Welnu, in A geldt $\sin K = \frac{r}{R} \frac{dl}{dV} = \frac{\cos b}{dV} dl$ (dl en dV in dezelfde eenheden).
(zie formule 1.19)

Substitueren we dit in formule 1.13, dan krijgen we

$$dK = \sin K \tan b dV \tag{1.16}$$

Voor een koersverandering van 1° geldt een verheid in mijlen:

blanco
blanco
cijfer

Correcties en overige aantekeningen te plaatsen in de rechtermarge rechts van de onderbroken lijn.

$$dV = \frac{60}{\tan b \sin K} \quad (1.17)$$

Eventueel kan dV herberekend worden met b_m .

1.4. Loxodroomvaren

Bij loxodroomvaren wordt een constante grondkoers aangehouden. Dit zal het geval zijn bij een traject dat geheel volgens de loxodroom gepland is; maar óók als de grootcirkel gevolgd wordt of bij het volgen van de "least-time-track" (weerrouteren) zal gedurende langere of kortere tijd dezelfde koers worden gevaren. Aangezien de loxodroom in de zeekaart (Mercator-projectie) wordt afgebeeld als een rechte lijn (zie hoofdstuk 2), zal in beide laatste gevallen het traject een gebroken rechte in de kaart zijn.

1.4.1 Grondkoers Noord of Zuid

Aangezien op de door ons aangenomen bolvormige aarde 1 boogminuut Δb gelijk is aan 1 zeemijl, geldt bij koersen N/S

$$\begin{array}{l} V = |\Delta b_{AB}| \\ K = 000^\circ \text{ voor } \Delta b > 0 \\ K = 180^\circ \text{ voor } \Delta b < 0 \end{array} \quad \text{en} \quad \begin{array}{l} \Delta b = V \cos K \\ \Delta l = 0 \end{array} \quad (1.18)$$

Voorbeeld a:

Afgevaren $(12^\circ 06.'0 N, 115^\circ 17.0 E)$
 Bekomen $(14^\circ 23.'0 S, 115^\circ 17.'0 E)$

Daar $\Delta b = -26^\circ 29.'0$, is $GrK = 180^\circ$ en $V = 1589.0 M$.

Voorbeeld b:

Afgevaren $(14^\circ 17.'0 S, 004^\circ 13.'0 W)$
 Er is 12 uur gevaren met geschatte $v_{gr} = 16.5 \text{ kn}$ en geschatte $GrK = 000^\circ$.
 De afgelegde verheid is 198 M om de g_r noord, dus $\Delta b = 3^\circ 18.'0$.
 De gegist bekomen positie is dan B $(10^\circ 59.'0 S, 004^\circ 13.'0 W)$.

1.4.2 Grondkoers Oost of West

In dit geval wordt langs een breedteparallel gevaren. Uit figuur 1.9 blijkt dat voor de straal r van de breedteparallel geldt

$$r = R \cos b \quad (1.19)$$

waarin R de straal van de aarde is.

Voor gelijkvormige stukken AB en CD van parallel en equator geldt daarom ook $AB = CD \cos b$ (1.20)

Worden AB en CD beide gemeten in boogminuten van de grootcirkel, dan is $CD = \Delta l_{AB}$ en $AB = V$ en geldt bij deze koersen:

$$V = |\Delta l_{AB}| \cos b$$

$$K = 090^{\circ} \text{ voor } \Delta l > 0$$

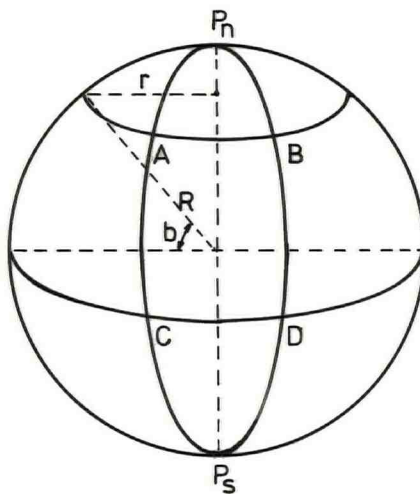
$$K = 270^{\circ} \text{ voor } \Delta l < 0$$

en

$$\Delta l_{AB} = \frac{V \sin K}{\cos b}$$

$$\Delta b = 0$$

(1.21)



Figuur 1.9

Voorbeeld a:

Afgevaren $(52^{\circ} 13.'0 \text{ N}, 003^{\circ} 15.'0 \text{ W})$

Bekomen $(52^{\circ} 13.'0 \text{ N}, 001^{\circ} 57.'0 \text{ E})$

Gevraagd GrK en V.

Daar $\Delta l = + 5^{\circ} 12'$, geldt $\text{GrK} = 090^{\circ}$ en $V = 312 \cos b = 191.2 \text{ M}$.

Voorbeeld b:

Afgevaren $(52^{\circ} 13.'0 \text{ N}, 003^{\circ} 15.'0 \text{ W})$

Geschatte grondkoers is 270° en $V = 217 \text{ M}$.

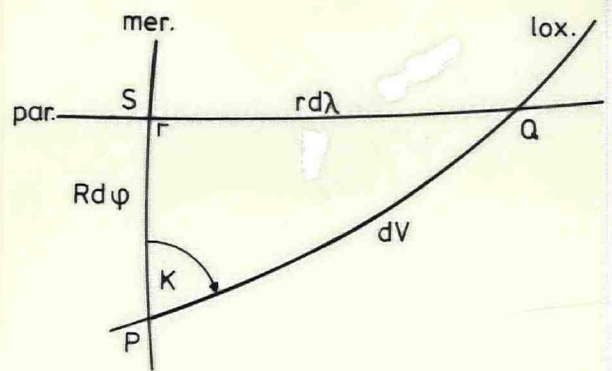
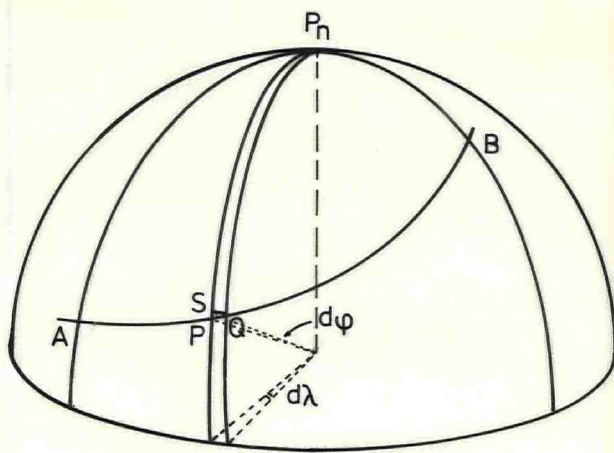
Gevraagd de gegist bekomen positie.

Daar $\Delta l = \frac{217 \sin 270^{\circ}}{\cos b} = - 354.'2$, is de gegist bekomen positie

B $(52^{\circ} 13.'0 \text{ N}, 009^{\circ} 09.'2 \text{ W})$.

1.4.3 Willekeurige grondkoersen

In figuur 10 is een loxodroom op de aardbol getekend met daarnaast een infinitesimaaldriehoekje langs de loxodroom. Gaande langs de loxodroom over een stukje dV zeemijl gaat men $Rd\varphi$ zeemijl om de Noord en $rd\lambda$ zeemijl om de Oost. Hierbij zijn R en r de stralen van aardbol en parallel in mijlen, terwijl $d\varphi$ en $d\lambda$ respectievelijk de breedte- en lengteverandering in radialen zijn.



Figuur 1.10

In $\triangle PQS$ geldt $\tan K = \frac{rd\lambda}{Rd\varphi}$; met formule 1.19 wordt dit

$d\lambda = \tan K \sec \varphi d\varphi$; en na integratie van A tot B

$$\lambda_B - \lambda_A = \tan K \int_A^B \sec \varphi d\varphi \quad (K \neq 90^\circ, 270^\circ)$$

De uitdrukking $\int_0^x \sec \varphi d\varphi = \ln \left(\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \right) = \mathcal{V}_x$ wordt de vergrotende (1.22)

breedte van x genoemd. Hiermede wordt de voorgaande uitdrukking, indien we linker- en rechterlid in graden omzetten:

$$\Delta l_{AB} = \Delta \mathcal{V}_{AB} \cdot \tan K \quad (K \neq 90^\circ, 270^\circ) \quad (1.23)$$

waar dus

$$\Delta \mathcal{V}_{AB}^0 = \frac{180^\circ}{\pi} \ln \left[\frac{\tan (45^\circ + \frac{1}{2}b_B)}{\tan (45^\circ + \frac{1}{2}b_A)} \right] \quad (1.24)$$

In deze formule moet noorderbreedte positief worden ingevuld en zuiderbreedte negatief; de formule is dan algemeen geldig.

Verder volgt uit figuur 1.10 dat $dV = Rd\varphi \sec K$.

Integratie van A naar B levert op (R staat in mijlen!):

$$V = \Delta b \sec K \quad (K \neq 90^\circ, 270^\circ) \quad (1.25)$$

We gaan nu beide problemen van de koers- en verheidsberekening zoals gesteld in paragraaf 1.1 bezien.

a. Afgevaaren positie en bekomen positie zijn gegeven. Koers en verheid worden gevraagd.

(i) Bereken Δb , Δl en $\Delta \mathcal{V}$ (in graden) van A naar B. Hierna met formule 1.23:

(ii) $K^{\text{xx}} = \arctan \left(\frac{\Delta l}{\Delta V} \right)$ waarna:

$$K^{\text{xx}} > 0 \text{ en } \Delta l > 0 \rightarrow K = K^{\text{xx}}$$

$$K^{\text{xx}} > 0 \text{ en } \Delta l < 0 \rightarrow K = K^{\text{xx}} + 180^\circ$$

$$K^{\text{xx}} < 0 \text{ en } \Delta l > 0 \rightarrow K = K^{\text{xx}} + 180^\circ$$

$$K^{\text{xx}} < 0 \text{ en } \Delta l < 0 \rightarrow K = K^{\text{xx}} + 360^\circ$$

(iii) Vervolgens formule 1.25 voor de verheid.

Voorbeeld a.

Afgevaren ($40^\circ 30.'0 \text{ N}$, $074^\circ 00.'0 \text{ W}$)

Bekomen ($33^\circ 50.'0 \text{ S}$, $018^\circ 20.'0 \text{ E}$)

Gevraagd: K en V langs loxodroom.

$$\begin{array}{l} \text{(i) B} \quad 33^\circ 50.'0 \text{ S} \quad 018^\circ 20.'0 \text{ E} \\ \text{A} \quad 40^\circ 30.'0 \text{ N} \quad 074^\circ 00.'0 \text{ W} \end{array}$$

$$\Delta b = 74^\circ 20.'0 \text{ S} \quad \Delta l = 092^\circ 20.'0 \text{ E}$$

$$\Delta V = -80.^\circ 3571213$$

$$\text{(ii) } \tan K = \frac{92.3333333}{-80.3571213} \rightarrow K^{\text{xx}} = -49.^\circ 0$$

$$K = 131^\circ$$

$$\text{(iii) } V = \frac{60 \times 74.3333333}{\cos(-48.9671531)} = 6793.7 \text{ M}$$

Let op dat bij de verheidsberekening niet de afgeronde koers wordt gebruikt. Vooral bij koersen dicht bij E/W zou dit een aanzienlijke fout in de verheid introduceren.

b. Afgevaren positie, koers en verheid zijn gegeven. De gegist bekomen positie wordt gevraagd.

(i) Bereken Δb met formule 1.25.

$$\Delta b = V \cos K$$

$$b_B = b_A + \Delta b$$

(ii) Bereken ΔV met formule 1.24.

(iii) Bereken Δl met formule 1.23.

$$l_B = l_A + \Delta l$$

Voorbeeld b.

Afgevaren A ($41^\circ 20.'5 \text{ N}$, $070^\circ 05.'5 \text{ W}$)

Geschatte grondkoers is 105°

Geschatte verheid is 148 M

$$\text{(i) } \Delta b = 148 \times \cos 105^\circ = -38.'3$$

$$b_B = 40.^\circ 70333333$$

$$\text{(ii) } \Delta V = -0.^\circ 84609985$$

$$\text{(iii) } \Delta l = \Delta V \tan 105^\circ = 3.^\circ 15768742$$

$$B (40^\circ 42.'2 \text{ N}, 066^\circ 56.'0 \text{ W})$$

1.4.4 Benaderingsformules voor de loxodroom

Voor geprogrammeerd rekenen zijn de hiervoor afgeleide formules algemeen geldig op de bol. Voor de niet-programmeerbare handcalculator is het voor verheden kleiner dan 500 M en $|b| < 70^\circ$ handiger om de volgende benadering toe te passen.

Indien $\int_A^B \sec \varphi \, d\varphi$ benaderd wordt door $\Delta\varphi \sec \varphi_m$ waar de "middelbreedte"

$\varphi_m = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2}$ (φ in radialen), dan luiden de koers- en verheidsformules:

$$a. \quad \tan K = \frac{\Delta l \cos b_m}{\Delta b} \quad (1.26)$$

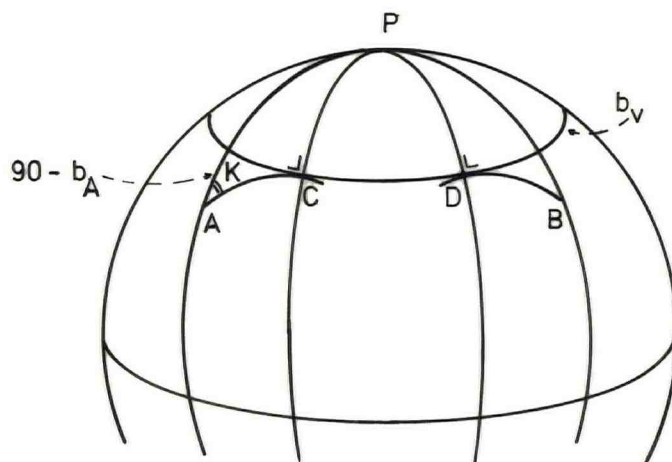
$$V = \Delta b \sec K \times 60$$

$$b. \quad \Delta b = \frac{V \cos K}{60} \rightarrow b_B = b_A + \Delta b$$

$$\Delta l = \frac{V \sin K}{60 \cos b_m} \rightarrow l_B = l_A + \Delta l \quad (1.27)$$

1.4.5 De "composite track"

Vooraf voor trajecten op hoge breedten geeft de grootcirkelroute een aanzienlijke afstandsbesparing. Het gevaar bestaat dan echter, dat de route door gebieden gaat waar ijs te verwachten is. In zo'n geval wordt besloten niet boven een bepaalde breedteparallel uit te komen. Hoewel het in zo'n geval verstandig is om de hulp in te schakelen van een weerrouteerbureau - men zit dan immers veelal in slechtweergebieden - zal niettemin de theoretisch kortste route zonder rekening te houden met de weersituatie volgens de "composit track" verlopen. Zo'n route verloopt dan vanuit het vertrekpunt volgens een grootcirkel welke raakt aan de parallel die men niet wil overschrijven. Vervolgens vaart men over deze parallel en daarna weer volgens een raakgrootcirkel naar B, zie figuur 1.11.



Figuur 1.11

In de rechthoekige boldriehoek APC geldt:

$$\cos AC = \frac{\sin b_A}{\sin b_V} \quad (1.28)$$

en

$$\cos K = \tan b_A \tan AC \quad (1.29)$$

De totale verheid langs de route is AC + CD + DB. Het stuk DB wordt op dezelfde wijze berekend als AC.

De verheid langs CD volgt uit

$$CD = \Delta l_{CD} \cos b_V \quad (\Delta l \text{ in boogmin.}, CD \text{ in M}) \quad (1.30)$$

Om Δl over CD te vinden moet Δl_{AB} verminderd worden met de lengteverandering van A naar C en van D naar B. Deze worden met Neper bepaald volgens

$$\cos \Delta l_{AC} = \frac{\tan b_A}{\tan b_V} \quad (1.31)$$

Literatuur

- [1] P. Wijdenes
Boldriehoeksmeting
Noordhoff Groningen, 1950
- [2] Y. Draaisma e.a.
Leerboek Navigatie I
Unieboek Bussum, 1979
- [3] Y. Draaisma e.a.
Leerboek Navigatie II
Unieboek Bussum, 1982

2 ZEEKAARTEN

2.1 Inleiding

De zeekaart is een belangrijk hulpmiddel voor de navigator om zich te oriënteren. De kaart is een afbeelding van het aardoppervlak op een plat vlak. Zo'n afbeelding gaat altijd gepaard met vervormingen. Bepaalde grootheden kunnen echter wél onveranderd afgebeeld worden. Zo noemt men een kaart conform of orthomorf indien hoeken op aarde onveranderd op de kaart worden afgebeeld. In verband met het afzetten van koersen en peilingen in de kaart is de belangrijkste eis voor een zeekaart deze conformiteit. Afbeeldingen kunnen ook equivalent zijn; de oppervlakteverhouding is dan constant. Indien de afstandsverhouding constant is, dan is de kaart equidistant. Volledige equidistantie is echter op een kaart niet mogelijk; dit blijkt uit het begrip schaal. Als AB een bepaald lijnstuk op aarde is dat afgebeeld wordt als A'B', dan is de schaal in A in de richting AB:

$$s = \lim_{B \rightarrow A} \frac{A'B'}{AB}$$

Voor volledige equidistantie zou de schaal constant moeten zijn over de gehele kaart. Dit zou betekenen dat de afbeelding gelijkvormig zou zijn met het origineel. Dit kan niet het geval zijn omdat het beeld plat is en het origineel bolvormig.

2.2 Projectiemethoden

Hoewel niet aan elke kaart een meetkundige projectie ten grondslag ligt, wordt toch algemeen gesproken over kaartprojecties. Wij zullen ons bij dit taalgebruik aansluiten. Bij hydrografische diensten waar zeekaarten gemaakt worden, wordt de kaartcoördinaat (x, y) van een positie (φ , λ) berekend volgens het functievoorschrift dat afhankelijk is van de gebruikte kaartprojectie

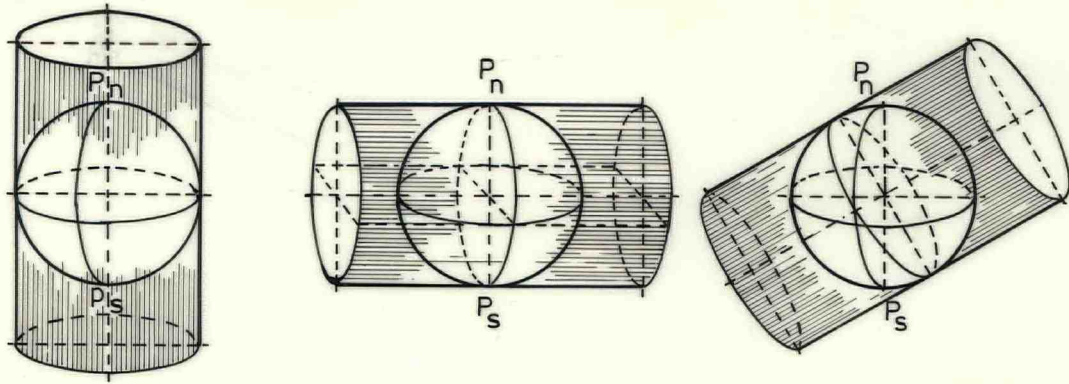
$$\left. \begin{aligned} x &= x(\varphi, \lambda) \\ y &= y(\varphi, \lambda) \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Voor de afleiding van een aantal eigenschappen van een kaartprojectie mogen we uitgaan van een globe (model van aardbol) met schaal s_0 , waarop de geodetische breedte en lengte als bolcoördinaten zijn uitgezet.

Een gebruikelijke indeling van de kaartprojecties is als volgt:

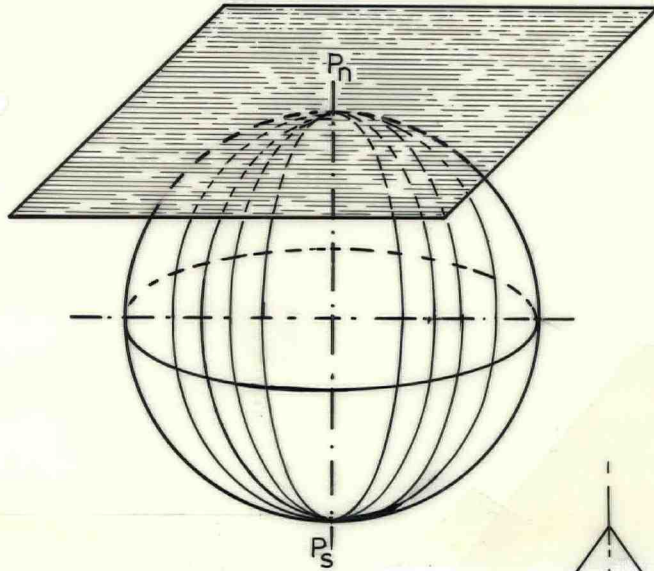
- a. cilinderprojecties
- b. azimutale projecties
- c. kegelpjecties
- d. polyconische projecties
- e. puur mathematische constructies.

Ad a. Bij de cilinderprojecties wordt een rakende of snijdende cilinder rond de globe aangebracht, zie figuur 2.1. Via een voorschrift dat afhankelijk is van de gestelde eisen, worden de bolcoördinaten afgebeeld op de cilindermantel. Indien de cilinderas samenvalt met de aardas, dan spreekt men van een normale cilinderprojectie. Ligt de cilinderas in het equatorvlak, dan heet de projectie transversaal en bij een willekeurige richting van de cilinderas spreekt men van een scheve cilinderprojectie.



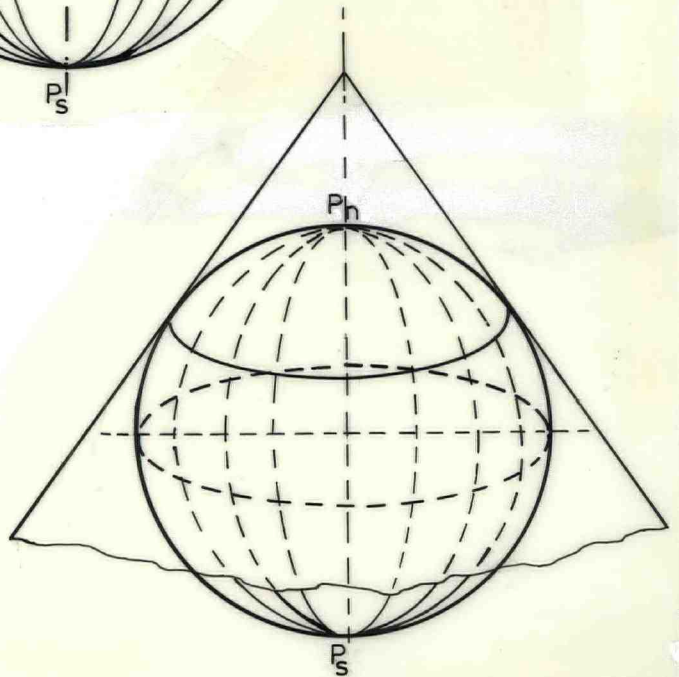
Figuur 2.1

Ad b. Bij azimutale projecties wordt afgebeeld op een raakvlak (of snijvlak) aan de globe. Men spreekt weer van normale, transversale en scheve azimutale projecties, zie figuur 2.2.



Figuur 2.2

Ad c. Bij kegelprojecties wordt afgebeeld op een rakende (of snijdende) kegel aan de globe, zie figuur 2.3.



Figuur 2.3

Ad d. Bij polyconische projecties wordt afgebeeld op meerdere kegels waarvan de assen samenvallen.

Ad e. Bij puur mathematische projecties is een meetkundige voorstelling niet mogelijk. Het afbeeldingsvoorschrift is gegeven door formules van de vorm 2.1.

2.3 Eisen voor de zeekaart

Voor het praktisch werken in de kaart zijn de volgende punten wenselijk:

1. De loxodroom moet als rechte lijn worden afgebeeld in verband met het afzetten van koersen en peilingen.
2. De kaart moet conform zijn, eveneens in verband met het afzetten van koersen en peilingen.
3. In verband met het opmeten van verheden mag de schaal niet te veel veranderen in het "werkgebied".
4. Voor grootcirkelvaren is het handig om een kaart te gebruiken waar de grootcirkel als een rechte lijn wordt afgebeeld.

Aangezien de Mercatorprojectie (zie paragraaf 2.6) strikt aan de eerste twee eisen voldoet en voor niet te grote gebieden praktisch aan de derde eis voldoet, is internationaal afgesproken dat zeekaarten met een schaal kleiner dan 1:50000 in Mercatorprojectie zullen worden uitgevoerd. Voor kaarten met grotere schaal maakt het praktisch weinig verschil met welke projectie de kaart is uitgevoerd.

2.4 Informatie op de zeekaart

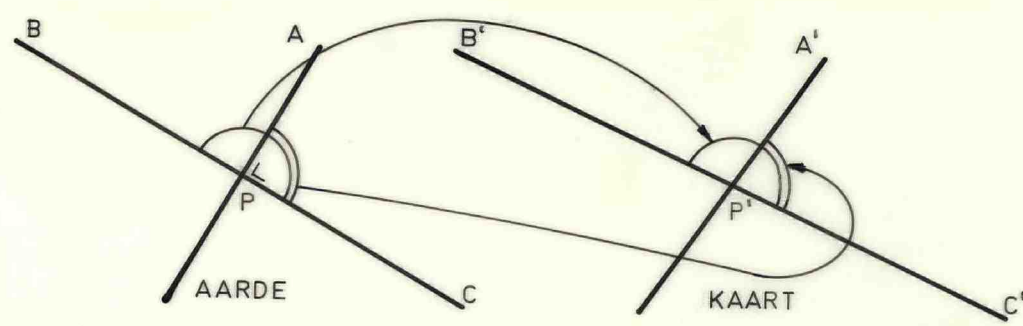
Op Nederlandse schepen wordt meestal gebruik gemaakt van Britse Admiraliteitskaarten (BA-kaarten) omdat daar een wereldomvattende serie van bestaat. Door internationale samenwerking gecoördineerd door het Internationaal Hydrografisch Bureau (IHB) te Monaco wordt een internationale kaartenserie uitgegeven. Een beperkt aantal kaarten is hiervan al uitgegeven. Ze zijn herkenbaar aan het serienummer INT 302 (bijvoorbeeld) naast het nationale serienummer van de kaart.

De afkortingen en symbolen op de zeekaart zijn internationaal afgesproken (IHB) en zijn te vinden op BA-kaart 5011. In het boekwerkje "Symbols and Abbreviations" van de BA zijn de symbolen en afkortingen samengevat. Om de informatie op de zeekaart "up-to-date" te houden worden de kaarten bijgewerkt aan de hand van de wekelijkse edities van de "Notices to Mariners" (NtM's).

2.5 Hoekvervorming

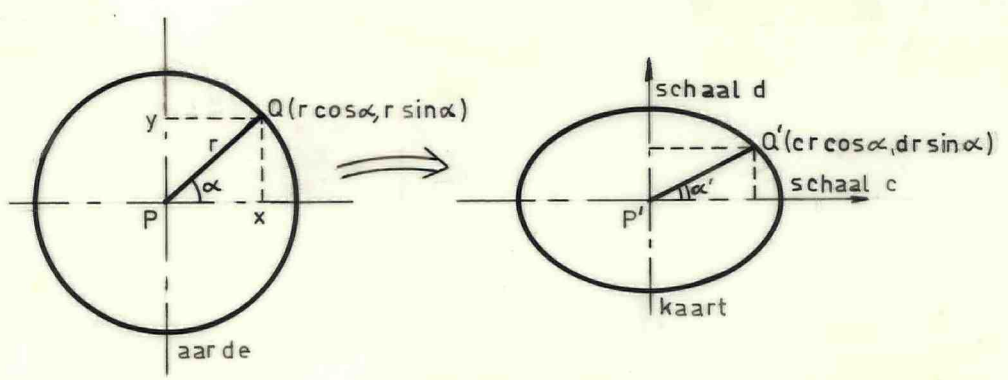
In figuur 2.4a zijn op aarde vanuit P drie richtingen vastgelegd zodanig, dat BPC een rechte lijn is en AP loodrecht op BC. De afbeelding van deze figuur is getekend in figuur 2.4b. De rechte hoek BPA wordt afgebeeld als een hoek $> 90^{\circ}$, terwijl hoek APC wordt afgebeeld als een hoek $< 90^{\circ}$. We gaan nu de figuur op aarde verdraaien. De beelden zullen dan meedraaien, maar in verband met de continuïteit van de afbeelding zal er een stand zijn waar de beeldhoeken B'P'A' en A'P'C' beide 90° zijn. Deze richtingen worden de hoofdrichtingen van de kaart genoemd. De schalen in de hoofdrichtingen c en d spelen in het volgende een rol.

We zullen nu bezien hoe een zeer kleine cirkel met straal r op de kaart wordt afgebeeld. De getekende coördinaatassen in figuur 2.5 vallen samen met de hoofdrichtingen, zodat deze assen op aarde en in de kaart loodrecht op elkaar staan.



Figuur 2.4a

Figuur 2.4b



Figuur 2.5a

Figuur 2.5b

Het punt Q met coördinaten $(r \cos \alpha, r \sin \alpha)$ ten opzichte van P wordt afgebeeld als Q' ($cr \cos \alpha, dr \sin \alpha$) ten opzichte van P' .

$$\left. \begin{aligned} x' &= cr \cos \alpha \\ y' &= dr \sin \alpha \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{x'^2}{c^2 r^2} + \frac{y'^2}{d^2 r^2} = 1 \quad (2.2)$$

De ellips (2.2) wordt de indikatrix van Tissot genoemd. De hoekvervorming in de kaart kan uit (2.2) worden afgeleid. Immers voor Q' geldt:

$$\tan \alpha' = \frac{dr \sin \alpha}{cr \cos \alpha} = \frac{d}{c} \tan \alpha$$

Stel nu $\alpha' = \alpha + \epsilon$, waarbij ϵ de vervorming is van α . Let wel, de hoeken α en α' worden gemeten ten opzichte van een hoofdrichting.

$$\tan (\alpha + \epsilon) = \frac{d}{c} \tan \alpha \rightarrow \text{1e orde benadering}$$

$$\tan \alpha + \frac{\epsilon}{\cos^2 \alpha} = \frac{d}{c} \tan \alpha \rightarrow$$

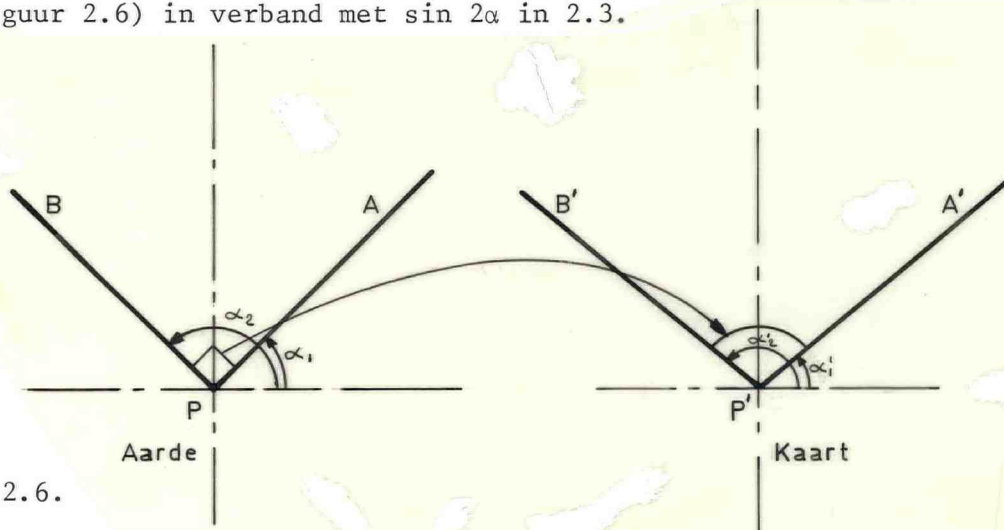
$$\epsilon \approx \frac{1}{2} \frac{d - c}{c} \sin 2\alpha \approx \frac{1}{2} \frac{c - d}{d} \sin 2\alpha \quad (2.3)$$

(c en d zijn verwisselbaar)

Uit (2.3) blijkt nu:

Afbeelding conform $\Leftrightarrow c = d \Leftrightarrow$ indikatrices is een cirkel.

De maximale hoekvervorming tussen een hoek op aarde en de beeldhoek in de kaart treedt op bij een hoek tussen de bissectrices van de hoofdrichtingen (zie figuur 2.6) in verband met $\sin 2\alpha$ in 2.3.



Figuur 2.6.

Het verschil van de hoeken $A'P'B'$ en APB is dan $2\epsilon_{\max}$ waarvoor geldt

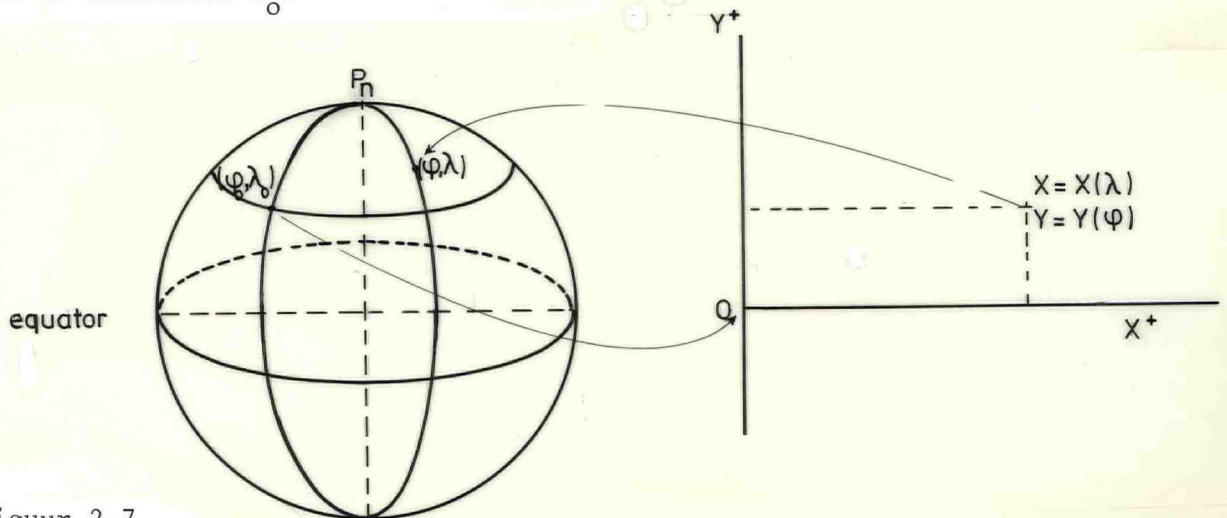
$$2\epsilon_{\max} = \left| \frac{d-c}{c} \right| = \left| \frac{d-c}{d} \right| \quad (2.4)$$

2.6 De Mercatorprojectie

De Mercatorprojectie of "wassende kaart" is een normale cilinderprojectie. De kaart is géén puur meetkundige constructie, maar de coördinaten (φ, λ) op de globe worden op de kaart afgebeeld volgens het voorschrift:

$$\left. \begin{aligned} x &= s_0 R (\lambda - \lambda_0) \\ y &= s_0 R (\mathcal{V}_\varphi - \mathcal{V}_{\varphi_0}) \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Hierin is (φ_0, λ_0) de oorsprong van het af te beelden gebied op de globe met straal $s_0 R$; de X-as is het beeld van de parallel φ_0 en de Y-as is het beeld van de meridiaan λ_0 .



Figuur 2.7

Het kaartnet van een kaart is het netwerk van meridianen en parallellen. Voor een parallel op de Mercatorprojectie geldt dat $y = y(\varphi) = \text{constant}$, zodat alle parallellen evenwijdig lopen. De beelden van de meridianen lopen ook evenwijdig in verband met $x = x(\lambda) = \text{constant}$. De meridianen en parallellen staan loodrecht op elkaar en vormen de hoofdrichtingen in de kaart. Om aan te tonen dat de kaart conform is, kijken we naar de schalen in de hoofdrichtingen, dus de schalen langs meridiaan en parallel.

Vanuit een willekeurige positie $P(\varphi, \lambda)$ op de bol is een stukje meridiaan voor te stellen als $Rd\varphi$. Het overeenkomstige stukje in de kaart is $dy = s_o R \sec \varphi d\varphi$ (volgt uit 1.22 en 2.5).

Hiermede is de schaal in N-S richting

$$d = \frac{s_o R \sec \varphi d\varphi}{Rd\varphi} = s_o \sec \varphi \quad (2.6)$$

Een stukje parallel op de bol is gelijk aan $rd\lambda$, terwijl het overeenkomstige stukje op de kaart gelijk is aan $dx = s_o R d\lambda$ (volgt uit 2.5). De schaal in E-W richting is dan

$$c = \frac{s_o R d\lambda}{rd\lambda} = s_o \sec \varphi \quad (2.7)$$

Dus $c = d$ en de kaart is conform. De schaal op breedte φ is gelijk aan de schaal op de equator s_o vermenigvuldigd met de secans van de breedte, de schaal "wast" met de breedte!

Als de zeemijl op breedte φ_1 afgebeeld wordt als a mm, dan is de mijl op breedte φ_2 op die kaart gelijk aan

$$1M(\varphi_2) \cong \frac{a \cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \text{ mm} = 1M(\varphi_1) \cdot \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2} \quad (2.8)$$

Er is dus geen constante afstandsmaat.

Het afpassen van verheden in de kaart moet daarom gebeuren met mijlen van de middelbreedte. Dit is voor de praktijk voldoende nauwkeurig voor verheden tot $400 M$ ($|\varphi| < 70^\circ$). Voor grotere verheden wordt het traject in stukken verdeeld en elk stuk met mijlen van eigen middelbreedte opgemeten.

De loxodroom in de wassende kaart is een rechte lijn. Dit kan eenvoudig uit het afbeeldingsvoorschrift worden afgeleid. Kiezen we immers (φ_o, λ_o) als afgevaardigde positie, dan geldt voor een punt van de loxodroom volgens 1.23

$$s_o R (\lambda - \lambda_o) = s_o R \tan K (\sqrt[3]{\varphi} - \sqrt[3]{\varphi_o})$$

Substitueren we het afbeeldingsvoorschrift 2.5, dan krijgen we

$$y = \cot K \cdot x,$$

de vergelijking voor de loxodroom in de kaart.

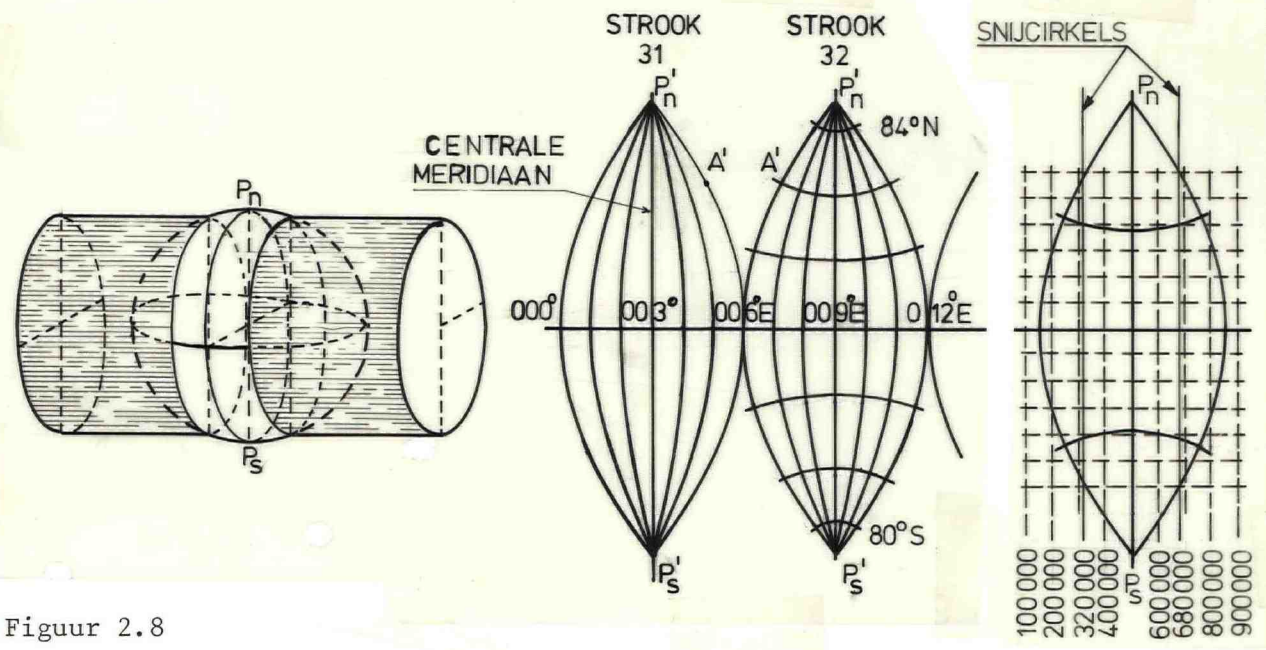
De grootcirkel kan in de kaart geplot worden door punten van de grootcirkel te berekenen, zoals aangegeven is in paragraaf 1.3.4.

2.7 De Universele Transversale Mercatorprojectie (UTM)

Dit is een Mercatorprojectie met de as van de afbeeldingscilinder in het equatorvlak. De UTM berust op de volgende internationale afspraken:

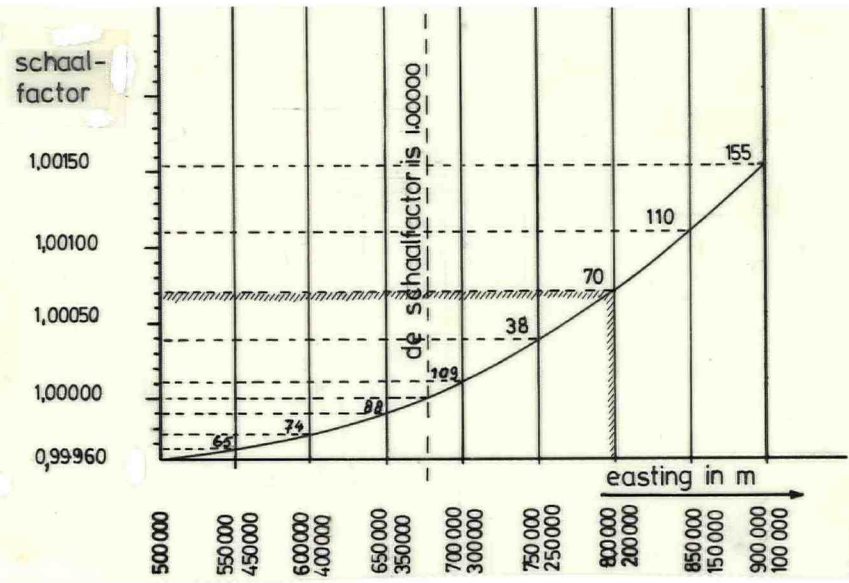
- Er wordt afgebeeld op een snijdende cilinder. De as van deze cilinder staat loodrecht op een meridiaanvlak. Dit meridiaanvlak definieert twee centrale meridianen (l en $l + 180^\circ$), zie figuur 2.8.
- Centrale meridianen liggen $6^\circ \Delta l$ uit elkaar.
- Er zijn aldus 60 bolsectoren gedefinieerd, die doorlopend zijn genummerd vanaf de 180° meridiaan om de Oost.
- De snijcilinder snijdt de aarde volgens twee kleincirkels die 180000 m

- vanaf de centrale meridiaan liggen.
- Elke bolsector tussen 80° S en 84° N wordt op een UTM strook in Mercator-projectie afgebeeld.
 - In elke strook zijn zones aangebracht.
 - C: 80° S - 72° S
 - D: 72° S - 64° S
 - ⋮
 - W: 64° N - 72° N
 - X: 72° N - 84° N (T en O ontbreken).



Figuur 2.8

Doordat een snijcilinder is aangebracht, zijn de vervormingen geringer dan bij een raakcilinder. Dit blijkt uit figuur 2.9 waar de schaalfactor is uitgezet als functie van de afstand tot de centrale meridiaan. De schaalfactor is gelijk aan 1 op de snijcirkels, kleiner dan 1 tussen de snijcirkels en groter dan 1 buiten de snijcirkels.



Figuur 2.9

In elke sector is een cartesisch coördinatenstelsel aangebracht met coördinaten in meters Northing en Easting, zie figuur 2.8. De centrale meridiaan is 500000 m Easting in de gegeven sector. De Northing telt vanaf de equator

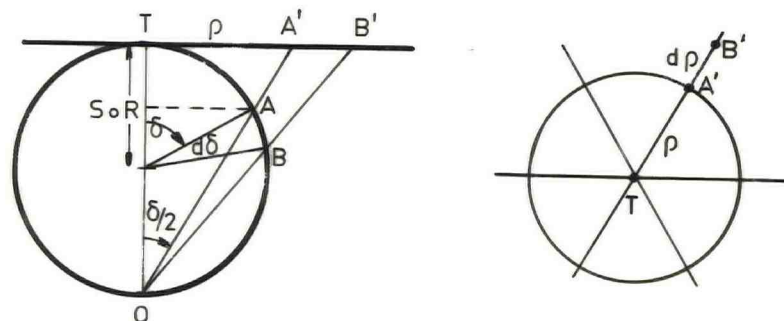
om de Noord in meters. Vanaf de equator om de Zuid gerekend wordt 10×10^6 m opgeteld bij het aantal meters vanaf de equator. Posities op aarde zijn zo-doende éénduidig vastgelegd door de sector, de Northing en de Easting in UTM.

Omdat de projectie een Mercatorprojectie is, is de kaart conform. De loxodroom is theoretisch gezien geen rechte lijn, omdat de meridianen als gekromde lijnen worden afgebeeld. Voor kustkaarten en detailkaarten in UTM-projectie is het afgebeelde gebied voldoende klein om de meridianen als evenwijdige rechte lijnen te mogen beschouwen en praktisch is de loxodroom dan een rechte lijn. Door de geringe schaalverandering verandert de afstandsmaat minder over het af te beelden gebied dan bij de normale Mercatorprojectie het geval zou zijn. Dit vereenvoudigt het opmeten van verheden. Er zijn al verschillende zeekaarten in UTM-projectie uitgegeven, waarbij echter de richting van de meridianen "recht-op-en-neer" lopen, zodat de UTM-roosterlijnen scheef over de kaart lopen. Deze roosterlijnen zijn alleen aan de randen van de kaart gegeven.

2.8 De stereografische projectie

De stereografische projectie is de conforme azimuthale projectie. De gebieden benoorden 84°N en bezuiden 80°S worden niet in UTM afgebeeld; hiervoor is internationaal de Universele Polaire Stereografische projectie (UPS) aangenomen. Het KNMI gebruikt voor weerkaarten van de N-Atlantic een stereografische projectie met een snijvlak op 60°N . Kust- en detailkaarten van de Nederlandse kust werden tot voor kort in stereografische projectie uitgegeven met een snijvlak onder de Lieve Vrouwe toren van Amersfoort. Deze kaarten worden nu vervangen door Mercatorkaarten.

In figuur 2.10 is voor de eenvoud een raakvlak getekend. Er wordt meetkundig geprojecteerd vanuit het tegenpunt van het raakpunt.



Figuur 2.10

De coördinaten van beeldpunten liggen vast in de vorm van poolcoördinaten. Immers de richting van A' is dezelfde in T als de richting van A , terwijl voor de afstand TA' geldt:

$$\rho = 2s_0 R \tan \frac{1}{2}\delta \quad (2.9)$$

De hoofdrichtingen van de projectie zijn de radiële grootcirkels door T die als rechte lijnen worden afgebeeld en de richting van de kleincirkels met T als middelpunt, zie figuur 2.10.

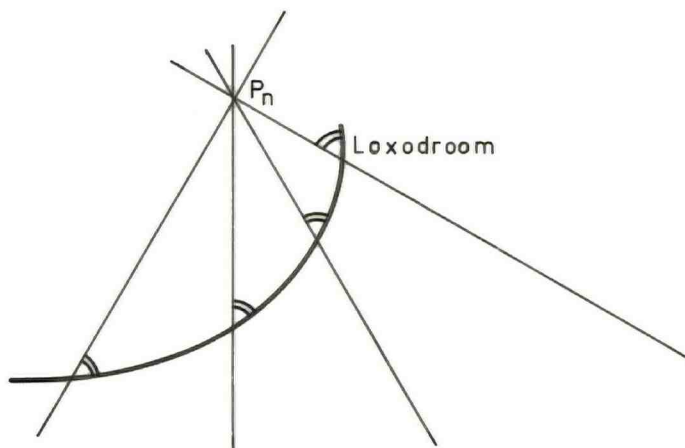
$$\text{Radiële schaal } c = \frac{A'B'}{AB} = \frac{d\rho}{Rd\delta} = \frac{1}{R} \cdot \frac{d\rho}{d\delta} = s_o \sec^2 \frac{1}{2}\delta \quad (2.10)$$

Delen we de omtrek van de cirkel met ρ als straal door het origineel, dan vinden we de

$$\text{tangentiële schaal } d = \frac{2\pi \cdot 2s_o R \tan \frac{1}{2}\delta}{2\pi R \sin \delta} = s_o \sec^2 \frac{1}{2}\delta \quad (2.11)$$

We zien dat $c = d$, dus de afbeelding is conform!

Omdat de meridianen bij een polaire stereografische projectie convergerende rechten zijn, kan de loxodroom geen rechte zijn, zie figuur 2.11. Op de Nederlandse stereografische kaarten is de loxodroom bij benadering een rechte. Niet te grote afstanden worden op de middelbreedte in breedteminuten afgepast (zeemijlen).



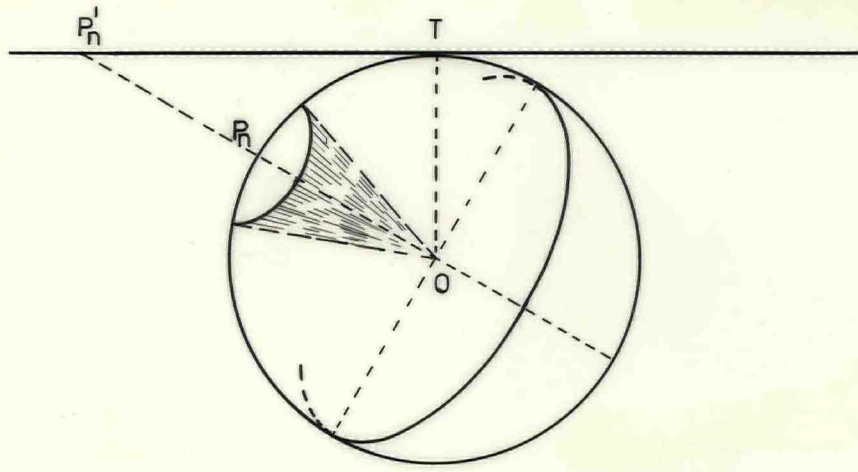
Figuur 2.11

2.9 De gnomonische projectie

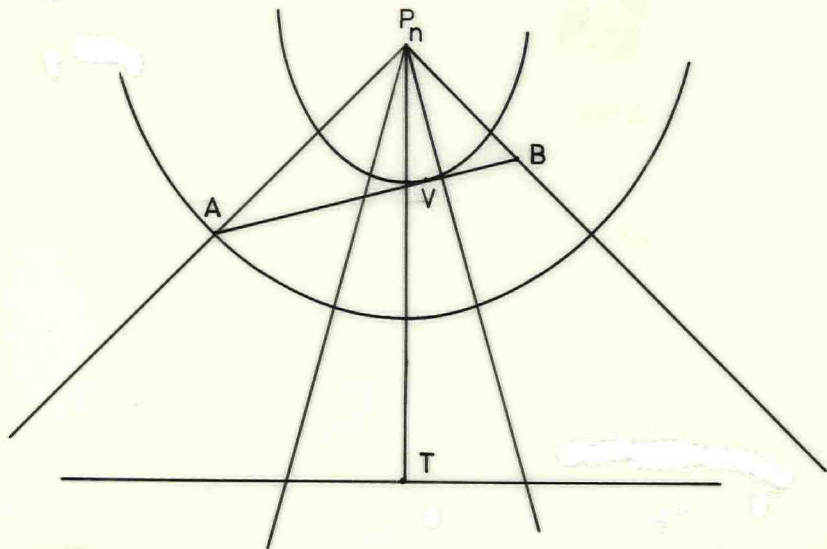
Dit is een projectie waar vanuit het middelpunt van de globe op een raakvlak (of snijvlak) wordt geprojecteerd. De gnomonische kaart wordt gebruikt als "overzeiler" voor de planning van een grootcirkelroute. De grootcirkel wordt immers als een rechte lijn op het raakvlak afgebeeld. Deze kaarten bevatten géén verdere navigatie-informatie en worden uitsluitend als plotkaart gebruikt. Daarnaast wordt deze projectie, door zijn eenvoud, door de BA gebruikt voor een aantal kaarten met een schaal groter of gelijk aan 1:50000.

Elke parallel vormt met O een kegel, die het raakvlak snijdt volgens een kegelsnede. Parallelen worden dus afgebeeld als kegelsneden, terwijl meridianen convergerende rechte lijnen zijn; zie figuur 2.12.

De vertex van een grootcirkelroute is het punt met de hoogste breedte, zie figuur 2.13, en kan uit de kaart worden afgelezen. Posities van andere punten op de grootcirkel kunnen eveneens vanuit de gnomonische kaart worden overgenomen naar de gewone navigatiekaart.

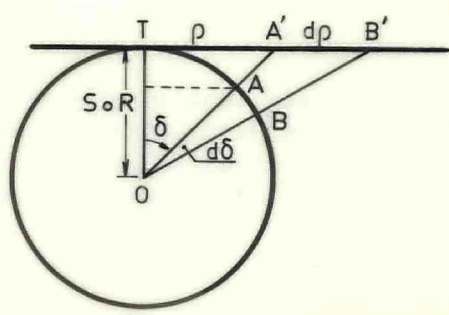


Figuur 2.12



Figuur 2.13

Voor het praktisch gebruik van de gnomonische kaart als kust- en plankkaart is het zaak om te onderzoeken of deze kaart conform is. De hoofdrichtingen worden evenals bij de stereografische projectie gevormd door de radiële richting vanuit het raakpunt en de tangentiële richting loodrecht daarop.



Figuur 2.14

De afstand van het beeldpunt van A tot T is gelijk aan

$$\rho = s_o R \tan \delta \quad (2.12)$$

$$\text{Radiële schaal } c = \frac{d\rho}{Rd\delta} = \frac{s_o R \sec^2 \delta d\delta}{Rd\delta} = s_o \sec^2 \delta \quad (2.13)$$

$$\text{Tangentiële schaal } d = \frac{2\pi s_o R \tan \delta}{2\pi R \sin \delta} = s_o \sec \delta \quad (2.14)$$

Daar $c \neq d$ is de kaart niet conform.

Eisen we dat de maximale hoekvervorming niet groter is dan bijvoorbeeld 0.5° , dan volgt uit formule 2.4

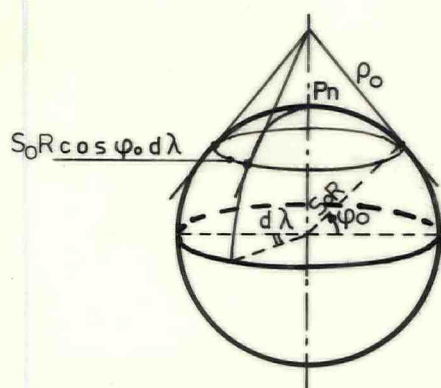
$$0.5^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ} = \frac{s_o \sec^2 \delta - s_o \sec \delta}{s_o \sec^2 \delta} = 1 - \cos \delta \approx \frac{1}{2}\delta^2 \rightarrow \delta^\circ = 7.057 \rightarrow \rho = 454 \text{ M}$$

Er kan dus een aanzienlijk gebied worden afgebeeld zonder dat de conformiteit in het geding komt.

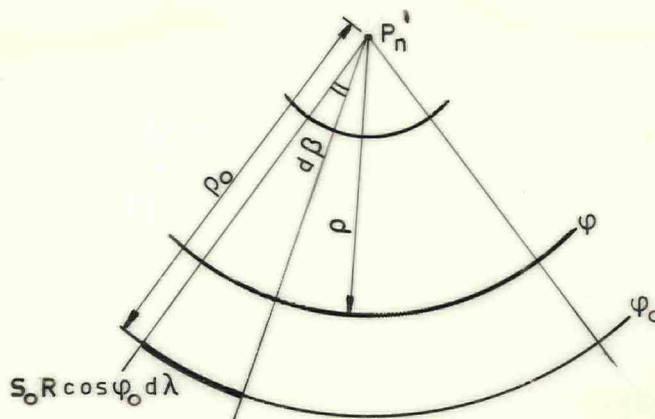
2.10 De Lambert Gauss Projectie

Dit is een conforme normale kegelprojectie, waarbij de kegelmantel rakend aan of snijdend met de globe wordt aangebracht.

De kaart wordt vooral in de luchtnavigatie gebruikt. Een aantal zeekaarten, bijvoorbeeld van de Belgische Hydrografische dienst, wordt ook in deze projectie uitgegeven.



Figuur 2.15a



Figuur 2.15b

De meridianen worden afgebeeld op de kegel, zie figuur 2.15a, als de beschrijvende rechten van deze kegel. Wordt de kegel opgevouwen, dan ontstaat figuur 2.15b. De parallellen worden als cirkels aangebracht met Pn' als middelpunt. De straal van de raakparallel op de globe is $r = s_o R \cos \varphi_o$, terwijl $\rho_o = s_o R \cot \varphi_o$ (2.15)

Verder volgt uit figuur 2.15b dat

$$\rho_o \cdot d\beta = s_o R \cos \varphi_o d\lambda \quad (2.16)$$

Uit (2.15) en (2.16) volgt de relatie tussen het hoekverschil van twee meridianen op aarde $d\lambda$ en de hoek tussen de betreffende afbeeldingen in de kaart $d\beta$, namelijk

$$d\beta = \sin \varphi_o d\lambda \quad (2.17)$$

De meridianen en parallellen zijn hoofdrichtingen.
De schaal langs de meridiaan is

$$c = - \frac{d\rho}{R d\varphi} \quad (2.18)$$

De schaal langs de parallel is

$$d = \frac{\rho d\beta}{r d\lambda} = \frac{\rho \sin \varphi_o}{R \cos \varphi} \quad (2.19)$$

Voor conformiteit eisen we $c = d$, dus

$$\frac{d\rho}{\rho} = - \sin \varphi_o \frac{d\varphi}{\cos \varphi} \quad (2.20)$$

Integratie langs een meridiaan vanaf de raakparallel tot parallel φ_1 :

$$\ln \frac{\rho_1}{\rho_o} = - \sin \varphi_o (\mathcal{V}_1 - \mathcal{V}_o) \quad \text{d.f.} \quad \rho_1 = \rho_o \exp(-\sin \varphi_o \cdot \Delta \mathcal{V}_{o1}) \quad (2.21)$$

Indien de parallel op breedte φ_1 afgebeeld wordt volgens voorschrift (2.21) is de kaart dus conform.

De meeste L-G-kaarten zijn berekend uitgaande van twee snijparallellellen, waardoor de schaalverandering op de kaart nog geringer is. De loxodroom is géén rechte, omdat de meridianen convergeren. Voor beperkt gebied lopen de meridianen praktisch evenwijdig en is de loxodroom voor de praktijk te benaderen door een rechte lijn. Voor overzeilers is het van voordeel, dat tot circa 2500 M de grootcirkel als een rechte mag worden beschouwd.

2.11 Betrouwbaarheid van zeekaarten

Het gebeurt nog herhaaldelijk dat schepen aan de grond lopen ten gevolge van niet of onvolledig in kaart gebrachte ondiepten of obstakels.

Volgens het IHB zijn door diverse landen totaal 16.600 zeekaarten in omloop gebracht. De wereldwijde set van de Britse Admiralty omvat circa 3400 kaarten. In totaal zijn 145 hydrografische opnemingsvaartuigen > 1000 ton in gebruik, waarvan 66 bij de USSR. De vaartuigen worden ook voor andere werkzaamheden gebruikt. Eén opnemingsvaartuig (+ f 60.000,-- per dag) kan circa 500 vierkante zeemijl per jaar op ondiep water in kaart brengen en circa 1300 M² op diep water. Dit betekent dat per jaar bijvoorbeeld de Britse opnemingsvaartuigen 1% van hun thuiswateren kunnen bestrijken.

Ruwweg kan gezegd worden dat 1/3 deel van de totale kustwateren nog niet in kaart is gebracht en nog eens 1/3 deel in kaart is gebracht met oude middelen (handlood).

Er is een verdeling gemaakt van de zeegebieden die elk land hydrografisch zal opnemen. Van deze gebieden is nog niet voldoende in kaart gebracht door

Noorwegen	80%
V.S.	57%
Frankrijk	64%
Italië	30%
Nederland	40%

In de West-Europese wateren zijn 20.000 geregistreerde scheepswrakken, waarvan 1/3 deel niet voldoende is onderzocht.

Van de 258 Afrikaanse havens is volgens het IHB slechts 15% goed in kaart gebracht.

Van de 128 aan zee grenzende staten die bij de VN zijn aangesloten, hebben slechts 73 een eigen hydrografische dienst.

Enkele jaren nadat de oliehaven Milford Haven aan de zuidkust van Ierland in gebruik werd genomen, werd op de aanlooproute een ondiepte van 5 m ontdekt! In 1971 verging het Franse cruise-schip "Antilles" in de Caribische Zee door het stoten op een onbekende rots.

In 1973 verging de bulkcarrier Isagara nabij Singapore om dezelfde reden.

Literatuur

- [1] Y. Draaïsmā e.a.
 Navigatie II, hoofdstuk I
 Unieboek, 1982

- [2] J. v. Roon en P. Haverkamp
 Zeevaartkunde III
 Uitg. De Boer, 1948

- [3] J. Verstelle
 Kaartprojecties
 Min. van Defensie
 Bureau Hydrografie, 1951

- [4] Frantisk Fiala
 Mathematische Kartographie
 Uitg. VEB Verlag Berlin

3 HORIZONTALALE EN VERTIKALE GETIJBEWEGING

3.1 Inleiding

Voor de navigatie op ondiep water met geringe "Under Keel Clearance" (UKC) is het uiteraard van het grootste belang om op de hoogte zijn van de vertikale waterbeweging ten gevolge van het getij. Daarnaast is kennis van de horizontale waterbeweging door het getij - de getijstroom - noodzakelijk voor de bepaling van de grondvaart (v_{gr}) en de opstuurhoek voor stroom (st), zie zie dictaat Mt012

In dit hoofdstuk zal aangegeven worden, hoe de voor de navigatie benodigde gegevens kunnen worden verkregen. De daarvoor benodigde boekwerken en kaarten zijn:

- de Admiralty Tide Tables (ATT)
- de Getijtafels voor Nederland
- de Getijtafels voor de Zeehavens van Nederland en voor Antwerpen en Zeebrugge
- de Nederlandse stroomatlassen
- de BA-stroomatlassen
- zeekaarten en zeemansgidsen
- "Cotidal"- en "Corange"-kaarten.

Er wordt een korte beschrijving gegeven van de getijoorzaken. Mathematische afleidingen van getijkrachten worden niet gegeven, noch wordt ingegaan op de hydrodynamica van de getijgolven; zie hiervoor bijvoorbeeld het college B75 [1].

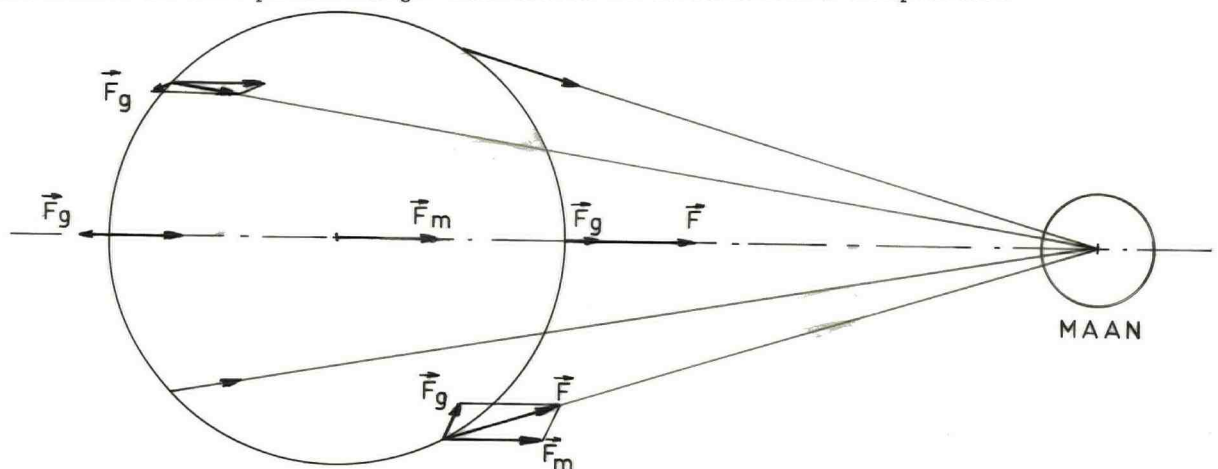
3.2 Oorzaak van de getijbeweging

De getijbeweging op aarde wordt veroorzaakt door de aantrekkingskrachten van zon en maan. De invloed van andere hemellichamen is te verwaarlozen.

In figuur 3.1 is de aantrekkingskracht \vec{F} getekend, die door de maan wordt uitgeoefend op eenheidsmassadeeltjes op aarde. De kracht in het middelpunt is gelijk aan \vec{F}_m . In elk punt op het aardoppervlak wordt F ontbonden volgens

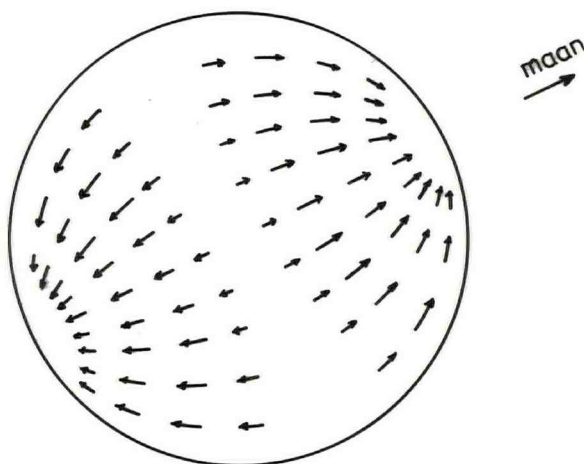
$$\vec{F} = \vec{F}_m + \vec{F}_g$$

Het krachtenveld \vec{F}_m is homogeen en dient om de planetaire beweging van de maan om de aarde in stand te houden (wetten van Kepler). De plaatselijke residukracht \vec{F}_g wordt de getijverwekkende kracht genoemd. Deze wordt weer ontbonden in een plaatselijk verticale en horizontale component.



Figuur 3.1 Ontstaan getijkracht.

De verticale component geeft een bijdrage aan de plaatselijke zwaartekrachtversnelling, maar zal geen verplaatsing van de waterdeeltjes tot gevolg hebben. De horizontale component is de sleeppkracht \vec{F}_s en wordt ook wel de getijkracht genoemd. In figuur 3.2 is de verdeling van deze getijkracht over het aardoppervlak weergegeven. In figuur 3.3 is de theoretische verdeling van het water over het aardoppervlak gegeven, indien de aarde geheel met water zou zijn bedekt. Voor breedtes groter dan $(90^\circ - \text{declinatie})$ zien we een enkeldaags (ED) getij en voor breedtes kleiner dan $(90^\circ - \text{declinatie})$ zien we een dubbeldaags (DD) getij. Alleen op de equator zijn de hoogtes van beide HW gelijk en is de valtijd gelijk aan de rijstijd.



Figuur 3.2 De getijkracht.

Voor de aantrekkingskracht door de zon geldt een zelfde beschouwing. De getijkracht die door de zon wordt veroorzaakt, is ongeveer de helft van de maansgetijkracht.

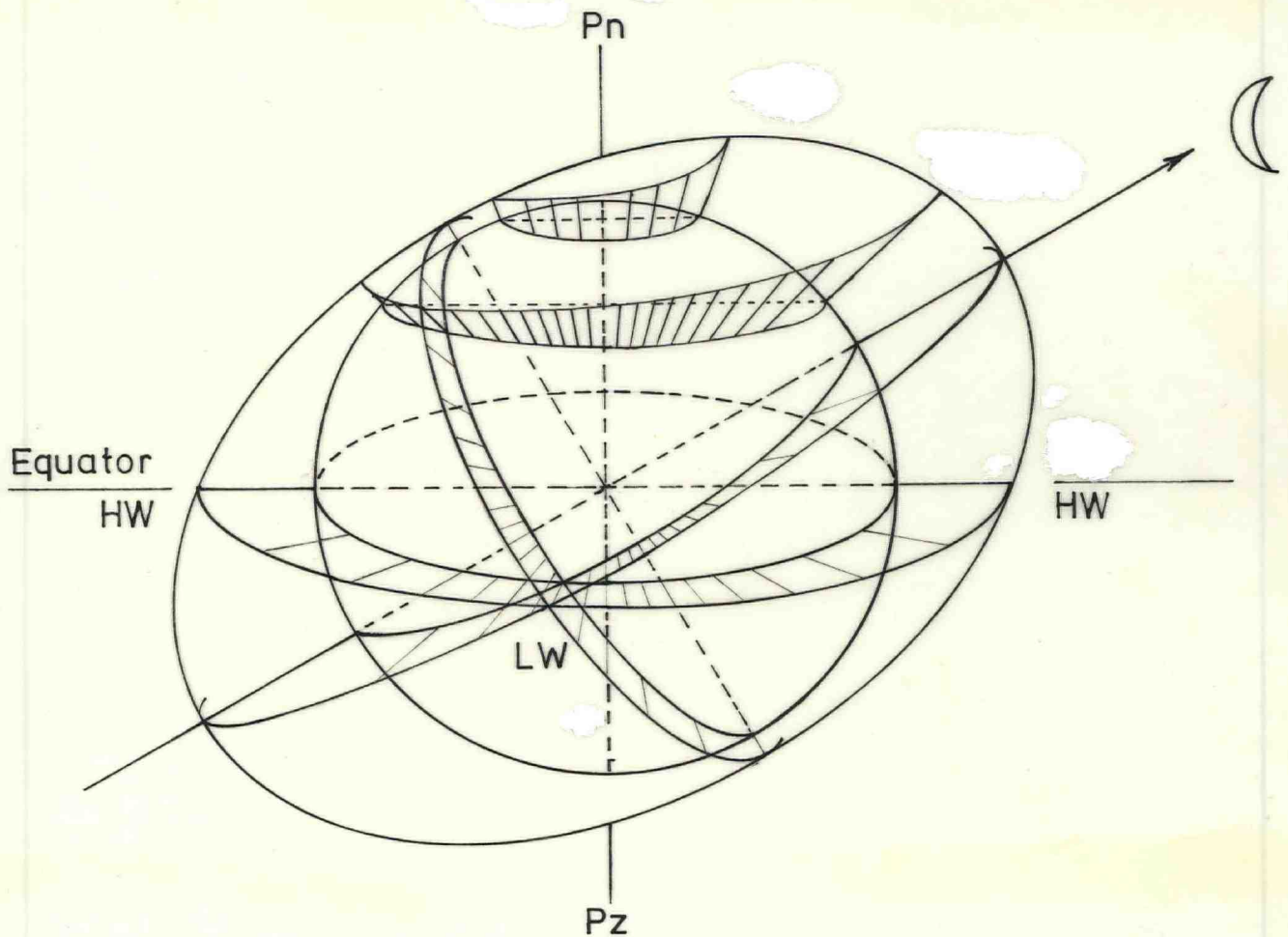
De getijhoogte, zoals voorgesteld in figuur 3.3, wordt de getijhoogte volgens de evenwichtstheorie (ET) genoemd; Newton was de grondlegger van deze theorie.

Voor de voorspelling van een plaatselijke getijhoogte op een gegeven tijdstip is de ET ontoereikend. De getijgolven van zon en maan worden in hun baan onderbroken door de continenten; daarnaast spelen de Corioliskracht en de bodemwrijving een rol. Bovendien zal de eigenfrequentie van een zee of bekken bepalen voor welke periodieke beweging de betreffende zee het meest "gevoelig" is (resonantie).

Het belang van de ET is, dat de plaatselijke getijbeweging is te ontbinden in een aantal componenten waarvan de periodes overeenkomen met de periodes van de exiterende krachten volgens de ET. Deze exiterende krachten hebben een astronomische oorsprong, waardoor de periodes van deze krachten te berekenen zijn; bovendien is hun fase op een bepaald tijdstip bekend en is de verhouding van de amplituden volgens de ET bekend. In het navolgende wordt hiervan gebruik gemaakt.

3.3 Partiële getijden

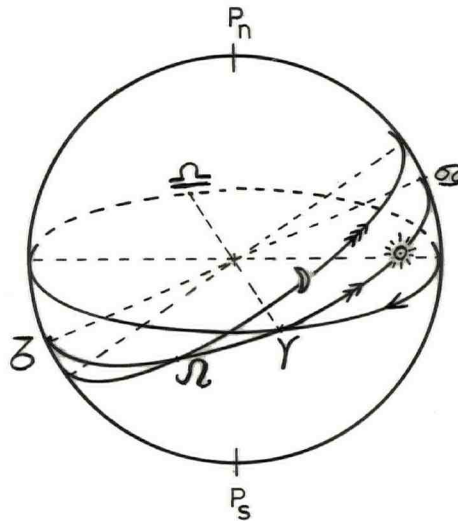
Door de draaiing van de aarde, de beweging van de aarde om de zon, de beweging van de maan om de aarde en de schommelingen (precessies) van zonsbaan en maansbaan, is de getijkracht plaatselijk variabel. De getijkracht wordt nu ontbonden in een aantal periodiek veranderende krachten waarvan de



Figuur 3.3 Het evenwichtsgetij.

periodes afgeleid kunnen worden uit een aantal grondperiodes:

1. Het tropisch jaar is de gemiddelde tijd die verloopt tussen twee opeenvolgende passages van de zon in zijn schijnbare jaarbaan door het punt Ram γ (het lentepunt). Het punt γ is gedefinieerd als het punt waar de zonsbaan (ecliptica) de equator snijdt, namelijk het punt waar de zon noorderdeclinatie krijgt, zie figuur 3.4. De hoek tussen equator en ecliptica is ongeveer 23.5° . Het tropisch jaar duurt gemiddeld 365.2422 dag, $\omega_z = 0,041^\circ/\text{h}$.
2. Het punt waar de zon het dichtst bij de aarde staat (omstreeks 1 januari) in zijn ellipsbaan heet het perigeum. Dit perigeum verplaatst zich in de baan met een periode van ongeveer 20940 jaar en is verder verwaarloosbaar.
3. De tropische maand is de gemiddelde tijd die verloopt tussen twee opeenvolgende doorgangen van de maan langs het punt γ , de tijdsduur is 27.3216 dagen, $\omega_m = 0.549^\circ/\text{h}$.
4. Het perigeum van de maansbaan draait rond in circa 9 jaar, $\omega_p = 0.0046^\circ/\text{h}$.
5. De klimmende knoop Ω van de maansbaan is het punt waar de maan P de ecliptica passeert naar de noordzijde. De verbindingslijn $\Omega - \text{P}$ (de knopenlijn) draait rond in een periode van circa 18.6 jaar.
6. Bovendien draait de aarde zelf om haar as en wel in 0.997 dag, $\omega_a = 15.041^\circ/\text{h}$.



Figuur 3.4 De hemelbol met equator, zonsbaan en maansbaan.

De dag zoals hiervoor gebruikt, is de zogenaamde middelbare zonnedag, de gemiddelde tijd tussen twee opeenvolgende doorgangen van de zon door de meridiaan van Greenwich. Deze middelbare zonnedag is nagenoeg gelijk aan $24 \times 60 \times 60$ seconden, waarbij de seconde is gedefinieerd in het SI-stelsel.

De plaatselijk waargenomen getijbeweging kan worden ontbonden in ED- en DD-componenten, waarvan de hoeksnelheden lineaire combinaties zijn van de hoeksnelheden die volgen uit de punten 1, 3, 4 en 6 zoals hierboven genoemd. (In verband met de kleine hoeksnelheid wordt de invloed van punt 5 niet als periodieke functie in de jaartabellen verwerkt, maar de invloed wordt als correctie verwerkt op de andere componenten, de correctie voor de knopenlijn, zie paragraaf 3.4).

Zo kunnen o.a. de volgende partiële getijden worden onderkend:

- dubbeldaags middelbaar zonsgetij S_2 , met hoeksnelheid $2\omega - 2\omega_z = 30^\circ/\text{h}$
- dubbeldaags middelbaar maansgetij M_2 , met hoeksnelheid $2\omega_a - 2\omega_m = 28.984^\circ/\text{h}$
- dubbeldaags groot maanselliptisch getij N_2 , met hoeksnelheid $2\omega - 3\omega_m + \omega_p = 28.440^\circ/\text{h}$
- dubbeldaags maans-zons declinatiegetij K_2 met hoeksnelheid $2\omega = 30.082^\circ/\text{h}$
- enkeldaags maans-zons declinatiegetij K_1 met hoeksnelheid $\omega_a = 15.041^\circ/\text{h}$
- enkeldaags maansdeclinatiegetij O_1 met hoeksnelheid $\omega_a - 2\omega_m = 13.943^\circ/\text{h}$
- enkeldaags zonsdeclinatiegetij P_1 met hoeksnelheid $\omega_a - 2\omega_z = 14.959^\circ/\text{h}$

In [1] worden zo de hoeksnelheden van 37 partiële getijden bepaald, die een astronomische oorzaak hebben.

Door niet-lineaire verschijnselen, zoals bodemweerstand, ontstaan naast de hiervoor genoemde partiële getijden, de zogenaamde ondiepwatergetijden. Een aantal hiervan is:

- het 4-daags middelbaar maansgetij M_4 met hoeksnelheid $4\omega_a - 4\omega_m = 57.968^\circ/\text{h}$
- het 6-daags middelbaar maansgetij M_6 met hoeksnelheid $6\omega_a - 6\omega_m =$

- 86.952 °/h
 - het dubbeldaags getij $2MS_2$ met hoeksnelheid $2\omega_a - 2\omega_m + 2\omega_z = 29.066$ °/h
 - $MS_4, MN_4, 2MS_6, MK_3, MO_3$, enz.

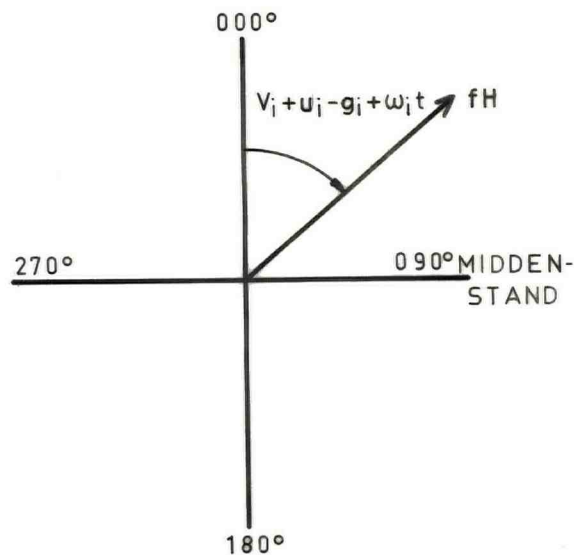
In [1] worden 33 partiële ondiepwatergetijden genoemd.

In de getijtafels voor Nederland worden gegevens verstrekt voor totaal 26 partiële getijden, zie blz. A1. In de ATT worden diverse partiële getijden gecombineerd en is het totaal aantal partiële getijden waarmee gewerkt wordt gelijk aan 6, zie blz. A2 en A3.

Voor de voorspelling van de tijdstippen van HW en LW en de daarbij behorende waterstanden voor de Standard Ports in de ATT (dagbladzijden, zie blz. A4) wordt rekening gehouden met mēer partiële getijden. Hierdoor kan het voorkomen, dat de berekende getijcurve voor een bepaalde dag en plaats met behulp van de zes partiële getijden een iets andere waterstand en/of tijdstip HW/LW geeft dan de gegevens op de dagbladzijde. De gegevens op de dagbladzijde zijn dan nauwkeuriger.

3.4 Getijconstanten

Wij kunnen de getijbeweging van elk partieel getij voorstellen door een draaiende vector, de getijwijzer, waarvan de lengte gelijk is aan de amplitude H van het partiële getij. In de hoogste stand geeft de getijwijzer plaatselijk HW. De getijwijzer laten we rechtsom draaien, zie figuur 3.5. De fase van het partiële getij volgens de ET voor de meridiaan van Greenwich te 0000 GMT (Greenwich meantime) wordt het astronomisch argument V_i genoemd.



Figuur 3.5 De getijwijzer.

De correctie op de fase in verband met de stand van de knopenlijn is voor het betreffende jaar berekend als u_i . Voor zonsgetijden is $u_i = 0$. In de ATT zijn tabellen gegeven voor $V_i + u_i$ op 0000 GMT op opeenvolgende dagen van het betreffende jaar, zie blz. A5. Voorts is in deze tabel de correctie f_i gegeven voor de amplitude H_i in verband met de knopenlijn. Het verloop van de waterstand in GMT ten gevolge van een partieel getij volgens de ET zou zijn op de meridiaan van Greenwich:

$$y_i(t) = f_i H_i \cos(V_i + u_i + \omega_i t)$$

Voor een plaats op L° El (L rondgeteld van $000^{\circ} - 360^{\circ}$) wordt de waterstand in GMT volgens de ET gegeven door

$$y_i(t) = f_i H_i \cos(V_i + u_i + \omega_i t + pL)$$

waar $p = 1, 2, 3, \dots$ voor respectievelijk ED, DD, 3D ... getijden.

Ligt de plaats in een tijdzone waarvoor geldt $ST + S = GMT$, dan is de plaatselijke waterstand in ST volgens de ET van een partieel getij

$$y_i(t) = f_i H_i \cos(V_i + u_i + \omega_i t + pL + S\omega_i)$$

Het werkelijke partiële getij heeft echter een faseachterstand ten opzichte van de fase volgens de ET. Deze faseachterstand is plaatsafhankelijk en wordt het kappagetal κ_i genoemd. Kappagetal en amplitude worden de plaatselijke getijconstanten genoemd en worden bepaald uit getijwaarnemingen van tenminste vijf opeenvolgende jaren.

$$y_i(t) = f_i H_i \cos(V_i + u_i + \omega_i t + pL + S\omega_i - \kappa_i)$$

Het kappagetal wordt gewoonlijk gecombineerd met de andere plaatselijke invloeden $S\omega_i$ en pL ; het aldus gevormde g-getal heet het geografisch argument of gewijzigd kappagetal.

$$g_i = \kappa_i - pL - S\omega_i \tag{1}$$

De hoogte van het middenstandsvlak ten opzichte van het reductievlak wordt gegeven in de getijtafels, zie blz. A2 en A3, als ML of Z_0 . In verband met seizoeninvloeden moeten correcties worden toegepast zoals aangegeven als "seasonal corrections in mean level".

Al met al krijgen we voor de waterstand ten opzichte van CD (chartdatum = reductievlak)

$$W(t) = Z_0 + \sum_i f_i H_i \cos((V_i + u_i) - g_i + \omega_i t) \tag{2}$$

Het getij kan overwegend DD, overwegend ED of gemengd zijn, zie figuur 3.6. Het is om de 14 dagen springtij, na Volle maan en Nieuwe maan. Na de kwartierstanden is het doortij (neap tide).

3.5 De ATT-methode

De ATT bestaat uit drie delen:

- Volume I European waters including Mediterranean
- Volume II Atlantic and Indian Oceans (including tidal stream predictions)
- Volume III Pacific Ocean and adjacent seas (including tidal stream predictions)

In part I van elk deel vinden we de dagbladzijden voor tijdstippen HW en LW en de bijbehorende waterstanden t.o.v. CD voor Standard Ports. Ook is de getijcurve voor spring- en doortij gegeven.

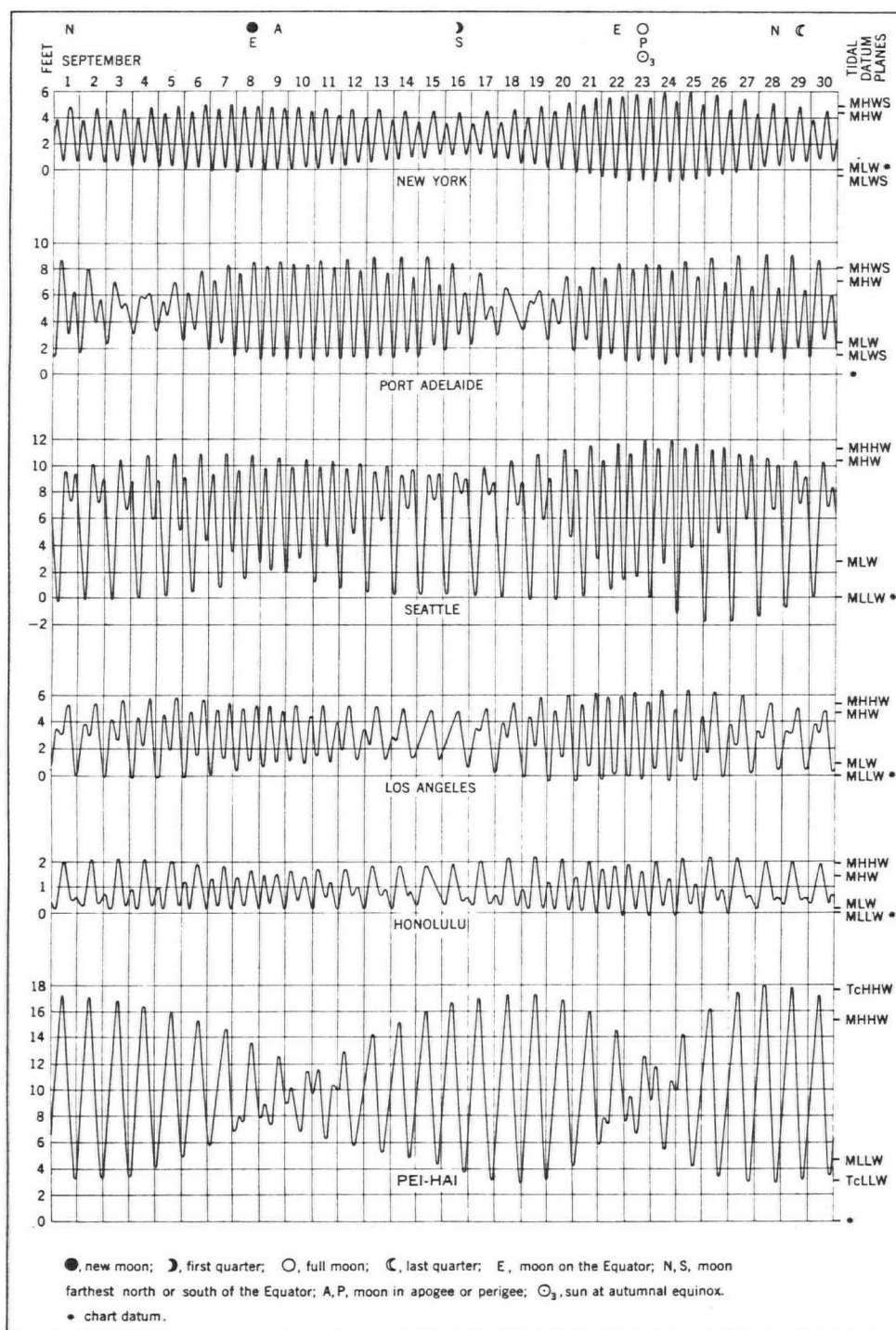
In part II staan de hoogteverschillen en tijdsverschillen voor HW/LW voor een Secondary Port ten opzichte van een Standard Port.

In part III staan de g-getallen en amplitudes van partiële getijden voor de berekening van de waterstand.

In de ATT zijn partiële getijden die nagenoeg dezelfde hoeksnelheid hebben vectorieel gesommeerd. Er blijven dan over:

- DD: M-getij met $\omega_M \approx 29^{\circ}$
- S-getij met $\omega_S \approx 30^{\circ}$

TIDES AND TIDAL CURRENTS



Figuur 3.6 Getijcurven.

ED: K-getij met $\omega_K \approx 15^\circ$
 O-getij met $\omega_O \approx 14^\circ$
 ondiepwater: 4D-getij met $\omega_4 \approx 58^\circ$
 6D-getij met $\omega_6 \approx 87^\circ$

Voor de ED- en DD-getijden staan de g^- en H-waarden gegeven in part II van de ATT, zie blz. A2 en A3. De hoek (360° -fase) behorende bij het combinatie-getij wordt gegeven in een tabel van de ATT als de angle A, zie blz. A6 en A7.

Bovendien wordt daar een factor F gegeven waarmee de H uit part II moet worden vermenigvuldigd om de amplitude van het combinatiegetij te krijgen.

Voor de getijden M, S, K en O krijgen we elk een bijdrage in de waterstand

$$y_i(t) = F_i H_i \cos(A_i + g_i - \omega_i t) \quad i = 1(1)4 \quad (3)$$

zodat

$$W(t) = Z_o + M \cos(m - \omega_M t) + S \cos(s - \omega_S t) + K \cos(k - \omega_K t) + O \cos(o - \omega_O t) \quad (4)$$

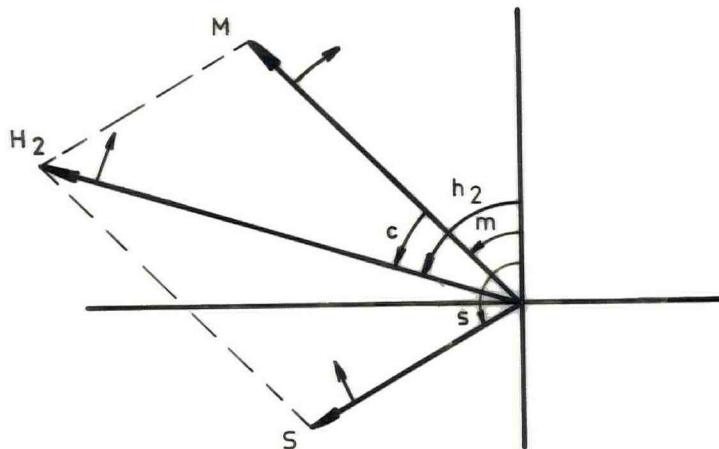
waarin $M = F_M H_M$, $m = A_m + g_m$, enz.

Voor de ondiepwatergetijden staan in de ATT de volgende gegevens vermeld: f_4 , F_4 , f_6 en F_6 .

De amplitude H en (360°-fase) = h te 0000 ST van de 4D- en 6D-getijden worden dan als volgt berekend.

$$\left. \begin{aligned} H_4 &= F_4 (H_2)^2 \\ h_4 &= 2h_2 + f_4 \\ H_6 &= F_6 (H_2)^3 \\ h_6 &= 3h_2 + f_6 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Hierin is H_2 de amplitude van het samengestelde DD-getij en $h_2 = (360\text{-fase})$ voor 0000 ST, zie figuur 3.7.



Figuur 3.7 DD-getijwijzers te 0000 ST.

Omdat de S vector 1° sneller per uur draait dan de M vector, wijzigt de vorm van het parallellogram, opgespannen door S en M, in de loop van de dag. Daarom worden H_2 en h_2 voor de waterstandberekening van t uur ST bepaald met:

$$\begin{aligned} H_2 \cos h_2 &= M \cos m + S \cos (s + t \times 1^\circ) \\ H_2 \sin h_2 &= M \sin m + S \sin (s + t \times 1^\circ) \end{aligned} \quad (6)$$

Deling geeft $\tan h_2$, waarna ook H_2 bekend is. Deze H_2 en h_2 worden ingevuld in (5), waarna de bijdrage van de ondiepwatergetijden in de waterstand is:

$$H_4 \cos (h_4 - 58t) + H_6 \cos (h_6 - 87t) \quad (7)$$

Als voorbeeld wordt het getijverloop van IJmuiden (1501) op 9 november 1980 berekend. Gemakshalve is formule (6) slechts éénmaal berekend, namelijk voor het midden van de dag ($t = 12$). De hieruit volgende H_4 , h_4 , H_6 en h_6 worden dan voor de gehele 24 uur periode gebruikt. De fout die hierdoor ontstaat is bij kleine amplitudes van H_4 en H_6 verwaarloosbaar.

De gegevens van blz. A2, A3 en A7 worden in een schema gerangschikt. Vervolgens worden de benodigde grootheden uitgerekend.

IJmuiden			M ₂		S ₂		K ₁		O ₁		4D	6D	ML
(52° 28'0N, 004° 34'0E)	g angle	H factor	135 025	0.69 0.90	204 345	0.17 1.09	001 022	0.08 0.88	194 333	0.12 0.77	f 283 F 0.423	253 0.170	Z ₀ = 1.10 seas. corr. = +0.1 Z = 1.20
19801109			m=160 H=0.62		s=189 S=0.19		k=023 K=0.07		o=167 O=0.09				
			H ₂ = 0.80m h ₂ = 164°				H ₄ = 0.27, H ₆ = 0.09 h ₄ = 251°, h ₆ = 025°						

Met formule 4 en 9 kan nu per uur de waterstand worden berekend t:o.v. CD:

t	W	t	W	t	W	t	W	t	W
00	0.40	05	2.24	10	0.96	15	1.09	20	1.35
01	0.38	06	1.93	11	0.68	16	1.83	21	1.20
02	0.69	07	1.56	12	0.49	17	2.23	22	0.98
03	1.38	08	1.38	13	0.41	18	2.05	23	0.69
04	2.06	09	1.23	14	0.55	19	1.62	24	0.49

In figuur 3.8 is de waterstand getekend.

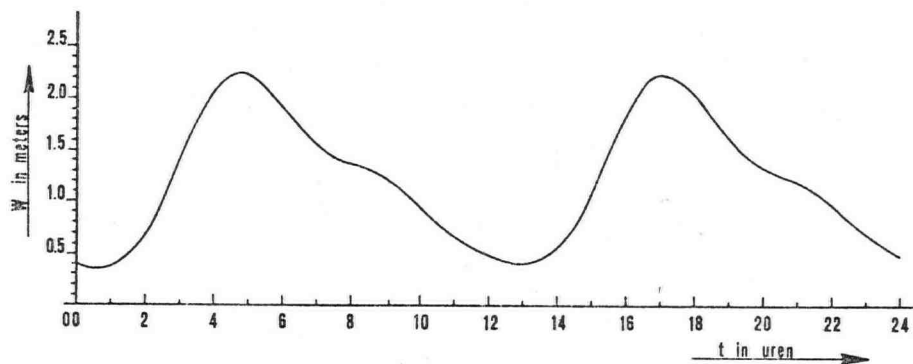


Fig. 3.8 Waterstand.

3.6 De dagbladzijden van de ATT en de "secondary Ports"

Voor Standard Ports staan de tijdstippen van HW en LW met de bijbehorende waterstanden ten opzichte van CD op de dagbladzijden gegeven, zie blz. A4. Zoals eerder vermeld zijn deze gegevens nauwkeuriger dan die zoals zelf berekend met de methode uit paragraaf 3.5, bij deze laatste methode zijn immers om wille van de eenvoud partiële getijden samengevoegd, waarbij onnauwkeurigheden optreden.

Om de tijdstippen van HW en LW en de bijbehorende waterstanden voor een Secondary Port te berekenen, staan bij de betreffende haven in part II zogenaamde "time differences" en height differences" gegeven die op de bijbehorende Standard Port gegevens moeten worden toegepast. Indien Standard Port en Secondary Port verschillende seizoencorrectie hebben voor middenstand, dan moet dit bovendien in rekening worden gebracht.

Om de waterstand voor Standard Ports voor andere tijdstippen dan HW en LW te berekenen, is in part I van veel standard ports de getijcurve voor springtij en doottij gegeven, zie blz. A8.

Met argument het aantal uren vóór of ná HW wordt een factor bepaald, waarna geldt

$$\text{Waterstand} = \text{LW-stand} + \text{factor} \times \text{verval} \quad (10)$$

Eventueel wordt geïnterpoleerd tussen springtij en doottij.

3.7 Nederlandse getijtafels

Sinds 1986 wordt door de Chef der Hydrografie uitgegeven: "Waterstanden en stromen langs de nederlandse kust en aangrenzend gebied".

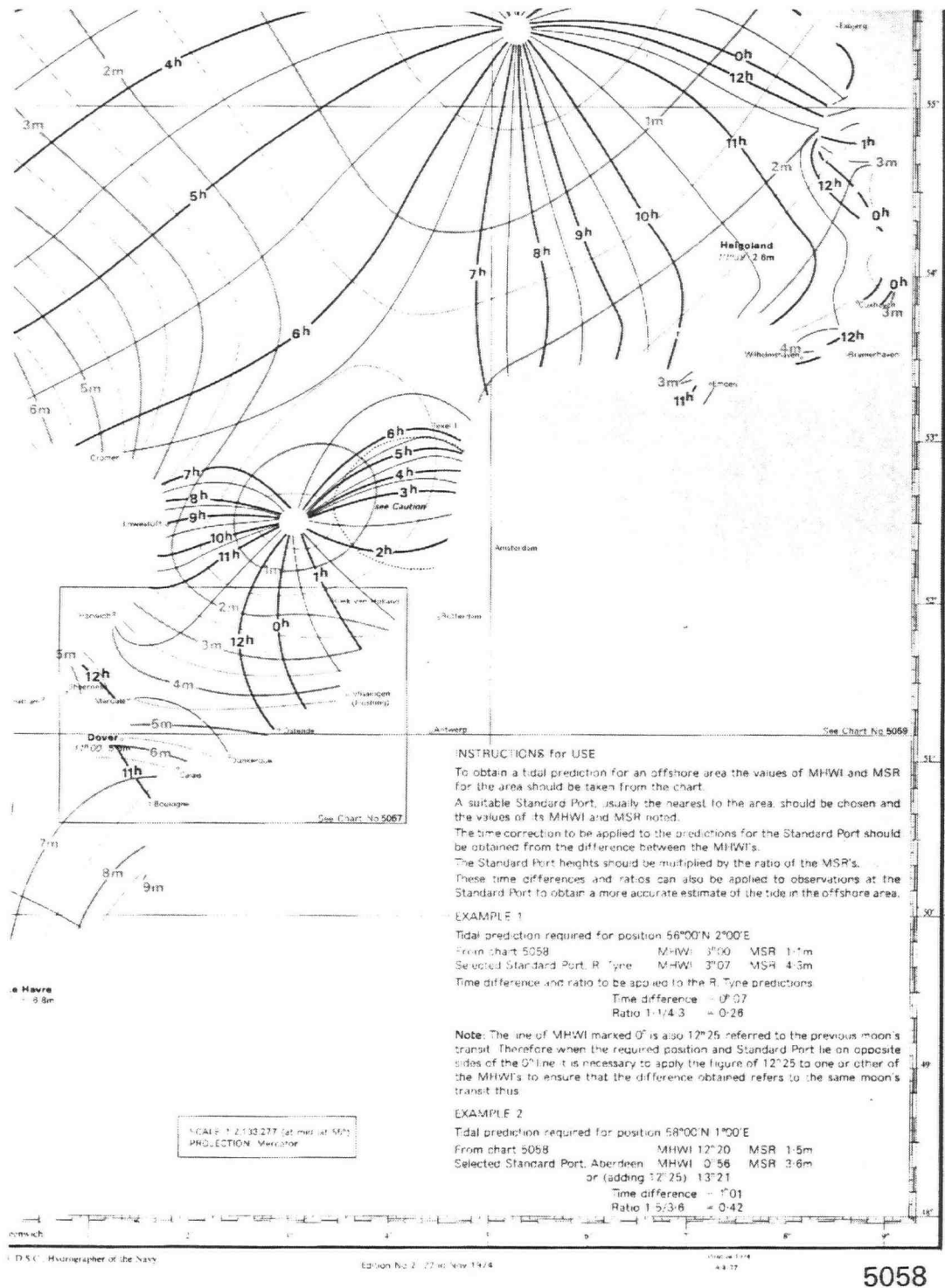
Hierin worden de uurstanden in dm gegeven t.o.v. LLWS van de belangrijkste havens langs de nederlandse kust voor het gehele lopende jaar, zie A9.

Voorts worden de HW/LW tijdstippen en waterstanden gegeven voor Antwerpen en Zeebrugge.

De getijstromen voor de Zuidelijke Noordzee, Westerschelde en Waddenzee W/E zijn in dit boek eveneens opgenomen, met als referentietijd respectievelijk HW te Hoek van Holland, Vlissingen, Harlingen en Delfzijl.

3.8 Voorspelling van getijhoogte buiten de kust

De gegevens in de getijtafels betreffen het getijverloop bij de haveningang van de betreffende haven. Voor veel doeleinden is het echter nodig de getijhoogte verder in zee te kunnen voorspellen. Hiervoor worden "cotidal" en "corange" kaarten gebruikt, zie figuur 3.9.



Figuur 3.9

Een "cotidal-line" is een lijn over plaatsen met gelijktijdig HW of LW. Een "corange-line" is een lijn over plaatsen met dezelfde gemiddelde waterstand bij HW/LW. Bij een cotidal-line is het HW/LW havengetal gegeven (Mean High Water Interval of Mean Low Water Interval, MHWI of MLWI). Het HW-havengetal is het gemiddeld tijdsverloop tussen maansdoorgang te Greenwich en het tijdstip van plaatselijk HW. Het verschil in HW-havengetal van een plaats op zee met een nabijgelegen Standard Port geeft het tijdver-

schil in HW ten opzichte van HW Standard Port uit de ATT.

Voor de bepaling van de getijhoogte van HW/LW bepalen we de verhouding van de "mean range" van de gegeven positie en Standard Port. Met dit verhoudingsgetal wordt de getijhoogte uit de ATT van de Standard Port vermenigvuldigd.

In de Nederlandse getijtafel staan de uurstanden in dm gegeven voor EURO-0 en Penzoil K-13A.

3.9 Voorspelling UKC

De voorspelde waterdiepte op een bepaald tijdstip voor een gegeven positie wordt gegeven door:

$$\text{voorspelde waterdiepte} = \text{kaartdiepte} + \text{voorspelde waterstand} \quad (11)$$

De diepgang van het schip is bij vertrek uit de laatste haven opgenomen. Door verbruik van water en brandstof en door verschil in saliniteit van het zee-water is de diepgang en trim veranderd. De grootste diepgang T_m van voor en achter is uiteraard voor de UKC van belang. De voorspelde bruto UKC is gelijk aan het verschil van voorspelde waterdiepte en T_m . De actuele bruto UKC is de afstand van diepste punt van het schip bij stilliggend schip tot de bodem.

Ten gevolge van diverse factoren zal de netto UKC niet gelijk zijn aan de voorspelde bruto UKC.

1. Door meteorologische invloeden is de voorspelde waterstand niet gelijk aan de actuele waterstand. Afwijkingen op de voorspelde waterstand worden o.a. via de nieuwsberichten over de radio uitgezonden. Havendiensten beschikken veelal over getijmeters buitengaats, met aflezing in het havenverkeerscentrum. Schepen kunnen via de marifoon (VHF) geïnformeerd worden over de actuele situatie.

2. Ten gevolge van het slingeren van het schip door zeegang en/of deining neemt de maximale diepgang toe met ongeveer

$$\Delta T_1 = \frac{1}{2} B \sin \varphi_{\max} \quad (12)$$

waar B de breedte is en φ_{\max} de maximale hellingshoek.

3. Als Θ_{\max} de maximale stamphoek is en L de lengte, dan is de maximale diepgangsvermeerdering door stampen

$$\Delta T_2 = \frac{1}{2} L \sin \Theta_{\max} \quad (13)$$

4. De maximale diepgangsvermeerdering ten gevolge van domp is moeilijk aan te geven. De invalshoek van de golven, de golflengte, de golfhoogte en de scheepsafmeting spelen hierbij een rol. Als maximum kan worden aangenomen de halve maximum golfhoogte.

$$\Delta T_3 = \frac{1}{2} H_{\max} \quad (14)$$

5. Door eigen vaart ondervindt het schip bovendien een neerwaartse zuiging, de squat. De grootte van de squat is afhankelijk van de breedte van de vaargeul, van de UKC, van de trim, van de scheepsafmetingen, maar vooral van de vaart.

Een vuistregel voor de maximale diepgangsvermeerdering door squat wordt gegeven door:

$$\Delta T_4 = 0.01 C_B V^2 \quad (15)$$

waarin C_B de blokcoëfficiënt, ΔT in meters en V in knopen.

De invloeden 1 t/m 5 worden afgetrokken van de Bruto Keelclearance om de Netto Keelclearance te krijgen.

Voor het aanlopen van Europort met diepstekende tankers is een studiegroep "Keelclearance" werkzaam met vertegenwoordigers van DGSM, Rijkshavendienst en het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam.

Resultaten van studies zijn o.a. gepubliceerd in NTT-De Zee 1978/6 en 1979/10. Er wordt bij de aanloop van zeer diepstekende schepen gewerkt met "getijpoorten" waar het schip a.h.w. op het topje van de getijgolf naar binnen vaart. Driedimensionale planning (x, y, t) is dan noodzakelijk (de duur van de

aanloop is circa 2.5 uur). De minimale bruto UKC die geëist wordt is 10% van de diepgang T nabij de Maasmond en 20% op het traject Euro 1 - Euro 5a. De grootste diepgangstoename wordt ondervonden door het gedeelte van het golfspectrum tussen 0.1 en 0.03 Hz. De energie in dit deel van het spectrum wordt bepaald met golfmeters, die "on-line" met het Controle en Informatie Centrum te Hoek van Holland in verbinding staan. Indien de energie in dit spectrumdeel te groot wordt, wordt de toegang voor diepgaande schepen gestremd.

Overwogen wordt om de toegangsgeul uit te diepen zodat schepen met 75 vt (22.90 m) diepgang Europoort kunnen binnenlopen. Een deel van de voorstudie van dit project was het onderzoek van de navigatie met 75 vt schepen door het Engels Kanaal, waar schepen met die diepgang tot heden nog niet zijn gepasseerd. Met zorgvuldige en goed geplande navigatie en gebruikmaking van getijpoorten is de doorvaart van het Engels Kanaal met deze schepen - na het vervuld zijn van een aantal voorwaarden - goed mogelijk.

3.10 Gegevens voor getijstromen

Allereerst wordt opgemerkt dat de horizontale getijbeweging in het algemeen uit fase is met de verticale getijbeweging.

- Bij een zuiver "lopende getijgolf" is de vloedstroom maximaal op het tijdstip van HW en loopt daarna nog enkele uren door. De ebstroom is maximaal op het tijdstip van LW. De hoogwaterstanden zijn overal gelijk en de tijdstippen van HW zijn verschillend voor verschillende plaatsen. De overgang van vloedstroom naar ebstroom, of omgekeerd, heet kentering; het is dan slack-water.
- Bij een zuiver "staande getijgolf" is het slack-water tijdens HW en LW. De vloedstroom loopt vanaf LW tot HW en de ebstroom vanaf HW tot LW. De maximale stroom treedt op tijdens middenstand. De HW-standen zijn voor verschillende plaatsen ongelijk.
- Veelal heeft de getijbeweging een gemengd karakter.

Voor verschillende zeestraten staan de stroomgegevens in de ATT vermeld op dagbladzijden, zie blz. A10.

Voor de Noordzee en de Nederlandse Zeegaten worden zeer handige stroomatlassen uitgegeven door de Nederlandse Hydrografische Dienst. Per uur wordt de stroomsituatie gegeven met als tijdreferentie het HW-tijdstip in een Standard Port. De verticale getijbeweging is zichtbaar doordat het gebied met rijzend water lichtblauw en het gebied met vallend water wit is aangegeven. Voor een beperkt aantal aanlooproutes worden stroomatlassen uitgegeven voor diepgangen van 0-5 m, 0-10 m en 0-20 m (bijvoorbeeld Europoort). Blz. A11 is een overdruk uit de stroomatlas van de zuidelijke Noordzee.

In zeekaarten worden op plaatsen waar de getijstroom goed gemeten is ruiten aangebracht met een letter erin. De letter verwijst naar een tabel in de kaart waar de stroomgegevens per uur staan vermeld, zie blz. A12. Soms staat alleen in de kaart de richting van de eb- of vloedstroom vermeld. De pijl met veren is dan de vloedstroom.



vloedstroom



ebstroom

In de Zeemansgids staan voorts nog gegevens over lokale afwijkingen, variaties in de stroom ten gevolge van meteorologische invloeden, maximale waarden van de stroom enz., zie blz. A13.

Literatuur

- [1] J.P.Th. Kalkwijk
De analyse van getijden, college B75
THD, afd. Civiele Techniek

- [2] Y. Draaisma e.a.
Navigatiekunde I en II
Unieboek Bussum

- [3] G. Neumann, W.J. Pierson
Principles of Physical Oceanography
Prentice Hall, 1966

- [4] A.T. Doodson, H.D. Warburg
Admiralty Manual of Tides
Her Majesty's Stationary Office London

- [5] Overzicht getijleer
Dienst Hydrografie
Min. van Defensie

Tabel II. GETIJCONSTANTEN AAN DE NEDERLANDSE KUST (berekend voor 1955)

		Hantveert 51°-25' NB 4°-00' OL	Terschelling 51°-20' NB 3°-50' OL	Vlissingen 51°-27' NB 3°-36' OL	Wemeldinge 51°-31' NB 3°-58' OL	Zierikzee 51°-38' NB 3°-55' OL	Rotterdam 51°-55' NB 4°-30' OL		H. van Holland 51°-59' NB 4°-07' OL	Uitsluisden 52°-28' NB 4°-35' OL	Den Helder 52°-45' NB 4°-45' OL	W. Terchelling 53°-22' NB 5°-15' OL	Harlingen 53°-10' NB 5°-25' OL	Delfzijl 56°-56' NB 6°-56' OL
A_0 ²⁾	cm	1	-2	-6	-4	-6	19		-3	-3	-7	-4	-1	-1
K_1	H.cm	6	7	6	7	7	6		7	8	8	6	7	6
	x°	29	19	11	22	14	23		2	1	9	23	38	43
O_1	H.cm	11	10	11	11	11	9		11	12	10	9	10	9
	x°	205	197	190	205	206	215		190	194	207	224	238	250
P_1	H.cm	4	4	3	3	3	3		3	3	3	2	2	2
	x°	15	7	0	21	10	39		357	0	12	0	3	3
Q_1	H.cm	3	3	3	2	3	3		3	3	3	3	3	3
	x°	171	154	155	—	150	181		156	159	170	186	204	220
M_2	H.cm	196	183	173	153	138	82		76	69	63	77	80	126
	x°	83	69	60	88	85	144		90	135	194	253	282	334
S_2	H.cm	51	49	48	38	35	18		19	17	18	20	20	31
	x°	146	130	118	152	144	209		151	204	262	317	355	45
N_2	H.cm	29	28	27	23	20	11		10	9	9	12	12	18
	x°	62	48	36	65	56	121		67	118	180	233	266	312
K_2	H.cm	14	14	13	10	10	5		5	6	5	6	6	9
	x°	143	128	116	151	147	210		147	196	258	311	348	39
γ_2	H.cm	10	9	7	8	7	5		4	4	3	4	5	7
	x°	23	9	7	32	61	94		48	81	131	191	214	274
$2MS_2$	H.cm	19	16	13	15	12	10		9	9	8	8	11	14
	x°	180	170	171	191	192	256		209	240	284	337	386	462
L_2	H.cm	15	14	12	12	12	8		7	7	6	6	7	11
	x°	87	74	68	96	98	154		103	139	192	254	280	340
T_2	H.cm	2	2	3	1	2	1		1	1	1	1	2	2
	x°	—	—	120	—	—	—		—	—	—	—	—	—
λ_2	H.cm	7	6	5	6	3	3		3	3	2	2	3	4
	x°	106	92	77	15	100	169		121	145	—	—	314	349
$2SM_2$	H.cm	7	6	4	4	3	2		2	1	2	3	3	4
	x°	3	8	34	13	49	—		—	—	165	221	244	—
$3MS_2$	H.cm	5	4	6	5	3	3		3	2	2	2	2	3
	x°	305	307	296	316	318	347		323	—	—	—	—	188
MK_3	H.cm	3	3	3	2	2	0		1	1	0	0	2	1
	x°	8	336	314	—	—	—		—	—	—	—	—	—
MO_3	H.cm	4	4	3	3	2	1		1	1	1	0	3	2
	x°	214	197	168	213	—	—		—	—	—	95	—	—
M_4	H.cm	10	12	14	10	6	11		17	20	10	5	10	14
	x°	175	136	113	229	194	245		172	196	225	303	108	158
MS_4	H.cm	6	7	7	5	5	7		10	10	5	4	6	8
	x°	235	193	175	282	264	305		255	255	293	357	182	233
MN_4	H.cm	3	3	4	3	3	4		6	6	3	2	3	5
	x°	153	97	100	220	158	224		148	166	202	—	89	140
$3MS_4$	H.cm	2	2	2	2	0	2		2	3	2	2	3	4
	x°	—	—	—	—	—	—		—	297	—	—	208	248
$4MS_4$	H.cm	2	1	1	1	0	1		2	1	2	1	1	1
	x°	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—
M_6	H.cm	10	8	6	6	3	4		2	5	7	4	3	7
	x°	224	166	106	246	190	255		—	302	341	64	259	354
$2MS_6$	H.cm	7	8	10	3	2	3		3	5	6	4	4	6
	x°	267	195	159	304	—	312		168	2	35	141	278	80
$4MS_6$	H.cm	1	1	1	2	0	1		0	2	2	2	1	2
	x°	—	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—
M_8	H.cm	4	1	3	3	3	4		4	4	2	4	4	4
	x°	262	—	86	265	65	262		254	291	—	211	219	198

1) De vermelde harmonische constanten gelden voor de toestand 1955. Zouja voldoende waarnemingen beschikbaar zijn, zullen nieuwe constanten voor Rotterdam geldend voor de toestand met gesloten Haringvlietluisen worden berekend.

De kappagetallen (x) hebben betrekking op MET, welke sinds 1961 voor de peilschrijvers geldt.

2) Berekend voor 1951—1960.

DENMARK; GERMANY; NETHERLANDS

No.	PLACE	M.L. Z ₀ m.	HARMONIC CONSTANTS (Zone -0100)								S.W. CORRECTIONS				
			M ₂ g°	S ₂ H.m.	K ₁ g°	O ₁ H.m.	f ₄	F ₄	f ₆	F ₆					
1412	Hirtshals	0.2	125	0.11	080	0.04	338	0.01	267	0.01	⊙	⊙	⊙	⊙	x
1412a	Hantsholm	0.2	134	0.12	044	0.03	201	0.02	016	0.02	⊙	⊙	⊙	⊙	x
1413	Thyboron	0.2	133	0.16	130	0.02	167	0.02	325	0.04	⊙	⊙	⊙	⊙	x
1417	ESBJERG	0.81	064	0.66	128	0.16	089	0.05	290	0.08	158	0.139	⊙	⊙	
1419	Romo Havn	1.0	056	0.78	126	0.18	045	0.07	286	0.09	⊙	⊙	⊙	⊙	x
1430	Husum	2.09	033	1.41	112	0.38	077	0.05	267	0.09	198	0.064	067	0.015	
1431	HELGOLAND	1.42	341	1.09	048	0.29	036	0.06	249	0.09	242	0.062	⊙	⊙	
1436	Büsum	1.81	006	1.56	077	0.42	047	0.07	260	0.10	189	0.039	⊙	⊙	
1438	CUXHAVEN	1.67	013	1.34	083	0.34	058	0.06	268	0.09	245	0.066	100	0.030	
1439	Brunsbüttel	1.41	048	1.12	121	0.27	070	0.05	272	0.07	256	0.069	067	0.034	
1444	Hamburg	1.26	148	0.82	226	0.19	133	0.05	337	0.07	275	0.219	⊙	⊙	
1451	Bremerhaven	1.98	026	1.52	102	0.37	063	0.08	271	0.09	198	0.063	034	0.020	
1456	Bremen	1.65	084	1.42	168	0.32	092	0.04	281	0.05	274	0.080	060	0.018	
1463	WILHELMSHAVEN	2.0	012	1.54	086	0.40	049	0.07	255	0.09	187	0.049	036	0.023	x
1469	Nordney (Riffgat)	1.37	316	1.01	030	0.26	023	0.06	216	0.08	219	0.045	067	0.056	
1472	Borkum (Fischerbalje)	1.34	298	1.05	003	0.27	020	0.07	231	0.09	187	0.054	082	0.041	
1473	Delfzijl	2.02	334	1.26	045	0.31	043	0.06	250	0.09	211	0.092	078	0.037	
1475	Emden	1.86	340	1.28	058	0.32	032	0.08	234	0.09	198	0.089	071	0.040	
1483	West Terschelling	1.31	253	0.77	317	0.20	023	0.06	224	0.09	154	0.093	031	0.096	
1485	Harlingen	1.25	282	0.80	355	0.20	038	0.07	238	0.10	264	0.162	106	0.067	
1489	Den Helder	1.15	194	0.63	262	0.18	009	0.08	207	0.10	196	0.245	113	0.278	
1501	IJmuiden	1.10	135	0.69	204	0.17	001	0.08	194	0.12	283	0.423	253	0.170	
1505	HOEK VAN HOLLAND	1.00	090	0.76	151	0.19	002	0.07	190	0.11	357	0.306	197	0.091	
1508	Rotterdam	1.14	144	0.82	209	0.18	023	0.06	215	0.09	316	0.178	180	0.075	

⊙ No data.

i Constants inferred.

r Owing to large seasonal variations, see table across.

rc Owing to large fortnightly variations, see Table VI.

x M.L. inferred.

NETHERLANDS; BELGIUM; FRANCE

No.	PLACE	M.L. Z ₀ m.	HARMONIC CONSTANTS (Zone -0100)								S.W. CORRECTIONS			
			M ₂ g°	S ₂ H.m.	K ₁ g°	O ₁ H.m.	1/2-diurnal F ₄	1/2-diurnal F ₆						
1528	Zieriksee	1.81	085	1.38	144	0.35	014	0.07	206	0.11	026	0.036	295	0.011
1530	Wemeldinge	2.12	088	1.53	152	0.38	022	0.07	205	0.11	052	0.042	341	0.015
1534	VLISSINGEN (FLUSHING)	2.44	060	1.73	118	0.48	011	0.06	190	0.10	355	0.045	283	0.016
1536	Terneuzen	2.57	060	1.83	130	0.49	019	0.07	197	0.11	356	0.036	305	0.014
1537	Hansweert	2. .	083	1.96	146	0.51	020	0.06	205	0.11	008	0.027	328	0.013
1539	ANTWERP (PROSPERPOLDER)	2. .	097	2. .	160	0.53	038	0.07	217	0.10	334	0.028	334	0.016
1539a	Boudewijnsluis	2.68	104	2.01	169	0.54	032	0.09	225	0.08	317	0.032	331	0.016
1539b	Royerssluis	2.68	109	2.11	175	0.56	028	0.08	225	0.08	317	0.033	348	0.012
1562	Zeebrugge	2.36	043	1.71	098	0.49	006	0.06	183	0.10	001	0.033	287	0.021
1564	Ostend	2.36	034	1.85	087	0.55	004	0.05	180	0.10	326	0.032	280	0.012
1565	Nieuport	2.37	029	1.95	083	0.58	009	0.05	179	0.09	314	0.033	271	0.008
1568	DUNKERQUE	3.20	020	2.12	073	0.64	014	0.04	173	0.08	297	0.033	236	0.004
1570	CALAIS	4.02	015	2. .	069	0.76	076	0.02	161	0.04	279	0.040	188	0.004
1572	BOULOGNE	5.01	359	2.93	051	0.96	145	0.05	091	0.04	283	0.038	177	0.003
1578	Le Treport	5.02	351	3.13	031	1.17	144	0.07	043	0.04	309	0.034	164	0.002
1579	DIEPPE	4.97	340	3.10	031	1.01	143	0.07	054	0.05	283	0.026	083	0.001
1581	Fecamp	4.47	327	2.69	015	0.87	139	0.08	041	0.04	242	0.018	105	0.003
1581a	Antifer	4.73	324	2.61	004	0.97	139	0.08	041	0.04	244	0.013	153	0.008
1582	LE HAVRE	4.87	315	2. .	003	0.88	136	0.10	027	0.06	229	0.032	151	0.006
1590	Trouville	4.50	310	2.48	350	0.92	130	0.09	017	0.06	289	0.040	245	0.008
1592	Ouistreham	4.30	313	2.48	353	0.92	125	0.09	016	0.06	296	0.035	219	0.007
1594	Port-en-Bessin	4.22	299	2.32	339	0.86	125	0.09	016	0.06	270	0.040	206	0.006
1598	St. Vaast	3.80	292	2.08	332	0.77	125	0.09	016	0.06	279	0.040	233	0.006
1599	Barfleur	3.94	290	1.96	334	0.64	127	0.09	008	0.06	216	0.029	⊙	⊙
1600	CHERBOURG	3.78	258	1.86	300	0.68	121	0.11	005	0.07	260	0.038	128	0.004
1601	Omonville	3.76	253	2.19	293	0.81	125	0.09	016	0.06	262	0.021	157	0.005
1602	Goury	4.84	232	2.45	272	0.90	125	0.09	016	0.06	177	0.035	170	0.007

SEASONAL CHANGES IN MEAN LEVEL AND HARMONIC CONSTANTS

No.	Jan. 1	Feb. 1	Mar. 1	Apr. 1	May 1	June 1	July 1	Aug. 1	Sep. 1	Oct. 1	Nov. 1	Dec. 1	Jan. 1
1412-1437	+0.1	+0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	+0.1	+0.1
1438-1448	+0.1	+0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	+0.1	+0.1	+0.1
1449-1470							Negligible						
1471-1475	+0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	+0.1	+0.1	+0.1
1477-1521	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	+0.1	+0.1	0.0
1528-1571	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	+0.1	+0.1	+0.1	0.0
1572-1581a	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	+0.1	+0.1	0.0	0.0	0.0
1582-1602	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	+0.1	+0.1	+0.1	0.0
1539 M ₂	2.08	2.09	2.06	2.05	2.07	2.11	2.12	2.08	2.02	2.00	1.99	2.04	2.08
1570 M ₂	2.51	2.46	2.42	2.41	2.41	2.41	2.38	2.37	2.39	2.45	2.51	2.53	2.51
1582 M ₂	2.65	2.64	2.64	2.65	2.65	2.64	2.60	2.56	2.55	2.58	2.62	2.64	2.65

NETHERLANDS - HOEK VAN HOLLAND

LAT 51°59'N LONG 4°07'E

TIME ZONE -0100

TIMES AND HEIGHTS OF HIGH AND LOW WATERS

YEAR 1986

MAY				JUNE				JULY				AUGUST			
TIME	M	TIME	M	TIME	M	TIME	M	TIME	M	TIME	M	TIME	M	TIME	M
1 0107	0.2	16 0054	0.3	1 0459	0.2	16 0156	0.2	1 0353	0.3	16 0217	0.2	1 0520	0.5	16 0448	0.5
0758	2.0	0653	1.9	1003	2.0	0900	2.0	1018	2.0	0920	2.1	1153	1.8	1116	1.9
TH 1439	0.4	F 1426	0.5	SU 1810	0.5	M 1631	0.5	TU 1810	0.6	W 1540	0.6	F 1754	0.5	SA 1720	0.6
2040	1.6	1942	1.6	2237	1.7	2123	1.7	2251	1.8	2148	1.9			2349	2.0
2 0215	0.2	17 0144	0.3	2 0602	0.2	17 0253	0.2	2 0451	0.3	17 0330	0.3	2 0013	1.8	17 0556	0.5
0924	2.0	0834	1.8	1103	2.0	1002	2.1	1120	1.9	1025	2.1	0618	0.5	1230	1.9
F 1718	0.5	SA 1529	0.5	M 1906	0.5	TU 1749	0.5	W 1858	0.5	TH 1629	0.6	SA 1254	1.8	SU 1814	0.5
2205	1.6	2056	1.6	2335	1.8	2231	1.8	2348	1.8	2300	1.9	1845	0.5		
3 0515	0.3	18 0238	0.3	3 0659	0.3	18 0355	0.3	3 0546	0.4	18 0445	0.3	3 0105	1.9	18 0050	2.2
1039	2.0	0945	1.9	1156	2.0	1102	2.1	1217	1.9	1132	2.0	0710	0.6	0906	0.6
SA 1848	0.5	SU 1645	0.5	TU 1959	0.5	W 1907	0.5	TH 1951	0.5	F 1728	0.5	SU 1343	1.9	M 1330	1.9
2318	1.6	2206	1.6			2335	1.9					1927	0.5	1853	0.5
4 0635	0.2	19 0339	0.3	4 0025	1.9	19 0456	0.3	4 0039	1.9	19 0004	2.0	4 0148	2.0	19 0143	2.3
1140	2.0	1049	2.0	0609	0.3	1159	2.2	0637	0.4	0549	0.4	0754	0.6	0955	0.6
SU 2004	0.4	M 1914	0.5	W 1244	2.0	TH 2010	0.5	F 1309	1.9	SA 1235	2.0	M 1421	1.9	TU 1420	2.0
		2320	1.7	2047	0.5			1907	0.5	1820	0.5	2003	0.5	O 1929	0.4
5 0013	1.8	20 0438	0.3	5 0108	1.9	20 0028	2.0	5 0124	1.9	20 0059	2.1	5 0225	2.1	20 0229	2.3
0816	0.2	1145	2.1	0651	0.4	0551	0.3	0726	0.5	0644	0.5	0831	0.6	1036	0.7
M 1230	2.1	TU 2018	0.4	TH 1327	2.0	F 1252	2.2	SA 1355	1.9	SU 1332	2.0	TU 1453	2.0	W 1502	2.0
2053	0.4			2131	0.4	1826	0.5	1949	0.4	1904	0.4	● 2026	0.4	2026	0.3
6 0059	1.9	21 0015	1.8	6 0147	2.0	21 0117	2.1	6 0204	2.0	21 0150	2.2	6 0258	2.1	21 0312	2.3
0921	0.2	0526	0.3	0735	0.4	0642	0.3	0815	0.5	1007	0.5	1050	0.7	1120	0.7
TU 1312	2.1	W 1232	2.2	F 1407	2.0	SA 1342	2.1	SU 1434	1.9	M 1425	2.0	W 1522	2.0	TH 1541	2.1
2123	0.5	2108	0.4	2011	0.4	1909	0.4	2031	0.4	O 1944	0.4	2041	0.4	2044	0.3
7 0140	2.0	22 0100	1.9	7 0222	2.0	22 0204	2.2	7 0240	2.0	22 0239	2.3	7 0330	2.2	22 0353	2.3
0705	0.3	0610	0.2	0831	0.4	0729	0.4	0916	0.6	1055	0.5	1116	0.7	1208	0.7
W 1351	2.1	TH 1317	2.2	SA 1445	2.0	SU 1431	2.1	M 1508	2.0	TU 1514	2.0	TH 1553	2.0	F 1619	2.1
2151	0.5	2148	0.5	● 2105	0.4	O 1951	0.4	● 2111	0.4	2023	0.3	2106	0.3	2125	0.3
8 0214	2.0	23 0142	2.1	8 0257	2.0	23 0250	2.3	8 0315	2.1	23 0326	2.3	8 0402	2.3	23 0435	2.3
0741	0.3	0654	0.2	1001	0.5	1113	0.4	1038	0.6	1143	0.6	1157	0.6	1257	0.7
TH 1428	2.1	F 1401	2.2	SU 1521	2.0	M 1521	2.0	TU 1541	2.0	W 1601	2.0	F 1625	2.1	SA 1657	2.2
● 2224	0.4	O 1921	0.4	2211	0.4	2035	0.3	2126	0.4	2104	0.2	2138	0.3	2209	0.3
9 0247	2.1	24 0224	2.2	9 0331	2.1	24 0337	2.3	9 0349	2.1	24 0413	2.3	9 0436	2.3	24 0518	2.2
0818	0.4	0737	0.2	1114	0.5	1201	0.5	1135	0.6	1232	0.6	1240	0.6	1343	0.7
F 1503	2.1	SA 1446	2.2	M 1555	2.0	TU 1612	2.0	W 1613	2.0	TH 1645	2.0	SA 1659	2.1	SU 1735	2.2
2304	0.4	2021	0.4	2334	0.3	2121	0.2	2142	0.3	2149	0.2	2213	0.3	2258	0.3
10 0319	2.1	25 0307	2.3	10 0405	2.1	25 0425	2.3	10 0422	2.2	25 0500	2.3	10 0513	2.3	25 0601	2.2
1117	0.4	0822	0.3	1201	0.5	1250	0.5	1219	0.6	1322	0.7	1323	0.6	1235	0.7
SA 1538	2.0	SU 1532	2.1	TU 1627	1.9	W 1704	1.7	TH 1646	1.9	F 1728	2.0	SU 1735	2.1	M 1815	2.2
2343	0.3	2045	0.3			2211	0.2	2213	0.3	2238	0.2	2252	0.3	2358	0.4
11 0352	2.1	26 0350	2.3	11 0020	0.3	26 0518	2.3	11 0456	2.2	26 0550	2.2	11 0553	2.3	26 0644	2.1
1155	0.4	1215	0.3	0438	2.1	1340	0.5	1302	0.6	1413	0.7	1405	0.6	1259	0.6
SU 1612	2.0	M 1619	2.0	W 1239	0.5	TH 1757	1.9	F 1721	1.9	SA 1811	2.1	M 1814	2.1	TU 1858	2.1
		2133	0.3	1659	1.9	2305	0.1	2249	0.3	2333	0.2	2336	0.2		
12 0015	0.3	27 0436	2.3	12 0102	0.3	27 0619	2.2	12 0533	2.2	27 0640	2.2	12 0638	2.2	27 0110	0.4
0425	2.1	1300	0.4	0511	2.1	1433	0.6	1345	0.5	1458	0.7	1445	0.6	0730	2.0
M 1229	0.4	TU 1710	1.9	TH 1315	0.5	F 1848	1.9	SA 1759	1.9	SU 1856	2.0	TU 1858	2.1	W 1341	0.6
1643	1.9	2228	0.2	1735	1.8			2328	0.2					1945	2.0
13 0044	0.3	28 0527	2.2	13 0001	0.3	28 0007	0.1	13 0616	2.2	28 0040	0.2	13 0030	0.3	28 0219	0.5
0456	2.1	1348	0.4	0549	2.1	0720	2.2	1429	0.5	0730	2.1	0732	2.2	0819	1.9
TU 1259	0.4	W 1810	1.8	F 1354	0.5	SA 1533	0.6	SU 1842	1.9	M 1351	0.6	W 1511	0.6	TH 1433	0.6
1712	1.9	2331	0.2	1818	1.8	1939	1.9			1943	2.0	1954	2.0	2044	1.8
14 0109	0.3	29 0631	2.2	14 0014	0.2	29 0116	0.2	14 0014	0.2	29 0157	0.3	14 0204	0.3	29 0344	0.5
0527	2.0	1440	0.5	0636	2.0	0816	2.1	0707	2.1	0821	2.0	0841	2.0	0915	1.7
W 1326	0.4	TH 1915	1.8	SA 1438	0.5	SU 1633	0.6	M 1514	0.6	TU 1438	0.6	TH 1505	0.6	F 1623	0.6
1746	1.8			1912	1.7	2034	1.8	1933	1.9	2035	1.9	2110	2.0	2206	1.7
15 0007	0.3	30 0037	0.1	15 0103	0.2	30 0240	0.2	15 0109	0.2	30 0312	0.3	15 0333	0.4	30 0451	0.6
0604	2.0	0752	2.1	0745	2.0	0914	2.0	0812	2.1	0915	1.9	0956	1.9	1122	1.7
TH 1349	0.4	F 1548	0.5	SU 1529	0.5	M 1723	0.6	TU 1600	0.6	W 1540	0.6	F 1606	0.6	SA 1728	0.6
1831	1.7	2017	1.7	2017	1.7	2141	1.8	2037	1.9	2141	1.8	2235	1.9	2344	1.8
		31 0147	0.2							31 0419	0.4			31 0552	0.7
		0857	2.0							1031	1.8			1231	1.7
		SA 1707	0.5							TH 1650	0.6			SU 1820	0.6
		2127	1.7							2308	1.7				

LOW WATERS - IMPORTANT NOTE. DOUBLE LOW WATERS OFTEN OCCUR AT HOEK VAN HOLLAND. ON THESE OCCASIONS THE PREDICTIONS ARE FOR THE FIRST LOW WATER. THE SECOND LOW WATER OCCURS ABOUT 2 HOURS 15 MINUTES LATER.

TABLE VIII

ASTRONOMICAL ARGUMENTS

1980

JANUARY										FEBRUARY									
F	1.03	1.00	1.03	0.78	0.90	0.84	1.00	1.07	1.03	F	1.03	1.00	1.03	0.78	0.90	0.84	1.00	1.07	1.03
DAY	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4	DAY	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
1	042	000	314	191	005	040	350	085	042	1	006	000	233	251	035	334	320	013	006
2	018	000	276	193	006	015	349	036	018	2	342	000	195	253	036	308	319	324	342
3	354	000	239	195	007	349	348	347	354	3	318	000	158	255	037	283	318	275	318
4	329	000	201	197	008	324	347	298	329	4	293	000	120	257	038	258	317	227	293
5	305	000	164	199	009	298	346	250	305	5	269	000	083	259	039	232	316	178	269
6	280	000	126	200	010	273	345	201	280	6	245	000	046	261	040	207	315	129	245
7	256	000	089	202	011	248	344	152	256	7	220	000	008	263	041	182	314	080	220
8	232	000	052	204	012	222	343	103	232	8	196	000	331	265	042	156	313	031	196
9	207	000	014	206	013	197	342	054	207	9	171	000	293	267	043	131	312	343	171
10	183	000	337	208	014	172	341	006	183	10	147	000	256	269	044	106	311	294	147
11	158	000	299	210	015	146	340	317	158	11	123	000	218	271	045	080	310	245	123
12	134	000	262	212	016	121	339	268	134	12	098	000	181	273	046	055	309	196	098
13	110	000	224	214	017	096	338	219	110	13	074	000	143	275	047	030	308	148	074
14	085	000	187	216	018	070	337	171	085	14	049	000	106	277	048	004	307	099	049
15	061	000	149	218	019	045	336	122	061	15	025	000	068	279	049	339	306	050	025
16	037	000	112	220	020	020	335	073	037	16	001	000	031	281	050	313	305	001	001
17	012	000	074	222	021	354	334	024	012	17	336	000	354	283	051	288	304	313	336
18	348	000	037	224	022	329	333	336	348	18	312	000	316	285	052	263	303	264	312
19	323	000	360	226	023	303	332	287	323	19	288	000	279	287	053	237	302	215	288
20	299	000	322	228	024	278	331	238	299	20	263	000	241	289	054	212	301	166	263
21	275	000	285	230	025	253	330	189	275	21	239	000	204	290	055	187	300	118	239
22	250	000	247	232	026	227	329	141	250	22	214	000	166	292	056	161	299	069	214
23	226	000	210	234	027	202	328	092	226	23	190	000	129	294	057	136	298	020	190
24	201	000	172	236	028	177	328	043	201	24	166	000	091	296	058	111	297	331	166
25	177	000	135	238	028	151	327	354	177	25	141	000	054	298	059	085	296	282	141
26	153	000	097	240	029	126	326	305	153	26	117	000	017	300	060	060	295	234	117
27	128	000	060	242	030	101	325	257	128	27	092	000	339	302	061	034	294	185	092
28	104	000	023	244	031	075	324	208	104	28	068	000	302	304	062	009	293	136	068
29	080	000	345	245	032	050	323	159	080	29	044	000	264	306	063	344	292	087	044
30	055	000	308	247	033	025	322	110	055										
31	031	000	270	249	034	359	321	062	031										

MARCH										APRIL									
F	1.03	1.00	1.03	0.79	0.91	0.84	1.00	1.06	1.03	F	1.03	1.00	1.03	0.79	0.91	0.85	1.00	1.06	1.03
DAY	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4	DAY	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4
1	019	000	227	308	064	318	291	039	019	1	343	000	146	009	094	252	260	327	343
2	355	000	189	310	065	293	290	350	355	2	319	000	108	011	095	227	260	278	319
3	331	000	152	312	066	268	289	301	331	3	295	000	071	013	096	202	259	229	295
4	306	000	114	314	067	242	288	252	306	4	270	000	034	015	097	176	258	181	270
5	282	000	077	316	068	217	287	204	282	5	246	000	356	017	098	151	257	132	246
6	257	000	040	318	069	192	286	155	257	6	222	000	319	019	099	126	256	083	222
7	233	000	002	320	070	166	285	106	233	7	197	000	281	021	100	100	255	034	197
8	209	000	325	322	071	141	284	057	209	8	173	000	244	022	101	075	254	346	173
9	184	000	287	324	072	116	283	009	184	9	148	000	206	024	102	049	253	297	148
10	160	000	250	326	073	090	282	320	160	10	124	000	169	026	103	024	252	248	124
11	135	000	212	328	073	065	281	271	135	11	100	000	131	028	104	359	251	199	100
12	111	000	175	330	074	039	280	222	111	12	075	000	094	030	105	333	250	150	075
13	087	000	137	332	075	014	279	173	087	13	051	000	056	032	106	308	249	102	051
14	062	000	100	334	076	349	278	125	062	14	026	000	019	034	107	283	248	053	026
15	038	000	062	335	077	323	277	076	038	15	002	000	342	036	108	257	247	004	002
16	014	000	025	337	078	298	276	027	014	16	338	000	304	038	109	232	246	315	338
17	349	000	348	339	079	273	275	338	349	17	313	000	267	040	110	207	245	267	313
18	325	000	310	341	080	247	274	290	325	18	289	000	229	042	111	181	244	218	289
19	300	000	273	343	081	222	273	241	300	19	265	000	192	044	112	156	243	169	265
20	276	000	235	345	082	197	272	192	276	20	240	000	154	046	113	131	242	120	240
21	252	000	198	347	083	171	271	143	252	21	216	000	117	048	114	105	241	072	216
22	227	000	160	349	084	146	270	095	227	22	191	000	079	050	115	080	240	023	191
23	203	000	123	351	085	121	269	046	203	23	167	000	042	052	116	054	239	334	167
24	179	000	085	353	086	095	268	357	179	24	143	000	005	054	117	029	238	285	143
25	154	000	048	355	087	070	267	308	154	25	118	000	327	056	118	004	237	236	118
26	130	000	011	357	088	044	266	259	130	26	094	000	290	058	118	338	236	188	094
27	105	000	333	359	089	019	265	211	105	27	069	000	252	060	119	313	235	139	069
28	081	000	296	001	090	354	264	162	081	28	045	000	215	062	120	288	234	090	045
29	057	000	258	003	091	328	263	113	057	29	021	000	177	064	121	262	233	041	021
30	032	000	221	005	092	303	262	064	032	30	356	000	140	066	122	237	232	353	356
31	008	000	183	007	093	278	261	016	008										

XLVI

TABLE VII

TIDAL ANGLES AND FACTORS

1980

JANUARY										FEBRUARY									
DAY	M2		S2		K1		O1		DAY	M2		S2		K1		O1			
	A	F	A	F	A	F	A	F		A	F	A	F	A	F	A	F		
1	327	1.04	002	0.84	001	1.27	330	0.84	1	001	0.94	013	1.00	344	0.93	034	0.76		
2	352	1.02	003	0.84	001	1.24	355	0.82	2	024	0.92	013	1.01	342	0.91	057	0.75		
3	015	0.99	003	0.85	001	1.21	020	0.80	3	046	0.91	013	1.01	341	0.90	081	0.74		
4	039	0.97	004	0.85	000	1.18	044	0.78	4	068	0.90	014	1.02	339	0.89	104	0.73		
5	062	0.94	004	0.85	359	1.15	068	0.76	5	090	0.89	014	1.03	338	0.90	127	0.72		
6	085	0.92	005	0.85	359	1.12	092	0.75	6	112	0.89	014	1.04	337	0.91	150	0.72		
7	107	0.91	005	0.86	358	1.10	115	0.73	7	134	0.89	014	1.04	337	0.92	172	0.72		
8	129	0.89	006	0.86	357	1.09	138	0.72	8	155	0.90	014	1.05	336	0.94	195	0.73		
9	151	0.89	006	0.86	356	1.08	161	0.72	9	177	0.93	014	1.06	336	0.97	217	0.75		
10	172	0.89	007	0.87	355	1.09	183	0.72	10	199	0.96	014	1.06	336	0.99	241	0.78		
11	194	0.91	007	0.87	354	1.10	206	0.73	11	223	1.01	014	1.07	336	1.01	265	0.82		
12	216	0.93	008	0.88	353	1.12	229	0.76	12	247	1.06	014	1.08	336	1.03	290	0.86		
13	238	0.97	008	0.88	352	1.15	253	0.78	13	272	1.11	014	1.08	336	1.04	316	0.91		
14	262	1.01	009	0.89	352	1.18	277	0.82	14	298	1.17	013	1.09	336	1.05	343	0.95		
15	286	1.06	009	0.89	351	1.21	302	0.86	15	325	1.21	013	1.10	336	1.04	011	0.98		
16	311	1.10	009	0.90	351	1.24	328	0.89	16	352	1.24	013	1.10	335	1.02	040	1.01		
17	337	1.14	010	0.90	350	1.26	355	0.93	17	020	1.26	013	1.11	335	1.00	068	1.03		
18	004	1.18	010	0.91	350	1.28	023	0.96	18	048	1.27	013	1.12	334	0.96	097	1.03		
19	031	1.21	010	0.91	350	1.29	051	0.98	19	076	1.26	013	1.12	333	0.92	126	1.03		
20	058	1.22	011	0.92	350	1.29	079	0.99	20	104	1.24	013	1.13	331	0.88	155	1.01		
21	085	1.23	011	0.93	350	1.28	107	1.00	21	131	1.21	013	1.13	330	0.83	183	0.98		
22	113	1.22	011	0.93	350	1.27	135	0.99	22	158	1.17	013	1.14	328	0.78	211	0.95		
23	140	1.20	012	0.94	350	1.24	164	0.98	23	184	1.12	012	1.14	326	0.74	238	0.91		
24	166	1.18	012	0.95	350	1.21	191	0.95	24	209	1.07	012	1.15	324	0.70	264	0.87		
25	193	1.14	012	0.95	350	1.17	219	0.93	25	233	1.02	012	1.15	321	0.67	289	0.83		
26	218	1.11	012	0.96	350	1.14	245	0.90	26	257	0.98	012	1.16	318	0.64	314	0.80		
27	244	1.07	013	0.97	349	1.09	271	0.87	27	279	0.95	012	1.16	315	0.63	337	0.77		
28	268	1.03	013	0.97	349	1.05	297	0.84	28	302	0.93	011	1.17	312	0.63	001	0.76		
29	292	1.00	013	0.98	348	1.02	322	0.81	29	324	0.91	011	1.17	310	0.63	024	0.74		
30	315	0.97	013	0.99	347	0.98	346	0.79											
31	338	0.95	013	0.99	346	0.95	010	0.77											
MARCH										APRIL									
DAY	M2		S2		K1		O1		DAY	M2		S2		K1		O1			
	A	F	A	F	A	F	A	F		A	F	A	F	A	F	A	F		
1	346	0.90	011	1.18	308	0.63	047	0.74	1	015	0.89	002	1.22	258	0.64	106	0.73		
2	008	0.90	011	1.18	307	0.65	070	0.73	2	037	0.90	001	1.21	259	0.64	129	0.74		
3	030	0.89	011	1.19	306	0.66	093	0.73	3	059	0.90	001	1.21	260	0.63	152	0.74		
4	052	0.89	010	1.19	306	0.67	116	0.73	4	081	0.91	001	1.21	260	0.62	175	0.75		
5	074	0.89	010	1.19	306	0.69	139	0.73	5	103	0.93	000	1.21	260	0.61	198	0.76		
6	096	0.89	010	1.20	307	0.70	162	0.73	6	125	0.96	000	1.20	259	0.60	221	0.78		
7	118	0.90	010	1.20	307	0.71	184	0.74	7	148	0.99	000	1.20	258	0.59	245	0.82		
8	139	0.92	009	1.20	308	0.72	207	0.75	8	172	1.04	359	1.20	255	0.59	270	0.85		
9	162	0.96	009	1.21	309	0.73	230	0.78	9	197	1.09	359	1.19	252	0.59	296	0.90		
10	185	1.00	009	1.21	309	0.73	254	0.82	10	222	1.14	359	1.19	248	0.59	322	0.94		
11	209	1.05	008	1.21	309	0.72	279	0.86	11	249	1.19	358	1.19	244	0.61	350	0.98		
12	234	1.11	008	1.21	308	0.71	305	0.91	12	276	1.23	358	1.18	240	0.63	018	1.01		
13	260	1.16	008	1.22	307	0.70	332	0.95	13	304	1.26	358	1.18	235	0.66	046	1.03		
14	286	1.21	008	1.22	305	0.68	000	0.99	14	332	1.27	357	1.17	231	0.69	075	1.05		
15	314	1.25	007	1.22	302	0.65	028	1.02	15	000	1.27	357	1.17	228	0.73	104	1.05		
16	342	1.28	007	1.22	299	0.62	057	1.04	16	028	1.26	357	1.16	225	0.77	133	1.04		
17	010	1.29	007	1.22	294	0.60	086	1.05	17	055	1.23	357	1.16	222	0.81	162	1.02		
18	038	1.28	006	1.22	288	0.57	115	1.05	18	082	1.20	356	1.15	221	0.84	190	0.98		
19	066	1.27	006	1.22	283	0.56	144	1.04	19	109	1.15	356	1.15	220	0.86	218	0.94		
20	094	1.23	006	1.23	276	0.54	173	1.01	20	135	1.09	356	1.14	219	0.88	244	0.90		
21	121	1.19	005	1.23	271	0.54	201	0.97	21	160	1.04	355	1.14	219	0.89	270	0.86		
22	147	1.14	005	1.23	265	0.55	229	0.93	22	183	0.99	355	1.13	219	0.89	295	0.81		
23	173	1.08	005	1.23	261	0.56	255	0.89	23	206	0.94	355	1.12	219	0.89	319	0.78		
24	197	1.03	004	1.23	258	0.57	281	0.84	24	228	0.91	354	1.12	220	0.88	342	0.75		
25	221	0.98	004	1.22	256	0.58	305	0.80	25	250	0.89	354	1.11	221	0.87	004	0.74		
26	243	0.94	004	1.22	255	0.60	329	0.77	26	271	0.89	354	1.11	222	0.86	027	0.73		
27	266	0.91	003	1.22	254	0.61	352	0.75	27	293	0.89	354	1.10	222	0.84	050	0.73		
28	287	0.90	003	1.22	255	0.62	014	0.74	28	315	0.89	353	1.09	223	0.83	072	0.74		
29	309	0.89	003	1.22	255	0.63	037	0.73	29	337	0.90	353	1.09	222	0.81	096	0.74		
30	331	0.89	002	1.22	256	0.64	060	0.73	30	359	0.91	353	1.08	222	0.80	119	0.75		
31	353	0.89	002	1.22	257	0.64	083	0.73											

XLII

TABLE VII

TIDAL ANGLES AND FACTORS

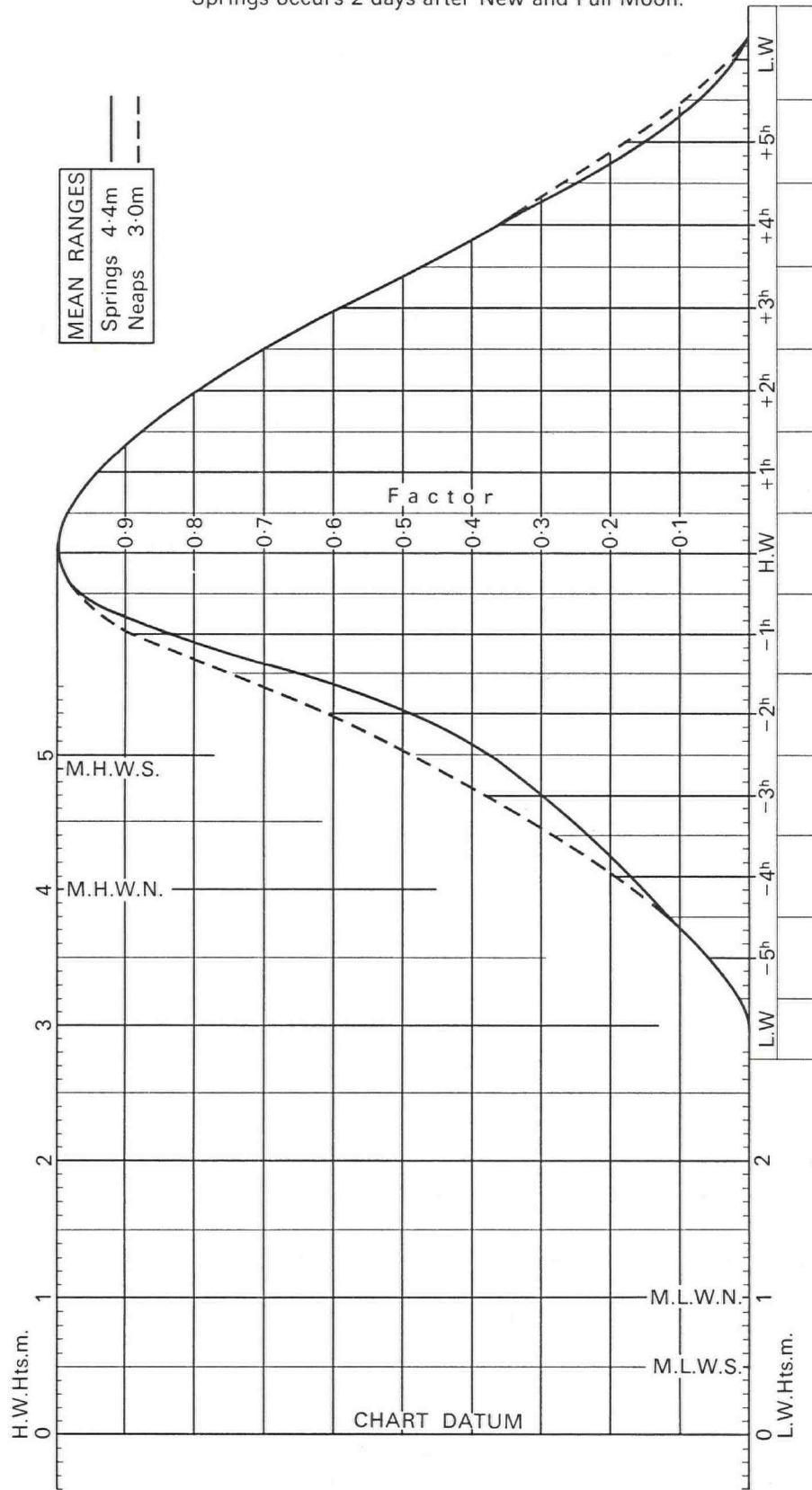
1980

SEPTEMBER										OCTOBER									
M2		S2		K1		O1		M2		S2		K1		O1					
DAY	A	F	A	F	A	F	A	F	DAY	A	F	A	F	A	F				
1	157	1.18	006	1.11	135	0.88	037	0.99	1	174	1.11	356	1.22	085	0.66	083	0.94		
2	183	1.14	006	1.12	135	0.85	065	0.96	2	199	1.05	355	1.22	084	0.63	109	0.89		
3	209	1.09	006	1.12	134	0.81	091	0.92	3	223	1.00	355	1.22	082	0.59	134	0.85		
4	234	1.05	005	1.13	134	0.78	117	0.88	4	246	0.96	355	1.22	079	0.56	158	0.82		
5	258	1.01	005	1.14	134	0.74	142	0.85	5	268	0.93	354	1.22	076	0.54	182	0.79		
6	281	0.97	005	1.14	134	0.70	167	0.82	6	290	0.91	354	1.22	073	0.52	205	0.77		
7	304	0.95	004	1.15	133	0.66	190	0.80	7	312	0.90	354	1.22	070	0.51	228	0.76		
8	327	0.93	004	1.15	132	0.63	214	0.78	8	334	0.89	353	1.22	066	0.50	250	0.76		
9	349	0.91	004	1.16	130	0.59	237	0.77	9	356	0.89	353	1.22	063	0.50	273	0.75		
10	011	0.90	003	1.16	128	0.56	260	0.76	10	018	0.89	353	1.22	059	0.52	297	0.75		
11	034	0.90	003	1.17	126	0.54	284	0.76	11	040	0.89	352	1.22	057	0.53	320	0.75		
12	056	0.89	003	1.17	123	0.52	307	0.75	12	062	0.89	352	1.21	054	0.55	343	0.75		
13	078	0.88	002	1.18	120	0.51	330	0.75	13	084	0.89	352	1.21	053	0.58	005	0.76		
14	100	0.88	002	1.18	117	0.51	353	0.75	14	106	0.91	351	1.21	052	0.61	028	0.77		
15	121	0.89	001	1.18	114	0.52	015	0.75	15	128	0.93	351	1.21	051	0.65	051	0.79		
16	143	0.90	001	1.19	111	0.53	038	0.76	16	150	0.96	351	1.21	051	0.69	074	0.82		
17	165	0.93	001	1.19	108	0.55	061	0.79	17	173	1.01	350	1.20	051	0.72	099	0.86		
18	187	0.97	000	1.19	106	0.58	084	0.82	18	197	1.06	350	1.20	051	0.76	124	0.90		
19	210	1.02	000	1.20	104	0.61	108	0.86	19	223	1.11	350	1.20	051	0.80	150	0.95		
20	235	1.07	000	1.20	102	0.64	134	0.91	20	249	1.16	350	1.19	051	0.84	177	0.99		
21	260	1.13	359	1.20	101	0.68	160	0.95	21	276	1.21	349	1.19	050	0.87	205	1.03		
22	287	1.18	359	1.21	099	0.71	188	1.00	22	303	1.25	349	1.19	050	0.90	233	1.06		
23	314	1.22	359	1.21	097	0.73	216	1.03	23	331	1.27	349	1.18	049	0.91	262	1.08		
24	341	1.25	358	1.21	096	0.75	244	1.06	24	359	1.28	348	1.18	048	0.93	291	1.09		
25	009	1.27	358	1.21	094	0.76	273	1.08	25	027	1.27	348	1.18	047	0.93	320	1.08		
26	037	1.28	356	1.21	093	0.76	302	1.08	26	055	1.25	348	1.17	046	0.92	349	1.07		
27	066	1.27	357	1.22	092	0.75	331	1.07	27	083	1.22	348	1.17	044	0.91	018	1.04		
28	093	1.24	357	1.22	090	0.74	000	1.05	28	110	1.17	347	1.16	043	0.90	046	1.00		
29	121	1.20	356	1.22	089	0.72	028	1.02	29	136	1.12	347	1.16	041	0.87	073	0.96		
30	148	1.16	356	1.22	087	0.69	056	0.98	30	162	1.07	347	1.15	039	0.85	100	0.91		
									31	186	1.01	347	1.15	037	0.83	125	0.86		
NOVEMBER										DECEMBER									
M2		S2		K1		O1		M2		S2		K1		O1					
DAY	A	F	A	F	A	F	A	F	DAY	A	F	A	F	A	F				
1	209	0.96	347	1.14	035	0.81	149	0.82	1	216	0.90	347	0.94	013	1.06	185	0.78		
2	232	0.93	346	1.14	033	0.80	173	0.79	2	237	0.89	347	0.93	012	1.06	208	0.76		
3	253	0.90	346	1.13	031	0.79	195	0.77	3	259	0.88	347	0.92	011	1.06	230	0.76		
4	275	0.89	346	1.12	029	0.79	218	0.76	4	280	0.88	347	0.92	010	1.07	253	0.76		
5	297	0.88	346	1.12	027	0.79	241	0.75	5	302	0.89	348	0.91	009	1.08	276	0.77		
6	318	0.88	346	1.11	025	0.81	263	0.75	6	325	0.90	348	0.90	008	1.10	299	0.78		
7	340	0.89	346	1.11	024	0.83	286	0.76	7	347	0.92	348	0.90	008	1.13	322	0.79		
8	003	0.89	346	1.10	023	0.85	309	0.76	8	010	0.93	349	0.89	007	1.16	346	0.80		
9	025	0.90	345	1.09	022	0.88	333	0.77	9	033	0.95	349	0.89	007	1.19	010	0.82		
10	047	0.91	345	1.09	022	0.91	356	0.78	10	056	0.97	349	0.88	007	1.22	034	0.83		
11	069	0.92	345	1.08	022	0.95	019	0.79	11	079	0.99	350	0.88	007	1.26	058	0.85		
12	092	0.94	345	1.07	022	0.98	042	0.80	12	103	1.02	350	0.87	007	1.29	083	0.88		
13	114	0.97	345	1.07	022	1.02	066	0.83	13	127	1.06	351	0.87	007	1.31	108	0.91		
14	138	1.00	345	1.06	022	1.05	090	0.86	14	152	1.09	351	0.86	007	1.34	134	0.94		
15	162	1.05	345	1.05	023	1.09	115	0.90	15	178	1.12	352	0.86	008	1.36	161	0.97		
16	187	1.09	345	1.05	023	1.12	141	0.94	16	204	1.15	352	0.85	008	1.38	188	0.99		
17	212	1.14	345	1.04	023	1.15	168	0.97	17	231	1.18	353	0.85	008	1.39	215	1.01		
18	239	1.18	345	1.03	024	1.18	195	1.01	18	257	1.20	353	0.84	008	1.40	243	1.03		
19	266	1.22	345	1.02	024	1.20	223	1.04	19	285	1.21	354	0.84	008	1.40	271	1.04		
20	293	1.24	345	1.02	024	1.22	252	1.06	20	312	1.20	354	0.84	008	1.39	300	1.04		
21	321	1.25	345	1.01	023	1.23	281	1.07	21	339	1.19	355	0.84	008	1.38	328	1.03		
22	349	1.25	345	1.00	023	1.23	309	1.07	22	006	1.17	355	0.83	007	1.36	355	1.01		
23	017	1.24	345	0.99	022	1.22	338	1.06	23	032	1.14	356	0.83	007	1.33	023	0.98		
24	044	1.21	345	0.99	021	1.21	007	1.03	24	058	1.10	357	0.83	006	1.30	050	0.95		
25	071	1.17	345	0.98	020	1.19	034	1.00	25	083	1.06	357	0.83	005	1.27	076	0.91		
26	097	1.12	346	0.97	019	1.17	062	0.96	26	108	1.01	358	0.83	004	1.23	102	0.87		
27	123	1.07	346	0.97	018	1.14	088	0.92	27	132	0.97	358	0.83	003	1.20	126	0.84		
28	147	1.02	346	0.96	016	1.12	114	0.87	28	155	0.94	359	0.83	003	1.18	150	0.81		
29	171	0.97	346	0.95	015	1.10	138	0.83	29	177	0.91	000	0.82	002	1.15	173	0.78		
30	194	0.93	346	0.94	014	1.08	162	0.80	30	199	0.89	000	0.83	001	1.14	196	0.77		
									31	220	0.88	001	0.83	000	1.13	219	0.76		

VLISSINGEN (FLUSHING)

MEAN SPRING AND NEAP CURVES

Springs occurs 2 days after New and Full Moon.



IJMUIDEN-BUITENHAVEN

Uurstanden in dm t.o.v. LLWS

Tijden in MET

JUNI 1986

Dag	Uur																							
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01	13	10	8	7	6	4	2	3	6	12	17	20	19	17	15	13	10	8	6	4	4	7	11	15
02	16	13	11	9	8	7	4	2	3	6	11	17	19	19	17	15	13	10	8	5	4	4	7	11
03	16	17	14	12	9	8	7	5	2	2	5	11	17	20	19	17	15	12	10	8	5	3	4	6
04	11	17	17	15	12	10	9	7	5	3	3	5	11	17	20	19	16	14	11	10	7	4	3	4
05	7	13	19	18	15	12	10	9	7	4	3	3	6	12	19	20	18	15	12	10	8	6	4	3
06	5	9	16	19	17	15	12	10	9	6	4	4	4	7	14	20	19	17	14	11	10	7	5	4
07	4	6	12	19	19	17	14	12	10	8	6	4	4	5	10	17	20	18	15	12	10	8	6	4
08	3	4	8	15	20	19	16	14	12	10	7	5	4	5	7	12	19	19	17	14	11	10	7	4
09	3	3	5	11	19	20	18	16	13	12	9	6	4	4	5	9	15	19	18	15	12	10	8	6
10	4	3	4	8	15	20	19	17	15	13	11	8	5	4	5	6	11	17	19	16	13	11	9	7
11	5	3	3	6	11	18	20	18	17	14	13	10	7	5	4	5	8	14	18	17	15	12	10	8
12	6	4	2	4	8	14	20	19	18	16	14	12	9	6	5	5	6	10	16	18	16	13	10	9
13	7	5	3	2	5	10	17	20	19	17	15	13	11	8	6	4	5	7	11	16	17	15	11	9
14	7	6	5	3	3	6	12	18	20	19	17	15	13	10	7	5	5	6	8	12	16	16	14	11
15	9	7	6	4	3	3	6	13	19	20	19	16	15	12	10	7	5	5	5	8	12	16	16	13
16	11	8	7	6	5	3	3	7	13	18	20	19	17	15	12	10	7	5	5	5	7	12	16	16
17	14	11	8	7	6	5	3	3	6	12	18	20	19	17	15	12	10	7	5	4	5	7	11	16
18	17	14	11	9	8	7	5	3	3	6	11	17	21	20	17	15	12	10	7	5	4	4	6	11
19	17	18	15	12	9	8	7	5	3	3	5	10	17	21	20	17	14	12	10	7	5	4	4	6
20	11	18	19	16	12	10	9	8	5	3	3	5	10	17	21	19	16	14	12	10	7	5	4	4
21	6	12	20	20	16	13	10	10	8	5	4	3	5	9	17	21	19	16	13	11	10	7	4	4
22	5	7	14	21	20	17	14	11	11	9	5	4	3	5	8	17	20	18	15	12	11	10	7	4
23	3	5	8	16	22	20	17	14	12	12	9	5	4	4	5	9	18	19	17	13	11	10	9	6
24	3	3	5	9	19	22	20	18	15	13	12	9	5	4	4	4	10	18	19	16	12	10	10	9
25	5	2	3	5	11	20	22	20	18	15	14	12	9	5	4	4	5	12	19	18	14	10	9	9
26	8	4	2	3	6	13	21	22	20	18	16	14	12	8	5	5	5	6	14	19	17	13	10	8
27	8	6	3	1	3	6	15	21	22	20	17	16	14	11	8	5	5	5	8	15	18	16	12	9
28	8	7	5	3	1	3	8	16	21	21	19	17	15	13	10	7	5	5	6	10	16	18	15	12
29	9	7	7	5	2	2	4	9	16	20	20	18	16	14	12	9	7	5	5	7	11	16	17	15
30	12	9	7	6	5	3	2	5	10	16	20	19	17	16	13	11	9	7	5	5	7	12	16	17

SINGAPORE STRAIT - BUFFALO ROCK

LAT 1°10'N LONG 103°48'E

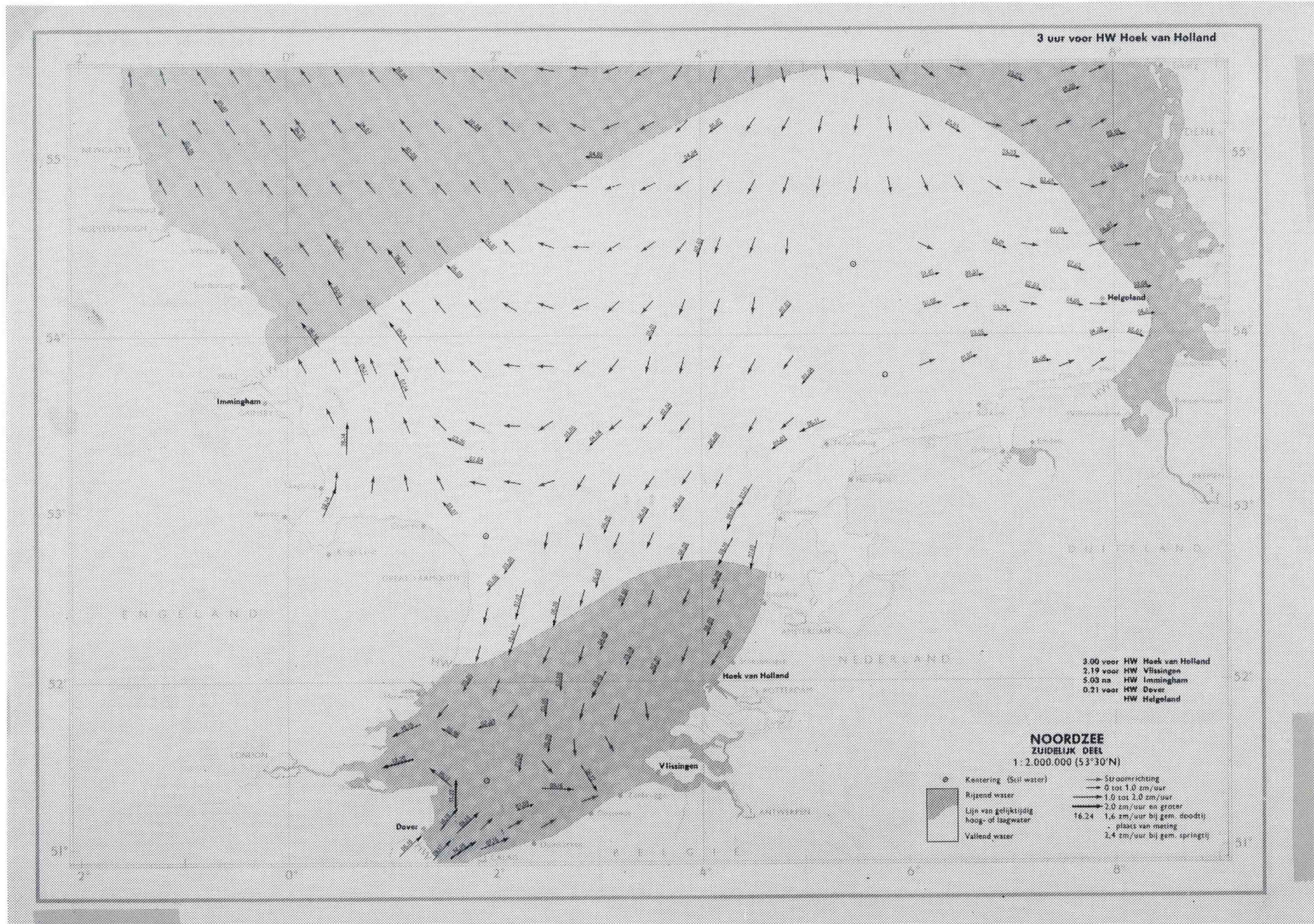
TIDAL STREAM PREDICTIONS (RATES IN KNOTS)
 POSITIVE (+) DIRECTION 065 NEGATIVE (-) DIRECTION 245 YEAR 1978

TIME ZONE -0730

APRIL			MAY			JUNE										
SLACK	MAXIMUM		SLACK	MAXIMUM		SLACK	MAXIMUM									
TIME	TIME	RATE	TIME	TIME	RATE	TIME	TIME	RATE								
1 SA	0524 0958 0.8 1405 1910 -1.0		16 SU	0533 0950 0.7 1406 1955 -0.8		1 M	0030 -0.6 0141 -0.6 0628 1043 0.9 1431 1850 -1.0		16 TU	0539 0929 0.5 1303 1759 -0.7		1 TH	0031 0.1 0155 0.610 -0.6 1003 1208 0.2 1408 1831 -0.9		16 F	0211 0001 0.1 0613 -0.3 0955 -0.2 1652 -0.8
2 SU	0658 1119 0.9 1515 1942 -1.0		17 M	0652 1056 0.6 1448 1938 -0.8		2 TU	0032 -0.4 0419 -0.6 0802 1148 0.8 1516 1916 -1.0		17 W	0031 -0.4 0236 -0.4 0719 1027 0.3 1314 1806 -0.7		2 TH	0108 0.4 0349 0738 -0.7 1306 0.0 1846 -0.9		17 SA	0402 0040 0.4 0810 -0.5 1131 -0.4 1722 -0.8
3 M	0059 -0.6 0823 1226 1.0 1611 2011 -1.0		18 TU	0048 -0.5 0332 -0.6 0815 1154 0.5 1519 1939 -0.7		3 W	0101 -0.2 0559 -0.7 0934 1246 0.7 1549 1937 -0.9		18 TH	0045 -0.1 0539 -0.4 0945 1129 0.1 1304 1818 -0.8		3 SA	0143 0.8 0500 0848 -0.9 1353 -0.3 1857 -0.9		18 SU	0501 0117 0.7 0907 -0.7 1249 -0.5 1754 -0.9
4 TU	0122 -0.4 0937 1320 1.0 1655 2035 -1.0		19 W	0107 -0.3 0538 -0.6 0937 1242 0.4 1538 1943 -0.7		4 TH	0014 0.132 0.1 0251 0717 -0.8 1104 1337 0.5 1607 1952 -0.9 2339		19 F	0110 0.2 0722 -0.5 1226 -0.1 1831 -0.8		4 SA	0215 1.0 0947 -1.0 1427 -0.5 1903 -1.0		19 M	0153 1.0 0952 -0.8 1341 -0.6 1826 -1.0
5 W	0150 -0.2 0704 -0.7 1043 1405 0.9 1728 2054 -0.9		20 TH	0130 -0.1 0657 -0.6 1055 1321 0.3 1543 1947 -0.7		5 F	0202 0.4 0821 -0.9 1240 1419 0.2 1558 2001 -0.8 2328		20 SA	0137 0.5 0830 -0.6 1314 -0.3 1844 -0.9		5 M	0246 1.2 1043 -1.0 1440 -0.7 1907 -1.1		20 TU	0635 0230 1.2 1037 -0.9 1415 -0.7 1858 -1.1
6 TH	0201 0217 0.0 0232 0800 -1.1 1147 1444 0.7 1747 2106 -0.8		21 F	0004 0153 0.2 0341 0756 -0.7 1215 1352 0.1 1528 1949 -0.8 2337		6 SA	0230 0.7 0918 -1.0 1452 -0.1 2003 -0.8 2328		21 SU	0204 0.8 0923 -0.8 1352 -0.4 1858 -0.9		6 M	0315 1.3 1146 -0.9 1426 -0.9 1915 -1.2		21 W	0724 0309 1.3 1130 -0.9 1441 -0.8 1929 -1.2
7 F	0054 0243 0.2 0428 0850 -1.1 1254 1518 0.5 1748 2111 -0.7		22 SA	0215 0.4 0846 -0.8 1418 0.0 1951 -0.8 2331		7 M	0257 0.9 1012 -1.0 1515 -0.4 1959 -0.9 2337		22 TU	0233 1.0 1013 -0.9 1423 -0.6 1914 -1.0		7 W	0345 1.3 1930 -1.3		22 TH	0817 0353 1.4 1238 -0.9 1501 -0.9 2002 -1.3
8 SA	0035 0308 0.5 0536 0940 -1.1 1424 1545 0.1 1709 2110 -0.7		23 M	0239 0.7 0934 -0.8 1441 -0.2 1955 -0.8 2339		8 TU	0324 1.1 1109 -0.9 1521 -0.6 1954 -1.0 2355		23 W	0307 1.1 1112 -0.9 1447 -0.7 1932 -1.1		8 TH	0417 1.3 1952 -1.3		23 F	0028 0441 1.4 0912 1409 -0.9 1522 -0.9 2037 -1.2
9 M	0029 0336 0.7 0637 1033 -1.0 1606 -0.2 2103 -0.7		24 W	0307 0.8 1028 -0.8 1503 -0.4 2003 -0.9 2359		9 TH	0354 1.1 1222 -0.8 1500 -0.8 1956 -1.1 2343		24 F	0348 1.2 1231 -0.9 1505 -0.8 1954 -1.1		9 SA	0444 1.2 2021 -1.3		24 M	0118 0534 1.3 1007 1522 -0.9 1636 -0.9 2120 -1.1
10 TU	0036 0407 0.8 0737 1135 -0.8 1616 -0.5 2057 -0.8		25 TH	0343 0.9 1139 -0.8 1524 -0.6 2015 -1.0		10 F	0023 0428 1.1 0859 2010 -1.2		25 SA	0024 0437 1.2 0907 2017 -1.1		10 M	0124 0530 1.0 1023 2054 -1.2		25 TU	0214 0630 1.2 1056 1543 -0.9 1902 -0.9 2222 -0.9
11 W	0057 0444 0.9 0842 1301 -0.7 1606 -0.7 2059 -0.9		26 TH	0032 0430 1.0 0843 1331 -0.8 1538 -0.8 2030 -1.0		11 F	0100 0509 1.1 0955 2035 -1.2		26 SA	0114 0536 1.2 1013 2040 -1.1		11 M	0206 0609 0.9 1050 2131 -1.0		26 W	0318 0728 1.0 1136 1601 -0.9 2057 -0.6
12 TH	0132 0530 0.9 0951 2113 -1.0		27 F	0118 0530 1.0 0959 2039 -1.0		12 SA	0145 0557 1.0 1049 2107 -1.1		27 M	0213 0644 1.1 1116 1647 -1.0		12 TU	0251 0648 0.8 1106 2213 -0.8		27 W	0006 -0.7 0825 0.8 1618 -0.9 2207 -0.3
13 F	0218 0626 0.9 1103 2139 -1.0		28 SA	0218 0646 1.0 1118 1734 -1.0		13 M	0235 0649 0.9 1137 2142 -1.0		28 TU	0322 0752 1.1 1211 1704 -1.0		13 W	0341 0726 0.6 1114 1605 -0.7 2145 -0.5 2314 -0.5		28 TH	0218 -0.5 0922 0.5 1219 1637 -0.8 2221 2302 0.0 2343
14 M	0316 0731 0.8 1212 2212 -1.0		29 SA	0332 0809 0.9 1232 1752 -1.0		14 M	0330 0742 0.8 1214 2210 -0.9		29 TU	0439 0859 0.9 1257 1726 -1.0 2318 -0.5		14 W	0444 0805 0.3 1110 1609 -0.7 2317 -0.2		29 TH	0432 -0.5 1024 0.1 1202 1656 -0.8 2115 2352 0.4
15 TU	0421 0840 0.7 1314 2234 -0.9		30 M	0457 0930 0.9 1336 1821 -1.0		15 W	0429 0835 0.7 1243 1811 -0.7		30 TH	0200 -0.6 0608 1002 0.8 1334 1749 -1.0 2353 -0.2		15 F	0229 -0.2 0650 0849 0.1 1034 1626 -0.8 2206		30 SA	0236 0631 -0.6 1132 -0.2 1717 -0.8
						31 M	0419 -0.5 0755 1106 0.5 1400 1811 -0.9 2310									

CURRENT, 0.3 KN IN DIRECTION 245 INCLUDED.

3 uur voor HW Hoek van Holland



3.00 voor HW Hoek van Holland
 2.19 voor HW Vlissingen
 5.03 na HW Inmingham
 0.21 voor HW Dover
 HW Helgoland

Tidal Streams referred to HW at DOVER

Hours	A 50°42'3N 0 26 5E			B 50°53'0N 1 00 6E			C 51°01'0N 1 10 0E			D 51°09'7N 1 27 8E			E 51°03'0N 1 40 0E		
	Dir	Rate(kn) Sp Np		Dir	Rate(kn) Sp Np		Dir	Rate(kn) Sp Np		Dir	Rate(kn) Sp Np		Dir	Rate(kn) Sp Np	
Before HW	6	248	0 8 0 4	211	1 6 0 9	224	0 9 0 5	212	2 2 1 2	220	1 7 0 9				
	5	067	0 5 0 3	211	2 1 1 2	239	1 0 0 6	213	2 2 1 2	220	2 8 1 6				
	4	068	1 9 1 0	211	1 8 1 1	235	1 1 0 6	216	1 9 1 1	220	3 5 2 0				
	3	068	2 6 1 5	211	0 9 0 5	242	0 6 0 4	228	1 3 0 8	220	2 8 1 6				
	2	068	2 3 1 3	S / a c k			S / a c k			S / a c k					
	1	068	1 2 0 6	031	0 8 0 5	052	0 6 0 3	032	1 2 0 7	040	0 8 0 4				
HW		067	0 1 0 1	031	1 5 0 8	049	1 2 0 7	038	2 0 1 2	040	2 5 1 4				
After HW	1	248	0 9 0 5	031	1 9 1 1	049	1 3 0 7	039	2 3 1 3	040	3 4 1 9				
	2	247	1 4 0 8	031	1 7 1 0	056	1 0 0 5	034	2 2 1 2	040	2 9 1 6				
	3	248	1 8 1 0	031	1 2 0 6	054	0 5 0 3	031	1 5 0 8	040	2 0 1 1				
	4	248	1 7 1 0	031	0 4 0 2	S / a c k			S / a c k						
	5	248	1 6 0 9	211	0 4 0 2	219	0 4 0 2	203	1 0 0 6	220	0 2 0 1				
	6	249	1 2 0 7	211	1 3 0 7	217	0 8 0 4	210	1 8 1 0	220	1 3 0 7				

Hours	F 50°58'6N 1 26 8E			G 50°53'5N 1 31 5E			H 50°42'0N 1 25 0E			I 50°37'8N 1 13 0E			J 50°43'4N 0 58 0E		
	Dir	Rate(kn) Sp Np		Dir	Rate(kn) Sp Np		Dir	Rate(kn) Sp Np		Dir	Rate(kn) Sp Np		Dir	Rate(kn) Sp Np	
Before HW	6	206	1 7 1 0	214	2 5 1 4	201	1 5 0 8	214	1 5 0 8	228	1 6 0 9				
	5	204	2 5 1 4	209	3 3 1 9	200	2 0 1 1	213	1 5 0 8	228	1 4 0 8				
	4	208	2 7 1 5	208	3 2 1 8	194	2 1 1 2	203	1 0 0 6	218	0 9 0 5				
	3	209	2 1 1 2	205	2 1 1 2	174	1 2 0 7	152	0 2 0 1	096	0 4 0 2				
	2	221	0 9 0 5	183	0 4 0 1	076	0 5 0 3	040	0 6 0 4	044	1 2 0 6				
	1	017	0 7 0 4	029	1 6 0 9	019	1 0 0 6	032	1 0 0 5	053	1 3 0 8				
HW		026	2 0 1 1	026	3 2 1 8	007	1 7 1 0	026	1 4 0 8	052	1 3 0 7				
After HW	1	028	2 6 1 5	025	3 6 2 0	011	2 0 1 1	022	1 4 0 8	047	1 1 0 6				
	2	030	2 4 1 4	028	2 5 1 4	014	1 6 0 9	026	0 8 0 5	028	0 6 0 4				
	3	033	1 7 0 9	027	1 8 1 1	012	0 8 0 4	335	0 2 0 1	S / a c k					
	4	028	0 6 0 3	030	0 7 0 4	337	0 1 0 0	236	0 3 0 1	256	0 4 0 2				
	5	214	0 4 0 2	205	0 6 0 3	204	0 6 0 3	209	0 9 0 5	238	0 9 0 5				
	6	209	1 4 0 8	213	1 9 1 1	200	1 2 0 7	213	1 4 0 8	225	1 5 0 9				

Hours	K 50°30'0N 0 26 0E			L 50°25'0N 1 02 0E			M 50°25'0N 1 24 0E			N 50°13'0N 0 30 0E		
	Dir	Rate(kn) Sp Np		Dir	Rate(kn) Sp Np		Dir	Rate(kn) Sp Np		Dir	Rate(kn) Sp Np	
Before HW	6	249	1 1 0 6	217	1 3 0 7	203	1 7 1 0	249	1 0 0 6			
	5	206	0 2 0 1	197	1 0 0 6	197	1 6 0 9	202	0 3 0 2			
	4	077	1 1 0 6	149	0 7 0 4	187	0 7 0 4	081	1 2 0 7			
	3	080	1 9 1 1	082	1 0 0 6	042	0 6 0 3	072	2 0 1 2			
	2	082	2 1 1 2	057	1 2 0 7	032	1 4 0 8	073	2 3 1 3			
	1	074	1 5 0 8	048	1 2 0 7	022	1 6 0 9	074	1 5 0 8			
HW		066	0 8 0 4	030	1 0 0 6	020	1 6 0 9	066	0 6 0 3			
After HW	1	304	0 1 0 1	001	0 8 0 5	022	1 1 0 6	265	0 3 0 2			
	2	268	0 8 0 5	331	0 5 0 3	003	0 5 0 3	263	0 9 0 5			
	3	263	1 3 0 7	278	0 6 0 3	258	0 2 0 1	259	1 4 0 9			
	4	254	1 5 0 8	247	0 9 0 5	213	0 7 0 4	253	1 7 1 0			
	5	261	1 6 0 9	235	1 2 0 7	209	1 2 0 7	256	1 7 1 0			
	6	256	1 4 0 8	224	1 3 0 7	206	1 7 0 9	256	1 3 0 7			

TIDES AND TIDAL STREAMS

Tides

1-83 The tide is predominantly semi-diurnal off the S coast of England and the NW coast of France; off the latter the tidal range is very large.

The mean Spring range is greatest, 11.9m, in Baie du Mont Saint-Michel ($48^{\circ} 40' N$, $1^{\circ} 35' W$), and least, 1.7m, at Swanage ($50^{\circ} 37' N$, $1^{\circ} 57' W$). See Chart 5058 (Co-tidal and Co-range lines).

Data for predicting tidal heights and times is contained in *Admiralty Tide Tables, Vol. I*.

Approximate tidal time differences between Dover and some of the standard ports situated within the area covered by this volume are as follows:—

Dover	Devonport	Portsmouth	
-0600	-0020	-0615	
-0500	+0040	-0515	
-0400	+0140	-0415	
-0300	+0240	-0315	
-0200	+0340	-0215	
-0100	+0440	-0115	
HW	+0540	-0015	
+0100	-0545	+0045	
+0200	-0445	+0145	
+0300	-0345	+0245	
+0400	-0245	+0345	
+0500	-0145	+0445	
+0600	-0045	+0545	
Dover	Brest	Saint Helier	Cherbourg
-0600	+0115	-0105	-0240
-0500	+0215	-0005	-0140
-0400	+0315	+0055	-0040
-0300	+0415	+0155	+0020
-0200	+0515	+0255	+0120
-0100	+0615	+0355	+0220
	-0610		
HW	-0510	+0455	+0320
+0100	-0410	+0555	+0420
+0200	-0310	-0530	+0520
+0300	-0210	-0430	-0605
+0400	-0110	-0330	-0505
+0500	-0010	-0230	-0405
+0600	+0050	-0130	-0305

Meteorological conditions which differ from the average will cause differences between the predicted and actual tide.

Variations in tidal heights are mainly caused by strong or prolonged winds, and by unusually high or low barometric pressure, causing positive or negative surges which raise or lower sea level.

Differences between predicted and actual times of high and low waters are caused mainly by wind. Tidal streams and currents are also markedly affected.

Seiches, which are short-period oscillations in sea level, may be caused by abrupt changes in meteorological conditions, such as the passage of an intense depression. Small seiches are not uncommon round the coasts of the British Isles, especially in winter months.

Fuller information is given in *Admiralty Tide Tables* and in *The Mariner's Handbook*.

Tidal streams

1-84 The following brief general account is intended only to describe the principal features of the tidal streams in the W approach and fairway of the English Channel.

Data for predicting should be obtained from the tidal stream tables on the relevant charts and/or from the following *Atlases of Tidal Streams*:—

- (i) *The English and Bristol Channels.*
- (ii) *Approaches to Portland.*
- (iii) *The Solent and Adjacent Waters.*
- (iv) *The Channel Islands and Adjacent Coasts of France.*

Where time references are given in the tidal stream information throughout this volume, they are always given in four-figure groups, in which the first two figures are hours and the last two are minutes; these references are given to the nearest five minutes.

References preceded by a minus (-) sign are intervals before HW; those preceded by a plus (+) sign are intervals after HW.

1-85 **West approaches to English Channel.** Over the Continental Shelf extending W and SW from the Brittany coast there are almost certainly streams, probably rotatory and barely perceptible near the edge of the shelf, but increasing in velocity and becoming more and more nearly rectilinear as the land is approached. Information regarding the streams over the shelf S of $48^{\circ} 30' N$ is lacking.

In the W approach to the English Channel, the streams are more or less rotatory clockwise. Variations in direction and rate at different positions are not great; taking averages over the whole area, the streams run as follows:—

Approx Interval from HW Dover	Direction	Sp. Rate Knots	Stream
+0400/+0500	NE/ENE	1	Strongest inwards
-0500	SE	$\frac{3}{4}$	Weakest inwards
-0100	WSW	1	Strongest outwards
+0100/+0200	WNW/NW	$\frac{3}{4}$	Weakest outwards

Near the W limit of the W approach, the greatest and least rates are attained rather earlier, and the rates are rather less, than the averages; near the E limit, the greatest and least rates are attained rather later, and the rates are considerably greater, than the averages.

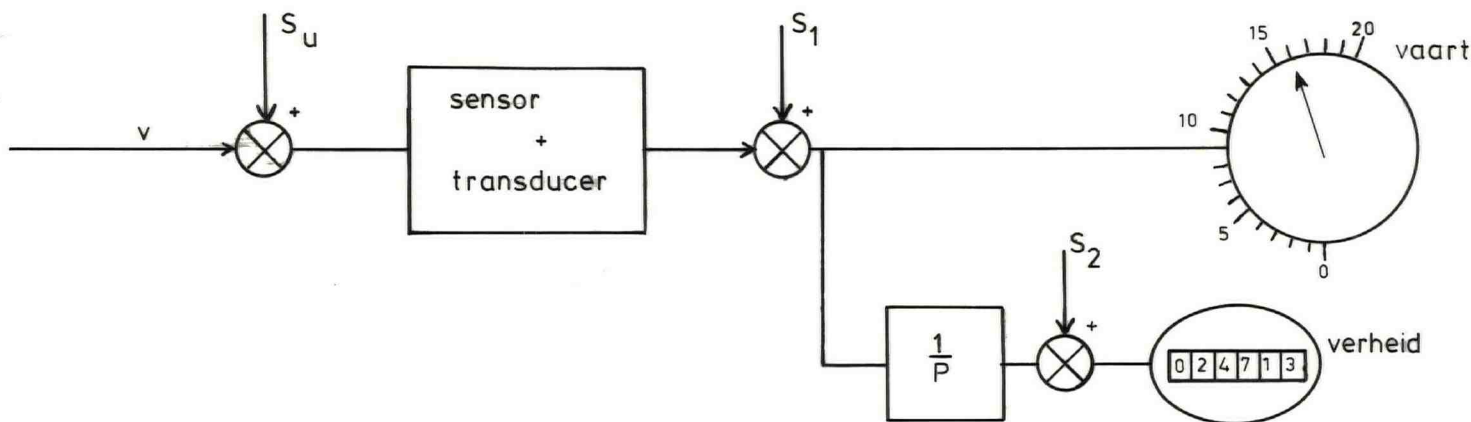
1-86 **Fairway of English Channel.** As the English Channel is entered, and the fairway narrows, the rotatory streams of the approach become gradually more and more nearly rectilinear.

The rates of the streams in the fairway vary with the width, and are greatest in the narrowest parts. In the middle of the fairway, between Bill of Portland/Saint Catherine's Point on the English coast, and Cap de la Hague/Pointe de Barfleur on the French coast, Spring rates up to about $3\frac{1}{2}$ knots occur; in the widest parts Spring rates of from 2 to $2\frac{1}{2}$ knots are seldom exceeded.

4.1 Inleiding

De vaart van een schip is een belangrijke navigatiegrootte die o.a. gebruikt wordt voor:

- gegist-bestekberekening (optimaal routeren, ETA bepalen)
- true motion radar
- satellietplaatsbepaling
- traagheidsnavigatie
- vaartcorrectie gyrokompas
- adaptie stuurautomaat.



Figuur 4.1

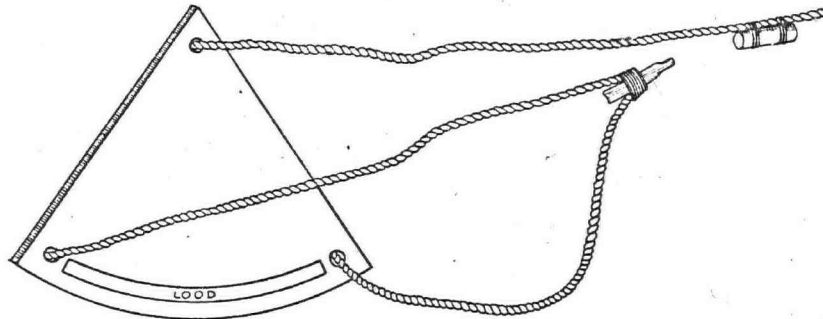
Na integratie van de vaart wordt de verheid op een indicator aangegeven. De storing S_u is een uitwendige storing buiten de sensor, zoals verstoringen door de volgstroom, invloeden van trim, diepgang, stampen, etc. De sensor zal dus in het algemeen niet de exacte v meten. Daarnaast treden inwendige verstoringen S_1 op, waardoor de getoonde waarde op de meter niet gelijk is aan de gemeten waarde. Bovendien kan de integrator inwendige fouten vertonen, gerepresenteerd door S_2 .

Achtereenvolgens zal besproken worden de handlog, de patentlog, gissen buitenboord, de Pitotlog, de elektromagnetische log, verheidsmeting door schroefomwentelingen, de impellerlog, de Doppler Sonar log en de correlatielog. Steeds zal nagegaan worden welke grootte gemeten wordt, het werkingsprincipe en de praktische bruikbaarheid.

4.2 Handlog

In het leerboek Zeevaartkunde van D.J. Brouwer uit 1880 wordt vermeld: "De gewone en tevens meest gebruikte log bestaat uit het logplankje, de loglijn en de logrol". In figuur 4.2 is e.e.a. weergegeven. Het logplankje werd overboord geworpen en bleef door de loden verzwarende aan de cirkelrand "dood" in het water staan, tegelijkertijd werd de zandloper gedraaid. De hoeveelheid loglijn die uitliep tot de zandloper leeg was, was een maat voor de snelheid. Om de snelheid te meten was de loglijn voorzien van "knopen". Het aantal gepasseerde knopen per zandloper gaf de vaart in knopen (zeemijlen

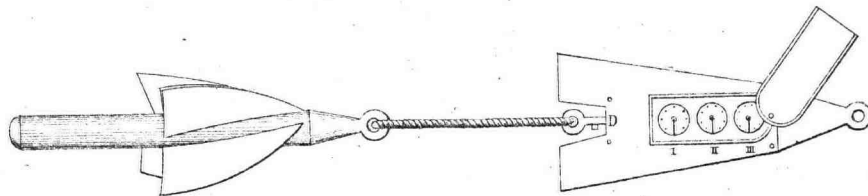
per uur). Door een ruk aan de lijn schoot een bevestiging van de spruit aan het logplankje los en kon deze worden ingehaald. De gisberekening vond plaats t.o.v. de "dood" in het water staande logplank, vandaar de Engelse term "dead reckoning"!



Figuur 4.2

4.3 Patentlog

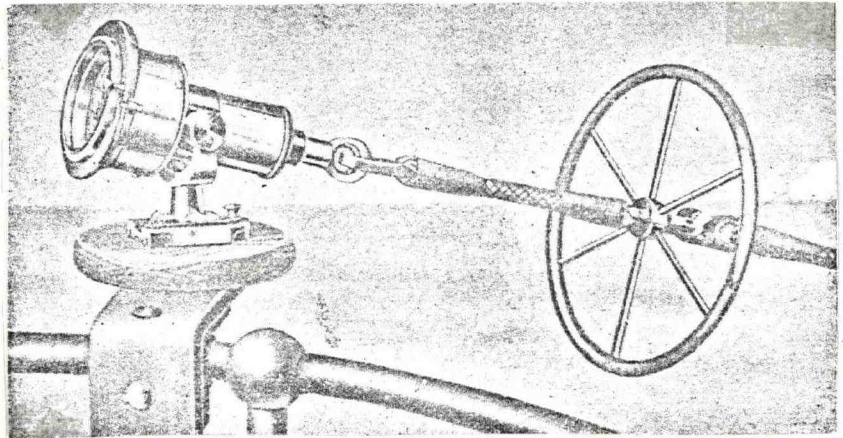
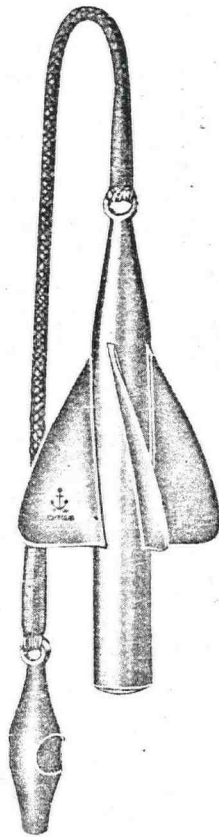
Hiermee werd de sleeplog aangeduid waarop Massey in Engeland in 1802 patent verkreeg. Het bestond uit een vin die achter het schip werd meegesleept, zie figuur 2.3. Het aantal rotaties van de vin is een maat voor de afgelegde verheid. Bij Massey's log was het nodig om voor de aflezing de log in te halen.



Figuur 4.3 Massey's log.

In 1878 verkreeg Thomas Walker het patent op de sleeplog zoals die tegenwoordig nog in gebruik is (voornamelijk op jachten). De aflezing van het aantal afgelegde mijlen vindt plaats op de logklok die op de railing op het achterschip is aangebracht. De sleeplog meet de afgelegde verheid door het water. Als nadeel gold vooral het tijdrovende in- en uitvieren en bovendien moest bij manoeuvreren, bijvoorbeeld tijdens mist, de log ingehaald worden waardoor het moeilijker werd een gegist bestek bij te houden. Een nadeel is ook, dat er wier of vuil in de logvin kan komen. Bij een lange deining kan de logvin wel eens "springen", waardoor omwentelingen verloren gaan. De loglijn moet voldoende lengte hebben i.v.m. de verstoringen door het kielzog.

Er is een moderne uitvoering in de handel waar via een differentiator de snelheid ook zichtbaar wordt gemaakt. Een belangrijk voordeel voor jachten is uiteraard, dat het stroomverbruik nihil is.



Figuur 4.4 Walker's sleeplog.

4.4 Gissen buitenboord

Indien er niet te veel zeegang staat, is gissen buitenboord een zeer nauwkeurige methode voor vaartmeting en wordt o.a. toegepast om de log te ijken.

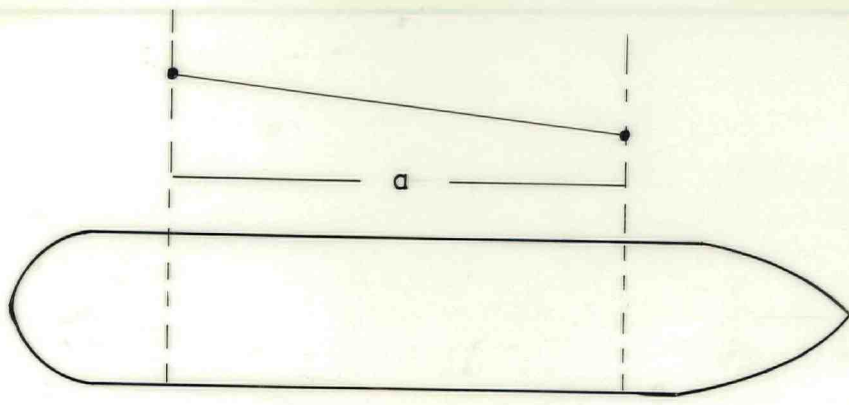
Een goed zichtbaar voorwerp wordt vanaf de bak zover mogelijk buiten de boeggolf in zee geworpen. Een waarnemer geeft een teken aan een tijdwaarnemer op de brugvleugel op het moment dat het voorwerp een goed zichtbare dwarsscheepse lijn passeert, bijvoorbeeld de railing aan de achterzijde van het bakdek. Op het achterschip is een tweede waarnemer die eveneens een teken geeft bij de passage van een dwarsscheepse lijn. De afstand a in m is bekend, zodat de vaart in knopen gegeven wordt door

$$v = \frac{a}{\Delta t} \cdot \frac{3600}{1852} \text{ kn} \quad (1)$$

Een twintigtal metingen wordt gedaan, waarbij de waarnemers na een aantal metingen verwisseld worden. Van de waarnemingsserie wordt de gemiddelde snelheid \bar{v} berekend en de standaardafwijking s . Met de Student-verdeling wordt vervolgens het 95% betrouwbaarheidsinterval van de exacte snelheid bepaald. Indien de waargenomen logsnelheid buiten dit betrouwbaarheidsinterval ligt, verdient het aanbeveling de log te corrigeren met de daarvoor bestemde correctieknop.

Met gissen buitenboord wordt de langsscheepse snelheid door het water gemeten. Als er te veel zeegang staat, zal het drijvende voorwerp door golven worden meegenomen en moet gissen b.b. worden ontraden. De Engelse benaming voor deze manier van vaartmeting is "Dutchman's log".

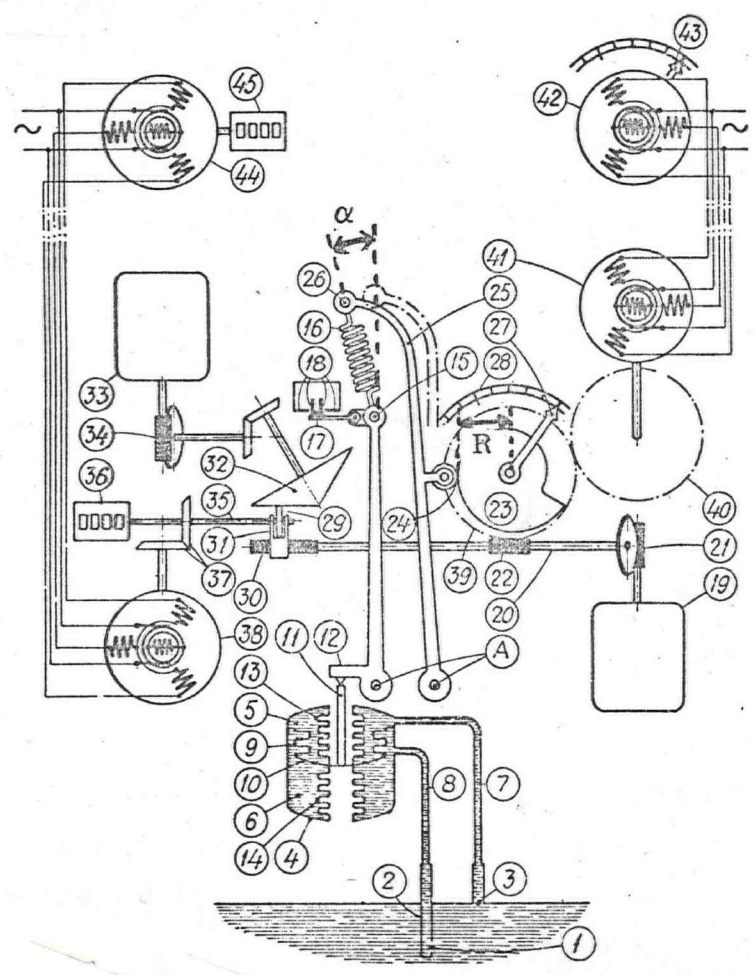
de onderbroken lijn.



Figuur 4.5 De gemeten afstand bij gissen buiten boord.

4.5 Pitotlog

In 1851 wordt in "Verhandelingen en berichten betreffende het Zeewezen" de "patent-perpetual log" beschreven van Berthon. Het principe berustte op het meten van de dynamische druk die door de vaart van het schip wordt veroorzaakt. De meting was echter te onnauwkeurig om praktisch te worden gebruikt. De Sallog werd omstreeks 1929 in Nederland geïntroduceerd ("De Zee" 1929) en werkt volgens hetzelfde principe, zie figuur 4.6.



Figuur 4.6 Sallog.

De sensor bestaat uit een statische drukbuis (7) en een dynamische drukbuis (8), die aan weerszijden van een scheidingsmembraan (10) van een balg (4) uitkomen. De dynamische drukbuis steekt 60 à 100 cm buiten het vlak van het schip uit om zoveel mogelijk buiten de viskeus meegesleepte waterlaag te meten. In verband met dit laatste verdient het aanbeveling de log zo ver mogelijk naar voren te monteren. Met een servomotor kan de buis op ondiep water, van de brug af bedienbaar, ingehaald worden. De opening van de dynamische drukbuis moet zuiver in de langsscheepse richting worden aangebracht. Het verschil in druk aan beide zijden van het membraan is

$$\Delta P = C_p v_x^2 \quad (.2)$$

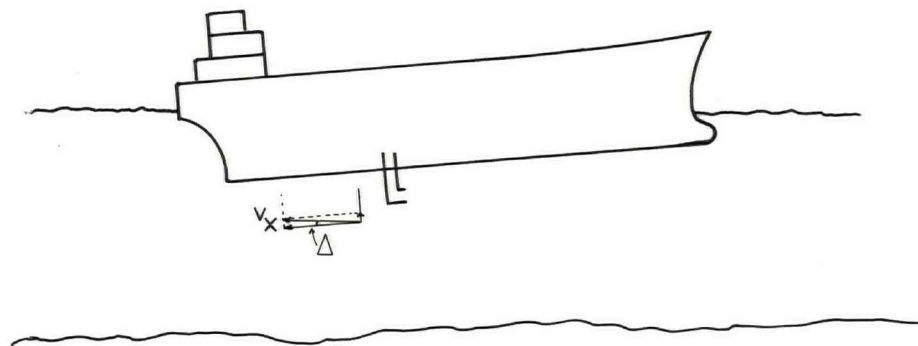
De log meet de langsscheepse snelheid door het water.

Als het membraan (10) door een vaartvermeerdering Δv omhoog wordt gedrukt, komt (12) omhoog en zal (17) naar rechts gaan en contact maken, waardoor elektromotor (19) in de juiste richting gaat draaien. Hierdoor zal de worm (22) de excentrische schijf (23) verdraaien, waardoor de vaartindikator (27) verdraait. Tevens wordt echter hefboom (26) door wielletje (24) verdraaid, waardoor de veer (16) gespannen wordt. Bij een juiste dimensionering van alle onderdelen zal bij aanwijzing $v + \Delta v$ de veerspanning het contact (18) weer sluiten; het systeem is weer in rust. Hefboom (26) zorgt dus voor de terugkoppeling. De schijf (23) is spiraalvormig teneinde de terugkoppeling evenredig te maken met v^2 .

Als de vaartindicatie oploopt, zal het wielletje (29) meer naar de basis van kegel (32) gedraaid worden via worm (30), waardoor asje (35) een hoger toerental krijgt; de verheidsmeter (36) zal sneller lopen! De kegel (32) wordt met constant toerental aangedreven door elektromotor (33).

Er is een calibratiemogelijkheid voor constante fout en voor procentuele fout, door respectievelijk de stanglengte te veranderen en door de beginspanning van de veer te veranderen. Bovendien kan een 2e-ordefout nog gecorrigeerd worden door de veerlengte te veranderen.

In het algemeen is de Pitotlog redelijk nauwkeurig in het dienstnelheidsgebied, maar bij lage snelheden neemt de nauwkeurigheid af, mede door veranderingen in de volgstroom. Vaart over de achtersteven wordt niet gemeten. Op ondiep water is de log niet bruikbaar. De dynamische drukbuis moet achter de statische drukbuis gemonteerd worden om wervels bij de statische opening te voorkomen. Er is een ontluichtingsinstallatie om binnengedrongen luchtballen te laten ontsnappen. De invloed van trim blijkt uit figuur 4.7.



Figuur 4.7

$$\text{Gemeten wordt } v_x \cos \Delta \approx v_x (1 - \frac{1}{2}\Delta^2). \quad (3)$$

De relatieve fout in de vaartmeting is dan $\frac{1}{2}\Delta^2 \cdot 100\%$. Dit geeft bij een trim van 5° een relatieve vaartfout van 0.4% en een even grote relatieve fout in de verheidsmeting.

Als het schip stampt volgens $\Delta = \Delta_m \sin wt$ en de traagheid in de log wordt verwaarloosd, dan is de actuele gemeten vaart $v^* = v_x (1 - \frac{1}{2}\Delta_m^2 \sin^2 wt) =$

$$v_x (1 - \frac{1}{4}\Delta_m^2 + \frac{1}{4}\Delta_m^2 \cos 2wt) \quad (4)$$

en de gemeten verheid

$$V^* = \int_0^t v^* dt = V (1 - \frac{1}{4}\Delta_m^2) \quad (5)$$

Als de log beschouwd wordt als een 1e orde systeem met tijdconstante τ sec, dan kan afgeleid worden dat de gemeten vaart bij stampend schip gelijk is aan

$$v^* = v_x (1 - \frac{1}{4}\Delta_m^2 + \frac{1}{4} \frac{\Delta_m^2}{\sqrt{(4\tau^2 w^2 + 1)}} \cos (2wt - \varphi)) \quad (6)$$

waar $\varphi = \arctan (2w\tau)$.

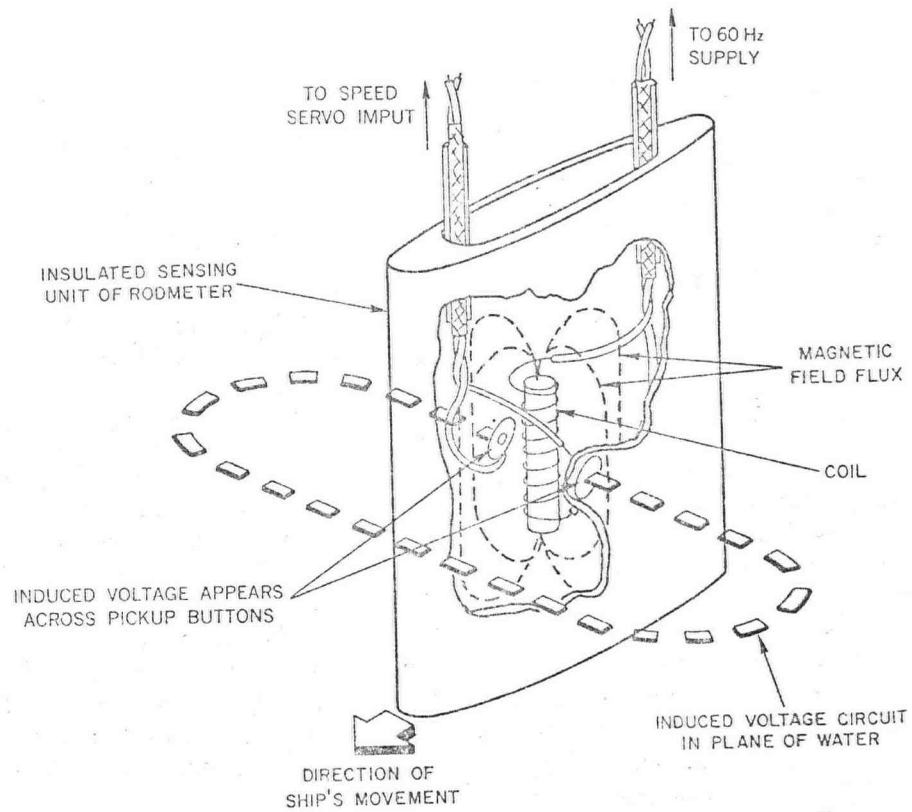
Voor een snel reagerende log (kleine τ) komt formule (4) weer tevoorschijn; voor een trage log (grote τ) wordt de stampamplitude verzwakt doorgegeven. Op diverse loggen is een knop aangebracht met de stand "rough sea" en "calm sea" en mogelijk nog tussenstanden. Hiermee wordt de τ ingesteld, om bij stampend schip een rustige aflezing te houden.

Men moet zich echter wel realiseren dat vaartmeting bij zwaar stampend schip sterk aan nauwkeurigheid inboet door inhomogeniteit in de volgstroom ter plaatse van de sensor.

4.6 Elektromagnetische log

De EM-log heeft de laatste jaren de Pitotlog van de eerste plaats verdrongen. Gemeten wordt de langsscheepse snelheid door het water. Ten opzichte van de Pitotlog bestaat het voordeel dat ook vaart over de achtersteven kan worden gemeten; bovendien is de meetnauwkeurigheid van de EM-log in het algemeen groter dan die van de Pitotlog, vooral in het lage snelheidsgebied. De sensor wordt veelal "flush" aangebracht onder het vlak. Er zijn ook zwaardvormige sensoren, zie figuur 4.8, die uit het scheepsvlak steken. Vanaf de brug bedienbaar kan zo'n sensor worden ingetrokken op ondiep water. In verband met de volgstroom is het raadzaam om de sensor ver naar voren te monteren, waar bij gelet moet worden op de langsscheepse oplingning.

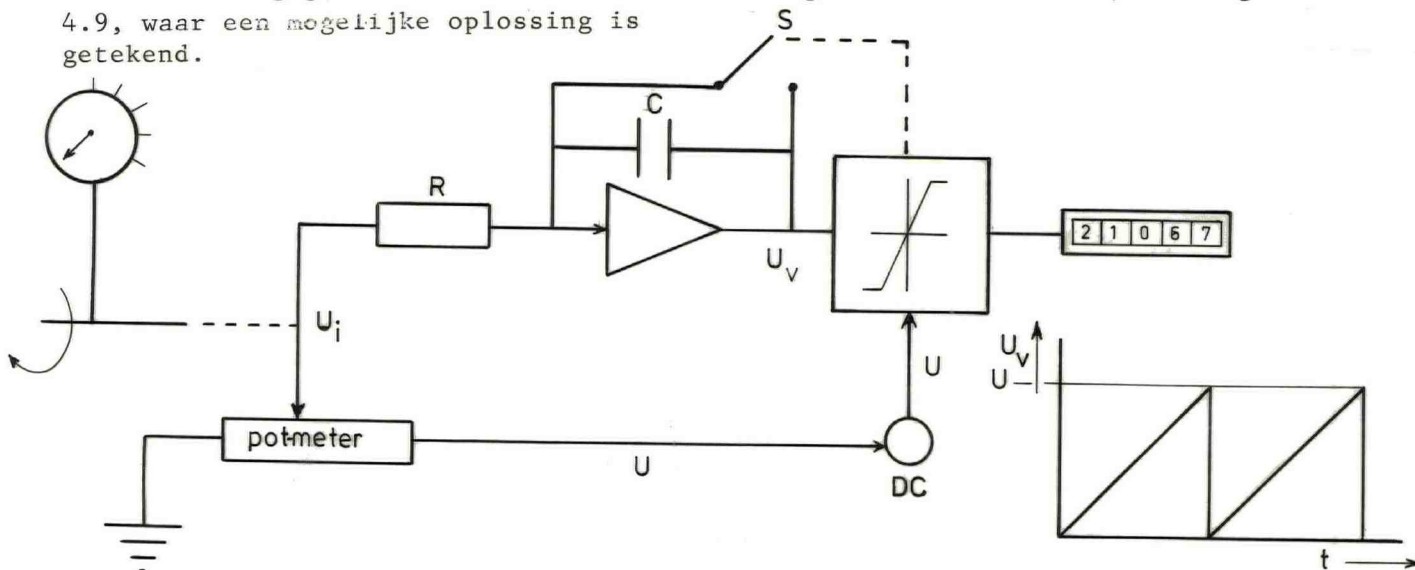
In de sensor bevindt zich een spoel waar een continue laagfrequente wisselspanning (+ 50 Hz) op staat. Hierdoor ontstaat in het omringende zeewater een verticale wisselende magnetische veldsterkte. Het door de vaart van het schip passerende zeewater is als een geleider te beschouwen in een wisselend magnetisch veld. In de "geleider" ontstaat een spanningsverschil evenredig met de vaart. Dit spanningsverschil wordt gemeten door twee metalen "pick-up's" aan weerszijden van de verder geïsoleerde sensor. Er wordt wisselspanning gebruikt om de verticale component van het aardmagnetisme te elimineren. Fluctuaties in de voedingsspanning van de spoel zouden fouten in de meetspanning veroorzaken, daarom wordt het verschil van voedingsspanning en meetspanning als maat voor de vaart genomen.



Figuur 4.8

Deze verschilspanning kan proportioneel beïnvloed worden door een calibratieknop waardoor de vaart voor een procentuele fout gecalibreerd kan worden. Verschuiving van het nulniveau werkt een constante fout weg. Voor trimfouten geldt hetzelfde als voor de Pitotlog, zie paragraaf 4.5. De dimensionering van de elektrische circuits is zodanig dat verandering in de saliniteit geen merkbare vaartfout oplevert.

Verheidsmeting gebeurt door elektronische integratie van de vaart, zie figuur 4.9, waar een mogelijke oplossing is getekend.



Figuur 4.9 Elektronische integrator.

De integrator heeft een gelijkspanningsbron DC met U volt klemspanning. De stand van het glijcontact op de pot-meter wordt geregeld door een servomotor, die tevens de vaartindikator verdraait. De uitgangsspanning U_i is evenredig met de gemeten vaart.

Bij open schakelaar S werkt de operationele versterker met parallelgeschakelde C en seriegeschakelde R als integrator, waardoor $U_v = -\frac{1}{RC} \int U_i dt$.

De begrenzer zal bij $U_v = U$ zowel de verheidsklok 0.01 zeemijl opdraaien als de schakelaar S sluiten, waardoor de condensator zich ontlad. Als $U_v = 0$ (praktisch tijdloos), dan opent S zich weer.

De geschetste schakeling wordt wel een "pulsenteller" genoemd. Uiteraard moeten de dimensies van R en C juist gekozen worden, teneinde een correcte verheidsmeting te krijgen. Veelal is R een variabele weerstand, die aangesloten is op een calibratieknop, waardoor de verheid onafhankelijk van de vaart gecalibreerd kan worden.

4.7 Verheidsmeting door schroefomwentelingen

Hoewel deze methode op schepen wel wordt toegepast volgens

$$V = \text{omw} \times \text{spoed} (1 - \text{slip}) \quad (7)$$

is dit toch af te raden. De slip is immers afhankelijk van de schijnbare wind, de zeegang, de aangroeiing en de beladingstoestand. Nauwkeurige gegevens hierover zijn uiteraard niet bekend, zodat de gegiste verheid volgens deze methode te onnauwkeurig is voor een zorgvuldige navigatie.

4.8 Impellerlog

Hieronder wordt verstaan het type log waarbij een houder uit het vlak steekt waarop een propellertje zover mogelijk buiten de volgstroom is aangebracht. Dit type wordt uitsluitend voor kleine vaartuigen gebruikt, zoals op jachten. In het propellertje zitten twee symmetrische magneetjes die een inductiepuls veroorzaken in de sensor als de propeller door de vaart van het schip draait. De aanwijzer geeft vaart en verheid, die sepeeraat calibreerbaar zijn bij de betere merken. In het lage snelheidsgebied is dit type niet erg nauwkeurig. Hoewel een beschermbeugel (visnetten!) voor de propeller is aangebracht, gebeurt het toch regelmatig dat wier en dergelijke de werking verstoren. Met een speciale afsluiter (sea-chest) kan de log ingehaald worden om te worden gereinigd.

4.9 Doppler Sonar log

Inleiding

Uit de natuurkunde is de lezer bekend met het verschijnsel Dopplerverschuiving. De frequentie van een bewegende trillingsbron f_t zal door een stilstaande waarnemer worden waargenomen als f_r , waarbij

$$f_r = f_t \frac{c}{c - v_t} \quad (8)$$

c = voortplantingssnelheid van trilling in medium

v_t = naderingssnelheid (radieel)

Een waarnemer die zich t.o.v. een stilstaande trillingsbron beweegt met een snelheid v_w zal de uitgezonden frequentie f_t waarnemen als

$$f_r = f_t \frac{c + v_w}{c} \quad (9)$$

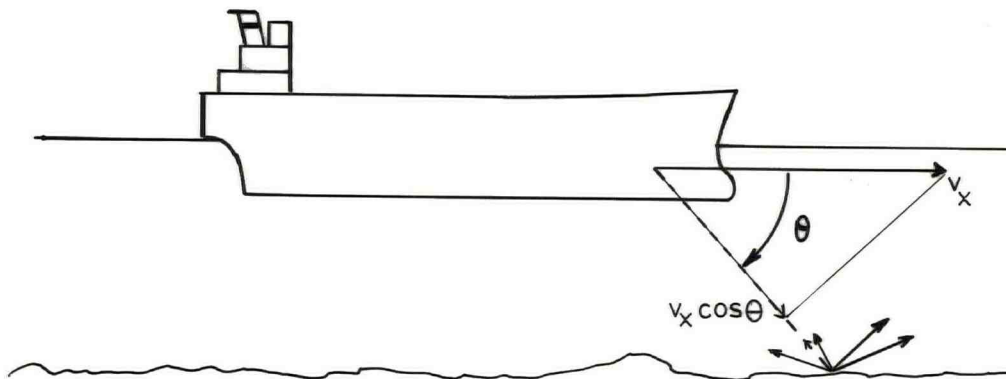
Indien een bewegende trillingsbron een puls uitzendt en deze daarna weer ontvangt na reflectie tegen een wand, dan wordt de volgende frequentie waargenomen:

$$f_r = f_t \cdot \frac{c + v}{c - v} \quad (10)$$

Op dit principe berust de Doppler log. In het scheepsvlak nabij het voorschip is een transducer aangebracht waar d.m.v. een kwartskristal een trillingsbundel in de frequentie van circa 300 kHz wordt uitgezonden onder een hoek van circa 60° met het horizontale vlak, zie figuur 2.10. Een gedeelte van de diffuus gereflecteerde puls wordt door de transducer weer opgevangen. Bij gebruik van één voorwaarts gerichte bundel geldt:

$$f_r = f_t \frac{c + v \cos \theta}{c - v \cos \theta} = f_t \left(1 + \frac{2v}{c} \cos \theta + 0 \left(\frac{v}{c} \right)^2 \right) \quad (11)$$

v = langsscheepse snelheid t.o.v. de grond
 θ = inclinatie van bundel.



Figuur 4.10

Janusopstelling

Om invloeden van scheepsbewegingen op de meting, zoals stampen, dompen en slingeren, te minimaliseren, wordt gebruik gemaakt van een Janusopstelling, zie figuur 4.11. De langsscheepse snelheid wordt gemeten door zowel een voorwaarts gerichte bundel als een achterwaarts gerichte bundel uit te zenden. Men spreekt dan van een "single-axis Doppler log".

Door aftrekking van de ontvangen frequentie van vóór- en achterbundel krijgen we met formule (11):

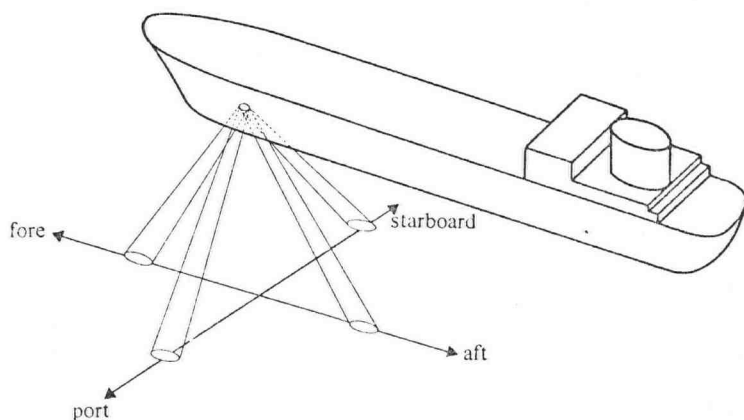
$$\Delta f_x = f_t \left(\frac{4v_x \cos \theta}{c} + 0 \left(\frac{v_x}{c} \right)^3 \right) \quad (12)$$

waarmee

$$v_x = \frac{\Delta f_x \cdot c}{4f_t \cos \theta} \quad (13)$$

Indien ook bundels naar SB en BB worden uitgezonden, wordt tevens de dwars-scheepse snelheid gemeten en spreekt men van een "dual-axis Doppler log", waarbij

$$v_y = \frac{\Delta f_y \cdot c}{4f_t \cos \theta} \quad (14)$$



Figuur 4.11 Janusconfiguratie.

Invloed van scheepsbewegingen

(i)

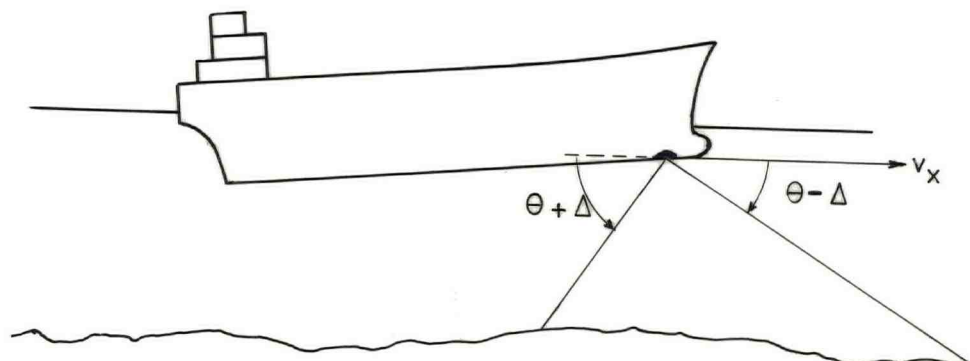
Indien het vaartuig een trimhoek Δ heeft, zie figuur 4.12, worden de waargenomen frequenties respectievelijk:

$$\text{vóór} \quad f_r^* = f_t \left(1 + \frac{2v_x}{c} \cos(\theta - \Delta) \right)$$

$$\text{achter} \quad f_r^* = f_t \left(1 - \frac{2v_x}{c} \cos(\theta + \Delta) \right)$$

waardoor

$$\Delta f_x^* = f_t \frac{4v_x \cos \theta \cos \Delta}{c} \quad (15)$$



Figuur 4.12

$$\text{De gemeten } v_x^* = \Delta f_x^* \frac{c}{4f_t \cos \theta} = v_x \cos \Delta \approx v_x (1 - \frac{1}{2}\Delta^2) \quad (16)$$

Er treedt een zelfde relatieve fout in de vaartmeting op als bij EM-log en Pitotlog, zie § 4.5. Bij gebruik van alleen een voorwaartse bundel zou de fout in verband met $\cos(\theta - \Delta)$ in le orde afhankelijk zijn van Δ . Bij stampend schip geldt een zelfde beschouwing als eerder gegeven voor de Pitotlog, dus een systematische relatieve fout in de vaart- en verheidsmeting van $-\frac{1}{4}\Delta_m^2$.

(ii)

De slingerbeweging van het vaartuig beïnvloedt op dezelfde wijze de meting van de dwarsscheepse snelheid.

(iii)

De verticale bewegingen van het vaartuig door dompen en stampen beïnvloeden eveneens de Dopplermeting. Een verticale beweging v_z heeft componenten in de bundelrichtingen $v_z \sin \theta$, resulterend in een extra v_z Dopplerverschuiving in elke sensor

$$f_d = \frac{2v_z f_t \sin \theta}{c} \quad (17)$$

Door aftrekking van de ontvangen vóór- en achterfrequentie valt deze term eruit. Hetzelfde geldt voor de dwarsscheepse sensoren.

(iv)

Bij een trimhoek/helling Δ geldt bij verticale snelheden:

$$\text{vóór } f_d = \frac{2v_z f_t \sin(\theta - \Delta)}{c}$$

$$\text{achter } f_d = \frac{2v_z f_t \sin(\theta + \Delta)}{c}$$

$$\text{Extra } \Delta f_x = \left| \frac{4v_z f_t \cos \theta \cdot \Delta}{c} \right| \quad (18)$$

De invloed van domp is dus gemiddeld nul i.v.m. $\int v_z dt = 0$.

(v)

Als de stampbeweging rond de gemiddelde trimhoek $\bar{\Delta}$ gegeven wordt

$$\Delta = \bar{\Delta} + \Delta_m \sin wt$$

$$\text{dan } v_z = w \cdot a \Delta_m \cos wt \quad (19)$$

waar a de afstand is van de langsscheepse draaipunt tot de sensor.

Ingevuld in (18) geeft dit:

$$\text{extra } \Delta f_x = \frac{4w a \Delta_m f_t \cos \theta}{c} (\bar{\Delta} \cos wt + \frac{1}{2}\Delta_m \sin 2wt) \quad (20)$$

zodat ook hier de gemiddelde invloed nul is.

(vi)

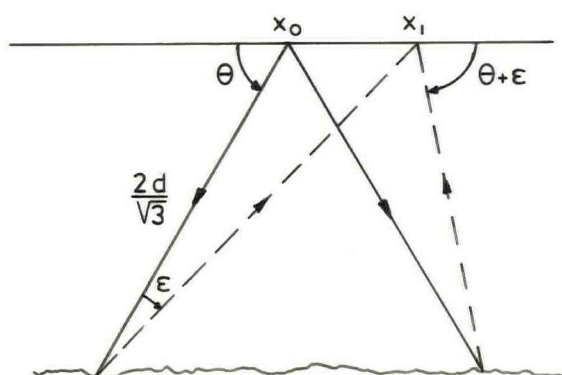
Doordat het vaartuig zich verplaatst heeft tussen het moment van uitzenden van de puls en ontvangst van de echo ontstaat de situatie zoals geschetst in figuur 4.13.

De looptijd van de puls is nagenoeg gelijk aan

$$\Delta t = \frac{4d}{c \sqrt{3}}$$

$$\text{waardoor } \Delta x = \frac{4d v_x}{c \sqrt{3}}$$

(21)



Figuur 4.13

De ontvangst vindt plaats onder een schijnbare trimhoek ϵ , waarbij

$$\frac{\sin \epsilon}{\Delta x} = \frac{\sin \theta}{2d/\sqrt{3}} \rightarrow \epsilon = \frac{v}{c} \frac{x}{\sqrt{3}} \quad (22)$$

De relatieve vaartfout is hierdoor $\left(\frac{3}{2} \frac{v}{c} \frac{x}{\sqrt{3}}\right)$ 100% en is onafhankelijk van de diepte.

Bij een vaart van 20 kn is de fout circa 0.1%.

Praktische gegevens

Voor zenden en ontvangen wordt in het algemeen dezelfde transducer gebruikt. Er worden pulsen uitgezonden met een PRR (pulse repetition rate) die afhankelijk is van de waterdiepte. De werkfrequentie is verschillend bij diverse fabrikaten en ligt tussen 100 kHz en 2 MHz. De transducers kunnen dan klein blijven, terwijl de bundelhoek toch klein genoeg is (circa 3° voor de langsscheepse bundel en 8° voor de dwarsscheepse bundel).

Voor lagere frequenties is een grotere transducer nodig voor dezelfde bundelhoek. Het voordeel van lagere frequenties is het geringere vermogensverlies in het zeewater.

De inclinatiehoek θ wordt in het algemeen 60° genomen; bij kleinere hoeken zou te weinig energie van de diffuse terugkaatsing worden ontvangen, terwijl bij grotere hoeken de vaartcomponent in de bundelrichting te klein wordt. Tot diepten van circa 200 m werkt de Dopplerlog op "groundtrack". Indien de terugontvangen energie te klein wordt, dan wordt automatisch overgeschakeld op "watertrack", waar de frequentieverschuiving gemeten wordt t.o.v. de gereflecteerde energie van de waterlagen op 10 à 20 m diepte. Hiertoe wordt de ontvanger gedurende een korte periode na uitzending gesloten ("blanking").

Het grote voordeel van deze log is, dat de volgstroom geen invloed heeft op de meting. Bovendien is de log onbepaald bruikbaar op ondiep water en ook zeer nauwkeurig in het lage snelheidsgebied.

De grootste hinder voor de goede werking van Dopplerloggen (in feite van elk onderwater-akoestisch systeem) wordt ondervonden door luchtbellens. Dit kan o.a. optreden door het schroefwater van sleepboten bij het manoeuvreren, door eigen schroefwater bij achteruitslaan, in ballast varende bij slecht weer, in het zog van een voorliggend schip varende, etc. De Dopplerlog wordt bij voorkeur in de bulb aangebracht, maar in ieder geval zo voorlijk mogelijk, zie figuur 4.14b.

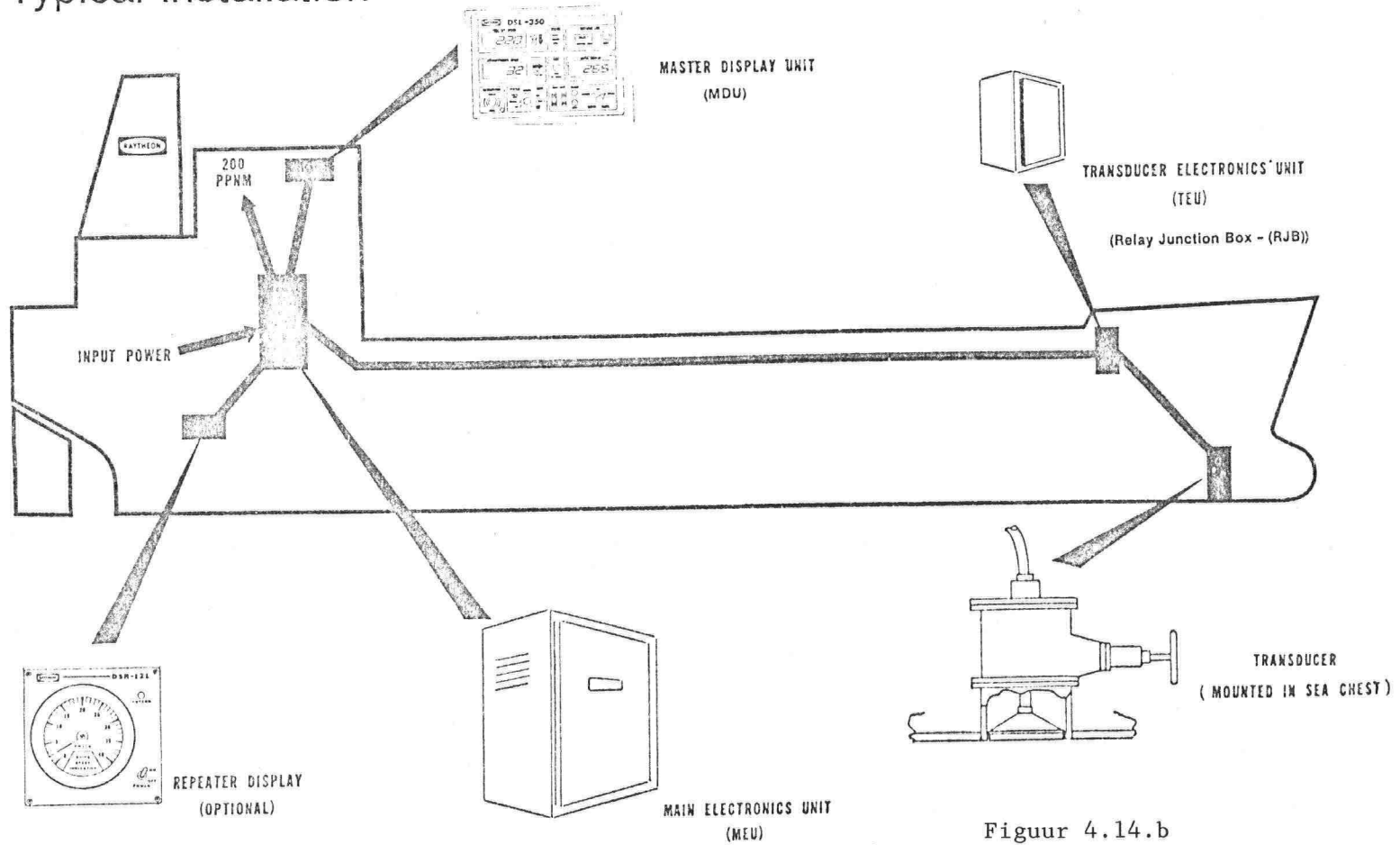
DOPPLER SYSTEM FEATURES...

- Accurate speed and depth from 0.1 knot to 40 knot / 2 m to 300 m
- Low Speed mooring mode – speed in hundredths of knots (x.xx)
- Combined echo sounder and Speed Log–Only one hull penetration required in ships bow.
- Speed over ground i.e. bottom track to 1000 ft (300m)
- Automatic switching to Watermass tracking (reference is watermass 15 meters below the keel (typical)).
- Forced watermass tracking
- DEPTH read out and pre-settable depth alarm facility is standard
- Distance RUN counter–mechanical i.e. no loss of data in case of power failure
- Automatic compensation for water temperature and salinity
- Self test feature
- Universal display size and mounting
- Digital circuitry – No calibration required
- Distance outputs (200pp NM) to TM–radar, Sat Nav etc.
- Automatic Pitch correction (10° pitch = 1.5% static speed error (dynamic error less))
- Digital and Analog Repeater Displays
- Flush mounted Transducer
- Simple installation
- Reliable

Figuur 4.14.a

DOPPLER SYSTEMS

Typical Installation



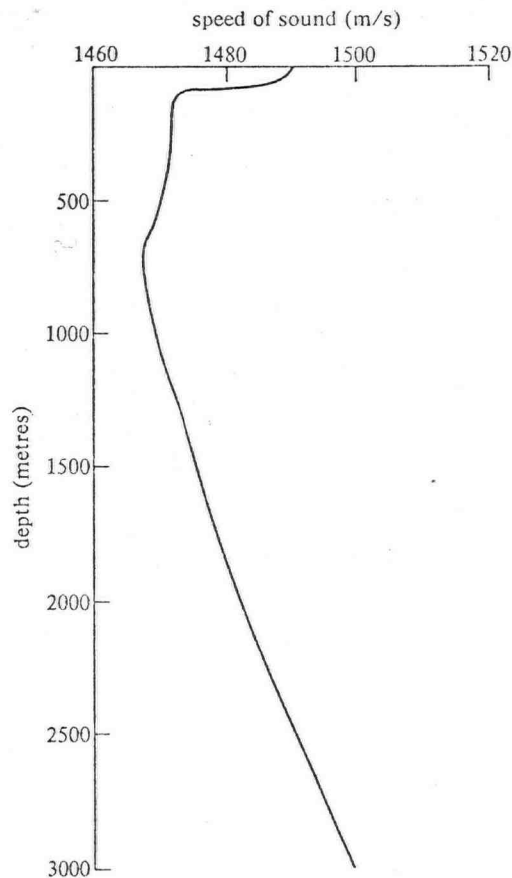
Figuur 4.14.b

- Als de geluidssnelheid c ter plaatse van de sensor niet overeenkomt met de c waarmee gerekend wordt in (13) en (14), ontstaat een relatieve fout in de vaart die overeenkomt met de relatieve fout in c . Duurdere loggen zijn uitgerust met een thermistor die constant de zeevatertemperatuur registreert ter plaatse van de sensor, zie formule van Wilson in collegedictaat k3. Er wordt op geattendeerd dat het voldoende is om de c ter plaatse van de sensor te weten. De geluidssnelheid op weg naar de bodem en terug is niet van invloed op de meting, zulks in tegenstelling tot echoloden waar de diepte wordt bepaald aan de hand van de relatie

$$d = \frac{ct}{2} \quad (23)$$

waarbij t de looptijd is van de puls van de sensor naar de bodem en terug en c de gemiddelde voortplantingssnelheid over dit traject. Bij een aantal fabrieken van Dopplerloggen wordt gelijktijdig de diepte gemeten en op de "display" getoond. Voor navigatiedoeleinden zijn deze echoloden veelal gecalibreerd voor $c = 1500$ m/s en wordt geen rekening gehouden met de actuele c . Voor hydrografische opnames wordt het lood vóór de opname gecalibreerd.

In figuur 4.15 wordt een situatie weergegeven met de c als functie van de diepte.



Figuur 4.15

Het voordeel van een gecombineerd lood/log is, dat er maar één huiddoorvoering nodig is. De sensor is d.m.v. een "sea chest" tijdens de vaart inneembaar voor inspectie of verwisseling, zie figuur 4.14b.

Bij de installatie van de log dient deze uiteraard zorgvuldig opgelijnd te worden met de langsscheepse richting, daar anders fouten ontstaan. De gemeten snelheid zou dan zijn:

$$\begin{pmatrix} v_x^* \\ v_y^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} \quad (24)$$

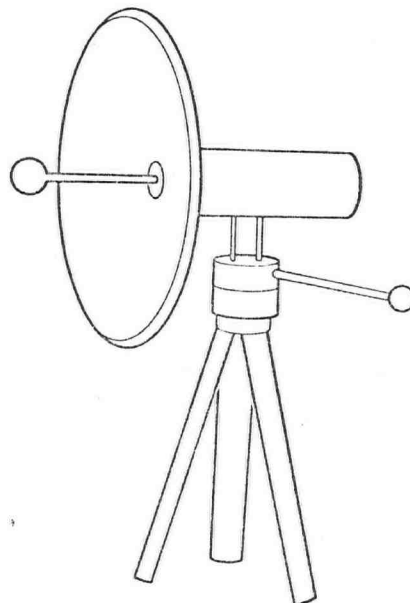
Voor zeer grote schepen is de Dopplerlog van groot belang om bij het meren nauwkeurig de naderingssnelheid t.o.v. de laad/lospier te meten. Snelheden van 0.5 cm/s worden nog door de Dopplerlog geregistreerd. Geringe snelheid bij stoten veroorzaakt reeds grote schade door de grote hoeveelheid kinetische energie, die in korte tijd moet worden opgenomen door de finders.

Bij het ten anker gaan geldt hetzelfde; het anker mag pas vallen als de grondsnelheid nagenoeg nul is.

Meersystemen

Omdat niet alle grote schepen met een dergelijke log zijn uitgerust, zijn bij een aantal laad/lospieren voor grote tankers twee Doppler-akoestische onderwaterinstallaties aan de wal opgesteld. Behalve de Dopplershift, die de naderingssnelheid t.o.v. de kade meet, wordt ook de looptijd van de puls gemeten, zodat de afstand tot de kade bekend is. Met een analoge of digitale "display" worden deze gegevens getoond voor vóór- en achterschip, zodat het navigatieteam de nodige maatregelen kan nemen om met snelheid nul aan te meren.

Omdat ook hier luchtbellens (aeration) de werking kunnen verstoren, zijn er microgolfsystemen ontwikkeld die in de X-band (8.2-12.4 GHz) uitzenden en ontvangen met reflectoren zoals in figuur 4.16 is getoond.



Figuur 4.16

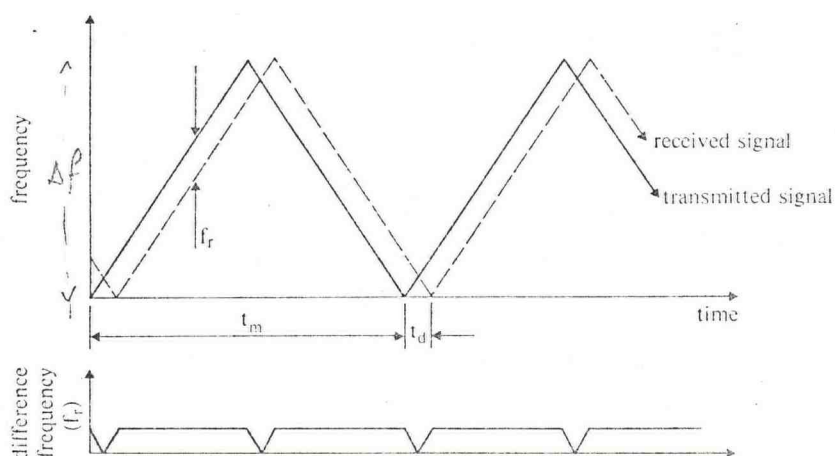
Afstand en naderingssnelheid worden gemeten en getoond. Er moet voor worden gezorgd, dat de bundel op de scheepshuid reflecteert en niet op een dekhuis dat enkele meters van de scheepszijde afstaat. Omdat pulssystemen geen afstanden kunnen meten kleiner dan de halve pulslengte, wordt hier gebruik

gemaakt van FM-radar. De uitzending is continu, waarbij de frequentie rechtlijnig wordt veranderd in de tijd zoals is aangegeven in figuur 4.17. De "delay time" $t_d = \frac{2R}{c}$, als R de afstand is van sensor tot scheepshuid. Als het gemeten frequentieverschil f_r is, dan blijkt uit figuur 4.17 eenvoudig dat

$$f_r = \frac{\Delta f}{\frac{1}{2}t_m} t_d = \frac{4 \cdot \Delta f \cdot R}{c t_m}$$

Als f_m de modulatiefrequentie is dan:

$$R = \frac{f_r c}{4f_m \cdot \Delta f} \quad (25)$$



Figuur 4.17

Voor meting van afstand en naderingssnelheid wordt afwisselend uitgezonden in FM en constante frequentie. Bij de laatste wordt voor de bepaling van de snelheid de Dopplershift gemeten.

Correlatielog

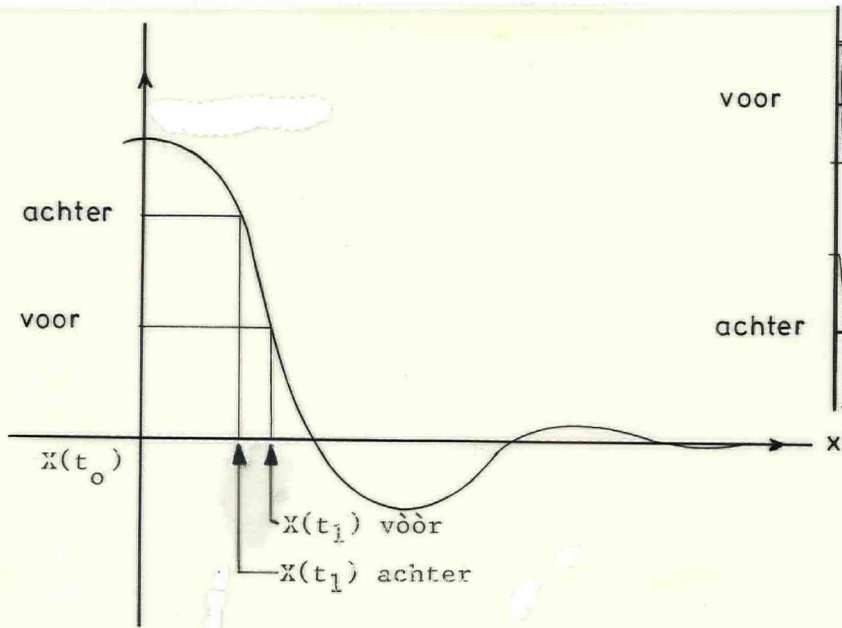
De firma Jungner brengt een log op de markt die de snelheid volgens een geheel ander principe meet. Twee transducers worden op circa 3.5 cm onderlinge afstand in langsscheepse richting in het scheepsvlak aangebracht. Beide transducers zenden tegelijk een sterke puls uit in de frequentie 150 kHz en met een pulsduur die afhankelijk is van de diepte. De gereflecteerde golven interfereren en zullen ter plaatse van de sensor een amplitude patroon vormen zoals is getoond in figuur 4.18a.

Het schip vaart door dit patroon heen, waarbij de voor- en achtersensor de patronen waarnemen zoals in figuur 4.18b zijn gegeven. De energiewaarden $B_1(t)$ en $B_2(t)$ worden naar een kruiscorrelator gevoerd, waar de waarde τ wordt bepaald waarvoor

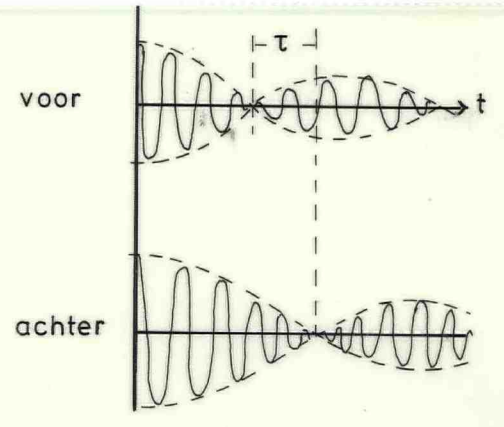
$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T B_1(t + \tau) B_2(t) dt \quad (26)$$

maximaal is.

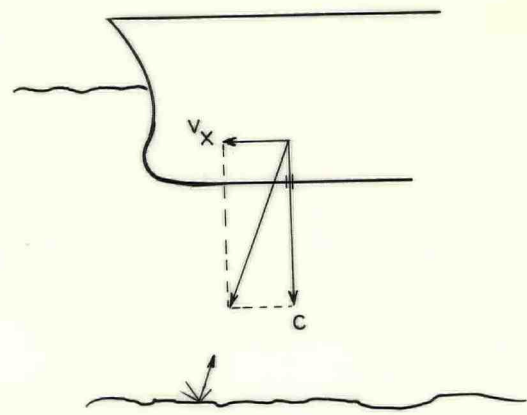
De gereflecteerde bundel die door de sensoren wordt waargenomen heeft een horizontale snelheidscomponent $-v_x$. De relatieve snelheid van het schip t.o.v. de bundel is daarom $2v_x$, zie figuur 4.19



Figuur 4.18a



Figuur 4.18b



Figuur 4.19

De snelheid wordt daarom gegeven door

$$v_x = \frac{\text{afstand transducers}}{2\tau} \quad (27)$$

Tot een diepte van circa 200 m werkt de log op "bottomtrack"; als het bodesignaal te zwak wordt, dan wordt automatisch overgeschakeld op "watertrack".

Andere methoden voor vaartmeting

- i) Een drum met verzwaarde bodem en een paar opgelaste platen wordt overboord geworpen, waarna door afstandsmeting met de radar de snelheid door het water kan worden afgeleid. Deze methode is bij uitstek geschikt voor het ijken van loggen die de vaart door het water meten (zie leerboek Navigatie II). Bij ARPA-radar (automatic radar plotting aid) kan bij juiste instelling direct de snelheid worden afgelezen. Bij proefvaarten kan deze methode ook gebruikt worden om de ontwerpssnelheid te controleren.
- ii) Veelal wordt bij proefvaarten de snelheid bepaald door een bepaalde "run" een aantal malen in tegengestelde zin af te leggen, waarbij met een elektronisch plaatsbepalingssysteem de positie nauwkeurig wordt bij-

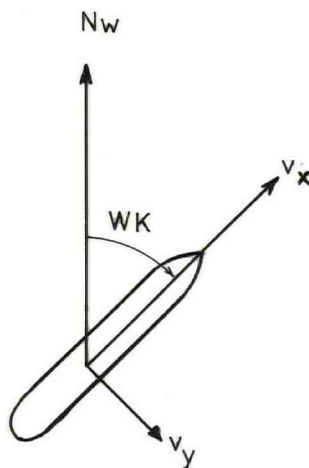
gehouden. Door middeling van de vaart in beide richtingen wordt de snelheid door het water bepaald. Hierbij wordt dus aangenomen dat de stroom in plaats en tijd homogeen was!; een veronderstelling waaraan niet altijd wordt voldaan.

- (iii) Langs de kust is op een aantal plaatsen een "gemeten mijl" uitgezet tussen twee merklijnen. Omdat ook hier de grondvaart wordt gemeten geldt het zelfde bezwaar als onder (ii).

Dopplernavigator

Wordt de Dopplerlog geïntegreerd met het gyrokompas, dan spreekt men van Dopplernavigator. Indien de correctie van het gyrokompas (τ_c) in het systeem is ingevoerd, en de Dopplerlog staat op groundtrack, dan zijn de Noord- en Oostcomponent van de vaart bekend; zie figuur 4.20.

$$\begin{pmatrix} v_N \\ v_E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos WK & -\sin WK \\ \sin WK & \cos WK \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} \quad (28)$$



Figuur 4.20.

Hierna volgen breedte en lengte volgens "dead reckoning" uit

$$\left. \begin{aligned} b(t) &= b_o + \int v_N dt \\ l(t) &= l_o + \int v_E \sec b dt \end{aligned} \right\} \text{ ofwel } \begin{cases} b(K+1) = b(K) + v_N \Delta t \\ l(K+1) = l(K) + v_E \sec b_K \Delta t \end{cases} \quad (29)$$

Indien de log op watertrack staat, moet de stroom in richting en grootte in het systeem worden ingevoerd; deze wordt vectorieel opgeteld bij de watersnelheid waarna (29) weer geldt.

Literatuur

- [1] American Practical Navigator
Originally by Nathaniel Bowditch
Defense Mapping Agency, USA, 1977

- [2] Leitfaden der Navigation
Uhlig e.a.
VEB Verlag Technik Berlin

- [3] Loggen
Monografie voor het Hoger Zeevaartonderwijs
Stichting Technisch en Nautisch Instituut, 1972

- [4] Marine Electronic Navigation
S.F. Appleyard
Routledge & Kegan Paul, London, 1980

- [5] Elektronische navigatiemiddelen
G.J. Sonnenberg
Stam Technische boeken, 1975

- [6] Leerboek Navigatie III
Y. Draaisma e.a.
Unieboek 1986

5 KOMPASSEN EN STUURAUTOMATEN

5.1 Inleiding

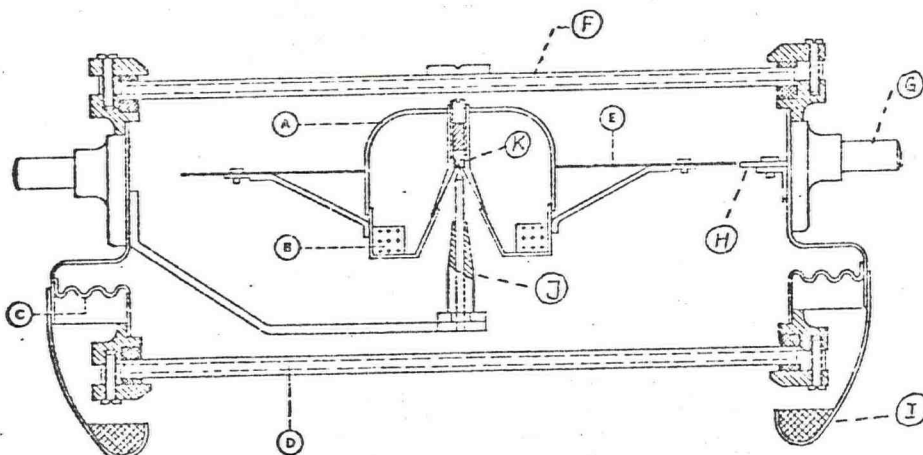
Voor onbeperkt vaargebied moeten schepen kleiner dan 1600 ton twee magnetische kompassen aan boord hebben. Op een van deze kompassen, het standaardkompas, moet kunnen worden gepeild en op het andere, het stuurkompas, moet gestuurd kunnen worden. Het stuurkompas mag worden vervangen door een (goedgekeurd) gyrokompas (SB art. 95). Voor schepen kleiner dan 1600 ton in een beperkt vaargebied kan worden volstaan met één vast opgesteld magnetisch kompas (Bekendmaking aan de Scheepvaart BaS 91/1974). Schepen groter dan 1600 ton zijn verplicht een gyrokompas en een magnetisch standaardkompas aan boord te hebben (SB art. 95).

In het Schepenbesluit en de bijlagen zijn diverse eisen vastgelegd, die bij de plaatsing van een kompas in acht moeten worden genomen. Zo behoort een peilkompas tenminste 230 graden vrij uitzicht over de horizon te hebben, van recht vooruit tot 25 graden achterlijker dan dwars. Voor magnetische kompassen zijn eisen vastgesteld voor de nabijheid van elektrische leidingen etc. Magnetische kompassen moeten regelmatig gecompenseerd worden door experts die door het Hoofd van de Scheepvaartinspectie zijn aangewezen.

Op moderne schepen worden tegenwoordig twee gyrokompassen geplaatst en daarnaast een magnetisch kompas op het schavotje waarop gestuurd kan worden middels een periscoopaflezing of door middel van een dochterkompas dat op het magnetisch kompas is aangesloten. Eén van de magnetische dochterkompassen is veelal als koersbewakingsinstrument ingericht. Indien op de stuurautomaat wordt gevaren met het gyrokompas als koersgever, zal de magnetische koersbewaking een alarm geven als de koers meer dan een ingesteld bedrag afwijkt van de op de automaat ingestelde koers.

5.2 Het magnetisch kompas

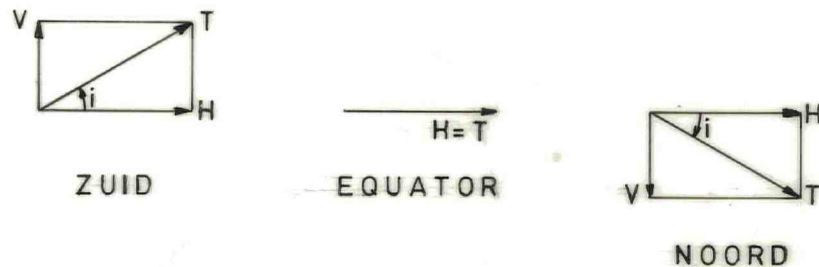
In figuur 5.1 is een doorsnede gegeven van een modern vloeistofkompas. Het richtend moment wordt verkregen van een ringmagneet B. Het drijflichaam A vermindert het gewicht van magneet en roos E. De lagers G zijn dwarsscheeps aangebracht in een cardanusring die weer langsscheeps in het nachthuis is gelagerd. De koers wordt afgelezen op de zeilstreep aan de binnenkant van de



Figuur 5.1 Dwarsdoorsnede vloeistofkompasketel.

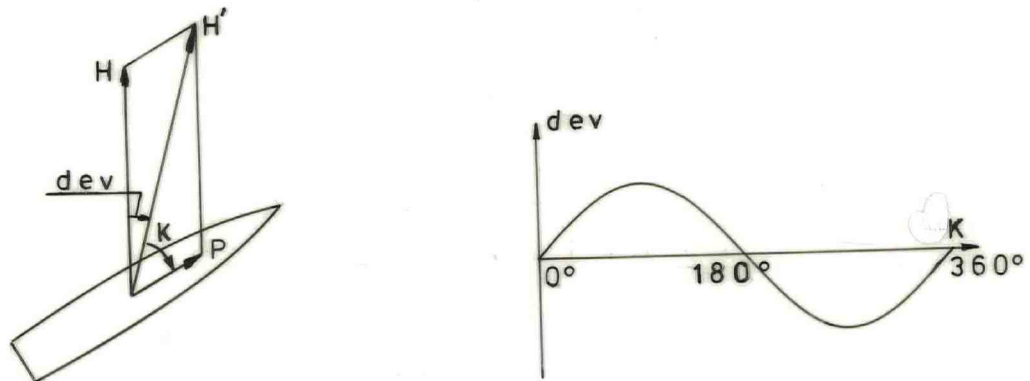
kompasketel. De verbindingslijn zeilstreep-kompaspen K moet zuiver langscheeps worden aangebracht. Bij H is nog een extra dwarsscheepse zeilstreep aangebracht.

Het magnetisch kompas richt zich naar de horizontale component H van het totale aardmagnetisch veld T, zie figuur 3.2 voor noorder- en zuidermagnetische breedte. Op de magnetische equator is de inclinatie $i = 0$ en $H = T$.



Figuur 5.2

In de Noordzee is $H = 16$ A/m en $i = 65^\circ$, op de magnetische equator is $H = 32$ A/m. Deze verandering in H heeft tot gevolg dat kompasfouten die veroorzaakt worden door scheepsmagnetische veldsterkten veranderen.



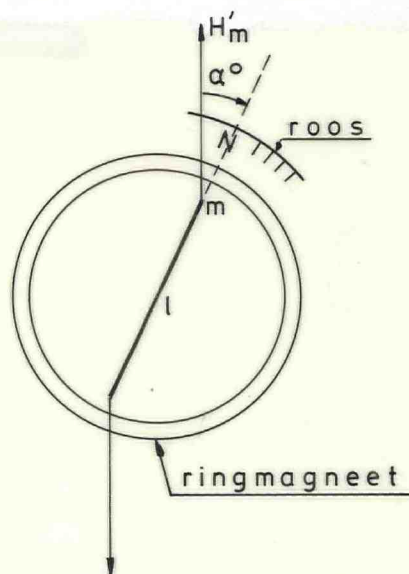
Figuur 5.3

In figuur 5.3 zien we dat: $\frac{\sin(\text{dev})}{P} = \frac{\sin K}{H}$, met K de kompascoers,

$$\text{dev} \approx \frac{P}{H} \sin K \quad (1)$$

De deviatie wordt groter als H door positieverandering afneemt en is semi-circulair van aard. Een dwarsscheepse permanente veldsterkte geeft eveneens een semi-circulaire fout. Permanenten veldsterkten worden veroorzaakt door magnetisch "hard" ijzer. In "weekijzer" worden transiënte polen geïnduceerd door het aardmagnetisch veld. Zo zal bijvoorbeeld in een langsscheepse staaf (dekken, railingen, etc.) de geïnduceerde veldsterkte bij rondzwaaien verlopen volgens $a H \cos K$. De deviatie die hierdoor wordt veroorzaakt verloopt volgens $a \cos K \sin K$, $= a/2 \sin 2K$ en is dus kwadrantaal van karakter. Het magnetische kompas wordt gecompenseerd tegen de storende effecten van scheepsmagnetisme. Hiertoe worden langsscheepse en dwarsscheepse permanente magneten gebruikt, een verticale magneet (hellingsmagneet), weekijzeren bollen

ter weerszijden van het kompas en een weekijzeren staaf aan de voorzijde van het kompas (Flindersstaaf). Voor theorie over en praktische uitvoering van een compensatie wordt verwezen naar de betreffende leerboeken.



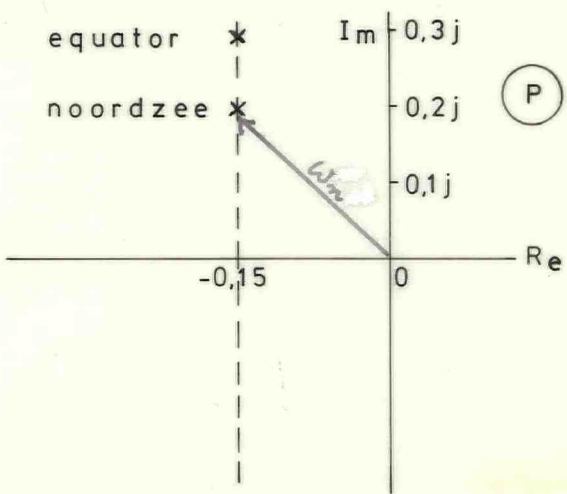
Figuur 5.4 Richtend moment van kompas.

Het dynamisch gedrag van een magnetisch kompas wordt beschreven door de bewegingsvergelijking. Indien de aanwijzing van het kompas α uit de middenstand is, dan is het richtend moment gelijk aan $m H' l \sin \alpha$, waar m de poolsterkte van de ringmagneet is en l de afstand van de polen. Het product $ml = M$ heet het magnetisch moment. Als de viskeuze wrijving $C\dot{\alpha}$ is, dan is de homogene vergelijking:

$$J\ddot{\alpha} + C\dot{\alpha} + H'M\alpha = 0 \tag{2}$$

Voor gangbare typen vloeistofkompassen is $\frac{C}{J} = 0.3$ en $\frac{M}{J} = 0.004$

De polen van de overdrachtsfunctie variëren met H en daarmee de slingertijd van het kompas.



Figuur 5.5 Polen van overdrachtsfunctie.

De gedempte hoeksnelheid op de magnetische equator $\approx 0.4 \text{ s}^{-1}$ en in de Noordzee 0.2 s^{-1} ; voor $H = 5.6 \text{ A/m}$ wordt het kompas aperiodisch.

Voor een rustig kompas is het nodig dat de slingerperiode van het schip niet in de buurt van de slingerperiode van het kompas ligt!

In vliegtuigen wordt nog steeds het aardmagnetisch veld als referentienoorden gebruikt. Hiertoe zijn zogenaamde "flux valves" aangebracht op een ijzervrije plaats. Door middel van een synchro wordt een koerstol (gyrotol) gestuurd in de cockpit. Bij poolvluchten als de horizontale component van het aardmagnetisch veld te gering is, zorgt de koerstol (wet van behoud van impulsiemoment) tijdelijk voor een constante referentierichting.

5.3 Gyrokompassen

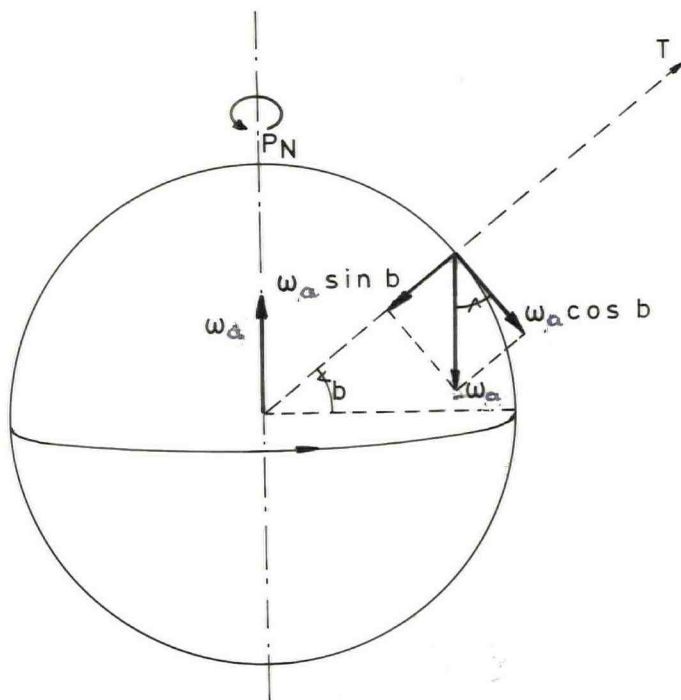
In tegenstelling tot vliegtuigen, zijn schepen uitgerust met gyrokompassen, dat wil zeggen gyrotollen die onafhankelijk van het aardmagnetisch veld noordzoekend zijn. In het kort zal het principe worden aangegeven.

- (i) Een volledig vrij opgehangen gyrotol zal z'n stand in de ruimte behouden. Hierdoor zal de tolas schijnbaar de baan van een ster volgen. De aardrotatievector $\vec{\omega}_a$ kan worden ontbonden in een horizontale en verticale component, respectievelijk

$\omega_a \sin b$ loodrecht op de horizon

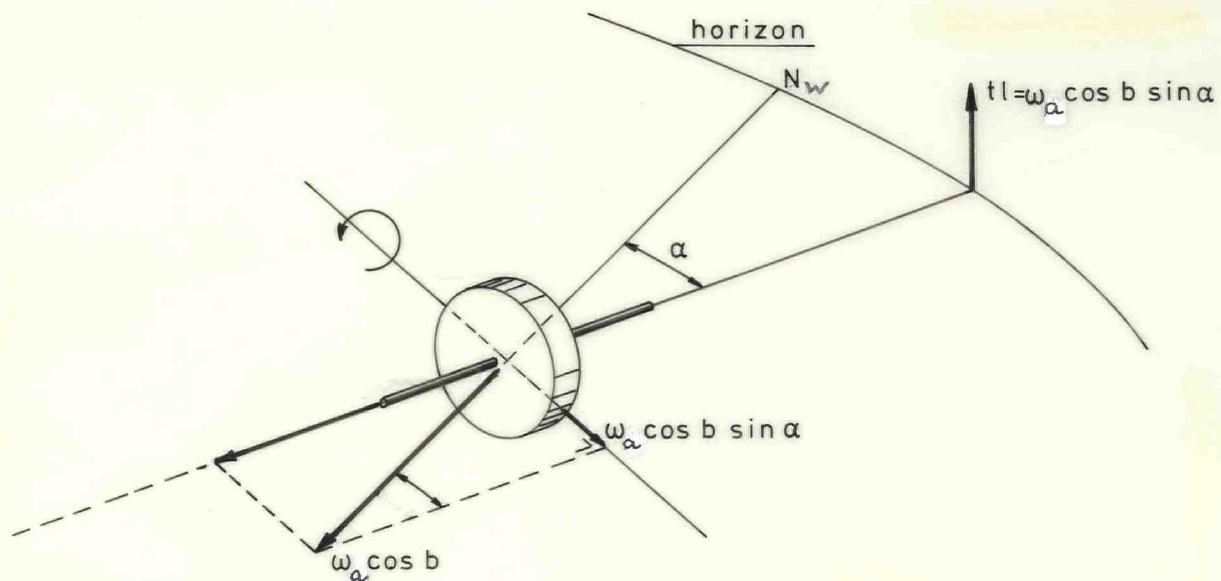
$\omega_a \cos b$ in de horizon, noordwaarts gericht

Zie figuur 5.6.



Figuur 5.6

De rotatievector $\omega_a \cos b$ kan worden ontbonden in een component langs de tolas en loodrecht daarop, zie figuur 5.7, waarvan de laatste een verticale hoeksnelheid van de tolas tot gevolg heeft van $\dot{\beta} = \omega_a \cos b \sin \alpha$ waar α de hoek tussen tolas en de richting van N_w is.



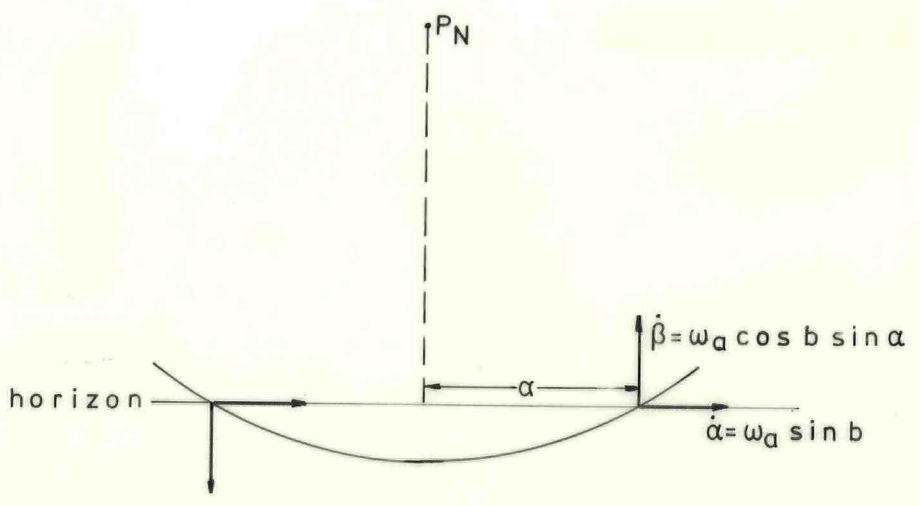
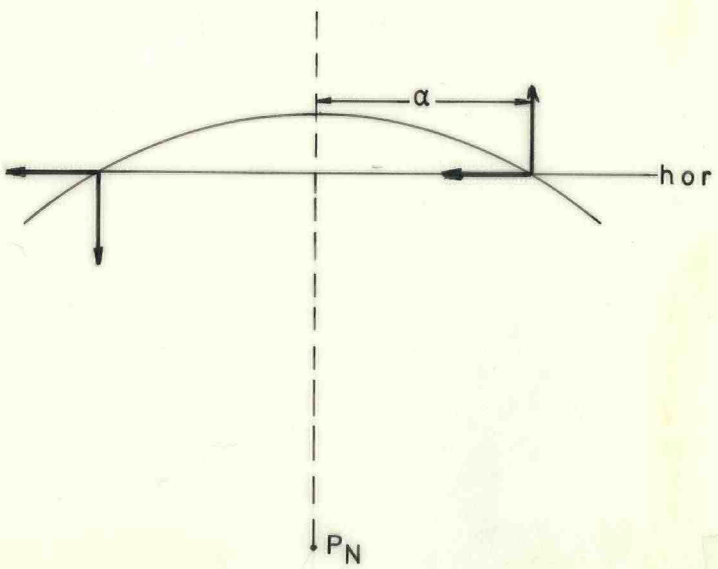
Figuur 5.7

In figuur 5.8 zijn de hoeksnelheden van de tolas in de horizon getekend voor noorderbreedte en zuiderbreedte.

Hiermede geldt nu voor de hoeksnelheid van de tolas nabij de horizon en nabij het Noordpunt N_w :

$\dot{\alpha} = \omega_a \sin b$
$\dot{\beta} = \alpha \omega_a \cos b$

(3)



Figuur 5.8

5.6

- (ii) Een bewegend vaartuig heeft een E-W hoeksnelheid op het aardoppervlak gelijk aan

$$\omega_E = \frac{v_{gr} \sin GrK}{R \cos b} \quad (4)$$

terwijl $\omega_N = \frac{v_{gr}}{R} \cos GrK$ (5)

De ω_N veroorzaakt een extra schijnbare verticale precessie van de tolas

$$\frac{v_{gr} \cos GrK}{R}.$$

De ω_E geeft een bijdrage aan de rotatiesnelheid van de aarde, zodat

$$\omega = \omega_a + \frac{v_{gr} \sin GrK}{R \cos b} \quad (6)$$

Hiermede gelden in de horizon de volgende hoeksnelheden voor de tolas bij kleine waarden van α :

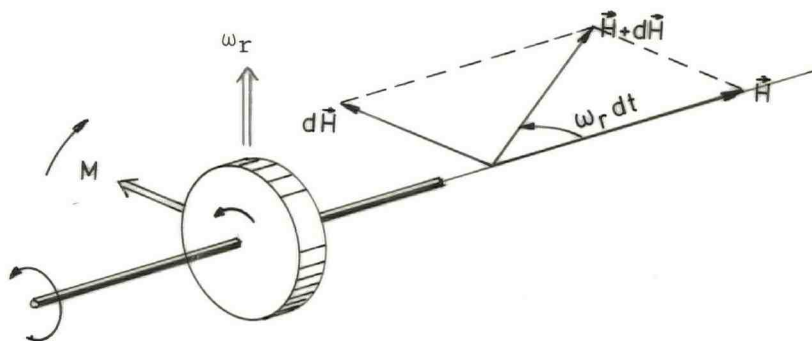
$$\left. \begin{aligned} \dot{\alpha} &= \omega \sin b \\ \dot{\beta} &= \frac{v_{gr} \cos GrK}{R} + \omega \alpha \cos b \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

- (iii) Uit de mechanica is bekend dat

$$\begin{aligned} \vec{M} &= \vec{r} \times \vec{F} \\ \vec{M} &= \vec{r} \times m\ddot{\vec{r}} \\ \vec{M} &= \frac{d}{dt} (\vec{r} \times m\dot{\vec{r}}) = \dot{\vec{H}} \end{aligned}$$

waar H het impulsiemoment van de tolas is, dus

$$\vec{M} dt = d\vec{H} \quad (8)$$



Figuur 5.9

Het moment \vec{M} laat de tolas precesseren, waarbij $\vec{H} \omega_p dt = d\vec{H} = \vec{M} dt \rightarrow$

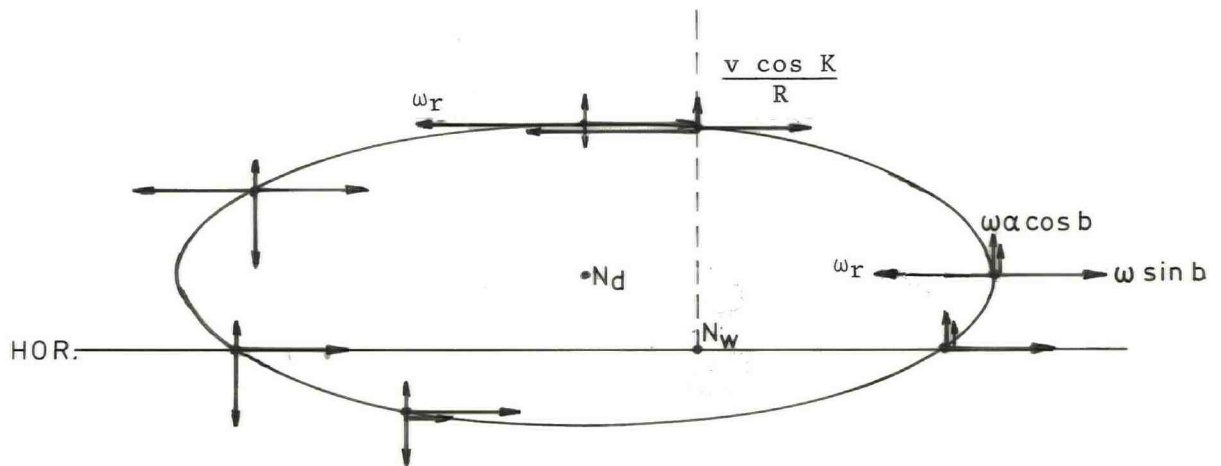
$$\omega_p = \frac{M}{H} \quad (9)$$

Bij alle gyrokompassen is een richtend moment ingevoerd, bijvoorbeeld met behulp van communicerende vaten die verbonden zijn aan de tolas. Als de tolas aan de oostzijde van Nw omhoog komt door de aardrotatie, zal vloeistof overlopen en ontstaat een moment, dat een horizontale hoeksnelheid van de tolas veroorzaakt (ga dit na). Voor kleine hellingen geldt $M = B \beta$, waar B de richtconstante is. Bij positieve helling is de hoeksnelheid westelijk gericht.

$$\omega_r = -\frac{B}{H} \beta \text{ en hierdoor}$$

$$\dot{\alpha} = \omega \sin b - \frac{B}{H} \beta \quad \text{en} \quad \dot{\beta} = \omega \cos b \alpha + \frac{v \cos K}{R} \quad (10)$$

De tolas zal onder invloed van de genoemde hoeksnelheden een elliptische baan beschrijven, zie figuur 5.10.



Figuur 5.10 Ongedempte tolasbeweging.

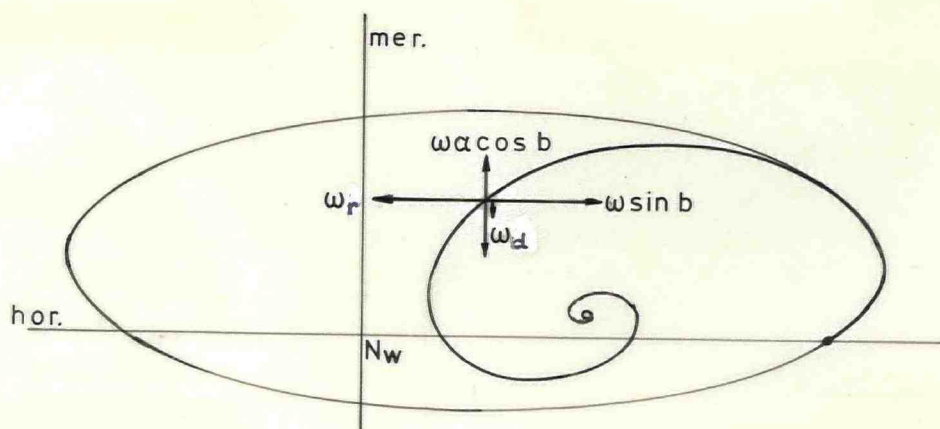
- (iv) De elliptische beweging van de tolas wordt gedempt door toevoeging van een horizontale of verticale dempingsprocessie. Hier zal alleen de verticale demping worden behandeld. Door toevoeging van een verticale momentvector aan de tolas ontstaat een extra verticale dempingsprecessie, die steeds naar de horizon is gericht

$$\omega_d = -\frac{S}{H} \beta$$

Al met al:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\alpha} &= \omega \sin b - \frac{B}{H} \beta \\ \dot{\beta} &= \frac{v \cos K}{R} + \omega \alpha \cos b - \frac{S}{H} \beta \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Dit stelsel DV beschrijft de beweging van de tolas van een vertikaal gedempte tolas. De tolas zal vanuit een willekeurig startpunt onder invloed van de genoemde momenten naar z'n rustpunt precesseren volgens een baan zoals aangegeven in figuur 5.11.



Figuur 5.11

In het rustpunt N_d (dynamische noorden) geldt volgens formule (11):

$$\left. \begin{aligned} \beta_0 &= \frac{H \omega \sin b}{B} \\ \alpha_0 &= \frac{S}{B} \tan b - \frac{v_{gr} \cos GrK}{R \omega \cos b} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

De tolas wijst dus niet naar Nw. De eerste term van α_0 wordt bij alle kompassen met een corrector weggewerkt; hiertoe moet door de navigator de breedte worden ingesteld. De tweede term is de zogenaamde koers- en vaartfout, die bij veel kompassen automatisch wordt gecorrigeerd en bij andere moet de navigator deze correctie zelf toepassen.

$$vc = - 0.0635 \frac{v_{gr} \cos GrK \text{ (gyro)}}{\cos b} \quad (13)$$

Substitutie van $\beta^* = \beta - \beta_0$, $\alpha^* = \alpha - \alpha_0$ en eliminatie van β^* uit (11) levert de DV voor α^* op:

$$\ddot{\alpha}^* + \frac{S}{H} \dot{\alpha}^* + \frac{B}{H} \omega \cos b \alpha^* = 0 \quad (14)$$

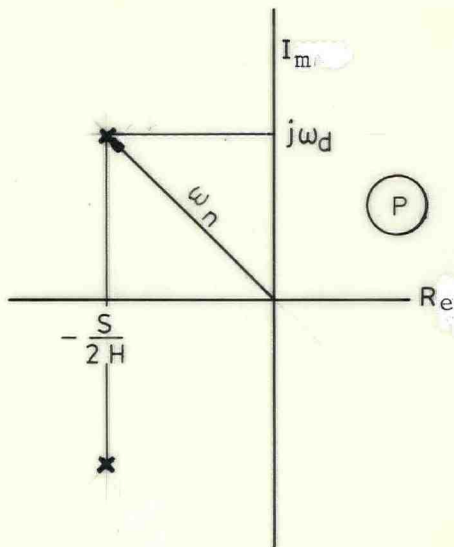
met polen van de overdrachtsfunctie zoals aangegeven in figuur 5.12.

Hieruit volgt de ongedempte slingerperiode:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{H}{B \omega \cos b}} \quad (15)$$

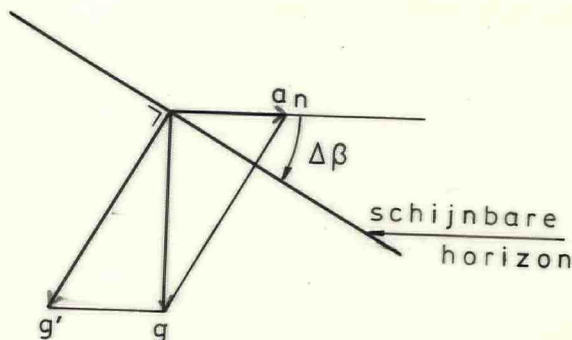
en de gedempte slingerperiode:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{H}{B \omega \cos b - \frac{S^2}{4H}}} \quad (16)$$



Figuur 5.12 Polen overdrachtsfunctie.

- (v) Bij een koers- en/of vaartverandering zal het systeem zich instellen naar de schijnbare horizon loodrecht op g , zie figuur 5.13. Een versnelling in de N-Z-richting doet immers vloeistof overlopen, zodat een extra richtprecessie ontstaat.



Figuur 5.13

$$\text{De extra helling } \Delta\beta \approx \frac{a_n}{g} = \frac{\frac{d}{dt} (v_{gr} \cos GrK)}{g} \quad (17)$$

Hierdoor ontstaat een extra ballistische precessie die een horizontale en verticale hoeksnelheid van de tolas geeft.

$$\dot{\alpha} = - \frac{B}{H} \frac{\frac{d}{dt} (v \cos K)}{g} \quad (18)$$

$$\dot{\beta} = - \frac{S}{H} \frac{\frac{d}{dt} (v \cos K)}{g} \quad (19)$$

De totale ballistische uitslag volgt uit

$$\alpha_2 - \alpha_1 = - \frac{B}{Hg} \int_0^t d(v \cos K) = - \frac{B}{Hg} (v_2 \cos K_2 - v_1 \cos K_1) \quad (20)$$

$$\beta_2 - \beta_1 = - \frac{S}{Hg} \int_0^t d(v \cos K) = - \frac{S}{Hg} (v_2 \cos K_2 - v_1 \cos K_1) \quad (21)$$

Op de nieuwe koers/vaart geldt echter een nieuw dynamisch noordpunt (= een nieuwe vc). We stellen nu als eis, dat de horizontale verplaatsing door de ballistische uitslag gelijk is aan het horizontale verschil in richting van N_d (= het verschil in vc):

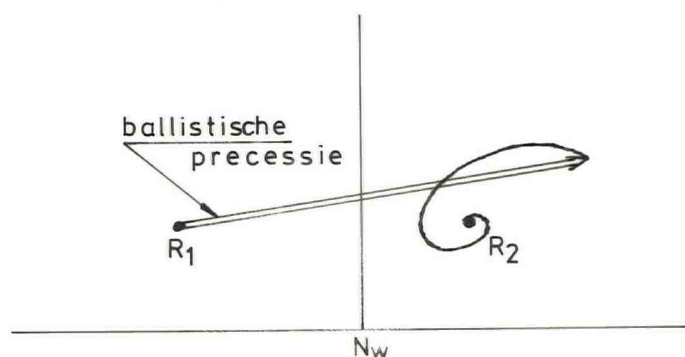
$$\frac{\Delta (v \cos K)}{R \omega \cos b} = \frac{B}{Hg} \Delta (v \cos K) \Rightarrow$$

$$2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{H}{B \omega \cos b}} \quad (22)$$

Het linkerlid is de slingerperiode van een mathematisch slinger met een slingerlengte gelijk aan de aardstraal ($T = 84.4$ min.); het rechterlid is de ongedempte slingerperiode van het gyrokompas, zie formule (15).

Conclusie: Om het kompas ongevoelig te maken voor versnellingen moet de ongedempte slingerperiode van het kompas gelijk zijn aan 84.4 min. Dit is de zogenaamde Schulerperiode; het kompas is dan "Schuler-tuned".

De Schuler-tuning kan maar voor één breedte juist zijn. Op andere breedten blijft een kleine ballistische restfout over na een manoeuvre, zie figuur 5.14. Bovendien zal ook de verticale ballistische uitslag tot gevolg hebben, dat de tolas na een manoeuvre opnieuw zal moeten inslingeren, zie figuur 5.14. Sommige kompassen hebben ook voorzieningen tegen dit laatste effect; bijvoorbeeld tijdelijk de demping uitpikken.



Figuur 5.14

De wettelijke eis is (BaS 152/1979) dat de fout ten gevolge van een snelle koersverandering over 180 graden bij een snelheid van 20 kn de 3° niet zal overschrijden. De fout ten gevolge van een snelle vaartverandering van 20 kn mag de 2° niet overschrijden.

Duurdere kompassen hebben versnellingsmeters die hiermee de tolas corrigeren voor versnellingsfouten.

In verband met de grote slingerperiode, bijvoorbeeld voor Sperry:

$$b = 0^{\circ} \quad T = 72 \text{ m} \quad T^d = 74 \text{ m}$$

$$b = 45^{\circ} \quad T^n = 86 \text{ m} \quad T^d = 90 \text{ m}$$

$$b = 75^{\circ} \quad T^n = 142 \text{ m} \quad T^d = 163 \text{ m},$$

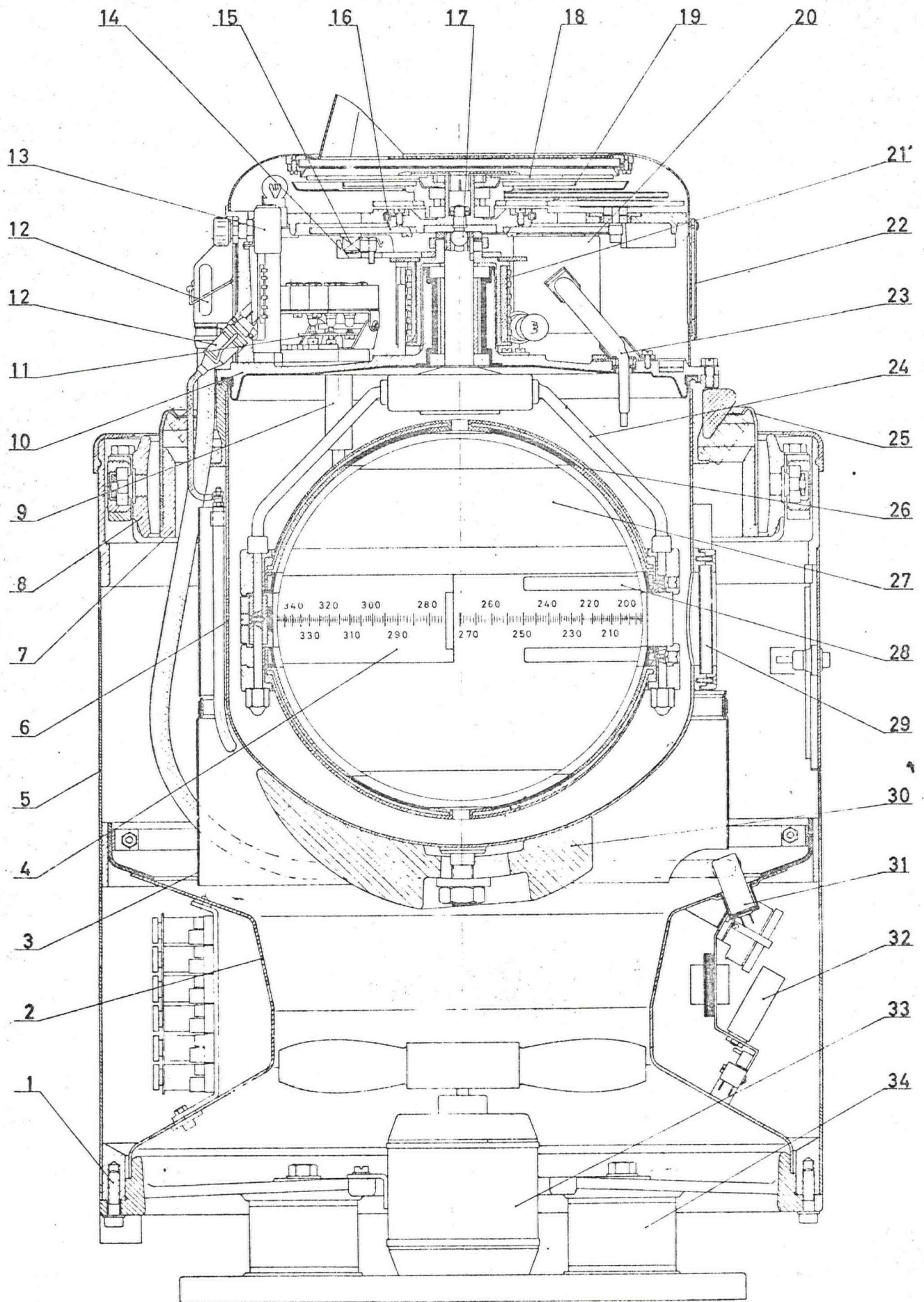
moet een gyfokompas enkele uren voor vertrek gestart worden. Moderne kompassen hebben een versnelde inslingerkarakteristiek voor opstarten.

Aangetoond kan worden dat een slingerend schip een systematische fout van de tolas veroorzaakt die afhankelijk is van de voorliggende koers:

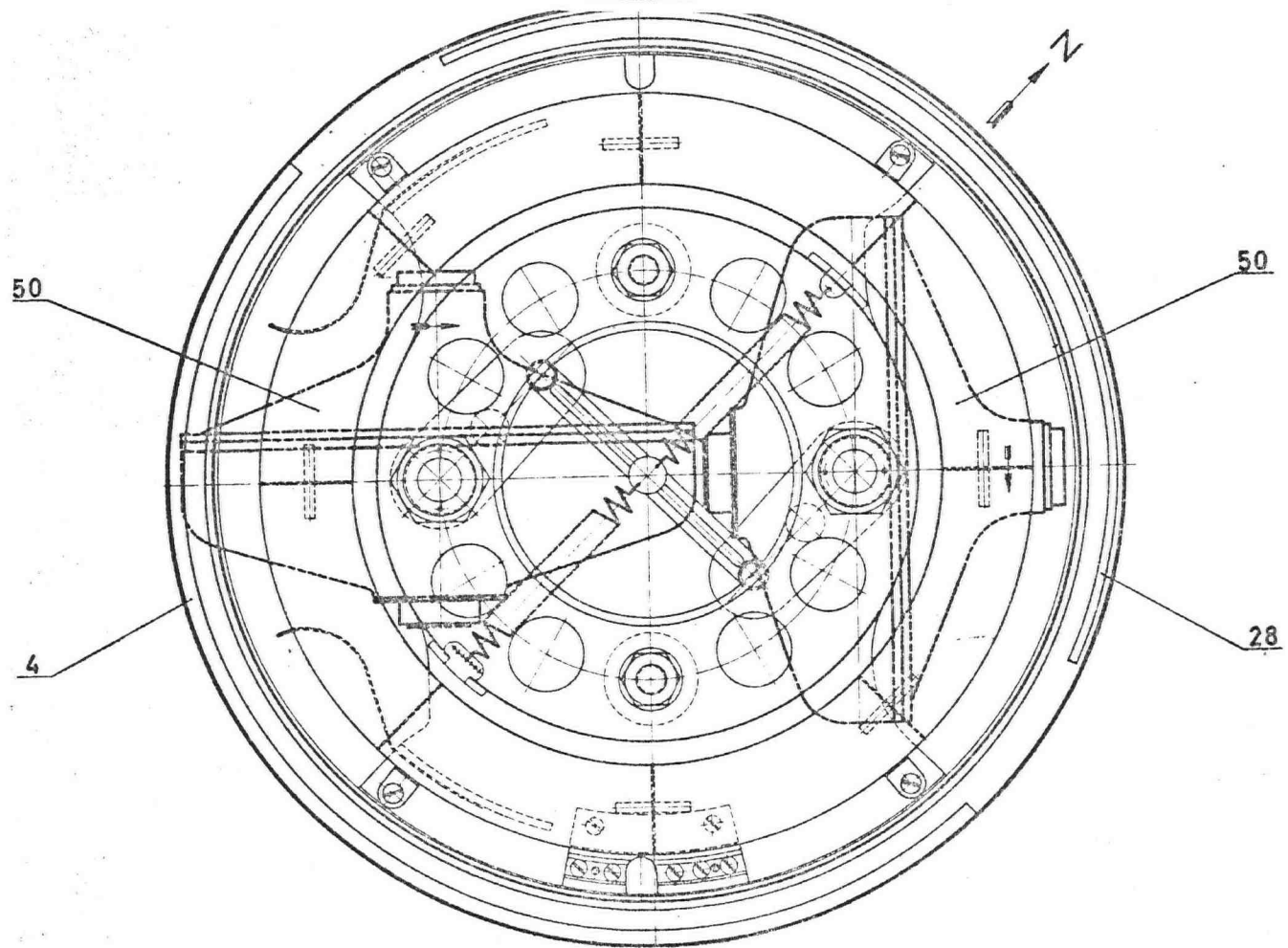
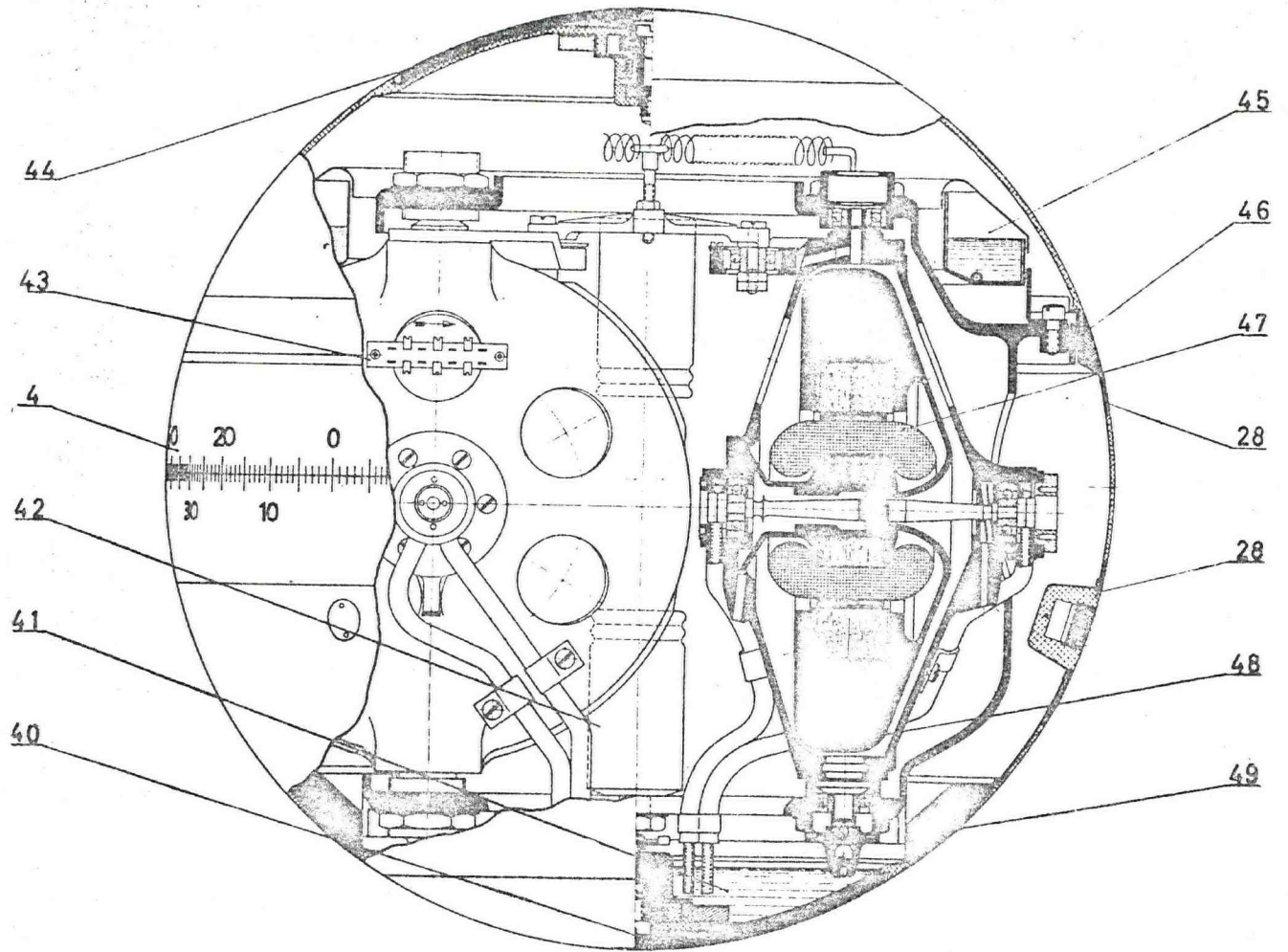
$$\Delta\alpha = C \sin 2K \quad (23)$$

In de volgende figuren tenslotte worden getoond:

- een doorsnede van de Anschütz-Standard 4 kompas
- het noordrichtend element - de gyrobol - van het Anschütz kompas
- schema van diverse aansluitingen op het moederkompas
- enkele dynamische karakteristieken van het Anschütz kompas.



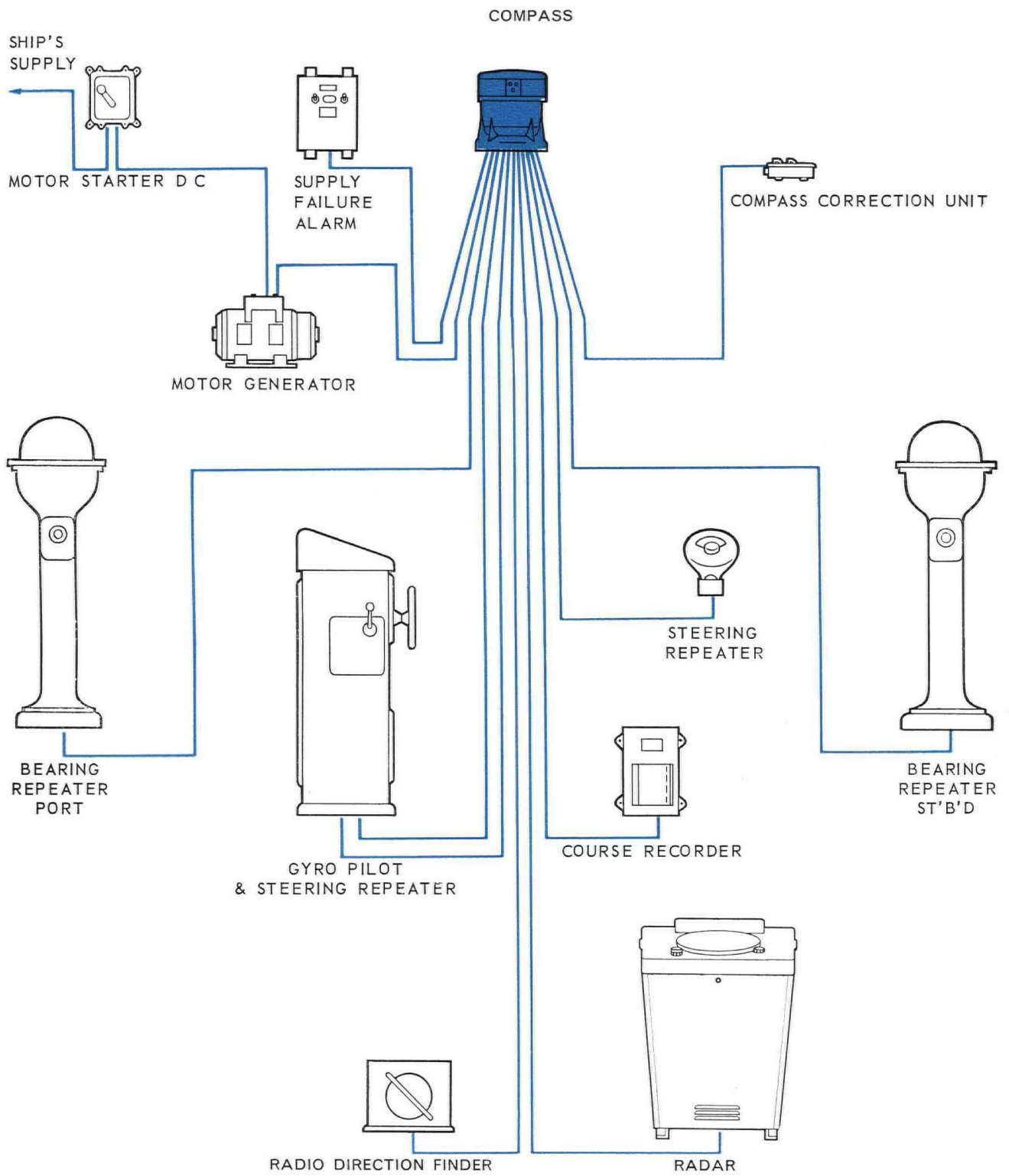
Figuur 5.15 Doorsnede Anschütz moederkompas



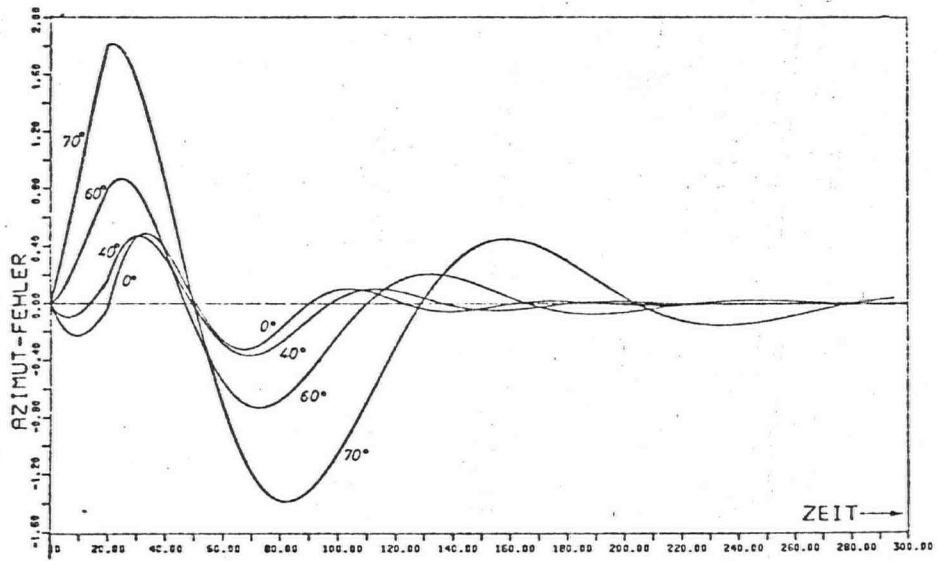
Figuur 5.16 Doorsnede gyrobol Anschütz kompas.

Bij figuur 5.15 en 5.16: Components, reference numbers

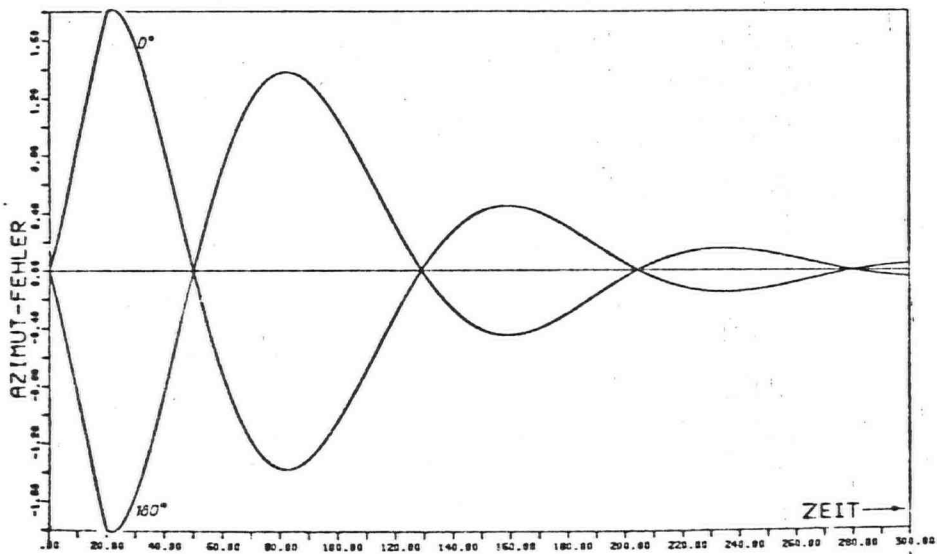
- 1 Securing screw (binnacle - pedestal)
- 2 Air conduct
- 3 Rubber skirt
- 4 Broad equatorial band
- 5 Binnacle
- 6 Liquid container
- 7 Inner gimbal ring
- 8 Outer gimbal ring
- 9 Thermostat
- 10 Top plate
- 11 Micro-switches
- 12 Multiple pin plugs
- 13 Regulating resistance for illumination
- 14 Engaging arm
- 15 Coupling block
- 16 Azimuth pinion
- 17 Centring ball of gear plate
- 18 Compass card 360°
- 19 Compass card $1/10^{\circ}$
- 20 Reversing motor
- 21 Brush holder
- 22 Window for temperature reading
- 23 Thermometer
- 24 Spider leg
- 25 Supporting ring with suspension springs
- 26 Outer sphere
- 27 Gyrosphere
- 28 Narrow equatorial bands
- 29 Observation window of liquid container
- 30 Compensation weight
- 31 Multiple pin plugs
- 32 Transformer or amplifier assembly
- 33 Motor with fan
- 34 Metal cushion
- 35 Friction axle
- 36 Friction wheel
- 37 Compass card lighting
- 38 Gear box
- 39 A.C. Transmitter
- 40 Lower current conducting cap
- 41 Oil sump
- 42 Condenser
- 43 Terminal plate
- 44 Upper current conducting cap
- 45 Annular damping vessel
- 46 Sealing ring of gyrosphere
- 47 Gyro stator
- 48 Gyro flywheel
- 49 Repulsion coil
- 50 Case for gyro



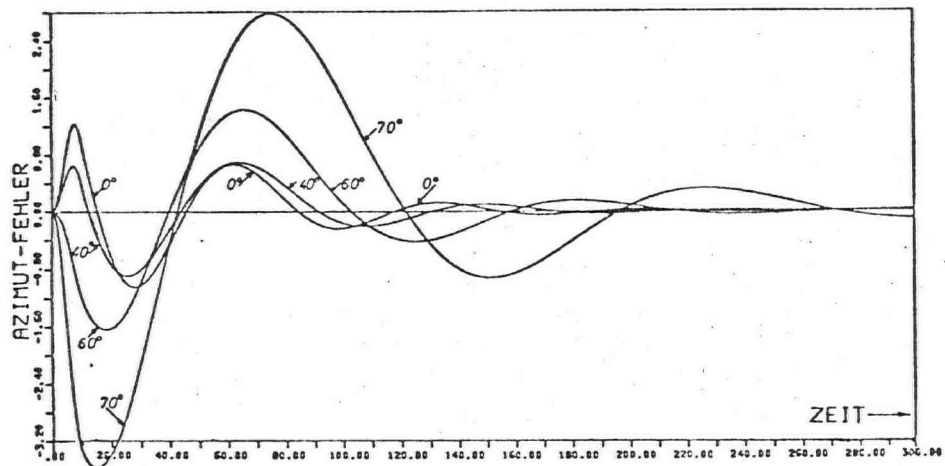
Figuur 5.17 Aansluitingen moederkompas.



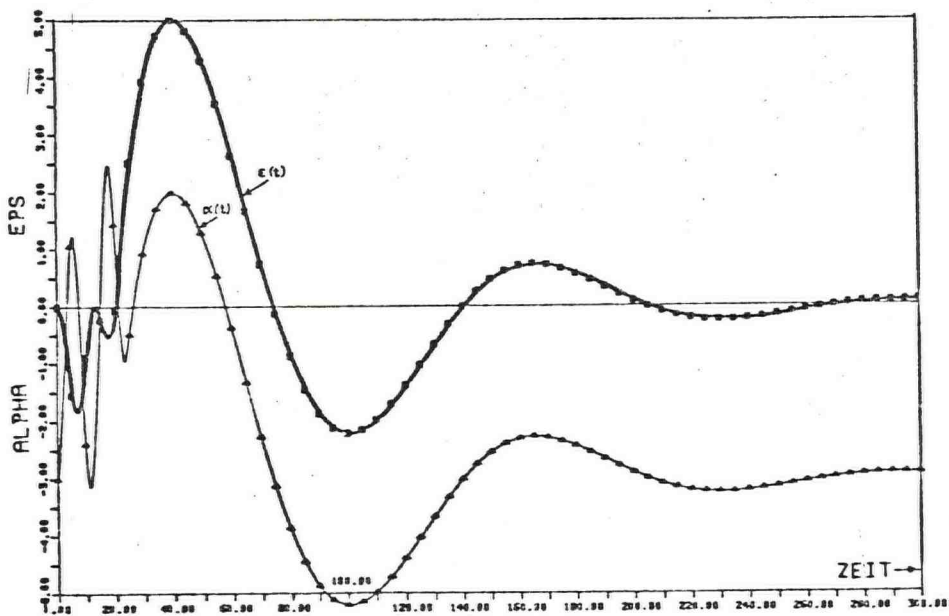
Anfahrmanöver auf 20 kn
 Geographische Breiten: 0° ; 40° ; 60° ; 70°
 Kurs: Nord
 Anfahrzeit: 20 Minuten



Anfahrmanöver auf 20 kn
 Geographische Breite: 70°
 Kurs: Nord bzw. Süd
 Anfahrzeit: 20 Minuten



Gegenkursmanöver mit 20 kn
 Geographische Breite: 0°; 40°; 60°; 70°
 Von Kurs Nord nach Süd über Steuerbord
 Drehzeit: 10 Minuten



Azimuthfehler $\varepsilon(t)$ exklusiv Fahrtfehler bzw. Azimuthfehler $\alpha(t)$ inklusiv
 Fahrtfehler infolge Steuerbord-Doppel-Drehkreismanöver mit 20 kn
 auf geographischer Breite 65° von Kurs Nord nach Nord
 Drehkreiszeit: 2 mal 12 Minuten

5.4 Stuurautomaten

De stuurautomaat behoort tot de standaarduitrusting van koopvaardij- en marineschepen. Indien gedurende langere tijd een constante koers moet worden gevaren werkt de automaat als "regulateursysteem", d.w.z. de ingestelde (gewenste) constante gyrokoers moet zo goed mogelijk gevolgd worden. De instelling van de parameters van de automaat moet zodanig zijn, dat verstoringen van de koers door wind, zeegang, deining en asymmetrie van het schip gecorrigeerd worden door de roerstand, waarbij zo weinig mogelijk roeruitslag moet worden toegepast in verband met de toename van de scheepsweerstand daardoor. Een kostenfunctie die daarbij gehanteerd wordt is (Matora en Koyama, Japan Shipbuilding 1968):

$$J = \frac{0.0076}{T} \int_0^T (\varepsilon^2 + \lambda \delta^2) dt \quad (24)$$

waar ε = gewenste koers minus voorliggende koers
 δ = de roerhoek
 λ = een weegfactor.

Koyama stelde voor $\lambda = 10$, terwijl Norrbín een factor $\lambda = 0.1$ voorstelt (zie [6]).

Van Nauta Lemke en Van Amerongen, zie [6], introduceerden

$$J = \frac{0.0076}{T} \int_0^T (\varepsilon^2 + \lambda_1 \hat{\psi}^2 + \lambda_2 \delta^2) dt \quad (25)$$

waar $\hat{\psi}$ dat deel van de koershoeksnelheid is dat veroorzaakt wordt door roerbewegingen.

Zij vonden voor een tanker van 300 m

$$\lambda_1 = 15000 \text{ en } \lambda_2 = 8$$

en voor een vrachtschip van 200 m

$$\lambda_1 = 1600 \text{ en } \lambda_2 = 6$$

De klassieke stuurautomaat met PID-regeling is afgebeeld in figuur 5.18.

De gewenste roerhoek δ_g volgt uit

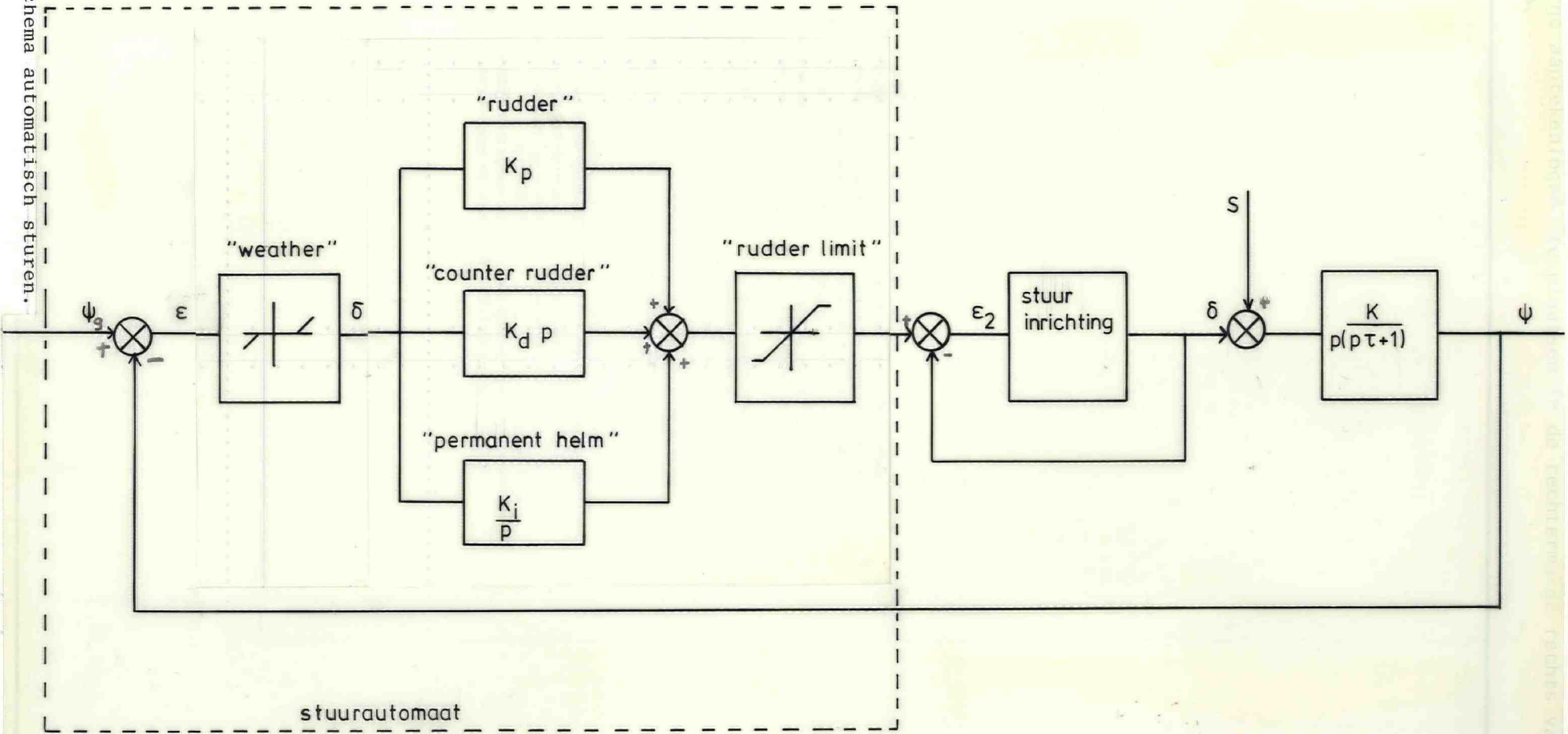
$$\delta_g = K_p \varepsilon + K_d \dot{\varepsilon} + K_i \int \varepsilon dt \quad (26)$$

De werking van de automaat is als volgt.

De werkelijke koers ψ wordt vergeleken met de gewenste koers ψ^g . De proportionele regelactie wordt verzorgd door de factor K ("rudder")^g. Het foutsignaal ε wordt vermenigvuldigd met K om een deel^p van de gewenste roerhoek δ_g te krijgen. De koershoeksnelheid $\dot{\varepsilon}^p$ wordt vermenigvuldigd met K_d ("counter-rudder"); dit is de differentiërende regelactie. De integraalactie wordt verzorgd door K_i , hierdoor wordt een constant windmoment of een constant moment door asymmetrie van het schip gecorrigeerd. Een ingebouwd filter kan er voor zorgen, dat het roer niet reageert op harmonische gierbewegingen van het schip. De navigator kan met de "weather"knop een "dode band" instellen om te voorkomen dat het roer te frequent reageert op gierbewegingen. Bovendien kan met de "rudder limiter" de roerhoek beperkt worden. Voor de navigator zijn dit vijf instellingen, waarbij de beide laatste niet-lineair zijn.

De overdrachtsfunctie van het schip in Laplace-vorm volgens het eerste orde Nomoto-model is:

$$L(\psi) = \frac{K}{p(p\tau + 1)} \cdot L(\delta) \quad (27)$$



stuurautomaat

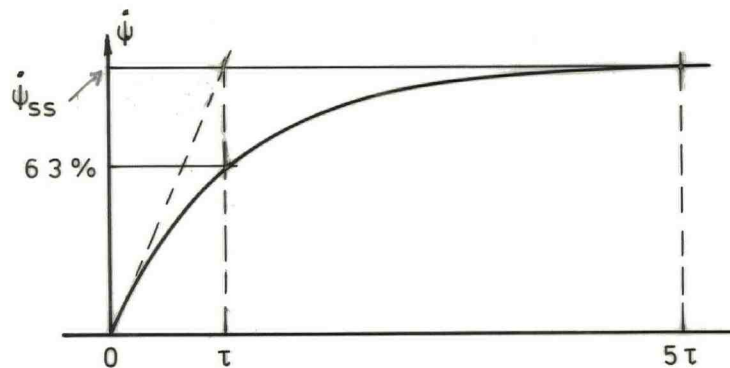
Figuur 5.18 Blokschema automatisch sturen.

$$\text{De Dv luidt } \tau \ddot{\psi} + \dot{\psi} = K\delta \quad (28)$$

Hierin is K de verhouding van koershoeksnelheid en roerhoek in de stationaire draaicirkel, terwijl τ de tijdconstante van het schip is. De tijdconstante kan in de praktijk bepaald worden door $\dot{\psi}$ te registreren na een stapvormige verandering van δ bij uitgeschakelde stuurautomaat. De tijd vanaf roergeven totdat $\dot{\psi}$ circa 63% van de eindwaarde $\dot{\psi}_{ss}$ heeft bereikt, is gelijk aan de tijdconstante, zie figuur 3.19a. De oplossing van (3.28) is immers

$$\dot{\psi}(t) = K\delta (1 - e^{-t/\tau}) \quad (29)$$

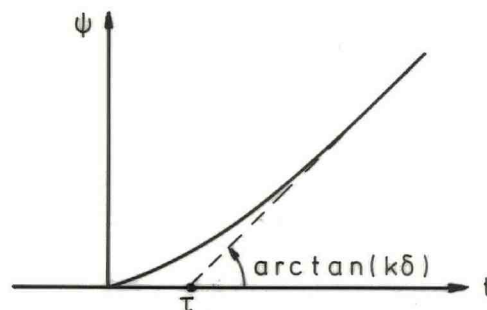
$$\text{en} \\ \psi(t) = K\delta (t - \tau + \tau e^{-t/\tau}) \quad (30)$$



Figuur 5.19a

De raaklijn aan de $\dot{\psi}$ curve in $(0,0)$ snijdt de lijn $t = \tau$ in $\dot{\psi} = \dot{\psi}_{ss}$. Na circa 5τ treedt de "steady state" in.

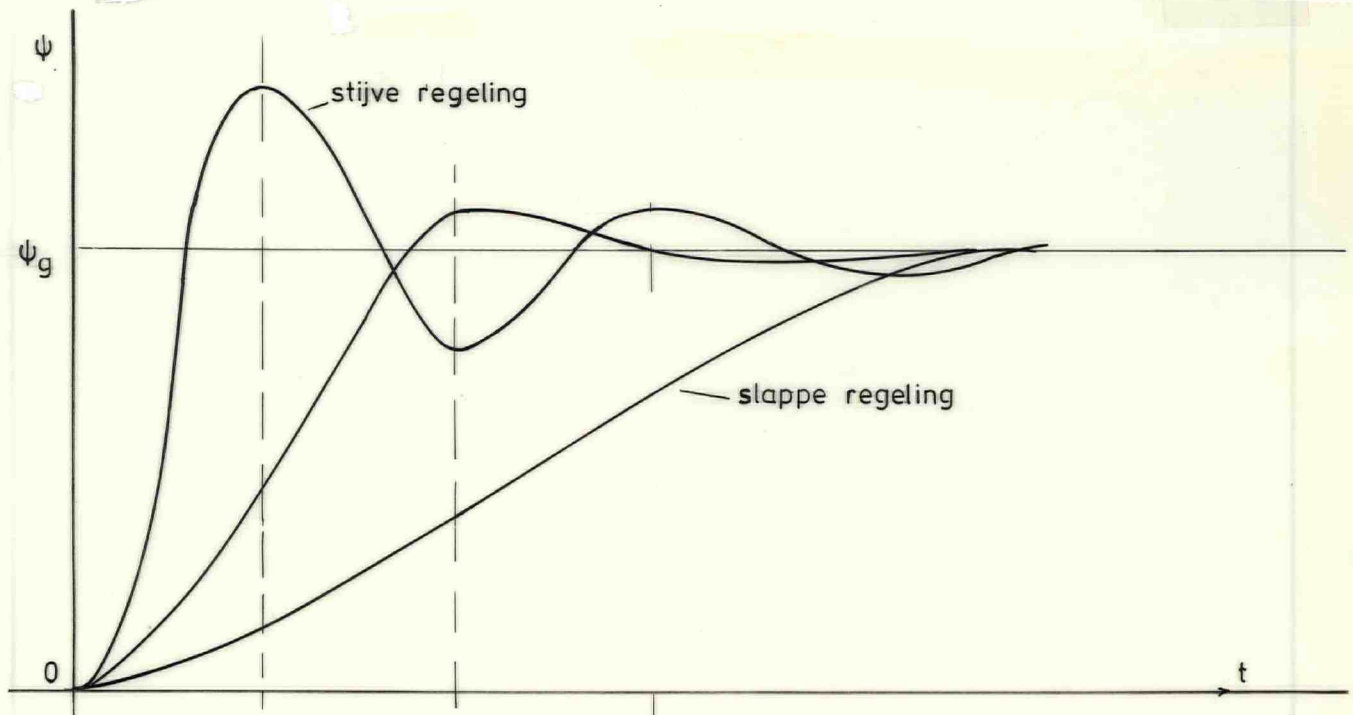
Als alleen de koershoek ψ geregistreerd kan worden, dan is τ te vinden als het snijpunt van de asymptoot met de t -as, zie figuur 5.19b. De K -factor volgt eveneens uit de figuur.



Figuur 5.19b

De τ varieert van circa 5 sec. voor coasters tot waarden van omstreeks 120 sec. voor zeer grote tankers en is uiteraard voor een bepaald schip nog afhankelijk van de beladingstoestand en de UKC. Voor nadere beschouwingen over de K -factor en andere stureigenschappen wordt verwezen naar het college "Scheepsbewegingen en Sturen".

Behalve als reguleersysteem wordt de stuurautomaat in bochtig vaarwater ook gebruikt als servosysteem. De regulatie is er dan op gericht, dat ψ de voortdurend door de navigator aangepaste ψ_g zo goed mogelijk volgt. Een te stijve P-regeling (grote K_p) zal bij koersveranderen grote "overshoot" over ψ_g tot gevolg hebben. Een te slappe regeling (kleine K_p) maakt de responsie traag, zie figuur 5.20.



Figuur 5.20 Responsie $\psi(t)$ op stapvormige verandering van ψ_g .

Een juiste K_d -instelling is hier vooral voor trage schepen erg belangrijk, juist om de overshoot te vermijden c.q. verkleinen. De K_i wordt bij koersveranderen automatisch uitgepikt. Door verandering van K_i^1 en K_d worden de polen van de overdrachtsfunctie verplaatst in het p -vlak^p en daardoor de dynamische responsiekenarakteristiek. Voor meer informatie hierover wordt verwezen naar colleges regeltechniek.

Een aantal stuurautomaten, met name voor de Rijnvaart, heeft een regeling waarbij voor het varen in een bocht de ψ door de navigator ingesteld wordt. In een bocht geldt dat $\dot{\psi}$ in graden per minuut volgt uit

$$\dot{\psi} = 0.96 \frac{v}{R} \quad (31)$$

waar v in knopen staat en de straal R van de bocht in zeemijlen. De automaat berekent de benodigde δ om de ingestelde $\dot{\psi}$ aan te houden. Na de bocht wordt $\dot{\psi}$ weer op nul gezet.

Vooraf door niet-lineairiteiten in de overdrachtsfunctie $\delta \rightarrow \psi$ en door de zich voortdurend wijzigende omstandigheden van wind, golfspectrum, UKC, beladings-toestand, enz. is het voor de navigator moeilijk, zo niet ondoenlijk, om voortdurend een optimale instelling van de automaat te waarborgen. Vooral het onderzoek naar brandstofbesparende methoden/middelen heeft de ontwikkeling van adaptieve stuurautomaten versneld. In [6] wordt dit nader beschreven.

Het aantal in te stellen parameters op de adaptieve automaat is gereduceerd tot een keuzeknop "koersveranderen of koershouden", waarbij bij de eerste optie een keuzemogelijkheid voor ψ is en bij de 2e optie een keuze voor "nauwkeurig of economisch" sturen. Brandstofbesparingen van 0.5% tot 2%, afhankelijk van de omstandigheden, zijn hiermee bereikt.

Literatuur

- [1] Tolkompassen
J.H. Mulders
Uitg. De Zee, 1967

- [2] Gyrokompassen, koersschrijvers en automatische stuurinrichtingen
J.E.W. Smith e.a.
Educaboek, 1980

- [3] De bewegingsvergelijkingen van een tolkompas
J.A. Spaans
De Zee, 1971, no. 3 en 4

- [4] Leerboek der Zeevaartkunde deel II (12e druk)
C. de Wit e.a.
Uitg. De Boer, 1970

- [5] Das mathematische Modell des Zweikreiselpasssystems
P. Christoph, B. Berkin
Ortung und Navigation no. 3, 1981

- [6] Adaptive steering of ships
J. van Amerongen
Proefschrift TH Delft, april 1982

- [7] Leerboek Navigatie III
Y. Draaisma e.a.
Unieboek 1986

6 BRUGONTWERP

In ergonomische studies wordt een slecht brugontwerp als een van de redenen genoemd van onjuist menselijk handelen in gevaarlijke situaties.

Op oudere schepen is duidelijk te zien, dat vroeger weinig aandacht aan dit onderwerp werd besteed. Steeds meer instrumenten en "kastjes" werden op de brug geplaatst zonder dat er enig systeem in werd aangebracht.

In Nederland was de Holland Amerika Lijn een voorloper op dit gebied. Aan het eind van de jaren vijftig en het begin van de jaren zestig werden daar reeds studies verricht naar het verbeteren van de brugergonomie.

Het Zintuigfysiologisch Instituut van het TNO (TNO/IZF) in Soesterberg heeft het merendeel van de research voor rederijen en Koninklijke Marine verricht. Daarnaast verrichtte het Nederlands Maritieme Instituut (NMI) veel praktisch onderzoek. In 1979 gaven de beide bovengenoemde instituten een gezamenlijke publikatie uit - "Merchant vessel bridge lay out" - dat als een standaardwerk kan worden beschouwd.

In 1982 verschenen de rapporten van het onderzoek "Schip 80" dat in opdracht van overheid en bedrijfsleven verricht werd bij MARIN. Deel 3 heeft als titel "Navigatie"; hierin worden achtereenvolgens behandeld brug en bruginrichting, automatisering navigatiesystemen, stuurhuisramen en toebehoren, navigatieverlichting, communicatie, signaal-radarmasten, loodsladders en verhaal- en meergerei.

De doelstelling van het onderzoek "Schip 80" was voornamelijk gericht op het aanpassen van bestaande scheepsontwerpen voor

1. verminderen van bemanningsaantal
2. reduceren van onderhoudskosten, energiekosten en bouwkosten.

Uitgangspunt van de operationele brugbezetting is: De officier van de wacht zit met uitzicht rondom. Als hij daar behoefte toe voelt kan hij van werkhouding veranderen en "gaan lopen", maar de belangrijkste instrumentopstelling is gegroepeerd rondom de centrale zitplaats. De officier "loopt" in principe alleen wacht. Een scheepsgezeluitkijk is wettelijk verplicht, maar heeft meestal "wacht-te-kooi". Er behoort dan een alarmeringssysteem te worden aangebracht dat in werking treedt zodra de officier van de wacht niet meer adequaat reageert (stuurmansveiligheidsalarm). Er wordt uitgegaan van diverse scenario's qua werkbelasting vanaf varend in ruim water tot riviervaart tijdens mist met druk verkeer.

In de zwaardere scenario's worden de brugtaken door meerdere mensen waargenomen zoals: gezagvoerder, officier, loods, roerganger en uitkijk.

In het lichtste scenario - ruim water, goed zicht, geen verkeer, rustig weer - ontstaat tijdens lange reizen en automatische navigatie het gevaar van verveling, waardoor motivatieproblemen ontstaan. Integratie van taken die van oudsher door stuurlieden, scheepswerktuigkundigen en radio-officieren werden verricht kan hier wellicht voor verbetering zorgen.

Langzaam maar gestaag wordt deze integratie van taken ingevoerd. Bij "Shell Tankers" is al een aantal jaren het "Projekt Lange Adem" gaande om geleidelijk een integratie van taken te realiseren.

Bij Nigoco en Nedlloyd zijn eveneens experimenteerschepen in de vaart.

Het modernste schip in dit opzicht (voorjaar 1983) is de "Nedlloyd Colombo", waar op de navigatiebrug een controle- en besturingspaneel van de machineinstallaties geplaatst is. De stuurman van de wacht kan daar een groot aantal alarmen zelfstandig verwerken zonder dat daarvoor werktuigkundigen in actie moeten komen. Voor bepaalde alarmen moeten wtk's wel gewaarschuwd worden.

De nieuwe S-tankers van Shell hebben géén aparte MK- controlroom meer. Alles wordt vanaf de brug geregeld; alleen voor ladingbehandeling is een aparte controle-kamer.

De radio-officier is (nog) verplicht aan boord voor schepen > 1600 BRT. Op de "Nedlloyd Colombo" is de radiohut aangrenzend aan de brug gebouwd, waarbij de scheidingswand wegneembaar is voor het geval de (satelliet)communicatie door de officier van de wacht zal worden waargenomen.

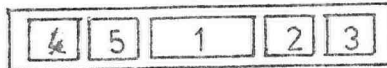
Het Hoger Nautisch Onderwijs leidt nog gedeeltelijk op voor de functies van stuurman, scheepswerktuigkundige en radio-officier. Wel is het mogelijk om na de opleiding voor stuurman of wtk in één jaar een aanvullende studie voor de andere richting te volgen. Op de experimenteerschepen worden bij voorkeur officieren geplaatst met een dergelijke opleiding. Door de voortgaande automatisering valt het onderscheid tussen stuurlieden, wtk's en radio-officieren steeds meer weg. In 1985 is daarom de opleiding "Maritiem Officier" op de Hogere Zeevaartschool gestart, die opleidt tot SGO (Semi Geïntegreerd Officier). In de opleiding is een gemeenschappelijk basispakket, waarboven ieder een specialisatie kan kiezen (navigatie, elektrotechniek, voortstuwingsmotoren, ladingbehandeling etc. De radio-officier, die nu reeds veel onderhouds- en reparatiewerkzaamheden aan de elektronica doet, zou na het wegvallen van de verplichting van het aan boord hebben van een communicatie-officier een functie kunnen krijgen als elektronica-officier.

Het streven is erop gericht om schepen te gaan bemannen met totaal 14 man/vrouw, t.w. zes officieren inclusief gezagvoerder en hoofdwerktuigkundige, zes (geïntegreerde) scheepsgezellen en twee civiele-dienstmensen.

De volgende overdrukken zijn overgenomen uit "Merchant Vessel Bridge Lay-out" van het NMI en geven aan welke instrumenten in de diverse brugconsoles zijn aangebracht op een scheepsbrug waar nog geen geïntegreerde functies zijn doorgevoerd.

Literatuur

1. Merchant Vessel Bridge Lay-out
Netherlands Maritime Institute report nr. R144, August 1979
2. Schip 80
Netherlands Maritime Institute 1982
3. Lazet, Schuffel e.a.
Diverse publikaties TNO/IZF Soesterberg



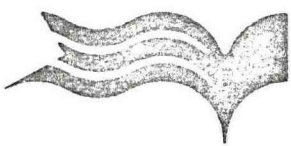
OVERHEAD BRIDGEFRONT PANEL

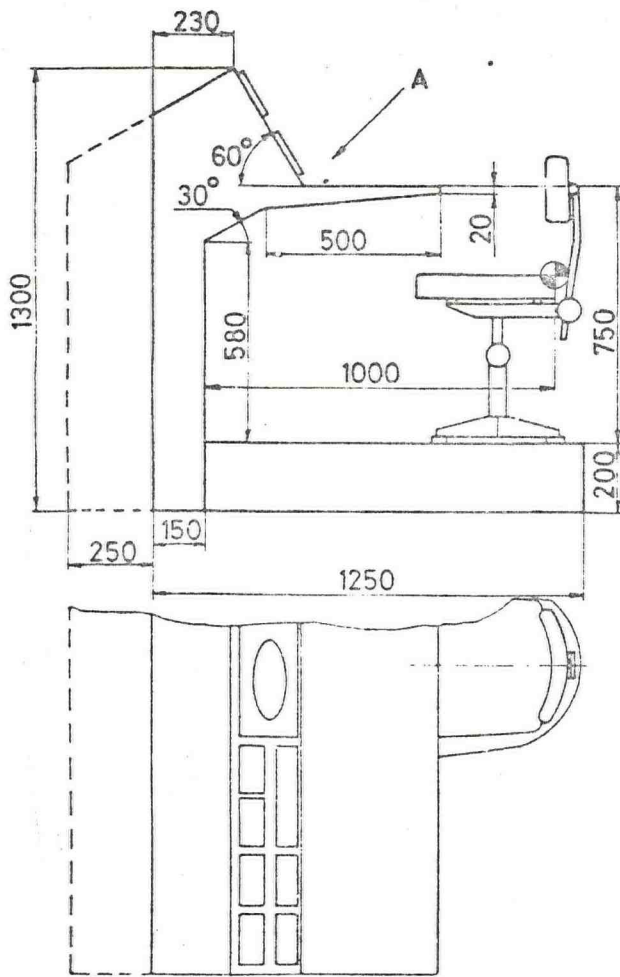
	Dimensions
1. TAPE GYRO REPEATER	144 x 300
2. TACHOMETER	144 x 144
3. SLAVE CLOCK	144 x 144
4. REL. WIND VELOCITY INDICATOR	144 x 144
5. REL. WIND DIRECTION INDICATOR	144 x 144

DRAWN BY: vE	SCALE: 1: 20
CHECKED BY: vD	DETAIL: 1:
CORRECTED:	
ISSUED:	

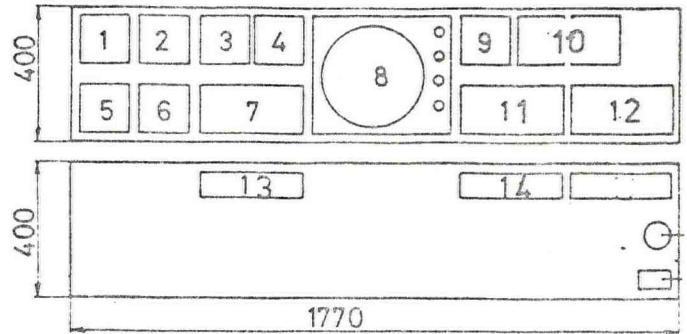
PRELIMINARY LAYOUT PLAN

INSTRUMENTS AND CONTROL EQUIPMENT

netherlands maritime institute		Size	Drawing nr:
			CNAV 081_2
REVISED COPIES OF I.Z.F. ORIGINALS			



VIEW: A

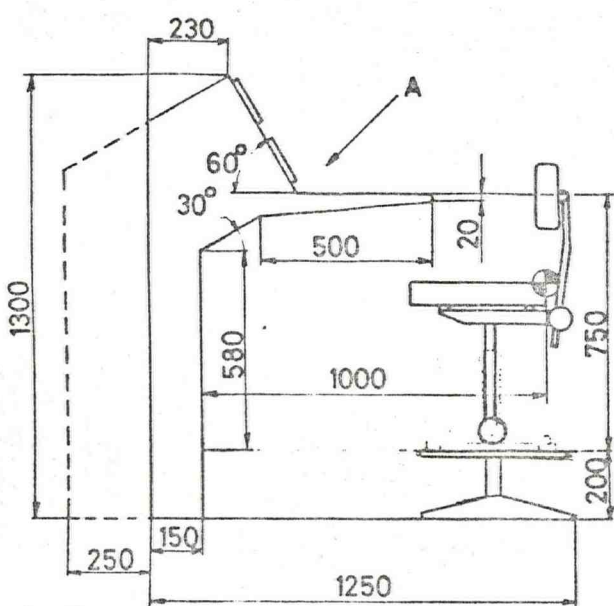


NAVIGATION CONSOLE

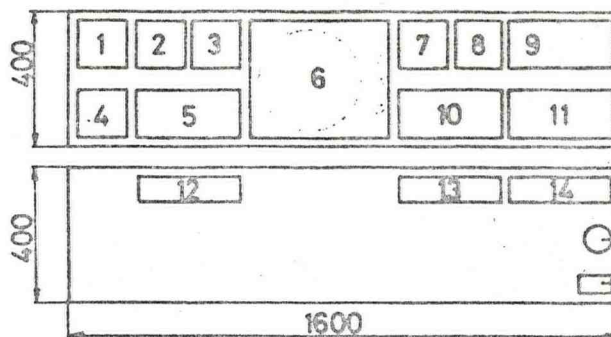
	Dimension
1. TACHOMETER (REV. INDICATOR)	144 x 144
2. SPEED LOG INDICATOR	144 x 144
3. RUDDER ANGLE INDICATOR	144 x 144
4. COURSE INDICATOR	144 x 144
5. SIGNAL DEPTH INDICATOR	144 x 144
6. MANUAL STEERING KNOB AND CHANGE-OVER SWITCH	144 x 144
7. SOUND POWER SELECTIVE TELEPHONE SYSTEM	144 x 300
8. RADAR SLAVE DISPLAY	
9. AIR/LIGHT SIGNAL SWITCH UNIT	144 x 144
10. SOUND POWER TEL. TO RADIO ROOM	144 x 300
11. VHF TELEPHONE UNIT	144 x 300
12. LOAD NAIL/INTERCOM UNIT	144 x 300
13. EXTENSION REF. LIST SOUND POWER	
14. CHANNEL REF. LIST VHF	

Gebruik van overige aantekeningen

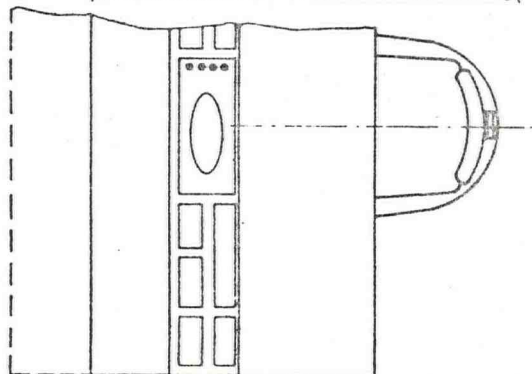
richtermarge rechts van



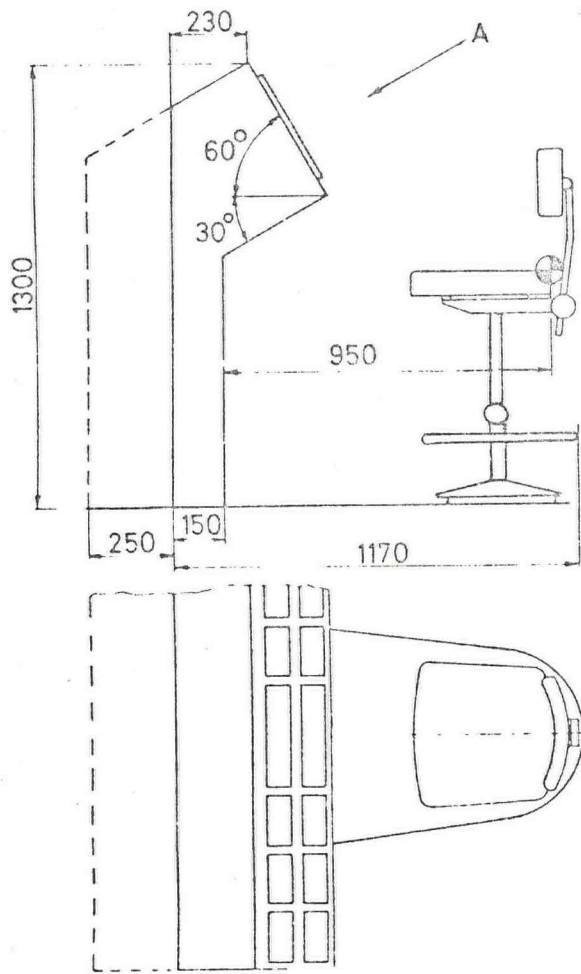
VIEW: A



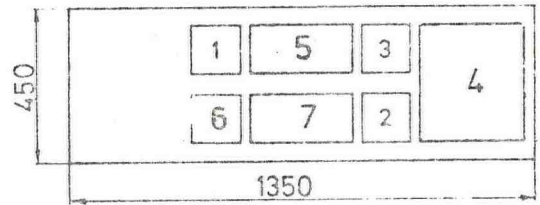
NAV. & MANOEUVRING CONSOLE



	Dimension
1. SPEED INDICATOR	144 x 144
2. RUDDER ANGLE INDICATOR	144 x 144
3. COURSE INDICATOR	144 x 144
4. WATERDEPTH INDICATOR	144 x 144
5. G.P.O. TELEPHONE	144 x 300
6. BOWTHRUST CONTROL UNIT INCL. TACHOMETER INDICATOR	
7. DOPPLER DOCRING DISPLAY AND CONTROL UNIT	144. x 144
8. GENERAL ALARM SWITCH LIGHT SIGNALLING SWITCH	144 x 144
9. SOUND POWER TELEPHONE STEERING ROOM	144 x 300
10. V.H.F. TELEPHONE	144 x 300
11. SOUND POWER TELEPHONE TO ENGINE ROOM	144 x 300
12. EXTENSION REF. LIST G.P.O.	
13. CHANNEL REF. LIST V.H.F.	
14. EXTENSION REF. LIST INTERCOMS	



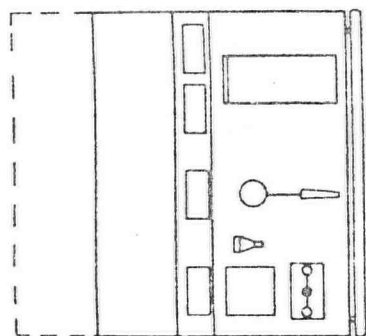
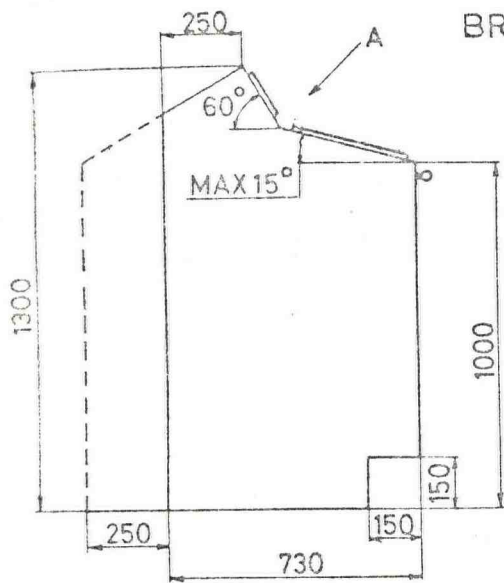
VIEW: A



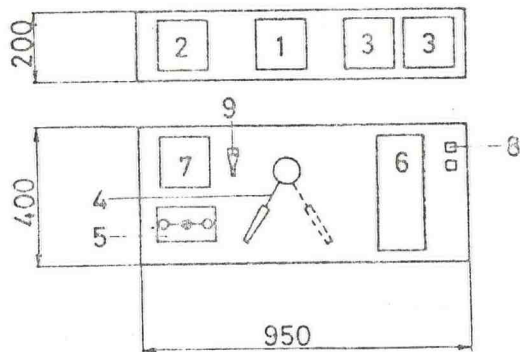
STEERING CONSOLE

- | | Dimensions |
|---|-------------------|
| 1. COURSE TO STEER INDICATOR | 144 x 144 |
| 2. RATE OF TURN INDICATOR | 144 x 144 |
| 3. RUDDER ANGLE INDICATOR | 144 x 144 |
| 4. AUTOMATIC PILOT CONTROL
PANEL INCL. ALARM UNITS | Type
dependent |
| 5. GYRO OPEN SCALE COMPASS | |
| 6. STEERING MOTOR CONTROL/
SWITCH UNIT | 144 x 144 |
| 7. TILLER UNIT AND MODE
CHANGE OVER SWITCHES | |

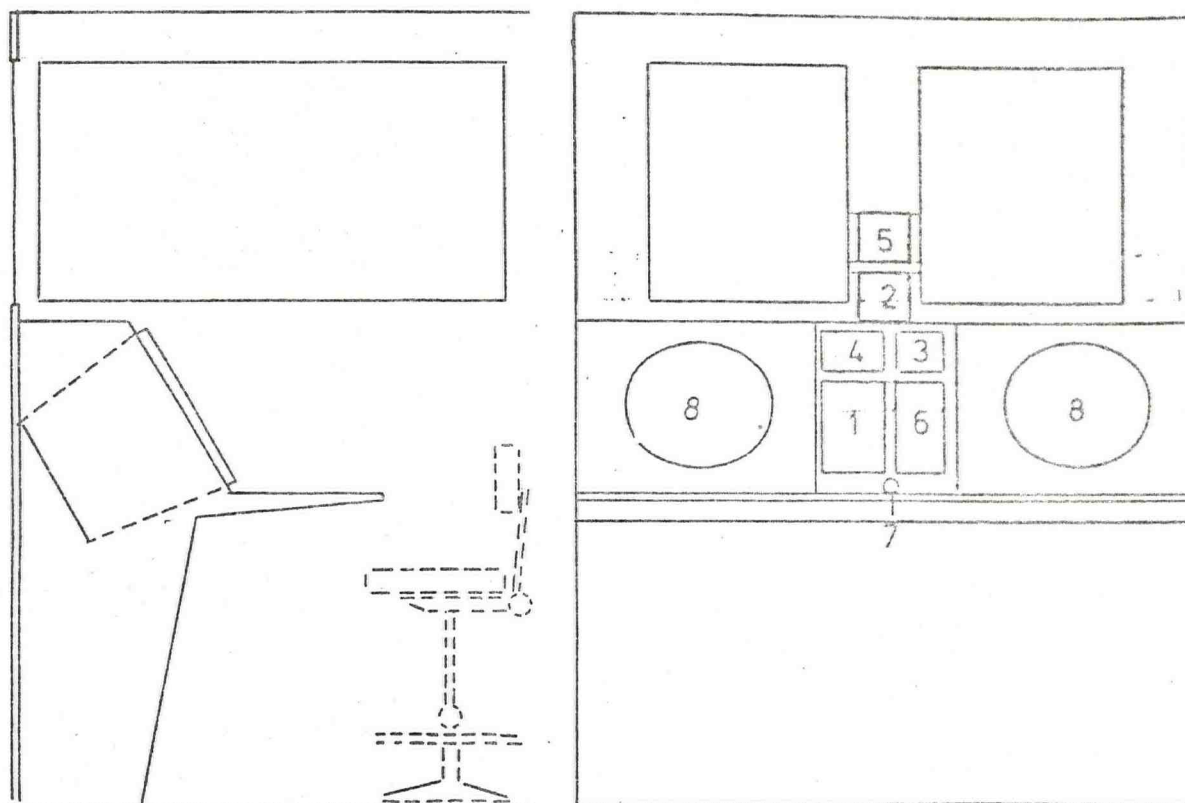
BRIDGEWING CONSOLE



VIEW: A

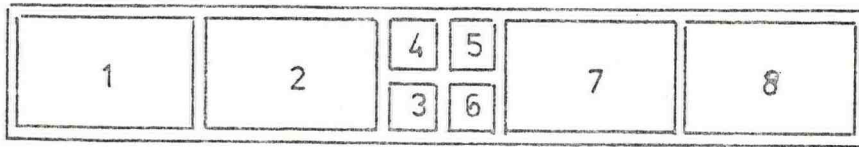


- | | |
|---------------------------------|----------------|
| 1. RUDDER ANGLE INDICATOR | 144 x 144 |
| 2. BOW THRUST INDICATOR | 144 x 144 |
| 3. PROPULSION TACHOMETER | 144 x 144 |
| 4. BOWTHRUST CONTROL LEVERS | Type dependent |
| 5. INTERCOM TELEPHONE | 144 x 300 |
| 6. E.R. TELEGRAPH (PUSH BUTTON) | Type dependent |
| 7. DOPPLER DOCKING DISPLAY | 144 x 144 |
| 8. AIR WHISTLE | - |
| 9. V.H.F. PLUG IN EXTENTION | - |



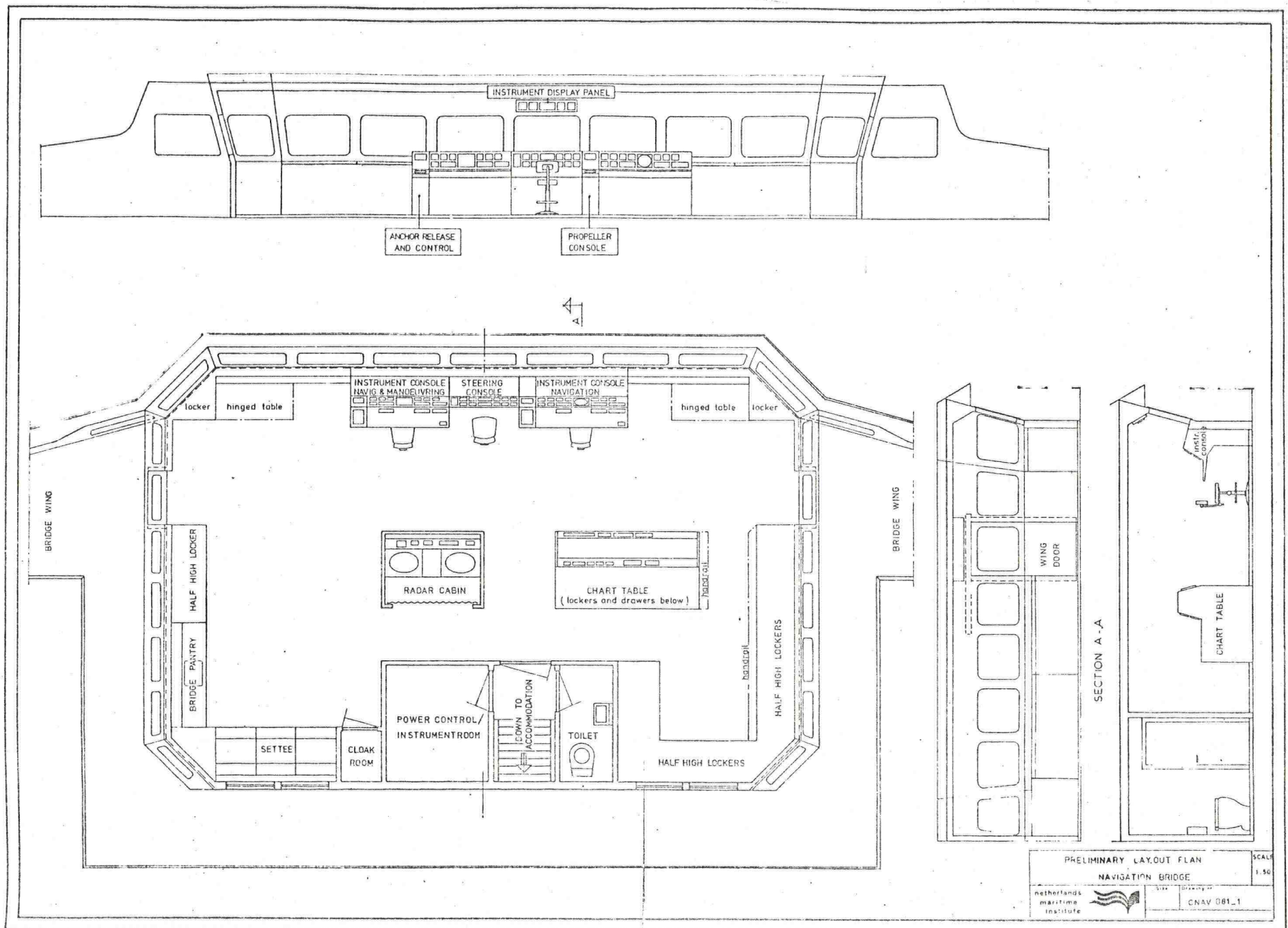
RADAR CABIN

1. E.R. TELEGRAPH UNIT	200 x 310
2. OPEN SCALE GYRO REPEATER	144 x 144
3. SPEED LOG INDICATOR	144 x 144
4. TACHOMETER	200 x 144
5. SLAVE CLOCK	144 x 144
6. V.H.F. TELEPHONE UNIT	144 x 300
7. PLUG-IN INTERCOM UNIT	144 x 300
8. RADAR 16 INCH. DISPLAY	



INSTRUMENT PANEL CHARTTABLE

	Dimensions
1. COURSE RECORDER	TYPE DEPENDENT
2. DEPTH CONTOUR RECORDER	TYPE DEPENDENT
3. SPEED INDICATOR	144 x 144
4. SLAVE CLOCK	144 x 144
5. REL. WIND FORCE INDICATOR	144 x 144
6. REF. WIND DIRECTION INDICATOR	144 x 144
7. DECCA NAVIGATOR UNIT	
8. LONG RANGE POSITION FIX UNIT (DISPLAY AND CONTROL)	TYPE DEPENDENT



PRELIMINARY LAYOUT PLAN		SCALE
NAVIGATION BRIDGE		1:50
netherlands maritime institute		CNAV 061_1