

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging

nota ~~605 WH 80.01~~

Getijtafels voor Nederland
vanaf 1980.

projectcode

auteur(s): ir. A. van Urk/ir. J.G. de Ronde

datum: juni 1981

bijlagen:

samenvatting:

Het voor 1978 gebruikte berekeningspakket voor de "Getijtafels voor Nederland" vertoonde een aantal onvolkomenheden. Om deze reden is een nieuw computerprogramma ontwikkeld met behulp waarvan de getijtafels vanaf 1980 berekend worden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een zgn. culminatiemethode, die voor alle betrokken stations in het Nederlandse getijgebied op gelijke wijze wordt toegepast. Van deze methode en van haar theoretische achtergronden wordt een beschrijving gegeven, waarna de nauwkeurigheden van de getijvoorspellingen volgens de oude en volgens de nieuwe berekeningswijze en hun onderlinge verschillen nog nader ter sprake komen.

Van deze nota verscheen eerder een verkorte versie als nota WH 79.10 (lit. 13), die in enigszins gewijzigde vorm is gepubliceerd in het blad "de Zee" (nr. 9, 1979).

Inhoudsopgave

blz.

1	INLEIDING	1
2	VERGELIJKING VAN GETIJVOORSPELLINGSMETHODEN	3
2.1	Algemeen	3
2.2	De keuze van de methode voor de herziene getijtafelberekening	5
3	THEORIE DER GETIJBEWEGING	8
3.1	Algemene theorie	8
3.1.1	Het evenwichtsgetij	8
3.1.2	De dagelijkse ongelijkheid	10
3.1.3	Spring- en doodtij	11
3.1.4	De perioden van de variaties	11
3.2	De evenwichtsgetijtheorie	19
3.2.1	De afleiding van de getijkkracht	19
3.2.2	Afleiding voor de getijhoogte	25
3.2.3	Verdere ontleding getijhoogte	28
3.3	De culminatiemethode	30
3.3.1	Algemeen	30
3.3.2	Uitgangspunt bij de culminatiemethode	30
3.3.3	Verband culminatiemethode en getij- hoogte volgens de evenwichtstheorie	32
3.3.4	De toepassing voor de getijtafels	35
4	HET GETIJVERSCIJNSEL AAN DE NEDERLANDSE KUST	38
4.1	De oorsprong van het getij in de Noordzee	38
4.2	De leeftijd van het getij in de Noordzee	38
4.3	Getijvormen langs de Nederlandse kust	41
5	OPZET EN WERKWIJZE VAN DE COMPUTERPROGRAMMATUUR	44
5.1	Algemeen	44
5.2	Berekening astronomische gegevens (ASTROG)	45
5.3	De getij-analyse (GETYAN)	47
5.3.1	Het stroomschema	47
5.3.2	Beschrijving deelsystemen van GETYAN	48
5.4	De getijvoorspelling (GTYTAF)	58
5.4.1	Stroomschema	58
5.4.2	Beschrijving deelsystemen	59
5.5	De berekening van de zeevaarderstafels (ZEETAF)	62
5.5.1	Stroomschema	62
5.5.2	Beschrijving deelsystemen	63
5.6	Waardebepaling van de nieuwe computerprogram- matuur	64

6	DE VOORSPELLINGSWAARDE VAN DE GETIJTAFELS	66
6.1	Algemeen	66
6.2	De voorspellingswaarde	67
6.2.1	Vergelijking "oude werkwijze" en "werkwijze 1980"	67
6.2.2	De voorspellingswaarde van de getij tafels volgens "werkwijze 1980" in samenhang met de tijd van het jaar	69
6.2.3	De voorspellingswaarde van de getijta- fels voor wat betreft de onderlinge samenhang der stations	72
6.3	Vergelijking "Getijtafels 1980" met waarden voor 1980 berekend volgens "oude werkwijze"	74
6.3.1	Vergelijking voor het gehele jaar	74
6.3.2	Vergelijking per maand	76
6.4	Invloed lengte analyseperiode op de voorspel- ling	78
6.5	Invloed getijpatroon analyseperiode	80
6.6	Samenhang gemiddeld zeeniveau met voorspel- lingswaarde getijtafels	81
7	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	84
7.1	Samenvatting	84
7.2	Conclusies	85
	Overzicht literatuur	91

1 INLEIDING

Voor het jaar 1895 zijn voor het eerst door de Rijksoverheid voor een station in het Nederlandse getijgebied getijtafels gepubliceerd, berekend met behulp van een zgn. culminatiemethode. Deze methode, waarvoor de grondslag gelegd was door Sir John Lubbock (1803-1865), is toen door de hoofdingenieur van de Rijkswaterstaat H.E. de Bruijn gebruikt en wel voor de voorspelling van de Getijtafels voor 1895 van het station IJmuiden.

Vervolgens is deze werkwijze nader uitgewerkt door de ingenieurs van de Rijkswaterstaat jhr. F.L.Ortt en L.C.Ramaer (lit. 1) en toegepast voor een viertal (later vijf) stations in het Nederlandse getijgebied. Voor de getijtafels van andere stations kon daarna gebruik worden gemaakt van berekende betrekkingen met deze zgn. basisstations. Tenslotte is omstreeks 1950 voor 2 basisstations de gebezigde methode nog enigszins verbeterd door ir.J. van der Kley omdat de bestaande methode voor deze stations niet meer geheel voldeed.

Voor vrijwel alle stations bestaan de getijtafels uit de voorspelde tijdstippen en standen van hoog- en laagwater, aangevuld met gegevens van de schijngestalten van de maan en waar nodig met algemene bijzonderheden. Alle voor een zeker jaar berekende getijtafels worden tijdig gepubliceerd, o.a. in de vorm van een boekje, getiteld "Getijtafels voor Nederland", dat halverwege het voorafgaande jaar bij de Staatsuitgeverij het licht ziet.

In 1965 is begonnen met een gefaseerde automatisering van de toen bestaande procedure voor de getijtafelberekening; deze programmatuur moest na enige jaren worden "geconverteerd" i.v.m. de aanschaffing van een nieuwe computer door de Rijkswaterstaat. In het midden der zeventiger jaren bleek een tweede conversie nodig te zullen worden. Besloten is toen het bestaande programma-pakket kritisch door te lichten; daarbij bleek dit pakket voor een tweede conversie de volgende bezwaren te vertonen:

- de basisgegevens, die in de berekening gebruikt werden, waren verouderd;
- herhaaldelijk waren correcties ingevoerd om een zo goed mogelijke voorspelling voor de bestaande toestand te kunnen maken, waardoor de programmatuur kwetsbaar en ondoorzichtig was geworden;
- het was niet dan tegen zeer grote inspanning mogelijk voor een nieuw station getijtafels te berekenen.

Dit stel bezwaren vormde aanleiding de gehele werkwijze ter berekening van de getijtafels voor Nederland te herzien en daarbij ook andere voorspellingsmethodieken

op hun bruikbaarheid te beoordelen; in deze publicatie wordt verslag uitgebracht van de gevolgde werkwijze. Allereerst zijn (in hoofdstuk 2) de belangrijkste verschillende getijvoorspellingsmethoden zeer in het kort beschreven en op hun toepasbaarheid voor de Nederlandse getijstations onderling vergeleken. Aansluitend komt in hoofdstuk 3 de getijtheorie aan de orde, waarbij achtereenvolgens behandeld worden de bewegingen van aarde, zon en maan (par 3.1), de evenwichtsgetijtheorie (par. 3.2) en de toegepaste culminatiemethode (par. 3.3). Hoofdstuk 4 schenkt aandacht aan het "werkelijk" optredende getij aan de Nederlandse kust. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 ingegaan op de opzet en werkwijze van de computerprogrammatuur. Hoofdstuk 6 biedt een vergelijking tussen de "oude werkwijze" en de "werkwijze 1980", waarna de nota wordt afgesloten met een samenvatting en een aantal conclusies (hoofdstuk 7).

Deze publicatie is een nadere uitwerking van een artikel van de hand van de eerste auteur (lit. 13); de tweede auteur heeft met name meegewerkt aan de samenstelling van par. 3.1 en van de hoofdstukken 4 en 6. De redactie van hoofdstuk 5 tenslotte is vastgesteld in nauw overleg met ir. C.A. Bunk van de Dienst Informatieverwerking van de Rijkswaterstaat, dit in aansluiting op diens verhandeling over het automatiseringsaspect van de getijtafelberekening (lit. 14). Rest te vermelden dat de opzet en de samenstelling van de programmatuur tot stand zijn gekomen door nauwe samenwerking tussen de Dienst Informatieverwerking en de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging.

2

VERGELIJKING VAN GETIJVOORSPELLINGSMETHODEN

2.1

Algemeen

Sir Isaäc Newton (1642-1727) heeft de getijbeweging op aarde in verband gebracht met de door hem afgeleide gravitatiewet (lit. 2). Volgens deze wet trekken twee stoffelijke punten elkaar aan met een kracht, die evenredig is met het product van de massa's van deze punten en omgekeerd evenredig met het kwadraat van hun afstand (zie par. 3.2.1). Daarbij heeft Newton de aantrekkingskrachten van zon en maan als oorzaak gezien van een krachtenveld rond de aarde. Voor een verklaring van de getijbeweging nam hij vervolgens aan dat de gehele aarde gelijkmatig was bedekt met een diepe zee en bepaalde hij de afstand van het wateroppervlak ten gevolge van dit statisch gedachte krachtensysteem van aantrekkingskrachten van zon en maan. Deze afleiding staat bekend als de "evenwichtstheorie", die in par. 3.2 nog nader ter sprake zal komen.

Voortbouwend op de theorie van Newton heeft de Franse wiskundige Laplace (1749-1827) de stelling geformuleerd, dat wanneer op een watermassa periodieke krachten werken, op den duur de beweging van die watermassa periodiek zal zijn en dezelfde perioden zal vertonen als de krachten.

Uitwerking van de theorieën van Newton en Laplace kan echter nog geen volledige verklaring geven van de getijbewegingen, die in verschillende zeegebieden op aarde worden waargenomen. De getijbeweging in de oceanen wordt n.l. verstoord door de continenten en ondiepe zeeën, zodat ingewikkelde samengestelde golfbewegingen gaan optreden. Wel verschaffen deze theorieën inzicht in de aard van het krachtenveld, dat de getijbeweging veroorzaakt.

Uit de eerdergenoemde stelling van Laplace volgt dat de periodiciteiten in de getijbeweging onder invloed van de krachten, die zon en maan op de watermassa's op aarde uitoefenen, samenhangen met die van de bewegingen van zon en maan. Om te kunnen komen tot een getijvoorspellingsmethode moet dus deze samenhang worden geanalyseerd.

Globaal gesproken kunnen drie getijvoorspellingsmethoden onderscheiden worden, waarvan in het navolgende in het kort de beginselen worden uiteengezet:

- de methode van de harmonische analyse (lit.4,5,6);
- de culminatiemethode (lit.1,2,3);
- de impuls-responsmethode van Munk en Cartwright (lit.5,7,8).

Overigens is ook een soort combinatie van de culminatiemethode en de harmonische analyse mogelijk. Dit is het geval bij de "methode Horn" (lit.9).

De harmonische analyse: Voortbouwend op de theorie van Laplace is de methode van de harmonische analyse opgezet door Lord Kelvin (1824-1907) en verder ontwikkeld door Sir George Darwin (1845-1912). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de aantrekkingskrachten van de zon en de maan ontleed kunnen worden in een groot aantal harmonisch verlopende componenten, elk met een eigen periode, e.e.a. op grond van bewegingen, banen en baansveranderingen in het stelsel zon-aarde-maan. Volgens de theorie van Laplace nu ontstaan in de watermassa's op aarde bewegingen, samengesteld uit zgn. "getijcomponenten" met dezelfde of daarmee samenhangende perioden als de zojuist genoemde astronomische componenten.

Ten behoeve van getijtafelberekeningen wordt nu de geregistreeerde verticale waterbeweging in een zekere plaats met behulp van een wiskundige techniek ontleed in een groot aantal afzonderlijke verticale bewegingen met de zojuist genoemde perioden. Is eenmaal een analyse verricht dan zijn de "componentbewegingen" geheel bekend, dus ook hun fasen op een willekeurig tijdstip; hierdoor is het mogelijk voor een bepaald jaar (na verwerking van enige astronomische detailgegevens voor dat jaar) getijtafels te berekenen.

Opmerking: niet-harmonische factoren (zoals bodemwrijving en komberging) zijn met deze methode niet goed te analyseren. Hierdoor kan de harmonische getij-analyse in ondiep water tot te onnauwkeurige resultaten leiden.

De culminatiemethode: Bij deze methode wordt onder meer teruggegrepen op de evenwichtsgetijtheorie van Newton, waarbij een wiskundige omschrijving kan worden gegeven van de aantrekkingskrachten van de zon en de maan op de watermassa's op aarde. Ze behoort tot de zgn. niet-harmonische methoden; een van haar grondleggers is Sir John Lubbock (1803-1865). Ze wordt nogal eens toegepast in gebieden waar de getijbeweging wordt gestoord door de aanwezigheid van ondiep water (zoals in het Nederlandse getijgebied).

Het krachtenveld op aarde, veroorzaakt door aantrekkingskrachten en centrifugale krachten t.g.v. de posities en bewegingen van aarde, zon en maan, hangt af van

- een aantal constante grootheden, zoals de massa's van de hemellichamen en van
- een aantal variabelen, t.w. de posities van zon en maan t.o.v. de aarde.

In de onderhavige methode koppelt men nu voor een lange periode bepaalde kenmerkende grootheden van het getij

aan de waarden van de zojuist genoemde variabelen. Met behulp van de astronomische gegevens over het jaar waarvoor voorspeld moet worden kunnen dan getijtafels over dat jaar berekend worden.

De impuls-responsmethode van Munk en Cartwright: Bij deze methode liggen de frequenties, waarop de waterbeweging geanalyseerd dient te worden, niet zoals bij de methode der harmonische analyse, van te voren vast. De verticale waterbeweging wordt nu namelijk als antwoord ("respons") beschouwd op een aantal krachten en invloeden ("impulsen"). Het krachtenveld op aarde, veroorzaakt door aantrekkingskrachten en centrifugale krachten t.g.v. de posities en bewegingen van aarde, zon en maan, is het hoofdingangssignaal, zij het niet, zoals bij de culminatiemethode, het enige ingangssignaal. Ook meteorologische invloeden kunnen namelijk als afzonderlijke ingangssignalen worden behandeld. Met behulp van wiskundige technieken wordt voor de analyse-periode het verband tussen "impulsen" en "respons" vastgelegd en vervolgens gebruikt om voor een bepaald jaar met behulp van gegevens over het krachtenveld op aarde voor dat jaar, het getij te voorspellen. De methode kan dan ook worden beschouwd als een verfijnde culminatiemethode; ze biedt het voordeel dat ook de "respons" van de waterbeweging op stormvelden e.d. wiskundig kan worden vastgelegd. Hierdoor wordt het inzicht in de waterbeweging sterk vergroot.

2.2

De keuze van de methode voor de herziene getijtafelberekening

In 1975 is begonnen met een beperkt onderzoek naar de meest geëigende voorspellingsmethode, die enerzijds relatief zeer betrouwbare resultaten moet geven en waarvoor anderzijds de benodigde inspanning voor de berekening (d.w.z. voor de samenstelling van een nieuw programma-pakket).aanvaardbaar moest zijn.

Een vergelijking tussen voorspellingen, gemaakt met behulp van achtereenvolgens de methode der harmonische analyse en de culminatiemethode, was op korte termijn mogelijk daar voor beide methoden computerprogramma's ter beschikking stonden. Bij deze vergelijking is vooral aandacht besteed aan het station Vlissingen; daarbij is voor de culminatiemethode gebruik gemaakt van de beschikbare getijtafelwaarden voor 1969 en 1974, die destijds m.b.v. de bestaande (= "oude") werkwijze volgens die methode zijn berekend. Een harmonische analyse van de waterstanden te Vlissingen is uitgevoerd op die van 1973, met behulp waarvan vervolgens getijtafels 1969 en

1974 voor Vlissingen zijn berekend. "Voorspellingen" voor 1969 zijn gemaakt omdat de te kiezen methode in staat moet stellen het getij te voorspellen over een jaar dat enkele jaren van het analyse-jaar (voor de harmonische analyse: 1973) of de analyse-perioden verwijderd ligt. Voor 1974 is verder het aantal getijcomponenten gevarieerd om na te gaan hoeveel van die componenten bij voorkeur "meegenomen" zouden moeten worden.

De uitkomsten van deze getijtafelberekeningen zijn vervolgens vergeleken met de opgetreden getijden; de gevonden verschillen staan weergegeven in tabel A.

TABEL A: Onnauwkeurigheden Getijtafelwaarden voor Vlissingen volgens de Harmonische Analyse resp. de Culminatie methode.

Voorspellings- methode	Verge- lijgings- jaar	hoogwaterwaar- den				laagwaterwaar- den			
		Δt	$S_{\Delta t}$	Δh	$S_{\Delta h}$	Δt	$S_{\Delta t}$	Δh	$S_{\Delta h}$
		min	min	cm	cm	min	min	cm	cm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Harmonische Analyse:									
150 componenten	1974	-12	10	7	25	3	11	3	28
21 "	1974	-18	13	9	26	0	14	1	28
19 "	1974	-18	13	9	26	1	14	2	28
19 "	1969	-16	16	13	25	-1	19	-6	30
Culminatieme- thode:									
"oude" werk- wijze	1974	-3	10	10	25	-1	12	-3	28
"oude" werk- wijze	1969	-1	11	5	21	-2	12	-1	26

Toelichting:

Δt , Δh : gemiddeld verschil in tijd resp. hoogte van waarneming (W) en voorspelling (V)

$S_{\Delta t}$, $S_{\Delta h}$: standaardafwijking van de (W-V)waarden

Bij de harmonische analyse voor 1974 is ook het geval met 150 componenten in beschouwing genomen; bij die 150 bevinden zich zeer vele zgn. "hogere harmonischen", elk samengesteld m.b.v. één of meer "gewone componenten".

Uit de uitkomsten, die in deze tabel vermeld staan, zijn nu de volgende conclusies getrokken:

- Conclusie
- a. Voor het tijdstip van hoogwater vertonen de voorspellingen, gebaseerd op de harmonische analyse, een vrij grote systematische afwijking, dit in tegenstelling tot die volgens de culminatiemethode ¹⁾.
 - b. Bij de voorspelling voor 1974 benaderen de overige grootheden voor beide methoden elkaar dicht.
 - c. Bij de voorspelling voor 1969 is die gebaseerd op de harmonische analyse in vrijwel alle opzichten slechter dan die volgens de culminatiemethode.

Berekening van de Getijtafels 1969 en 1974 voor Vlissingen met behulp van de methode van Munk en Cartwright was niet zonder meer mogelijk omdat de hiervoor benodigde computerprogrammatuur niet op korte termijn beschikbaar kon zijn. Uit een oriëntering ter zake bleek dat er geen reden is aan te nemen dat in onze streken toepassing van deze methode de nauwkeurigheid van de getijvoorspellingen verbetert.

Om praktische redenen (met name vanwege de beperkte tijd, die ter beschikking stond) is een nader onderzoek naar de bruikbaarheid van deze methode voor Nederlandse getijstations dan ook achterwege gelaten.

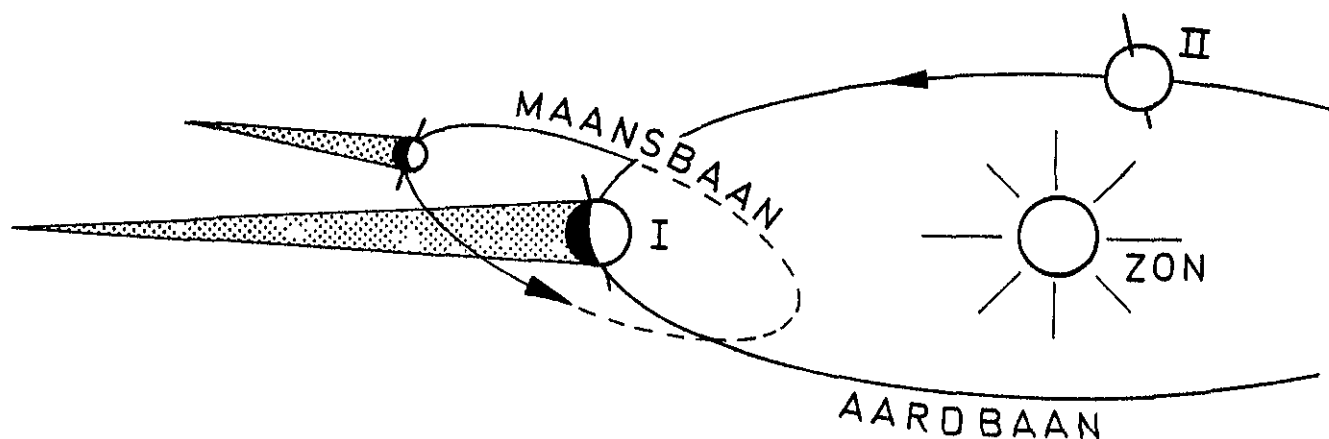
Op grond van het voorgaande is voor de berekening van Nederlandse getijtafels vanaf 1980 gekozen voor toepassing van de culminatiemethode.

¹⁾ Naar later is gebleken (lit.10) was deze systematische afwijking te wijten aan een foutieve bepalingwijze van de extremen; na verbetering hiervan bleven de resultaten van de culminatiemethode toch beter dan die van de harmonische analyse .

3 THEORIE DER GETIJBEWEGING

3.1 Algemene theorie

De getijbeweging is vrijwel uitsluitend een gevolg van de wisselende aantrekkingskrachten van maan en zon op de watermass's op aarde en is dus afhankelijk van de banen van achtereenvolgens de maan om de aarde en de aarde om de zon (fig.1) en van de variaties van die banen (de invloeden van andere hemellichamen op de getijbeweging zijn zeer gering en kunnen hier verder buiten beschouwing blijven).



80.547

- I Situering omstreeks 22 december
- II Situering omstreeks 23 september

fig. 1 Banen van aarde en maan

De door maan en zon opgewekte getijbeweging noemt men "het astronomisch getij"; door weersinvloeden kan de werkelijk optredende getijbeweging hier (soms zelfs in belangrijke mate) van afwijken.

In de volgende paragrafen worden de belangrijkste aspecten en periodiciteiten van de getijbeweging behandeld.

3.1.1 Het evenwichtsgetij

Het getij, dat zou ontstaan indien de aarde geheel met een diepe zee bedekt zou zijn, noemt men het evenwichtsgetij. Het astronomisch getij vertoont hier in

werkelijkheid echter weinig overeenkomst mee, o.a. vanwege de aanwezigheid van de continenten, zodat de werkelijke getijhoogten en tijdstippen van hoog- en laagwater dan ook niet m.b.v. het evenwichtsgetij theoretisch kunnen worden afgeleid. Door echter het evenwichtsgetij in beschouwing te nemen kan men een goed begrip verkrijgen van de diverse aspecten van het werkelijke getij.

Indien de zon buiten beschouwing gelaten wordt ontstaat de situatie zoals die weergegeven staat in fig. 2; de

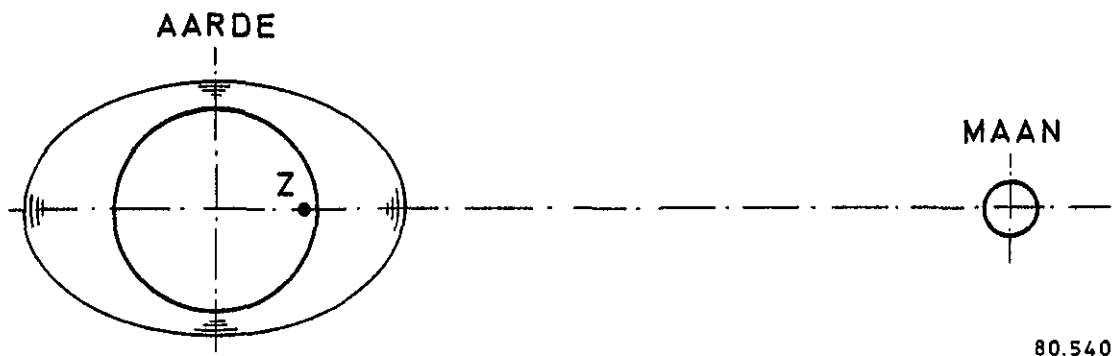


fig. 2 Evenwichtsgetij t.g.v. de maan

watermassa op aarde neemt een vorm aan van een ellipsoïde tengevolge van de onderlinge aantrekkingskracht tussen aarde en maan en de daarmee samenhangende gezamenlijke rotatie om het gemeenschappelijke zwaartepunt Z (een nadere verklaring van deze ellipsoïdevorm treft men aan in par. 3.2.1).

Tengevolge van de zon zal er een tweede ellipsoïde (met een kleinere excentriciteit) ontstaan; het evenwichtsgetij bestaat uit de combinatie van deze twee ellipsoïden (zie ook par. 3.1.3).

Aangezien de aarde als het ware onder de watermassa door draait, ontstaan er naar uit figuur 2 volgt op een willekeurige plaats op aarde per dag ruwweg 2 hoogwaters tijdens de zgn. maansculminaties en 2 laagwaters daar tussen in. Dit getij, waarop naar nog zal blijken, een groot aantal andere getijgolven gesuperponeerd wordt, staat bekend als het M_2 -getij.

Wanneer een hemellichaam voor een zeker punt op aarde door het bij dat punt behorende meridiaanvlak gaat

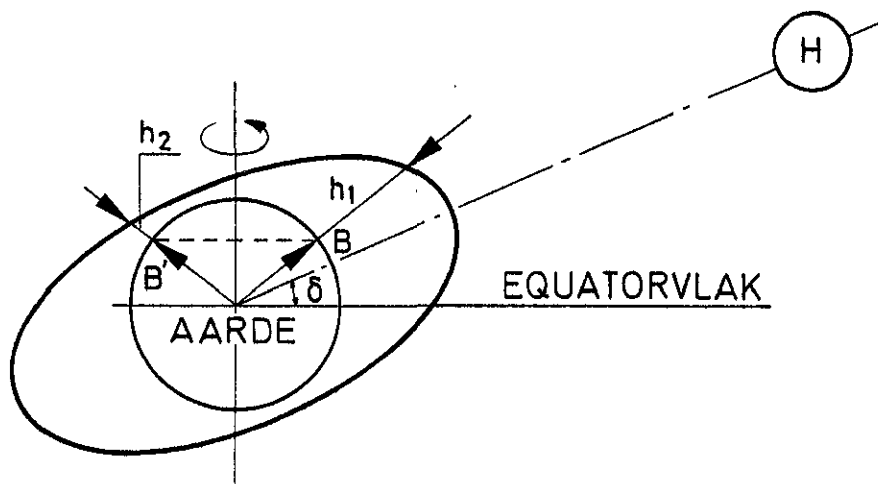
(d.w.z. in de "hoogste" stand staat) dan culmineert dit hemellichaam voor dit punt (en voor alle overige punten op de meridiaan). Voor die plaatsen, waar op het ogenblik van culminatie het hemellichaam in beginsel gezien kan worden, is er sprake van een bovensculminatie of bovendoorgang; voor de overige plaatsen op aarde (op dezelfde meridiaan) is er dan sprake van een benedensculminatie of een benedendoorgang.

Voorbeeld: de zon heeft om 12 uur plaatselijke tijd een bovensculminatie en om 24 uur plaatselijke tijd een benedensculminatie.

3.1.2 De dagelijkse ongelijkheid

De aardequator, de maansbaan en de aardbaan liggen elk in een eigen vlak. Deze omstandigheid veroorzaakt ongelijkheden in de opeenvolgende hoogwaters resp. laagwaters; dit valt als volgt te verklaren:

De hoek, die de lijn middelpunt aarde - middelpunt hemellichaam maakt met het equatorvlak van de aarde, wordt de declinatie genoemd (fig. 3, hoek δ). Beschouwt men nu het evenwichtsgetij in het aarde-maan-systeem dan maakt tengevolge van de maans-declinatie de lange as der waterellipsoïde een hoek met het equatorvlak, waardoor (vooral op bepaalde breedtes) tussen de hoogwaterstanden van twee opeenvolgende hoogwaters een verschil ontstaat, dat dagelijkse ongelijkheid genoemd wordt. Voor de laagwaterstanden treedt hetzelfde verschijnsel op al laat zich dit moeilijk aan de hand van een figuur illustreren. Eenzelfde beschouwing kan men ook geven voor de invloed van de zon.



80.534

fig.3 Oorzaak dagelijkse ongelijkheid

In het getekende voorbeeld treedt volgens de evenwichtstheorie in B het hoogste hoogwater (h_1) op en wel bij een bovensculminatie van het hemellichaam en het laagste hoogwater (h_2) als B in B' is aangekomen en er voor dat punt sprake is van een benedensculminatie van het hemellichaam. De hoogte van het getij in B is dus mede afhankelijk van de declinaties van de maan en de zon.

Het eclipticavlak (vlak waarin de zonsbaan ligt wanneer men de zon beschouwt als draaiende om de aarde) maakt een vrijwel constante hoek van $23,5^\circ$ met het equatorvlak (vlak waarin de aardse equator ligt). Hierdoor varieert de zonsdeclinatie van $+ 23,5^\circ$ tot $- 23,5^\circ$.

Het maanbaanvlak maakt een hoek met de evenaar, die varieert tussen $18,5^\circ$ en $28,5^\circ$, waardoor de maansdeclinatie schommelt van $+ 18,5^\circ$ en $- 18,5^\circ$ naar $+ 28,5^\circ$ en $- 28,5^\circ$ en viceversa. Hierop wordt nader ingegaan in par. 3.1.4.

3.1.3 Spring- en doodtij

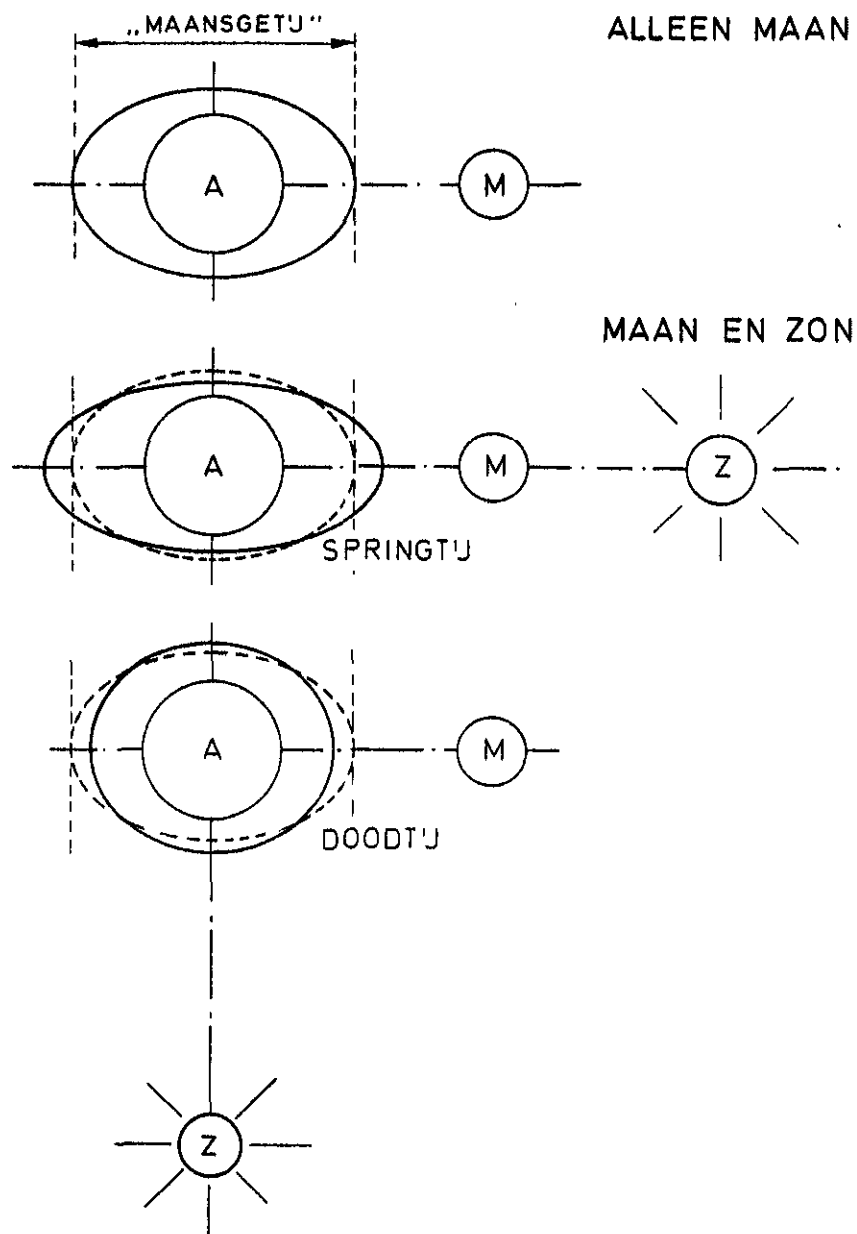
De invloed van de zon op de getijbeweging kan de invloed van de maan zowel versterken als verzwakken (fig. 4).

Tijdens nieuwe maan (N.M.) en volle maan (V.M.) staan de drie hemellichamen bij benadering op één lijn en versterken de invloeden van maan en zon elkaar. De verschillen tussen hoog- en laagwater zijn dan het grootst; men noemt het getij dan springtij.

Wanneer echter de zon en de maan tijdens eerste kwartier (E.K.) of laatste kwartier (L.K.) onder een hoek van 90° ten opzichte van de aarde liggen verzwakken de invloeden elkaar en spreekt men van doodtij.

3.1.4 De perioden van de variaties

Behalve de hiervoor besproken dagelijkse ongelijkheden en de variaties van springtij tot doodtij enz. zijn er nog een aantal periodiciteiten in de getijbeweging. Deze hangen samen met de periodiciteiten van de "deelbewegingen" binnen het stelsel zon-aarde-maan, die in deze onderparagraaf kort besproken worden. Daarbij wordt eenvoudshalve gesteld dat de maan om de aarde draait; in feite draaien zij echter om een gemeenschappelijk zwaartepunt (par. 3.1.1; fig. 2). De diverse rotaties worden verder beschouwd met de sterren als vaste basis van een coördinatenstelsel.



80.536

fig. 4 Invloed zon op "maansgetij"

Onverschieden kunnen worden de periodiciteiten
a van de schijngegalten der maan;
b door en van de baanellipsen van maan en aarde;
c van de declinaties van maan en zon en van de wente-
 lingen van het maansbaanvlak en de aardas.

ad a: de periodiciteiten van de schijngestalten der maan
(N.M., E.K., V.M., L.K.) (fig. 5).

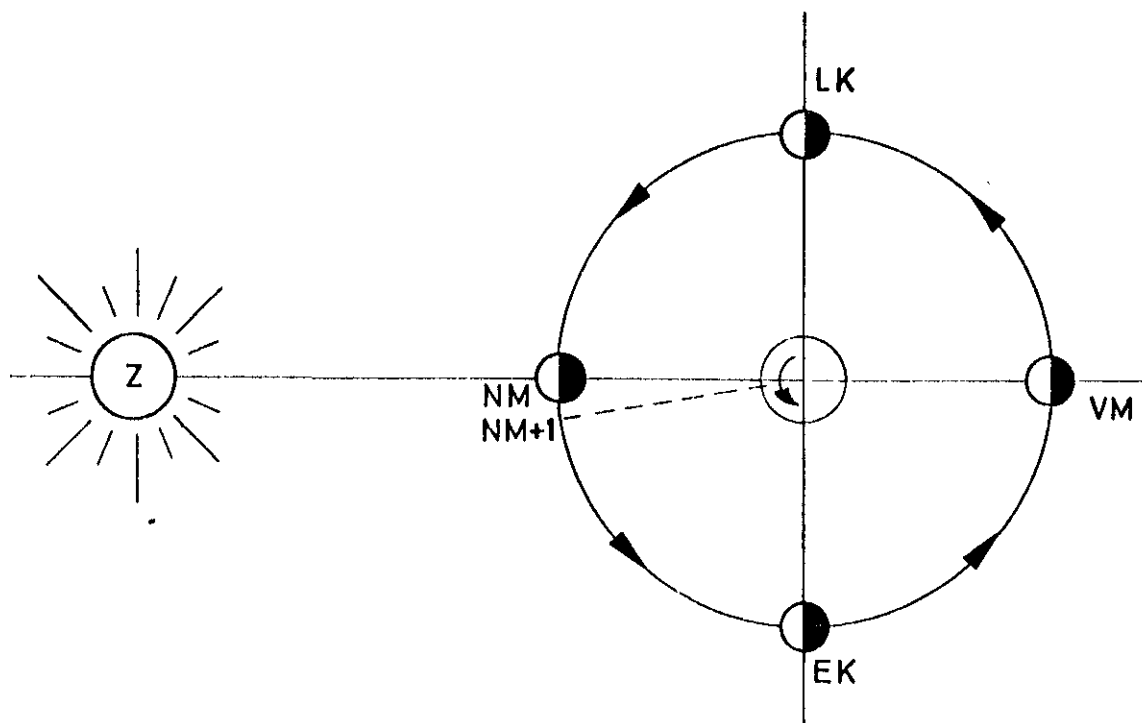
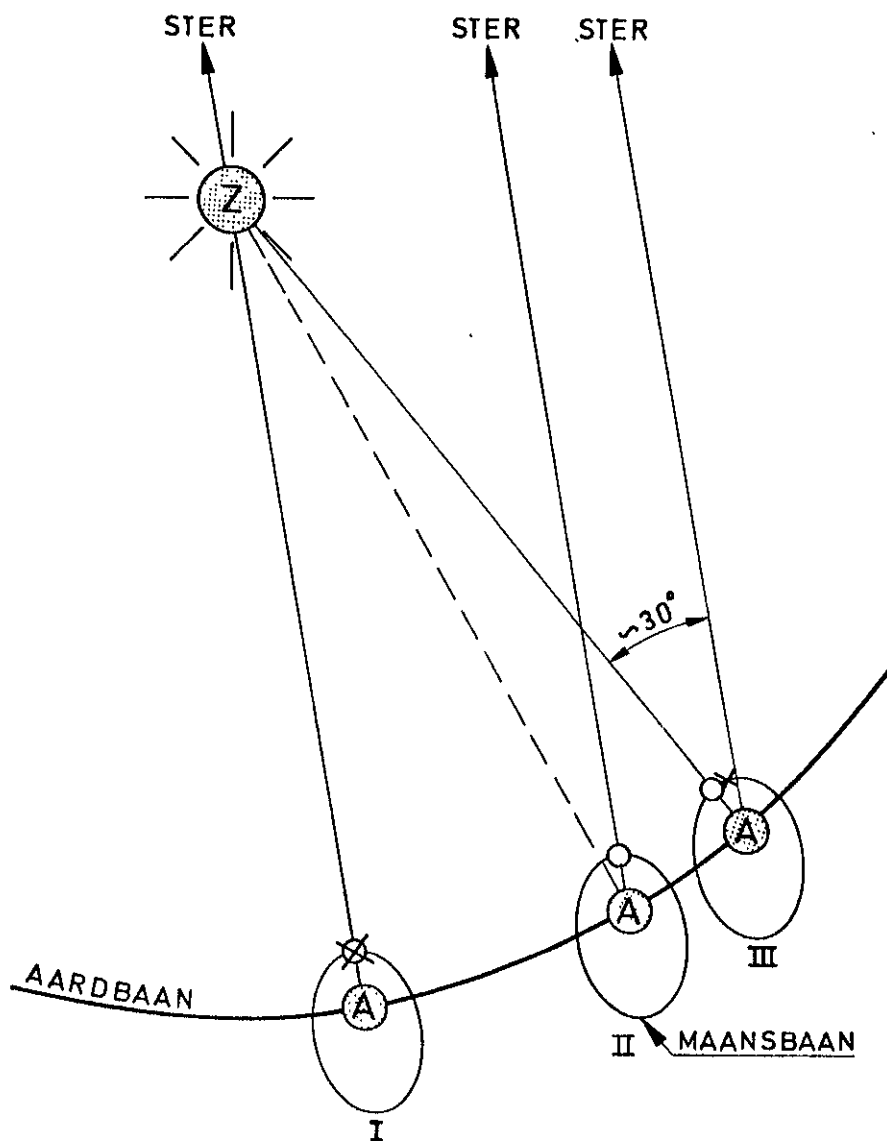


fig. 5 Maansfasen

80.541

De maan volbrengt in gemiddeld 27,32 dagen (de zgn. siderische maand) een volledige omwenteling om de aarde en de aarde in 1 jaar (365,26 dagen¹) een volledige omwenteling om de zon. Gedurende de tijd van één maansomwenteling verplaatst de aarde zich in haar baan om de zon (in fig. 6 van I naar II); hierdoor heeft de maan na een siderische maand nog niet precies dezelfde schijngestalte als in de uitgangssituatie (N.M. in fig. 6). Om dit te bereiken moet de maan haar baan verder vervolgen, evenals de aarde, totdat na gemiddeld 29,53 dagen (een zgn. synodische maand) dezelfde schijngestalte optreedt (situatie III in fig. 6). Het tijdsinterval tussen twee opeenvolgende springtijden (nabij N.M. en V.M.), c.q. doottijden (nabij E.K. en L.K.) is de helft hiervan dus 14,76 dagen. In samenhang hiermee is de gemiddelde tijdsduur tussen twee opeenvolgende hoogwaters c.q. laagwaters geen 12 u maar 12 u 25 min.

¹) dit is het zgn. siderische jaar, dat geldig is voor het gekozen assenstelsel. Gerekend in het vlak van de ecliptica met de zon als vast punt is het jaar 365,24 dagen lang (het zgn. tropische jaar).



80.548

- I : beginsituatie:
- II : situatie na één siderische maand
- III : situatie na één synodische maand
- X : perigeum

fig. 6 Siderische en synodische maand

ad b: de periodiciteiten door en van de baanellipsen van maan en aarde.

De maan beweegt zich om de aarde in een elliptische baan met een excentriciteit $e = 0,055$, zodat de afstand aarde-maan niet constant is.

Staat nu de maan tijdens V.M. of N.M. in het perigeum (d.w.z. is de afstand aarde-maan minimaal) dan ontstaat

een extra hoog springtij. Bij het daaropvolgende springtij zal de maan zich nabij het "apogeum" bevinden (d.w.z. dat de afstand aarde-maan dan maximaal is), waardoor een relatief laag springtij ontstaat. Ongeveer een kwart jaar later, wanneer de maan nabij het perigeum of apogeum staat tijdens E.K. en L.K. en de afstand aarde-maan tijdens V.M. en N.M. dus gemiddeld is, zullen de dan optredende springtijden het gemiddelde springtij benaderen. De cyclusduur van dit verschijnsel bedraagt 0,56 jaar; dit is geen half jaar omdat het perigeum, gerekend t.o.v. de sterren, ook beweegt (fig. 6) en daarbij een volledige omwenteling om de aarde maakt in 8,85 jaar.

De baan van de aarde om de zon is eveneens elliptisch; de invloed van de wisselende afstand van de aarde tot de zon is thans echter slechts gering door de kleine excentriciteit van de aardbaan ($e = 0,017$) op dit ogenblik. Deze excentriciteit varieert met een gemiddelde periode van 95000 jaar. In de voorafgaande miljoen jaren bedroegen de minimale en de maximale waarde resp. 0,0006 en 0,0535, voor de komende miljoen jaren bedragen deze 0,0027 en 0,0566 (de periode en de maximale en minimale waarden zijn niet constant; de variaties zijn bovendien onregelmatig) (lit. 15). De lange as van deze ellips, en daarmee het perihelium, maakt nog een volledige omwenteling om de zon (t.o.v. de sterren) in 108000 jaar. Beide perioden zijn dermate lang dat ze bij getijberekeningen verder buiten beschouwing gelaten kan worden.

ad c: de periodiciteiten van de declinatie van zon en maan en de wentelingen van de aardas en het maansbaanvlak.

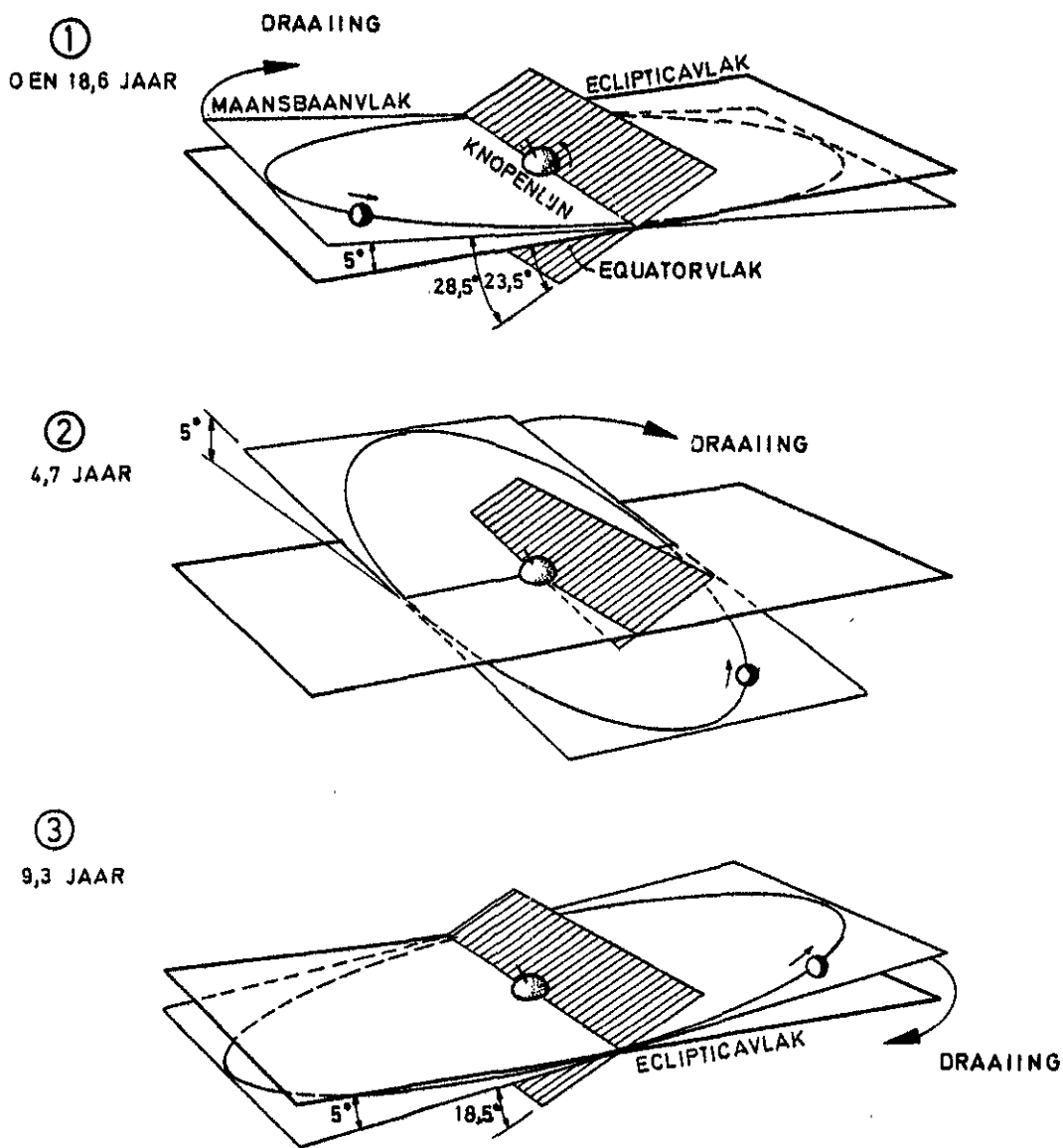
Zoals reeds vermeld in par. 3.1.2 varieert de zonsdeclinatie tussen $+ 23,5^\circ$ en $- 23,5^\circ$. Deze variatie heeft een jaarlijkse periodiciteit; omstreeks 21 juni en 22 december is de declinatie maximaal, t.w. $+ 23,5^\circ$ respectievelijk $- 23,5^\circ$; omstreeks 21 maart en 23 september is de declinatie minimaal, n.l. 0° .

De stand van de aardas t.o.v. de sterren is overigens niet vast; in 25800 jaar beschrijft de aardas een volledige kegel ("tolbeweging") hetgeen invloed heeft op de zons- en maansdeclinaties; mede hierdoor varieert de hoek tussen het equatorvlak en het eclipticavlak tussen $22,0^\circ$ en $24,4^\circ$ met een gemiddelde periode van 40000 jaar (lit. 15). Ook deze perioden zijn dermate lang dat ze bij getijberekeningen buiten beschouwing gelaten worden.

Deze tolbeweging van de aardas tezamen met de rotatie van het perihelium om de zon (ad.b) veroorzaken een verschuiving in de datum waarop de afstand aarde-zon minimaal is. In de huidige tijd staat de zon omstreeks 4 januari in het perihelium, over ongeveer 21000 jaar zal dit weer het geval zijn.

Het maansbaanvlak valt niet geheel samen met het vlak van de ecliptica maar maakt daarmee een kleine hoek (van 5°); de snijlijn van beide vlakken is de zgn. knopenlijn.

De declinatie van de maan wordt nu gekenmerkt door twee periodiciteiten. De belangrijkste met een periode van 27,55 dagen ontstaat tengevolge van de draaiing van de maan om de aarde, waardoor de declinatie schommelt tussen gemiddeld $+23,5^\circ$ en $-23,5^\circ$. De tweede met een periode van 18,6 jaar ontstaat tengevolge van de wenteling van het maansbaanvlak, om een as loodrecht op het eclipticavlak (fig. 7). De combinatie van beide verschijnselen, toegelicht in fig. 7, doet de maansdeclinatie variëren van $(+23,5 \pm 5)^\circ$ tot $(-23,5 \pm 5)^\circ$.



80.546

In geval 1 varieert de maansdeclinatie van $+28,5^\circ$ tot $-28,5^\circ$
 In geval 2 van $+23,5^\circ$ tot $-23,5^\circ$
 In geval 3 van $+18,5^\circ$ tot $-18,5^\circ$
 De maansdeclinatie varieert met een periode van 27,5 dagen.

fig. 7 De draaiing van het maansbaanvlak

Als samenvatting is in tabel B een overzicht opgenomen van de diverse genoemde periodiciteiten.

Tabel B: Overzicht periodiciteiten

Hemel- lichaam	Aard periodiciteit	Periode	draai- richting ¹⁾
maan	-omloop om aarde	27,32 dagen	+
	-wederkeer schijngestalten (N.M., E.K., V.M., L.K.)	29,53 dagen	+
	-draaiing ellips maansbaan	8,85 jaar	+
	-wenteling maansbaanvlak	18,6 jaar	-
aarde	-aswenteling	1 dag	+
	-omloop om zon	365,26 dagen	+
	-tolbeweging aardas	25800 jaar	-
	-helling aardas	40000 jaar	
	-variatie excentriciteit aardbaan	95000 jaar	
	-draaiing ellips aardbaan	108000 jaar	+

¹⁾ Een positieve draairichting wil zeggen dat de draaiing vanaf de Poolster gezien tegen de richting van de klok in is.

Uit het voorafgaande blijkt wel hoe ingewikkeld het astronomisch getij is "opgebouwd". Ter nadere illustratie biedt fig. 7a voor de periode medio december 1977 tot medio januari 1980 een grafische voorstelling van het verloop van de tijdsduren tussen N.M. en achtereenvolgens:

- E.K., V.M., L.K. en de daarop volgende N.M.;
- het tijdstip waarop de maan in het perigeum staat.

Is dit laatste het geval dan is volgens de tweede wet van Kepler (d.i. de wet der perken) de omloopsnelheid der maan het grootst; de beide schijngestalten, waar-tussen de maan zich op dat ogenblik bevindt, zullen alsdan naar verhouding kort na elkaar worden bereikt. Dit verklaart de slingeringen in de "vertikale" lijnen van fig. 7a grotendeels (ook de ellipsvorm van de aardbaan en andere periodieke verschijnselen zijn nog van invloed). De lengte der synodische maand ligt in de figuur tussen 29 dagen 10 uur 15 minuten en 29 dn 16 u 36 min, schommelt over een lange termijn echter meer dan 2x zo sterk.

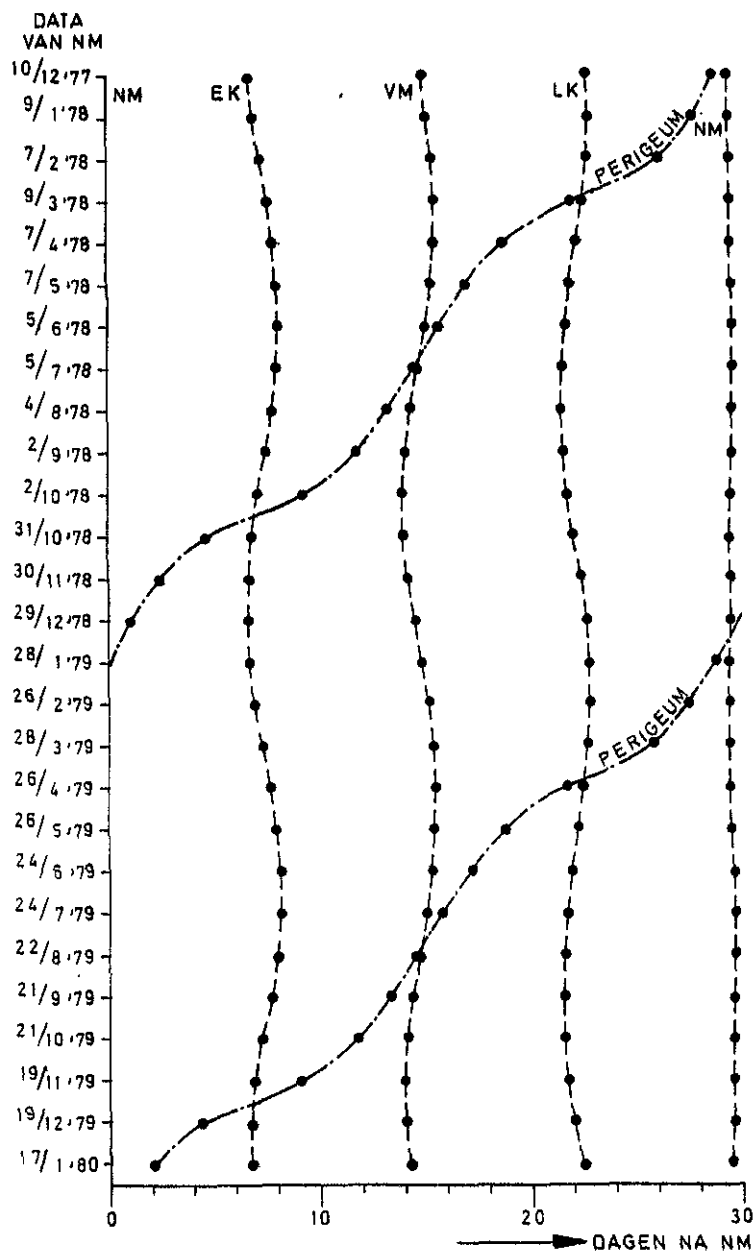


fig. 7a Verloop tijdsduren tussen NM, EK, VM, LK en doorgang door het perigeum (dec. 1977-jan. 1980)

3.2 De evenwichtsgetijtheorie

3.2.1 De afleiding van de getijkraft

Volgens de gravitatiewet van Newton trekken twee stoffelijke punten elkaar aan met een kracht, die evenredig is met het product van hun massa's en omgekeerd evenredig met het kwadraat van hun afstand. In formulevorm:

$$K = f \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} \quad (1)$$

waarin:

f = gravitatieconstante ($f = 6,658 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$);

m_1, m_2 = massa's van de twee stoffelijke punten;

d = afstand tussen de twee punten.

Deze wet is ook geldig binnen het stelsel zon-aarde-maan, waarbij m_1 en m_2 de respectievelijke massa's van de twee betreffende hemellichamen zijn en d hun onderlinge afstand. Verder lopen de hemellichamen volgens min of meer elliptische banen om elkaar heen (par. 3.1.4), waardoor middelpuntvliedende krachten optreden, die juist evenwicht maken met de aantrekkende krachten. Nu zijn zon, aarde en maan geen stoffelijke punten, maar drie-dimensionale lichamen, die bovendien draaiende bewegingen vertonen; deze rotaties hebben eveneens centrifugale krachten tot gevolg. Dit hele stelsel van krachten maakt zich voelbaar aan het aardoppervlak; als gevolg van o.a. de draaiing van aarde en maan om hun gemeenschappelijk zwaartepunt Z (fig. 2), de draaiing van de aarde om de aardas en de richtingen van de aardas ten opzichte van het maansbaanvlak en de ecliptica is een willekeurig punt op aarde onderworpen aan een eigen, specifieke resultante, die voortdurend aan verandering onderhevig is. Deze resultante is de plaatselijke getijverwekkende kracht.

In fig. 8 is het krachtschema voor wat het aarde-maan-systeem betreft, schematisch in beeld gebracht.

De grootte van deze resulterende kracht kan nu als volgt worden afgeleid (ontleend aan lit.1):

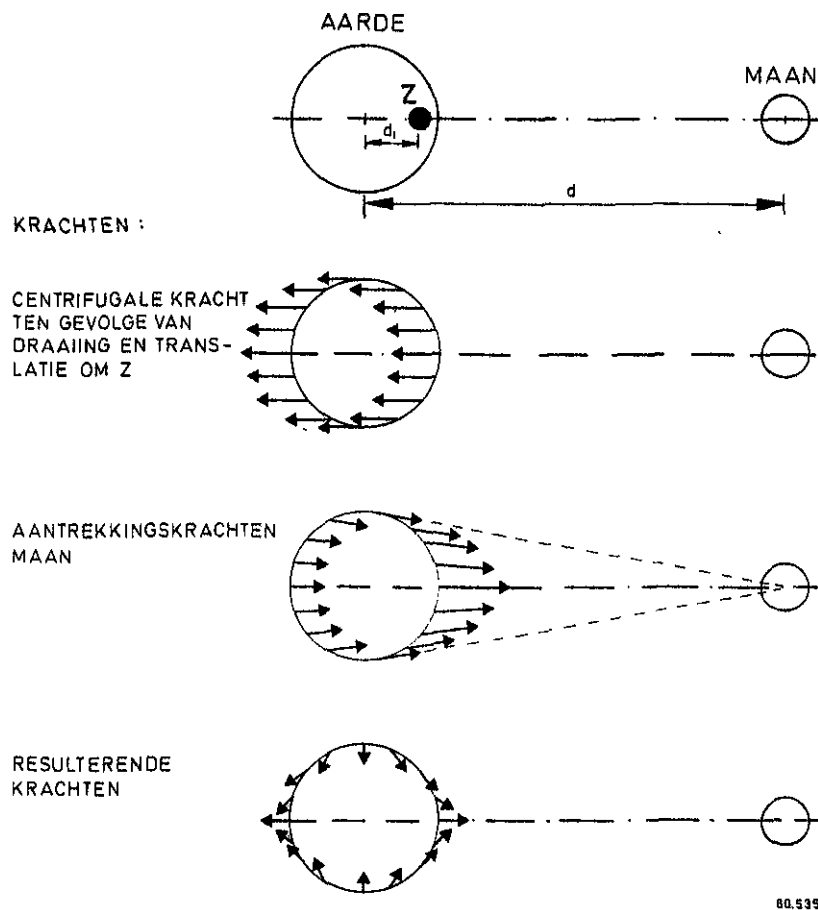


fig.8 Krachtenschema Aarde-maan (de krachten t.g.v. de draaiing van de aarde om haar eigen as zijn buiten beschouwing gebleven)

De aantrekkingskracht van de aarde op een lichaam met massa m is gelijk aan:

$$F = f \cdot \frac{m \cdot A}{r^2} = m \cdot g. \quad (2)$$

waarin:

g = versnelling zwaartekracht (voor Nederland geldt:

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$);

A = massa aarde ($A = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$);

r = straal aarde (gesteld mag worden $r = 6370 \text{ km}$).

Uit (2) volgt: $g = f \cdot \frac{A}{r^2}$

De aantrekkingskracht tussen aarde en maan wordt nu:

$$F = f \cdot \frac{M \cdot A}{d^2} \quad (3)$$

waarin:

$$M = \text{massa maan } (M \approx \frac{1}{81,53} \cdot A);$$

d = gemiddelde afstand zwaartepunt aarde tot zwaartepunt maan ($d = 384000 \text{ km} \approx 60,3r$)

De omwentelingstijd van het stelsel aarde-maan kan nu op eenvoudige wijze worden afgeleid omdat de aantrekkingskracht F gelijk moet zijn aan de middelpuntvliedende kracht ten gevolge van de draaiing.

Er geldt dus:

$$F = f \cdot \frac{M \cdot A}{d^2} = A \cdot \frac{v^2}{d_1} = A \cdot \frac{\omega^2 \cdot d_1^2}{d_1} \quad (4)$$

waarin:

d_1 = afstand zwaartepunt aarde-maan-systeem tot zwaartepunt aarde ($d_1 \approx 4660 \text{ km}$);

ω = hoeksnelheid in rad/s van het stelsel aarde-maan.

Uit (4) volgt voor ω :

$$\omega = \sqrt{\frac{f \cdot M}{d_1 d^2}} = 2,67 \cdot 10^{-6} \text{ rad/s} = \frac{2,67 \cdot 10^{-6}}{2\pi} \text{ omw/s}$$

Hieruit volgt: omwentelingstijd $T = 1/\omega = 2,36 \cdot 10^6 \text{ s} \approx 27,3 \text{ dagen/omw. d.i. de siderische maand, genoemd in par. 3.1.4.}$

Ieder punt op het aardoppervlak ondergaat nu een aantrekkende kracht F_m van de maan en een middelpuntvliedende kracht F_a ten gevolge van de draaiing van het aarde-maan-systeem.

Op een eenheid van massa zijn deze achtereenvolgens:

$$F_m = f \cdot \frac{m_1 \cdot M}{L^2} \quad (5)$$

$$F_a = f \cdot \frac{m_1 \cdot M}{d^2} \quad (6)$$

waarin:

L = afstand punt op aardoppervlak tot zwaartepunt maan;
 m_1 = massa-eenheid = 1

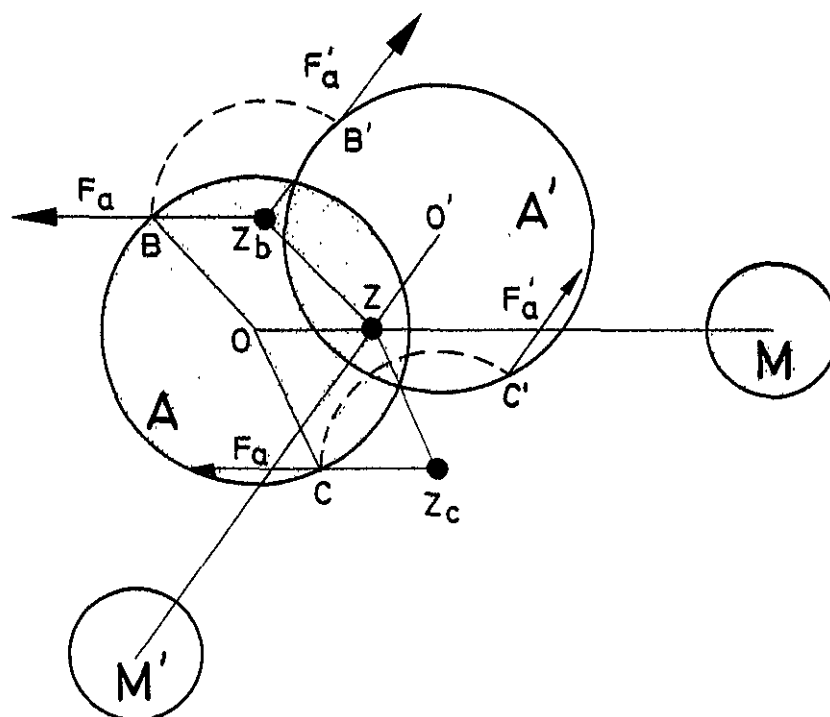
Volgens formule (6) heeft F_a voor ieder punt op aarde eenzelfde waarde. Dit kan als volgt worden toegelicht: Tengevolge van de aantrekkingskracht tussen aarde en maan zou de aarde, en daarmee ieder punt van de aarde, een versnelling krijgen in de richting van de maan. Deze versnelling moet worden opgeheven door de (centrifugale) kracht F_a , die dan dus ook voor ieder punt gelijk moet zijn en waarvan de richting evenwijdig moet zijn aan de verbindingslijn aarde-maan (tek. 2 uit fig. 8). Een nadere verklaring biedt de volgende overweging: Laat men eenvoudigshalve de draaiing van de aarde om haar eigen as buiten beschouwing dan ondergaat de aarde alleen een translatie om het gemeenschappelijke zwaartepunt Z . Met andere woorden: binnen dit (hiervoor omschreven) systeem behoudt de aarde haar stand. Zoals blijkt uit fig. 9 beschrijft ieder punt van de aarde (b.v. B resp. C) een baan met een eigen middelpunt (Z resp. Z_c) en gelijke straal ($BZ_b = CZ_c = OZ$). Juist hierdoor blijft F_a altijd voor iedere plaats op aarde even groot en gericht evenwijdig aan de verbindingslijn aarde-maan.

Voor de aarde als geheel heffen F_m en F_a elkaar juist op. Voor een willekeurig punt hebben F_m en F_a als resultante F_t (fig. 10) en deze F_t is binnen het aarde-maan-systeem de getijverwekkende kracht in dit punt; het verloop van deze kracht over het aardoppervlak is schematisch weergegeven in de vierde tekening van figuur 8.

Het is nu mogelijk voor iedere plaats op aarde voor een willekeurig tijdstip het krachtenveld ten gevolge van de bewegingen en de aantrekkingskrachten van zon en maan te bepalen.

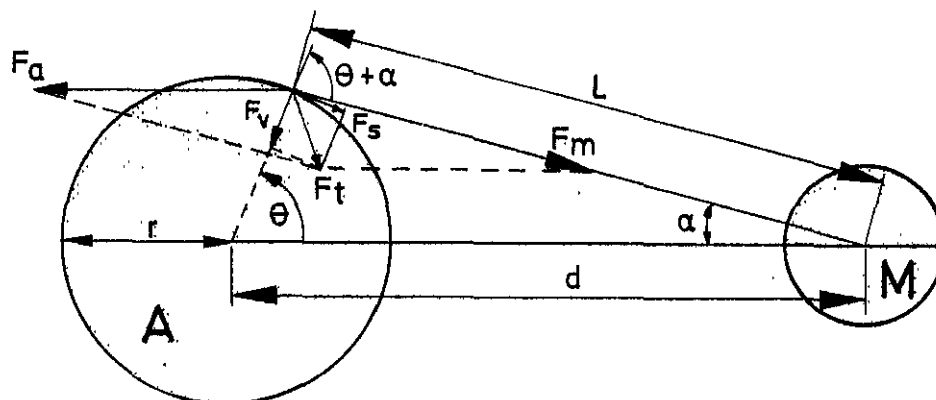
De getijkracht F_t kan worden ontleed in twee componenten t.w. (fig. 10):

- een horizontale component F_s (de zgn. sleepkracht, waarvan de richting een raaklijn aan het aardoppervlak vormt) en
- een verticale component F_v met dezelfde richting als de zwaartekracht.



80.571

fig. 9 Richting en grootte middelpuntvliedende kracht F_a



80.549

fig.10 Ontbinding getijkracht F_t (d.i. de resultante van F_m en F_a in sleepkracht F_s en F_v)

Door F_m en F_a volgens de richtingen van F_s en F_v te ontbinden kunnen de grootten van F_s en F_v worden uitgedrukt in F_m , F_a en de hoeken θ en α (fig. 10).

$$F_s = F_m \sin (\theta + \alpha) - F_a \sin \theta$$

$$F_v = F_m \cos (\theta + \alpha) - F_a \sin \theta$$

Na substitutie van (5) en (6) hierin vindt men:

$$F_s = f.M. \left(\frac{\sin(\theta + \alpha)}{L^2} - \frac{\sin \theta}{d^2} \right)$$

$$F_v = f.M. \left(\frac{\cos(\theta + \alpha)}{L^2} - \frac{\cos \theta}{d^2} \right)$$

Volgens de cosinus-regel geldt:

$$L^2 = d^2 + r^2 - 2dr \cos \theta. \therefore \frac{d^3}{L^3} = \left[1 - \frac{2r}{d} \cos \theta + \frac{r^2}{d^2} \right]^{-\frac{3}{2}}$$

Het rechter lid kan volgens een reeksontwikkeling worden benaderd waarbij de termen « $\frac{r^2}{d^2}$ » verwaarloosd mogen worden aangezien $r = 1/60.d$

$$\text{Dan wordt } \frac{1}{L^3} = \frac{1}{d^3} \left[1 + 3r \frac{\cos \theta}{d} \right]$$

Tevens valt uit de sinus- en cosinus-regels af te leiden:

$$L \cdot \sin (\theta + \alpha) = d \cdot \sin \theta$$

$$L \cdot \cos (\theta + \alpha) = d \cdot \cos \theta - r$$

Na enige herleiding volgt uit deze drie betrekkingen voor F_s en F_v :

$$F_s = \frac{3}{2}.f.M. \frac{r}{d^3} \cdot \sin 2 \theta \quad (7)$$

$$F_v = 3.f.M. \frac{r}{d^3} \left(\cos^2 \theta - \frac{1}{3} \right) \quad (8)$$

De getijkrachten zijn dus evenredig met de massa en omgekeerd evenredig met de derde macht van de afstand. De verhouding van de getijkrachten van maan en zon volgt dan uit de verhouding van hun massa's (1 : 27 060 000) en van hun afstanden tot de aarde (1 : 389); deze verhouding bedraagt 2,18 : 1 = 1 : 0,46.

3.2.2 Afleiding van de getijhoogte

Indien de gehele aarde met water bedekt zou zijn zou het wateroppervlak een dusdanige vorm vertonen, dat de sleepkracht in evenwicht zou zijn met de horizontale component van de kracht, die opgewekt wordt door het verhang (= helling wateroppervlak). De verticale component van de getijkracht F_v zou daartoe te samen met de zwaartekracht, een zekere arbeid hebben verricht om het wateroppervlak in deze vorm te brengen. Dit is de zgn. getijpotentiaal.

In formulevorm:

$$\begin{aligned}\text{Getijpotentiaal} &= \int (F_v - G) dR = \int F_v dR - \int G dR \\ &= \int \frac{3 \cdot f \cdot M \cdot R}{d^3} \left(\cos^2 \theta - \frac{1}{3} \right) dR - \int \frac{f \cdot A}{R^2} dR \\ &= \frac{3}{2} \cdot \frac{f \cdot M \cdot R^2}{d^3} \left(\cos^2 \theta - \frac{1}{3} \right) + \frac{f \cdot A}{R} + C\end{aligned}\tag{9}$$

De constante C behoeft verder niet in beschouwing genomen te worden, aangezien het gaat om de variaties in de getijpotentiaal en niet om de absolute waarde.

Het oppervlak van het water stelt zich overal loodrecht op de resultante van getijkracht en zwaartekracht in. De sleepkracht F_s zal n.l. zolang het wateroppervlak vervormen, totdat de getijpotentiaal voor elk punt op het wateroppervlak dezelfde waarde heeft. Stel deze waarde is nu bij benadering gelijk aan $f \cdot A/a$, d.i. de potentiaal van de zwaartekracht op het oppervlak van de watermassa in rust (a = afstand zwaartepunt aarde tot aan wateroppervlak in rust; dit is het geval als geen getijverwekkende krachten werkzaam zijn).

Hieruit en uit formule (9) volgt nu:

$$\frac{3 \cdot f \cdot M \cdot R^2}{2d^3} \left(\cos^2 \theta - \frac{1}{3} \right) + \frac{fA}{R} = \frac{fA}{a} \quad (9a)$$

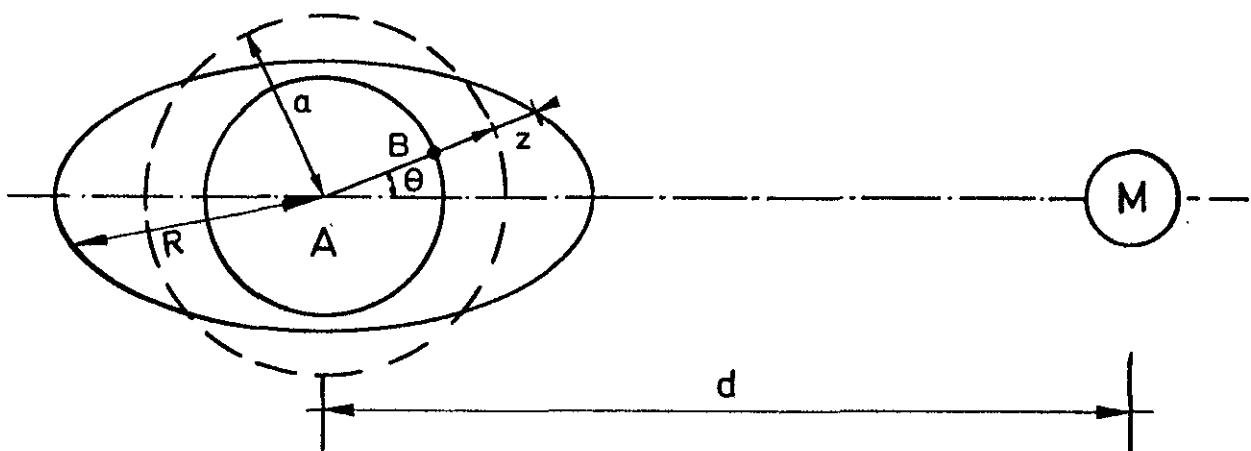
Hierin is $R = a + z$ (z = hoogte van evenwichtsgetij boven bolvlak met straal a (fig. 11)).

Wanneer alleen het systeem aarde-maan in beschouwing wordt genomen kan de maanscomponent van de getijhoogte op een willekeurige plaats B nu na enige herleiding bij benadering als volgt worden geformuleerd (lit. 2 par. 1.5):

$$z = \frac{3 \cdot M \cdot a^4}{2 \cdot A \cdot d^3} \left(\cos^2 \theta - \frac{1}{3} \right) \quad (10)$$

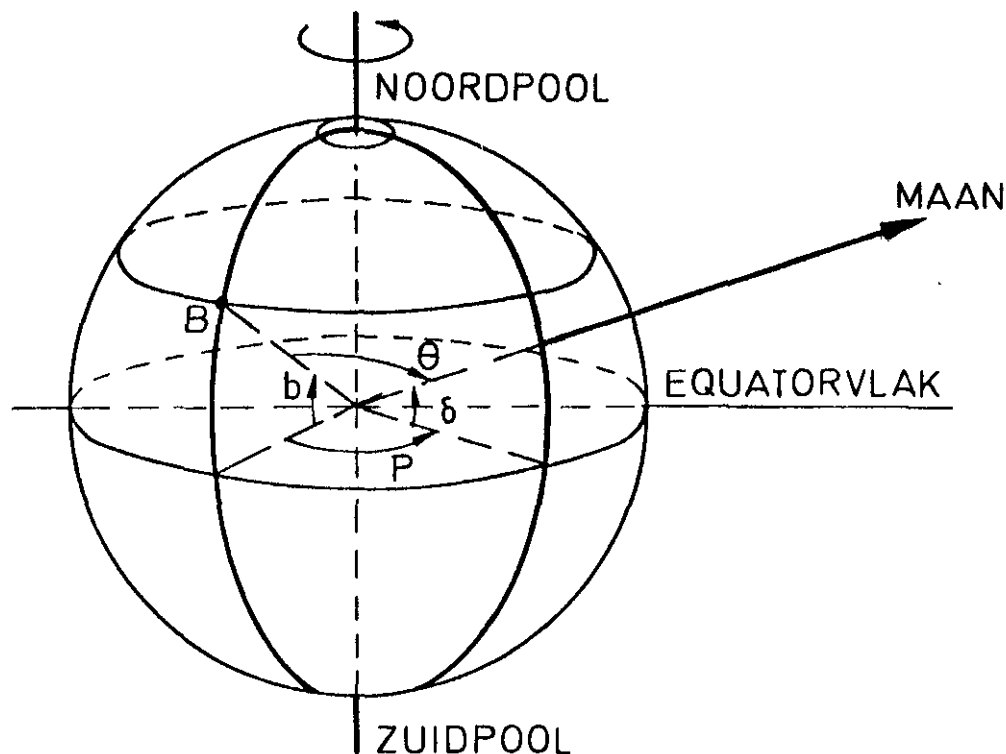
waarin (fig. 11):

- θ = topafstand van de maan, d.i. de hoek tussen de verbindingslijn aarde-maan en de aardstraal naar B (zie ook figuur 12);
- a = afstand zwaartepunt aarde tot aan wateroppervlak in rust
- R = afstand zwaartepunt aarde tot aan het middenstandsvlak volgens het evenwichtsgetij
- z = hoogteverschil tussen het wateroppervlak in rust en het middenstandsvlak volgens het evenwichtsgetij.



80.537

fig. 11 Schema waterellipsoïde volgens evenwichtstheorie



80.538

Toelichting: θ = topafstand (in graden)
 b = breedtegraad van B op aardbol
 δ = declinatie van de maan
 P = uurhoek van de maan t.o.v. B (in uren)

fig. 12 Positiebepalende grootheden maan

De figuur 11 stelt een doorsnede voor van fig. 12 door de punten B (willekeurig), middelpunt aarde en middelpunt maan. Voor ieder punt op aarde (punt B in fig. 11 en 12) kan, zoals in formule (10) is weergegeven de getijhoogte z worden bepaald uit de constanten M , A en a en de twee variabelen d en θ :

- d : de afstand aarde-maan, varieert ten gevolge van de elliptische baan, die de maan om de aarde beschrijft (par. 3.1.4). In plaats van d kan ook als veranderlijke dienst doen de zgn. parallax, dat is de grootste hoek waaronder vanuit een hemellichaam (i.c. de maan) een straal der aarde gezien kan worden;
- θ : de topafstand. In concreto geeft deze topafstand de positie aan van de maan t.o.v. de plaats, waarvoor men het getij wil weten (in casu: B). Voor B varieert de topafstand tussen twee uiterste waarden; is de zgn. uurhoek P voor B maximaal of minimaal, dan is het in B hoogwater.

Voor de zonsinvloed op het verticale getij geldt een geheel overeenkomstige formule.

Ter informatie diene nog dat de maanparallax varieert met $9'$, de zonparallax daarentegen met slechts $8''$.

3.2.3 Verdere ontleding getijhoogte

Neemt men alleen de werking van de maan in beschouwing dan is volgens formule (10) de getijhoogte op een zekere plaats op aarde gelijk aan:

$$z = \frac{3 \cdot M \cdot a^4}{2 \cdot A \cdot d^3} \left(\cos^2 \theta - \frac{1}{3} \right)$$

De vorm $(\cos^2 \theta - \frac{1}{3})$ kan volgens lit.2 par. 1.6 nader worden ontleed in:

$$\frac{1}{6} (3 \sin^2 b - 1) \cdot (3 \sin^2 \delta - 1) + \frac{1}{2} \sin 2b \cdot \sin 2 \delta \cdot \cos P +$$

$$\frac{1}{2} \cos^2 b \cdot \cos^2 \delta \cdot \cos 2P.$$

Als eveneens de zonsinvloed in beschouwing wordt genomen en alle constante termen worden samengevoegd ontstaat de volgende uitdrukking voor de getijhoogte:

$$z = \frac{M_a}{d^3} (3 \sin^2 \delta - 1) + \frac{M_b}{d^3} \sin 2 \delta \cos P + \frac{M_c}{d^3} \cos^2 \delta \cos 2P +$$

$$+ \frac{S_a}{d_s^3} (3 \sin^2 \delta_s - 1) + \frac{S_b}{d_s^3} \sin 2 \delta_s \cos P_s + \frac{S_c}{d_s^3} \cos^2 \delta_s \cos 2P_s \quad (11)$$

De coëfficiënten M_a , M_b en M_c in deze formule (11) voldoen aan de volgende betrekkingen:

$$M_a = \frac{1}{4} \frac{M}{A} \cdot a^4 (3 \sin^2 b - 2);$$

$$M_b = \frac{3}{4} \frac{M}{A} \cdot a^4 \sin b \quad ;$$

$$M_c = \frac{3}{4} \frac{M}{A} \cdot a^4 \cos^2 b \quad ;$$

Vervangt men in deze drie betrekkingen M door S dan ontstaan de formules voor S_a , S_b en S_c ; d_s , δ_s , P_s zijn verder de met d , δ en P vergelijkbare waarden voor de zon.

Uit formule (11) kunnen nu de volgende conclusies worden getrokken:

- conclusie:
- a. de getijhoogte z van het gecombineerde zon-maangetij is een functie van de uurhoeken van zon en maan en van de parallax- en declinatiewaarden van deze hemellichamen;
 - b. de 1e en 4e term zijn alleen afhankelijk van maandelijks resp. jaarlijkse variatie van de parallax- en declinatiewaarden van maan resp. zon. Deze termen zijn de zogenaamde langzame componenten;
 - c. de 2e en 5e term zijn behalve van parallax en declinatie een functie van $\cos P$ resp. $\cos P_s$. Deze termen leveren een enkeldaagse component (de dagelijkse ongelijkheid - zie par. 3.1.2);
 - d. de 3e en 6e term zijn niet alleen functies van parallax en declinatie maar ook van $\cos 2P$ resp. $\cos 2P_s$; ook deze termen leveren elk een dubbeldaagse component, die in Nederland sterk overheerst.

3.3 De culminatiemethode

3.3.1 Algemeen

De culminatiemethode, zoals deze voor de getijtafels tot en met 1979 is toegepast, bestond uit twee verschillende werkwijzen.

Voor de berekening van 3 stations, t.w. Brouwershaven, IJmuiden en Delfzijl, werd gebruik gemaakt van de methode, die ontwikkeld is door Jhr. J.F.L. Ortt (lit. 1) aan het einde van de vorige eeuw. Voor Vlissingen en Den Helder, die voorheen op dezelfde wijze werden berekend, is omstreeks 1950 een verbeterde en vereenvoudigde methode ingevoerd ("methode Van der Kleij").

De overige stations werden, uitgaande van de getijtafels voor deze "primaire" stations met behulp van berekende betrekkingen bepaald. Deze werkwijze is gevolgd omdat de afleiding van de benodigde betrekkingen tussen stations veel minder inspanning vergde dan de toepassing van de voorspellingsmethode op alle stations. Een bijkomend voordeel was dat op deze wijze een zo goed mogelijke samenhang tussen de astronomische getijgegevens van naburige stations werd verkregen.

Aangezien door de moderne rekentechnieken het zojuist genoemde bezwaar is komen te vervallen is besloten voor de herziening der getijtafelberekening (par. 2.2) eenzelfde getijvoorspellingsmethodiek toe te passen voor alle stations (waarbij mede aandacht is besteed aan de hiervoor genoemde samenhang).

Voor deze methodiek is als basis gekozen een enigszins aangepaste "methode Van der Kleij"; deze "werkwijze 1980" is toegepast voor alle opgenomen Nederlandse stations, waarmee het onderscheid tussen primaire en overige stations is komen te vervallen.

Het voorgaande geldt niet voor de in de Nederlandse uitgaven van de getijtafels opgenomen Belgische stations, die volgens een geheel afwijkende werkwijze worden samengesteld en ter beschikking worden gesteld door het Ministerie van Openbare Werken van België.

3.3.2 Uitgangspunt bij de culminatiemethode

De culminatiemethode is volgens par. 3.2.2 gebaseerd op het feit, dat op een willekeurige plaats het feitelijke (astronomische) getijverschijnsel - evenals het (fictieve) evenwichtsgetij - afhankelijk is van de variabele grootheden in de formule van de getijhoogte volgens het evenwichtsgetij, d.w.z. van d en θ in (10). Daar d een functie is van de parallax kan men i.p.v. de

waarde van d de (eenvoudiger te bepalen) waarde van de parallax invoeren. De waarde van θ kan worden uitgedrukt in: de uurhoek P , de breedte b en de declinaties (par. 3.2.3).

Om nu tot een voorspelling te kunnen komen van de werkelijke getijhoogte wordt in de culminatiemethode het verband vastgelegd tussen het opgetreden getij over een lange periode en de beide genoemde astronomische grootheden. Met behulp van astronomische gegevens over het te voorspellen jaar kunnen dan getijtafels voor dat jaar berekend worden.

Het verband tussen uurhoek en culminatietijdstip kan nu als volgt worden toegelicht:

Bij een uurhoek van 0 resp. 12 u. van de maan treedt volgens de evenwichtsgetijtheorie het hoogwater van het "maansgetij" op in alle plaatsen op de meridiaan, waar ook B op ligt (fig. 12). De hoogte van dit hoogwater is afhankelijk van de grootte van de declinatie en de parallax. Op het hierbedoelde ogenblik gaat de maan door het plaatselijke meridiaanvlak, ze "culmineert".

Voor de zon en het "zonsgetij" geldt precies hetzelfde; de tijdstippen van de culminaties van zon en maan vallen echter niet dan bij uitzondering samen. Voornamelijk hierdoor schommelt van het resulterend getij de tijdsduur tussen twee opeenvolgende hoogwaters. De tijd in iedere plaats op aarde wordt, zoals reeds opgemerkt, steeds uitgedrukt in zonnetijd (d.w.z. dat voor iedere plaats op aarde de zon bij benadering om 12 uur haar hoogste stand inneemt d.w.z. een bovensculminatie heeft!). De tijdstippen van maansculminatie worden dus ook steeds opgegeven in zonnetijd, d.w.z. ten opzichte van de zonsculminatie. Het tijdstip van maansculminatie geeft daarmee informatie over de positie van zon en maan ten opzichte van de aarde!

Vanwege de (synodische) omlooptijd van de maan om de aarde vinden in een maanmaand de opeenvolgende boven- en benedensculminaties plaats met tussenpozen van gemiddeld ong. 12 u 25 min (zie par. 3.1.4 ad a). Volgens de evenwichtstheorie bestaat er een rechtstreeks verband tussen het tijdstip van de maansculminatie en tijd en hoogte van het hoogwater en daarmee indirect een verband tussen de maansculminatie en het laagwater, dat ongeveer 6 uur na het hoogwater optreedt.

In werkelijkheid valt het tijdstip van hoogwater nergens op aarde samen met de maansculminatie. Dit is voornamelijk gevolg van de grote verschillen tussen onze aarde en het gelijknamige hemellichaam uit de evenwichtstheorie; daarnaast speelt (zoals reeds uitgebreid ter sprake is gekomen) ook de zonsinvloed een rol. In onze streken treedt ruim 2 dagen na maansdoorgang het bijbehorende hoogwater op (par. 4.2). Toch kan het ge-

tijverschijsel op een willekeurige plaats bij eerste benadering worden vastgelegd in evenzovele verbanden tussen maansculminatie enerzijds en kenmerken van het getij anderzijds (voor die kenmerken kiest men - uiteraard - in de eerste plaats hoogten en tijdstippen van hoog- en laagwater). Een verdere verfijning wordt mogelijk door parallax en declinatie van zon en maan mede in beschouwing te nemen, wat bij de culminatiemethode dan ook altijd gebeurt.

3.3.3 Verband culminatiemethode en getijhoogte volgens de evenwichtstheorie

In formule 11 (par. 3.2.2) is weergegeven dat het getijverschijsel een functie is van een aantal variabelen t.w.:

- d en d_s : zijnde de afstanden van de aarde tot de maan resp. tot de zon. Een maat die hier direct mee samenhangt is de parallaxwaarde;
- δ en δ_s : zijnde de declinaties van de maan en de zon;
- P en P_s : zijnde de uurhoeken van de maan en de zon t.o.v. de betreffende plaats. Deze zijn in formule (11) zowel opgenomen als $\cos P$ resp. $\cos P_s$ als $\cos 2P$ resp. $\cos 2P_s$. Ze geven hiermee de invloed van de enkeldaagse en de dubbeldaagse component van het getij weer. In par. 3.3.2 is reeds aangetoond dat deze waarden direct samenhangen met het culminatietijdstip van de maan resp. de zon.

Bij de culminatiemethode zoals toegepast voor de getijtafels vanaf 1980, worden genoemde variabelen nu als volgt met het getijverschijsel in verband gebracht:

A. Declinatie (δ_s) zon en afstand (d_s) van de aarde tot de zon

Gedurende iedere maand in het kalenderjaar hebben zowel declinatie als parallax van de zon bij benadering vaste waarden.

Door het verband tussen het getijverschijsel en de overige astronomische variabelen nu per kalendermaand te bepalen (d.w.z. door voor zowel declinatie als parallax 12 afzonderlijke verbanden te bepalen) worden de invloeden van δ_s en d_s nader vastgelegd.

B. Enkeldaagse en dubbeldaagse componenten

Het maansculminatietijdstip is de variabele, die zoals reeds eerder aangetoond is, nauw verband houdt met de uurhoeken P en P_s van de maan resp. van de

zon. Het getij op onze breedte heeft (par. 3.2.3) een sterke dubbel-daagse component (in verreweg de meeste gevallen tweemaal daags HW resp. LW) en bovendien een enkeldaagse component met als gevolg de dagelijkse ongelijkheid (par. 3.1.2, fig. 3). Voor de bepaling van de verbanden met de enkeldaagse en dubbel-daagse componenten vindt nu in de gebruikte methode ("werkwijze 1980") een splitsing plaats van getijwaarden naar type culminatie (boven- resp. benedendoorgang).

C. De declinatie van de maan

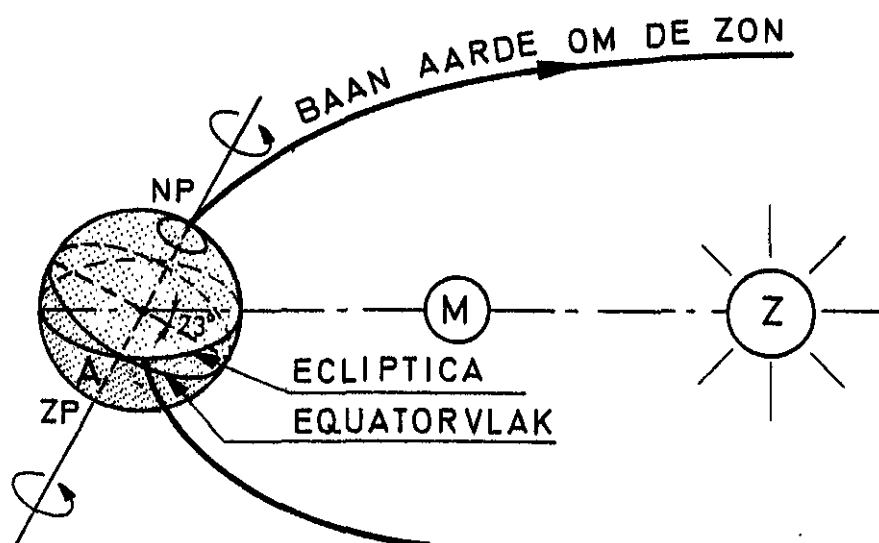
De getijhoogte en de grootte van de dagelijkse ongelijkheid worden mede beïnvloed door de declinatie van de maan. In de toegepaste culminatiemethode wordt nu verondersteld dat voor een eerste benadering van het getijverschijnsel aangenomen mag worden dat de maan zich in hetzelfde vlak beweegt als de zon, d.w.z. in het eclipticavlak.

Zoals reeds vermeld (par. 3.1.2 en 3.1.4) schommelt de declinatie van de zon in een kalenderjaar van ong. $+23,5^\circ$ tot ong. $-23,5^\circ$. In één maand verandert de declinatie van de zon echter zo weinig dat ze als constant wordt verondersteld. De maan zelf doorloopt dan echter in deze periode alle declinatiewaarden van gemiddeld $+23,5^\circ$ tot $-23,5^\circ$. Het culminatietijdstip van de maan in deze maand geeft dan ook niet alleen informatie over de positie van zon en maan t.o.v. de aarde (par. 3.3.2), maar ook een grove indicatie van de declinatie van de maan. Fig. 13 biedt hiervan een verduidelijking voor de situatie in de maand juni. Een verdere verfijning van de declinatie-invloed vindt nog plaats door de voorspelde hoogten (volgens onder A en B genoemde verbanden) te vergelijken met opgetreden waarden en vervolgens voor de "restwaarden" (zgn. residuen) het verband met de declinatiewaarden te bepalen; met behulp hiervan kunnen daarna correctiewaarden worden bepaald. Deze zgn. declinatie-correcties stellen tenslotte in staat de invloed vast te leggen van de hoek tussen het maansbaanvlak en het eclipticavlak, welke hoek ongeveer gelijk is aan 5° .

Het maansbaanvlak maakt een volledige omwenteling in ong. 18,6 jaar, waardoor in een maansmaand de declinatie varieert tussen maximaal $+28,5^\circ$ en $-28,5^\circ$ en tussen minimaal $+18,5^\circ$ en $-18,5^\circ$ (par. 3.1.4).

Op zich lijkt het aangewezen de getijgegevens voor een volledige maanscyclus van 18,6 jaar te gebruiken voor de vaststelling van het verloop van de invloed der maansdeclinatiecorrectie. Bij een gunstige keuze van de analyseperiode kan men echter met een beperkter aantal jaren volstaan. Voor de "werkwijze 1980" is hierbij gekozen voor de periode 1971...1975, waarin vrijwel het gehele bereik der maansdeclina-

ter aantal jaren volstaan. Voor de "werkwijze 1980" is hierbij gekozen voor de periode 1971...1975, waarin vrijwel het gehele bereik der maansdeclinaties werd doorlopen. Dit hangt samen met het feit dat "het maansbaanvlak" in 1973 juist een hoek van $23,5^\circ$ met het equatorvlak maakte (en toen dus een positie halverwege de beide extreme standen - het geval 2 van fig. 7 - innam); in par. 6.4 komt e.e.a. nog nader aan de orde.



80.572

maansculminatie	0 u:	$\delta \approx 23^\circ$
"	6 u:	$\delta \approx 0^\circ$
"	12 u:	$\delta \approx -23^\circ$
"	18 u:	$\delta \approx 0^\circ$

fig.13 Samenhang van de maansculminatie en -declinatie in de maand juni

D. De afstand (d) van de maan tot de aarde

Zoals reeds vermeld in par. 3.1.4 is de afstand maan-aarde niet constant. De invloed van de wisselende afstand wordt in de culminatiemethode in rekening gebracht door de residuen van waarneming en voorspelling met onder A, B en C genoemde verbanden te koppelen aan parallaxwaarden, met behulp waarvan correctiewaarden voor de maanparallax worden berekend (de zgn. parallaxcorrecties).

3.3.4 De toepassing voor de getijtafels

De culminatiemethode, zoals toegepast bij de "werkwijze 1980" maakt gebruik van een viertal formules voor de tijdstippen en standen van Hoogwater (HW) en Laagwater (LW).

Voor het tijdstip hoogwater bij bovensculminatie luidt de formule:

$$(T_H)_U = (T_M)_U + (MV_H)_U + (D_H)_T + (P_H)_T \quad (12A)$$

waarin:

$(T_H)_U$ = Tijdstip Hoogwater volgend op bovensculminatie (U) van de maan;

$(T_M)_U$ = Tijdstip bovensculminatie van de Maan;

$(MV_H)_U$ = Maansverloop, dat is het tijdsverloop tussen maansdoorgang (bovensculminatie) en het daaropvolgend HW (evt. LW) minus 2 dagen;

$(D_H)_T$ = Declinatiecorrectie voor Tijd Hoogwater;

$(P_H)_T$ = Parallaxcorrectie voor Tijd Hoogwater;

Voor het corresponderende tijdstip van het laagwater en voor de tijdstippen van hoogwater en laagwater behorende bij een benedensculminatie gelden overeenkomstige formules (12B,C,D).

Voor de hoogwaterstand bij bovensculminatie geldt nu:

$$H_U = (H_M)_U + D_H + P_H \quad (13A)$$

waarin:

H_U = Voorspelde Hoogte Hoogwater bij bovensculminatie (U) van de maan;

$(H_M)_U$ = Hoogte Hoogwater behorend bij bovensculminatie (U) van de Maan;

D_H = Declinatiecorrectie voor hoogte Hoogwater;

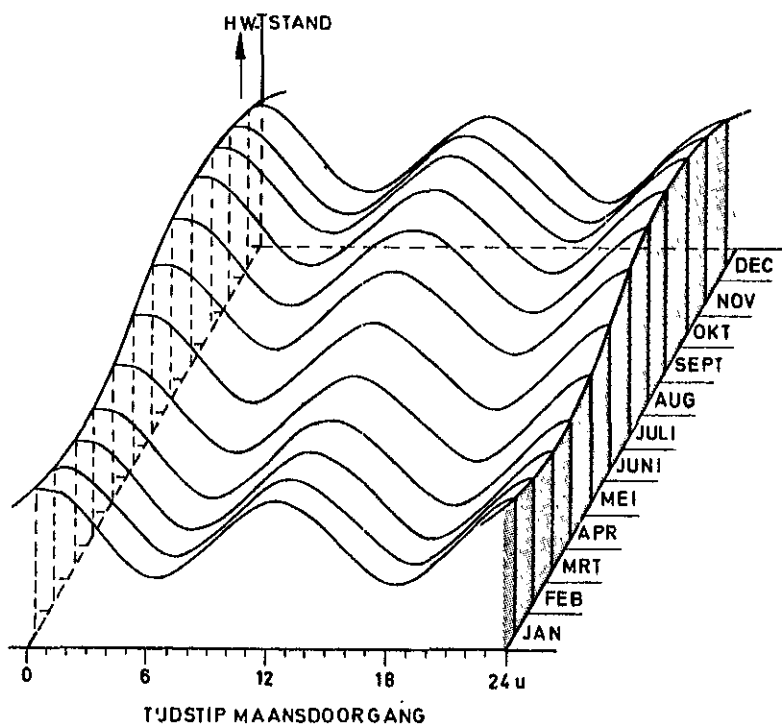
P_H = Parallaxcorrectie voor hoogte Hoogwater.

Voor de hoogte van het corresponderende laagwater en voor de hoogten van hoogwater en laagwater behorende bij een benedensculminatie gelden overeenkomstige formules (13B,C,D).

De hiervoor genoemde correcties betreffen uiteraard de declinatie en de parallax van de maan.

Uit de theorie volgt verder dat de maansinvloed geheel en de zonsinvloed grotendeels in rekening is gebracht. Resten nog de invloeden van parallax en declinatie van de zon; beide worden bepaald door de tijd van het jaar. Door de verbanden volgens de zojuist gegeven formules per kalendermaand te bepalen worden nu de invloeden van deze astronomische factoren vrijwel geheel in rekening gebracht.

Ter illustratie van het voorgaande biedt fig. 14 een schematische driedimensionale weergave van het verband tussen de tijd van het jaar, het culminatietijdstip van de maan bij één type culminatie en de hoogte van het hoogwater (een der gezochte getijparameters); voor de hoogte van het laagwater en de tijdstippen van hoog- en laagwater zijn vergelijkbare ruimtelijke voorstellingen te geven.



80.539

fig. 14 Schetsmatig verband tussen hoogte hoogwater, culminatietijdstip van de maan en maand van het jaar voor één type culminatie.

Op sommige plaatsen komt het hoogste springtij voor rond 21 maart en rond 23 september wanneer de declinaties van zon en maan ongeveer 0 zijn; dit extreme springtij wordt het equinox-springtij genoemd (van equinox = dag-en-nachtevening, wanneer dag en nacht even lang zijn). Theoretisch is volgens het evenwichtsgetij dit het geval aan de evenaar (formule 10, par 3.2.2). Voor de streken ten noorden van $23,5^{\circ}$ NB is uiteraard ook een maximaal-springtij te verwachten bij minimale 0, d.w.z. bij max. positieve declinaties, dus rond 21 juni.

De werkelijkheid wijkt echter sterk af van het evenwichtsgetij. Zo komt b.v. een equinox-springtij aan de Franse Kanaalkust voor. In Nederland blijkt het maximale springtij op te treden rond oktober, november (zoals weergegeven op fig. 14).

4. HET GETIJVERSCIJNSEL AAN DE NEDERLANDSE KUST

4.1. De oorsprong van het getij in de Noordzee

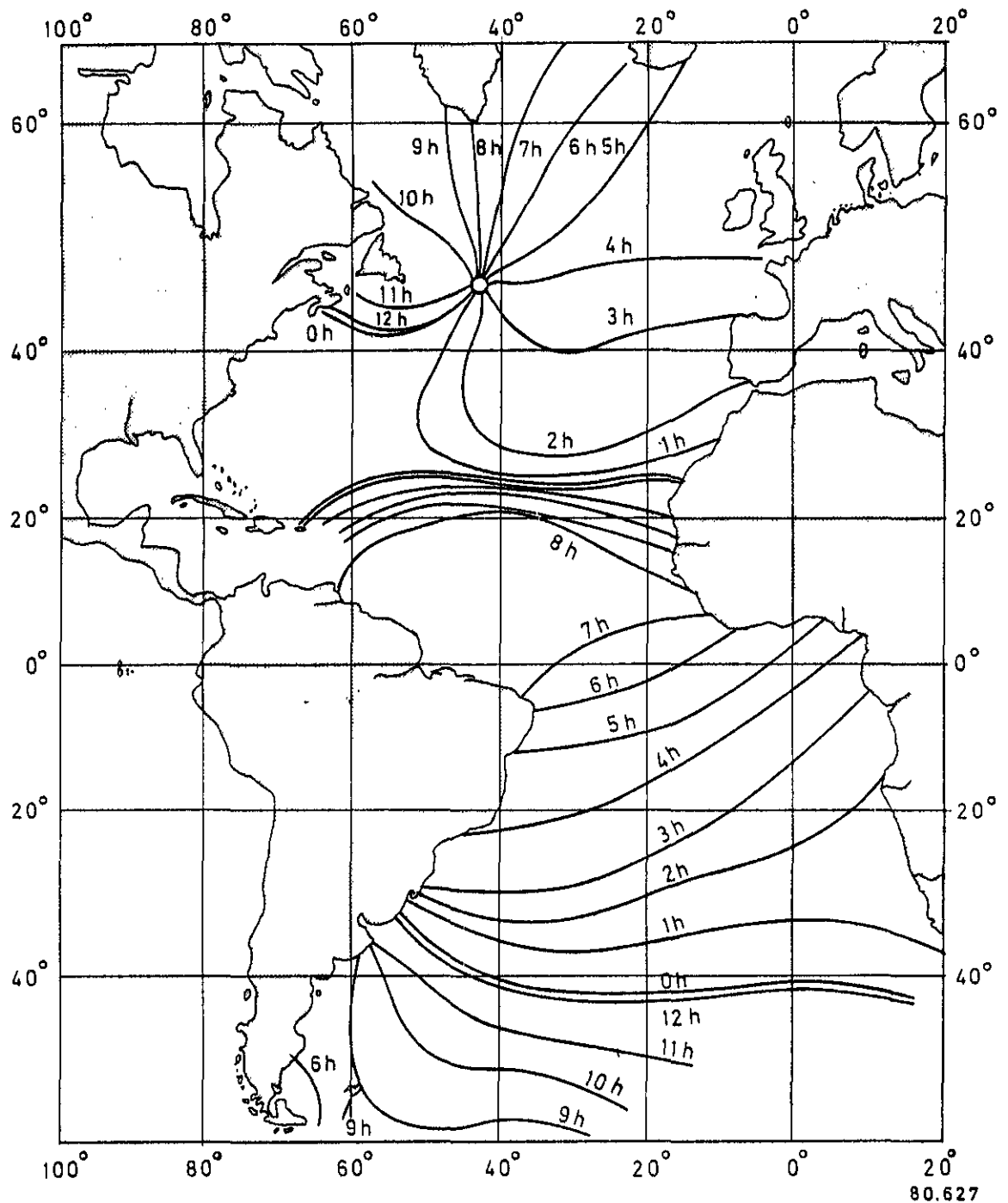
Tot nu toe is er bij de afleiding van de getijbeweging van uitgegaan dat de hele aardbol bedekt was met water; dit water zou ongehinderd elke door de optredende getijkrachten veroorzaakte stand kunnen innemen. De werkelijkheid is anders. De continenten, die groten-deels ook nog in N - Z richting liggen, verstoren het ideale getijbeeld grondig. Er is zelfs maar één gebied op aarde, waar het in de vorige hoofdstukken omschreven verschijnsel zou kunnen optreden en dat is nabij de Zuidelijke IJszee: Alleen tussen de 55° en 65° Zuiderbreedte bevindt zich n.l. rond de hele aarde een "band" water. Men kan zich hier de oorsprong denken van de getijbeweging, zoals deze o.a. aan de Nederlandse kust wordt waargenomen; de hier opgewekte getijgolf beweegt zich door de Atlantische Oceaan naar het noorden (figuur 15), waarbij het getij door de vorm en de eigen slingerperiodes van de Atlantische Oceaan verder wordt gevormd.

Het bij een bepaalde maansculminatie behorend getij aan onze kust treedt dus op nadat de door deze culminatie opgewekte getijgolf zich door de Atlantische Oceaan en de Noordzee heeft voortgeplant. Het getij heeft dus een zekere ouderdom; deze ouderdom wordt de leeftijd van het getij genoemd.

4.2. De leeftijd van het getij in de Noordzee

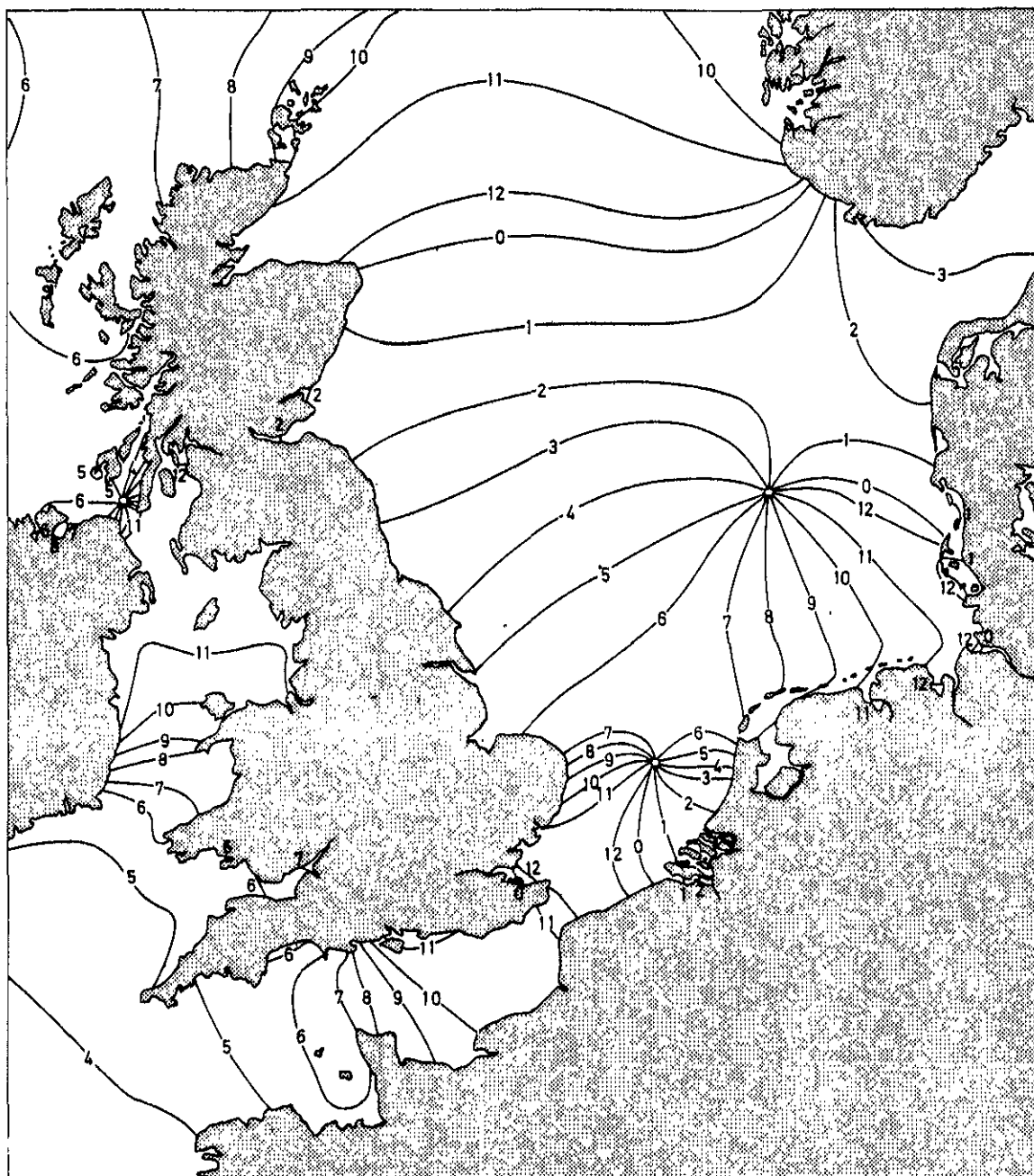
De leeftijd van het getij in de Noordzee kan samengesteld gedacht worden uit de tijd, die de getijgolf nodig heeft om van de Zuidelijke IJszee naar de Noordzee te komen en de tijd, die verloopt voordat in de Zuidelijke IJszee bij een bepaalde maansculminatie het bijbehorend hoogwater optreedt ten gevolge van de traagheid van de watermassa.

De getijbeweging plant zich met een gemiddelde snelheid van 200 m/s over de Atlantische Oceaan voort. Ongeveer 29 uur na maansculminatie bevindt de bijbehorende getijgolf zich ter hoogte van Brest. Deze golf plant zich verder voort richting Noordzee, zowel om Ierland en Engeland heen als via het Kanaal. Bepalend voor het getij langs de Nederlandse kust is allereerst de getijgolf, die om de Schotse kust heen de Noordzee in loopt; het getij, dat via het Kanaal komt, is ten opzichte hiervan ondergeschikt. Voornamelijk hierdoor treedt het hoogwater langs onze kust geruime tijd na dat te Brest op; in IJmuiden b.v. gemiddeld bijna een etmaal, d.w.z. 52 uur na de betrokken maansculminatie.



Toelichting: De lijnen in de figuur zijn de lijnen van gelijke fase. De uren geven de tijdsduur aan tussen de tijdstippen van maansculminatie en van hoogwater.

fig. 15 De voortplanting van het getij in de Atlantische Oceaan. (Volgens Dietrich (1944), verbeterd door Villain (Villain C. Ann. Hydro. (Paris), 3, 1962, 269-388).



80.533

Toelichting: zie bij fig. 15

fig. 16 De voortplanting van het getij in de Noordzee.
(Volgens "Atlas der Elemente des Tidenhubs und
der Gezeitenströme", Rostock 1963)

Door de bodemconfiguratie, de vormen van de kusten en neveneffecten (zoals de versnelling van Coriolis) is in de Noordzee een ingewikkeld getijsysteem aanwezig, dat schematisch in figuur 16 weergegeven is.

4.3 Getijvormen langs de Nederlandse kust

Ter illustratie van de vorm van de getijbeweging in Nederland staan in de figuren 17, 18 en 19 achtereenvolgens de gemiddelde getijkrommen van Vlissingen, Hoek van Holland en Den Helder weergegeven en in fig. 20 het verloop der getijbeweging te Vlissingen van nieuwe maan tot nieuwe maan.

Toelichting bij fig. 17...20

MV = maansverloop, dat is het tijdsverloop tussen de maansdoorgang en het daarop volgende HW (evt. LW) minus 2 dagen.

\overline{MV} = gemiddeld maansverloop of gemiddeld havengetal.

LLWS = laaglaagwaterspring; op deze waarde is het reductievlak voor de zeekaarten afgestemd.

Tijden in uren en minuten

Standen in cm t.o.v. NAP.

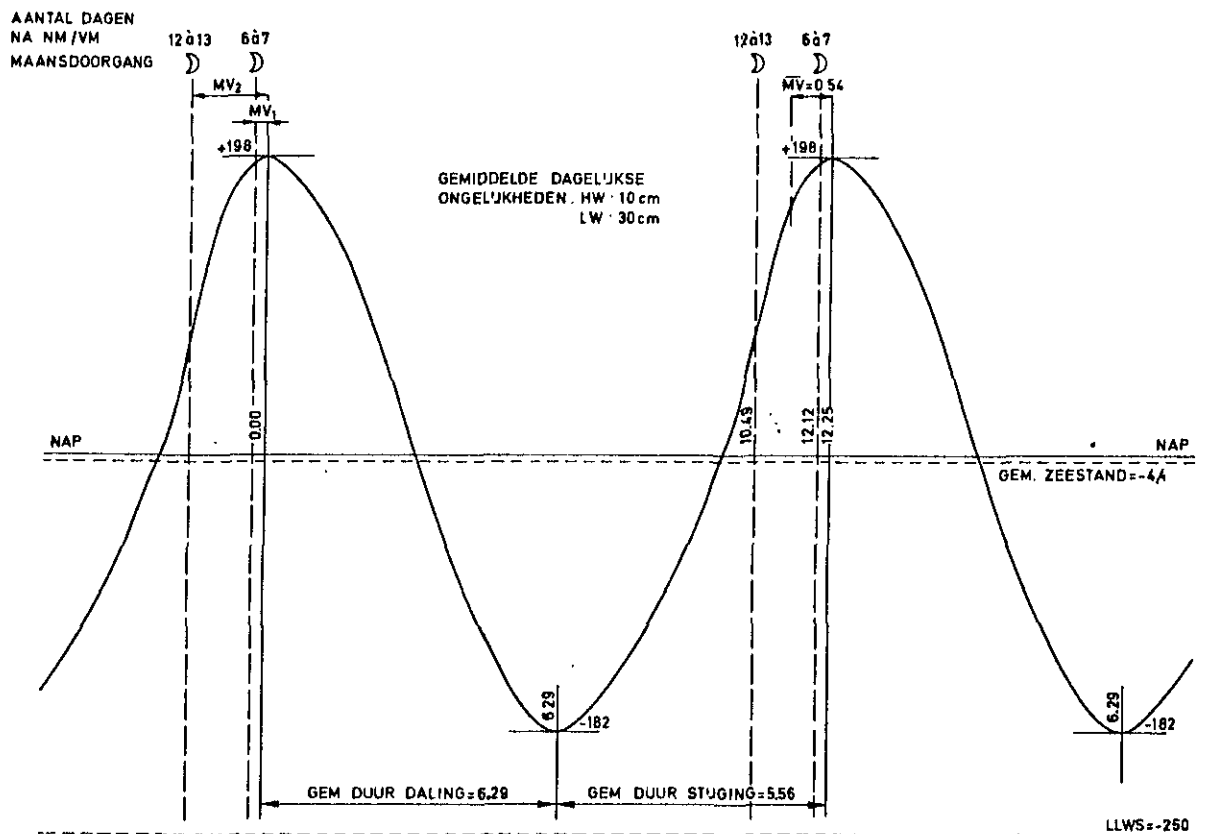
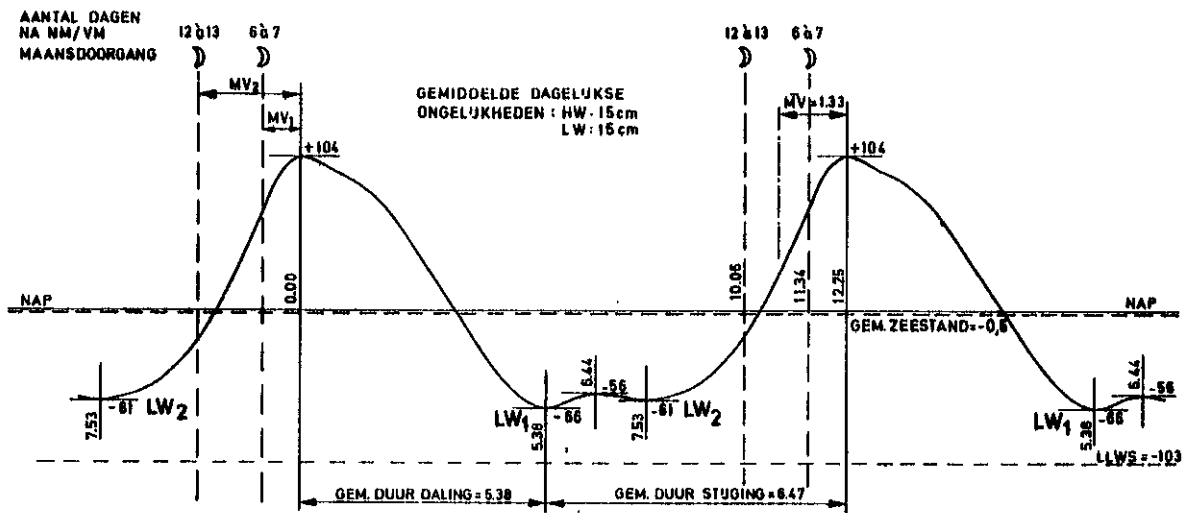


fig. 17 Gemiddelde getijkromme te Vlissingen

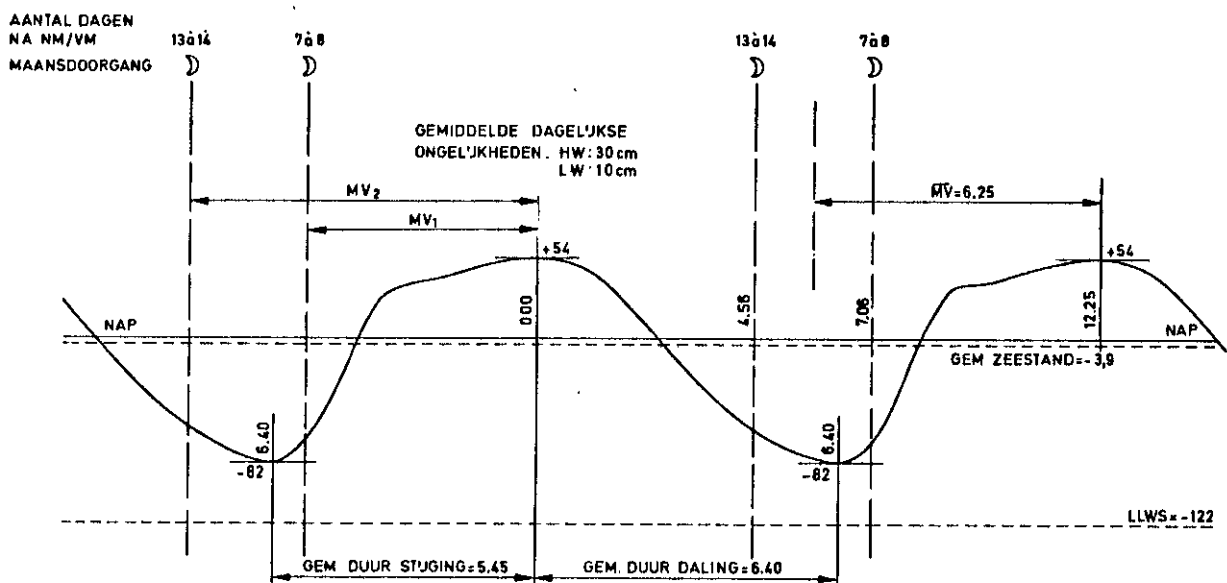
80.545



80.543

fig. 18 Gemiddelde getijkromme te Hoek van Holland

Bijzondere aandacht verdient de periode van laagwater in de gemiddelde getijkromme van Hoek van Holland. Na de eb treedt klaarblijkelijk een kleine rijzing van de zeespiegel op, waarna een tweede laagwater volgt. De kleine rijzing noemt men agger; dit verschijnsel doet zich voor langs de gehele Zuidhollandse kust en landinwaarts tot op de Hollandsche IJssel, tot aan de Lek en tot op de Oude Maas. De sterkte van het verschijnsel verloopt van plaats tot plaats en met de intensiteit van het getij (bij springtij grote agger, bij doortij kleine of geen agger). Bij de analyse is als praktische maat aangehouden dat de top van de agger minimaal 5 cm boven elk der laagwaters moet liggen om als agger aangemerkt te worden.



80.544

fig. 19 Gemiddelde getijkromme te Den Helder

De gemiddelde getijkromme van Den Helder heeft een bijzonder kenmerk tijdens het hoogwater, n.l. de uitgerekte vorm ervan als gevolg van een zgn "dubbele kop". De eerste "kop" beëindigt een snelle rijzing vanaf het laagwater waarna een verdere langzame rijzing wordt afgesloten door de tweede "kop". Dit verschijnsel doet zich voor langs het noordelijke gedeelte van de kust van Noord Holland; bij Den Helder is de tweede "kop" het hoogste, bij Petten de eerste "kop".

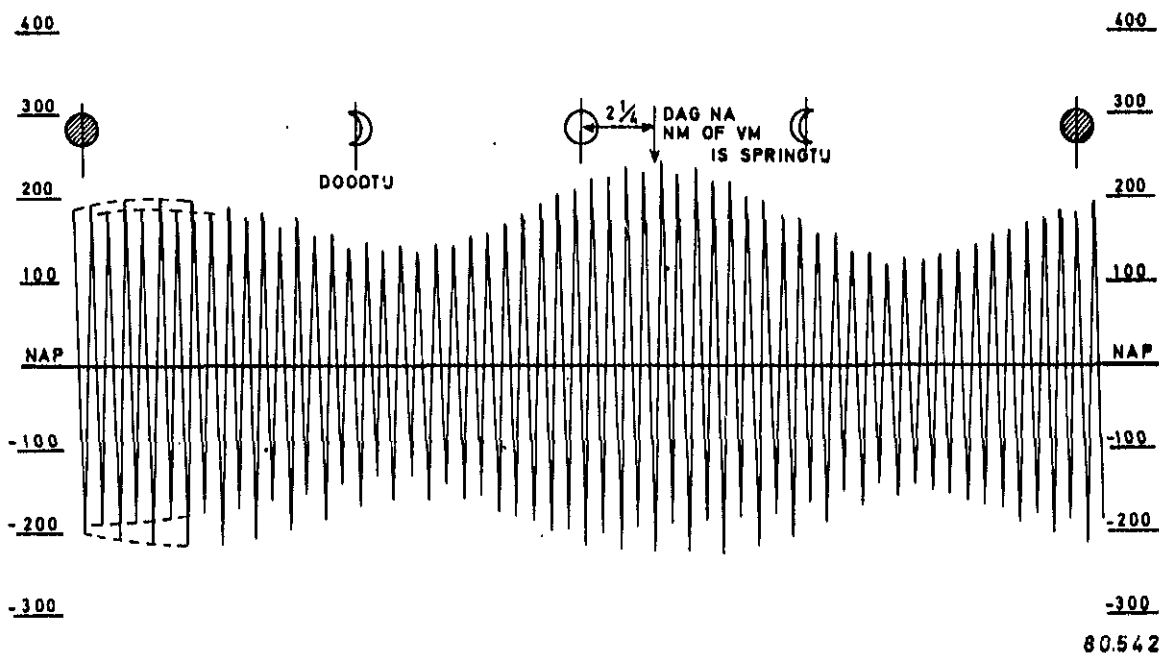


fig. 20 Voorbeeld van het verloop der getijbeweging te Vlissingen van nieuwe maan tot nieuwe maan, waaruit mede de dagelijkse ongelijkheid blijkt.

5 OPZET EN WERKWIJZE VAN DE COMPUTERPROGRAMMATUUR

5.1 Algemeen

De samenstelling van de computerprogramma's, die nodig waren om de vernieuwde getijtafelberekening automatisch te doen plaatsvinden, is uitgevoerd in nauwe samenwerking met de Dienst Informatieverwerking van de Rijkswaterstaat. Het programmapakket bestaat uit vier delen t.w.:

- het deel voor de astronomische gegevens ("ASTROG"). Tot voor kort konden deze gegevens worden ontleend aan vooraf ter beschikking gestelde drukproeven van de Nautical Almanac (uitgegeven door de Britse Admiraliteit). Door een verandering in het drukprocédé is dit niet meer mogelijk, zodat het tijdig beschikbaar zijn van de benodigde gegevens over het te voorspellen jaar gevaar liep. Inmiddels bleek echter bij TNO een programma in ontwikkeling te zijn, dat met een aanpassing ook de benodigde astronomische gegevens voor de getijtafelberekening kon leveren. Dit programmapakket is door de Rijkswaterstaat overgenomen en aangepast zodat nu in eigen beheer alle benodigde gegevens, die deels in het voorbericht van de getijtafel staan opgenomen, berekend kunnen worden;
- het deel, waarin de getij-analyse plaatsvindt ("GETYAN"). Dit deel dient voor de koppeling tussen de kenmerkende grootheden van het getij, t.w.
 - de tijdstippen en hoogten van waargenomen hoog- en laagwaters en
 - de astronomische grootheden; culminatietijdstippen, parallax- en declinatiewaarden (vergelijk de formules (12) en (13) van par. 3.3.4). De met GETYAN gevonden betrekkingen zijn in de vorm van tabellen in computerbestanden opgeslagen;
- het deel, dat de getijtafels berekent ("GETYTAF"). In dit deel tenslotte vindt de berekening van de getijtafels plaats en wel met behulp van de astronomische grootheden over het te voorspellen jaar (ontleend aan "ASTROG") en de tabellen van "GETYAN"; de uitkomsten ervan worden vervolgens opgeslagen op een magneetband. De Staatsdrukkerij kan met behulp van haar eigen programmatuur (die in dit kader enigszins aangepast moest worden) de "Getijtafels voor Nederland" drukken.
- het deel, dat de zgn. "zeevaarderstafels" berekent uit de getijtafels ("ZEETAF"). Dit deel sluit aan op het GETYTAF-pakket en is samengesteld ten behoeve van de vervaardiging van een tweede Nederlandse uitgave van getijtafels: de "Getijtafels voor de zeehavens in

Nederland en voor Antwerpen (Prosperpolder) en Zeebrugge" (kortweg de zeevaarderstafels genoemd).

De hoogten van hoog- en laagwaters in de "Getijtafels voor Nederland" worden opgegeven t.o.v. NAP (Normaal Amsterdams Peil), dat voor de meeste stations het gemiddelde zeeniveau ter plaatse dicht benadert. Voor de belangrijkste zeehavens in Nederland worden overigens ook getijtafels gemaakt met een afwijkend referentievlak, t.w. het zgn. reductievlak van de zeekaarten, dat voor Nederland vrijwel overeenkomt met het L.L.W.S. (Laaglaagwaterspring). Dit laatste vlak wordt berekend als het meerjarig gemiddelde (in den regel over 5 jaar i.c. de periode 1915-1920) van het laagste springlaagwater van elke maand. Het L.L.W.S. heeft thans een onderschrijdingsfrequentie van ongeveer 50 laagwaters per jaar. De betrokken uitgave staat bekend als de "Getijtafels voor de zeehavens in Nederland en voor Antwerpen (Prosperpolder) en Zeebrugge" en is eveneens verkrijgbaar bij de Staatsuitgeverij in 's-Gravenhage.¹⁾ De samenstelling van deze getijtafels vindt plaats in het programmapakket "ZEETAF".

Van enkele Nederlandse stations stuurt de Rijkswaterstaat de getijtafels naar een aantal andere landen ter publicatie in de aldaar uitgegeven getijtafels; tot de geadresseerden behoren het "Department of Commerce" in de Verenigde Staten, die de uitgave der zgn. "Tide Tables" verzorgt, de Britse Admiraliteit in verband met de door haar uitgegeven "Admiralty Tide Tables" en het "Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg", die de "Gezeitentafeln" publiceert.

5.2. Berekening astronomische gegevens (ASTROG)

Zoals reeds onder 5.1 vermeld heeft de Rijkswaterstaat een programma voor de berekening van de benodigde astronomische gegevens overgenomen van de TNO-Rijksverdedigingsorganisatie. Dit programma moest echter wel aangepast en uitgebreid worden om aan de doelstellingen van de Rijkswaterstaat te voldoen. Hiervan, van de in de programmadelen gebruikte berekeningsmethoden en van zijn theoretische achtergronden is verslag uitgebracht in lit. 11.

Het gehele ASTROG-pakket bestaat uit de drie afzonderlijke deelsystemen ASTROG 10, 20 en 30.

¹⁾ de gegevens voor de getijtafels der daarin opgenomen Belgische stations worden jaarlijks ter beschikking gesteld door het Ministerie van Openbare Werken van België.

- ASTROG 10 levert een uitvoer van maansgegevens (culminatietijdstippen, parallax en declinatie), die vergelijkbaar zijn met de tabellen, die in de Nautical Almanac verschijnen zodat (achteraf) een controle van de berekeningen mogelijk is.
- ASTROG 20 levert een uitvoer, die rechtstreeks te gebruiken is voor de getij-analyse en de getijvoorspelling.
- ASTROG 30 levert alle overige in de "Getijtafels voor Nederland" opgenomen astronomische gegevens (tijdstippen van opkomst en ondergang van zon en maan voor Amersfoort, tijdstippen, waarop de maan staat in het perigeum, resp. apogeum, nauwkeurige tijdstippen van de maansfasen en de jaargetijden).

Tabel C biedt een overzicht van alle betrokken astronomische gegevens, hun toegelaten onnauwkeurigheden en hun gebruik.

TABEL C Overzicht astronomische gegevens

Nr.	Gegeven	Eenheid	Toegelaten onnauwkeurigheid	Gebruik
1.	Tijdstippen boven- en beneden-culminatie	h en min	1/2 min	Invoer GETYAN Invoer GTYTAF
2.	Parallax maan op moment van culminatie	hoek	3 s	Invoer GETYAN Invoer GTYTAF
3.	Declinatie maan	hoek	1 min	Invoer GETYAN Invoer GTYTAF
4.	Tijden opkomst en ondergang van de zon (Amersfoort)	h en min	1/2 min	Getijtafels voor Nederland tabel VI
5.	Tijdstippen Perigeum en Apogeum (afgeleid uit nr 2)	uren	1/2 uur	Getijtafels voor Nederland tabel VII
6.	Tijdstippen begin seizoenen	h en min		Getijtafels voor Nederland tabel VII
7.	Tijden van opkomst en ondergang van de maan (Amersfoort)	h en min	1/2 min	Getijtafels voor Nederland tabel VIII
8.	Tijdstippen schijngestalten van de maan	h en min	1/2 min	Getijtafels voor Nederland tabel IX en naast de tafels. Getijtafels voor de zeehavens, par.3.

5.3 De getij-analyse (GETYAN)

5.3.1 Het stroomschema

In figuur 21 staat aangegeven hoe het in par. 5.1 genoemde programmapakket GETYAN is opgebouwd met daarbij de samenhang met de andere genoemde computerprogrammapakketten ASTROG, GTYTAF en ZEETAF.

Uit het stroomschema blijkt op welke wijze de gehele programmatuur wordt doorlopen om te komen tot een volledige analyse van een reeks getijgegevens van normale getijstations, die opgeslagen zijn in DTBEST (het algemene computerbestand van gegevens van de Rijkswaterstaat). De beschrijving van de afzonderlijke deelsystemen van GETYAN vindt plaats in par. 5.3.2.

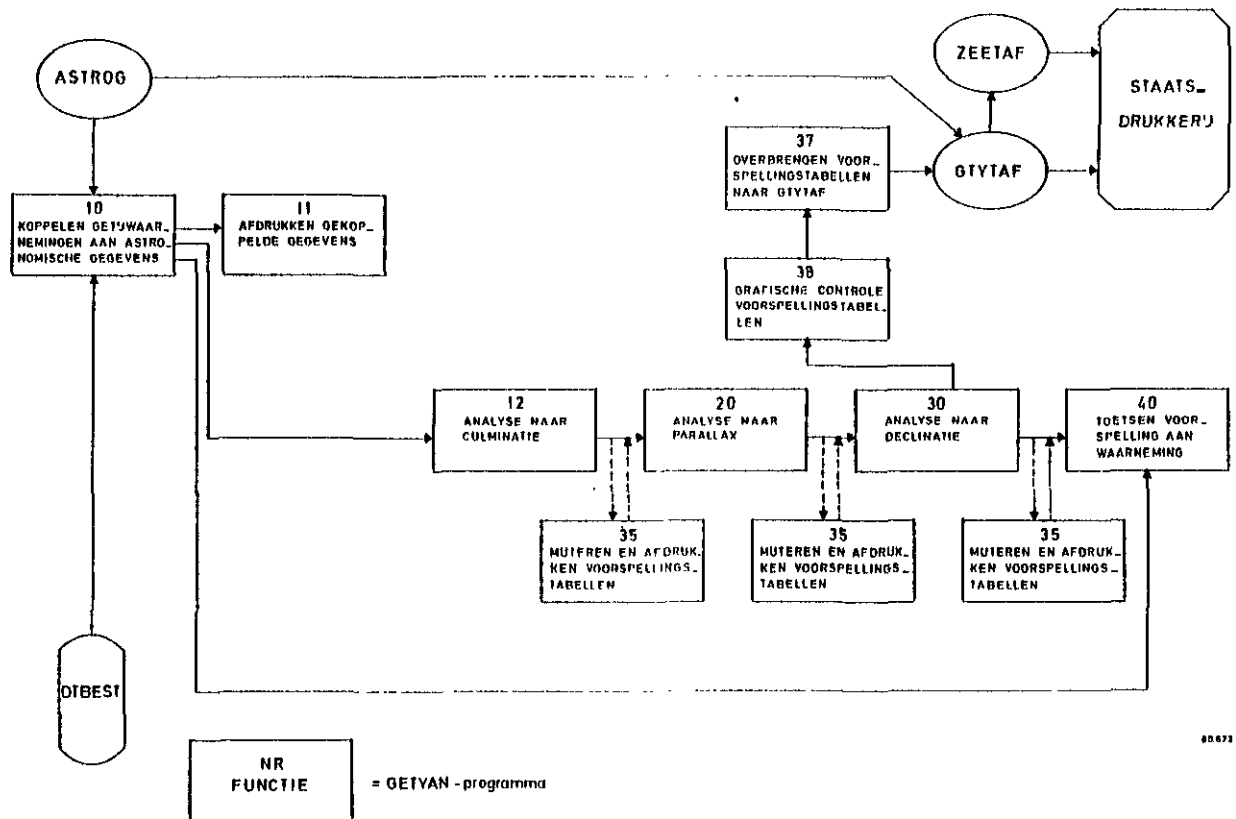


fig. 21 Stroomschema GETYAN-programmatuur voor gewone getijstations

Voor de aggerstations (omschrijving agger in par. 4.3) zijn een aantal afzonderlijke programma's ontwikkeld, dit vanwege het feit dat voor een dergelijk station per getij twee laagwaters moeten worden voorspeld uit twee gegevensreeksen, die in het algemeen beide "gaten"

vertonen (het aggerverschijnsel doet zich namelijk het meest uitgesproken voor nabij het springtij). De structuur van de gehele programmatuur is verder gelijk gebleven. Enkele deelprogramma's moesten echter zodanig worden aangepast, dat nieuwe nummers zijn gegeven. Het stroomschema voor de aggerstations is nu als aangegeven in fig. 22.

Opmerking: De hoogwaters worden na GETYAN 50 apart geanalyseerd op de in figuur 21 aangegeven wijze.

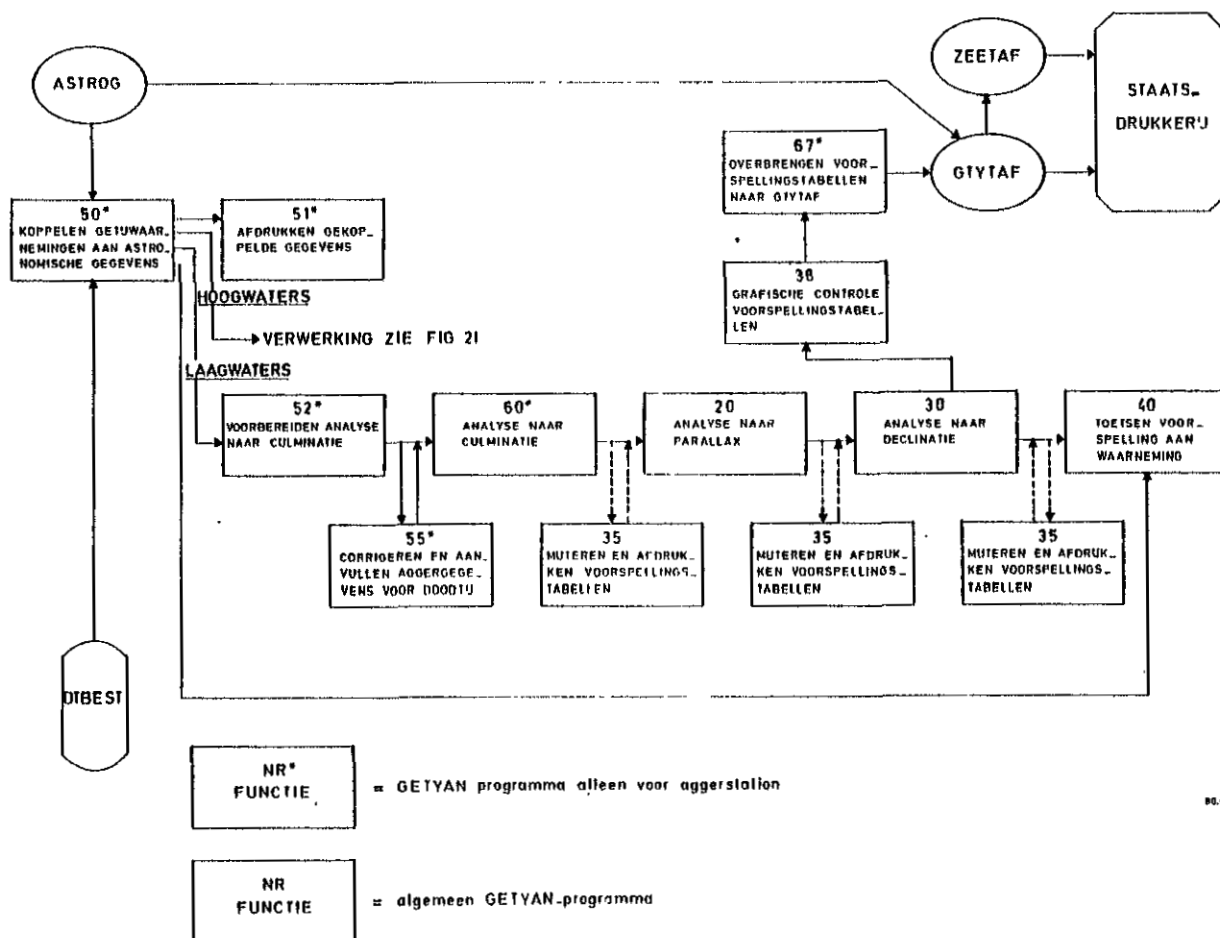


fig. 22 Stroomschema GETYAN - programmatuur voor aggerstations

5.3.2 Beschrijving deelsystemen van GETYAN

In deze paragraaf wordt nader ingegaan op de werking van ieder programmadeelsysteem van GETYAN afzonderlijk en de daarbij geleverde uitvoer. Een sterretje bij het nummer geeft aan dat dit een specifiek programma voor aggerstations is.

GETYAN 10/50*

In deze programma's worden per dag kenmerkende groot-heden van het getij (tijdstippen resp. hoogten van hoog- en laagwater), afkomstig uit het gegevensbestand "DTBEST", samengevoegd met de voor die dag geldende as-tronomische grootheden (afkomstig uit "ASTROG"); zoals tijdstippen van culminatie en parallax- en declinatie-waarden.

Ter controle wordt in de vorm van een afdruk een over-zicht gemaakt van de aantallen culminaties met de bij-behorende aantallen hoog- en laagwaters.

GETYAN 11/51*

Deze programma's geven een afdruk van alle in GETYAN 10 resp. 50* verzamelde astronomische gegevens en getijge-gevens.

GETYAN 12/35

In GETYAN 12 wordt elk der 4 getijparameters (tijdstip-pen resp. hoogten van hoog- en laagwater); gesorteerd naar:

- culminatietype (boven of beneden)en
- kalendermaand,

waarna per geval de waarden worden ingedeeld naar klas-sen van het culminatietijdstip (intervalbreedte: 1 uur). Sterk afwijkende waarden (tengevolge van stormen) worden daarbij via een selectieprocedure verwijderd. Per "culminatieklasse" zijn daarbij als normen voor de grootste toelaatbare afwijkingen van de gemiddelden der onderscheidene parameters aangehouden 60 min voor de tijd en 50 cm voor de stand. Per geval worden vervolgens in een tabel van de overgebleven gegevens per culminatie-klasse aantal en (eventueel herberekende) gemiddelde waarde vermeld. Het totaal aantal tabellen dat per station op deze wijze wordt samengesteld is $12 \times 4 \times 2 = 96$; er zijn n.l. 12 kalendermaanden per jaar, 4 getijparameters en 2 culminatietypen (boven en beneden).

Als volgende stap wordt nu de gemiddelde waarde per klasse van de betreffende getijparameter grafisch uit-gezet¹⁾, waarna de meest geschikte hogere-graads-kromme d.m.v. vereffening m.b.v. de methode der kleinste kwa-draten wordt bepaald. Voor de grafieken ter bepaling van de tijdstippen van hoog- en laagwater bleken dit 18e-graads-krommen te zijn, voor de bijbehorende standen

¹⁾ en wel op het gemiddelde der culminatietijdstippen, dat in het algemeen wat afwijkt van het midden der klasse.

11e-gradskrommen. Van deze grafieken biedt fig. 23 een voorbeeld voor de hoogte van het hoogwater aan het station Vlissingen behorende bij de bovensculminaties in de maand januari.

Teneinde de zo bepaalde 12 krommen op elkaar af te stemmen wordt voor iedere grafiek de hoogwaterstand berekend voor de culminaties op de 24 volle uren. Per vol uur worden nu de zo gevonden standen in een grafiek tegen de kalendermaand uitgezet (fig. 24). De vereffening door deze punten is vervolgens verricht met een 6e-gradskromme.

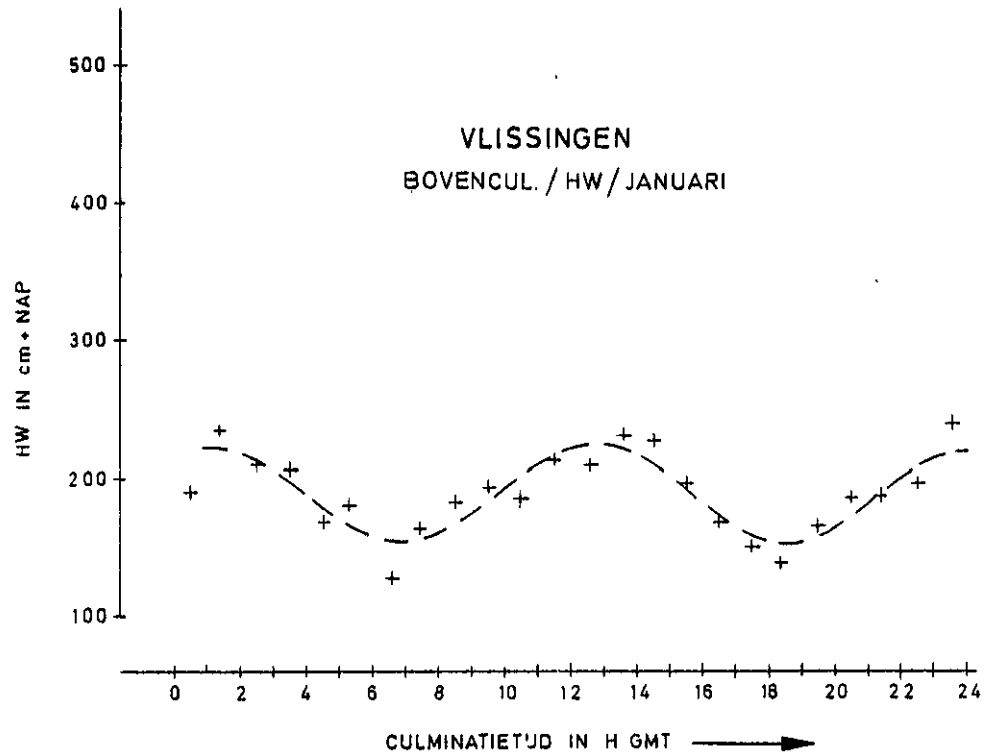


fig. 23 Schematisch verband hoogwaterstand te Vlissingen en boven-culminatie voor de maand januari

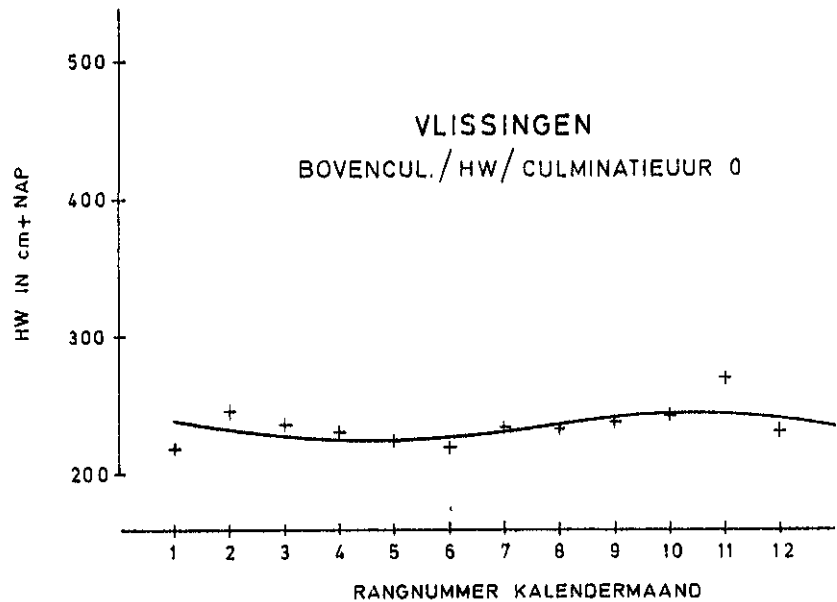


fig. 24 Samenhang hoogwaterstand te Vlissingen per culminatieuur over het jaar

De voor ieder culminatieuur op deze wijze per kalendermaand berekende waarde wordt nu eveneens ingetekend in fig. 23, waarna opnieuw een vereffening (opnieuw volgens een 18e- resp. 11e- graadskromme) plaatsvindt van de oude punten (+) te samen met de uit de maandsamenhang verkregen punten (o) (fig. 25).

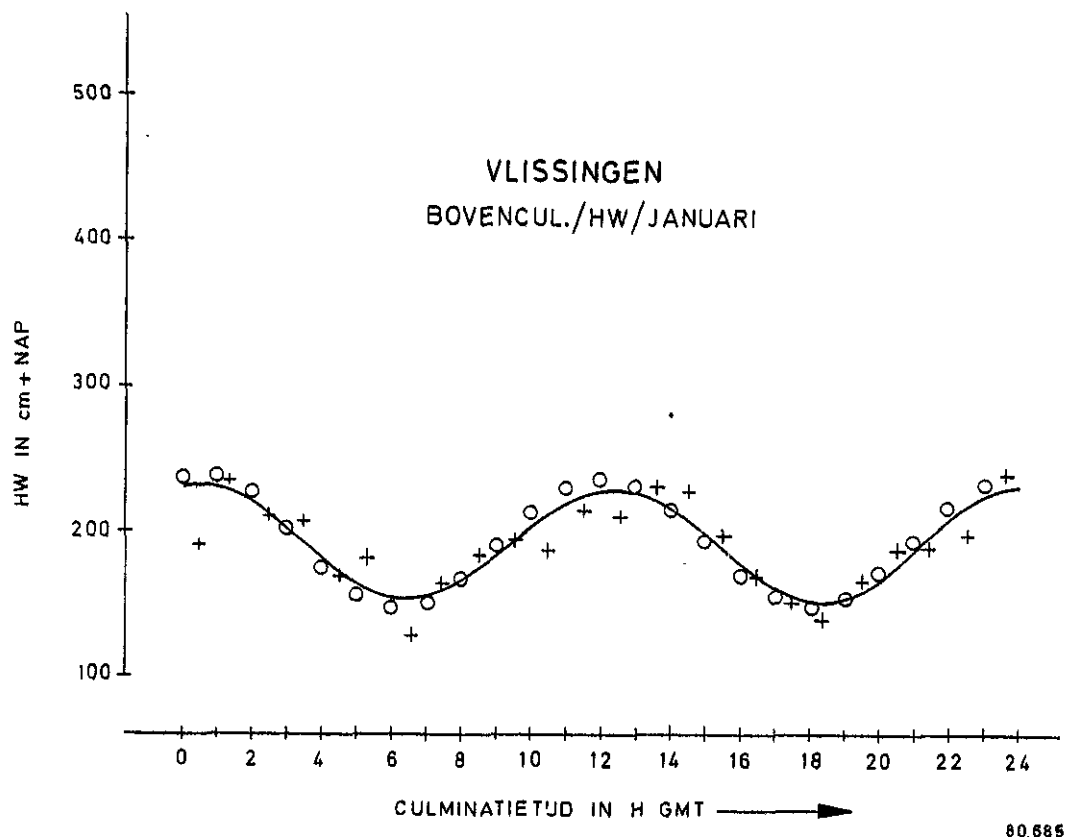


fig. 25 Verband hoogwaterstand te Vliссingen en boven-culminatie voor de maand januari met maandsamenhang

Om sterke afwijkingen aan de uiteinden van de berekende krommen te voorkomen zijn in de berekening zowel links als rechts enige punten toegevoegd. Voor fig. 23 en 25 zijn dit vijf punten, voor fig. 24 drie punten; de betrokken waarden zijn aan de desbetreffende grafiek ontleend. Al deze resultaten worden grafisch weergegeven, zodat achteraf visuele controle mogelijk is. Eventuele correcties kunnen met GETYAN 35 aangebracht worden. Uiteraard zijn er per geval 12 grafieken als fig. 23 en 24 grafieken als fig. 24. Men zou desgewenst van beide bundels tesamen een drie-dimensionale voorstelling kunnen geven: figuur 24 moet dan loodrecht op figuur 23 gedacht worden, enz.

Een voorbeeld hiervan biedt fig.14, par. 3.3.4. Van een ruimtelijke vereffening is echter afgezien vanwege het feit, dat het verband tussen de getij-grootheid (b.v. de hoogwaterstand) en de culminatie (fig. 23) van groter belang is dan het verband tussen die grootheid en de kalendermaand (fig. 24), hetgeen in de toegepaste methode wel maar bij een ruimtelijke vereffening niet of moeilijk verdisconteerd kan worden. Tenslotte wordt een zgn. "culminatie-voorspellingstabel" vervaardigd waarin per type culminatie en per kalendermaand voor 144 culminaties (tijdstep: 10 min) de volledig vereffende waarde der onderhavige getij-grootheid staat vermeld.

GETYAN 52*/55*/60*

De combinatie GETYAN 52*/55*/60* voor de aggerstations is vrijwel identiek met GETYAN 12/35. Voor een aggerstation komt het aantal tabellen, i.v.m. het aanwezig zijn van een extra laagwater, op $12 \times (4 + 2) \times 2 = 144$. Voor deze stations zijn de laagwatertabellen nog uitgebreid met een extra kolom waarin door middel van een code wordt aangegeven of het betreffende laagwater in de betrokken culminatieklasse markant is of niet. Markant wil in dit geval zeggen dat het betreffende laagwater zich bij meer dan 50% van de culminaties voordoet.

Indien slechts één laagwater optreedt wordt de tijdsduur tussen het tijdstip van hoogwater en het tijdstip van laagwater als maatstaf genomen om te bepalen of dit laagwater als een eerste laagwater (LW_1) dan wel een tweede (LW_2) beschouwd moet worden (wanneer dit tijdsverschil kleiner is dan een zekere uit een frequentieonderzoek bepaalde waarde dan wordt het laagwater als LW_1 beschouwd, anders als LW_2). Verder wordt in de voorspellingstabellen aangegeven of het aggerverschijnsel al dan niet markant is, wat in een culminatieklasse het geval is als de beide laagwaters tesamen bij meer dan 50% van het aantal culminaties in die klasse voorkomt. Is dit het geval dan impliceert dit dat er dan sprake is van een zich veelvuldig voordoen van het aggerverschijnsel.

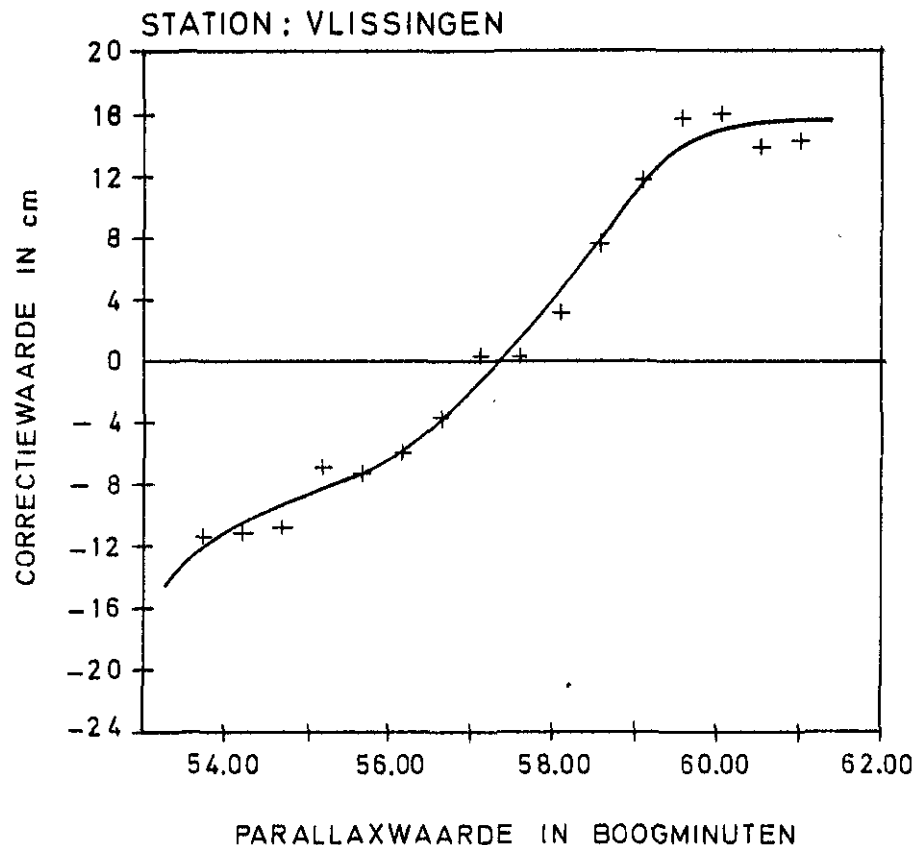
Met GETYAN 55* is het mogelijk voor het eerste en tweede laagwater de dan vaak ontbrekende parameterwaarden voor de bij doodtij behorende culminatieklassen met de hand aan te vullen, zodat een kromme als in fig. 23 weergegeven, kan worden bepaald. Vervolgens wordt met GETYAN 60* de verdere vereffening uitgevoerd (fig. 24 en 25).

GETYAN 20

Met dit programma worden de correcties berekend, die in rekening moeten worden gebracht ten gevolge van de excentriciteit van de maansbaan. Een maat voor deze excentriciteit is de parallaxwaarde. De gang van zaken is hierbij als volgt:

Met behulp van de in GETYAN 12 (resp. GETYAN 52*/60*) afgeleide "culminatie-voorspellingstabellen" en de astronomische gegevens over de analyseperiode wordt een "voorspelling" gemaakt van het getij over de gehele analyseperiode. Deze "terugvoorspelling" wordt vervolgens vergeleken met de opgetreden waarden, waarna per getijgrootheid de verschillen worden gesorteerd in 18 parallaxklassen, die lopen van 53' tot 62' (de klasbreedte is dus 30"). Voor elke klasse wordt het gemiddelde verschil berekend. Na vereffening (volgens een 4e-graadskromme) wordt voor iedere klasse de toe te passen correctie berekend; visuele controle is vervolgens mogelijk aan de hand van een grafische weergave (fig. 26).

De parallax-correcties kunnen bij de voorspelling nu op eenvoudige wijze worden ingevoerd aangezien voor ieder culminatietijdstip niet alleen de ongecorrigeerde getijwaarden maar ook de (vereffende) parallax-correcties bekend zijn. In de desbetreffende tabellen staan bij parallax-waarden, opklimmend met 30", de parallax-correcties opgegeven: voor de tijdstippen van hoog- en laagwater in minuten en voor de bijbehorende standen in cm.



80.686

fig. 26 Parallax-correcties voor de HW-stand te Vlissingen

GETYAN 30

Herhaling van de "getijvoorspelling achteraf" over de analyseperiode, nu onder gebruikmaking van de parallax-correcties, levert na vergelijking met de opgetreden getijden nog verschillen op, wat gezien de gevolgde procedure op zich niet verwonderlijk is. Deze verschillen zijn voor een deel gevolg van de invloed van de veranderlijkheid van de maansdeclinatie; in de culminatietabellen is deze invloed overigens voor een belangrijk deel al verwerkt (wat volgt uit het gestelde in par. 3.3.3 onder C) terwijl ook de parallax-correcties niet geheel vrij zijn van de invloed der maansdeclinatie. De zojuist genoemde restwaarden, gevonden bij de tweede "terugvoorspelling" worden nu in GETYAN 30 gekoppeld aan de bijbehorende declinatiewaarden van de maan. Deze waarden zijn hiervoor in 56 klassen ter breedte van één graad en lopend van -28° tot $+28^{\circ}$ gesorteerd¹⁾.

¹⁾ Voor de 5-jarige basis-analyseperiode zitten in de uiterste klassen slechts enkele waarden; deze omstandigheid komt in par. 6.4 nog nader ter sprake. Overigens lopen de uiterste klassen in beginsel van $\pm (27 \text{ tot } 28,5)^{\circ}$.

De gemiddelde restwaarde per klasse is vervolgens uitgezet en vereffend m.b.v. een 4e-gradskromme, waarna de correcties per declinatieklasse zijn vastgesteld. Fig. 27 geeft als voorbeeld van de grafische uitvoer de grafiek voor de hoogwaterstanden van het station Vlissingen voor de bovensculminatie.

Opmerking: Het verrichten van een derde "voorspelling achteraf" onder verwerking van ook de declinatiecorrecties zou wederom verschillen t.o.v. de opgetreden getijden opleveren. Deze verschillen zijn deels terug te brengen tot weerkundige invloeden, deels tot onnauwkeurigheid van de voorspellingsmethode.

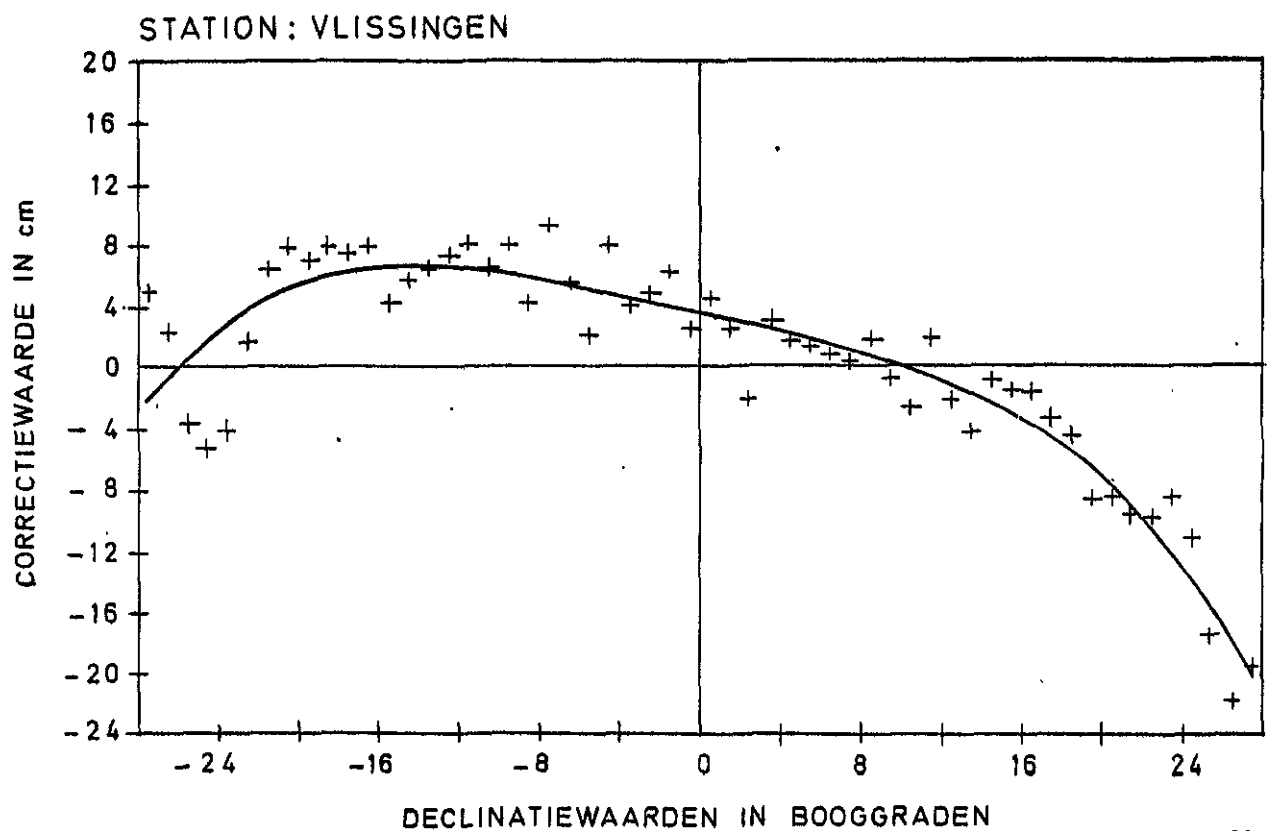


fig. 27 Declinatie-correcties voor de HW-stand te Vlissingen

GETYAN 38

De voorgaande programma's stellen in staat getijvoorspellingen te maken op basis van de maansculminaties met correcties voor de maansparallax en de maansdeclinaties. Ter controle worden de tot dusverre verkregen resultaten m.b.v. GETYAN 38 grafisch uitgezet.

GETYAN 37 c.q. GETYAN 67*

De in formules (12) en (13) genoemde kenmerkende grootheden, bepaald m.b.v. de programma's GETYAN 12/20/30 (resp. - voor de aggerlaagwaters - GETYAN 52*/60*/20/30), moeten worden opgeslagen in een speciaal bestand. Dit geschiedt met GETYAN 37 resp. GETYAN 67*. De desbetreffende bestanden (de voorspellingstabellen) vormen de invoer voor het zgn. GTYTAF-bestand en vormen de basis van de in dit pakket te verrichten bewerkingen (par. 5.4). Uit het voorgaande volgt dat er per station een "bundel" tabellen aanwezig is, bestaande uit 96 resp. 144 culminatie-voorspellingstabellen, een parallax-correcties-tabel en een declinatie-correcties-tabel.

De hiervoor beschreven procedure kan niet zonder meer voor alle stations worden gevolgd; bovendien bestond er behoefte aan een aantal aanvullende bewerkingen en gegevens, die in het kader van het GETYAN-pakket verricht en verkregen konden worden. Het betreft hier achtereenvolgens GETYAN 34 en de beide programma's GETYAN 40 en 75*.

GETYAN 34

Van een aantal stations staan in het bestand DTBEST alleen de gegevens van een andere periode dan de basisanalyseperiode 1971...1975. Met behulp van dit aparte programmadeel, dat niet in het schema van fig. 21 en 22 is opgenomen, kunnen voor een dergelijk station toch getijvoorspellingen worden gemaakt, die teruggaan op de basis-analyseperiode.

Dit geschiedt als volgt:

- Van het betreffende station worden m.b.v. de beschikbare waarden de zgn. culminatie-voorspellingstabellen berekend m.b.v. GETYAN 12 resp. GETYAN 52*/60*.
- Over eenzelfde periode worden nu van een nabijgelegen station, waarvoor wel de gegevens van de basisanalyseperiode van de getijtafels ter beschikking staat, eveneens de culminatie-voorspellingstabellen berekend.

- De overeenkomende getij-parameterwaarden (tijden en standen van hoog- en laagwater) per maand en per type culminatie worden nu aan elkaar gecorreleerd volgens een lineaire regressielijn.
- Met behulp van de getijparameterwaarden van de culminatievoorspellingstabellen over de basisanalyseperiode van het "hulpstation" en de zojuist genoemde correlatie-betrekking worden vervolgens nieuwe culminatie-voorspellingstabellen bepaald voor het betreffende station.

Tenslotte worden voor dit station d.m.v. de daarvoor ontwikkelde programma's maar dan voor de beschikbare periode de parallax- en declinatie-correcties ingevoerd.

GETYAN 40

Met dit programma kan over een vrij te kiezen periode van maximaal 10 aaneensluitende jaren een getijvoorspelling worden berekend, die getoetst kan worden aan de getijwaarnemingen uit die periode. Het is bij dit programma mogelijk verschillende voorspellingen te maken, te weten met alleen de culminatie-voorspellingstabellen, dan wel met daarbij ook parallax- en/of declinatie-correcties. De afzonderlijke invloed van deze correcties op de voorspellingen kan hierdoor worden nagegaan.

5.4 De getijvoorspelling (GTYTAF)

5.4.1 Stroomschema

In fig. 28 staat schematisch aangegeven hoe het in par. 5.1 genoemde programmapakket GTYTAF is opgebouwd.

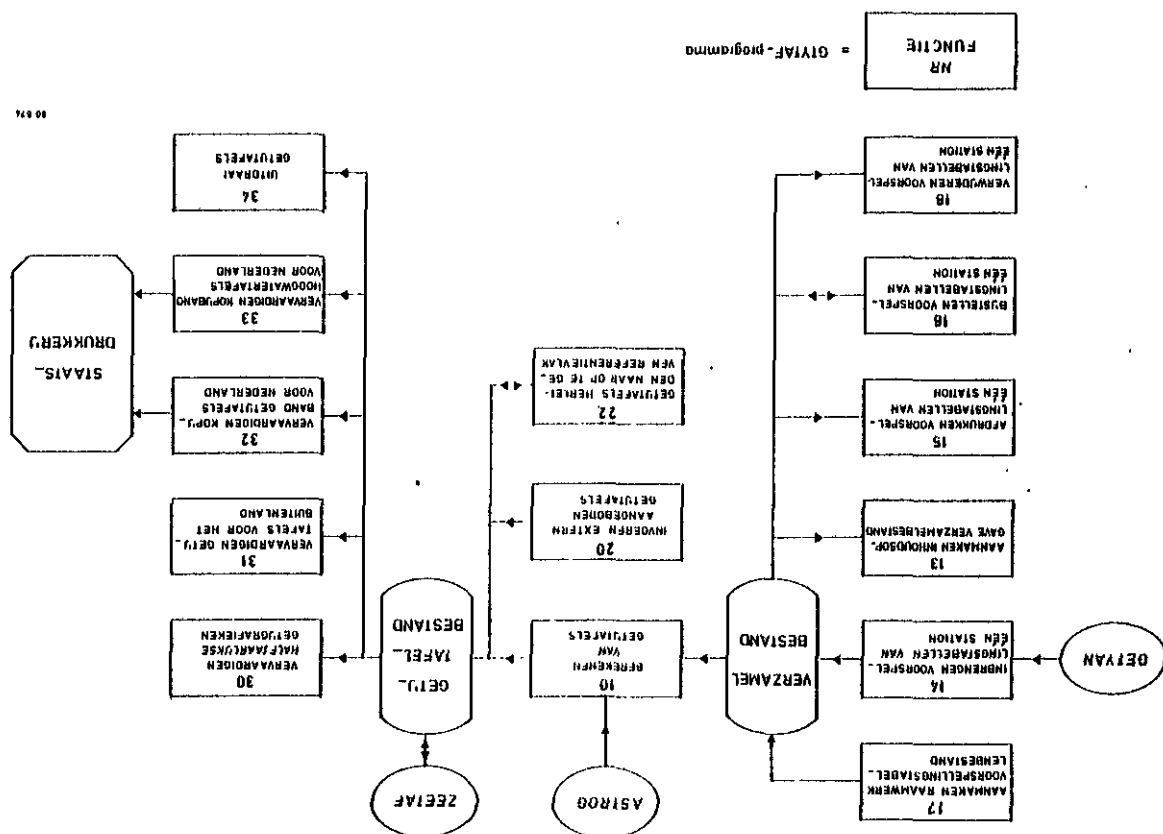
Centraal bij dit pakket is de aanmaak van een verzamelbestand met alle gegevens uit de voorspellingstabellen geleverd door GETYAN, het berekenen van de getijtafels hieruit en het opslaan van de uitkomsten in een getijtafelbestand, dat alle voorspelde getijtafels bevat. Vanuit dit getijtafelbestand wordt o.a. een magneetband gemaakt voor de Staatsdrukkerij, die het drukken van de "Getijtafels voor Nederland" verzorgt.

5.4.2

Beschrijving deelsystemen

De GYTAF-programma's kan men in een viertal groepen verdelen. De afzonderlijke programma's worden per groep nader toegelicht, wat voor een goed begrip van de gang van zaken geschiedt aan de hand van het stroomschema.

fig. 28 Stroomschema GYTAF-programmatuur



a. Invoeren en wijzigen voorspellingstabellen

GTYTAF 14 en 17: GTYTAF 14 dient om de via GETYAN 37/67* aangeboden voorspellingstabellen station voor station in te voeren in het verzamelbestand; dit dient te geschieden via een aan te maken "raamwerk" (GTYTAF 17), waarbinnen deze tabellen op een verzamelsestand worden opgeslagen. Voor dit verzamelbestand zijn de volgende "administratieve" programma's opgesteld:

GTYTAF 13: voor het aanmaken van een inhoudsopgave van het verzamelbestand.

GTYTAF 15: voor het afdrukken van de voorspellingstabel van een willekeurig station.

GTYTAF 16: voor het bijstellen of vervangen van de voorspellingstabellen van een station (b.v. het invoeren van een hoogtecorrectie).

GTYTAF 18: voor het verwijderen van de voorspellingstabellen van een bepaald station. Dit is b.v. nodig indien voor dit station de bestaande tabellen verouderd zijn en nieuwe tabellen ingebracht moeten worden.

b. De voorspelling

Dit programma-onderdeel bestaat alleen uit GTYTAF 10, het "hart" van het gehele GTYTAF-pakket. Met behulp van de benodigde astronomische gegevens voor het jaar, waarvoor de voorspelling moet worden verricht (te leveren door het ASTROG-pakket) en van de voorspellingstabellen op het verzamelbestand worden de getijtafels door GTYTAF 10 berekend en "bijgeschreven" op het getijtafelbestand. Ten overvloede zij hier vermeld dat de voorspelling plaatsvindt volgens de formules (12) en (13).

c. Invoeren van extern berekende getijtafels

In de beide jaarlijkse Nederlandse uitgaven van getijtafels (de "Getijtafels voor Nederland" en de "Getijtafels voor zeehavens in Nederland en België") worden ook tafels voor enkele Belgische stations opgenomen. Deze tafels worden aangeboden door de desbetreffende Belgische instanties en zijn daarbij voor wat de hoogten betreft betrokken op het Belgische referentievlak. Zij worden door middel van het volgende drietal programma's opgenomen in het getijbestand:

GTYTAF 20: dit voegt een volledige extern berekende getijtafel toe aan het getijtafelbestand.

GTYTAF 22: met dit programma kunnen de opgegeven hoogten gewijzigd worden in hoogten t.o.v. een ander referentievlak. Dit programma dient niet alleen om de Belgische tafels te relateren aan het N.A.P., maar evenzo om de Nederlandse tafels op te geven in hoogten t.o.v. het L.L.W.S.

Opmerking: nadat de Belgische tafels m.b.v. de zojuist genoemde programma's zijn ingevoerd en bewerkt worden zij ook grafisch gecontroleerd; dit geschiedt echter met het programma ZEETAF 20 (par. 5.5.2). Indien correcties nodig zijn worden zij afzonderlijk in GTYTAF ingebracht.

d. Presentatie Getijtafels

- GTYTAF 30 Het verzorgen van grafische uitvoer in de vorm van de zgn. halfjaarlijkse getijgrafieken. Deze geven een zeer duidelijk beeld van het verloop van de astronomische hoog- en laagwaterstanden in dat halfjaar alsmede numerieke informatie over de tijdstippen (fig. 29).
- GTYTAF 31 Het vervaardigen van afdrucken van getijtafels met als referentievlak L.L.W.S. i.p.v. N.A.P., bestemd voor buitenlandse getijtafelpublicaties.
- GTYTAF 32 Het vervaardigen van een magneetband, die de Staatsdrukkerij gebruikt om automatisch de getijtafels te kunnen zetten.
- GTYTAF 33 Het vervaardigen van een magneetband, die de Staatsdrukkerij gebruikt om automatisch de hoogwatertafels te kunnen zetten. Dit betreft de stations Antwerpen, Breskens, Kornwerderzand, Lauwersoog en Oude Schild.
- GTYTAF 34 Het maken van afdrucken van de getijtafels om ter beschikking te kunnen stellen aan belanghebbenden. Dit programma stelt tevens in staat voor een aggerstation, b.v. Hoek van Holland, een afzonderlijke laagwatertafel af te drukken waarin behalve de tijden en de hoogten van het eerste laagwater desgewenst ook die van het tweede laagwater worden gegeven. Met behulp hiervan kan een nauwkeuriger voorspelling plaatsvinden van het gehele verticale astronomische getij (i.c. te Hoek van Holland), wat o.a. van belang is voor de Stormvloedwaarschuingsdienst (lit.12).

Opmerking: Behalve de in de "Getijtafels voor Nederland" gepubliceerde getijtafels en hoogwatertafels worden voor enkele andere stations eveneens getijtafels berekend.

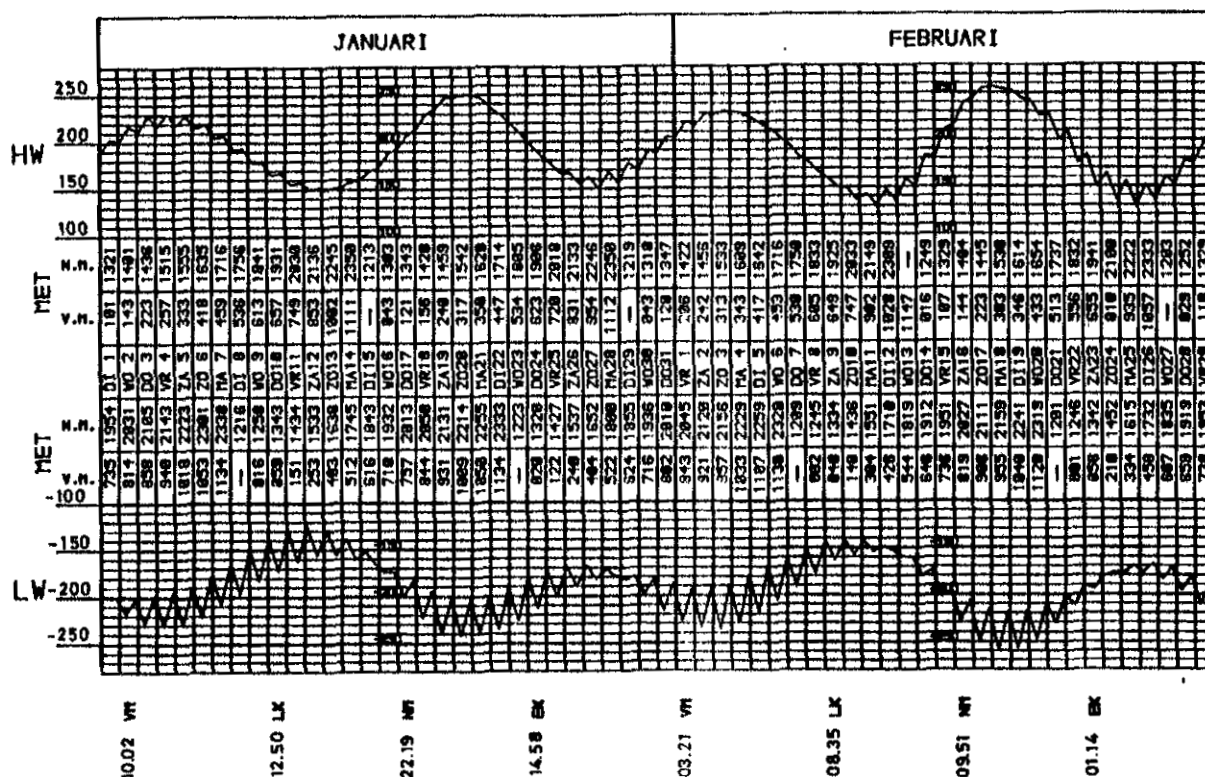
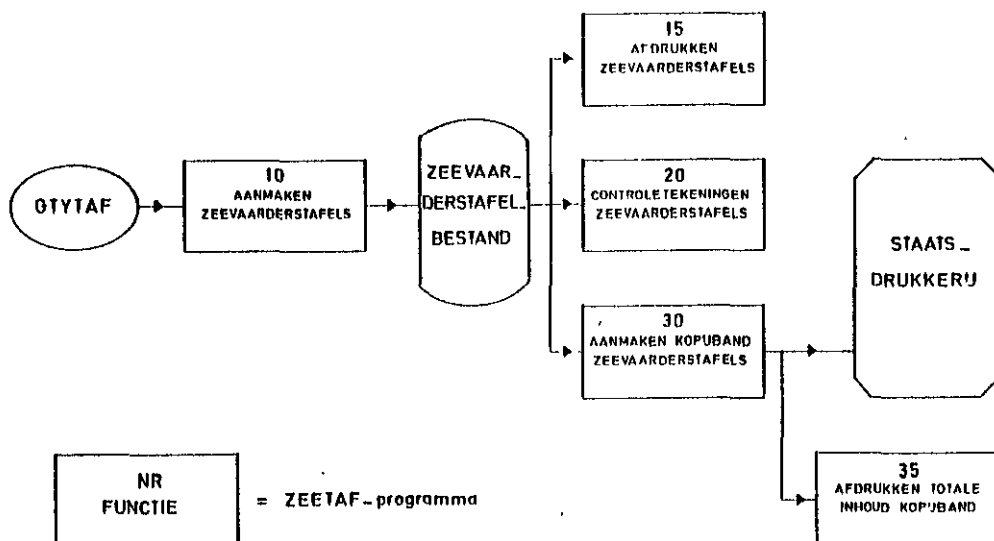


fig. 29 Deel halfjaarlijkse getijgrafiek voor
1980 Vliissingen

5.5 De berekening van de zeevaarderstafels (ZEETAF)

5.5.1 Stroomschema

De met het GTYTAF-pakket berekende getijtafels worden in het zgn. ZEETAF-pakket verder verwerkt en samenge-steld tot de "Getijtafels voor de zeehavens in Neder-land en voor Antwerpen (Prosperpolder) en Zeebrugge". De standen van de tafels voor de gevraagde zeehavens worden daarvoor herleid tot het reductievlak van de zeekaarten (L.L.W.S. resp. O.L.W.) en afgerond op dm. In figuur 30 staat aangegeven welke programma's er in het ZEETAF-pakket zijn opgenomen.



80 677

fig. 30 Stroomschema ZEETAF-programmatuur

5.5.2 Beschrijving deelsystemen

In deze paragraaf wordt een korte functiebeschrijving gegeven van de verschillende deelsystemen.

- ZEETAF 10 Het omvormen van een getijtafel uit het getijtafelbestand naar een zeevaarderstafel; daarbij wordt het reductievlak herleid tot L.L.W.S. of O.L.W.
- ZEETAF 15 Het verzorgen van een afdruk van een zeevaarderstafel.
- ZEETAF 20 Het maken van controletekeningen. Hierop worden de verschillen tussen opeenvolgende tijdstippen resp. standen van hoog- en laagwater ,gesplitst naar boven- en benedenculminatie, tegen de tijd uitgezet. Dit programmadeel wordt veelal gebruikt om fouten op te sporen en voor de controle van de door het Ministerie van Openbare Werken van België ter beschikking gestelde getijtafels van Antwerpen, Antwerpen (Prosperpolder) en Zeebrugge, die met de hand moeten worden ingevoerd.
- ZEETAF 30 Het aanmaken van een magneetband met de zeevaarderstafels, die bij de Staatsdrukkerij wordt gebruikt om de "Getijtafels voor de zeehavens" te kunnen zetten.

ZEETAF 35 Het maken van een afdruk van de kopijband
voor de Staatsdrukkerij.

5.6 Waardebepaling van de nieuwe computerprogrammatuur

De getijvoorspellingen vanaf die voor 1980 zijn geheel met de nieuwe programmapakketten uitgevoerd; hierbij is ervaring opgedaan met de nieuwe programmatuur. Vergelijking van de nieuwe methode met de oude is daarom nu mogelijk (lit.14).

Het ASTROG pakket blijkt zeer handzaam; de inspanning voor het verkrijgen van de benodigde astronomische gegevens is praktisch tot nul gereduceerd. Het grote voordeel is echter toch wel de onafhankelijkheid van andere instanties voor deze vitale gegevens.

Het nieuwe GTYTAF-pakket blijkt goed te voldoen. Tijdens de productie zijn weinig fouten geconstateerd. Een enorme besparing aan inspanning is hierbij weliswaar niet bereikt, maar dat was ook niet te verwachten daar ook de oude voorspelling geautomatiseerd was.

De doelstellingen bij de bouw waren bedrijfszekere programmatuur en eenvoudiger gebruik, welke doelstellingen inderdaad bereikt zijn.

Met het GETVAN-pakket is voor het eerst voor alle betrokken Nederlandse getijstations een aparte analyse gemaakt, een met de hand ondoenlijke zaak. Het bezitten van een standaard-methode, waarmee ieder willekeurig station te analyseren is, vormt een zeer groot voordeel van dit pakket.

Het nieuwe ZEETAF-pakket is eenvoudig te gebruiken. Van een besparing op de productiekosten is hierbij in het geheel geen sprake omdat de oude methode wat productie betreft gelijk is aan de nieuwe. Wel is de nieuwe programmatuur overzichtelijker en beter gedocumenteerd.

In vergelijking met de vroegere handmethode, waarbij maar vijf stations werden geanalyseerd en voor de andere stations verschilstaten werden gemaakt, blijkt met de geautomatiseerde methode een grote besparing op de benodigde inspanning te zijn verwezenlijkt: gesteld dat éénmaal in de 5 jaar een analyse gemaakt wordt dan is voor de berekening van een volledige reeks getijtafels bij de huidige methode gem. 0,3 manjaar per jaar benodigd in tegenstelling tot gem. 1,7 manjaar per jaar bij toepassing van de oude methode. Daarbij komt nog dat in het laatstgenoemde geval voornamelijk geestdodend werk moest worden verricht en een geregelde herhaling van de analyse in de praktijk niet mogelijk was. De totale

kosten per jaar zijn verlaagd van f 240 000,-- naar f 63 000,--. De bouw van het totale pakket (ASTROG, GETYAN, GTYTAF en ZEETAF) heeft 6 manjaar gekost (in geld uitgedrukt bedroeg het totaal f 1 126 000,--) zodat gesteld mag worden dat de kosten er na ongeveer 7 jaar uit zijn.

De "methode 1980" ter berekening van de getijtafels heeft niet alleen tot een besparing geleid maar tevens tot een verbetering van de resultaten. Zo is voor het eerst sinds Ortt een nieuwe analyse gepleegd. De door hem bepaalde tabellen zijn vroeger wel aangepast doch nooit opnieuw berekend. Verder biedt de nieuwe programmatuur grotere mogelijkheden, zijn de toegepaste reken technieken beter toegankelijk en is het totale programma gemakkelijker in het gebruik.

6 DE VOORSPELLINGSWAARDE VAN DE GETIJTAFELS

6.1 Algemeen

Het waarnemingsmateriaal betreffende het verticale getij, gebruikt bij de getij-analyse, is het product van astronomische krachten en weerkundige omstandigheden. Deze laatste worden uiteraard weer in belangrijke mate door de zon teweegebracht, maar passen bepaald niet zonder meer in het astronomische krachtenspel, dat bij de getij-analyse in beschouwing wordt genomen. Ook al zijn de door meteorologische omstandigheden sterk gestoorde getijgegevens uit het waarnemingsmateriaal verwijderd (par. 5.3.2, onder GETYAN 12/35) toch vertoont het verwerkte getijmateriaal nog een zekere "ruis" door weerkundige invloeden. Deze ruis zal enige invloed hebben op het product, de getijtafels - het in het betrokken jaar optredende getij zal de weersinvloeden zeker anders en zeker sterker ondergaan. Dit werpt de vraag op welke voorspellingswaarde de getijtafels in feite hebben.

In het navolgende wordt nu ingegaan op deze voorspellingswaarde van de getijtafels, zowel die berekend met de tot aan 1980 gebruikte methode ("oude werkwijze") als die samengesteld volgens de "werkwijze 1980". Dit is gedaan voor de jaren 1976 en 1977, waarvoor de tafels met de opgetreden standen konden worden vergeleken. Voor 1980 zijn voorts beide werkwijzen toegepast en onderling vergeleken. Als vergelijkingsmaatstaven dienden daarbij:

- het gemiddelde verschil ($\bar{\Delta}$) tussen waarneming en voorspelling;
- het gemiddelde verschil ($\bar{\Delta}$) tussen de voorspelling volgens de "oude werkwijze" en de "werkwijze 1980";
- de standaardafwijking (S) van elk van deze verschillen.

In par. 6.4...6.6 is tenslotte nog aandacht besteed aan:

- de invloed van de lengte der analyseperiode op de voorspellingswaarde, waartoe voor drie stations ook een getij-analyse over 10 jaar (1968...1977) is gemaakt;
- de invloed van de gekozen analyseperiode 1971...1975 op de voorspellingswaarde en
- de invloed der schommelingen in het gemiddelde zeeniveau.

Opmerkingen

- a. De standaardafwijking S is een grootte uit de statistiek; voor elk der onderhavige verschillen kan in het algemeen worden aangenomen dat 67% van zijn waarden valt binnen het interval ($\bar{\Delta} \pm S$) en 95% binnen het interval ($\bar{\Delta} \pm 2S$).

- b. In par. 3.3.3 is reeds vermeld dat de waarnemingen uit de periode 1971...1975 ten grondslag liggen aan de "werkwijze 1980". Bij de "oude werkwijze" zijn de daarvoor samengestelde tabellen door correcties betrokken op latere situaties, waaronder die der zeventiger jaren. Voor beide methoden is bij de samenstelling der tabellen op dezelfde wijze gezorgd voor eliminatie van die getijden, welke onder invloed van meteorologische invloeden sterk afwijken van de desbetreffende astronomische getijden.
- c. Bij het ingestelde onderzoek is nog onderscheid gemaakt tussen springtijden, gemiddelde tijden en doodtijden. De op deze wijze gevonden afwijkingen in de verschillen resp. standaardafwijkingen bleken zo onsystematisch te zijn dat het onderscheiden van de hierna volgende berekeningsuitkomsten naar type getij geen zin heeft.

6.2 De voorspellingswaarde van de getijtafels

6.2.1 Vergelijking "oude werkwijze" en "werkwijze 1980".

Voor 1976 en 1977 is de voorspellingswaarde van de getijtafels onderzocht voor 7 resp. 4 stations. Bij deze toetsing zijn zowel de tafels betrokken, berekend met de "oude werkwijze" als die berekend met de "werkwijze 1980". De beide jaren 1976 en 1977 zijn gekozen omdat de benodigde gegevens voor deze jaren in computerbestanden waren opgeslagen.

De voorspellingswaarde der getijtafels is nu uitgedrukt in:

- het gemiddelde verschil tussen waarneming en voorspelling, $(W-V)$;
- de standaardafwijking van $(W-V)$ t.o.v. $(W-V)$.

In tabel D staan de resultaten weergegeven. Hierbij moet worden opgemerkt dat in deze vergelijking alle waarnemingen betrokken zijn, d.w.z. dat zij niet zijn geselecteerd met het oog op meteorologische invloeden, dit o.a. vanwege de moeilijkheden verbonden aan de vaststelling van eenduidige selectiecriteria. Wel dient daarbij het volgende te worden opgemerkt:

Met name stormvloeden kunnen het getij zeer sterk beïnvloeden: afwijkingen van meer dan 1,5 meter ten opzichte van het astronomisch hoog- en/of laagwater zijn daarbij geen uitzondering terwijl ook de tijdstippen van hoog- en laagwater aanmerkelijk kunnen verschuiven. Hierdoor worden de standaardafwijkingen van de verschillen duidelijk beïnvloed. Overigens waren de jaren 1976 en 1977 niet opvallend rijk aan stormvloeden, al traden in beide jaren wel enkele flinke stormvloeden op.

Daarnaast kan ook van belang zijn het algemene weerbeeld omdat dit de gemiddelde zeestand beïnvloedt. Zo was over 1976 (onder invloed van de hete zomer) de gemiddelde zeestand aan de meeste getijstations aan de

lage kant (par.6.6); in 1977 was dit niet het geval. Dit verschil tussen beide jaren komt (voor de 4 betrokken stations) in tabel D ook tot uitdrukking in de waarden van \bar{h} .

Tabel D. Voorspellingswaarde getijtafels 1976 en 1977, berekend volgens "oude werkwijze" en "werkwijze 1980".

Jaar	Station	Werkwijze	Hoogwater				Laagwater			
			$\bar{\Delta}t$ min	$S_{\Delta t}$ min	$\bar{\Delta}h$ cm	$S_{\Delta h}$ cm	$\bar{\Delta}t$ min	$S_{\Delta t}$ min	$\bar{\Delta}h$ cm	$S_{\Delta h}$ cm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1976	Vlissingen	"oud"	-1	9	7	22	1	12	-8	25
		"1980"	1	10	0	22	2	12	0	26
	Hoek van Holland	"oud"	-4	14	0	23	-17	41	1	24
		"1980"	-1	15	-1	23	3	18	-1	22
	Dordrecht	"oud"	-70	30	-6	23	-59	37	-11	21
		"1980"	3	30	-8	19	3	34	-4	19
	IJmuiden	"oud"	-7	16	-2	25	1	28	-9	27
		"1980"	-2	18	-2	24	7	27	-2	25
	Den Helder	"oud"	1	42	-1	28	-1	19	-5	28
		"1980"	-1	42	-1	26	2	19	-1	26
	W.Terschelling	"oud"	-7	16	-2	30	-1	12	-10	32
		"1980"	1	14	-2	28	4	13	-2	30
1977	Vlissingen	"oud"	-3	10	12	22	0	12	-4	26
		"1980"	-1	10	4	23	1	12	6	26
	Hoek van Holland	"oud"	-6	14	4	24	-14	45	11	24
		"1980"	-4	14	5	23	0	18	9	23
	IJmuiden	"oud"	-11	15	4	25	-3	25	-2	27
		"1980"	-5	15	4	24	3	26	5	27
	W.Terschelling	"oud"	-10	17	4	29	-5	13	-3	31
		"1980"	-1	16	5	29	-1	14	5	32

Toelichting

+ : de getijtafelwaarde is eerder c.q. lager dan waarneming;

- : de getijtafelwaarde is later c.q. hoger dan waarneming;

$\bar{\Delta}t$; $\bar{\Delta}h$: gemiddelde tijdsverschil resp. hoogteverschil tussen waarneming (W) en voorspelling (V) in tijd resp. hoogte = $(W-V)$;

$S_{\Delta t}$; $S_{\Delta h}$: standaardafwijking van (W-V) voor tijd resp. hoogte.

Opmerkingen:

- Voor Hoek van Holland is bij de "oude werkwijze" het tweede laagwater en bij de "werkwijze 1980" het eerste laagwater in beschouwing genomen (zie opm. a in par. 6.3.1).
- De hoge waarden voor Dordrecht hangen samen met de wijze van definitie van hoog- en laagwater (zie opm. b in par. 6.3.1).
- De invloed van de hete zomer in 1976 op de gemiddelde zeestand voor dat jaar kan op een verlaging van in orde van grootte 2 à 3 cm worden gesteld, gevolg van o.a. rustig weer (weinig opwaaiing, eerder afwaaiing), overheersende hoge luchtdruk en relatief grote verdamping. De veranderlijkheid van de gemiddelde zeestand komt in par. 6.6 nog verder ter sprake.

Gevolgtrekkingen:

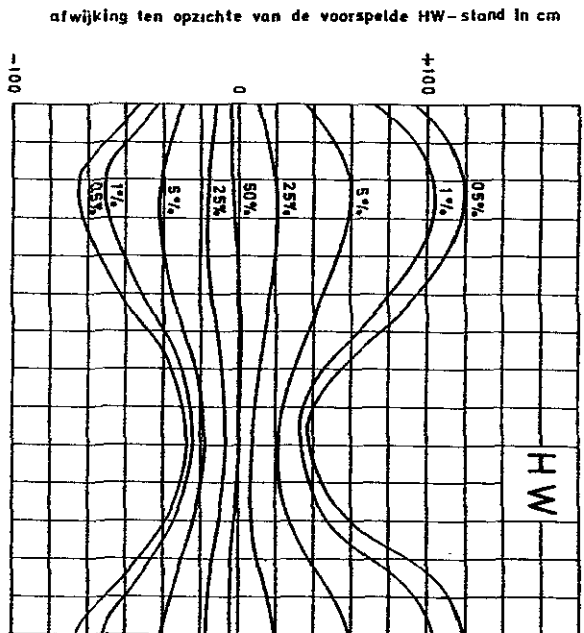
- De gemiddelde verschillen tussen waarneming en voorspelling zijn (ook als men afziet van die van Dordrecht) in het algemeen kleiner geworden, zeker voor de tijdstippen. Dit duidt op een verbetering van de voorspellingsmethode.
- De standaardafwijkingen van de verschillen liggen voor beide gebruikte methoden in dezelfde orde van grootte, zij het met een lichte tendentie van verbetering. (Overigens is wat dit betreft voor de tijdstippen van laagwater van Hoek van Holland duidelijk sprake van een aanmerkelijke verbetering). De vrij grote waarden van deze standaardafwijkingen wijzen er op dat de verstoring van de astronomische getijbeweging door meteorologische invloeden relatief belangrijk is.

6.2.2 De voorspellingswaarde van de getijtafels volgens "werkwijze 1980" in samenhang met de tijd van het jaar.

De getijtafels vermelden de hoog- en laagwaterstanden, die zonder weerkundige verstoring te verwachten zijn. Door optredende verstoringen zijn evenwel aanzienlijke afwijkingen mogelijk zoals reeds opgemerkt in par. 6.2.1. In de figuren 31...34 zijn voor de stations Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder en Delfzijl kansverdelingen opgenomen van W-V, de afwijking t.o.v. de in de getijtafel opgegeven waarden als functie van de tijd van het jaar.¹⁾

¹⁾ Deze kansverdelingen zijn ook afgedrukt in de "Getijtafels voor de Zeehavens in Nederland en België" voor 1980 e.v.

VLISSINGEN



HOEK VAN HOLLAND

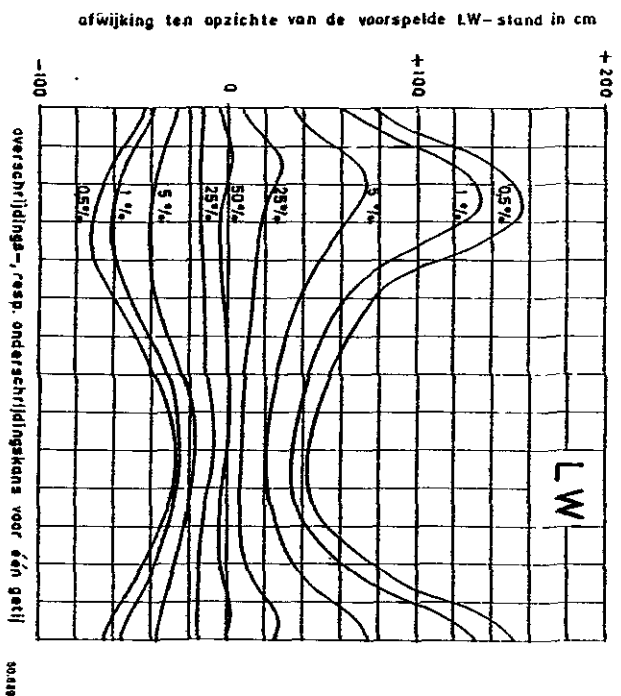
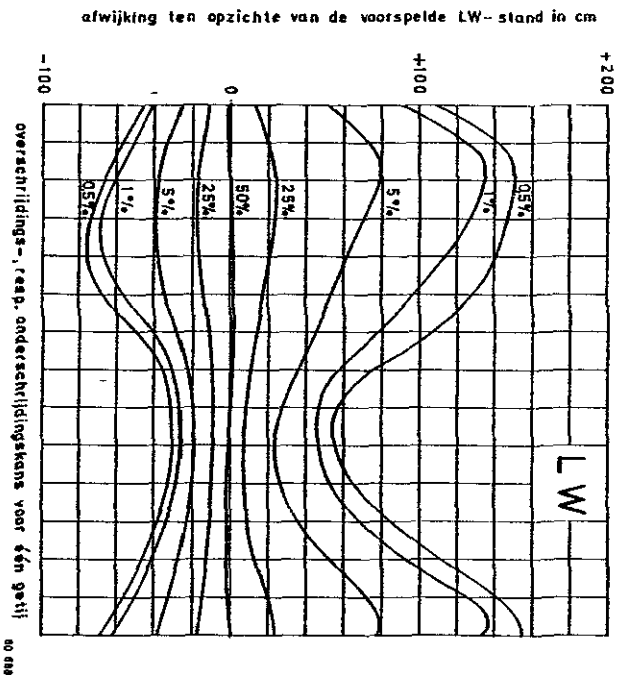
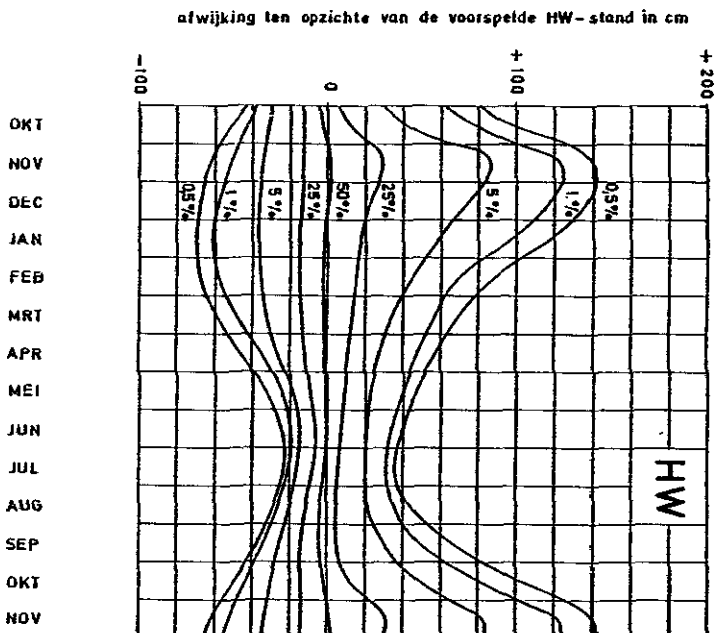
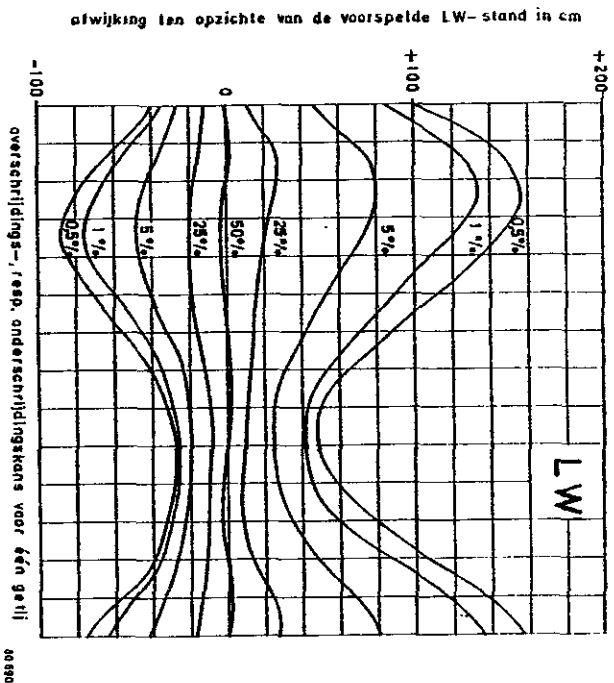
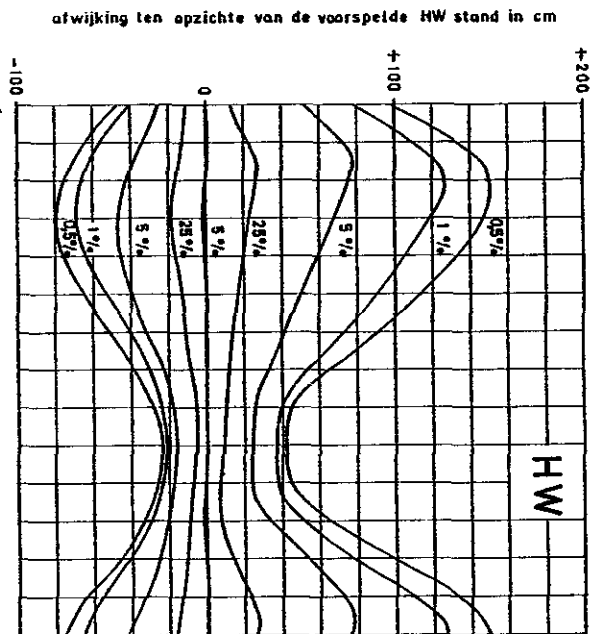


fig. 31

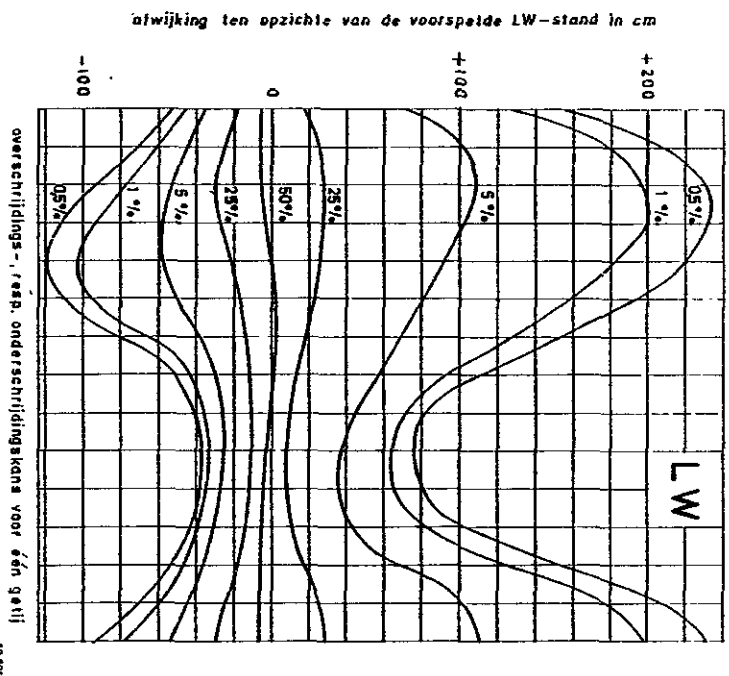
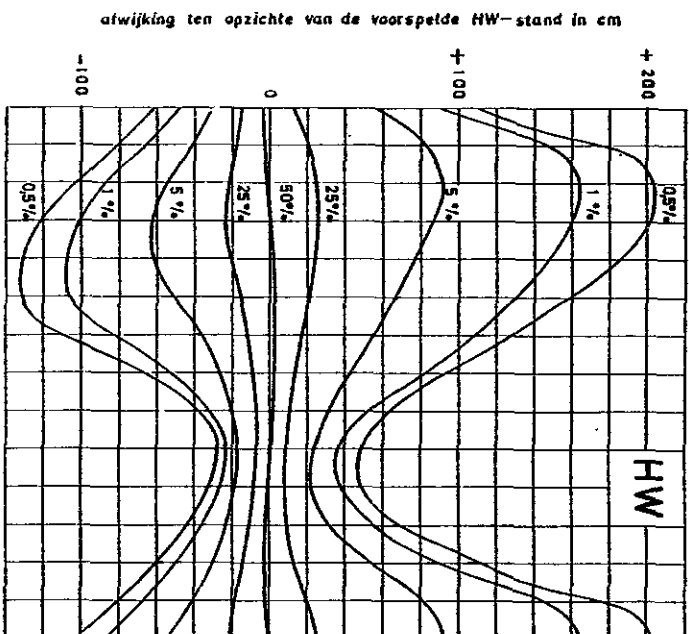
fig. 32

Fig. 31, 32, 33 en 34 Kansgrafieken voor hoog- en laagwaterstanden te Vlissingen, Hoek van Holland, Den Helder en Delfzijl

DEN HELDER



OELFZUL



6.2.3 De voorspellingswaarde van de getijtafels voor wat betreft de onderlinge samenhang der stations.

In het kader van dit onderzoek is de onderlinge samenhang tussen de opgetreden en de voorspelde hoog- resp. laagwaters beschouwd voor de stations Terneuzen en Hansweert en voor de stations Harlingen en Terschelling; e.e.a. verschaftte voldoende informatie om enige conclusies te kunnen trekken. De stations Hansweert en Terneuzen zijn gekozen, omdat ze, beide gelegen aan de Westerschelde, een grote samenhang vertonen, zodat afwijkingen hiervan gemakkelijk vallen te constateren; de stations Harlingen en Terschelling, beide gelegen in het Waddengebied, zijn gekozen om de samenhang van stations in een ander getijregiem en op wat grotere afstand van elkaar te toetsen.

Het onderzoek is beperkt tot een periode in de zomer (de maanden mei en juni) om de storm- en windvloeden zoveel mogelijk te minimaliseren. In tabel E staan de uitkomsten van dit onderzoek weergegeven.

Gevolgtrekkingen:

De gemiddelde tijds- en waterstandsverschillen tussen de voorspellingen en de waarnemingen (kolommen (7) en (9)) geven voor wat betreft de samenhang der hoogwatertijdstippen voor Hansweert-Terneuzen en die der laagwatertijdstippen voor Harlingen-Terschelling bij de "werkwijze 1980" een significante verbetering te zien t.o.v. die bij de "oude werkwijze". Voor de andere tijdstippen is er sprake van een lichte achteruitgang terwijl voor de standen de uitkomsten in het algemeen gelijkwaardig zijn. Voor de standaardafwijkingen (kolommen (8) en (10)) geeft de "werkwijze 1980" 4 maal een lichte verbetering en 4 maal een lichte verslechtering te zien, zodat deze over het geheel genomen gelijk gebleven zijn.

Resumerend mag gesteld worden dat de samenhang der tijden in enkele gevallen verbeterd is en de samenhang der waterstanden gelijk gebleven is.

In aanmerking genomen dat bij de nieuwe getijtafelberekening ieder station "hoofdstation" is en dus geheel apart berekend wordt (dit in tegenstelling tot de "oude" werkwijze waarbij de "neven"stations zoals b.v. Hansweert en Terneuzen bepaald werden uit hun samenhang met een hoofdstation - Vlissingen in het onderhavige geval - zodat men een zeer goede samenhang zou verwachten) zijn bovenvermelde resultaten zeker goed te noemen.

Tabel E: Waargenomen en voorspelde tijds- en waterstandsverschillen tussen Hansweert en Terneuzen en tussen Harlingen en Terschelling over de maanden mei en juni 1979.

Stations	maand in 1979	parameter	\bar{W}	\bar{V}_O	\bar{V}_n	$W - V_O$		$W - V_n$	
						gem.	S	gem.	S
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Hansweert Terneuzen	mei	T_{HW} in min	42	35	41	7	7	1	7
		HW in cm	12	13	12	-1	3	0	3
		T_{LW} in min	26	30	22	-4	6	4	8
		LW in cm	-18	-16	-19	-2	3	1	2
	juni	T_{HW} in min	46	34	39	12	7	7	7
		HW in cm	13	14	12	-1	3	1	3
		T_{LW} in min	27	29	21	-2	7	6	8
		LW in cm	-16	-15	-19	-1	3	3	2
Harlingen Terschelling	mei	T_{HW} in min	18	25	24	-7	20	-6	18
		HW in cm	8	8	13	0	6	-5	6
		T_{LW} in min	107	97	111	10	11	-4	12
		LW in cm	8	3	13	5	5	-5	5
	juni	T_{HW} in min	24	24	21	0	17	3	18
		HW in cm	11	8	13	3	5	-2	5
		T_{LW} in min	109	96	109	13	15	0	13
		LW in cm	10	3	12	7	8	-2	8

Toelichting

- \bar{W} = gemiddelde van de waargenomen tijds- c.q. waterstandsverschillen.
 \bar{V}_O = gemiddelde van de voorspelde tijds- c.q. waterstandsverschillen volgens de "oude werkwijze".
 \bar{V}_n = gemiddelde van de voorspelde tijds- c.q. waterstandsverschillen volgens de "werkwijze 1980".
 T_{HW} = tijdsverschil tussen het hoogwatertijdstip te Hansweert en Terneuzen.
HW = verschil tussen hoogwater stand te Hansweert en Terneuzen.
 T_{LW} = tijdsverschil tussen het laagwatertijdstip te Hansweert en Terneuzen.
LW = Verschil tussen laagwater stand te Hansweert en Terneuzen.

6.3 Vergelijking "Getijtafels 1980" met waarden voor 1980 berekend volgens "oude werkwijze"

6.3.1 Vergelijking voor het gehele jaar

Zoals reeds vermeld is de vernieuwde berekeningsmethode toegepast met ingang van de getijtafels voor 1980. Voor dit jaar zijn bovendien de getijtafels van vrijwel alle betrokken stations nog berekend volgens de "oude werkwijze". Hierdoor is voor dit eerste jaar een rechtstreekse vergelijking tussen beide methoden voor 15 stations mogelijk.

In tabel F staan voor deze stations de verschillen tussen de nieuwe versus oude berekeningsmethode numeriek weergegeven; van de 8 met een * aangegeven stations zijn de bewuste waarden ook opgenomen in tabel X blz. 20 van de "Getijtafels voor Nederland 1980".

Met betrekking tot de gegeven waarden voor Hoek van Holland en Dordrecht moet nog het volgende worden opgemerkt:

- a. Hoek van Holland: bij dit aggerstation was vóór de uitbouw van de havenmond het nakomend laagwater meestal het laagst (dientengevolge werd in de getijtafels dit laagwater LW_2 voorspeld). Hierin is echter geleidelijk verandering gekomen, waarschijnlijk als gevolg van de uitgevoerde werken, zodat nu meestal laagwater LW_1 (fig. 18) het laagste is. Voor de tabellen F en G zijn voor Hoek van Holland bij beide methoden de tijden resp. hoogten van het laagwater LW_2 bepaald en met elkaar vergeleken.
- b. Dordrecht: de getijkromme van Dordrecht heeft in het algemeen een sterk "afgeplatte" vorm: de hoog- en laagwaterstanden kunnen zich gedurende enkele uren handhaven. De grote waarden voor Δt_{N-O} voor zowel het hoogwater als het laagwater zijn bijna geheel gevolg van de thans aangehouden nauwkeuriger definitie van de tijdstippen van hoogwater en laagwater voor dit station.

Met behulp van de waarden in tabel F kan men nu een indruk verkrijgen van de mogelijke verschillen in de uitkomsten der voorspellingen volgens de beide berekeningsmethoden.

De tabel is met name samengesteld om te voorkomen dat aan de "Getijtafels voor Nederland 1980" op grond van opgedane praktijkervaring m.b.t. de nauwkeurigheid van voorafgaande getijtafels verkeerde conclusies zouden worden verbonden.

Tabel F. Vergelijking waarden "Getijtafels voor Nederland 1980" berekend volgens de "methode 1980" (N) en de "oude werkwijze" (O).

Station	Hoogwater				Laagwater			
	$\overline{\Delta t}_{N-O}$	$S_{\Delta t(N-O)}$	$\overline{\Delta h}_{N-O}$	$S_{\Delta h(N-O)}$	$\overline{\Delta t}_{N-O}$	$S_{\Delta t(N-O)}$	$\overline{\Delta h}_{N-O}$	$S_{\Delta h(N-O)}$
	min	cm	cm	cm	min	cm	cm	min
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Vlissingen*	-3	5	+7	7	-1	6	-9	7
Terneuzen	-8	6	+13	8	-1	6	-8	7
Hansweert	0	7	+10	8	-9	6	-11	8
Zierikzee*	-8	14	+3	9	+3	7	-5	9
Wemeldinge	-3	6	+3	9	+2	7	-4	8
Haringvlietstuwen	+1	9	-1	14	+1	17	-5	12
Hoek van Holland*	-3	10	0	8	0	21	+5	10
Rotterdam	-4	14	-1	9	-1	19	+4	12
Dordrecht*	-74	11	+12	13	-54	17	+4	9
Scheveningen	-10	9	+2	8	-8	10	-5	7
IJmuiden*	-6	8	+1	8	-6	9	-7	7
Den Helder*	-1	11	0	7	-3	8	-4	8
Harlingen*	-12	11	+3	8	+3	10	+1	10
West-Terschelling	-8	12	-1	8	-5	8	-8	11
Delfzijl*	-7	7	+2	10	-3	7	-8	9

Toelichting

- + : de gepubliceerde getijtafelwaarde 1980 is later c.q. hoger dan die volgens de "oude werkwijze".
 - : de gepubliceerde getijtafelwaarde 1980 is vroeger c.q. lager dan die volgens de "oude werkwijze".
 $\overline{\Delta t}_{N-O}$; $\overline{\Delta h}_{N-O}$: gemiddeld verschil in tijd resp. hoogte;
 $S_{\Delta t(N-O)}$; $S_{\Delta h(N-O)}$: standaardafwijking van het verschil in tijd resp. hoogte;
 * : waarden opgenomen in tabel X der "Getijtafels voor Nederland 1980".

Voorbeeld: gemiddeld treedt volgens de nieuwe berekening te Vlissingen het hoogwater 3 minuten eerder op en bereikt daarbij gemiddeld een 7 cm hogere stand. De feitelijke verschillen liggen nu:

- met 67% kans tussen 8 minuten eerder en 2 minuten later en met dezelfde kans tussen gelijke en 14 cm hogere stand;
- met 95% kans tussen 13 minuten eerder en 7 minuten later en met dezelfde kans tussen 7 cm lagere en 21 cm hogere stand.

6.3.2 Vergelijking per maand.

Voor vijf stations t.w. Vlissingen, Hoek van Holland, IJmuiden, Den Helder, Harlingen en Delfzijl zijn de gemiddelden en standaardafwijkingen van $V(1980)$ minus $V(oud)$, $(=V_n - V_o)$, verzameld per maand voor 1980 en in tabel G weergegeven (V =voorspelde waarde).

Tabel G: $(V_n - V_o)$ 1980 per kalendermaand.

Station	Getij- pernm.	Maat- staf min/ cm	Jan.	feb.	mrt.	apr.	mei	junj	juli	aug.	sep.	okt.	nov.	dec.	Jaar 1980
Vlissingen	T_{HW}	$\overline{\Delta E}$	- 2	- 4	- 4	- 3	- 1	- 2	- 2	- 2	- 3	- 3	- 2	- 1	- 3
		$S_{\Delta t}$	6	6	6	6	5	4	4	5	6	6	5	4	5
	HW	$\overline{\Delta h}$	5	5	5	5	7	6	6	6	8	7	14	7	7
		$S_{\Delta h}$	9	8	7	5	6	5	4	6	6	7	8	8	7
	T_{LW}	$\overline{\Delta E}$	1	- 2	- 1	- 1	1	1	0	- 1	- 2	- 3	- 3	- 0	- 1
		$S_{\Delta t}$	6	7	6	6	6	5	4	4	6	7	7	5	6
	LW	$\overline{\Delta h}$	- 8	- 8	- 7	- 11	- 10	- 10	- 8	- 8	- 8	- 10	- 5	- 9	- 9
		$S_{\Delta h}$	8	9	7	7	5	5	5	6	8	7	6	7	7
Hoek v. Holland	T_{HW}	$\overline{\Delta E}$	- 2	- 3	- 2	- 2	- 4	- 5	- 2	- 3	- 6	- 3	1	0	- 3
		$S_{\Delta t}$	9	9	10	8	19	19	11	11	12	19	9	10	10
	HW	$\overline{\Delta h}$	- 2	- 2	0	3	3	0	- 1	- 2	2	- 1	6	- 1	0
		$S_{\Delta h}$	8	9	6	6	8	9	8	7	6	7	5	10	6
	T_{LW}	$\overline{\Delta E}$	- 1	1	- 2	- 1	- 1	0	- 4	- 1	- 2	- 1	2	3	0
		$S_{\Delta t}$	23	21	20	20	25	22	21	23	20	19	21	20	21
	LW	$\overline{\Delta h}$	2	4	4	6	7	7	4	1	5	6	7	2	5
		$S_{\Delta h}$	10	11	9	8	9	11	9	11	10	9	8	11	10
IJmuiden	T_{HW}	$\overline{\Delta E}$	- 9	- 10	- 9	- 7	- 6	- 3	3	4	- 8	- 5	- 5	- 6	- 6
		$S_{\Delta t}$	9	7	8	6	7	5	4	5	6	8	7	7	8
	HW	$\overline{\Delta h}$	- 1	- 4	- 4	0	1	1	1	0	3	0	6	2	1
		$S_{\Delta h}$	9	9	7	5	8	9	8	7	6	6	6	10	8
	T_{LW}	$\overline{\Delta E}$	- 4	- 10	- 10	- 8	- 6	- 3	2	- 4	- 3	- 10	- 11	- 4	- 6
		$S_{\Delta t}$	7	7	8	6	7	6	8	7	14	8	6	7	9
	LW	$\overline{\Delta h}$	- 9	- 10	- 8	- 4	- 6	- 7	- 8	- 8	- 5	- 6	- 4	- 9	- 7
		$S_{\Delta h}$	7	7	6	5	5	6	4	6	6	7	8	9	7

Gevolgtrekkingen:

- Het verloop van de meeste waarden over het jaar is min of meer regelmatig van aard;
- Het verloop van de gemiddelde maandwaarden voor de tijden en van de standaardafwijkingen van tijden en standen vertoont geen duidelijk beeld.

Station	Tijds- rarem.	Maat- staf min/ cm	jan.	feb.	mrt.	apr.	mei	juni	juli	aug.	sep.	okt.	nov.	dec.	jaar 1900
Den Helder	T_{HW}	$\overline{\Delta t}$	- 2	- 1	- 2	- 3	- 3	- 5	- 3	0	- 1	0	0	4	- 1
		$s_{\Delta t}$	12	10	10	9	7	7	10	9	10	12	14	16	11
	HW	$\overline{\Delta h}$	6	1	- 3	- 5	- 5	- 4	- 3	- 4	- 1	0	8	6	0
		$s_{\Delta h}$	6	7	6	4	4	4	3	5	5	5	7	7	7
	T_{LW}	$\overline{\Delta t}$	- 2	- 4	- 1	0	0	- 2	- 1	- 3	- 5	- 4	- 6	- 4	- 3
		$s_{\Delta t}$	6	6	7	10	9	7	5	5	8	10	11	8	8
Harlingen	LW	$\overline{\Delta h}$	- 1	- 5	- 7	- 9	- 9	- 8	- 6	- 5	- 4	- 3	4	2	- 4
		$s_{\Delta h}$	9	8	9	5	3	4	6	8	8	7	7	7	8
	T_{LW}	$\overline{\Delta t}$	- 5	- 10	- 12	- 13	- 10	- 11	- 13	- 10	- 13	- 15	- 15	- 13	- 12
		$s_{\Delta t}$	11	13	10	9	8	8	10	10	10	10	13	14	11
	HW	$\overline{\Delta h}$	6	2	- 1	- 2	- 2	1	3	1	3	3	12	10	3
		$s_{\Delta h}$	5	5	6	8	7	6	5	5	4	8	11	4	8
Delfzijl	T_{LW}	$\overline{\Delta t}$	4	0	2	3	6	6	9	8	2	2	- 2	1	3
		$s_{\Delta t}$	9	8	11	12	10	8	7	7	10	8	10	10	10
	LW	$\overline{\Delta h}$	4	0	- 1	- 3	- 4	- 3	- 1	0	2	2	10	8	1
		$s_{\Delta h}$	11	10	11	9	4	6	7	10	10	10	8	8	10
	T_{HW}	$\overline{\Delta t}$	- 3	- 3	- 8	- 11	- 8	- 5	- 4	- 7	- 5	- 6	- 10	- 8	- 7
		$s_{\Delta t}$	8	8	7	6	6	6	8	6	6	6	8	8	7
Delfzijl	HW	$\overline{\Delta h}$	- 2	- 5	- 3	2	2	2	1	- 1	2	5	10	6	2
		$s_{\Delta h}$	8	8	10	10	10	9	8	6	6	9	10	12	10
	T_{LW}	$\overline{\Delta t}$	0	- 3	- 5	- 6	- 4	0	2	- 2	- 4	- 1	- 4	- 4	- 3
		$s_{\Delta t}$	7	8	6	5	6	7	8	5	6	5	6	6	7
	LW	$\overline{\Delta h}$	- 14	- 15	- 9	- 7	- 7	- 8	- 8	- 9	- 5	- 6	- 4	- 9	- 8
		$s_{\Delta h}$	8	10	9	7	6	8	4	6	8	7	12	13	9

- In het verloop van de gemiddelde maandwaarden voor de standen valt op dat deze verschillen voor de maand november veelal groot zijn. Dat dit zou samenhangen met extra veelvuldig opgetreden opwaaiing in de novembermaanden der analyseperiode 1971...1975 is niet waarschijnlijk, een voorspelling gegrond op de analyseperiode 1968...1977 (par. 6.4) vertoont hetzelfde beeld. Om de oorzaak te achterhalen zou verder onderzoek noodzakelijk zijn.
Volledigheidshalve is voor 1980 nog nagegaan of de waarden van $V_n - V_0$ nog variëren met de maansfasen; een uitgesproken periodiek verloop is daarbij niet gebleken.

6.4 Invloed lengte analyseperiode op de voorspelling

De koppeling van de kenmerkende grootheden van het getij, t.w. tijden en hoogten van hoog- en laagwater, aan de astronomische grootheden heeft plaatsgevonden over de analyse-periode 1971...1975 (par.3.3.3 ad C). Deze periode was op zich gunstig omdat maart 1973 precies halverwege tussen de tijdstippen van de uiterste standen van het maansbaanvlak (par. 3.1.4) ligt¹⁾. Nu heeft de maansdeclinatie in deze analyseperiode weliswaar een groot deel van haar mogelijke waarden doorlopen, maar voor een volledig beeld zou een periode van 9,3 jaar, waarin maart 1973 halverwege zou liggen, te verkiezen zijn geweest (in par. 3.3.3 is dit punt reeds genoemd). Toen de herziening van de getijtafelberekening ter hand werd genomen stonden van deze 9,3 jarige periode (of praktisch: 1968...1977) alleen de getijgegevens over de analyse-periode 1971...1975 in geautomatiseerde bestanden.²⁾

Om na te gaan in hoeverre een overgang bij de analyse op de zojuist genoemde 10-jarige periode invloed heeft op de voorspellingsresultaten zijn voor de stations waarvoor dit zonder inhomogene reeksen te verkrijgen mogelijk was (t.w. Vlissingen, Harlingen en Delfzijl) de ontbrekende meetgegevens aan de bestanden toegevoegd. Op deze wijze ontstond een 10-jarige reeks 1968...1977, waarover voor deze drie stations een analyse is verricht. Wellicht ten overvloede: zowel de daarbij samengestelde "culminatie-voorspellingstabellen" als de parallax- en declinatiecorrecties verschillen van die, opgesteld op grond van de analyse over 1971...1975.

- 1) Overigens bereikte de maximale declinatie van de maan in maart 1974 juist de gemiddelde waarde van $23,5^\circ$, maar het voert te ver hier op de consequenties daarvan in te gaan.
- 2) In het verleden heeft men met het oog op de veranderende helling van de maanbaan enkele jaren verspreid over een 10-jarige periode als analyse-periode gekozen.

Met behulp van beide analyses zijn voor het jaar 1978 getijtafels van bovengenoemde stations berekend (dit jaar 1978 is gekozen omdat het buiten de analyse-periode ligt). Vervolgens zijn deze getijtafels getoetst aan de hand van de waargenomen waarden. In tabel H zijn de toetsingsresultaten vermeld; tevens zijn daarin ter vergelijking voor de 5-jarige analyse de waarden van 1977 gegeven (gemiddelden en standaardafwijkingen van de verschillen tussen de waargenomen en de voorspelde waarden, W-V).

Tabel H Voorspellingswaarde getijtafels berekend m.b.v. een 5-jarige (1971...1975) resp. 10-jarige (1968...1977) periode.

Station	Analyse-periode	Toets-jaar	Hoogwater				Laagwater			
			$\overline{\Delta t}$ min	$S_{\Delta t}$ min	$\overline{\Delta h}$ cm	$S_{\Delta h}$ cm	$\overline{\Delta t}$ min	$S_{\Delta t}$ min	$\overline{\Delta h}$ cm	$S_{\Delta h}$ cm
Vlissingen	1971...75	77	-1	10	4	23	1	12	6	26
	1971...75	78	1	11	4	21	2	13	1	25
	1968...77	78	1	9	4	21	2	11	0	23
Harlingen	1971...75	77	3	26	5	34	0	21	3	32
	1971...75	78	0	24	2	30	1	19	-3	28
	1968...77	78	-1	21	3	30	1	16	-1	27
Delfzijl	1971...75	77	4	17	4	33	-1	14	2	38
	1971...75	78	2	17	4	30	-2	14	-4	35
	1968...77	78	1	15	3	30	-2	12	-3	34

Voor de toelichting van de symbolen zie tabel D.

Gevolgtrekkingen:

Uitbreiding van de analyseperiode van 5 jaar tot 10 jaar levert geen noemenswaardige verbetering op wat de gemiddelde afwijkingen betreft. De standaardafwijkingen echter liggen in het algemeen iets gunstiger voor de 10-jarige periode. Aan te bevelen is dan ook in een later stadium voor alle stations, indien mogelijk, over te gaan op een 10-jarige periode.

6.5 Invloed getijpatroon analyseperiode

Het is van belang na te gaan of het gemiddelde patroon der getijverschijnselen over de analyseperiode 1971...1975 nog afwijkt van het veeljarige gemiddelde patroon. In de getijleer zijn twee begrippen in gebruik voor de numerieke vastlegging van de getijbeweging voor een zeker moment, nl.:

- het gemiddeld havengetal: dit is de gemiddelde tijdsduur tussen maansdoorgang en het eerstvolgende hoogwater of laagwater. Deze intervallen zijn het laatst bepaald voor 1973;
- het slotgemiddelde: uitkomst voor een tijdstip t_0 van een trendmatige waardeschatting op grond van vereffening van waarnemingen uit de onmiddellijk daaraan voorafgaande periode. De in 1980 gebruikte slotgemiddelden 1971.0 hebben betrekking op de situatie te 0 h op 1 januari 1971.

In tabel I zijn deze beide waarden voor enkele stations opgenomen en vergeleken met de gemiddelde maansverlopen en de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden over de periode 1971...1975. Voor de havengetallen is de vergelijking niet geheel "zuiver" omdat de getijden uit het jaar 1973 ook in de getij-analyse betrokken waren.

Tabel I. Vergelijking kenmerkende grootheden getij met die, berekend over de analyseperiode 1971...1975 uit de culminatievoorspellingstabellen.

Station	HOOGWATER					
	Gemiddeld Havengetal 1973	Gemiddeld Maansverloop (1971...75)	Vershil (3)-(2)	Slotgemiddelde 1971.0	Gemiddelde stand over 1971...75	Vershil (6)-(5)
	h min	h min	min	NAP + cm	NAP + cm	cm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Vlissingen	0.54	0.54	0	198	196	-2
Hoek van Holland	1.35	1.34	-1	97	102	5
IJmuiden	2.41	2.40	-1	86	86	0
Den Helder	6.25	6.34	9	54	49	-5
W.Terschelling	8.26	8.26	0	76	74	-2
Delfzijl	11.01	11.00	-1	124	122	-2
	LAAGWATER					
	Gemiddeld Havengetal 1973	Gemiddeld Maansverloop (1971...75)	Vershil (3)-(2)	Slotgemiddelde 1971.0	Gemiddelde stand over 1971...75	Vershil (6)-(5)
	h min	h min	min	NAP + cm	NAP + cm	cm
Vlissingen	7.23	7.24	1	-182	-187	5
Hoek van Holland	7.10	7.22	12	-68	-69	1
IJmuiden	10.44	10.42	-2	-74	-65	-9
Den Helder	0.40	0.36	-4	-82	-88	6
W.Terschelling	2.07	2.07	0	-104	-109	5
Delfzijl	5.16	5.13	-3	-156	-164	8

Gevolgtrekkingen:

- Voor de tijdstippen van het hoog- en laagwater zijn de verschillen tussen het gemiddelde havengetal en het maansverloop over 1971...1975 in het algemeen gering. Zowel het tijdstip van hoogwater te Den Helder als dat voor het laagwater te Hoek van Holland vertonen een noemenswaard verschil, hetgeen veroorzaakt kan zijn door de vorm van het getij ter plaatse: bij Den Helder is het hoogwater en bij Hoek van Holland het laagwater a.h.w. afgeplat (zie fig. 18 en 19).
- Wat de standen betreft geldt zowel voor het hoogwater als het laagwater dat de berekende gemiddelde waarden iets aan de lage kant zijn. Dit zou kunnen betekenen dat voor zowel hoog- als laagwater de gemiddelde waarden in het algemeen iets lager liggen dan aansluitend op de voorgaande periode zou mogen worden verwacht. In par. 6.6 wordt hier nog nader op ingegaan.

6.6 Samenhang gemiddeld zeeniveau met voorspellingswaarde getijtafels.

De voorspellingswaarde van de getijtafels voor een zeker jaar hangt rechtstreeks samen met het algemene weerbeeld voor dat jaar, omdat dit algemene weerbeeld de gemiddelde zeestand beïnvloedt. Zo was over 1976 (onder invloed van de hete zomer) de gemiddelde zeestand aan de meeste nederlandse getijstations aan de lage kant; over 1977 was dit niet het geval. Het algemene weerbeeld in de periode 1971...1975 heeft dan ook de basisgegevens, die gebruikt zijn in de toegepaste voorspellingsberekeningen beïnvloed.

Deze paragraaf geeft de uitkomsten weer van een beperkte toetsing op de eigenheid van de analyseperiode en van de jaren 1976 en 1977, zowel ten opzichte van elkaar als ten opzichte van twee voorgaande tienjarige perioden. Voor deze toetsing zijn de waarden van de gemiddelde zeestand gebruikt omdat een wijziging in gemiddeld zeeniveau in den regel ook onmiddellijk merkbaar is in de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden. In tabel J zijn voor de stations Vlissingen, Hoek van Holland, IJmuiden, Den Helder, Harlingen en Delfzijl de waarden van de gemiddelde zeestand verzameld voor de drie genoemde perioden en voor 1976 en 1977. De opgetreden veranderingen in de gemiddelde zeestand voor 1976 en 1977 t.o.v. die stand voor de analyseperiode 1971...1975 vormen nu het vergelijkingsmateriaal voor de overeenkomende veranderingen in (W-V) (=de gemiddelde waarde der verschillen tussen waarneming en voorspelling) - men zie hiervoor de kolommen (8) en (9).

Tabel J. Vergelijking gemiddelde zeestand t.o.v.
N.A.P. met (W-V) waarden.

Station	Grootheid	Periode					Toetsing t.o.v. 1971...75	
		1951... 1960	1961... 1970	1971... 1975	1976	1977	1976 (6)-(5)	1977 (7)-(5)
		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Vlissingen	HW (W-V)			+1	0	+4	-1	+3
	LW (W-V)			+2	0	+6	-2	+4
	gem.zeestand	-6	-4	-7	-9	-5	-2	+2
Hoek van Holland	HW (W-V)			+1	-1	+5	-2	+4
	LW (W-V)			+1/0	-1/-1	+9/+6	-2/-1	+8/+6
	gem.zeestand	-3	0	+0	-2	+3	-2	+3
IJmuiden	HW (W-V)			+1	-2	+4	-3	+3
	LW (W-V)			+1	-2	+5	-3	+4
	gem.zeestand	-4	-2	-6	-9	-4	-3	+2
Den Helder	HW (W-V)			+2	-1		-3	
	LW (W-V)			+2	-1		-3	
	gem.zeestand	-8	-4	-7	-10	-3	-3	+4
West-Ter- schelling	HW (W-V)			+2	-2	+5	-4	+3
	LW (W-V)			+2	-2	+5	-4	+3
	gem.zeestand	-5	-6	-7	-11	-5	-4	+2
Harlingen	HW (W-V)					+5		+3
	LW (W-V)					+3		+1
	gem.zeestand	-2	+2	+2	-3	+3	-5	+1
Delfzijl	HW (W-V)			+2	-1		-3	
	LW (W-V)			+3	-2		-5	
	gem.zeestand	-2	+4	+2	-1	+2	-3	0

Gevolgtrekkingen:

- De toetsingswaarden voor hoogwater, laagwater en gemiddelde zeestand in kolom (8) resp. (9) benaderen elkaar. Hieruit kan worden geconcludeerd dat voor de standen de variaties van de jaarwaarden van $(\overline{W-V})$ voor een groot gedeelte gevolg zijn van de schommelingen in de gemiddelde zeestand, d.w.z. van de overheersende meteorologische situatie.
- In vergelijking tot de voorgaande perioden 1951...-1960 en 1961...1970 ligt de gemiddelde zeestand over de analyseperiode iets aan de lage kant voor Vlis-singen, IJmuiden, Den Helder en West Terschelling en wat hoog voor Hoek van Holland en Harlingen. Overigens liggen de afwijkingen in de orde van grootte van slechts 1 à 4 cm.

7 SAMENVATTING EN CONCLUSIES

7.1 Samenvatting

De getijtafels van stations in het Nederlandse getijgebied worden berekend met behulp van een zgn. culminatiemethode, waarvan de grondslag is gelegd door Sir John Lubbock in de 19e eeuw en die o.a. door jhr. F.L. Ortt is toegepast voor Nederland.

Omstreeks 1950 is de ontwikkelde berekeningswijze voor enkele stations nog enigszins verbeterd, waarna in 1965 begonnen is met een gefaseerde automatisering van het bestaande berekeningspakket. Na een tiental jaren bleek dat dit pakket een aantal onvolkomenheden vertoonde w.o. het feit dat het niet dan tegen zeer grote inspanning mogelijk was voor een nieuw station getijtafels te berekenen. Dit vormde aanleiding (hoofdstuk 1) de gehele werkwijze kritisch te bezien en daarbij ook na te gaan of andere getijvoorspellingsmethodieken bruikbaar zouden zijn.

In par. 2.1 wordt eerst een kort historisch overzicht gegeven, waaruit blijkt dat voor getijvoorspellingen vooral de evenwichtsgetijtheorie van Newton en de dynamische theorie van Laplace van belang zijn (par.2.1). De getijvoorspellingsmethoden vallen in drie typen te onderscheiden, n.l.:

- de harmonische analyse;
- de culminatiemethode;
- de impuls-responsmethode van Munk en Cartwright.

Een keus tussen de twee eerstgenoemde methoden is gemaakt aan de hand van berekende voorspellingen voor eenzelfde station (t.w. Vlissingen) en dezelfde perioden (1969 en 1974) waarbij bleek dat die volgens de culminatiemethode de beste resultaten gaf (par.2.2). Een voorspelling met behulp van de impuls-responsmethode kon niet op korte termijn beschikbaar zijn; er was echter ook geen reden te veronderstellen dat deze aanmerkelijk betere resultaten zou geven.

Voor de berekening van de getijtafels voor Nederland vanaf 1980 is nu gekozen voor toepassing van de culminatiemethode in de verbeterde vorm zoals deze omstreeks 1950 door ir. J. van der Kleij is opgezet.

Alvorens de theorie betreffende de gekozen culminatiemethode aan de orde komt worden eerst de bewegingen van aarde, zon en maan (par.3.1) en de evenwichtstheorie van Newton (par.3.2) behandeld. Met behulp van deze theorie is nu de getijhoogte op een willekeurige plaats te herleiden als functie van een aantal constanten (zoals de massa's van aarde en maan, en de aardestraal)

en een aantal variabelen die de positie van het hemellichaam t.o.v. de bewuste plaats weergeven. Deze positiebepalende variabelen zijn uit te drukken in culminatietijdstippen van de maan en de parallax- en declinatiewaarden van de zon en de maan. Met behulp van de culminatiemethode (par.3.3) kunnen de getijhoogte en -tijd dan worden uitgedrukt in de betreffende waarden behorende bij een zekere maansculminatie, waarbij nog correcties voor parallax en declinatie (par.3.3.3) in rekening worden gebracht.

In hoofdstuk 4 is vervolgens aandacht geschonken aan het "werkelijk" optredende getij, zijn oorsprong en voortplanting en aan de wijze waarop het zich manifesteert aan de Nederlandse kust.

Hoofdstuk 5 gaat in op het nieuwe programmapakket, dat uit vier delen bestaat, t.w.:

- het deel voor de benodigde astronomische gegevens ("ASTROG");
- het deel, waarin de getijanalyse plaatsvindt ("GETYAN");
- het deel, dat de getijtafels berekent ("GTYAF"). Op dit deel sluit nog aanvullend aan de zgn.
- "ZEETAF"-programmatuur.

In de par. 5.2...5.5 komen deze onderdelen vrij gedetailleerd ter sprake, de meeste aan de hand van een "stroomschema" (fig. 21, 22, 28 en 30). Dit hoofdstuk sluit af met een waardebepaling van het pakket als geheel (par. 5.6).

De uitkomsten van deze berekeningen resulteren uiteindelijk in de uitgave van de boekwerkjes:

- Getijtafels voor Nederland (fig. 35) en
- Getijtafels voor de zeehavens in Nederland en voor Antwerpen (Prosperpolder) en Zeebrugge (fig. 36).

Tenslotte is nog ingegaan op de voorspellingswaarde van de getijtafels volgens de "oude werkwijze" en die volgens de "werkwijze 1980" (hoofdstuk 6). Daarbij is gebleken dat de gemiddelde verschillen tussen waarneming en voorspelling in het algemeen kleiner zijn geworden, maar dat de spreiding van de verschillen in dezelfde orde van grootte ligt (par. 6.2.1), terwijl tevens de onderlinge samenhang der stations bij de "werkwijze 1980" bewaard is gebleven (par. 6.2.3).

VLISSINGEN

februari 1981

januari 1981

datum	hoogwater	h min	NAP	MET	h min	NAP	hoogwater	datum

1 do	10.22	149	4.21	132	16.56	162	153	1 do	11.37	154	5.37	145
2 vr	11.22	157	5.26	138	16.56	162	153	2 vr	11.37	154	5.37	145
3 za	12.14	167	6.23	150	17.52	163	163	3 di	12.35	168	7.22	184
4 zo	0.42	171	7.07	164	18.43	165	175	4 wo	13.19	188	8.03	208
5 ma	12.59	182	7.47	185	19.26	169	188	5 do	13.51	210	8.47	227
6 di	14.08	211	8.27	205	20.36	183	208	6 vr	15.06	243	9.33	243
7 wo	2.24	214	9.11	218	21.12	188	249	7 za	15.22	242	10.16	249
8 do	15.20	230	21.51	190	22.22	190	209	8 zo	16.29	236	10.55	209
9 vr	16.01	231	22.30	189	23.30	189	241	9 ma	17.08	234	11.34	241
10 za	16.44	224	23.07	184	24.07	184	227	10 di	17.52	202	12.15	227
11 zo	5.02	213	11.47	217	17.30	178	193	11 wo	6.11	202	0.12	193
12 ma	5.48	198	12.38	214	18.49	178	185	12 do	7.10	181	1.10	185
13 di	6.36	183	13.36	207	19.59	194	178	13 vr	8.26	154	2.27	178
14 wo	7.35	171	14.43	199	20.42	164	182	14 za	9.53	162	3.54	184
15 do	8.47	167	15.53	194	21.42	168	179	15 zo	11.15	166	5.20	182
16 vr	10.09	171	17.06	190	22.07	194	183	16 ma	12.22	177	6.28	191
17 za	11.28	180	18.13	189	23.06	190	186	17 di	13.11	192	7.20	190
18 zo	12.34	195	19.09	191	23.58	192	186	18 wo	13.51	210	8.04	196
19 ma	13.24	213	19.52	197	24.29	197	236	19 do	14.29	224	9.30	199
20 di	14.04	227	20.30	200	24.72	200	198	20 vr	15.07	233	10.31	198
21 wo	2.28	221	9.09	237	25.43	201	241	21 za	15.45	236	10.07	241
22 do	3.03	226	9.52	239	26.19	201	232	22 zo	16.19	236	10.43	194
23 vr	3.42	227	10.21	238	26.50	209	186	23 ma	16.50	236	11.15	186
24 za	4.25	230	11.08	245	27.21	210	218	24 di	17.21	206	11.43	200
25 zo	5.07	235	11.46	250	27.56	210	165	25 wo	17.56	187	12.12	181
26 ma	5.43	191	12.25	195	28.09	186	154	26 do	18.12	167	0.12	154
27 di	6.21	175	13.07	180	28.42	180	167	27 vr	18.42	151	1.03	167
28 wo	7.05	161	13.53	165	28.80	180	148	28 za	19.40	141	2.09	144
29 do	8.04	151	14.49	155	29.03	155	144	29 do	20.53	124	3.57	144
30 vr	9.13	147	15.54	150	30.26	148	134	30 vr	21.31	111	4.57	144
31 za	10.26	140	17.02	148	31.44	131	134	31 za	22.07	107	5.37	145

LLWS=NAP-250 cm

Fig. 35 Voorbeeld voor VLISSINGEN uit de "Getijtafels voor Nederland 1981".

VLISSINGEN 1981 (FLUSHING)

JANUARI JANUARY				FEBRUARI FEBRUARY				MAART MARCH				APRIL APRIL			
MET	dm	MET	dm	MET	dm	MET	dm	MET	dm	MET	dm	MET	dm	MET	dm
01 04.21 12		17 05.35 07		01 05.37 11		17 00.47 42		01 03.26 10		17 06.17 06		01 05.21 08		17 00.56 43	
do 10.22 40		za 11.28 43		zo 11.37 40		di 07.20 04		zo 09.31 39		di 12.20 42		wo 11.28 41		vr 07.24 04	
16.56 09		18.13 06		18.07 10		13.11 44		16.15 11		18.39 08		17.53 10		13.19 45	
22.57 40						19.42 06		22.14 37				23.57 41		19.37 06	
02 05.26 11		18 00.04 43		02 00.08 40		18 01.30 45		02 04.50 10		18 00.40 41		02 06.32 06		18 01.32 45	
vr 11.22 41		zo 06.38 06		ma 06.34 09		wo 08.04 03		ma 10.56 40		wo 07.10 05		do 12.28 44		za 08.01 03	
17.52 09		12.34 45		12.35 42		13.51 46		17.29 10		13.06 44		18.51 08		13.53 46	
23.54 41		19.09 06		19.00 09		20.17 05		23.30 38		19.24 07				20.12 05	
03 06.23 10		19 00.58 44		03 00.56 42		19 02.09 47		03 06.03 08		19 01.20 44		03 00.46 44		19 02.06 46	
za 12.14 42		ma 07.33 04		di 07.22 07		do 08.47 01		di 12.08 41		do 07.50 04		vr 07.22 04		zo 08.33 03	
18.43 09		13.24 46		13.19 44		14.29 47		18.28 09		13.37 46		13.09 47		14.26 46	
		19.52 05		19.40 08		20.53 05				20.01 06		19.31 05		20.46 04	
04 00.42 42		20 01.45 46		04 01.33 44		20 02.47 48		04 00.31 41		20 01.53 46		04 01.23 47		20 02.40 47	
zo 07.07 09		di 08.22 02		wo 08.03 04		vr 09.30 01		wo 07.03 06		vr 08.27 03		za 08.00 01		ma 09.07 03	
12.59 43		14.04 48		13.51 46		15.07 48		13.00 43		14.09 47		13.47 49		14.58 47	
19.26 08		20.30 05		20.14 06		21.31 05		19.17 08		20.36 05		20.09 03		21.20 04	
05 01.18 43		21 02.28 47		05 02.07 46		21 03.23 49		05 01.12 44		21 02.30 48		05 02.02 50		21 03.09 47	
ma 07.47 07		wo 09.09 01		do 08.47 02		za 10.07 01		do 07.46 04		za 09.05 02		zo 08.44 00		di 09.36 03	
13.35 45		14.43 49		14.25 48		15.45 48		13.36 46		14.44 48		14.24 51		15.29 47	
20.02 07		21.11 05		20.51 05		22.07 06		19.56 06		21.12 04		20.49 02		21.56 04	
06 01.48 45		22 03.03 48		06 02.45 49		22 03.50 49		06 01.47 47		22 03.05 48		06 02.41 51		22 03.41 47	
di 08.27 05		do 09.52 01		vr 09.33 01		zo 10.43 02		vr 08.25 01		zo 09.39 02		ma 09.23 00		wo 10.05 05	
14.08 46		15.23 49		15.06 49		16.19 47		14.09 49		15.21 48		15.06 51		15.59 46	
20.36 07		21.55 05		21.34 04		22.36 06		20.33 04		21.47 05		21.35 02		22.29 05	
07 02.24 46		23 03.42 48		07 03.22 49		23 04.24 48		07 02.26 49		23 03.33 48		07 03.21 51		23 04.13 47	
wo 09.11 03		vr 10.31 01		za 10.16 00		ma 11.15 03		za 09.11 00		ma 10.10 02		di 10.01 01		do 10.37 06	
14.42 47		16.06 48		15.49 50		16.50 46		14.48 50		15.56 47		15.49 50		16.29 45	
21.12 06		22.37 06		22.16 04		23.05 07		21.14 03		22.22 05		22.20 02		22.59 05	
08 03.02 47		24 04.25 47		08 04.04 49		24 05.01 46		08 03.05 51		24 04.04 47		08 04.05 50		24 04.42 45	
do 09.48 03		za 11.08 03		zo 10.55 00		di 11.43 05		zo 09.53 01		di 10.42 03		wo 10.44 02		vr 11.09 07	
15.20 48		16.46 47		16.29 49		17.21 44		15.31 51		16.28 46		16.32 48		16.59 43	
21.51 06		23.14 07		22.55 04		23.34 09		21.56 02		22.53 06		23.03 02		23.29 06	
09 03.34 48		25 05.07 46		09 04.47 48		25 05.36 44		09 03.44 51		25 04.38 46		09 04.52 49		25 05.12 44	
vr 10.25 03		zo 11.46 04		ma 11.34 01		wo 12.12 07		ma 10.29 01		wo 11.14 05		do 11.23 03		za 11.40 09	
16.01 48		17.24 45		17.08 47		17.56 42		16.11 50		16.56 44		17.17 46		17.36 42	
22.30 06		23.47 08		23.31 05				22.36 03		23.22 06		23.48 03			
10 04.16 48		26 05.43 44		10 05.26 47		26 00.12 10		10 04.27 50		26 05.09 44		10 05.38 46		26 00.05 07	
za 11.05 03		ma 12.25 06		di 12.15 02		do 06.12 42		di 11.09 01		do 11.44 07		vr 12.07 05		zo 05.56 42	
16.44 47		18.04 44		17.52 45		12.50 08		16.52 48		17.24 43		18.09 43		12.19 10	
23.07 07						18.42 40		23.15 03		23.55 07				18.23 40	
11 05.02 46		27 00.23 10		11 00.12 06		27 01.03 10		11 05.10 48		27 05.42 43		11 00.42 04		27 00.53 08	
zo 11.47 03		di 06.21 43		wo 06.11 45		vr 07.00 40		wo 11.45 02		vr 12.15 08		za 06.39 44		ma 06.59 41	
17.30 46		13.07 07		13.03 04		13.46 10		17.34 45		18.00 40		13.10 07		13.16 11	
23.46 07		18.49 42		18.49 43		19.40 39		23.56 04				19.15 40		19.25 38	
12 05.48 45		28 01.09 11		12 01.10 07		28 02.09 11		12 05.54 45		28 00.32 09		12 01.53 05		28 02.01 08	
ma 12.38 04		wo 07.05 41		do 07.10 43		za 08.09 39		do 12.29 04		za 06.23 41		zo 07.59 42		di 08.17 40	
18.22 45		13.53 09		14.01 06		14.57 11		18.27 42		12.58 10		14.32 09		14.33 11	
		19.42 41		19.59 40		20.53 37				18.50 39		20.36 38		20.41 38	
13 00.34 08		29 02.06 12		13 02.27 07				13 00.51 05		29 01.24 09		13 03.15 06		29 03.26 07	
di 06.36 43		do 08.04 40		vr 08.26 42				vr 06.50 43		zo 07.22 40		ma 09.27 41		wo 09.38 40	
13.36 04		14.49 10		15.12 07				13.31 06		13.58 11		15.58 09		15.57 10	
19.23 43		20.45 40		21.21 40				19.35 40		20.01 38		22.01 38		22.01 39	
14 01.37 09		30 03.14 12		14 03.54 07				14 02.06 06		30 02.34 10		14 04.37 06		30 04.49 07	
wo 07.35 42		vr 09.13 40		za 09.53 41				za 08.08 41		ma 08.43 39		di 10.47 41		do 10.53 42	
14.43 05		15.54 10		16.35 07				14.54 07		15.14 11		17.13 09		17.16 09	
20.34 42		21.55 39		22.42 39				20.58 38		21.25 37		23.16 39		23.13 41	
15 02.55 09		31 04.28 12		15 05.20 07				15 03.34 07		31 03.56 09		15 05.47 06			
do 08.47 42		za 10.26 40		zo 11.15 42				zo 09.41 41		di 10.10 40		wo 11.50 42			
15.53 06		17.02 10		17.55 07				16.21 08		16.37 11		18.13 08			
21.49 41		23.07 39		23.53 40				22.26 38		22.48 38					
16 04.18 08				16 06.28 06				16 05.04 06				16 00.13 41			
vr 10.09 42				ma 12.22 43				ma 11.11 41				do 06.42 05			
17.06 06				18.58 07				17.41 08				12.41 43			
23.00 42								23.43 39				19.00 07			

fig. 36 Voorbeeld uit de "Zeevaarderstafel 1981" voor Vlissingen.

In de figuren 31 t/m 34 (par.6.2.2) wordt voor enkele stations een beeld gegeven van de wijze waarop de voorspellingswaarde over de maanden varieert. De nodige aandacht verdient het feit dat bij vergelijking van de volgens de "oude werkwijze" berekende getijtafels voor 1980 met die berekend volgens "werkwijze 1980" (par.6.3.) is gebleken dat de verschillen tussen beide niet verwaarloosbaar klein zijn. Een verlenging van de analyse-periode van 5 naar 10 jaar bij de "werkwijze 1980" geeft nog een lichte verbetering te zien (par.6.4). Tenslotte wordt in de paragrafen 6.5 en 6.6 erop ingegaan hoe de voorspellingen passen in het gemiddelde veeljarige verloop.

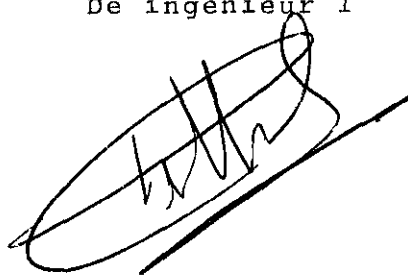
Conclusies

- A. Voor de samenstelling van getijtafels voor Nederlandse stations geeft (althans bij toepassing van de op dit moment voorhanden zijnde rekenschema's) de culminatiemethode de meest nauwkeurige resultaten.
- B. Deze methode biedt in het algemeen een goed inzicht in de samenhang tussen de variabele positiebepalende grootheden van zon en maan en de getijbeweging in het Nederlandse getijgebied.
- C. Getijvoorspellingen met behulp van de vernieuwde culminatiemethode voor de getijtafels vanaf 1980 geven in het algemeen een iets nauwkeuriger voorspelling van het astronomisch getij dan volgens de "oude werkwijze"; de spreiding in de resultaten is echter ongeveer gelijk gebleven (tabel D). Verlenging van de analyse-periode van 5 naar 10 jaar (tabel H) geeft nog een lichte verbetering te zien. De geringe verbetering van de spreiding in de resultaten wijst erop dat de verstoring van de astronomische getijbeweging door meteorologische invloeden relatief belangrijk is.
Met het oog op mogelijke veranderingen in morfologie, gemiddelde zeestand, waterstaatkundige toestand enz. zal het overigens nodig zijn de uitgevoerde getij-analyse ter gelegener tijd opnieuw te verrichten.

- D. De ontwikkelde werkwijze stelt in staat voor ieder peilmeetstation in Nederlands getijgebied getijtafels samen te stellen, mits van dit station gedurende enkele jaren voldoende betrouwbare waarnemingen ter beschikking staan.

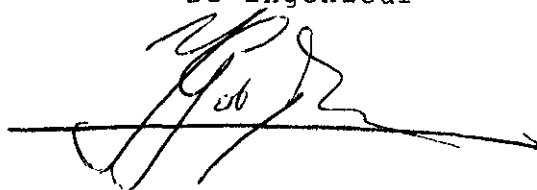
's-Gravenhage, juni 1981

De ingenieur I

A handwritten signature in dark ink, consisting of a large, stylized 'U' with a horizontal line through it, followed by a long horizontal stroke.

(ir. A. van Urk)

De ingenieur

A handwritten signature in dark ink, featuring a large, stylized 'J' and 'G' with a horizontal line through them, followed by a long horizontal stroke.

(ir. J.G. de Ronde)

Gezien: het Hoofd der
Operationele Afdeling,

A handwritten signature in dark ink, consisting of a large, stylized 'J' and 'M' with a horizontal line through them, followed by a long horizontal stroke.

(ir. J. van Malde)

OVERZICHT LITERATUUR

1. Jhr. F.L. Ortt: "Nota betreffende de berekening der getijtafels voor Nederland". Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage, januari 1899.
2. Ministerie van Marine, afdeling Hydrografie:
"Overzicht der Getijleer ten dienste der Hydrografische opneming".
Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage 1949.
3. Drs. J.C. Hornman: "A tideprediction method as used by Rijkswaterstaat Nota 77735¹, Rijkswaterstaat, Dienst Informatieverwerking, 14 oktober 1977.
4. Dr. J.J. Dronkers: "Tidal Computations in Rivers and Coastal water" (hiervan: Part one, blz. 27...126). North-Holland Publishing Company Amsterdam, 1964.
5. G. Godin: "The analysis of Tides".
Liverpool University Press, Liverpool 1972.
6. P. Shureman: "Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides".
Coast and Geodetic Survey, U.S. Department of Commerce, Special Publications no. 98, Washington, 1958.
7. W.H. Munk en D.E. Cartwright: "Tidal Spectroscopy and Prediction". Philosophical transactions of the Royal Society of London, Series A, no. 1105 Vol. 259, pp 533-581, 19 mei 1966.
8. Dr. J.P.Th. Kalkwijk: "Spectraal-analyse van getijden en hun voorspelling volgens Munk en Cartwright".
Technische Hogeschool Delft, Afdeling der Civiele Techniek, Laboratorium voor Vloeistofmechanica, Intern Rapport no. 1-78, Delft 1978.
9. Horn W.: "Über die Darstellung der Gezeiten als Funktion der Zeit". Deutsche Hydrographische Zeitschrift 1 (No. 4) blz. 124-140, 1948.
10. Dr. R.A. Pasmanter: "A study of the performance of a Harmonic Analysis of Tides at Flushing". Nota V 7711 B/FA 7901, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging - Deltadienst.
11. Drs. M. Ehrlich: "Het berekenen van astronomische gegevens voor de getijtafels" nota 78467¹, Rijkswaterstaat, Dienst Informatieverwerking, maart 1978.
12. N.N.: "De stormvloedwaarschuwingdienst".
Driemaandelijks Bericht van de Deltawerken no. 91. Februari 1980.

13. Ir. A. van Urk: "Over de gevolgen van de wijziging van de berekeningsmethode voor de "Getijtafels voor Nederland" vanaf 1980". Nota WH 79.10, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, augustus 1979 (in enigszins gewijzigde vorm gepubliceerd in het blad "de Zee" (nrs. 9, 1979).
14. Ir. C.A. Bunk: "Automatisering Getijtafels" verschenen in DIVISIE; (uitgave Dienst Informatieverwerking van de Rijkswaterstaat), no. 1979-3 Rijswijk (Z.H.).
15. A. Berger: Long-term variations of the earth's orbital elements, Celestial Mechanics 15 (1977) blz. 53-74.