

18A.59

Refractieberekeningen voor
de noordwest kust van Texel

G.M.J. BLONK

R/1978/05/D

Vloeistofmechanica

Afd. Weg- en Waterbouwkunde

Technische Hogeschool Delft

Refractieberekeningen
voor de noordwest kust van het eiland Texel

C.M.J. Blonk

Inhoud

		blz.	
Hoofdstuk	I	Inleiding	1
Hoofdstuk	II	Probleemstelling	2
Hoofdstuk	III	Methode van onderzoek	5
Hoofdstuk	IV	Uitwerking	15
Hoofdstuk	V	Gevoeligheid berekening	26
Hoofdstuk	VI	Resultaten	28
		Symbolenlijst	
		Literatuurlijst	
		Lijst van bijlagen	

I INLEIDING

De laatste jaren is de kust aan de noordwest kant van het eiland Texel nogal wat achteruitgegaan. Thans is dit zover gevorderd dat er iets aan **gedaan** moet worden.

Deze erosie wordt veroorzaakt door golven en stroming. In het hoofdontwerp wordt dit zandverlies berekend uit lodingkaarten en wordt er getracht dit zandverlies ook theoretisch te berekenen.

Daar er geen golfgegevens aan de noordwest kust van Texel bekend zijn moeten deze via een refractieberekening van andere gemeten golfgegevens komen. Dit deelontwerp heeft ten doel deze onbekende golfgegevens nabij de kust te bepalen, waarna deze uitgerekende waarden in het hoofdontwerp gebruikt kunnen worden in erosieberekeningen.

In het volgende hoofdstuk wordt de probleemstelling besproken. In hoofdstuk III wordt de methode van onderzoek beschreven terwijl de uitwerking in het daarop volgende hoofdstuk staat. Tenslotte wordt het resultaat, dat met de refractieberekeningen verkregen is, bekeken op zijn betrouwbaarheid.

II PROBLEEMSTELLING

Om over de morfologische veranderingen iets te kunnen zeggen moeten o.a. de volgende gegevens bekend zijn: dieptemetingen, golfgegevens, stroomsnelheden, waterstanden, korreldiameter van het zand, enz. . De bedoeling is om de morfologische veranderingen van de laatste jaren te verklaren en daarna een voorspelling te maken voor de veranderingen in de toekomst. Nu zijn met name de lodingkaarten van het gebied eerst sinds 1965 geregeld verschenen (bijna ieder jaar één), zodat de periode die verder beschouwd wordt loopt van de zomer 1965 tot de zomer van 1975. De andere gegevens zijn in deze periode ook wel bekend.

In een eerder afstudeerontwerp (lit. 1) is een studie gemaakt van het zandtransport en kustlijnontwikkeling voor het middengedeelte van het eiland Texel. Dit werk heeft als noordgrens raai 28, zodat deze als zuidgrens kan worden genomen van het hier beschouwde gebied. Eventueel kunnen uitkomsten als randvoorwaarden voor het zandtransport overgenomen worden. De noordgrens is het bolwerk Eyerland wat de begrenzing is van het eiland aan het Eyerlandse Gat. De afstand tussen deze twee grenzen is ongeveer drie kilometer.

Het zandtransport wordt veroorzaakt door golven en stroming. Er wordt van uitgegaan dat in de toekomst hetzelfde golfklimaat geldt als dat nu het geval is. Deze golfgegevens worden gebruikt in een zandtransportmodel, waarmee een zandtransport wordt berekend in m^3 /jr.

Om nu te zien hoe groot de invloed van stormen is op het zandtransport wordt één stormtoestand berekend. Daarvoor zijn de golfgegevens nodig die bij een stormtoestand gelden en deze worden hier in een aparte berekening bepaald.

Het zandtransport wordt door alle golven die de kust bereiken veroorzaakt. Weliswaar zijn de hogere golven belangrijker en dit is de reden dat er meestal gewerkt wordt met H_{rms} of H_{sig} . Het zandtransport wordt berekend op basis van een lange termijn verdeling, bijvoorbeeld die van H_{sig} . Naar de korte termijn verdeling, de Rayleigh verdeling, wordt verder niet meer gekeken, omdat deze niet belangrijk is voor het zandtransport.

Er wordt met twee zandtransportformules gewerkt en wel:

1. De C.E.R.C. formule:

$$S = A H_o^2 c_o K_{r br}^2 \sin \phi_{br} \cos \phi_{br} \quad [m^3/s]$$

S = zandtransport evenwijdig aan de kust

A = constante

H_o = golfhoogte in diep water

c_o = golfsnelheid in diep water

$K_{r br}$ = refractiecoëfficiënt bij de brekerlijn

ϕ_{br} = hoek van golfinval bij de brekerlijn

Hier moet de H_{rms} gebruikt worden, omdat dit het beste met de energie overeenkomt.

2. De Bijkerformule:

$$S_B = \frac{5 D_{50} v \sqrt{g}}{C_r} \exp \left[\frac{-0,27 \Delta D_{50} C_r^2}{\mu v^2 [1 + \frac{1}{2} (\zeta u_o/v)^2]} \right]$$

S_B = bodentransport

D_{50} = D_{50} bodenmateriaal

v = stroomsnelheid

C_r = Chezy coëfficiënt

μ = ribbelfactor

$\zeta = \frac{p K C_r}{\sqrt{g}}$ (p en K zijn constanten)

$$u_o = \frac{\omega H_s \cosh(kh)}{2 \sinh(kh)}$$

Bekend moeten hier zijn van de golven: k , H_{sig} , ϕ_{br} , $K_{r br}$ en $K_{sh br}$.

Op diep water zijn de golfgegevens bekend in de vorm van kansdichtheidsfuncties voor $\bar{\theta}$, H_s en T_s , beschreven in tabellen.

$\bar{\theta}$ = golfrichting

H_s = golfhoogte

T_s = golfperiode

Het is nu de bedoeling om nabij de kust de daar geldende kansdicht-

heidsfuncties te vinden, zodat er nieuwe tabellen komen voor dit kustvak. Omdat het bodemreliëf voor deze kust nogal grillig is moet het kustvak nog worden onderverdeeld. Dit gebeurt in drie gebieden en wel:

Gebied I: van raai 28 tot raai 29; lengte = 988 m

Gebied II: van raai 29 tot raai 30; lengte = 973 m

Gebied III: van raai 30 tot raai 31; lengte = 1000 m

Voor ieder gebied worden nu de nieuwe kansdichtheidsfuncties uitgerekend.

III METHODE VAN ONDERZOEK

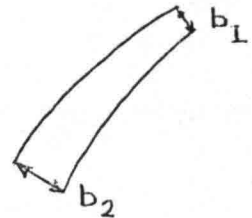
De golven naderen vanaf diep water de kust. Daarbij veranderen de golfhoogte en de golfrichting. In ondieper water neemt de golfsnelheid af $c = (g/\omega) \tanh(\omega h/c)$, zodat het gedeelte van een golfkam dat zich in minder diep water bevindt wordt afgeremd. De golfkam verandert dus iets van richting.

Voor verandering van de golfhoogte wordt ervan uitgegaan dat er geen energieverlies is tussen twee golfstralen.

$$E_1 n_1 c_1 b_1 = E_2 n_2 c_2 b_2$$

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{n_1 c_1}{n_2 c_2}} \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} = K_{sh} K_r$$



shoalingcoëfficiënt: $K_{sh} = \sqrt{\frac{n_1 c_1}{n_2 c_2}}$

refractiecoëfficiënt: $K_r = \sqrt{\frac{b_1}{b_2}}$

Het beschouwde gebied heeft nogal een grillig bodemreliëf, zodat de benadering met evenwijdige dieptelijnen niet gebruikt kan worden. Er moet uitgegaan worden van golfstralen en deze moeten stap voor stap naar de kust worden berekend. Deze refractieberekeningen worden uitgevoerd met de computer.

Stroomrefractie

Er is nog een omstandigheid waardoor de golven veranderd worden. Niet alleen door de afnemende diepte vervormen de golven maar ook door stroming. Hieraan is echter geen aandacht geschonken om twee redenen:

1. De stromingspatronen zijn in dit gebied slechts zeer vaag bekend.
2. Een stroomrefractieberekening bleek niet direct toepasbaar, en was gezien de beschikbare tijd ook niet in te passen.

Bodemgeometrie

De kustlijn van het eiland Texel maakt ongeveer een hoek van 35° met het noorden. De refractieberekening wordt uitgevoerd binnen een rechthoek waarvan we de grenzen moeten vaststellen. Eén zijde kiezen we evenwijdig aan de kustlijn door de centrumpaal (zie bijlage 1). Loodrecht hierop moet de kaart vergenoeg zee ingaan zodat daar voldoende waterdiepte aanwezig is. Of een waterdiepte voor een bepaalde golf als relatief diep water kan worden beschouwd hangt af van de golfperiode. Schat voorlopig de $\bar{T}_s = 5$ s.

$$\bar{T}_s = 5 \Rightarrow \lambda_0 = 1,56 T^2 = 39 \text{ m}$$

$$\text{diep water: } h > \lambda / 2 = 39 / 2 = 19,5 \text{ m}$$

Voor deze \bar{T}_s moet de waterdiepte dus groter zijn dan 19,5 m. Hier wordt enigszins arbitrair de 25 m lijn gekozen die ongeveer 10 km uit de kust ligt. Voor grotere golfperioden kunnen we niet meer zeggen dat 25 m diep water is, maar de gemeten waarden op het lichtschip Texel (op 28 m diep water) zijn dan ook niet gedaan op relatief diep water.

Hoelang de zijde moet zijn evenwijdig aan de kust hangt ondermeer af van de hoek van golfinval. Deze keuze blijft echter wat arbitrair. De rechthoek die hier genomen is heeft afmetingen van 10,5 X 26 km (zie bijlage 1).

In deze rechthoek wordt een vierkantennet aangebracht. In de netwerkpunten wordt de diepte gegeven. Nu moeten de afmetingen van de vierkantjes zo zijn dat het bodemreliëf door deze punten goed wordt weergegeven, in die zin dat de details van de bodem die voor de refractieberekening nog belangrijk zijn door deze punten worden weergegeven. Details die nog belangrijk zijn hebben afmetingen van enige tientallen keer de golflengte. Dit is ondermeer afhankelijk van de waterdiepte.

$$\bar{T}_s = 5 \text{ s} \Rightarrow \lambda_0 = 39 \text{ m}$$

$$\text{op 5 meter waterdiepte: } \lambda = 30,3 \text{ m}$$

In deze berekening hebben de vierkantjes afmetingen van 500 X 500 m.

De diepte die in de netwerkpunten is ingevuld is afkomstig van lodingkaarten van de studiedienst Hoorn. Op bijlage twee staan deze lodingkaarten geschreven die gebruikt zijn en in de situatieschets (bijlage 1) staan de afmetingen van deze kaarten ingetekend.

De dieptelijnen zijn enigszins gladgestreken omdat bepaalde onregelmatigheden in het bodemreliëf in werkelijkheid weinig invloed uitoefenen, maar

in een refractieberekening wel doorwerken.

Golfgegevens

De golfgegevens op diep water worden verkregen van het lichtschip Texel. De positie van het lichtschip Texel is $53^{\circ} 04'$ N.B. en $4^{\circ} 27'$ O.L. (zie bijlage 1), de waterdiepte daar ter plaatse is 28 m. Dit kan wel als diep water worden beschouwd. ($\bar{T}_s = 5 \text{ s} \Rightarrow \text{diep water} > 19,5 \text{ m}$)

Iedere drie uur worden op het lichtschip Texel de golfhoogte, -periode en -richting genoteerd. Deze gegevens zijn door Dorrestein verwerkt. (lit. 2; zie bijlagen 3 t/m 7)

1. Golfhoogte

De golfhoogte wordt als volgt bepaald: de gemiddelde hoogte van de grotere, goed ontwikkelde golven in het centrum van een golfgroep wordt visueel geschat en genoteerd, waarbij een afronding op halve meters plaats vindt. Deze golfhoogte is de H_{sig} die verder aangenomen wordt gelijk te zijn aan de $H_{1/3}$.

2. Golfperiode

Op de lichtschepen wordt de golfperiode als volgt bepaald: de gemiddelde periode van de grotere, goed ontwikkelde golven wordt bepaald en genoteerd. Deze golfperiode wordt beschreven in de volgende klassen:

$$\leq 5, 5-7, 7-9, 9-11, > 11 \quad [s]$$

Volgens Dorrestein (blz. 32) kunnen deze grenzen het best op de volgende manier worden gekarakteriseerd: 4, 6, 8, 10 en 12 s.

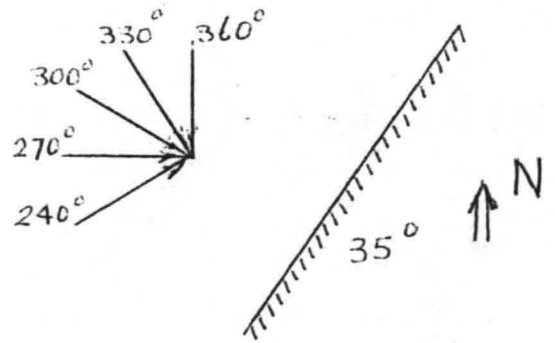
3. Golfrichting

De golfrichting wordt geschat en genoteerd, waarbij een afronding op tien graden plaats vindt. De golfrichtingen staan beschreven in de volgende klassen:

$35^{\circ} - 010^{\circ}$; $020^{\circ} - 040^{\circ}$; $050^{\circ} - 070^{\circ}$; $080^{\circ} - 100^{\circ}$; $110^{\circ} - 130^{\circ}$; $140^{\circ} - 160^{\circ}$;
 $170^{\circ} - 190^{\circ}$; $200^{\circ} - 220^{\circ}$; $230^{\circ} - 250^{\circ}$; $260^{\circ} - 280^{\circ}$; $290^{\circ} - 310^{\circ}$; $320^{\circ} - 340^{\circ}$;

Daar de kustlijn een hoek van 35° met het noorden maakt zijn slechts de volgende vijf golfrichtingen belangrijk voor het zandtransport.

$$\begin{aligned}
 230^\circ - 250^\circ &\Rightarrow 240^\circ \\
 260^\circ - 280^\circ &\Rightarrow 270^\circ \\
 290^\circ - 310^\circ &\Rightarrow 300^\circ \\
 320^\circ - 340^\circ &\Rightarrow 330^\circ \\
 350^\circ - 010^\circ &\Rightarrow 360^\circ
 \end{aligned}$$



Lange termijn verdeling

De nog te berekenen golfeigenschappen nabij de kust worden gebruikt in zandtransportformules. Hiervoor is niet de korte termijn verdeling belangrijk. Hier wordt verder geen aandacht geschonken aan een golfspectrum, maar wordt er alleen naar de lange termijn verdeling gekeken. (Dit met het oog op de beschikbare tijd voor dit deelontwerp.)

De verandering van de golfhoogte door shoaling en refractie is verschillend voor iedere golfperiode en iedere golfrichting. Hier wordt voor iedere golfperiode en golfrichting een refractieberekening gemaakt. We krijgen dan de volgende combinaties:

$\theta \backslash T_s$	4	6	8	10	12
240	-	-	-	-	-
270	-	-	-	-	-
300	-	-	-	-	-
330	-	-	-	-	-
360	-	-	-	-	-

(de snijpunten van de lijnen geven de verschillende combinaties aan)

Dit zijn 25 berekeningen. Deze worden uitgevoerd voor een gemiddelde waterstand van N.A.P.

Op diep water zijn de golfgegevens bekend van het lichtschip Texel. Deze kansdichtheidsfuncties voor θ , H en T zijn beschreven in tabellen. (tabellen 3 t/m 7 - bijlagen 4 t/m 6)

Dit zijn vijf tabellen van de volgende vorm:

$\theta = \theta_i$

$H_s \backslash T_s$	4	6	8	10	12
0	P_{ijk}				
0,5					
1					
1,5					
2					
4,5					

In de hokjes staat de kans op voorkomen P_{ijk} van de golfklasse (θ_i, H_j, T_k) .
 Onder de golfklasse (θ_i, H_j, T_k) wordt verstaan de golven die tussen de volgende grenzen liggen:

$$\begin{aligned} \theta_i < \theta < \theta_i + \Delta \theta \\ H_j < H < H_j + \Delta H \\ T_k < T < T_k + \Delta T \end{aligned}$$

Via een refractieberekening krijgen we nu de nieuwe waarden voor de golfklassen nabij de kust.

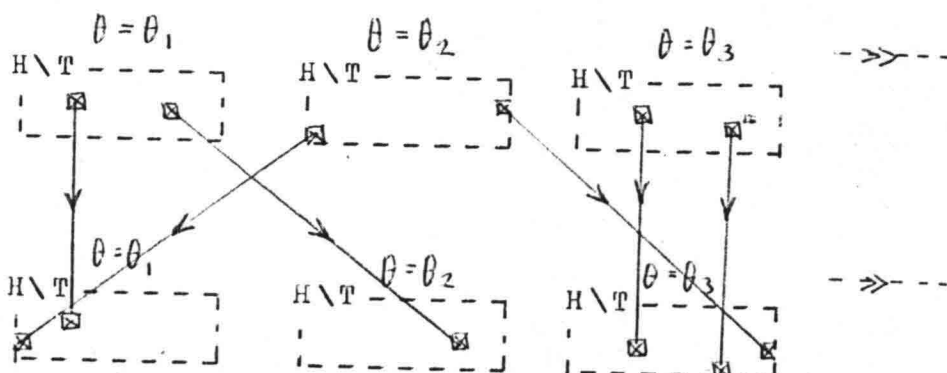
Diep water : θ_i, H_j, T_k
 Nabij de kust: θ_p, H_q, T_r

De golfperiode blijft hetzelfde: $T_k = T_r$. De nieuwe golfklasse is (θ_p, H_q, T_r) met dezelfde kans op voorkomen als de oude golfklasse op diep water P_{ijk} . Deze waarde van P_{ijk} wordt nu neergezet in een tabel op de plaats die overeenkomt met de golfklasse (θ_p, H_q, T_r) .

Zo worden alle componenten uit de tabellen voor diep water via een refractieberekening naar de nieuwe tabellen voor de kust overgebracht. Hierbij kan het best voorkomen dat verschillende componenten uit dezelfde tabel op diep water in verschillende nieuwe tabellen terecht komen. In de vorm van een schema ziet het er als volgt uit:

Diep water:

Nabij de kust:



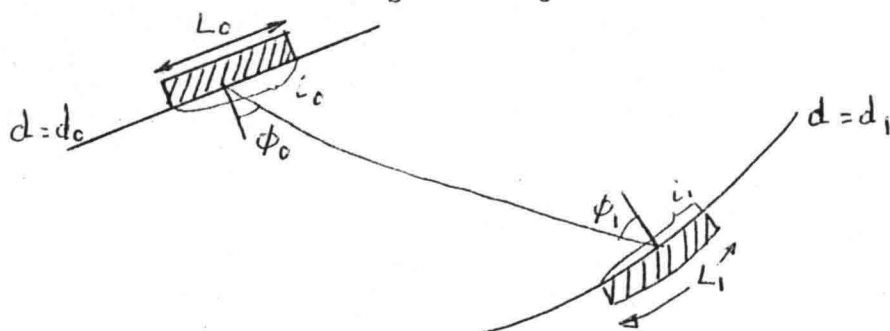
Op deze manier worden de nieuwe tabellen verkregen die voor een bepaald kustvak gelden.

Methode Bouws / Hasselmann

De computer berekent en tekent de golfstralen zoals deze vanaf diep water de kust naderen. Normaal is nu de refractiecoëfficiënt te bepalen door de verhouding vast te stellen van de afstand tussen de golfstralen op diep water en de afstand tussen de golfstralen nabij de kust. Door het grillig bodemreliëf komen hier echter nogal wat golfstralen voor die elkaar snijden, zodat er een ingewikkeld patroon van golfstralen ontstaat. Er moet nu een andere methode gevolgd worden om de invloed van refractie te bepalen.

Bij de oorspronkelijke methode wordt op iedere plaats de afstand tussen twee golfstralen gemeten en daarmee is voor iedere plaats de refractiecoëfficiënt te bepalen. In dit geval echter komen door het grillige bodemreliëf op sommige punten veel golfstralen aan en op andere punten minder. Het is nu weinig zinvol om voor iedere plaats een refractiecoëfficiënt te bepalen, daarom wordt er voor een bepaald gebied de gemiddelde refractiecoëfficiënt bepaald. Nu is niet voor iedere plaats de golfhoogte bekend, maar is de golfhoogte bekend voor een bepaald gebied.

De methode van Bouws / Hasselmann gaat uit van een fijn net van golfstralen. Op diep water is de afstand tussen de golfstralen gelijk. Er wordt nu een vergelijking gemaakt tussen de energiedichtheid p.e.v. oppervlakte op diep water en de energiedichtheid p.e.v. oppervlakte nabij de kust, dit bij golfstralen voor één T_s en één θ_0 .



θ_0 = golfrichting op diep water t.o.v. het noorden

L = lengte van het gedeelte van de dieptelijn dat bekeken wordt

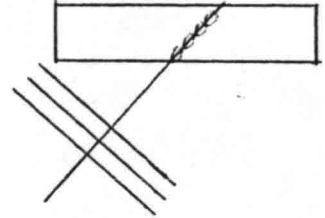
i = het aantal golfstralen dat hierop terecht komt

ϕ = hoek tussen golfstraal en de loodlijn van de dieptelijn

d = diepte

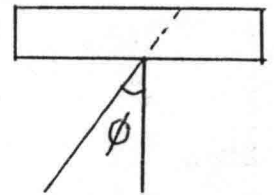
a = evenredigheidsconstante

Neem een bepaald wateroppervlak waardoor golven lopen. We willen nu de hoeveelheid energie bepalen die in dit oppervlak aanwezig is. Een golfstraal levert een aantal golfpakketjes in dit oppervlak. De hoeveelheid energie die één golfstraal levert is recht evenredig met het aantal golfpakketjes, daar we dit aantal niet weten nemen we hiervoor een evenredigheidsconstante a.



De golfpakketjes hebben een snelheid c_g . Hoe sneller ze gaan hoe minder golfpakketjes er in het bekeken oppervlak zitten, daarom is de hoeveelheid energie in dit oppervlak omgekeerd evenredig met de groepssnelheid c_g .

Het aantal golfpakketjes dat één golfstraal levert is afhankelijk van de hoek van golfinval. Het aantal golfpakketjes is omgekeerd evenredig met de $\cos \phi$.



In dit oppervlak komt een aantal golfstralen (i) voor. Voor de totale hoeveelheid energie in dit oppervlak moeten we de energie van alle i golfstralen sommeren.

We willen de energiedichtheid p.e.v. oppervlakte hebben, gemiddeld over een zekere lengte.

Met dit alles komen we tot de volgende formule voor de energiedichtheid p.e.v. oppervlakte:

$$E = \frac{a}{L} \sum_i \frac{1}{c_g \cos \phi_i}$$

Omdat op één dieptelijn c_g constant is kiezen we de lengte L op één bepaalde dieptelijn.

$$E = \frac{a}{c_g L} \sum_i \frac{1}{\cos \phi_i}$$

$$c_g = n c$$

Hiermee krijgen we voor de verhouding van de energiedichtheden p.e.v. oppervlakte voor de diepte $d = d_1$ en $d = d_0$ de volgende formule:

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{n_0 c_0 L_0}{n_1 c_1 L_1} \frac{\sum_{i_1} \frac{1}{\cos \phi_1}}{\sum_{i_0} \frac{1}{\cos \phi_0}}$$

We beginnen met evenwijdige golfstralen en een rechte dieptelijns over L_0 zodat ϕ_0 constant is. $\sum_{i_0} \frac{1}{\cos \phi_0} = i_0 \frac{1}{\cos \phi_0}$

De afstand tussen twee golfstralen is op de diepte $d = d_0$ constant, $b = b_0$.

$$\frac{b_0 i_0}{\cos \phi_0} = L_0$$

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{n_0 c_0 \frac{b_0}{\cos \phi_0}}{n_1 c_1 L_1 \frac{1}{\cos \phi_0}} \sum_{i_1} \frac{1}{\cos \phi_1}$$

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{n_0 c_0 b_0}{n_1 c_1 L_1} \sum_{i_1} \frac{1}{\cos \phi_1}$$

$E = \frac{1}{8} \rho g H^2$, zodat de verhouding tussen golfhoogten gelijk is aan de wortel van de verhouding van de energiedichtheden.

$$\frac{H_1}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 c_0 b_0}{n_1 c_1 L_1} \sum_{i_1} \frac{1}{\cos \phi_1}}$$

Bij grotere waarden van T start de berekening niet meer vanaf relatief diep water, zodat dan voor n_0 en c_0 de waarden moeten worden ingevuld voor de diepte van 25 m. (De berekening van de golfstralen start ongeveer bij deze diepte.)

	diep water			d = 25 m			d = 3 m		
	λ_0	c_0	n_0	λ	c	n	λ	c	n
	[m]	[m/s]		[m]	[m/s]		[m]	[m/s]	
4	25,0	6,2	0,5	25,0	6,2	0,50	19,0	4,7	0,78
6	56,2	9,4	0,5	55,8	9,3	0,52	30,7	5,1	0,89
8	99,9	12,5	0,5	93,3	11,7	0,58	42,0	5,3	0,94
10	156,1	15,6	0,5	130,4	13,0	0,72	53,2	5,3	0,96
12	224,8	18,7	0,5	165,9	13,8	0,79	64,2	5,3	0,97

Hoek van golfinval nabij de kust

Over de lengte L komen i stralen terecht komend uit verschillende richtingen. Om nu tot één hoek van golfinval te komen worden alle hoeken van de golfstralen gewogen met het aandeel dat deze golfstralen leveren in de energiedichtheid p.e.v. oppervlakte. Berekend wordt het product $\overline{\sin \phi \cos \phi}$ omdat dit product ook in de zandtransportformule terug komt.

$$\frac{1}{2} \sin 2 \phi = \sin \phi \cos \phi$$
$$\overline{\sin 2 \phi} = 2 \frac{\sum_i E \sin \phi \cos \phi}{\sum_i E}$$

$$E = \frac{a}{L c_g} \frac{1}{\cos \phi} \quad (\text{voor één golfstraal; zie blz. 11})$$

$$\overline{\sin 2 \phi} = 2 \frac{\sum_i \frac{a}{L c_g} \frac{\sin \phi \cos \phi}{\cos \phi}}{\sum_i \frac{a}{L c_g} \frac{1}{\cos \phi}} = 2 \frac{\frac{a}{L c_g} \sum_i \sin \phi}{\frac{a}{L c_g} \sum_i \frac{1}{\cos \phi}}$$
$$\overline{\sin 2 \phi} = 2 \frac{\sum_i \sin \phi}{\sum_i \frac{1}{\cos \phi}}$$

Storm

Niet alleen zijn we geïnteresseerd in het gemiddelde zandtransport per jaar, maar ook in het aandeel van de stormen in het totale zandtransport. Hiervoor worden de golfgegevens uitgerekend voor één stormtoestand.

Bij de stormtoestand zitten we met de moeilijkheid van wat voor storm we moeten nemen. Een zwaardere storm komt minder vaak voor maar heeft grotere gevolgen. De te nemen storm moet echter in de periode van 1965 - 1975 wel enige keren voorgekomen zijn, om uit de lodingkaarten mogelijke verschillen te kunnen halen voor stormtoestanden. De keuze blijft dus wat arbitrair. We nemen een storm waarbij de waterstand het grenspeil bereikt. Dit grenspeil is gebaseerd op een waterstand die gemiddeld 1 keer in de twee jaar wordt overschreden. Het grenspeil voor dit kustgedeelte berekend door Rijkswaterstaat bedraagt N.A.P. + 2,30 m (lit. 3). In de beschouwde periode van 10 jaar is dit grenspeil 7 keer overschreden. (In 5 van de 10 jaren omdat in 1973 deze grens 3 keer werd overschreden.)

Waterstanden boven het grenspeil in de periode 1965 - 1975

1.	2 februari	1969	2,51 m
2.	13 december	1973	2,50 m
3.	15 november	1973	2,44 m
4.	21 november	1971	2,39 m
5.	13 november	1973	2,35 m
6.	28 oktober	1974	2,35 m
7.	28 februari	1967	2,30 m

De H_{sig} voor deze stormen wordt gehaald uit tabel 8 (bijlage 7).

Hieruit halen we:

H_{sig} [m]	aantal malen overschreden in 15 jaar	aantal malen overschreden per jaar
8	1	0,067
7,5	2	0,133
7	2	0,133
6,5	4	0,267
6	7	0,467
5,5	10	0,667
5	11	0,733

Hoewel het aantal jaren (15) aan de krappe kant is nemen we toch op deze basis een H_{sig} van 6,00 m.

Een dergelijk zware storm met een waterstandsverhoging van zo'n twee meter wordt veroorzaakt door een storm uit het noordwesten. Uit tabel 5 (bijlage 5) halen we dat bij een $H_s > 4,5$ m een golfperiode van 9 s hoort.

Er wordt één stormtoestand berekend en wel met de volgende gegevens:

1. $H_s = 6,00$ m
2. $T = 9,0$ s
3. $\theta = 300^\circ$
4. een waterstandsverhoging van 2,30 m

IV UITWERKING

In dit hoofdstuk worden de verschillende berekeningen gemaakt. Eerst worden de golfgegevens op diep water toegelicht. Daarna worden de refractieberekeningen gemaakt, waarmee vervolgens de kansdichtheidsfuncties voor de golven nabij de kust worden berekend.

Met de verkregen kansdichtheidsfuncties voor de golven nabij de kust wordt een zandtransport berekening gemaakt. Aan het eind van het hoofdstuk wordt apart een berekening gemaakt voor een stormtoestand.

De golfgegevens voor diep water komen van het lichtschip Texel. Deze gegevens zijn door Dorrestein verwerkt (lit. 2). Hieruit zijn enige tabellen overgenomen die voor deze refractieberekeningen noodzakelijk zijn. Dit zijn de tabellen 1 t/m 8 (bijlagen 3 t/m 7).

In tabel 1 is de aantallen waarnemingen als functie van golfhoogte en richtingsector gegeven.

In tabel 2 is de aantallen waarnemingen als functie van golfhoogte en golfperiode gegeven.

Verder zijn de tabellen overgenomen voor de vijf belangrijke golfrichtingen en wel: 240° , 270° , 300° , 330° en 360° . In de tabellen 3 t/m 7 (bijlagen 4 t/m 6) zijn voor deze golfrichtingen de aantallen waarnemingen als functie van golfhoogte en golfperiode gegeven.

Uit de tabellen 1 en 3 t/m 7 is de kans te berekenen dat een bepaalde golfklasse voorkomt.

Bijvoorbeeld een golfklasse gekenmerkt door $(\theta, H, T) = (270^{\circ}; 1,5 \text{ m}; 6 \text{ s})$.

D.w.z. dat de kans berekend wordt op een golfklasse waarvan de kenmerken tussen de volgende grenzen liggen:

$$260^{\circ} < \theta < 280^{\circ}$$

$$1,25 \text{ m} < H < 1,75 \text{ m}$$

$$5 \text{ s} < T < 7 \text{ s}$$

$$P(\theta, H, T) = P(270^{\circ}; 1,5 \text{ m}; 6 \text{ s}) = \frac{116,6}{996,2} \times \frac{140}{1000} = 0,0164$$

tabel 1 tabel 4

Evenzo kan de kans op voorkomen van de andere golfklassen worden berekend.

Refractieberekeningen

Er zijn 5 golfrichtingen op diep water en 5 golfperioden bekeken. De golfperioden zijn: 4, 6, 8, 10 en 12 s. De 5 golfrichtingen zijn: 240° , 270° , 300° , 330° en 360° t.o.v. het noorden. Dit maakt in totaal 25 combinaties waarvoor een refractieberekening is uitgevoerd. De tekeningen van deze refractieberekeningen zijn de bijlagen 32 t/m 56. Bijlage 31 toont het bodemprofiel zoals dit door de computer is gebruikt.

Uit deze tekeningen halen we nu de golfhoogte nabij de kust met de eerder beschreven methode van Bouws / Hasselmann. Voor de grens aan de kust wordt voor de eenvoud één bepaalde dieptelijn aangehouden omdat dan de c_g constant is. Om de golfgegevens nabij de kust te kennen nemen we een dieptelijn die ongeveer evenwijdig aan de kust loopt. Het blijkt dat de 4 m en de 5 m lijn door het bankengebied in kustvak II en III nogal veruit de kust komen te liggen, terwijl de 3 m lijn eigenlijk de eerste dieptelijn is die ongeveer evenwijdig met de kust blijft lopen. We kiezen daarom, hoewel de keuze arbitrair blijft, de 3 m lijn waarop we de golfhoogte bekijken.

Op deze dieptelijn zijn de aantallen golfstralen geteld die in de drie kustvakken terecht komen. Bovendien zijn de hoeken gemeten die deze golfstralen maken met de lijn die loodrecht op de 3 m lijn staat. De tabellen 9, 10 en 11 (bijlagen 8 t/m 10) geven de verschillende waarden voor de drie gebieden. De verschillende kolommen in deze tabellen stellen het volgende voor:

voor:	kolom 1:	T	=	golfperiode	[s]
	kolom 2:	θ_0	=	golfrichting op diep water t.o.v. het noorden	
	kolom 3:	$\sum_i \frac{1}{\cos \phi}$	=	waarin i = het aantal golfstralen.	
				ϕ = hoek van golfinval op de driemeterlijn t.o.v. de lijn die loodrecht op de driemeterlijn staat	
	kolom 4:	$\sum_i \sin \phi$	=	idem	
	kolom 5:	H_1/H_0	=	verhouding van de golfhoogte op de driemeterlijn met de golfhoogte op diep water	
	kolom 6:	ϕ	=	gemiddelde golfrichting t.o.v. de lijn die loodrecht op de driemeterlijn staat	
	kolom 7:	θ	=	gemiddelde golfrichting t.o.v. het noorden	

Twee coördinatensystemen

Er wordt met twee verschillende coördinatensystemen gewerkt. Het assenstelsel dat gebruikt wordt voor computer is 35° gedraaid t.o.v. het assenstelsel dat t.o.v. het noorden geldt.

In het assenstelsel t.o.v. het noorden zijn alle gegevens bekend. De diepte kaarten zijn in dit assenstelsel gegeven en de golfrichtingen zijn gegeven t.o.v. het noorden.

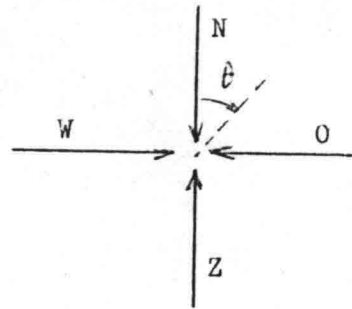
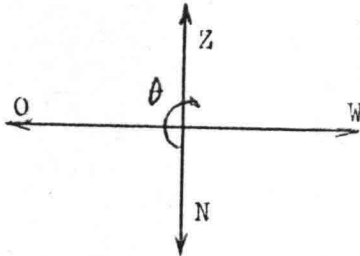
Het noorden is 0° .

Het oosten is 90° .

Het zuiden is 180° .

Het westen is 270° .

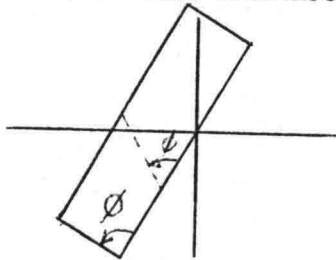
Het noorden is 360° .



(windrichting, golfrichting)

Deze hoeken worden gemeten met de wijzers van de klok mee, θ is de hoek in dit systeem.

Nu wordt er voor de berekening met de computer een rechthoek ingevoerd die evenwijdig aan de kustlijn loopt en daarom 35° gedraaid is t.o.v. het noorden. In deze rechthoek geldt nu een nieuw assenstelsel.



Deze hoeken worden gemeten tegen de wijzers van de klok in, ϕ is de hoek in dit systeem.

De x-as is 35° gedraaid t.o.v. het noorden en de richting wordt net andersom gemeten zodat we tot de volgende omzetting komen van een hoek in het ene systeem naar het andere systeem:

$$\phi + \theta = 215^\circ$$

Neem bijvoorbeeld westenwind, t.o.v. het noorden is dit 270° .

Voor de computer is dit: $270^\circ + 35^\circ = 305^\circ$.

Volgens de formule is ϕ : $\theta = 270^\circ$

$$\phi + \theta = 215^\circ$$

$$\phi = 215^\circ - 270^\circ = -55^\circ = 305^\circ$$

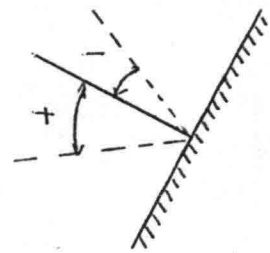
We voeren vijf golfrichtingen in waarvan de richtingen zijn:

θ	ϕ
240°	335°
270° (W)	305°
300°	275°
330°	245°
360° (N)	215°

De kustlijn wordt bepaald m.b.v. dieptekaarten. We krijgen voor de drie gebieden:

- I : $\phi = 357^\circ$ met hier loodrecht op: 267°
 II : $\phi = 353^\circ$ met hier loodrecht op: 263°
 III : $\phi = 339^\circ$ met hier loodrecht op: 249°

Nu worden de golfrichtingen bekeken t.o.v. de lijn die loodrecht op de kustlijn staat, waarbij + en - als volgt gelden:



Deze waarden zijn in de tabellen 9, 10 en 11 genoteerd in kolom 6, waarbij in kolom 7 de hoek genoteerd is t.o.v. het noorden. v.b. de eerste ϕ in tabel 9 is $+47^\circ$.

Gebied I dus de normaal is 267° .

$$\phi = 47^\circ + 267^\circ = 314^\circ$$

$$\theta = 215^\circ - 314^\circ = -99^\circ = 261^\circ$$

Nieuwe kansdichtheidsfuncties (zie ook blz. 8 en 9)

Met de waarden die in de kolommen 5 en 7 van de tabellen 9, 10 en 11 staan zijn de nieuwe kansdichtheidsfuncties te berekenen voor de drie kustvakken. Op diep water werden vijf golfrichtingen bekeken, nu worden de gevonden waarden uit de refractieberekeningen ingedeeld in die tabel die de golfrichting nabij de kust kenmerkt. Voor ieder gebied vinden we in principe vijf tabellen, elk voor één golfrichting. De gekozen klassen van de golfrichtingen zijn dezelfde als die op diep water en wel:

1. $225^\circ - 255^\circ$
2. $255^\circ - 285^\circ$
3. $285^\circ - 315^\circ$
4. $315^\circ - 345^\circ$
5. $345^\circ - 015^\circ$

Door refracteren houden we echter voor de drie gebieden maar drie tabellen over.

De golfperiode blijft hetzelfde.

De nieuwe golfhoogte wordt verkregen door de waarde uit kolom 5 van de tabellen 9 t/m 11 te vermenigvuldigen met H_0 . De waarden worden afgerond op halve meters.

De kans op een golfklasse op diep water is bekend. Deze kans wordt nu in de goede tabel nabij de kust gezet, d.w.z. op die plaats die de nieuwe golfklasse weergeeft: θ_{nieuw} , H_{nieuw} en T . Het is echter best mogelijk dat ook een andere diep watergolf in dezelfde klasse terecht komt. In dat geval moeten de beide kansen worden opgeteld. Als voorbeeld zal hier één geval worden uitgewerkt:

Diep water: $H_0 = 2,0 \text{ m}$; $\theta = 240^\circ$; $T = 6 \text{ s}$

In tabel 9 voor gebied I vinden we in regel 6 de volgende waarden:

$$\theta = 271^\circ \text{ en } H_1/H_0 = 0,75 \Rightarrow H_1 = 1,50 \text{ m}$$

De kans op deze golfklasse is: $\frac{122,9}{996,2} \times \frac{64}{1001} = 0,00789$
tabel 1 tabel 3

De golf heeft op de driemeterlijn de eigenschappen:

$$\theta = 271^\circ; H = 1,50 \text{ m}; T = 6 \text{ s}$$

en wordt ingedeeld in de golfklasse: $\theta = 270^\circ$; $H = 1,5 \text{ m}$; $T = 6 \text{ s}$

Maar ook de volgende diep watergolf komt in dezelfde tabel op dezelfde plaats terecht:

Diep water: $H_0 = 1,5 \text{ m}$; $\theta = 270^\circ$; $T = 6 \text{ s}$

In tabel 9 op regel 7 vinden we de volgende waarden:

$$\theta = 283^\circ \text{ en } H_1/H_0 = 1,00 \Rightarrow H_1 = 1,50 \text{ m}$$

De kans op deze golfklasse is: $\frac{116,6}{996,2} \times \frac{140}{1000} = 0,01639$
tabel 1 tabel 4

De golf heeft op de driemeterlijn de eigenschappen:

$$\theta = 283^\circ; H = 1,50 \text{ m}; T = 6 \text{ s}$$

en wordt ingedeeld in de golfklasse: $\theta = 270^\circ$; $H = 1,5 \text{ m}$; $T = 6 \text{ s}$

Zodat de totale kans van deze golfklasse is:

$$P = 0,00789 + 0,01639 = 24,28 \cdot 10^{-3}$$

Deze waarde vinden we ook terug in tabel 12.

Evenzo zijn de andere waarden in de tabellen 12 t/m 20 uitgerekend.
(bijlagen 11 t/m 16)

Voor gebied I gelden de tabellen 12 t/m 14.

Voor gebied II gelden de tabellen 15 t/m 17.

Voor gebied III gelden de tabellen 18 t/m 20.

In deze tabellen 12 t/m 20 komen golfhoogten voor tot 9 m. Dit is natuurlijk onmogelijk bij een waterdiepte van 3 meter. De golfhoogte die H_s maximaal kan bereiken is ongeveer gelijk aan de halve waterdiepte. Dit betekent dat de maximale golfhoogte op de driemeterlijn gelijk is aan 1,5 meter. Echter bij vloed is de waterstand ongeveer 4 m en er kan ook een waterstandsverhoging plaatsvinden tot ongeveer 5 m. Uit de waterstanden van 1970 is de kans berekend dat de waterstand tussen bepaalde waarden ligt.

waterdiepte = $d = 3$ m $\Delta d =$ waterstandsverhoging

$$1,5 \text{ m} < \Delta d < 2,5 \text{ m} \quad P = 0,009$$

$$0,5 \text{ m} < \Delta d < 1,5 \text{ m} \quad P = 0,259$$

D.w.z. dat 9 0/00 van de tijd de waterstand ligt tussen de 4,5 m en de 5,5 m en dat dan de maximale golfhoogte $0,5 \times 5 = 2,5$ m is. Daar zulk een waterstandsverhoging alleen bij storm plaatsvindt wordt aangenomen dat deze gehele tijd de maximale H_s van 2,5 m bereikt wordt.

In de tabellen 12 t/m 20 zijn echter meer dan 9 0/00 van de golven $\geq 2,5$ m. Er wordt nu gesteld dat 9 0/00 van de golven 2,5 m zijn en de rest wordt aangenomen 2,0 m te zijn. Dit betekent dat de golven die $\geq 2,5$ m zijn in de tabellen 12 t/m 20 teruggebracht worden tot 2,5 m en tot 2,0 m. Met deze bewerking zijn de tabellen 21 t/m 29 ontstaan. (bijlagen 17 t/m 19)

Zandtransport volgens de C.E.R.C. formule

Direct uit te rekenen m.b.v. deze nieuwe kansdichtheidsfuncties is het zandtransport volgens de C.E.R.C. formule, omdat hierin alleen het zandtransport door golven wordt beschouwd.

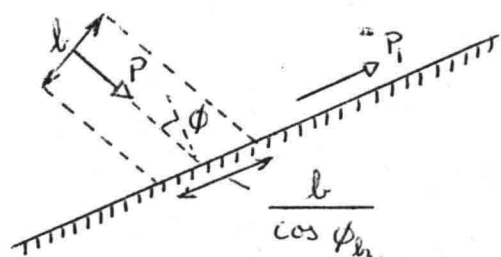
De C.E.R.C. formule die onbekenden voor diep water bevat moet worden veranderd voor gegevens van ondiep water. Dit gebeurt als volgt:

P = energiestroom per m' golfkam

P_l = component energiestroom //
kust / m' kust

Q = totale zandtransport

A_l = evenredigheidsconstante



$$Q = Al Pl$$

$$Pl = \frac{P b \sin \phi_{br}}{b / \cos \phi_{br}} = P \sin \phi_{br} \cos \phi_{br}$$

$$P = E n c = \frac{1}{8} \rho g \overline{H^2} n c$$

$$\overline{H^2} = H_{rms}^2$$

Bij een smal spectrum geldt: $\overline{H^2} = \frac{1}{2} H_s^2$

Dit wordt hier aangenomen.

$$P = \frac{1}{16} \rho g H_s^2 n c$$

$$Q = Al \frac{1}{16} \rho g H_s^2 n c \sin \phi_{br} \cos \phi_{br} \quad [m^3/s]$$

$$(\rho = 1025 \text{ N/m}^3; \quad g = 9,81 \text{ m/s}^2)$$

Dit is het zandtransport per seconde. Om nu tot een zandtransport per jaar te komen moet deze formule vermenigvuldigd worden met het aantal seconden per jaar. Deze constante wordt verwerkt in de evenredigheidsconstante Al tot een nieuwe evenredigheidsconstante A.

$$Q = A \frac{1}{16} \rho g H_s^2 n c \sin \phi_{br} \cos \phi_{br} \quad [m^3/jr]$$

Dit is het zandtransport per jaar voor H_s , maar deze H_s geldt niet het hele jaar zodat deze formule nog aangevuld moet worden met de kans op voorkomen van de golfklasse. Om nu tot het totale zandtransport per jaar te komen moet gesommeerd worden over alle golfklassen. De formule die nu het totale zandtransport per jaar weergeeft is:

$$Q = A \frac{1}{16} \rho g \sum_i [P H_s^2 n c \sin \phi_{br} \cos \phi_{br}] \quad [m^3/jr]$$

Omdat hier een vergelijking gemaakt zal worden met door Casteleyn gevonden waarden volgt nu een korte beschrijving hoe Casteleyn aan deze waarden komt (lit. 1).

Casteleyn berekent het zandtransport en de kustlijnveranderingen voor het eiland Texel van raai 10 tot raai 28. Deze berekening gebeurt met evenwijdige dieptelijnen en het zandtransport wordt bepaald met de G.E.R.C. formule.

Uit de gemeten erosie tussen deze raaien 10 en 28 in de periode 1910 -

1963 komt hij tot de volgende zandtransporten:

raai 10: - 492.100 m³/jr (zuidwaarts)

raai 28: + 380.500 m³/jr (noordwaarts)



Deze resultaten worden verkregen door voor de evenredigheidsconstante A in de C.E.R.C. formule de waarde van 1300 te nemen.

In dit deelontwerp wordt in principe dezelfde waarde van A gebruikt, hoewel hier niet met evenwijdige dieptelijnen gewerkt is.

De C.E.R.C. formule berekent alleen het zandtransport door golven en mag daarom alleen toegepast worden daar waar de invloed van de stroming gering is. Van de drie gebieden die hier bekeken worden komen in gebied I dat het verst verwijderd is van het Eyerlandse Gat de kleinste stroomsnelheden voor van de drie gebieden. Hoewel in gebied I nog wel enige stroming zal staan wordt dit hier verwaarloosd en het zandtransport wordt uitgerekend met de C.E.R.C. formule. Voor de gebieden II en III is deze berekening zeker niet goed omdat daar de getijstroom overheersend wordt en voor deze gebieden is deze berekening dan ook niet uitgevoerd.

Zandtransportberekening voor gebied I

In tabel 30 (bijlagen 20 t/m 22) is het zandtransport berekend voor gebied I m.b.v. de C.E.R.C. formule. De kustlijn is gesteld op 38° t.o.v. het noorden. Voor de berekening is gebruik gemaakt van de tabellen 21, 22 en 23. De verschillende kolommen in tabel 32 stellen het volgende voor:

- kolom 1: θ = golfrichting op de driemeterlijn t.o.v. het noorden
- kolom 2: T = golfperiode
- kolom 3: H = golfhoogte op de driemeterlijn
- kolom 4: P = kans op voorkomen van een golfklasse, gehaald uit de tabellen 21 t/m 23
- kolom 5: ϕ_{br} = hoek tussen de golfrichting en de lijn die loodrecht op de driemeterlijn staat
- kolom 6: n_{br} = n op de driemeterlijn
- kolom 7: c_{br} = c op de driemeterlijn
- kolom 8: Q = zandtransport in m³/jr

Tabel 30 geeft een totaal zandtransport van $385.000 \text{ m}^3/\text{jr}$.

Casteleyn (lit. 1) vond voor het zandtransport voor raai 28 een waarde van $380.500 \text{ m}^3/\text{jr}$.

Hier is het zandtransport berekend voor gebied I dat van raai 28 tot raai 29 gaat. Het zandtransport is dus eigenlijk uitgerekend voor raai 28,5.

In de periode 1965 - 1975 is er tussen de raaien 28 en 28,5 een erosie opgetreden van gemiddeld $23.000 \text{ m}^3/\text{jr}$. Dit betekent dat ter plaatse van raai 28,5 een zandtransport plaats zou vinden van $380.500 + 23.000 = 403.500 \text{ m}^3/\text{jr}$ volgens Casteleyn. Het berekende zandtransport van $385.000 \text{ m}^3/\text{jr}$ ligt hier wel redelijk bij in de buurt.

Factoren waarmee hier geen rekening is gehouden:

1. zandtransport door stroming
2. voor de brekerlijn is willekeurig de driemeterlijn gekozen, hogere golven breken echter eerder en lagere golven later.

Verder zal hier niet op het zandtransport worden ingegaan omdat dit buiten het kader van dit deelontwerp valt. Alleen zal in het volgende hoofdstuk nog enige aandacht worden geschonken aan de gevoeligheid van deze berekening voor bepaalde factoren.

Storm

Uit de berekening voor de stormtoestand komen de volgende waarden:

$$T = 9 \text{ s} \Rightarrow \lambda_0 = 126,36 \text{ m}$$

$$\theta_0 = 300^\circ$$

$$\text{waterstandsverhoging} = 2,30 \text{ m}$$

Refractieberekening start bij een diepte van $25 + 2,3 = 27,3 \text{ m}$.

$$d_1 = 27,3 \text{ m} \Rightarrow \lambda_1 = 114,43 \text{ m}$$

$$c_1 = 12,71 \text{ s}$$

$$n_1 = 0,65$$

De driemeterlijn nabij de kust heeft nu een waterstand van $5,3 \text{ m}$.

$$d_2 = 5,3 \text{ m} \Rightarrow \lambda_2 = 62,04 \text{ m}$$

$$c_2 = 6,89 \text{ s}$$

$$n_2 = 0,92$$

Hiermee is de verhouding van de golven (H_1/H_0) te berekenen.

Gebied	I	II	III
$\sum_i \sin \phi$	+ 2,27	- 3,46	+ 3,53
$\sum_i \frac{1}{\cos \phi}$	15,19	37,92	29,41
H_1/H_0	1,00	1,59	1,38
ϕ	+ 9	- 5	+ 7
θ	299	317	319

Het verschil met de eerder gemaakte refractieberekeningen was de waterstandsverhoging van 2,30 m. Om te kijken wat de invloed hiervan is zetten we de verkregen resultaten naast elkaar.

Kustvak		stom	eerdere berekeningen	
		$\beta = 300^\circ$	$\beta = 300^\circ$	$\beta = 300^\circ$
		$\Delta d = 2,3 \text{ m}$	$\Delta d = 0$	$\Delta d = 0$
		$T = 9 \text{ s}$	$T = 8 \text{ s}$	$T = 10 \text{ s}$
I	H_1/H_0	1,00	0,99	1,09
II		1,59	1,55	1,98
III		1,38	1,53	1,91
I	θ	299 $^\circ$	298 $^\circ$	298 $^\circ$
II		317 $^\circ$	313 $^\circ$	315 $^\circ$
III		319 $^\circ$	321 $^\circ$	322 $^\circ$

De golfrichting scheelt niet veel en de golfhoogte is alleen voor kustvak III nogal verschillend (20 %).

Een dergelijke storm met een willekeurig gekozen tijdsduur van 12 uur levert in kustvak I een zandtransport op van:

$$Q = \frac{A}{16} \frac{P}{K} H_s^2 n c \sin \phi_{br} \cos \phi_{br} \frac{1}{2} \frac{1}{365} = 7697 \text{ m}^3 \text{ in 12 uur}$$

Tegen een gemiddeld zandtransport van:

$$Q = \frac{385.000}{2 \times 365} = 527 \text{ m}^3 \text{ in 12 uur}$$

Echter als we alleen kijken naar het positieve transport dan komen we tot een gemiddeld zandtransport in 12 uur van:

$$Q = \frac{610.000}{2 \times 365} \times \frac{1}{0,3516} = 2377 \text{ m}^3$$

Hieruit volgt dat het zandtransport voor kustvak I bij storm 3 x zo groot is als het gemiddelde positieve zandtransport.

Het totale zandtransport is opgebouwd uit een positief en een negatief zandtransport. Hier is als het positieve zandtransport genomen het transport dat in noordelijke richting gaat.

V GEVOELIGHEID BEREKENING

In het vorige hoofdstuk is het zandtransport voor gebied I uitgerekend m.b.v. de C.E.R.C. formule. In dit hoofdstuk zal gekeken worden naar de veranderingen in het zandtransport wanneer enige factoren op een andere manier worden benaderd.

Hoek van golfinval

Op diep water zijn de golfgegevens bekend in tabelvorm. Via de refractieberekeningen worden de nieuwe golfgegevens nabij de kust verkregen, die vervolgens weer in tabelvorm worden ondergebracht. Met deze nieuwe tabellen is in het vorige hoofdstuk het zandtransport berekend.

Echter de gegevens die uit de refractieberekening zijn verkregen kunnen ook direct in de zandtransportberekening worden gehaald. Dit geeft als verschil dat voor de golfgegevens (θ , H, T) nu de θ van de refractieberekening wordt gebruikt en niet de $\bar{\theta}$ die de tabel weergeeft.

bijvoorbeeld: $\theta = 310^\circ$ komt in de tabel $285^\circ < \theta < 315^\circ$ ($\bar{\theta} = 300^\circ$)
Nu wordt in de zandtransportberekening de waarde $\theta = 310^\circ$ gebruikt, terwijl in het vorige hoofdstuk hiervoor de waarde van $\bar{\theta} = 300^\circ$ gebruikt werd.

In de berekening van tabel 30 is gebruik gemaakt van de tabellen 21 t/m 23. Deze tabellen geven de golfhoogte en de golfperiode voor de verschillende klassen van golfrichting.

Tabel 9 geeft de resultaten van de refractieberekeningen voor gebied I, hierbij staat de hoek van golfinval (kolom 6). Nu zijn de tabellen 21 t/m 23 ontstaan uit tabel 9 door de verschillende hoeken van golfinval in te delen in verschillende klassen.

Nu wordt het zandtransport uitgerekend in tabel 31 voordat deze bewerking is gebeurd. Dus nu is de hoek van golfinval de waarde uit tabel 9 kolom 6.

Dit geeft een totaal zandtransport van $439.000 \text{ m}^3/\text{jr}$, wat een verschil is van 14 % met de waarde van tabel 30. Dit komt doordat de berekening van het zandtransport m.b.v. de C.E.R.C. formule nogal erg gevoelig is voor de hoek van golfinval. De factor van $\sin \theta$ die in deze formule

voorkomt is vooral voor verschillen bij kleine hoeken gevoelig. Bij andere zandtransportformules is dit waarschijnlijk niet zo gevoelig.

Maximale golfhoogte

De manier waarop de tabellen 21 t/m 23 zijn ontstaan uit de tabellen 12 t/m 14 is nogal subjectief (zie blz. 20). Daar was gesteld dat 9 ‰ van de golven 2,5 m waren en dat de maximaal bereikbare golfhoogte voor de rest van de golven 2 m was.

We kunnen dit ook op een andere manier benaderen:

9 ‰ van de tijd is de waterdiepte groter dan 5 m, een dergelijke waterstand ontstaat alleen bij storm, zodat ervan uitgegaan wordt dat gedurende deze gehele tijd de maximale golfhoogte van 2,5 m bereikt wordt.

De gemiddelde waterstand is 3 m, echter bij vloed 4 m en bij eb 2 m. Wanneer we de tijd van deze drie waterstandsklassen gelijk stellen dan komen we tot de volgende aannamen:

tabellen 12 t/m 14

tabellen 32 t/m 34

	$H_s < 2,25$	9 ‰	$H_s < 1,75$	$1/3 (P_1 - 0,009)$	$H_s < 1,25$	$1/3 (P_1 - 0,009)$	$H_s < 0,75$	$1/3 (P_1 - 0,009)$
$H_s > 2,25$	$P = P_1$		$1/3 P_2$		$1/3 P_2$		$1/3 P_2$	
$1,75 < H_s < 2,25$	$P = P_2$			$2/3 P_3$		$1/3 P_3$		$1/3 P_3$
$1,25 < H_s < 1,75$	$P = P_3$							P_4
$0,75 < H_s < 1,25$	$P = P_4$							

Met deze aannamen zijn de tabellen 32 t/m 34 gemaakt. Met deze tabellen is het zandtransport uitgerekend voor gebied I in tabel 35. Dit geeft een totaal zandtransport van 301.500 m³/jr.

Dit is echter niet direct te vergelijken met de vorige waarden van het zandtransport omdat de maximale golfhoogte hier kleiner is dan bij de vorige berekeningen. Dit betekent dat er meer golven op dieper water breken, waar hier verder niet naar gekeken wordt.

Eigenlijk moet voor het zandtransport met de C.E.R.C. formule voor alle golven de brekerlijn worden bepaald en daarmee moet verder worden gewerkt. Hier echter is steeds uitgegaan van één brekerlijn en wel de driemeterlijn. Dit is natuurlijk niet goed, maar omdat de berekening van het zandtransport eigenlijk buiten het kader van dit deelontwerp valt is in verband met de tijd deze vereenvoudiging gemaakt.

VI RESULTATEN

Golven

De verkregen kansdichtheidsfuncties voor het golfklimaat nabij de kust zijn beschreven in de tabellen 21 t/m 29 voor de drie kustvakken. Daar geen golfgegevens voor dit kustvak bekend zijn kunnen de verkregen tabellen niet worden vergeleken met gemeten waarden. Daarom is het moeilijk een oordeel te geven over het bereikte resultaat.

Zandtransport

Wel is het mogelijk met de verkregen kansdichtheidsfuncties een zandtransport evenwijdig aan de kust te berekenen m.b.v. de C.E.R.C. formule. Hier is namelijk wel een controle mogelijkheid daar de gemiddelde erosie per jaar bekend is. De verkregen resultaten liggen zeer behoorlijk bij de waarde van het zandtransport die het op grond van de erosieberekeningen zou moeten hebben. En hieruit kunnen we indirect wel concluderen dat de verkregen kansdichtheidsfuncties voor de golven wel redelijk zullen zijn.

Opmerkingen over onnauwkeurigheden die in de berekeningen zitten

1. De refractieberekeningen zijn uitgevoerd voor één waterstand, er is geen rekening gehouden met eb en vloed.
2. De refractieberekeningen zijn uitgevoerd zonder dat er aandacht is besteed aan de stroming.
3. De maximale H_s is gesteld gelijk te zijn aan $\frac{1}{2} d$. Hiermee zijn de tabellen 21 t/m 29 verkregen met de aannamen voor de maximale H_s . De manier waarop dit gebeurt is is nogal subjectief (zie blz. 20).
4. Voor de evenredigheidsconstante A die in de C.E.R.C. formule zit is dezelfde waarde genomen die Casteleyn heeft gebruikt, hoewel deze gerekend heeft met evenwijdige dieptelijnen.
5. De driemeterlijn is gekozen als de dieptelijn nabij de kust waarop de golfgegevens zijn uitgerekend. Deze keuze is tamelijk willekeurig. De hogere golven zullen eerder breken de lagere golven later.

Symbolenlijst

- a = evenredigheidsconstante
A = evenredigheidsconstante
Al = evenredigheidsconstante
b = loodrechte afstand tussen twee golfstralen
c = fase-snelheid
 c_g = groepssnelheid
d = waterdiepte
E = totale golfenergie p.e.v. oppervlakte
g = versnelling van de zwaartekracht
 H_s = significante golfhoogte
 H_{rms} = de wortel van het gemiddelde gekwadratreeerde van de individuele golfhoogten
 $H_{1/3}$ = gemiddelde golfhoogte van het derde hoogste deel van de individuele golfhoogten
L = lengte
n = verhouding fasesnelheid / groepssnelheid
P = energietransport per m' golfkam per seconde
Pl = component P evenwijdig aan de kust
Q = het totale zandtransport
S = zandtransport
 S_B = bodemtransport
 T_s = golfperiode van de significante golf
 ρ = soortelijke dichtheid water
 ϕ = hoek van golfinval t.o.v. de loodlijn van de kust
 θ = hoek van golfinval t.o.v. het noorden
 λ_s = golflengte van de significante golf
 Δd = waterstandsverhoging
o = geldend op diep water
br = geldend op de brekerlijn

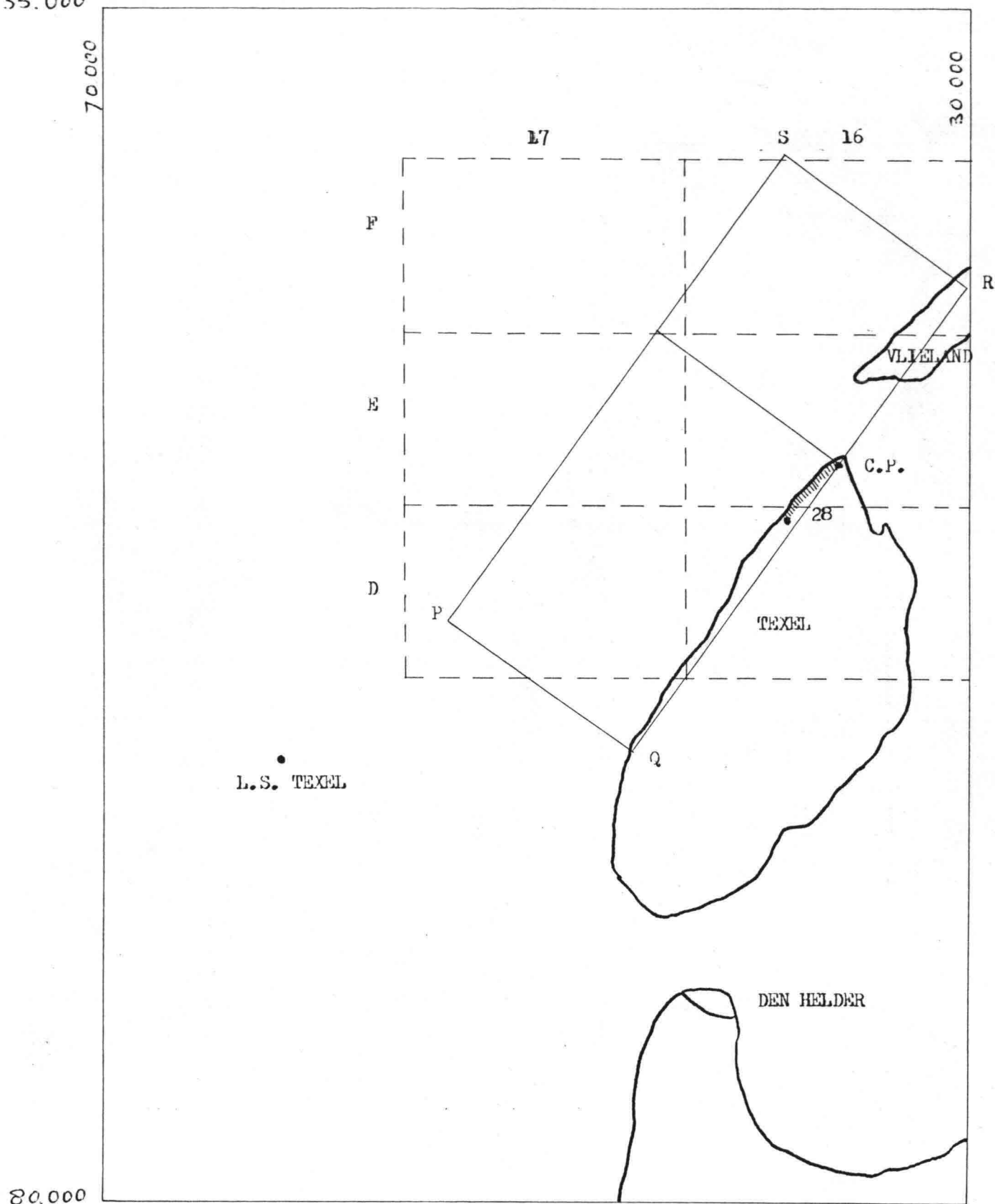
Literatuurlijst

1. Numerieke berekeningen van de veranderingen van kustvormen onder invloed van golfaanval Deel III
(Toetsing van de programmatuur op de kustontwikkeling van het eiland Texel)
J.A. Casteleyn 1975
afstudeerverslag kustwaterbouwkunde
2. Wind and wave data of Netherlands lightvessels since 1949
R. Dorrestein
K.N.M.I. Mededelingen en verhandelingen no. 90
Staatsuitgeverij 1967
3. Tienjarig overzicht der waterhoogten en afvoeren 1951 - 1960
Rijkswaterstaat
Staatsuitgeverij 1964

Lijst van bijlagen

bijlage

1	Situatie-tekening
2	Gebruikte kaarten
3 t/m 30	Tabellen 1 t/m 35
31	Bodemreliëf gebruikt door de computer
32 t/m 56	De 25 refractieberekeningen van de computer
57	Refractieberekening voor stormtoestand



PQRS = rechthoek voor refractieberekening

C.P. = centrumpaal

L.S. = lichtschip Texel $53^{\circ} 04' N.B.$; $4^{\circ} 27' O.L.$

||||||| = kustvak

schaal 1 : 250.000

coördinaten volgens systeem rijkswaterstaat

Gebruikte kaarten

codering	nr.	begrenzinger				jaar van loding
		noord	zuid	west	oost	
1. 16 D	71340	112000	104000	43000	30000	1970 - 1971
2. 16 E	72.2.347	120000	112000	43000	30000	1971
3. 16 F	72.2.351	128000	120000	43000	30000	1971 - 1972
4. 17 D	72.2.356	112000	104000	56000	43000	1971
5. 17 E	72.2.375	120000	112000	56000	43000	1971
6. 17 F	72.2.350	128000	120000	56000	43000	1971

De grenzen van deze kaarten zijn ingetekend in de situatietekening van bijlage 1.

Deze kaarten zijn verkregen van de studiedienst Hoorn van rijkswaterstaat.

De gebruikte codering van de kaarten en het coördinatensysteem is dat van rijkswaterstaat.

De tabellen 1 t/m 8 bevatten golfgegevens van het lichtschip Texel, overgenomen van Dorrestein (lit. 1).

TABEL 1

Golfhoogte per richting, aantal waarnemingen 26296.

golfh.	alle	N	O			Z			W			Calm		
			030	060	090	120	150	180	210	240	270		300	330
H	richt.	360	030	060	090	120	150	180	210	240	270	300	330	Calm
0	60	5	5	2	4	4	4	4	5	4	2	2	2	17
0,5	321	45	37	17	22	17	18	18	40	30	25	16	36	
1	267	40	21	10	13	6	8	10	39	33	28	22	37	
1,5	187	20	10	5	6	3	3	5	29	31	27	20	28	
2	97,1	7	3	3	3	0,3	0,8	2	18	16	18	12	14	
2,5	40,6	3	0,5	0,9	1,2		0,2	0,8	6	6	10	6	6	
3	13,7	1	0,2	0,2				0,3	2	2	3	3	2	
3,5	5,1	0,2						0,1	0,4	0,7	2	1,1	0,6	
4	2,4								0,3	0,2	0,9	0,8	0,2	
4,5	0,6								0,1		0,1	0,2	0,2	
5	0,7								0,1		0,2	0,3	0,1	
5,5	0,4										0,2	0,2		
6	0,3										0,2		0,1	
6,5	0,3											0,2	0,1	
totaal	996,2	121,2	76,7	38,1	49,2	30,3	34,0	40,2	139,9	122,9	116,6	83,8	126,3	17

TABEL 2

Golfhoogte tegen golfperiode, alle richtingen. Aantal waarnemingen 24033.

golfhoogte	alle		golfperioden				
	perioden		5	5-7	7-9	9-11	11
H			5	5-7	7-9	9-11	11
0	54,5	50		4	0,4		0,1
0,5	338,6	269		58	11	0,6	
1	269,6	128		118	21	2	0,6
1,5	180,4	39		108	30	3	0,4
2	93,7	7		52	32	2	0,7
2,5	39,3	0,3		14	22	3	
3	14,1	0,1		2	10	2	
3,5	5,1			0,8	3	1,1	0,2
4	2,8			0,1	2	0,3	0,4
4,5	1,5			0,2	0,6	0,7	
totaal	999,6	493,4		357,1	132,0	14,7	2,4

In de volgende vijf tabellen is de golfhoogte uitgezet tegen de golfperiode per golfrichting.

TABEL 3

golfrichting 230° - 250° aantal waarnemingen 3032

golfhoogte	alle		golfperioden				
	perioden		5	5-7	7-9	9-11	11
H			5	5-7	7-9	9-11	11
0	38	35		3			
0,5	269	230		37	2		
1	272	150		114	8		
1,5	239	57		149	30	3	
2	116	5		64	42	4	1
2,5	43			16	23	4	
3	17			4	7	6	
3,5	6			2	3	1	
4	1					1	
4,5							
totaal	1001	477		389	115	19	1

TABEL 4

golfrichting 260° - 280° aantal waarnemingen 2802

golfhoogte	alle perioden	golfperioden				
		5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	25	24	1			
0,5	230	190	38	2		
1	244	105	118	19	1	1
1,5	222	34	140	46	2	
2	145	6	76	60	3	
2,5	81	1	25	52	3	
3	30		4	24	2	
3,5	12		2	8	2	
4	7			4	1	2
4,5	4		1	1	2	
totaal	1000	360	405	216	16	3

TABEL 5

golfrichting 290° - 310° aantal waarnemingen 2025

golfhoogte	alle perioden	golfperioden				
		5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	29	27	1			
0,5	207	132	58	17		
1	257	76	146	33	2	
1,5	229	24	129	70	6	
2	143	4	69	65	4	1
2,5	67		16	44	7	
3	35		2	29	4	
3,5	13			9	3	1
4	12			11	1	
4,5	8			4	4	
totaal	1000	263	421	282	31	3

TABEL 6

golfrichting 320° - 340° aantal waarnemingen 3094

golfhoogte	alle perioden	golfperioden				
		5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	22	13	8	1		
0,5	279	153	102	23	1	
1	302	74	176	45	5	2
1,5	212	25	127	52	6	2
2	110	6	53	45	4	2
2,5	50		16	27	7	
3	19		4	11	4	
3,5	5			2	3	
4	2			1		1
4,5	1				1	
totaal	1002	271	486	207	31	7

TABEL 7

golfrichting 350° - 010° aantal waarnemingen 2998

golfhoogte	alle perioden	golfperioden				
		5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	44	32	10	2		
0,5	381	197	146	35	3	
1	318	89	170	54	3	2
1,5	163	28	94	35	5	1
2	60	4	27	23	4	2
2,5	24		8	14	2	
3	8			8		
3,5	2			1	1	
4						
4,5						
totaal	1000	350	455	172	18	5

TABEL 8

maximale golfhoogte per jaar

1949	6,5	m
1950	5,5	m
1951	4	m
1952	3,5	m
1953	5,5	m
1954	6	m
1955	8	m
1956	5	m
1957	4	m
1958	7,5	m
1959	4	m
1960	6	m
1961	5,5	m
1962	6,5	m
1963	6	m
gemiddeld	5,6	m

TABEL. 9

GEBIED I

T	θ_0	$\sum(1/\cos \phi)$	$\sum \sin \phi$	H_1/H_0	ϕ	θ
4	240	11,55	+ 5,76	0,70	+ 47	261
4	270	19,60	+ 8,45	0,92	+ 30	278
4	300	19,21	+ 2,78	0,91	+ 8	300
4	330	16,96	- 3,81	0,85	- 13	321
4	360	5,21	- 2,18	0,47	- 28	336
6	240	10,64	+ 5,11	0,75	+ 37	271
6	270	18,73	+ 7,14	1,00	+ 25	283
6	300	20,37	+ 1,38	1,04	+ 4	304
6	330	22,07	- 3,98	1,09	- 11	319
6	360	3,16	- 0,84	0,41	- 16	324
8	240	4,83	+ 2,24	0,58	+ 34	274
8	270	15,21	+ 5,47	1,02	+ 23	285
8	300	14,23	+ 2,46	0,99	+ 10	298
8	330	16,03	- 0,92	1,05	- 3	311
8	360	8,56	- 2,25	0,77	- 16	324
10	240	6,23	+ 1,62	0,76	+ 16	292
10	270	16,18	+ 2,64	1,23	+ 10	298
10	300	12,69	+ 2,12	1,09	+ 10	298
10	330	18,88	- 0,63	1,32	- 2	310
10	360	8,22	- 1,48	0,87	- 11	319
12	240	3,43	+ 1,45	0,61	+ 29	279
12	270	17,18	+ 5,81	1,35	+ 21	287
12	300	13,55	+ 1,33	1,20	+ 6	302
12	330	16,70	- 0,75	1,34	- 3	311
12	360	14,31	- 2,61	1,24	- 11	319

TABEL 10

GEBIED II

T	θ_0	$\sum (1/\cos \phi)$	$\sum \sin \phi$	H_1/H_0	ϕ	θ
4	240	9,43	+ 4,46	0,64	+ 54	258
4	270	16,89	+ 7,83	0,86	+ 34	278
4	300	29,68	- 0,83	1,14	- 2	314
4	330	18,89	- 5,04	0,91	- 16	328
4	360	10,90	- 4,29	0,69	- 26	338
6	240	34,93	+ 2,17	1,38	+ 4	308
6	270	16,32	+ 7,20	0,94	+ 31	281
6	300	26,38	+ 0,02	1,20	+ 0	312
6	330	17,32	- 4,13	0,97	- 14	326
6	360	14,54	- 4,35	0,89	- 18	330
8	240	5,18	+ 2,54	0,60	+ 39	273
8	270	50,10	+ 3,60	1,87	+ 4	308
8	300	34,59	- 0,46	1,55	- 1	313
8	330	21,06	- 3,25	1,21	- 9	321
8	360	5,31	- 1,32	0,61	- 15	327
10	240	11,22	+ 4,28	1,03	+ 25	287
10	270	21,42	+ 6,40	1,42	+ 18	294
10	300	41,44	- 2,42	1,98	- 3	315
10	330	25,76	- 4,22	1,56	- 10	322
10	360	11,71	- 3,31	1,05	- 17	329
12	240	15,08	+ 7,26	1,28	+ 37	275
12	270	15,41	+ 4,76	1,29	+ 19	293
12	300	37,16	+ 1,33	2,01	+ 2	310
12	330	20,67	- 2,19	1,50	- 6	318
12	360	9,70	- 2,21	1,03	- 14	326

TABEL. 11

GEBIED III

T	θ_0	$\sum (1/\cos \phi)$	$\sum \sin \phi$	H_1/H_0	ϕ	θ
4	240	17,92	+ 5,21	0,87	+ 72	254
4	270	20,09	+ 8,10	0,92	+ 27	299
4	300	28,79	+ 2,40	1,10	+ 5	321
4	330	24,83	+ 3,13	1,03	+ 7	319
4	360	19,23	- 3,21	0,90	- 10	336
6	240	27,99	+ 0,49	1,22	+ 1	325
6	270	31,96	+ 2,01	1,30	+ 4	322
6	300	28,12	+ 5,76	1,22	+ 12	314
6	330	12,59	+ 0,53	0,82	+ 2	324
6	360	11,46	+ 1,83	0,78	+ 10	317
8	240	19,34	+ 9,24	1,15	+ 36	290
8	270	16,54	+ 2,41	1,06	+ 8	318
8	300	34,41	+ 2,85	1,53	+ 5	321
8	330	15,25	- 1,01	1,02	- 4	330
8	360	14,04	+ 3,61	0,98	+ 16	310
10	240	21,75	+ 8,86	1,41	+ 27	299
10	270	23,26	+ 2,43	1,46	+ 6	320
10	300	39,59	+ 2,52	1,91	+ 4	322
10	330	9,67	+ 0,30	0,94	+ 2	324
10	360	3,30	+ 1,12	0,55	+ 21	305
12	240	36,52	+14,68	1,96	+ 27	299
12	270	30,37	+ 2,59	1,79	+ 5	321
12	300	36,05	+ 2,65	1,95	+ 4	322
12	330	11,08	- 0,43	1,08	- 2	328
12	360	6,68	- 0,68	0,84	- 6	332

TABEL 12

golfrichting 260° - 280°

GEBIED I

golfoohte	alle perioden	golfoerioden				
		5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	7,61	7,12	0,49			
0,5	79,33	69,08	9,01	1,24		
1	74,53	19,31	46,22	8,88		0,12
1,5	32,57	4,60	24,28	3,69		
2	12,19	0,70	11,12	0,37		
2,5	3,54	0,12	3,42			
3	0,47		0,47			
3,5	0,23		0,23			
4	0,00					
4,5	0,12		0,12			
totaal	210,59	100,93	95,36	14,18	0,00	0,12

TABEL 13

golfrichting 290° - 310°

GEBIED I

golfoohte	alle perioden	golfoerioden				
		5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	2,56	2,27	0,08	0,13		0,08
0,5	20,68	11,10	4,88	4,57	0,13	
1	30,02	6,39	12,28	10,69	0,66	
1,5	32,71	2,02	10,85	17,85	1,62	0,37
2	26,39	0,34	5,80	18,18	1,82	0,25
2,5	17,20		1,35	13,21	2,31	0,33
3	7,28		0,17	6,64	0,47	
3,5	3,41			1,95	1,46	
4	2,37			1,53	0,76	0,08
4,5	1,15			0,46	0,69	
5	0,46				0,46	
5,5	0,59				0,23	0,36
6	0,13				0,13	
totaal	144,95	22,12	35,41	75,21	10,74	1,47

TABEL 14

golfrichting 320° - 340°

GEBIED I

golfooogte	alle		golfoerioden			
	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	49,73	29,50	19,99	0,24		
0,5	83,25	33,60	45,03	4,26	0,36	
1	47,80	9,85	26,52	10,83	0,36	0,24
1,5	23,89	3,92	16,07	2,80	1,10	
2	8,77		6,71	1,70	0,24	0,12
2,5	3,35		2,02	1,09		0,24
3	0,12				0,12	
3,5	0,51		0,51			
totaal	217,42	76,87	116,85	20,92	2,18	0,60

TABEL 15

golfrichting 260° - 280°

GEBIED II

golfooogte	alle		golfoerioden			
	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	7,24	7,12	0,12			
0,5	74,77	69,08	4,45	1,24		
1	42,00	19,31	13,81	8,88		
1,5	24,52	5,30	16,39	2,83		
2	10,25	0,12	8,90	1,23		
2,5	3,05		2,93			0,12
3	0,47		0,47			
3,5	0,23		0,23			
4	0,12		0,12			
totaal	162,65	100,93	47,42	14,18	0,00	0,12

TABEL 16

golfrichting 290° - 310°

GEBIED II

golfooogte	alle perioden	golffperioden				
		5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	2,80	2,27	0,45			0,08
0,5	20,54	11,10	9,44			
1	20,33	6,39	12,28	1,66		
1,5	19,46	2,02	14,05	2,78	0,49	0,12
2	32,15		29,21	2,22	0,72	
2,5	12,52	0,34	5,80	5,89	0,49	
3	21,18		9,24	10,85	1,09	
3,5	9,63		2,14	7,02	0,47	
4	4,39		0,49	3,70	0,12	0,08
4,5	8,76			8,53	0,23	
5	0,71		0,25		0,23	0,23
5,5	3,69			3,57	0,12	
6	0,93			0,93		
6,5	1,17			0,94	0,23	
7	0,42			0,34		0,08
7,5	0,47			0,47		
8	0,00					
8,5	0,12			0,12		
totaal	159,27	22,12	83,35	49,02	4,19	0,59

TABEL 17

golfrichting 320° - 340°

GEBIED II

golfhoogte	alle perioden	golfperioden				
		5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	8,13	5,53	2,23	0,37		
0,5	98,93	54,16	30,67	13,74	0,36	
1	69,20	12,77	42,95	12,75	0,49	0,24
1,5	34,47	3,65	27,51	1,70	1,24	0,37
2	20,42	0,76	10,96	7,67	0,66	0,37
2,5	8,84		2,02	5,69	1,00	0,13
3	5,19		0,51	3,42	1,01	0,25
3,5	1,51			1,39	0,12	
4	1,48			0,25	1,23	
4,5	0,51				0,51	
5	0,72			0,13	0,59	
5,5	0,38				0,38	
6	0,47				0,34	0,13
6,5	0,00					
7	0,38				0,38	
7,5	0,00					
8	0,08				0,08	
8,5	0,00					
9	0,34				0,34	
totaal	251,05	76,87	116,85	47,11	8,73	1,49

TABEL 18

golfrichting 230° - 250°

GEBIED III

golfhoogte	alle		golfperioden			
	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	4,31	4,31				
0,5	28,35	28,35				
1	18,49	18,49				
1,5	7,64	7,64				
totaal	58,79	58,79	0,00	0,00	0,00	0,00

TABEL 19

golfrichting 290° - 310°

GEBIED III

golfhoogte	alle		golfperioden			
	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	3,13	2,81	0,08	0,24		
0,5	32,35	22,24	4,88	4,51	0,72	
1	33,23	12,29	12,28	7,56	1,10	
1,5	12,18	3,98		7,96	0,24	
2	14,84	0,70	10,85	2,80	0,49	
2,5	12,80	0,12	5,80	6,88		
3	5,64		1,35	3,80	0,49	
3,5	1,64		0,17	0,98	0,49	
4	1,23			0,37	0,74	0,12
4,5	0,00					
5	0,12				0,12	
5,5	0,12				0,12	
totaal	117,28	42,14	35,41	35,10	4,51	0,12

TABEL 20

golfrichting 320° - 340°

GEBIED III

golfooogte	alle perioden	golfoerioden				
		5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	10,73	7,80	2,72	0,13		0,08
0,5	97,38	54,43	39,68	3,14	0,13	
1	121,55	26,58	84,51	9,34	0,63	0,49
1,5	48,62	8,59	23,80	14,74	0,88	0,61
2	53,32	1,59	37,74	12,71	0,91	0,37
2,5	33,59		17,30	15,40	0,89	
3	14,46		3,43	9,67	1,36	
3,5	3,87		1,95	1,19	0,73	
4	5,32		0,47	4,30	0,47	0,08
4,5	3,28		0,48	2,44	0,23	0,13
5	0,94			0,12	0,82	
5,5	1,10			0,76	0,34	
6	1,17		0,12	0,93	0,12	
6,5	0,48				0,48	
7	0,65			0,34		0,31
7,5	0,08				0,08	
8	0,00					
8,5	0,34				0,34	
totaal	396,88	98,99	212,20	75,21	8,41	2,07

TABEL 21

golfrichting 260° - 280°

GEBIED I

golfoohte	alle		golfoerioden				
	perioden		5	5-7	7-9	9-11	11
H							
0	7,61	7,12		0,49			
0,5	79,33	69,08		9,01	1,24		
1	74,53	19,31		46,22	8,88		0,12
1,5	32,57	4,60		24,28	3,69		
2	15,54	0,79		14,38	0,37		
2,5	1,01	0,03		0,98			
totaal	210,59	100,93		95,36	14,18	0,00	0,12

TABEL 22

golfrichting 290° - 310°

GEBIED I

golfoohte	alle		golfoerioden				
	perioden		5	5-7	7-9	9-11	11
H							
0	2,56	2,27		0,08	0,13		0,08
0,5	20,68	11,10		4,88	4,57	0,13	
1	30,02	6,39		12,28	10,69	0,66	
1,5	32,71	2,02		10,85	17,85	1,62	0,37
2	51,86	0,34		6,99	36,77	6,91	0,85
2,5	7,12			0,33	5,20	1,42	0,17
totaal	144,95	22,12		35,41	75,21	10,74	1,47

TABEL 23

golfrichting 320° - 340°

GEBIED I

golfoohte	alle		golfoerioden				
	perioden		5	5-7	7-9	9-11	11
H							
0	49,73	29,50		19,99	0,24		
0,5	83,25	33,60		45,03	4,26	0,36	
1	47,80	9,85		26,52	10,83	0,36	0,24
1,5	23,89	3,92		16,07	2,80	1,10	
2	11,88			8,69	2,55	0,33	0,31
2,5	0,87			0,55	0,24	0,03	0,05
totaal	217,42	76,87		116,85	20,92	2,18	0,60

TABEL 24

golfrichting 260° - 280°

GEBIED II

golfhoogte	alle		golfperioden			
	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	7,24	7,12	0,12			
0,5	74,77	69,08	4,45	1,24		
1	42,00	19,31	13,81	8,88		
1,5	24,52	5,30	16,39	2,83		
2	13,73	0,12	12,27	1,23		0,11
2,5	0,39		0,38			0,01
totaal	162,65	100,93	47,42	14,18	0,00	0,12

TABEL 25

golfrichting 290° - 310°

GEBIED II

golfhoogte	alle		golfperioden			
	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	2,80	2,27	0,45			0,08
0,5	20,54	11,10	9,44			
1	20,33	6,39	12,28	1,66		
1,5	19,46	2,02	14,05	2,78	0,49	0,12
2	89,59	0,31	45,29	40,24	3,40	0,35
2,5	6,55	0,03	1,84	4,34	0,30	0,04
totaal	159,29	22,12	83,36	49,02	4,19	0,60

TABEL 26

golfrichting 320° - 340°

GEBIED II

golfhoogte	alle		golfperioden			
	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	8,13	5,53	2,23	0,37		
0,5	98,93	54,16	30,67	13,74	0,36	
1	69,20	12,77	42,95	12,75	0,49	0,24
1,5	34,47	3,65	27,51	1,70	1,24	0,37
2	38,26	0,76	13,23	17,44	6,02	0,81
2,5	2,05		0,26	1,11	0,62	0,06
totaal	251,04	76,87	116,85	47,11	8,73	1,48

TABEL 27

golfrichting 230° - 250°

GEBIED III

golfoohte	alle		golperioden				
	H	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
0		4,31	4,31				
0,5		28,35	28,35				
1		18,49	18,49				
1,5		7,64	7,64				
2		0,00					
2,5		0,00					
totaal		58,79	58,79	0,00	0,00	0,00	0,00

TABEL 28

golfrichting 290° - 310°

GEBIED III

golfoohte	alle		golperioden				
	H	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
0		3,13	2,81	0,08	0,24		
0,5		32,35	22,24	4,88	4,51	0,72	
1		33,23	12,29	12,28	7,56	1,10	
1,5		12,18	3,98		7,96	0,24	
2		34,16	0,81	17,41	13,58	2,25	0,11
2,5		2,23	0,01	0,76	1,25	0,20	0,01
totaal		117,27	42,14	35,40	35,10	4,51	0,12

TABEL 29

golfrichting 320° - 340°

GEBIED III

golfoohte	alle		golperioden				
	H	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
0		10,73	7,80	2,72	0,13		0,08
0,5		97,38	54,43	39,68	3,14	0,13	
1		121,55	26,58	84,51	9,34	0,63	0,49
1,5		48,62	8,59	23,80	14,74	0,88	0,61
2		111,85	1,59	59,04	44,22	6,16	0,84
2,5		6,76		2,46	3,64	0,61	0,05
totaal		396,89	98,99	212,21	75,21	8,41	2,07

TABEL 30

Zandtransport met de C.E.R.C. formule voor gebied 1.

θ	T [s]	H [m]	$P \times 10^{-3}$	ϕ_{br}	n_{br}	c_{br} [m/s]	Q [m ³ /jr]
270	4	0	7,12	+ 38	0,7775	4,7414	
		0,5	69,08				
		1	19,31				
		1,5	4,60				
		2	0,79				
	2,5	0,03	+ 73.463,4				
	6	0	0,49		0,8936	5,1206	
			0,5	9,01			
			1	46,22			
			1,5	24,28			
2			14,38				
2,5			0,98	+ 302.422,2			
8			0,5	1,24			
1,	8,88						
1,5	3,69						
2	0,37	+ 37.089,7					
12	1	0,12		0,9724	5,3493	+ 247,4	
300	4	0	2,27	+ 8	0,7775	4,7414	
		0,5	11,10				
		1	6,39				
		1,5	2,02				
		2	0,34	+ 6.255,2			
	6	0	0,08		0,8936	5,1206	
			0,5	4,88			
			1	12,28			
			1,5	10,85			
			2	6,99			
2,5			0,33	+ 35.001,1			
8			0	0,13			
0,5	4,57						
1	10,69						
1,5	17,85						

θ	T [s]	H [m]	$\rho \times 10^{-3}$	ϕ_{br}	n_{br}	c_{br} [m/s]	Q [m ³ /jr]	
300	8	2	36,77	+ 8	0,9388	5,2537		
		2,5	5,20					+ 128.604,0
	10	0,5	0,13	0,9604	5,3157			
		1	0,66					
		1,5	1,62					
		2	6,91					
		2,5	1,42					+ 23.483,1
	12	0	0,08	0,9724	5,3493			
		1,5	0,37					
		2	0,85					
		2,5	0,17					+ 3.101,2
	330	4	0	29,50	- 22	0,7775	4,7414	
0,5			33,60					
1			9,85					
6		1,5	3,92	0,8936	5,1206			
		0	19,99					
		0,5	45,03					
		1	26,52					
		1,5	16,07					
8		2	8,69	0,9388	5,2537			
		2,5	0,55					- 145.597,2
		0	0,24					
		0,5	4,26					
		1	10,83					
		1,5	2,80					
		2	2,55					
2,5		0,24	- 41.840,3					
10		0,5	0,36	0,9604	5,3157			
		1	0,36					
	1,5	1,10						
	2	0,33						
	2,5	0,03	- 6.421,2					

θ	T [s]	H [m]	$P \times 10^{-3}$	ϕ_{br}	n_{br}	c_{br} [m/s]	Q [m ³ /jr]	
330	12	1	0,24	- 22	0,9724	5,3493		
		2	0,31					
		2,5	0,05				- 2.645,8	
							<hr/>	+
							+ 609.667,3	
							- 224.821,9	
							<hr/>	+
							+ 384.845,4	m ³ /jr

TABEL 31 Zandtransport m.b.v. tabel 9.

θ	T [s]	H [m]	$P \times 10^{-3}$	ϕ_{br}	n_{br}	c_{br} [m/s]	Q [m ³ /jr]	
240	4	0	4,31	+ 47	0,7775	4,7414		
		0,5	46,84					
		1	7,02					
		1,5	0,62					
	6	0	0,37	+ 37	0,8936	5,1206		
		0,5	4,56					
		1	32,41					
		1,5	7,89					
		2	2,55					
		2,5	0,16					
								+ 30.232,2
8	0,5	1,24	+ 34	0,9388	5,2537			
	1	8,88						
	1,5	3,69						
	2	0,37						
10	1	0,37	+ 16	0,9604	5,3157			
	1,5	0,49						
	2	1,26						
	2,5	0,21						
12	1,	0,12	+ 29	0,9724	5,3493			
270	4	0	2,81	+ 30	0,7775	4,7414		
		0,5	22,24					
		1	12,29					
		1,5	3,98					
	6	2	0,79		0,8936	5,1206		
		2,5	0,03					
								+ 39.323,1
		0	0,12	+ 25				
		0,5	4,45					
		1	13,81					
		1,5	16,39					
2	11,83							
				+ 149.265,5				

θ	τ [s]	H [m]	$P \times 10^{-3}$	ϕ_{br}	n_{br}	c_{br} [m/s]	Q [m ³ /jr]
270	8	0,5	0,23	+ 23	0,9388	5,2537	
		1	2,22				
		1,5	5,38				
		2	15,17				
		2,5	2,28				+ 129.440,7
	10	1	0,12	+ 10	0,9604	5,3157	
		2	1,41				
		2,5	0,33				+ 5.579,5
	12	1,5	0,12	+ 21	0,9724	5,3493	
		2	0,18				
2,5		0,05		+ 1.851,9			
300	4	0	2,27	+ 8	0,7775	4,7414	
		0,5	11,10				
		1	6,39				
		1,5	2,02				
		2	0,34				+ 6.255,2
	6	0	0,08	+ 4	0,8936	5,1206	
		0,5	4,88				
		1	12,28				
		1,5	10,85				
		2	6,99				
	8	0,5	1,43	+ 10	0,9388	5,2537	
		1	2,78				
		1,5	5,89				
		2	11,85				
		2,5	1,79				+ 51.666,3
10	1	0,17	+ 10	0,9604	5,3157		
	1,5	0,50					
	2	1,59					
	2,5	0,35				+ 7.020,3	
12	0	0,08	+ 6	0,9724	5,3493		
	2	0,12					
	2,5	0,04				+ 322,5	

θ	T [s]	H [m]	$P \times 10^{-3}$	ϕ_{br}	n_{br}	c_{br} [m/s]	Q [m ³ /jr]
330	4	0	1,64	- 13	0,7775	4,7414	
		0,5	19,36				
		1	9,36				
		1,5	3,92	-			15.196,4
	6	0	1,01	- 11	0,8936	5,1206	
		0,5	12,91				
		1	22,27				
		1,5	16,07				
		2	8,69				
		2,5	0,55	-			69.917,3
	8	0	0,13	- 3	0,9388	5,2537	
		0,5	2,91				
1		5,69					
1,5		6,58					
2		9,75					
2,5		1,13	-	14.170,2			
10	0,5	0,13	- 2	0,9604	5,3157		
	1,5	0,63					
	2	2,65					
	2,5	0,53	-			2.234,9	
12	1,5	0,25	- 3	0,9724	5,3493		
	2	0,55					
	2,5	0,08	-			724,6	
360	4	0	27,86	- 28	0,7775	5,3493	
		0,5	14,24				
		1	0,49	-			5.056,2
	6	0	18,98	- 16	0,8936	5,1206	
		0,5	32,12				
		1	4,25	-			12.163,5
	8	0	0,24	- 16	0,9388	5,2537	
		0,5	4,26				
		1	10,83				
		1,5	2,80				
		2,5	0,24	-			31.917,8

θ	T [s]	H [m]	$P \times 10^{-3}$	ϕ_{br}	n_{br}	c_{br} [m/s]	Q [m ³ /jr]
360	10	0,5	0,36	- 11	0,9604	5,3157	
		1	0,36				
		1,5	1,10				
		2	0,33				
		2,5	0,03				- 3.462,8
12	1	0,24	- 11	0,9724	5,3493		
	2	0,31					
	2,5	0,05					- 1.426,8
							<hr/>
							+ 595.237,6
							- 156.270,5
							<hr/>
							+ 438.967,1 m ³ /jr

TABEL 32

golfrichting 260° - 280°

GEBIED I

golfhoogte	alle		golfperioden			
	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	7,61	7,12	0,49			
0,5	79,33	69,08	9,01	1,24		
1	90,57	21,11	59,11	10,23		0,12
1,5	26,89	3,33	20,98	2,58		
2	5,17	0,26	4,79	0,12		
2,5	1,01	0,03	0,98			
totaal	210,58	100,93	95,36	14,17	0,00	0,12

TABEL 33

golfrichting 290° - 310°

GEBIED I

golfhoogte	alle		golfperioden			
	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	2,56	2,27	0,08	0,13		0,08
0,5	20,68	11,10	4,88	4,57	0,13	
1	58,21	7,18	18,23	28,89	3,50	0,41
1,5	39,09	1,46	9,56	24,16	3,38	0,53
2	17,28	0,11	2,33	12,26	2,30	0,28
2,5	7,12		0,33	5,20	1,42	0,17
totaal	144,94	22,12	35,41	75,21	10,73	1,47

TABEL 34

golfrichting 320° - 340°

GEBIED I

golfhoogte	alle		golfperioden			
	perioden	5	5-7	7-9	9-11	11
H						
0	49,73	29,50	19,99	0,24		
0,5	83,25	33,60	45,03	4,26	0,36	
1	59,72	11,16	34,77	12,61	0,84	0,34
1,5	19,88	2,61	13,61	2,72	0,84	0,10
2	3,96		2,90	0,85	0,11	0,10
2,5	0,87		0,55	0,24	0,03	0,05
totaal	217,41	76,87	116,85	20,92	2,18	0,59

TABEL 35

θ	T [s]	H [m]	P $\times 10^{-3}$	ϕ_{br}	n_{br}	c_{br} [m/s]	Q [m ³ /jr]	
270	4	0	7,12	+ 38	0,7775	4,7414		
		0,5	69,08					
		1	21,11					
		1,5	3,33					
		2	0,26					
		2,5	0,03				+ 68.820,6	
	6	0	0,49		0,8936	5,1206		
		0,5	9,01					
		1	59,11					
		1,5	20,98					
		2	4,79					
		2,5	0,98	+ 242.762,1				
8	0,5	1,24		0,9388	5,2537			
	1	10,23						
	1,5	2,58						
	2	0,12	+ 32.891,5					
	12	1	0,12			0,9724	5,3493	+ 247,4
	300	4	0			2,27	+ 8	0,7775
0,5			11,10					
1			7,18					
1,5			1,46					
2			0,11	+ 5.678,3				
2,5			0,33					
6		0	0,08		0,8936	5,1206		
		0,5	4,88					
		1	18,23					
		1,5	9,56					
		2	2,33					
		2,5	0,33	+ 26.967,6				
8	0	0,13		0,9388	5,2537			
	0,5	4,57						
	1	28,89						
	1,5	24,16						

θ	T [s]	H [m]	$P \times 10^{-3}$	ϕ_{br}	n_{br}	c_{br} [m/s]	Q [m ³ /jr]		
300	8	2	12,26	+ 8	0,9388	5,2537	+	92.149,7	
		2,5	5,20						
	10	0,5	0,13		0,9604	5,3157			
		1	3,50						
		1,5	3,38						
		2	2,30						
		2,5	1,42						+
	12	0	0,08		0,9724	5,3493			
		0,5	0,00						
		1	0,41						
		1,5	0,53						
		2	0,28						
2,5		0,17	+						2.216,8
330	4	0	29,50	- 22	0,7775	4,7414			
		0,5	33,60						
		1	11,16						
		1,5	2,61						-
	6	0	19,99		0,8936	5,1206			
		0,5	45,03						
		1	34,77						
		1,5	13,61						
		2	2,90						
	8	0	0,24		0,9388	5,2537			
			0,5						4,26
		1	12,61						
1,5			2,72						
2			0,85						
2,5			0,24						

θ	T [s]	H [m]	$P \times 10^{-3}$	ϕ_{br}	n_{br}	c_{br} [m/s]	Q [m ³ /jr]
330	10	0,5	0,36	- 22	0,9604	5,3157	
		1	0,84				
		1,5	0,84				
		2	0,11				
		2,5	0,03				- 4.994,3
12	1	1	0,34		0,9724	5,3493	
		1,5	0,10				
		2	0,10				
		2,5	0,05				- 1.885,6
							<hr/>
							+ 488.526,1
							- 187.097,4
							<hr/>
							+ 301.428,7 m ³ /jr

