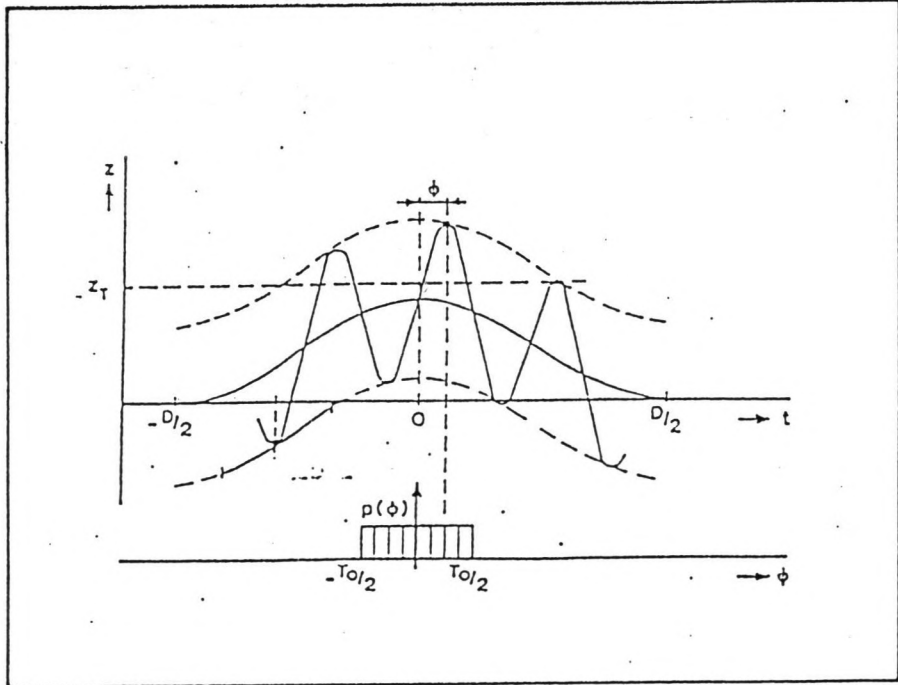


Probabilistische veiligheids beschouwing Afsluitdijk.

H. Yap.



TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT.
AFDELING WATERBOUWKUNDE.
SECTIE KUSTWATERBOUW.
AFSTUDEER RICHTING KONSTRUKTIEF WATERBOUWKUNDE.

PROBABILISTISCHE VEILIGHEIDS BESCHOUWING
VOOR DE AFSLUITDIJK AAN HET FRIESE WAD.

AFSTUDEER HOGLERAAR : PROF. DR. IR E.W. BIJKER.
AFSTUDEER BEGELEIDER : DRS. IR. J.K. VRIJLING.

H.H.YAP
Oktober 1988.
Delft.

	Inleiding.	1.
1.0	Deterministische onderzoeken.	3.
1.1	Resultaten voorgaande onderzoeken.	13.
1.2	Het astronomisch getij.	13.
1.3	Windopzet op de Noordzee.	17.
1.4	Locatie coördinaten Noordzee model volgens Weenink	18.
1.5.a	Windopzet t.g.v een homogeen windveld in het noordelijk vak.	19.
1.5.b	Windopzet t.g.v een homogeen windveld in het zuidelijk vak en in de vakken I,II,III.	20.
1.5.c	Totaal windopzet kanaal vak.	22.
1.6	Benadering windopzet in de Noordzee volgens Weenink	23.
1.7	Grenstoestand.	29.
1.8	Benaderings methode voor de berekening van H(significant)	30.
1.9	Buiooscillaties en buistoten.	32.
1.10	Deining in de Waddenzee.	34.
1.11	Relatieve bodemdaling.	35.
1.12	Stormvloed waarnemingen.	36.
2.0	Probabilistiek. (Inleiding)	38.
2.1	De soorten variabelen.	39.
2.2	Niveau's in de probabilistische sterkte berekening.	40.
2.3	Verdeling en dichtheids functie van een variabele.	42.
2.4	De verdeling en dichtheids functie	

voor twee variabelen.

44.

2.5	De verdeling en dichtheids funktie voor n variabel	45.
2.6	Moment en verwachtings waarden.	47.
2.7	Resultaten data verwerking hoogwater en stormvloed standen te Den Helder en Harlingen.	49.
2.8	Verdeling van de duur van de windopzet.	51.
2.9	Kansdichtheids funktie fase verschuiving.	53.
2.10	Kansdichtheids funktie windopzetsnelheid.	54.
2.11	Maximale windopzet in het FrieseWad.	57.
3.0	Veiligheids beschouwing.	58.
3.1	Berekenings resultaten.	60.
3.2	Relatie overschrijdingskans - Kruinhoogte.	63.
4.0	Conclusie.	64.
5.0	Literatuur lijst.	65.
6.0	Bijlagen.	67 t/m 72.

=== % ===

Inleiding.

In het verleden richtte men zich voor het vaststellen van ontwerppeilen voor kunstwerken waarmee de verdediging tegen stormvloeden werd beoogd, geheel naar de hoogten van de stormvloed standen zoals die uit de waarnemingen bekend waren.

Na de introductie van de probabilistische norm door de Delta commissie ten aanzien van de veiligheid van primaire Nederlandsche zeekeringen is deze werkwijze verlaten. Tegenwoordig neemt men als richtsnoer voor het vaststellen van ontwerp-peilen stormvloed hoogten met een vooraf bepaalde aanvaardbare kans van overschrijden.

De Delta Commissie heeft bijvoorbeeld de overschrijdingskans van de ontwerpwaterstand voor de afsluitdijk op $7.E-4$ /jaar gesteld. (zie lit.5 deel 4)

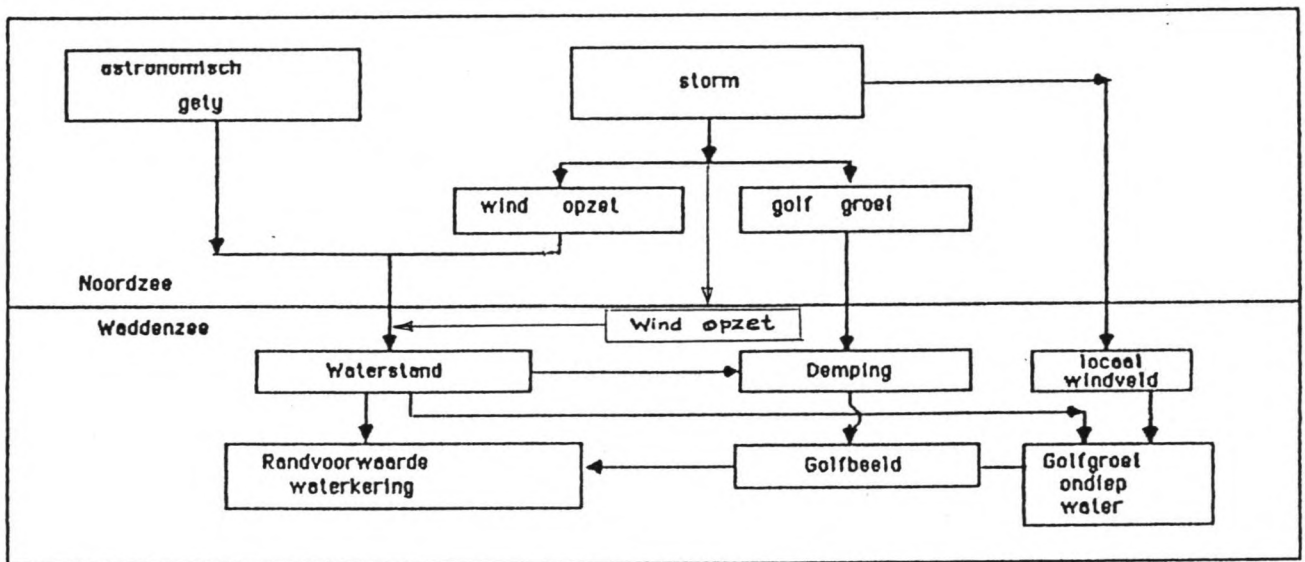
Aan een dergelijke eis kan niet worden voldaan door een eenvoudige raadpleging van de waarnemings cijfers zondermeer, doordat de waterstanden die bij de gekozen overschrijdings kans horen aanzienlijk hoger liggen dan de in het verleden gemeten stormvloed hoogten.

Met de beslissing die in Nederland is genomen om alle dijken op delta hoogte te brengen is in dit werk de probabilistische veiligheid van de Afsluitdijk beschouwd.

De totale veiligheid voor de Afsluitdijk is zoals door de Delta commissie is aangegeven niet alleen een functie van de constructieve probabilistische veiligheid, maar is tevens een functie van een economische analyse.

Om de vereiste veiligheid te kunnen garanderen is inzicht hard nodig in de samenhang van de belasting en weerstands factoren en van de waterstand en golfregime van de beschouwde omgeving.

In dit rapport is bij de veiligheids beschouwing van de Afsluitdijk gebruik gemaakt van de fysische relatie die in figuur 1 is afgebeeld.



figuur 1.
schema fysische relatie.

In het hoofdstuk 1 komen de deterministische onderzoeken die in het verleden zijn verricht aan de orde met de bijbehorende reken methoden.

In de hoofdstukken 2 en 3 zijn de probabilistische beschouwingen en resultaten weergegeven. In de bijlagen 3 t/m 6 is een berekening uitgevoerd ten behoeve van de verklaring dat het verantwoord is om de astronomisch getij hoogten beneden het niveau N.A.P. + 1 m te verwaarlozen doordat ze geen bijdrage leveren aan de totale

bezwijkansen.

De conclusies staan in hoofdstuk 4. De geraadpleegde literatuur en de bijlagen zijn in de hoofdstukken 5 en 6 te vinden.

1.0 Deterministische onderzoeken.

Vijf jaar na de stormvloed van 14 Januari 1916 werd in Nederland een stormvloed waarschuwings netwerk in het leven geroepen om de Nederlandse kustgebieden tijdig te kunnen waarschuwen voor een naderend gevaar voor overstroming bij stormvloeden.

In de periode daarvoor moesten de beheerders van de zeedijken en dat waren toen even als nu vooral de waterschappen, vertrouwen op hun eigen intuïtie en vakkennis om uit te maken of het weer aanleiding gaf maatregelen te nemen om de dijken te beschermen.

In de wetenschappelijke wereld werd in die zelfde periode een aanvang gemaakt door Engelenburg en later door Ortt (lit.15 en 16) met de studie naar de oorzaken van deze stormvloeden. Men heeft in die tijd al snel onderkend dat deze stormvloeden veroorzaakt worden door de werking van de wind op zee. Het bewijs dat de wind direct van invloed is op de toename van de golfhoogte op zee (de windopzet / windsetup / evenwichtseffect) werd omstreeks de eeuw wisseling door Engelenburg geleverd.

Het bewijs werd gegeven door het verschil te tonen tussen de gemiddelde standen van de hoog en laagwater bij verschillende waarden voor luchtdruk en windrichting.

In de onderzoeken die daarna volgden werd het kwadratisch verband tussen de windsnelheid en de verhoging van de

zeespiegel vastgelegd.

Bij de studies naar de invloeden van de windsnelheden op de zeewater niveau veranderingen worden de benodigde snelheden van uit de windkracht registraties afgeleid.

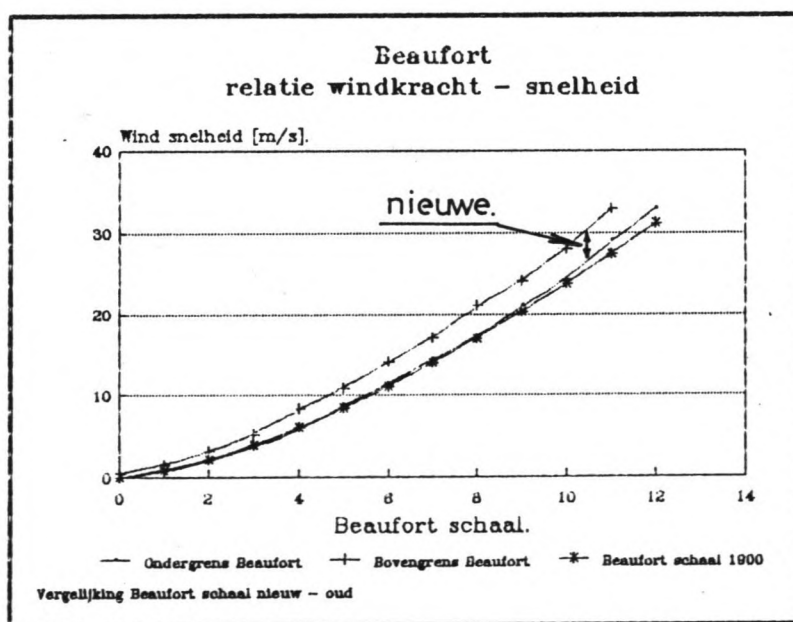
De eenheid die men tot nu toe heeft gebruik om de windkracht aan te duiden is de windschaal van Beaufort die in 1805 is ontworpen. De relatie tussen de windsnelheid en de windkracht heeft men in het verleden o.a in de volgende vorm vastgelegd :

$$V = 0.75 * B^{1.5}. \quad (1.0.1)$$

V : is de windsnelheid. [m/s]

B : is de windkracht (Beaufort).

Een vergelijking tussen de huidige formulering voor de Beaufort eenheid (zie lit.8) en de formulering zoals in 1.0.1 is in figuur 2 weergegeven.



figuur 2.

Vergelijking oude en nieuwe Beaufort schaal.

Uiteindelijk waren de onderzoekers in die tijd tot de conclusie gekomen dat de stormvloedhoogte in feite een superpositie is van twee componenten, namelijk een deel dat door de astronomische invloeden (het getij) wordt veroorzaakt een andere deel door meteorologische invloeden (de wind).

De zo juist genoemde astronomische effecten werd door Van der Stok in dezelfde periode als Engelenburg omstreeks de eeuw wisseling als superpositie van harmonische getijden geformuleerd (zie lit. 14).

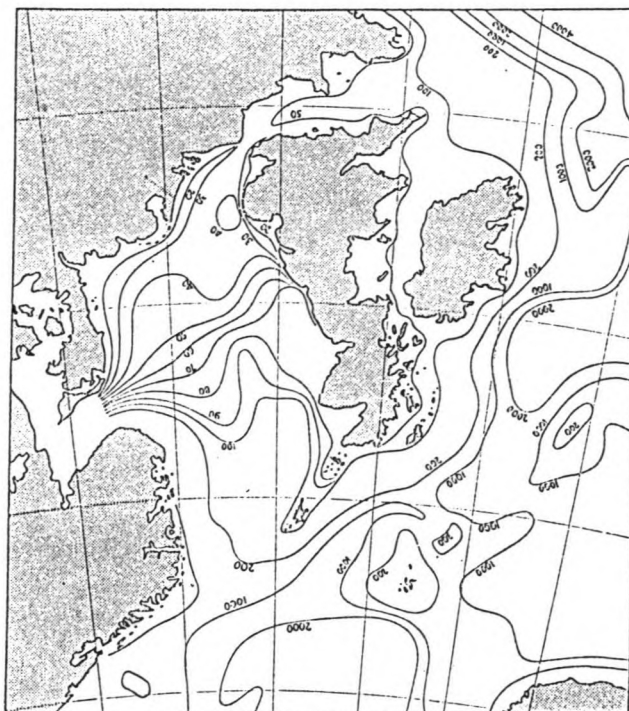
Zijn formulering luidt als volgt :

$$S = \sum_n S_n \cos (\omega_n \cdot t - A_n) \quad (1.0.2).$$

S_n, ω_n, A_n zijn individuele golf karakteristieken.

De studie naar de oorzaken van stormvloeden betekende tevens een studie naar de windopzet op zee, onder de laatste verstaat men de studies naar de zeewaterstand toename op zee die uitsluitend veroorzaakt is door de wind. De studie naar de randvoorwaarden voor dit verschijnsel op de Noordzee betekent tevens een studie naar de invloed van de bodem topografie op de windopzet.

Bij de bestudering van de windopzet hebben onderzoekers in het verleden de Noordzee als een bassin beschouwd met een geleidelijk bodem verloop en een lek ter hoogte van calais. Ter illustratie is de kaart van de Noordzee met de bijbehorende diepte lijnen in figuur 3 weergegeven.



figuur 3.

De Noordzee met de bijbehorende diepte-lijnen.

Door de vertraging ten gevolge van de grote weerstand in de nauwe opening ter hoogte van Calais kan de Noordzee bij storm weer tijdelijk als een gesloten zee-arm reageren.

De hogere waterstanden in de Noordzee worden tevens veroorzaakt door afstands invloeden zoals die uit de Atlantische oceaan komen.

Van belang voor de Noordzee is de invloed van een zuidwest wind boven de Atlantische oceaan die het water door de onstane water stroming onder invloed van de Coriolis krachten de Noordzee in laat stromen. Voor de overige windrichtingen boven de Atlantische oceaan is de invloed van dit 'opvullen' van de Noordzee te verwaarlozen.

De extreem hoge stormvloed niveau voor Nederland kunnen alleen ontstaan wanneer de twee genoemde invloeden in fase

zijn met elkaar, dus bij een gezamenlijke optreden van een Zuidwest wind boven een groot deel van de Atlantische oceaan en een noordwest storm boven de Noordzee .

Onderzoek heeft aangetoond dat eilanden voor de kust, en de vorm van de kust geen invloed hebben op de zeewaterpeil verhoging. (lit 8).

Wanneer we er nu van uit gaan dat de wind een zekere energie bezit dan wordt verondersteld dat een deel van de energie die aan het water is overgedragen via oppervlakte wrijving, wordt gebruikt om het waterpeil buiten het astronomisch evenwicht te brengen en voor een bepaalde duur op de gewijzigde peil te houden. Deze gewijzigde waterpeil heeft een zekere maximum die we de windopzet niveau noemen.

Volgens bovenstaande redenering zal het waterpeil bij een langdurig en constante energie overdracht het evenwichtseffect / windopzet peil als limiet hebben.

Dit komt overeen met de definitie van het evenwichtseffect, nl. dat het evenwichtseffect (windopzet) een evenwicht is dat bereikt wordt bij de veronderstelling dat de op dat moment heersende wind in de voorgaande perioden altijd al geheerst zou hebben gehad.(het zee niveau bij een stationaire windsnelheid).

De tijd die de Noordzee nodig heeft om van uit een normaal getij evenwicht de maximale windopzet te bereiken, word de " time lag " genoemd.

Om de time lag te kunnen berekenen moest men eerst uit de gemeten getij bewegingen alle dynamische invloeden zoals getij en barometrische invloeden, de opstuwings invloed door de Atlantische oceaan en Noordzee oscillaties elimineren.

Uit het onderzoeken van de waarnemings reeksen voor dit verschijnsel bleek dat voor de Nederlandse kust de time lag ca 5 uur bedraagt. De time lag komt later aan de orde bij het bepalen van de significante windopzet duur.

Gezien de onderzoek methoden in die periode voor de tijd van

Lorentz, mogen we aannemen dat de verkregen resultaten het gemiddelde beschrijft van een groot aantal algemene geregistreerde gevallen die men in die tijd in bezit had. Voor de waarschuwings dienst voor stormvloeden die in 1921 is opgezet ligt de nadruk daaren tegen meer op de bestudering van de individuele gevallen. Waar het deze dienst voornamelijk om gaat is het om de mogelijkheid te hebben voorspellingen te kunnen plegen ten aanzien van de te verwachten stormvloedhoogte bij een gegeven storm boven de noordzee. Met een dergelijke wens is fundamenteel onderzoek onvermijdelijk.

Toen in Nederland het besluit was genomen om de Afsluitdijk te bouwen, werd onder leiding van Lorentz een onderzoek gestart in de jaren '20 voor het noordelijk deel van de Nederlandse Noordzeekust.

Ondanks de ingewikkelde vorm van de bewegingsvergelijkingen die men in die tijd had, heeft men onder leiding van Lorentz de bewegingsvergelijkingen weten te vereenvoudigen door ze te lineariseren en dat men daarmee goede resultaten heeft weten te bereiken. Een vereiste voor die goede resultaten was o.a. de goede inzicht van en invloed van de bodem topografie.

De invloed van de Noordzee bodem op de windopzet is later nauwkeurig door Schalkwijk in 1947 en later door Weenink in 1958 onderzocht en gepubliceerd.

Onderzoek resultaten omstreeks 1940, in de tijd van Schalkwijk gaven aan dat :

1. Een stormvloed hoogte uit twee componenten is opgebouwd n.l. uit een meteorologisch (wind opzet) en een astronomisch (getij) component. (zie linker helft figuur 1).

2. Afgezien van de dynamische invloeden zoals oscillaties in de Noordzee, zal de vertraging ca 5 uur zijn tussen het tijdstip na dat de wind een bepaalde constante snelheid heeft en de maximale windopzet.
3. De relatie tussen de windsnelheid en de windopzet is bij benadering kwadratisch. (zie lit.8).
4. De meest effectieve windrichting voor een maximale zeewaterspiegel verhoging voor Nederland is de Noordwest richting. Bij deze windrichting gedraagt de Noordzee zich bijna als een gesloten zeearm. (zie lit.5).
5. De windeffect in het zuidelijk deel van de Noordzee is bij benadering toe te schrijven aan de werking van de gemiddelde windsnelheid over de gehele Noordzee.
(zie lit.8)

In dit werk zullen voor de windopzet benaderingen in de Noordzee de formule van Weenink worden toegepast en voor het deel van de Waddenzee de relatie door de onderzoekers Verploegh en Groen. (zie lit. 10).



figuur 4.
Noordzee model na Schalkwijk.

Weenink heeft in zijn studie op de golfopzet naast de dynamische invloeden de invloed van de opening ter hoogte van Calais op de grootte van de windopzet in rekening gebracht. Verder is voor het Noordzee model aangenomen dat de randvoorwaarde langs de Noordelijk rand van het model op een "nul" stand gehouden zal worden door de Atlantische Oceaan. Door deze aanname is een verhoging of verlaging van de zeespiegel op een willekeurige plaats in de Noordzee te berekenen als de som van :

- 1 : een deel dat slechts afhankelijk is van de wind schuifspanningsveld (het statisch effect).

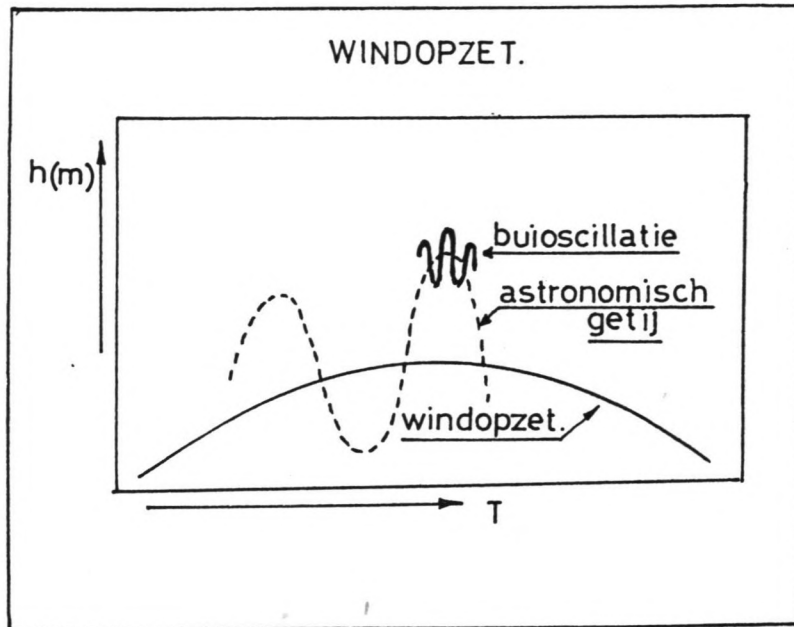
- 2 : en een deel dat afhankelijk is van de stroomveld .
(het stroomeffect).
(zie lit.9).

Weenink heeft met behulp van zijn resultaten aangetoond dat het stroom-transport berekend kan worden uit de windschuifspannings veld in combinatie met een geschikte rand voorwaarde. (m.b.t. het kanaalvak zie lit.5).

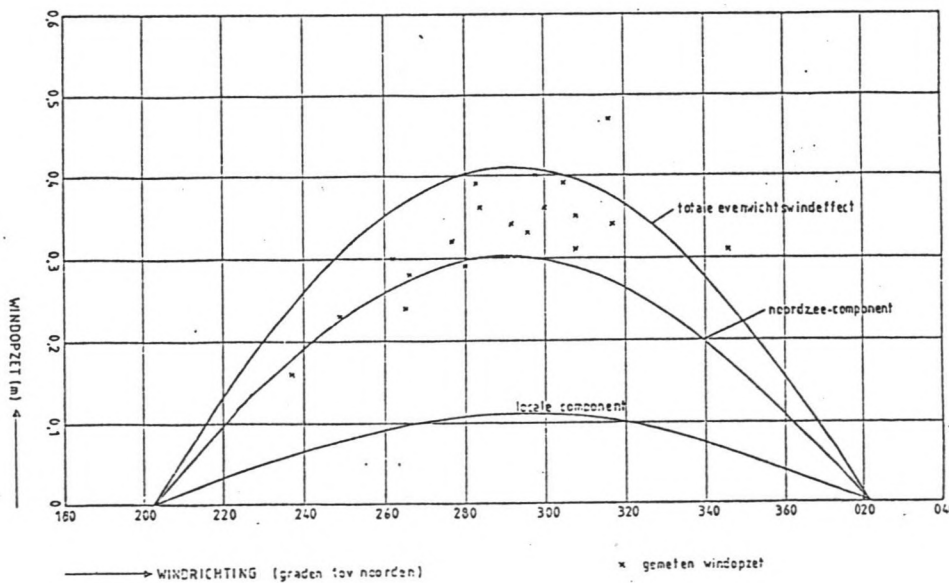
Vanwege het lineariseren van de bewegings vergelijking kon Weenink de stroomfunctie Φ als superpositie samenstellen uit stroomvelden die door verschillende factoren teweeg worden gebracht.

Door het splitsen van de stroomfunctie zijn drie lineaire stroom subfuncties ontstaan, t.w de rotatie stroom, de bodemhelling stroom en de lekstroom funktie.

In figuur 5 is de windopzet schetsmatig aangegeven, en in figuur 6 zijn de gemeten en berekenings resultaten te Holwerd voor de windopzet als funktie van de windrichting weergegeven. (zie lit.4)



figuur 5.
de Wind opzet



figuur 6.
Evenwichtswindopzet te Holwerd t.g.v een snelheid van 10m/s

1.1. Resultaten voorgaande onderzoeken.

Uit de publicaties van de onderzoeks resultaten is af te leiden dat de onderzoekers het eens zijn met de mening dat extreem hoge zee waterstanden alleen zullen voorkomen bij een gunstig samen spel van onderstaande grootheden :

- 1 : Windsnelheid.
- 2 : Windrichting.
- 3 : Atmosferische druk invloeden.
- 4 : Astronomisch getij.
- 5 : Afstands invloeden.(invloed van uit de Atlantische oceaan, bijv. de deining.)

Voor de diepte van de Noordzee en Waddenzee zijn constante waarden aangenomen en werden de termen die betrekking hebben op de dynamica zoals zee oscillaties en de reactie traagheid buiten beschouwing gelaten.

Verder is verondersteld dat de afstands invloeden in de randvoorwaarden voor de Noordelijke grens van het Noordzee model zijn opgenomen.

1.2 Het astronomisch getij.

Het astronomisch getij die door de aantrekkings krachten der hemel lichamen zijn veroorzaakt worden voornamelijk bepaald door de aantrekkings krachten van de zon en de maan.

De invloed van de overige planeten op het getij is verwaarloosbaar klein. Deze krachten kan samengesteld gedacht worden uit vele componenten, ieder met een eigen frequentie.

Deze frequenties zijn gerelateerd aan de periodiciteit in de verschillende soorten bewegingen die de aarde, maan, en zon ten opzichte van elkaar uitvoeren. Door de invloed van de aantrekkings krachten van de maan en de zon zal het getij op aarde zowel enkel als twee maal daagse componenten bevatten. De aantrekkings krachten nemen evenredig toe met de massa maar verminderd met het kwadraat van de afstand.

Ondanks dat de zon ca 25 miljoen keer groter is dan de maan zal door de relatief kleine afstand tussen de maan en aarde de maan twee keer meer invloed geven op de aarde dan de zon. Het getij in de Noordzee ontstaat in de atlantische oceaan en plant zich voort met een gemiddelde snelheid van ca 200 m/s. Ten gevolge van deze getij voortplanting en het feit dat de rotatie as van de aarde onder een hoek staat t.o.v. de verbindinglijn van de centra van de aarde en de maan, zal op aarde plaatsen zijn waar twee maal per dag hoog en laagwater worden waargenomen, en plaatsen met name op de hogere breedten, met maar één maal per dag hoog en laagwater.

Aan de Nederlandse Noordzee kust is de twee maal daags getij component maatgevend, voor de plaatsen aan de waddenzee is door de demping t.g.v de noordelijke eilanden en de relatief ondiepe bodem deze invloed onzichtbaar geworden. (vergelijk figuur 7a en 7b).

Voor dit werk is het mogelijk om met behulp van de getij vorm zoals in figuur 7b , het astronomisch getij op een bepaald tijdstip in een bepaald punt aan de Friese Waddenkust op de volgende wijze te formuleren :

$$a(t) = \frac{a_{HW} + a_{LW}}{2} + \frac{a_{HW} - a_L}{2} * \sin \left(\frac{2.\Pi}{T_0} * t \right).$$

(1.2.1)

waarin :

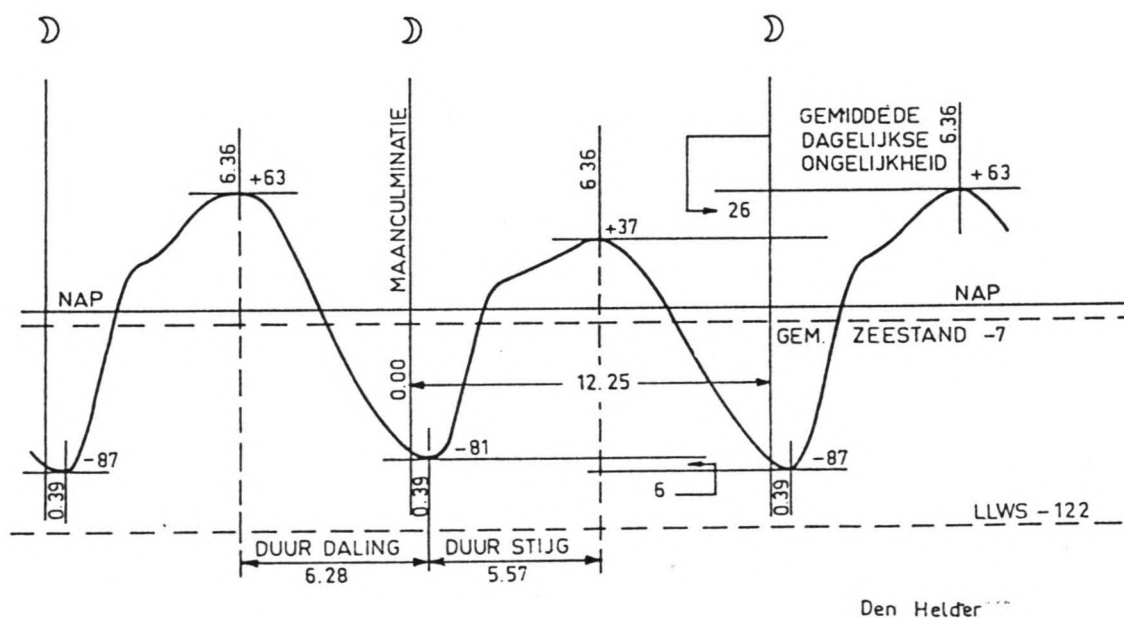
$a(t)$: het astronomisch getij op tijdstip t
 [m t.o.v. N.A.P.].

a_{HW} : het astronomisch hoogwater.
 [m t.o.v. N.A.P.]

a_{LW} : het astronomisch laag water
 [m t.o.v. N.A.P].

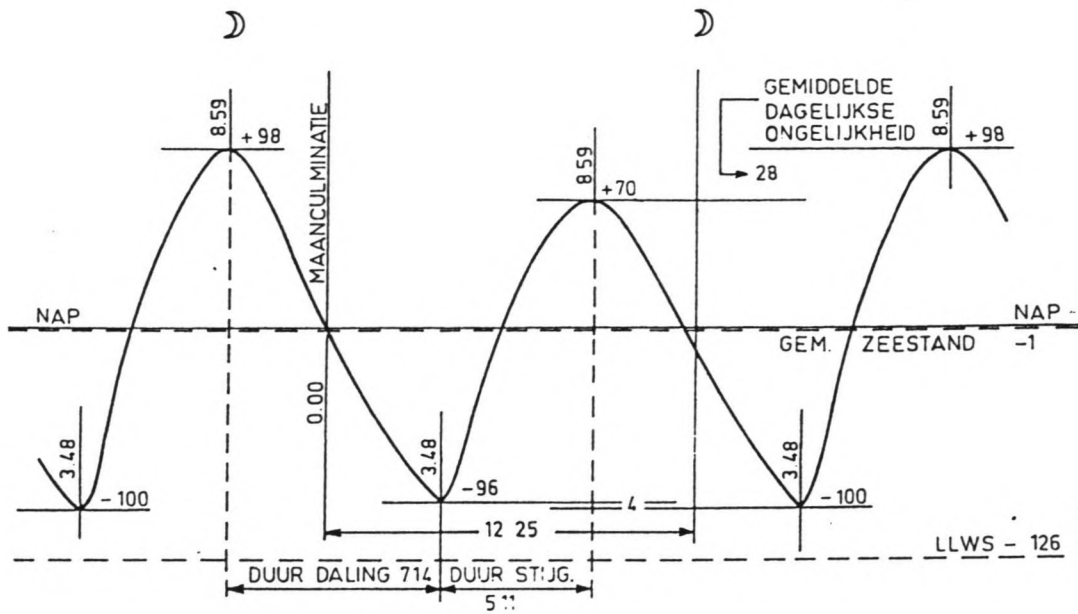
T : de getij periode
 (is gelijk aan 12 uur en 25 min).

t : de tijd [minuten].



figuur 7a.

voorbeeld verloop astronomisch getij te Den Helder.



Harlingen

figuur 7b.

voorbeeld verloop astronomisch getij te Harlingen

Gebruikmakend van de relatie zoals in (1.3.1) kunnen we de gemiddelde waarde voor het astronomisch getij te Harlingen met behulp van de voorbereekte gegevens gaan berekenen. Doordat de beweging van de Maan en aarde t.o.v. de zon bekend is zijn getij bewegingen op aarde analytisch goed te beschrijven. Voor Harlingen bijv. met een gemiddelde hoogwater en laagwaterstand van resp. + 0.88m en -0.82m t.o.v. N.A.P., is de volgende formule van toepassing :

$$a(t) = 0.03 + 0.85 \sin \left(\frac{2 \cdot \Pi}{T_0} * t \right). \quad (1.2.2).$$

1.3 Windopzet op de Noordzee.

Voor de studie naar de windopzet in de Noordzee heeft Weenink het zuidelijk subvak in drie subvakken onderverdeeld.

Samen met de componenten van het stroomtransport voor het Noordelijk deel van de Noordzee en het kanaal-vak werd een totale windopzet berekening geformuleerd.

De uiteindelijke vorm voor de totale windopzet ziet er als volgt uit :

$$h(p) = h^N(p) + h^C(p) + h^I(p) + h^{II}(p) + h^{III}(p). \quad (1.3.1).$$

$$h^S(p) = h^I(p) + h^{II}(p) + h^{III}(p). \quad (1.3.2).$$

$h(p)$ = totaal wind effect.

$h^N(p)$ = invloed noordelijk vak.

$h^C(p)$ = invloed van het kanaal.

$h^S(p)$ = invloed zuidelijk vak geheel.

$h^I(p)$, $h^{II}(p)$, $h^{III}(p)$.: zijn invloeden van de zuidelijke subvakken I, II, en III.

Weenink heeft in de studie naar de windopzet in de Noordzee de volgende plaatsen beschouwd :

Straat van Dover	(S),
Calais	(C),

Flushing	(V),
Hoek van holland	(H),
Den Helder	(HE),
Eierlandse Gat	(F),
Borkum	(B),
Cuxhaven	(Cu),

1.4 Locatie coördinaten Noordzee model volgens Weenink.

- E : Oorsprong Noordzee model grenzend tegen de Atlantische oceaan.
- G : Een punt op de scheidings grens tussen het noordelijk en zuidelijk deel.
- a : Breedte van het Noordzee model [m].

TABEL 2.

Plaats	Coördinaten	
	X/a	Y/a
E :	0.00	0.00
G :	0.00	1.00
S : Straat van Dover.	0.50	2.00
C : Calais	0.50	2.00
V : Flushing	0.26	2.00
H : Hoek van Holland	0.14	1.93
He : Den Helder	0.02	1.77
F : Eierlandse Gat	0.00	1.71
B : Borkum	- 0.23	1.71
Cu : Cuxhaven	- 0.47	1.71

1.5.A Windopzet t.g.v. een homogeen windveld in het noordelijk vak.

$$h_1^N(S) = (0.53 \cos \alpha_N + 0.03 \sin \alpha_N) \cdot A_N \quad (1.5.1).$$

$$h_1^N(C) = (0.44 \cos \alpha_N + 0.03 \sin \alpha_N) \cdot A_N \quad (1.5.2).$$

$$h_1^N(V) = (0.50 \cos \alpha_N + 0.03 \sin \alpha_N) \cdot A_N \quad (1.5.3).$$

$$h_1^N(H) = (0.56 \cos \alpha_N + 0.02 \sin \alpha_N) \cdot A_N \quad (1.5.4).$$

$$h_1^N(He) = (0.66 \cos \alpha_N + 0.03 \sin \alpha_N) \cdot A_N \quad (1.5.5).$$

$$h_1^N(F) = (0.68 \cos \alpha_N + 0.03 \sin \alpha_N) \cdot A_N \quad (1.5.6).$$

$$h_1^N(B) = (0.76 \cos \alpha_N + 0.01 \sin \alpha_N) \cdot A_N \quad (1.5.7).$$

$$h_1^N(Cu) = (0.78 \cos \alpha_N + 0.00 \sin \alpha_N) \cdot A_N \quad (1.5.8).$$

$$A_N : \frac{\tau^N \cdot a}{\rho \cdot g \cdot H_N} \quad (1.5.9).$$

α_N : hoek windrichting in het noordelijk deel van het model t.o.v de y as . (zie fig.4)

a : afstand tussen E en G (≡ breedte model.).

ρ : dichtheid zeewater [1.03 g/cm³].

g : gravitatie [cm/s²].

H_N : harmonische diepte van het noordelijk deel.

1.5.B Windopzet t.g.v een homogeen windveld in het zuidelijk vak en in de zuidelijke subvakken.

** Totaal windopzet zuidelijk gebied.:

$$h^S(S) = (0.57 \cos \alpha_S + 0.20 \sin \alpha_S) \cdot B_S \quad (1.5.10)$$

$$h^S(C) = (0.46 \cos \alpha_S + 0.16 \sin \alpha_S) \cdot B_S \quad (1.5.11)$$

$$h^S(V) = (0.53 \cos \alpha_S - 0.16 \sin \alpha_S) \cdot B_S \quad (1.5.12)$$

$$h^S(H) = (0.50 \cos \alpha_S - 0.29 \sin \alpha_S) \cdot B_S \quad (1.5.13)$$

$$h^S(He) = (0.38 \cos \alpha_S - 0.36 \sin \alpha_S) \cdot B_S \quad (1.5.14)$$

$$h^S(F) = (0.32 \cos \alpha_S - 0.36 \sin \alpha_S) \cdot B_S \quad (1.5.15)$$

$$h^S(B) = (0.42 \cos \alpha_S - 0.51 \sin \alpha_S) \cdot B_S \quad (1.5.16)$$

$$h^S(Cu) = (0.44 \cos \alpha_S - 0.75 \sin \alpha_S) \cdot B_S \quad (1.5.17)$$

** Totaal windopzet in het zuidelijk subvak I. :

$$h^I(S) = (0.32 \cos \alpha_I - 0.00 \sin \alpha_I) \cdot B_I \quad (1.5.18)$$

$$h^I(C) = (0.26 \cos \alpha_I - 0.00 \sin \alpha_I) \cdot B_I \quad (1.5.19)$$

$$h^I(V) = (0.30 \cos \alpha_I - 0.02 \sin \alpha_I) \cdot B_I \quad (1.5.20)$$

$$h^I(H) = (0.33 \cos \alpha_I - 0.09 \sin \alpha_I) \cdot B_I \quad (1.5.21)$$

$$h^I(\text{He}) = (0.35 \cos \alpha_I - 0.17 \sin \alpha_I) \cdot B_I \quad (1.5.22)$$

$$h^I(\text{F}) = (0.33 \cos \alpha_I - 0.17 \sin \alpha_I) \cdot B_I \quad (1.5.23)$$

$$h^I(\text{B}) = (0.21 \cos \alpha_I - 0.13 \sin \alpha_I) \cdot B_I \quad (1.5.24)$$

$$h^I(\text{Cu}) = (-0.15 \cos \alpha_I - 0.10 \sin \alpha_I) \cdot B_I \quad (1.5.25)$$

** Totaal windopzet in het zuidelijk subvak II. :

$$h^{II}(\text{S}) = (0.22 \cos \alpha_{II} + 0.20 \sin \alpha_{II}) \cdot B_{II} \quad (1.5.26)$$

$$h^{II}(\text{C}) = (0.18 \cos \alpha_{II} + 0.16 \sin \alpha_{II}) \cdot B_{II} \quad (1.5.27)$$

$$h^{II}(\text{V}) = (0.20 \cos \alpha_{II} - 0.14 \sin \alpha_{II}) \cdot B_{II} \quad (1.5.28)$$

$$h^{II}(\text{H}) = (0.13 \cos \alpha_{II} - 0.22 \sin \alpha_{II}) \cdot B_{II} \quad (1.5.29)$$

$$h^{II}(\text{He}) = (-0.07 \cos \alpha_{II} - 0.21 \sin \alpha_{II}) \cdot B_{II} \quad (1.5.30)$$

$$h^{II}(\text{F}) = (-0.14 \cos \alpha_{II} - 0.22 \sin \alpha_{II}) \cdot B_{II} \quad (1.5.31)$$

$$h^{II}(\text{B}) = (-0.11 \cos \alpha_{II} - 0.15 \sin \alpha_{II}) \cdot B_{II} \quad (1.5.32)$$

$$h^{II}(\text{Cu}) = (-0.10 \cos \alpha_{II} - 0.14 \sin \alpha_{II}) \cdot B_{II} \quad (1.5.33)$$

** Totaal windopzet in het zuidelijk subvak III. :

$$h^{III} (S) = (0.03 \cos \alpha_{III} + 0.00 \sin \alpha_{III}) \cdot B_{III} \quad (1.5.34)$$

$$h^{III} (C) = (0.02 \cos \alpha_{III} + 0.00 \sin \alpha_{III}) \cdot B_{III} \quad (1.5.35)$$

$$h^{III} (V) = (0.03 \cos \alpha_{III} + 0.00 \sin \alpha_{III}) \cdot B_{III} \quad (1.5.36)$$

$$h^{III} (H) = (0.04 \cos \alpha_{III} + 0.02 \sin \alpha_{III}) \cdot B_{III} \quad (1.5.37)$$

$$h^{III} (He) = (0.10 \cos \alpha_{III} + 0.02 \sin \alpha_{III}) \cdot B_{III} \quad (1.5.38)$$

$$h^{III} (F) = (0.13 \cos \alpha_{III} + 0.03 \sin \alpha_{III}) \cdot B_{III} \quad (1.5.39)$$

$$h^{III} (B) = (0.32 \cos \alpha_{III} - 0.23 \sin \alpha_{III}) \cdot B_{III} \quad (1.5.40)$$

$$h^{III} (Cu) = (0.39 \cos \alpha_{III} - 0.51 \sin \alpha_{III}) \cdot B_{III} \quad (1.5.41)$$

$h^S, h^I, h^{II}, h^{III}$: wind effect in cm.

1.5.C Totaal windopzet kanaal vak. :

$$h^C (S) = 1.07 * h^C (H) = -(3.22 \cos \alpha_c + 8.85 \sin \alpha_c) \cdot 10^{-6} \cdot V_{sc}^2 \quad (1.5.42)$$

$$h^C (C) = 1.27 * h^C (H) = -(3.82 \cos \alpha_c + 10.50 \sin \alpha_c) \cdot 10^{-6} \cdot V_{sc}^2 \quad (1.5.43)$$

$$h^C (V) = 1.14 * h^C (H) = -(3.43 \cos \alpha_c + 9.45 \sin \alpha_c) \cdot 10^{-6} \cdot V_{sc}^2 \quad (1.5.44)$$

$$h^c(H) = 1.00 * h^c(H) = -(3.01 \cos \alpha_c + 8.27 \sin \alpha_c) \cdot 10^{-6} \cdot V_{sc}^2 \quad (1.5.45)$$

$$h^c(He) = 0.77 * h^c(H) = -(2.31 \cos \alpha_c + 6.37 \sin \alpha_c) \cdot 10^{-6} \cdot V_{sc}^2 \quad (1.5.46)$$

$$h^c(F) = 0.73 * h^c(H) = -(2.20 \cos \alpha_c + 6.04 \sin \alpha_c) \cdot 10^{-6} \cdot V_{sc}^2 \quad (1.5.47)$$

$$h^c(B) = 0.55 * h^c(H) = -(1.66 \cos \alpha_c + 4.55 \sin \alpha_c) \cdot 10^{-6} \cdot V_{sc}^2 \quad (1.5.48)$$

$$h^c(Cu) = 0.50 * h^c(H) = -(1.50 \cos \alpha_c + 4.14 \sin \alpha_c) \cdot 10^{-6} \cdot V_{sc}^2 \quad (1.5.49)$$

h^c : in cm.

V_{sc} : in cm/s.

V_{sc} : gelijk aan $0.75 * \text{windsnelheids gradient over het kanaal.}$

1.6 Benadering windopzet in de Noordzee volgens Weenink.

Weenink's relatie voor de windopzet is :

$$S(\max) = (A_s \cos \alpha_s + C_s \sin \alpha_s) B_s. \quad (1.6.1)$$

Voor Den Helder is de volgende relatie van toepassing :

$$S(\max) = (0.38 \cos \alpha_s - 0.36 \sin \alpha_s) * B_s. \quad (1.6.2)$$

$S(\max)$ = Maximale windopzet.

A_s, C_s = Coefficient afhankelijk van de locatie.

B_s = Coefficient afhankelijk van de windsnelheid.

Voor de coef. B_s geldt de volgende relatie:

$$B_s = (a * \tau_s) / (\rho * g * d_s). \quad (1.6.3)$$

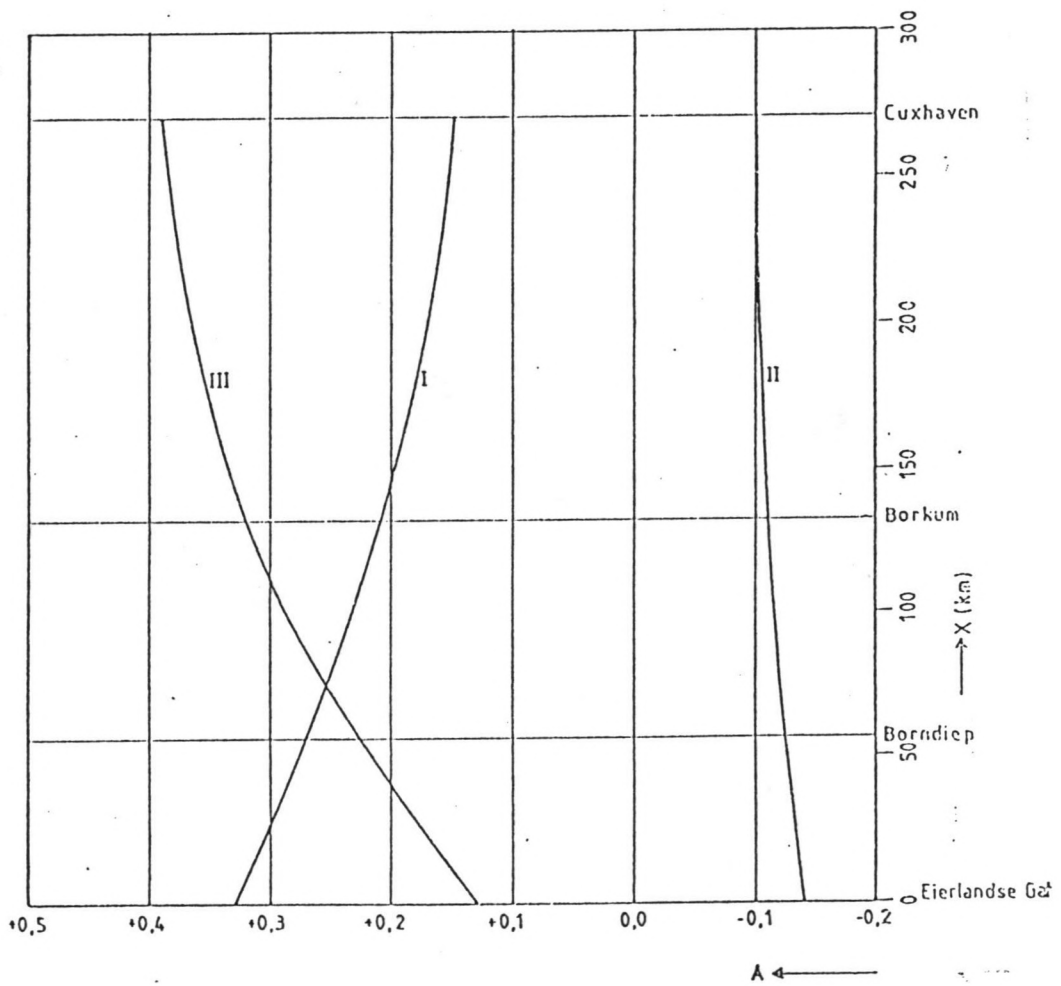
a = Breedte Noordzee model [m].

τ_s = Windschuifspanning aan het oppervlak. [N/m^2].

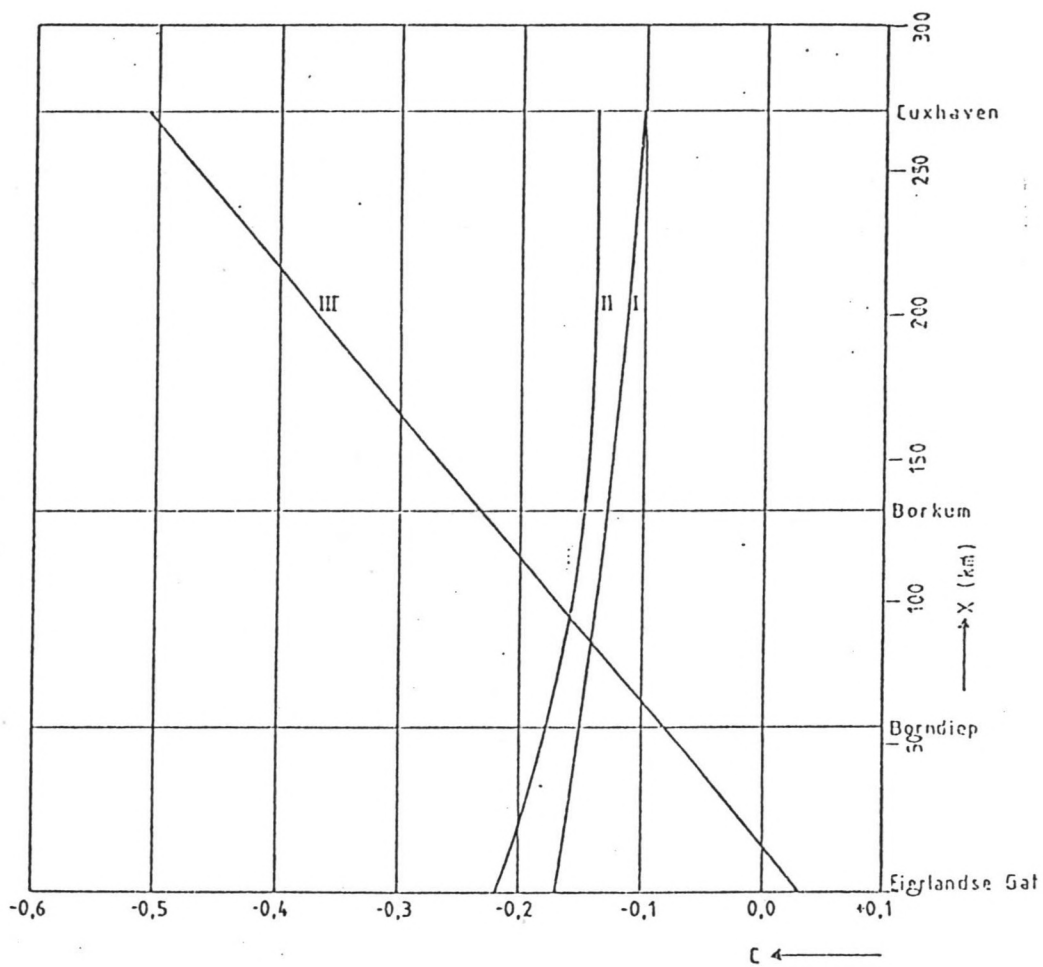
ρ = Dichtheid zee water. [kg/m^3].

g = Versnelling van de zwaartekracht.

d_s = Diepte bij afwezigheid van de wind. [m].



figuur 8.
 Coefficient A als functie van de locatie-coördinaten.



figuur 9.

Coefficient C als functie van de locatie-coördinaten.

Onder verwaarlozing van de moleculaire viscositeit t.o.v de

Reynoldse schuif spanning en de aanname dat het snelheids profiel boven aan het oppervlak logaritmisch zal gaan verlopen kan de volgende relatie gegeven worden m.b.t. de oppervlakte schuifspanning:

$$\tau = \rho(\text{lucht}) * \gamma_0(z)^2 * u(z)^2. \quad (1.6.4).$$

$$\rho_l = \text{lucht dichtheid [kg/m}^3].$$

$$\gamma_0 = \text{Dimensieloze weerstandsparameter (drag coef).}$$

Voor de weerstands parameter γ_0 is de volgende relatie van toepassing :

$$\gamma_0(z)^2 = K^2 / (\ln (z/z_0)^2). \quad (1.6.5)$$

$$K = \text{Von Karman constante. (=0.4).}$$

$$z = \text{De hoogte t.o.v. het water oppervlak. [m].}$$

$$z_0 = \text{Oppervlakte ruwheid. [m].}$$

Voor de drag coefficient heeft Weenink de volgende relatie toegepast :

$$\gamma(z = 10) = 3.3 * 10^{-3}. \quad (1.6.6).$$

Met bovenstaande waarde voor de drag coefficient verkrijgt men de volgende relatie tussen de windschuifspanning en de windsnelheid op 10 m hoogte :

$$\tau_s = \rho(\text{lucht}) * 3.3 * 10^{-3} * u(10)^2. \quad (1.6.7).$$

Bovenstaande relatie geldt voor de Noordwestelijke windrichting, die volgens de Delta Commissie de meest relevante windrichting is m.b.t de ontwikkeling van

maximale stormvloed hoogten in de Waddenzee.

Met behulp van de bovenstaande benadering kan het evenwichts windopzet van de Nederlandse Waddenzee t.g.v een stationair windveld in het zuidelijk deel van de Noordzee berekend worden.

Om tot de uiteindelijke waterstand verhoging ter plaatse van het Friese-Wad te komen dient het lokaal effect op de Noordzee effect gesuperponeerd te worden .

De onderzoekers Verploeg en Groen (litt 10) constateerden zoals eerder is genoemd dat het verband tussen de windopzet en de windsnelheid in de Waddenzee niet kwadratisch is maar als volgt kan worden geformuleerd :

$$\Delta s = C(\alpha) * u(10)^{2.4}. \quad (1.6.8)$$

Δs : additionele opzet.[m]

$C(\alpha)$: evenredigheids factor.

$u(10)$: windsnelheid op 10 m boven zee-oppervlak
[m/s]

De coefficient $C(\alpha)$ is afhankelijk van de strijklengte, diepte, en de windrichting, en is als volgt gedefinieerd :

$$C(\alpha) = \frac{b * F}{d} * \cos (\alpha - \alpha_0). \quad (1.6.9)$$

b : evenredigheids factor. [$1 E-7 \text{ m (m/s)}^{-2.4}$.]

F : Fetch/strijk lengte.[km]

d : harmonisch gemiddelde diepte. [m]

α : wind richting t.o.v het Noorden. [$^{\circ}$]

α_0 : richting van het maximale effect t.o.v het Noorden

(zie lit.4.)

1.7 Grenstoestand.

Alvorens een niveau 3 probabilistische berekening kan worden uitgevoerd dient men eerst de grenstoestand te definieeren. Dit gebeurt zoals gebruikelijk met behulp van een betrouwbaarheids functie Z . In de definitie van de betrouwbaarheids functie als functie van belasting en sterkte is afgesproken dat bezwijk door een negatieve functie waarde wordt aangegeven.

$$Z = (\text{sterkte}) - (\text{Belasting}). \quad (1.7.1)$$

In de betrouwbaarheidsfunctie definitie op golfoverslag zal de sterktefunctie geschreven worden als functie van de kruinhoogte, en de belasting als functie van de waterhoogten en golfoplopen.

Van uit de grondmechanische overwegingen t.a.v de beschouwde betrouwbaarheids functie kan men natuurlijk verder aannemen dat de belastingen tevens geschreven kunnen worden als functie van de grondzettingen bijv. ten gevolge van consolidatie en klink, of als functie van de zeewaterspiegel niveau veranderingen t.g.v. bijv. zeespiegelrijzing, bui oscillaties, buistoten, deining etc. In dit werk is echter de sterktefunctie geschreven als functie van een constante kruinhoogte.

Voor de belastings functie is gekozen voor de onderstaande relatie :

$$Z_{2\%} = H.W + 8 * H_{sig} * \tan (\text{talud hoek}). \quad (1.7.2)$$

Uit het voorgaande is af te leiden dat de betrouwbaarheids functie als volgt is te schrijven :

$$Z = (\text{Kruinhoogte}) - (Z_{2\%}) \quad (1.7.3)$$

De invloed van de overige belastingen zoals die veroorzaakt worden door buioscillaties, buistoten en de deining, is pas in een latere stadium ingevoerd en is door de empirische karakter van de gegevens niet in het computerprogramma opgenomen.

1.8 Benaderings methode Significante golfhoogte.

Door de geringe waterdiepte en de bij benadering vlakke bodem van de Waddenzee zal de bodem wrijving in de Waddenzee meer invloed uitoefenen op de golfgroei dan in de Noordzee. Door het verlies aan energie t.g.v. bodem wrijving zullen dus bij gelijke wind en fetch omstandigheden de golfhoogten en de golfperioden in de Waddenzee geringer zijn. (zie lit. 5).

Ten aanzien van de golfgroei in ondiep water bestaat er nog geen eenduidige theorie. De onderzoeker De Reus heeft aangetoond dat voor de Waddenzee de methode van Sverdrup - Munk - Bretschneider (S.M.B) goed voldoet. (lit.4)

Met de S.M.B benadering is het mogelijk als functie van de plaats in een stationair windveld de significante golfhoogte te voorspellen.

De S.M.B methode is een semi-empirische golfverwachtings methode die gebaseerd is op een positieve energie bijdrage door de wind en een tegengestelde bijdrage door bodemwrijving en percolatie ("lek" via de bodem).

De voorspelling voor de grootte van de significante golfhoogte of wel het gemiddelde van de 1/3 deel van de hoogste gemeten golven in een serie waarnemingen, kan met behulp van de onderstaande relatie worden verkregen.

$$H_s \cdot g/u = C * a * b. \quad (1.8.1).$$

$$C = 0.238. [\text{een constante}]. \quad (1.8.2).$$

$$a = \tanh [0.530 (g \cdot d / u^2)^{0.75}]. \quad (1.8.3).$$

$$b = \tanh \left[\frac{0,0125 (g \cdot F / u^2)^{0.42}}{\tanh [0.530 (g \cdot d / u^2)^{0.75}]} \right] \quad (1.8.4).$$

$H_s \cdot g / u$: dimensieloze golfhoogte.

$g \cdot d / u$: dimensieloze diepte.

$g \cdot F / u$: dimensieloze strijklengte/Fetch lengte.

H_s : significante golfhoogte. [m].

u : windsnelheid op aenometer hoogte. [m/s].
(Aenometer hoogte = 10 m boven het water opp.).

F : strijklengte. [m].

d : waterdiepte. [m].

g : gravitatie. [m/s²].

1.9 Bui oscillaties en bui stoten.

Onregelmatige schommelingen die de zeespiegel vertoont bij storm weer met een periode die tussen de perioden van de directe windgolven en getij golven liggen worden beschouwd als onregelmatigheden die door bui oscillaties zijn veroorzaakt.

In figuur 9 is het verloop voor Den Helder duidelijk te zien. Men heeft voor dit verschijnsel geen korrelatie kunnen vinden m.b.t de golf periode en golf patroon.

Deze buioscillaties / onregelmatige schommelingen van de zeespiegel worden veroorzaakt door macroscopische turbulenties in de atmosfeer bij storm.

De periode van dit verschijnsel varieert van enige minuten tot meer dan een uur met een gemiddelde van ca 25 cm.

Een andere fenomeen die tevens voor een additionele hoogte van de zeespiegel kan gaan zorgen wordt gevormd door de buistoten.

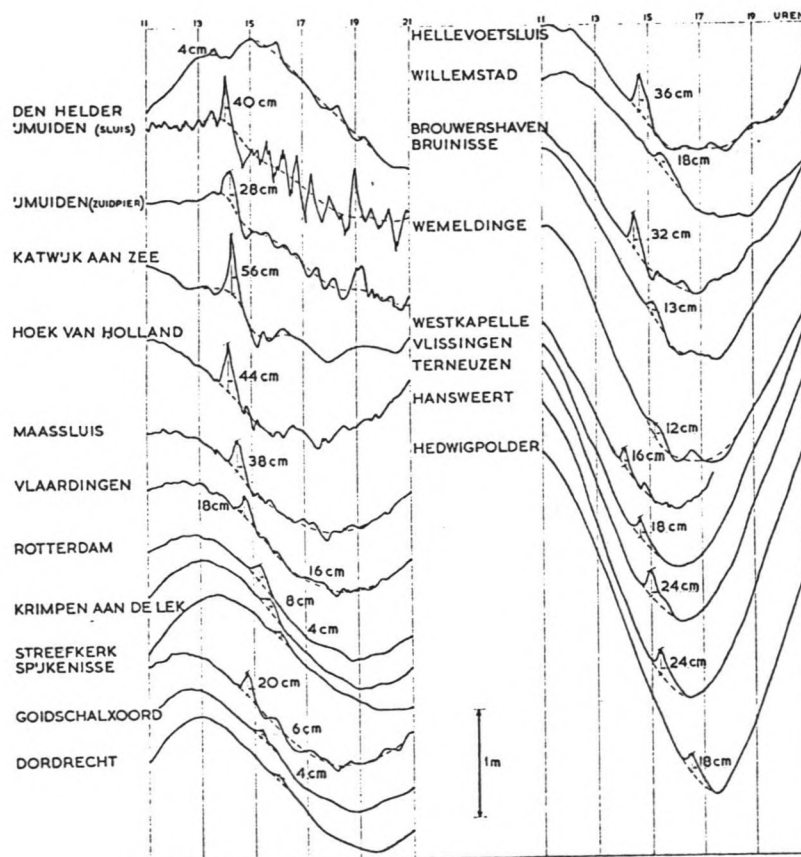
Uit de meetregistraties van de buistoten is gebleken dat dit verschijnsel voor hele duidelijke zeewaterspiegel toename heeft gezorgd.

Uit de storm registraties van 13 December 1956 te Katwijk-aan-Zee is gebleken dat de waterspiegelhoogte toename door buistoten een "piek" kan hebben van 56 cm hoog. Voor Den Helder is vergeleken bij Katwijk aan zee een bescheiden toename gemeten van maar 4 cm. (zie figuur 10)

In tegenstelling tot het verloop van de buioscillaties is het verloop van de buistoten goed te volgen. Buistoten komen ook in de zomer voor vooral als gevolg van het losbarsten van onweer of ten gevolge van een grote luchtdruk gradient in de atmosfeer, zodanig dat de luchtbeweging een hoosachtig karakter aanneemt.

Deze buistoten komen normaal bij stormvloed en voor. Uit

vergelijking studies is gebleken dat buioscillaties en buistoten afzonderlijke verschijnselen zijn naast het astronomisch getij, windopzet en windgolven. Zij leveren een extra zelfstandige bijdrage tot de uiteindelijke hoogte van de zeespiegel bij stormvloed.



Buistoten, opgetreden bij de storm van 13 december 1956. Verloop langs de kust en op de zecarmen.

figuur 10.

Doordat de invloeden van de buistoten en buioscillaties niet in de hoogwater tabellen en overschrijdings grafieken voorkomen en ook niet is opgenomen in de berekeningen voor de golfhoogte en de golfoploop, zal de bijdrage van deze verschijnselen afzonderlijk als een toeslag op het ontwerppeil in rekening gebracht worden.

Voor de waddenzee is zoals in het rapport van de Delta Commissie is te vinden, een bijdrage van ca 10 cm voor de buistoot in rekening gebracht. Voor de buioscillatie is analoog aan de methode voor het vinden van de buistoot bijdrage een additionele waarde verkregen van ca 5 cm. (lit. 5).

1.10 Deining.

Ten gevolge van veraf gelegen invloeden kunnen buiten de invloed van de wind en het getij het zeewaterniveau door de deining (eng. Swell) gaan stijgen. Dit verschijnsel wordt vaak geregistreerd aan kusten die aan grote oceanen grenzen. Aangezien deze golven niet door locale invloeden boven de Noordzee zijn veroorzaakt kan de komst of het ontstaan van een dergelijke golf niet uit de Noordzee meteorologische gegevens afgeleid worden, maar is men genoodzaakt de gegevens van veraf gelegen gebieden te betrekken zoals de gegevens van de Atlantische oceaan en /of het amerikaans continent. Voor de Nederlandse Waddenzee is het aandeel van de deining betrekkelijk gering door de aanwezigheid van de noordelijke eilanden.

Door het gebrek aan deinings gegevens is aangenomen dat de verhoging van het zeewater niveau in de Waddenzee door deining enkele decimeters zullen bedragen met een ondergrens van ca 10 cm.

1.11 Relatieve bodem daling.

Ten aanzien van de bodem daling voor Nederland zijn de volgende aspecten te onderscheiden :

1. Daling van het pleistoceen oppervlak.
2. Daling van het N.A.P. vlak.
3. Daling van het maaiveld.
4. Daling van de peil merken. (*)
5. Daling van de dijk kruinen.

(*) : Wegens de onnauwkeurigheid van de definitie van het maaiveld op de dijk kruin is het niet mogelijk voor elk punt van het lengte profiel een betrouwbare maat te geven voor de daling snelheid.

De optredende zettingen zijn duidelijk afhankelijk van de heterogene ondergrond gesteldheid en de grootte van de bovenbelasting die niet overal gelijk zijn.

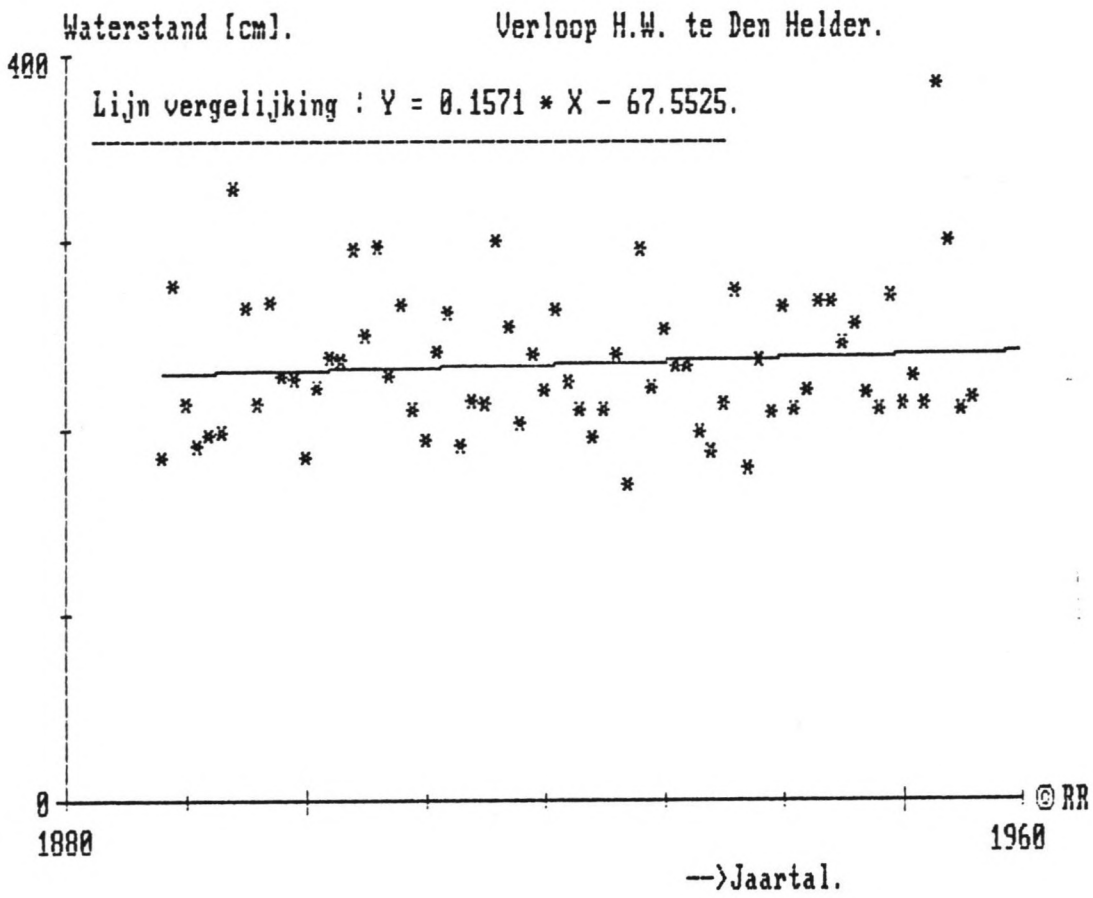
Voor noord holland / de Afsluitdijk is de gemiddelde zetting bepaald op 0.5 cm/jaar. met een minimale en maximale zetting van 0 resp 1.5 cm / jaar.

Boven vermelde cijfers komen uit metingen in het tijdvak 1933 t/m 1953.

(zie lit.5 deel 6)

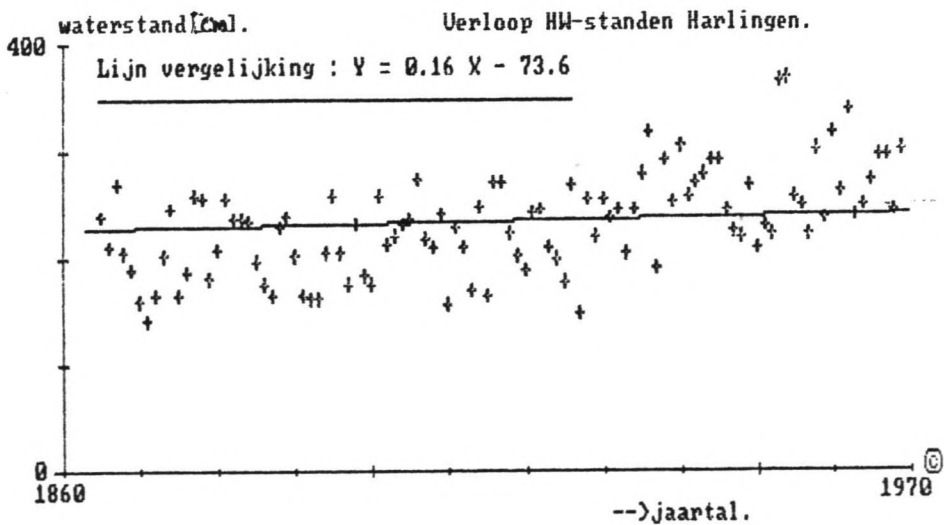
Ter bepaling van de grootte van de tegenwoordige en voorlopig nog te verwachten relatieve bodem daling kan volgens de Delta commissie worden uitgegaan van de schatting van 20 cm/eeuw.

In figuur 11 en 12 is met behulp van de regressie lijn m.b.v. de meetregistraties uit het meetstation Harlingen en Den Helder een relatieve bodem daling berekend die ca 16



figuur 11.

Relatieve zeespiegelrijzing uit data meetstation Den Helder.



figuur 12.

Relatieve zeespiegelrijzing uit data meetstation Harlingen..

cm/eeuw bedraagt.

De regressie lijn vergelijking voor Harlingen en Den Helder zijn resp. :

$$Y(n) = 0.160 * X(n) - 73.61$$

en

$$Y(n) = 0.157 * X(n) - 67.55$$

met de Jaartallen op de X as en waterhoogten in cm op de Y as.

(zie bijlage 7).

1.12 Stormvloed waarnemingen.

In de voorgaande hoofdstukken zijn de termen zoals hoogwaterstanden en stormvloedstanden zonder nader uitleg gehanteerd. Het begrip stormvloedstand is gerelateerd aan de overschrijdings gevallen bij één of meerdere grenspeilen. Het grenspeil is gedefinieerd als een hoogte die gemiddeld eenmaal per twee jaren door een hoogwater wordt overschreden. Wanneer deze grenspeilen bij een of meerdere stations worden overschreden is er pas sprake van stormvloed. Voor het gebied rondom de Waddenzee staan deze grenspeilen in Den Helder en Harlingen. Voor de zojuist genoemde plaatsen liggen de grenspeilen t.o.v. N.A.P. :

Den Helder	N.A.P. + 2.15 m.
Harlingen	N.A.P. + 2.73 m.

De stormvloed hoogten die in het verleden in Den Helder zijn geregistreerd (in m + N.A.P.) zijn :

station	Den Helder.
Normaal H.W.	0.50
Grenspeil	N.A.P + 2.15
13 Mrt 1906	2.04*
14 Jan 1916	1.75*
4 Feb 1944	1.87
1 Feb 1953	3.25
23 Dec 1954	2.89
17 Feb 1962	2.51
14 Dec 1973	2.32
4 Jan 1976	2.97
15 Nov 1977	2.13
31 Dec 1977	2.23
2 Jan 1979	0.98
6 Nov 1979	1.50
20 Apr 1980	1.68
11 mrt 1982	1.80
15 Dec 1982	2.20
18 Jan 1983	2.19
1 Feb 1983	2.70
3 Jan 1984	2.15
24 Nov 1984	1.86

(*) De waterstanden waren te Den Helder voor de afsluiting van de Zuiderzee lager dan de perioden na de afsluiting.

2. Probabilistiek.

2.0 Inleiding.

In dit werk wordt de toepassing van de probabilistiek ter bestudering van de betrouwbaarheid van constructies onder stochastische belastingen behandeld. Een duidelijk onderscheid wordt gemaakt tussen het begrip statistiek en probabilistiek. De statistiek wordt als referentie kader gebruik bij het verwerken van een verzameling getallen die men uit metingen of tellingen heeft verkregen, en de probabilistiek is de wiskundige basis voor de te voeren berekeningen.

Wanneer de stochastische informatie van een variabelen die bij een berekening is betrokken bekend is, bijvoorbeeld door statistische data verwerking of door het toepassen van simulatie technieken zoals bijv. de Monte-Carlo methode, kan na het oplossen van de tijds afhankelijke gedeelte van het probleem, over de systeem parameters geïntegreerd worden om de totale betrouwbaarheid op overschrijding van een gedefinieerde grenstoestand te verkrijgen. De methode van werken kan door middel van een voorbeeld duidelijk gemaakt worden.

Stel dat er voor een te bestuderen systeem een parameter x_1 is gekozen en dat verder is gegeven dat deze parameter onder een stochastische belasting $S(t, x_2)$ staat.

Uit de uitdrukking voor S weten we dat $S(t, x_2)$ een random tijdsvector is die door x_2 is gespecificeerd.

Wanneer de vector X die alle meewerkende parameters bevat niet meer tijds afhankelijk kan worden gemaakt, kan dan de probabilistische bezwijkkans geschreven worden als :

$$P_f = \int_x P_f(x) * f_x(x) dx \quad (2.0.1)$$

$P_f(x)$ = bezwijkkans gegeven dat $X = x$.

X = de stochastische variabelen.

$f_x(x)$ = gezamenlijke kansdichtheids functie van X .

Uit vergelijking (2.0.1) is te zien dat voor elke nieuwe waarde van x , een $P_f(x)$ wordt berekend .

Later in dit werk zullen de methoden behandeld worden om tot de verdelingen van de systeem parameters te komen, om met behulp daarmee een niveau III berekening te kunnen voeren.

2.1 De soorten van variabelen.

Zoals bekend hebben we in de statistiek te maken met de geregistreeerde numerieke gegevens die in het verleden in de vorm van tabellen of kaarten zijn verzameld.

De natuurlijke verschijnselen die in de statistiek zijn gemeten worden de (statistische) variabelen genoemd.

Wanneer de uitkomsten van de variabelen in de gekozen uitkomsten ruimte een onvoorspelbaar karakter hebben dan worden deze variabelen, stochastische variabelen genoemd. Deze stochastische variabelen zijn in twee groepen onderverdeeld :

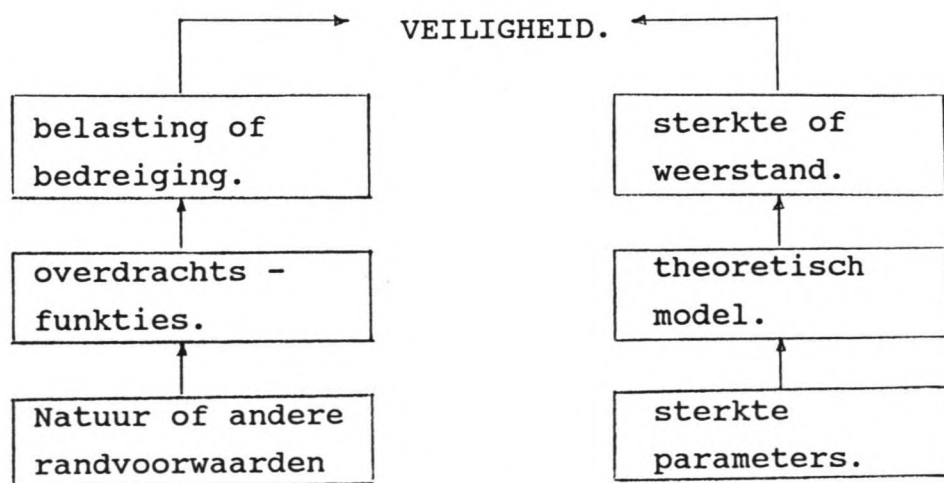
- 1: de Discrete stochastische variabelen.
- 2: de Continu stochastische variabelen.

Onder de Discrete stochastische variabelen wordt verstaan die variabelen waarvan de uitkomsten alleen in een bepaalde vorm kunnen uitkomen in de gekozen uitkomsten ruimte, een voorbeeld hiervoor zijn de uitkomsten in de vorm van integer getallen.

De uitkomsten van de continu stochastische variabelen kunnen daarentegen elk willekeurige reële waarden aannemen in de gekozen uitkomsten ruimte. Een voorbeeld hiervoor is bijvoorbeeld de uitkomsten van een getij meting.

2.2 Niveau's in de probabilistische sterkte berekening.

Gebruikelijk is in de constructieve mechanica om de benadering van het probleem van de veiligheid van componenten door middel van de filosofie van grenstoestanden en de daarbij behorende wiskundige modellen te doen gebeuren. zie figuur 13.



figuur 13.

Grenstoestand van een mechanisme.

Het noemen van een grenstoestand houdt in dat men in de formulering van de veiligheid het bezwijk mechanisme tevens heeft gedefinieerd.

Er zijn m.b.t het bezwijk mechanisme twee categorieën te noemen :

a: de eerste categorie omvat de uiterste grenstoestanden, men denkt hierbij aan het bezwijken van een constructie t.g.v. evenwichts verlies. (Ultimate Limit State / U.L.S.)

voorbeelden hiervoor zijn o.a. uitknikken van een kolom, breuk bij een trekstaaf, afschuiving van een grondlichaam etc.

b: de tweede categorie bevat de toestanden die de grens aangeven tussen het gebied waarin de constructie bruikbaar is en het gebied waarin niet aan de functie eisen kan worden voldaan. (Service ability Limit State / S.L.S.). ook wel de bruikbaarheids grens toestand genoemd. In deze categorie vallen bijvoorbeeld de ontoelaatbare doorbuigingen van een ligger.

Het eerste geval treedt meestal op bij extreme belasting gevallen , het tweede geval wordt bereikt in de gevallen die bijvoorbeeld met het verschijnsel kruip zijn te vergelijken. Om misverstanden te voorkomen heeft het Joint Committee On Structural Safety (C.E.B - C.E.C.M.- C.I.B.- F.I.P.-I.A.B.S.E) een niveau indeling voorgesteld voor de gebruikte methoden om de veiligheid van een constructie te bepalen.

De oplossing werd gegeven in een niveau indeling voor sterkte berekeningen en is sindsdien onderscheid gaan maken tussen niveau I, II, en III berekeningen.

De niveau I berekeningen omvat de huidige ontwerp methoden die afstand scheppen tussen de karakteristieke waarden van sterkte en belasting die d.m.v een verzameling van partieële veiligheids factoren wordt gerealiseerd.

Niveau II omvat een aantal benaderings methoden dat rekening houdt met de individueele verdelingen. Bij het zoeken naar een oplossing wordt het probleem rond een met zorg gekozen punt gelineariseerd. In deze methode worden correlaties tussen de variabelen vermeden.

Niveau III omvat de exacte probabilistische benadering waarbij de kansdichtheids functies van alle betrokken variabelen in aanmerking worden genomen.

In dit werk wordt zoals is opgedragen de veiligheid van de afsluitdijk met behulp van de niveau III berekeningen gevoerd, dat houdt dus in dat de kansdichtheidsfuncties van de op de veiligheid invloed hebbende stochastische variabelen bekend moeten zijn alvorens een niveau III berekening uitgevoerd kan worden.

2.3 Verdeling en dichtheids functie van een variabel.

De kans op succes van het voorkomen van een bepaalde stochastische variabel, wordt door zijn verdelings functie gegeven. De verdelings functie geeft de kans weer dat een variabel een bepaalde waarde onderschrijdt.

De verdelings functie ookwel de cumulatieve distributie functie genoemd, kan als volgt worden geschreven :

$$F_x(\xi) = P(x \leq \xi) \quad (2.3.1)$$

De verdelings functie is monotoon niet dalend.

Een andere formulering voor de verdelings functie is :

$F_x(\xi)$ is een niet dalende functie, (2.3.2)

met de gegevens dat : $F_x(-\infty) = 0$.

en : $F_x(+\infty) = 1$.

De kansdichtheids functie is gedefinieerd als :

$$f_x(\xi) = \frac{d F_x(\xi)}{d \xi} \quad (2.3.2)$$

met behulp van deze kansdichtheids functie kunnen de grootte van de kansen in een bepaald interval berekend worden :

$$\begin{aligned} p(\xi < x \leq \xi + d\xi) &= p(x \leq \xi + d\xi) - p(x \leq \xi). \quad (2.3.3) \\ &= F_x(\xi + d\xi) - F_x(\xi). \\ &= f_x(\xi) d\xi. \end{aligned}$$

Voor de eigenschappen van de kansdichtheidsfuncties kan geschreven worden :

$$f_x(\xi) > 0. \quad \text{voor alle } \xi. \quad (2.3.4)$$

$$p(x \leq a) = \int_{-\infty}^a f_x(\xi) d\xi = F_x(a). \quad (2.3.5)$$

$$p(x \leq \infty) = \int_{-\infty}^{\infty} f_x(\xi) d\xi = F_x(\infty) = 1. \quad (2.3.6)$$

$$p(x \text{ in } A) = \int_a f_x(\xi) d\xi. \quad (2.3.7)$$

2.4 De verdeling en dichtheids functie voor twee variabelen.

Bij de bepaling van de gezamenlijke kans van optreden van een evenement die afhankelijk is van twee variabelen wordt het begrip van de twee dimensionale kansdichtheids functie geïntroduceerd.

De definitie van een twee dimensionale kansdichtheids functie voor de variabelen ξ en η is als volgt gegeven :

$$f_{xy}(\xi, \eta) d\xi d\eta = p(\xi < x \leq \xi + d\xi \cap \eta < y < \eta + d\eta). \quad (2.4.1)$$

met de eigenschappen :

$$f_{xy}(\xi, \eta) \geq 0. \quad (2.4.2)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_{xy}(\xi, \eta) d\xi d\eta = 1. \quad (2.4.3)$$

$$p((x,y) \text{ in } A) = \iint_A f_{xy}(\xi, \eta) d\xi d\eta. \quad (2.4.4)$$

Wanneer de variabelen X en Y onafhankelijk zijn van elkaar geldt de volgende relatie :

$$\begin{aligned}
f_{xy}(\xi, \eta) d\xi d\eta &= p(d\xi < x \leq \xi+d\xi \cap \eta < y \leq \eta+d\eta). \\
& \qquad \qquad \qquad (2.4.5) \\
&= p(d\xi < x \leq \xi+d\xi) * p(\eta < y \leq \eta+d\eta) . \\
&= f_x(\xi) * f_y(\eta) d(\xi) d(\eta) .
\end{aligned}$$

Wanneer de variabelen afhankelijk zijn van elkaar dan is de boven staande relatie niet meer van toepassing doordat de enkelvoudige dichtheids functies dan onvoldoende informatie bevatten om een gezamenlijke dichtheids functie te kunnen verkrijgen.

2.5 Verdeling en dichtheidsfunctie voor n variabelen.

De uitbreiding naar n variabelen is analoog aan het voorgaande.

De n dimensionale kansdichtheids functie kan op de zelfde wijze worden geassembleerd.

Voor de variabelen $\underline{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ is de dichtheids functie als volgt :

$$f_{\underline{x}}(\xi) d\xi_1 \dots d\xi_n = p \{ \xi_1 < x_1 \leq \xi_1 + d\xi_1 \cap \dots \cap \xi_n < x_n \leq \xi_n + d\xi_n \} .$$

(2.5.1)

voor " \underline{x} in A " geldt :

$$p(\underline{x} \text{ in } A) = \int \dots \int f_{\underline{x}}(\xi) d\xi_1 \dots d\xi_n .$$

(2.5.2)

Als $x_1 \dots x_n$ onafhankelijk zijn dan geldt :

$$f_{\underline{x}}(\xi) = f_{x_1}(\xi_1) \cdot f_{x_2}(\xi_2) \dots f_{x_n}(\xi_n). \quad (2.5.3)$$

Om de gezamenlijke kansdichtheids functie te verkrijgen kan men gebruik maken van de procedure die door Riemann is gegeven. In onderstaande voorbeeld is als voorbeeld een eenvoudige stroom diagram gegeven :

Voorbeeld stroom schema bij $n = 2$ variabelen, $\xi(1)$ en $\xi(2)$.

Begin procedure : (2.5.4)

- 1 : bepaal de grootte van variabel $\xi(1)$.
- 2 : bepaal de kansgrootte van $\xi(1)$.
 $d\xi(1) * Pf(\xi(1))$.
- 3 : bepaal de grootte van de variabel $\xi(2)$.
- 4 : bepaal de kansgrootte van $\xi(2)$
 $d\xi(2) * Pf(\xi(2))$.
- 5 : Toetsing aan de betrouwbaarheids functie.
voldoet aan de eis : (ja/nee)
- 6 : zo nee herhaal procedure.
- 7 : zo ja : $P(\text{bezwijk}) = \text{som } P(\text{bezwijk})$.
return.

2.6 Moment en verwachtings waarden.

Één van de eigenschappen van de stochastische variabelen is dat de uitkomsten zoals eerder is genoemd onvoorspelbaar zijn.

Uit publicaties blijkt dat men van mening is dat het gedrag van de bestudeerde variabelen te benaderen is door een zorgvuldig gekozen kansdichtheids functie.

Een goede keuze kan bijvoorbeeld verkregen worden met behulp van de geconstrueerde histogrammen aan de hand van de beschikbare data. In de praktijk van de civiel ingenieur zijn deze gegevens van de exacte kansdichtheids functie vaak niet beschikbaar.

Met behulp van de gemiddelde en de verwachtings waarde theorie is het mogelijk om snel redelijk betrouwbare gegevens te genereren. Hier geldt de mening dat een redelijk gekozen benaderingen veel beter is dan natte vinger werk.

In dit werk waar we te maken hebben met een continu random variabelen, is het gemiddelde ook wel de eerste moment waarde genoemd, gedefinieerd als :

$$\mu'_1 = m_x = E [x^1] = \int_{-\infty}^{\infty} x^1 f_x(x) dx. \quad (2.6.1)$$

Bovenstaande mean value bepaald het zwaarte punt van de verdeling. Wanneer we het rekenkundig gemiddelde als voorbeeld nemen van een reeks n_1 waarnemings gegevens, dan is het gemiddelde te schrijven als :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.6.2)$$

wanneer meerdere waarnemings resultaten in een meet interval voorkomen dan kan boven genoemde sommatie als volgt geschreven worden :

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^r \frac{n_i}{n} x_i = \sum_{i=1}^r x_i \cdot f_i. \quad (2.6.3)$$

r : is het totaal aantal waarnemings waarden.

n_i : is het aantal waarnemings waarden in het interval met de gemiddelde waarde x_i .

f_i : is de frequentie van waarnemingen vallen in het interval met de gem x_i .

n : aantal waarnemingen.

Er zijn dus in dit geval twee verschillende gemiddelde waarden, de rekenkundig gemiddelde waarde, en de populatie gemiddelde (mean value) die uit de mathematisch waarschijnlijkheids leer is voortgekomen.

De variantie ofwel het tweede moment is als volgt gedefinieerd :

$$\text{Var } [x] = \sigma_x^2 = \sum_{\text{alle } x_i} (x_i - m_x)^2 \cdot p_x(x_i). \quad (2.6.4)$$

voor een continu geval is de definitie als volgt :

$$\sigma_x^2 = \int_{-b_0}^{\infty} (x_i - m_x)^2 \cdot f_x(x) d(x). \quad (2.6.5)$$

De standaard afwijking is: $\sigma_x = \sqrt{\sigma_x^2}. \quad (2.6.6)$

gebruikmakend van de Chebyshev ongelijkheid voor Gauss-vormigekansdichtheids funkties zullen wanneer de μ en σ 's van de verdelingen bekend zijn, een voorspellings

betrouwbaarheid van ca 99.5 % verkrijgen binnen de 3σ grens.

Volgens deze stelling is :

$$P [(m_x - h\sigma_x) \leq X \leq (m_x + h\sigma_x)] \geq 1 - \frac{1}{h^2} . \quad (2.6.7)$$

voor elke $h > 0$. (uitleg : zie lit. 2)

2.7 Resultaten data verwerking hoogwater en stormvloed standen te Den Helder en Harlingen.

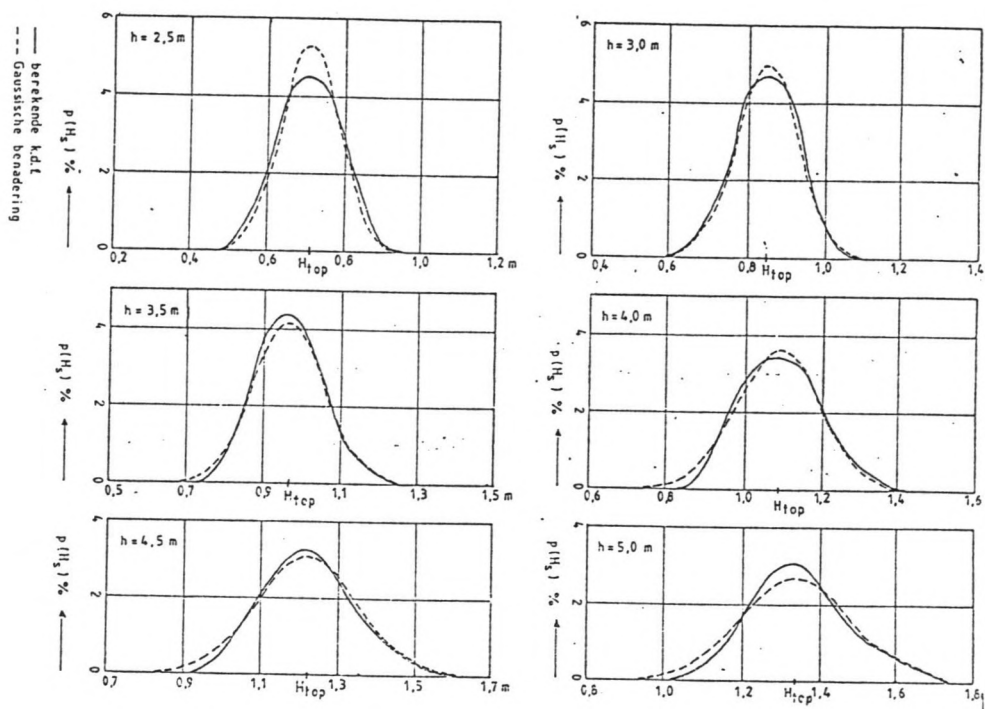
Uit de hoogwater registratie gegevens van Den Helder en Den Oever zijn de gemiddelde en de standaard afwijking voor de hoogwaterstanden resp. N.A.P. + 0.57m , N.A.P. + 0.71m, en 0.42 m resp. 0.39 m.

Tabel 3.

Plaats	variabel	gemiddelde	st afwijking	Eenheid
den Helder.	Hoogwater.	0.57	0.42	m t.o.v NAP.
den Oever.	Hoogwater.	0.71	0.39	m t.o.v NAP.

In figuur 14 is het verloop te zien van de gemeten en de

berekende benadering voor de significante golfhoogte t.p.v. het Friese wad.



figuur 14

Berekende en benaderde k.d.f. van H_s t.p.v het Friese wad.

2.8 Verdeling van de duur van de windopzet.

Met behulp van de beste cos fit is voor iedere storm een bepaalde waarde voor de duur verkregen. (zie lit 4.)

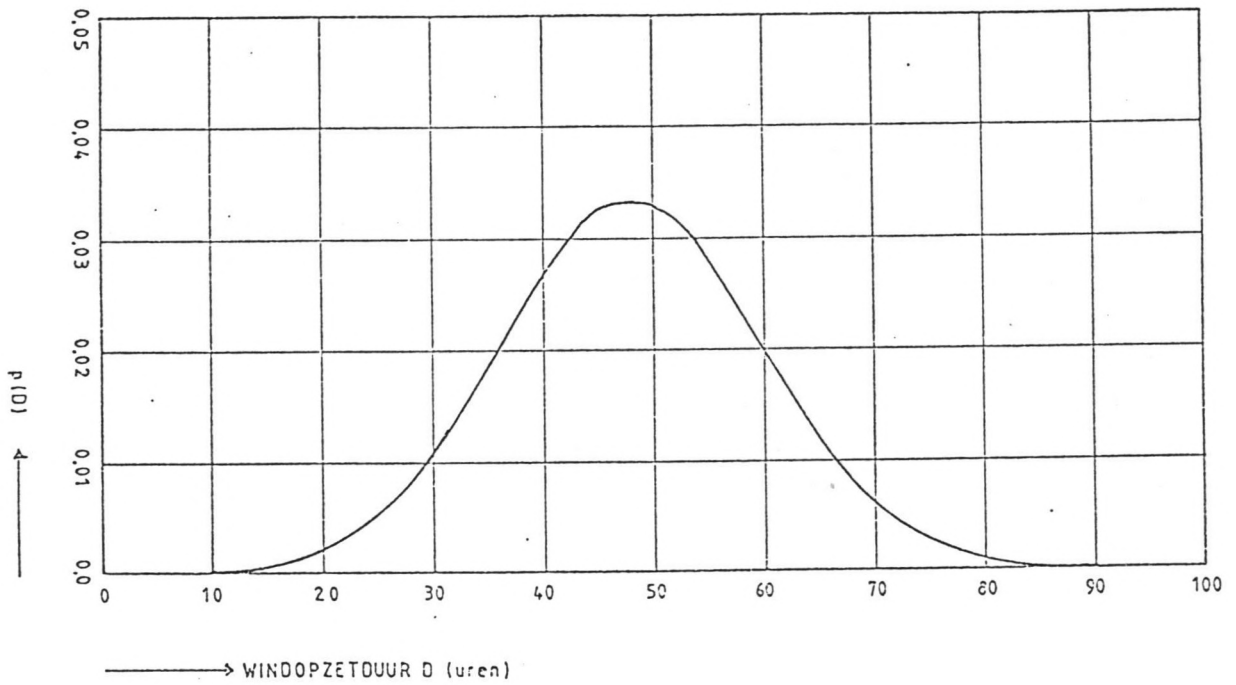
Om uit de gegevens de verdeling van de windopzetduur te kunnen bepalen moet eerst de waarnemingsreeks homogeen gemaakt worden, en dat gebeurt door de stormen die buiten het winterhalfjaar plaatsvinden te negeren.

Met behulp van de Gumbel methode zijn uit de frequentie van voorkomen van een bepaalde duur, de cumulatieve frequentie bepaald en vermeld in tabel 1.

TABEL 1.

Duur windopzet (uren)	frequentie	cummulatieve frequentie.	relatieve frequentie. (%)
70	2	2	5.41
60	3	5	13.51
58	1	6	16.22
55	6	12	32.43
52	2	14	37.84
50	3	17	45.95
48	1	18	48.65
47	1	19	51.35
45	3	22	59.46
42	2	24	64.86
40	4	28	75.68
35	3	31	83.78
34	1	32	86.49
32	3	35	94.59
25	1	36	97.30

Frequentie van de windopzetduur voor de Waddenzee.



figuur 15.
Kansdichtheids funktie windopzetduur Waddenzee.

2.9 Kansdichtheids functie van de fase verschuiving tussen het getij en de windopzet.

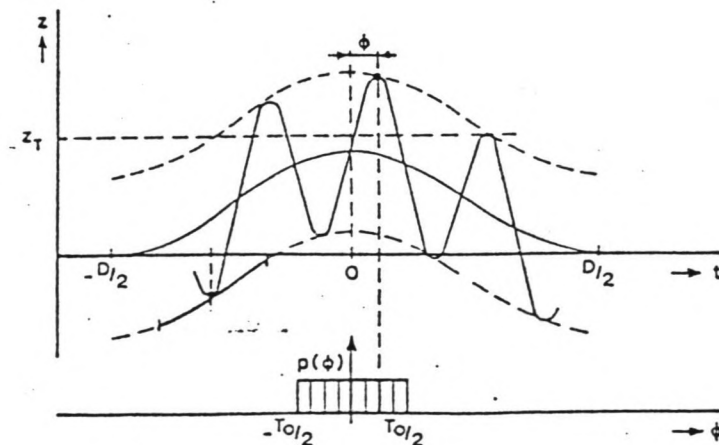
De volledige bewerking voor de duur van de windopzet is in lit.4 te vinden. De resultaten zijn grafisch weergegeven in figuur 15. De waarden voor het gemiddelde en de standaard afwijking zijn resp. 48 en 12 uur.

De faseverschuiving tussen de windopzet en het astronomisch getij die samen voor stormvloedstand zorgen is als een stochast ingevoerd.

Uit figuur 16 is af te leiden dat de kansdichtheids functie voor de fase verschuiving gegeven is door :

$$P(\phi) = 0 \quad \text{voor} \quad |\phi| > 1/2 T_0. \quad (2.9.1)$$

$$P(\phi) = 1/T_0 \quad \text{voor} \quad |\phi| \leq 1/2 T_0. \quad (2.9.2)$$



figuur 16.

Fase verschuiving en de Kansdichtheids functie.

2.10 Kansdichtheids functie windopzetsnelheid.

Vrijling en Bruinsma hebben in lit.1 gegeven dat de maximum en minimum waarde voor de windsnelheid met behulp van de relaties in (2.10.1 en 2.10.2) kan worden benaderd, en de bijbehorende kansdichtheids functie door de relaties in (2.10.3) en (2.10.4).

Aangezien beide onderzoekers het Weenink Noordzee model in hun onderzoek hebben betrokken mag aangenomen worden dat door het feit dat beide onderzoek locaties, de Oosterschelde en het Nederlandse deel van de Waddenzee, in het zelfde zuidelijk subvak II van het noordzee model liggen beide onderstaande kansdichtheids functies (2.10.3) en (2.10.4) van toepassing zullen zijn voor beide plaatsen.

De maximum en minimum windsnelheden zijn :

$$W(\max) = 1.27 W_g. \quad (2.10.1)$$

$$W(\min) = 0.68 W_g. \quad (2.10.2)$$

voor de kansdichtheid functie geldt de volgende :

$$P(W | W_g) = 0 \quad \text{voor } W < W(\min) \text{ en } W > W(\max). \quad (2.10.3)$$

$$P(W | W_g) = \frac{1}{0.59 W_g} \quad (2.10.4)$$

$$\text{voor : } W(\min) \leq W \leq W(\max)$$

zie figuur (17)

De relatie tussen W_9 en $W(\max)$ is gegeven door de relatie :

$$W(\max) = W_k \left[1 + \left(\frac{k}{26.8} \right)^{1.2} \right] \quad (2.10.5)$$

$W(\max)$: is de maximale uurgemiddelde windsnelheid.
 k : is het aantal uren waarin de uurgemiddelde windsnelheid W_k bereikt of overschreden wordt zonder onderbreking.

De relatie kan geschreven worden in de vorm :

$$k = 26.8 \left(\frac{W_m}{W_k} \right)^{0.83} \cdot \text{zie figuur (18)} \quad (2.10.6)$$

Resultaten winddata gemeten te den Helder in de wintermaanden van 1954 en 1955.

Tabel 4.

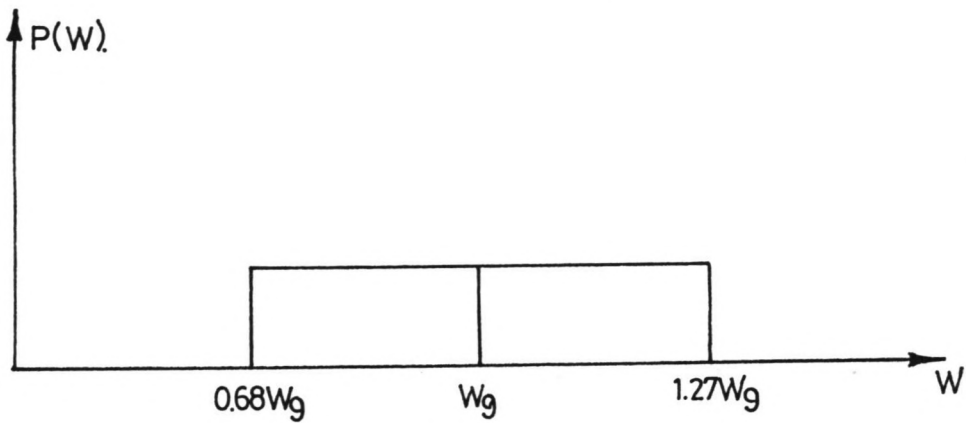
Plaats	variabel	gemiddelde	st afwijking	Eenheid
	Windkracht.	4.50	1.70	Beaufort.

Met $u(\text{wind}) = 0.75 * \text{Beaufort}^{1.5}$ (zie hstk 1), is dan de gemiddelde windsnelheid : $0.75 * 4.5^{1.5} = 7.2 \text{ m/s} = \text{ca } 26 \text{ km/uur}$. gemiddeld over de wintermaanden.

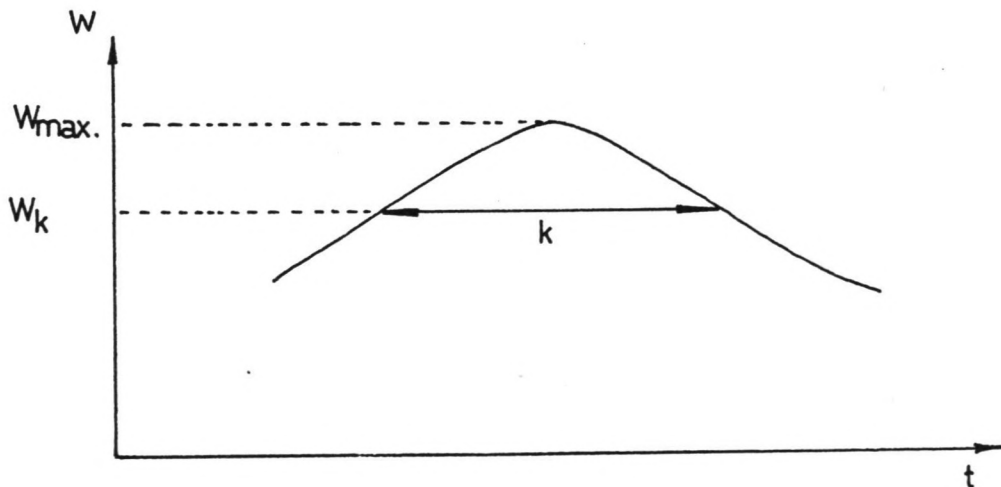
De hoogste gemeten windkracht is 10 Beaufort $\equiv 23.7 \text{ m/s} \equiv 85 \text{ km/uur}$.

In het nieuwe tabel voor de Beaufort windkracht, liggen de snelheden voor een windkracht 10 tussen de 89 en 102 km/uur.

Om de zoek acties naar de reële wortels in de berekeningen van de windsnelheid te beperken is vanuit gegaan dat de maximum windsnelheid niet hoger dan 126 km/uur zullen komen wat overeen komt met de hoogste beschikbare Beaufort schaal.



figuur 17.
Kansdichtheids functie windsnelheid



figuur 18.
Relatie $W_k - W_{MAX}$ zoals in (121).

2.11 Maximale Windopzet in het FrieseWad.

Naast de toepassing van de methode van Weenink en de methode Verploegh en groen is er nog een vraag die beantwoord dient te worden met betrekking tot de windduur - snelheids relatie.

Aangezien een constante windsnelheid voor een duur van enkele uren in de natuur maar zeer sporadisch voorkomt heeft men met betrekking tot het bepalen van de windopzetten die als functie van o.a de windduur is geschreven een hulp formule nodig.

Het bepalen van de windopzet kan op twee manieren gebeuren, te weten via de statistiek van de windopzetten zelve of via de statistiek van de windsnelheden.

Bij de statistiek van de windopzetten zelve worden de windopzetten verkregen door het astronomisch getij deel van de gemeten stormvloed hoogten af te trekken.

De stormvloed hoogte is immers opgebouwd uit twee componenten, het astronomisch getij en de wind opzet.

Wanneer aangenomen wordt dat de verdeling van de windopzetten door een Gumbel verdeling kan worden benaderd dan is het mogelijk de gemiddelde en de bijbehorende standaardafwijking voor de windopzetten te achterhalen.

Een nadeel van deze keuze is echter dat de resultaten meer op de Noordwest wind richting georiënteerd zijn aangezien deze richting extreem hoge windopzetten veroorzaakt.

De tweede methode maakt gebruik van de volledige windgegevens, via de statistiek van de windsnelheden verkrijgt men meer informatie over de maximum van de windopzet doordat de windrichtingen nu bij de data registraties zijn betrokken.

Hierdoor kan de verdelingen en de windopzetten als functie

van de windrichting bepaald worden.

Uiteindelijk werd bij het berekenen van de maximale windopzetten gekozen voor de vorm :

$$s(10) = \left[\frac{10}{U(5)} \right]^2 * s(u_5). \quad (2.11.1)$$

$s(10)$: is de maximale windopzet als gevolg van een 5 uurs gemiddelde windsnelheid van 10m/s.

u_5 : is de 5 uurs gemiddelde windsnelheid.

$s(u_5)$: is de maximale windopzet als gevolg van een windsnelheid u_5 .

3.0 Veiligheids beschouwing.

Zoals in het hoofdstuk 1.7 is genoemd moet alvorens een niveau III berekening kan worden uitgevoerd het bezwijk criterium worden gedefinieerd.

Het bezwijk criterium is zoals eerder is besproken weergegeven in de betrouwbaarheids functie Z en is als functie geschreven van de hoogwaterstand, significante golfhoogte , buitentalud hoek en kruinhoogte.

Verder is bij de benadering van de belasting gebruik gemaakt van de relatie in (1.7.1), en voor de betrouwbaarheids functie Z de relatie in (1.7.3). Bezwijk treedt op bij negatieve waarde van de betrouwbaarheids functie Z.

Voor de Kruinhoogte (K.H.) geldt de volgende waarde :

$$K.H. = N.A.P + 7.75 [m] \quad (3.0.1)$$

De significante golfhoogte H_s die in het voorgaande gedeelte aan de orde is geweest, is als functie geschreven van de windsnelheid (u), gravitatie (g), diepte (d) en fetch lengte F .

De enige onbekende in die formulering is de windsnelheid u . In de relatie (3.0.5), is te zien dat de invloed van de wind snelheid en windduur terug is te vinden in de de maximale wind opzet formulering.

$$\underline{SV}(\underline{\phi} | h_{HW}, D, S_M) = h_{HW} + S_{max} \cos^2(\pi * \underline{\phi} / D) \quad (3.0.2)$$

(onderstreept zijn de stochastische variabelen.)

Door samen voeging van de termen (1.6.2) t/m (1.6.5), en de relaties in (3.0.3) en (3.0.4) worden vergelijkingen voor de maximale windopzet verkregen. Zoals eerder is genoemd is met behulp van de Weenink's methode de windopzet op de Noordzee bepaald en met de relatie van Verploegh en Groen de additionele windopzet in de Waddenzee.

$$S_{max} = \frac{SV - h_{HW}}{\cos^2(\pi * \underline{\phi} / \underline{D})} \quad (3.0.3)$$

$$S_{max} = (A_s \cos \alpha_s + C_s \sin \alpha_s) * \frac{a * \tau_s}{\rho * g * d_s} +$$

$$+ u(10)^{2.4} * \left[\frac{b * F}{d} * \cos(\alpha - \alpha_0) \right] \quad (3.0.4)$$

Wanneer de stormvloed en hoogwaterstanden zijn ingevoerd zal men met behulp van (3.0.3) en (3.0.4) de bijbehorende windsnelheid kunnen berekenen. Door substitutie van τ_s uit

de deterministische gedeelte (relatie 1.6.7) zal uiteindelijk een vergelijking worden verkregen in de volgende gedaante :

$$f (C(1) , C(2) , C(3) , U^{2,4} , U^2) = 0. \quad (3.0.5)$$

Met de verkregen windsnelheid uit de bovenstaande vergelijking is de benodigde Significante golfhoogte te berekenen en uiteindelijk de betrouwbaarheids functie.

Bij bezwijk zullen de bezwijkkansen als volgt worden behandeld :

$$P(\text{totaal}) = P(1) * P(2) * \dots * P(5). \quad (3.0.6)$$

P(n) : kans van optreden. n = 1 ..5.

1 = hoogwater, 2 = windopzetduur,

3 = fase verschuiving, 4 = stormvloed niveau, 5 = windsnelheid.

3.1 Probabilistische berekenings resultaten.

Kruinhoogte [m] tov NAP	Overschrijdingskans.
7.00	4.4673175461E-03
7.15	3.1003510688E-03
7.30	2.1980247386E-03
7.45	1.5080256749E-03
7.60	9.9783231821E-04
7.75	6.5233745941E-04
7.90	4.2148224895E-04
8.05	2.6062624807E-04

8.20	1.5929349583E-04
8.35	9.2714814470E-05

Totaal oppervlak kdf hoogwater	=	0.29
Totaal oppervlak kdf windduur	=	1.00
Totaal oppervlak kdf faseverschuiving	=	1.00
Totaal oppervlak kdf stormvloed	=	1.00
Totaal oppervlak kdf windsnelheid	=	1.00

De bijbehorende invoer gegevens zijn :

GEGEVENS HOOGWATER :

Laagste stand hoogwater	=	1.00 m tov NAP.
Hoogste stand hoogwater	=	3.50 m tov NAP.
Gekozen aantal iteratie stappen	=	20.
Stapgrootte delta hoogwater	=	0.13 m.

WINDOPZETDUUR GEGEVENS :

Windopzetduur gemiddelde	=	48 uur.
Standaard afwijking	=	12 uur.
Afstand horizontale kdf as	:	0 tot 80 uur.
Aantal iteratie stappen	=	10.
Delta stap windopzetduur	=	7.27 uur.

GEGEVENS FASE VERSCHUIVING :

Fase verschuiving (fi)	= 0 tot 12.4 uur.
Aantal iteratie stappen fi	= 12.
Stapgrootte fase verschuiving	= 1.03 uur.

GEGEVENS STORMVLOED :

Minimaal stormvloed niveau	= 1.50 m tov NAP.
Maximaal stormvloed niveau	= 5.50 m tov NAP.
Aantal iteratie stappen	= 20.

4.0 Conclusie :

Uit de berekenings resultaten blijkt dat de veiligheid van de Afsluitdijk met een kruinhoogte van N.A.P. + 7.75m maar 6.5 E-4 groot is. Bij de berekeningen is het aandeel van de deining, buistoten, buioscillaties en de relatieve bodem daling buiten beschouwing gelaten.

Door het gebrek aan deining gegevens voor de waddenzee, is een ondergrens aangehouden van ca 10 cm voor de waterstands toename t.g.v. de deining in de Waddenzee. Samen met het aandeel van de buistoot en buioscillatie van resp. 10 en 5 cm is een veiligheid berekend van maar 1.3 E-3 . Dit is een factor 1.9 minder dan de reeds lagere veiligheid grens van 7.0 E-4 die voor het Noorden van Nederland geldt. (zie fig. 19 blz. 54a).

Uit de statistische data verwerking voor hoogwater standen in de omgeving van de afsluitdijk (bijl. 1 en 2) is gebleken dat de gemiddelde hoogwater peil in Kornwerderzand hoger is dan in Den Helder en Den Oever.

Aangezien het reken programma kans dichtheidsfunctie parameters gebruikt die uit de gegevens van Den Helder komen, zal bij toepassing van dichtheids functie parameters uit de gegevens van Kornwerderzand grotere bezwijkkansen worden verkregen.

Nog grotere bezwijkkansen zullen worden verkregen wanneer in de sterktefunctie definitie van de betrouwbaarheids functie, de grootte van de grond zettingen worden opgenomen. Hierdoor zal de kruinhoogte daling de veiligheid nog verder verlagen. De verklaring dat bij de gevoerde berekeningen niet de volledige kansdichtheidsfunctie oppervlak behoeft te worden doorlopen is in de bijlagen 3 t/m 6 gegeven.

5.0 Literatuur lijst.

1. Probabilistisch ontwerpen :
A.C.W.M. Vrouwenvelder ir & J.K.Vrijling. drs. ir.
College diktaat b3. (1986.)
2. R Benjamin, A Cornell.
Probability, statistics and decision for civil
engineers. (1970).
3. W.W Massie.en E.W.Bijker (prof. Dr.ir.)
Coastal engineering volume I (1982).
4. W.G.de Rijke. Afstudeer verslag (1983).
5. Rapporten Delta commissie 1 t/m 6. (1960).
6. Mood, Graybill, Boes.
Introduction to the theorie of statistics.
(1974).
7. H.bozdogan , A.K. Gupta.
Multivariate statistical modeling and data analysis.
(1986).
8. W.F.Schalkwijk.
A contribution to the studie of storm-surges on
the Dutch coast.
Mededeelingen en verhandelingen serie B deell no 7.
K.N.M.I. (1947).
9. M.P.H.Weenink.
A theory and method of calculation of wind effects on
sea levels in a partly enclosed sea with special
application to the southern coast of the Northsea.
(1958).
10. Verploegh.G en Groen.P.
De uitwerking van de wind over de Groningse Waddenzee
op de hoogwaterstanden van Delfzijl.
K.N.M.I. Wetenschappelijk rapport, De Bilt (1955).
11. Waterhoogten.
Algemene Dienst van de Rijkswaterstaat. (1955).

12. Het totaal overziende.
Vakgroep waterbouwkunde ter gelegenheid van het
emeritaat van prof.ir J.F.Agema.
ed. j Stuip. ir (1984)
13. J.A.Battjes (prof.Dr.ir)
Korte golven college diktaat b76 (1984).
14. J.P. van der Stok.
Elementaire theorie der getijden.
Mededeling en verhandelingen van het K.N.M.I./8.
(1910).
15. E Engelenburg.
Over den invloed van windrichting en
luchtdrukking op den zeespiegel.
De ingenieur 39. (1897).
16. F.L. Ortt.
Invloed van wind en luchtdruk op de zeestand te
Den Helder. (1897).

=== &&& ===

Waarnemingspunt	Gemiddeld H.W. 1941-1950	Astro- nomisch H.W. volgens getijtabel	Grens- peil	Storm- vloed- stand 1953	Hoogste waterstand zonder 1953		Stormvloed 1953 hoger dan		
					jaar	hoogte	hoogst bekende stand	grens- peil	Astro- nomisch H.W. (opzet)
<i>Katwijk</i>	88	90	265	405	1825	369	36	140	315
<i>IJmuiden</i>	83	80	230	385	1894	340	45	155	—
<i>Petten</i>	—	—	215	350	1863	308	42	135	301
<i>Den Helder</i>	49	35	215	325	1954	289	36	110	290
Waddenzee									
<i>Oude Schild</i>	53	57	230	332	1954	302	30	102	275
<i>Vlieland (haven)</i>	74	76	250	316	1954	310	6	66	240
<i>Terschelling</i>	75	77	245	318	1954	302	16	73	241
<i>Nes</i>	90	100	270	320	1906	356	n	50	220
<i>Schiermonnikoog</i>	94	100	280	325	1906	400	n	45	225
<i>Rottumeroog</i>	98	106	310	350	1916	420	n	40	244
<i>Westerland</i>	58	43	245	370 ¹⁾	1954	337	33	125	327
<i>Den Oever</i>	61	47	255	370	1954	355	15	115	323
<i>Kornwerderzand</i>	78	84	275	373	1954	386	n	98	289
<i>Harlingen</i>	82	90	273	366	1954	369	n	93	276
<i>Nieuw-Bildt</i>	90	95	270	360	1954	370	n	90	265
<i>Oostmahorn</i>	94	105	300	318	1906	420	n	18	213
<i>Nieuwe Zijlen</i>	100	107	300	330	1944	430	n	30	223
<i>Zoutkamp</i>	102	108	310	341	1825	445	n	31	233
<i>Delfzijl</i>	116	126	334	327	1825	460	n	— 7	201
<i>Fiemel</i>	127	—	360	350	—	—	n	— 10	—
<i>Nieuwe Statenzijl</i>	132	142	370	370	1877	541	n	0	228
Maas, Bergse Maas, Amer									
<i>Lith (dorp)</i>	166	200	—	407	1926	775	n	—	207
<i>Sint-Andries (Maas)</i>	156	189	—	403	1926	724	n	—	214
<i>Blauwe Sluis</i>	145	180	—	400	1926	651	n	—	220
<i>Hedel</i>	133	168	—	395	1926	574	n	—	227
<i>Hedikhuizen</i>	125	157	—	390	1926	520	n	—	233
<i>Andel (Maas)</i>	127	145	285	370	1926	465	n	85	225
<i>Heesbeen</i>	120	138	275	376	1926	464	n	101	238
<i>Drongelense Veer</i>	118	134	265	374	1926	386	n	109	240
<i>Capelse Veer</i>	115	120	260	370	1926	318	52	110	250
<i>Mond der Donge</i>	127	117	260	378	1916	314	64	118	261
<i>Drimmelen</i>	127	115	265	380	1916	320	60	115	265
<i>Lage Zwaluwe</i>	131	120	285	400	1916	353	47	115	280
Biesbos									
<i>Werkendam (binnen)</i>	—	—	260	390	1889	301	89	130	—
<i>De Reught</i>	—	—	275	390	1928	325	65	115	—
<i>Ottersluis (binnen)</i>	—	—	280	390	1916	350	40	110	—
<i>Helsluis (binnen)</i>	—	—	280	390	1916	348	42	110	—
Dongegebiet									
<i>Oosterhout (Rode brug)</i>	—	—	240	259 ²⁾	1944	253	n	19	—
<i>'s-Gravenmoer (Hoge brug)</i>	—	—	235	253 ²⁾	1949	256	n	18	—
<i>Raamsdonksveer (Willemsbrug)</i>	—	—	245	266 ²⁾	1951	258	—	—	—
<i>Waalwijk (stoomgemaal)</i>	—	—	230	271 ²⁾	1916	263	—	—	—
<i>Besoijen (ophaalbrug)</i>	—	—	235	270 ²⁾	1916	263	—	—	—

¹⁾ H.W. I is 363; H.W. II is niet waargenomen, doch gelijkgesteld aan Den Oever.

²⁾ De hoogte van de kaden (N.A.P. + 250 à 260 cm) bepaalt de maximum hoogte van elke stormvloed.
n = Hoogste stand 1953 lager dan kolom 4.

Handberekening ter bepaling van de betrouwbaarheids functie
voor hoogwater waarden lager dan N.A.P. + 1m.

Name of input file: HANDREK.EUR

```
ci= (b*f/d)* cos(alf0)
ca = (as * cos(alfs) + cs * sin(alfs))
cb = (a/(ro*g*ds))*rol*3.3E-3
c2 = ca * cb
c3=(sv-hw)/(cos(pi*fi/d))^2
b = 1E-7
f = 30455
d = 1.98
alf0 = 0.0
as = 0.38
alfs= 0.523598775
cs = -0.41
a = 575000
ro= 1030.
g= 9.81236
ds= 43.0
rol= 1.25
sv= 5.5
hw= 1.0
pi= 3.141592654
fi= 0
d= 10.0
```

```
c1*(u^2.4) + c2 * (u^2) - c3 = 0
```

Bijlage 3.

Solution

Variables		Values
a	=	575000.00
alf0	=	.00000000
alfs	=	.52359877
as	=	.38000000
b	=	1.0000000e-07
c1	=	.0015381313
c2	=	.00067724876
c3	=	4.5000000
ca	=	.12408965
cb	=	.0054577375
cs	=	-.41000000
d	=	1.9800000
ds	=	43.000000
f	=	30455.000
fi	=	.00000000
g	=	9.8123600
hw	=	1.0000000
pi	=	3.1415927
ro	=	1030.0000
rol	=	1.2500000
sv	=	5.5000000
u	=	26.544418

Name of input file: B:HANDREK.EUR

```
u=26.5444
g=9.81236
d=1.98
f=30455
sv=5.5
alfa=0.321750554
a=tanh(0.530*(g*d/u^2)^0.75)
b1=0.0125*((g*f/u^2)^0.75)
b2=tanh(0.530*((g*d/u^2)^0.75))
b=tanh(b1/b2)
c=0.238
hs=c*a*b*u/g
tana=tan(alfa)
gs=sv + 8 * hs * tana
z=7.75-gs
```

Solution

Variables		Values
a	=	.035847541
alfa	=	.32175055
b	=	1.0000000
b1	=	1.1682202
b2	=	.035847541
c	=	.23800000
d	=	1.9800000
f	=	30455.000
g	=	9.8123600
gs	=	5.5615467

Bijlage 5.

Name of input file: HANDREK.EUR

hs = .023079998
sv = 5.5000000
tana = .33333333
u = 26.544400

UITEINDELIJK RESULTAAT HANDBEREKENING.

WAARDE BETROUWBAARHEIDSFUNKTIE :

z = 2.1884533
=====

Biilage 6.

