

leidraad voor de
beoordeling van de
veiligheid van duinen
als waterkering

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen

leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen

Staatsuitgeverij 's-Gravenhage 1984

secretariaat: Koningskade 4
2500EX 's-Gravenhage
tel. 070 - 264011

TECHNISCHE ADVIESCOMMISSIE VOOR DE WATERKERINGEN

Aan de Minister van
Verkeer en Waterstaat
Plesmanweg 1-6
's-GRAVENHAGE

Uw kenmerk: Uw brief van: Ons kenmerk: 's-Gravenhage, 15 mei 1984
nr.: S84-20
Bijlagen: 1

Onderwerp: Leidraad duinafslag

In 1972 werd door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) de "Richtlijn voor de berekening van duinafslag ten gevolge van een stormvloed" uitgegeven. Met deze richtlijn werd geenszins beoogd een definitief antwoord te geven op het probleem van de veiligheidsbeoordeling van een duin in zijn functie als waterkering. De Richtlijn van 1972 werd in de wandeling dan ook direct met Voorlopige Richtlijn aangeduid. Het duinafslagonderzoek werd met kracht voortgezet door werkgroep 5 "Duinen als waterkering" van de TAW. Dit onderzoek was erop gericht om te gelegener tijd door de uitgifte van een nieuwe, betere, richtlijn (verder leidraad genoemd) de kustbeheerders een handreiking te geven, waarmee het probleem van de toetsing van bestaande duinen als veilige waterkering en het ontwerp van nieuwe duinen, in de meest voorkomende gevallen, afdoende kan worden opgelost.

Met de Voorlopige Richtlijn kon in principe de afslag worden berekend ten gevolge van een willekeurige (lage) stormvloed. Het stormvloedpeil, de significante golfhoogte en de ligging van het kustprofiel (duinen, strand en vooroever) kort vóór de stormvloed dienden daartoe bekend te zijn. De

Voorlopige Richtlijn bood daarmee tevens de mogelijkheid de veiligheid van bestaande duinen te beoordelen en nieuwe, of in het kader van de Deltawet te versterken, duinen te ontwerpen. Bij de toepassing van de Voorlopige Richtlijn als toetscriterium voor de veiligheid werd aanbevolen de door de Deltacommissie aangegeven ontwerppeilen en significante golfhoogten in de afslagberekeningen in te voeren. Er werd daarmee beoogd zo goed mogelijk aan te sluiten bij de gangbare ontwerppraktijk van primaire zeeweringen. De berekeningsmethode vereiste de keuze van een uitgangssituatie van de ligging van het kustprofiel. In de Voorlopige Richtlijn werd aanbevolen daarvoor "de laagste ligging van het uitgangsprofiel aan te houden die in een reeks van jaren is voorgekomen". De Voorlopige Richtlijn volgde dus in feite de "deterministische" ontwerpmethod, zij het dat volgens de hiervoor geciteerde zinsnede wel rekening werd gehouden met de onzekerheid in de ligging van het uitgangsprofiel.

Sedertdien is veel onderzoek verricht, dat uiteindelijk geresulteerd heeft in de "Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering".

Deze leidraad bieden wij u hierbij aan.

In de leidraad worden achtereenvolgens het toe te passen rekenmodel voor duinafslag en de toetsingsregels voor de veiligheid beschreven.

Rekenmodel voor de verwachting van duinafslag tijdens stormvloed

Het onderzoek dat sinds het verschijnen van de Voorlopige Richtlijn is uitgevoerd, is er in eerste aanleg op gericht geweest een beter kwantitatief inzicht te verkrijgen in het duinafslagmechanisme.

Uitgebreide series duinafslagproeven op kleine en later in de Deltagoot op grote schaal zijn door het Waterloopkundig Laboratorium in opdracht van de TAW uitgevoerd. De analyses van de modelproeven en van natuurmetingen hebben geleid tot een nieuw rekenmodel voor duinafslag. Dat rekenmodel kan ook

weer gebruikt worden bij het narekenen van willekeurige stormvloed en is als zodanig direct vergelijkbaar met het eerst genoemde doel van de Voorlopige Richtlijn. Bij berekeningen volgens de Voorlopige Richtlijn werden drie parameters van belang geacht (stormvloedpeil, significante golfhoogte en uitgangsprofiel). Bij berekeningen met het nieuwe rekenmodel speelt ook de korreldiameter van het duinmateriaal een rol van betekenis. Bovendien wezen de uitkomsten van de analyses ten behoeve van de afleiding van het nieuwe rekenmodel erop dat het, gegeven bepaalde randvoorwaarden, niet verantwoord leek te besluiten tot een éénduidige uitkomst, maar dat de uitkomst beter in termen van een verwachtingswaarde en een spreiding gegeven kon worden.

Er kan, uiteraard afhankelijk van de preciese randvoorwaarden, worden gesteld, dat er in het algemeen met het nieuwe rekenmodel aanzienlijk (ca. 35%) minder afslag wordt berekend dan met de Voorlopige Richtlijn, als van gelijke randvoorwaarden wordt uitgegaan. Voor een reductie van een dergelijke orde van grootte waren reeds in een tamelijk vroeg stadium van het onderzoek sterke aanwijzingen. Op grond hiervan ontstond de indruk dat de veiligheid van de duinen werd onderschat door de toets van de Voorlopige Richtlijn, m.a.w. dat de veiligheidsnorm van de Voorlopige Richtlijn te zwaar was.

Probabilistisch ontwerp

Vooraf door het toedoen van Werkgroep 10 "Probabilistische methode" van de TAW, is het zich bewust worden van faal- en bezwijkkansen van (primaire) waterkeringen sterk gestimuleerd. Werkgroep 10 heeft er bij herhaling op gewezen dat er bij de beoordeling van de veiligheid van bestaande waterkeringen en bij het ontwerp van nieuwe waterkeringen terdege met het stochastische karakter van de "belasting"- en de "sterkte"-parameters rekening dient te worden gehouden. De TAW heeft dan ook, op initiatief van werkgroep 5, besloten de nieuwe leidraad op een in principe probabilistische ont-

werfphilosofie te baseren. De toetsingsmethode voor de veiligheidsbeoordeling van de Voorlopige Richtlijn, gebaseerd op een verwachte hoeveelheid duinafslag bij het optreden van de door de Deltacommissie aangegeven ontwerppeilen en significante golfhoogten, wordt thans als onveilig beschouwd in vergelijking met andere primaire waterkeringen.

Dat werkgroep 5 een probabilistische ontwerpfilosofie als grondslag voor de samenstelling van de leidraad heeft gekozen, is vooral ook ingegeven door de omstandigheid dat een groter aantal parameters bepalend blijkt te zijn voor de mate van duinafslag dan indertijd bij de presentatie van de Voorlopige Richtlijn werd aangenomen. (Voorlopige Richtlijn: 3 parameters; leidraad: 7 parameters). Om te voorkomen dat door een ongunstige keus van de maatgevende randvoorwaarden van een opeenstapeling van veiligheden sprake zal zijn, dient een dergelijk probleem meer systematisch te worden aangepakt. De probabilistische rekenmethoden bieden een dergelijke mogelijkheid.

In een probabilistische ontwerpaanpak is het van belang dat vooraf een bezwijkkans wordt vastgesteld. Dat is de kans dat in een willekeurig jaar er een dusdanig ongunstige combinatie van randvoorwaarden optreedt dat, in dit geval, het duin doorbreekt.

Bij de opzet van de leidraad bleek in een vrij vroeg stadium dat er in Nederland geen pasklaar antwoord voorhanden was op de vraag wat de maximaal toelaatbare bezwijkkans voor een duin is. Voor het vaststellen hiervan is uiteindelijk aansluiting gezocht bij de veiligheid van dijken die van de wind af gelegen zijn, met een minimum waakhogte. Dijken op de wind, met een grote waakhogte, hebben vermoedelijk een grotere reserve aan veiligheid bij het optreden van het ontwerppeil. Bij deze keuze heeft een rol gespeeld dat binnen eenzelfde gebied (bijvoorbeeld Centraal-Holland) de waterkeringen in beginsel dezelfde bezwijkkans zouden moeten hebben. Door Werkgroep 10 is nagegaan wat, in het licht van de jongste inzichten, de bezwijkkans van de volgens de ontwerp-

regels van de Deltacommissie ontworpen dijken langs de noordoever van de Nieuwe Waterweg is. Voor de duinenrij van Centraal-Holland zou dan eenzelfde bezwijkkans als uitgangspunt voor de probabilistische benadering genomen dienen te worden.

Werkgroep 10 heeft haar bevindingen in een notitie vastgelegd. Daarin is bovendien nog eens samengevat wat de Deltacommissie in haar rapportage over de bezwijkproblematiek van dijken heeft vastgelegd en hoe dat in het licht van bezwijkkansen tegenwoordig geïnterpreteerd zou kunnen worden. De Deltacommissie heeft indertijd gesteld dat bij een stormvloed waarbij het ontwerppeil (voor een belangrijk deel van de kust gelijk aan het basispeil; het basispeil heeft een overschrijdingskans per jaar van 10^{-4}) wordt bereikt, er nog "volledige veiligheid" tegen bezwijken aanwezig dient te zijn. Hieronder dient te worden verstaan dat "enige overschrijding" van het genoemde ontwerppeil niet meteen tot bezwijken mag leiden. De Deltacommissie heeft dus heel nadrukkelijk niet bedoeld dat het ontwerppeil tevens het ramppeil zou zijn. Werkgroep 10 is tot de aanbeveling gekomen, en deze aanbeveling is door de TAW overgenomen, dat de maximaal toelaatbare bezwijkkans gesteld zou kunnen worden op een factor 10 kleiner dan de overschrijdingskans van het ontwerppeil. Voor Centraal-Holland betekent dit bijvoorbeeld een bezwijkkans per jaar van 10^{-5} . Deze factor 10 representeert dus de veronderstelde marge tussen de overschrijdingskans van het ontwerppeil en de bezwijkkans, voor de situatie aan de noordoever van de Nieuwe Waterweg.

De vooraf vast te stellen toelaatbare bezwijkkans voor een willekeurig duinprofiel maakt het vervolgens mogelijk aan de hand van probabilistische beschouwingen de minimaal benodigde afmetingen van een duin vast te stellen. De berekeningsmethode die in de leidraad is opgenomen, is zodanig opgezet dat de uitkomsten van die relatief eenvoudige methode nagenoeg overeenkomen met die van meer uitgebreide probabilistische berekeningsmethoden. Door in een afslagberekening met het nieuwe rekenmodel zeer specifieke randvoorwaarden

aan te nemen en daarop bovendien enkele toeslagen in rekening te brengen, wordt die mate van duinafslag verkregen die een overschrijdingskans heeft gelijk aan de vastgestelde maximaal toelaatbare bezwijkkans.

De 7 parameters die uiteindelijk worden geacht de mate van afslag te bepalen, zijn in 3 groepen in het rekenrecept van de leidraad verwerkt. In het navolgende wordt dat in het kort aangegeven.

A) Stormvloedpeil; significante golfhoogte; korreldiameter

Afhankelijk van de voor een gekozen locatie geldende basisrandvoorwaarden worden rekenwaarden afgeleid die in het rekenmodel worden ingevoerd. In de leidraad zijn de aan te houden rekenwaarden in paragraaf 3.1.1 aangegeven.

B) Tijdsduur stormvloed; optreden bui-oscillaties en buistoten; nauwkeurigheid van het rekenmodel

De invloed die van de mogelijke variatie van de genoemde parameters op de ontwerpafslag uitgaat, is verwerkt door in de leidraad een toeslag op de uitkomst van de onder A) aangegeven berekening aan te nemen. In paragraaf 3.1.2 van de leidraad is de grootte van de toeslag aangegeven.

C) Beginprofiel

De invloed van de variatie in de ligging van het beginprofiel op de ontwerpafslag is in de leidraad verwerkt door een extra landwaartse verschuiving van de ontwerpafslaglijn aan te houden. In paragraaf 3.1.3 van de leidraad is de mate van de in te voeren verschuiving aangegeven.

In de leidraad is in paragraaf 3.1.4 een rekenwijze aangegeven waarmee de invloed van een eventuele gradiënt in het langstransport op de mate van duinafslag verwerkt kan worden. Een dergelijke gradiënt is slechts voor een beperkt aantal profielen van belang. De wijze waarop de invloed van de gradiënt is verwerkt, is geen onderdeel van probabilis-

tische beschouwingen geweest. In de leidraad wordt het effect van de genoemde gradiënt verwerkt in een extra landwaartse verschuiving van de ontwerpafslaglijn.

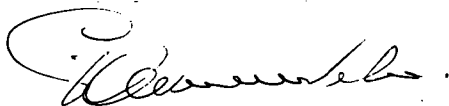
Misschien ten overvloede wordt nogmaals benadrukt dat het geheel van rekenwaarden en toeslagen in de leidraad juist zodanig afgeleid en gekozen is, dat met een relatief gering aantal berekeningen een aanvaardbare schatting van de ontwerpafslag bepaald kan worden. Het alternatief zou zijn dat een tamelijk ingewikkeld stelsel van probabilistische berekeningen door de kustbeheerders uitgevoerd zou dienen te worden om een nagenoeg gelijke einduitkomst te verkrijgen. De TAW heeft voor de eenvoudiger weg gekozen.

Eindresultaat

Het eindresultaat van de leidraad-berekeningen is dat een duin over het algemeen zwaarder dient te zijn om als voldoende veilig gekenschetst te kunnen worden, dan de benodigde zwaarte die vroeger met een berekening volgens de Voorlopige Richtlijn kon worden vastgesteld. De TAW meent echter tot deze benadering te moeten adviseren, omdat het verdiepte inzicht heeft geleerd, dat de oude benadering tot een in relatie tot andere waterkeringen te onveilige situatie zou leiden.

Samenvattend adviseert de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen u dan ook bij de toetsing van de veiligheid en bij het ontwerp van duinen als waterkering de u hierbij aangeboden leidraad te hanteren en ter kennis te brengen van de belanghebbende provinciale besturen.

De voorzitter,



prof. ir. P.A. van de Velde

De secretaris,



ir. J.R. Hoogland.

Inhoud	Blz.
1 Inleiding	12
2 Rekenmodel voor de verwachting van duinafslag tijdens stormvloed	14
2.1 Inleiding	14
2.2 Uitgangspunten	14
2.3 De vorm van het afslagprofiel	14
2.4 Praktische uitvoering van het rekenmodel bij willekeurige stormvloed	16
2.5 De nauwkeurigheid van duinafslagberekeningen met het rekenmodel	19
3 Veiligheidsbeoordeling van een dwarsdoorsnede van een duinkust	21
3.1 De toetsingsmethode voor de beoordeling op veiligheid	21
3.1.1 De afslagberekening	23
3.1.2 De toeslag op de afslaghoeveelheid boven rekenpeil	29
3.1.3 De verwerking van de profielfluctuaties	30
3.1.4 De verwerking van een gradiënt in het langstransport	30
3.1.5 Het grensprofiel	33
3.2 De invloed van geleidelijke kustachteruitgang op de veiligheid	34
3.3 Toetsing aan lagere veiligheidsnormen	34
4 Opmerkingen	35
4.1 Zijdelingse herverdeling	35
4.2 Strandhoofden en paalrijen	35
4.3 Duinvoetverdedigingen	35
4.4 Relatieve zeespiegelrijzing	35
4.5 Niet-lineaire regressie	35
Literatuur	37

1 INLEIDING

De „Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering” komt in de plaats van de „Richtlijn voor de berekening van duinafslag tengevolge van een stormvloed” van 1972 [1].

De leidraad, die in eerste instantie bedoeld is voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als primaire waterkering, is opgebouwd uit de volgende drie hoofdelementen:

- Een rekenmodel voor de verwachting van duinafslag tijdens stormvloed. Dit rekenmodel vormt een belangrijk onderdeel van de hierna genoemde toetsingsmethodes (hoofdstuk 3) en wordt daarom eerst beschreven (hoofdstuk 2).
- Een methode voor het toetsen van een duinkust aan de vastgestelde veiligheidsnormen voor duinen als primaire waterkering.
- Een methode voor het toetsen van een duinkust aan lagere veiligheidsnormen.

Op grond van uitgebreid model- en prototype-onderzoek werd het rekenmodel van de richtlijn van 1972 aanzienlijk verbeterd [2]. Met behulp van het nieuwe rekenmodel kan de mate van duinafslag ten gevolge van een willekeurige stormvloed worden berekend met een bepaalde nauwkeurigheid. De voor de berekening benodigde gegevens zijn het stormvloedpeil, de significante golfhoogte, de korrel diameter van het duinzand en het kustprofiel vlak voor de stormvloed. Het rekenmodel kan, behalve bij de toetsingsmethodes, ook gebruikt worden voor evaluatie- en studiedoelinden, zoals bijvoorbeeld het narekenen van opgetreden duinafslag.

Ten behoeve van de veiligheidsbeoordeling is een toetsingsmethode ontwikkeld op basis van een probabilistische veiligheidsbeschouwing [3]. Hierbij wordt rekening gehouden met de nauwkeurigheid van het rekenmodel en het stochastische karakter van de duinafslagbepalende factoren die van belang worden geacht. Behalve de hierboven reeds aangegeven factoren zijn dit de stormvloedduur en het optreden van buistoten en bui-oscillaties.

Bij een probabilistische veiligheidsbeschouwing wordt, op basis van de waarschijnlijkheidsrekening en uitgaande van de statistische verdelingen van de duinafslagbepalende factoren, de kans op doorbreken berekend. Als norm voor de veiligheidsbeoordeling dient derhalve een maximaal toelaatbare doorbreekkans te worden aangegeven. Deze doorbreekkans dient te passen in de geest van het rapport van de Deltacommissie, zodat een gelijkwaardige sterkte wordt verkregen voor de verschillende typen waterkeringen. Als uitgangspunt voor de verbetering van zeedijken dienen de door de Deltacommissie vastgestelde ontwerppeilen. Van een goed dijkontwerp wordt geëist dat „enige overschrijding” van het ontwerppeil niet meteen tot doorbreken zal leiden. De overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil mag dus niet geïnterpreteerd worden als een bezwijkfrequentie. Deze vereiste reserve aan veiligheid bij het optreden van

een waterstand gelijk aan het ontwerppeil is nu tot uitdrukking gebracht in een factor waarmee de overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil vermenigvuldigd moet worden om tot een maatgevende doorbreekkans per jaar voor een duinprofiel te komen. Deze factor is gesteld op 10^{-1} [4]. Voor Centraal-Holland bijvoorbeeld betekent dit een maatgevende doorbreekkans per jaar van 10^{-5} .

Met behulp van de leidraad kan van het grootste deel van de duinkust worden nagegaan of wordt voldaan aan de gestelde veiligheidsnorm. Voor een aantal kustvakken is nog verder onderzoek noodzakelijk. Dit betreft met name zeer sterk gebogen kustvakken (zie paragraaf 3.1.4.), met harde constructies verdedigde duinvakken en duinvakken die aansluiten aan kunstwerken.

De geleidelijke kustachteruitgang is van groot belang voor de veiligheid in de toekomst. Aangegeven is hoe inzicht kan worden verkregen omtrent het tijdstip waarop de vereiste veiligheid verloren dreigt te gaan.

De wijze waarop de leidraad dient te worden toegepast is op tamelijk directe wijze aangegeven. Uitgebreide toelichtingen zijn hierbij zoveel mogelijk achterwege gelaten. Voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen naar de opgegeven literatuur.

De leidraad is samengesteld door werkgroep 5 „Duinen als waterkering” van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW). De samenstelling van deze werkgroep ten tijde van het uitkomen van de leidraad was als volgt:

voorzitter:	prof.dr.ir. E.W. Bijker	(Technische Hogeschool Delft)
secretaris:	ir. D. Dillingh	*(Centrum voor Onderzoek Waterkeringen)
leden:	ir. W.Th.J.N.P. Bakker	(District Kust en Zee, RWS)
	drs. P. Brolsma	(Adviesdienst Hoorn, RWS)
	dr. J. Bruinsma	(Deltadienst, RWS)
	ir. J. v.d. Graaff	*(Technische Hogeschool Delft)
	ir. P.C. Mazure	(Centrum voor Onderzoek Waterkeringen)
	ir. R. Reinalda	(Waterloopkundig Laboratorium)
	ir. P. Slijkhuis	(Hoogheemraadschap Delfland)
	ir. P. Vellinga	*(Waterloopkundig Laboratorium)
	ir. C. Visser	*(Provinciale Waterstaat in Zeeland)

De leidraad is ontwikkeld en opgesteld door de subgroep „Leidraad” bestaande uit de met een *aangeduide leden van de werkgroep.

2 REKENMODEL VOOR DE VERWACHTING VAN DUINAFSLAG TIJDENS STORMVLOED

2.1 Inleiding

Op basis van uitgebreid modelonderzoek en metingen in de natuur is een rekenmodel ontwikkeld waarmee de verwachtingswaarde en de standaardafwijking kunnen worden bepaald van de hoeveelheid duinafslag ten gevolge van een willekeurige stormvloed. Hierbij wordt uitgegaan van het kustprofiel vóór de stormvloed, de korrelgrootte van het duinzand (D_{50}), het stormvloedpeil en de significante golfhoogte. Het rekenmodel is van toepassing voor alle normale en extreme stormvloedcondities en profielvormen langs de Nederlandse duinkust.

2.2 Uitgangspunten

- Tijdens stormvloed met duinafslag wordt het kustprofiel omgevormd tot een bepaald afslagprofiel.
- De vorm van dit afslagprofiel is een functie van de significante golfhoogte en de valsnelheid van het afgeslagen zand in stilstaand zeewater.
- De vorm van het afslagprofiel is onafhankelijk van de golfvalsrichting, van het kustprofiel vóór de stormvloed en van het stormvloedpeil.
- Aangenomen wordt dat het afgeslagen zand uitsluitend in zeewaartse richting getransporteerd wordt.
- Het afslagprofiel is zodanig gesitueerd ten opzichte van het profiel vóór de stormvloed, dat de totale oppervlakte van het afgeslagen zand gelijk is aan de oppervlakte van het afgezette zand (zie figuur 1). Er wordt hierbij in het algemeen verondersteld dat er geen netto verlies van zand is in zijwaartse richting. Voor situaties waarbij dit wel het geval is wordt verwezen naar paragraaf 3.1.4.

2.3 De vorm van het afslagprofiel

Het afslagprofiel wordt als volgt samengesteld:

- De duinvoet - het punt waar het steile front van het afgeslagen duin overgaat in het relatief flauwe profiel van het strand - ligt ná afslag op het stormvloedpeil. De helling van het afgeslagen duintalud bedraagt 1:1.
- Vanaf de duinvoet ($x = 0$, $y = 0$) zeewaarts, loodrecht op de kust, verloopt het profiel parabolisch volgens de formule:

$$\left(\frac{7,6}{H_{0s}}\right) y = 0,4714 \left[\left(\frac{7,6}{H_{0s}}\right)^{1,28} \cdot \left(\frac{w}{0,0268}\right)^{0,56} x + 18\right]^{0,5} - 2,00 \quad (1)$$

tot het punt waarvoor geldt

$$x = 250 (H_{0s}/7,6)^{1,28} (0,0268/w)^{0,56}$$

$$y = 5,717(H_{0s}/7,6).$$

- Zeewaarts van dit punt gaat het profiel over in een rechte lijn onder een helling van 1:12,5 tot het oorspronkelijke profiel wordt gesneden.

In formule (1) is:

H_{0s} = de significante golfhoogte op diep water [m].

w = de valsnelheid van het duinzand in zeewater [m/s].

x = de afstand tot de nieuwe duinvoet [m].

y = de diepte beneden stormvloedpeil [m].

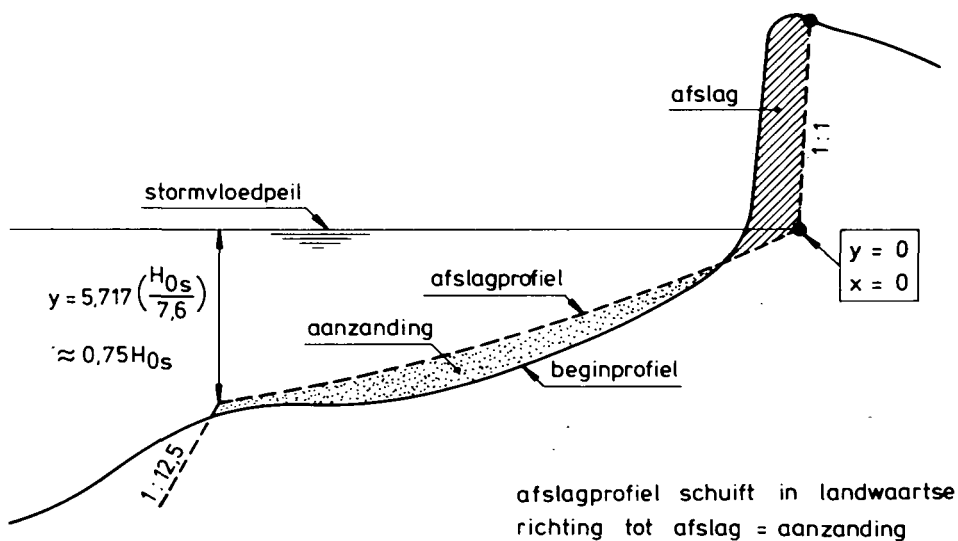


Fig. 1 Principe van het rekenmodel voor duinafslag.

De valsnelheid w kan worden berekend met de formule

$$10^{\log(1/w)} = 0,476 (10^{\log D})^2 + 2,180 10^{\log D} + 3,226 \quad (2)$$

In formule (2) is:

w = de valsnelheid van het duinzand in zeewater [m/s].

D = D_{50} van het duinzand [m].

Formule (2) is afgeleid voor zeewater met een temperatuur van 5°C [6]. De aldus berekende valsnelheden kunnen in de praktijk worden gebruikt voor de gehele periode waarin de stormvloedden kunnen worden verwacht.

De invloed van de golfhoogte en de korreldiameter (valsnelheid) van het duinzand op het afslagprofiel wordt geïllustreerd in de figuren 2 en 3.

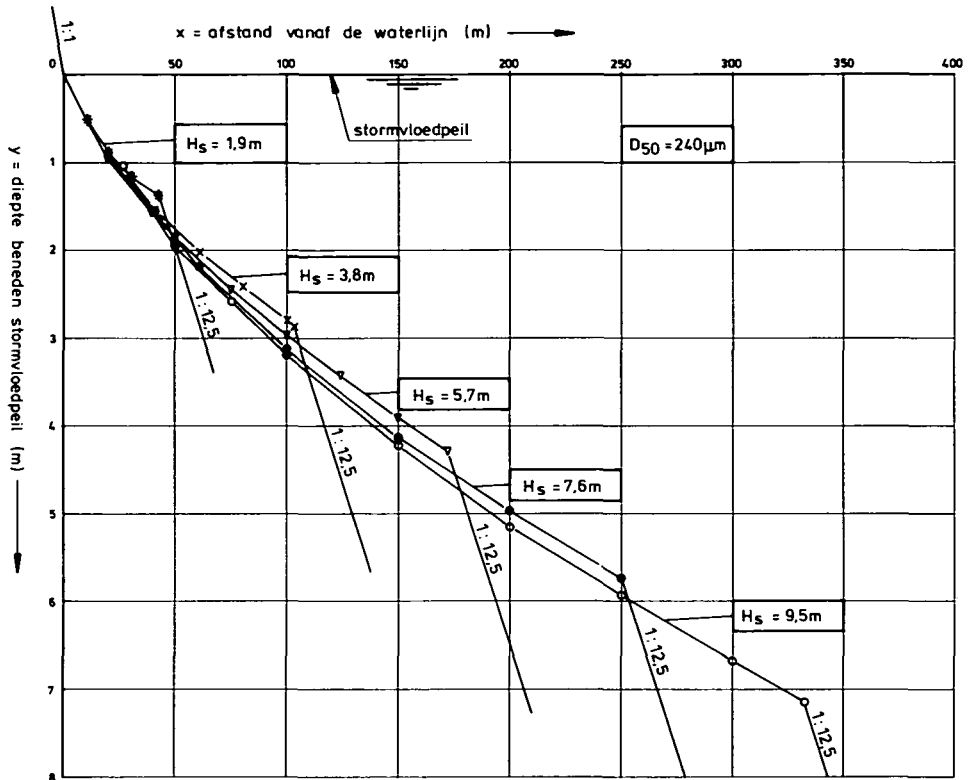


Fig. 2 De invloed van de golfhoogte op het afslagprofiel (voor $D_{\text{reken}} = 240 \mu\text{m}$).

2.4 Praktische uitvoering van het rekenmodel bij willekeurige stormvloed

Voor een gegeven kustprofiel kan de mate van duinafslag ten gevolge van willekeurige stormvloedcondities als volgt worden bepaald:

- De vorm van het afslagprofiel wordt bepaald door de significante golfhoogte en de korreldiameter (zie formule (1)).

- De positie van het afslagprofiel in verticale zin wordt bepaald door het stormvloedpeil (x-as op stormvloedpeil).
- De positie in horizontale zin wordt bepaald door het afslagprofiel zodanig in het kustprofiel te leggen dat een sluitende zandbalans in de richting loodrecht op de kust ontstaat.
- Voor stormvloedpeil en significante golfhoogte dienen de waarden te worden ingevoerd zoals die gelden net buiten de brekerzone. Hiervoor kunnen in het algemeen de peilen van de peilmeetstations en de significante golfhoogte op diep water worden aangehouden.
- Wanneer vlak onder de kust een platengebied voorkomt, dient de significante golfhoogte net buiten de brekerzone behorende bij de vaste kust in de afslagberekening te worden ingevoerd. Deze kan worden berekend uit de golfcondities op diep water, waarbij, afhankelijk van de plaatselijke situatie, rekening dient te worden gehouden met refractie, diffractie, energiedissipatie door breking en wrijving over dit platengebied en met golfgroei door lokale wind.

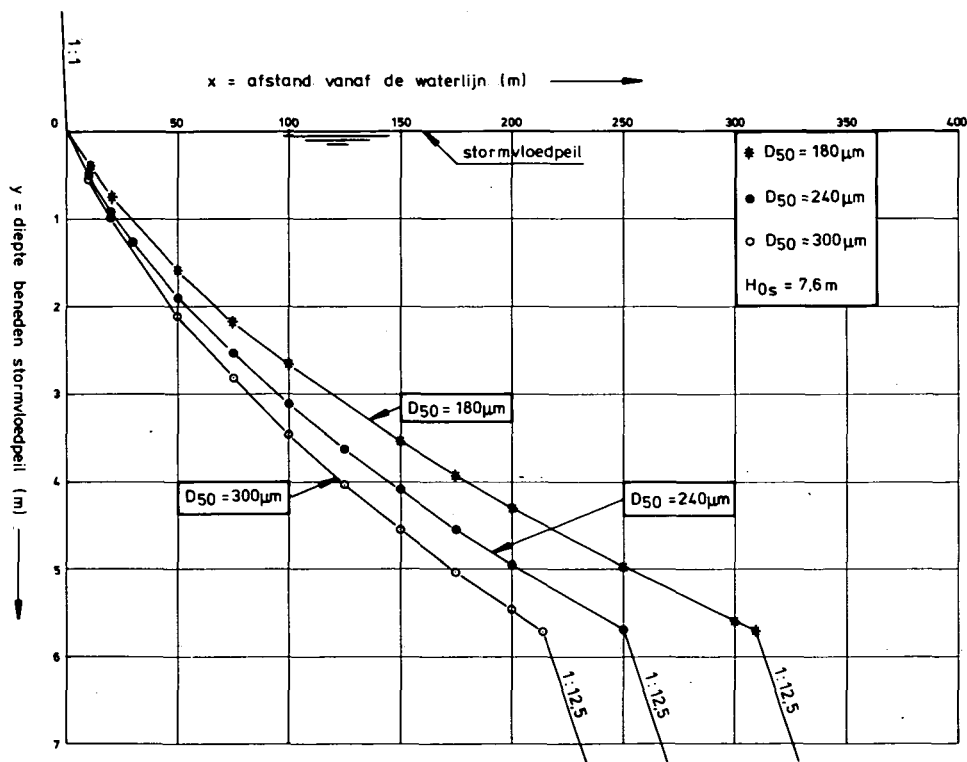


Fig. 3 De invloed van de korreldiameter op het afslagprofiel (voor $H_{0s} = 7,6 \text{ m}$).

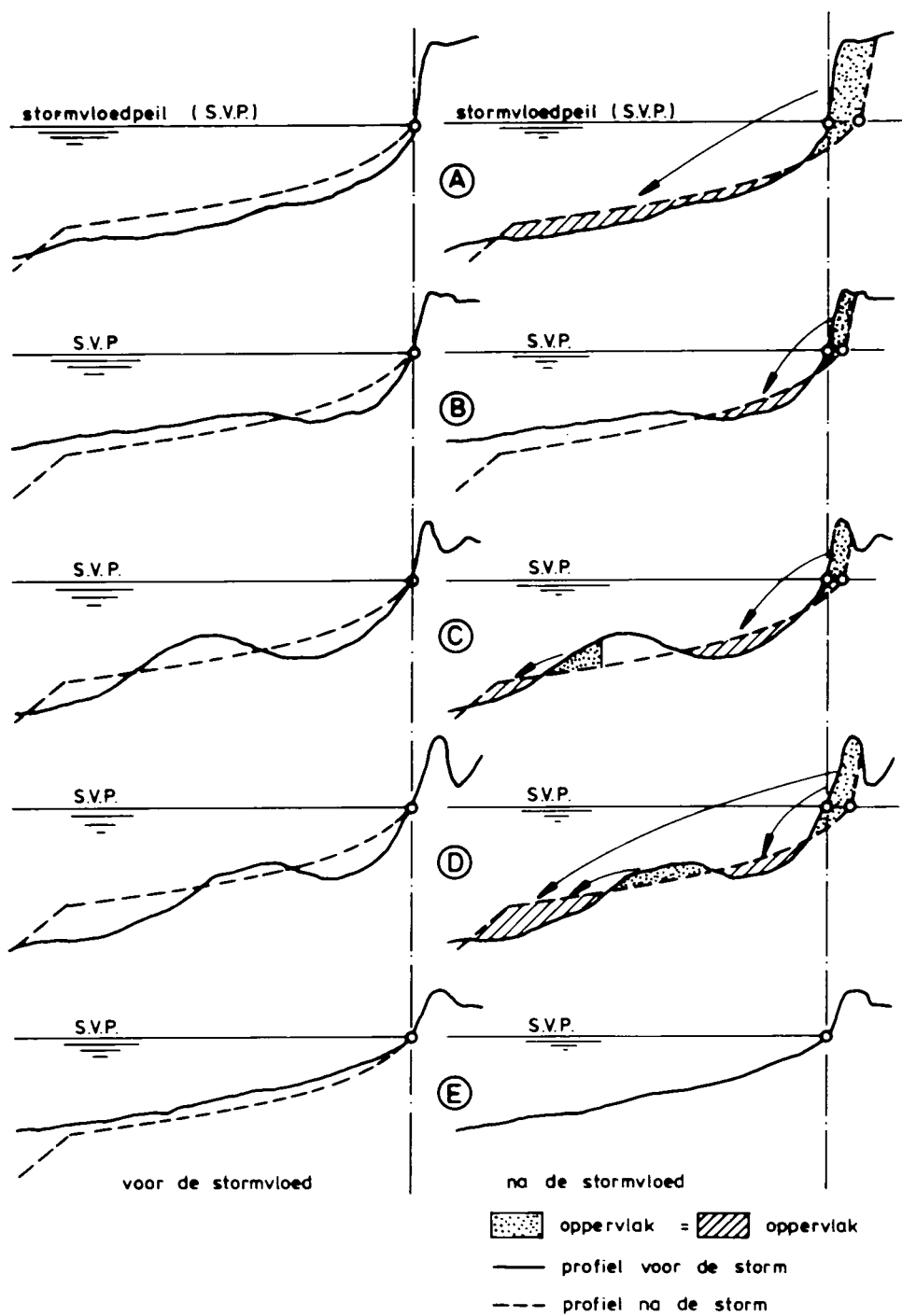


Fig. 4 Berekening duinafslag; voorbeelden van zandverplaatsing.

In figuur 4 wordt één en ander verduidelijkt aan de hand van een aantal voorbeelden. Aan de linkerkzijde is de toestand vóór en aan de rechterzijde de toestand ná de stormvloed getekend. De vorm van het uitgangsprofiel en van het afslagprofiel zijn bepalend voor het voorkomen van één van de toestanden.

Geval A: Deze situatie komt gewoonlijk voor bij hoge stormvloeden.

Geval B: Deze situatie kan zich voordoen bij een kustprofiel met flauwe hellingen. In de uiteindelijke toestand ligt het afslagprofiel gedeeltelijk beneden het oorspronkelijke kustprofiel. Omdat geen rekening wordt gehouden met een landwaartse verplaatsing van zand tijdens een stormvloed, wordt het oorspronkelijk profiel slechts opgevuld met van het duin afgeslagen zand. Het afslagprofiel krijgt niet de gelegenheid zich volledig te ontwikkelen.

Geval C: Deze situatie is vergelijkbaar met geval B. In feite zijn de zandverplaatsingen aan de zeewaartse zijde van de bank van geen belang voor de uiteindelijke teruggang van het duin. Ook in dit geval heeft het uiteindelijke kustprofiel zich slechts gedeeltelijk omgevormd tot het afslagprofiel.

Geval D: De voor de kust gelegen bank wordt in dit geval geheel geërodeerd tot aan het afslagprofiel. De verdere benodigde hoeveelheid zand voor de vorming van het afslagprofiel wordt aan het duin onttrokken.

Geval E: In deze situatie ligt het afslagprofiel geheel beneden het oorspronkelijke kustprofiel. Deze situatie zal zich veelvuldig voordoen bij lage stormvloeden. Volgens het rekenmodel zal er geen duinafslag optreden. In de praktijk zal evenwel in veel gevallen een geringe hoeveelheid duinafslag kunnen optreden in verband met de oploop van de golven.

2.5 De nauwkeurigheid van duinafslagberekeningen met het rekenmodel

De berekende hoeveelheid duinafslag zal in het algemeen niet precies overeenkomen met de in de natuur optredende hoeveelheid duinafslag.

De volgende oorzaken kunnen worden genoemd:

- De nauwkeurigheid van het rekenmodel.

Het rekenmodel is een relatief eenvoudige schematisatie van een gecompliceerd natuurlijk proces. Door deze schematisatie worden onvermijdelijk onnauwkeurigheden geïntroduceerd.

De nauwkeurigheid van het rekenmodel wordt aangegeven met een afwijking ten opzichte van de berekende hoeveelheid duinafslag boven het stormvloedpeil. Deze afwijking heeft een normale verdeling met gemiddelde nul en een standaardafwijking

$$\sigma_A = 0,10A + 20 \quad [\text{m}^3/\text{m}^1] \quad (3)$$

A = de berekende hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil [m^3/m^1].

- De nauwkeurigheid van de invoerparameters.
Men zal vrijwel nooit beschikken over een profielmeting vlak voor de stormvloed. Bovendien zal er vrijwel altijd onzekerheid bestaan over de precieze waarden voor stormvloedpeil, golfhoogte en korreldiameter.
- De effecten van buistoten, bui-oscillaties en stormduur.
De effecten van waterstandsfluctuaties tijdens de stormvloed t.g.v. buistoten en bui-oscillaties zijn niet in het rekenmodel opgenomen. Het rekenmodel is in principe afgeleid voor relatief hoge stormvloeden, waarbij het niveau van stormvloedpeil minus 1,0 m gedurende 4 à 6 uur wordt overschreden. Afwijkingen hiervan beïnvloeden de mate van duinafslag.
- Herverdeling van zand in langsrichting.
Op grond van het uitgangspunt dat geen netto verlies van zand uit het dwarsprofiel optreedt, kan in nabijgelegen dwarsprofielen een verschillende mate van duinachteruitgang worden berekend. In de natuur zal in dat geval herverdeling van zand in langsrichting optreden. De mate waarin dat gebeurt is afhankelijk van de plaatselijke situatie.
Bij kustvakken met een sterke kustlijnkromming en/of een onderbreking van het strand- of duinprofiel is het uitgangspunt van een sluitende zandbalans in dwarsrichting ook niet correct. Voor dergelijke kustvakken dient een extra hoeveelheid duinafslag in rekening te worden gebracht ten gevolge van een gradiënt in het langstransport (zie paragraaf 3.1.4).

3 VEILIGHEIDSBEOORDELING VAN EEN DWARSDOORSNEDE VAN EEN DUINKUST

3.1 De toetsingsmethode voor de beoordeling op veiligheid

Voor de beoordeling van de veiligheid van een dwarsdoorsnede van een duinkust is een relatief eenvoudige toetsingsmethode ontwikkeld, zodanig dat de uitkomst overeenkomt met die van de meer gecompliceerde probabilistische berekeningen. De toetsingsmethode omvat een aantal rekenregels voor het bepalen van die mate van duinafslag waarbij nog juist geen doorbreken op mag treden. De in de berekeningen in te voeren waarden voor de beschouwde duinafslagbepalende factoren (hoofdstuk 1) zijn daarbij zodanig bepaald, met behulp van probabilistische rekentechnieken, dat de aldus berekende mate van duinafslag een overschrijdingskans heeft, die gelijk is aan de vereiste maximaal toelaatbare doorbreekkans.

Voor een aantal kustvakken dient nog rekening te worden gehouden met extra duinafslag ten gevolge van een gradiënt in het langstransport. De wijze waarop dit in rekening wordt gebracht is niet ontleend aan de aan de toetsingsmethode ten grondslag liggende probabilistische berekeningen. Dit aspect was hierbij buiten beschouwing gebleven.

De lange termijn ontwikkeling van een duinprofiel is van groot belang, in het bijzonder voor een eroderende kust. De toetsingsmethode is zodanig opgezet dat tegelijkertijd een goede indruk wordt verkregen omtrent het tijdstip waarop de vereiste veiligheid van het duinprofiel eventueel verloren dreigt te gaan, zodat tijdig maatregelen genomen kunnen worden.

Er wordt vanuit gegaan dat beschikt kan worden over een reeks profielmetingen, gedurende de laatste circa vijftien jaar of meer. Hiervoor kan met voordeel gebruik worden gemaakt van de jaarlijkse kustmetingen die zijn opgenomen in de gegevensbestanden van het geautomatiseerde verwerkingssysteem (Jarkus-programmatuur) van de Rijkswaterstaat. Behalve voor de veiligheidsontwikkeling in de toekomst is een dergelijke tijdreeks ook noodzakelijk voor het verwerken van de invloed van de profielfluctuaties op de veiligheid. Met deze fluctuaties dient rekening te worden gehouden omdat niet precies bekend is welk profiel aanwezig is vlak voor de stormvloed.

De werkwijze van de toetsingsmethode is als volgt:

- Voor elk profiel uit de reeks profielmetingen wordt een afslagberekening gemaakt met behulp van het in hoofdstuk 2 beschreven rekenmodel. Hierbij dienen specifieke rekenwaarden voor de overige invoerparameters (stormvloedpeil, significante golfhoogte en korreldiameter) te worden ingevoerd.
- Bij elke afslagberekening wordt de berekende hoeveelheid duinafslag boven stormvloedpeil vermeerderd met een toeslag voor de invloeden van de nauwkeurigheid van het rekenmodel, de bui-oscillaties en -stoten en de onzekerheid omtrent de tijd gedurende welke de waterstand rond het maximum verblijft. Het effect van deze

toeslag uit zich in een extra teruggang van het steile duinfront. Punt P is het snijpunt van dit verplaatste duinfront met het stormvloedpeil (zie figuur 5).

- Bovenstaande berekeningen leveren een tijdreeks op voor de positie van punt P. Deze posities kunnen in een grafiek worden uitgezet als functie van de tijd (zie figuur 6). Uit de ligging is eenvoudig af te leiden of er sprake is van een stabiele, eroderende of vooruitgaande kust. Met behulp van de regressie-analyse kan de trend van de ligging van punt P als functie van de tijd worden benaderd. Meestal zal een lineaire benadering voldoen. De profiel fluctuaties komen tot uiting in de gespreide ligging van de punten P om deze regressielijn (zie figuur 6).

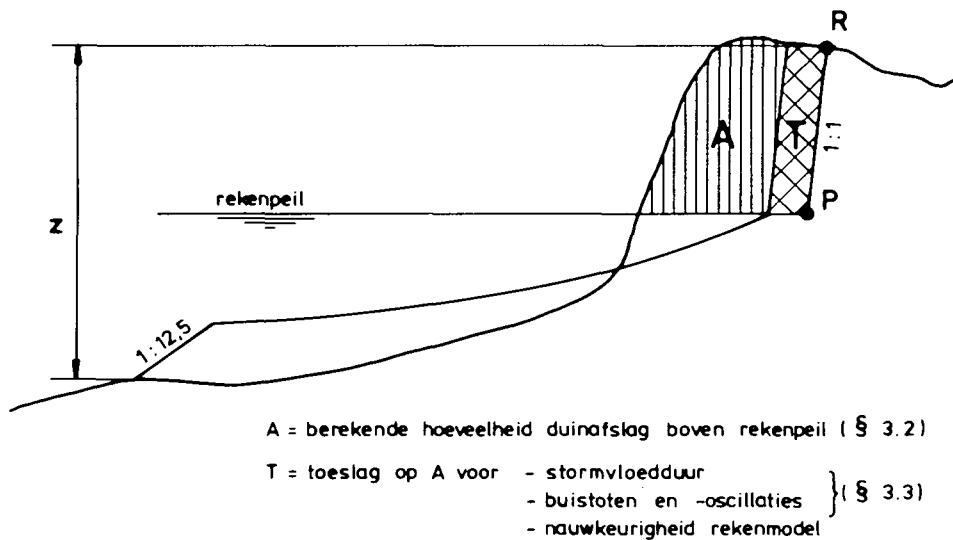


Fig. 5 Definitieschets.

- De invloed van de onzekerheid van de profielligging wordt nu in rekening gebracht door de regressielijn over een bepaalde afstand, afhankelijk van de grootte van de profiel fluctuaties, landwaarts te verschuiven. De verschoven regressielijn, de ontwerpafslaglijn, geeft de positie van het ontwerpafslagpunt als functie van de tijd. Het ontwerpafslagpunt is hierbij het snijpunt van het steile duinfront en het stormvloedpeil, waarvan de positie een overschrijdingskans heeft die gelijk is aan de beschouwde maximaal toelaatbare doorbreekkans. Voor de schone kust van Centraal-Holland bijvoorbeeld is deze overschrijdingskans per jaar gelijk aan 10^{-5} . De invloed van een gradiënt in het langstransport op de duinafslag is in het voorgaande buiten beschouwing gebleven.
- Voor kustprofielen waarbij wel rekening moet worden gehouden met verlies van zand uit het profiel als gevolg van een gradiënt in het langstransport wordt de uiteindelijke ontwerpafslaglijn verkregen door de in het voorgaande verkregen verschoven regressielijn over een bepaalde afstand extra landwaarts te verschuiven.

- Wanneer landwaarts van de ontwerpafslaglijn niet meer een minimaal profiel, het grensprofiel, aanwezig is, voldoet het betreffende profiel niet meer aan de gestelde veiligheidsnorm. Dit grensprofiel biedt dus geen reserve aan veiligheid maar geeft de situatie van juist niet doorbreken weer (grenstoestand).

In de volgende paragrafen wordt het bovenstaande verder uitgewerkt.

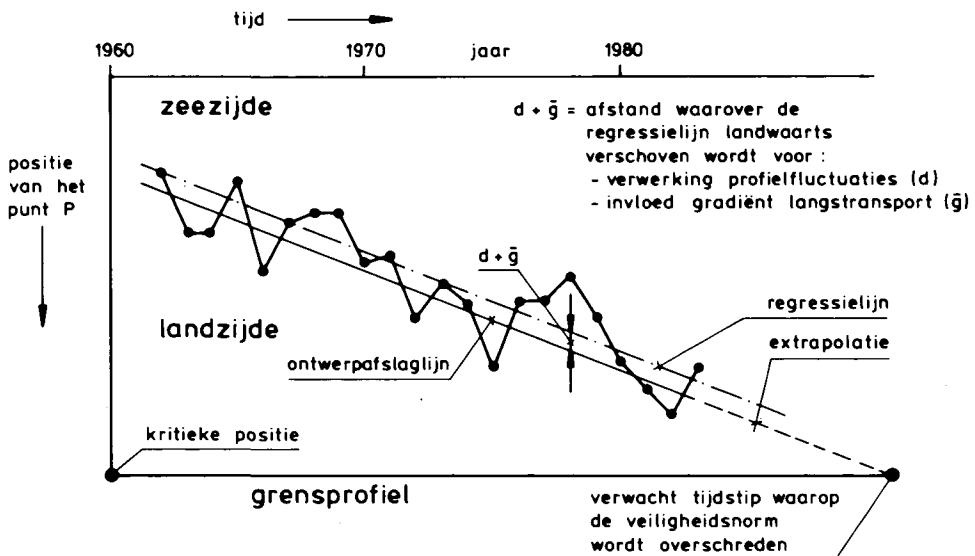


Fig. 6 Principe van de toetsingsmethode voor de beoordeling van de veiligheid.

3.1.1 De afslagberekening

Voor elk profiel van de beschikbare reeks profielmetingen wordt een afslagberekening gemaakt met behulp van het in hoofdstuk 2 beschreven rekenmodel. Voor het stormvloedpeil, de significante golfhoogte en de korreldiameter van het duinzand dienen de volgende waarden te worden ingevoerd:

- Het stormvloedpeil.

Bij beoordeling op de veiligheid als primaire waterkering is de rekenwaarde voor het stormvloedpeil gelijk aan het ontwerppeil zoals dat vastgesteld is door de Delta-commissie [5] vermeerderd met tweederde deel van de decimeringshoogte. Dit peil wordt het **rekenpeil** genoemd.

Rekenpeil = ontwerppeil + 2/3 decimeringshoogte.

De decimeringshoogte is hierin het hoogteverschil tussen de waterstand behorende

bij een 10 maal zo kleine overschrijdingsfrequentie als die van het ontwerppeil en het ontwerppeil.

De overschrijdingsfrequentie van het rekenpeil is derhalve 0,215 maal de overschrijdingsfrequentie van het ontwerppeil, en dus 2,15 maal zo groot als de betreffende maximaal toelaatbare doorbreekkans (zie ook paragraaf 3.3).

In tabel 1 zijn voor een aantal locaties langs de Nederlandse kust ontwerppeil, decimeringshoogte en rekenpeil gegeven.

- De significante golfhoogte.

Voor de significante golfhoogte H_{0s} wordt de verwachtingswaarde behorende bij het rekenpeil in rekening gebracht. Voor een aantal locaties langs de Nederlandse kust zijn kansdichtheidsfuncties bepaald voor de significante golfhoogte als functie van de waterstand [10]. De verwachtingswaarden van de significante golfhoogte voor deze locaties zijn af te lezen uit de grafiek van figuur 7. De gegeven waarden gelden voor diep water condities.

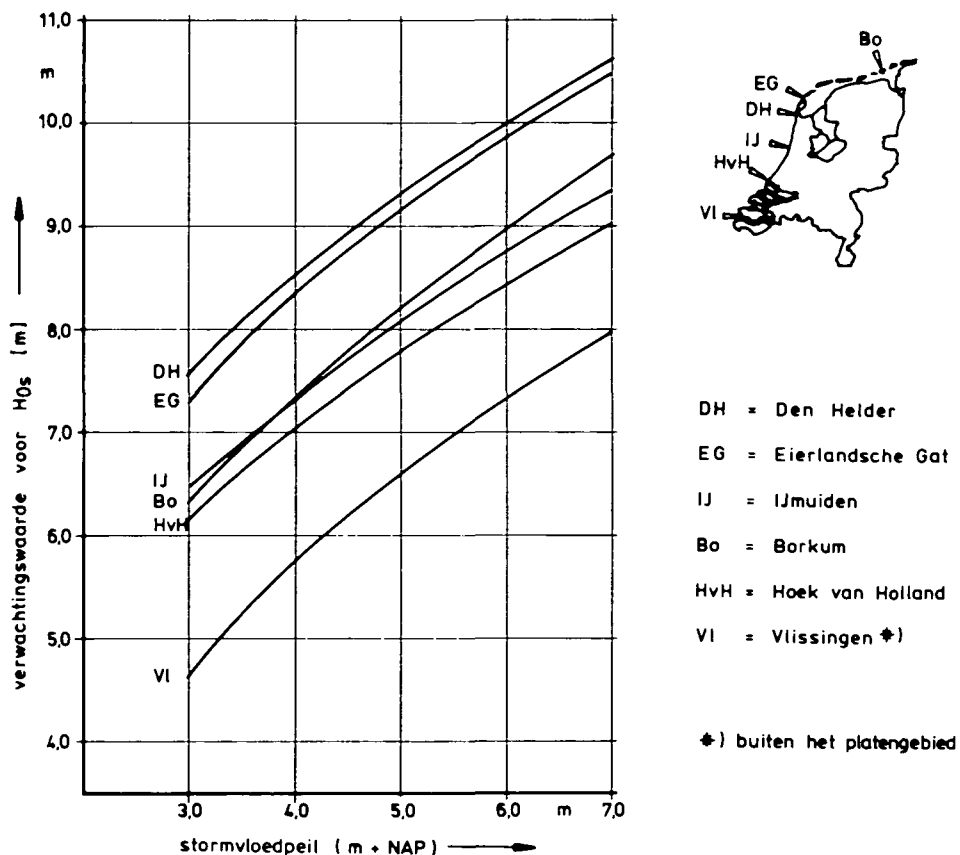


Fig.7 Verwachtingswaarde van de significante golfhoogte als functie van het stormvloedpeil op enkele locaties voor de Nederlandse kust [10].

De voor een bepaald duinvak in rekening te brengen waarde voor de significante golfhoogte behorende bij het rekenpeil kan aan de hand van deze grafiek worden vastgesteld.

De invloed van eventuele platengebieden voor de kust dient nog te worden verwerkt (zie ook paragraaf 2.4).

Tabel 1. Ontwerppeilen, decimeringshoogten en rekenpeilen langs de Nederlandse kust.

Plaats	Ontwerppeil [5] in m boven NAP	Decimerings- hoogte in m	Rekenpeil ²⁾ in m boven NAP
Vlissingen	5,40	0,72	5,90
Hoek van Holland (1)	5,25	0,72	5,75
Scheveningen	5,40	0,70	5,85
Katwijk	5,40	0,70	5,85
IJmuiden	5,15	0,67	5,60
Den Helder	5,05	0,66	5,50
Texel	4,90	0,68	5,35
Vlieland	4,70	0,68	5,15
Terschelling	4,80	0,68	5,25
Ameland	5,10	0,68	5,55
Schiermonnikoog	5,15	0,68	5,60

1) buiten de hoofden

2) rekenpeil = ontwerppeil + 2/3 decimeringshoogte
De rekenpeilen zijn afgerond op een veelvoud van 5 cm.

- De korreldiameter.

De rekenwaarde voor de korreldiameter D_{reken} is:

$$D_{\text{reken}} = \mu_{D_{50}} - 5 \frac{(\sigma_{D_{50}})^2}{\mu_{D_{50}}} \quad (4)$$

Hierin is:

$\mu_{D_{50}}$ = de verwachtingswaarde van de D_{50}

$\sigma_{D_{50}}$ = de standaardafwijking van de D_{50}

In tabel 2 zijn hiervoor aan te houden waarden aangegeven voor de Nederlandse duinkust.

Tabel 2. Gemiddelde, standaardafwijking en rekenwaarde voor de korrelgrootte van de zeereep langs de Nederlandse kust.

Plaats	km.raai 1)	μD_{50} 2) [μm]	σD_{50} 2) [μm]	D_{reken} [μm]
Schiermonnikoog	1.04	150	8	148
	3.02	169	8	167
	5.01	165	8	163
	7.00	164	8	162
	9.20	163	8	161
	11.00	164	8	162
	13.00	159	8	157
	15.00	159	8	157
Ameland	4.01	187	10	184
	6.00	178	9	176
	8.00	172	9	170
	10.00	176	18	167
	12.00	161	8	159
	14.00	164	15	157
	16.00	170	9	168
	18.00	163	8	161
	21.40	170	9	168
	24.00	170	9	168
Terschelling	1.00	210	11	207
	3.00	202	10	199
	5.00	206	11	203
	7.00	189	9	187
	9.00	187	9	185
	11.00	178	9	176
	13.00	183	9	181
	15.00	181	9	179
	17.00	188	9	186
	19.00	187	9	185
	21.00	188	9	186
	23.00	190	10	188
	25.00	191	10	189
	27.00	189	9	187
29.00	192	10	190	
Vlieland	40.00	199	10	197
	41.87	195	10	193
	43.765	194	10	192
	45.175	194	10	191
	47.00	202	10	199
	48.62	205	20	195
	50.77	194	10	192

Plaats	km.raai 1)	μD_{50} [μm]	σD_{50} [μm]	D_{reken} [μm]
	52.50	194	11	191
	54.00	194	10	192
Texel	9.60	203	10	200
	12.10	207	10	204
	13.92	191	10	189
	15.86	186	9	184
	18.53	194	10	192
	19.52	202	11	199
	20.91	196	10	194
	22.51	203	10	200
	24.40	206	10	203
	26.40	213	29	193
	28.60	203	10	200
	30.41	193	10	191
Noord-Holland	2.10	232	12	299
	4.09	233	12	230
	6.08	224	25	210
	7.89	247	14	243
	9.48	261	16	256
	12.65	219	18	212
	14.62	253	17	247
	16.47	277	14	274
	18.27	251	13	248
	20.15	237	14	233
	26.54	242	14	238
	28.32	235	12	232
	30.00	246	12	243
	32.00	251	13	248
	34.00	242	15	237
	36.00	259	26	246
	40.00	243	12	240
	42.00	231	12	228
	44.00	236	12	233
	46.00	224	11	221
	48.00	223	11	220
	50.00	218	11	215
	52.00	195	35	164
	54.00	188	9	186
	56.75	214	11	211
	58.50	262	20	254
	62.00	218	30	197
	64.00	204	37	170
	66.00	180	9	178
	68.00	210	24	196
	70.00	214	31	192

Plaats	km.raai 1)	μD_{50} [μm]	σD_{50} [μm]	D_{reken} [μm]
Zuid-Holland	72.00	199	14	194
	74.00	222	12	219
	76.00	220	11	217
	78.00	217	11	214
	80.00	224	15	219
	82.00	221	11	218
	84.00	224	15	219
	85.94	237	15	232
	88.00	226	26	211
	90.00	227	17	221
	92.00	224	12	221
	94.00	219	15	214
	96.00	199	10	197
	97.95	201	15	195
	102.00	236	21	227
	103.91	205	20	195
	105.925	186	9	184
	108.07	221	33	196
	109.96	224	11	221
112.00	214	11	211	
114.00	213	19	205	
116.10	255	15	251	
Maasvlakte	4.90	254	24	243
	7.00	302	39	277
Voorne	6.60	177	9	175
	8.00	161	8	159
	12.00	181	38	141
	14.00	207	17	200
Goeree	3.00	176	10	173
	7.00	204	10	201
	9.00	217	17	210
	11.00	207	10	204
	13.00	211	11	208
	15.01	267	37	241
	17.01	242	19	235
	19.00	248	23	237
Schouwen	0.84	205	12	201
	2.841	211	11	208
	4.842	211	11	208
	6.789	208	10	205
	8.789	212	15	207
	10.841	206	12	203
12.883	218	11	215	

Plaats	km.raai 1)	μD_{50} 2) [μm]	σD_{50} 2) [μm]	D_{reken} [μm]
	14.854	207	11	204
	16.88	222	11	219
Walcheren	2.40	240	19	232
	6.40	284	23	275
	8.40	276	19	269
	10.45	286	14	282
	12.45	322	30	308
	14.89	315	16	311
	16.53	318	34	300
	22.15	260	13	257
	23.975	252	13	249
	25.830	244	12	241
	27.70	249	13	246
	29.70	256	13	253
	31.77	260	13	257
Zeeuwsch Vlaanderen	0.518	218	31	196
	4.869	188	9	186
	8.77	212	24	198
	12.62	216	13	212
	14.67	258	13	255

1) De notatiewijze van de raaien wijkt hier iets af van de gebruikelijke.

2) Uit lit. [9]. Voor de σD_{50} is echter een minimum waarde aangehouden van 5% van μD_{50} .

3.1.2 De toeslag op de afslaghoeveelheid boven rekenpeil

Een drietal toeslagen dient in rekening te worden gebracht op de hoeveelheid duinafslag A [m^3/m^1] boven het rekenpeil volgens de berekening van paragraaf 3.1.1.

- Een toeslag van $0,10 A$ m^3/m^1 voor de onzekerheid omtrent de tijd gedurende welke de waterstand rondom het maximum verblijft. Van het gehele verloop van de waterstand tijdens de stormvloed is deze tijd het meest bepalend voor de hoeveelheid duinafslag.
- Een toeslag van $0,05 A$ m^3/m^1 voor het effect van buistoten en bui-oscillaties.
- Een toeslag van $0,10 A + 20$ m^3/m^1 voor de onnauwkeurigheid van het rekenmodel voor de verwachting van duinafslag

De gesommeerde toeslag op de volgens paragraaf 3.1.1. berekende hoeveelheid duinafslag A boven rekenpeil bedraagt derhalve $0,25 A + 20$ m^3/m^1 . Deze toeslag uit zich in een landwaartse verplaatsing van de oorspronkelijke berekende duinvoet (figuur 5).

3.1.3 De verwerking van de profiel fluctuaties

De resultaten van de berekeningen van de paragrafen 3.1.1. en 3.1.2. kunnen worden verwerkt tot een plaats-tijd diagram van het verkregen punt P (zie figuur 6). Hieruit kan een lineaire regressielijn worden bepaald voor de ligging van punt P in de tijd, alsmede de standaardafwijking van de ligging van de berekende punten P ten opzichte van deze lijn. De ontwerpafslaglijn wordt verkregen door deze regressielijn landwaarts te verschuiven over een afstand d.

$$d = \frac{\sigma_p^2 \cdot \bar{z}}{275} \quad [\text{m}] \quad (5)$$

Hierin is:

- σ_p = de standaardafwijking van de ligging van de berekende punten P t.o.v. de regressielijn [m].
- \bar{z} = gemiddelde waarde van de hoogteverschillen z tussen het meest landwaartse en meest zeewaartse punt van het totale afslagprofiel van elke afslagberekening [m] (zie figuur 5).

De constante in de noemer van het rechterlid van vergelijking (5), [m²], is zodanig bepaald, dat met de toetsingsmethode de gewenste uitkomst wordt verkregen.

3.1.4 De verwerking van een gradiënt in het langtransport

Wanneer het langtransport van zand, bijvoorbeeld veroorzaakt door schuin invallende golven, varieert langs de kust (gradiënt in het langtransport), is de zandbalans voor een bepaald kustvak niet sluitend. Uit oogpunt van veiligheid zijn hierbij die kustvakken van belang waarbij de zandbalans een negatieve uitkomst heeft (totale uitgaande langtransport groter dan het totale inkomende langtransport).

Het gevolg is een extra landwaartse verschuiving van het afslagprofiel over een zodanige afstand dat het oppervlak van de verschuiving overeenkomt met het langtransportverschil (zie figuur 8).

In deze paragraaf wordt een waarde aangegeven voor de grootte van de in rekening te brengen gradiënt in het langtransport ten gevolge van een (niet te sterke) kromming van de kustlijn [7]. Voor sterk gebogen kustvakken, zoals deze wel voorkomen bij de koppen van de eilanden, is verder onderzoek vereist. Dat geldt ook voor andere situaties waarbij een gradiënt in het langtransport kan worden verwacht, zoals bij de overgangen duin-kunstwerk (havendam, dijk, duinvoetverdediging) en bij het optreden van sterke golfhoogteverschillen in langrichting (bijvoorbeeld achter banken). De leidraad is derhalve niet toereikend voor de beoordeling van de veiligheid van dergelijke kustvakken.

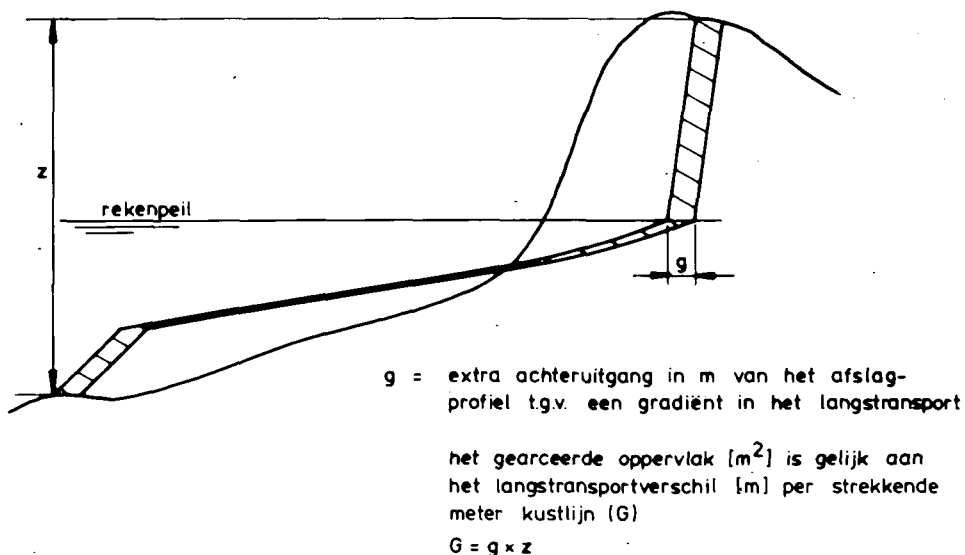


Fig. 8 De invloed van een gradiënt in het langtransport op de duinafslag.

De grootte van het in rekening te brengen langtransportverschil G [m³/m¹] bij niet te sterk gebogen kustvakken kan worden berekend met de formule

$$G = \frac{A^*}{300} \left(\frac{H_{0s}}{7,6} \right)^{0,72} \left(\frac{w}{0,0268} \right)^{0,56} G_0 \quad [m^3/m^1] \quad (6)$$

In formule (6) is:

A^* = de berekende hoeveelheid duinafslag boven het rekenpeil inclusief de toeslag [m³/m¹]. (zie de paragrafen 3.1.1 en 3.1.2). N.B.: A^* is ook een functie van H_{0s} en w .

H_{0s} = de rekenwaarde van de significante golfhoogte [m] (zie paragraaf 3.1.1).

w = de valsnelheid [m/s] berekend met formule (2) (paragraaf 2.3) voor $D = D_{reken}$ (paragraaf 3.1.1).

G_0 = Een referentiewaarde voor G [m³/m¹] (zie tabel 3).

Kustvakken die qua kromming vallen onder klasse 1 worden als rechte kust beschouwd. (Zie tabel 3).

De gehele kust van Hoek van Holland tot Den Helder wordt onder klasse 1 gerekend.

De volgende kustvakken vallen qua kromming onder klasse 5 (verder onderzoek vereist):

Walcheren	raai	540	-	800
Schouwen	raai	800	-	1200
	raai	200	-	500
Goeree	raai	1300	-	1900
Voorne	raai	900	-	1100
Texel	raai	400	-	800
	raai	3100	-	3200
Vlieland	raai	5100	-	5400
Terschelling	raai	5900	-	200
		500	-	650
Ameland	raai	4800	-	500
Schiermonnikoog	raai	100	-	550

De kustkromming dient te worden bepaald over niet te kleine kustvakken (enkele honderden meters).

Voor de betreffende dwarsdoorsneden wordt de uiteindelijke ontwerpafslaglijn verkregen door de lijn bepaald in paragraaf 3.1.3 extra landwaarts te verschuiven over een afstand \bar{g} [m]. De afstand \bar{g} is de gemiddelde waarde van de extra achteruitgang g van het afslagpunt van elk profiel van de beschouwde reeks profielmetingen ten gevolge van een gradiënt in het langstransport. (zie figuur 6 en figuur 8).

Tabel 3. Referentiewaarde voor het langstransportverschil voor verschillende klassen van kustkromming [7].

klasse	kromming interval graden/1000 m	G_0 [m ³ /m ¹]
1	0 - 6	0
2	6 - 12	50
3	12 - 18	75
4	18 - 24	100
5	> 24	nader onderz.

3.1.5 Het grensprofiel

Het kritieke afslagpunt geeft die mate van duinafslag aan waarbij nog juist geen doorbreken optreedt. Landwaarts van het kritieke afslagpunt dient nog een minimaal, doch stabiel, profiel (grensprofiel) aanwezig te zijn. Bij geringe toename van de duinafslag wordt het duin geacht door te breken.

De afmetingen van het grensprofiel worden als volgt bepaald [8]:

- De minimale kruinhoogte h_0 wordt berekend met de formule

$$h_0 = RP + 0,12 \hat{T} \sqrt{H_{0s}} \quad [\text{m}] \text{ boven NAP} \quad (7)$$

echter $h_0 \geq RP + 2,5\text{m}$

In formule (7) is:

RP = het rekenpeil in m boven NAP (zie paragraaf 3.1.1)

\hat{T} = de piekperiode van het golfspectrum [s]

H_{0s} = de verwachtingswaarde van de significante golfhoogte [m] behorende bij het rekenpeil (zie paragraaf 3.1.1)

- In het algemeen kan $\hat{T} = 12\text{ s}$ worden aangehouden. Indien een platengebied vlak onder de kust voorkomt dient de piekperiode die net buiten de brekerzone behorende bij de vaste kust voorkomt in rekening te worden gebracht.
- De minimale breedte op kruinhoogte van het grensprofiel is 3 m.
- De helling van het binnentalud dient flauwer of gelijk aan 1:2 te zijn.

Eén en ander wordt geïllustreerd in figuur 9.

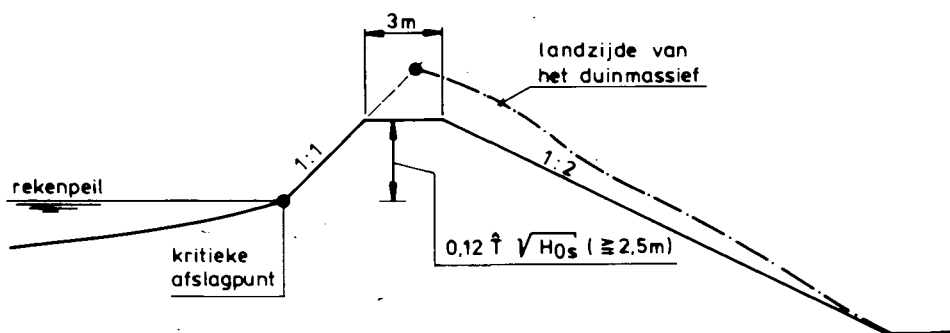


Fig. 9 Het grensprofiel.

Opmerking: De vorm van het duinprofiel kan zodanig zijn dat aan de landwaartse zijde van de ontwerpafslaglijn de volgens formule (7) vereiste kruinhoogte net niet aanwezig is, echter wel een overmaat aan breedte. In hoeverre een dergelijk gering hoogte tekort gecompenseerd kan worden door een grote overmaat aan breedte, zodanig dat nog juist geen doorbreken optreedt, is onderwerp van nader onderzoek.

Wanneer in een dergelijk geval de duinversterking zich uitsluitend zou beperken tot het realiseren van het grensprofiel, wordt voornamelijk aanbevolen de resultaten van dit onderzoek af te wachten alvorens tot versterking over te gaan.

3.2 De invloed van de geleidelijke kustachteruitgang op de veiligheid

Zolang de ontwerpafslaglijn zeewaarts ligt van de lijn die het kritieke afslagpunt als functie van de tijd aangeeft, voldoet de doorsnede aan de veiligheidsnorm.

Door extrapolatie in de tijd van de ontwerpafslaglijn kan inzicht worden verkregen omtrent het tijdstip waarop de vereiste veiligheid in het geval van een geleidelijke kustachteruitgang verloren dreigt te gaan (zie figuur 6).

Rekening houdend met de benodigde tijd voor planvoorbereiding, goedkeuring en uitvoering, en de onnauwkeurigheid van de voorspelling van het bovengenoemde tijdstip, kan worden bepaald wanneer een aanvang dient te worden gemaakt met de planvoorbereiding.

3.3 Toetsing aan lagere veiligheidsnormen

De toetsingsmethode voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als primaire waterkering, zoals deze is beschreven in de voorgaande paragrafen, kan ook toegepast worden voor de bepaling van de ligging van het ontwerpafslagpunt als functie van de tijd met een grotere overschrijdingskans. Dit kan om redenen van beheer van belang zijn.

Hiertoe dienen de volgende rekenwaarden voor het stormvloedpeil en de significante golfhoogte te worden ingevoerd:

- Stormvloedpeil.
Voor het stormvloedpeil dient de waterstand te worden ingevoerd met een 2,15 maal grotere overschrijdingskans dan de gewenste overschrijdingskans van de positie van het ontwerp afslagpunt. (zie ook paragraaf 3.1.1).
- Significante golfhoogte.
Voor de significante golfhoogte dient de verwachtingswaarde bij deze waterstand te worden ingevoerd. Deze kan ontleend worden aan figuur 7.

De overige rekenwaarden en stappen in de procedure ter bepaling van de op de veiligheidsnorm aangepaste ontwerpafslaglijn blijven onveranderd.

De methode is bruikbaar voor overschrijdingskansen van de ligging van het ontwerpafslagpunt tussen 10^{-3} en 10^{-5} per jaar.

4. OPMERKINGEN

4.1 Zijdelingse herverdeling

De in de leidraad beschreven toetsingsmethode geldt steeds voor één dwarsdoorsnede van een duinenrij. Wanneer op korte afstand van elkaar raaien met grote verschillen in duinafslag liggen, zal er een zekere mate van zijdelingse herverdeling van het zand plaatsvinden (zie ook paragraaf 2.5). Ook de maximaal toelaatbare grens van de ligging van de ontwerpafslaglijn (grensprofiel) zal uitgaande van de bestaande achterzijde van het duin grillig kunnen verlopen langs de kust.

Deze driedimensionale effecten kunnen van belang zijn voor de veiligheidsbeoordeling. Voor het in rekening brengen ervan worden geen algemene regels gegeven. Eén en ander moet worden beoordeeld aan de hand van de plaatselijke situatie.

4.2 Strandhoofden en paalrijen

Kustvakken waar strandhoofden of paalrijen zijn aangelegd kunnen met de leidraad eveneens worden getoetst. De aanwezigheid van dergelijke constructies wordt geacht de mate van duinafslag niet direct te beïnvloeden.

4.3 Duinvoetverdedigingen

Duinvakken die verdedigd zijn met harde constructies kunnen voorlopig met de leidraad worden beoordeeld door de verdediging afwezig te veronderstellen. In voorkomende gevallen kan eventueel modelonderzoek worden uitgevoerd.

4.4 Relatieve zeespiegelrijzing

Vanwege de relatief korte periode waarop een duinkust opnieuw op veiligheid zal worden gecontroleerd, met name bij eroderende kusten, en de frequentere uitvoering van noodzakelijke aanpassingen (veelal zandsuppleties) vergeleken bij dijken, is de relatieve zeespiegelrijzing in de toetsingsmethode buiten beschouwing gelaten. Bij elke toetsing en eventuele aanpassing dienen de dan officieel geldende ontwerppeilen in rekening te worden gebracht.

4.5 Niet-lineaire regressie

De bepaling van de verwachting voor de toekomstige ligging van het afslagpunt met behulp van een lineaire regressielijn door de berekende afslagpunten als functie van de tijd leidt niet altijd tot betrouwbare prognoses.

Oorzaken kunnen zijn:

- Menselijk ingrijpen aan het beschouwde kustvak of een nabijgelegen kustvak in de periode waarin de profielmetingen werden verricht, alsmede een opgetreden trendbreuk in die periode.
- Te verwachten trendbreuk in de toekomst door een zich naar de kust verplaatsende bank of geul.
- De invloed van de in landwaartse richting afnemende duinhoogte op de regressielijn.
- Een duidelijk waarneembare niet lineaire trend.

In voorkomende gevallen zal een andere dan lineaire regressiebenadering moeten leiden tot een prognose van de ligging van het afslagpunt in de toekomst.

LITERATUUR

1. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.
Richtlijn voor de berekening van duinafslag tengevolge van een stormvloed.
juli 1972.
2. Waterloopkundig Laboratorium.
Rekenmodel voor de verwachting van duinafslag tijdens stormvloed.
M 1263 IV, november 1982.
3. TH-Delft, vakgroep Kustwaterbouwkunde.
Probabilistische methoden bij het duinontwerp.
maart 1984.
4. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.
Ontwerpnormen voor duinen.
Nota TAW-werkgroep 10, november 1982.
5. Rapport Deltacommissie.
deel I: Eindverslag en Interimadviezen.
Staatsuitgeverij, 1960.
6. Waterloopkundig Laboratorium.
De valsnelheid van zand in zeewater van 5°C.
M1263 IV^b, september 1983.
7. Centrum voor Onderzoek Waterkeringen.
Rekenmodel voor extra duinafslag ten gevolge van een gradiënt in het langstransport als gevolg van een kromming van de kustlijn.
S-81.040, april 1984.
8. Waterloopkundig Laboratorium.
Golfoploop en -overslag bij duinen tijdens superstormvloed, aanvullend onderzoek.
M1819-IV, februari 1984.
9. Rijkswaterstaat, district Kust en Zee.
De korrelgrootte karakteristiek van de zeereep (stuifdijk) langs de Nederlandse kust.
Nota WWKZ-84 G.007, april 1984.
10. Rijkswaterstaat, Deltadienst.
Golfhoogte - waterstandrelaties t.p.v. de NAP -20 m lijn langs de Nederlandse kust.
Notitie WWKZ-83 G.218, maart 1983.

De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen werd door de Minister van Verkeer en Waterstaat ingesteld.

De commissie adviseert de minister omtrent alle technisch-wetenschappelijke aspecten die van belang kunnen zijn voor een doelmatige constructie en het onderhoud van waterkeringen, dan wel voor de veiligheid van door waterkeringen beschermde gebieden.