

DI: 20380

Basisrapport Zandige Kust

Behorende bij de Leidraad Zandige Kust

Technische

Adviescommissie voor de

Waterkeringen

BASISRAPPORT ZANDIGE KUST

behorende bij de leidraad Zandige Kust

juli 1995

Technische

Adviscommissie voor de

Waterkeringen

1	INLEIDING	9
2	FUNCTIES EN BEHEER VAN DE NEDERLANDSE KUST	15
2.1	Inleiding	15
2.2	De beveiliging van het achterland	17
2.2.1	Algemeen	17
2.2.2	Duinen als hoogwaterkering	19
2.3	Natuur en landschap	21
2.3.1	Algemeen	21
2.3.2	Vergroting van landschappelijke en natuurlijke waarden	23
2.4	Recreatie	27
2.4.1	Algemeen	27
2.4.2	Medegebruik van strand en duingebied ten behoeve van recreatie	27
2.5	Waterwinning	31
2.5.1	Algemeen	31
2.5.2	Medegebruik van duingebied ten behoeve van waterwinning	31
2.6	Overige functies	33
2.7	Kustbeheer	35
2.7.1	Algemeen	35
2.7.2	Het beheersgebied	35
2.8	Taakverdeling partijen in het kustbeheer	37
2.8.1	Algemeen	37
2.8.2	De beheerder	37
2.8.3	De Provincie	39
2.8.4	Het Rijk	39
2.8.5	Overige belanghebbenden	43
3	ZANDSYSTEEM VAN DE NEDERLANDSE KUST	45
3.1	Inleiding	45
3.2	De morfologie van de Nederlandse kust	45
3.2.1	Algemeen	45
3.2.2	Kusttypen	45
3.2.3	Morfologie van Deltakust, Hollandse kust en Waddenkust	49
3.2.4	Morfologische zones binnen het kustprofiel	53
3.3	Kustprocessen	59
3.3.1	Algemeen	59
3.3.2	Gemiddeld zeeniveau	61
3.3.3	Getij	63

3.3.4	Wind	69
3.3.5	Golven	73
3.4	Zandtransportprocessen	81
3.4.1	Algemeen	81
3.4.2	Dwarstransport	81
3.4.3	Langstransport	87
3.4.4	Zandbalans	89
3.5	Kustmetingen	93
3.5.1	Algemeen	93
3.5.2	Waterstanden	97
3.5.3	Wind	99
3.5.4	Golven	101
3.5.5	Stromingen	103
3.5.6	Bodemligging	103
3.5.7	Bodemsamenstelling	107
3.6	De kustlijn	109
3.6.1	Algemeen	109
3.6.2	Berekeningswijze van de ligging van de kustlijn	111
3.6.3	Ontwikkeling van de kustlijn	113
3.6.4	Analyse van de ontwikkeling van de kustlijn	119
3.6.5	Voorspelling van de ligging van de kustlijn	127
4	KUSTVERDEDIGINGSMAATREGELEN	131
4.1	Inleiding	131
4.2	Erosie en menselijk ingrijpen	135
4.3	Zandsuppleties	139
4.3.1	Algemeen	139
4.3.2	Duinsuppletie	141
4.3.3	Strandsuppletie	145
4.3.4	Vooroeversuppletie	159
4.3.5	Evaluatie van zandsuppleties	165
4.3.6	Zandwinning	167
4.4	Harde kustverdedigingsmaatregelen	173
4.4.1	Algemeen	173
4.4.2	De beoogde werking van harde kustverdedigingsmaatregelen	175
4.4.3	Dijken	177
4.4.4	Bestortingen en zinkwerken	179
4.4.5	Strandhoofden en paalrijen	181
4.4.6	Duinvoetverdedigingen en strandmuren	201

4.4.7	Vooroeververdedigingen	217
4.5	Grote ingrepen in het morfologisch systeem	221
5	KUSTBEHEER	227
5.1	Inleiding	227
5.2	De kust (de primaire waterkering, het beheersgebied)	227
5.2.1	Algemeen	227
5.2.2	Indeling van het beheersgebied	229
5.2.3	Zeewaartse grens van de primaire waterkering	229
5.2.4	Zeewaartse grens beheersgebied (zeewaartse grens keurgebied)	233
5.2.5	Landwaartse grens van de primaire waterkering	233
5.2.6	Landwaartse grens beheersgebied (landwaartse grens keurgebied)	253
5.2.7	Indeling volgens de Model-Keur	255
5.3	Formele beheersinstrumenten	257
5.4	Technische aspecten bij het beheersbeleid	263
5.4.1	Algemeen	263
5.4.2	Semi-permanente bebouwing op het strand	263
5.4.3	Bebouwing in het duingebied	277
5.4.4	Aanlanding van pijpleidingen	285
6	VEILIGHEID EN LIGGING VAN DE KUSTLIJN	289
6.1	Inleiding	289
6.2	Waarborging van de veiligheid	289
6.2.1	Algemeen	289
6.2.2	Kwantificering van duinafslag	291
6.2.3	'Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering' (1984)	297
6.2.4	Problemen bij de toepassing van de leidraad 'Duinafslag'	303
6.2.5	Risico in het duingebied zelf tijdens een stormvloed	315
6.3	Handhaving van de ligging van de kustlijn	317
6.3.1	Algemeen	317
6.3.2	Betekenis MKL, BKL en TKL	319
6.3.3	Basiskustlijn (BKL)	321
6.3.4	Consequenties van gekozen methodiek voor de bepaling van de ligging van de kustlijn	323

- 6.3.5 Handhaven in de praktijk 329
- 6.3.6 De marge in de ligging van de BKL 335
- 6.3.7 Fluctuaties in de ligging van de duinvoet;
duinvoetmarge 337

7 INSTANDHOUDING VAN DE ZEEWERING 341

- 7.1 Inleiding 341
- 7.2 Achtergronden van het onderhoud 343
 - 7.2.1 Algemeen 343
 - 7.2.2 Beheersfilosofieën 345
- 7.3 Onderhoud van strand en duin 351
 - 7.3.1 Algemeen 351
 - 7.3.2 Normaal onderhoud van het strand 353
 - 7.3.3 Normaal onderhoud van het duin 353
 - 7.3.4 Groot onderhoud van strand en duin 363
- 7.4 Onderhoud harde elementen 367
 - 7.4.1 Algemeen 367
 - 7.4.2 Strandhoofden en paalrijen 367
 - 7.4.3 Vooroeverbeschermingen 371
 - 7.4.4 Duinvoetverdedigingen 371
- 7.5 Effecten van het onderhoud 373
 - 7.5.1 Algemeen 373
 - 7.5.2 Effecten onderhoudsmaatregelen op duinfuncties 375
 - 7.5.3 Effecten onderhoud op de kustligging 381

LITERATUUR 385

WOORDENLIJST 399

BIJLAGE I. DIJKRINGGEBIEDEN EN VEILIGHEIDSNORMEN 407

BIJLAGE II. HERSTEL EN ONTWIKKELING VAN NATUURLIJKE DYNAMIEK 409

BIJLAGE III. TAKEN/BEVOEGDHEDEN PARTICIPANTEN IN HET KUSTBEHEER 421

- III.1 Inleiding 421
- III.2 Taken/bevoegdheden beheerder volgens
uit de Wet 421

	III.3	Taken/bevoegdheden Provincie volgend uit de Wet	423
	III.4	Taken/bevoegdheden Rijk volgend uit de Wet	425
BIJLAGE IV.		OVERZICHT KUSTMORFOLOGISCHE MODELLEN	429
	IV.1	Inleiding	429
	IV.2	Basisonderdelen	429
	IV.3	Aantal (horizontale) dimensies	430
	IV.4	Korte beschrijving (basis)modellen	431
	IV.4.1	Golfmodellen	431
	IV.4.2	Stromingsmodellen	432
	IV.4.3	Transportmodellen	433
	IV.4.4	Balansmodellen	435
	IV.4.5	Morfologische modellen	435
	IV.4.6	Operationele veld-stromingsmodellen	437
BIJLAGE V.		LEIDRAAD 'DUINAFSLAG'	439
BIJLAGE VI.		VOORBEELDEN BESLUITVORMING	477
	VI.1	Inleiding	477
	VI.2	Uitbreidingsplan van kustgemeente	479
	VI.3	Keuze methode van kustverdediging	489
BIJLAGE VII.		EFFECT NIVEAU DUINVERDEDIGING OP AFSLAGHOEEVEELHEID	497
	VII.1	Inleiding	497
	VII.2	Mate van bescherming	497
	VII.3	Afslagreductie	499
	VII.4	Verwachte afslag	500
BIJLAGE VIII.		BEPLANTING MET HELM	501
COLOFON			507

1 INLEIDING

TAW Leidraad 'Zandige Kust'

De Wet op de waterkering (1994) heeft grote gevolgen voor het beheer van de primaire waterkeringen in ons land. In deze inleiding wordt aangegeven welke positie de leidraad 'Zandige Kust' inneemt in de nieuwe beheersopzet van de primaire waterkeringen.

primaire waterkeringen

Eén van de hoofdelementen van de Wet op de waterkering is dat er sprake zal zijn van een vergaand gedecentraliseerd beheer van de primaire waterkeringen in ons land. Over het algemeen zijn waterschappen met het beheer belast. Er zijn dus vele beheerders. Ook het toezicht is gedecentraliseerd van opzet (namelijk neergelegd bij provincies); één en ander mondt uiteindelijk wel uit in een oppertoezicht door het Rijk.

Primaire waterkeringen dienen te worden ontworpen, te worden aangelegd, te worden beheerd en te worden onderhouden. Daarnaast dient van tijd tot tijd te worden nagegaan of de waterkeringen nog aan de gestelde eisen voldoen.

Gedecentraliseerd beheer van de primaire waterkeringen heeft in het algemeen grote voordelen, zoals een grote affiniteit met het beheersgebied. Het kan echter een nadeel zijn dat iedere beheerder bij het beheer een eigen methode kiest, zijn eigen uitgangspunten hanteert en een eigen beheersvisie ontwikkelt. Voor het uitoefenen van het toezicht gelden soortgelijke nadelen.

In de Wet op de waterkering (Art. 5) is aangekondigd dat de Minister van Verkeer en Waterstaat zorg zal dragen voor de totstandkoming en de verkrijgbaarstelling van technische leidraden. De inhoud van een technische leidraad dient echter geenszins als 'dwingend' voor beheerders en toezichthouders te worden gezien. Een citaat uit de wet: "Deze (de leidraden) strekken degenen die met het beheer onderscheidenlijk het toezicht zijn belast tot aanbeveling."

De Minister heeft de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) opgedragen deze technische leidraden samen te stellen.

¹⁾ De wet op de waterkering is nog in behandeling. Overal waar in dit basisrapport de Wet op de waterkering wordt genoemd, wordt het huidige wetsvoorstel bedoeld. (Gewijzigd Voorstel van wet van 25 april 1994).

Er zijn twee categorieën technische leidraden die op primaire waterkeringen betrekking hebben:

- leidraden ten behoeve van het ontwerp, het beheer en het onderhoud;
- leidraden ten behoeve van de beoordeling van de veiligheid.

De leidraad 'Zandige Kust' valt onder de eerste categorie.

Daarnaast kent de TAW een groot aantal technische rapporten met specifieke onderwerpen.

zandige kust

Er zijn in ons land verschillende typen primaire waterkeringen. Naast dijken en kunstwerken beveiligen ook duinen ons land tegen overstroming; duinen kunnen dus als (een onderdeel van) een primaire waterkering worden aangemerkt.

Hoewel de eigenlijke kering van zeer hoge waterstanden op zee in feite door het duinmassief wordt bewerkstelligd, kan een duin niet geïsoleerd worden beschouwd. Een duinwaterkering die als primaire waterkering fungeert, bestaat uit het geheel van vooroever, strand, zeereep en binnenduinen. Daarom moet de zandige kust in zijn geheel als primaire waterkering worden gezien.

Een technische leidraad die het ontwerp, het beheer en het onderhoud van primaire waterkeringen beoogt te omvatten, dient zich in het geval van een duinwaterkering dus in feite uit te strekken tot het totale kustbeheer en het kustonderhoud.

positie TAW leidraad 'Zandige Kust'

Omdat het beheer en het onderhoud van de zandige kust een andere aanpak vergen dan bijvoorbeeld het beheer en het onderhoud van dijken, is een speciaal op zandige kusten toegesneden technische leidraad samengesteld: de TAW leidraad 'Zandige Kust'.

Omdat het uiteindelijk om primaire waterkeringen gaat, en omdat een strikte scheiding niet goed mogelijk is, wordt in de TAW leidraad 'Zandige Kust' niet uitsluitend ingegaan op beheers- en onderhoudsaspecten, maar komen ook ontwerp- en veiligheidsaspecten aan de orde. Overigens is er voor de specifieke veiligheidsbeoordeling van duinen als waterkering een aparte TAW Leidraad beschikbaar [TAW, 'Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering' (1984)]. Deze leidraad is integraal opgenomen in dit basisrapport. Bovendien is de 'Leidraad voor het toetsen van de per dijkringgebied aanwezige veiligheid tegen overstroming' in voorbereiding (Leidraad Toetsing).

tweedeling

Teneinde verantwoord met een zandige kust te kunnen omgaan, is het noodzakelijk om over een relatief grote hoeveelheid achtergrondinformatie te beschikken. De benodigde achtergrondinformatie is echter zo omvangrijk, dat besloten is deze niet in de eigenlijke leidraad op te nemen. Er is daarom bij de opzet van de leidraad gekozen voor een tweedeling. In de eigenlijke leidraad worden, met betrekking tot de belangrijkste aandachtspunten die bij het beheer van de zandige kust een rol spelen, zoveel mogelijk concrete aanbevelingen gedaan. De benodigde achtergrondinformatie is samengebracht in dit bij de leidraad behorende 'basisrapport'.

samenhangend beheer

De zandige kust fungeert in de eerste plaats als een flexibele primaire waterkering. Naast het waterkeringsbelang zijn er in het kustgebied tal van andere belangen gevestigd. Als zodanig kunnen bijvoorbeeld recreatie, natuurbehoud, waterwinning en bebouwing worden genoemd. Zonder afbreuk te doen aan de primaire waterkeringsfunctie van de zandige kust, is het goed mogelijk bij het beheer van de kust in voorkomende gevallen volop recht te doen aan de andere belangen. In de leidraad 'Zandige Kust' en in dit basisrapport wordt aandacht geschonken aan de elementen die bij de ontwikkeling van een samenhangende beheersvisie van belang kunnen zijn.

regeringsbeleid: (dynamisch) handhaven

Het Regeringsbeleid is er op gericht de ligging van de kustlijn anno 1990 in principe te handhaven. Voor veel kustvakken heeft dat beleid verstrekken gevolgen. Diende 'vroeger' in sommige gevallen bij het kustbeheer rekening te worden gehouden met een doorgaande structurele erosie, 'thans en in de toekomst' is dat van minder zwaarwegend belang. Het kustbeheer dient zich in sommige gevallen (nog) aan dat gewijzigde uitgangspunt aan te passen.

Hoewel de hoofddoelstelling van het Regeringsbeleid duidelijk vastligt (handhaven), dienen op werkniveau nog veel details en consequenties van dat beleid nader te worden uitgewerkt. In de leidraad 'Zandige Kust' en in het basisrapport worden bouwstenen aangedragen om dat beleid vorm te geven.

Het basisrapport 'Zandige Kust' is overigens algemeen van opzet. Het

basisrapport is niet specifiek toegespitst op de gevolgen van het handhavingsbeleid voor de ligging van de kustlijn. Een maatregel als 'aanpassing van de ligging van strandhoofden bij doorgaande strandverlaging' wordt daarom wel beschreven, hoewel een dergelijke maatregel in het kader van een consequent handhavingsbeleid voor de ligging van de kustlijn niet (meer) nodig zal blijken te zijn.

beperkingen

In sommige gevallen kan de inhoud van het basisrapport 'Zandige Kust' direct worden gebruikt om concrete problemen op te lossen die zich bij het beheer en onderhoud van een zandige kust kunnen voordoen. In (veel) andere gevallen kan dat niet zonder meer. Het basisrapport bevat geen kant-en-klare oplossingen voor alle denkbare problemen. Niettemin wordt gemeend dat ook in die gevallen het basisrapport met vrucht kan worden geraadpleegd. Er zal daarbij echter ook (nog) veel creativiteit van de betrokkenen worden gevergd. In het basisrapport komen voornamelijk waterstaat-technische zaken aan de orde; het basisrapport is niet bedoeld om een volledig inzicht in bijvoorbeeld 'ecologisch beheer' te geven. Wel worden de relaties met het waterkeringbeheer gelegd.

doelgroep

Het basisrapport is in de eerste plaats bedoeld voor hen die direct bij het kustbeheer zijn betrokken (beheerders, kustprovincies, diensten van Rijkswaterstaat die met de zorg voor de ligging van de kustlijn zijn belast). Er kan worden verwacht dat er daarnaast een grote groep andere gebruikers zal zijn. Gedacht kan worden aan het bedrijfsleven, de kustgemeenten, het onderwijs en organisaties die bij het natuurbehoud en natuurbeheer zijn betrokken.

overzicht inhoud

In Hoofdstuk 2 worden de verschillende functies van de zandige kust beschreven. Naast de veiligheid tegen overstroming van het achterland, komen 'Natuur en landschap', 'Recreatie', 'Waterwinning' en 'Overige functies' aan de orde. Bovendien wordt uiteengezet hoe het beheer van de zandige kust in Nederland is georganiseerd.

In Hoofdstuk 3 wordt het zandsysteem van de Nederlandse kust beschreven. De natuurlijke processen die zich in het kustgebied afspelen, worden behandeld. Deze processen blijken uiteindelijk van invloed te zijn op de beweging van de kustlijn.

De verschillende kustverdedigingsmaatregelen worden in Hoofdstuk 4 beschreven. Voor- en nadelen van mogelijke maatregelen worden samengevat. Veel aandacht is besteed aan de wijze waarop de verschillende maatregelen doorwerken in het gehele kuststelsel.

In Hoofdstuk 5 komt het kustbeheer aan de orde. Er wordt ingegaan op de vaststelling van de beheersgrenzen, de formele beheersinstrumenten en enkele praktische problemen die kunnen optreden bij de uitvoering van het beheersbeleid.

De toetsing van de veiligheid en de handhaving van de ligging van de kustlijn worden behandeld in Hoofdstuk 6.

In Hoofdstuk 7 wordt nader ingegaan op verschillende directe onderhoudsmaatregelen.

Het basisrapport 'Zandige Kust' wordt afgesloten met een woordenlijst, een literatuurlijst en een achttal bijlagen.

opmerking

Zoals gezegd is er voor een tweedeling gekozen; leidraad en basisrapport zijn twee samenhangende delen. De afrondingsfase van de totstandkoming van in het bijzonder de leidraad heeft relatief lang geduurd. In die afrondingsfase is het basisrapport niet aangepast aan de nieuwste ontwikkelingen. Nadat de leidraad door de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen begin 1995 is goedgekeurd, is dit basisrapport op hoofdlijnen aangepast.

2 FUNCTIES EN BEHEER VAN DE NEDERLANDSE KUST

2.1 Inleiding

De beveiliging van het laaggelegen achterland tegen overstromen wordt voor een deel gewaarborgd door de zandige kust. Daarom is de hoofdbestemming 'waterkering' toegekend aan een belangrijk deel van het aan zee grenzende kustgebied.

Nu de Deltawerken nagenoeg zijn voltooid en de veiligheid van het achterland (bijna) is gewaarborgd, richt de aandacht zich in toenemende mate op het beheer van de zandige kust.

In de afgelopen decennia heeft de aandacht zich, naast de waterkerende functie, in toenemende mate tevens gericht op de bescherming van andere functies van de zandige kust. Hiertoe kunnen de recreatie, de waterwinning en de bebouwing in het kustgebied worden gerekend. Veel belang wordt toegekend aan de landschappelijke en natuurlijke waarden van het duingebied.

De maatschappelijke waardering en de onderkenning van het belang van al deze functies en waarden, hebben ertoe geleid dat de bescherming ervan een rol speelt in het kustbeleid.

Dit kustbeleid is nader uitgewerkt in de nota 'Kustverdediging na 1990' [RWS (1990)]. In het vervolg wordt deze regeringsnota kortweg kustnota genoemd.

Ter onderbouwing van de kustnota zijn in opdracht van Rijkswaterstaat de functies van de duinenkusten langs de Nederlandse Noordzeekust geïnventariseerd [RWS, TR4 (1989)]. Tevens is, op basis van een voorspeld kustgedrag, onderzocht wat de effecten van kustachteruitgang op deze functies zijn [RWS, TR8 (1989)]. Hierbij lag de nadruk op de natuurfunctie, maar er werd ook rekening gehouden met landschap, recreatie, waterwinning en overige functies.

Eind 1995 zal een evaluatienota van het gevoerde kustbeleid verschijnen. Ter voorbereiding is in februari 1995 het rapport 'De kust in breder perspectief' [De Ruig (1995)] verschenen. (Verder als Basisrapport kustnota 1995 aangeduid.)

Om de genoemde functies op een verantwoorde wijze tot hun recht te laten komen, is een goed beheer van de kustzone nodig. Met 'kustbeheer' wordt daarom een wijze van beheer bedoeld waarbij, naast het belang van primaire waterkering, ook met alle andere belangen die in het kustgebied aanwezig zijn zo goed mogelijk rekening wordt gehouden. In deze zin heeft 'kustbeheer' dan ook een ruimere betekenis dan 'waterkeringsbeheer'.

In dit verband is het duidelijk dat het beheer van een duinenkust die alleen als waterkering fungeert, een andere aanpak vergt dan een kust die uitsluitend als (bijvoorbeeld) recreatiegebied fungeert.

Een duinenkust functioneert in de eerste plaats als een flexibele primaire waterkering. In het kustbeheer speelt deze waterkeringsfunctie dan ook de belangrijkste rol.

Gezien de grote belangen die met de veiligheid van ons land tegen overstroming zijn gemoeid, is het (gedecentraliseerde) beheer van de primaire waterkeringen wettelijk geregeld. Ook het beheersinstrumentarium dat de beheerders ter beschikking staat, is wettelijk verankerd. Omdat, in het geval van een duinenkust, 'waterkering' en 'kust' onlosmakelijk met elkaar zijn verbonden, is de beheerder (van de primaire waterkering) vaak automatisch de beheerder van de kust. Van de kustbeheerder wordt verwacht dat hij een samenhangend beheersbeleid voert.

In de leidraad is in de hoofdstukken 2 tot en met 5 een beschrijving gegeven van het multifunctionele en dynamische kuststelsel.

2.2 De beveiliging van het achterland tegen overstroming

2.2.1 Algemeen

De duinen vormen met het strand en de vooroever een natuurlijke, zandige waterkering. De waterkering dient in de eerste plaats de veiligheid van het laaggelegen achterland tegen overstromingen te waarborgen.

Na de overstromingsramp van 1953 is begonnen met de uitvoering van werken aan de waterkering op basis van de Deltawet en de daaruit voortvloeiende veiligheidsnormen. De gehanteerde normen zijn gebaseerd op een beschouwing van de maatschappelijke aanvaardbaarheid van een overstroming en uitgedrukt in een overschrijdingsfrequentie van de waterstand.

De daadwerkelijke kans op overstroming dient te allen tijde kleiner te zijn dan de veiligheidsnorm. Deze kans zal steeds opnieuw moeten worden bepaald op basis van de actuele stand van zaken en naar actuele technische inzichten. Thans voldoet nagenoeg de gehele Nederlandse Noordzeekust aan de normen van de Deltacommissie [Rapport Delta-

In het gestelde bij of krachtens deze wet wordt verstaan onder:

<**Onze Minister**>: Onze Minister van Verkeer en Waterstaat;

<**dijkkringgebied**>: een gebied dat door een stelsel van waterkeringen beveiligd moet zijn tegen overstroming, in het bijzonder bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater van een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of bij een combinatie daarvan;

<**primaire waterkering**>: een waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied -al dan niet met hoge gronden- omsluit, ofwel vóór een dijkkringgebied is gelegen;

<**buitenwater**>: het oppervlaktewater waarvan de waterstand direct invloed ondergaat bij hoge stormvloed, bij hoog opperwater van een van de grote rivieren, bij hoog water van het IJsselmeer of bij een combinatie daarvan;

<**beheerder**>: de overheid waarbij de primaire waterkering in beheer is.

Fig. 2.1 Wet op de waterkering; Art. 1

1. Op een bij deze wet behorende bijlage II is voor elk dijkkringgebied de veiligheidsnorm aangegeven als gemiddelde overschrijdingskans -per jaar- van de hoogste hoogwaterstand waarop de tot directe kering van het buitenwater bestemde primaire waterkering moet zijn berekend, mede gelet op overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.

2. In overeenstemming met en ter vervanging van de overschrijdingskans in de zin van het eerste lid, wordt bij algemene maatregel van bestuur voor elk dijkkringgebied de veiligheidsnorm nader aangegeven als de gemiddelde kans -per jaar- op een overstroming door het bezwijken van een primaire waterkering.

3. Primaire waterkeringen, niet bestemd tot directe kering van het buitenwater, moeten, zolang voor het dijkkringgebied waartoe zij behoren geen veiligheidsnorm krachtens het tweede lid is vastgesteld, tenminste gelijke veiligheid bieden als op de datum van inwerkingtreding van deze wet.

4. Artikel 2, tweede en derde lid, is van overeenkomstige toepassing op de wijziging van de in het eerste lid bedoelde bijlage en op de vaststelling of wijziging van de in het tweede lid bedoelde algemene maatregel van bestuur.

Fig. 2.2 Wet op de Waterkering; Art.3.

1. Bij ministeriële regeling wordt voor daarbij aan te geven plaatsen vastgesteld van welke relatie tussen hoogwaterstanden en overschrijdingskans daarvan de beheerder van de betreffende primaire waterkering moet uitgaan bij de bepaling van het waterkerend vermogen daarvan. Bij die vaststelling kunnen tevens waarden worden vastgesteld van andere zodanige factoren.

2. De in het eerste lid bedoelde vaststelling geschiedt telkens voor vijf jaren, voor de eerste maal binnen één jaar na de datum van inwerkingtreding van deze wet.

Fig. 2.3 Wet op de Waterkering; Art.3.

commissie (1960)]; de Deltaveiligheid is bijna bereikt.

Met de invoering van de Wet op de waterkering (wetsvoorstel 1994) zal de veiligheidsnormering voor het eerst wettelijk zijn geregeld. In deze wet worden zogenaamde dijkkringgebieden gedefinieerd (fig. 2.1). Voor elk dijkkringgebied is een te handhaven veiligheidsniveau met een veiligheidsnorm vastgelegd (fig. 2.2), die in een bij de wet behorende bijlage is opgenomen (bijlage I van dit basisrapport). De veiligheidsnormering is gerelateerd aan hoogwaterstanden. De wet laat echter de mogelijkheid open om tot een nieuwe wijze van normering te komen (fig. 2.2). De verstrekking en actualisering van de voor de veiligheidsbeoordeling benodigde relatie tussen hoogwaterstanden en overschrijdingskansen zijn geregeld in Artikel 4 van de Wet op de waterkering (fig. 2.3). Het bij de veiligheidsbeoordeling te hanteren ontwerppeil kan voor ieder dijkkringgebied uit deze relatie worden afgeleid [Van Urk (1993); Phillipart et al. (1994)]. Zie tevens 'Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen' (RWS concept-1994).

Omdat er nog geen goed inzicht bestaat in de werkelijke kans op inundatie van een dijkkringgebied, moet de veiligheid van een duinenkust vooralsnog aan de hand van afzonderlijke dwarsprofielen worden beoordeeld.

Het komt voor dat er objecten liggen in, of dat er waardevolle bestemmingen zijn toegekend aan duingebieden die deel uitmaken van de waterkering. Voor de beveiliging van deze objecten en bestemmingen bestaan geen wettelijke normen. Het kan niettemin van belang zijn om de veiligheid ervan te beoordelen.

In sommige gevallen worden deze objecten en bestemmingen, die veelal van recreatieve of landschappelijke aard zijn, van de zee afgeschermd door een duinregel met een relatief gering duinvolume.

2.2.2 Duinen als hoogwaterkering

Binnen de waterkering zorgen de duinen voor de kering van het hoogwater. Wanneer tijdens een stormvloed aanspraak wordt gemaakt op het waterkerend vermogen van een duin, zal dit duin vervormen. Dit vervormingsproces gaat gepaard met duinafslag en geeft (in tegenstelling tot de situatie bij een dijk) het flexibele karakter van een duin aan bij de kering van hoogwater (zie par. 3.4.2).

Duinafslag resulteert in een snelle, relatief grote landwaartse verplaatsing van het duinfront. Voor de opvang van deze teruggang is een zeker duinvolume nodig om een doorbraak van de waterkering tijdens een

Het is belangrijk om de volgende processen van elkaar te onderscheiden:

1. structurele kusterosie;
2. duinafslag.

ad 1. structurele erosie

Bij structurele kusterosie treedt door de werking van golven en stromingen een geleidelijk zandverlies uit het kustprofiel op. Dit zandverlies kan zowel in de dwarsrichting (zeewaarts), als in de langsrichting optreden (naburige profielen) (zie par. 3.4.1). Het proces van structurele kusterosie vindt meestal plaats op de vooroever, met name in en rondom de brandingszone (zie par. 3.3.5). Het geleidelijke zandverlies resulteert in een landwaartse verplaatsing van de kustlijn (zie par. 3.6).

ad 2. duinafslag

Duinafslag tijdens een zware stormvloed lijkt een proces waarbij in een kort tijdsbestek een significant zandverlies uit het kustprofiel plaatsvindt; de duinen slaan af en verliezen zand. Het afgeslagen zand wordt echter in veel gevallen op het strand en de vooroever afgezet. Er is dus eerder sprake van een herverdeling dan van een daadwerkelijk zandverlies (zie par. 3.4.2). Deze herverdeling leidt er wel toe dat het (afgezette) duinzand beschikbaar komt voor de zandtransportprocessen op de vooroever.

In stabiele kustvakken wordt het afgeslagen duinzand in de jaren na de stormvloed op natuurlijke wijze (vrijwel) volledig naar de duinen teruggevoerd (omkeerbaar proces).

Bij kustvakken met structurele kusterosie is het duinafslagproces (gedeeltelijk) onomkeerbaar. Door de werking van golven en stromingen kan er namelijk een geleidelijk zijdelings verlies van het afgeslagen duinzand plaatsvinden, zodat een blijvend verlies van het duinvolume optreedt.

Het is dus een misvatting om het duinafslagproces als de oorzaak van kustachteruitgang aan te merken. Het blijvend verlies van het duinvolume is een gevolg van de structurele kusterosie.

Fig. 2.4 Structurele kusterosie en duinafslag.

stormvloed te voorkomen.

Duinafslag mag niet met structurele kusterosie worden verward (fig. 2.4). De invloed van structurele kusterosie op het waterkerend vermogen van een duin is echter duidelijk; kustachteruitgang resulteert in een geleidelijke teruggang van de duinvoet, waardoor het aanwezige duinvolume in de tijd wordt gereduceerd.

Indien zou worden afgeweken van het Rijksbeleid tot kustlijnhandhaving zou structurele kusterosie derhalve in de toekomst tot problemen kunnen leiden met betrekking tot het handhaven van het beoogde, wettelijke veiligheidsniveau.

In het algemeen zijn de effecten van structurele kusterosie op het veiligheidsniveau redelijk goed in te schatten. Daarom kunnen er tijdig maatregelen worden genomen voor het blijvend waarborgen van de veiligheid. De mate van duinafslag kan worden berekend met behulp van diverse rekenmodellen. In paragraaf 6.2.2 zal hier nader op worden ingegaan.

2.3 Natuur en landschap

2.3.1 Algemeen

De Nederlandse duinenkust vormt een uniek natuurgebied dat is ontstaan door een eeuwenlang samenspel tussen zand, zee en wind. Terwijl het oppervlak ca. 2% van het totale oppervlak van Nederland bedraagt, is in deze smalle strook tweederde van alle Nederlandse plantesoorten en soorten broedvogels te vinden. Ook in internationaal opzicht zijn de Nederlandse duinen van groot belang. Aaneengesloten duingebieden van deze grootte zijn buiten ons land slechts op vier andere plaatsen in Europa aanwezig.

De doelstellingen van het rijksbeleid ten aanzien van natuur en landschap in het kustduingebied zijn onder andere verwoord in het Natuurbeleidsplan 1990 [Ministerie van Landbouw en Visserij (1991)]. Hierin is het gehele duingebied aangewezen als onderdeel van de Ecologische Hoofdstructuur, waar het beleid is gericht op behoud en verdere ontwikkeling van aanwezige natuurwaarden. Gestreefd wordt naar versterking van natuurlijke ecologische en aardkundige processen in het duingebied, waaronder verstuuving, (kust-)erosie en sedimentatie op plaatsen waar dit mogelijk is zonder de kustverdediging in gevaar te brengen. Om aantastingen van het duingebied zoveel mogelijk te voorkomen, wordt

gestreefd naar het aanwijzen van het gehele Nederlandse duingebied als beschermd natuurmonument of staatsnatuurmonument.

In de kustnota is ten aanzien van natuur en landschap opgenomen dat "daar waar de duinen breed genoeg zijn, ruimte wordt gelaten voor de ontplooiing van natuurlijke waarden via verstuiving en sluftervorming". Het handhavingsbeleid biedt perspectieven voor herstel en ontwikkeling van de natuurlijke processen. Er hoeft immers geen rekening meer gehouden te worden met een doorgaande landwaartse verplaatsing van de zeereep. De noodzaak om een hoge, gesloten zeereep vanuit waterkeringsbelang in stand te houden wordt daardoor minder en beperkt zich in feite tot de smalle duingebieden.

2.3.2 *Vergroting van landschappelijke en natuurlijke waarden*

Sommige zeer brede duingebieden bezitten een grote mate van veiligheid. In enkele gevallen kan worden overwogen de landschappelijke en natuurlijke waarden te vergroten door het toelaten van natuurlijke processen, zoals verstuiving of overstroming met zeewater.

In bijlage II wordt nader ingegaan op het belang en de mogelijkheden voor het toelaten van deze natuurlijke processen langs de Nederlandse kust. In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan:

1. verstuiving;
2. gekerfde zeereep;
3. uitstuiving tot vochtige valleien;
4. slufteachtige ontwikkelingen.

ad 1. verstuiving

Verstuivingen zijn in het duinecosysteem één van de meest basale sturende abiotische processen. Landschapsvormen en bodemsamenstelling worden er door bepaald en periodiek kunnen verder ontwikkelde bodems en vegetaties onder invloed van verstuivingen worden verjongd. Verstuiving vormt als het ware de 'motor' van cyclische successie. Dit is onder andere van belang omdat daardoor effecten van atmosferische depositie (zoals vergrassing en verstruiking) worden tegengegaan. Hierdoor ontstaat een grotere ecologische variatie in het duingebied. In principe worden in het duingebied alle biotische processen en het voorkomen van planten en dieren door verstuiving aangestuurd. Door het toelaten van verstuiving kan zich een gekerfde zeereep ontwikkelen en kunnen achter de zeereep gelegen valleien uitstuiven tot op het grondwaterniveau.



Fig. 2.5 Gekerfde zeereep.



Fig. 2.6 Vochtige duinvallei.

ad 2. gekerfde zeereep

Een gekerfde zeereep is een min of meer gesloten zeereep, bestaande uit een reeks van grillig gevormde duinkammen (fig. 2.5). De hoge dynamiek is van belang voor een aantal bijzondere plantesoorten. Tevens is het een geschikt broedbiotoop voor strandbroedvogels. Een gekerfde zeereep kan zich ontwikkelen door het beheer en onderhoud aan de zeereep te extensiveren of te stoppen. Eventueel kan de ontwikkeling op gang worden gebracht door het kunstmatig aanbrengen van enkele kerven in de zeereep.

ad 3. uitstuiving tot vochtige valleien

In vochtige duinvalleien komt een grote verscheidenheid aan planten en dieren voor. De bijzondere abiotische Ausgangssituatie is van belang voor het voorkomen van een aantal zeer zeldzame planten en een grote rijkdom aan vogels, amfibieën en insecten (fig. 2.6). In sommige brede duingebieden kan worden overwogen de vorming van vochtige duinvalleien te stimuleren. Door het verwijderen van de begroeiing, eventueel in combinatie met afplaggen van de voedselrijke valleibodem, stuift een duinvallei vaak spontaan uit tot op het niveau van het grondwater.

ad 4. slufterachtige ontwikkelingen

Nederland kent twee omvangrijke slufsters waar de zee dagelijks via een geulenstelsel het achterland binnendringt: het Zwin in het grensgebied van Zeeuwsch-Vlaanderen en België en de Slufter op Texel. Daarnaast komt een aantal 'slufterachtige gebieden' voor, waar de zee incidenteel een achter de zeereep liggende vlakte overstroomt, zoals onder andere De Kwade Hoek op Goeree en enkele gebieden op de oostelijke einden van Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog.

Slufsters (en slufterachtige gebieden) zijn een verrijking van de natuurlijke en landschappelijke waarden van het kustgebied (figuur 2.7). Door de vele abiotische gradiënten die hier voorkomen, bestaat een grote variatie aan flora en fauna.

In sommige duingebieden zou daarom kunnen worden overwogen slufterachtige ontwikkelingen te stimuleren. Dit kan worden bereikt door het stoppen van zeereeponderhoud, eventueel in combinatie met andere initiërende maatregelen als het verwijderen van dichte helmvegetatie en het aanbrengen van een (diepe) kerf. Uiteraard kunnen alleen die gebieden in aanmerking komen, waar de thans aanwezige veiligheid dermate groot is dat ook na de ontwikkeling van een slufster nog een volledig aanvaardbare veiligheid resteert.



Fig. 2.7 De slufter op Texel.



Fig. 2.8 Verblijfsrecreatie direct achter de duinen.

Niet elke locatie is zonder meer geschikt voor de ontwikkeling van een sluffer. Het is belangrijk zich te realiseren dat een sluffer een tijdelijk stadium vormt in de kustontwikkeling. In een natuurlijke situatie zal een sluffer in de loop der tijd ofwel door afslag (in een afslagkust) ofwel door verzanding (in een aangroeikust) weer verdwijnen. In het laatste geval ontwikkelt de sluffervlakte zich tot een van de zee afgesloten primaire duinvallei, die eveneens gekenmerkt wordt door belangrijke landschappelijke- en ecologische waarden. Langs kusten waar relatief grote langstransporten plaatsvinden, zullen sluffers slechts met grote onderhoudskosten in stand kunnen worden gehouden.

2.4 Recreatie

2.4.1 Algemeen

De doelstellingen van het Rijk ten aanzien van de openluchtrecreatie zijn er op gericht om een verscheidenheid aan mogelijkheden voor recreatie te verzekeren [Structuurschema Openluchtrecreatie (1985)]. Het zandige kustgebied biedt verscheidene recreatieve mogelijkheden waarvan het maatschappelijk belang wordt onderkend.

Er kunnen twee soorten van recreatie worden onderscheiden:

- dagrecreatie, gekarakteriseerd door een verblijf van korte duur;
- verblijfsrecreatie, waarbij recreanten gedurende langere tijd een min of meer vaste verblijfplaats hebben buiten de woonplaats.

Dagrecreatie vindt hoofdzakelijk plaats op het strand in de buurt van stads- en dorpsagglomeraties en elders waar het strand vrij gemakkelijk is te bereiken. Een relatief klein deel van de dagrecreatie vindt plaats in het duingebied (wandelen, fietsen en natuurbeleving).

De verblijfsrecreatie laat een verstedelijking zien, hetgeen resulteert in een hoog voorzieningenniveau en permanente bebouwing. De voor verblijfsrecreatie ingerichte ruimten zijn voor het overgrote deel achter de duinen gesitueerd (fig. 2.8).

2.4.2 Medegebruik van strand en duingebied ten behoeve van recreatie

De recreatie in het kustgebied brengt een vraag met zich mee naar een zeker voorzieningenniveau. Dit uit zich in een permanente bebouwing ten behoeve van de verblijfsrecreatie (hotels, bungalows, campings),



Fig. 2.9 Medegebruik van het strand: strandhuisjes en strandpalviljoens.

maar vooral in een semi-permanente bebouwing op het strand (strand-huisjes, strandpaviljoens) ten behoeve van de dagrecreatie tijdens het zomerseizoen (fig. 2.9).

De semi-permanente bebouwing op het strand wordt vaak op een verhoging geplaatst. Deze verhoging wordt veelal bereikt door de toepassing van zandbanketten of paalfunderingen (zie par. 5.4.2).

Strandrecreatie brengt met zich mee dat er toegangen tot het strand dienen te zijn. Hierbij hoort de inpassing van wandel- en fietspaden in het duingebied. Daarnaast zal er ruimte gereserveerd moeten worden voor parkeervoorzieningen.

Aan voorzieningen ten behoeve van de recreatie, op het strand of in de duinen, kunnen uit het oogpunt van het waterkeringsbelang eisen worden gesteld (zie par. 5.4). Omgekeerd komt het vaak voor dat bij de keuze van de werken die noodzakelijk zijn voor de instandhouding van de waterkering, terdege rekening wordt gehouden met de belangen van de recreatie.

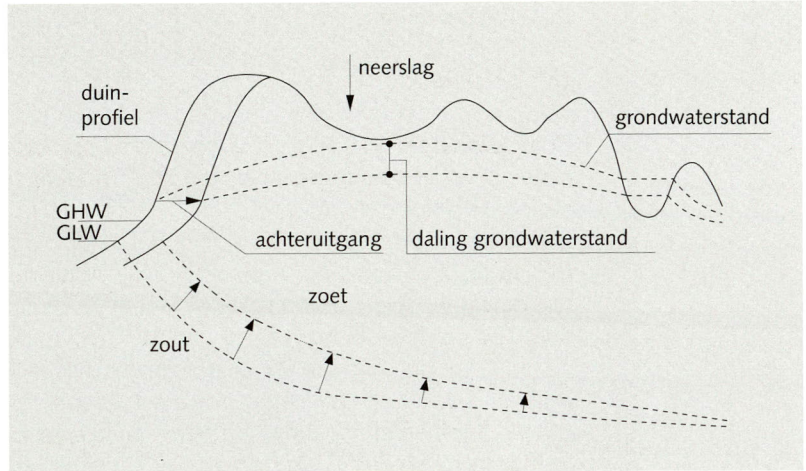


Fig. 2.10 Effecten van kustachteruitgang op het grondwater in de duinen..



Fig. 2.11 Infiltratie-kanalen in de binnenduinen.

2.5 Waterwinning

2.5.1 Algemeen

De beleidsvoornemens en richtlijnen ten aanzien van de dekking van de waterbehoefte van de openbare watervoorziening zijn opgenomen in het (Tweede) Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening (1983).

Het duingebied langs de Nederlandse kust is voor de watervoorziening van belang om de volgende redenen:

- Duinen bieden de mogelijkheid voor de infiltratie en de ondergrondse opslag van aanzienlijke hoeveelheden water. Omdat er in het verleden geen industriële of agrarische activiteiten hebben plaatsgevonden, kent het duingebied (nog) vrijwel geen bodemverontreiniging.
- Het duingebied is veelal ongeroerd en vrij van menselijke activiteit, zodat de inrichting van een waterwingebied relatief eenvoudig op de toe te passen infiltratie- en winmethoden kan worden afgestemd.

De grote opslagcapaciteit van water in het duingebied is van belang indien bij de winning van oppervlaktewater calamiteiten optreden. Bij een plotselinge verontreiniging van het oppervlaktewater (giframp) kan op deze reserve worden teruggevallen.

Kustachteruitgang heeft, mede vanwege de daarmee samenhangende daling van de grondwaterstand, een negatieve invloed op de waterwinning (fig. 2.10). Door de daling van de grondwaterstand treedt tevens een stijging van het grensvlak tussen het zoete en het zoute water op. Hierdoor ontstaat er gevaar voor verzilting van diepe winputten.

Het wisselende grondwaterpeil als gevolg van de waterwinning kan een negatieve invloed hebben op de begroeiing.

2.5.2 Medegebruik van duingebied ten behoeve van waterwinning

Het terreingebruik ten behoeve van de waterwinning is te onderscheiden in drie typen:

- bebouwing en wegen;
- kanalen en vijvers (fig. 2.11);
- de installaties voor de eigenlijke winning (infiltratie, onttrekking van grondwater).

De terreinen waar de waterwinning plaatsvindt, liggen veelal op een grote afstand achter de zeereep, zodat van overschuiving (kunstmatige landwaartse verplaatsing van het duinfront) of overstuiving geen nadelige gevolgen zijn te verwachten.

Indien er installaties als infiltratieputten in de waterkering staan, dan moet worden voorkomen dat putten of kanalen ten behoeve van de waterwinning het grensprofiel verzwakken of doorkruisen (zie par. 5.4.4).

Het graven of wijzigen van kanalen en vijvers leidt tot verplaatsingen van hoeveelheden zand. Deze mogen (meestal) niet uit het duingebied worden afgevoerd.

2.6 Overige functies

Naast de functies die in de voorgaande paragrafen zijn beschreven, kent het zandige kustgebied nog andere functies van uiteenlopende aard. In deze paragraaf volgt een korte opsomming van deze 'overige functies'.

In het zandige kustgebied komt bebouwing voor in de vorm van relatief kleine woonkernen en industrie. De meeste bebouwing wordt aangetroffen in de badplaatsen welke van oorsprong veelal vissersdorpen zijn. Deze plaatsen genieten vaak een grote recreatieve belangstelling.

In het kustgebied komen havens en maritieme toegangswegen voor. Werken aan toegangswegen en havens (onderhoud, uitbreiding) kunnen van invloed zijn op de ligging van de zandige kust.

Voor het transport van olie en gas van het Continentaal Plat naar het vaste land zijn aanlandingspunten nodig. De benodigde voorzieningen (leidingen en dergelijke) zullen de waterkering moeten kruisen [Nederlands Normalisatie Instituut (1993)].

Tevens kunnen kabels en leidingen van nutsbedrijven of PTT de waterkering kruisen. Daarnaast komt het voor dat de waterkering wordt gekruist door leidingen ten behoeve van de afvoer van afvalwater of spuiwater (zie par. 5.4.4).

Om zo min mogelijk beslag te leggen op land dat voor andere doeleinden kan worden gebruikt, zijn militaire oefenterreinen voor zwaardere wapens vaak aan de kust gesitueerd.

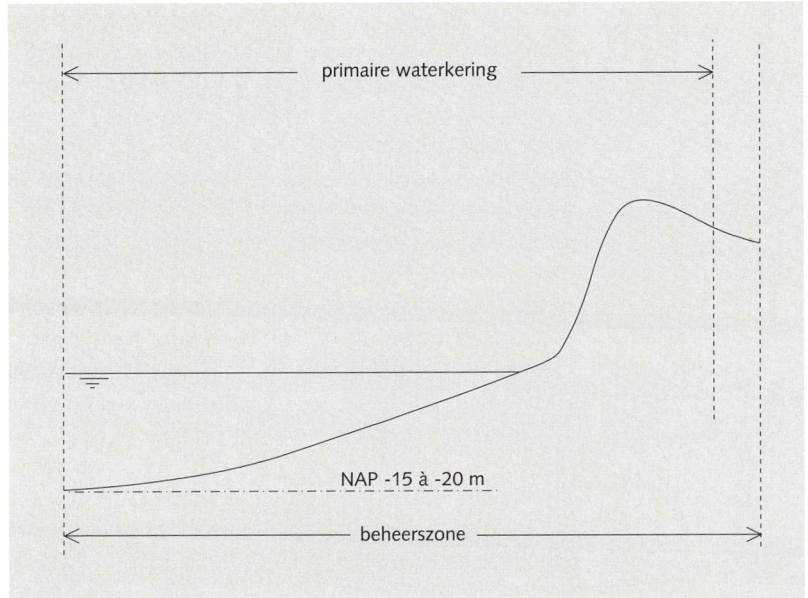


Fig. 2.12 Primaire waterkering en beheerszone.

2.7 Kustbeheer

2.7.1 Algemeen

In de voorgaande paragrafen is een beschrijving gegeven van de functies van de zandige kust. Bij een goed beheer wordt met al deze functies rekening gehouden. Bij de concrete invulling van het kustbeheer speelt het flexibele karakter van de zandige kust een belangrijke rol.

Onder het begrip 'kustbeheer' wordt in dit basisrapport verstaan:

- De zodanige zorg van de beheerder dat de aan hem toevertrouwde werken aan hun primaire waterkeringsfunctie blijven voldoen, waarbij rekening wordt gehouden met de belangen van de andere functies. Aan beheer is een onderhoudsplicht verbonden. Daarmee wordt het behoud van de waterkeringsfunctie verzekerd.

In het kustbeheer speelt uiteindelijk een groot aantal aspecten een rol. Onder meer kunnen technische, bestuurlijke, juridische en financiële aspecten worden genoemd. In het basisrapport 'Zandige Kust' worden voornamelijk de technische aspecten behandeld. Om toch de grote verbanden aan te kunnen geven, wordt -waar nodig- ook aan andere elementen aandacht besteed. Specifieke details van bestuurlijke, juridische en financiële aard worden evenwel niet in dit basisrapport behandeld.

2.7.2 Het beheersgebied

In figuur 2.12 is schematisch een dwarsdoorsnede van een kustprofiel gegeven. Heel wezenlijk is de zone die met 'primaire waterkering' is aangeduid. In de Wet op de waterkering gaat het om het beheer van deze primaire waterkering.

(In het basisrapport 'Zandige Kust' komen vooral waterkeringen die grenzen aan de Noordzee aan de orde; in het navolgende worden de begrippen 'waterkering' en 'zeewering' naast elkaar gebruikt.)

In Nederland is in de wet vastgelegd dat de primaire waterkeringen gedecentraliseerd zullen worden beheerd (functioneel en gebiedsgebonden beheer). De beheerder van de zeewering beheert dus in ieder geval de zone die in figuur 2.12 als 'primaire waterkering' is aangegeven. In het algemeen zal de totale beheerszone echter breder zijn dan de primaire waterkering.

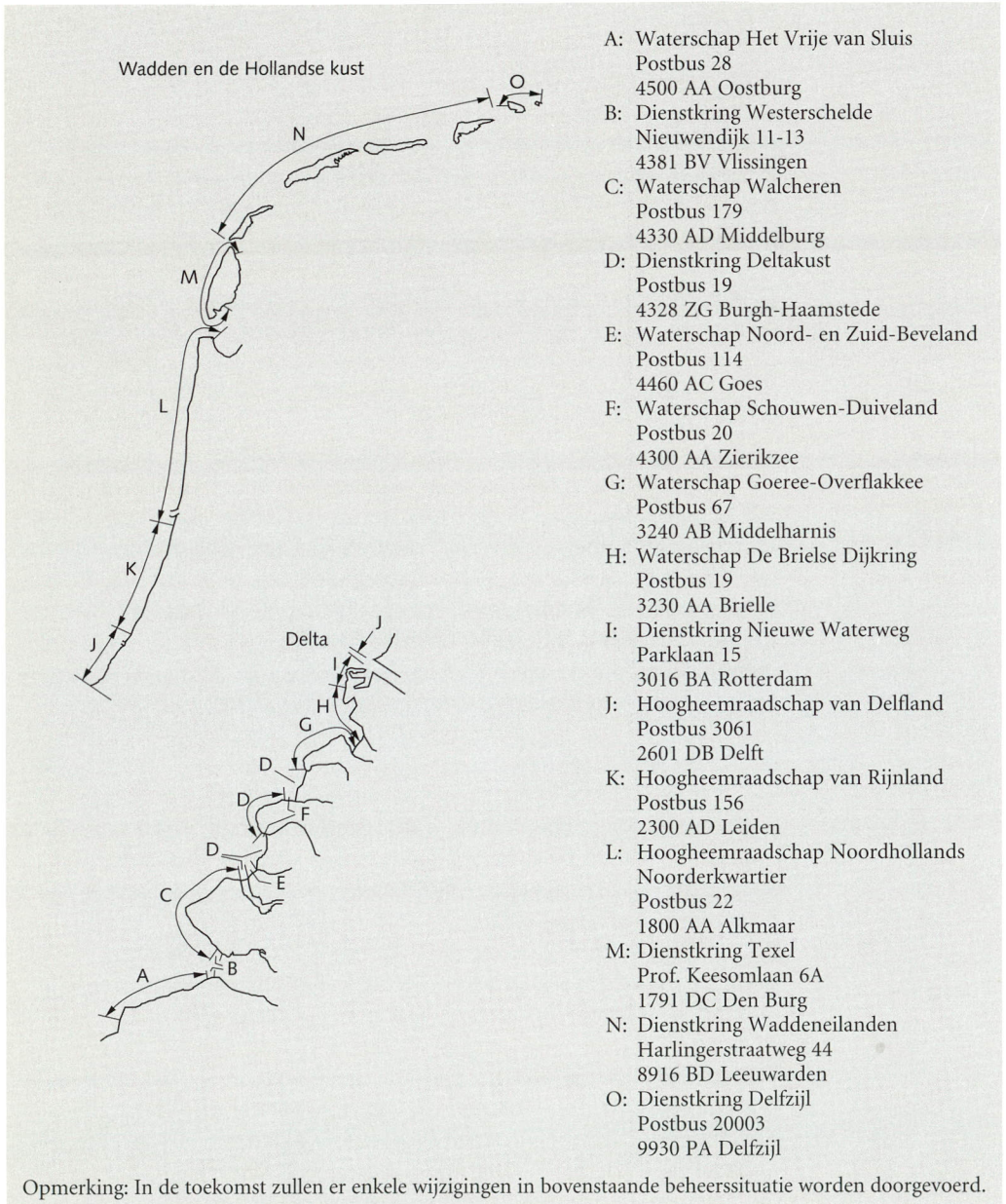


Fig. 2.13 Overzicht beheerssituatie Nederlandse kust.

Het is noodzakelijk om precies aan te geven waar de grenzen van het beheersgebied en van de primaire waterkering liggen.

Nog niet alle grenzen van de primaire waterkering zijn ten tijde van het verschijnen van het basisrapport vastgesteld. In het basisrapport worden aanbevelingen van technische aard gedaan die bij de vaststelling van deze grenzen van belang zijn (zie par. 5.2). De zogenaamde Provinciale Overlegorganen voor de Kust (POK's) spelen bij de vaststelling van de primaire waterkeringsgrenzen een belangrijke rol (zie par. 2.8.3).

2.8 Taakverdeling partijen in het kustbeheer

2.8.1 Algemeen

Bij het beheer van de kustzone (en de zeewering) spelen verschillende (overheids)instellingen een rol. De taken, verantwoordelijkheden en de onderlinge relaties van de volgende 'partijen' zullen in deze paragraaf aan de orde komen:

- de beheerder (Waterschap of Rijk); uitvoerende instantie;
- de Provincie; coördinerende instantie;
- het Rijk; controlerende instantie (plus zorg voor de handhaving van de ligging van de kustlijn);
- overige belanghebbenden.

In de Wet op de waterkering worden in verschillende artikelen taken genoemd die de beheerder, de Provincie en het Rijk dienen uit te voeren. Ook wordt een aantal bevoegdheden van de verschillende partijen in de wet verwoord.

De taken en bevoegdheden van de verschillende partijen in het kustbeheer, die in de Wet op de waterkering zijn vastgelegd, zijn in bijlage III samengevat.

2.8.2 De beheerder

Nederland kent een gedecentraliseerd waterkeringsbeheer en dus ook een gedecentraliseerd kustbeheer. Slechts overheden kunnen in Nederland beheerder van primaire waterkeringen zijn. De meeste kustvakken zijn bij een Waterschap (of Hoogheemraadschap) in beheer. De primaire waterkeringen die de zeearmen in het Deltagebied afsluiten, zijn bij het Rijk in beheer. Dat geldt ook voor het beheer van de Noordzeekust van de Waddeneilanden.

Hoofddoel van een Provinciaal Overlegorgaan is samenwerking voor een goede erosiebestrijding. De verantwoordelijkheid van de deelnemers aan het overleg is:

- Provincie:** algemene beleidscoördinatie in de regio, ondermeer van de waterkering, natuur, milieu en ruimtelijke ordening, voorzitter van het orgaan;
- Waterschap:** belast met publiekrechtelijk beheer en het onderhoud van de waterkering;
- Rijk:** belast met de zorg voor de ligging van de kustlijn.

Op de Waddeneilanden blijft het Rijk belast met de zorg voor de waterkering aan de Noordzeezijde. Het Rijk combineert daar de taken van Rijk en Waterschap. Ik* laat het aan de Provincie over te bepalen of vertegenwoordigers van kustgemeenten aan het overleg deelnemen. In ieder geval zal de hoofdingenieur-directeur van de betrokken regionale directie van de Rijkswaterstaat zich zonodig laten bijstaan door vertegenwoordigers van andere betrokken ministeries.

De taken van de Overlegorganen in de uitvoering van het kustbeleid worden:

- Gedachtenbepaling rond de begrippen in de kustverdediging, vooral:
 - de marges van de momentane kustlijn;
 - de marges in de ligging van de duinvoet;
 - een verschuiving van de basiskustlijn;
 - de afmetingen van de primaire waterkering.
- Bespreken van plannen die kunnen leiden tot een verschuiving van de basiskustlijn, zoals het uitvoeren van een Zeewaartse strategie.
- Bespreken van plannen die kunnen leiden tot een aanpassing van de gedefinieerde grenzen in de waterkering, zoals de vorming van een sluffer.
- Zonodig voorstellen doen aan de verantwoordelijke overheden voor wijziging van de basiskustlijn of van de grenzen van de waterkering.
- Bespreken van de werken binnen het vijfjarenplan van de Minister van Verkeer en Waterstaat voor de zorg voor de ligging van de kustlijn. Afstemming met de planning van werken aan de waterkering door de waterkeringsbeheerder.
- Vormen van een gespreksforum waarin de overige zaken die de kustverdediging betreffen, kunnen worden besproken.

*: De minister

Fig. 2.14 Taken Provinciaal Overlegorgaan voor de Kust [RWS, kustnota (1990)].

In figuur 2.13 is een overzicht gegeven van de beheerders van de verschillende kustgebieden.

In de kustnota wordt de beheerder aangeraden om (in een beleidsnota) het beheersbeleid met betrekking tot de primaire waterkering vast te leggen. Bovendien worden in de kustnota enkele opmerkingen over voorlichting en educatie gemaakt. Voor de beheerders wordt in dat verband een belangrijke taak voorzien.

Het Waterschap heeft, op grond van de Waterschapswet (1991), de bevoegdheid bij Keur of Politieverordening verbodsbepalingen in te stellen met een vergunningensysteem voor bepaalde handelingen met betrekking tot de primaire waterkering. Dit geldt als een Waterschap de beheerder is. Als het Rijk de beheerder is, gaat het om de 'Wet tot vaststelling van bepalingen betreffende 's Rijks waterstaatswerken' respectievelijk het Rijkszeeweringenreglement. In paragraaf 5.4 worden ondermeer enkele technische aspecten beschreven waarmee de beheerder te maken kan krijgen.

2.8.3 De Provincie

De Provincie speelt in het gedecentraliseerde, primaire waterkeringsbeheer een cruciale rol. De Provincie heeft bestuurlijk-organisatorische taken, toezichtstaken en coördinerende taken.

De Provincie stelt een Provinciaal Overlegorgaan voor de Kust (POK) in en levert de voorzitter van dat orgaan. Hoofddoel van een POK is het gestalte geven aan de samenwerking die nodig is om tot een goede handhaving van de kust(lijn) te komen.

In een POK hebben in ieder geval de volgende partijen zitting:

- de Provincie;
- de beheerder;
- het Rijk.

In figuur 2.14 zijn de taken samengevat die in de kustnota voor het POK zijn voorzien.

2.8.4 Het Rijk

Formeel liggen vrijwel alle bevoegdheden van het Rijk met betrekking tot primaire waterkeringen in handen van de Minister van Verkeer en Waterstaat (in de Wet op de waterkering met 'Onze Minister' aangeduid).

Zonder te beogen af te dingen op die formele bevoegdheden, wordt in dit technische basisrapport steeds het begrip 'het Rijk' gebruikt. Het begrip 'Rijk' wordt ook gebruikt in gevallen waarin in feite de Wetgever het laatste woord heeft.

In veel opzichten is voor een vergaand gedecentraliseerd beheer van de primaire waterkeringen gekozen. Op grond van de wettelijk verplichte, periodieke rapportage kan het Rijk zich een oordeel vormen over de veiligheid die de primaire waterkeringen het achterland bieden. Daaruit, maar ook omdat er ondanks het gedecentraliseerde beheer nog veel taken en bevoegdheden zijn die bij voorkeur of alleen op centraal niveau kunnen worden uitgevoerd, vloeit voort dat er voor het Rijk nog een toevoegende en overkoepelende rol in het beheer van de primaire waterkeringen (en dus ook in het kustbeheer) is weggelegd.

Deze rol voor het Rijk geldt in het bijzonder als de primaire waterkering een onderdeel is van een zandige kust. In het kustbeheer in meer algemene zin is de zorg die het Rijk voor de ligging van de kustlijn voor zich opeist een belangrijk punt (Art. 8 Wet op de waterkering). In de Memorie van Toelichting wordt verklaard waarom het Rijk deze zorg blijvend voor zich opeist:

- de hoge kosten die deze zorg met zich meebrengt;
- de benodigde kennis om verantwoord met zaken als kustvorming en kusterosie om te gaan, kan alleen centraal op voldoende niveau bijeen worden gebracht.

Zeker nu is besloten dat de ligging van de kustlijn in principe zal worden gehandhaafd op de positie van de kustlijn in 1990, zal de kustbeheerder in toenemende mate het Rijk als partij in het kustbeheer ontmoeten. Dit vraagt om een goed samenspel. De POK's zullen in eerste aanleg de plaats zijn waar dit samenspel tot ontwikkeling moet komen.

Voor alle partijen die bij het beheer van de primaire waterkering langs een zandige kust zijn betrokken, is het volstrekt noodzakelijk precies te weten hoe de verschillende partijen zullen reageren op de verschillende ontwikkelingen die zich langs de kust voordoen. Hoewel al veel (hoofd)zaken vastliggen (bijvoorbeeld handhaven van de ligging van de kustlijn van 1990), dient het beleid op werkniveau nog vorm te krijgen. (Zie ook Basisrapport kustnota 1995.)

In paragraaf 6.3 worden ten aanzien van het handhavingsbeleid enkele technische overwegingen gegeven die bij de vormgeving van het beleid op werkniveau een rol zullen spelen.

2.8.5 Overige belanghebbenden

Naast de beheerder, de Provincie en het Rijk is er nog een grote groep van 'overige belanghebbenden', die direct of indirect te maken heeft (of krijgt) met de gevolgen van het kustbeheer. Zonder te pretenderen volledig te zijn, kan in dit verband worden gedacht aan:

- kustgemeenten;
- bevolking achter de primaire waterkering;
- natuurbeschermingsorganisaties;
- waterleidingbedrijven;
- recreanten;
- eigenaren van strandpaviljoens;
- privé-eigenaren van duingebieden of objecten in het duingebied;
- eigenaren van aanlandende pijpleidingen.

Het is van het allergrootste belang dat het alle belanghebbenden volstrekt duidelijk is, welk beheersbeleid met betrekking tot de kuststrook zal worden gevoerd.

In sommige gevallen dient dat beleid nog te worden vormgegeven of te worden aangescherpt.

3 ZANDSYSTEEM VAN DE NEDERLANDSE KUST

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van het zandsysteem van de Nederlandse kust. Het doel van deze beschrijving is het verschaffen van enige achtergrondinformatie voor het begrijpen van het kustgedrag. In paragraaf 3.2 wordt ingegaan op de morfologie van de Nederlandse kust. Vervolgens worden de hydraulische en eolische processen die zich in het kustgebied voordoen, behandeld in paragraaf 3.3. In paragraaf 3.4 komen de daarmee samenhangende zandtransportprocessen aan de orde. Paragraaf 3.5 gaat over kustmetingen en in paragraaf 3.6 wordt de analyse van de ontwikkeling van de kustlijn beschreven.

3.2 De morfologie van de Nederlandse kust

3.2.1 Algemeen

In algemene zin wordt onder morfologie verstaan: 'de leer en beschrijving van de (verschijnings)vormen van de aardoppervlakte'. In dit basisrapport hebben deze leer en beschrijving betrekking op de vorm van de Nederlandse kust. Daarnaast wordt aandacht besteed aan de eigenschappen van het bodemmateriaal.

In het navolgende wordt, zonder al te diep in te gaan op de fysische achtergronden (de 'leer'), een beknopte beschrijving gegeven van de morfologie van de Nederlandse kust. Een meer uitvoerige beschrijving van de morfologie van de Nederlandse kust is te vinden in het rapport 'Zandsysteem kust' [RWS, TR1 (1989)] en in het Basisrapport kustnota 1995.

Door de uitvoering van jaarlijkse en incidentele kustmetingen is de morfologie van de Nederlandse kust redelijk goed bekend (zie par. 3.5.6).

3.2.2 Kusttypen

De Nederlandse kust maakt deel uit van een kustvlakte, die zich uitstrekt van Noord-Frankrijk tot Denemarken [Eisma & Fey (1982)]. De kustvlakte wordt aan de zeezijde begrensd door een zandige kustbarrière, waarop zich duinen hebben ontwikkeld. De totale lengte van de Nederlandse kust vanaf het Zwin (Zeeuwsch-Vlaanderen) tot aan het midden van het Ranselgat (tussen Rottumerplaat en Borkum) bedraagt 432 km.

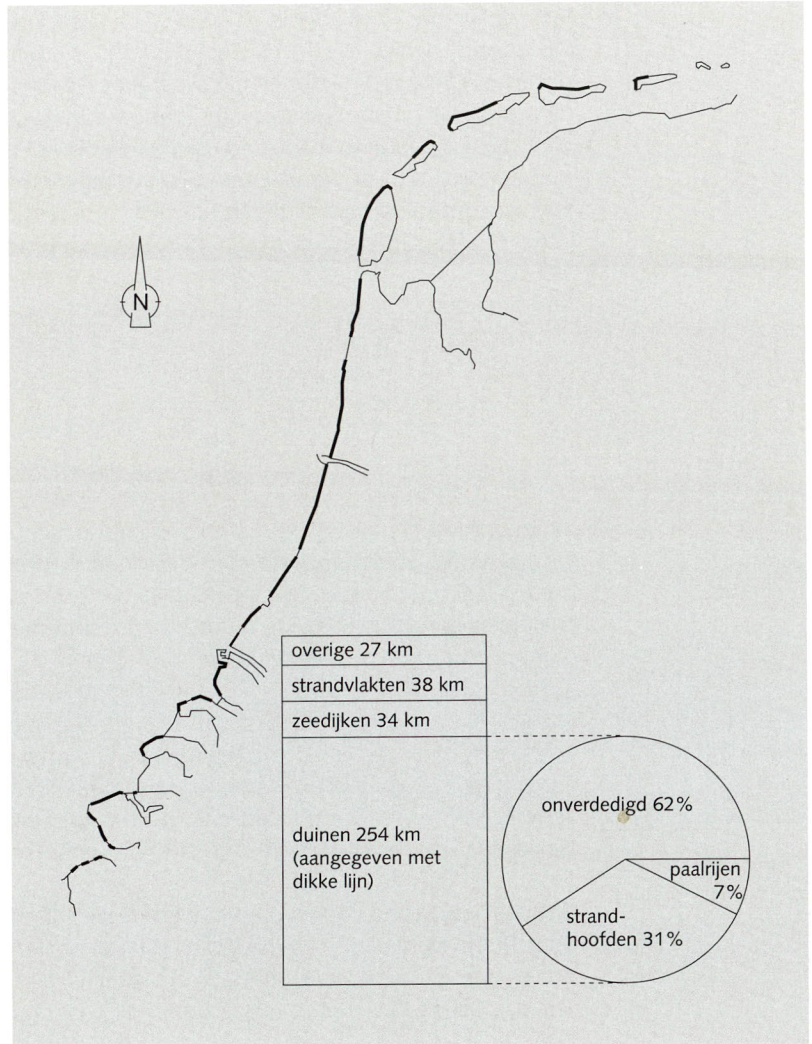


Fig. 3.1 Kusttypen [RWS, kustbeleidsnota (1990)].

Voor de bepaling van deze lengte is gebruik gemaakt van de Rijksstrandpalenlijn (RSP-lijn). De RSP-lijn is een denkbeeldige lijn die de strandpalen langs de Nederlandse kust met elkaar verbindt, en als referentie dient voor de diverse kustmetingen.

Van de 432 km kust wordt er 79 km kust ingenomen door open zeearmen en -gaten en met dammen afgesloten zeearmen. De overige 353 km kust kan worden onderverdeeld in een aantal kusttypen, te weten (fig. 3.1):

- duinenkust (254 km);
- zeedijken (34 km);
- strandvlakten (38 km);
- overige (27 km).

De duinenkust en zeedijken hebben een waterkerende functie (primaire waterkering) en beveiligen het achterland tegen overstroming. Strandvlakten hebben geen waterkerende functie. Dergelijke strandvlakten liggen voornamelijk aan de uiteinden van de Waddeneilanden. Daar waar de kust wordt onderbroken door een haven (IJmuiden), een kustplaats (Katwijk) of een direct aan zee grenzend industriegebied (Europoort), zijn soms bijzondere constructies nodig om het achterland tegen overstroming te beveiligen. Dit kusttype is met 'overige' aangeduid. Bij dit kusttype ligt de waterkering veelal niet direct aan zee, maar op enige afstand van de kust. De waterkering loopt dan vaak door bebouwd gebied (Katwijk, Scheveningen) en bestaat uit verhoogde straten, dammen, kaden, sluizen, en dergelijke. Vlissingen en Scheveningen worden gedeeltelijk beschermd door een strandmuur met een boulevard.

Uit de bovenstaande onderverdeling blijkt dat duinenkusten een essentiële schakel vormen in de beveiliging van het achterland tegen overstromingen. Daarom is de waterkerende functie van een duinenkust één van de belangrijkste aandachtspunten in dit basisrapport (zie par. 2.2).

Een duinenkust heeft een flexibel karakter, waardoor de kust vormveranderingen kan ondergaan. Deze vormveranderingen bepalen in belangrijke mate of de aan de duinenkust toegekende belangen al dan niet worden geschaad. Het is dus van belang om inzicht in de morfologie van duinenkusten te hebben. In de navolgende paragrafen wordt daar specifiek aandacht aan besteed.

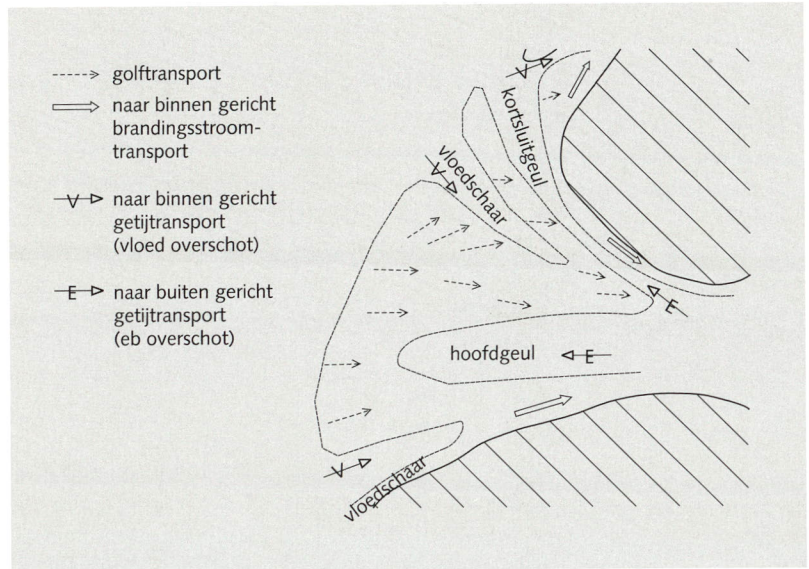


Fig. 3.2 Weergave van het zandtransport in de monding van een zeearm langs de Deltakust [RWS, 'Handboek zandsuppleties' (1988)].

3.2.3 Morfologie van Deltakust, Hollandse kust en Waddenkust

In het Nederlandse kustgebied zijn drie regio's te onderscheiden waar-tussen grote morfologische verschillen bestaan:

1. de Deltakust, gekenmerkt door schiereilanden die door estuaria en zeearmen van elkaar worden (werden) gescheiden;
2. de Hollandse kust, gekenmerkt door een vrijwel aaneengesloten duingebied zonder de aanwezigheid van zeegaten, zeearmen of eilanden;
3. de Waddenkust, gekenmerkt door een reeks barrière-eilanden die door zeegaten van elkaar worden gescheiden en uitgestrekte wadden die tussen deze eilanden en het vasteland liggen.

ad 1. de Deltakust

De morfologie van de Deltakust wordt sterk gedomineerd door het getij. Tijdens vloed worden de estuaria en zeearmen tussen de schiereilanden gevuld (fig. 3.2). Hierbij treden er in de mondingen stroomversnelingen op. Het water stroomt daarbij van alle zijden toe. Langs de flanken van de eilanden ontstaan relatief ondiepe vloedgeulen.

Tijdens eb treedt er een uitstroming op. Er ontstaan relatief diepe ebgeulen met een oost-west oriëntatie. Door de ebstroom wordt sediment in zeewaartse richting getransporteerd. Met het sediment uit de estuaria is in de loop van de eeuwen een complex van aaneengegroeide buitendelta's opgebouwd. Een buitendelta is een relatief ondiepe kustzone bestaande uit banken, platen en geulen. Het complex van aaneengegroeide buitendelta's wordt de voordelta genoemd.

De getijgolf beweegt zich langs de Nederlandse kust van zuid naar noord (zie par. 3.3.3). Hierdoor treden er faseverschillen op tussen de getijbewegingen in de estuaria. Tussen twee estuaria ontstaat daardoor een verval, waardoor kortsluitgeulen langs de koppen van de eilanden kunnen ontstaan.

Als gevolg van het golfgeïnduceerde zandtransport over de platen, groeien deze platen in het algemeen aan de oostzijde aan. De vloed- en kortsluitgeulen worden daardoor in de richting van de kust weggedrukt. Door de vloedstroom en de brandingsstroom wordt sediment in de richting van de estuaria getransporteerd. Beide zandtransportprocessen hebben een negatieve uitwerking op de stabiliteit van de koppen van de eilanden.



Fig. 3.3 De stormvloedkering in de Oosterschelde.

Behalve door natuurlijke processen, wordt de morfologie van de Delta-kust thans eveneens zeer sterk beïnvloed door grootschalige menselijke ingrepen (met name de Deltawerken). De afsluiting van het Brielsche Gat en de kering in het Haringvliet (in combinatie met de uitbouw van de Maasvlakte) veroorzaken erosie aan de zeezijde van de voordelta. Er treedt een resulterend landwaarts gericht zandtransport op. Dit proces heeft inmiddels geleid tot het ontstaan van een zandrug tot boven het gemiddeld laagwaterniveau op enkele kilometers uit de kust (de Hinderplaat). Deze zandrug verplaatst zich bovendien langzaam landwaarts. Door de afsluiting van het Brouwershavensche Gat en de reductie van de stroom in de Oosterscheldemonde als gevolg van de aanleg van de Stormvloedkering (fig. 3.3), is de bankvorming in het Brouwershavensche Gat op gang gekomen, zie RWS (1993-b).

ad 2. de Hollandse kust

De morfologie van de kust tussen Hoek van Holland en Den Helder (de zogenaamde schone kust) is minder gecompliceerd dan die van de Deltakust. Vooral door het ontbreken van zeearmen en zeegaten speelt het getij een minder belangrijke rol in de morfologische processen. Alleen bij Den Helder is de invloed van het getij op de morfologie duidelijk merkbaar.

Onder andere door de licht gebogen, holle vorm treden (geringe) gradiënten in het zandtransport langs de kust op. Dit is voornamelijk het gevolg van de in langsrichting voorkomende variaties in de door golven opgewekte brandingsstroom. Door de invloed van het getij bij Den Helder en de invloed van golven, die langs de gehele Hollandse kust sterk merkbaar is, zandt het middelste gedeelte aan en eroderen de uiteinden.

Langs het grootste gedeelte van de Hollandse kust komen brandingsruggen (of brekerbanken) voor. Deze brandingsruggen zijn voortdurend in beweging, waarbij met name tijdens stormperiodes grote verplaatsingen optreden. Het is nog niet duidelijk of dit van invloed is op de zandbalans van een kustvak.

De morfologie van de Hollandse kust wordt verder beïnvloed door grootschalige, menselijke ingrepen. Zo hebben de aanleg van Europoort en de aanleg en de verlenging van de havenhoofden bij IJmuiden duidelijk invloed op de morfologie van de Hollandse kust.

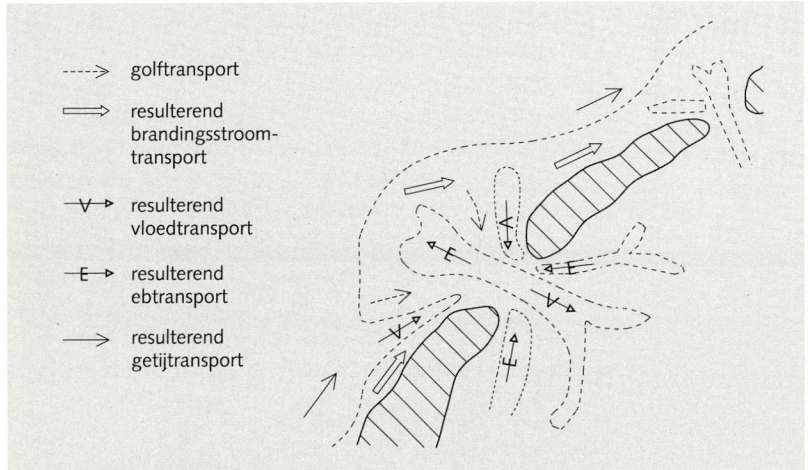


Fig. 3.4 Weergave van het zandtransport in een zeegat langs de Waddenkust [RWS, 'Handboek zandsuppleties' (199880)].

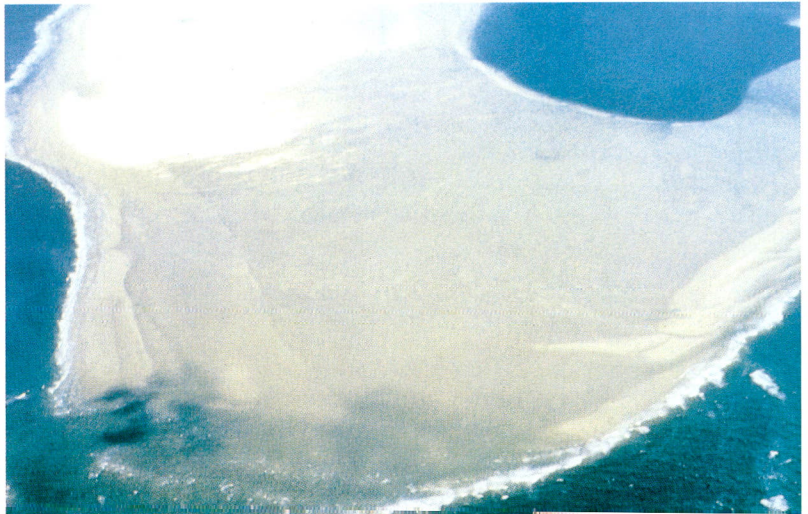


Fig. 3.5 De Noorderhaaks.

ad 3. de Waddenkust

De morfologie van de Waddenkust is in sommige opzichten vergelijkbaar met de morfologie van de Deltakust. Aan de zeezijde van de zeegaten heeft zich eenzelfde systeem van ebgeulen en vloedgeulen gevormd; er zijn eveneens buitendelta's aanwezig (fig. 3.4).

Bij de zeegaten vertoont de instroming tijdens vloed een stromingsbeeld dat lijkt op dat van de uitstroming tijdens eb. Daarom vormt zich aan de binnenzijde van de zeegaten vaak een soortgelijk systeem van geulen en platen als aan de zeezijde (binnendelta).

Door het resulterende, noordoostwaarts gerichte zandtransport verplaatsen de banken en geulen zich binnen de buitendelta's van zuidwest naar noordoost (voornamelijk als gevolg van getijgedreven stromingen). Het meest opmerkelijk is dit verschijnsel aan de zuidwest-punt van Texel (fig. 3.5). Een gedeelte van de Noorderhaaks, de Razende Bol, verheelt zich op gezette tijden met de kust (cyclische verheling). Er is dan 'opeens' sprake van een grote landwinst.

Uit historisch kaartmateriaal blijkt dat de plaats van de verschillende Waddeneilanden in de loop van de tijd steeds aan verandering onderhevig is geweest [Ligtendag (1990)].

Ook de morfologie van de Waddenkust wordt beïnvloed door groot-schalige, menselijke ingrepen. Bij het ontwerp van de afsluiting van de Zuiderzee is veel moeite gedaan om de positie van de Afsluitdijk zodanig vast te stellen, dat de invloed op het morfologisch systeem zo klein mogelijk zou zijn. Toch heeft de aanleg van de Afsluitdijk gevolgen gehad voor de ontwikkeling van de geulen die zich in het westelijk deel van de Waddenzee bevinden. Een zich herstellend evenwicht tussen de geulafmetingen en de hoeveelheid aan en af te voeren water heeft geresulteerd in een verondieping van deze geulen. Zeer waarschijnlijk wordt het zand dat hiervoor nodig is, onttrokken aan de buitendelta's en aan de aangrenzende kustvakken. Ook de afsluiting van de Lauwerszee heeft grote morfologische gevolgen (gehad) [WL (1991-a)].

3.2.4 Morfologische zones binnen het kustprofiel

In een willekeurig kustprofiel van de (Hollandse) zandige kust kunnen over het algemeen vier morfologische zones worden onderscheiden:

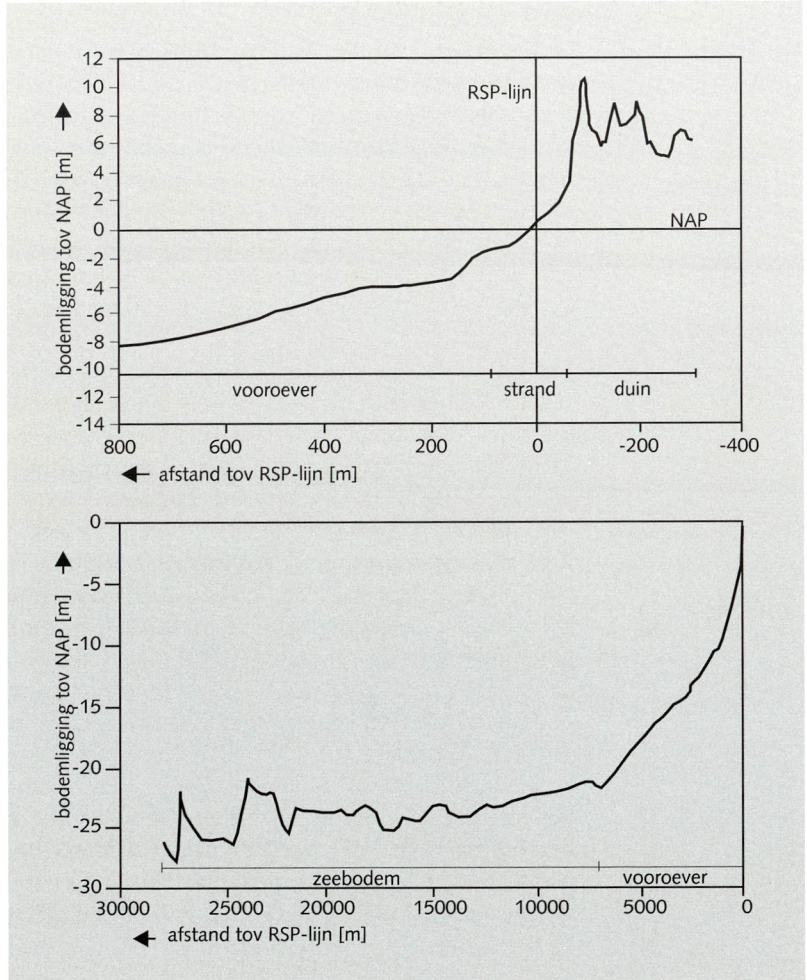


Fig. 3.6 Duin, strand, voeroever en zeebodem van de kust bij Delfland.

1. zeebodem;
2. vooroever;
3. strand;
4. duinen.

In figuur 3.6 is een voorbeeld van een dergelijk kustprofiel weergegeven.

ad 1. en 2. zeebodem en vooroever

In het algemeen wordt aangenomen dat de processen zeewaarts van de NAP -20 m lijn geen rechtstreekse invloed hebben op de kustontwikkeling.

Hellingsverschillen geven de overgang van de zeebodem naar vooroever aan. De zeebodem is relatief vlak (bodempelling circa 1:1000) ten opzichte van de vooroever (bodempelling circa 1:100 à 1:200).

In de kustprofielen van de Delta- en de Waddenkust zijn het strand en de duinen duidelijk te onderscheiden. De grote invloed van het getij komt in deze kustgebieden vooral tot uiting in de vorm van het zeewaarts van het strand gelegen deel van het kustprofiel; de bodemligging heeft door de vorming van platen, banken en geulen een zeer grillig verloop. De grillige bodemtopografie bemoeilijkt op deze plaatsen het maken van een onderscheid tussen vooroever en zeebodem.

ad 3. strand

Het strand is de zone tussen de vooroever en het duin; de zeewaartse begrenzing wordt gevormd door de gemiddelde laagwaterlijn, de landwaartse begrenzing wordt gevormd door de duinvoet.

De duinvoet is het punt waar het (flauwe) strand overgaat in het (steile) duinbeloop.

Een strand heeft een breedte van enige tientallen meters en vrijwel overal een duidelijke aflopende helling in zeewaartse richting. Een strandvlakte onderscheidt zich van een strand door een grotere breedte en een flauwere helling.

Het deel tussen de gemiddelde laagwaterlijn (GLW) en de gemiddelde hoogwaterlijn (GHW) wordt het natte strand genoemd; het deel tussen de gemiddelde hoogwaterlijn en de duinvoet het droge strand. De helling van het natte strand is veelal flauwer dan de helling van het droge strand.



Fig. 3.7 De kust bij Monster

In de zone landwaarts van de waterlijn treden zandtransporten op door een directe werking van wind (stuifprocessen). Wind heeft een grote, directe invloed op de ontwikkeling van het droge strand.

ad 4. duinen

Het duingebied langs de Nederlandse kust varieert van een smalle duinregel met een breedte van enkele tientallen meters, zoals bijvoorbeeld bij Monster (fig. 3.7), tot een gebied dat zich heeft uitgebreid tot een breedte van meer dan 4 km, zoals bijvoorbeeld bij Haarlem en Schoorl. In het duingebied komen één of meer langgerekte duinen of duinregels voor, die veelal dwars op de overheersende windrichting zijn georiënteerd. Deze duinregels worden door lager gelegen duinvlakten en duinvalleien van elkaar gescheiden.

De duinen kenmerken zich door de aanwezigheid van een duidelijke zonering van zee naar land. Gaande van zee landinwaarts neemt de invloed van zee, zout en wind af. De meest zeewaarts gelegen duinen worden de buitenduinen genoemd. De zeereep maakt hiervan deel uit. Verder landinwaarts bevinden zich de middenduinen en nog verder landinwaarts de binnenduinen. Dit vormt het gebied waarin duinen en achterland geleidelijk in elkaar overgaan.

Duinen zijn, evenals het droge strand, onderhevig aan de directe werking van wind. De ontwikkeling van duinen wordt daarom, naast de beschikbaarheid van sediment, mede bepaald door de oriëntatie van de kust ten opzichte van de overheersende windrichting. Naast grote verschillen in de breedte, zijn hierdoor ook grote verschillen in de hoogte van duinen aanwezig.

Door een overheersend landwaartse windrichting kan zand vanaf het strand en de zeereep landinwaarts worden getransporteerd. Afhankelijk van de breedte en hoogte van de duinen kan het op grote schaal verstuiven van duinen een ongewenst proces zijn. Daarom wordt vaak door beplanting van duinen geprobeerd om het zand vast te houden (zie par. 7.3.3). Naast verstuiving is er tevens sprake van aanstuiving van de duinvoet en het buitenste duinbeloop. Deze aanstuiving vindt vooral tijdens het zomerseizoen plaats. Het flexibele karakter van dit type waterkering wordt hierdoor geaccentueerd.

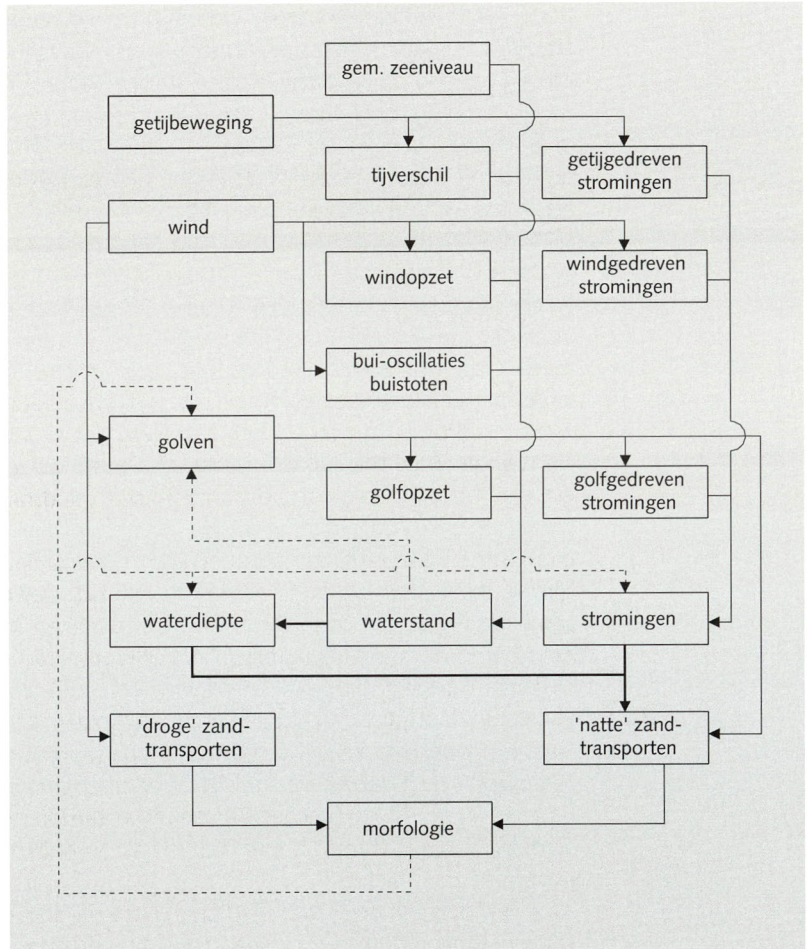


Fig. 3.8 Schematische weergave van het morfologisch systeem.

Voor een meer gedetailleerde weergave van de morfologie van de Nederlandse kustwateren (zeewaarts van het strand tot circa 25 à 30 km uit de kust), wordt verwezen naar de 'Geomorfologische kaart van de Nederlandse kustwateren' [Van Alphen & Damoiseaux (1988)]. Een inventarisatie van de morfologie van de duinen, gekoppeld aan de duinvormende processen en de historische ontwikkeling langs de Nederlandse kust, is opgemaakt door Klijn (1981).

3.3 Kustprocessen

3.3.1 Algemeen

Uit de beschrijving van de morfologie van de Nederlandse kust kan worden geconcludeerd dat de bodemligging van kustgebied continu aan verandering onderhevig is (zie par. 3.2.3). Deze veranderingen worden veroorzaakt door het optreden van zandtransporten.

In algemene zin treden zandtransporten op als gevolg van de gezamenlijke werking van golven, stromingen en wind. Golven zijn in staat het zand relatief effectief van de bodem los te maken (opwoelen), waarna het door stromingen kan worden getransporteerd. Wind en getij spelen hierbij een belangrijke rol:

- Wind wekt golven op. De opgewekte golven drijven op hun beurt een stroming langs de kust aan (de golfgedreven stroming of brandingsstroom). Ook veroorzaakt de wind zogenaamde windgedreven stromingen. Verder treden zandtransporten op in de hoger gelegen delen van het kustprofiel (droge strand en duin) als gevolg van stuifprocessen.
- In het kustgebied treden stromingen op die samenhangen met de beweging van de getijgolf langs de Nederlandse kust (getijgedreven stromingen).

In het algemeen kan worden gesteld dat de invloed van het getij op de morfologische veranderingen het grootst is op diep water en naar de kust toe afneemt. De invloed van golven neemt juist in die richting toe. Er zijn derhalve enkele zones te onderscheiden:

- de buitenzone: getij-gedomineerd;
- de middenzone: gedomineerd door golven en (getijgedreven) stromingen;
- de binnenzone: golf-gedomineerd.

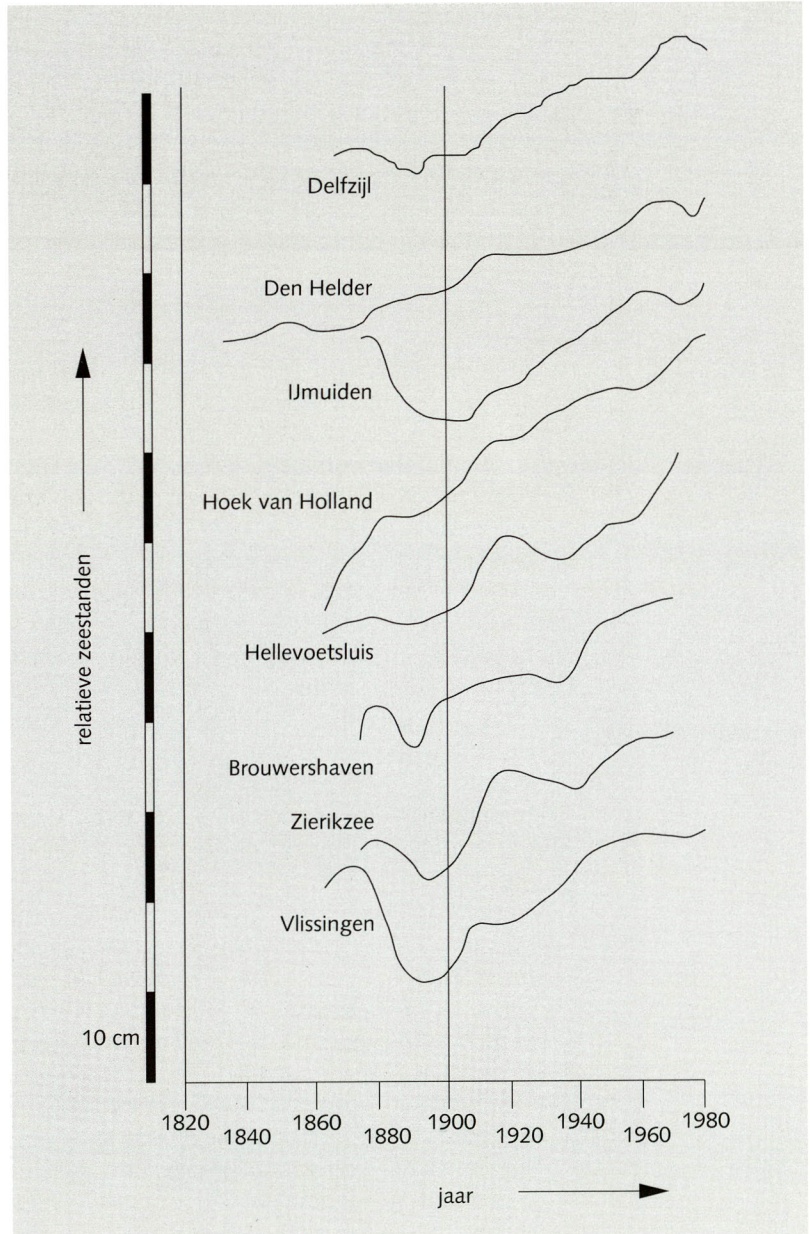


Fig. 3.9 Verloop van gefilterde relatieve zeestanden voor een aantal Nederlandse stations [RWS, TR6 (1988)].

Het is echter niet goed mogelijk om de begrenzing van iedere zone eenduidig vast te stellen. De bovenstaande zone-indeling is vooral van toepassing op de Hollandse kust en de centrale kustsecties van de Waddeneilanden.

Omgekeerd leiden veranderingen in de bodemligging tot veranderingen van de hydraulische omstandigheden (golf- en stromingskarakteristieken), die doorwerken in de zandtransporten. Ook heeft een verandering van de eigenschappen van het bodemmateriaal een directe invloed op de grootte van het optredende zandtransport.

Er is dus sprake van een onderlinge wisselwerking. Deze onderlinge wisselwerking, die karakteristiek is voor het morfologisch systeem, heeft een gecompliceerd karakter. In figuur 3.8 is getracht deze onderlinge wisselwerking schematisch weer te geven.

Uit figuur 3.8 blijkt dat de waterdiepte samen met de stromingen van invloed is op het sedimenttransport. De waterdiepte in een willekeurig punt volgt uit de morfologie (bodemligging) en de waterstand. Het kustgedrag en de daaruit voortvloeiende consequenties voor de veiligheid tegen overstromingen en voor het gebruik van het kustgebied, worden daarom in belangrijke mate bepaald door de gemiddelde waterstand en de veranderingen daarin.

3.3.2 Gemiddeld zeeniveau

Het gemiddeld zeeniveau vormt de 'referentie'-waterstand waarop het getijverloop, bui-oscillaties, buistoten, windopzet en golfopzet worden gesuperponeerd. Uit deze superpositie volgt de momentane waterstand (zonder effect van golven).

Bui-oscillaties en buistoten zijn periodieke, respectievelijk eenmalige waterstandsfluctuaties. De tijd dat deze verschijnselen optreden, varieert van enkele minuten tot een enkel uur. Beide worden veroorzaakt door weersverschijnselen.

Het verloop van de waterdiepte loodrecht op de kust wordt bepaald door de vorm van het kustprofiel en de momentane waterstand. Het verloop van de waterdiepte beïnvloedt de golven en stromingen die onder de kust optreden. Deze beïnvloeding van golven en stromingen werkt door in de zandtransporten.

Om te komen tot een beoordeling van het toekomstige kustgedrag en de beoordeling van de veiligheid, is men geïnteresseerd in een consistente set van alle van belang zijnde parameters. Met consistent wordt hier bedoeld dat de verschillende parameters een logische samenhang vertonen; bij een hogere windsnelheid hoort een hogere waterstand en een hogere golf. Zo'n set wordt in het vervolg scenario genoemd. Ten behoeve van de opstelling van de discussienota (1989) zijn drie scenario's opgesteld, namelijk:

- het 'Beleids scenario', op basis van de extrapolatie van historische waterstanden;
- het 'Anticiperend scenario', met de best mogelijke schattingen van dit moment;
- het 'Ongunstig scenario', met ongunstige schattingen.

Als uitgangspunt is genomen, dat de kans dat de toekomstige situatie gunstiger uitkomt dan in het 'Ongunstig scenario', niet te groot of te klein mag zijn. In statistische termen is dit als volgt vertaald:

Van de hydraulische randvoorwaarden zijn met name drie, als onafhankelijk te beschouwen, parameters van belang, namelijk:

- de relatieve zeespiegelstijging;
- de verandering van de windkracht;
- de verandering van de windrichting.

Wat betreft deze parameters zijn voor het 'Anticiperend scenario' de verwachtingswaarden genomen en voor het 'Ongunstig scenario' de verwachtingswaarden vermeerderd met eenmaal de standaardafwijking. Het 'Beleids scenario' geeft de tot voor kort gehanteerde waarden. Voor het jaar 2090 zijn in de onderstaande tabel voor alle drie scenario's zowel de waarden van de 'uitgangsparementen', als van de 'afgeleide parameters' weergegeven. Voor de vaststelling van de waarden van tussenliggende jaren wordt gebruik gemaakt van lineaire interpolatie.

Uitgangs-parameters	Beleids scenario	Anticiperend scenario	Ongunstig scenario
relatieve zeespiegel	+20 cm	+60 cm	+85 cm
windkracht	+0 %	+0 %	+10 %
windrichting	+0°	+0°	+10°
GHW	+20 cm	+65 cm	+90 cm
GLW	+20 cm	+55 cm	+80 cm
Afgeleide parameters			
ontwerppeil	+20 cm	+65 cm	+150 cm
$H_{sig}(NAP - 20m)^1$	+0 %	+0 %	+10 %
$H_{sig}(NAP - 20m), ontwerp^2$	+0 %	+0 %	+8 %
$T(H_{sig}), ontwerp^2$	+0 s	+0 s	+1 s
golfrichting ³⁾	0°	0°	100

¹⁾ voor toepassingen onder gemiddelde omstandigheden;

²⁾ voor toepassingen onder extreme omstandigheden;

³⁾ verdraaiing in ongunstige zin.

Fig. 3.10 Scenario's voor zeespiegelstijging [RWS, TR6 (1988)].

Veranderingen van het relatieve zeeniveau zijn het gevolg van daadwerkelijke veranderingen van het gemiddelde niveau van de zeespiegel en/of van veranderingen van de bodemligging (geologische processen).

zeespiegelstijging

De gemiddelde mondiale temperatuur stijgt geleidelijk. Er wordt aangenomen dat deze stijging geheel of gedeeltelijk te wijten is aan de toename van het broeikaseffect als gevolg van een verhoogde uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen in de atmosfeer.

Ten gevolge van een stijging van de gemiddelde mondiale temperatuur zet het zeewater uit en neemt het watervolume toe. Daarnaast zal de omvang van de gletsjers en van het landijs afnemen, waardoor deze vorm van waterberging geleidelijk minder wordt. Deze twee effecten worden gezien als de voornaamste oorzaken van de stijging van het gemiddeld zeeniveau (zeespiegelstijging).

De zeespiegelstijging kan op basis van de analyse van waterstandsmetingen worden bepaald [Van Malde (1984)]. Door vervolgens ook de eventueel opgetreden bodembewegingen in rekening te brengen, kan de relatieve zeespiegelstijging worden berekend [De Ronde (1982, 1993)]. Het is nog niet geheel duidelijk hoe groot de toekomstige zeespiegelstijging zal zijn. Over de grootte van de stijging van de gemiddelde mondiale temperatuur en het effect hiervan op de zeespiegelstijging, bestaat ook nog onzekerheid. Met betrekking tot de zeespiegelstijging wordt daarom uitgegaan van de analyse van beschikbare waterstandsmetingen (fig. 3.9). In Nederland wordt op basis van zowel de analyse van waterstandsmetingen, als van de analyse van geologisch onderzoek, voornamelijk rekening gehouden met een relatieve zeespiegelstijging van in het gunstigste geval 20 cm tot 85 cm in het ongunstigste scenario over de komende 100 jaar (fig. 3.10). Voor een uitvoerige toelichting van de in figuur 3.10 weergegeven waarden wordt verwezen naar het rapport 'Zeespiegelrijzing' [RWS, TR6 (1988)].

3.3.3 *Getij*

Het getij langs de Nederlandse kust wordt voornamelijk bepaald door de getijgolf die vanuit de Atlantische Oceaan tussen Schotland en Noorwegen de Noordzee binnenkomt (fig. 3.11). In het Noordzeebekken wordt deze getijgolf vervormd en ontstaan er verscheidene systemen van

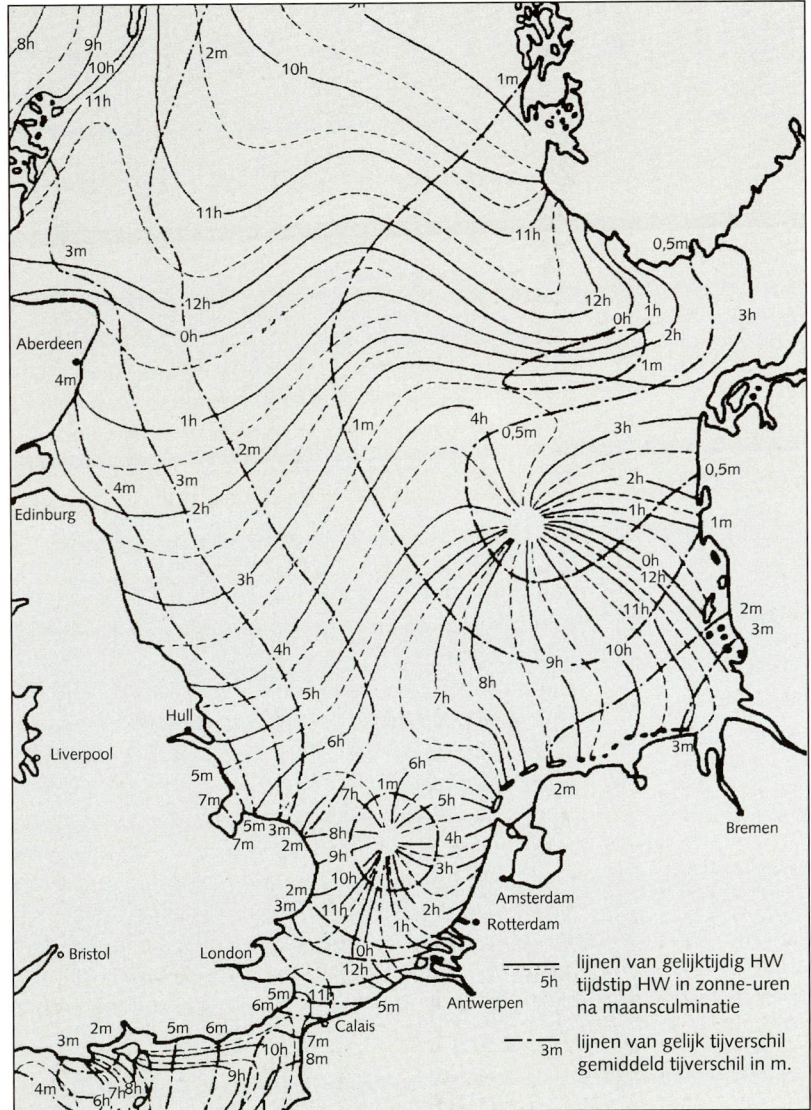


Fig. 3.11 Getijgolf op de Noordzee [RWS, TR1 (1989)].

getijgolven. Langs de westkust van Nederland verplaatst een getijgolf zich van zuid naar noord. Langs de noordkust verplaatst de getijgolf zich naar het oosten.

De getijbeweging is te onderscheiden in een:

1. verticaal getij (periodieke beweging van de waterstand);
2. horizontaal getij (getijgedreven stromingen).

Het gemiddelde tijverschil is het verschil tussen GHW en GLW. Het tijverschil is langs de Nederlandse kust verschillend.

De gemiddelde getijkromme kan in de tijd veranderingen ondergaan.

ad 1. verticaal getij

In figuur 3.12 is het gemiddelde tijverschil langs de Nederlandse kust weergegeven. Dit tijverschil is maximaal langs de Deltakust (Cadzand, 4,75 m) en neemt af in de richting van het noorden (Den Helder, 1,37 m). Vandaar neemt het weer toe (Rottummerplaat, 2,09 m).

Het verticaal getij speelt een rol in de zandtransportprocessen in het kustgebied. Dit heeft voornamelijk te maken met de effecten die het tijverloop heeft op de invallende golven en de begrenzing van het strand:

- Het diepste punt waar golven het zand van de bodem kunnen opwoelen, wordt de golfbasis genoemd. Bij laagwater ligt dit punt verder van de kust dan bij hoogwater.
- Het tijverloop leidt tot een verplaatsing van de waterlijn en daardoor tot een verplaatsing van de lijn tot waar invallende golven kunnen reiken. Naast de helling van het strand wordt de breedte van het natte strand dus ook door het tijverschil bepaald.
- Wanneer golven de kust naderen en in ondiep water terecht komen, breken deze golven en komt er energie vrij (zie par. 3.3.5). De zone waarin de golven breken, wordt de brandingszone genoemd. (De breedte van deze zone is ondermeer afhankelijk van de golfhoogte, de golflengte en de helling van de vooroever en van het strand.) Met de verplaatsing van de waterlijn treedt tevens een verplaatsing van de brandingszone op.
- Het strand dat bij eb droogvalt, wordt blootgesteld aan de werking van wind.

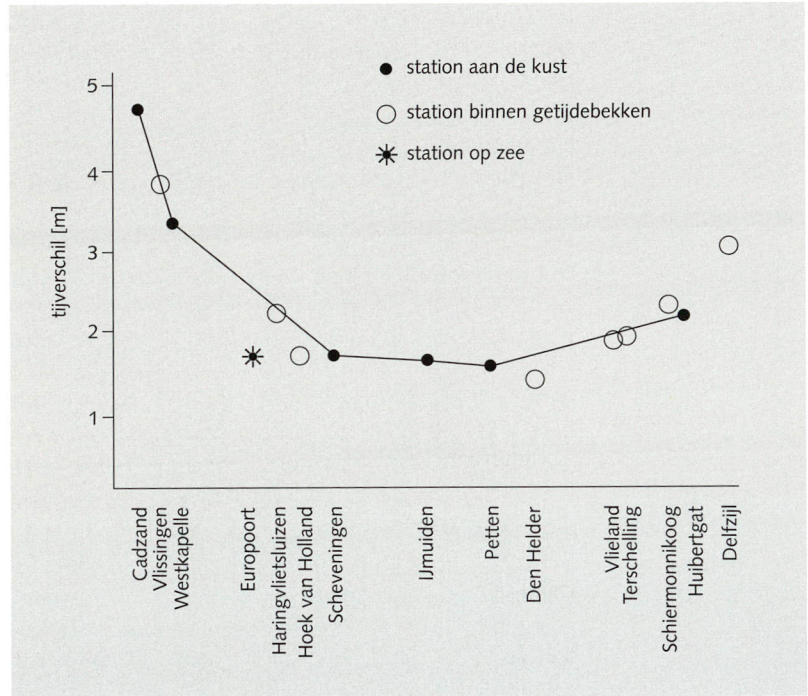


Fig. 3.12 Tijverskil langs de Nederlandse Noordzeekust [RWS, TR1 (1989)].

ad 2. horizontaal getij

Door de verplaatsing van een getijgolf ontstaan de getijgedreven stromingen. Tijdens het passeren van de getijgolf veranderen deze stromingen voortdurend van grootte en richting.

Lokaal kunnen deze veranderingen ook het gevolg zijn van faseverschillen, vervormingen van de getijgolf door de bodemtopografie, de aanwezigheid van zeearmen, zeegaten en waterbouwkundige kunstwerken, de invloed van wind of, in de nabijheid van riviermondingen, van dichtheidsverschillen van het water.

veranderingen van de lokale gemiddelde getijkromme

Uit de analyse van waterstandsmetingen blijkt dat het verloop in de tijd van de gemiddelde hoog- en laagwaterstanden langs de Nederlandse kust, anders is dan het verloop van de gemiddelde waterstand (zeespiegelstijging). De afwijkingen kunnen per locatie langs de kust verschillen. Dit betekent dat de lokale gemiddelde getijkromme, en dus ook de getijgedreven stromingen veranderingen hebben ondergaan. Deze veranderingen zullen ongetwijfeld leiden tot geleidelijke morfologische veranderingen in het kustgebied.

De oorzaken van de veranderingen in de gemiddelde getijkromme kunnen zijn:

- menselijke ingrepen (de invloed van grootschalige waterbouwkundige werken en baggerwerken);
- natuurlijke morfologische veranderingen in het kustgebied (bodemtopografie);
- getijveranderingen op de Noordzee (voornamelijk als gevolg van morfologische veranderingen van de zeebodem).

Van Malde (1984) toont aan dat het tijverschil duidelijk wordt beïnvloed door veranderingen in een getijdebekken. Deze veranderingen zijn bijvoorbeeld het gevolg van grootschalige menselijke ingrepen in de morfologie van getijdebekkens zelf of in de morfologie van de directe omgeving van getijdebekkens [Van Malde (1984) en De Ronde (1982)]. Voor een beschrijving van de verandering van de getijbeweging in de Noordzee die ten gevolge van de zeespiegelstijging optreedt, wordt verwezen naar Bavelaar (1988). Het blijkt dat de zeespiegelstijging slechts een geringe rol speelt in de verandering van de getijamplitude.

Voor de bepaling van de te verwachten extreme waterstanden is het van belang om de veranderingen in de getijamplitude te kunnen voorspellen.

Uit de analyse van waterstandsmetingen langs de Nederlandse kust wordt duidelijk dat de getijamplitude een stijgende trend vertoont. Deze stijging vertaalt zich in een verhoging van circa 5 cm voor gemiddeld hoogwater en een verlaging van circa 5 cm voor gemiddeld laagwater over de laatste 100 jaar [RWS, TR6 (1988)]; beide gerekend ten opzichte van de gemiddelde waterstand.

Langs de Deltakust wordt voor de verhoging van het gemiddeld hoogwater een afwijkende waarde gevonden van circa 10 cm [Dillingh & Heinen (1994)].

3.3.4 Wind

Wind veroorzaakt waterstandsverhogingen (windopzet), golven en stromingen. Wind is als zodanig de indirecte oorzaak van vele morfologische veranderingen die in het kustgebied plaatsvinden. Landwaarts van de momentane waterlijn is wind de directe oorzaak van het optreden van zandtransporten.

De windopzet en de golf- en stromingskarakteristieken hangen nauw samen met het windklimaat (windrichtingen en windsnelheden). Het windklimaat kan veranderen als gevolg van veranderingen in de klimatologische en meteorologische omstandigheden. Naast veranderingen van windsnelheden en windrichtingen kan hierbij ook worden gedacht aan veranderingen van de richting waarin depressies zich ontwikkelen en veranderingen van stormduur en stormfrequentie.

Een inventarisatie van het windklimaat langs de Nederlandse kust is voor de jaren 1882 - 1959 opgemaakt door Van Straaten (1961). Op grond van de verzamelde wind- en golfgegevens geeft Van Straaten voor deze jaren tevens een interpretatie van de samenhang tussen het wind- en het golfklimaat. Voor een beschrijving van het huidige windklimaat wordt verwezen naar Wieringa & Rijkooft (1983). Aan de hand van gegevens van de Nederlandse lichtschepen zijn het wind- en het golfklimaat langs de Nederlandse kust nader geanalyseerd [Hoozemans (1989)]. In het rapport 'Zeespiegelrijzing' [RWS, TR6 (1988)] wordt nader ingegaan op de te verwachten veranderingen van het windklimaat.

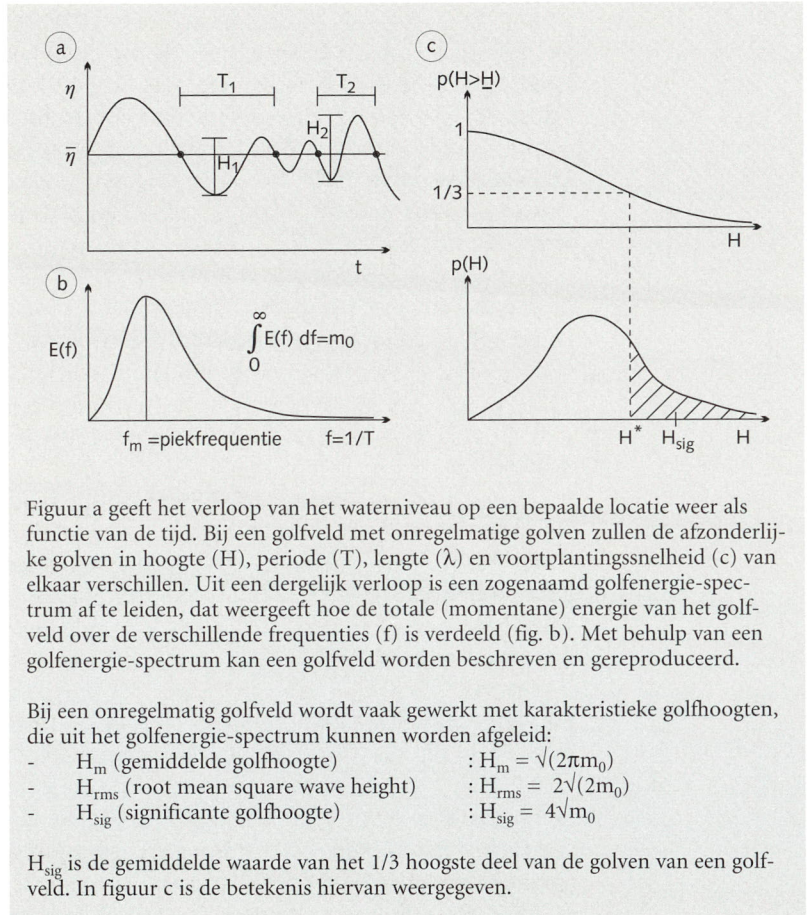


Fig. 3.13 Het golfenergie-spectrum en karakteristieke golfhoogten.

windopzet

Windopzet hangt samen met het waterstandsverhang dat ontstaat als gevolg van de door wind veroorzaakte wrijvingskrachten op het wateroppervlak. De mate van opzet is ondermeer afhankelijk van de windsnelheid en de lengte waarover de wind wrijving op het wateroppervlak kan uitoefenen (de strijklengte). De strijklengte die nodig is om een significante opzet langs de kust te veroorzaken is zo groot, dat windopzet langs de kust resulteert in een vrijwel horizontale verhoging van de waterstand.

Naarmate de windsnelheid en de strijklengte toenemen, neemt ook de windopzet toe. Hierbij is de windopzet kwadratisch gerelateerd aan de windsnelheid. Daarnaast bestaat er een relatie tussen de windopzet en de waterdiepte: hoe kleiner de waterdiepte, hoe groter het waterstandsverhang en de windopzet.

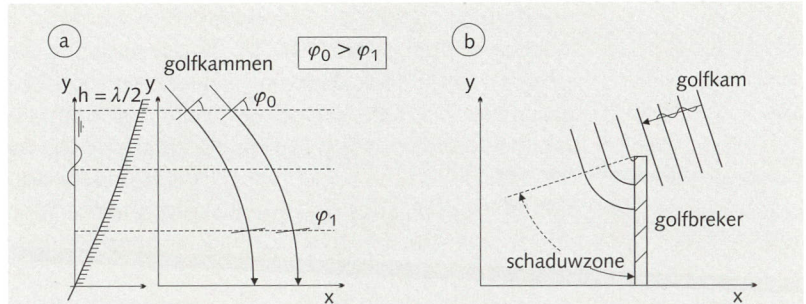
Extreme waterstanden, zoals die tijdens stormperiodes optreden, volgen uit de superpositie van de gemiddelde waterstand, het astronomisch getij, windopzet en golfopzet, buistoten en bui-oscillaties (zie par. 3.3.5). De windopzet langs de Nederlandse kust treedt voornamelijk op bij noordwestenwind en kan onder extreme omstandigheden enige meters bedragen. Door de trechtervorm van het Noordzeebekken resulteert sterke wind uit andere richtingen vaak in grootschalige stromingspatronen. Voor de Waddenkust is vaak een combinatie van zuid naar noordwest draaiende wind maatgevend.

windgedreven stromingen

Als gevolg van de werking van wind kunnen op dieper water grootschalige circulaties in de waterbeweging ontstaan. Deze circulaties kunnen zich zowel in een horizontaal vlak als in een verticaal vlak afspelen. Daarnaast kunnen ook stromingen optreden als gevolg van verschillen in windopzet langs de kust.

De grootschalige circulaties treden zeewaarts van de brandingszone op. Ten gevolge van deze circulaties kunnen, afhankelijk van de windrichting en de waterdiepte, zowel langsstromen als dwarsstromen bij het bodemoppervlak ontstaan.

In de zone die zich uitstrekt vanaf een diepte van circa 10 m tot de brandingszone (de zogenaamde wrijvingsgedomineerde zone), blijkt er een direct verband tussen windrichting en stroming bij de bodem; een kustdwarse wind veroorzaakt een kustdwarse stroming bij de bodem in



Golfrefractie is het verschijnsel van verandering van de voortplantingsrichting van golven als gevolg van variaties in de voortplantingssnelheden langs de golfkammen, voor zover deze het gevolg zijn van veranderingen van de waterdiepte of de aanwezigheid van stromingen.

In figuur a is een situatie weergegeven van schuin invallende golven en een geleidelijk afnemende waterdiepte. Naarmate de waterdiepte kleiner wordt, neemt de voortplantingssnelheid van golven die de kust naderen af. Dit effect vindt plaats vanaf het punt waar de waterdiepte (h) kleiner wordt dan de helft van de golflengte op diep water (λ_0). Bij schuin invallende golven zullen de golven die het bovengenoemde punt het eerst passeren ook het eerst worden vertraagd. Daardoor buigen de golfkammen bij. Tijdens de verdere verplaatsing naar de kust toe, neemt de hoek die de golfkammen met de kustlijn maken in toenemende mate af. De voortplantingssnelheid van golven kan ook door aanwezige stromingen worden beïnvloed, zoals bijvoorbeeld door getijgedreven stromingen bij estuaria en door muistromen.

Golfdiffractie is het verschijnsel van buiging van golfkammen om een obstakel of een uitstekend kustgedeelte dat zich in de voortplantingsrichting van de golven bevindt.

In figuur b is een situatie weergegeven waarbij het obstakel wordt gevormd door een golfbreker. Wanneer invallende golven de golfbreker passeren, zullen er in eerste instantie geen golven aan de lijzijde van het obstakel aanwezig zijn. Dit leidt ertoe dat er langs de golfkammen energie naar de zogenaamde schaduwzone wordt getransporteerd. Hierdoor komen in de schaduwzone golven tot ontwikkeling waarvan de golfkammen sterk zijn gebogen.

Naast diffractie zal er ook reflectie van golven plaatsvinden. Ook de gereflecteerde golven ondergaan diffractie.

Fig. 3.14 Golfrefractie en golfdiffractie.

teggengestelde richting. Bovendien is er een verband tussen windsnelheid en stroomsnelheid. Omdat de zone met windgedreven stromingen grenst aan de brandingszone (opwoeling door golven; zie par. 3.3.5) kan deze windgedreven stroming zandtransporten veroorzaken. Het laatste geldt ook voor de windgedreven stroming die ontstaat als gevolg van verschillen in windopzet langs de kust.

De effecten van wind op de waterbeweging nabij de bodem in diep water zijn nader beschreven door Nedoroda et al. (1985) en in WL (1990-b).

3.3.5 Golven

Een golf kan worden beschreven door de volgende parameters (fig. 3.13):

- golfhoogte;
- golfperiode;
- voortplantingssnelheid en -richting.

Naar golfperiode kunnen worden onderscheiden:

- hoogfrequente golven (windgolven, deining);
- laagfrequente golven (getijgolf, bui-oscillatie).

Laagfrequente golven bepalen mede de waterstand (zie par. 3.3.2 en 3.3.3). In deze paragraaf staan windgolven en deining centraal.

Het golfbeeld op de Noordzee is direct gerelateerd aan het windklimaat (zie par. 3.3.4). Veranderingen van het golfbeeld op dieper water hangen daarom nauw samen met veranderingen van het windklimaat. Voor informatie over de golfklimaten voor de Nederlandse kust wordt verwezen naar Roskam (1988).

De golven die de kust naderen, kunnen worden onderscheiden in zee-gang en deining. Zeegang wordt opgewekt door de lokale en in de omgeving heersende windcondities. Onder deining worden golven verstaan die niet meer zijn onderworpen aan de windcondities die hen hebben opgewekt [Groen & Dorrestein (1976)].

Wanneer golven de kust naderen zullen er de volgende effecten optreden:

- verandering van de golfkarakteristieken, zoals golfhoogte, golflengte en voortplantingssnelheid, veroorzaakt door veranderingen in de waterdiepte, wrijving of door stromingen;
- verandering van de golfrichting (refractie), eveneens veroorzaakt

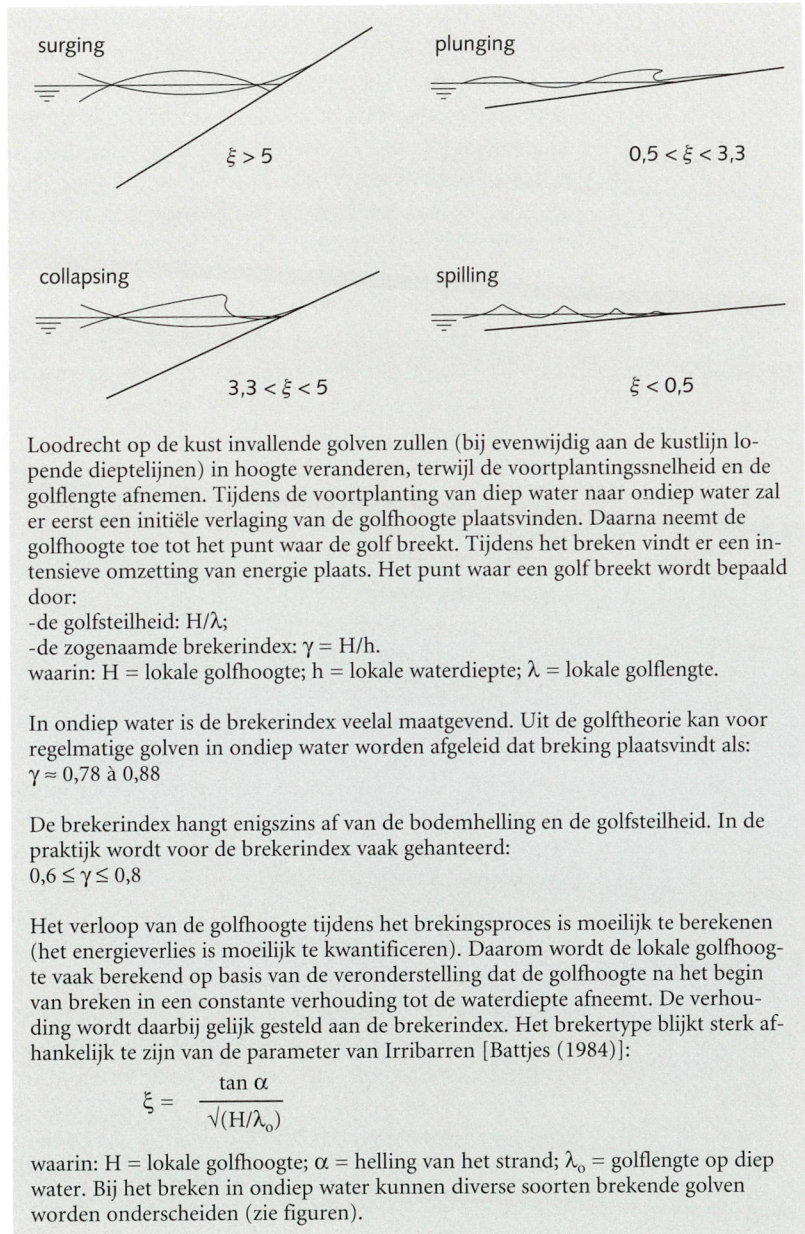


Fig. 3.15 Golfbreking.

- door veranderingen in de waterdiepte of stromingen (fig. 3.14-a);
- buiging (diffractie) van de golfkammen om uitspringende kustgedeelten of obstakels heen (fig. 3.14-b);
 - terugkaatsing (reflectie) door een vrij steile oever of wand van een constructie;
 - energieverlies door bodemwrijving en breking van golven door de afname van de waterdiepte of door tegenstroom (fig. 3.15);
 - golf set-down en golf set-up (of golfopzet);
 - energietoename door wind.

De bovengenoemde effecten hangen dus nauw samen met de morfologie van de kust, waterstanden, stromingen, het windklimaat en de aanwezigheid van waterbouwkundige werken.

Golven veroorzaken veranderingen van de gemiddelde waterstand (vooral de golfopzet is van belang). De grote rol die golven spelen in de morfologische veranderingen, vloeit vooral voort uit de invloed die golven hebben op het zandtransport; twee aspecten zijn daarbij van belang:

1. opwoeling;
2. golfgedreven stromingen.

In het navolgende worden beide aspecten behandeld. Voor de behandeling van golfopzet wordt verwezen naar de behandeling van golfgedreven stromingen. Beide verschijnselen vloeien namelijk voort uit veranderingen van de zogenaamde golfspanning (radiation stress).

ad 1. opwoeling

De invloed van golven op het kustgedrag wordt pas sterk merkbaar vanaf het (diepste) punt waarop golven het zand van de bodem in beweging kunnen brengen (de golfbasis).

Op dieper water maken de waterdeeltjes tijdens het passeren van een golf een cirkelvormige beweging (de orbitaalbeweging, fig. 3.16). De amplitude van de cirkelvormige beweging neemt af met de diepte. Bij voldoende diepte reduceert deze cirkelvormige beweging tot nul. Naarmate de waterdiepte (in de richting van de golfvoortplanting) afneemt, verandert de cirkelvormige waterbeweging in toenemende mate in een ellipsvormige waterbeweging. De maximale amplitude van de ellipsvormige waterbeweging reduceert niet tot nul in de nabijheid van de bodem; er ontwikkelen zich snelheden langs het bodemoppervlak (fig. 3.16).

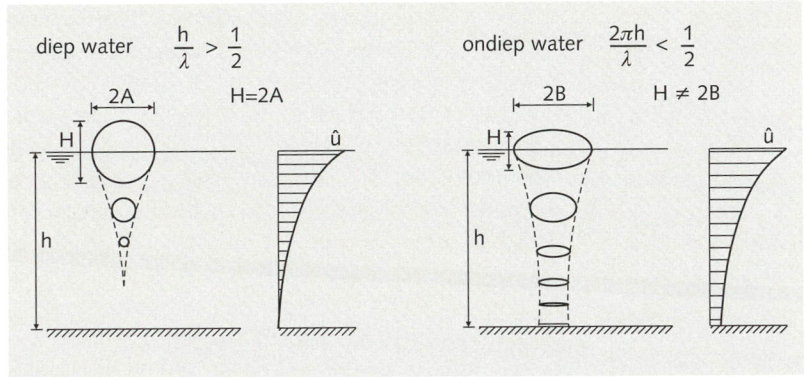


Fig. 3.16 Waterbeweging tijdens het passeren van een golf.

De langs het bodemoppervlak opgewekte snelheden wisselen voortdurend van grootte en richting. Tijdens de passage van de golftop is de richting van de snelheden gelijk aan de richting van de golfvoortplanting. Tijdens de passage van het golfdal is de richting van de snelheden tegengesteld.

Door de in grootte en richting fluctuerende snelheden langs het bodemoppervlak worden wrijvingskrachten op het bodemmateriaal uitgeoefend. Indien deze wrijvingskrachten voldoende groot zijn, kan het sediment worden opgewoeld.

De mate van opwoeling is vooral afhankelijk van de eigenschappen van het bodemmateriaal en de grootte van de wrijvingskrachten op het bodemoppervlak. Bij een gegeven golfperiode neemt de grootte van de wrijvingskrachten toe als de verhouding tussen de golfhoogte en de waterdiepte toeneemt. Bij een gegeven maximale orbitaalsnelheid bij de bodem, zijn de wrijvingskrachten groter bij een kortere golf (kortere golfperiode) dan bij een langere golf.

De opwoeling door golven maakt het mogelijk dat bodemmateriaal kan worden getransporteerd door (getij)stromingen die zelf niet sterk genoeg zijn om het zand van de bodem los te maken.

Indien er sprake is van een zuivere symmetrische golfbeweging, vertonen ook de snelheden bij de bodem een symmetrisch snelheidsbeeld. Het bodemmateriaal wordt dan weliswaar opgewoeld, maar deze opwoeling resulteert niet in een netto transport van het bodemmateriaal. Wanneer de waterbeweging niet zuiver symmetrisch is (hetgeen meer regel dan uitzondering is), kan het bovenbeschreven proces op zichzelf aanleiding geven tot een netto transport van het bodemmateriaal. Afhankelijk van de asymmetrie van de waterbeweging kan het transport zowel in de richting van de golfvoortplanting optreden, als tegen deze richting in.

ad 2. golfgedreven stromingen

In de brandingszone (de zone waarbinnen invallende golven breken) is een drietal golfgedreven stromingen te onderscheiden:

- langsstroom;
- onderstroom;
- muistroom.

Daarnaast kunnen er nog golfgedreven stromingen optreden door verschillen in golfopzet langs de kust.

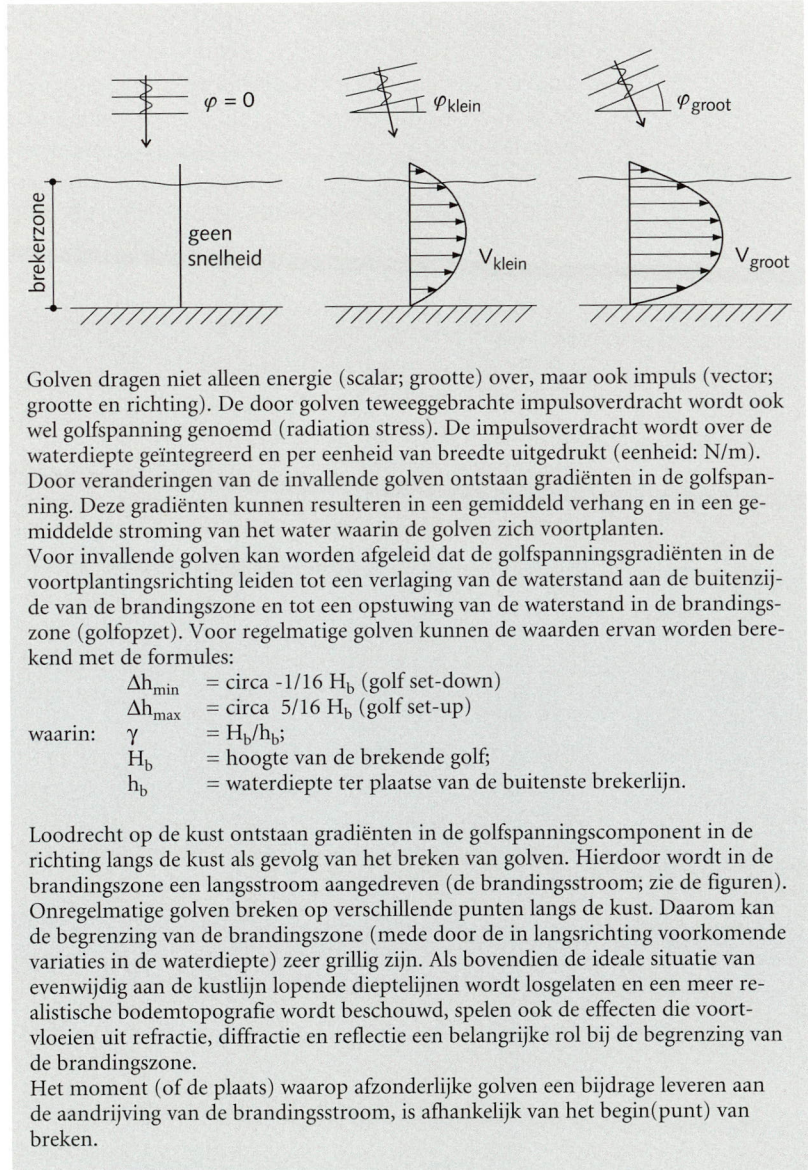


Fig. 3.17 Golfopzet en de golfgedreven brandingsstroom.

Door schuin op de kust invallende golven wordt in de brandingszone een langsstroom opgewekt (fig. 3.17). De sterkte van de langsstroom is vooral afhankelijk van de golfhoogte, de helling van het kustprofiel in de brandingszone en de hoek van inval die de golven met de kust maken. De sterkte neemt toe naarmate de golfhoogte, de helling van het profiel en de hoek van inval toenemen. De door golfwerking veroorzaakte opwoeling en stroming resulteren aldus gezamenlijk in een (golfgedreven) zandtransport langs de kust.

De onderstroom (of retourstroom) is een zeewaarts gerichte stroming bij de bodem. Deze stroming ontstaat als gevolg van een verticale circulatie tijdens het breken van golven. Nabij het wateroppervlak ontstaat een landwaarts gerichte stroming. Onderstromen kunnen op min of meer regelmatige afstanden langs de kust zijn geconcentreerd in muistromen. Langsstroom en muistromen kunnen samen horizontale circulatiecellen in het kustgebied vormen (fig. 3.18). De aanwezigheid van muistromen kan leiden tot zeewaarts gerichte zandtransporten. Bij Egmond aan Zee is het gedrag van muistromen onderzocht [Nanninga (1984) en Bezembinder et al. (1987)].

Een overzicht van de hydrodynamica van de brandingszone wordt gegeven door Battjes (1988) en Stive (1988).

Met het oog op de veiligheid zijn de extreme golfhoogten van belang (zie par. 6.2). Hier wordt in paragraaf 3.5.4 op teruggekomen.

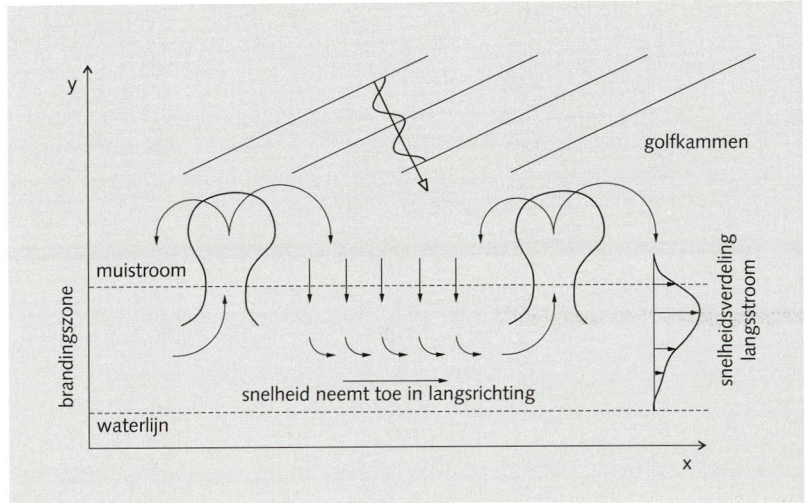


Fig. 3.18 Circulatiecellen in de brandingszone.

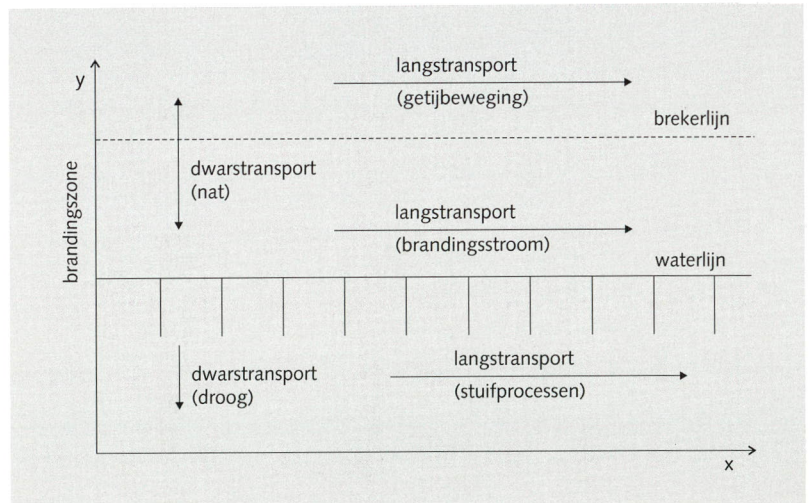


Fig. 3.19 Sedimenttransport in langs- en dwarsinrichting.

3.4 Zandtransportprocessen

3.4.1 Algemeen

Ten aanzien van de zandtransporten die in het kustgebied optreden, kan een onderscheid worden gemaakt tussen (fig. 3.19):

- dwarstransport (zandtransport loodrecht op de kust);
- langstransport (zandtransport evenwijdig aan de kust).

Als gevolg van morfologische en hydraulische variaties in de dwars- of langsrichting in een kustvak treden er gradiënten in de zandtransporten op. Als deze gradiënten leiden tot een netto zandverlies uit een kustvak, is er sprake van kusterosie. Indien de erosie een reeks van jaren aanhoudt, wordt gesproken van structurele kusterosie. Het zandverlies (of de zandwinst) dat in een bepaald tijdsbestek heeft plaatsgevonden, kan door het opstellen van een zandbalans worden gekwantificeerd.

3.4.2 Dwarstransport

In het algemeen kunnen twee tijdschalen worden onderscheiden waarover de sedimentuitwisseling in de dwarsrichting plaatsvindt. Er is een relatief kleine tijdschaal met snelle, tamelijk frequent voorkomende uitwisselingen van sediment tussen duin, strand en brandingszone. Deze uitwisselingen van sediment spelen zich over een relatief kleine ruimteschaal af. Daarnaast vindt er een sedimentuitwisseling plaats op een grote tijdschaal en grote ruimteschaal tussen de brandingszone en het onderste deel van de vooroever.

Een overzicht van de processen die in het dwarstransport een rol spelen wordt gegeven door Wright (1987) en Van Rijn et al. (1994).

In het kustgebied kan het zand op twee manieren in dwarsrichting worden getransporteerd:

1. het 'droge' dwarstransport door stuifprocessen;
2. het 'natte' dwarstransport door de werking van golven en stromingen.

ad 1. het 'droge' dwarstransport

Op het strand en in de duinen treden zandtransporten op als gevolg van de wind. Het zandtransport vindt daarbij voornamelijk plaats door rollende en springende zandkorrels.

Voor deze zogenaamde stuifprocessen op strand en duin is vooral het

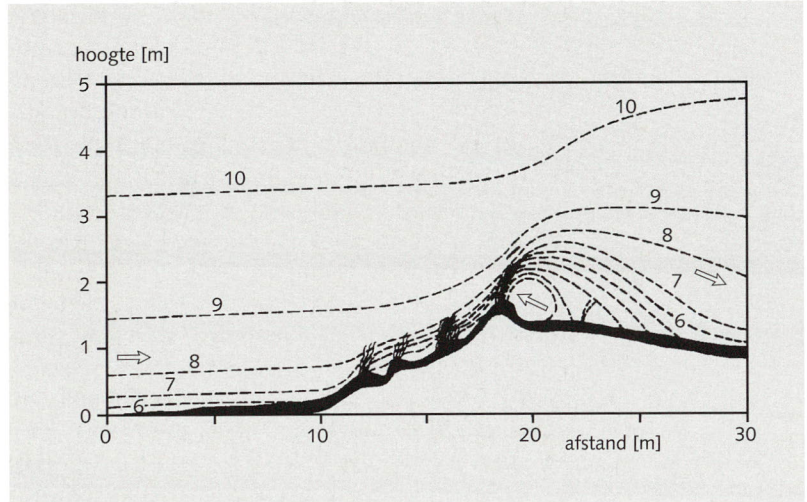


Fig. 3.20 Gedrag van wind bij een begroeid duintje [Klijn (1981)].
(De onderbroken lijnen geven de windsnelheid aan in m/s).

windkracht (Beaufort)	windsnelheid (m/s) (circa)	zandtransport ($10^{-6} \cdot \text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)
3	4,5	-
4	7,0	1
5	10,0	3
6	12,5	14
7	15,5	31
8	19,5	86
9	22,5	165
10	26,5	310
11	31,0	408

Fig. 3.21 Relatie tussen windkracht, windsnelheid en zandtransport als gevolg van stuif processen [Adriani & Terwindt (1974)].

lokale windveld van belang. Het lokale windveld (windsnelheden en windrichtingen) kan sterk afwijken van het algemene windveld. Het zandtransport op het strand is in hoge mate afhankelijk van de windsnelheid. Metingen van het zandtransport dat op het strand als gevolg van stuifprocessen plaatsvindt, zijn onder andere uitgevoerd door Svasek & Terwindt (1974) en Arens (1994).

Daarnaast speelt in de duinen ook de topografie een belangrijke rol, omdat dit van invloed is op het lokale windveld (fig. 3.20). Bij de toppen van de duinregels is de lokale windrichting veelal (bijna) loodrecht op de oriëntatie van de duinregels, ook wanneer de wind op het strand (nabij de duinvoet) schuin ten opzichte van de duinregels invalt [Svasek & Terwindt (1974)]. Door Adriani & Terwindt (1974) en Arens (1994) is tevens gezocht naar een relatie tussen de windkracht en de grootte van het netto zandtransport dat als gevolg van stuifprocessen optreedt (fig. 3.21).

De begroeiing van het bodemoppervlak beïnvloedt de grootte van de zandtransporten in hoge mate. De zandopname door wind hangt mede af van de eigenschappen van het bodemmateriaal. Kittende bestanddelen, zoals slibdeeltjes, zoutkorsten en kalk- of ijzerverbindingen, bemoeilijken de zandopname. In de duinen komt verstuiwing vooral voor op plaatsen waar schoon, humusloos zand aan de oppervlakte ligt. Op plaatsen waar het zand humusrijk is, zal de mate van verstuiwing wegens de grotere cohesie tussen de zandkorrels geringer zijn. Voor een korte behandeling van de samenstelling van het zand langs de Nederlandse kust wordt verwezen naar paragraaf 2.7 van het rapport 'Zandsysteem kust' [RWS, TR1 (1989)].

De zeewaartse begrenzing van het gebied waarbinnen de stuifprocessen optreden, fluctueert tussen de laagwater- en de hoogwaterlijn. De ligging van deze begrenzing wordt dus bepaald door de gemiddelde waterstand, het astronomisch getij en de helling van het strand.

ad 2. het 'natte' dwarstransport

Het 'natte' dwarstransport op het deel van strand dat onder water staat en op de vooroever wordt veroorzaakt door golven en stromingen. In de brandingszone treedt een intensief dwarstransport op onder invloed van brekende golven. Het vanaf dieper water of vanuit een aangrenzend kustvak aangevoerde zand kan op het strand worden afgezet en vervolgens door de werking van wind verder landinwaarts worden getransporteerd.

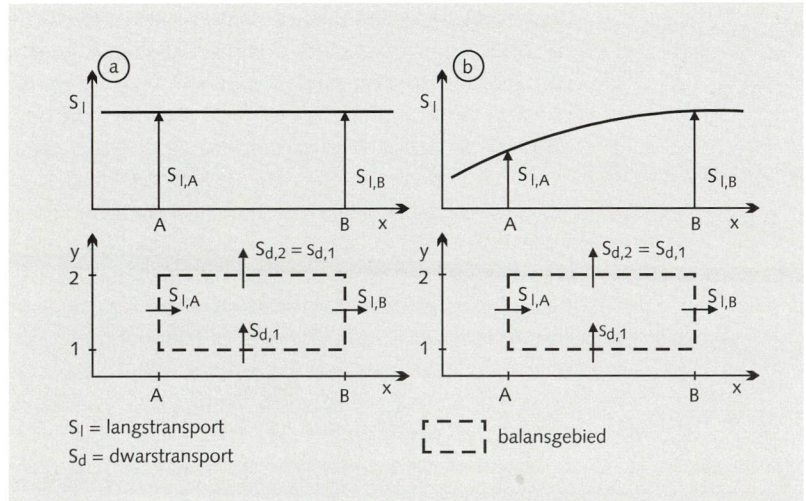


Fig. 3.22 a) Sluitende zandbalans in langsricting:
 b) Niet sluitende zandbalans in langsricting:

Hierdoor kan het zand aan hoger gelegen delen van het kustprofiel (droge strand, zeereep) ten goede komen. Dit proces treedt voornamelijk op tijdens het (rustige) zomerseizoen. Daarnaast kan zand van het strand naar dieper water worden afgevoerd. Dit proces treedt voornamelijk op tijdens het winterseizoen.

Naarmate de waterdiepte buiten de brandingszone toeneemt, neemt de opwoelende werking van golven af. Er treedt daarom zeewaarts van de brandingszone een minder intensief dwarstransport op.

Muistromen, windgedreven circulaties en getijgedreven neren (bijvoorbeeld bij havendammen) kunnen lokaal aanleiding geven tot grote dwarstransporten.

Het verlies van zand uit een kustvak (met gegeven grenzen) als gevolg van optredende dwarstransporten vindt plaats als er zand over de zeewaartse grens naar dieper water wordt getransporteerd, of als er zand over de landwaartse grens wordt getransporteerd. Indien er geen netto verplaatsing van het zand over deze grenzen plaatsvindt, resulteren de dwarstransporten slechts tot een herverdeling van zand over het kustprofiel binnen dit kustvak.

dynamisch evenwicht

Een kustprofiel zal zich voortdurend trachten om te vormen tot een profiel dat behoort bij de momentane hydraulische omstandigheden. Wanneer de vormveranderingen zonder resulterend zandverlies of zandwinst plaatsvinden, heerst er een situatie van zogenaamd dynamisch evenwicht. Een in de tijd onveranderlijk profiel wordt echter nooit bereikt, omdat de hydraulische omstandigheden continu veranderen.

In het winterseizoen (hoge waterstanden en hoge golven) overheerst het zeewaarts gerichte dwarstransport en treden de hoger gelegen delen van het kustprofiel op als sedimentbron. Dit resulteert hier in een verflauwing van het kustprofiel.

In het zomerseizoen (lagere golven) overheerst het landwaarts gerichte dwarstransport. Het zand dat tijdens het winterseizoen zeewaarts is getransporteerd, zal geheel of gedeeltelijk landwaarts worden getransporteerd door de werking van golven en wind.

Het dynamisch evenwicht kan worden verstoord indien er een lokale gradiënt in het langstransport aanwezig is (fig. 3.22). Het zand dat tijdens het winterseizoen zeewaarts is getransporteerd, wordt in die gevallen tijdens het zomerseizoen maar ten dele weer landwaarts getrans-

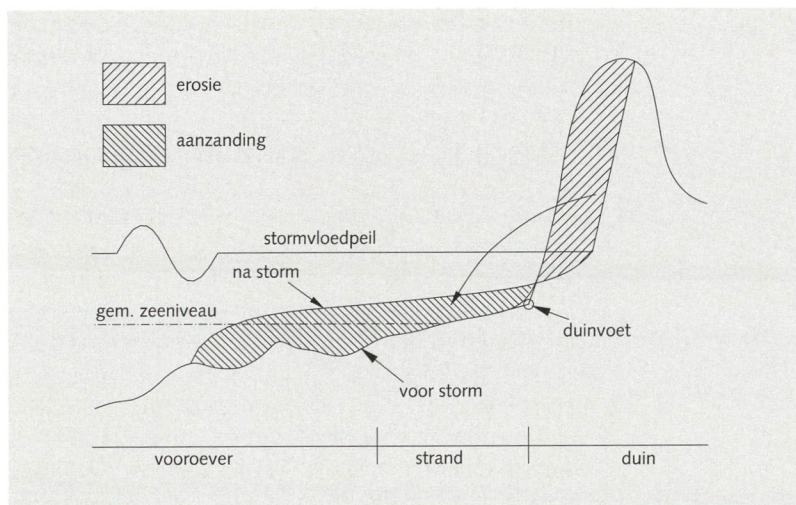


Fig. 3.23 Principe van duinafslag.

porteed. Dit proces resulteert in een geleidelijk verlies van zand (ook van zand dat afkomstig is van hoger gelegen delen van het kustprofiel).

het duinafslagproces

Duinafslag is een relatief snel verlopend dwarstransportproces dat optreedt bij zware golfaanval in combinatie met hoge waterstanden. Hierbij kunnen grote hoeveelheden uit de zeereep afkomstig zand, zeewaarts worden getransporteerd (fig. 3.23). Als er geen zeewaartse of zijdelingse verliezen optreden, is de zandbalans sluitend in de dwarsrichting. Het afgeslagen duinzand zal zodanig worden afgezet dat er een zogenaamd afslagprofiel ontstaat. Uit onderzoek is gebleken dat wanneer dit afslagprofiel eenmaal is gevormd, het afslagproces nog slechts relatief langzaam in de tijd voortschrijdt [WL (1982)].

Kustsecties geven na een stormvloed waarbij enige afslag plaatsvindt, ondanks lokale verschillen in de vorm van kustprofielen, vaak in langsrichting een vrij strakke afslagkant te zien. Kennelijk heeft er zich enige zijdelingse herverdeling van zand voorgedaan.

De aanwezigheid van een lokale (erosieve) gradiënt in het langstransport kan ertoe leiden dat tijdens een stormvloed een significant verlies van het zeewaarts getransporteerde duinzand plaatsvindt. Vooral in kustgebieden waar een getijgeul vlak onder de kust aanwezig is, kan het optredende zandverlies een relatief grote omvang hebben. De aanwezigheid van een geul werkt namelijk geleidend op aanwezige stromingen. Het afgeslagen zand dat in de geul terecht komt (opvulling), wordt daardoor relatief snel afgevoerd.

Het zandverlies dat tijdens een stormvloed als gevolg van de aanwezigheid van een lokale gradiënt in het langstransport optreedt, heeft effect op de mate van duinafslag.

De kwantificering van de mate van duinafslag komt in paragraaf 6.2.2 aan de orde.

Voor een uitvoerige beschrijving van het proces van (strand- en) duinafslag tijdens stormvloeden wordt verwezen naar Vellinga (1986) en Steetzel (1993).

3.4.3 Langstransport

De langstransporten in het kustgebied worden veroorzaakt door de werking van:

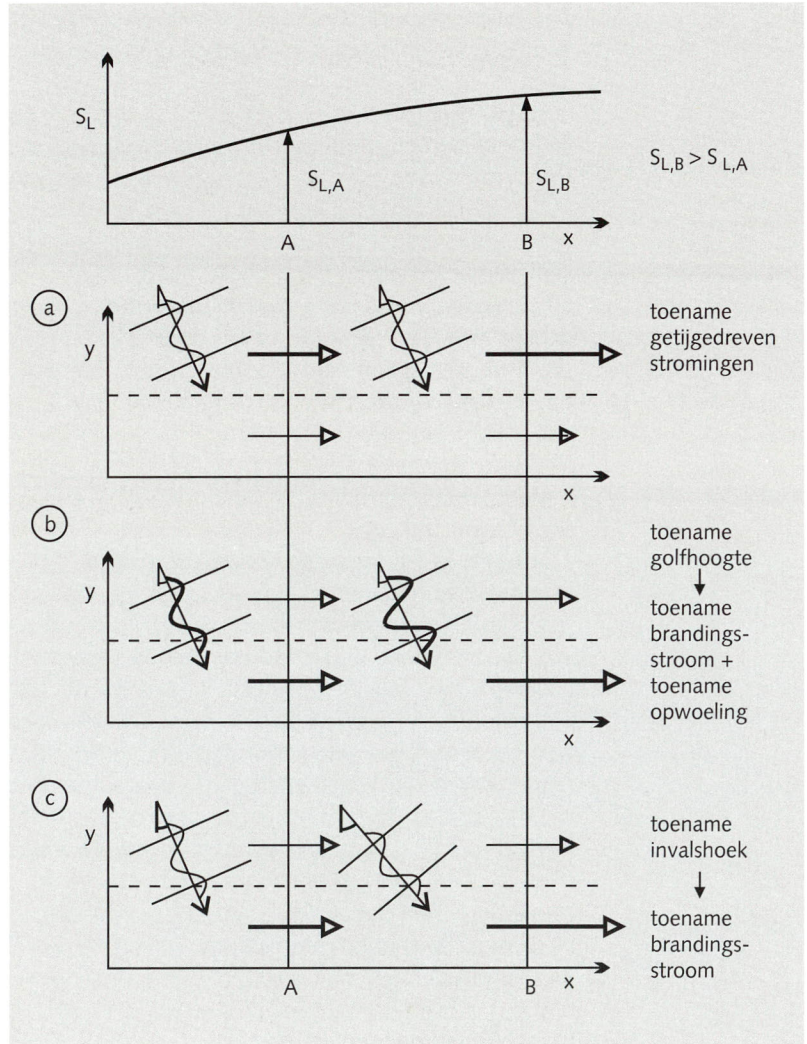


Fig. 3.24 Oorzaken van een positieve langtransportgradiënt.

- scheef invallende golven (zie par. 3.3.5);
- wind- en getijgedreven stromingen (zie par. 3.3.3 en 3.3.4).

De aanwezigheid van gradiënten in het langtransport is vaak de hoofdoorzaak van structurele kusterosie. Daarom zal in het vervolg van deze paragraaf verder worden ingegaan op dit onderwerp.

gradiënten in het langtransport

Gradiënten in het langtransport komen voornamelijk voor als gevolg van langsvariaties in de aanwezige stromingen. Daarnaast speelt ook de variatie in de opwoeling door golven een belangrijke rol.

In figuur 3.24 zijn de mogelijke oorzaken van een positieve gradiënt in het langtransport weergegeven (toenemend transport). Kort samengevat kunnen positieve gradiënten in het langtransport voorkomen als gevolg van:

- langs de kust geleidelijk sterker wordende wind- en getijgedreven stromingen (fig. 3.24-a);
- langs de kust geleidelijk toenemende golfhoogten;
Hierdoor neemt zowel de mate van opwoeling, als de sterkte van de golfgedreven stroming toe (fig. 3.24-b).
- hoekverdraaiingen van de kustlijn of van de hoek van golfval in langsrichting;
In beide gevallen verandert de hoek die de invallende golven met de kust maken. Indien deze hoek in grootte toeneemt, neemt ook de sterkte van de golfgedreven stroming toe (fig. 3.24-c).
- veranderingen in de eigenschappen van het bodemmateriaal (korrel-diameter, aanwezigheid van resistente lagen).

De aangegeven variaties komen ook in combinatie voor. Daarom is het in de praktijk dikwijls niet duidelijk welke variaties uiteindelijk tot een gradiënt in het langtransport hebben geleid. Vooral de ruimtelijke variaties in het golfklimaat en in de oriëntatie van de kustlijn kunnen grote effecten op het golfgedreven langtransport hebben.

3.4.4 Zandbalans

Met het opstellen van een zandbalans wordt de 'winst- en verliesrekening' van de hoeveelheid zand in een balansgebied opgemaakt. Hiertoe moet de horizontale begrenzing van het balansgebied worden vastgesteld (fig. 3.25).

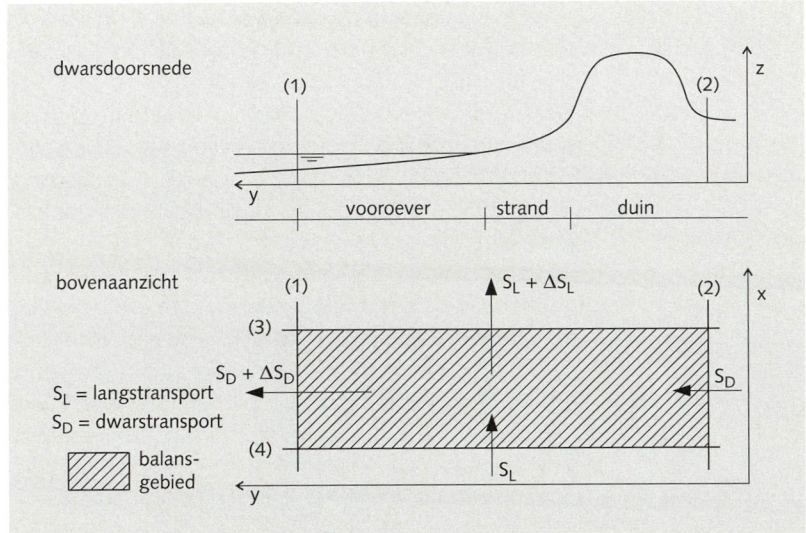


Fig. 3.25 Balansgebied.

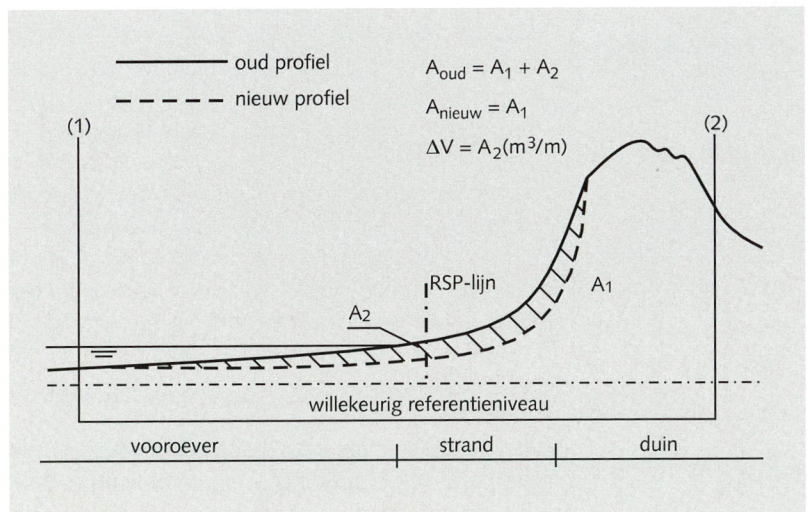


Fig. 3.26 Principe van een kubering.

Door het periodiek (bijvoorbeeld jaarlijks) opstellen van een zandbalans kan de verandering van de zandhoeveelheid in het balansgebied worden bepaald.

Het periodiek opstellen van een zandbalans dient doelen als:

- signalering van erosie of aanzanding;
- vaststelling van de mate van erosie of aanzanding;
- bepaling van trends, trendbreuken en patronen;
- extrapolatie van trends ten behoeve van voorspellingen;
- vergroting van het inzicht in het lokale kustgedrag;
- keuze, ontwerp en evaluatie van kustverdedigingsmaatregelen;
- toetsing en afregeling van rekenmodellen.

Het opstellen van een zandbalans gebeurt aan de hand van afzonderlijke kustprofielen (meetraaien). De zandhoeveelheid in het balansgebied wordt berekend door middel van sommatie van de hoeveelheden zand in de afzonderlijke raaien [Groenendijk (1995)].

*kuber*en

De gangbare methode om de zandhoeveelheid in een raai te bepalen is het zogenaamde kuber

Hierbij wordt de zandhoeveelheid (inhoud per meter) berekend ten opzichte van een (nader te bepalen) referentievlak (fig. 3.26). Het kuber

binnen de gekozen grenzen van een raai kan op twee manieren gebeuren:

- horizontaal;
- verticaal.

Bij horizontaal kuber

wordt de inhoud van een profiel berekend door de sommatie van de inhoud van afzonderlijke horizontale lagen. Bij verticaal kuber

gebeurt dit door de sommatie van de inhoud van afzonderlijke kolommen (fig. 3.27).

Horizontaal kuber

heeft als voordeel dat de inhoud per laag bekend is. Hierdoor is het bij vergelijking met opeenvolgende jaarkuber

ingen mogelijk om een eventuele kanteling van het profiel te detecteren. Tevens kan de ontwikkeling van bepaalde lagen (droge strand, natte strand of onderwateroever) in de tijd worden onderzocht.

Het is echter een nadeel dat het zwaartepunt van het volume zand in een laag ten opzichte van de RSP-lijn niet bekend is. Zo kan het zand direct aan het strand zitten, of verderop in bijvoorbeeld een bank. Tevens kan niet worden nagegaan of het zand zich in een laag verplaatst (fig. 3.28).

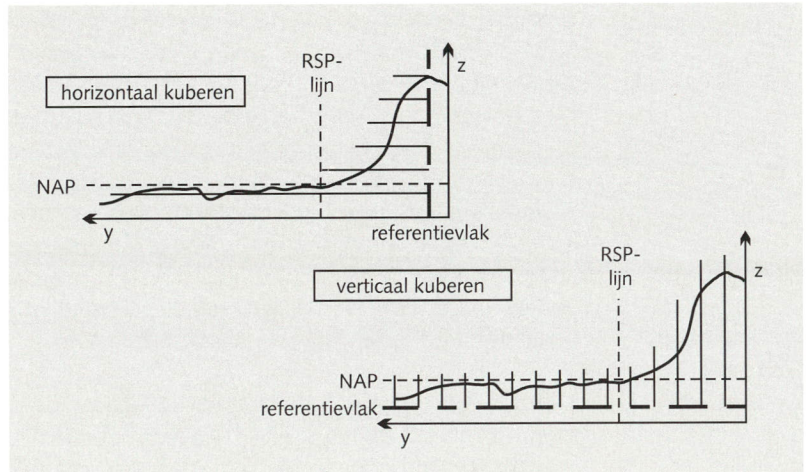


Fig. 3.27 Principe van horizontale en verticale kuberingen.

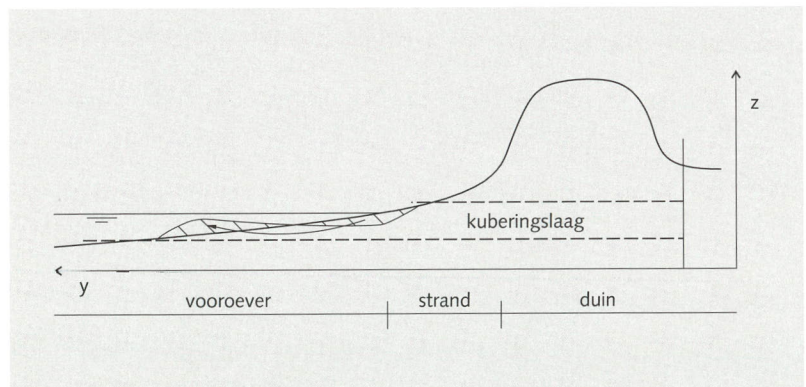


Fig. 3.28 Verplaatsen van zand binnen een horizontale laag worden bij het horizontaal kuberen niet opgemerkt.

Bij het verticaal kubereren spelen deze problemen niet. Er kan echter minder gemakkelijk inzicht worden verkregen in de ontwikkeling in de tijd van bepaalde lagen.

de grenzen van het balansgebied

Voor het opstellen van een zandbalans dient een balansgebied te worden vastgesteld. Naarmate de begrenzing van dit gebied ruimer wordt gekozen, neemt het 'onderscheidend' vermogen af. De verplaatsingen van het zand binnen de begrenzingen worden niet opgemerkt (fig. 3.29-a).

Ook in de langsrichting geldt dat het 'onderscheidend' vermogen nauw samenhangt met de keuze van de begrenzingen. Door middel van zandbalansen kan soms een goed inzicht worden verkregen in het verloop van het langstransport in een kustvak (fig. 3.29-b).

De keuze van de begrenzing in de dwarsrichting van een kustprofiel wordt in de praktijk enigszins beperkt door de lengte van de raaien waarover de jaarlijkse kustlodingen worden uitgevoerd (zie par. 3.5.6).

3.5 Kustmetingen

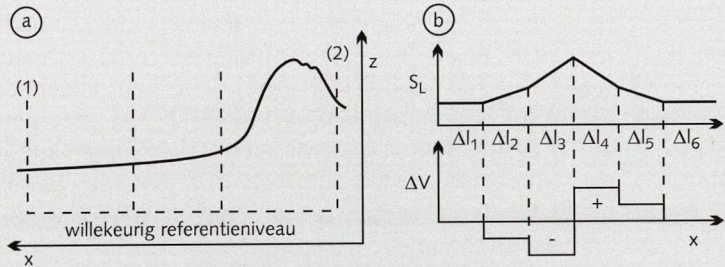
3.5.1 Algemeen

Voor een verantwoord beheer en beleid met betrekking tot de waterkeurende functie en andere functies van de zandige kust is kennis van het kustgedrag noodzakelijk. Om daar inzicht in te krijgen, worden langs de gehele Nederlandse kust metingen uitgevoerd. De metingen, die met name voor het kustbeheer van belang zijn, hebben betrekking op de volgende grootheden:

- waterstanden;
- wind;
- golven;
- stromingen;
- bodemligging;
- bodemsamenstelling.

De meting van waterstanden en de inwinning van wind- en golfgegevens vinden in principe continu plaats. De meting van bodemgegevens wordt periodiek uitgevoerd. De meetgegevens van stromingen worden veelal projectmatig ingewonnen.

Met behulp van het Multifunctioneel Presentatieprogramma (MFPS) kan



In de bovenstaande figuren zijn mogelijke begrenzingen voor een balansgebied weergegeven. Figuur a toont de grenzen in de richting dwars op een kustvak; figuur b in de langsricting van een kustvak.

In figuur a fungeren de verticale lijnen (1) en (2) als de begrenzingen in de dwarsrichting. Lijn (2) dient voldoende ver landwaarts te zijn gesitueerd. De verandering van de zandhoeveelheid tussen de lijnen (1) en (2) kan door de opstelling van een zandbalans worden nagegaan (kuberingen).

Op basis van de resultaten kan bijvoorbeeld worden geconcludeerd dat over de beschouwde periode een zandverlies uit het dwarsprofiel heeft plaatsgevonden. Het geconstateerde zandverlies is de som van een zeewaarts verlies (door verticaal (1)), een landwaarts verlies (door verticaal (2)) en een verlies in de langsricting naar naburige raaien.

Bij de bovenbeschreven toepassing van de opstelling van een zandbalans kan weliswaar het totale netto verlies worden vastgesteld, maar er wordt geen inzicht verkregen in de verdeling van het zandverlies over de dwarsrichting van het balansgebied. Indien de zandbalans in de dwarsrichting sluitend is, wordt bij een dergelijke toepassing geen inzicht verkregen in de herverdelingen die mogelijkwerwijze in de dwarsrichting van het balansgebied hebben plaatsgevonden. Afhankelijk van het beoogde doel kan daarom een nadere verfijning wenselijk zijn. Hiertoe kunnen tussen de lijnen (1) en (2) extra lijnen worden gekozen, waarmee de ontwikkelingen van de zandhoeveelheid van de afzonderlijke morfologische zones kunnen worden vastgesteld. Voor de locaties van deze lijnen kunnen de overgangen tussen de verschillende morfologische zones worden gekozen. De liggingen van de lijnen dienen wel gedurende een langere periode representatief te zijn voor de bedoelde overgangen. Wegens het dynamisch kustgedrag kan dat echter in de praktijk moeilijk uitvoerbaar zijn. Daarom kan er ook worden gewerkt met lijnen die op een vaste afstand van de RSP-lijn liggen.

In figuur b is een mogelijke verdeling van het langstransport in een kustvak weergegeven. De effecten van dwarstransporten zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. De verdeling van het langstransport is (op een constante waarde na) uit de resultaten van de opgestelde zandbalansen af te leiden. In de praktijk volgt de verandering van de zandhoeveelheid van het gehele balansgebied uit de zandbalansen in afzonderlijke raaien.

Fig. 3.29 De begrenzing van een balansgebied.

toegang worden verkregen tot een aantal meetbestanden. Hiervoor is een PC, een printer, een modem en een telefoonaansluiting nodig. Met behulp van de kustmetingen kan periodiek de waterstaatkundige toestand van de kust worden vastgesteld. Het gaat hierbij om de vaststelling van de ligging van de kustlijn, de beoordeling van de veiligheid van de kust en de onderhoudstoestand van kustverdedigingswerken (bijvoorbeeld strandhoofden). Naast de hydraulische gegevens dienen de vorm van de kustprofielen en de korrelkarakteristieken van het zand bekend te zijn.

Vergelijking van een serie metingen maakt een analyse van de ontwikkeling in de tijd (trend) mogelijk. Deze (veelal statistische) analyse wordt betrouwbaarder naarmate de meetreeksen langer zijn. De reeksen van zowel de direct gemeten grootheden, als de hieruit afgeleide grootheden (bijvoorbeeld de ligging van de kustlijn), kunnen worden geanalyseerd. Door deze analyse kunnen trendbreuken worden gesignaleerd, patronen in de ontwikkeling van de grootheden zichtbaar worden gemaakt, overschrijdingskansen van de gemeten grootheden worden bepaald en (eventueel) correlaties tussen verschillende grootheden worden berekend.

De analyse van de kustmetingen draagt bij aan een vergroting van het inzicht in het kustgedrag. De effecten van zowel natuurlijke processen, als de effecten van menselijke ingrepen op de veiligheid en de ontwikkeling van de kustlijn zijn hierdoor steeds beter te voorspellen. De keuze van maatregelen om de veiligheid te handhaven en kustachteruitgang tegen te gaan wordt met dit inzicht vergemakkelijkt. De werking van uitgevoerde maatregelen kan op basis van de analyse van kustmetingen worden geëvalueerd.

Er is een aantal rekenmodellen ontwikkeld waarmee wordt beoogd het kustgedrag te beschrijven. De analyse van de kustmetingen en het daaruit verkregen inzicht in het kustgedrag dragen bij aan de verfijning en de ijking van deze modellen (afregeling). De toename van de beschikbaarheid van meetgegevens draagt tevens bij aan de ontwikkeling van betere rekenmodellen.

In bijlage IV is een overzicht van een groot aantal golf-, stromings- en morfologische rekenmodellen opgenomen. Deze modellen worden daar tevens in het kort beschreven.

Voor een meer uitvoerige behandeling van kustmetingen wordt verwezen naar het rapport 'Monitoring kustgedrag' [RWS, TR15 (1989)].

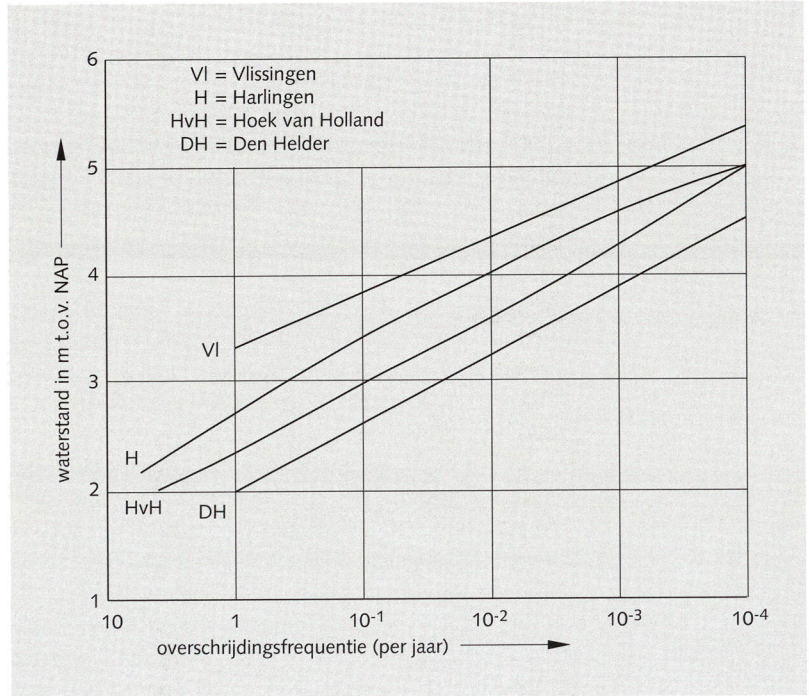


Fig. 3.30 Gemiddelde jaarlijkse overschrijdingsfrequenties van de waterstand op enkele locaties langs de Nederlandse kust.

3.5.2 Waterstanden

De meting van waterstanden dient bij het kustbeheer doelen als:

- opstelling van lijnen ter bepaling van de gemiddelde jaarlijkse overschrijdingsfrequenties van (extreme) waterstanden (fig. 3.30);
- beschikbaarheid van actuele waterstanden tijdens stormcondities (alarmeringspeil);
- bepaling van trends (zeespiegelstijging);
- getij-analyse en -voorspelling;
- afregelen van modellen;
- berekening van zandtransporten;
- bepaling van stroomsnelheden;
- uitvoering van werken;
- bediening van kunstwerken (stormvloedkeringen);
- het ontwerp van kustverdedigingsmaatregelen;
- referentie bij lodingen.

Voor de winning van waterstanden is thans een viertal meetnetten opgezet:

- Het Landelijk Waterstandsmmeetnet;
- Meetnet Noordzee;
- ZEGE (ZEeuwse GETijdewateren);
- Meetnet Groningen.

De metingen van Het Landelijk Waterstandsmmeetnet worden via het Monitoring Systeem Water (MSW) uitgevoerd (fig. 3.31). Het MSW is de technische infrastructuur bestaande uit een informatie-netwerk en een centrale verwerkingseenheid. Deze metingen voorzien voornamelijk in actuele informatie over de waterstanden.

Het Meetnet Noordzee levert actuele informatie over de waterstanden voor specifieke locaties (productieplatforms, scheepvaartgeulen).

Het ZEGE-meetnet is ontstaan uit het HISTOS-meetnet dat voorzag in actuele informatie over de waterstanden ten behoeve van de Oosterschelde-werken. Het meetnet voorziet thans, evenals het Meetnet Groningen, in de regionale informatie over de waterstanden.

De gegevens van de waterstanden werden tot en met 1985 gepubliceerd in de Jaarboeken der Waterhoogten. Daarna zijn de gegevens opgenomen in een databestand. Voorts worden Tienjarige Overzichten uitgebracht. In dit verband kan ook worden gewezen op de publikaties van getijtafels waarin de berekende waarden van het astronomisch getij zijn opgenomen. Deze hier genoemde uitgaven worden door Rijkswaterstaat gepubliceerd.

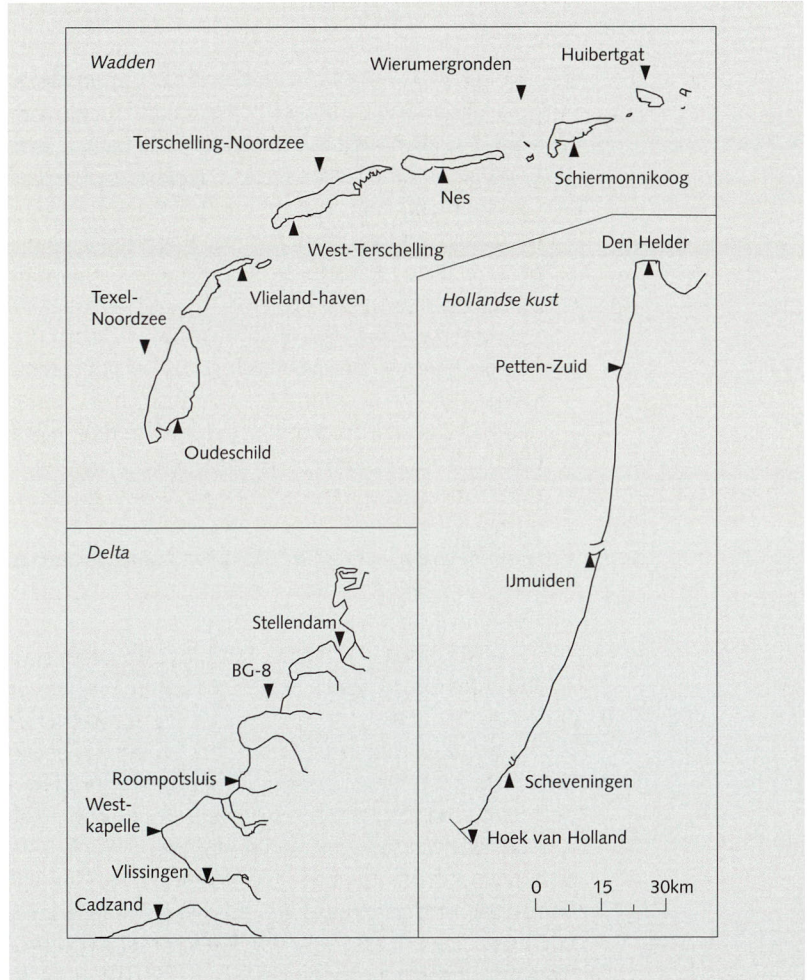


Fig. 3.31 Meetlocaties van het Landelijk Waterstandsmetnet langs de Noordzeekust en de Waddeneilanden [RWS, TR15 (1989)].

3.5.3 Wind

Ten aanzien van wind zijn de windrichting en de windsnelheid de belangrijkste parameters. De meting van windrichtingen en de windsnelheden dient doelen als:

- de bepaling van de kans dat wind uit een bepaalde windrichting waait (er zijn 16 richtingen gedefinieerd);
- het opstellen van lijnen ter bepaling van de overschrijdingskans van een zekere windsnelheid bij een gegeven windrichting (vaststelling van de correlatie van windrichting en windsnelheid);
- het vaststellen van stormfrequenties en stormduur;
- het vaststellen van de correlatie van stormduur en (maximale) waterstand;
- het vaststellen van de correlatie van windrichting en windsnelheid enerzijds en waterstand anderzijds;
- de bepaling van schommelingen, trends en trendbreuken met betrekking tot het windklimaat;
- onderhoudsmaatregelen (bevordering van aanstuiving, tegengaan van verstuiwing).

Aan boord van Nederlandse lichtschepen werden sinds 1910 meteorologische waarnemingen verricht, zoals metingen van windkrachten (windsnelheden) en windrichtingen. Sinds de tachtiger jaren zijn deze schepen vervangen door vaste meetstations. Tezamen vormen deze het vaste meetnet Noordzee. De gegevens worden, evenals overige parameters omtrent wind, ingewonnen en gepubliceerd door het KNMI (jaarboeken, golf- en windstatistieken).

Aan de hand van gegevens van de Nederlandse lichtschepen zijn het wind- en het golfklimaat langs de Nederlandse kust door Hoozemans (1989) nader geanalyseerd. Hiervoor kan ook worden verwezen naar Roskam (1988).

Voor Hoek van Holland is ten behoeve van de opstelling van de TAW-leidraad 'Rivierdijken II' [TAW (1989)] een studie verricht naar de samengestelde statistische verdelingen van windsnelheden en hoogwaterstanden per voorkomende windrichting.

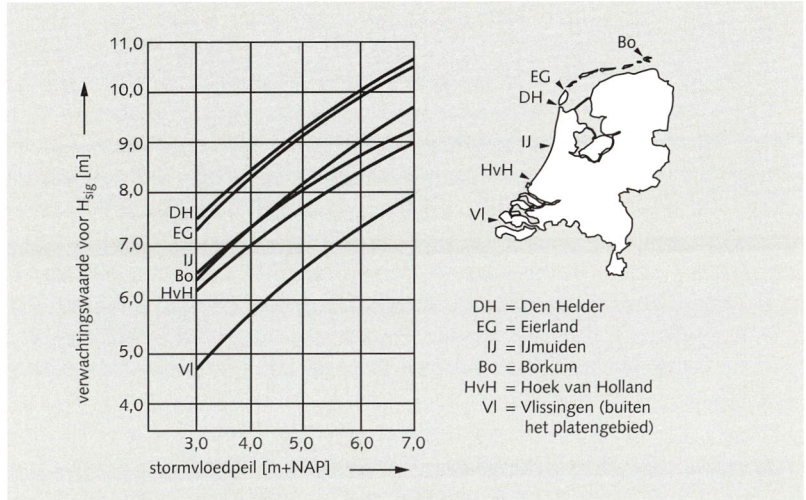


Fig. 3.32 Verwachtingswaarde van de significante golfhoogte als functie van het stormvloedpeil op enkele locaties langs de Noordzeekust [TAW, Leidraad 'Duinafslag' (184)].

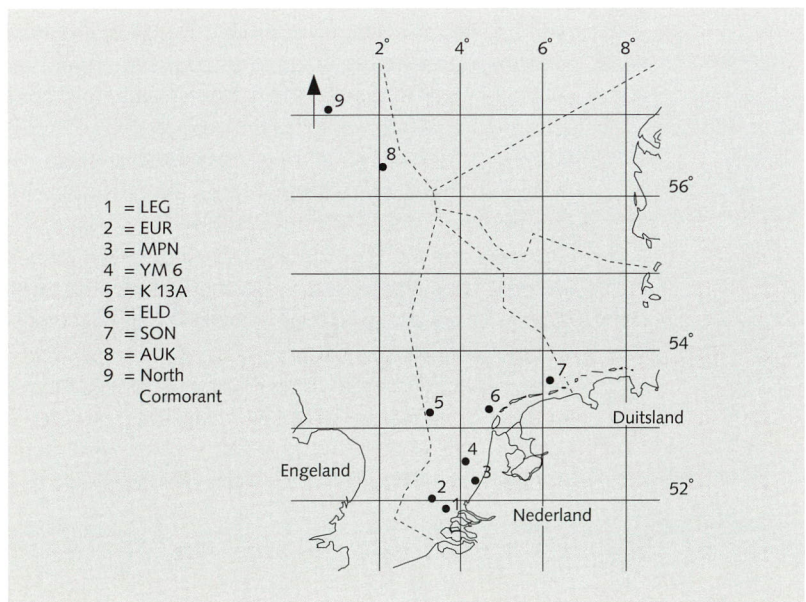


Fig. 3.33 Overzicht van meetlocaties [RWS, TR15 (1989)].

3.5.4 Golven

De inwinning van golfgegevens is van belang voor het kustbeheer in verband met:

- de bepaling van de kansdichtheidsfunctie van de golfhoogte als functie van de waterstand (indirecte relatie met windrichting en windsnelheid);
- de vaststelling van de verwachtingswaarden van de golfhoogte bij gegeven (extreme) waterstanden (correlatie van golfhoogte en waterstand); bepaling van extreme golfcondities (fig. 3.32) en het golfhoogteverloop tijdens een storm (Opmerking: fig. 3.32 dient aangepast te worden in verband met nieuwe randvoorwaarden [RWS (1994)]);
- de beschikbaarheid van actuele golfcondities;
- de berekening van zandtransporten;
- de afregeling van rekenmodellen;
- het ontwerp van kustverdedigingsmaatregelen;
- de signalering van veranderingen van het golfklimaat.

Het Monitoring Systeem Golven (MSG) is een geïntegreerd informatie-systeem voor de inwinning, bewerking en verwerking, opslag, presentatie en distributie van golfgegevens.

Het MSG omvat een 7-tal meetlocaties die langs de Nederlandse kust en verder op de Noordzee zijn gesitueerd (fig. 3.33): EUR (Europlat-form), YM6 (IJmuiden), ELD (Eierland), SON (Schiermonnikoog-Noord), en de platforms K13, AUK en North Cormorant. (In figuur 3.33 zijn ook de meetpunten MeetPunt Noordwijk (MPN) en LichtEiland Goeree (LEG) aangegeven. Zij behoren niet tot het MSG. Zolang er nog golfmetingen worden verricht, worden ze in het bestand opgenomen.) Ieder meetpunt van het MSG is uitgerust met een Wavec-boei, waarmee zowel verticale als horizontale bewegingen van het wateroppervlak kunnen worden gemeten.

Via het MSG worden gegevens over golven verkregen zoals die op dieper water worden waargenomen. De verandering die deze golven ondergaan bij de nadering van de kust (ondieper water), wordt berekend met behulp van numerieke rekenmodellen. De betrouwbaarheid van de modellen kan worden getoetst door verificatie van de berekeningen met behulp van metingen. De hiertoe benodigde gegevens worden

ontleend aan metingen die ten behoeve van het ontwerp van waterbouwkundige werken zijn uitgevoerd. Daarnaast worden specifiek voor dit doel ook metingen van een beperkte duur uitgevoerd.

3.5.5 Stromingen

Ten aanzien van stromingen zijn de snelheid en de richting van de stroming de belangrijkste parameters. De meting van stroomsnelheden en stroomrichtingen is in het kustbeheer van belang voor:

- berekening van zandtransporten;
- afregeling van rekenmodellen;
- ontwerp van kustverdedigingsmaatregelen.

De gegevens worden veelal ontleend aan stroommetingen die ten behoeve van de uitvoering van diverse werken en studies zijn uitgevoerd. Door Rijkswaterstaat worden numerieke rekenmodellen voor stroombeelden langs de Nederlandse kust onderhouden. Deze rekenmodellen zijn aan de hand van beschikbare stroommetingen gecalibreerd (zie bijlage IV voor een overzicht van rekenmodellen).

3.5.6 Bodemligging

De meting van de bodemligging dient doelen als:

- vaststelling van de topografie van de kustzone;
- vaststelling van de vorm van kustprofielen;
- opstelling van zandbalansen;
- berekening van zandtransporten;
- vaststelling van de ligging van de kustlijn (zie par. 3.6 en 6.3).

Sinds 1843 worden jaarlijks de posities van de GLW-lijn, de GHW-lijn en de positie van de duinvoet gemeten in raaien met een onderlinge afstand van 1000 m. De referentie voor deze metingen is de RSP-lijn. De gegevens zijn vastgelegd in strandboeken.

In sommige kustvakken worden al sinds eind vorige eeuw systematisch gehele dwarsprofielen opgemeten (onder andere Delfland en Walcheren). Het betreft zowel lodingen als metingen op het strand (peilregisters en strandmeetboeken).

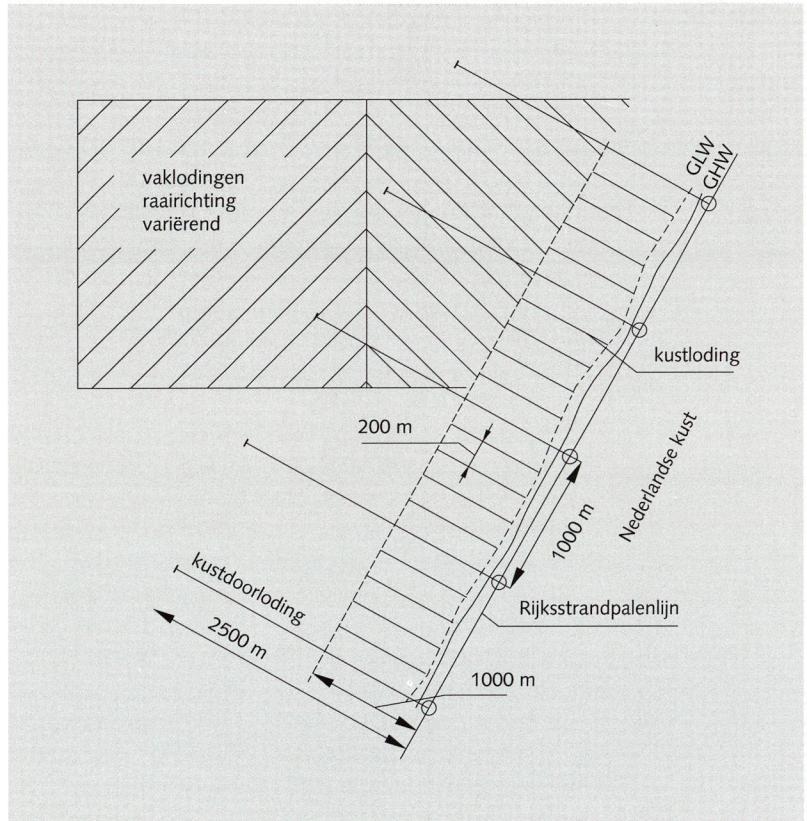


Fig. 3.34 Overzicht van lodingen [RWS, TR15 (1989)].

Sinds 1964 wordt voor de gehele kust de topografie gemeten in loodrecht op de kust gelegen raaien. Deze kustmetingen omvatten metingen van de kusthoogten en -diepten (lodingen) [Oosterwijk (1988)]. Hiervan worden de volgende metingen opgeslagen in het zogenaamde DONAR-bestand (JAaRlijkse KUSTmetingen) (fig. 3.34):

- jaarlijkse kustlodingen: dieptemetingen thans tot circa 1000 m zeewaarts van de RSP-lijn met een onderlinge raaiafstand van 200 à 250 m;
- jaarlijkse kusthoogtemetingen: hoogtemetingen van strand en duin tot circa 200 m landwaarts van de RSP-lijn, uitgevoerd in de raaien die ook bij de jaarlijkse kustlodingen worden gebruikt;
- driejaarlijkse kustdoorlodingen: dieptemetingen tot 2500 à 3000 m zeewaarts van de RSP-lijn met een onderlinge raaiafstand van circa 1000 m.

Het JARKUS-bestand is in 1994 ondergebracht in het DONAR systeem (Data Opslag NATte Rijkswaterstaat).

Naast de metingen uit het JARKUS-bestand worden de volgende metingen uitgevoerd:

- vaklodingen: dieptemetingen in het gebied zeewaarts van de jaarlijkse kustlodingen, reikend tot in de nabijheid van de NAP -20 m lijn. Dit gebied is ingedeeld in vakken met een variërende raairichting. De opnamefrequentie varieert en wordt afhankelijk gesteld van de beweeglijkheid van de bodem. De minimaal aangehouden frequentie bedraagt thans eenmaal per 5 jaar;
- overige lodingen die noodzakelijk zijn in verband met het onderhoud aan de (harde) beheersobjecten. De frequentie en de locatie van deze lodingen zijn sterk afhankelijk van de aard en de locatie van de objecten en van het lokale kustgedrag.

De verschillende typen lodingen worden uitgevoerd vanaf meetvletten; de hoogtemetingen vanuit een vliegtuig of via tachymetrie. De hoogte-informatie wordt op fotografische wijze verkregen, waardoor het totale duingebied in kaart kan worden gebracht. Voorheen werden het strand en de duinen apart op handmatige manier opgemeten. Deze aparte strand- en duinmetingen zijn opgenomen in het huidige JARKUS-bestand.

In de zeventiger jaren en het begin van de tachtiger jaren zijn meetcampagnes uitgevoerd die als doel hadden inzicht te verkrijgen in de nauwkeurigheid van lodingen [Glim & Visser (1981), Visser (1982)].

Plaats	km.raai1)	D50 [μm]
Schiermonnikoog	1.04	150 (-)
	3.02	169 (+)
	15.00	159
Ameland	4.01	187 (+)
	12.00	161 (-)
	24.00	170
Terschelling	1.00	210 (+)
	11.00	178 (-)
	29.00	192
Vlieland	40.00	199
	48.62	205 (+)
	54.00	194 (-)
Texel	9.60	203
	12.10	207 (+)
	15.86	186 (-)
Noord-Holland	30.41	193
	2.10	232
	16.47	277 (+)
Zuid-Holland	66.00	180 (-)
	70.00	214
	72.00	199
Maasvlakte	105.925	186 (-)
	116.10	255 (+)
	4.90	254 (-)
Voorne	7.00	302 (+)
	6.60	177
	8.00	161 (-)
Goeree	14.00	207 (+)
	3.00	176 (-)
	15.01	267 (+)
Schouwen	19.00	248
	0.84	205 (-)
	16.88	222 (+)
Walcheren	2.40	240 (-)
	12.45	322 (+)
	31.77	260
Zeeuwsch-Vlaanderen	0.518	218
	4.869	188 (-)
	14.67	258 (+)

1) De notatiewijze van de raaien wijkt iets af van de gebruikelijke.
 (-) laagste waarde.
 (+) hoogste waarde.

Fig. 3.35 Korrelgrootteverdeling van het duinzand in de buitenste duinregel langs de Nederlandse Noordzeekust. In de figuur zijn slechts de waarden van de eerste en laatste raai in elk vak aangegeven evenals de hoogste en laagste waarden. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar bijlage V.

3.5.7 Bodemsamenstelling

De inwinning van gegevens met betrekking tot de bodemsamenstelling is noodzakelijk om berekeningen te kunnen maken van zandtransporten en van de mate van duinafslag van afzonderlijke kustprofielen.

De benodigde gegevens worden verkregen door de uitvoering van bemonsteringen in het kustgebied. Deze bemonsteringen worden uitgevoerd door de Rijks Geologische Dienst (geologische kartering), Rijkswaterstaat of de waterkeringsbeheerder (bij werken aan de waterkering, zoals strandsuppleties en duinverzwaringen). Daarnaast worden gegevens ook projectmatig ingewonnen.

In vergelijking tot de overige kustmetingen hebben de bodembemonsteringen een relatief lage herhalingsfrequentie.

Het Rijksinstituut voor Kust en Zee van RWS beschikt over een overzicht van de in het verleden uitgevoerde bodembemonsteringen in het kustgebied.

In 1982 en 1983 is langs de Nederlandse kust onderzoek gedaan naar de korrelgrootteverdeling van het zand in de buitenste duinregels en het strand. In figuur 3.35 is hiervan een overzicht weergegeven. Voor nadere informatie wordt verwezen naar Kohsiek (1984).

3.6 De kustlijn

3.6.1 Algemeen

De kustlijn wordt vaak opgevat als de grens tussen het droge en het natte kustgedeelte. De verandering van de ligging van de kustlijn in de tijd wordt gebruikt als indicator voor de kustontwikkeling. Dat er gewerkt wordt met een kustlijn in plaats van het totale profiel, heeft te maken met het feit dat de kustlijn kan worden aangegeven op een (topografische) kaart. Bij een goede definitie van een kustlijn is het mogelijk om de kustontwikkeling aan de hand van de verplaatsingen van deze lijn te volgen en te analyseren. De RSP-lijn kan hierbij als referentie worden gehanteerd.

De ligging van de kustlijn kan slechts worden vastgesteld aan de hand van de liggingen in afzonderlijke kustprofielen (meettraaien). De kustlijn bestaat dus eigenlijk slechts in een horizontaal vlak. De ligging van de kustlijn wordt echter aan de hand van punten in afzonderlijke kustprofielen vastgesteld (of beter nog: samengesteld). In het navolgende zal echter steeds worden geschreven over de ligging van de kustlijn, ook wanneer het eigenlijk slechts een punt in een kustprofiel betreft. Er zijn verschillende lijnen denkbaar die (in meer of mindere mate) aan de bovenstaande omschrijving voldoen. Hierbij kan worden gedacht aan 'zichtbare' lijnen, zoals de duinvoetlijn, de GLW-lijn of de GHW-lijn. Daarnaast kan ook worden gedacht aan een 'denkbeeldige' lijn die volgt uit een berekening.

Op basis van een analyse van de ontwikkeling van de kustlijn kan, voor plaatsen met structurele erosie, worden besloten om maatregelen te nemen om kustachteruitgang tegen te gaan of op te heffen. Op basis van deze analyse wordt tevens het tijdstip bepaald waarop de beoogde maatregelen dienen te worden uitgevoerd.

Indien de ligging van de kustlijn sterk afhankelijk is van bijvoorbeeld seizoensinvloeden of van het effect van een incidentele stormvloed, kan de ligging op korte termijn grote fluctuaties vertonen. De analyse en de hierop gebaseerde voorspelling van de langjarige ontwikkeling van de kustlijn worden daardoor bemoeilijkt.

Als er grote fluctuaties op de korte termijn optreden, is ook het effect van een uitgevoerde maatregel pas na langere tijd aantoonbaar. Dat bemoeilijkt de evaluatie.

Omdat de kustlijn als indicator fungeert voor de ontwikkeling van het kustprofiel, dient er een verband te zijn tussen de grootte van de verplaatsing van de kustlijn en de verandering van de zandbalans in het kustprofiel. De definitie van de kustlijn moet daarom mede zijn gebaseerd op de totale zandinhoud van het kustprofiel.

De invloed van de korte termijn-fluctuaties op de berekening van de ligging van de kustlijn is afhankelijk van de begrenzingen waarbinnen de inhoud van het kustprofiel wordt beschouwd (zandbalans; zie par. 3.4.4). Naarmate deze begrenzing ruimer wordt gekozen, neemt de invloed van de korte termijn-fluctuaties af.

De kustlijn speelt een belangrijke rol in de Wet op de waterkering en in het kustbeleid. De voorspelling van de kustontwikkeling wordt gebaseerd op de analyse van de verplaatsingen van deze kustlijn. De mate van kustachteruitgang of kustvooruitgang wordt daarbij gelijk gesteld aan de mate van de verplaatsing van de kustlijn in de tijd.

De verplaatsingen van de kustlijn kunnen zich op verschillende tijd- en ruimteschalen manifesteren, en kunnen zowel natuurlijke als menselijke oorzaken hebben. De ontwikkeling van de kustlijn kan daarom een grillig beeld te zien geven. In paragraaf 3.6.3 komen de ontwikkeling van de kustlijn en de onderliggende oorzaken aan de orde.

Door de ontwikkeling van de kustlijn te analyseren, kan inzicht worden verkregen in de onderliggende oorzaken. Daarnaast wordt het mogelijk om de ontwikkeling van de kustlijn binnen zekere grenzen te voorspellen. De analyse van de ontwikkeling van de kustlijn wordt in paragraaf 3.6.4 behandeld. In paragraaf 3.6.5 wordt beknopt ingegaan op de voorspelling van de ligging van de kustlijn.

3.6.2 Berekeningswijze van de ligging van de kustlijn

De wijze waarop de kustlijn wordt vastgesteld, is uitvoerig behandeld in de kustnota en de nota 'De Basiskustlijn' [RWS (1991-a)].

In de kustnota wordt gebruik gemaakt van een volumetrische berekeningswijze van de ligging van de momentane kustlijn. Per profiel wordt een volume bepaald, dat wordt omgerekend naar een parameter met een lengtemaat. De berekening van de ligging van de kustlijn is gebaseerd op de (zand)inhoud van het kustprofiel rondom de GLW-lijn (zie par. 6.3.2).

basiskustlijn

Naast de ligging van de momentane kustlijn is er in de kustnota sprake van de basiskustlijn. Deze wordt gedefinieerd als de gemiddelde ligging van de kustlijn op 1 januari 1990. De basiskustlijn wordt gebruikt om aan te geven welke grens de gemiddelde ligging van de kustlijn niet mag overschrijden (zie par. 6.3.3).

3.6.3 Ontwikkeling van de kustlijn

De ligging van de kustlijn kan voor ieder kustprofiel voor ieder jaar worden berekend. Op deze wijze ontstaat voor ieder kustprofiel een tijdreeks van de ligging van de kustlijn. Deze reeks, de ontwikkeling van de kustlijn, kan een grillig karakter hebben. Dit komt doordat de zandtransportprocessen in het kustgebied aan veranderingen onderhevig zijn ten gevolge van veranderingen van de hydraulische omstandigheden of van de kustmorfologie. Er kunnen twee soorten oorzaken voor de veranderingen worden aangemerkt:

1. natuurlijke processen;
2. menselijke ingrepen.

ad 1. natuurlijke processen

Bij natuurlijke processen, die van invloed zijn op de ontwikkeling van de kustlijn, kan onderscheid worden gemaakt naar de tijd- en ruimteschaal waarin de natuurlijke processen optreden. In het algemeen kan worden gesteld dat natuurlijke processen die op een grote tijdschaal optreden, hun invloed op de ontwikkeling van de kustlijn op een grote ruimteschaal doen gelden en vice versa.

ad 2. menselijke ingrepen

De invloed van menselijke ingrepen op de ontwikkeling van de kustlijn hangt samen met de ruimteschaal van deze ingrepen. In het algemeen kan worden gesteld dat menselijke ingrepen die op een grote ruimteschaal plaatsvinden, ook de ontwikkeling van de kustlijn op een grote tijdschaal beïnvloeden. Zowel het (voortdurend) kustbeheer langs de Nederlandse kust als de Deltawerken kunnen bijvoorbeeld worden aangemerkt als menselijke ingrepen op een grote ruimteschaal.

Een eenmalige ingreep als de Deltawerken heeft gedurende een lange periode een grote invloed op de ontwikkeling van de kustlijn van de gehele Deltakust.

Het kustbeheer resulteert in maatregelen die de lokale ontwikkeling van

de kustlijn beïnvloeden. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen maatregelen die de lokale ontwikkeling van de kustlijn gedurende een lange periode beïnvloeden, zoals bijvoorbeeld strandhoofden en paalrijen, en maatregelen die dat gedurende een korte periode doen, zoals bijvoorbeeld zandsuppleties (zie par. 4.1).

Zowel de natuurlijke processen als de menselijke ingrepen hebben gevolgen voor de ontwikkeling van de kustlijn. Er kan daarbij onderscheid worden gemaakt naar verschillende tijdschalen. Daarom wordt in het navolgende een indeling naar tijd gehanteerd:

1. lange termijn (eeuwen);
2. middellange termijn (circa 10-100 jaar);
3. korte termijn (tot circa 10 jaar).

ad 1. lange termijn (eeuwen)

Voor de ontwikkeling van de kustlijn op de lange termijn zijn vooral van belang:

- veranderingen van het gemiddelde zeeniveau (zie par. 3.3.2);
- veranderingen in de getijamplituden;
- bodembewegingen;

Als gevolg van tectonische bewegingen daalt de bodem in het Noordzeegebied. Deze daling doet zich echter niet overal even sterk voor. Hierdoor kunnen er ruimtelijke verschillen in de verandering van de waterdiepte ontstaan. De bodembewegingen kunnen ook het gevolg zijn van menselijke ingrepen, zoals de winning van olie en gas.

- klimaatsveranderingen;
Klimaatsveranderingen (natuurlijke oorzaak of menselijke oorzaak: broeikaseffect) leiden tot veranderingen van het gemiddelde zeeniveau. Daarnaast spelen de veranderingen van het windklimaat een belangrijke rol. Veranderingen van de windrichting en windsnelheid leiden tot veranderingen van het golfklimaat (golfhoogte en golfrichting), stromingen, stuifprocessen, maar ook van de stormduur en van stormfrequenties.
- beschikbaarheid van sediment;
Variaties in de beschikbaarheid van sediment leiden tot variaties in de grootte van het zandtransport. Hierbij kan worden gedacht aan het voorkomen van resistente lagen of van sedimentbronnen (aanvoer door rivieren, aanvoer / afvoer van sediment vanuit / naar de getijdebekkens).

ad 2. middellange termijn (circa 10-100 jaar)

Voor de ontwikkeling van de kustlijn op de middellange termijn zijn van belang:

- kleine, soms tijdelijke klimaatsveranderingen;
Tijdelijke klimaatsveranderingen kunnen tot dezelfde soort veranderingen leiden als de klimaatsveranderingen die op een grote tijdschaal optreden; de effecten van deze veranderingen op de zandtransportprocessen zijn echter geringer en soms van tijdelijke aard.
- morfologische veranderingen van buitendelta's of van getijdebekkens;
De buitendelta's voor de zeegaten en zeearmen vertonen een dynamisch gedrag (zie par. 3.2.3). Zij vormen een morfologisch geheel met het getijdebekken. Bij morfologische veranderingen van buitendelta's kan worden gedacht aan:
 - de migratie van getijgeulen, banken en platen;
 - de vorming of afbraak van banken en platen;
 - de verdieping of aanzanding van getijgeulen;
 - de (soms cyclische) verheling van banken en platen met de kust.
 De bovengenoemde morfologische veranderingen leiden tot veranderingen van de lokale hydraulische omstandigheden. Daarnaast wordt de beschikbaarheid van sediment (dat eventueel aan de kust ten goede komt) door de aanwezigheid van banken en platen bevorderd.
- zandgolven;
Dit zijn erosie- of sedimentatiezones die zich langs de kust voortplanten (zie par. 3.6.4).
- inpolderingen, verloren gegane polders;
De aanwezigheid van inpolderingen of van verloren gegane polders heeft invloed op de ontwikkeling van de kustlijn van de aangrenzende kustvakken (verandering van de hydraulische omstandigheden). Inpolderingen in een getijdebekken kunnen leiden tot morfologische veranderingen van de buitendelta's en daardoor tot een beïnvloeding van de ontwikkeling van de kustlijn rondom de zeegaten en zeearmen (zie par. 3.2.3).
- gehele of gedeeltelijke afsluiting van getijdebekkens;
- aanleg van havendammen;
De getijgedreven stroming wordt door de havendammen van de kust weggehouden. Hierdoor treedt nabij de kop van de dammen stroomcontractie op. De stroomsnelheden kunnen daarbij hoog oplopen. Aan weerszijden van de dammen ontstaan vaak neren. De aanleg van havendammen beïnvloedt het refractie- en diffractiepatroon van de invallende golven.

De havendammen vormen bovendien een obstakel voor de golfgedreven langsstroming, waardoor het golfgedreven langstransport wordt onderbroken. Of deze onderbreking resulteert in aanzanding aan de loefzijde en erosie aan de lijzijde van de dammen, is onder meer afhankelijk van de (gemiddelde) golfrichting en -hoogte van de invallende golven. Soms ontstaan er muistromen door de aanleg van havendammen.

- kustbeheer en -onderhoud (harde maatregelen; zie par. 4.4).

ad 3. korte termijn (tot circa 10 jaar)

Veranderingen op korte termijn treden vooral op aan het strand en de zeereep en dan voornamelijk in de brandingszone. Voor de ontwikkeling van de kustlijn op de korte termijn zijn van belang:

- kleine veranderingen in hydraulische en meteorologische omstandigheden;

Deze kunnen de ontwikkeling van de kustlijn lokaal beïnvloeden. Zo kunnen zeer zware stormen de lokale ontwikkeling van de kustlijn gedurende enkele jaren beïnvloeden.

- verplaatsing van brandingsruggen en muiën;

Brandingsruggen (voor de Hollandse kust en de centrale delen van de Waddeneilanden) kunnen zich verplaatsen. Hierbij treden er dus morfologische veranderingen op. Deze verplaatsingen hebben ook effect op het gedrag van golven.

Op locaties waar muistromen voorkomen, is een duidelijk zeewaarts gericht zandtransport waarneembaar. Deze locaties kunnen zich in de loop van de tijd verplaatsen (zie par. 3.3.5).

- dynamische evenwichten;

De constante aanpassingen van het profiel aan de heersende hydraulische omstandigheden veroorzaken fluctuaties van de ligging van de kust in een gebied rond de waterlijn.

- zandsuppletie;

Door de zandhoeveelheid in een kustvak op kunstmatige wijze aan te vullen, wordt de ligging van de kustlijn beïnvloed. Voor een uitvoerige behandeling van zandsuppleties wordt verwezen naar paragraaf 4.3.

3.6.4 Analyse van de ontwikkeling van de kustlijn

Een analyse van de ontwikkeling van de kustlijn kan inzicht geven in de effecten van natuurlijke processen en menselijke ingrepen. Om dat inzicht

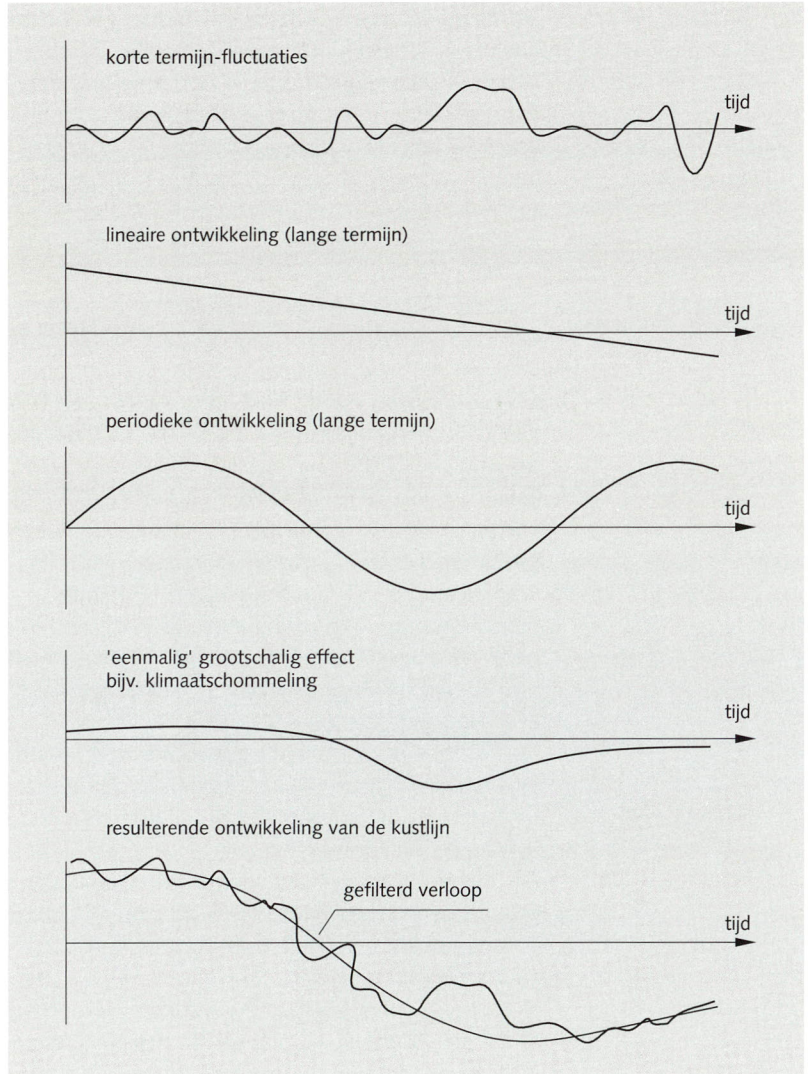


Fig. 3.36 Ontwikkeling van de kustlijn als superpositie van verschillende, onafhankelijke ontwikkelingen.

te verkrijgen dient het effect van ieder proces en iedere ingreep op de ontwikkeling van de kustlijn, min of meer afzonderlijk te worden onderscheiden. Gezien de vele processen en ingrepen en het gelijktijdig optreden hiervan, is het vaak niet eenvoudig om dit onderscheid uit de beschikbare gegevens af te leiden.

De ligging van de kustlijn kan voor iedere meetraai van een kustvak periodiek (bijvoorbeeld jaarlijks) worden vastgesteld. Een analyse van de ontwikkeling van de kustlijn kan pas zinvol worden uitgevoerd indien het verloop van de ligging van de kustlijn over een relatief lange periode bekend is; hoe langer de periode, hoe betrouwbaarder de resultaten.

De ontwikkeling van de kustlijn over een zekere periode kan worden gezien als de superpositie van de gevolgen van (onafhankelijke) ontwikkelingen (fig. 3.36). Deze ontwikkelingen kunnen een natuurlijke oorzaak hebben of het gevolg zijn van menselijke ingrepen in het kustgebied. Omdat meestal niet kan worden volstaan met een analyse van ontwikkelingen van de kustlijn in afzonderlijke raaien, is het noodzakelijk om ook de ontwikkelingen in naburige raaien bij de analyse te betrekken.

Door middel van de volgende analysetechnieken zijn enkele van de bovenbeschreven ontwikkelingen van elkaar te onderscheiden:

1. filteren;
2. lineaire regressie-analyse;
3. analyse van min of meer periodieke ontwikkelingen.

ad 1. filteren

De korte termijn-fluctuaties kunnen door de toepassing van een filter-procedure uit de opgestelde grafiek worden verwijderd; er wordt als het ware een vloeiende lijn door de grafiek getrokken. Deze procedure kan voor iedere raai worden uitgevoerd mits de meetreeks lang genoeg is.

Indien er duidelijke uitschieters in de meetreeks voorkomen, verdient het aanbeveling om deze eerst te analyseren voordat overgegaan wordt tot het filteren. Wellicht heeft er rondom het tijdstip waarop een uitschieter optreedt een grote ingreep in het kustgedrag plaatsgevonden. Dergelijke uitschieters zijn dan ook in naburige raaien aantoonbaar.

Er bestaan verschillende filterprocedures. Enkele gebruikelijke zijn:

- lopend gemiddelde;

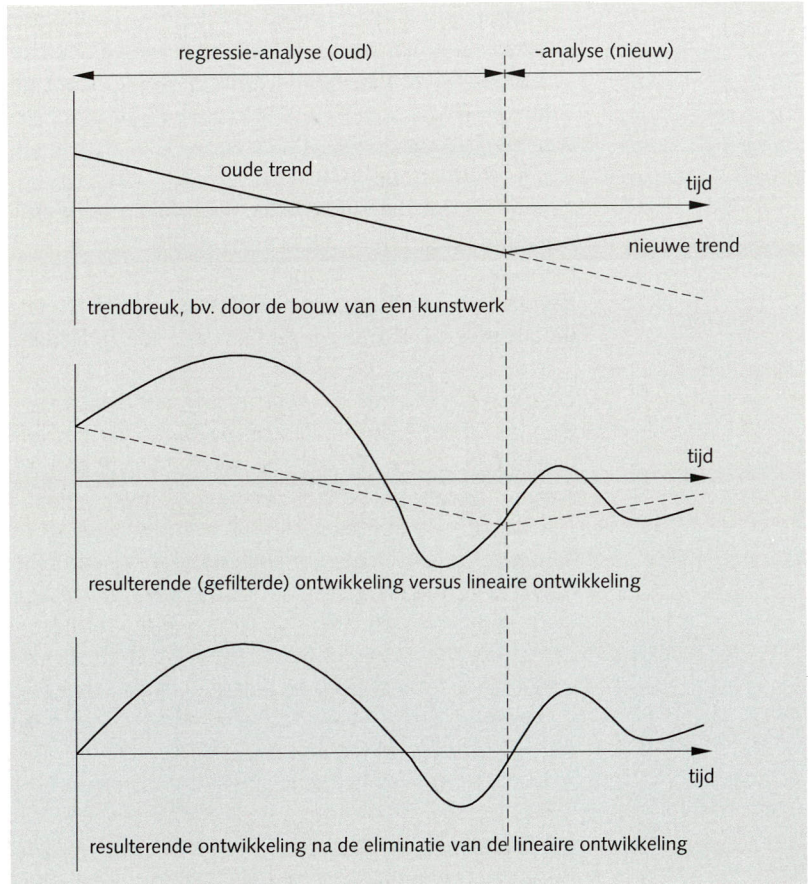


Fig. 3.37 Bepaling van de trend of trendbreuk door middel van een lineaire regressie-analyse.

Hierbij wordt voor elk jaar de gemiddelde ligging van de kustlijn bepaald door verschillende jaren voor en na het bewuste jaar mee te nemen. Bijvoorbeeld de ligging in 1970 is het gemiddelde van de jaren 1968 t/m 1972, de ligging in 1971 is het gemiddelde van de jaren 1969 t/m 1973, etcetera.

- tien-jaarlijks gemiddelde;
Hierbij wordt per decade een gemiddelde ligging bepaald.

Het filteren is alleen toepasbaar op lange meetreeksen. Het JARKUS-bestand (ongeveer 30 jaar gegevens) is nog te klein om met lange mid-delingsprocedures te worden bewerkt (zie par. 3.5.6).

ad 2. lineaire regressie-analyse

De eventuele lineaire kustontwikkeling kan met behulp van een lineaire regressie-analyse worden geanalyseerd. Hierbij kunnen de volgende kanttekeningen worden gemaakt:

- Voor een betrouwbare regressie-analyse dient een lange meetreeks beschikbaar te zijn, waarmee de ligging van de kustlijn op eenduidige wijze is vast te stellen. Aangezien het JARKUS-bestand slechts over enkele decennia gegevens bevat, verdient het aanbeveling bij de uitvoering van een regressie-analyse zo mogelijk ook kustmetingen te betrekken die verder in de tijd teruggaan.
- Bij de uitvoering van een lineaire regressie-analyse moet er rekening mee worden gehouden dat mogelijk in het verleden discontinuïteiten in de lineaire ontwikkeling hebben plaatsgevonden. Deze discontinuïteiten kunnen het gevolg zijn van trendbreuken in de grootschalige natuurlijke processen, maar kunnen eveneens het gevolg zijn van menselijke ingrepen (bijvoorbeeld als gevolg van de toepassing van harde kustverdedigingsmaatregelen). In het eerste geval zal een trendbreuk met een grote ruimteschaal optreden en vrijwel langs de gehele Nederlandse kust aantoonbaar zijn. In het tweede geval kan de trendbreuk lokaal optreden en, in sommige gevallen, van tijdelijke aard zijn (bijvoorbeeld bij de toepassing van een zandsuppletie).

Gelet op het bovenstaande is het niet aan te bevelen om één enkele lineaire regressie-analyse over de totaal gemeten tijdsduur toe te passen. Voor betrouwbare regressielijnen moet (in ieder geval) rekening worden gehouden met de tijdstippen waarop er sprake is geweest van menselijke ingrepen in het desbetreffende kustgebied (fig. 3.37).

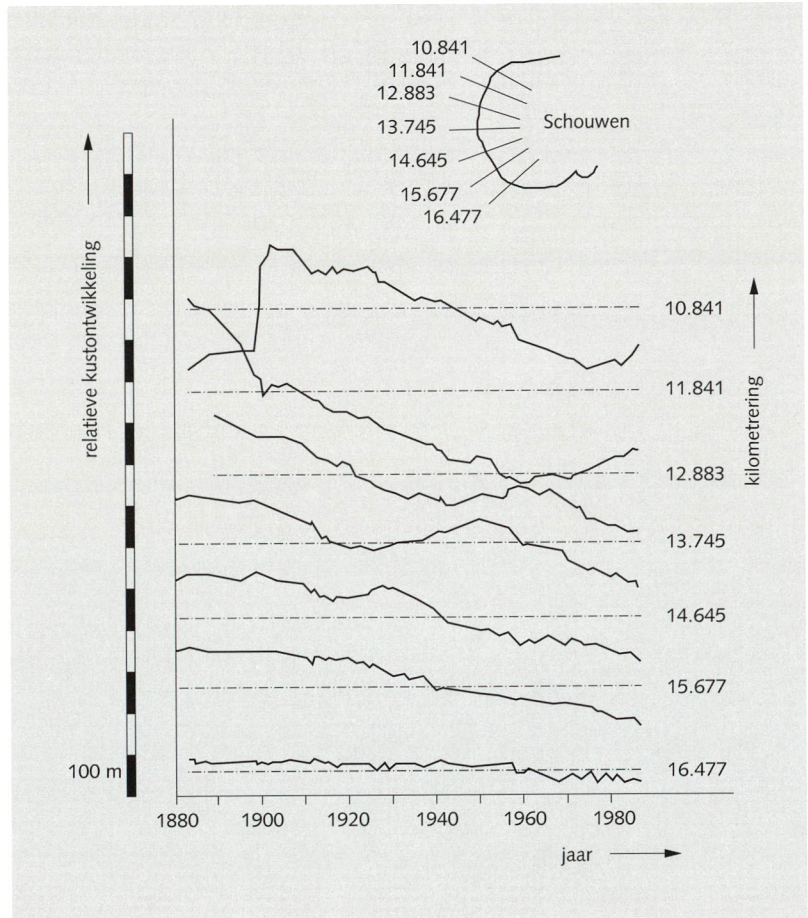


Fig. 3.38 Vergelijking van de ontwikkeling van de kustlijn in naburige raaien [RWS, 'Handboek zandsuppleties' (1988)].

Indien de gevonden regressielijnen voldoende betrouwbaar zijn, kan de lineaire ontwikkeling voor iedere raai worden geëlimineerd door voor ieder jaar de ligging volgens de regressielijn op de gevonden (gefilterde) ontwikkeling van de kustlijn in mindering te brengen (fig. 3.37). Deze stap resulteert in een grafiek waarin de min of meer periodieke ontwikkelingen zijn overgebleven.

ad 3. analyse van min of meer periodieke ontwikkelingen

Bij de analyse van periodieke ontwikkelingen kan er allereerst een onderscheid worden gemaakt naar de tijd- en ruimteschaal. Hierbij kan ervan worden uitgegaan dat een periodieke ontwikkeling met een grote tijdschaal in verscheidene naburige raaien aantoonbaar zal zijn.

Een grootschalige, periodieke ontwikkeling is soms het gevolg van klimatologische veranderingen met een periodiek karakter of van een enkele schommeling in het klimaat. Dergelijke oorzaken kunnen worden geverifieerd aan de hand van klimatologische en meteorologische gegevens (bijvoorbeeld de ontwikkeling van de windrichtingen en de windsnelheden langs de Nederlandse kust).

Naast de grootschalige, periodieke ontwikkelingen zijn er min of meer (quasi) periodieke ontwikkelingen te onderscheiden die op een relatief kleine tijd- en ruimteschaal plaatsvinden.

Voor het onderzoek van de min of meer periodieke ontwikkelingen is het noodzakelijk dat gehele kustsecties worden geanalyseerd. Ook nu geldt dat de betrouwbaarheid sterk afhankelijk is van de geanalyseerde tijdsduur.

Het complexe kustgedrag van de Delta- en de Waddenkust leidt ertoe dat de te onderzoeken kustsecties in deze kustgebieden niet al te groot kunnen zijn; de ontwikkelingen zijn sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden. Relatief korte kustsecties bemoeilijken echter de detectie van eventuele grootschalige, periodieke ontwikkelingen.

Voor de Hollandse kust kunnen daarentegen wel grote kustsecties worden onderzocht. Hierdoor kunnen eventuele grootschalige, periodieke ontwikkelingen langs de Hollandse kust gemakkelijker worden onderscheiden [Verhagen (1988-b)].

De ontwikkeling van de kustlijn kan sterk worden beïnvloed door zich in langs-richting verplaatsende sedimentatie- en erosiezones. Langs de kust komen deze zones naar voren als lopende golven welke in de regel zandgolven worden genoemd. Zandgolven kunnen worden gekarakteriseerd door een amplitude, een voortplantingssnelheid en een periode. In de onderstaande tabel is een overzicht opgenomen van de waarden voor de amplitude, de periode en de voortplantingssnelheid van zandgolven langs de Nederlandse kust [Verhagen (1988-b)].

Met betrekking tot de mogelijke oorzaken van het ontstaan van zandgolven, heerst echter nog een grote onbekendheid. Als mogelijke oorzaken worden aangevoerd:

- cyclische verhelingen van zandbanken of platen met de kust;
- verplaatsingen van banken, platen en getijgeulen;
- ingrijpende veranderingen van de buitendelta's;
- meanderen van kortsluitgeulen.

locatie	amplitude [m]	voortplantings- snelheid [m/j]	periode [j]
Schiermonnikoog	50 - 850	240 - 340	50 - 100
Ameland	25 - 2500	310 - 450	40 - 90
Terschelling	25 - 1900	240 - 400	40 - 90
Vlieland	25 - 600	220 - 270	60 - 80
Texel	50 - 2500	200	125 - 175
Hollandse kust	40 - 60	65	75 - 100
Voorne	50 - 150	130 - 160	50 - 70
Goeree	50 - 350	220 - 300	100
Schouwen	50 - 450	90	40 - 60
Walcheren	80 - 400	45	120 - 150
Zeeuwsch-Vlaanderen	50 - 200	100	60

Fig. 3.39 Het verschijnsel zandgolven.

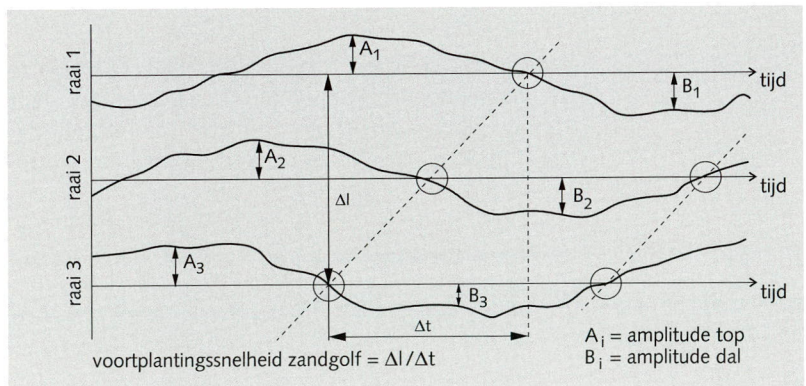


Fig. 3.40 Bepaling van de karakteristieken van een zandgolf.

Voor iedere onderzochte kustsectie kunnen de ontwikkelingen in verschillende raaien onder elkaar worden uitgezet (fig. 3.38). Vaak zijn in dergelijke grafieken golven te herkennen die langs de kust verplaatsen (zandgolven; fig. 3.39). Het verdient aanbeveling om bij de analyse van de ontwikkeling van de kustlijn speciale aandacht aan dergelijke zandgolven te besteden.

De grootte van de amplitude en de grootte van de voortplantingssnelheid van een zandgolf zijn direct uit de grafiek af te leiden (fig. 3.40). De lengte van een zandgolf is uit de voortplantingssnelheid en de periode af te leiden.

Tijdens de verplaatsing van de zandgolf langs de kust kunnen de grootte van de amplitude, de voortplantingssnelheid en de golflengte veranderen.

Langs de Deltakust zijn zandgolven met name waargenomen op Walcheren en Schouwen [Maranus (1986) en Maranus & Verhagen (1987)]. Door Verhagen (1988-b) is een nadere studie naar het gedrag van zandgolven langs de Hollandse kust uitgevoerd. Ook naar het gedrag van zandgolven langs de Waddenkust zijn in het verleden studies verricht [Bakker (1968), Kohsiek (1988) en WL (1991-b)]. Soms blijken er enkele zandgolven door elkaar te lopen.

3.6.5 Voorspelling van de ligging van de kustlijn

De toekomstige ligging van de kustlijn kan worden voorspeld op basis van de analyse van de ontwikkeling van de kustlijn of door de toepassing van speciaal hiervoor ontwikkelde modellen.

Bij de analyse van de ontwikkeling van de kustlijn, kan een eerste voorspelling van de ligging in afzonderlijke raaien worden gemaakt door de extrapolatie van de verkregen regressielijn van de lineaire ontwikkeling. Hierbij dient rekening te worden gehouden met de in paragraaf 3.6.4 behandelde aspecten met betrekking tot de betrouwbaarheid van de verkregen regressielijnen.

Vervolgens kunnen de effecten van periodieke ontwikkelingen worden beschouwd. Hierin spelen vooral de effecten die samenhangen met de verplaatsingen van zandgolven een belangrijke rol.

In het rapport 'Kustvoorspelling' [RWS, TR5 (1989)] worden enkele studies beschreven die op basis van modelleringen een voorspelling geven van de ligging van de kustlijn in toekomstige jaren (langere termijn).

Naast een beschrijving van de uitgevoerde studies worden in datzelfde rapport ook de voornaamste resultaten van deze studies beknopt weergegeven. Groenendijk (1995) heeft op basis van de zandvolumina die in de verschillende jaren in diverse kustvakken aanwezig waren een voorspelling voor het zandvolume in 2010 gemaakt.

Afsluitend wordt opgemerkt dat de vereiste nauwkeurigheid en voorspellingstermijn sterk afhankelijk zijn van het beoogde doel van een dergelijke voorspelling.

4 KUSTVERDEDIGINGSMAATREGELEN

4.1 Inleiding

Kustverdedigingsmaatregelen zijn in het algemeen nodig in kustvakken waar de zandhuishouding niet voldoet. Deze zandhuishouding kan op drie manieren niet voldoen:

1. Het zand in het kustvak ligt (tijdelijk) niet op de gewenste plaats (herverdelingsprocessen spelen daarbij een rol).
2. Het volume zand in de duinen is te gering om de veiligheid van het achterland te waarborgen.
3. Het volume zand in het kustvak wordt geleidelijk aan minder (processen die tot netto zandverliezen leiden, spelen daarbij een rol). Dit kan negatieve gevolgen hebben voor andere functies (bijvoorbeeld recreatie).

ad 1. zand ligt niet op de gewenste plaats

Het duinafslagproces tijdens een zware stormvloed is een goed voorbeeld van een herverdelingsproces, waardoor het zand niet meer op de gewenste plaats ligt (zie par. 3.4.2).

ad 2. duinvolume te gering

Voor het waarborgen van de veiligheid van het achterland dient in elk dwarsprofiel van een kustvak, uitgaande van een gegeven profiel zee-waarts van de duinvoet, op elk tijdstip een bepaald duinvolume aanwezig te zijn om doorbraak tijdens een ontwerpstormvloed te voorkomen. Het dwarsprofiel voldoet dan aan de veiligheidsnorm.

Komen er binnen een kustvak nog onveilige dwarsprofielen voor, dan moeten er maatregelen worden getroffen om deze dwarsprofielen aan de veiligheidsnorm te laten voldoen. De te nemen maatregelen zullen voornamelijk zijn gericht op een vergroting van het duinvolume (eventueel in combinatie met een vergroting van de zandhoeveelheid direct zeewaarts van de duinvoet) of op het geheel dan wel gedeeltelijk tegengaan van duinafslag.

ad 3. volume zand wordt geleidelijk aan minder

Op langere termijn kan de zandhoeveelheid in een kustvak toenemen (aanzandend kustvak), gelijk blijven (stabiel kustvak) of afnemen (eroderend kustvak). Dit kan door het (periodiek) opstellen van een zandbalans worden nagegaan (zie par. 3.4.4).

Structurele kusterosie betekent een geleidelijke, doorgaande afname

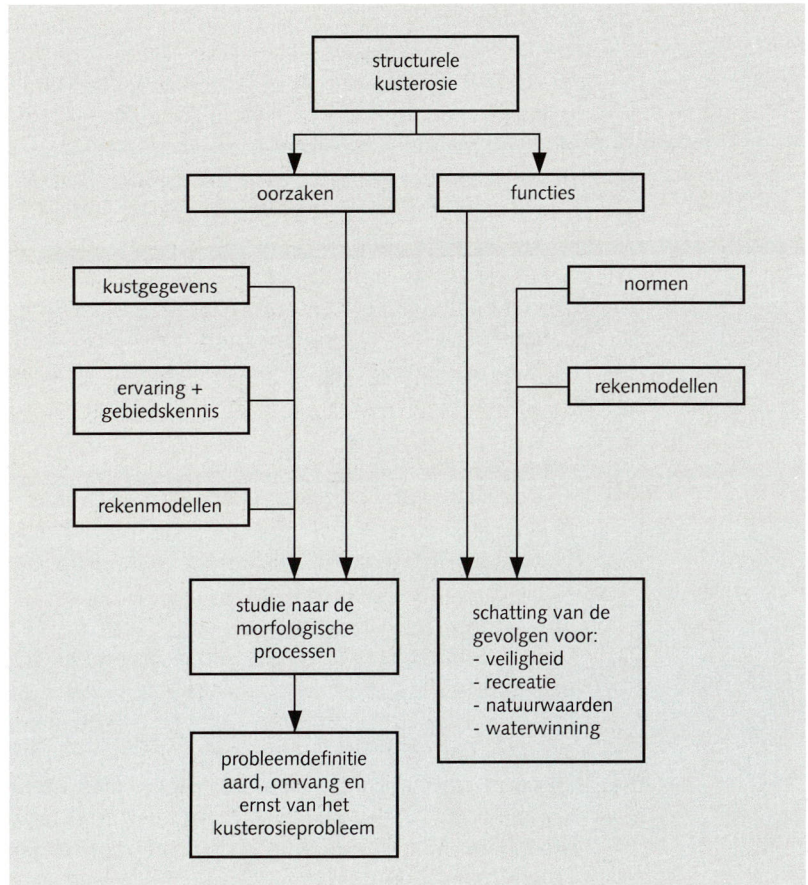


Fig. 4.1 Schematische weergave van de te volgen probleemanalyse bij structurele kusterosie [RWS, 'Handboek zandsuppleties' (1988)].

van de zandhoeveelheid in een kustvak. De afname van de zandhoeveelheid leidt ertoe dat er kustachteruitgang plaatsvindt en de kustlijn zich landwaarts verplaatst. Als gevolg hiervan wordt het strand smaller en verplaatst het duinfront zich in landwaartse richting.

maatregelen

Zowel de gevolgen van een zware stormvloed (vaak een slechts tijdelijk verlies aan duinareaal) als de gevolgen van structurele kusterosie (doorgaande kustachteruitgang) kunnen er dus toe leiden dat de toepassing van kustverdedigingsmaatregelen dient te worden overwogen.

Aan de daadwerkelijke uitvoering van een kustverdedigingsproject dient een gedegen probleemanalyse vooraf te gaan. Hierbij moet het gehele kustvak en de directe omgeving ervan worden beschouwd (fig. 4.1).

Met behulp van een dergelijke probleemanalyse worden de aard en omvang van het erosieprobleem en de nadelige effecten hiervan op verschillende kustfuncties in beeld gebracht.

De analyse van het erosieprobleem is veelal mogelijk met behulp van de gegevens die door middel van periodieke kustmetingen zijn verkregen. Aan de hand van de analyse van deze kustmetingen kunnen erosiepatronen worden gesignaleerd (zie par. 3.5.6 en 3.6.4).

Vervolgens is een nadere studie naar de mogelijke oorzaken van het erosieprobleem gewenst.

Nadat de probleemanalyse is afgerond, wordt in kaart gebracht hoe het erosieprobleem met behulp van kustverdedigingsmaatregelen kan worden opgelost (zie par. 4.2).

Kustverdedigingsmaatregelen kunnen worden onderscheiden in zachte maatregelen (zandsuppleties; zie par. 4.3) en harde maatregelen (strandhoofden, paalrijen, vooroeververdedigingen, duinvoetverdedigingen en strandmuren; zie par. 4.4) (fig. 4.2). In bijlage VI is een voorbeeld uitgewerkt van een keuzeprobleem tussen verschillende methoden van kustverdediging.

De kenmerkende verschillen tussen beide methoden zijn:

- Met de toepassing van harde maatregelen wordt veelal beoogd om in de kustprocessen zelf te interveniëren, terwijl met de toepassing van zachte maatregelen veelal wordt beoogd om de gevolgen van deze processen te bestrijden.
- Harde maatregelen zijn star van aard hetgeen, gezien het dynamisch kustgedrag, een nadeel kan zijn. Met zachte maatregelen is het in

		duin	strand	vooroever
zacht	flexibel	suppletie	suppletie	suppletie
	fixatie dwarsprofiel	duinvoet- verdediging	strandmuur	bestorting
hard	beïnvloeding golven/stromingen		strandhoofden paalrijen	dammen

Fig. 4.2 Mogelijke kustverdedigingsmaatregelen.

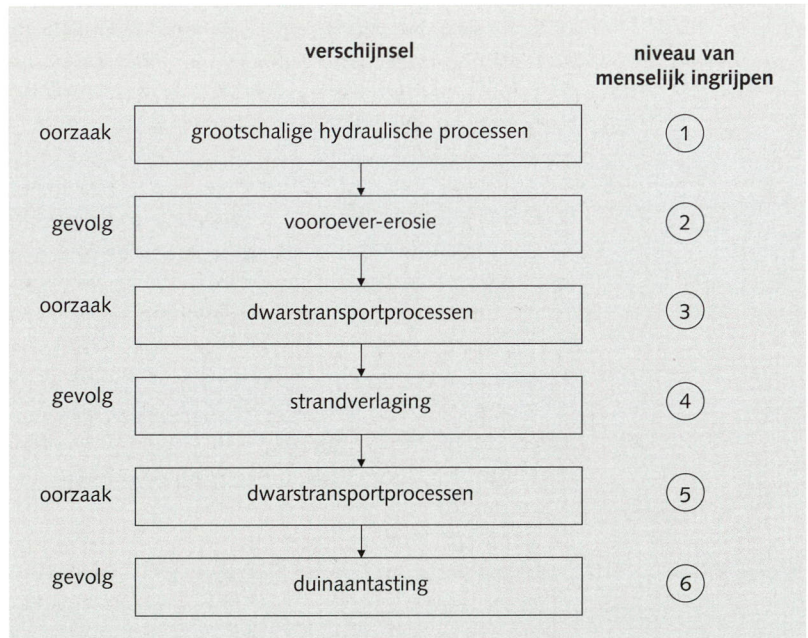


Fig. 4.3 Oorzakelijke relatie tussen grootschalige hydraulische processen en duinaantasting en de mogelijke niveaus van menselijk ingrijpen om dit tegen te gaan.

veel gevallen mogelijk om op flexibele wijze op het dynamisch kustgedrag in te spelen.

Veel van dit soort maatregelen zijn lokaal van aard (zie par. 4.3 en 4.4). Het is echter ook mogelijk om door middel van grote ingrepen in het morfologisch systeem problemen op te heffen of te voorkomen (zie par. 4.5).

4.2 Erosie en menselijk ingrijpen

Functionies van de kust kunnen worden bedreigd door incidentele en structurele erosie. Met kustverdedigingsmaatregelen wordt (onder andere) beoogd om de met erosie samenhangende achteruitgang van de kust tegen te gaan of de snelheid van achteruitgang te verminderen.

Bij de oplossing van een structureel kusterosieprobleem kan worden gedacht aan de bestrijding van de oorzaken van structurele erosie (oorzaak) of aan het tegengaan van de nadelige gevolgen van de erosie (gevolg). Bij de oplossing van vrijwel ieder kusterosieprobleem komt deze fundamentele vraag aan de orde. Vaak blijkt de oorzaak-gevolgafweging zich zelfs op verschillende niveaus af te spelen.

In figuur 4.3 is schematisch weergegeven hoe grootschalige hydraulische processen die zich op de vooroever afspelen, (uiteindelijk) tot de aantasting van de duinen leiden. De blijvende aantasting van de duinen (verlies van duinareaal) is het direct 'zichtbare', ongewenste effect dat tot een vermindering van de veiligheid van het achterland kan leiden. Het blijkt dat er in feite op zes niveaus kustverdedigingswerken kunnen worden uitgevoerd. Drie niveaus zijn als 'oorzaak' te karakteriseren; de drie resterende als 'gevolg'. De maatregelen die in dit geval op de verschillende niveaus mogelijk zijn, worden in het navolgende in het kort beschreven. De volgorde is van hoog naar laag.

niveau 6 (gevolg)

(Herhaalde) duinverzwaringen zijn een goed voorbeeld van (onderhouds)maatregelen op niveau 6. Zowel de aanleg van buffers die juist voor het duinfront worden aangebracht als maatregelen die de aanstuiving bevorderen, kunnen als maatregelen op dit niveau worden aangemerkt. Wellicht dat het retireren (terugtrekken) van de zeereep ook op dit niveau thuishoort. De oorzaken worden niet bestreden (fig. 4.4).

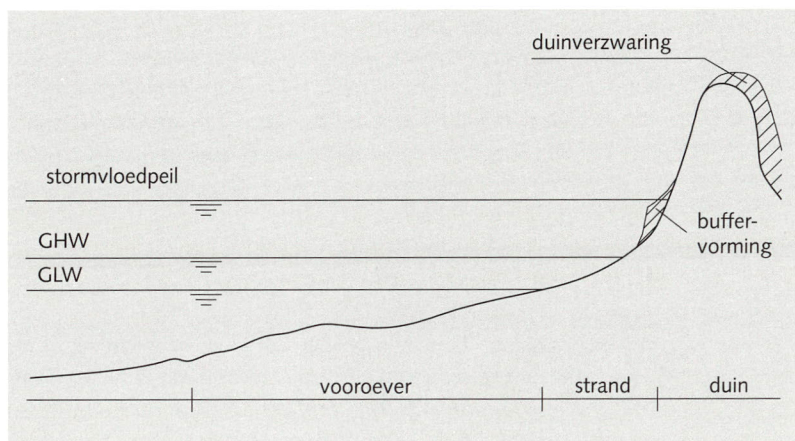


Fig. 4.4 Voorbeelden van ingrepen op niveau 6: duinverzwaring en buffervorming.

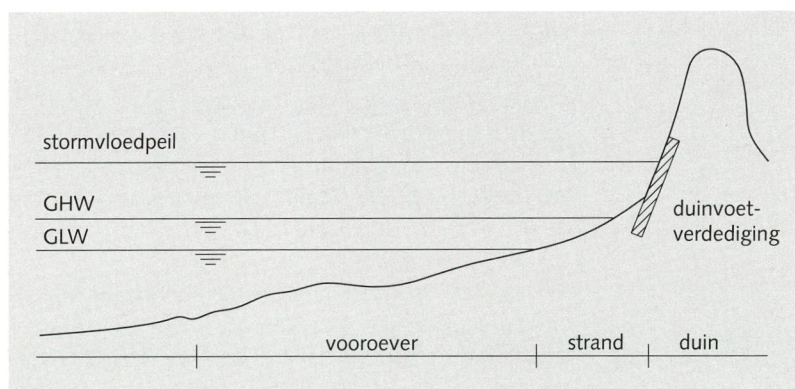


Fig. 4.5 Voorbeeld van een ingreep op niveau 5: duinvoetverdediging.

niveau 5 (oorzaak)

De aantasting van de duinen wordt door dwarstransportprocessen veroorzaakt. Door het duinfront vast te leggen (duinvoetverdediging; strandmuur) wordt voorkomen dat het zand van de duinen kan afslaan (fig. 4.5).

niveau 4 (gevolg)

Doorgaande strandverlaging kan door (herhaalde) strandsuppleties te niet worden gedaan (fig. 4.6).

niveau 3 (oorzaak)

De strandverlaging wordt veroorzaakt door een resulterend zeewaarts gericht sediment transport. Met gerichte maatregelen, zoals bijvoorbeeld de aanleg van een onderwaterdam evenwijdig aan de kust, kan het zeewaarts gerichte sedimenttransport worden gereduceerd en eventueel tot staan worden gebracht. Er kunnen dan zogenaamde 'hangende' stranden ontstaan (fig. 4.7).

niveau 2 (gevolg)

De erosie van de vooroever kan direct worden bestreden met suppleties op de vooroever. Als de erosie van de vooroever bijvoorbeeld wordt veroorzaakt door een verplaatsende (getij)geul, dan kan door middel van een gerichte ingreep in het geulensysteem de druk op de kust worden verminderd (fig. 4.8). Met het vasthouden van de vooroever (ook bestortingen vallen hieronder) wordt in dit geval voorkomen dat de verdere reeks van gebeurtenissen en processen tot ontwikkeling kan komen.

niveau 1 (oorzaak)

Dat er erosie van de vooroever optreedt, komt door de grootschalige hydraulische processen (getijbeweging; golfklimaat) die zich op de vooroever afspelen. Vaak worden deze processen nog te grootschalig geacht voor verantwoorde ingrepen.

Kustverdedigingsmaatregelen op de niveaus 6, 5 en 4 worden in Nederland veelvuldig toegepast. Maatregelen op de lagere niveaus komen veel minder voor. In de toekomst zal er vermoedelijk steeds vaker op een 'lager' niveau worden ingegrepen. Het rapport 'Zeewaartse kustverdediging' [RWS, TR20 (1989)] bevat een beschrijving van enkele maatregelen op een 'laag' niveau.

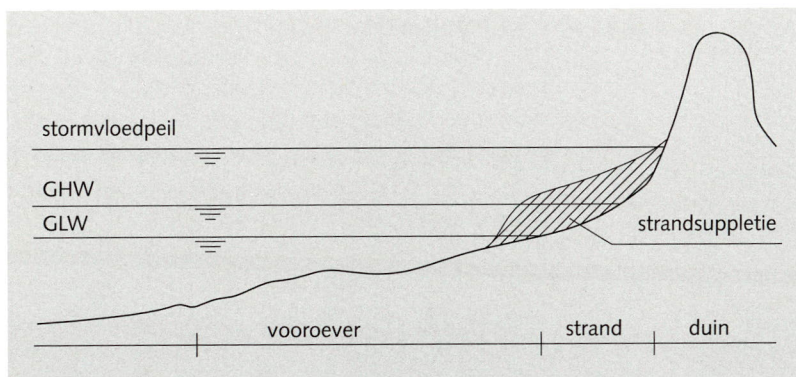


Fig. 4.6 Voorbeeld van een ingreep op niveau 4: strandsuppletie.

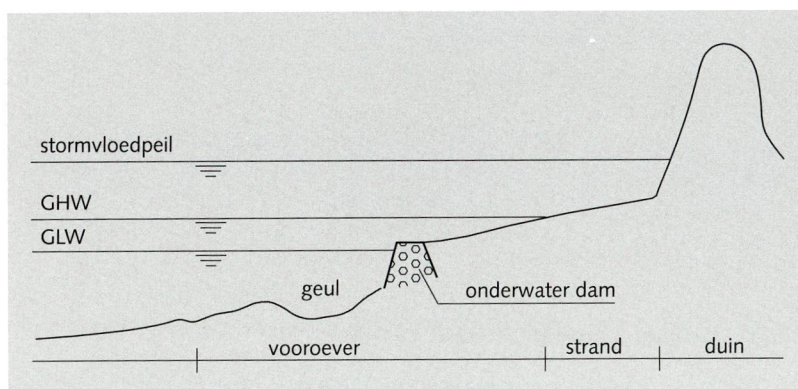


Fig. 4.7 Voorbeeld van een ingreep op niveau 3: 'hangend' strand als gevolg van een onderwaterdam.

4.3 Zandsuppleties

4.3.1 Algemeen

Met een zandsuppletie wordt de zandhoeveelheid in een kustvak op kunstmatige wijze aangevuld door toevoeging van buiten het kustvak afkomstig zand.

Het type zandsuppletie kan worden gekarakteriseerd door de plaats waar de suppletie in het kustprofiel wordt aangebracht. In de dwarsrichting van een kustprofiel kan onderscheid worden gemaakt tussen (fig. 4.9):

- duinsuppleties (landwaarts, op het duin en zeewaarts);
- strandsuppleties;
- vooroeversuppleties.

In tegenstelling tot duinsuppleties zijn strandsuppleties en vooroeversuppleties voortdurend onderhevig aan de dagelijkse werking van golven en getij (gemiddelde hydraulische omstandigheden). Door de optredende zandtransporten zullen strandsuppleties en vooroeversuppleties in de tijd vervormen.

Indien het kustvak stabiel is, kan het behoud of de versterking van de aanwezige kustfuncties met een eenmalige zandsuppletie worden bewerkstelligd. Indien hierdoor geen beïnvloeding van het morfologisch systeem plaatsvindt, zal het kustvak ook na de ingreep stabiel blijven.

Indien er sprake is van structurele kusterosie, kan het zandverlies worden gecompenseerd door op gezette tijden tot een zandsuppletie over te gaan (fig. 4.10). Hierdoor kan er voor worden gezorgd dat de minimaal te handhaven ligging van de kustlijn gedurende een bepaalde periode (naar verwachting) niet wordt onderschreden (zie par. 6.3). Zandsuppleties in een eroderend kustvak zullen dus per definitie moeten worden herhaald. De verwachte levensduur van een zandsuppletie, en dus de benodigde herhalingstijd, kan veelal op basis van de analyse van uitgevoerde kustmetingen worden vastgesteld.

Het verdient aanbeveling om het gedrag van een zandsuppletie te evalueren. Door middel van kuberingen (zie par. 3.4.4) kan worden nagegaan of de verwachte levensduur al dan niet wordt (of is) gehaald (zie par. 4.3.5) [Roelse & Hillen (1993)].

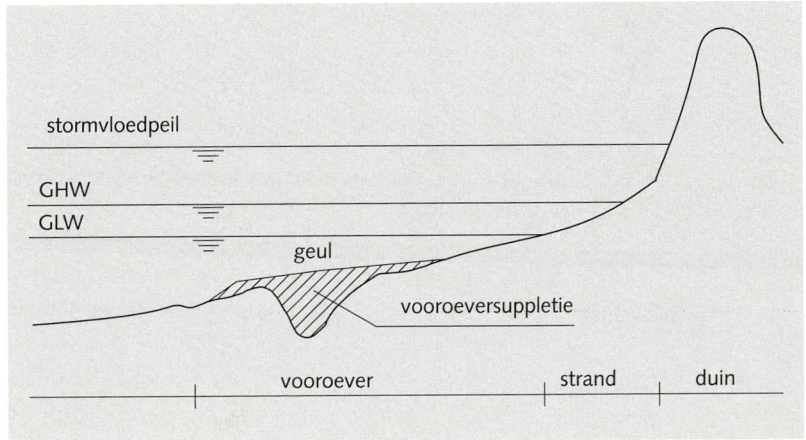


Fig. 4.8 Voorbeeld van een ingreep op niveau 2: vooroeversuppletie.

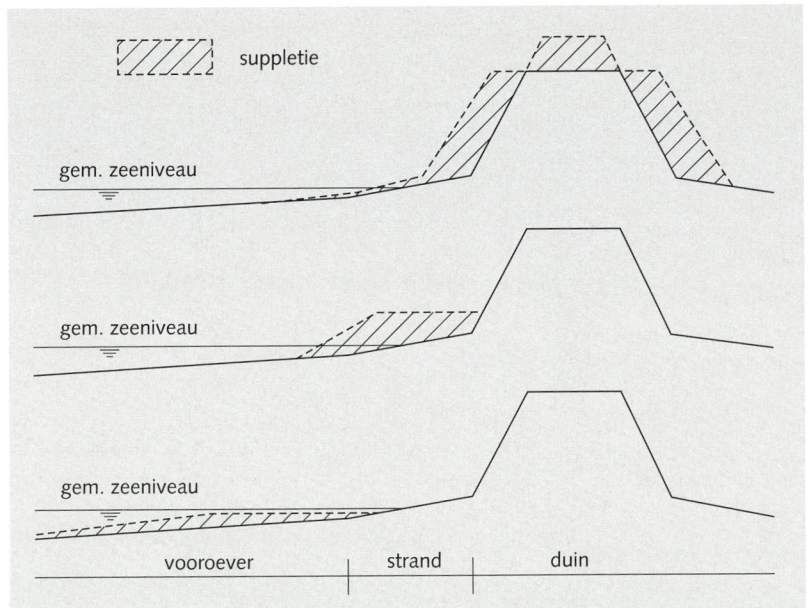


Fig. 4.9 Onderscheid in zandsuppletie op grond van de positie in het dwarsprofiel [RWS, 'Handboek zandsuppleties' (1988)].

Voor een uitvoerige behandeling van zandsuppleties wordt verwezen naar het 'Handboek zandsuppleties' [RWS (1988)]. Hierin komen de diverse aspecten aan de orde die van belang zijn bij de toepassing van een kustverdediging met zandsuppleties (fig. 4.11).

Hoewel de feitelijke uitvoering een belangrijk onderdeel van een zandsuppletie-project is, valt het buiten het kader van dit basisrapport om op dit onderwerp in te gaan. Voor een behandeling van de aspecten die van belang zijn bij de uitvoering wordt verwezen naar paragraaf 4.7 van het bovengenoemde 'Handboek zandsuppleties' [zie ook DHV (1993 & 1994)].

4.3.2 Duinsuppletie

Met de uitvoering van een duinsuppletie wordt de zandhoeveelheid in een kustvak aangevuld door een directe vergroting van het duinvolume. Het uitgangspunt bij de toepassing van een duinsuppletie is, dat het zand dáár wordt aangebracht waar tijdens stormvloed-condities duinafslag plaatsvindt, zonder dat het wordt blootgesteld aan de dagelijkse werking van golven en getij.

In een stabiel kustvak zal de zandhoeveelheid, ook na een duinsuppletie, in de tijd vrijwel constant blijven.

Het doel van een duinsuppletie kan zijn:

1. vergroting van de veiligheid van het achterland tegen overstroming;
2. bescherming van belangen in het duingebied;
3. onderhoudsreductie.

ad 1. vergroting van de veiligheid

Als blijkt dat het aanwezige duinprofiel niet aan de veiligheidsnorm voldoet, kan met een duinsuppletie de gewenste mate van veiligheid worden bereikt. Bij een stabiel kustvak gaat het dan om een eenmalige versterking.

Zelfs bij een structureel eroderend kustvak kan formeel aan duinsuppleties worden gedacht. Regelmatig te herhalen suppleties aan de landwaartse zijde van het duin compenseren in dat geval de structurele verliezen aan de zeezijde. (Er vindt dan wel kustachteruitgang plaats.) Bij duinsuppleties aan de zeewaartse zijde wordt het verlies aan duinvolume gecompenseerd daar waar dat verlies daadwerkelijk optreedt. (Er zal dan uiteindelijk geen kustachteruitgang plaatsvinden.)

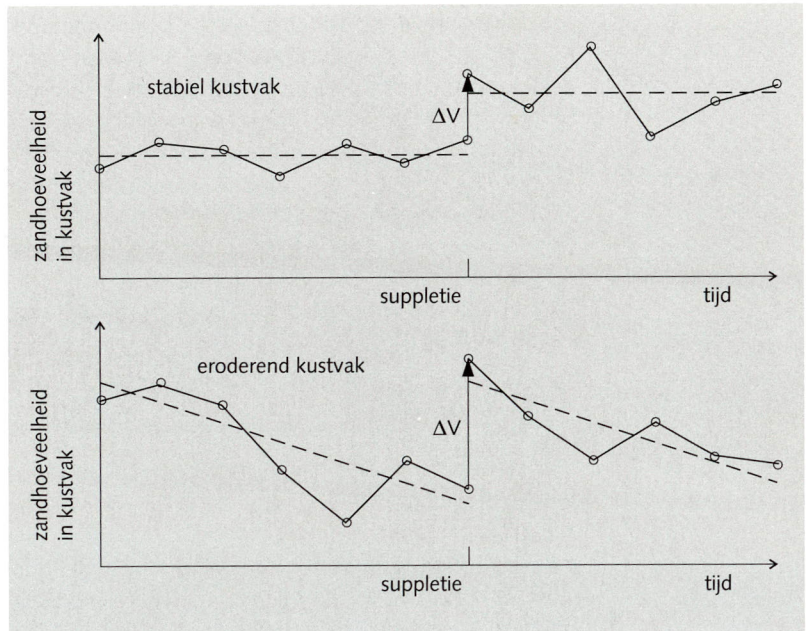


Fig. 4.10 De zandhoeveelheid als functie van de tijd in een stabiel en eroderend kustvak bij uitvoering van zandsuppletie.

In 1988 is door RWS het 'Handboek zandsuppleties' uitgegeven. Met de opstelling van dit handboek werd beoogd de vertegenwoordigers van instanties en bedrijven die betrokken zijn bij het beheer en onderhoud van de zandige kust, de noodzakelijke kennis over zandsuppleties te verschaffen.

De voornaamste doelen van het handboek zijn destijds aldus geformuleerd:

- het geven van methoden om na te gaan in welke gevallen een zandsuppletie kan worden toegepast en zo ja, op welke wijze dat het meest efficiënt kan gebeuren;
- het samenvatten van de thans bestaande ontwerpnormen en ontwerpmethoden;
- het geven van een overzicht van uitvoeringsmethoden, baggermaterieel, voorschriften en reglementen;
- het geven van een overzicht van de milieu-effecten die kunnen optreden bij het uitvoeren van zandsuppleties.

Fig. 4.11 De doelstellingen van het 'Handboek zandsuppleties' [RWS (1988)].

ad 2. bescherming van belangen in het duingebied

In sommige gevallen kan het wenselijk zijn dat, anders dan om primaire veiligheidsredenen, een buitenste duinregel (zeewaarts) wordt versterkt. Er kan worden gedacht aan de bescherming van een achterliggende duinvallei of bebouwing die in het duingebied aanwezig is.

ad 3. onderhoudsreductie

Een duinsuppletie kan ook om onderhoudsredenen worden toegepast. Een voorbeeld hiervan is de zogenaamde buffervorming, waarbij door middel van een suppletie ter plaatse van de duinvoet wordt beoogd de aantasting van het (bijvoorbeeld ingeplante) duinfront tijdens relatief kleine stormen te voorkomen.

In de praktijk is het onderscheid tussen een buffer en een strandsuppletie gering (zie par. 4.3.3).

ontwerp van een duinsuppletie: duinverzwaring (beveiliging van het achterland)

Bij een duinverzwaring ten behoeve van de veiligheid kan het volume van de vereiste aanvulling met een berekening volgens de TAW-leidraad 'Duinafslag' worden bepaald (zie par. 6.2.3). Er dient hierbij met zandverliezen rekening te worden gehouden (verliezen tijdens de uitvoering, verstuiwing).

De bepaling van de omvang van de vereiste zandsuppletie hangt mede af van de korreldiameter van het suppletiezand. Deze korreldiameter kan afwijken van het aanwezige duinzand. In figuur 4.13 is weergegeven hoe een veiligheidsberekening kan worden uitgevoerd, indien de korreldiameter van het suppletiezand (sterk) afwijkt van de oorspronkelijke korreldiameter.

Het aanlegprofiel van een duinverzwaring wordt in belangrijke mate bepaald door de mogelijke plaats waar de vereiste aanvulling in het aanwezige duinprofiel kan worden aangebracht. Hierbij verdienen de volgende punten de aandacht:

- De vereiste aanvulling om een veilige situatie te verkrijgen is bij een landwaartse suppletie veelal kleiner dan bij een zeewaartse suppletie (fig. 4.12). (Of het werkelijk kleiner is, is afhankelijk van de vorm van de achterkant van de zeereep en het niveau van het achterland.)
- Profielverschillen in langsrichting kunnen sterk bepalend zijn voor de keuze van de plaats in het dwarsprofiel. In de langsrichting dient een grillig verloop van de waterkering te worden voorkomen.

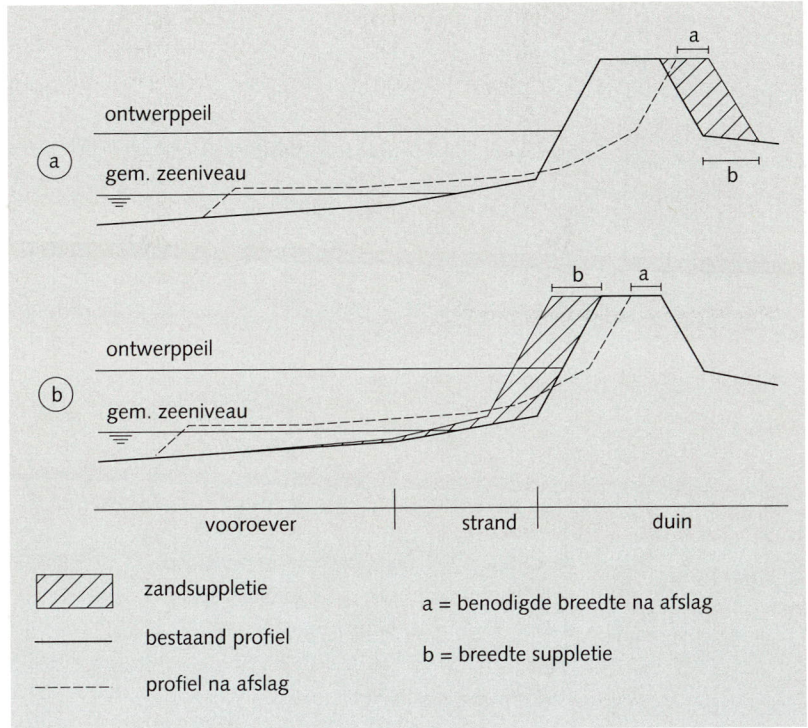


Fig. 4.12 Mogelijke vormen van duinverzwaring:
 a. landwaartse duinverzwaring;
 b. zeewaartse duinverzwaring.

- Het gewenste behoud van functies anders dan de veiligheid kan tot een beperking in de keuze van de plaats leiden. Zo kan een landwaartse duinverzwaring de natuurlijke en landschappelijke waarden van achterliggend duingebied nadelig beïnvloeden. Een zeewaartse duinverzwaring kan in het begin vanwege de strandversmalling en -versteiling nadelig zijn voor de strandrecreatie. Hiertegenover staan de positieve effecten van de verhoging en verbreding van het droge strand die door de uitvoering van een zeewaartse duinsuppletie na verloop van tijd zullen optreden.

Voor een verantwoorde landschappelijke inpassing van een duinverzwaring is een extra hoeveelheid nodig van circa 20 % van de uitsluitend voor de veiligheid vereiste zandsuppletie.

ontwerp van een duinsuppletie: versterking buitenste duinregel (bescherming van belangen in het buiten-duingebied)

Voor de bepaling van de benodigde zandsuppletie ten behoeve van een versterking van een buitenste duinregel (bijvoorbeeld ter bescherming van een duinvallei) kan, voor faalkansen $< 10^{-1}$ per jaar, gebruik worden gemaakt van het rekenrecept van de TAW-leidraad 'Duinafslag' (zie par. 6.2.5).

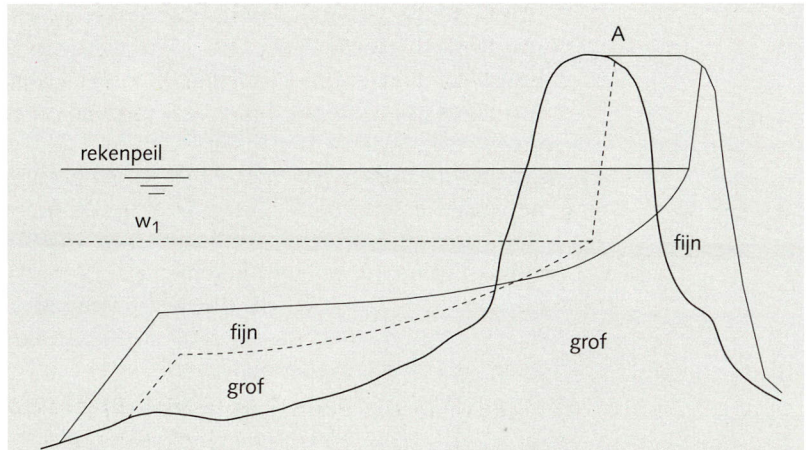
ontwerp van een duinsuppletie: buffer (onderhoudsmaatregel)

Bij stabiele kustvakken is de toepassing van een duinsuppletie in de vorm van een buffer tegen het duinfront een duidelijke onderhoudsmaatregel. Het ontwerp ervan wordt vaak meer gebaseerd op ervaring dan op basis van berekeningen.

Bij eroderende kustvakken kan de aanleg van een buffer soms ook worden overwogen als maatregel ter bestrijding van structurele kusterosie (zie par. 4.3.3). In dat geval wordt het ontwerp mede gebaseerd op berekeningen omtrent de mate van erosie op het strand en op de vooroever. In de loop van de tijd blijken buffers vaak te vervormen. Een deel van het zand komt op het strand terecht (verhoging droge strand) en een deel in het duin (verflauwing buitentalud).

4.3.3 Strandsuppletie

Met de uitvoering van een strandsuppletie wordt het volume in een kustvak aangevuld door een directe vergroting van het volume van het strand (fig. 4.14).



Bij berekeningen met de TAW-leidraad 'Duinafslag' speelt de korreldiameter een belangrijke rol. Als bij een duinsuppletie zand wordt gebruikt waarvan de korreldiameter sterk afwijkt van die van het aanwezige zand, zijn de uit te voeren berekeningen echter tamelijk lastig.

Als voorbeeld wordt er eerst van uitgegaan dat een achterwaartse zandsuppletie ten behoeve van de waarborging van de veiligheid met veel fijner zand heeft plaatsgevonden (zie figuur).

In dit geval wordt aanbevolen om eerst duinafslagberekeningen te maken met het oorspronkelijk (grove) zand waarbij de waterstand w_1 wordt bepaald. Bij waterstand w_1 wordt juist punt A bereikt. Het aldus berekende afslagprofiel wordt als beginprofiel voor de eigenlijke ontwerpberekening genomen; er wordt daarbij gerekend met de korreldiameter van het fijne zand. In dit geval komt het erop neer dat uiteindelijk het fijne zand maatgevend zal blijken te zijn; het beginprofiel behorend bij w_1 wordt geheel bedekt met het fijne zand.

Een soortgelijke procedure kan worden gevolgd als de achterwaartse aanvulling uit grover zand bestaat dan het oorspronkelijk aanwezige duinzand. Hierbij is het niet zeker dat het gehele afslagprofiel uiteindelijk de vorm krijgt die bij het grove zand behoort.

Bij een (gelijkmatig verdeelde) suppletie op het duin wordt aanbevolen een maatgevende korreldiameter te berekenen als gewogen gemiddelde van de volumina die bij het afslagproces worden betrokken. Om uiteindelijk een rekenkorreldiameter te bepalen wordt een standaardafwijking van 10% van deze maatgevende korreldiameter aanbevolen (zie par. 3.1.1 van de leidraad 'Duinafslag').

In voorkomende gevallen worden tevens berekeningen met het DUROSTA-model aanbevolen.

Fig. 4.13 Werkwijze vereiste zandsuppletie bij afwijkende korreldiameter.

Een strandsuppletie ondergaat vervormingen als gevolg van de zandtransporten die optreden door de werking van golven, getij en wind. In algemene zin kan worden gesteld dat, hoe fijner het suppletiezand is, hoe groter de zandtransporten onder gegeven omstandigheden zijn.

Onder invloed van dwarstransportprocessen zal herverdeling van het zandvolume in dwarsrichting plaatsvinden. De suppletie wordt in de tijd zodanig vervormd, dat de uiteindelijke vorm (helling, zeewaartse verspreiding) in grote lijnen past bij de lokale, gemiddelde hydraulische omstandigheden en bij de korreldiameter van het aanwezige zand. Deze herverdeling in dwarsrichting kan ook aanleiding geven tot een zandverlies (zie par. 3.4.2).

Onder invloed van de langtransportprocessen zal er in de tijd ook een vervorming in de langsrichting plaatsvinden. Het zand dat als gevolg van langtransportprocessen uit het gesuppleerde kustvak verloren gaat, komt direct ten goede aan de naastgelegen kustvakken.

In hoeverre het morfologisch systeem door een strandsuppletie wordt beïnvloed, is vaak niet geheel duidelijk. In het algemeen kan echter worden aangenomen dat er van een werkelijke morfologische beïnvloeding nauwelijks sprake zal zijn. Bij het gebruik van suppletiezand met sterk afwijkende korrelkarakteristieken treedt er wel een verandering op met enkele (tijdelijke) gevolgen voor het morfologische systeem. Indien een strandsuppletie het morfologisch systeem daadwerkelijk beïnvloedt, resulteert dat in een verandering van de trend van de ontwikkeling van de zandhoeveelheid en dus ook in de trend van de ontwikkeling van de kustlijn (fig. 4.15).

Ofschoon de uitvoering van een strandsuppletie dus een duidelijk effect heeft op de ligging van de kustlijn, zal het effect dat de suppletie heeft op de ontwikkeling van de ligging van de kustlijn over het algemeen niet groot zijn.

Met betrekking tot de plaats van een strandsuppletie, kunnen in langsrichting de volgende typen worden onderscheiden (fig. 4.16):

- Een suppletie die direct wordt aangebracht op de plaats waar dit nodig is.

Doorgaans zal dit type suppletie een langgerekte vorm bezitten om de effecten van de ter plaatse geconstateerde structurele kusterosie in een kustsectie gedurende een vooropgezette periode op te heffen

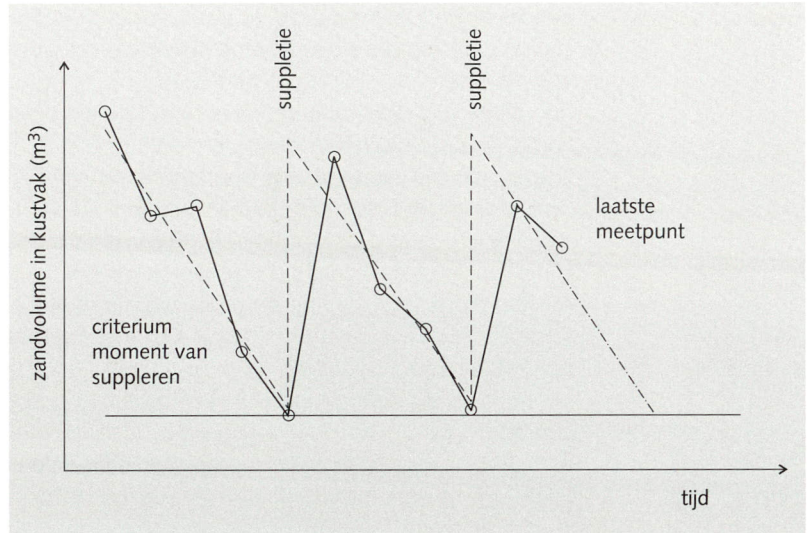


Fig. 4.14 Periodieke uitvoering van een zandsuppletie.

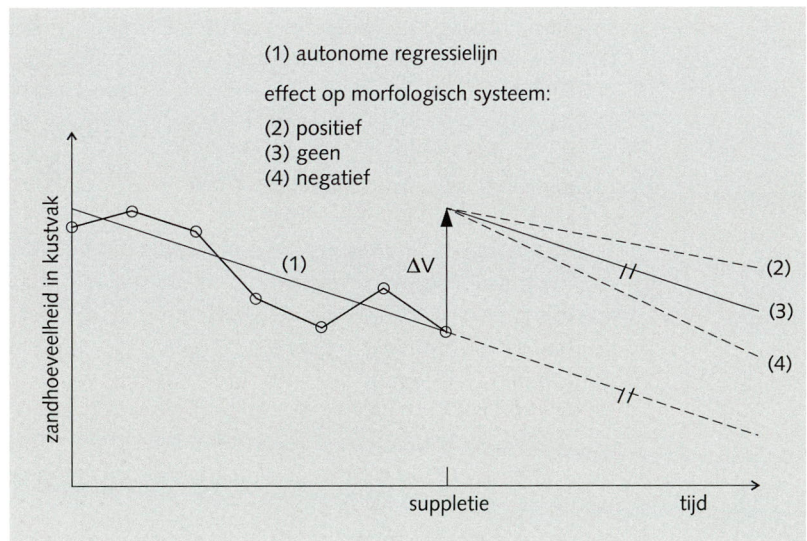


Fig. 4.15 Mogelijke effecten van een (strand)suppletie op de morfologie.

(fig. 4.16-a).

- Een continue zandvoeding in één of meer punten, van waar het zand langs de kust wordt verspreid.

Een speciaal geval van continue voeding is het 'sand by-pass'-systeem, waarbij een kunstmatige onderbreking van het natuurlijke langstransport wordt opgeheven door het aan de loefzijde van het obstakel gewonnen zand aan de lijzijde ervan te storten (fig. 4.16-b). Een dergelijke kunstmatige onderbreking doet zich bijvoorbeeld voor bij havendammen. Voor een meer uitvoerige beschrijving van het begrip 'sand by-pass' wordt verwezen naar 'Short course on principles and applications of beach nourishment' [Florida Shore and Beach Preservation Association (1988)].

het doel van een strandsuppletie

Aan de uitvoering van een strandsuppletie kunnen verschillende doelstellingen ten grondslag liggen:

1. Bij stabiele kustvakken wordt met de uitvoering van een strandsuppletie een, veelal eenmalige, versterking c.q. kwaliteitsverbetering van de kustfuncties beoogd.
2. Bij eroderende kustvakken kan een strandsuppletie worden uitgevoerd in het kader van het kusthandhavingsbeleid (zie par. 6.3).
3. Door een strandsuppletie is het mogelijk om de veiligheid van het kustprofiel te behouden (achterland, kustverdedigingsobjecten). Bij eroderende kustvakken wordt beoogd om de nadelige effecten van stranderosie op de kustfuncties en op de aanwezige beheersobjecten, zoals bijvoorbeeld harde kustverdedigingsmaatregelen, te voorkomen. Hiertoe wordt het geleidelijke zandverlies uit een kustvak door de periodieke uitvoering van strandsuppleties gecompenseerd (fig. 4.14).

ad 1. kwaliteitsverbetering kustfuncties

Een strandsuppletie kan worden uitgevoerd om de kwaliteit van kustfuncties te verbeteren. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan:

- bescherming van het duinfront;
Ter bescherming van het duinfront wordt een strandsuppletie hoog in het dwarsprofiel aangelegd om duinafslag tijdens kleine stormen te reduceren of te voorkomen (fig. 4.17). In wezen verschilt een dergelijke suppletie dan ook niet van een buffer (zie par. 4.3.2).
- recreatie;
Een strandsuppletie kan ten behoeve van de strandrecreatie worden

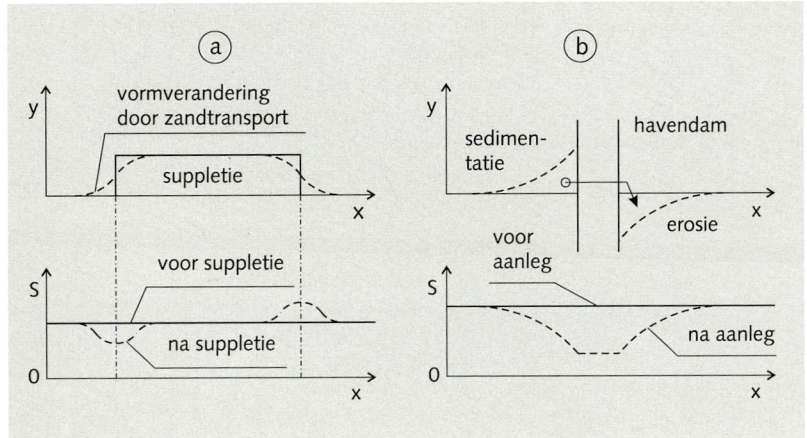


Fig. 4.16 Verschillende typen van zandsuppleties:
 a. langgerekte suppletie;
 b. 'sand by-pass'-systeem.



Fig. 4.17 Uitvoering van een strandsuppletie.

uitgevoerd. Er wordt dan een verbreding en verhoging van het strand beoogd.

Uit het oogpunt van het recreatieve belang is een min of meer 'egaal' droog strand wenselijk. Indien niet wordt verwacht dat deze egalisatie binnen afzienbare tijd op een natuurlijke wijze optreedt, zal de gewenste egalisatie wellicht op mechanische wijze moeten worden verkregen.

Het suppletiezand mag geen bestanddelen of verontreinigingen bevatten die schadelijk kunnen zijn voor mens of dier.

- zanddepot.

Door uit zee gewonnen suppletiezand gedurende een bepaalde periode op het strand in depot te houden, wordt er een soort 'tussenstation' gevormd als er voor een duinsuppletie geen geschikte plaats in de duinen aanwezig is voor een natte stort. Tevens kan op deze manier het zand ontzilten. Ontzilting is vaak nodig voordat het zand voor bijvoorbeeld de uitvoering van een landwaartse duinverzwaring mag worden gebruikt (fig. 4.18).

ad 2. handhaving ligging kustlijn

In Nederland worden thans veel zandsuppleties uitgevoerd als uitvloeisel van het gekozen kustbeleid (dynamisch handhaven).

De toepassing van een strandsuppletie in de vorm van een buffer kan dus bij eroderende kustvakken een tweeledig doel hebben. Enerzijds wordt tijdens een kleine storm de aantasting van het duinfront gereduceerd; anderzijds fungeert een buffer bij het optreden van een kleine storm als sedimentbron voor de lager gelegen delen van het kustprofiel.

ad 3. verzwaring van het dwarsprofiel ten behoeve van de veiligheid

Een strandsuppletie kan ook worden uitgevoerd in verband met de veiligheid. Dit kan betrekking hebben op de veiligheid van het achterland of de stabiliteit van kustverdedigingswerken:

- veiligheid achterland;

Een strandsuppletie kan worden uitgevoerd om de veiligheid te vergroten. De verhoging van het strandprofiel heeft een gunstige invloed op de mate van duinafslag tijdens een stormvloed.

In een stabiel kustvak kan een strandsuppletie wellicht een (gedeeltelijk) alternatief zijn voor een duinverzwaring. Indien een strandsuppletie wordt uitgevoerd, dient wel rekening te worden gehouden met een relatief grote zandsuppletie. In dit geval is het wellicht mogelijk om tot een optimalisatie van kosten te komen; de verschillen



Fig. 4.18 Zanddepot.

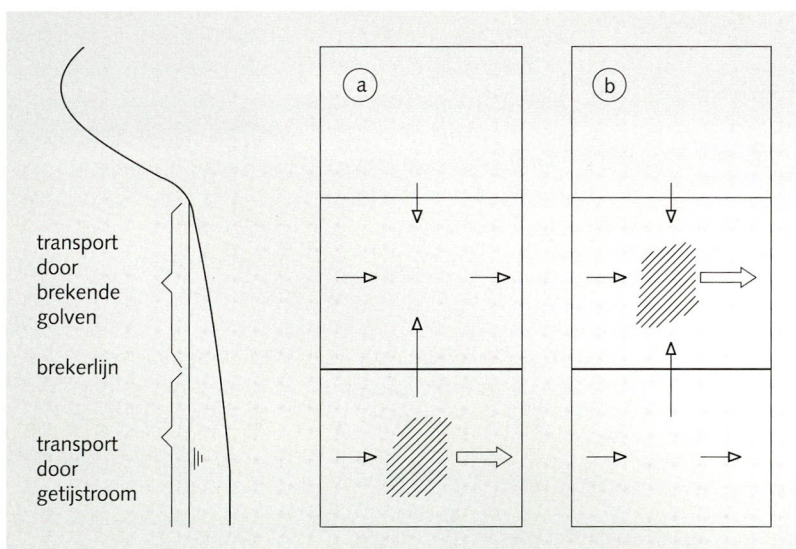


Fig. 4.19 Mogelijke oorzaken van stranderosie:
 a. gradiënt in het getijgedreven transport;
 b. gradiënt in het golfgedreven langstransport.

in uitvoeringskosten tussen duin- en strandsuppleties spelen daarbij een grote rol.

- bescherming van (harde) kustverdedigingswerken;
Indien voor de verdediging van een kustvak harde maatregelen zoals dijken, strandmuren, duinvoetverdedigingen, paalrijen of strandhoofden zijn toegepast, kan een strandsuppletie worden uitgevoerd om de stabiliteit van deze constructies te garanderen of om beschadiging ervan tijdens stormen te voorkomen.
Indien een duinvoetverdediging of strandmuur aanwezig is, kan door middel van een strandsuppletie de mate van ontgronding die tijdens een stormvloed voor deze constructies optreedt, worden verminderd (zie par. 4.4.6).

het ontwerp van een strandsuppletie

De behandeling van het ontwerp van een strandsuppletie wordt beperkt tot de aspecten die van belang zijn voor eroderende kustvakken.

Als eerste aanzet voor het ontwerp kan worden aangenomen dat er door de uitvoering van een strandsuppletie geen beïnvloeding van het morfologisch systeem zal optreden. De benodigde zandsuppletie kan dan op basis van een gewenste levensduur worden vastgesteld.

Uitgaande van de gewenste levensduur volgt de grootte van de zandsuppletie (in m³) uit een extrapolatie van de trend van het zandverlies (fig. 4.14).

Vaak kunnen strandsuppleties worden ontworpen op basis van de evaluatie van het gedrag van voorgaande suppleties of op basis van ervaringen en inzichten die zijn opgedaan bij uitgevoerde strandsuppleties in nabijgelegen kustvakken.

Bij het ontwerp van een strandsuppletie verdient het aanbeveling om de volgende situaties van elkaar te onderscheiden (fig. 4.19):

- De vooroever erodeert, bijvoorbeeld als gevolg van een gradiënt in het getijgedreven langstransport. Er zal een geleidelijke erosie van het strand optreden. De erosie van het strand wordt dan voornamelijk veroorzaakt door langstransportprocessen op de vooroever (fig. 4.19-a). De optredende dwarstransportprocessen (herverdeling) zorgen ervoor dat het strand fungeert als sedimentbron voor het zandverlies op de vooroever.
- De erosie van het strand wordt voornamelijk veroorzaakt door langs-

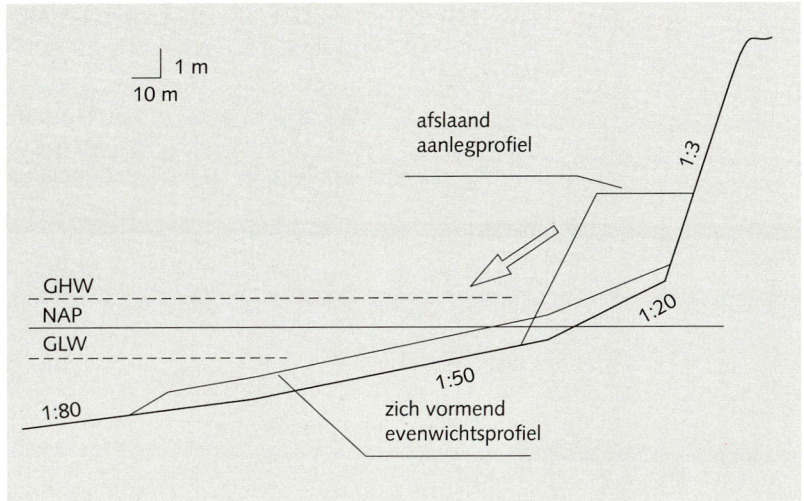


Fig. 4.20 De vervorming van een strandsuppletie in de dwarsrichting onder invloed van de werking van golven en getij.

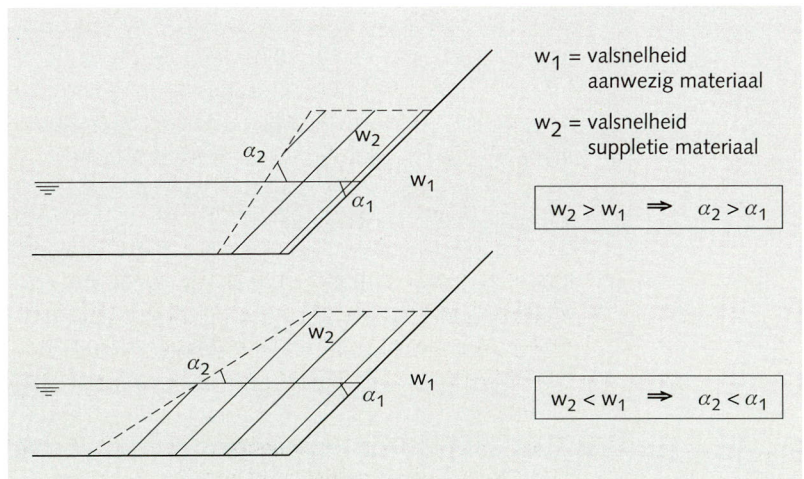


Fig. 4.21 Invloed verschil tussen aanwezige en gesuppleerde korreldiameter op de helling van het profiel [Vellinga (1986)].

transportprocessen nabij het strand zelf, bijvoorbeeld als gevolg van een gradiënt in het golfgedreven langstransport in de brekerzone (fig. 4.19-b).

In de tweede situatie zal de afname van het aangebrachte volume zand misschien wat gelijkmatiger verlopen dan in de eerste situatie. In de eerste situatie is het dwarstransport een essentiële schakel in de reeks processen. In bijvoorbeeld een lange aaneengesloten kalme periode zal de afvoer van suppletiezand in zeewaartse richting enigszins kunnen stagneren.

Bij het ontwerp van een strandsuppletie dient met de volgende aspecten rekening te worden gehouden:

1. het doel van een strandsuppletie;
2. het aanwezige dwarsprofiel;
3. de vormverandering van een strandsuppletie in dwarsrichting;
4. de vormverandering van een strandsuppletie in langsrichting.

ad 1. ontwerp in relatie tot het doel van een strandsuppletie

Het doel van een strandsuppletie bepaalt de minimaal benodigde zandsuppletie, alsmede de plaats waar aanvulling het meest wenselijk is. Zo zal er om de ligging van de kustlijn te handhaven, eigenlijk slechts een bepaalde zandhoeveelheid zeewaarts van het duin moeten worden aangebracht; de vorm doet er dan niet toe.

Indien echter ook rekening moet worden gehouden met strandrecreatie, zullen er ook eisen worden gesteld ten aanzien van het aanlegprofiel (breedte en vlakheid van het droge strand).

ad 2. ontwerp in relatie tot het aanwezige dwarsprofiel

De hoeveelheid zand die in een dwarsprofiel dient te worden aangebracht is een belangrijke ontwerpfactor.

Soms is die hoeveelheid zo groot dat het zand niet meer op een doelmatige wijze alleen op het strand kan worden aangebracht. Er kan dan worden overwogen om de vooroever eveneens te suppleren.

ad 3. ontwerp in relatie tot de vormverandering van een strandsuppletie in dwarsrichting

Na het aanbrengen van de suppletie zal deze onder invloed van de optredende dwarstransportprocessen in de dwarsrichting vervormen. In de praktijk wordt een strandsuppletie in veel gevallen hoog in het strand-

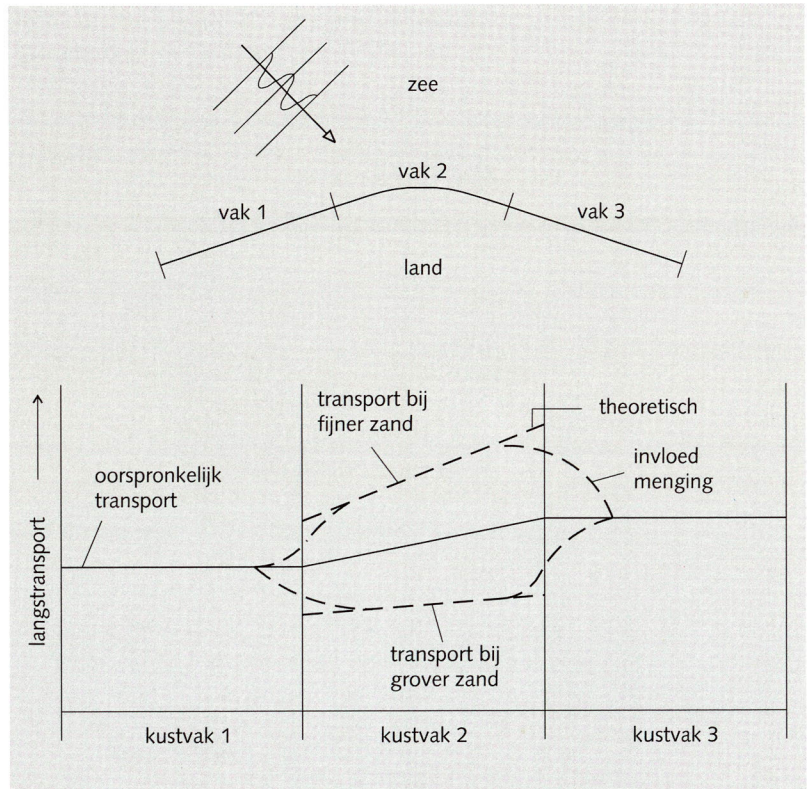


Fig. 4.22 Invloed grover of fijner suppletiezand op het langstransport [RWS, 'Handboek zandsuppleties' (1988)].

profiel aangebracht (vergelijk een buffer). Onder invloed van de werking van golven en getij gaat de verdeling vervolgens vanzelf (fig. 4.20).

Deze vormverandering in de dwarsrichting is onder andere afhankelijk van de korrelkarakteristieken van het suppletiezand. De invloed die de korreldiameter van het suppletiezand heeft op de vormverandering van het dwarsprofiel, kan onder meer worden afgeleid uit de relaties voor de profielhelling volgens Vellinga (1986) (fig. 4.21).

Zijn het uitgangsprofiel en de gewenste uitbouw van het strand gegeven, dan blijkt dat het gebruik van relatief fijner suppletiezand het volume van de benodigde zandsuppletie doet toenemen.

Een schatting van de ondergrens tot waar aanpassingen aan het profiel plaatsvinden, kan worden gemaakt met behulp van de door Hallermeier (1978, 1981) gegeven relaties (zie ook 'Handboek zandsuppleties', par. 4.6.3).

ad 4. ontwerp in relatie tot de vormverandering van een strand-suppletie in langsrichting

Naast de vervorming van een strandsuppletie in dwarsrichting, zal ook een vervorming in langsrichting optreden. De mate van vervorming kan vooraf door middel van kustlijnberekeningen worden geschat. Voor kustlijnberekeningen zijn speciale, numerieke rekenmodellen ontwikkeld (bijlage IV). Ook bestaan er analytische formuleringen ['Manual on Artificial Beach Nourishment' (1987)].

Naast de variatie van het zandtransport in langsrichting wordt de vormverandering van de strandsuppletie bepaald door de korrelkarakteristieken van het suppletiezand.

Bij ongewijzigde hydraulische omstandigheden resulteert het gebruik van suppletiezand met een andere korreldiameter in een verandering van de transportcapaciteit, waardoor lokaal de gradiënt in het langstransport verandert (fig. 4.22). De mate van erosie neemt dan (tijdelijk) toe of af, waardoor de trend van de ontwikkeling van de zandhoeveelheid verandert.

Uitgaande van een wenselijke levensduur, zal dus bij het gebruik van suppletie-zand met een sterk afwijkende korreldiameter een andere zandhoeveelheid nodig zijn dan de hoeveelheid die op basis van de analyse van kustmetingen wordt vastgesteld (zie par. 4.3.5).

Ten opzichte van strandsuppleties zijn aan vooroeversuppleties een aantal voordelen en nadelen verbonden.

Als **voordelen** kunnen worden genoemd:

- door traagheidseffecten worden fluctuaties gedempt zodat de variaties in de ligging van het strand in de tijd geringer zullen zijn;
- er is geen sprake van stuifoverlast;
- strand en duin kunnen hun natuurlijk aanzicht behouden;
- per aangebrachte volume-eenheid kan een vooroeversuppletie in sommige gevallen goedkoper zijn dan een strandsuppletie;
- de kwaliteitseisen voor het te suppleren zand kunnen minder streng zijn (bijvoorbeeld uit het oogpunt van strandrecreatie);
- overlast en gevaar op het strand tijdens de uitvoering van de suppletie worden voorkomen;
- het negatief psychologische effect dat elke normale afslag van een strand-suppletie wordt ervaren als kustachteruitgang, wordt voorkomen.

Als **nadelen** kunnen worden genoemd:

- als gevolg van zeewaartse verplaatsing van een deel van het suppletievolume, zal slechts een deel ervan ten goede komen aan het strand;
- de levensduur van een vooroeversuppletie is naar verwachting korter dan die van een strandsuppletie met een overeenkomstig volume;
- het effect van een vooroeversuppletie op de ligging van het strand is pas op langere termijn aanwezig.

Fig. 4.23 De voor- en nadelen van een vooroeversuppletie in vergelijking tot een zandsuppletie.



Fig. 4.24 Uitvoering van een vooroever- en strandsuppletie.

De mate van vervorming aan de uiteinden van de zandsuppletie is afhankelijk van zowel de korreldiameter van het suppletiezand, als van de korreldiameter van het zand in aangrenzende kustvakken.

Op de overgang van het niet-gesuppleerde kustvak naar het gesuppleerde kustvak zal dit, indien het suppletiezand fijner is dan het zand in het niet-gesuppleerde kustvak, door een toename van de langstransportgradiënt, plaatselijk tot een versterkte erosie leiden (fig. 4.22).

4.3.4 Vooroeversuppletie

Ten opzichte van strandsuppleties zijn aan vooroeversuppleties een aantal voor- en nadelen verbonden (fig. 4.23). De toepassing van een vooroeversuppletie kan voordelen bieden wanneer in het profiel een relatief brede vooroever en een relatief smal strand aanwezig zijn. Op een brede, flauw hellende vooroever kan, zonder al te grote verliezen, een relatief grote hoeveelheid zand worden gesuppleerd.

het doel van een vooroeversuppletie

Vooroeversuppleties kunnen bij eroderende kustvakken worden toegepast ter bestrijding van de erosie van het strand en de vooroever.

Hieraan kunnen de volgende redenen ten grondslag liggen:

- het tegengaan van de ongewenste effecten van de erosie van de vooroever op de ligging van het strand en het duin;
- een indirecte voeding van het strand;
- reductie van de golfaanval op het strand zodat de erosie ervan afneemt.

Vooraf in gevallen waar het aanwezige profiel de toepassing van (alleen) een strandsuppletie onaantrekkelijk maakt (steil, smal strand), kan het geheel of gedeeltelijk (mee)suppleren van de vooroever een oplossing bieden (fig. 4.24).

het ontwerp van een vooroeversuppletie

Alvorens nader in te gaan op het ontwerp van een vooroeversuppletie, verdienen de volgende punten de aandacht:

- Bij het aanbrengen van een vooroeversuppletie moet worden aanvaard dat het zand uiteindelijk in een tamelijk breed stortgebied terecht komt. Hoe breder en flauwer de vooroever, hoe geringer het zeewaarts verlies zal zijn dat tijdens de uitvoering plaatsvindt.
- Evenals bij een strandsuppletie, zal er bij een vooroeversuppletie herverdeling van zand plaatsvinden. In vergelijking tot een steile voor-

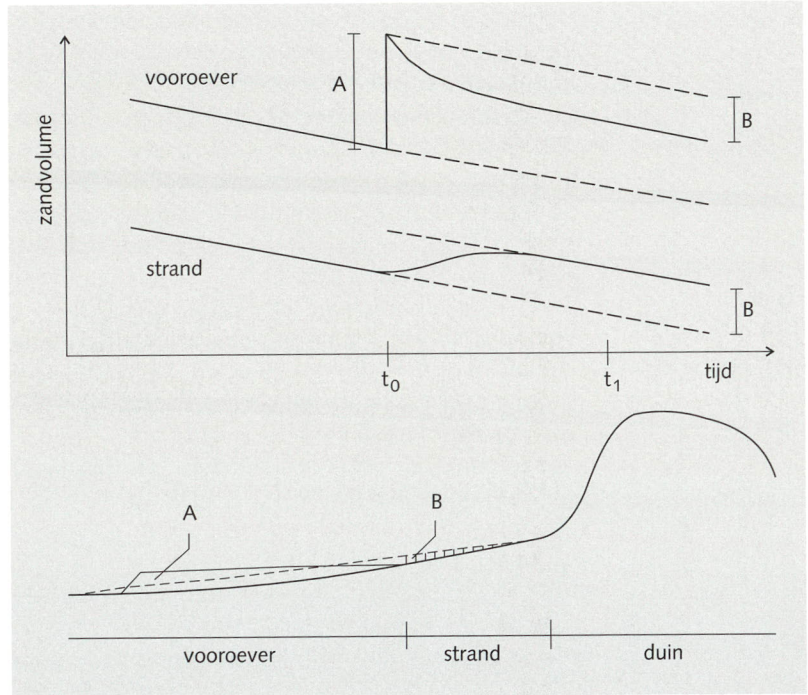


Fig. 4.25 Indirecte voeding van het strand door de uitvoering van een vooroeversuppletie.

oever zal bij een relatief brede, flauw hellende vooroever het zee-
waarts verlies trager op gang komen. Het gesuppleerde zand blijft
langer voor het kustvak behouden. Hierdoor kan een groot deel van
de gesuppleerde zandhoeveelheid gedurende een langere periode
aan de kustprocessen in het kustvak deelnemen (indirecte voeding
van het strand).

Op zichzelf staande vooroeversuppleties zijn in Nederland tot dusver
nog maar zelden uitgevoerd (wel in combinatie met strandsuppletie).
Als gevolg hiervan is er ten aanzien van het ontwerp van vooroever-
suppleties nog weinig kennis aanwezig. In 1993 is, in het kader van het
NOURTEC project, voor de kust van Terschelling de eerste grootschali-
ge vooroeversuppletie in Nederland toegepast. Ongeveer 2 miljoen m³
zand is daar, tussen twee brandingsruggen, aangebracht.

Indien de toepassing van een vooroeversuppletie wordt overwogen,
kan nuttige informatie worden verkregen uit de studie naar de moge-
lijkheden om de ontwikkeling van het dwarsprofiel met behulp van
vooroeversuppleties te beïnvloeden. Deze studie is in opdracht van
Rijkswaterstaat door het Waterloopkundig Laboratorium uitgevoerd
[RWS, TR14 (1989)]. In de nota 'Suppletie op de onderwateroever, een
reëel alternatief voor strandsuppletie?' [RWS (1991-b)] is een vergelij-
king gemaakt tussen vooroeversuppleties en strandsuppleties.

ontwerp in relatie tot de plaats op de vooroever

Bij het ontwerp van een vooroeversuppletie die hoog (grenzend aan het
strand) in het dwarsprofiel wordt aangebracht, kan gebruik worden ge-
maakt van de ervaringen die zijn opgedaan bij de uitvoering van
strandsuppleties. Dergelijke vooroeversuppleties zullen veelal in combi-
natie met een strandsuppletie worden uitgevoerd. De eventueel beoog-
de voeding van het strand komt relatief snel op gang.

Een vooroeversuppletie die laag in het kustprofiel wordt aangebracht,
kan sterk onderhevig zijn aan de werking van het getij. Met een derge-
lijke suppletie wordt beoogd het zandverlies op de vooroever te com-
penser. Het initieel verlies dat als gevolg van de optredende dwars-
en langtransportprocessen optreedt, zal relatief groot zijn.

ontwerp in relatie tot de (indirecte) voeding van het strand

De indirecte voeding van het strand is het gevolg van een vervorming

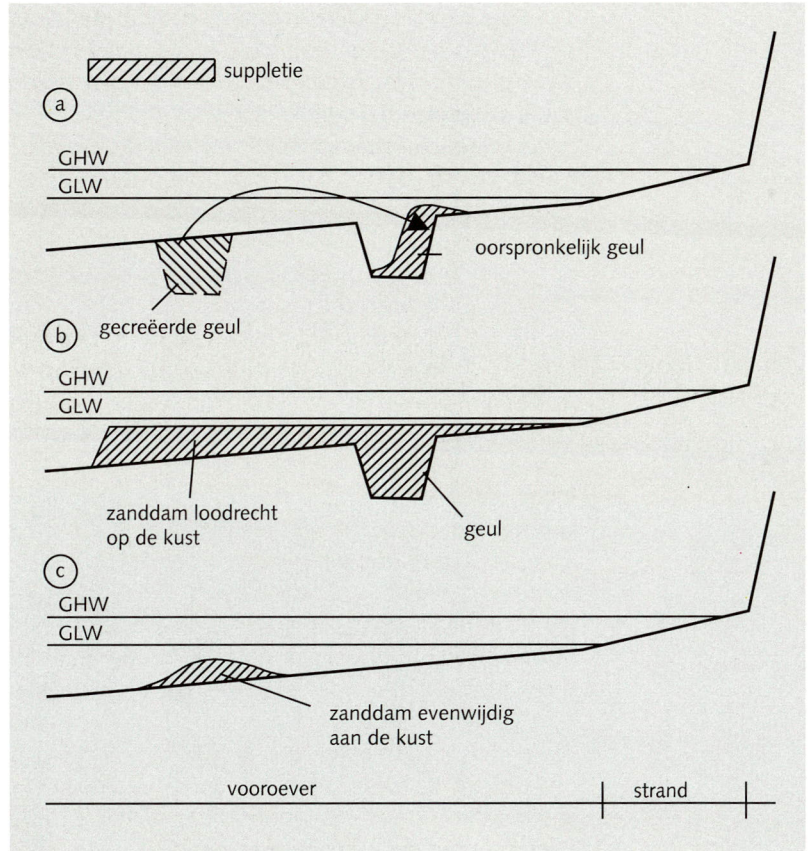


Fig. 4.26 Beïnvloeding van het morfologisch systeem door de toepassing van een zandsuppletie.

van de suppletie in de dwarsrichting. De mate en de snelheid van deze vervorming zijn afhankelijk van de lokaal optredende dwarstransportprocessen. De beoogde voeding van het strand zal daarom vertraagd op gang komen (fig. 4.25).

Een deel van de zandsuppletie zal in zeewaartse richting worden getransporteerd. De benodigde zandsuppletie zal dus aanmerkelijk groter moeten zijn dan voor de eigenlijke compensatie van de stranderosie noodzakelijk is.

ontwerp bij specifieke gevallen

In specifieke gevallen kan het morfologisch systeem door de toepassing van een vooroeversuppletie in gunstige zin worden beïnvloed door:

- geulverlegging of geulafsluiting;
- aanleg van een onderwaterdam.

Wel moet vooraf worden nagegaan of een vooroeversuppletie in bovenbeschreven vorm geen ongewenste morfologische neveneffecten met zich meebrengt.

Indien er opdringende (getij)geulen op de vooroever aanwezig zijn, dient de bestrijding van de hiermee samenhangende erosie voornamelijk gericht te zijn op het van de kust weghouden van de in de geul heersende stromingen.

Bij een diepe, opdringende geul waarin een sterke stroming heerst, is een periodieke suppletie in de geul of direct landwaarts van de geul immers veelal een dure oplossing; het gesuppleerde zand zal relatief snel door de stroming worden afgevoerd.

De toepassing van vooroeversuppleties kan worden overwogen op plaatsen waar de geul bescheiden afmetingen heeft en de heersende stromingen niet al te sterk zijn. De volgende mogelijkheden kunnen dan worden overwogen:

- geulverlegging;
Met een lokale zandwinning zeewaarts van de geul kan in feite een geulverlegging worden gerealiseerd (fig. 4.26-a). Door met het gewonnen zand de oude geul te dichten, worden de heersende stromingen naar de gecreëerde geul afgeleid.
- geulafsluiting;
Een andere mogelijkheid is om de geul door middel van één of meer loodrecht op de kust uitgebouwde zanddammen af te sluiten (fig.

4.26-b). Door de afsluiting en door het kopeffect wordt de stroming van de kust weggehouden (zie par. 4.4.5). Hierdoor zal de erosie aan weerszijden van de dammen afnemen. Indien de geul zich op het nieuwe stromingspatroon instelt, kan met deze werkwijze een zeewaartse geulverplaatsing worden bewerkstelligd.

Een vooroeversuppletie kan ook worden uitgevoerd in de vorm van een onderwaterdam in langsrichting (fig. 4.26-c). Hierdoor vindt een reductie plaats van de golfaanval op de kust, waardoor het langstransport in de brandingszone afneemt.

4.3.5 Evaluatie van zandsuppleties

De evaluatie van zandsuppleties verschaft kennis van en inzicht in het gedrag van de suppleties. Op basis van de gegevens die op deze wijze zijn verkregen, kan een optimalisatie van het ontwerp van volgende suppleties plaatsvinden (plaats, volume, levensduur, korreldiameter). [Zie ook Roelse (1995).]

In veel gevallen gaat het bij de evaluatie van een zandsuppletie om de beoordeling van de mate waarin de gehaalde levensduur overeenstemt met de oorspronkelijk geplande levensduur.

In de evaluatie speelt ook het doel van de suppletie een rol. Als de suppletie werd uitgevoerd omdat de breedte van het strand te smal was, dient een andere 'evaluatie-techniek' te worden toegepast dan wanneer de suppletie was bedoeld om de ligging van de kustlijn te handhaven. In deze paragraaf wordt verder voornamelijk naar het volume zand gekeken.

De begrenzing van het te evalueren gebied moet in ieder geval de begrenzing van het dynamisch kustgebied omvatten (zie par. 3.4.4). Voorafgaand aan de uitvoering van een suppletie moet de zandinhoud van het betreffende kustvak met behulp van kustmetingen worden bepaald. Na het aanbrengen van de suppletie wordt dat opnieuw gedaan. Door de zandinhoud gedurende een aantal jaren te bepalen en vervolgens een (lineaire) trend-analyse uit te voeren, wordt een indruk verkregen van de optredende sedimentatie- of erosiepatronen. Hiervoor moet over een periode van minimaal 4 à 5 jaar een jaarlijkse kustmeting beschikbaar zijn.

Voor elke suppletie kan door middel van extrapolatie van de berekende trend van de zandhoeveelheid, een schatting van de levensduur worden gemaakt. Daarbij kan voor relatief korte perioden (4 à 5 jaar) gebruik

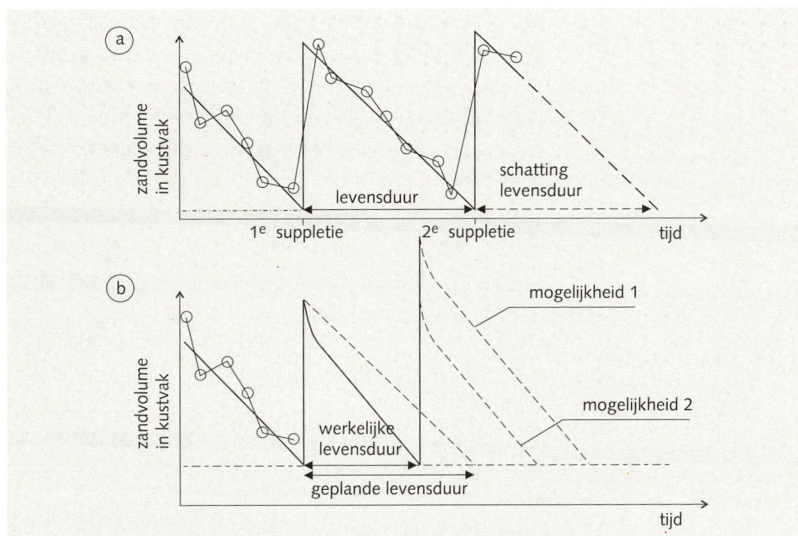


Fig. 4.27 De evaluatie van de levensduur van een zandsuppletie:

- a. schatting voldoet;
- b. schatting voldoet niet; aanpassing is gewenst.

Locatie	jaar van uitvoering	voornaamste doel
Ameland	1980	veiligheid, bescherming duin en natuurgebieden
Texel	1979, 1984, 1985	bescherming duin- en natuurgebieden en camping
Scheveningen	1975	strandrecreatie, veiligheid
Voorne	1977	veiligheid, bescherming van natuurgebied
Goeree	1973, 1977	veiligheid
Westkapelle	1984	veiligheid

Na evaluatie kon worden geconcludeerd dat:

- van de 9 geëvalueerde suppleties er 5 aan de doelstelling met betrekking tot de geplande levensduur hebben voldaan; er 3 naar alle waarschijnlijkheid hieraan zullen voldoen en dat slechts de suppletie Texel/Eierland-1985 hier niet aan zal voldoen;
- strandsuppleties met betrekking tot de levensduur (ook binnen de grillige natuurlijke omstandigheden aan de kust) goed zijn te dimensioneren;
- de toepassing van strandsuppleties als methode van kustverdediging vanuit morfologisch standpunt gezien als effectief kan worden beschouwd. De optredende erosie kan tegen relatief geringe kosten worden gecompenseerd.

Fig. 4.28 Evaluatie van enkele uitgevoerde strandsuppleties langs de Nederlandse kust [RWS, "Evaluatie strandsuppleties" (1987)].

worden gemaakt van een lineaire extrapolatie. Vervolgens kan de verkregen schatting van de levensduur met de geplande levensduur worden vergeleken. Het ontwerp van de volgende suppletie kan hierop worden afgestemd. Daarbij zijn er twee mogelijkheden:

- de geplande levensduur wordt gehaald (fig. 4.27-a);
Het ontwerp voldoet aan de gestelde verwachting. De autonome kustontwikkeling (morfologisch systeem), waarvan bij het ontwerp van de betreffende zandsuppletie is uitgegaan, blijkt niet significant (negatief of positief) door de uitvoering van de zandsuppletie te zijn beïnvloed.
- de geplande levensduur wordt niet gehaald (fig. 4.27-b).
Mogelijkheden voor de volgende suppletie zijn:
 - het ontwerp (grootte en plaats van de zandsuppletie, korrel-diameter) zodanig aan te passen dat de geplande levensduur wel zal worden gehaald;
 - de gevonden levensduur te accepteren (bijvoorbeeld door gebrek aan beschikbare ruimte voor het suppletievolumen). De volgende suppleties worden dan ontworpen op basis van de gevonden (haalbare) levensduur.

In 1987 is door Rijkswaterstaat een aantal strandsuppleties geëvalueerd. De evaluatie is beperkt tot een negental strandsuppleties die in recente jaren waren uitgevoerd en bovendien een behoorlijke omvang hadden (fig. 4.28). De bevindingen van deze evaluatie zijn samengevat in de nota 'Evaluatie strandsuppleties' [RWS (1987)]. Een latere evaluatie is door Roelse (1995) uitgevoerd. Van der Putten et al. (1994) hebben onderzoek gedaan naar de ecologische effecten van zandsuppleties.

4.3.6 Zandwinning

Tot voor kort werd zand voor zandsuppleties langs de Waddenkust gewonnen in de getijgeulen tussen de eilanden (Borndiep, Robbengat) en in de aangrenzende buiten- en binnendelta's. Tegenwoordig wordt het zand verderop in zee gewonnen.

Voor de Hollandse kust wordt zand gewonnen zeewaarts van de NAP - 20 m lijn en in de toegangsgeulen tot de grote havens.

Voor de Deltakust wordt voornamelijk zand gewonnen uit de voordelta. In vele gevallen kan er 'werk met werk' worden gemaakt, bijvoorbeeld bij baggerwerkzaamheden ten behoeve van de scheepvaart (fig. 4.29).

De vaarafstand is een belangrijke kostenfactor bij de zandwinning. Mede daarom doet zich de vraag voor hoe dicht onder de kust de gewenste hoeveelheid zand mag worden gewonnen, zonder dat er nadelige effecten op het kustgedrag (kustlijn) zullen optreden. In opdracht van Rijkswaterstaat is een studie uitgevoerd naar zandwinlocaties dicht onder de kust [RWS, TR10 (1989)]. In deze verkennende studie zijn daarover enige gedachten uitgewerkt.

Aan de kwaliteit van het suppletiezand worden in het algemeen eisen gesteld. Deze eisen betreffen voornamelijk:

- korrelkarakteristieken, zoals de korrelgradatie en de korrelvorm (ontwerp, uitvoering);
- verontreinigingen, zoutgehalte (ontzilting) en slibgehalte (reductie levensduur, aantasting functies: waterwinning, recreatie, natuur). Oplettendheid is geboden bij het gebruik van zand dat vrij is gekomen tijdens baggerwerkzaamheden in en rondom havens; het zand kan verontreinigd zijn.

De kwaliteitseisen met betrekking tot verontreinigingen en slibgehalte van het suppletiezand vloeien voort uit wetten en verordeningen. Voor een uitvoerige behandeling van zandwinning in relatie tot de uitvoering van een suppletie, wordt verwezen naar paragraaf 4.7.2 van het 'Handboek zandsuppleties'.

Naast het gedrag van de suppletie zelf, dient ook het gedrag van de zandwinlocatie te worden geëvalueerd. In dit verband kan worden gekeken naar:

1. morfologische ontwikkelingen;
2. bruikbaarheid voor toekomstige zandwinning;
3. herstel van het natuurlijk milieu.

ad 1. morfologische veranderingen

Er moet worden nagegaan of er met de zandwinning ongewenste morfologische ontwikkelingen in gang zijn gezet. Zo kunnen zandwinkuilen zich landwaarts verplaatsen, het stromings- en het golfbeeld kan nadelig worden beïnvloed en getijgeulen kunnen verder opdringen.

De winning van zand kan echter ook een positieve invloed op het kustgedrag hebben. Door de winning van het zand kan bijvoorbeeld een geul in zeewaartse richting worden verlegd.



Fig. 4.29 Winning van zand.

ad 2. bruikbaarheid voor toekomstige zandwinning

Indien ook in de toekomst zand moet worden gewonnen op de betreffende zandwinlocatie, dan zijn de snelheid waarmee de winput wordt opgevuld en de kwaliteit van het materiaal (slibgehalte, korrelkarakteristieken) van belang.

ad 3. herstel van het natuurlijk milieu

Aandachtspunt bij de winning van zand is de eventuele schade aan bodemfauna en -flora door vertroebeling van het water in de omgeving van de locatie en door uitvlakking van de bodem nabij de randen van de winput. Er wordt in dit verband verwezen naar hoofdstuk 5 uit het 'Handboek zandsuppleties' ('Milieu-effecten van zandwinning en zandsuppletie').

De winning van zand in een bepaald gebied kan slechts plaatsvinden nadat de beheerder van het desbetreffende gebied hiervoor een vergunning heeft verleend. Aan deze vergunningen liggen wetten en verordeningen ten grondslag.

Voor een uitvoerige behandeling van deze wetten en verordeningen die betrekking hebben op de winning van zand wordt verwezen naar paragraaf 4.6.6 van het 'Handboek zandsuppleties'. In dit basisrapport worden slechts de wetten en reglementen vermeld die belangrijk zijn voor de zandwinning ten behoeve van de toepassing van een zandsuppletie uit het oogpunt van kustverdediging, te weten:

- Ontgrondingenwet en het Rijksreglement Ontgrondingen;
- Rivierenwet en Baggerreglement.

Op grond van de Ontgrondingenwet en het Rijksreglement Ontgrondingen is een vergunning van het Rijk nodig voor de zandwinning in de volgende gebieden:

- Noordzee, Waddenzee;
- IJsselmeer, Veerse Meer, Grevelingen Meer, Brielse Meer;
- zomerbed van rijksrivieren en -stromen waarop de Rivierenwet niet van toepassing is;
- Rijkskanalen.

Als er een zandwinning voorzien is in een gebied dat bij het Rijk in beheer is maar niet tot de hierboven genoemde gebieden behoort, dan is een vergunning nodig op basis van de Rivierenwet of het Baggerreglement.



Fig. 4.30 Bestorting.



Fig. 4.31 Duinvoetverdediging.

In de zeearmen ligt de overgang van Rivierenwet/Baggerreglement naar Ontgrondingenwet/Rijksreglement Ontgrondingen meestal enige kilometers binnen de kustlijn.

4.4 Harde kustverdedigingsmaatregelen

4.4.1 Algemeen

Harde kustverdedigingsmaatregelen zijn langs de Nederlandse kust in de loop der tijd veelvuldig toegepast in de vorm van:

- dijken;
- bestortingen en zinkwerken;
- strandhoofden en paalrijen (of paalschermen);
- duinvoetverdedigingen en strandmuren;
- vooroeververdedigingen.

Met de toepassing van harde kustverdedigingsmaatregelen wordt primair beoogd zodanig in het kuststelsel in te grijpen, dat een als ongewenst ervaren ontwikkeling in het kustgedrag of het morfologisch stelsel teniet wordt gedaan of in gunstige zin wordt beïnvloed (zie par. 4.4.2). Harde verdedigingsmaatregelen kunnen worden onderscheiden naar de mate waarin het flexibel gedrag van een dwarsprofiel wordt beïnvloed:

- Met dijken, en in enkele gevallen met strandmuren, wordt het zandig dwarsprofiel bijna geheel vervangen door een harde constructie. In veel gevallen wordt bovendien het dwarsprofiel direct zeewaarts van dergelijke constructies met behulp van bestortingen of zinkwerken vastgelegd (fig. 4.30). Hierdoor is er dus geen sprake meer van een flexibele waterkering.
- Met duinvoetverdedigingen (fig. 4.31) en strandmuren (fig. 4.32) wordt alleen het hoger gelegen deel van het dwarsprofiel vastgelegd. De beoogde werking van deze verdedigingsmaatregelen is erop gericht te verhinderen dat dit deel van het dwarsprofiel kan eroderen en aldus een rol in de kustprocessen kan meespelen; de ondergrond wordt beschermd. Deze harde verdedigingsmaatregelen leggen het flexibel gedrag van een zandige waterkering (gedeeltelijk) aan banden.
- Met een verdediging door strandhoofden (fig. 4.33) of paalrijen en door vooroeververdedigingen (dammen), wordt het flexibele karakter van het dwarsprofiel niet of nauwelijks beïnvloed. Deze verdedi-



Fig. 4.32 Strandmuur.



Fig. 4.33 Strandhoofd.

gingsmaatregelen zijn erop gericht om erosie als gevolg van kustprocessen in langsricting (golven, stromingen) tegen te gaan.

Met betrekking tot vooroeververdedigingen geldt dat bestortingen, zinkwerken of dammen evenwijdig aan de kust (detached breakwaters) al veelvuldig in het buitenland zijn toegepast; in Nederland nog niet.

4.4.2 De beoogde werking van harde kustverdedigingsmaatregelen

In paragraaf 2.2.2 is reeds een onderscheid gemaakt tussen twee manieren waarop een kust kan worden aangetast:

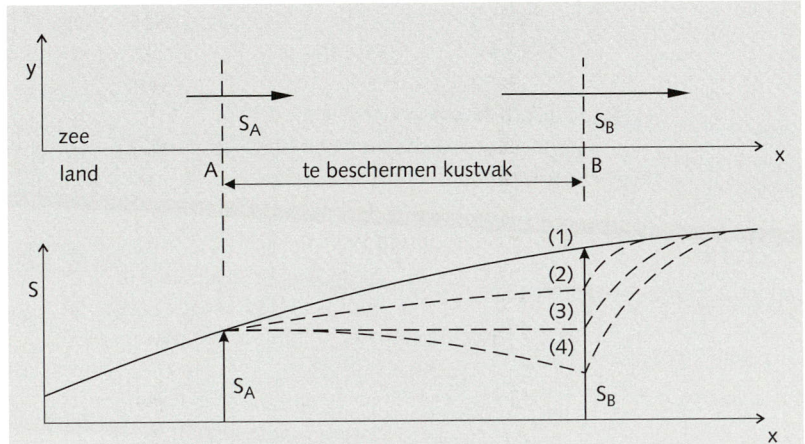
- structurele kusterosie;
- duinafslag tijdens een (zware) stormvloed.

In beide gevallen is er uiteindelijk sprake van een verlies aan duingebied. Bij structurele kusterosie is dat verlies blijvend; bij duinafslag betreft het slechts een tijdelijk verlies.

Structurele kusterosie wordt vaak veroorzaakt door een positieve gradiënt in het langstransport op het strand of op de vooroever. Met sommige harde maatregelen is het mogelijk om het langstransport zodanig te beïnvloeden, dat de structurele kusterosie in een zeker kustvak kan worden gestopt of gereduceerd (fig. 4.34).

Uit figuur 4.34 blijkt dat, strikt genomen, op ieder punt langs het kustvak een andere reductiefactor van het langstransport nodig is om de beoogde transportverdeling (lijn 3 in deze figuur) te bewerkstelligen. Dit vereist een nauwkeurige afstemming van de toe te passen harde verdedigingsmaatregelen op de optredende zandtransportprocessen. Het is mogelijk dat het beoogde doel niet geheel zal worden bereikt en er slechts sprake zal zijn van een reductie van de mate van erosie (lijn 2 in fig. 4.34). Het is echter ook mogelijk dat het doel voorbij wordt geschoten, waardoor na de aanleg van harde verdedigingsmaatregelen aanzanding in het verdedigde kustvak zal plaatsvinden. In dat geval zal de lijzijde-erosie echter ook groter zijn (lijn 4 in fig. 4.34).

Duinafslag tijdens een (zware) stormvloed is een typisch voorbeeld van een snelverlopend dwarstransportproces (zie par. 3.4.2 en 6.2). Het is in principe mogelijk om met harde verdedigingsmaatregelen zodanig in dit dwarstransportproces in te grijpen, dat een reductie van de mate van duinafslag tijdens een ontwerpstormvloed kan worden bereikt.



In de bovenstaande figuur is in bovenaanzicht een eroderend kustvak weergegeven. De erosie in het kustvak wordt geacht te zijn veroorzaakt door een naar rechts toenemend langstransport ($S_B > S_A$). Er wordt nu verondersteld dat de erosie in het kustvak AB dient te worden bestreden.

Een nodige en afdoende oplossing van het erosie-probleem in het kustvak AB is dat de aanwezige langstransportverdeling (1) wordt veranderd in langstransportverdeling (3). Als deze langstransportverdeling inderdaad kan worden bewerkstelligd, dan is het erosieprobleem in het kustvak AB ook daadwerkelijk opgelost. Bij de langstransportverdeling (2) is de erosie slechts gedeeltelijk gereduceerd. In het geval er aanzanding van het kustvak AB wordt bereikt, is de langstransportverdeling (1) blijkbaar zelfs veranderd in de langstransportverdeling (4).

Omdat rechts van B geen maatregelen zijn voorzien, zal de oorspronkelijke transportcapaciteit daar nog onveranderd aanwezig zijn; de erosie zet zich voort. Bovendien treedt er direct rechts van B een vergroting van de gradiënt in het langstransport op. Het gevolg hiervan is een versterkte erosie juist rechts van B (lijzijde-erosie). Hieruit blijkt dat het oorspronkelijke erosieprobleem in feite is verplaatst naar het gebied dat rechts van B is gesitueerd.

Hoe groter de ingreep van de verdedigingsmaatregel is voor het kustvak AB, hoe groter ook de vergroting is van de langstransportgradiënt en dus ook de lijzijde-erosie direct rechts van B.

Fig. 4.34 De beoogde werking van harde kustverdedigingsmaatregelen op structurele kusterosie.

In de volgende paragrafen zullen de harde maatregelen die in paragraaf 4.4.1 zijn genoemd, worden beschreven. Hierbij zal ondermeer worden gelet op de beoogde werking van deze maatregelen.

4.4.3 Dijken

Zeedijken die van doorgaande bestortingen zijn voorzien, vallen buiten het kader van dit basisrapport. Hoewel de grenzen uiteraard niet scherp zijn te trekken, worden kustvakken waar geen droog strand meer voor de dijk of bestorting voorkomt in dit basisrapport buiten beschouwing gelaten.

Kustvakken die soms al van oudsher van dijken met doorgaande bestortingen zijn voorzien, vormen elementen in het zandige kuststelsel die hun invloed terdege doen gelden. In veel gevallen is er sprake van een lange ontstaansgeschiedenis, waarbij door steeds verdere uitbreidingen en aanpassingen uiteindelijk de huidige constructies zijn ontstaan. Als voorbeelden kunnen worden genoemd:

- de Helderse Zeewering;
- de Pettemer Zeewering (fig. 4.35);
- de Hondsbossche Zeewering (fig. 4.35);
- de Westkappelse Zeewering;
- Zeeuws-Vlaamse Noordzee-dijken.

In veel gevallen is er geen sprake meer van een begaanbaar strand voor deze constructies. Het zijn dan ook voorbeelden waarbij door de toepassing van harde kustverdedigingsmaatregelen, wellicht onbedoeld en ongewenst, ontwikkelingen in gang werden gezet die uiteindelijk leidden tot kustvakken waarvan het karakter totaal afwijkt van het karakter van de aangrenzende kustvakken.

Bij de aanwezigheid van zeedijken moet extra aandacht worden geschonken aan de overgang naar een duinenkust; de zogenaamde aansluitingsconstructies. In wezen is de problematiek hiervan dezelfde als die van de beëindiging van een duinvoetverdediging. Hier wordt in paragraaf 4.4.6 verder op ingegaan.



Fig. 4.35 De Hondsbossche en Pettemer Zeewering.

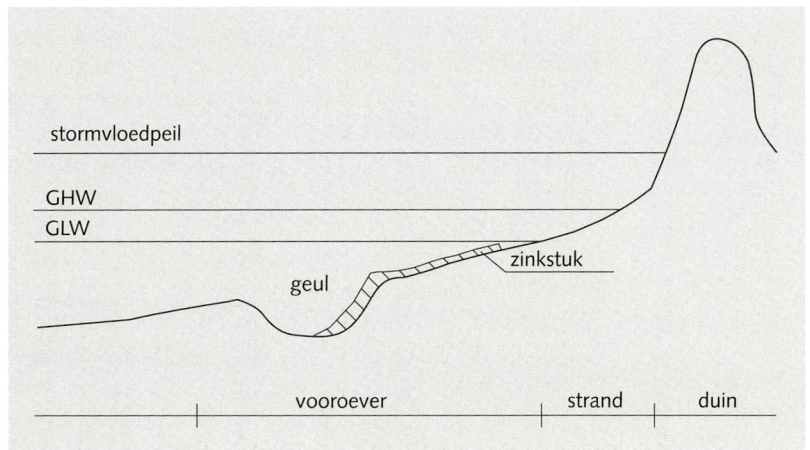


Fig. 4.36 Vastlegging van de vooroever met een zinkstuk.

4.4.4 Bestortingen en zinkwerken

De toepassing van bestortingen of zinkwerken kan om de volgende redenen worden overwogen:

1. verzekering van de stabiliteit en standzekerheid van constructies;
2. vastlegging van de vooroever.

ad 1. verzekering van de stabiliteit en standzekerheid van constructies

Bestortingen en zinkwerken worden vaak toegepast in combinatie met harde verdedigingsmaatregelen zoals dijken en strandhoofden. Door de omliggende bodem met behulp van bestortingen vast te leggen, wordt beoogd de stabiliteit en standzekerheid van deze constructies te verzekeren.

Het spreekt vanzelf dat bestortingen in de combinatie met dijken in de langsrichting zijn doorgetrokken. De afstand waarover de bestorting zeewaarts wordt doorgezet, wordt bepaald door de mate waarin ontgrondingskuilen een gevaar voor de stabiliteit vormen.

Bestortingen in combinatie met constructies als strandhoofden worden veelal niet in de langsrichting doorgetrokken, maar geconcentreerd rondom de constructie aangebracht, omdat daar de mogelijke aantasting van de stabiliteit het grootst is. De grootste problemen ontstaan vaak ter plaatse van de zeewaartse beëindiging.

Bestortingen kunnen ook worden toegepast in combinatie met constructies als strandmuren en duinvoetverdedigingen. De bestorting dient de mate van ontgroning tijdens zware hydraulische omstandigheden te reduceren, of de ontgrondingskuil verder zeewaarts van de constructie tot ontwikkeling te laten komen. Hierdoor wordt de standzekerheid en stabiliteit van deze constructies ook tijdens stormvloed verzekerd.

ad 2. vastlegging van de vooroever

Het vastleggen van de vooroever kan een gunstige uitwerking hebben op de stabiliteit van de hoger gelegen delen van het kustprofiel (fig. 4.36). Dit is zeker het geval als de erosie van het strand voornamelijk wordt veroorzaakt door langtransportprocessen op de vooroever. Door de vastlegging van de vooroever kan een opdringende geul uit de kust worden weggehouden.



Fig. 4.37 Strandhoofden.



Fig. 4.38 Paalrijen.

Het vastleggen van de vooroever in een kustvak kan echter grote gevolgen hebben voor het kustgedrag van aangrenzende kustvakken. De verdeling van het langstransport op de vooroever wordt namelijk sterk beïnvloed.

4.4.5 Strandhoofden en paalrijen

Omdat strandhoofden en paalrijen een onderling vergelijkbare werking hebben, worden beide typen constructies gezamenlijk in deze paragraaf behandeld.

In Zeeland, waar het tijverschil tamelijk groot is (plaatselijk meer dan 4 m), zijn veelvuldig zogenaamde paalhoofden toegepast. Een paalhoofd is een combinatie van een strandhoofd en een paalrij; op de kruin van het strandhoofd zijn één of meer rijen houten palen aangebracht.

Strandhoofden zijn relatief lange, slanke elementen die loodrecht op, of onder een grote hoek met de kustlijn in zee steken (fig. 4.37).

Bij onverdedigde duinprofielen is de landwaartse beëindiging van een strandhoofd nabij de duinvoet. Hiermee wordt voorkomen dat er onder normale omstandigheden achterloopsheid van het hoofd kan ontstaan. Indien er duinvoetverdedigingen aanwezig zijn, is het strandhoofd vaak om dezelfde reden tegen deze constructies aangebouwd.

In Nederland zijn strandhoofden meestal gebouwd met loskorrelig materiaal (puin), dat is afgedekt met een netwerk van bloksteen of van een stortwerk van gepenetreerde stenen. De kop en flanken worden vaak beschermd met zinkstukken. Een combinatie van stort- en netwerk kan voorkomen in kustgebieden waar een relatief groot tijverschil heerst; het dieper gelegen deel van het hoofd wordt dan met stortwerk afgedekt, het hoger gelegen deel met netwerk.

In het buitenland komen ook vele andere typen strandhoofden voor (stalen damwanden, losgestorte breuksteendammen, houten schotten en gestapelde zandworsten).

Paalrijen zijn te beschouwen als een technische variant van een strandhoofd (fig. 4.38). Een paalrij bestaat uit een loodrecht op de kust aangebrachte rij houten palen (diameter circa 0,30 m). De palen worden verticaal in het zand gezet met een tussenruimte die ongeveer gelijk is aan de paaldiameter.



Fig. 4.39 In het buitenland worden soms ook strandhoofden gebruikt om een verbreding van het (recreatie) strand te krijgen.

doel van een verdediging met strandhoofden

Strandhoofden zijn in Nederland in het verleden veelvuldig toegepast in kustvakken met structurele kusterosie. Het doel was steeds de kustontwikkeling met een kennelijk erosieve trend om te buigen naar een kustontwikkeling met een minder erosieve trend of met een stabiele of zelfs een aanzandende trend.

In het buitenland worden strandhoofden soms ook aangewend om strandverbeteringen voor de recreatie tot stand te brengen (fig. 4.39). In Nederland is dat aan de Noordzeekust (nog) nimmer het primaire doel geweest.

Het heeft geen zin om strandhoofden aan te leggen met als enig doel de mate van duinafslag tijdens een zware stormvloed te reduceren. Ten aanzien van het duinafslagproces valt er bij een dergelijke toepassing geen direct positief effect te verwachten.

werking van een verdediging met strandhoofden

Structurele kusterosie als gevolg van een gradiënt in het langstransport kan slechts effectief met harde verdedigingsmaatregelen worden bestreden, indien de verdeling van het langstransport daadwerkelijk wordt beïnvloed (zie par. 4.4.2).

Strandhoofden zullen door zowel hun hoogteligging ten opzichte van de omliggende bodem als door hun lengte, de vlak onder de kust aanwezige stromingen en daarmee samenhangende zandtransporten beïnvloeden. Daarom kan in het algemeen worden gesteld dat structurele kusterosie in principe door een verdediging met strandhoofden kan worden bestreden. Het uiteindelijke resultaat is echter sterk afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden.

De beïnvloeding van de kustprocessen geschiedt op twee manieren:

- De kop heeft een stroomregulerend effect, dat kan worden vergeleken met kribben in rivieren. Sterke stromingen, door bijvoorbeeld diepe getijgeulen, worden hierdoor van de kust weggehouden. Het strandhoofd heeft in dit geval de functie om de kop met de duinvoet te verbinden om zodoende achterloopsheid tegen te gaan.
- Het totale strandhoofd onderbreekt de brandingsstroom, waardoor het een reducerende werking heeft op het langstransport in de brandingszone.

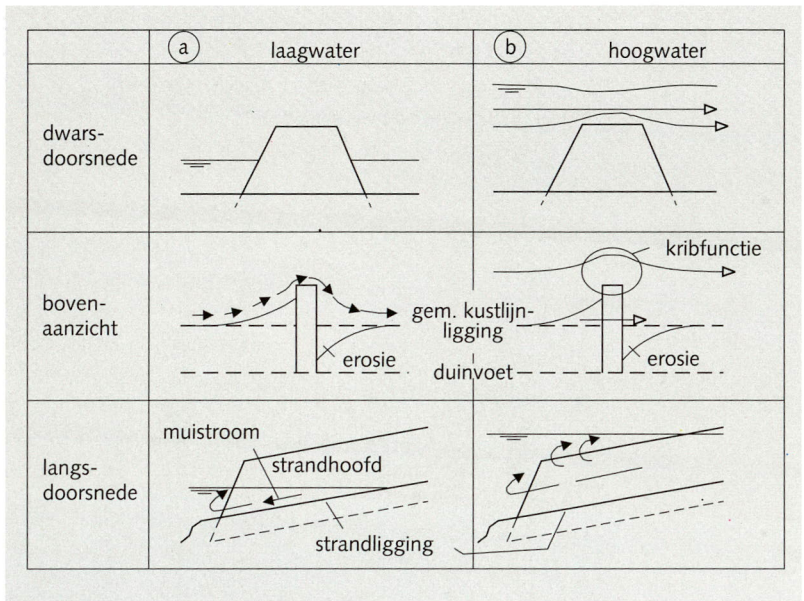


Fig. 4.40 De werking van strandhoofden in getijgebieden tijdens:
a. laagwater;
b. hoogwater.

Bij een goed werkend stelsel strandhoofden zal er vrijwel altijd lijzijde-erosie optreden (fig. 4.34). Aan dit effect valt niet of nauwelijks te ontkomen. Bij de toepassing van een verdediging met strandhoofden dient dus altijd met het optreden van lijzijde-erosie rekening te worden gehouden.

In het voorgaande is aangenomen dat strandhoofden geen wezenlijke invloed op de dwarstransportprocessen uitoefenen. Het is echter de vraag of dat in alle gevallen ook daadwerkelijk opgaat. Voor het optreden van additionele dwarstransporten kunnen ondermeer de volgende twee verschijnselen als oorzaak worden aangemerkt:

- Door de aanleg van strandhoofden kan een verandering van het dynamische evenwicht van het dwarsprofiel plaatsvinden. Het is niet uitgesloten dat de vorm van een dwarsprofiel met een duidelijk langstransport, afwijkt van de vorm van een dwarsprofiel zonder uitgesproken langstransport. Het van nature aanwezige zand in het dwarsprofiel wordt dan herverdeeld. Als hierdoor bijvoorbeeld steilere profielen ontstaan, dan is er sprake van een algemene aangroei van het droge strand.
- Muistromen kunnen door strandhoofden worden gefixeerd, waardoor samen met de golfgedreven langsstroom horizontale circulatiecellen kunnen worden gevormd (zie par. 3.3.5). De mate waarin dat gebeurt en de invloed daarvan op de dwarstransportprocessen zijn ondermeer afhankelijk van de hoogte en de lengte van het strandhoofd, de onderlinge afstand, de grootte van het tijverschil en het aanwezige golfklimaat.

Er zijn thans (nog) geen concrete aanwijzingen beschikbaar dat dwarstransportprocessen door de aanleg van een verdediging met strandhoofden worden beïnvloed. Het verdient aanbeveling om bij eventuele nieuwe toepassingen of aanpassingen van een verdediging met strandhoofden, nader onderzoek naar dit onderwerp uit te voeren.

Ook zijn er nog geen concrete aanwijzingen beschikbaar, die duiden op een beïnvloeding van de migratie en van de karakteristieken van zandgolven [RWS, TR12 (1989)]. De dynamiek van brandingsruggen wordt wel sterk beïnvloed door de aanwezigheid van strandhoofden.

De werking van strandhoofden zal nader worden toegelicht aan de hand van drie algemene gevallen:

1. een kustvak met een (getij)geul vlak onder de kust;

2. een kustvak met getijgedreven stromingen en schuin invallende golven;
3. een kustvak met schuin invallende golven met een duidelijk overheersende golfrichting.

ad 1. een kustvak met een (getij)geul vlak onder de kust

Een al dan niet opdringende (getij)geul vlak onder de kust kan in sommige gevallen worden aangemerkt als de voornaamste oorzaak van structurele kusterosie.

Door de aanleg van strandhoofden, die dan in feite als stroomkribben werken (vergelijk een rivierkrib), kan het verder opdringen van een geul worden tegengegaan en het beoogde doel worden bereikt. Hoe hoger de krib, hoe beter de werking is. Rond de kop van het hoofd treedt echter een sterke stroomcontractie op. De hoge stroomsnelheden die hiermee samenhangen, kunnen lokaal een sterke erosie veroorzaken waardoor de standzekerheid van de kop in gevaar kan komen.

De dimensionering van de strandhoofden luistert in deze gevallen weliswaar minder nauw dan voor ad 2. en ad 3.; een robuust uitgevoerde kop, die hoe dan ook veel onderhoud zal vergen (bestortingen), is echter een voorname ontwerpeis.

ad 2. een kustvak met getijgedreven stromingen en schuin invallende golven

In een kustvak met getijgedreven stromingen en schuin invallende golven kan een (positieve) gradiënt in het langstransport voorkomen als gevolg van (zie par. 3.4.3):

- langs de kust geleidelijk sterker wordende getijgedreven stromingen;
- langs de kust geleidelijk toenemende golfhoogten, waardoor zowel de opwoeling van bodemmateriaal als de golfgedreven stroming worden versterkt.

Door het tijverskil is de feitelijke werking van strandhoofden moeilijk aan te geven. Omstreeks laagwater ontstaat er duidelijk een blokkering van aanwezige stromingen en daarmee van het zandtransport (fig. 4.40-a). Tevens worden stromingen van de kust weggedrukt. In deze fase kunnen er echter zeewaarts gerichte muistromen langs het strandhoofd tot ontwikkeling komen. Wellicht is dat een ongunstig effect (zie par. 3.3.5).

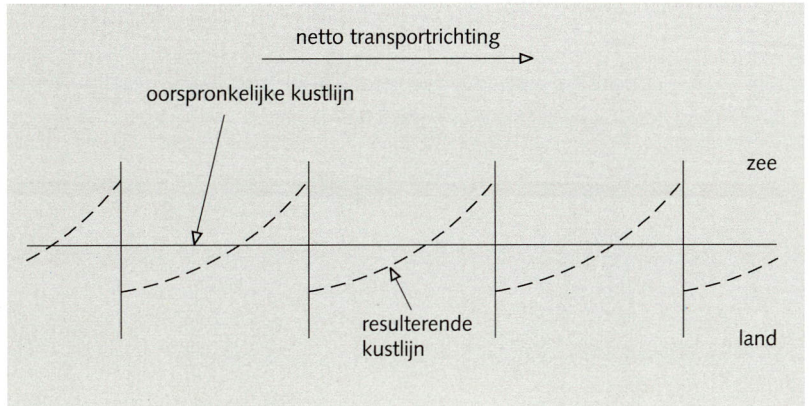


Fig. 4.41 Principe van het zaagtandpatroon.



Fig. 4.42 Zaagtandpatroon.

Omstreeks hoogwater raakt een groot deel van het strandhoofd overstroomd.

Ten opzichte van de toestand zonder strandhoofden is nu de weerstand tegen de stroming verhoogd. Hierdoor zal enige reductie van de stroomsnelheden optreden (fig. 4.40-b).

ad 3. een kustvak met schuin invallende golven met een duidelijk overheersende golfrichting

Op plaatsen waar de golfgedreven langstroom een overheersende rol speelt in het erosieproces, kunnen strandhoofden goed worden toegepast als kustverdedigingsmaatregel. Dit is het geval indien er sprake is van een relatief gering tijverschil en een duidelijk overheersende golf-richting. De zone waar significante langstransporten optreden, is dan beperkt tot voornamelijk de brandingszone (zie par. 3.3.5).

Aan de bovenstroomse zijde van een strandhoofd zal aanzanding optreden. Nadat de aanzanding de kop van het strandhoofd heeft bereikt, zal er zand de kop van het strandhoofd passeren. Op deze wijze ontstaat uiteindelijk in de evenwichtstoestand een karakteristiek zaagtandpatroon in de kustlijn (fig. 4.41 en 4.42). In feite heeft de oorspronkelijke kustlijn een (geringe) hoekverdraaiing ondergaan. Door deze hoekverdraaiing zijn de netto (golfgedreven) langstransporten kleiner geworden. Het langtransport is per vak constant en gelijk aan het bovenstrooms aangeboden transport (fig. 4.34; lijn 3).

De snelheid waarmee de vakken tussen de strandhoofden met zand worden gevuld, is naast het 'volgnummer' van het hoofd, afhankelijk van zowel de grootte van de langstransporten, als van de lengte van de strandhoofden (ten opzichte van de breedte van de brandingszone). Met relatief lange strandhoofden (lengte strandhoofd is ongeveer gelijk aan de breedte van de brandingszone), duurt het relatief lang voordat de aanzanding aan de bovenstroomse zijde is voltooid. Er wordt dan tamelijk rigoureus in het kuststelsel ingegrepen.

ontwerpaspecten

De volgende aspecten spelen een rol bij het ontwerp van een verdediging met strandhoofden en paalrijen:

1. de lengte loodrecht op de kust;
2. de hoogteligging;
3. de breedte;

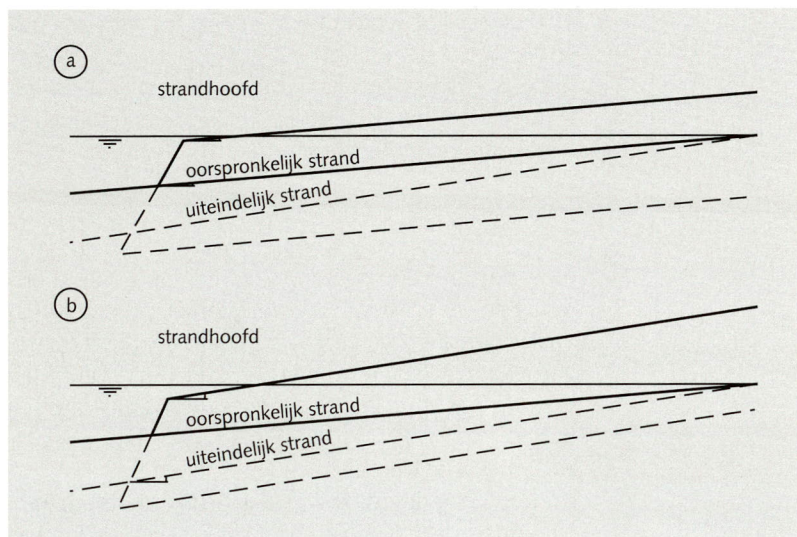


Fig. 4.43 Mogelijke langshelling van strandhoofden:
 a. helling van het oorspronkelijke strand;
 b. helling van het verkregen strand.



Fig. 4.44 Beschadiging van een strandhoofd na een storm.

4. de onderlinge afstand;
5. het toegepaste materiaal;
6. de doorlatendheid;
7. de oriëntatie;
8. de aanlegvolgorde.

ad 1. de lengte

De gewenste lengte van een strandhoofd is afhankelijk van de beoogde reductie van het langstransport. Er zijn echter geen algemeen toepasbare regels beschikbaar waarmee de lengte van strandhoofden of paalrijen kan worden bepaald. Daarom dient elke situatie afzonderlijk te worden beoordeeld. Het is daarbij niet noodzakelijk dat alle strandhoofden in een stelsel een gelijke lengte krijgen.

ad 2. de hoogteligging

De hoogteligging is van belang voor een goede werking van een strandhoofd (de helling dient in dit verband in relatie tot de helling van het strand en de vooroever te worden beschouwd). Een deel van de werking berust op de reductie van stroomsnelheden. Naarmate de strandhoofden hoger boven de (gemiddelde) bodemligging uitkomen, neemt de reductie van de stroomsnelheden toe.

Met betrekking tot de langshelling (van de hoogte) zijn er verschillende werkwijzen mogelijk (in de praktijk komen beide werkwijzen voor):

- langshelling die overeenkomt met de gemiddelde helling van het strand en de vooroever ten tijde van de aanleg (fig. 4.43-a);
- langshelling die overeenkomt met de uiteindelijke helling van het strand en de vooroever (fig. 4.43-b).

Bij de aanleg onder een langshelling die overeenkomt met de oorspronkelijke bodemhelling neemt de initiële werking van deze constructies in zeewaartse richting af. Indien dat ongewenst wordt geacht, kan een flauwere langshelling worden overwogen. In dat geval neemt de hoogte, en dus de werking, in zeewaartse richting minder af.

Bij een gegeven langshelling is de keuze van de kruinhoogte vrij. Een te hoge ligging ten opzichte van de omliggende bodem veroorzaakt echter nadelige secundaire effecten (onder andere als gevolg van golfreflectie, turbulentie, muistromen). Deze effecten kunnen leiden tot beschadigingen en stabiliteitsproblemen (fig. 4.44).



Fig. 4.45 Onderhoud van strandhoofden met zwaar materieel.

Evenals bij de lengte zijn er geen algemeen toepasbare regels beschikbaar voor de bepaling van de hoogte van een strandhoofd ten opzichte van de omliggende bodem.

In het algemeen zal de gemiddelde bodemligging aan weerszijden van een strandhoofd verschillen; de bodemligging aan de bovenstroomse zijde is hoger dan aan de benedenstroomse zijde.

Het komt voor dat een eenmaal aangelegde verdediging met strandhoofden de structurele kusterosie niet in voldoende mate doet afnemen. De verlaging van het strand zet dan door, zij het met een vertraging. De strandhoofden (of paalrijen) komen hierdoor steeds hoger boven de omliggende bodem te liggen.

In het andere geval kan het voorkomen dat de verhoging van het strand zo groot wordt dat de strandhoofden of paalrijen onder het zand dreigen te verdwijnen.

In bovenstaande gevallen kan het wenselijk zijn om de hoogteligging van strandhoofden en paalrijen aan te passen. Voor de behandeling van mogelijke aanpassingen wordt verwezen naar paragraaf 7.4.2.

Verhagen (1988-a) heeft een studie verricht naar de optimale hoogte van de strandhoofden langs de Zeeuws-Vlaamse kust. De resultaten hiervan kunnen van belang zijn indien de aanpassing van de hoogteligging van een stelsel strandhoofden in een kustgebied met sterke, getijgedreven stromingen wordt overwogen.

ad 3. de (kruin)breedte

De weerstand die een strandhoofd uitoefent op de aanwezige stromingen hangt onder andere af van de breedte van het strandhoofd en van het materiaal waaruit het is opgebouwd. (De breedte speelt bij paalrijen natuurlijk geen rol.)

Formeel is de breedte dus een ontwerpparameter. Vaak spelen echter praktische aspecten een overheersende rol bij de vaststelling van de breedte. Van groot belang is bijvoorbeeld de toegankelijkheid van (veelal zwaar) materieel tijdens de aanleg en het onderhoud (fig. 4.45).

ad 4. de onderlinge afstand

Voor de vaststelling van de onderlinge afstand tussen strandhoofden en paalrijen zijn geen algemeen toepasbare regels voorhanden. Een relatie met de (gemiddelde) lengte van (stelsels) strandhoofden of paalrijen ligt

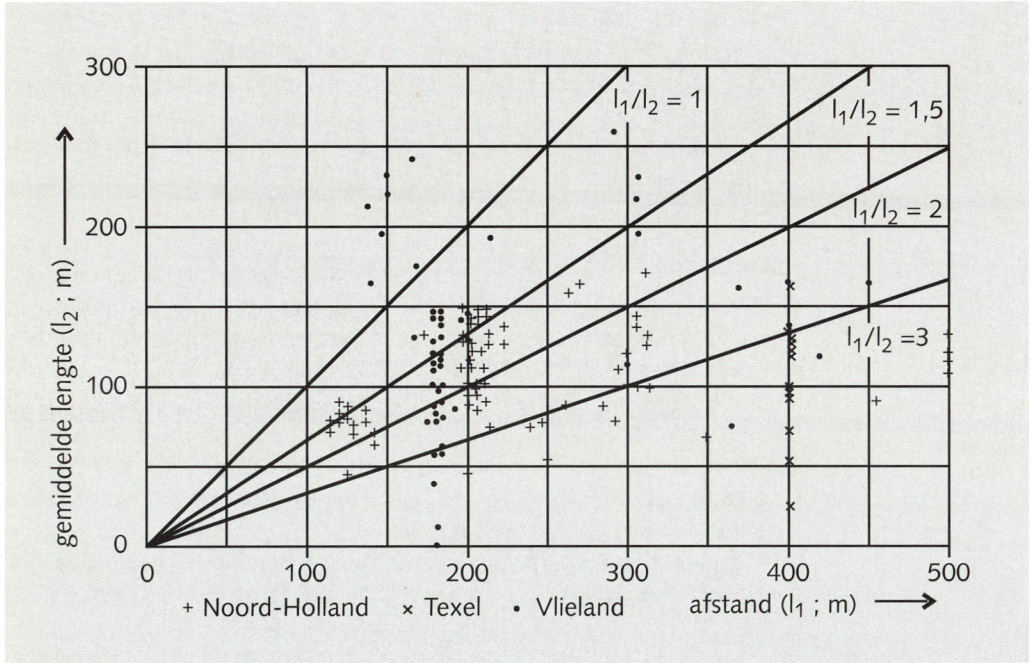


Fig. 4.46 De langs de Nederlandse kust voorkomende verhoudingen tussen de gemiddelde lengte van strandhoofden en de onderlinge afstand.

echter voor de hand.

Uit figuur 4.46 blijkt dat, in Nederland alleen al, stelsels van strandhoofden met uiteenlopende verhoudingen tussen de onderlinge afstand en de lengte zijn toegepast.

ad 5. het materiaal

Het valt buiten het kader van dit basisrapport om uitvoerig op de materiaalkeuze voor de aanleg van strandhoofden of paalrijen in te gaan. Er wordt volstaan met een opsomming van enkele aspecten waaraan bij de materiaalkeuze aandacht dient te worden geschonken:

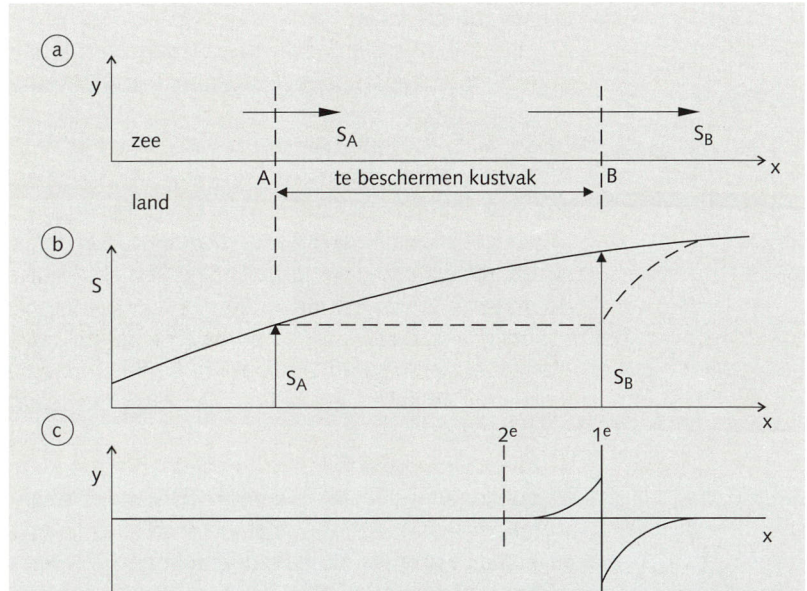
- weerstand bieden aan stroom- en golfkrachten (ook als deze toemenen als gevolg van een verdere bodemverlaging);
- bestendigheid tegen de inwerking van het zeewater en de aangroei van zeedieren;
- toegankelijkheid tijdens de aanleg en het onderhoud;
- opvang van effecten die voortvloeien uit lokale ontgrondingen;
- minimale hinder voor de strandrecreatie;
- gemak waarmee aanpassingen kunnen worden uitgevoerd (lengte, hoogteligging).

ad 6. de doorlatendheid

De strandhoofden die in Nederland gewoonlijk worden toegepast, zijn ondoorlatend. Bij paalrijen (en paalhoofden) is de doorlatendheid, dat wil zeggen de grootte van de openingen tussen de palen, juist een belangrijk ontwerpaspect.

De opgewekte weerstand door paalrijen hangt samen met de hoogteligging en de doorlatendheid. Een vergroting van de weerstand wordt vaak eerder verwezenlijkt door toepassing van een dubbele rij, dan door een verkleining van de onderlinge afstand van de palen. Als namelijk de onderlinge afstand wordt verkleind, nemen de stroomkrachten op de palen toe. Als de spleet tussen de palen te nauw is, kunnen, vrijwel gedurende een gehele getijcyclus, sterke muistromen tot ontwikkeling komen. Tevens zal een sterke stroomcontractie tussen de palen optreden. Beide effecten kunnen aanleiding geven tot het ontstaan van diepe ontgrondingskuilen.

Het is mogelijk om de doorlatendheid nabij de zeewaartse beëindiging geleidelijk te vergroten. De stroomcontractie rond de kop wordt dan enigszins gereduceerd.



In bovenstaande figuur is in bovenaanzicht een eroderend kustvak weergegeven (a). De erosie in het kustvak kan het gevolg zijn van zowel een naar rechts in grootte toenemend langstransport ($S_B > S_A$), als een naar links in grootte toenemend langstransport ($S_B < S_A$). Er wordt in dit voorbeeld verondersteld dat de erosie in het kustvak AB het gevolg is van $S_B > S_A$ en dat de erosie wordt bestreden door de toepassing van een verdediging met strandhoofden (b).

Is de begrenzing van het te verdedigen kustvak gegeven, dan kan het eerste hoofd het best worden aangelegd op de rand waar de beoogde reductie van het langstransport de grootste waarde heeft. Met de lijzijde-erosie die hierbij optreedt is (als het goed is) al voor de aanleg rekening gehouden. Vervolgens wordt de kustontwikkeling in de nabijheid van het hoofd gevolgd (c). Naar bevind van zaken kan vervolgens tot de aanleg van een volgend hoofd worden overgegaan. Deze werkwijze kan worden voortgezet totdat uiteindelijk het gehele kustvak met strandhoofden is verdedigd.

Indien het eerste hoofd op een willekeurige locatie in het kustvak AB zou worden aangelegd, dient het volgend aan te leggen hoofd telkens eerst de lijzijde-erosie van zijn voorganger te compenseren. Doordat voorafgaand aan de aanleg van ieder volgend hoofd de kustontwikkeling gedurende een bepaalde periode wordt gevolgd, kan met de bovenbeschreven werkwijze tevens een goede schatting van de onderlinge afstand worden verkregen.

Fig. 4.47 De aanlegvolgorde van een verdediging van strandhoofden of paalrijen.

ad 7. de oriëntatie

Strandhoofden en paalrijen worden veelal loodrecht op de kustlijn aangelegd. Hoewel vooral in het buitenland soms ook duidelijk afwijkende oriëntaties voorkomen, zijn daar uit kustwaterbouwkundig oogpunt geen duidelijke redenen voor aan te geven.

ad 8. de aanlegvolgorde

In figuur 4.47 is het kustvak uit figuur 4.34 opnieuw in beeld gebracht. Kustvak AB blijkt te eroderen en wordt met strandhoofden verdedigd. Voor de bepaling van de aanlegvolgorde is het van groot belang om inzicht in de heersende langstransportverdeling te hebben. Daarbij speelt de kennis van het lokale kustgedrag een belangrijke rol.

evaluatie van de werking van een verdediging met strandhoofden en paalrijen

In het verleden is de werking geëvalueerd van een aantal kustverdedigingsprojecten langs de Nederlandse kust waarbij strandhoofden of paalrijen zijn toegepast.

Voor de evaluatie van de werking van de stelsels strandhoofden in Noord-Holland, op Texel en Vlieland, wordt verwezen naar Rakhorst en Beenker (1982) en Rakhorst (1984).

Verhagen en Butter (1985) evalueerden de werking van stelsels strandhoofden langs de Zeeuws-Vlaamse kust.

In het rapport 'Strandhoofden en paalrijen' [RWS, TR12 (1989)] wordt een integrale evaluatie-studie met betrekking tot stelsels strandhoofden beschreven.

Omdat uit de evaluatie niet overtuigend bleek dat de bestaande strandhoofden en paalrijen in alle gevallen een gunstig effect op de kustontwikkeling hebben gehad, zijn de conclusies van de evaluatie met name toegespitst op de vraag of voortzetting van onderhoud in de toekomst nog wenselijk is. Vandaar dat in de onderstaande samenvatting veelvuldig het woord 'afbraak' voorkomt.

Uit de evaluatie van de werking van strandhoofden bleek het volgende:

- Strandhoofden die werkzaam zijn als geleiding van de getijstroom, functioneren goed. Handhaven van deze hoofden is noodzakelijk, omdat afbreken ervan automatisch zal leiden tot kusterosie.
- Strandhoofden die geplaatst zijn om de brandingsstroom te reduceren, werken minder goed.

Op plaatsen waar de resulterende brandingsstroom klein is, blijken

de hoofden nauwelijks te functioneren. Afbraak van deze hoofden leidt tot verflauwing van de kust en dientengevolge tot tijdelijke erosie. Bij de meeste kustvakken waar dit soort hoofden liggen, is een dergelijke tijdelijke erosie niet toelaatbaar. Afbraak mag dus alleen plaatsvinden na een zeer gedegen studie over de morfologische gevolgen van het verwijderen van de hoofden.

Op plaatsen waar duidelijk wel een overheersende golfrichting is, blijken strandhoofden de doorgaande erosie te verminderen. Afbraak van deze hoofden wordt afgeraden, omdat de kust zich inmiddels aan de nieuwe situatie heeft aangepast.

De conclusies van het rapport 'Strandhoofden en paalrijen' [RWS, TR12 (1989)] zijn:

- in principe geen nieuwe strandhoofden meer aanleggen; (In Nederland zijn op plaatsen met een sterke getijaanval meestal al strandhoofden aanwezig.)
- terughoudendheid betrachten ten aanzien van de afbraak van strandhoofden.

strandhoofden in combinatie met zandsuppletie

Indien de structurele kusterosie door de toepassing van een verdediging met strandhoofden slechts gedeeltelijk wordt tegengegaan, zullen de strandhoofden als gevolg van strandverlaging en strandversteiling na verloop van tijd moeten worden aangepast. Een dergelijke aanpassing brengt hoge kosten met zich mee.

Tegenwoordig wordt in gevallen waarbij een aanpassing van het stelsel strandhoofden wenselijk is, vaak (alsnog) besloten om het strand op te hogen met behulp van een strandsuppletie. Indien dat wenselijk wordt geacht, kan ook de door het stelsel strandhoofden veroorzaakte lijzijde-erosie geheel of gedeeltelijk met een lokale strandsuppletie worden gecompenseerd.

Bij het ontwerp van een nieuw aan te leggen kustverdedigingssysteem kan worden overwogen direct van een dergelijke combinatie uit te gaan.

In opdracht van Rijkswaterstaat is een studie verricht naar de afweging tussen de toepassing van strandsuppleties en de toepassing van strandhoofden en naar de bepaling van de optimale combinatie tussen beide verdedigingsmaatregelen [RWS, TR11 (1989)].

Conclusies

Kust zonder strandhoofden (schone kust):

- Bij een kust zonder strandhoofden is de aanleg van een verdediging met strandhoofden alleen voor het remmen van de erosie, op grond van kosten en werking, in het algemeen niet gunstig;
- Langs de Deltakust kan bij een sterke kustachteruitgang, wanneer de volledige handhaving van de ligging van de kustlijn wordt nagestreefd, een combinatie van eventueel nieuw aan te leggen strandhoofden of paalrijen en zandsuppleties, op grond van totale kosten, aantrekkelijk zijn.

Kust met strandhoofden:

- Als bij een kust met bestaande strandhoofden of paalrijen wordt gestreefd naar enige vorm van erosiereductie, dan moeten de bestaande strandhoofden worden gehandhaafd;
- Als bij bestaande strandhoofden aanvullend wordt gesuppleerd, dan zijn de kosten van de verdediging per meter bestreden erosie (kustachteruitgang) relatief laag, vergeleken met de toepassing van suppleties zonder strandhoofden.

Fig. 4.48 Conclusie van het rapport 'Strand- en duinsuppleties' [RWS, TR11 (1989)].

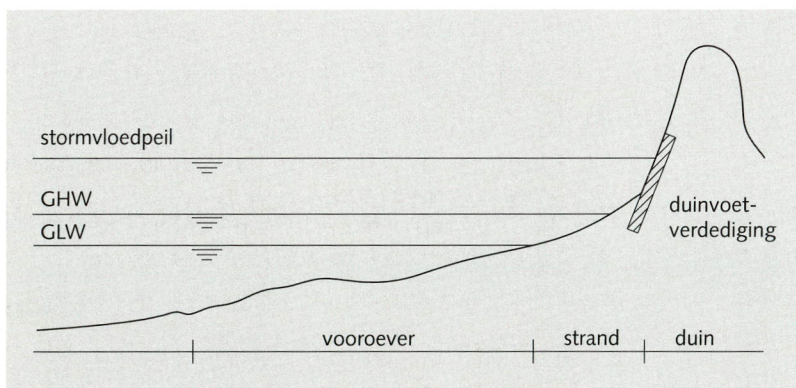


Fig. 4.49 Duinvoetverdediging.

Voor de uitgangspunten die bij deze studie zijn gehanteerd, wordt verwezen naar het genoemde rapport. De conclusies zijn samengevat in figuur 4.48.

4.4.6 Duinvoetverdedigingen en strandmuren

Duinvoetverdedigingen en strandmuren zijn in langsrichting doorgaande harde constructies, die een hoger gelegen deel van het dwarsprofiel vastleggen.

Een duinvoetverdediging beschermt (een deel van) het duinfront (fig. 4.49). De helling waaronder een dergelijke verdediging wordt opgetrokken, is vaak flauwer dan de natuurlijke duinhelling. Duinvoetverdedigingen worden veelal opgetrokken vanaf enkele meters beneden het niveau van de duinvoet tot enkele meters daarboven. In principe wordt dus slechts een beperkt deel van het buitenbeloop van een duin vastgelegd. Naarmate echter de bovenbeëindiging op een hoger niveau wordt gelegd, zal het onderscheid tussen een duinvoetverdediging en een zeedijk steeds geringer worden (afgezien van de aanwezigheid van het droge strand). Soms stuiven duinvoetverdedigingen (volledig) onder en komt er begroeiing tot ontwikkeling.

Een bijzonder geval van een duinvoetverdediging is een zogenaamde verborgen kering. Dit is een kering die bij een oorspronkelijk onveilig dwarsprofiel aan de achterzijde van een duinregel wordt aangelegd. Tijdens de ontwerpstormvloed zal eerst het duinvolume voor de kering worden weggeslagen. Pas in een relatief laat stadium van de stormvloed zal er aanspraak worden gemaakt op het afslagreducerend vermogen van de verborgen kering.

Strandmuren zijn nagenoeg verticaal opgetrokken constructies. Met de aanleg van een strandmuur wordt veelal beoogd om een duidelijke scheiding tussen land en zee te verkrijgen (fig. 4.50). Aan de zeezijde is het normale strand aanwezig; aan de landzijde bevindt zich, althans in Nederland, bebouwing in de vorm van een boulevard, promenade of verkeersweg.

In dit basisrapport worden strandmuren waarbij er geen sprake meer is van een droog strand, tot de categorie dijken en bestortingen gerekend. Deze strandmuren zijn veelal zodanig uitgevoerd of aangepast dat er van een duidelijke harde waterkering kan worden gesproken (fig.



Fig. 4.50 Strandmuur met droog strand.



Fig. 4.51 Strandmuur zonder droog strand.

4.51). In de overige gevallen kunnen strandmuren worden gezien als constructies die in de waterkering zijn gesitueerd.

Meestal is er sprake van een duingebied dat landwaarts van de strandmuur de eigenlijke beveiliging van het achterland waarborgt.

het doel van duinvoetverdedigingen en strandmuren

Duinvoetverdedigingen zijn indertijd in Nederland aangelegd met als enig doel de aantasting van de duinen tijdens zware stormvloed tegen te gaan; er wordt beoogd de mate van duinafslag te reduceren of zelfs te voorkomen. De mate waarin deze doelstelling inderdaad wordt bereikt, hangt sterk af van het al dan niet voorkomen van structurele kusterosie, de uitvoering van de constructie en van de zwaarte van de stormvloed (zie werking van duinvoetverdedigingen en strandmuren).

Vaak is een duidelijke scheiding tussen zee en land gewenst in gebieden waar bebouwing tot vlak bij zee voorkomt en tevens een intensieve recreatieve bedrijvigheid heerst. Het toelaten van het natuurlijke, dynamische kustgedrag brengt in dergelijke gebieden te veel onzekerheden met zich mee ten aanzien van het gevestigde medegebruik. De bouw van een strandmuur komt dan in aanmerking. Het is dan echter bijna een vereiste dat er zeewaarts van de strandmuur een breed en goed toegankelijk droog strand aanwezig is en blijft.

de werking van duinvoetverdedigingen en strandmuren

Alvorens de werking van duinvoetverdedigingen en strandmuren te behandelen, dient er een onderscheid te worden gemaakt tussen de aanleg van dergelijke constructies in een eroderend en in een stabiel kustvak.

Met de aanleg van een duinvoetverdediging of een strandmuur worden de oorzaken van structurele kusterosie niet weggenomen. De erosie van de vooroever en het strand zet zich onverminderd voort. Omdat de aanvulling vanuit de duinen is gereduceerd of zelfs in het geheel niet meer plaatsvindt, gebeurt dat zelfs in versterkte mate.

De vooroever en het strand komen steeds lager te liggen, waardoor de golfaanval op de constructies kan toenemen. Indien dit verlies van zand niet wordt voorkomen of gecompenseerd, zal dit proces uiteindelijk leiden tot een zwaar verdedigde constructie waarbij er geen sprake meer is van een droog strand.

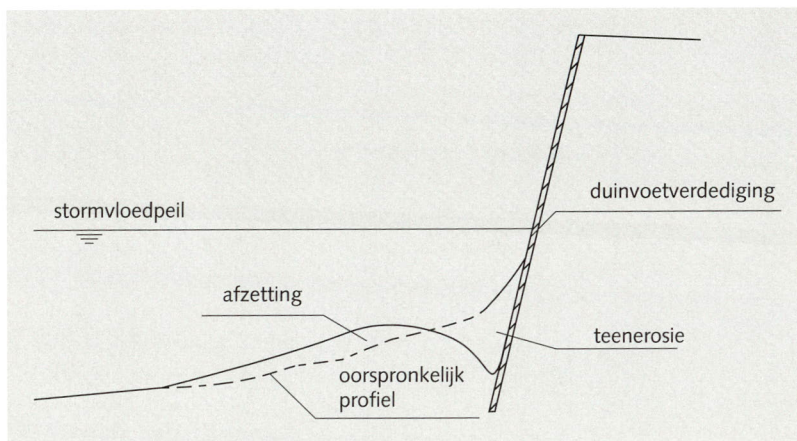


Fig. 4.52 Principe van een ontgrondingskuil.

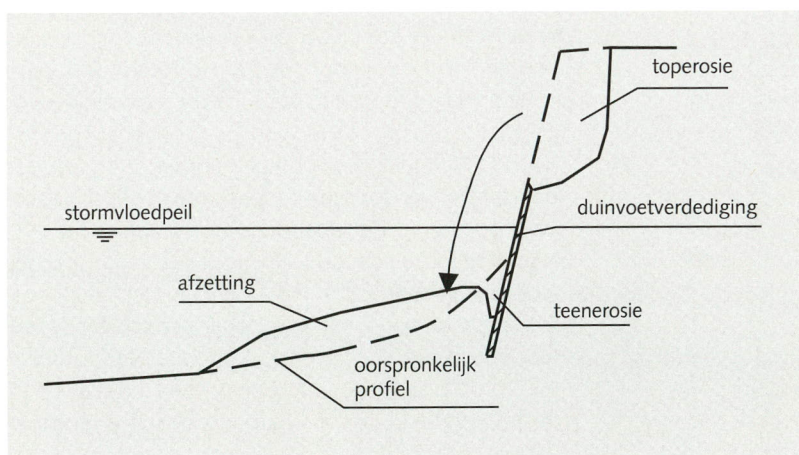


Fig. 4.53 Principe van toperosie.

In een stabiel kustvak spelen de bovenbeschreven processen geen rol. De aanleg van een duinvoetverdediging of een strandmuur kan zonder aanvullende maatregelen tot het gewenste resultaat leiden.

In het navolgende wordt er van uitgegaan dat de kustvakken waar duinvoetverdedigingen of strandmuren zijn of worden aangelegd van nature stabiel zijn, of dat de mogelijk optredende structurele kusterosie bijvoorbeeld met strandsuppleties wordt bestreden. Zeewaarts van de constructie is er dus onder normale omstandigheden een droog strand aanwezig.

Er wordt ingegaan op de werking van duinvoetverdedigingen en strandmuren tijdens:

1. normale omstandigheden;
2. stormvloed-condities.

ad 1. normale omstandigheden

Onder normale omstandigheden bereikt de waterstand en dus de golf-aanval de constructie niet. Het flexibel gedrag van een met een duinvoetverdediging of een strandmuur verdedigd kustvak wijkt dan ook nauwelijks af van dat van een onverdedigd kustvak. Het enige verschil betreft de stuifprocessen welke door de aanwezigheid van harde constructies worden beïnvloed.

ad 2. stormvloed-condities

Onder stormvloed-condities wordt de aantasting van het duin of achterland voorkomen. Bij een duinvoetverdediging wordt eerst de eventueel op de verdediging aangestoven zandhoeveelheid afgevoerd; in dat geval treedt de beschermende werking van de verdediging pas in een latere fase van de stormvloed in werking.

Onder stormvloed-condities kan de standzekerheid van de duinvoetverdediging en strandmuur worden bedreigd door een aantal processen, zoals:

- het ontstaan van ontgrondingskuilen (fig. 4.52);
- het plaatsvinden van toperosie (fig. 4.53).

het ontstaan van ontgrondingskuilen

Ondanks het feit dat het zeewaarts transport van duinzand wordt tegengegaan, zullen er wel dwarstransportprocessen op het strand en op de vooroever optreden. Omdat de aanvoer van zand afkomstig uit de

duinen geheel of gedeeltelijk ontbreekt (bij een hoge, respectievelijk lage duinvoetverdediging), zal er vlak voor deze constructies een ontgrondingskuil ontstaan (fig. 4.52).

In het verleden is bij de aanleg van duinvoetverdedigingen en strandmuren nog onvoldoende rekening gehouden met het ontstaan van diepe ontgrondingskuilen en met het gevaar dat deze kuilen voor de standzekerheid van deze constructies met zich meebrengen. Het is immers van groot belang dat de standzekerheid van strandmuren en zeker van duinvoetverdedigingen tijdens stormvloed-condities als geheel blijft waarborgd.

Voor de beoordeling van de standzekerheid van deze constructies moet de diepte van de ontgrondingskuil voldoende nauwkeurig kunnen worden vastgesteld. Een indicatie van deze diepte kan worden verkregen door berekeningen met het DUROSTA-model uit te voeren (zie par. 6.2.2). Het onderzoek naar methoden om de diepte van ontgrondingskuilen in voorkomende gevallen nauwkeurig te kunnen bepalen, is op het moment van het verschijnen van het basisrapport nog steeds gaande (TAW-C).

De omvang en diepte van de ontgrondingskuil hangt ondermeer af van:

- de ligging van het dwarsprofiel voor de constructie;
- de helling van de duinvoetverdediging (of strandmuur);
- de ruwheid van het materiaal van de duinvoetverdediging;
- het waterstandsverloop tijdens de stormvloed;
- de golfhoogte;
- de korreldiameter van het zand;
- de teenconstructie;
- het al dan niet optreden van zogenaamde toperosie (bovenaanvoer).

het plaatsvinden van toperosie

In Nederland hebben veel duinvoetverdedigingen een bovenbeëindiging op het niveau van NAP +5 à 6 m. Omdat met een dergelijke duinvoetverdediging niet het gehele buitenste duinbeloop wordt verdedigd, zal er tijdens een stormvloed met voldoende hoge waterstanden en golven alsnog aantasting van het duin plaatsvinden (fig. 4.53).

Uiteraard speelt het niveau van de bovenbeëindiging van de constructie een bepalende rol bij de mate van duinafslag die boven dat niveau plaatsvindt. Uit modelonderzoek bij ontwerpomstandigheden is gebleken dat wanneer de bovenbeëindiging beneden of ter hoogte van het

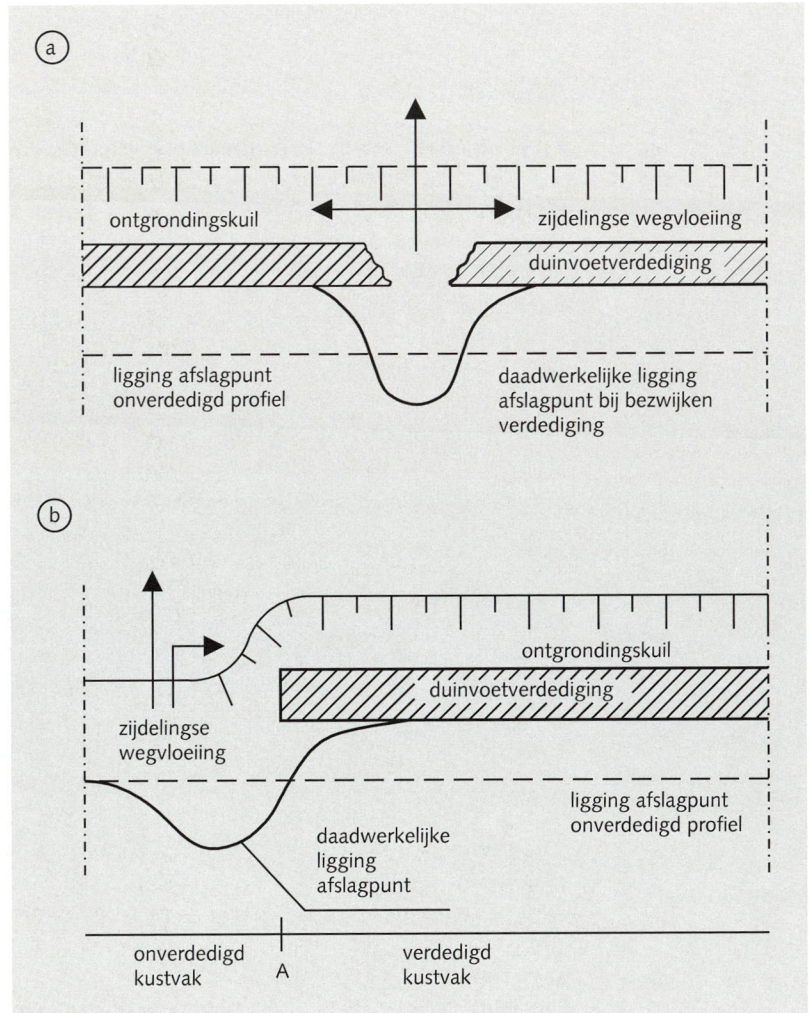


Fig. 4.54 Effect van een doorgaande ontgrondingskuil direct voor een duinvoetverdediging op de mate van afslag.

stormvloedpeil eindigt, de uiteindelijke mate van duinafslag (zowel wat betreft het volume als de achteruitgang van het duinfront) nagenoeg dezelfde grootte heeft als bij een onverdedigd duinprofiel.

Het optreden van duinafslag (bovenaanvoer) heeft wel een gunstige invloed op de omvang van de gevormde ontgrondingskuil; de diepte zal relatief kleiner zijn.

In gevallen waarbij er duinafslag (toperosie) optreedt, zal achter de verdediging inzijging van water plaatsvinden. Hierdoor kunnen onder de verdediging overdrukken of stromingen ontstaan die een extra belasting op de constructie vormen.

Indien onverdedigde dwarsprofielen in een kustvak nog juist veilig zijn, kan worden verwacht dat er van de aanleg van een duinvoetverdediging een veiligheidsverhogende werking uitgaat. Als echter de verdediging tijdens de ontwerpstormvloed op één of meer plaatsen bezwijkt, is het echter niet uitgesloten dat de mate van afslag in de bezweken zones groter zal zijn dan bij afwezigheid van de verdediging.

Als redenen hiervoor kunnen worden genoemd:

- Wegens het zijdelings wegvloeien van zand via de ontgrondingskuil is de zandbalans in de dwarsrichting niet meer sluitend (fig. 4.54-a).
- De aanwezigheid van de in langsrichting doorgaande ontgrondingskuil (geul) werkt geleidend voor optredende stromingen. De mate van zijdelingse wegvloeiing kan daardoor worden vergroot. Dat effect wordt nog versterkt als er langsgrediënten in het langstransport aanwezig zijn.

Bovengenoemde effecten kunnen zich ook voordoen bij de overgang van een onverdedigd kustvak naar een verdedigd kustvak. Wegens het zijdelings wegvloeien van zand uit het onverdedigd kustvak naar het verdedigd kustvak (via de ontgrondingskuil), bestaat de mogelijkheid dat de mate van duinafslag in het onverdedigd kustvak groter is dan op grond van een berekening per dwarsdoorsnede mag worden verwacht (fig. 4.54-b).

Het is daarom niet uitgesloten dat, juist wegens het ontstaan van ontgrondingskuilen, er van duinvoetverdedigingen een averechts effect uitgaat met betrekking tot de veiligheid. Duinvoetverdedigingen zijn in Nederland immers veelal toegepast in kustvakken die als tamelijk mar-

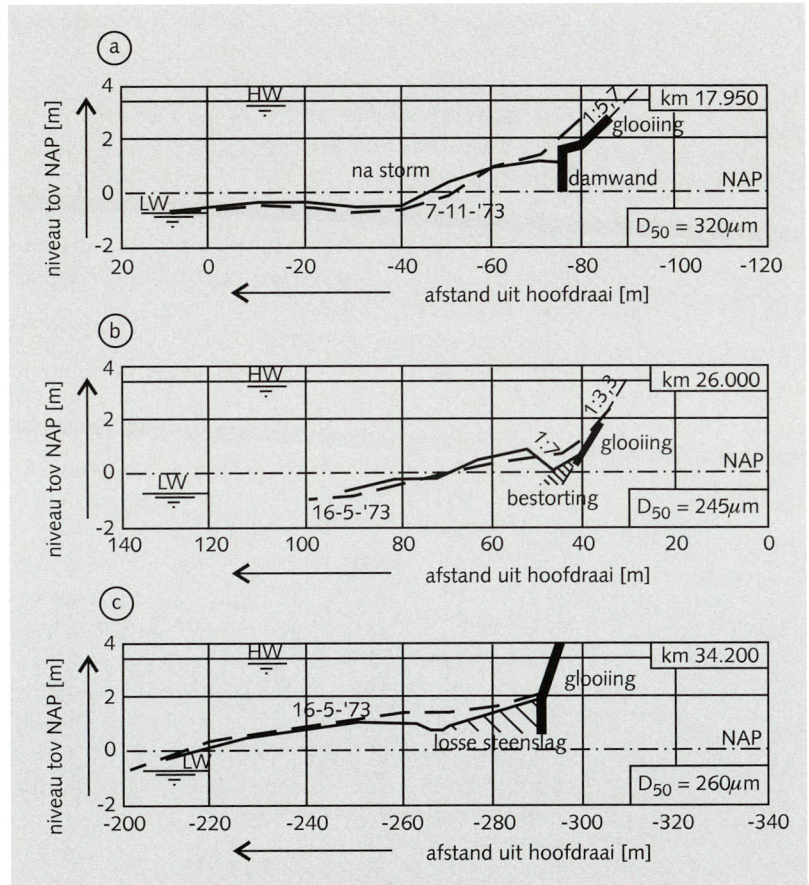


Fig. 4.55 Mogelijke teenconstructies om de mate van ontgraving te reduceren of verder van de verdediging te doen plaatsvinden (de locaties bevinden zich op Walcheren) [WL (1988)].

ginaal werden beschouwd. Voor strandmuren geldt dat in veel mindere mate.

het ontwerp van duinvoetverdedigingen en strandmuren

Als tot de bouw van een duinvoetverdediging of van een strandmuur wordt besloten, is er een aantal (constructieve) aspecten waarmee bij het ontwerp van dergelijke constructies rekening dient te worden gehouden. Omdat echter ten aanzien van het ontwerp van deze constructies nog veel kennis ontbreekt, zijn er nauwelijks algemeen geldende ontwerpregels te geven.

In het navolgende worden de volgende punten aangestipt:

1. het niveau van de onderbeëindiging;
2. de helling van de verdediging;
3. het niveau van de bovenbeëindiging;
4. de materiaalkeuze.

ad 1. het niveau van de onderbeëindiging

Het niveau van de onderbeëindiging dient zodanig te zijn vastgesteld dat, eventueel in combinatie met aanvullende maatregelen, de standzekerheid van de constructie tijdens ontwerpomstandigheden niet in gevaar komt door het ontstaan van een ontgrondingskuil.

In het navolgende wordt specifieke aandacht besteed aan de teenconstructie van deze constructies. Bij nieuw aan te leggen duinvoetverdedigingen of strandmuren en bij de eventuele aanpassing van bestaande constructies eist het ontwerp van de teenconstructie veel aandacht. Door een goed ontwerp van de teenconstructie kan de diepte van de ontgrondingskuil worden gereduceerd of kan de ontgrondingskuil verder zeewaarts van de constructie komen te liggen. In figuur 4.55 zijn enige voorbeelden van mogelijke teenconstructies weergegeven:

- Door de helling van de teen vrij flauw te laten verlopen, kan het effect van een 'skischans' ontstaan waarbij het water tijdens de terugloop over het talud wordt afgebogen (fig. 4.55-a). De diepte van de ontgrondingskuil wordt hierdoor gereduceerd. Door de ontstane afbuiging vindt de ontgroning ook verder van de verdediging plaats.
- Door de uitvoering van een bestorting nabij de benedenbeëindiging van de constructie, wordt een verdere verdieping van de ontgrondingskuil voorkomen (fig. 4.55-b, 4.55-c). Hiermee kan tevens worden beoogd de ontgroning verder zeewaarts van de verdediging te

- doen plaatsvinden. De bestorting dient hiervoor wel over een zekere lengte zeewaarts van de teen te zijn doorgetrokken. De aangebrachte bestorting dient moeilijk erodeerbaar te zijn (gewicht), maar dient tevens de uitspoeling van zand te voorkomen (gradatie; penetratie).
- Door de uitvoering van een zandsuppletie ter plaatse van de duinvoet (buffer) wordt het profiel vlak voor de constructie verhoogd. De suppletie heeft een remmende werking op de ontgronding. Bij het ontwerp van een strandsuppletie kan met dit effect rekening worden gehouden.

ad 2. de helling van de verdediging

In het verleden zijn duinvoetverdedigingen in Nederland onder verschillende hellingen gebouwd. Strandmuren kunnen ten aanzien van dit ontwerpaspect worden beschouwd als loodrecht opgetrokken duinvoetverdedigingen. Bij een duinvoetverdediging kan de helling over de hoogte veranderen.

Uit een analyse van de voor de kuilvorm bepalende factoren blijkt de helling van de verdediging een bepalende factor voor de diepte van de ontgrondingskuil te zijn [WL (1988)]. De helling van vooral het lager gelegen deel van de constructie bepaalt namelijk in belangrijke mate de wijze waarop de invallende golven breken en reflecteren en welke waterbeweging zich op en vlak voor de verdediging zal voordoen (ontwikkeling van circulatiepatronen). Het blijkt (binnen zekere grenzen) voor doorgaande hellingen dat hoe flauwer de helling van de verdediging is, hoe dieper de ontgrondingskuil wordt.

ad 3. het niveau van de bovenbeëindiging

Het niveau van de bovenbeëindiging van een duinvoetverdediging speelt een rol bij de werking van de verdediging.

Naarmate de beëindiging op een hoger niveau ligt, zal de mogelijke afslag (toperosie) afnemen. Daardoor neemt echter ook de reducerende werking af op de optredende ontgrondingen.

In bijlage VII van dit basisrapport is een aan een WL-rapport [WL (1987-a)] ontleende beschouwing opgenomen omtrent het effect van het verdedigingsniveau (niveau bovenbeëindiging) op de mate van duinafslag. Figuur 4.56 (gebaseerd op door het WL uitgevoerde modelonderzoek) geeft een beeld van de uiteindelijke aantasting van het duin als functie van het verdedigingsniveau.

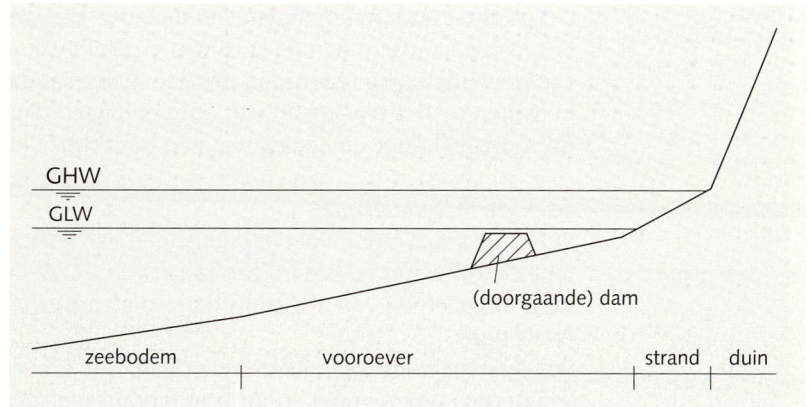


Fig. 4.57 (Doorgaande) damconstructie op de vooroever.



Fig. 4.58 Beïnvloeding van de ligging van de kustlijn met behulp van een (onderbroken) dam op de vooroever.

het bezwijken van een strandhoofd mag geen aanleiding tot het bezwijken van de verdediging geven.

- Strandhoofden kunnen, mits ze ook tijdens stormvloed-condities intact blijven, een reducerende invloed hebben op de zijdelingse herverdeling van zand die optreedt bij de overgang van een onverdedigd naar een verdedigd kustvak.

4.4.7 Vooroeververdedigingen

Naast bestortingen en zinkwerken (zie par. 4.4.4), kunnen vooroeververdedigingen worden uitgevoerd in de vorm van een damconstructie evenwijdig aan de kustlijn:

- een in de langsrichting doorgaande dam; de kruinhoogte van de dam ligt dan gewoonlijk onder het niveau van de GLW-lijn (fig. 4.57);
- een in de langsrichting onderbroken dam; de kruinhoogte kan nu zowel boven, als onder het niveau van de GLW-lijn liggen (fig. 4.58).

In Nederland zijn vooroeververdedigingen (nog) niet op enige schaal toegepast. In het buitenland zijn wel veel voorbeelden van dergelijke toepassingen aanwezig.

het doel van een vooroeververdediging

Met de aanleg van een vooroeververdediging kan worden beoogd zowel de structurele kusterosie te bestrijden, als de mate van duinafslag tijdens stormvloed-condities te reduceren.

de werking van een vooroeververdediging

Met behulp van een weloverwogen ontwerp van een vooroeververdediging kan de golfhoogte in de zone tussen de verdediging en de kustlijn worden gereduceerd. Door de reductie van de golfhoogte is een beïnvloeding mogelijk van de zandtransporten die zich vlak onder de kust voordoen (fig. 4.58). Bij een doorgaande en een onderbroken dam doen zich verschillende processen voor.

Bij een doorgaande dam (kruinhoogte beneden GLW) zal de reducerende werking ten aanzien van de golfhoogte geringer zijn dan bij een onderbroken dam (kruinhoogte op hoger niveau). In het algemeen zal een deel van de golven die de kust naderen de dam ongehinderd passeren; slechts de hogere golven zullen op de onderwaterdam breken. Uiteraard speelt in dit proces ook het tijverschil een rol. Niettemin wordt,

De volgende kanttekeningen kunnen worden gemaakt:

- Van een onderwaterdam met een kruinhoogte op ongeveer het niveau van de GLW-lijn is de reducerende werking op de golfhoogte tijdens stormvloed-condities waarschijnlijk marginaal;
- Met de aanleg van een doorgaande onderwaterdam kan worden beoogd te verhinderen dat het afgeslagen duinzand naar dieper water wordt afgevoerd (zogenaamd 'hangend strand').

Onder Nederlandse omstandigheden zijn echter de afmetingen van het verspreidingsgebied zelfs onder ontwerpstormvloed-condities tamelijk gering. Een werkelijke reductie van de mate van duinafslag kan met een vooroeververdediging pas worden bereikt indien deze damconstructie hoog in het dwarsprofiel wordt aangelegd, bijvoorbeeld op het strand. Dit laatste zal vaak uit recreatieve overwegingen en uit landschappelijk oogpunt onacceptabel zijn.

- Van een onderbroken dam die onder normale omstandigheden boven het niveau van de GLW-lijn uitsteekt, kan tijdens zware stormvloed-condities een gunstige werking op de mate van duinafslag uitgaan. De waterbeweging alsmede de dwarstransport-processen zijn echter dermate ingewikkeld geworden dat er zonder nader onderzoek geen maat voor de eventuele reductie is aan te geven.

Het is echter ook niet ondenkbaar dat er een averechts effect zal optreden. Indien namelijk tijdens stormvloed-condities over de kruin van de dammen een landwaarts gerichte netto stroming ontstaat, zal deze stroming vervolgens geconcentreerd via de openingen tussen de dammen kunnen afstromen. Hierbij kunnen er grote hoeveelheden zand worden afgevoerd.

Fig. 4.59 Kanttekeningen bij de toepassing van een damconstructie op de vooroever onder Nederlandse omstandigheden.

gemiddeld genomen, enige reductie van de golfactiviteit in het gebied landwaarts van de dam bereikt.

Bij een onderbroken dam (kruinhoogte boven GLW), is de reducerende werking ten aanzien van de golfhoogte direct in te zien: de dammen schermen de hoger gelegen delen van het dwarsprofiel fysiek af. In de schaduwzone van de dammen zal de golfhoogte zijn gereduceerd. Deze schaduwwerking is echter niet volledig. Door diffractie van de golven die de kust via de openingen naderen, zal er in de schaduwzone nog enige golfwerking resteren (zie par. 3.3.5).

Bij de bestrijding van structurele kusterosie met behulp van een vooroe-ververdediging zal lijzijde-erosie optreden (zie par. 4.4.2). Deze lijzijde-erosie is het gevolg van een toename van de gradiënten in het langstransport direct benedenstrooms van de verdediging. De golven bereiken daar namelijk weer ongestoord de kust. Bij de toepassing van een vooroe-ververdediging met als doel de bestrijding van de structurele kusterosie, luistert de afregeling zeer nauw.

Door de algemene reductie van de golfhoogte achter de verdediging, kan er in principe worden verwacht dat van deze constructie een reducerende werking uitgaat op de mate van duinafslag tijdens stormvloed. Onder de Nederlandse omstandigheden kunnen daarbij echter enige kanttekeningen worden geplaatst (fig. 4.59).

het ontwerp van een vooroe-ververdediging

Voor Nederlandse omstandigheden zijn er geen algemeen toepasbare ontwerpregels beschikbaar. Slechts in algemene zin kan worden aangegeven welke onderwerpen bij de afweging een rol spelen. Zonder verdere toelichting kunnen de volgende onderwerpen worden genoemd:

- duidelijke formulering van het doel (bijvoorbeeld reductie van de mate van duinafslag dan wel bestrijding van structurele kusterosie);
- doorgaand of onderbroken;
- kruinhoogte ten opzichte van NAP;
- kruinbreedte;
- lengte van de dammen ten opzichte van de openingen;
- aanlegdiepte c.q. positie ten opzichte van de kustlijn;
- hellingen van de dammen;
- materiaalkeuze in verband met de stabiliteit onder normale omstandigheden en stormvloed-condities;

- secundaire effecten zoals achterloopsheid, fixatie van muistromen, golfreflectie, turbulentie en ontgrondingen (voor en achter de dam).

Aan de aanleg dient derhalve een grondig vooronderzoek vooraf te gaan.

4.5 Grote ingrepen in het morfologisch systeem

De kustontwikkeling is een gevolg van de werking van het morfologisch systeem (zie par. 3.3.1). Vooral in gevallen waar er sprake is van structurele kusterosie, kan in feite worden gesteld, dat het morfologisch systeem een ongewenste kustontwikkeling met zich meebrengt.

Met een zandsuppletie wordt (uitzonderingen daargelaten) in feite niet in het morfologisch systeem ingegrepen; aan de onderliggende oorzaak van de structurele kusterosie wordt immers niets gedaan.

Met strandhoofden of vooroeververdedigingen wordt weliswaar actief in het morfologisch systeem ingegrepen, maar deze ingrepen zijn veelal kleinschalig en van lokale betekenis.

In deze paragraaf worden maatregelen behandeld die bedoeld zijn om wezenlijk in het aanwezige morfologisch systeem in te grijpen, en daarmee tevens het erosieprobleem op te lossen.

Er kan een opeenvolging worden onderkend in de grootte van de ingreep (of de interventie) in het morfologisch systeem met behulp van kustverdedigingsmaatregelen. Naarmate de interventie groter is, neemt ook de omvang van het invloedsgebied toe en duurt het relatief langer voordat het morfologisch systeem zich heeft aangepast (grote tijd- en ruimteschalen).

Uiteraard is er geen scherpe grens te trekken tussen de gebruikelijke harde kustverdedigingsmaatregelen en vele grote ingrepen. Een uitgebreide vooroeververdediging zou bijvoorbeeld wellicht ook als een grote ingreep kunnen worden aangemerkt.

Bij grote ingrepen in het morfologisch systeem kan worden gedacht aan maatregelen als:

- Afdammen van een (opdringende) geul vlak onder de kust;
- Het baggeren van een nieuwe geul om het stroombeeld te beïnvloeden;
- De zeewaartse (uit)bouw van een lange dam om het doorgaande zandtransport te onderbreken;

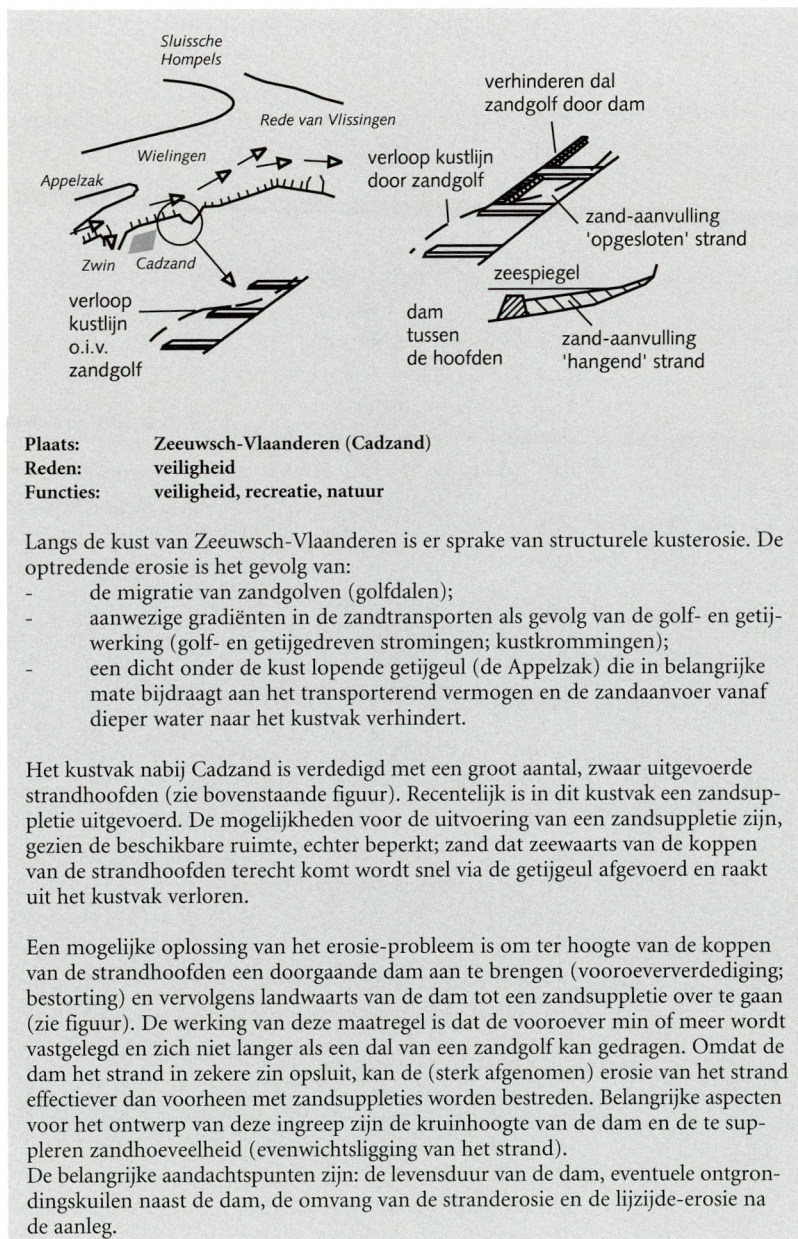


Fig. 4.60 Zeewaartse kustverdediging langs de Zeeuws-Vlaamse kust (Cadzand).

- Het bewust handhaven (of stimuleren van de groei) van platen voor de kust.

In deze paragraaf wordt ervan uitgegaan dat de ingrepen primair zijn bedoeld als kustverdedigingsmaatregel.

Soms worden grote infrastructurele werken uitgevoerd (bouw haven-toegang, afsluiting van een getijarm), die grote gevolgen hebben voor het morfologisch systeem. Deze gevolgen kunnen zowel positief als negatief zijn voor de kustontwikkeling.

In het rapport 'Zeewaartse kustverdediging' [RWS, TR20 (1989)] zijn enkele voorbeelden van mogelijke grote ingrepen langs de Nederlandse kust globaal uitgewerkt. In figuur 4.60 is een aan dit rapport ontleende mogelijkheid voor een grote ingreep in het morfologisch systeem van de Zeeuws-Vlaamse kust, in beknopte vorm weergegeven. De Ruig & Roelse (1992) hebben in een gevoeligheidsonderzoek aangegeven dat van een hangend strand alternatief (met onderwaterdam evenwijdig aan de kust) voor het erosieprobleem bij de Tienhonderdpolder in Zeeuwsch-Vlaanderen geen grote besparing kan worden verwacht in vergelijking met strandsuppleties [zie ook RWS (1993-c)].

het doel van grote ingrepen in het morfologisch systeem

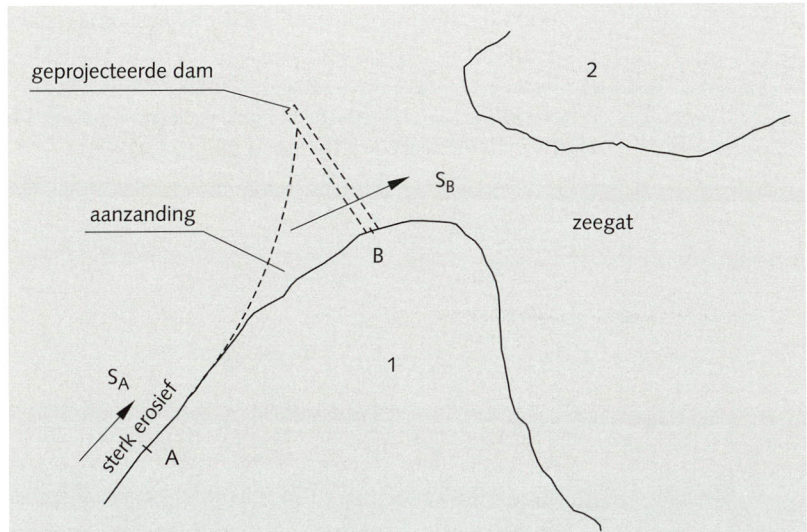
Structurele kusterosie baart vaak zorg. Het definitief doen stoppen van de doorgaande erosie is in de regel het primaire doel van de toepassing van een kustverdedigingsmaatregel.

Wellicht leeft de wens om tevens wat van het verloren gegane terrein op de zee te herwinnen. De structurele kusterosie dient dan in een aanwas te worden omgezet. Als dat werkelijk het doel is, kan er aan grote ingrepen in het morfologisch systeem worden gedacht.

In deze gevallen verdient het sterke aanbeveling om het doel van de maatregel zeer duidelijk te formuleren, omdat deze grote ingrepen verstrekkende morfologische gevolgen kunnen hebben.

de werking van grote ingrepen in het morfologisch systeem

De werking van grote ingrepen in het morfologisch systeem berust vaak op een significante beïnvloeding van stroomrichtingen, stroomsnelheden, golfhoogten en golfrichtingen. Hierdoor veranderen de grootte en de richting van aanwezige zandtransporten, met het gevolg dat erosieve trends kunnen omslaan in aanzandende trends.



In de hierboven afgebeelde figuur erodeert het kustvak AB sterk. Per jaar is er gemiddeld een verlies van bijvoorbeeld 500.000 m³ zand uit het kustvak. Dat zand verdwijnt in het zeegat tussen 1 en 2 (wellicht komt een deel ervan ten goede aan 2). De zeewaartse uitbouw van een lange dam bij B onderbreekt het doorgaande langstransport. Er kan daarom een aanzanding bij B worden verwacht en in een later stadium ook bij A.

De zandhoeveelheid die (in ieder geval de eerste jaren na de aanleg van de dam) jaarlijks gemiddeld wordt afgevangen, heeft de omvang van ten minste de eerder genoemde 500.000 m³. Het is echter niet uitgesloten dat deze omvang groter zal zijn. $S_B - S_A$ was namelijk gelijk aan 500.000 m³ per jaar. Slechts wanneer S_A gelijk was aan 0 m³ per jaar, dan is de afgevangen zandhoeveelheid inderdaad gelijk aan 500.000 m³ per jaar. In het algemeen is S_A echter niet vanzelfsprekend gelijk aan 0 m³ per jaar.

Gedurende de periode dat de dam bij B 100% effectief werkt, ontbeert het zeegat jaarlijks de bij B afgevangen zandhoeveelheid. Dat effect kan leiden tot ongewenste effecten in en rondom het zeegat. Slechts na enige tientallen jaren zal er zich tussen de locaties A en B een evenwichtssituatie instellen. In die situatie is S_B definitief gereduceerd tot S_A . Het zeegat krijgt dan jaarlijks definitief 500.000 m³ minder zand aangeboden.

Wordt er naast de dam direct na de uitbouw een zandsuppletie tussen de locaties A en B uitgevoerd, dan zullen de consequenties voor het gebied in en rondom het zeegat minder verstrekkend zijn.

Fig. 4.61 De zeewaartse uitbouw van een lange dam als grote ingreep in het morfologisch systeem.

Kwalitatief is de primaire werking van sommige grote ingrepen goed te begrijpen; kwantitatief blijven er bij het ontwerp van concrete gevallen vaak nog vele vragen open.

Het is echter hoe dan ook duidelijk dat, indien de toepassing van een grote ingreep resulteert in een bevredigende kustontwikkeling van het probleemgebied, er in de nabijheid altijd een gebied aanwezig is waar de (nadelige) gevolgen van een dergelijke ingreep merkbaar zullen zijn. Hiermee dient terdege rekening te worden gehouden. In figuur 4.61 is een voorbeeld van een grote morfologische ingreep weergegeven.

het ontwerp van grote ingrepen in het morfologisch systeem

Er zijn geen algemeen toepasbare ontwerpregels voor grote ingrepen in het morfologisch systeem aan te geven. Geval voor geval moet zorgvuldig worden bekeken.

Alvorens daadwerkelijk met de uitvoering van een dergelijke ingreep wordt begonnen, dient een duidelijk inzicht te worden verkregen in de, wellicht negatieve, morfologische effecten in aangrenzende kustgebieden.

Voor de kustverdediging van het kustvak Eierland op Texel met 'harde' maatregelen zijn in RWS (1993-a) enkele alternatieven uitgewerkt.

5 KUSTBEHEER

5.1 Inleiding

In het geval van een duinenkust zijn 'primaire waterkering' en 'kust' onlosmakelijk met elkaar verbonden. Waterkeringsbeheer houdt dus automatisch kustbeheer in. In de Wet op de waterkering is vastgelegd dat de primaire waterkeringen gedecentraliseerd zullen worden beheerd (in het algemeen door Waterschappen; in enkele gevallen door het Rijk). Naast het waterkeringsbelang zijn er in het kustgebied nog andere belangen gevestigd (zie par. 2.1). Van de kustbeheerder wordt bij de uitvoering van het beheersbeleid verwacht dat met alle belangen rekening wordt gehouden. Per kustgedeelte kan worden nagegaan welke mogelijkheden er zijn voor andere maatschappelijke functies naast de waterkeringsfunctie. De nadere invulling kan vervolgens gebeuren volgens de gangbare besluitvorming.

In het kustbeheer spelen naast technische ook bestuurlijke, maatschappelijke, juridische en financiële aspecten een rol. In het basisrapport 'Zandige Kust' wordt voornamelijk aandacht besteed aan de technische aspecten. In de leidraad 'Zandige Kust' is in de hoofdstukken 2 tot en met 4 het beheer van het dynamische kuststelsel in een maatschappelijk kader geplaatst.

Voor veel kustgebieden dienen de beheersgrenzen (opnieuw) te worden vastgesteld. In paragraaf 5.2 worden aanbevelingen van technische aard gegeven met betrekking tot de vaststelling van deze grenzen.

In paragraaf 5.3 komen de formele beheersinstrumenten aan de orde die de beheerder ten dienste staan bij de uitoefening van de beheerstaak.

Tenslotte zal in paragraaf 5.4 een aantal technische aspecten worden behandeld die bij het beheersbeleid ter sprake kunnen komen (bebouwing op het strand en in de afslagzone, aanlanding van pijpleidingen).

5.2 De kust (de primaire waterkering, het beheersgebied)

5.2.1 Algemeen

Het is vanzelfsprekend dat de grenzen van de strook zee en land die door de waterkeringbeheerder (kustbeheerder) wordt beheerd, goed zijn vastgelegd. In veel gevallen moet de ligging van deze grenzen nog

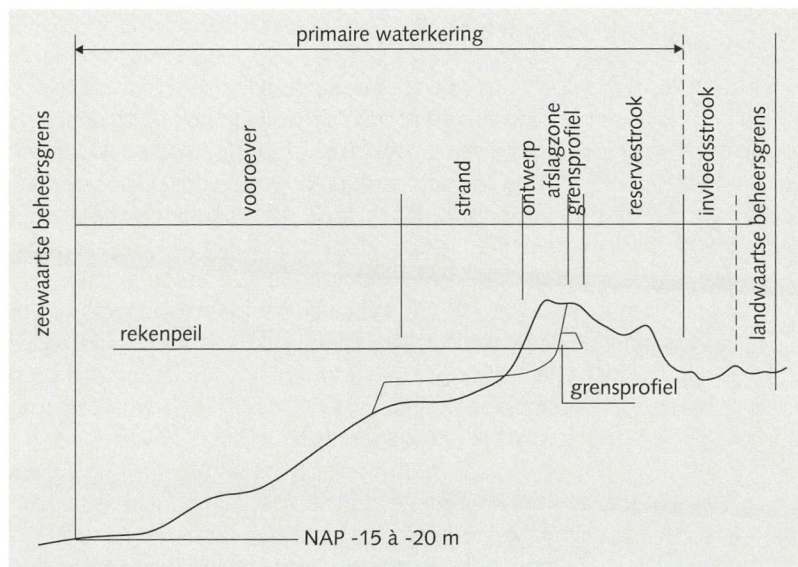


Fig. 5.1 Dwarsdoorsnede van een kustprofiel en indeling van beheersgebied.

worden vastgesteld. In deze beheersstrook is de primaire waterkering het centrale element.

Als gevolg van de invoering van de Waterschapswet (1991), de (ontwerp) Wet op de waterkering (1994) en de Wet op de Waterhuishouding (1989) zullen de taken van de Waterschappen in verschillende opzichten opnieuw worden vastgelegd. Bestaande Keuren dienen daarom te worden aangepast. De Unie van Waterschappen heeft een Model-Keur uitgegeven (1991) die als voorbeeld kan dienen bij het opstellen van nieuwe Keuren. In de Model-Keur worden ook aanbevelingen gedaan met betrekking tot de vaststelling van beheersgrenzen (het keurgebied) van duinenkusten die functioneren als primaire waterkering (zie par. 5.2.7).

5.2.2 Indeling van het beheersgebied

Het verdient aanbeveling om bij het nader invullen van de bepalingen in de Keur die op een zandige kust betrekking heeft, een indeling in zones (of stroken) te maken die speciaal op de zandige kust is toegespitst. Er kunnen dan per afzonderlijke zone beheersregimes worden gedefinieerd. In dit basisrapport wordt de volgende indeling in zones voorgesteld (fig. 5.1):

- vooroever;
- strand;
- ontwerpafslagzone;
- grensprofiel;
- reservestrook;
- invloedsstrook.

De primaire waterkering, zoals bedoeld in de Wet op de waterkering, bestaat uit de genoemde zones met uitzondering van de invloedsstrook. De begrenzingen van zowel de primaire waterkering als het beheersgebied komen in de volgende paragrafen aan de orde.

5.2.3 Zeewaartse grens van de primaire waterkering

Een duinenkust is een flexibele zeewering. Tijdens een hoge stormvloed slaat er zand van de duinen af dat vaak op dieper water wordt afgezet. Zeker in stabiele kustvakken wordt het afgeslagen zand later weer op natuurlijke wijze naar de duinen teruggevoerd. Het is dus ongewenst

dat de zeewaartse grens van de primaire waterkering zo dicht onder de kust wordt vastgesteld, dat het zand dat tijdens een stormvloed wordt afgeslagen deze grens passeert.

Deze overweging leidt tot een zeewaartse grens van de primaire waterkering die (ver) zeewaarts van de GLW-lijn zal komen te liggen.

De zeewerende functie is de primaire functie van een duinenkust. Een duin wordt als juist veilig beschouwd als er onder ontwerpomstandigheden nog net geen doorbraak zal optreden. De mate van duinafslag tijdens de ontwerpomstandigheden hangt echter voor een belangrijk deel af van de totale vorm (diepteligging) van het onderwaterprofiel voor het duin. Deze vorm is onder meer van invloed op de mate waarin de op dieper water opgewekte golven de duinen kunnen bereiken; juist de golfhoogte vlak bij de duinen is van belang voor de mate van duinafslag die zal optreden (zie par. 6.2.2).

Kustverdedigingsmaatregelen kunnen van invloed zijn op de veiligheid van het achterland. Sommige maatregelen kunnen relatief ver van de duinen in zee zijn gesitueerd (bijvoorbeeld vooroeversuppleties en vooroeerverdedigingen). Het verdient daarom aanbeveling de zeewaartse primaire waterkeringsgrens zover zeewaarts te situeren dat genoemde kustverdedigingsmaatregelen zonder meer binnen de beheerszone van de waterkering vallen.

Veranderingen in de diepteligging van de vooroever zijn dus van direct belang voor de veiligheid van het achterland. Dit betekent dat, in het geval van een duinenkust, de vooroever als een onderdeel van de primaire waterkering moet worden beschouwd. In de kustnota wordt aanbevolen om de grens van de primaire waterkering te laten samenvallen met de dieptelijn van NAP -20 m. Dit geldt voor kustprofielen met een regelmatig aflopende bodem. Indien zich een (diepe) geul vlak onder de kust bevindt, verdient het aanbeveling de gehele geul plus een gedeelte van de ondiepte zeewaarts van deze geul tot de primaire waterkering te rekenen. Indien de NAP -20 m dieptelijn erg ver in zee ligt, kan worden overwogen om de grens minder ver in zee te situeren.

In de Wet op de waterkering (Art. 8) is vastgelegd dat het Rijk de zorg voor de handhaving van ligging van de kustlijn heeft. Die zorg en betrokkenheid van het Rijk betekenen echter geenszins dat het Rijk daar-

mee ook beheerder is geworden van de waterkering in het kustdeel zeewaarts van bijvoorbeeld de GLW-lijn.

In een aantal gevallen komt het voor dat een deel van de kustzone, die volgens de bovenstaande overwegingen onderdeel is van de primaire waterkering, tevens in beheer is bij een andere instantie dan de waterkeringbeheerder. Er wordt bijvoorbeeld gedacht aan de aanwezigheid van een vaargeul vlak onder de kust. In dergelijke gevallen moet er een onderlinge afstemming van beleid plaatsvinden en moeten er duidelijke afspraken worden gemaakt over bijvoorbeeld de uitwisseling van relevante gegevens, het uitvoeren van werken (baggeren) en het onderhoud.

5.2.4 Zeewaartse grens beheersgebied (zeewaartse grens keurgebied)

Vanuit het veiligheidsbelang zijn er geen redenen aanwezig om de grens van de beheerszone (zeewaartse grens keurgebied) zeewaarts van de grens van de primaire waterkering te situeren. Er wordt daarom ook aanbevolen om deze twee grenzen te laten samenvallen.

5.2.5 Landwaartse grens van de primaire waterkering

In deze paragraaf worden verschillende technische aspecten behandeld die bij de vaststelling van de landwaartse grens van de primaire waterkering van belang zijn. In de eerste plaats zal worden ingegaan op de aspecten die in de kustnota worden genoemd. Daarna zullen enkele aanvullende technische aspecten worden behandeld.

Het blijkt dat, naast de technische aspecten, ook bestuurlijke overwegingen meespelen bij de vaststelling van de landwaartse grens van de primaire waterkering. Ook deze bestuurlijke overwegingen zullen in deze paragraaf worden behandeld.

technische aspecten uit de kustnota

In de kustnota worden enkele algemene opmerkingen over de afmetingen van de primaire waterkering gemaakt (kustnota; hoofdstuk 4). Er wordt gesteld:

"De primaire waterkering is het geheel van onderwateroever, strand en duingebied, dat nodig is om ook in de toekomst de veiligheid van het achterland te garanderen."

In de kustnota is aangegeven dat in de primaire waterkering een reservestrook dient te worden opgenomen. Deze strook wordt nodig geacht om te garanderen dat de sterkte van de waterkering bij een eventuele zeespiegelstijging gedurende tenminste 200 jaar aan de veiligheidsnormen blijft voldoen.

Er zijn twee methoden om de daarvoor benodigde breedte van de strook te kwantificeren.

1. Met behulp van de leidraad 'Duinafslag' worden de afslagzone en het grensprofiel bepaald op basis van de thans geldende ontwerpomstandigheden. Als gevolg van de zeespiegelstijging zullen de ontwerpomstandigheden de komende 200 jaar echter aan verandering onderhevig zijn. (Zowel het rekenpeil als de golfhoogte nemen toe; zie par. 3.3.2.) Er wordt aangenomen dat deze verandering (bij benadering) bekend is. Met behulp van de leidraad 'Duinafslag' worden op basis van de veranderde ontwerpomstandigheden de afslagzone en het grensprofiel bepaald, zoals deze over 200 jaar zullen gelden. De breedte van de reservestrook is dan gelijk aan de afstand tussen de landwaartse grens van het huidige grensprofiel en de landwaartse grens van het toekomstige grensprofiel.
Als voorbeeld is voor een bestaand dwarsprofiel berekend dat de ontwerpafslag onder de huidige omstandigheden 95 meter bedraagt. Als wordt aangenomen dat de zeespiegel de komende 200 jaar 2,0 meter zal stijgen (dat is 1,0 m per eeuw; vermoedelijk een ruime bovengrens), dan zal deze ontwerpafslag op dat moment 145 meter bedragen. Indien in beide gevallen een veilig grensprofiel direct landwaarts van de afslagzone wordt gevonden, en wordt aangenomen dat het grensprofiel niet in omvang toeneemt, dan resulteert dat in een 50 meter brede reservestrook. (Doordat het grensprofiel vanwege het rekenpeil en de golfhoogte over 200 jaar hoger zal moeten zijn dan nu, zal de breedte van het grensprofiel echter ook toenemen.)

Bij deze benadering worden evenwel de consequenties van het handhavingsbeleid voor de ligging van de kustlijn over het hoofd gezien.

(vervolg op pag 236)

Fig. 5.2 Reservestrook voor zeespiegelstijging (I).

In de kustnota worden twee aspecten genoemd die van belang zijn voor de vaststelling van de landwaartse grens van de primaire waterkering:

1. De mate van duinafslag tijdens ontwerpomstandigheden; de daarmee samenhangende afslagzone en het grensprofiel dienen (uiteraard) binnen de primaire waterkering te vallen.
2. Een reserve om de effecten van een toekomstige zeespiegelstijging te kunnen opvangen; er wordt in dit verband een periode van tenminste 200 jaar genoemd (zie par. 3.3.2).

Met de TAW leidraad 'Duinafslag' kan voor het eerste aspect een goede eenduidige schatting worden gemaakt. Voor het tweede aspect zijn er twee benaderingswijzen mogelijk om de daarvoor benodigde reserve te kwantificeren; deze zijn in figuur 5.2 nader uitgewerkt. Waar dat mogelijk is, wordt aangeraden ruime zones te reserveren om de effecten van een toekomstige zeespiegelstijging te kunnen opvangen.

Bovengenoemde aspecten moeten niet als strikt limitatief worden opgevat. Er zijn namelijk nog vier andere aspecten van technische aard die bij de vaststelling van de landwaartse grens van de primaire waterkering in beschouwing dienen te worden genomen.

aanvullende technische aspecten

3. Er zijn kustvakken waar een grote mate van natuurlijke dynamiek aanwezig is. Dat manifesteert zich onder andere in een (periodiek) fluctuerende ligging van de kustlijn. In het kusthandhavingsbeleid zal, op plaatsen waar dat mogelijk is, deze dynamiek worden toegelaten (dynamisch handhaven). De dynamiek in de ligging van de kustlijn beïnvloedt, weliswaar vertraagd en gedempt, ook de ligging van het duinfront (zie par. 6.3.7). Bij de bepaling van de afmetingen van de primaire waterkering dient in dergelijke gevallen van de meest landwaartse ligging van het duinfront gedurende een cyclus te worden uitgegaan.
4. In de kustnota is, naast het handhavingsbeleid, uitdrukkelijk het streven genoemd om de inspanning voor het handhaven van de kustlijn te beperken. Als (na verloop van tijd) blijkt dat een verschoven kustlijn met minder inspanning kan worden gehandhaafd, verdient het aanbeveling te overwegen deze verschoven kustlijn in het vervolg als de basiskustlijn te definiëren en deze in de toekomst te handhaven. Een dergelijk beleid kan echter slechts worden geëffectueerd als er in het duingebied bij de definiëring van de grens van de primaire waterkering ruimte voor is (gelaten).

(vervolg van pag 234)

2. Als het handhavingsbeleid strikt wordt uitgevoerd en ook bij zeespiegelstijging de kustligging op de positie van de kustlijn in 1990 wordt gehandhaafd, dan heeft dat tot gevolg dat het kustprofiel wordt opgehoogd met ruwweg dezelfde waarde als de zeespiegelstijging. (Wellicht geldt dat niet noodzakelijkerwijs voor het **gehele** kustprofiel, dus inclusief de vooroever tot zeg de NAP -20 m dieptelijn, maar in ieder geval wel voor het voor duinafslag meest relevante gedeelte; namelijk het strand en de actieve kustzone.)

Als naast het rekenpeil ook het beginprofiel met 2,0 m wordt opgehoogd en wordt na-gegaan welke afslag onder omstandigheden tijdens een ontwerp-stormvloed kan worden verwacht, dan blijkt de toename van de afslagzone veel kleiner te zijn dan in methode 1. (In dit geval wordt slechts circa 7 m meer afslag berekend.) In feite komt het er op neer dat de duinhoogte in de berekeningen met 2,0 m dient te worden **verlaagd**.

De genoemde 7 m kan iets meer worden als door de zeespiegelstijging tevens hogere maatgevende waterstanden en hogere maatgevende golven in rekening moeten worden gebracht.

Samengevat:

Als het handhavingsbeleid consequent wordt uitgevoerd, kunnen de reserveringen in de duinen om de gevolgen van een eventuele zeespiegelstijging op te vangen, tamelijk beperkt blijven. (Dat geldt zelfs voor een stijging van 2,0 m.)

Fig. 5.2 Reservestroom voor zeespiegelstijging (II).

5. De bepaling van de mate van duinafslag tijdens ontwerpomstandigheden is gebaseerd op de thans bestaande veiligheidsmaatstaven en thans aanwezige technische inzichten. Deze maatstaven en inzichten kunnen in de toekomst veranderen. Als gevolg van bijvoorbeeld de huidige ontwikkelingen in het veiligheidsdenken naar een inundatierisicobenadering kunnen de normen in de toekomst wijzigen. Ook door andere oorzaken, bijvoorbeeld een (bijna) overstromingsramp of zelfs het tegenovergestelde, namelijk het lang uitblijven van een (bijna) ramp, kunnen de veiligheidsnormen hoger of lager uitvallen in vergelijking met de huidige. In Art. 3 lid 4 van de Wet op de waterkering wordt gesteld dat de veiligheidsnormering bij Algemene Maatregel van Bestuur kan worden gewijzigd.

Ten aanzien van de huidige technische inzichten kan bijvoorbeeld worden gesteld dat bij de berekening van de mate van duinafslag tijdens ontwerpomstandigheden nu nog (noodgedwongen) wordt uitgegaan van beschouwingen per afzonderlijke dwarsdoorsnede. Het zogenaamde lengte-effect kan thans nog niet bevredigend in rekening worden gebracht. Als dat wel mogelijk wordt, kan niet worden uitgesloten dat er dan zwaardere duinafmetingen noodzakelijk blijken te zijn om de nu van toepassing zijnde mate van beveiliging van het achterland te kunnen garanderen. Ook de ontwikkelingen in rekenmodellen kunnen leiden tot gewijzigde inzichten in de verwachte hoeveelheid afslag onder ontwerpomstandigheden.

6. Een toekomstige verandering van de hydraulische randvoorwaarden kan, bij overigens niet-gewijzigde veiligheidsnormen, resulteren in een grotere ontwerpafslag. Deze wijzigingen kunnen het gevolg zijn van een grotere hoeveelheid statistische gegevens of verbeterde schattingsmethoden voor de diverse verdelingstypen en betreffende parameters. Daarnaast kunnen door klimatologische omstandigheden de genoemde randvoorwaarden tevens wijzigen. Het meest in het oog springende is hierbij de eerder genoemde zeespiegelrijzing en bijbehorende invloeden op stormintensiteit en dus invloeden op golfhoogten, -perioden en stormduren.

De kwantificering van de aspecten 4 t/m 6 is niet eenvoudig. Voor het vaststellen van de grenzen van de waterkering is dit echter wel noodzakelijk. Het is daarom nodig om voor de genoemde aspecten onder punt 4 t/m 6 de diverse onzekerheden te kwantificeren en vervolgens tot een onder- en bovengrens te komen voor de breedte van de reservestroom.

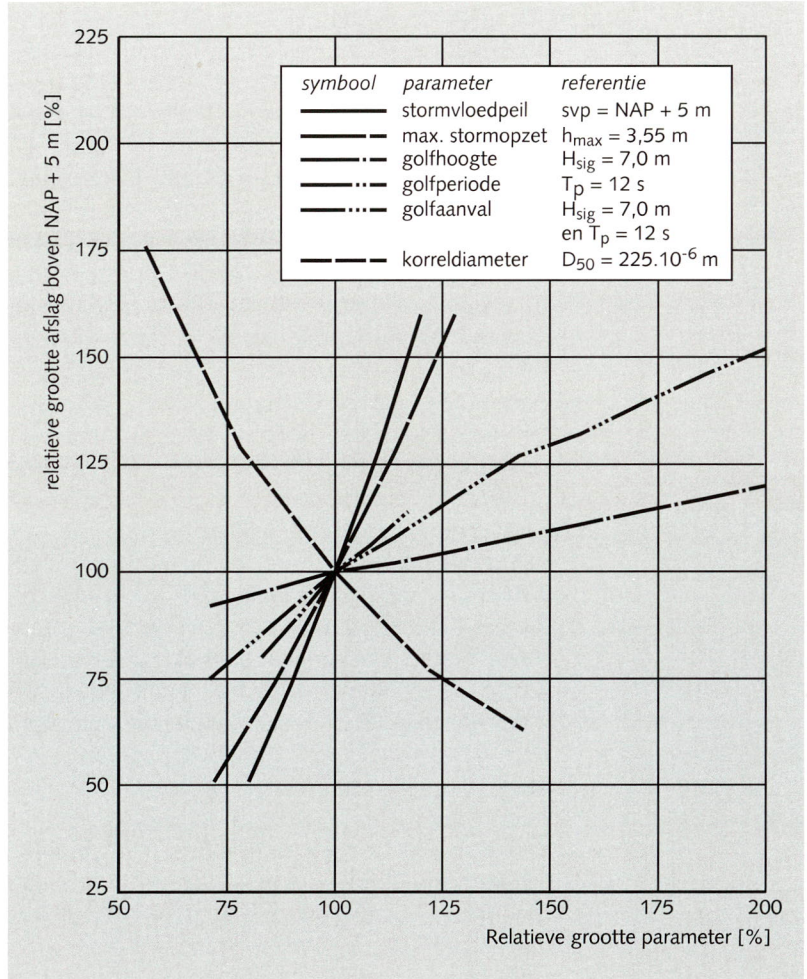


Fig. 5.3 Overzicht invloed randvoorwaarden op de mate van duinafslag.

bepaling reservestrook

Kenmerkend voor de genoemde onzekerheden is dat deze toenemen naar mate verder in de tijd vooruit wordt gekeken. Deze onzekerheden zijn dus tijdsafhankelijk. Alvorens tot een kwantificering van dergelijke onzekerheden over te gaan, zal moeten worden overwogen welke tijdsperiode in beschouwing wordt genomen. Een periode van 200 jaar lijkt, gezien de verwachte levensduur van de waterkering, redelijk. Dit sluit ook aan bij de brief van de Minister aan de Tweede Kamer over dit onderwerp (Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991, 21 136, nr. 7), waarin de Minister aangeeft dat gestreefd wordt naar het reserveren van voldoende ruimte om ook over 200 jaar nog een Deltaveilige waterkering te kunnen garanderen.

Het is de vraag hoe en op basis van welke gegevens de onzekerheden gekwantificeerd kunnen worden. Hieronder wordt aangegeven hoe voor elk aspect een onderbouwing is te geven. De centrale gedachtengang hierbij is dat zowel een ondergrens als een bovengrens wordt aangegeven. Er kan gebruik worden gemaakt van het DUINAF afslag model voor wat betreft de kwantificering van de invloed van waterstand en golfhoogten op de verwachte mate van duinafslag tijdens ontwerpomstandigheden. Tevens kan daarmee een schatting van het benodigde grensprofiel bij gewijzigde omstandigheden worden gemaakt. Het DUROSTA model biedt tevens de mogelijkheid om de invloed van stormduur en golfperiode op de verwachte hoeveelheid afslag te bepalen. Veel informatie hierover is samengevat in figuur 5.3.

ad 4. levensduur van het huidige handhavingsbeleid

De ondergrens wordt gevormd door, bij verder ongewijzigde randvoorwaarden, ervan uit te gaan dat het huidige handhavingsbeleid gedurende 200 jaar wordt geëffectueerd, of dat zelfs een ombuiging naar een zee-waarts verdedigingsbeleid plaatsvindt. De ondergrens is dus 0 m bijdrage aan de reservestrook.

De bovengrens wordt gevormd door uit te gaan van het zeer binnenkort verlaten van het handhavingsbeleid, waarbij structurele erosie wordt toegelaten en de teruggang van de kust niet anderszins wordt gecompenseerd. Voor het kwantificeren hiervan kan in eerste instantie worden uitgegaan van een gemiddelde achteruitgang van de kust op basis van trendanalyses uit het verleden. In een dergelijke trendanalyse is echter het effect op de structurele erosie van de te verwachten versnelde zee-

spiegelstijging en de veranderende randvoorwaarden nog niet verwerkt. Dit effect treedt dus op naast de algehele aanpassing van het profiel die het gevolg is van de veranderende hydraulische randvoorwaarden (zie punt 6). De amplitude van zandgolven behoort tevens in een dergelijke analyse te worden beschouwd, omdat immers ook tijdens het passeren van het dal van een dergelijke golf de waterkering op sterkte gehouden moet kunnen worden (zie ook punt 3).

ad 5. de hoogte van de veiligheidsnormen en ontwikkeling in rekenmodellen

de hoogte van de veiligheidsnormen

De ondergrens wordt gevormd door een in de toekomst verlaagde veiligheidsnorm, bijvoorbeeld een factor 5 ten opzichte van de huidige norm. De bovengrens kan bijvoorbeeld worden bepaald door uit te gaan van een factor 10 extra veiligheid ten opzichte van de huidige norm. Het verschil in de factoren voor onder- en bovengrens komt voort uit de redenering dat de ondergrens voor sommige kustgebieden anders dicht bij de herhalingstijd van de 1953 stormvloed ligt. Dit lijkt een onwaarschijnlijke wijziging in normering. Bovendien tenderen de normen eerder naar veiliger waarden gezien de toegenomen economische belangen in de te beschermen gebieden. De huidige methode van de leidraad 'Duinafslag' is geschikt om voor kleinere en grotere faalkansen de ontwerpafslag te berekenen. Bij de ondergrens levert dit een negatieve bijdrage aan de reservestrook op, bij de bovengrens een positieve.

rekenmodellen

De ondergrens wordt gevormd door modellen toe te passen waarmee minder afslag wordt berekend dan met het huidige rekenmodel. Uit de vergelijking van DUROSTA met DUROS blijkt dat met het DUROSTA model een afslag wordt berekend die tot 25% lager kan uitvallen dan met het DUROS model. De bovengrens kan worden geschat door uit te gaan van het huidige DUROS model.

ad 6. hydraulische randvoorwaarden en klimaatverandering

hydraulische randvoorwaarden

De bijstelling als gevolg van verbeterde schattingsmethoden en grotere hoeveelheden statistische gegevens kan per saldo leiden tot hogere of lagere randvoorwaarden. Voor de ondergrens kan bijvoorbeeld worden uitgegaan van 20% lagere randvoorwaarden in termen van ontwerp-

waterstand, golfhoogte, golfperiode en stormduur. Voor de bovengrens kan bijvoorbeeld worden uitgegaan van 20% hogere waarden.

klimaatverandering

Voor de versnelde zeespiegelstijging en de daarmee gepaard gaande effecten op stormintensiteiten zijn in diverse (internationale) verbanden schattingen gemaakt van de effecten. Deze schattingen zijn gebaseerd op klimaatmodellen. Alhoewel een trendmatig versnelde zeespiegelstijging (nog) niet is waar te nemen, is er wel enige consensus over bepaalde ondergrenzen en bovengrenzen. Zijn de onzekerheden die tot dusver zijn genoemd nog min of meer onafhankelijk van elkaar te kwantificeren, voor zeespiegelstijging en stormintensiteit ligt dit ingewikkelder omdat deze invloeden zich doen gelden onder zowel ontwerpomstandigheden als dagelijkse omstandigheden.

Voorgesteld wordt daarom om een viertal scenario's uit te werken om een schatting te krijgen van de orde van grootte:

scenario 1 en 2: kustlijn blijft gehandhaafd en zeespiegelstijging is conform de ondergrens c.q. bovengrens.

De bijdrage aan de reservestrook volgt nu uit een eenvoudige afslagberekening met verhoogde ontwerpcondities conform de onder- en bovengrenswaarden uit de literatuur.

scenario 3 en 4: structurele erosie wordt toegestaan en zeespiegelstijging is conform de ondergrens c.q. bovengrens.

Uit de regel volgens Bruun (1954) volgt dat het profiel terugschrijdt tot een nieuw evenwicht rondom de verhoogde waterstand. Daarnaast kan als gevolg van grotere golfhoogten, golfperioden en stormduur nog extra afslag optreden tijdens ontwerpomstandigheden. De invloed van de veranderende hydraulische omstandigheden op de structurele erosie kan worden geschat op basis van een langstransport model. Voor een kustvak met een relatief goed bekende trendanalyse over de teruggang en een goed bekend golfklimaat kunnen de transportcapaciteiten op de grenzen van het beschouwde vak worden berekend. Netto moeten deze capaciteiten leiden tot de gemiddelde achteruitgang van de kust per jaar zoals die uit de trendanalyse volgt. Door hierop te ijken, wordt een afgeregeld model verkregen waarmee de effecten op de structurele erosie zijn te bepalen van in de loop der tijd veranderende hydraulische randvoorwaarden.

breed

Er kan voor worden gekozen een brede strook van het duingebied als waterkering aan te merken. De waterkeringsfunctie heeft dan vrijwel geen beperkingen op te leggen aan de ontwikkelingsmogelijkheden van de andere functies in de waterkering. In voorkomende gevallen kan zonder enig bezwaar aan sommige functies ruimte worden gegeven voor verdere ontplooiing, die op het eerste gezicht ten koste lijken te gaan van de waterkeringsfunctie (bijvoorbeeld enige verstuiving van de zeereep). In brede waterkeringen is dat geen enkel bezwaar; ook elders draagt verstoven zand bij aan waarborging van de uiteindelijke veiligheid.

Deze benadering sluit aan op de conclusies van de commissie 'Boertien' inzake de samenhang van functies [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1993].

smal

Er kan voor worden gekozen een smalle strook in het brede duingebied als waterkering aan te merken. Aan de ontwikkelingsmogelijkheden van functies in het duingebied landwaarts van de aldus gedefinieerde waterkering kunnen en hoeven er vanuit waterkeringsbelangen geen beperkingen te worden opgelegd. In het gebied dat dan als waterkering is aangemerkt echter des te meer.

Fig. 5.4 Brede en smalle waterkeringszone.

samenvattend

Uit bovenstaande analyse volgt voor iedere factor een onzekerheidsband. Hiermee ligt een standaardafwijking en een gemiddelde voor de betreffende factor vast. Deze standaardafwijking kan, uitgaande van de veronderstelling dat alle factoren min of meer onafhankelijk zijn, worden samengesteld tot een term waarmee de ondergrens (gemiddelde minus standaardafwijking) en de bovengrens (gemiddelde plus standaardafwijking) kan worden bepaald. Het samengesteld gemiddelde en bijbehorende standaardafwijking kan worden bepaald met behulp van de optelregel van normale verdelingen (gemiddelden worden gesommeerd en de standaardafwijking is de wortel uit de kwadraten van de afzonderlijke standaardafwijkingen).

bestuurlijke overwegingen / keuze alternatieven

Uit het voorgaande blijkt dat het niet eenvoudig is om met behulp van een eenvoudige 'rekenprocedure' de gewenste positie van de landwaartse grens van de primaire waterkering te bepalen. Wel is een onder- en bovengrens aangegeven waarbinnen die positie kan worden bepaald. Bij de uiteindelijke vaststelling spelen ook enkele bestuurlijke overwegingen een rol. Het antwoord op de vraag welk deel van het duingebied als waterkering wordt aangemerkt, is afhankelijk van de lokale situatie. Het antwoord heeft een grote invloed op de ontwikkelingsmogelijkheden van dat duingebied.

Er zijn plaatsen waar het duingebied smal is. Het duingebied is daar in ieder geval waterkering; de ontwikkelingsmogelijkheden voor andere functies dan waterkering zullen relatief klein zijn, ook al zullen er in principe altijd planten en dieren in dat gebied leven en ook al zijn smalle duinen een element in het landschap.

Op andere plaatsen is de zandige kust zo breed en hoog dat de veiligheid altijd gewaarborgd is. Op de vraag welk deel van het duingebied als waterkering wordt aangemerkt, zijn dan in beginsel twee antwoorden mogelijk. Er kan voor een brede of een smalle waterkeringszone worden gekozen (fig. 5.4).

Waterkeringsbelangen en ontwikkelingsmogelijkheden van andere functies in het duingebied raken elkaar hoe dan ook. Steeds moet bij het kustbeheer een keuze worden gemaakt met betrekking tot de functies in een kustgebied die naast de waterkeringsfunctie tot ontplooiing kunnen komen.

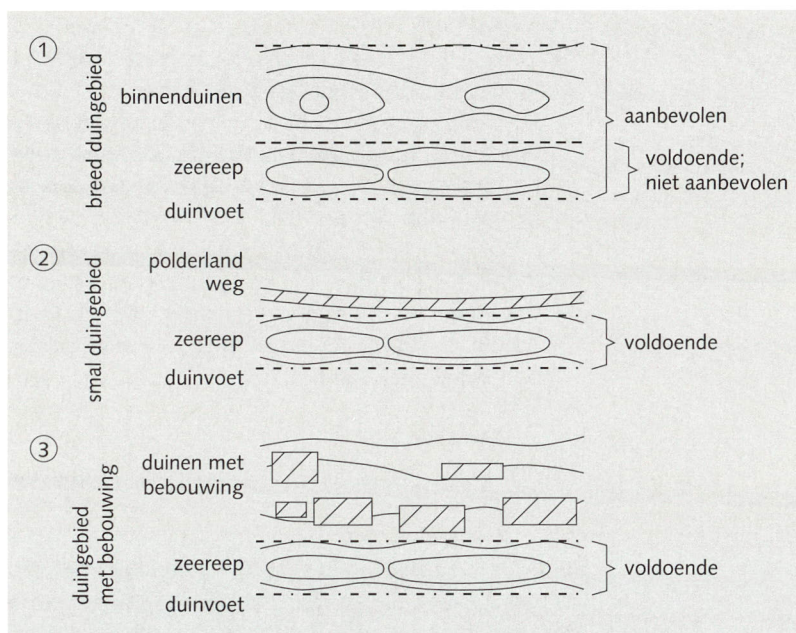


Fig. 5.5 Kustzones met de kenmerken:
1. brede duingebieden; 2. smalle duingebieden; 3. duingebieden met bebouwing (aanbevelingen schematisch weergegeven).

In het navolgende worden argumenten aangedragen voor een keuze van één van beide mogelijkheden van fig. 5.4. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar de volgende typen kustzones:

1. kustzones met (zeer) brede en hoge duingebieden. Er zijn thans geen problemen met betrekking tot de veiligheid tegen overstroming van het achterland en in de toekomst zijn die ook niet te verwachten; er is een overmaat aan veiligheid (Kenmerk: brede duingebieden).
2. kustzones met smalle duingebieden. Thans is de situatie nog wel juist veilig, maar er zijn in het duingebied slechts beperkte reserves voor toekomstige ontwikkelingen (Kenmerk: smalle duingebieden).
3. kustzones waarin zich belangrijke, economisch hoog gewaardeerde, ontwikkelingen hebben voorgedaan die zich naar verwachting zullen doorzetten (Kenmerk: duingebieden met bebouwing).

In figuur 5.5 zijn deze 3 typen kustzones in bovenaanzicht geschetst.

ad 1. kustvakken met brede duingebieden

In kustzones met het kenmerk brede duingebieden dient een weloverwogen keuze voor de landwaartse begrenzing van de primaire waterkering te worden gemaakt.

Daar waar ruimte genoeg is, verdient het aanbeveling de landwaartse grens van de primaire waterkering tamelijk ver landwaarts vast te stellen (keuzemogelijkheid breed; fig. 5.4). De beheerder is dan in staat om in ruime mate rekening te houden met andere belangen dan het belang van een veilige zeewering. In sommige gevallen is het dan bijvoorbeeld niet strikt noodzakelijk het zand in de zeereep vast te houden; ook wat verder landwaarts draagt dat zand dan bij aan de uiteindelijke veiligheid van de waterkering als geheel.

Indien zou worden gekozen voor de keuzemogelijkheid smal (zie fig. 5.4), dan kan dat tot gevolg hebben dat er een zeer strikte scheiding tussen het beheer van de eigenlijke waterkering en van het verder landinwaarts gelegen duingebied zal ontstaan.

In de relatief smalle waterkeringszone dient het beheer zich zeer sterk te richten op de waterkeringsfunctie. Natuurlijke ontwikkelingen, die met enig zandverlies gepaard gaan, zijn in een dergelijk geval ongewenst; de sterkte van de waterkering wordt dan immers aangetast.

Aan de andere kant hoeft de beheerder van de zone landwaarts van de aldus gedefinieerde waterkering geen rekening (meer) te houden met de waterkeringsbelangen.

Het ligt voor de hand dat door een tamelijk strikte scheiding tussen waterkering en overig duingebied een onnatuurlijke scheiding in het aanzien van het totale duingebied zal ontstaan. Zeker voor brede duinen lijkt dat een onnodige tweedeling.

Het wordt afgeraden een smalle waterkeringszone als algemeen uitgangspunt te kiezen bij de vaststelling van de landwaartse grens van de primaire waterkering in brede duingebieden. Daar waar ruimte genoeg is, wordt aanbevolen te kiezen voor een brede waterkeringszone en de landwaartse grens van de primaire waterkering tamelijk ver landinwaarts te leggen.

ad 2. kustvakken met smalle duingebieden

Er zijn situaties waarin het totale kustprofiel maar net aan de veiligheidsnorm voldoet. Met een verschuiving van de landwaartse grens van de primaire waterkering wordt dan geen zinnig doel gediend. In dat geval zal (noodgedwongen) van keuzemogelijkheid smal worden uitgegaan.

ad 3. kustvakken met bebouwing

De bepaling van de landwaartse grens van kustzones met bebouwing vraagt speciale aandacht in verband met het beheersregime ten aanzien van deze bebouwing. Met betrekking tot de keuze tussen de mogelijkheden breed en smal spelen de volgende punten een rol:

- Indien bebouwing aanwezig is landwaarts van het fungerend grensprofiel (fig. 5.1), dan nemen bij een vaststaand beheersregime de beheersinspanningen toe naarmate de grens van de primaire waterkering verder landwaarts wordt gesitueerd. Er zullen namelijk meer vergunningen worden aangevraagd voor aanpassing of uitbreiding van de bebouwing.
- De strengheid van de bepalingen van het beheersregime zullen echter toenemen naarmate de grens van de primaire waterkering verder zeewaarts wordt gesitueerd. Bij de keuze voor mogelijkheid smal kan het zelfs noodzakelijk blijken om bestaande bebouwing op het grensprofiel af te breken, ook indien achter de primaire waterkering nog duingebied genoeg is om, bij een doorbraak van dit grensprofiel, de veiligheid te waarborgen.

Bij de vaststelling van de landwaartse grens van de primaire waterkering zal een afweging tussen bovenstaande punten moeten worden gemaakt. Aanbevolen wordt om (indien mogelijk) bestaande bebouwing buiten de primaire waterkering te houden.

Het vaststellen van de grens zal uiteraard in goed overleg met de kustgemeente dienen te geschieden.

Het blijkt dus dat er eigenlijk alleen in de kustzones met brede duingebieden de mogelijkheid bestaat bewust te kiezen voor één van de beide mogelijkheden breed of smal.

Indien voor de mogelijkheid breed wordt gekozen bij de vaststelling van de landwaartse grens van de primaire waterkering, betekent dat automatisch dat de kustbeheerder aan onderwerpen als natuurontwikkeling, recreatie en waterwinning veel meer aandacht dient te besteden dan indien er voor mogelijkheid smal zou worden gekozen. Eén en ander verzwaart de beheerstaak ongetwijfeld, maar het maakt deze ook inhoudsvoller.

De keuze voor mogelijkheid breed als algemeen uitgangspunt voor de vaststelling van de landwaartse grens van de primaire waterkering kan bij brede duingebieden ook op grond van een soort van 'gelijkheidsbeginsel' worden gemotiveerd. Er zijn immers kustgebieden waar de eigenlijke hoogwaterkering toevallig relatief ver landinwaarts ligt. Op bijvoorbeeld Texel ligt de doorgaande duinregel waar het grensprofiel deel van uitmaakt (en dus zeker tot de primaire waterkering behoort) soms enkele kilometers landinwaarts. De primaire waterkering is daar automatisch tamelijk breed. De beheerder heeft in dergelijke gevallen vanzelf de ruimte om een goed samenhangend beheersbeleid te voeren. Ook aan andere beheerders kan die ruimte worden gegeven.

In een zone die als primaire waterkering wordt aangemerkt, kunnen op grond van de Keur (of op grond van het Rijkszeeweringenreglement als het Rijk de beheerder is) beperkingen ten aanzien van het gebruik van deze zone worden opgelegd. Deze beperkingen kunnen slechts op waterstaatkundige gronden worden opgelegd. Het zou dus een misvatting zijn om te menen dat met de vaststelling van een ver landinwaarts gelegen grens van de primaire waterkering tegelijkertijd allerlei maatschappelijk ongewenste ontwikkelingen in het duingebied kunnen worden tegengehouden. De Waterschapswet en de Wet op de waterkering voorzien niet in een dergelijk oneigenlijk gebruik.

Maatschappelijk ongewenste ontwikkelingen in het duingebied dienen met planologische middelen te worden tegengegaan (streekplannen, bestemmingsplannen). Voor de vaststelling van bijvoorbeeld gemeentelijke bestemmingsplannen bestaan wettelijk voorgeschreven procedures. Ter visie-legging en inspraakmogelijkheden zijn in die procedures geregeld.

vaststelling landwaartse grens primaire waterkering

In de verschillende POK's worden voorstellen uitgewerkt omtrent de afmetingen van de primaire waterkering. Uit het voorafgaande is gebleken dat er voor sommige elementen van de primaire waterkering met behulp van rekenmethodes een orde van grootte kan worden geschat. De precieze invulling zal echter pas na overleg in de POK's kunnen plaatsvinden.

Er wordt dringend aanbevolen om, indien mogelijk, relatief brede primaire waterkeringen in het kust- en duingebied te definiëren. De beheerder van de primaire waterkering heeft dan de mogelijkheid om in vergaande mate rekening te houden met andere belangen. Bovendien geeft een relatief brede reservestrook de mogelijkheid om eenvoudiger (en dus goedkoper) in te spelen op toekomstige ontwikkelingen met betrekking tot de zeewering.

Door thans relatief brede primaire waterkeringen te definiëren, wordt bovendien voorkomen dat de afmetingen frequent moeten worden bijgesteld (zoals bijvoorbeeld bij geringe wijzigingen in de randvoorwaarden). Eén en ander laat onverlet dat ook in de relatief breed gedefinieerde primaire waterkeringen, zones kunnen worden aangegeven waarbinnen verschillende beheersregimes gelden.

5.2.6 Landwaartse grens beheersgebied (landwaartse grens keurgebied)

De landwaartse grens van de beheerszone ligt verder landwaarts dan de landwaartse grens van de primaire waterkering. Tussen de landwaartse grens van de primaire waterkering en de landwaartse beheersgrens dient er een strook tot de beheerszone te worden gerekend die met de term invloedsstrook kan worden aangeduid. Dit is in ieder geval noodzakelijk op plaatsen waar de landwaartse grens van de primaire waterkering (noodgedwongen) relatief ver zeewaarts wordt gedefinieerd (bij smalle primaire waterkeringen).

Voor de instandhouding van de waterkering moet het mogelijk zijn enkele voorwaarden aan het gebruik van deze invloedsstrook te verbinden.

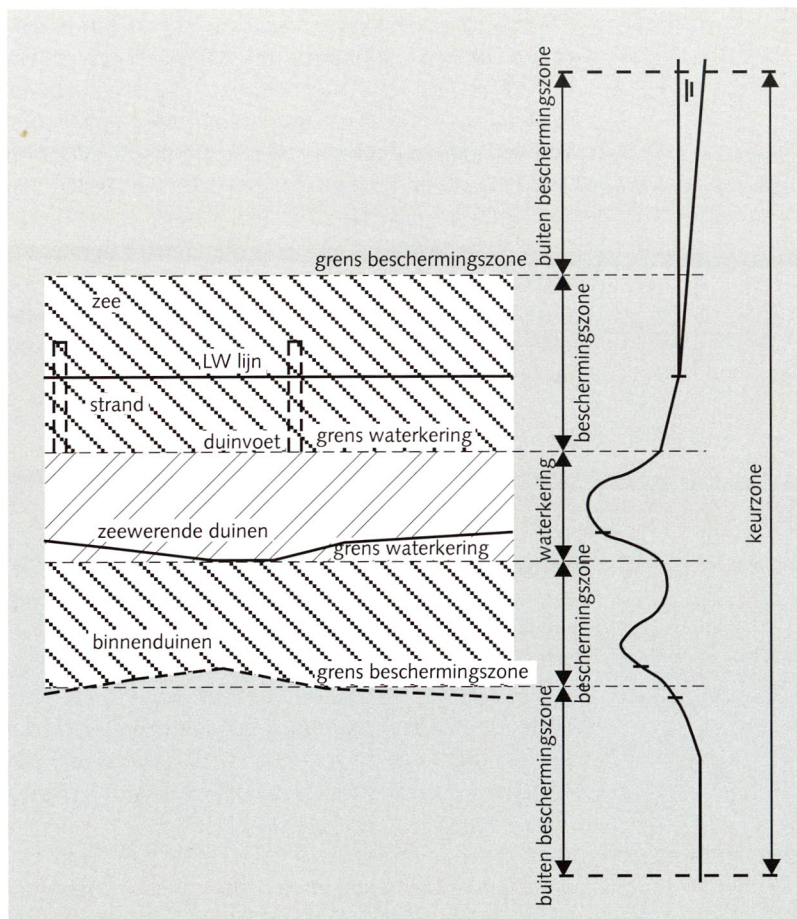


Fig. 5.6 Indeling kustprofiel volgens Model-Keur.

Er kan bijvoorbeeld worden gedacht aan voorwaarden in verband met ontgravingen teneinde de stabiliteit van de waterkering niet in gevaar te brengen, voorwaarden in verband met de aanleg van buisleidingen in deze strook en voorwaarden met betrekking tot de aard van de bebouwing (bijvoorbeeld geen diepe kelders). Voor de breedte van de invloedsstrook kan in het algemeen 50 m worden aangehouden.

De afmetingen van de primaire waterkering en van de invloedsstrook worden voor een aantal dwarsprofielen bepaald. Als uiteindelijke landwaartse beheersgrens dient een eenvoudig eenduidig vast te leggen lijn te worden gekozen die de individuele punten omsluit (bijvoorbeeld X m uit de Rijksstrandpalenlijn).

5.2.7 Indeling volgens de Model-Keur

In figuur 5.6 is de door de Unie van Waterschappen voorgestelde indeling van de kustzone gegeven. Dit voorstel is voornamelijk ingegeven door de wens om duinen op dezelfde wijze in te delen als (zee)dijken, met vergelijkbare gebods- en verbodsbepalingen. Het gaat om de volgende zones:

1. kernzone (waterkering);
2. beschermingszones;
3. buitenbeschermingszones.

De indeling volgens de Model-Keur wijkt af van de indeling van de kustzone zoals die in dit basisrapport wordt gebezigd.

In het navolgende zal een voorstel worden geformuleerd voor de wijze waarop aan beide indelingen recht kan worden gedaan. Er zal worden aangegeven hoe de indeling volgens de Model-Keur kan samenvallen met de technische indeling zoals deze in dit basisrapport wordt gepresenteerd (fig. 5.7).

ad 1. kernzone

De kernzone wordt door de Unie van Waterschappen gedefinieerd als de ontwerpafslagzone en het daaraan aansluitende grensprofiel. In het algemeen vormt de duinvoet de zeewaartse grens van de aldus gedefinieerde kernzone; eventueel kunnen ook de aanwezige strandhoofden of paalrijen tot de kernzone worden gerekend.

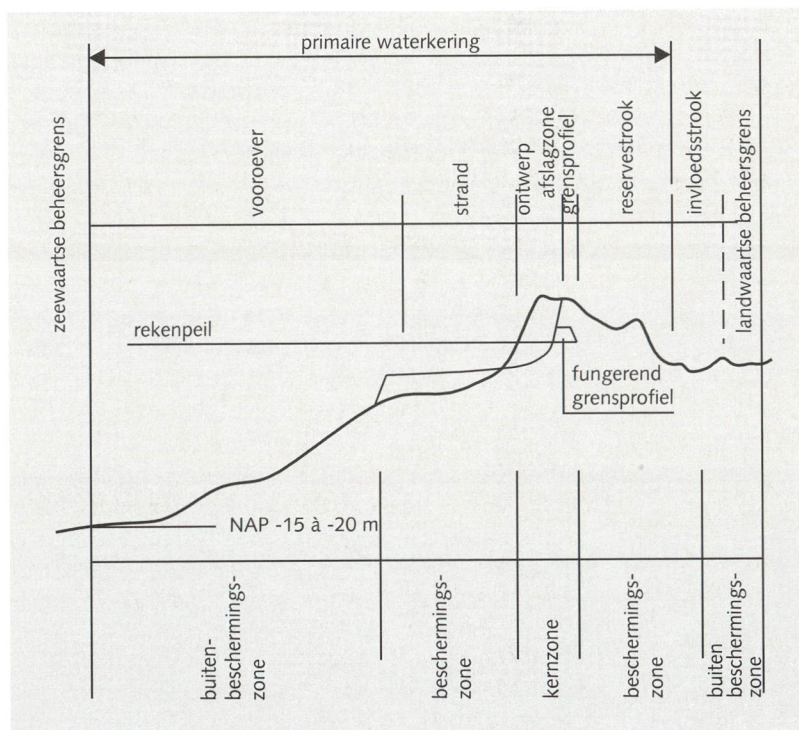


Fig. 5.7 Vertaling van de indeling volgens de Model-Keur naar een duingebied.

ad 2. beschermingszones

Landwaartse beschermingszone:

- Hier kan de beschermingszone volledig samenvallen met de reservestrook en een deel van de invloedsstrook.

Zeewaartse beschermingszone:

- Volgens de toelichting op de Model-Keur gaat het om het strand en de vooroever tot even voorbij het punt waar zich volgens de afslagberekeningen de meest zeewaartse grens van het afslagprofiel tijdens ontwerpomstandigheden bevindt.

ad 3. buitenbeschermingszones

In de Model-Keur worden enkele kenmerken gegeven die bij de vaststelling van de breedte van de buitenbeschermingszones een rol zouden kunnen spelen.

Landwaartse buitenbeschermingszone:

- Deze buitenbeschermingszone omvat het deel van de keurzone tussen de grens van de beschermingszone en de landwaartse grens van de keurzone.

Zeewaartse buitenbeschermingszone:

- De zeewaartse buitenbeschermingszone valt samen met (een deel van) de vooroever.

De gebods- en verbodsbepalingen zijn verschillend voor de verschillende zones. In het algemeen neemt de zwaarte van de geboden en verboden af in de volgorde:

kernzone > beschermingszones > buitenbeschermingszones.

In de toelichting op de Model-Keur is benadrukt dat het opleggen van bepaalde restricties aan het gebruik van gronden in het keurgebied slechts is ingegeven ter bescherming van het waterstaatkundig functioneren van de waterkeringen.

5.3 Formele beheersinstrumenten

Het beheer van zeeweringen kan slechts aan overheidsorganen worden toevertrouwd; in het algemeen aan Waterschappen, in bijzondere gevallen aan het Rijk. Bij het beheer kan gebruik worden gemaakt van diverse formele beheersinstrumenten.

Provinciale Verordening

Provinciale Staten stellen een Verordening vast waarin een aantal verplichtingen van de beheerders nader wordt geregeld. (Thans wordt een Model-Verordening voorbereid: 'Verordening op de primaire waterkeringen in het kader van de Wet op de waterkering'.) Zo worden bijvoorbeeld eisen gesteld aan de in de Wet op de waterkering (Art. 12) genoemde Overzichtskaart, de Legger en het Technisch Beheersregister.

Keur

In de Keur (Waterschappen als beheerder) en in het Rijkszeeweringenreglement (het Rijk als beheerder) worden gebods- en verbodsbepalingen opgenomen met betrekking tot activiteiten die de waterstaatkundige toestand en het beheer en onderhoud van de zeewering kunnen beïnvloeden. Slechts met een door de beheerder af te geven Vergunning kan ontheffing van deze bepalingen worden verleend.

In het navolgende zal voornamelijk over de Keur worden geschreven; veel van de verdere opmerkingen gelden in feite in vergelijkbare mate voor het Rijkszeeweringenreglement.

Omdat in de nabije toekomst vele Keuren dienen te worden aangepast (als uitvloeisel van onder andere de Waterschapswet, de Wet op de waterkering en de Wet op de Waterhuishouding), is door de Unie van Waterschappen een Model-Keur uitgegeven (1991) [zie ook 'Unie model-legger/technisch beheersregister ten behoeve van primaire waterkeringen', Unie van Waterschappen (1992)]. Zowel in de huidige Keuren als in deze Model-Keur zijn de verbodsbepalingen tamelijk ruim en algemeen geformuleerd. Daardoor vallen veel beoogde activiteiten in de keurzone onder de werkingssfeer van de Keur.

In de Model-Keur zijn de meeste bepalingen met betrekking tot de waterkering zodanig geformuleerd dat deze zowel op duinwaterkeringen als bijvoorbeeld op zeedijken betrekking hebben. Het eigene van een duinwaterkering komt daardoor niet goed tot uitdrukking. In paragraaf 5.4 worden enkele technische onderwerpen behandeld die bij het kustbeheersbeleid, en dus ook bij het beleid voor het verlenen van Vergunningen, van belang kunnen zijn.

Overzichtskaart

De beheerder draagt zorg voor de vaststelling van een Overzichtskaart waarop de ligging van de primaire waterkering staat aangegeven (Wet

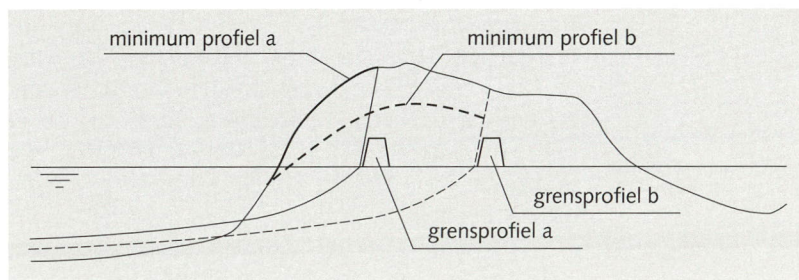


Fig. 5.8 Mogelijke minimale profielen in een breed duin.

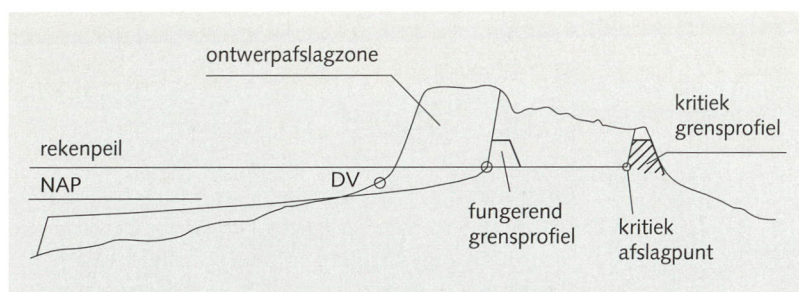


Fig. 5.9 Dwarsprofiel in Legger.

op de waterkering; Art. 12). Er wordt aanbevolen op deze kaart ook de andere relevante zones van het gehele beheersgebied aan te geven.

Legger

In de Legger zijn de belangrijkste kenmerken samengevat waaraan een waterkering dient te voldoen. De Legger wordt door de beheerder vastgesteld; inspraakprocedures zijn voorzien.

In principe is de inhoud van een Legger permanent van karakter. In de Legger wordt aangegeven waar de waterkering zich bevindt en aan welke eisen en afmetingen de waterkering tenminste moet voldoen. In de Legger worden de juridisch relevante begrenzingen van de primaire waterkering en de grenzen waarbinnen de bepalingen van de Keur gelden, vermeld (zie in dit verband ook de zones die in figuur 5.7 zijn aangegeven). In de Legger dienen tevens de onderhoudsplichten en de onderhoudsplichtigen te worden vermeld.

In de Legger dient dus te worden aangegeven aan welke eisen en afmetingen de waterkering ten minste moet voldoen. In het geval van een duinenkust met een overmaat aan veiligheid zijn er binnen een gegeven dwarsprofiel vaak veel verschillende minimale profielen aan te geven (zie fig. 5.8). Zowel profiel a (hoog en smal) als profiel b (laag maar breed) bieden in dit geval de overeengekomen mate van veiligheid aan het achterland.

Er wordt daarom aanbevolen om voor een duinenkust de indeling volgens figuur 5.9 te volgen. De zone die in figuur 5.9 als ontwerpafslagzone is aangeduid, komt overeen met de ontwerpafslagzone van profiel a uit figuur 5.8. Bij enige dynamiek van de zeereep (er vindt daar bijvoorbeeld wat verstuiwing plaats) wordt het vereiste permanente karakter van de Legger formeel geweld aangedaan. In één oogopslag blijkt uit figuur 5.9 dat in dat geval de veiligheid nog voldoende is verzekerd.

De positie van het doorgaande, meest landwaarts gelegen grensprofiel in het beheersgebied dient duidelijk te worden aangegeven. De 'zeekant' van het grensprofiel geeft dan het kritiek afslagpunt aan (fig. 5.9). Het kritiek afslagpunt geeft aan tot hoever de afslag tijdens een (zeer zware) stormvloed maximaal kan voortschrijden, zonder dat er een doorbraak van de duinen optreedt en de veiligheid van het achterland in gevaar komt.

Technisch Beheersregister

Het Technisch Beheersregister geeft de feitelijke toestand van de waterkering aan. Het bevat dus onder andere recente dwarsprofielen waarin onder meer de positie van de kustlijn en de positie van de duinvoet zijn aangegeven. Het Technisch Beheersregister is in de eerste plaats een hulpmiddel voor de beheerder bij het beheer van de waterkering, zowel bij het uitoefenen van het dagelijkse beheer als bij calamiteuze situaties.

5.4 Technische aspecten bij het beheersbeleid

5.4.1 Algemeen

Binnen de gedefinieerde beheersgrenzen zal de beheerder van de primaire waterkering een samenhangend beheersbeleid moeten voeren. Dit beleid is in de eerste plaats gericht op het in stand houden van de waterkering, opdat deze aan de veiligheidsnormen blijft voldoen. Daarnaast is het uiteraard noodzakelijk dat ook met alle andere functies en belangen zoveel mogelijk rekening wordt gehouden (zie par. 2.1).

Gelet op het bovenstaande, zal regelmatig een belangenafweging moeten worden gemaakt. Het is dan ook nodig dat de beheerder een samenhangende beheersvisie ontwikkelt.

In dit basisrapport worden daarom adviezen gegeven ten aanzien van enkele veel voorkomende situaties. Deze betreffen respectievelijk semi-permanente bebouwing op het strand, permanente bebouwing in het duin en de aanleg van pijpleidingen door het duingebied.

In dit basisrapport worden voornamelijk aspecten van technische aard aangestipt die op de één of andere manier het waterkeringsbelang raken; juridische aspecten blijven bijvoorbeeld buiten beschouwing.

5.4.2 Semi-permanente bebouwing op het strand

Van het totale beheersgebied is juist het strand de zone die voor de recreatie van grote betekenis is. Er is daardoor op het strand behoefte aan (deels seizoensgebonden) inrichtingselementen zoals strandpaviljoens en strandhuisjes.

In deze paragraaf is er steeds sprake van strandpaviljoens (horecabedrijven); in feite kunnen vergelijkbare opmerkingen worden gemaakt over

bijvoorbeeld onderkomens voor de strandpolitie, het reddingswezen en over strand- en badhuisjes.

Het blijkt in de praktijk dat er geen eenduidig beleid voor de gehele Nederlandse kust bestaat. Lokale verschillen in omstandigheden hebben er in het verleden toe geleid dat er door de beheerders soms enigszins verschillend met het onderwerp bebouwing op het strand werd omgegaan. Het regeringsbeleid om de positie van de kustlijn in de toekomst in principe op de positie van 1990 te handhaven, maakt het voor sommige beheerders thans mogelijk een enigszins ander beleid te voeren met betrekking tot het toestaan van bebouwing op het strand.

Eigenaren van strandpaviljoens hebben een vergunning van de beheerder van de waterkering nodig om een paviljoen op het strand te mogen neerzetten. In de benodigde vergunning kunnen vijf soorten technische eisen worden gesteld:

1. eisen ten aanzien van de positionering van de paviljoens in de richting langs de kust;
2. eisen ten aanzien van de positionering van de paviljoens in het dwarsprofiel;
3. eisen ten aanzien van de periode van het jaar dat semi-permanente bebouwing op het strand kan worden toegestaan;
4. eisen met betrekking tot de doorvoer van leidingen door de duinen (rioleringen, kabels en leidingen);
5. eisen met betrekking tot de funderingsgrondslag van de paviljoens.

ad 1. positionering in langsrichting

Strandpaviljoens zijn kunstmatige elementen op het strand die hoe dan ook de natuurlijke ontwikkelingen van het strand en van de zeereep beïnvloeden. Het effect van paviljoens op de natuurlijke ontwikkelingen is echter meestal zo gering, dat er uit waterkeringsbelang maar een geringe noodzaak tot regulering bestaat.

In kustvakken waar gewoonlijk in de zomer veel aanstuiving van de duinen optreedt (buitenduinbeloop; nabij de duinvoet), is het wenselijk de semi-permanente bebouwing op het strand niet te dicht op elkaar te bouwen; de gewenste aanstuiving kan dan zo goed mogelijk doorgang vinden. In sommige gevallen dient er bovendien rekening te worden gehouden met de bereikbaarheid van de duinen vanaf het strand in verband met onderhoudswerk. Een lange ononderbroken rij strandhuisjes kan dan ongewenst zijn.

De huidige vraag om op het strand een meer permanente bebouwing toe te staan, kan worden gezien als een volgende stap in voortschrijdende ontwikkeling.

Planologisch gezien lijken er geen steekhoudende argumenten te zijn waarom een strandpaviljoen dat kennelijk in de zomer geen bezwaar oproept, dat in de winter wel zou doen.

De strandpaviljoens zijn in de loop van de tijd wel groter geworden en zij bieden de bezoekers wel steeds meer faciliteiten, maar het blijven strandpaviljoens (de paviljoens zijn nog steeds tamelijk eenvoudig te ontmantelen).

Als op sommige plaatsen wordt toegestaan dat van nature semi-permanente bebouwing permanent mag blijven staan, ligt als volgende stap in de rede dat er zal worden gestreefd naar echt permanente bebouwing op het strand (minder kwetsbaar, nog groter). Het is voorstelbaar dat een dergelijke ontwikkeling, die het karakter van het strand wezenlijk aantast, maatschappelijk als ongewenst wordt ervaren. Een dergelijke ontwikkeling kan waarschijnlijk niet in alle gevallen op grond van strijdigheid met waterkeringsbelangen worden tegengegaan. Het verdient daarom aanbeveling om daar, indien dat gewenst wordt geacht, in streek- en bestemmingsplannen bepalingen over op te nemen.

Fig. 5.10 Maatschappelijke ontwikkeling met betrekking tot strandpaviljoens.

Het is niet mogelijk om een eenduidige maat aan te geven voor de vereiste minimale afstand tussen de paviljoens. Van geval tot geval dient de beheerder te beslissen of het wenselijk is hiervoor bepalingen in de vergunning op te nemen.

ad 2. positionering in dwarsprofiel

In sommige gevallen kunnen er eisen worden gesteld aan de minimale afstand tussen het strandpaviljoen en de duinvoet. Een zekere afstand kan nodig zijn om bijvoorbeeld afrasteringen tussen strand en duin te kunnen plaatsen en om het mogelijk te maken met bijvoorbeeld riet-schermen de aanstuiving nabij de duinvoet te bevorderen.

ad 3. semi-permanent of permanent

Vroeger was de (strand)recreatie vooral een seizoensgebonden aangelegenheid. In de vergunning werd een beperkte periode aangegeven waarin het strandpaviljoen op het strand mocht staan (bijvoorbeeld april t/m oktober). Voor de paviljoenhouder was dat geen bezwaar; in de winter zijn de risico's op schade relatief groot en in die periode kon er toch nauwelijks omzet worden gemaakt.

Tegenwoordig echter worden in toenemende mate ook in de wintermaanden op dat seizoen toegesneden vormen van strandrecreatie bedreven. Ook in de winter blijkt er op bepaalde plaatsen klandizie voor de paviljoens te bestaan. Bovendien is er een ontwikkeling gaande dat de paviljoens steeds groter worden en steeds meer faciliteiten bieden (fig. 5.10). Het wordt dan steeds moeilijker (en onaantrekkelijker) de paviljoens in de herfst af te breken en in het voorjaar weer op te bouwen. Sommige eigenaren zouden daarom hun paviljoen graag het gehele jaar door op het strand laten staan en (bijvoorbeeld in de vakanties en in de weekeinden) ook geopend houden. Eén en ander houdt ongetwijfeld een stimulans voor de strandrecreatie in.

De vraag of de kustbeheerder aan dergelijke ontwikkelingen (onder voorwaarden) zijn medewerking kan verlenen, dient per situatie te worden beantwoord. Op grond van waterkeringsbelangen is er geen eensluidende gedragsregel te formuleren die voor de gehele Nederlandse kust geldt.

De volgende aspecten zullen bij de afweging van de beheerder om eventueel ook in de winter bebouwing op het strand toe te staan, een rol spelen:

- Het is duidelijk dat met het toelaten van semi-permanente bebouwing op het strand in het winterseizoen grote risico's zijn gemoeid. Uiteraard zijn deze risico's voor rekening van de eigenaar van het strandpaviljoen. Het verdient in voorkomende gevallen aanbeveling dat de beheerder de eigenaar expliciet wijst op deze risico's.
- Semi-permanente bebouwing op het strand die ook in het winterseizoen wordt toegestaan, dient op palen te worden gefundeerd.
- Bij een wat zwaardere stormvloed zal het strandpaviljoen volledig worden vernietigd. De kosten van de schade en de opruiming van de restanten zijn voor rekening van de eigenaar. Wellicht kan in de vergunning worden geëist dat de eigenaar voor de kosten van opruiming een bankgarantie afgeeft.
- Van de thans gangbare constructies voor strandpaviljoens kan worden aangenomen dat de mate van duinafslag tijdens echt zware stormvloeden niet in nadelige zin wordt beïnvloed door (restanten van) deze constructies.
- 'Permanente' semi-permanente bouwwerken staan een ongehinderde uitvoering van onderhoud aan de waterkering en van strandsuppleties in de weg. In de vergunning dienen wellicht voorwaarden te worden opgenomen die aangeven dat bedoelde bouwwerken tijdens de suppletie tijdelijk van het strand moeten worden verwijderd of dat een dusdanige vloerhoogte (op palen) wordt gekozen dat het strand onder het paviljoen relatief eenvoudig kan worden opgehoogd (bijvoorbeeld aanschuiven met bulldozer).

Als het wordt toegestaan dat strandpaviljoens ook in de winter op het strand staan, betekent dat enige verzwaaring van de beheerstaak van de beheerder van de waterkering. Hierbij kunnen de volgende aspecten worden genoemd:

- Strandpaviljoens vormen een extra punt van aandacht bij een dreigende calamiteit (hoewel de beheerder daartoe niet kan worden verplicht, zal hij toch vaak waarschuwingen naar belanghebbenden doen uitgaan).
- De beheerder kan worden geconfronteerd met extra (ongewenst) publiek in de zeereep dat tijdens een zware stormvloed het ongetwijfeld spectaculaire onttakelingsproces van een strandpaviljoen van nabij wil meemaken.
- Er ontstaat extra commotie na een calamiteit (te woord staan van vertegenwoordigers van de media).



Fig. 5.11 Kunstmatige verhoging door middel van een paalfundering.



Fig. 5.12 Kunstmatige verhoging door middel van een banket.

- De beheerder kan worden geconfronteerd met ongecoördineerde 'reddingsacties' van eigenaren van strandpaviljoens bij dreigende calamiteiten ('redden wat er te redden is').
- Er bestaat noodzaak om ook zelf een goed inzicht te hebben en te houden omtrent de risico's die de verschillende objecten op het strand met zich mee brengen.

ad 4. riolering, kabels en leidingen

Strandpaviljoens zijn tegenwoordig voorzien van alle nutsvoorzieningen. Aan de kruising van de benodigde leidingen met de zeereep kunnen in de vergunning eisen worden gesteld (bijvoorbeeld automatische afsluiters in de waterleiding om bij breuk te voorkomen dat de zeereep plaatselijk uitspoelt; afsluiters in de drukriolering).

ad 5. de funderingsgrondslag van paviljoens

Eigenaren van strandpaviljoens zijn er bij gebaat dat hun paviljoen wat hoger ligt dan in een natuurlijk dwarsprofiel in de buurt van de duinvoet mogelijk is.

De hoogte van de funderingsgrondslag wordt daarom voor semi-permanente paviljoens (die in de herfst worden afgebroken) zodanig gekozen dat gangbare zomerstormen geen schade zullen aanrichten.

Voor bebouwing op het strand is een horizontale funderingsgrondslag gewenst. Op twee manieren kan aan de wensen van de eigenaren van paviljoens tegemoet worden gekomen:

- paalfunderingen (fig. 5.11);
- zandbanketten (fig. 5.12).

paalfunderingen

Vaak worden (grotere) strandpaviljoens gefundeerd op verticale palen (al dan niet verbonden met horizontale sloven). Soms is de fundering zodanig uitgevoerd dat het onderste gedeelte van de fundering permanent in het strand achterblijft. Tijdens de opbouw van het paviljoen wordt de fundering dan eerst in hoogte opgebouwd door losse paalelementen op het permanente gedeelte te bevestigen.

Eigenaren van semi-permanente strandpaviljoens zien graag dat de paalfundering in de winterperiode op het strand mag achterblijven. Aan de hand van de volgende kanttekeningen kan de beheerder voor elke afzonderlijke situatie nagaan of aan die wens tegemoet kan worden gekomen:

- De aanwezigheid van funderingselementen kan bezwaarlijk zijn bij het onderhoud van strand en duin; de toegankelijkheid van het duin vanaf het strand wordt immers enigszins bemoeilijkt. Soms is dat aanleiding een funderingswijze met een permanente onderbouw en losse opzetelementen te eisen.
- De aanwezigheid van slanke, harde elementen heeft weinig of geen effect op de aanstuiving van de duinvoet.
- Tijdens een stormvloed kan er lokaal enige uitspoeling rond de funderingspalen optreden; de funderingselementen hebben echter geen invloed op de mate van duinafslag die tijdens een stormvloed zal optreden.
- Als de positie van het duinfront in de loop van de tijd enige dynamiek blijkt te vertonen, kan de aanwezigheid van permanente funderingselementen bezwaarlijk zijn. Bij een (tijdelijk) terugwijkend duinfront, wordt de afstand tussen paviljoen en duin te groot. Bij een (tijdelijk) vooruitgaand duinfront dreigt een deel van de fundering onder het zand te verdwijnen. In het laatste geval zal de eigenaar van het paviljoen wellicht proberen de fundering voor de opbouw weer bloot te leggen door middel van enige ontgraving. Het verdient aanbeveling in de vergunning duidelijke bepalingen op te nemen omtrent de verplaatsing van de fundering bij een veranderende ligging van het duinfront.
- In de vergunning dienen bepalingen te worden opgenomen die een vlotte afhandeling van strandsuppleties mogelijk maken. Er kan worden gedacht aan bepalingen met betrekking tot het tijdig verwijderen of optrekken van funderingselementen indien een strandsuppletie zal worden uitgevoerd.

banketten

Een banket is een (kunstmatige) verhoging van het strand nabij de duinvoet waarop een strandpaviljoen kan worden geplaatst. Voor de vorming van een banket wordt zand van elders van het strand gebruikt. Nadat de semi-permanente bebouwing is verwijderd, blijft het banket gewoonlijk gehandhaafd.

De aanwezigheid van banketten heeft op geen enkele wijze effect op de uiteindelijke veiligheid van de duinwaterkering tijdens ontwerpomstandigheden.

Tijdens relatief lage stormvloed en kan van een banket zelfs een gunstig effect uitgaan. Het banket vormt een zandbuffer juist voor de duinvoet. Het duinbeloop zal daardoor minder snel worden aangetast (zie par. 4.3.2).

Eén en ander kan resulteren in verminderde onderhoudskosten. (De begroeiing op het buitenbeloop van het duin behoeft minder vaak te worden hersteld.)

Wanneer hoge banketten worden aangelegd (in het algemeen hoger dan NAP +3,0 m), heeft dat volgens de gekozen methodiek voor de bepaling van de ligging van de kustlijn, tot gevolg dat de berekende kustlijn achteruit gaat (zie par. 6.3.4). Bij de analyse van de ontwikkeling van de ligging van de kustlijn dient met dit effect rekening te worden gehouden. Zonodig dienen de berekeningen te worden gecorrigeerd. In kustvakken waar structurele erosie optreedt, worden de gevolgen van de erosie in veel gevallen met strandsuppleties tegengegaan. Het deel van de suppletie dat aan het buitenbeloop van de duinen aansluit, vormt als het ware vanzelf een banket waarop een strandpaviljoen zou kunnen worden geplaatst. Een dergelijk banket is echter bedoeld voor de voeding van het strand en de vooroever. Vooral aan het einde van de levensduur van de zandsuppletie zullen de inspanningen van de eigenaar van het strandpaviljoen om 'zijn' banket te behouden, groot zijn.

In de vergunning kunnen specifieke eisen met betrekking tot de vormgeving van banketten worden opgenomen. De volgende aspecten zijn daarbij van belang:

- Met betrekking tot omvang en hoogteligging van de banketten kunnen bepalingen in de vergunning worden opgenomen. Voor een hoge ligging van een banket is een relatief grote hoeveelheid zand nodig die in veel gevallen alleen aan het strand mag worden onttrokken. Daardoor kan het resterende droge strand te laag en te smal worden.
- Vaak wordt een in langsrichting doorgaand banket nuttig geacht teneinde een onregelmatig alignement te voorkomen. Vooral bij kustvakken waar door wind relatief veel zand over het strand in langsrichting wordt getransporteerd, veroorzaakt zo'n onregelmatig alignement een onregelmatige aanstuiving nabij de duinvoet. Bij marginale duinen kan dat ongewenst zijn.
- Het verdient aanbeveling te bepalen dat het voor het banket benodigde zand slechts op het strand in het zelfde dwarsprofiel mag worden gewonnen. De zandhuishouding per dwarsprofiel wordt daarmee zo min mogelijk verstoord. (De jaarlijkse kustmetingen behouden dan ook zoveel mogelijk hun waarde.) Er dient dus te worden voorkomen dat bij de vorming van de banketten grote hoeveelheden zand in de langsrichting van de kust worden verplaatst.

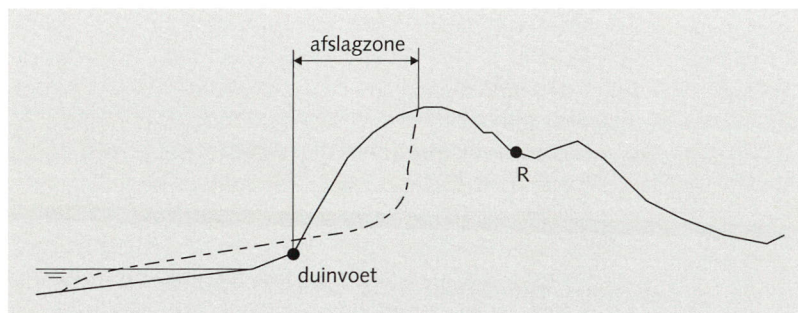


Fig. 5.13 Kustprofiel met afslagzone.

5.4.3 Bebouwing in het duingebied

In figuur 5.13 is een dwarsdoorsnede over een kustprofiel gegeven. Vanaf de duinvoet verder landinwaarts is schematisch een met 'afslagzone' aangegeven strook duingebied ingetekend. Dat is het gedeelte van het duin dat zal afslaan tijdens een (willekeurige) stormvloed. Gegeven het dwarsprofiel en de randvoorwaarden tijdens ontwerpomstandigheden, kan met behulp van de TAW leidraad 'Duinafslag' worden nagegaan tot hoever de afslag zal voortschrijden tijdens de ontwerpomstandigheden. (De breedte van deze strook is in veel gevallen 50 à 100 m.) In figuur 5.13 is met R tevens aangegeven tot hoever de ontwerpafslagzone reikt.

Voor de vestiging van bebouwing is van het totale duingebied de meest zeewaartse strook het meest gewild. Velen zouden in deze strook graag een hotel of een appartementengebouw willen bouwen. Vaak wordt op de beheerder van de waterkering van vele kanten (bijvoorbeeld eigenaren van hotels, projectontwikkelaars, kustgemeenten) druk uitgeoefend om bebouwing van de zone tussen de duinvoet en punt R toe te staan. Of de bebouwing van juist deze zone eigenlijk wel gewenst is, dient eerst op planologische gronden te worden afgewogen. Op dat afwegingsproces wordt in dit basisrapport verder niet ingegaan. Er worden in deze paragraaf slechts enkele technische aspecten behandeld die de beheerder kan betrekken bij zijn overwegingen. Bij het afwegingsproces van de beheerder staat de vraag centraal in hoeverre de waterkeringsfunctie van de bedoelde strook door de eventuele bebouwing in het gedrang komt.

randvoorwaarden

De ligging van de kust wordt in principe gehandhaafd op de positie van 1990 (regeringsbeleid). Dat geeft de beheerder van de kustzone in sommige gevallen de mogelijkheid een enigszins andere benadering dan vroeger te kiezen ten aanzien van het toestaan van bebouwing in de ontwerpafslagzone. Vroeger diende in sommige kustvakken terdege met de structurele teruggang van dat kustvak rekening te worden gehouden. Een bouwwerk dat oorspronkelijk op een grote afstand van de duinvoet in de duinen was gebouwd, kwam door de structurele erosie steeds dichterbij zee te liggen. Vroeg of laat ontstonden er dan problemen (fig. 5.14). Volkomen terecht werd er mede daarom soms een uitermate terughoudend goedkeuringsbeleid gevoerd.



Fig. 5.14 Bebouwing in de afslagzone.

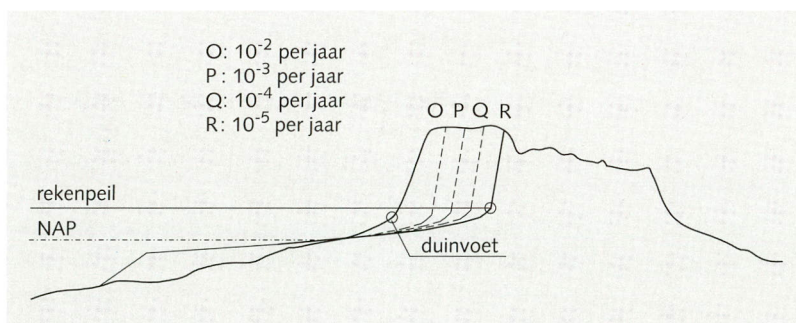


Fig. 5.15 Zonering in duinen.

Met het huidige regeringsbeleid is dat minder strikt nodig. De structurele kustachteruitgang wordt in de toekomst in principe afdoende bestreden. Er kan dus van worden uitgegaan dat de duinvoet onder normale omstandigheden gemiddeld gezien op nagenoeg dezelfde positie ligt. (Na een stormvloed ligt de duinvoet uiteraard wel verder landwaarts.) De ontwerpaflslagzone beslaat steeds nagenoeg dezelfde strook van het duingebied.

overwegingen

Alle belangen (bijvoorbeeld bouwwerken) die zijn gevestigd in de strook van het duingebied waarop aanspraak wordt gemaakt tijdens een ontwerpstormvloed, zullen tijdens zo'n ontwerpstormvloed worden vernietigd. Een dergelijke strook is soms tamelijk breed. De kans dat tijdens een stormvloed de gehele ontwerpaflslagzone 'nodig' is, is maar klein. (Voor Centraal Holland is de kans dat er een grotere afslag optreedt dan de breedte van de ontwerpaflslagzone, gelijk aan 10^{-5} per jaar.)

Het is heel goed mogelijk in de ontwerpaflslagzone een zonering aan te brengen (fig. 5.15). Gaande in de richting $O \succ P \succ Q \succ R$, wordt de kans steeds kleiner dat deze punten tijdens een stormvloed worden bereikt. De kans dat een bouwwerk in de zone tussen de punten Q en R tijdens een stormvloed in zee verdwijnt, is kleiner dan 10^{-4} per jaar en groter dan 10^{-5} per jaar. Het is voorstelbaar dat de eigenaar van bijvoorbeeld een hotel een dergelijke kleine kans aandurft. Een rijwiel- of wandelpad dat tussen de punten O en P is gesitueerd heeft een kans van 10^{-2} tot 10^{-3} per jaar om tijdens een stormvloed in zee te verdwijnen. Soms kan dat aanvaardbaar worden geacht.

Verkenkend onderzoek (het ging daarbij om relatief weinig omvangrijke bouwwerken), heeft tot nu toe uitgewezen dat de mate van duinafslag noch in positieve, noch in negatieve zin wordt beïnvloed door (grote) brokstukken van vernielde constructies. Uit een direct technisch waterkeringsbelang zijn er daarom geen dwingende redenen aan te voeren om de (ontwerp)afslagzone strikt vrij te houden van bebouwing. In hoeverre dat voor alle typen bebouwing geldt, dus ook voor bijvoorbeeld zeer omvangrijke appartementengebouwen, is niet bekend. Als een dergelijk complex tijdens de storm standhoudt, kan er zelfs extra afslag naast het complex worden verwacht. Cruciaal ten aanzien van deze eventuele extra afslag lijkt het uitwisselingseffect van zand ter hoogte van het gebouw te zijn. Voor zeer ongunstige condities is dit voor een

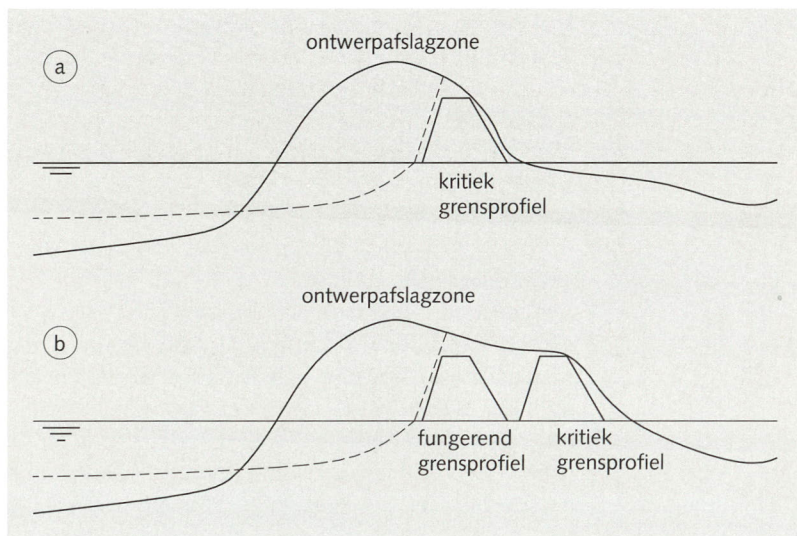


Fig. 5.16 Een marginaal en een breed duingebied.

aantal bestaande gebouwen gekwantificeerd (bovengrensbenadering). Daaruit blijkt dat ter weerszijden van onderbroken bebouwing mogelijk tot maximaal 10 meter extra afslag kan optreden. Dit heeft eventueel consequenties voor waterkeringen zonder veiligheidsreserve. Thans wordt nagegaan in hoeverre deze bovenbenadering realistisch is.

Werkgroep C van de TAW is thans nog bezig om deze kwestie te onderzoeken. Het laat zich indenken dat er uiteindelijk (ook) een onderscheid naar de wijze van constructie van de bouwwerken zal worden gemaakt. Bouwwerken die na ondermijning in het geheel voorover in zee storten, zullen een ander effect op de mate van duinafslag hebben dan bouwwerken die tijdens het onttakelingsproces in kleinere brokstukken uiteenvallen. In het eerste geval zou er bijvoorbeeld sprake van lokale extra ontgronding kunnen zijn.

In kritieke gevallen dient bebouwing op het grensprofiel onder geen beding te worden toegestaan. (Er dient daarbij ook gedacht te worden aan de kruising van bijvoorbeeld rioolbuizen met het grensprofiel. Dat dient over het minimaal vereiste grensprofiel te geschieden.) Het gaat hierbij uitdrukkelijk om smalle duingebieden waar de ontwerpafslagzone vrijwel direct aansluit op het kritiek grensprofiel (fig. 5.16-a). In veel andere gevallen wordt er weliswaar een kritiek grensprofiel aansluitend aan het kritiek afslagpunt gedefinieerd (tot zover zou de afslag tijdens een stormvloed maximaal kunnen voortschrijden, zonder dat de veiligheid van het achterland in gevaar komt), maar er is nog veel ruimte tussen het fungerend grensprofiel en het kritiek grensprofiel (fig. 5.16-b). In dergelijke gevallen is er uit waterkeringsbelang geen dwingende reden één van beide (of beide) grensprofielen strikt vrij te houden van bebouwing. Uit praktische overwegingen verdient het de voorkeur om in langsricting een doorlopend grensprofiel te kiezen dat vrij is (en vrij zal blijven) van bebouwing. De keuze voor de ligging dient te worden afgestemd op de andere functies in de waterkering.

Als medegebruik van de ontwerpafslagzone wordt toegestaan, blijft uiteraard onverkort gelden dat de medegebruikers zelf verantwoordelijk zijn voor de risico's die aan het medegebruik zijn verbonden. Het verdient aanbeveling potentiële medegebruikers bij de vergunningaanvraag expliciet te wijzen op de risico's.

Eigenaren van bouwwerken dienen zelf de risico's te nemen (of te verzekeren) en dienen na een calamiteit de restanten te verwijderen.

Met de genoemde vormen van medegebruik worden de beheerstaken van de beheerders van de waterkering uiteraard enigermate verzwaard. Bijkomende verantwoordelijkheden zijn:

- Het duingebied moet worden ingedeeld in zones met een zeker veiligheidsniveau. Per zone moet worden aangegeven welke vorm van medegebruik wordt toegestaan.
- Er is vooraf veel overleg nodig met potentiële medegebruikers om tot duidelijke afspraken te komen.
- In de voor de beheerder toch al hectische periode tijdens een zware stormvloed is extra aandacht nodig om (hoewel niet verplicht) medegebruikers te attenderen op dreigende gevaren (bijvoorbeeld het advies geven om een hotel te ontruimen).
- De beheerder moet het hoofd bieden aan extra rompslomp direct na een calamiteit waarbij bijvoorbeeld een gerenommeerd hotel tijdens een zware stormvloed in zee is gestort.
- De beheerder dient te bewerkstelligen dat de resten van vernielde bouwwerken op het strand inderdaad worden verwijderd.
- De beheerder zal zich ondanks harde afspraken moreel verplicht kunnen voelen direct na een stormvloed extra noodmaatregelen te treffen (bijvoorbeeld om de eigenaar van een hotel dat nog juist op de rand staat, enigermate terwille te zijn).
- Er moet worden nagaan of het wenselijk is om aanvullende eisen aan de (hoogte)ligging van eventuele bouwwerken te stellen in verband met eventueel noodzakelijke duinverzwaringen in de toekomst.
- Er is extra aandacht nodig voor het tegengaan van hinderlijke verstuiving. Bouwwerken op de zeereep kunnen extra turbulentie veroorzaken waardoor er voor het achterland hinderlijke uitstuiving van zand kan plaatsvinden.

Afhankelijk van het type medegebruik kunnen er eisen worden gesteld aan de uiterste zone waarin de bedoelde activiteiten nog eventueel zouden kunnen plaatsvinden. Voor een rijwielf- of wandelpad kan worden gesteld dat de kans op schade kleiner dan 1/20 per jaar dient te zijn. Voor een hotel in de zeereep zou bijvoorbeeld kunnen worden geëist dat de kans op schade door een stormvloed kleiner dan 1/500 per jaar is.

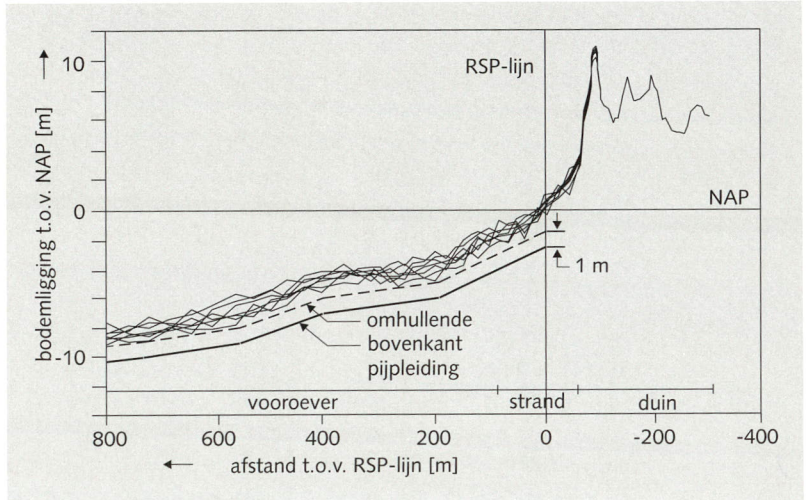


Fig. 5.17 Positie pijpleiding.

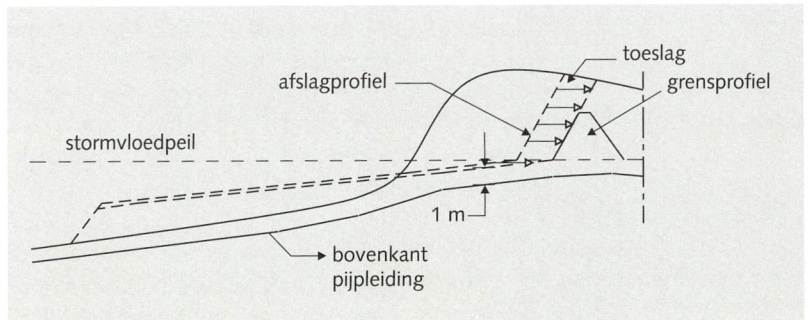


Fig. 5.18 Pijpleiding in de duinen.

5.4.4 Aanlanding van pijpleidingen

De winning van olie en gas op het Continentaal Plat brengt met zich mee dat pijpleidingen vanuit zee de waterkering zullen kruisen (zie par. 2.6). Uit waterkeringsbelang dienen er aan de positionering van pijpleidingen in het dwarsprofiel eisen te worden gesteld. Tevens moeten er aan de wijze van uitvoering eisen worden gesteld [Nederlands Normalisatie Instituut (1993, 1994, 1995 a en b)].

Er dient onderscheid te worden gemaakt tussen de positionering van een pijpleiding in:

1. vooroever en strand;
2. duinen.

ad 1. vooroever en strand

Onder de vooroever en het strand dient de bovenkant van een pijpleiding op een diepte te worden aangelegd van minimaal 1 m beneden de (laagstgelegen) omhullende van een serie dwarsprofielen die in een raai nabij het aanlandingspunt in een reeks van jaren zijn opgemeten (fig. 5.17). Aangetoond moet worden dat de kans dat de leiding bloot komt te liggen kleiner is dan 1/1000 per jaar [NEN 3651 (1994)].

De thans beschikbare serie JARKUS-metingen is nog tamelijk kort voor het bepalen van een betrouwbare omhullende. Bovendien is het moeilijk om eventuele structurele erosie of aanzanding in rekening te brengen. Er wordt daarom aanbevolen om tevens op de meetgegevens enige statistische bewerkingen uit te voeren. Dit is bijvoorbeeld mogelijk door voor enkele vaste afstanden uit de RSP-lijn het gemiddelde en de standaardafwijking te bepalen en aan de hand van de verkregen waarden na te gaan hoe groot de kans is dat de pijpleiding met de aanvankelijk gekozen aanlegdiepte gedeeltelijk bloot komt te liggen. Die kans moet kleiner zijn dan de genoemde 1/1000 per jaar.

Als de pijpleiding een scheepvaartgeul kruist, dient een minimale dekking van de pijpleiding van 3 m te worden aangehouden.

ad 2. duinen

In het duingebied dient de bovenkant van de pijpleiding minimaal 1 m beneden het afslagprofiel dat bij ontwerpomstandigheden behoort, te worden aangelegd (fig. 5.18). Met de procedures die in de TAW leidraad 'Duinafslag' zijn beschreven, kan de vorm van dat afslagprofiel worden

bepaald. Om de positie van dat afslagprofiel in het dwarsprofiel te bepalen, dient het afslagprofiel in horizontale richting te worden verschoven tot het nulpunt van dat profiel samenvalt met de berekende positie van de duinvoet na de storm. (Er dient dus met de in de leidraad 'Duinafslag' aangegeven 'toeslag' rekening te worden gehouden.) De pijpleiding dient onder het grensprofiel door te lopen.

uitvoering

In het algemeen wordt geëist dat de aanleg niet in de winterperiode plaatsvindt. Aan de landzijde van het grensprofiel moet de leiding bij uitvoering als sleepzinker tot boven het maximale stormvloedpeil reiken. Indien de leiding in fasen wordt aangelegd, zodat er geen doorgaande open sleuf in de duinen ontstaat of de leiding volgens de bestuurbare horizontale boormethode diep onder de waterkerende duinen wordt doorgevoerd, vervalt deze eis [NEN 3651 (1994)].

Het uit de sleuf verwijderde zand wordt in depot gezet. Na de aanleg wordt hetzelfde zand weer aangebracht en de begroeiing hersteld.

In het verleden werd vaak geëist dat de begroeiing van het duin in het tracé van de pijpleiding tijdens de uitvoering zorgvuldig in depot werd gezet. Na de aanvulling van de uitgegraven sleuf zou de oorspronkelijke begroeiing dan weer worden teruggezet. In de praktijk blijkt dit met helm niet goed te werken. (Uiteraard laat dit onverlet dat het tracé na afloop van het werk deugdelijk moet worden ingeplant.)

6 VEILIGHEID EN LIGGING VAN DE KUSTLIJN

6.1 Inleiding

Bij het technisch beheer van de kust in de praktijk spelen twee elementen een centrale rol:

- de waarborging van de veiligheid (volgend uit de Wet op de waterkering);
- de handhaving van de ligging van de kustlijn (volgend uit het Regeeringsbeleid).

Het verzekeren van de wettelijk vastgestelde mate van beveiliging van het achterland is de belangrijkste functie van de kustzone (zie par. 2.2). In paragraaf 6.2 wordt nader ingegaan op de methode die in Nederland is gekozen om de mate van duinafslag te kwantificeren. Bovendien worden enkele problemen behandeld die bij de daadwerkelijke toepassing van deze methode kunnen optreden.

Er is in Nederland besloten om de positie van de kustlijn in principe te handhaven (ten minste op de positie van 1 januari 1990). Gevoelsmatig begrijpt vrijwel elke betrokkene wat daarmee wordt bedoeld. Mede door de gescheiden verantwoordelijkheden (Rijk: centrale zorg voor de handhaving van de ligging van de kustlijn; Waterschappen: gedecentraliseerd beheer van de primaire waterkeringen), is het noodzakelijk om eenduidig (kwantitatief) vast te leggen wat handhaving van de ligging van de kustlijn in feite betekent.

In paragraaf 6.3 wordt nader ingegaan op de methode die in Nederland is gekozen om te bepalen waar de kustlijn op enig moment ligt, en hoe volgens deze methode kan worden vastgesteld of er van kustachteruitgang sprake is. In het basisrapport worden enkele kanttekeningen geplaatst bij de toepassing van de gekozen methodiek. Mede omdat er nog nauwelijks ervaring is met de toepassing van de gekozen methodiek, zullen er in de praktijk ongetwijfeld problemen opdoemen.

6.2 Waarborging van de veiligheid

6.2.1 Algemeen

Duinafslag is een proces dat in uiterste vorm tot verlies van de waterkerende functie van de zeewering kan leiden. In het bezwijkgedrag van een duinprofiel tijdens een stormvloed zijn twee stadia te onderscheiden:

Bij de veiligheidstoetsing van een duinprofiel speelt de toelaatbare bezwijkkans een overheersende rol. In Nederland is de toelaatbare bezwijkkans die een dwarsprofiel van een duinenkust met een primaire waterkeringsfunctie mag bezitten, gelijk gesteld aan een factor 10^{-1} maal de gemiddelde jaarlijkse overschrijdingskans van het ontwerppeil.

Uitgaande van de toelaatbare bezwijkkans kan per profiel de maatgevende afslag worden berekend; de ontwerpafslag. Het is echter niet juist te denken dat er één enkele stormvloed is, waarbij de ontwerpafslag juist wordt bereikt; er zijn verschillende (zeer zware) stormvloeden denkbaar (met verschillende randvoorwaarden) die alle de ontwerpafslag zullen opleveren.

Met ontwerpstormvloed wordt in dit basisrapport (korte tijdshorizont) een stormvloed bedoeld waarbij juist de ontwerpafslag zal optreden. Onder ontwerpstormvloed-omstandigheden breekt een juist veilig dwarsprofiel van een duinenkust net niet door.

Fig. 6.1 Het begrip ontwerpstormvloed.

- In het eerste stadium treedt door duinafslag een reductie van het duinvolume boven het stormvloedpeil op.
- In het tweede stadium is de duinafslag zo ver voortgeschreden dat golfoverslag over het restprofiel mogelijk wordt. Het restprofiel kan bezwijken als gevolg van erosie van de kruin en van het binnentalud.

Een duin wordt geacht de veiligheid van het achterland te waarborgen indien onder ontwerpomstandigheden het tweede stadium niet wordt bereikt. Voor de veiligheidsbeoordeling van een dwarsprofiel is het daarom noodzakelijk dat de mate van duinafslag onder ontwerpstormvloedcondities kan worden gekwantificeerd (fig. 6.1). Indien een dergelijke veiligheidstoets kan worden uitgevoerd, is het ook mogelijk voor kenmerklijk te zwakke dwarsprofielen verzwaringen te ontwerpen.

6.2.2 Kwantificering van duinafslag

Bij een te handhaven veiligheidsniveau kan het voor de veiligheid minimaal benodigde duinvolume worden bepaald met behulp van speciaal hiervoor ontwikkelde modellen. Op basis van zowel uitgebreid fysisch modelonderzoek in golfgoten, als metingen in de natuur, zijn de volgende twee rekenmodellen ontwikkeld:

1. het DUROS-model (DUineROSie-model) [WL (1982)];
2. het DUROSTA-model (DUineROSie TijdsAfhankelijk-model) [WL (1990-a)].

Met deze modellen kan de verwachte mate van duinafslag worden bepaald die tijdens een willekeurige stormvloed zal optreden. Bij de invoering van randvoorwaarden die representatief zijn voor de ontwerpstormvloed, kan de verwachte maatgevende afslag worden bepaald (de ontwerpafslag). De ontwerpafslag kan vervolgens worden vertaald in ontwerpcriteria voor het duinprofiel.

ad 1. het DUROS-model

Het DUROS-model is ontwikkeld om de duinafslag van een onverdedigd duinprofiel te kunnen berekenen, en gaat uit van een sluitende zandbalans in de dwarsrichting (zie par. 3.4.2 en 3.4.4).

In het DUROS-model wordt gerekend met het maximum stormvloedpeil, de significante golfhoogte op diep water bij dit maximum stormvloedpeil en de korreldiameter van het duinzand. Tevens dient het dwarsprofiel vlak voor de stormvloed bekend te zijn.

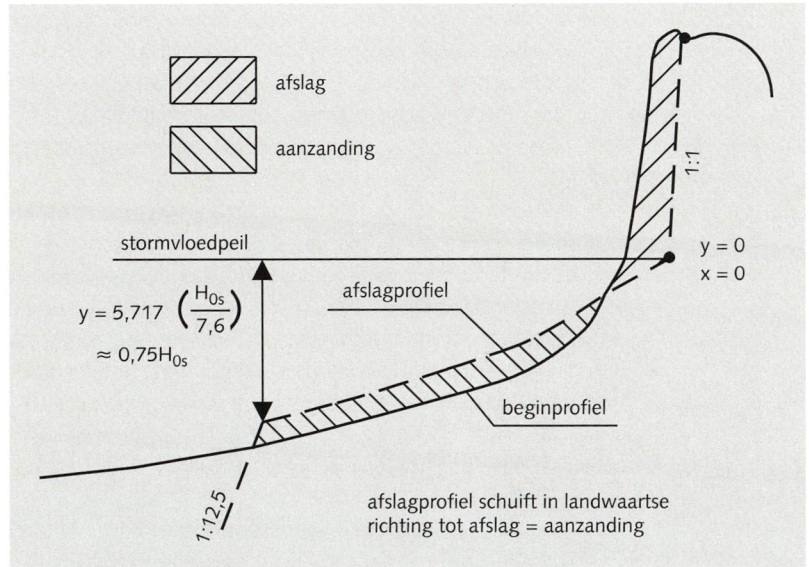


Fig. 6.2 Het DUROS afslagprofiel [TAW, leidraad 'Duinafslag' (1984)].

De vorm die het dwarsprofiel na de stormvloed heeft, wordt in het DUROS-model als bekend verondersteld; het afslagprofiel. Dit afslagprofiel kan met een formule worden beschreven waarin de ligging ten opzichte van het maximum stormvloedpeil is uitgedrukt (fig. 6.2). Het profiel strekt zich uit vanaf het snijpunt van het maximum stormvloedpeil met het duinfront tot een punt waarvan de ligging afhankelijk is van de significante golfhoogte op diep water en de valsnelheid van het duinzand. Uit de beschrijving van het afslagprofiel met het maximum stormvloedpeil als referentie, blijkt direct de invloed van het stormvloedpeil en de significante golfhoogte op de mate van duinafslag. De invloed van het bodemmateriaal wordt via de valsnelheid van het duinzand tot uitdrukking gebracht.

De positie van het afslagprofiel wordt in verticale zin door het maximum stormvloedpeil bepaald. Het afslagprofiel wordt vervolgens in horizontale zin zodanig gepositioneerd dat er een sluitende zandbalans in de dwarsrichting ontstaat.

Het DUROS-model vormt de basis voor het rekenrecept dat is opgenomen in de TAW-leidraad 'Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering'. (Deze leidraad wordt kortheidshalve leidraad 'Duinafslag' genoemd). De leidraad 'Duinafslag' is als bijlage V bij dit basisrapport gevoegd.

De veiligheidsbeoordeling van een duinenkust dient vooralsnog volgens de leidraad 'Duinafslag' te worden uitgevoerd. In paragraaf 6.2.3 wordt nader op deze leidraad ingegaan.

Voor de berekening van de mate van duinafslag volgens de leidraad 'Duinafslag' is door de TAW software ontwikkeld onder de naam 'DUINAF' (DUROS-modellering). Deze software is geschikt voor het gebruik op een PC en is bij de TAW beschikbaar.

Door de voormalige Adviesdienst Hoorn van RWS is indertijd een software-pakket voor duinafslagberekeningen ontwikkeld. Met dat pakket kan bij ICIM in Rijswijk op een mainframe worden gerekend.

ad 2. het DUROSTA-model

Het DUROSTA-model is een tijdsafhankelijk dwarstransportmodel voor stormvloed-condities. Met het DUROSTA-model kunnen profielontwikkelingen en afslaghoeveelheden worden berekend voor zowel vaste als variërende hydraulische omstandigheden. Het DUROSTA-model is tevens

geschikt gemaakt voor berekeningen van duinprofielen met een duinvoetverdediging of met een (verborgen) hard element.

In vergelijking met het DUROS-model sluit de in het DUROSTA-model gebruikte modellering beter aan bij de werkelijk optredende processen. Naast een verbetering in de modellering van de hydraulische omstandigheden tijdens een stormvloed, is het mogelijk om de zandverliezen te berekenen die het gevolg zijn van een langtransportgradiënt ten gevolge van een getijgradiënt of kustkromming (zie par. 3.4.3). De onbekendheid met het verlies van het afgeslagen duinzand door de aanwezigheid van een langtransportgradiënt was één van de feitelijke aanleidingen tot de ontwikkeling van dit model.

In het DUROSTA-model wordt de ontwikkeling van het dwarsprofiel tijdens een stormvloed gemodelleerd, door op elke positie en elk gewenst tijdstip de grootte van de netto transporten te berekenen. De grootte van het dwarstransport wordt tijdens stormvloed-omstandigheden vooral bepaald door het intensief breken van golven. Ook de bodemhellingen spelen een rol.

Het breken van golven resulteert door de sterke turbulentie in een intensieve menging van het gesuspendeerde materiaal over de verticaal (zie par. 3.3.5). Het dwarstransport blijkt onder deze omstandigheden te kunnen worden berekend uit de vermenigvuldiging van tijdsgemiddelde concentratie- en snelheidsprofielen.

In het DUROSTA-model worden de tijdsgemiddelde concentratie- en snelheidsprofielen berekend uit de lokale hydraulische omstandigheden.

Het zandverlies dat als gevolg van de aanwezigheid van een positieve langtransportgradiënt optreedt, kan met het DUROSTA-model worden berekend. Hiertoe wordt het langtransport tijdens stormvloed-omstandigheden berekend op basis van de verdeling van de stroomsnelheid in de langsricting en de met het DUROSTA-model berekende concentratieverdelingen. Hierbij is uitgegaan van de aanname dat de grootte en de vorm van de tijdsgemiddelde concentratieprofielen worden bepaald door het dwarstransportproces. De langsstroom zorgt slechts voor het transport in de langsricting.

De grootte van het verlies dat als gevolg van de aanwezigheid van een langtransportgradiënt optreedt, kan worden berekend uit verschillen in de langsstroom aan de randen van een kustvak.

model	DUROS	DUROSTA
acroniem	DUineROSie	DUineROSie TijdsAfhankelijk
kwalificatie	statisch profielmodel	dynamisch (dwars)transport model
ingebrachte kennis	beschrijving vorm van afslagprofiel (na 5 uur maximale conditie)	beschrijving dwarstransport (op elke positie en elk tijdstip) tijdens een stormvloed
kenmerkende parameters	Profielvorm afhankelijk van significante golfhoogte en valsnelheid. Profielniveau afhankelijk van stormvloedpeil	momentaan dwarstransport afhankelijk van momentane lokale hydraulische condities
benodigde invoer	- beginprofiel: - bodemligging. - bodemmateriaal: - korreldiameter. - hydr. condities: - stormvloedpeil; - golfhoogte op diep water.	- beginprofiel: - bodemligging; - kustkromming. - bodemmateriaal: - korreldiameter; - valsnelheid. - hydr. condities (tijdsafhankelijk): - waterstand; - golfhoogte; - golfperiode; - golfvalschoek; - langsstroomsnelheid; - langsstroomgradiënt.
bepaling effect van stormvloed	duinafslag volgt uit ligging afslagprofiel op basis van sluitende zandbalans	duinafslag volgt uit ligging afslagprofiel welke het eindresultaat is van een dwarstransportberekening
speciale toepassingen	effect kustkromming ingebracht door extra verliesterm in zandbalans	effect langstransportgradiënten (getijgradiënt en kustkromming) en harde constructies ingebracht in continuïteitsvergelijking

Fig. 6.3 Schematische vergelijking tussen het DUROS- en het DUROSTA-model.

Voor de berekening van de mate van duinafslag volgens het DUROSTA-model is door de TAW software ontwikkeld die geschikt is voor het gebruik op een PC.

DUROS versus DUROSTA

In figuur 6.3 is een schematische vergelijking tussen het DUROS- en het DUROSTA-model weergegeven.

De veiligheidsbeoordeling van een duinenkust dient vooralsnog te worden uitgevoerd volgens de TAW-leidraad 'Duinafslag'. In gevallen waarbij de leidraad geen uitkomst biedt, kan met behulp van berekeningen met het DUROSTA-model een indicatie van de mate van duinafslag tijdens een (ontwerp)stormvloed worden verkregen. Dit is onder andere het geval bij duinprofielen met een duinvoetverdediging en bij duinprofielen in kustvakken waar sprake is van een relatief grote gradiënt in het langstransport.

Vooraf bij duinprofielen met een duinvoetverdediging wordt een indicatieve berekening met het DUROSTA-model aanbevolen. Bij deze duinprofielen wordt namelijk de afslag gereduceerd of geheel tegengegaan (zie par. 4.4.6). Hierdoor zal er vlak voor de duinvoetverdediging een ontgroning plaatsvinden, welke de stabiliteit van de verdediging nadelig kan beïnvloeden (fig. 6.4). Een schatting van de diepte van de ontgrondingskuil kan met het DUROSTA-model worden gemaakt.

6.2.3 'Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering' (1984)

Bij de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering moet vooralsnog worden volstaan met een beschouwing van afzonderlijke dwarsprofielen. Ieder dwarsprofiel in een kustsectie dient minimaal zo veilig te zijn dat tijdens een ontwerpstormvloed nog juist geen doorbraak zal optreden (de faalkans dient kleiner dan of juist gelijk aan de toelaatbare faalkans te zijn). Voor de beoordeling hiervan is in de leidraad 'Duinafslag' een toetsingsmethode opgenomen. Deze methode is toepasbaar voor een onverdedigd duinprofiel. De toetsingsmethode is gebaseerd op een rekenrecept waarin het DUROS-model is toegepast (zie par. 6.2.2). Voor achtergrondinformatie omtrent het rekenrecept wordt verwezen naar Van de Graaff (1984).



Fig. 6.4 Ontgrondingskuil voor een duinvoetverdediging na het optreden van een stormvloed (modelonderzoek Waterloopkundig Laboratorium).

De mate van duinafslag tijdens een stormvloed blijkt in belangrijke mate afhankelijk te zijn van de volgende grootheden:

- de maximale waterstand;
- de significante golfhoogte op diep water;
- de stormvloedduur;
- buistoten en bui-oscillaties;
- de ligging van het beginprofiel;
- de korreldiameter van het duinzand.

Gezien het aantal afslagbepalende grootheden en het stochastisch karakter ervan, is bij de ontwikkeling van het rekenrecept voor een probabilistische aanpak gekozen. Een probabilistische aanpak noodzaakt tot de vastlegging van een (toelaatbare) bezwijkkans. Hiertoe is de toelaatbare bezwijkkans van duinen gelijk gesteld aan een factor 10^{-1} maal de gemiddelde jaarlijkse overschrijdingskans van het ontwerppeil. Deze bezwijkkans geldt voorts nog voor elke doorsnede van een uit duinen bestaande waterkering.

De toetsingsmethode in de leidraad 'Duinafslag' is zodanig opgezet, dat de gemiddelde jaarlijkse overschrijdingskans van de met deze methode berekende afslag gelijk is aan de toelaatbare bezwijkkans. Deze maatgevende afslag wordt op een relatief eenvoudige wijze berekend door gebruik te maken van specifieke rekenwaarden voor de afslagbepalende grootheden ('rekenrecept').

Naast de toetsingsmethode voor een duinenkust aan een vastgestelde veiligheidsnorm is in de leidraad 'Duinafslag' bovendien een methode opgenomen voor het toetsen van een duinenkust aan lagere veiligheidsnormen (zie leidraad 'Duinafslag', par. 3.3). Hierbij wordt eveneens gebruik gemaakt van het rekenrecept.

Recente ontwikkelingen in de beschrijving en modellering van het duinafslagproces en nieuwe inzichten met betrekking tot de te hanteren hydraulische randvoorwaarden kunnen in de toekomst wellicht leiden tot een aanpassing van de ontwerpcriteria voor een duinprofiel. Het DUROSTA-model vormt hierbij een aanzet. Omdat de benodigde aanpassingen nog niet alle zijn uitgekristalliseerd, wordt in dit basisrapport nog uitgegaan van de onverkorte toepassing van de leidraad 'Duinafslag'. In het vervolg van deze paragraaf zal de toetsingsmethodiek van deze leidraad nader worden uitgewerkt.

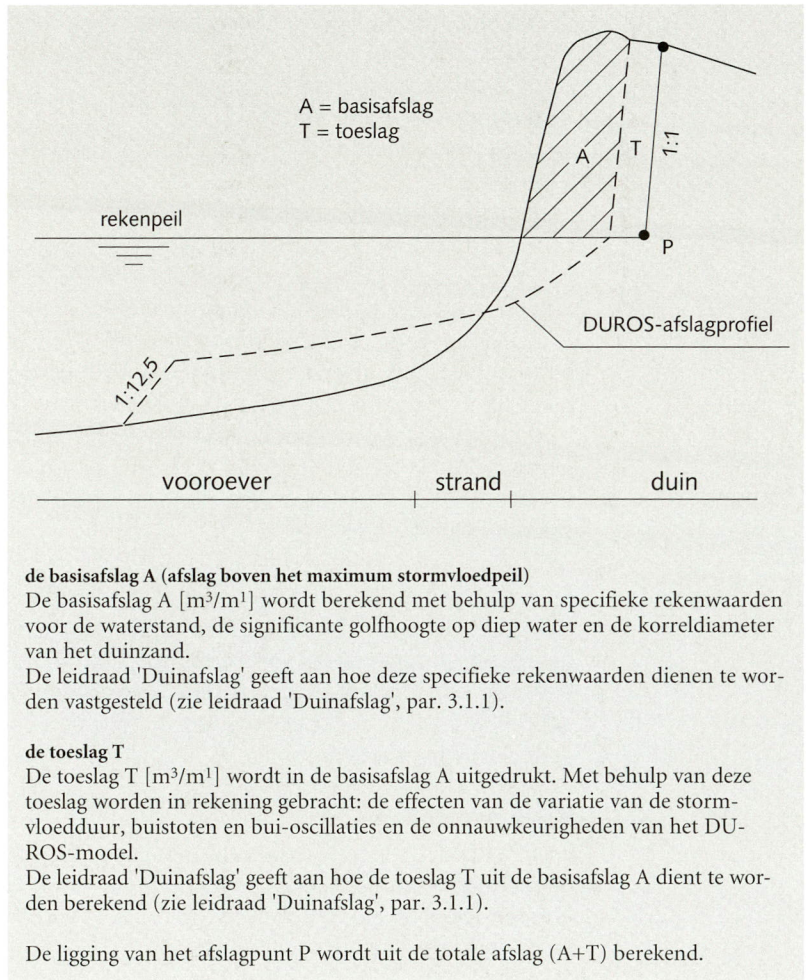


Fig. 6.5 De afslagberekening volgens de leidraad 'Duinafslag'.

de afslagberekening

In de toetsingsmethode wordt de mate van duinafslag berekend uit een zogenaamde basisafslag en een hierop te superponeren toeslag (fig. 6.5). Uit de aldus verkregen afslagwaarde kan vervolgens de ligging van het afslagpunt worden berekend.

tijdreeks van de positie van het afslagpunt

Door voor elk profiel uit een tijdreeks van profielmetingen een afslagberekening uit te voeren, wordt een tijdreeks van de positie van het afslagpunt verkregen (fig. 6.6).

Met behulp van regressie-analyse kan de trend van de ligging van het afslagpunt als functie van de tijd worden benaderd. De profielfluctuaties komen tot uiting in de spreiding van de berekende liggingen ten opzichte van deze regressielijn, en kunnen statistisch worden beschreven met behulp van een normale verdeling.

onzekerheid van profielligging

De invloed van de onzekerheid van de profielligging wordt in rekening gebracht door de regressielijn over een bepaalde afstand landwaarts te verschuiven (fig. 6.6). De grootte van deze verplaatsing is gerelateerd aan de berekende standaardafwijking (zie leidraad 'Duinafslag'; par. 3.1.3).

verwerking van langtransportgradiënten

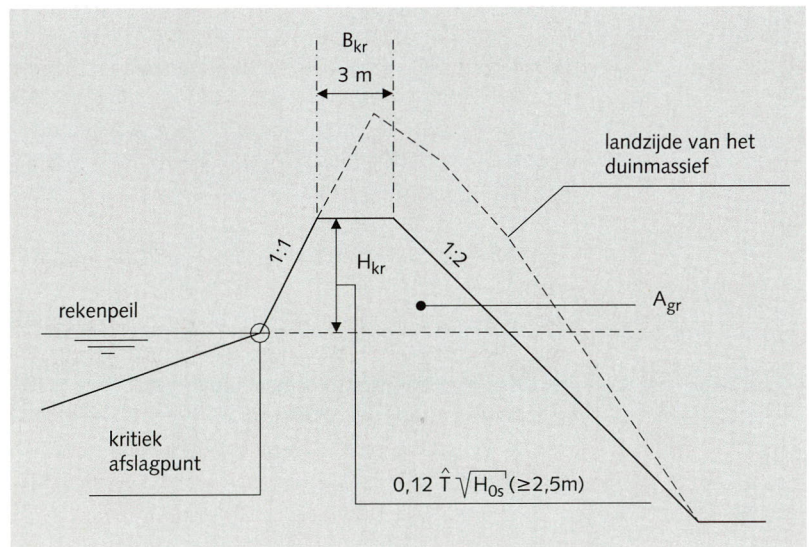
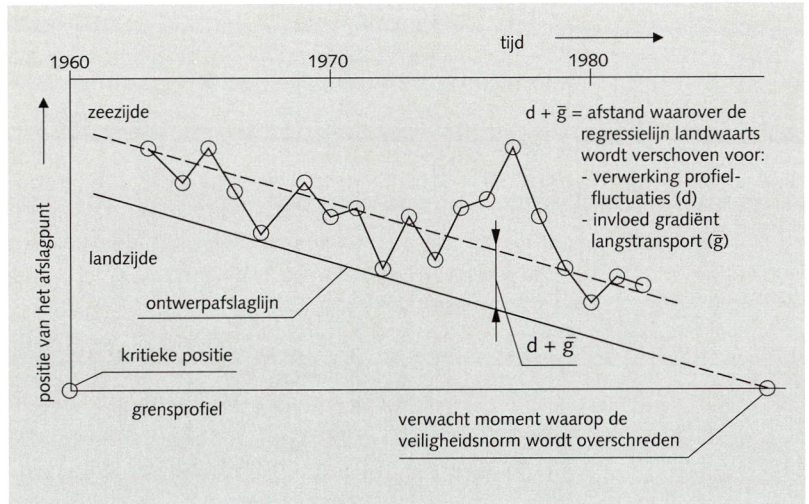
Het zandverlies als gevolg van een positieve langtransportgradiënt is in de leidraad 'Duinafslag' verwerkt door middel van een extra landwaartse verschuiving van het afslagprofiel (fig. 6.6). Hierbij wordt aangenomen dat een langtransportgradiënt niet significant van invloed is op de vorm van het afslagprofiel.

De landwaartse verschuiving dient zodanig te zijn dat de afname van het volume overeenkomt met het langtransportverschil.

Voor niet te sterk gebogen kustvakken (relatief kleine langtransportgradiënten) geeft de leidraad 'Duinafslag' een uitdrukking voor het in rekening te brengen langtransportverschil. De gegeven uitdrukking is echter niet gebaseerd op een probabilistische aanpak (zie leidraad 'Duinafslag'; par. 3.1.4).

ontwerpafslaglijn

De verwerking van profielfluctuaties en van een langtransportgradiënt resulteert in een landwaartse verschuiving van de gevonden regressielijn



voor de ligging van het afslagpunt (fig. 6.6). Met deze werkwijze wordt voor een willekeurig dwarsprofiel de zogenaamde ontwerpafslaglijn verkregen.

grensprofiel

Op ieder tijdstip dient landwaarts van de ontwerpafslaglijn nog een minimaal, maar stabiel grensprofiel aanwezig te zijn.

De leidraad 'Duinafslag' geeft de afmetingen die het grensprofiel dient te bezitten (fig. 6.7). De kruinhoogte van het grensprofiel (ten opzichte van het rekenpeil) volgt uit de golfploopformule voor dijken en is gerelateerd aan de piekperiode van het golfenergie-spectrum en de significante golfhoogte op diep water.

kritiek grensprofiel

Een zogenaamd kritiek grensprofiel is een grensprofiel dat zover mogelijk aan de landwaartse kant van het duingebied kan worden gedefinieerd. (In feite is in figuur 6.7 een kritiek grensprofiel getekend.) Als het kritiek grensprofiel doorbreekt, dus als de afslag verder voortschrijdt dan het kritiek afslagpunt, is het duin als totaal bezwiken en overstroomt het achterland.

Slechts in juist veilige dwarsdoorsneden is de kans dat tijdens een stormvloed het kritiek grensprofiel wordt bereikt, precies gelijk aan de overeengekomen veiligheidsnorm. In relatief brede duingebieden is de kans dat het kritiek grensprofiel wordt bereikt veel kleiner dan de veiligheidsnorm.

Voor het overzicht is het rekenrecept van de leidraad 'Duinafslag' in figuur 6.8 weergegeven.

6.2.4 Problemen bij de toepassing van de leidraad 'Duinafslag'

In de praktijk is gebleken dat er bij de toepassing van de leidraad 'Duinafslag' enkele (theoretische en praktische) problemen kunnen voorkomen. Deze problemen kunnen:

1. van algemene aard zijn;
2. betrekking hebben op het grensprofiel;
3. voorkomen bij de aanwezigheid van een tweede duinregel;
4. betrekking hebben op de regressie-analyse.

In het navolgende komen enkele veel voorkomende problemen beknopt aan de orde. Een uitvoerige behandeling van de opgedane ervaringen

a. de afslagberekening:

1. Bepaal de randvoorwaarden:
 - ontwerppeil [m];
 - significante golfhoogte [m];
 - korreldiameter [m].
2. Bereken het rekenpeil:
 - ontwerppeil + $\frac{2}{3}$ decimeringshoogte [m].
3. Bereken de rekenwaarde voor de korreldiameter [m].
4. Bereken de basisafslag A [m^3/m^1].
5. Bereken de toeslag T:
 - $(0,25 \cdot A + 20)$ [m^3/m^1].

b. de veiligheidsbeoordeling:

1. Bereken met het afslagmodel (DUROS) de basisafslag A voor de laatste 10 à 15 jaar.
2. Voeg voor ieder jaar aan de basisafslag A een toeslag T toe.
3. Stel met de vastgestelde liggingen van het afslagpunt een tijd/plaatsdiagram op.
4. Voer een (lineaire) regressie-analyse uit.
5. Verschuif de vastgestelde regressielijn landwaarts voor het in rekening brengen van:
 - profielfluctuaties;
 - het zandverlies als gevolg van een gradiënt in het langtransport.
6. Controleer of de aldus verkregen ontwerpafslaglijn de regressielijn van de ligging van het kritiek afslagpunt snijdt.
7. Controleer of voor toekomstige jaren een inpassing van het grensprofiel landwaarts van de ontwerpafslaglijn mogelijk is.

c. opmerkingen:

- zijdelingse herverdeling: dient per geval te worden beoordeeld.
- strandhoofden en paalrijen: worden verondersteld geen invloed te hebben op de mate van duinafslag.
- duinvoetverdedigingen: veronderstel de verdediging als afwezig of doe nader modelonderzoek (indicatie met behulp van DUROSTA).
- zeespiegelstijging: is op korte termijn niet van belang.
- niet-lineaire regressie: in voorkomende gevallen toepasbaar.

Fig. 6.8 Het rekenrecept van de leidraad 'Duinafslag'.

bij de toepassing van de leidraad 'Duinafslag' en de daarbij ontstane problemen en discussiepunten kan worden gevonden in de nota: 'Ervaringen bij het toepassen van de leidraad 'Duinafslag'' [Rakhorst (1985)].

ad 1. algemene problemen bij de veiligheidsbeoordeling

Algemene problemen bij de veiligheidsbeoordeling kunnen betrekking hebben op:

- de in het rekenmodel gehanteerde randvoorwaarden;
- het JARKUS-bestand;
- situaties waarin het rekenmodel niet zonder meer mag worden toegepast;
- overige gevallen.

de in het rekenmodel gehanteerde randvoorwaarden

De verstrekking en actualisering van de voor de veiligheidsbeoordeling benodigde relatie tussen hoogwaterstanden en overschrijdingskansen zijn geregeld in Artikel 4 van de Wet op de waterkering (zie par. 2.2.1). Hierin wordt dus voorzien.

Voor de veiligheidsbeoordeling zijn in 1982 en 1983 in een groot aantal raaien langs de Nederlandse kust zandmonsters genomen om de korrelkarakteristieken van het bodemmateriaal vast te stellen. Deze korrelkarakteristieken en de hieruit afgeleide rekenkorreldiameters zijn opgenomen in de leidraad 'Duinafslag' (par. 3.1.1). Morfologische veranderingen en (recent) uitgevoerde duinsuppleties kunnen ertoe leiden dat een nieuwe rekenkorreldiameter dient te worden vastgesteld, omdat de korrelkarakteristieken zijn veranderd (zie par. 4.3.2). Het verdient daarbij aanbeveling de wijze van monsternamen conform de door Koksiek (1984) toegepaste methode uit te voeren.

In sommige gevallen kan het wenselijk zijn om aparte randvoorwaarden voor golven te bepalen, bijvoorbeeld in gebieden waar de kust door banken wordt afgeschermd. De golfhoogte kan tijdens de voortplanting over ondiepe kustzones afnemen (zie par. 3.3.3 en 3.3.5).

Er zijn nog geen algemeen hanteerbare en geaccepteerde methodieken voorhanden waarmee, bij aanwezigheid van banken en platen vlak onder de kust, nieuwe randvoorwaarden voor golven kunnen worden vastgesteld.

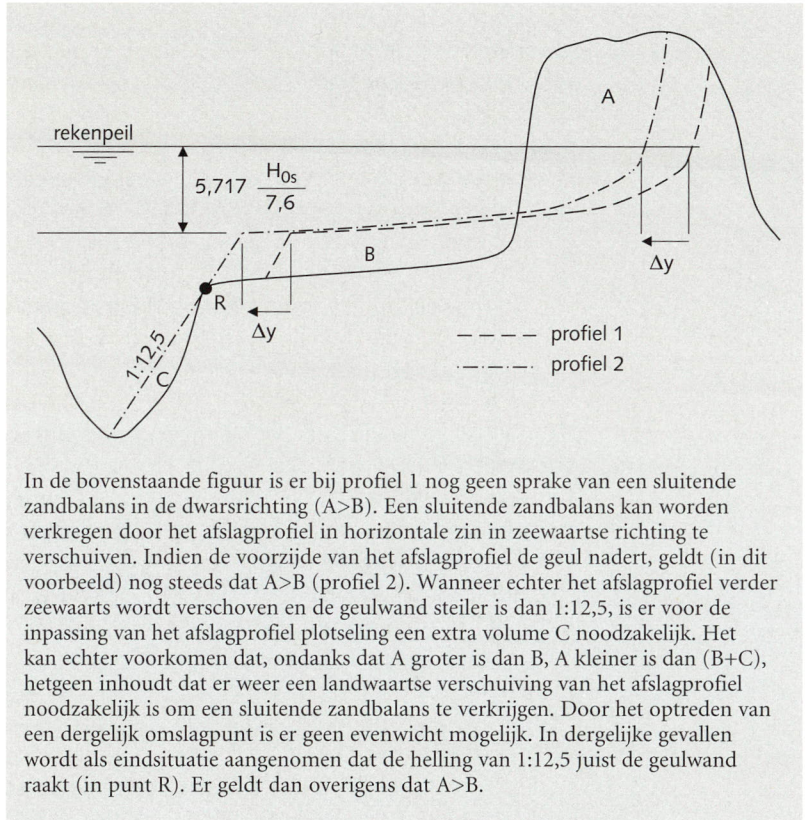


Fig. 6.9 Inpassing van het DUROS-profiel bij een steile vooroever.

het JARKUS-bestand

De veiligheidsbeoordeling wordt uitgevoerd met behulp van data uit het JARKUS-bestand (zie par. 3.5.6).

In sommige gevallen komt het voor dat raaien niet ver genoeg landwaarts zijn doorgemeten. Dit geldt met name voor de eerste 10 à 15 jaar uit het bestand. Voor een goede veiligheidsbeoordeling moet het duingebied landwaarts zover zijn doorgemeten, dat de ligging van het grensprofiel kan worden vastgesteld (zie ook ad 2.).

Wanneer er zich problemen met het JARKUS-bestand voordoen, kunnen kustkaarten en (lokale) kennis van het kustgebied uitkomst brengen.

gevallen waarbij het rekenmodel niet zonder meer mag worden toegepast

Bij de aanwezigheid van vreemde objecten in het duinprofiel, zoals duinvoetverdedigingen en verborgen keringen (bijvoorbeeld kleikaden), mag de leidraad 'Duinafslag' niet zonder meer worden toegepast. Ook bij een sterk gekromde kustlijn en bij de overgangen van het duin naar een harde verdediging, is de leidraad niet zonder meer van toepassing. In een groot aantal gevallen kunnen indicatieve berekeningen met het DUROSTA-model uitkomst bieden (zie par. 6.2.2).

overige gevallen

Enkele voorbeelden van overige gevallen zijn:

- De vooroever kan steiler zijn dan de voorkant van het afslagprofiel (1:12,5), bijvoorbeeld bij de aanwezigheid van een geul vlak onder de kust (fig. 6.9). Een berekening met het DUROSTA-model wordt in deze gevallen aanbevolen.
- Twee naburige raaien kunnen als veilig worden beoordeeld, terwijl er tussen de (gemeten) raaien nog een onveilige raai aanwezig is die niet in het JARKUS-bestand is opgenomen. Kennis van de lokale situatie is hierbij van belang.
- Door onregelmatigheden in de topografie van een duin kan het voorkomen dat een duinprofiel onveilig is, terwijl het duin direct aan weerszijden ervan een overmaat aan veiligheid bezit (bijvoorbeeld bij een duinovergang). Door een zijdelingse herverdeling tijdens perioden met duinafslag kan het als onveilig beoordeelde profiel in werkelijkheid toch veilig zijn (3-dimensionaal effect). Voor de beoordeling van dergelijke situaties zijn op dit moment nog geen algemene methodieken voorhanden.

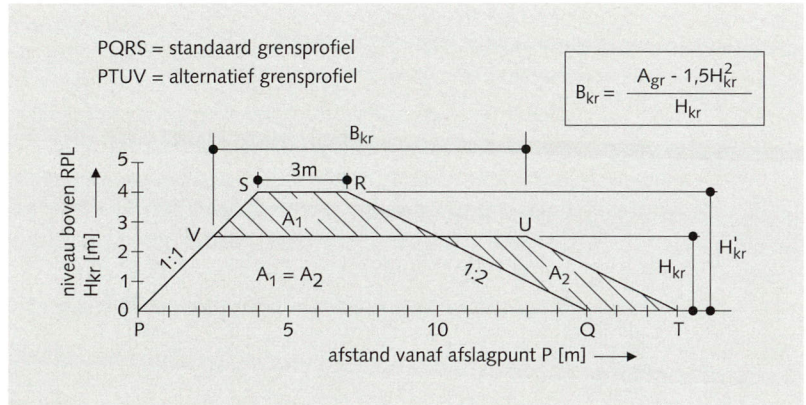


Fig. 6.10 De veiligheidsbeoordeling van een laag maar breed grensprofiel.

ad 2. te laag maar breed grensprofiel

De toepassing van de leidraad 'Duinafslag' kan in de praktijk problemen geven met betrekking tot de inpassing van het vereiste grensprofiel in het restduin.

Wanneer landwaarts van de ontwerpafslaglijn geen inpassing van het vereiste grensprofiel mogelijk is, voldoet het duinprofiel volgens de leidraad 'Duinafslag' niet aan de gestelde veiligheidsnorm. Veelal is in dergelijke situaties de voor het grensprofiel vereiste hoogte niet volledig aanwezig.

Een mogelijkheid om dit probleem op te lossen, is de aanleg van een kunstmatige doorgaande (grens)duinregel met de vereiste afmetingen. Bij de aanwezigheid van een overmaat aan breedte zijn echter andere overwegingen denkbaar. Het landwaarts van de ontwerpafslaglijn gesitueerde duinprofiel is namelijk bedoeld om weerstand te bieden aan de belasting van de golfaanval aan het eind van een ontwerpstormvloed (de 'laatste' golven mogen niet alsnog de doorbraak van het duin inleiden). Bezijken kan dan optreden door erosie van de kruin en het binnentalud als gevolg van golfoverslag.

Naar het proces van golfoverslag en de daarmee samenhangende erosie van een (grens)duinprofiel is een studie uitgevoerd [WL (1987-b)]. Onderzoek is verricht naar de karakteristieke waarde voor de erosieve belasting bij het optreden van golfoverslag.

In de beschouwing van afwijkende grensprofielen werd verondersteld dat dezelfde mate van veiligheid wordt verkregen bij eenzelfde verhouding tussen belasting en weerstand. Als weerstandsparameters zijn de kruinbreedte en het volume van het grensprofiel boven het rekenpeil gebruikt (fig. 6.10).

Voor afwijkende (te lage) grensprofielen kan worden geconcludeerd dat een tekort aan kruinhoogte boven het rekenpeil kan worden gecompenseerd door een overmaat aan kruinbreedte. Hierbij moet het volume boven het rekenpeil gelijk zijn aan het volume van het standaard grensprofiel. Uit deze gelijkstelling kan een relatie tussen de benodigde kruinbreedte en de aanwezige kruinhoogte boven rekenpeil worden afgeleid (fig. 6.10). De taludhellingen zijn hierbij gelijk gesteld aan die van het standaard grensprofiel.

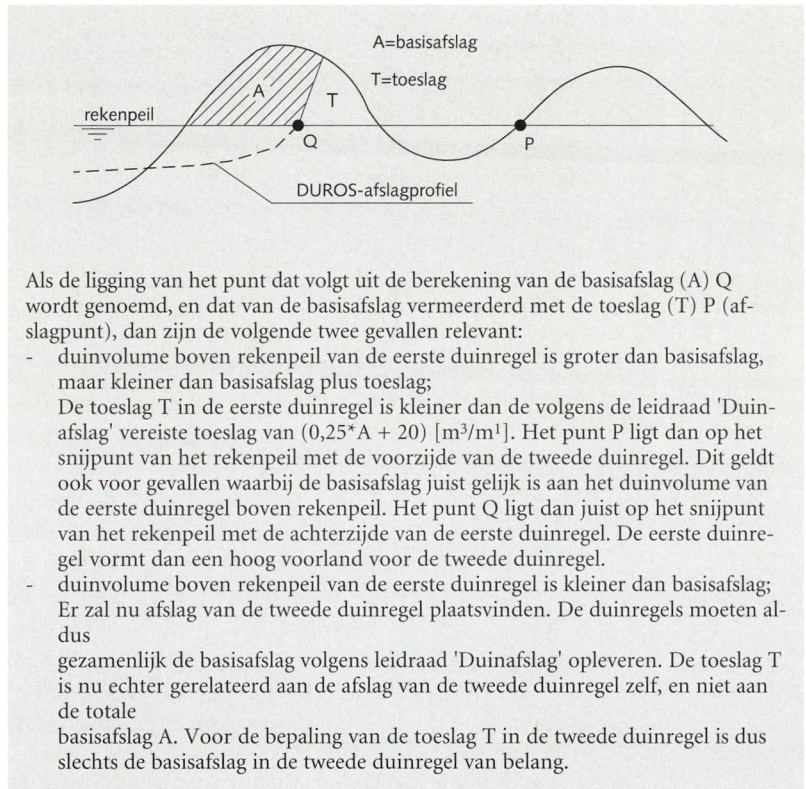


Fig. 6.11 Het principe van de afslagberekening bij twee duinregels.

ad 3. problemen met een tweede duinregel

Het komt vaak voor dat de beoogde veiligheid niet kan worden gewaarborgd door de eerste duinregel, maar wel door de eerste en een tweede (doorgaande) duinregel gezamenlijk (fig. 6.11).

Het komt ook voor dat ver in de binnenduinen een zogenaamde Delta-kering is aangebracht (Waddeneilanden).

In figuur 6.12 zijn verschillende situaties weergegeven die in de praktijk kunnen voorkomen:

- Het afslagpunt P ligt in de eerste duinregel en het standaard grens-profiel past in dit duin (fig. 6.12-a).
- Het afslagpunt P ligt in de eerste duinregel, maar het standaard grens-profiel past hier niet meer in (fig. 6.12-b).

Het standaard grens-profiel zal nu, indien aanwezig, in de tweede duinregel moeten passen (6.12-c).

Indien dat niet het geval is, wordt het dwarsprofiel als onveilig beoordeeld.

Er zijn echter gevallen waarbij de afstand tussen de eerste duinregel en de tweede duinregel groot is. Voor de tweede duinregel betekent dit, dat er een relatief hoog en lang voorland aanwezig is. Daardoor zal de golfaanval op de tweede duinregel afnemen. De veiligheidsbeoordeling volgens de leidraad is in dat geval te streng (fig. 6.12-d). Voor de veiligheidsbeoordeling van de tweede duinregel (als grens-profiel) kan dan mogelijkerwijze worden gerekend met de golfhoogte en de golfperiode welke, na doorbraak van de eerste duinregel, in het gebied tussen de eerste en de tweede duinregel zullen optreden. De berekening van deze nieuwe randvoorwaarden dient wel goed te worden onderbouwd.

Het bovenstaande geldt ook indien punt P net aan de zeewaartse zijde van de tweede duinregel ligt.

- Indien het afslagpunt P in de tweede duinregel komt te liggen, wordt aanbevolen om voor de afslagberekening vooralsnog de methode volgens de leidraad 'Duinafslag' te volgen. Is echter de afstand tussen de eerste duinregel en de tweede duinregel groot, dan kan in de afslagberekening van de tweede duinregel gebruik worden gemaakt van nieuwe randvoorwaarden voor golven.

ad 4. regressie-analyse

De toetsingsmethode uit de leidraad 'Duinafslag' kan worden toegepast indien aan het dwarsprofiel een van te voren vastgestelde bezwijkings

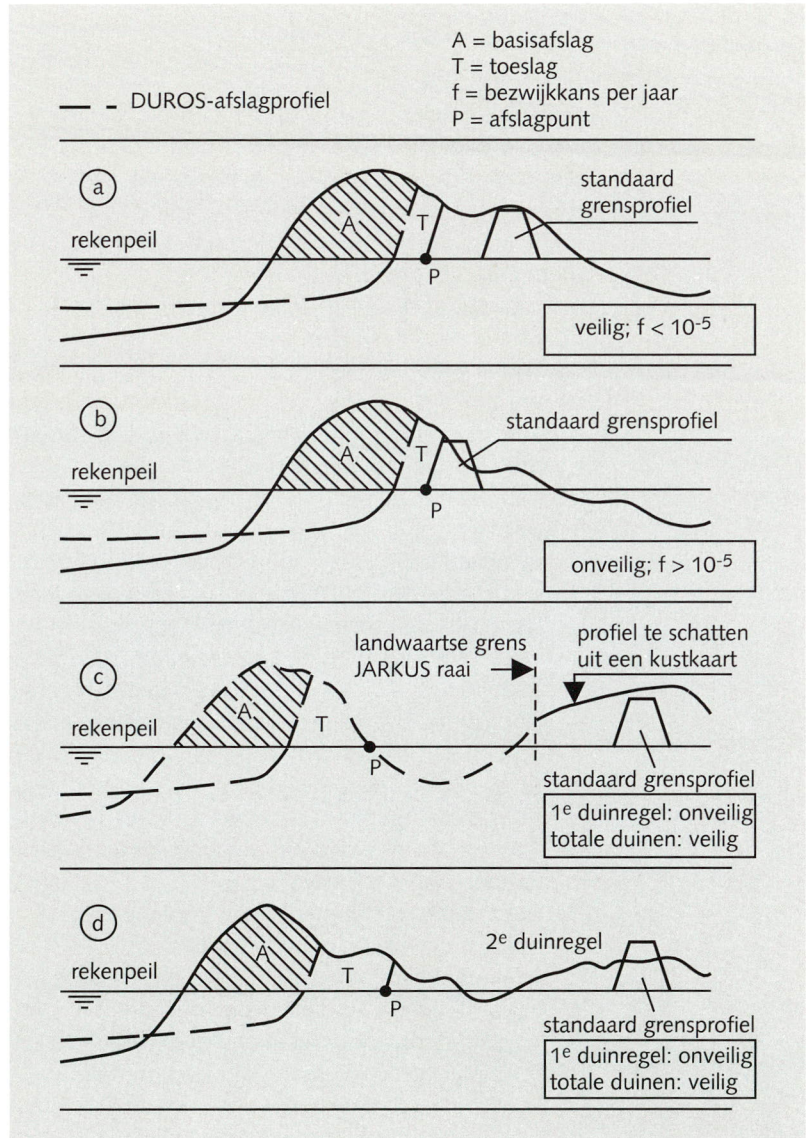


Fig. 6.12 De veiligheidsbeoordeling bij één of meer duinregels.

wordt toegekend. Tevens dient de ligging van het kritiek afslagpunt vooraf te zijn vastgelegd.

Bij deze methode kan een aantal opmerkingen worden gemaakt:

- De methode is opgesteld om voor een bepaald jaar vast te stellen of het dwarsprofiel veilig is of niet. Hierbij is het niet mogelijk rechtstreeks te bepalen hoe veilig dan wel onveilig het dwarsprofiel in dat jaar is. Rakhorst (1985) geeft een manier aan waarbij dat wel mogelijk is.
- De methode gaat er vanuit dat de ligging van het kritiek afslagpunt in de tijd onveranderlijk blijft. Ook de ligging van het kritiek afslagpunt kan echter in de tijd veranderen.
- Het is niet altijd verantwoord om de veiligheidsbeoordeling van een dwarsprofiel voor een toekomstig tijdstip alleen te baseren op een lineaire regressie-analyse van de ligging van het afslagpunt in de tijd (extrapolatie van de ontwerpafslaglijn).

Door de analyse van de ontwikkeling van de kustlijn en het dwarsprofiel en door de eventuele vergelijking met andere regressielijnen [Rakhorst (1985)], kan worden geverifieerd of de verkregen ontwerpafslaglijn waarschijnlijk is (zie par. 3.6.4).

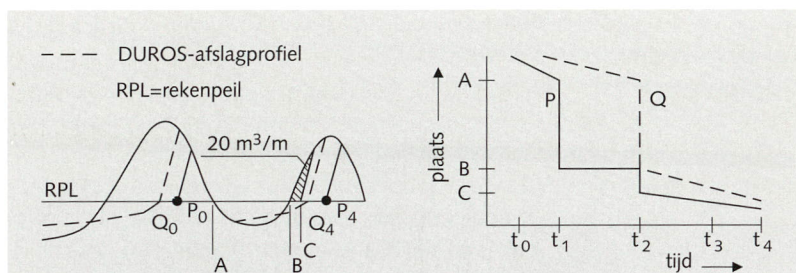
- Het is van belang dat de ontwerpafslaglijn op basis van een betrouwbare regressie-analyse van de ligging van het afslagpunt is verkregen. Er zijn echter een aantal gevallen aan te geven waarbij het moeilijk is om betrouwbare regressielijnen vast te stellen:

- regressie met meer duinregels:
Er kunnen discontinu verlopende regressielijnen ontstaan (fig. 6.13).

- verstuing:
Ten gevolge van verstuing kunnen de posities van de afslagpunten een vreemd gedrag vertonen. Ook de ligging van het kritiek afslagpunt kan door verstuing in de tijd veranderen (fig. 6.14).

- schuiven in duinen:
Soms wordt een deel van de buitenste duinregel landwaarts geschoven om in de toekomst het zandverlies te beperken en het onderhoud te vereenvoudigen.

Het schuiven in duinen gaat echter gepaard met een verandering van de regressielijn; de verkregen regressielijn hoeft gedurende een bepaalde periode niet overeen te komen met het autonome kustgedrag. Indien er geen verdere maatregelen zijn toegepast die een ingrijpende verandering van het morfologisch systeem te weeg brengen, zal de autonome regressielijn zich na verloop van tijd weer instellen.



In de bovenstaande figuur zijn de liggingen van de punten Q (basisafslag) en P (afslagpunt) in de tijd weergegeven. Indien er als gevolg van structurele kusterosie een geleidelijk verlies van duingebied optreedt, dan verplaatsen de liggingen van de punten Q en P geleidelijk landwaarts.

Allereerst kan worden opgemerkt dat zolang het punt P aan de zeewaartse zijde van de top van een duinregel ligt, het punt P relatief langzamer landwaarts verplaatst dan het punt Q; de regressielijn van de ligging van het punt P is minder steil dan die van het punt Q. Als het punt P (en Q) landwaarts van de top van een duinregel ligt, dan geldt het tegenovergestelde. De discontinuïteit in het verloop van de regressielijnen treedt op omdat de waarde van de afslag wordt uitgedrukt in m^3/m^1 . De horizontale verplaatsingen van de punten P en Q zijn daardoor afhankelijk van de duinopografie.

Op het tijdstip t_1 bevindt het punt P zich op locatie A. Bij een verdere afslag (zie fig. 6.11) komt het punt P op het snijpunt van het rekenpeil met de zeewaartse zijde van de tweede duinregel te liggen. Het punt Q ligt nog in de eerste duinregel en verplaatst in de tussentijd landwaarts totdat het op het tijdstip t_2 nog juist op locatie A ligt.

In de periode tussen t_1 en t_2 ligt het punt P dus op locatie B. Na het tijdstip t_2 moet de eerste duinregel boven het rekenpeil worden weggedacht; ook het punt Q verplaatst naar locatie B.

Zodra het punt Q op locatie B komt te liggen, verplaatst het punt P naar locatie C. De ligging van locatie C volgt uit de minimum waarde van de toeslag ($20 \text{ m}^3/\text{m}^1$). Wegens het hoge voorland (zeewaarts profiel) zal de afslag in de tweede duinregel in eerste instantie gering zijn. Dat blijft zo totdat het onderwaterdeel van de eerste duinregel als gevolg van structurele kusterosie is verdwenen. Vervolgens zet zich de landwaartse verplaatsing van de punten Q en P versneld voort.

Uit het bovenstaande valt af te leiden dat het werkelijke verloop van de ligging van het afslagpunt P in de tijd, een grillig verloop kan hebben. De ligging van het afslagpunt P kan niet direct worden gemeten, maar dient aan de hand van berekeningen te worden vastgesteld. Daarom kan het vastgestelde verloop van de ligging van dat punt soms uiterst vreemd zijn.

Fig. 6.13 Regressie-analyse bij meer duinregels.

- bijzondere gevallen:

Door de invloed van menselijke ingrepen kan het lastig worden om een betrouwbare regressielijn vast te stellen (zandsuppleties). Het voorkomen van zandgolven zal lange termijn-voorspellingen bemoeilijken (zie par. 3.6.4).

6.2.5 *Risico in het duingebied zelf tijdens een stormvloed*

Het duingebied tussen de duinvoet en het afslagpunt P wordt de afslagzone genoemd.

Het komt voor dat er objecten liggen in, of dat er bestemmingen zijn toegekend aan het duingebied in de afslagzone. Hierbij kan het voorkomen dat deze objecten of bestemmingen worden beveiligd door een buitenste duinregel met een relatief gering volume.

De bedoelde objecten of bestemmingen bevinden zich binnen de begrenzing van de waterkering. De bouw of aanleg van deze objecten en de voorzieningen of aanpassingen die met de toegekende bestemmingen samenhangen, worden via een vergunningenbeleid ingepast in het waterkeringsbeheer (zie par. 5.3 en 5.4). Hierbij kan worden gedacht aan:

- al dan niet permanente bebouwing;
- aan- en afvoer van materialen;
- aanleg van kabels en leidingen van nutsbedrijven;
- installaties ten behoeve van de waterwinning in het duingebied (infiltratieputten, -vijvers en -kanalen, winputten);
- de regeling van een doelmatige afvoer van afvalwater en spuiwater.

Voor het bezit of de exploitatie van dergelijke objecten en voorzieningen is de eigenaar of exploitant te allen tijde verantwoordelijk. (De objecten bevinden zich formeel in buitendijks gebied.) De beheerder van de waterkering kan dus niet verantwoordelijk of aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die tijdens perioden van hoogwater of storm kan ontstaan.

Voor de beveiliging van de bovengenoemde objecten en voorzieningen zijn dus geen wettelijke normen vastgelegd; de wettelijke veiligheidsnormering geldt voor het veelal laaggelegen achterland. Het veiligheidsniveau van deze objecten en voorzieningen zal lager zijn dan het (gegarandeerde) veiligheidsniveau van het achterland. Zowel uit het oogpunt van het beheer van de waterkering, als uit het oogpunt van

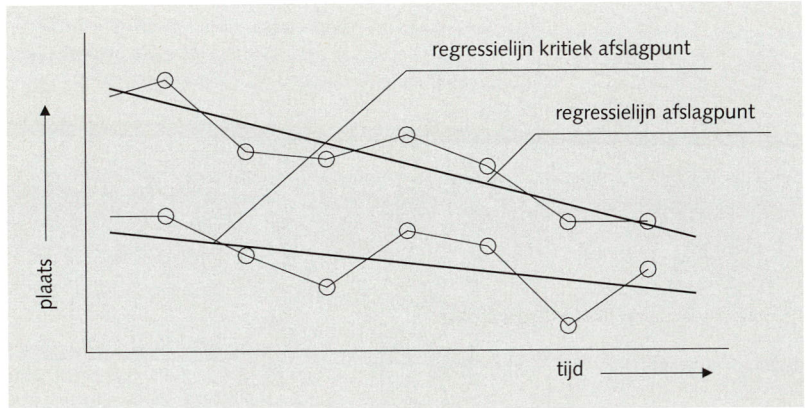


Fig. 6.14 Het effect van verstuiving op de ligging van een kritiek afslagpunt.

het beheer en de exploitatie van de objecten en voorzieningen, kan het niettemin van belang zijn om een veiligheidsbeoordeling uit te voeren.

De in de leidraad 'Duinafslag' opgenomen toetsingsmethode blijkt tevens toepasbaar te zijn voor aanzienlijk grotere bezwijkkansen dan in de leidraad zijn aangegeven [Van de Graaff (1989)]. Het blijkt dat de toetsingsmethode zonder bezwaar voor bezwijkkansen tot in de orde van grootte van 10^{-1} per jaar kan worden gebruikt (zie par. 5.4.3).

6.3 Handhaving van de ligging van de kustlijn

6.3.1 Algemeen

In november 1990 heeft de Tweede Kamer ingestemd met het voorstel van de Minister van Verkeer en Waterstaat om de ligging van de kustlijn van 1 januari 1990 in principe te handhaven. De term 'dynamisch handhaven' is in dit verband genoemd om het voorgenomen beleid van de Minister te karakteriseren; 'dynamisch' omdat zo mogelijk enige natuurlijke dynamiek zal worden toegelaten.

De systematische achteruitgang van een kustlijn is het directe gevolg van structurele erosie. Het belangrijkste gevolg van het handhavingsbeleid is dus dat de structurele kusterosie overal langs de Nederlandse kust zal worden bestreden.

Om dit handhavingsbeleid inhoud te kunnen geven, zijn normen en spelregels nodig waarmee kan worden nagegaan of er in voorkomende gevallen moet worden ingegrepen.

De norm wordt gevormd door de zogenaamde basiskustlijn. De basiskustlijn wordt eenmalig vastgesteld en geeft in principe de gemiddelde positie van de kustlijn op 1 januari 1990 aan; dat is de ligging van de te handhaven kustlijn. (In een aantal gevallen is er sprake van uitzonderingen op deze regel; zie par. 6.3.3).

Formeel gesproken is een lijn, dus ook een kustlijn (basiskustlijn) een fenomeen dat op een vlak betrekking heeft. (De vastgestelde basiskustlijn is dan ook op een officiële kaart ingetekend.) In de wandeling wordt het begrip kustlijn echter ook per kustraai (JARKUS-raai) gebruikt. De ligging van de kustlijn kan dus voor iedere afzonderlijke dwarsraai worden bepaald.

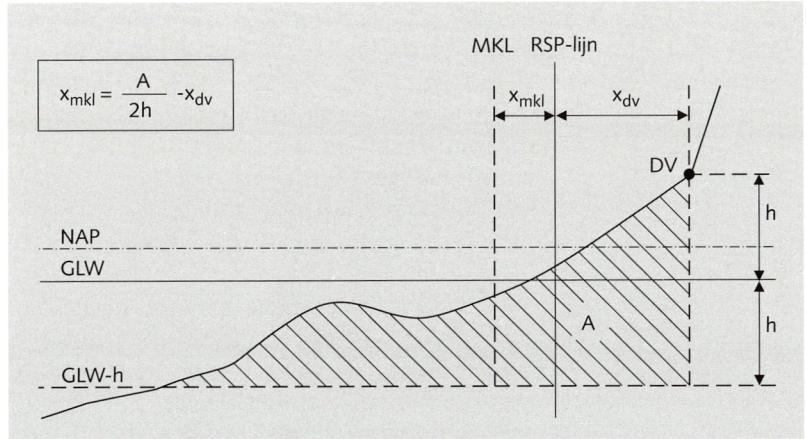


Fig. 6.15 Berekening van de momentane ligging van de kustlijn.

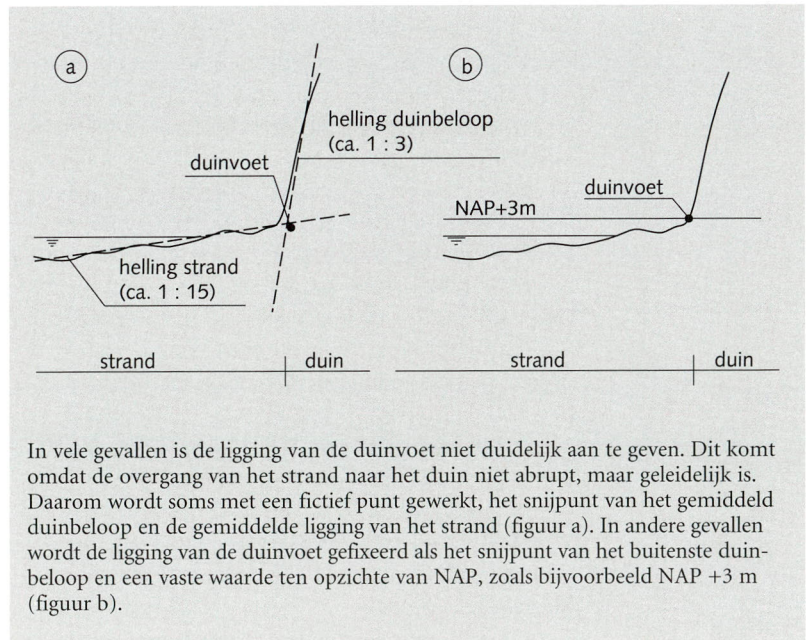


Fig. 6.16 Bepaling van de positie van een duinvoet.

6.3.2 Betekenis MKL, BKL en TKL

In het beleid om de ligging van de kustlijn te handhaven, spelen 3 verschillende 'soorten' kustlijnen een rol:

1. de momentane kustlijn (MKL);
2. de basiskustlijn (BKL);
3. de te toetsen kustlijn (TKL).

ad 1. de momentane kustlijn (MKL)

In de RWS nota 'De Basiskustlijn' is aangegeven op welke wijze met een volumetrische beschouwing in een willekeurig jaar de positie van de momentane kustlijn (MKL) in een dwarsprofiel kan worden berekend. Eén van de uitgangspunten bij de opzet van de berekeningsmethode is, dat de te berekenen positie van de MKL in de buurt van de (momentane) GLW-lijn komt te liggen. Er is besloten om in de volumetrische beschouwing met een beperkt deel van het totale dwarsprofiel rekening te houden (fig. 6.15). Hoewel er naar is gestreefd een berekeningsmethode te kiezen die overal langs de Nederlandse kust op de zelfde wijze kan worden toegepast, blijken er in de praktijk voor sommige dwarsprofielen uitzonderingsbepalingen te moeten worden gemaakt. Per JARKUS-raai dienen de waarden van twee parameters te worden vastgesteld, namelijk het niveau van de duinvoet en het GLW-niveau. In latere berekeningen moeten de eenmaal gekozen waarden weer worden toegepast. Een zorgvuldige raai-administratie is daarom noodzakelijk (zie voor een overzicht van de per raai voorgestelde waarden de RWS nota 'De Basiskustlijn'). De manier waarop de positie van de duinvoet kan worden bepaald is weergegeven in figuur 6.16.

Overigens wordt aan de ligging van een individueel MKL-punt geen bijzondere betekenis toegekend.

ad 2. de basiskustlijn (BKL)

De ligging van de basiskustlijn (BKL) is de norm voor het handhavingsbeleid. De eenmaal vastgelegde positie van de BKL wordt als maatstaf in het handhavingsbeleid gehanteerd. In de meeste gevallen komt de positie van de BKL overeen met de gemiddelde ligging van de kustlijn op 1 januari 1990. (In sommige gevallen is er sprake van een verlegde BKL; zie par. 6.3.3.)

Deze gemiddelde ligging wordt berekend door middel van extrapolatie van de lineaire trend die kan worden afgeleid uit de ligging van 10

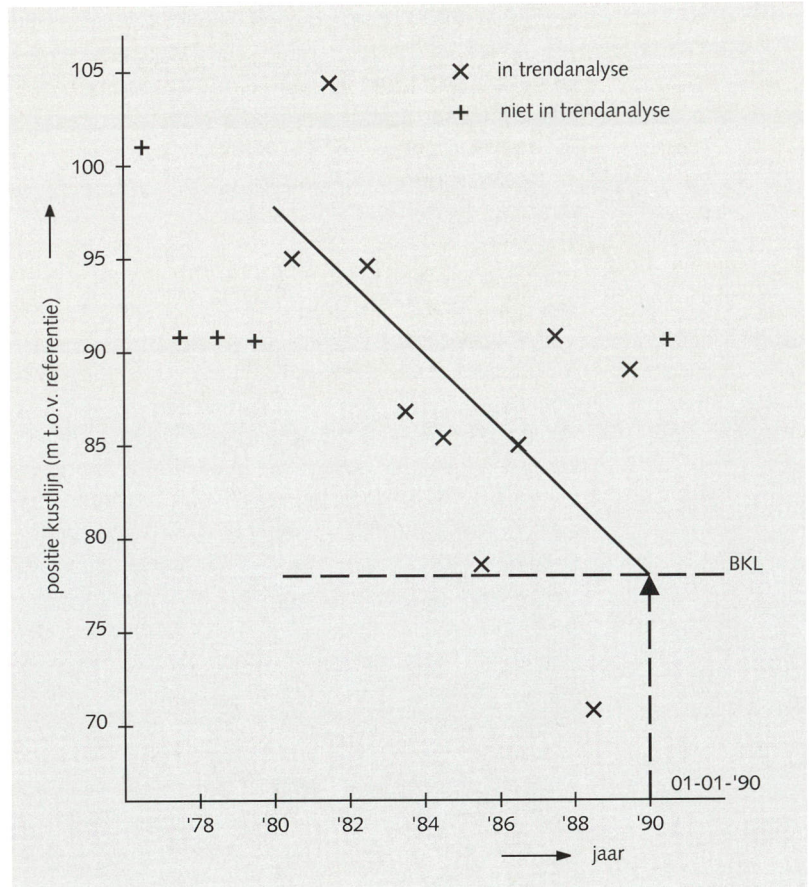


Fig. 6.17 Bepaling van de BKL.

MKL-punten in de jaren 1980 tot en met 1989. De JARKUS-metingen worden gewoonlijk halverwege het jaar uitgevoerd; de genoemde extrapolatie van de trend tot 1 januari 1990 betekent dus dat de extrapolatie tot over circa een half jaar verder dan het laatste MKL-punt zal plaatsvinden (fig. 6.17).

Op plaatsen waar in de voorgeschreven 10-jarige analyse-periode een zandsuppletie heeft plaatsgevonden, dient met een afwijkende periode en met een ander maatgevend jaar rekening te worden gehouden (zie RWS nota 'De Basiskustlijn').

In de kustnota was er nog sprake van dat er, naast de vaststelling van de ligging van de BKL, een zogenaamde marge zou worden gedefinieerd. In de nota 'De Basiskustlijn' wordt niet nader op de marge ingegaan (zie par. 6.3.6).

ad 3. de te toetsen kustlijn (TKL)

De ligging van de te toetsen kustlijn (TKL) wordt op een vergelijkbare manier bepaald als de manier waarop de gemiddelde ligging van de kustlijn op 1 januari 1990 wordt bepaald. De ligging van de TKL op 1 januari van het jaar T wordt berekend door uit te gaan van de ligging van de MKL-punten in de jaren (T-10) tot en met (T-1). Een vergelijking van de ligging van het aldus berekende TKL-punt met de ligging van het BKL-punt voor de raai, levert informatie op voor de effectivering van het handhavingsbeleid. Een (dreigende) overschrijding in landwaartse richting van de BKL door de TKL kan worden gesignaleerd.

6.3.3 Basiskustlijn (BKL)

De ligging van de BKL speelt een centrale rol in het kusthandhavingsbeleid. Het is de norm; de gemiddelde kustlijn in een willekeurig jaar na 1990 (TKL) mag 'nimmer' landwaarts van deze lijn liggen (zie par. 6.3.5).

In de meeste kustvakken is de BKL de gemiddelde kustlijn van 1990. In sommige kustvakken is er geen BKL vastgesteld (de BKL wordt daar losgelaten). Het betreft voornamelijk de uiteinden van de Waddeneilanden. Er is daar geen norm nodig omdat de beweeglijkheid van de kust daar kan worden toegestaan. Het kusthandhavingsbeleid heeft op die kustgedeelten dan ook geen betrekking.

In sommige kustvakken is bij de 'eerste' vaststelling van de ligging van de BKL niet zonder meer uitgegaan van de gemiddelde ligging van de kustlijn in 1990. Er is dan sprake van een verlegde BKL.

Er is dan bijvoorbeeld een BKL verkregen die met minder inspanning kan worden gehandhaafd; veelal ging het daarbij om een landwaartse verlegging.

Soms is besloten een verlegde BKL vast te stellen als daarmee beter aan gevestigde belangen op het strand of in het duin kan worden tegemoet gekomen. Het betrof dan veelal een zeewaartse verlegging. Soms was in dit verband een verlegde kustlijn zelfs uit veiligheidsoverwegingen vereist.

De ligging van de BKL wordt per JARKUS-raai bepaald; in een geheel kustvak worden de individuele BKL-punten verbonden. Aldus wordt de basiskustlijn bepaald die op een officiële kaart wordt ingetekend. Deze kaart wordt door de Minister van Verkeer en Waterstaat uitgegeven.

De ligging van de basiskustlijnen in de diverse kustvakken is door de Minister vastgesteld; de POK's hebben een adviserende stem in de vaststellingsprocedure gehad.

De vaststelling van de ligging van de BKL in een kustvak gebeurt in principe eenmalig. Het is de bedoeling dat een eenmaal vastgestelde ligging van een BKL gedurende een reeks van jaren van toepassing blijft. Slechts in bijzondere gevallen kan (later) worden besloten de ligging van de BKL te wijzigen (bijvoorbeeld als is gebleken dat met de gewijzigde ligging een acceptabele situatie wordt verkregen die met minder inspanning kan worden gehandhaafd).

6.3.4 Consequenties van gekozen methodiek voor de bepaling van de ligging van de kustlijn

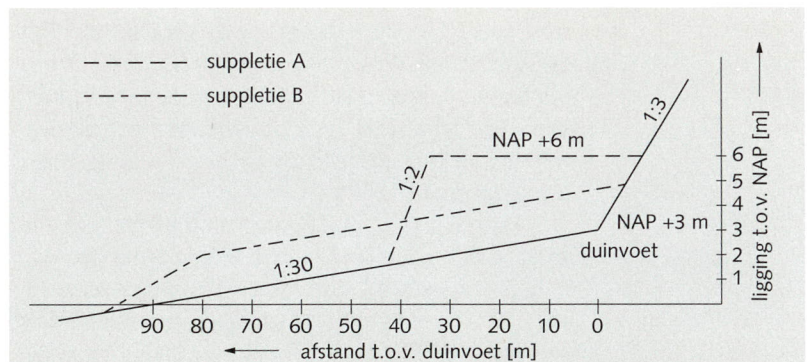
De gekozen methodiek om de ligging van de kustlijn te bepalen, levert in de praktijk op het eerste gezicht soms wat verrassende uitkomsten op. In deze paragraaf worden enkele consequenties van deze methodiek beschreven, waarbij wordt ingegaan op de volgende aspecten:

1. natuurlijke en kunstmatige uitwisseling tussen het strand en het duin;
2. effect (zware) stormvloed;
3. nauwkeurigheid berekeningsmethode.

Voor de vorming van een 20 m breed banket met een aanleghoogte van NAP +5,0 m wordt zand aan hetzelfde dwarsprofiel onttrokken. Door de vorming van een dergelijk banket is er kunstmatig $20 \times 2 = 40 \text{ m}^3/\text{m}^1$ zand aan de inhoud van de rekenschip onttrokken.

Door deze actie verschuift de berekende kustlijn circa 5 m in landwaartse richting. In de berekening is aangenomen de gemiddelde overhoogte gelijk is aan 2 m. Dit is het verschil tussen de aanleghoogte van het banket en de duinvoethoogte (NAP +3,0 m). Het volume per strekkende meter ($40 \text{ m}^3/\text{m}^1$) wordt door 8 m gedeeld; dit is de aangenomen dikte van de rekenschip.

Fig. 6.18 De invloed van de aanleg van een banket op de ligging van de kustlijn.



In bovenstaande figuur is het strand en een deel van het buitenduinbeloop van een structureel eroderend kustvak weergegeven. De gemiddelde jaarlijkse erosie is circa $25 \text{ m}^3/\text{m}^1$. Bij een dergelijke waarde behoort een achteruitgang van de kust van circa 1 m per jaar.

Er wordt besloten om een zandsuppletie hoog op het strand (tegen het duinbeloop) aan te brengen. De beoogde levensduur van de suppletie is 6 jaar, zodat $150 \text{ m}^3/\text{m}^1$ zand dient te worden aangebracht. In de figuur is het ontwerp-profiel aangegeven (suppletie A). De inhoud van de suppletie is (ruim) $150 \text{ m}^3/\text{m}^1$. De MKL zal direct na de suppletie slechts circa 3,5 m in zeewaartse richting zijn opgeschoven. (Slechts een relatief klein deel van de suppletie valt binnen de rekenschip die voor de berekening van de ligging van de MKL bepalend is.)

Indien de suppletie in de vorm van een strandsuppletie wordt uitgevoerd (suppletie B), zal de ligging van de MKL direct na de suppletie circa 13,5 m in zeewaartse richting zijn verplaatst.

Fig. 6.19 De invloed van de positionering van een zandsuppletie op de ligging van de kustlijn.

ad 1. natuurlijke en kunstmatige uitwisseling tussen het strand en het duin

Ook in een stabiel kustprofiel vindt er een voortdurende uitwisseling van zandhoeveelheden plaats tussen het strand en de duinen. De duinen groeien in de zomer vaak aan door aanstuiving; in de winter wordt er door stormvloed vaak weer zand van de duinen naar het strand getransporteerd. Het zand dat boven het niveau van de duinvoet (meestal circa NAP +3,0 m) in de duinen wordt afgezet, draagt niet meer bij aan de inhoud van de schijf zand die voor de bepaling van de ligging van de MKL van belang is. Als bijvoorbeeld de duinen behoorlijk zijn aangestoven met zand van het strand en de vooroever, resulteert dat dus in een landwaartse verplaatsing van de MKL.

In het kusthandhavingsbeleid wordt aan de ligging van een individueel MKL-punt in een willekeurig jaar geen bijzondere betekenis toegekend. Voor de toetsing geldt namelijk de gemiddelde ligging van de kustlijn op 1 januari, die wordt bepaald door de extrapolatie van 10 MKL-punten; er is dus sprake van enige uitmiddeling. Niettemin wordt de te berekenen gemiddelde ligging van de kustlijn wel degelijk beïnvloed door enkele relatief rustige jaren zonder noemenswaardige winterstormen.

De hoeveelheid zand die van het strand over de zeereep wordt geblazen en aan de achterkant van de zeereep belandt of nog verder de duinen instuift, is definitief aan het strand onttrokken en speelt dus ook niet meer mee in de bepaling van de ligging van de kustlijn. Een wijze van kustbeheer waarbij de overstuiving van zand (sterk) wordt gestimuleerd, kan dus op zeker moment op gespannen voet komen te staan met het kusthandhavingsbeleid van de rijksoverheid (gescheiden verantwoordelijkheden en verschillende financieringsbronnen).

Voor de vorming van banketten wordt zand aan het (droge) strand onttrokken (zie par. 5.4.2). De zandbalans in dwarsrichting wordt door de vorming van banketten niet verstoord. Als de bovenkant van een banket veel hoger komt te liggen dan de hoogte van de duinvoet (in het algemeen NAP +3,0 m), wordt er zand aan de rekenschijf voor de berekening van de ligging van de MKL onttrokken. Door de vorming van banketten verschuift de ligging van de kustlijn dan in landwaartse richting (fig. 6.18). Bij de analyse van de ligging van de kustlijn dient met dit effect rekening te worden gehouden. In dergelijke situaties verdient het aanbeveling de ligging van de berekende MKL hiervoor aan te passen.

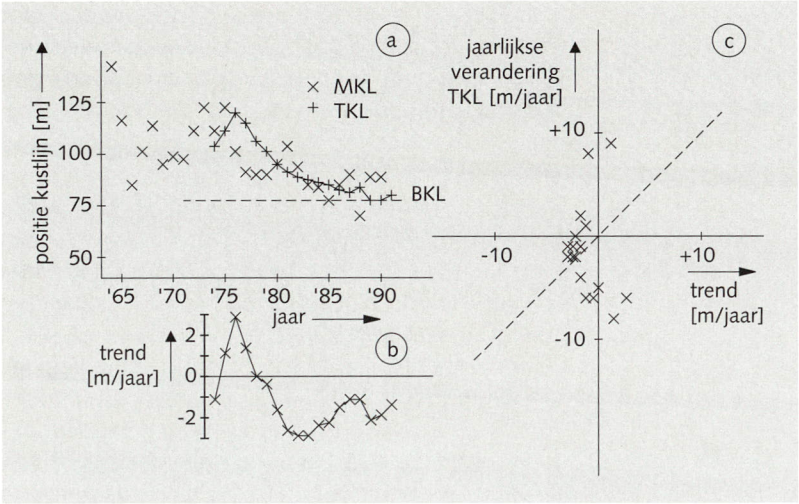


Fig. 6.20 De ontwikkeling van MKL en TKL in de tijd (Egmond aan Zee; JARKUS-raai 40.25).

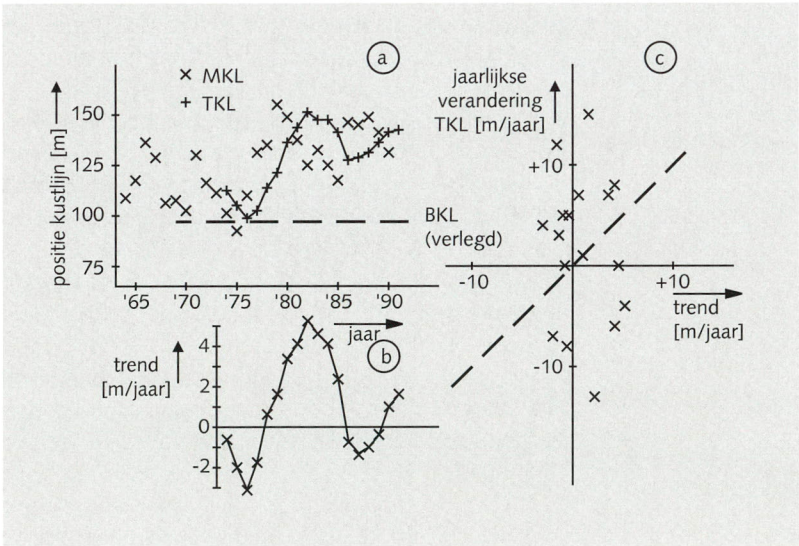


Fig. 6.21 De ontwikkeling van MKL en TKL in de tijd (Egmond aan Zee; JARKUS-raai 41.00).

Een vergelijkbaar effect treedt op wanneer een zandsuppletie op het strand wordt aangebracht. De mate waarmee de MKL in zeewaartse richting verschuift is zeer sterk afhankelijk van de vorm van het aanlegprofiel (fig. 6.19).

ad 2. effect (zware) stormvloed

Na een stormvloed met veel duinafslag zal de MKL in zeewaartse richting opschuiven. Dat kan aanleiding geven tot een wat merkwaardige discussie. Als immers na een zware stormvloed belangen in de duinen en op het strand (strandpaviljoens) zijn geschaad en gedupeerden zich afvragen of de ligging van de kustlijn eigenlijk wel 'in orde' is (was), kan worden gewezen op de ver zeewaartse ligging van de MKL; er lijkt 'dus' niets aan de hand te zijn.

ad 3. nauwkeurigheid berekeningsmethode

De gekozen methodiek om de ligging van de MKL te bepalen, is gebaseerd op de zandinhoud van een beperkt gedeelte van het totale dwarsprofiel (orde van grootte van 8 m in de verticaal). Daarnaast moet om de ligging van de BKL of TKL te bepalen, worden uitgegaan van 10 MKL-punten. Door deze uitgangspunten en vooral door de werkelijke fluctuaties van de zandinhoud van een dwarsprofiel, kunnen de berekeningsresultaten van jaar tot jaar sterk verschillen.

In figuren 6.20 en 6.21 zijn twee concrete voorbeelden uitgewerkt. Voor beide gevallen zijn series werkelijke JARKUS-metingen nabij Egmond gebruikt (periode 1964 - 1990). Voor de dikte van de rekenschijf voor de berekening van de ligging van de MKL-punten is 8,0 m aangehouden (van NAP +3,0 m tot NAP -5,0 m). (Deze waarde voor de dikte van de rekenschijf wijkt in geringe mate af van de aanbevolen waarde nabij Egmond. Voor het doel van de uitwerking in dit basisrapport is dat echter geen bezwaar.)

In beide gevallen varieert de ligging van de berekende MKL punten van jaar tot jaar tamelijk sterk (fig. 6.20-a en 6.21-a).

Met de overeengekomen spelregels kan, te beginnen in 1974, voor ieder volgend jaar een soort TKL-punt worden bepaald (uit extrapolatie van de ligging van de MKL-punten in de 10 voorafgaande jaren). Voor de jaren vóór 1990 zijn het uiteraard geen echte TKL-punten; de toetsing van de ligging van de kustlijn heeft immers alleen betrekking op de

periode na 1990. Met deze bewerking kan echter enig inzicht worden verkregen in de mate van fluctuatie in de ligging van TKL-punten zoals die ook na 1990 kan worden verwacht.

Het blijkt dat de ligging van de berekende TKL-punten van jaar tot jaar tamelijk grote verschillen te zien geeft (fig. 6.20-a en 6.21-a). Zowel in figuur 6.20-a als in figuur 6.21-a is een suggestie voor de ligging van de BKL ingetekend. In het geval van figuur 6.20-a komt de ligging van de BKL overeen met de positie van de TKL voor 1990.

In figuur 6.21-a is een verlegde BKL getekend. (Als de gemiddelde kustligging in 1976 indertijd kennelijk geen onoverkomelijke bezwaren heeft opgeleverd, is er veel voor te zeggen om de BKL op de positie van de gemiddelde kustlijn van dat jaar vast te stellen.)

Voor de jaren dat de ligging van een TKL-punt is berekend, is er (vanzelfsprekend) ook een waarde van de gemiddelde jaarlijkse vooruitgang of achteruitgang van de kustlijn over de afgelopen 10 jaar berekend. Dit is de richtingscoëfficiënt van de lineaire regressielijn: de jaarlijkse trend [m/jaar]. In de figuren 6.20-b en 6.21-b zijn deze berekende jaarlijkse trends weergegeven. De verschillen van jaar tot jaar zijn opmerkelijk groot.

Het soms wispelturige karakter van de overeengekomen methodiek voor de berekening van de ligging van de kustlijn wordt duidelijk geïllustreerd door de figuren 6.20-c en 6.21-c. Er zou worden verwacht dat de waarde van de jaarlijkse trend die behoort bij de serie MKL-punten die de ligging van het TKL-punt in het jaar T oplevert, een goede schatting is voor de voorspelling van de ligging van het TKL-punt in het jaar $T+1$. In de figuren 6.20-c en 6.21-c is de waarde van de jaarlijkse trend uitgezet tegen het verschil in ligging van de TKL-punten in de jaren $T+1$ en T . Van enig verband blijkt in deze twee willekeurige gevallen geen sprake te zijn.

Uit de voorbeelden blijkt dat bij de toepassing van de voorgeschreven methodiek voor de bepaling van de ligging van de kustlijn, rekening moet worden gehouden met een soms wat onvoorspelbaar kustgedrag.

6.3.5 Handhaven in de praktijk

Het handhaven van de ligging van de kustlijn is een Rijkstaak (zie par. 2.8.4).

Direct nadat de JARKUS-meting in een raai in het willekeurige jaar T (T na 1989) is uitgevoerd, kan de positie van de TKL op 1 januari van het jaar (T+1) worden bepaald. Die positie moet worden vergeleken met de positie van de BKL in de raai. Dit dient voor iedere raai in het kustvak te gebeuren.

De (dreigende) overschrijding van de BKL is het sein om tot tegenmaatregelen over te gaan. Meestal gebeurt dat op initiatief van het Rijk. De plannen van het Rijk om de erosie te bestrijden, worden in het POK besproken. Uiteindelijk legt het Rijk in een beschikking vast wat de noodzaak en het doel van de beoogde werken zijn en waar de werken zullen worden uitgevoerd. De beschikking wordt in de Staatscourant gepubliceerd. Het initiatief om tot maatregelen over te gaan om de erosie te bestrijden, ligt dus bij het Rijk, maar ook de andere partijen in het kustbeheer zijn uiteraard bij de planvorming betrokken (in ieder geval via het POK). Er is dus een goed samenspel nodig tussen Rijk, Provincie en beheerder bij de bestrijding van de structurele erosie.

Maatregelen om de structurele erosie te bestrijden of om de gevolgen van de erosie tegen te gaan, zijn in hoofdstuk 4 van dit basisrapport beschreven. In Nederland zal in de meeste gevallen worden besloten om zandsuppleties uit te voeren.

Het beleid om de ligging van de kustlijn te handhaven, heeft betrekking op structureel eroderende kustvakken. Bij aanzandende kustvakken is het zeker niet de bedoeling om, bijvoorbeeld door strandafgravingen, de ligging van de kustlijn van 1990 systematisch te handhaven. Dat neemt overigens niet weg dat in sommige gevallen een aanzandingsgebied als winplaats kan dienen voor een zandsuppletie elders.

De gekozen systematiek met een vastgestelde BKL en de signalering van de (dreigende) overschrijding daarvan is gebaseerd op de analyse van de zandinhoud in een beperkt gedeelte van het totale dwarsprofiel. Deze analyse geeft geen volledig beeld van de werkelijke erosiehoeveelheden. Het verdient daarom aanbeveling om ook de trend van de totale zandinhoud in een dwarsprofiel (inclusief de zandinhoud van een deel van de zeereep) bij de analyse van de erosiehoeveelheden te betrekken. Het spreekt vanzelf dat de analyse-periode daarbij niet tot de 10 voorgaande jaren beperkt hoeft te blijven.

Van de twee voorbeelden van de figuren 6.20 en 6.21 is in de figuren

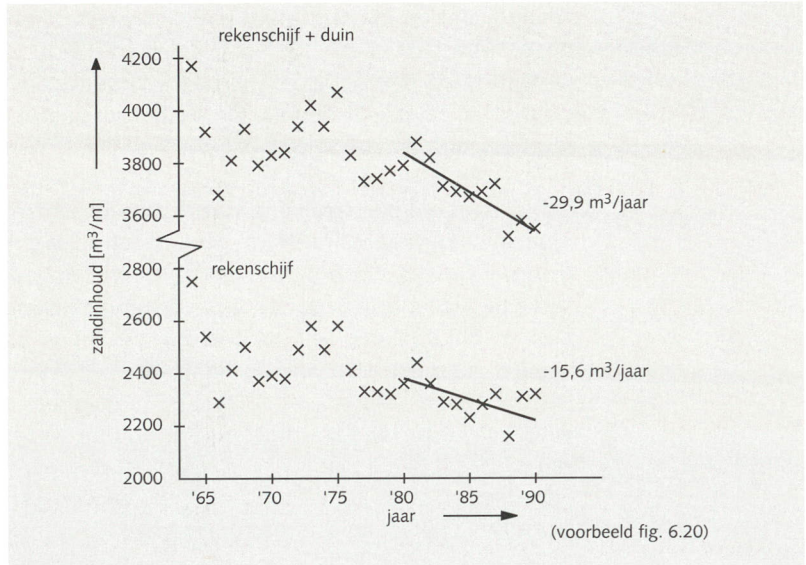


Fig. 6.22 De ontwikkeling van het zandvolume in de tijd.

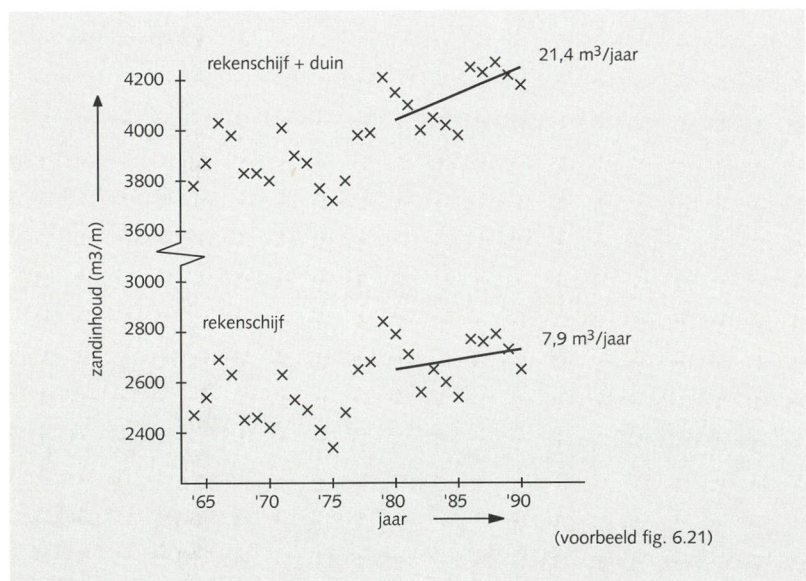


Fig. 6.23 De ontwikkeling van het zandvolume in de tijd.

6.22 en 6.23 aangegeven hoe de zandinhoud in de tijd varieert voor twee verschillende gedeelten van het totale dwarsprofiel. Tevens is voor de periode 1980 - 1989 de trendlijn bepaald en in de figuur ingetekend. Uit deze figuren blijkt dat het gemiddelde zandverlies per jaar uit de voor de bepaling van de kustligging voorgeschreven rekenschijf maar een beperkt deel is van het gemiddelde verlies van het totale dwarsprofiel. (Indien er sprake is van winst, geldt een vergelijkbare opmerking.)

Overigens moet worden opgemerkt dat het niet is uitgesloten dat, met de in de voorbeelden toegepaste ondergrens van NAP -5,0 m, niet het totale jaarlijkse verlies of de totale jaarlijkse winst van de zandinhoud van het dwarsprofiel wordt gevonden. Wellicht speelt een deel van de systematische profielveranderingen zich af op een grotere diepte dan NAP -5,0 m.

Door de analyse van de totale zandinhoud in een dwarsprofiel over een lange reeks van jaren kan inzicht worden verkregen in de aard van de structurele erosie die zich thans openbaart. Misschien blijkt er slechts sprake te zijn van een tijdelijke erosieve tendens; bijvoorbeeld omdat de neergaande fase van een zandgolf het dwarsprofiel juist passeert.

Een natuurlijk kuststelsel vertoont vaak een tamelijk grote mate van dynamiek. Veelal wisselen perioden van aanzanding zich af met perioden van erosie. Het verdient aanbeveling, daar waar voldoende ruimte is, zo min mogelijk in deze dynamiek in te grijpen.

De basiskustlijnen zijn in 1992 vastgesteld op grond van de destijds aanwezige inzichten. In sommige gevallen bestond er toen nog geen volledig inzicht in de van nature aanwezige dynamiek van het kuststelsel. Als de basiskustlijn (toevallig) is vastgesteld op grond van een serie metingen rondom het tijdstip van de passage van de top van een zandgolf, levert dat een relatief ver zeewaarts gelegen positie van de basiskustlijn op. Als dit niet voldoende is onderkend en er geen rekening mee is gehouden door van een verlegde basiskustlijn uit te gaan, dient volgens de spelregels van het handhavingsbeleid deze positie van de kustlijn verder te worden gehandhaafd. Dat betekent dat de gehele dynamiek van de zandgolf, met behulp van bijvoorbeeld regelmatig te herhalen zandsuppleties, zal worden onderdrukt. Het is thans nog volstrekt onduidelijk wat op langere termijn de gevolgen van een dergelijke menselijke ingreep zijn voor de dynamiek van het kuststelsel. Waar ruimte

genoeg is, hoeft niet te worden geschroomd een eenmaal ingenomen standpunt met betrekking tot de ligging van de basiskustlijn te verlaten, als in de toekomst blijkt dat een verlegde, maar toch acceptabele basiskustlijn met minder inspanning kan worden gehandhaafd.

De analyse van de ligging van de kustlijn gebeurt in eerste aanleg per JARKUS-raai. De (dreigende) overschrijding van de basiskustlijn wordt dus ook eerst per individuele raai gesignaleerd. In dit verband is het goed om te beseffen dat de mate van gemiddelde teruggang van de kustlijn zoals die met de overeengekomen methodiek voor eroderende kustvakken wordt berekend, veelal minder dan 2 m per jaar bedraagt. Slechts in enkele gevallen is de aldus berekende teruggang in de orde van grootte van 10 m per jaar (zie nota 'De Basiskustlijn'). Gelet op de genoemde orde van grootte en de nauwkeurigheid van de overeengekomen rekenmethodiek, is het dus heel goed mogelijk dat in een kustvak in een bepaald jaar slechts in één of enkele raaien de BKL in geringe mate door de TKL wordt overschreden. In goed overleg tussen Rijk, Provincie en beheerder (in het POK) is het in dergelijke gevallen vaak niet nodig om direct over te gaan tot het nemen van de geëigende maatregelen.

6.3.6 De marge in de ligging van de BKL

Uit paragraaf 6.3.5 is duidelijk geworden dat het in sommige gevallen bij een geringe overschrijding van de BKL niet nodig wordt geacht terstond tot tegenmaatregelen over te gaan. Vooral bij (nagenoeg) stabiele kustvakken kan de positie van de TKL als functie van de tijd een wat wispelturig karakter vertonen. Soms blijkt de TKL wat zeewaarts van de BKL te liggen; dan weer ligt de TKL iets landwaarts van de BKL.

Wellicht mede om te vermijden dat in dergelijke gevallen volgens de spelregels bij elke landwaartse overschrijding van de BKL terstond wordt ingegrepen, is in de kustnota het begrip marge gedefinieerd. In de kustnota is er dan ook aangekondigd dat naast de ligging van de BKL ook de grootte van een marge in deze ligging zal worden vastgelegd.

Bij de nadere uitwerking van de gevolgen van het handhavingsbeleid voor de dagelijkse praktijk van het kustbeheer, is het echter uitermate moeilijk gebleken het begrip marge zodanig kwantitatief in te vullen dat het in alle gevallen zinvol kan worden gebruikt. In de bovengenoemde

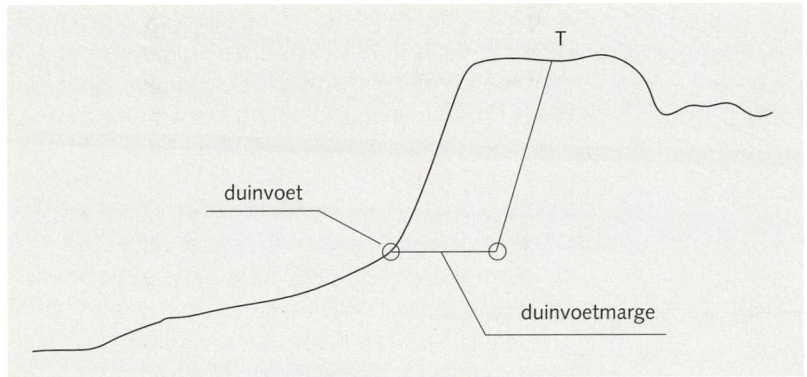


Fig. 6.24 De duinvoetmarge.

situaties met (nagenoeg) stabiele kustvakken heeft het inderdaad zin om aan een zekere marge te denken; bij kustvakken met een duidelijk doorgaande erosieve tendens lijkt er voor het begrip marge geen rol te zijn weggelegd. In deze laatste gevallen moet er gewoon terstond worden ingegrepen bij een (dreigende) overschrijding van de BKL. Er is daarom vooralsnog van afgezien om marges te definiëren. Dat neemt uiteraard niet weg dat het in sommige gevallen dringend wordt aanbevolen de spelregels van het handhavingsbeleid niet al te rigide toe te passen, maar veel meer, in goed onderling overleg tussen de betrokkenen, te handelen naar de geest van het handhavingsbeleid.

6.3.7 Fluctuaties in de ligging van de duinvoet; duinvoetmarge

Als gevolg van het beleid om de ligging van de kustlijn te handhaven (in principe steeds zeewaarts van de BKL) voert het Rijk in voorkomende gevallen werken uit waarmee de structurele erosie wordt bestreden (bijvoorbeeld aanleg van strandhoofden), of waarmee de gevolgen van de erosie teniet worden gedaan (zandsuppleties). Dergelijke werken hebben in het algemeen slechts invloed op de zandhuishouding van het strand en de vooroever; de zandhuishouding van de duinen wordt niet direct door de bedoelde werken beïnvloed.

De verantwoordelijkheid voor de (eventuele veranderingen in de) zandhuishouding van de duinen ligt geheel bij de beheerder van de waterkering.

Het handhavingsbeleid van het Rijk heeft alleen betrekking op de positie van de kustlijn; niet op de positie van de duinvoet en het duinfront. Met de handhaving van de ligging van de kustlijn worden weliswaar, op lange termijn gezien, ook de belangen gediend die in het duingebied zijn gevestigd, maar één en ander betekent niet dat die belangen verder geen gevaar lopen. Er is immers steeds een (zij het geringe) kans dat er een dusdanig zware stormvloed optreedt dat de in de duinen gevestigde belangen ernstig worden geschaad.

De bedoeling van de vaststelling van een duinvoetmarge is om medegebruikers van het duingebied een vorm van zekerheid te geven. Zeewaarts van punt T worden geen garanties gegeven; landwaarts van punt T kan dat wel (fig. 6.24). Tussen beheerder en gebruiker van het duin kan worden afgesproken dat als punt T in landwaartse richting wordt overschreden (door welke oorzaak dan ook), herstel van de dui-

nen zal plaatsvinden. Er kan bijvoorbeeld worden overeengekomen dat na één jaar het duin landwaarts van punt T weer op hoogte is. Veelal zal dat niet (alleen) door natuurlijke aanstuiving kunnen worden bereikt, maar dienen er actievere maatregelen te worden genomen (mechanisch opschuiven; zandsuppletie).

Hier wordt nadrukkelijk slechts het weer op hoogte brengen van het duin landwaarts van punt T bedoeld. Het herstel van bijvoorbeeld gebouwen en wandelpaden is hierbij niet inbegrepen. Nadere afspraken hierover dienen in het POK te worden gemaakt.

- Gezien de genoemde betekenis (en consequentie) van de duinvoetmarge en het dynamische karakter van een duinenkust, wordt aanbevolen uitermate terughoudend te zijn bij het definiëren van smalle duinvoetmarges. In zeer veel gevallen kan de duinvoetmarge zeer groot zijn (bij voorkeur gelijk aan de ontwerpafslag). In de meeste gevallen is het immers niet noodzakelijk om, zelfs na een zeer zware stormvloed, de duinen actief te herstellen.
- In slechts enkele kustgedeelten zal het niet te vermijden zijn dat het POK er toe besluit smallere marges te definiëren. Bijvoorbeeld in gevallen waarbij het na een stormvloed met duinafslag noodzakelijk is een beschadigd parkeerterrein weer in orde te maken.

7 INSTANDHOUDING VAN DE ZEEWERING

7.1 Inleiding

Om voor het achterland te kunnen blijven garanderen dat er niet meer dan een kleine kans bestaat op inundatie (bezwijkkans waarop de zeevering wordt ontworpen), moet de zeevering in stand worden gehouden. Daarnaast speelt ook de instandhouding van andere functies een rol (fig. 7.1). In de praktijk betekent dit, dat onderhoud aan de zeevering moet worden uitgevoerd. Bij een duinwaterkering richt dit onderhoud zich vrijwel volledig op een smalle strook land juist landwaarts van de laagwaterlijn (het natte en droge strand en de eerste duinregel) en op alle constructies die zich in het kustprofiel bevinden. Er kan hierbij onderscheid worden gemaakt tussen de zachte en harde elementen van de zeevering. Onder de zachte elementen worden het strand en de duinen verstaan. Constructies als strandhoofden en duinvoetverdedigingen zijn voorbeelden van harde elementen van de zeevering.

Het onderhoud van de zachte elementen in de zeevering hangt voor een groot deel samen met de morfologische fluctuaties en ontwikkelingen in het desbetreffende kustgebied. In het algemeen wordt door de kustbeheerders een onderhoudsbeleid gevoerd dat de grootschalige natuurlijke ontwikkelingen volgt en begeleidt. Met het uitvoeren van onderhoud wordt getracht de positieve ontwikkelingen te bevorderen en de negatieve ontwikkelingen te beperken of te vertragen.

Ook een groot deel van het onderhoud van de harde elementen van de zeevering komt voort uit de noodzaak om de constructies functioneel aan te passen aan een veranderende morfologische situatie. Daarnaast dient er regelmatig herstel ten gevolge van normale slijtage plaats te vinden.

De totale kosten van het basisonderhoud van de Nederlandse Noordzeekust bedragen circa 27 miljoen gulden per jaar (bedragen volgens het rapport 'Kustonderhoud' [RWS, TR3 (1989)]). Grootschalige onderhoudsmaatregelen zoals het aanleggen van strandhoofden of het aanbrengen van zandsuppleties, zijn hier niet bij inbegrepen. Het grootste deel van dit bedrag, circa 21 miljoen gulden per jaar, wordt besteed aan de duinenkust mede omdat de duinen het grootste deel van de kust (72%) in beslag nemen (fig. 7.2). Onderhoudsmaatregelen zijn in het algemeen zeer arbeidsintensief en moeten frequent worden uitgevoerd. In de periode 1991 t/m 1994 is per jaar gemiddeld ongeveer 60 miljoen gulden uitgegeven aan zandsuppleties langs de Nederlandse kust [Basisrapport kustnota 1995].

Het hoofddoel van het onderhoud van een zandige zeewering is ervoor te zorgen dat de toegekende functies tot hun recht kunnen blijven komen. Onderhoud dient op een economisch verantwoorde wijze te worden uitgevoerd. Voorheen kwam onderhoud voornamelijk neer op het behoud van de zeewerende functie en daarmee op het behoud van de bescherming van het achterland tegen inundatie. Tegenwoordig worden meer doelen nagestreefd, zoals het behoud van de recreatieve waarde van het strand, het behoud van de natuurwaarden in het kustgebied en het behoud van waterwingebieden (zie kustnota).

Fig. 7.1 Het doel van het onderhoud van de zandige kust.

km	kustlengte	Delta 108 km	Holland 124 km	Wadden 121 km	NL 353 km	prijs pe
duinen	254 km	3,6	8,1	8,8	20,5	0,08
strandvlakten	38 km	-	-	1,2	1,2	0,03
dijken	34 km	1,4	2,7	-	4,1	0,12
overige	27 km	0,6	0,3	0,1	1,0	0,04
totaal	353 km	5,6	11,1	10,1	26,8	0,08

Fig. 7.2 Totale kosten van het basisonderhoud in miljoen gulden per jaar [RWS, TR3 (1989)].

De toegepaste onderhoudsmaatregelen en de wijze waarop deze maatregelen worden uitgevoerd, vertonen op het eerste gezicht een zeer uniform beeld langs de kust. Bij nadere beschouwing blijkt echter dat er aanzienlijke verschillen bestaan ten aanzien van bijvoorbeeld de intensiteit, de details van de uitvoering en de gebruikte materialen. Deze verschillen hangen samen met de lokale morfologische en hydraulische omstandigheden en de specifieke kenmerken en eigenschappen van de aanwezige constructies in het beheersgebied. Daarnaast spelen ook de verschillende voorkeuren van de verantwoordelijke beheerders om een beoogd doel te bereiken een rol.

In het rapport 'Onderzoek onderhoud zandige Noordzeekust, inventarisatie van het gewone (jaarlijks) en buitengewone (meerjaarlijks) onderhoud over de periode 1975-1984' [WL (1987-c)] is een overzicht opgenomen van alle in dit hoofdstuk genoemde onderhoudsmaatregelen die in de periode van 1975 tot 1984 zijn uitgevoerd door de verschillende kustbeheerders.

In dit hoofdstuk komen de verschillende onderhoudsmaatregelen aan de orde. Bij elk van de maatregelen zal aandacht worden besteed aan de motivering van het gebruik, het nagestreefde doel en het te verwachten effect. In paragraaf 7.2 zal allereerst worden ingegaan op de achtergronden van het onderhoud. Het onderhoud van het strand en het duin komt in paragraaf 7.3 ter sprake, terwijl in paragraaf 7.4 het onderhoud van de harde elementen zal worden behandeld. Tenslotte zal in paragraaf 7.5 worden ingegaan op de effecten van de onderhoudsmaatregelen op de verschillende functies van de kust.

7.2 Achtergronden van het onderhoud

7.2.1 Algemeen

De wijze van onderhoud van de elementen van de zeewering kan verschillen tussen afzonderlijke kustvakken en zelfs tussen secties binnen een kustvak. Dit wordt onder meer veroorzaakt door lokaal verschillende hydraulische omstandigheden en verschillen van inzicht bij de kustbeheerders. De beheersfilosofie die een beheerder heeft ontwikkeld, hangt uiteraard mede af van de functies waarmee in het kustgebied rekening dient te worden gehouden. In paragraaf 7.2.2 wordt nader ingegaan op de mogelijke beheersfilosofieën.

Veiligheidsniveau	Natuurlijke ontwikkeling kustvak		
	aangroeiend	stabiel	eroderend
voldoende reserve	terughoudend	terughoudend	- bestrijden erosie (nu) - vertragen kust-achteruitgang (vroeger) - gecontroleerde achteruitgang (vroeger)
kritisch	terughoudend alert	alert	bestrijden erosie

Fig. 7.3 Mogelijke beheersfilosofieën afhankelijk van het kustgedrag en de specifieke situatie.

De aard van de verschillende wijzen van onderhoud van de zandige elementen van de kust hangt onder meer samen met de herhalingstijd van de uitvoering. Er wordt in dit basisrapport onderscheid gemaakt tussen:

- normaal onderhoud;
- groot onderhoud.

Bij normaal onderhoud gaat het om werkzaamheden die regelmatig (vrijwel jaarlijks) worden uitgevoerd. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het plaatsen van stuifschermen en afrasteringen, het afvlakken van een duinfront na een storm of het planten van helm. Onder het normaal onderhoud valt niet alleen de uitvoering van kleine herstelmaatregelen maar ook het zogenaamde preventief onderhoud. Tot het groot onderhoud (ook wel meerjaarlijks onderhoud genoemd) worden de werkzaamheden gerekend die eens in de zoveel jaar worden uitgevoerd. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het suppleren van zand (eens in de vijf à tien jaar).

In de praktijk blijkt dat een strikte scheiding tussen normaal en groot onderhoud niet altijd goed kan worden gemaakt. De redenen hiervoor zijn:

- na een stormvloed met een forse aantasting van de duinen zijn vaak op korte termijn maatregelen nodig;
- het groot onderhoud wordt om financiële redenen vaak gespreid over enkele jaren;
- de ene kustbeheerder moet een bepaalde onderhoudsmaatregel door de lokale situatie jaarlijks herhalen, terwijl een andere beheerder een dergelijke maatregel slechts zelden hoeft toe te passen.

Op de verschillende onderhoudswerkzaamheden van normaal en groot onderhoud wordt ingegaan in paragraaf 7.3 en 7.4.

7.2.2 Beheersfilosofieën

Een algemeen uitgangspunt bij het kustbeheer en dus ook bij het kustonderhoud is het zorgen dat de primaire waterkering voldoende veilig is (zie par. 2.2). De primaire waterkering moet voldoen aan de voorgescreven inhoudsnormen, opdat de gevolgen van duinafslag goed kunnen worden opgevangen.

Afhankelijk van het kustgedrag en de specifieke situatie kunnen er verschillende beheersfilosofieën worden onderscheiden. In figuur 7.3 zijn deze filosofieën met een enkel trefwoord aangegeven. De verschillende

filosofieën worden achtereenvolgens behandeld. Uiteraard is de indeling in de praktijk niet zo strikt; er zullen veelvuldig mengvormen voorkomen.

Voordat tot de behandeling van figuur 7.3 wordt overgegaan, worden de volgende twee opmerkingen gemaakt:

- Bij alle vormen van beheer en onderhoud die in de blokken van figuur 7.3 zijn aangegeven geldt in vrijwel gelijke mate dat na een stormvloed met enige aantasting van de duinen en het strand onderhoudsmaatregelen dienen te worden uitgevoerd. Er dient iets te worden gedaan aan het verlies van zand door de afslag, bijvoorbeeld door het nemen van maatregelen om de aanstuiving te bevorderen; duinovergangen dienen weer begaanbaar te worden gemaakt; trappen naar het strand moeten worden hersteld; afrasteringen moeten worden vernieuwd.
- Als het beleid om de ligging van de kustlijn te handhaven consequent wordt uitgevoerd, zullen sommige beheersfilosofieën die in het verleden vaak werden aangehangen in de toekomst van minder belang blijken te zijn. Voor de volledigheid worden dergelijke filosofieën nog wel behandeld.

terughoudend

Een als terughoudend gekenschetste beheersfilosofie kan worden toegepast in van nature aanzandende of stabiele kustvakken waar overigens voldoende veiligheidsreserves aanwezig zijn. Natuurlijke ontwikkelingen kunnen zonder meer worden toegestaan. Er kunnen enige risico's (bijvoorbeeld ten aanzien van verlies van de beplanting) worden genomen; ontwikkelingen kunnen (tijdelijk) op hun beloop worden gelaten; experimenten kunnen worden opgezet en gevolgd.

Soms is het noodzakelijk om stuifbeperkende maatregelen te treffen om overlast voor bebouwing, paden en duinovergangen te voorkomen. In andere gevallen kan verstuvend zand worden toegelaten.

alert

In kustvakken waar de veiligheid tamelijk kritisch kan worden genoemd, is in het bijzonder bij stabiele kustvakken een alerte houding van de beheerders geboden. Er moet worden voorkomen dat de situatie verslechtert. Zo verdient het aanbeveling om na een stormvloed met enige

duinafslag te bewerkstelligen dat het zand dat van de duinen verloren is gegaan, weer wordt aangevuld (natuurlijke aanstuiving, gestimuleerd door het plaatsen van stuifschermen en de aanplant van bijvoorbeeld helmgras). Er moet daarbij worden voorkomen dat het zand, bijvoorbeeld door het transport door wind, uit het kennelijk kritische kustvak verdwijnt.

Bij stabiele kustvakken past een terughoudende maar alerte filosofie.

vertragen kustachteruitgang

In eroderende kustvakken waar overigens nog voldoende reserve aan veiligheid aanwezig is, kan het streven erop gericht zijn om de door de erosie veroorzaakte kustachteruitgang (strand en duinen) zoveel mogelijk te vertragen.

Het vertragen kan worden bewerkstelligd door aanstuiving zoveel mogelijk te stimuleren en het afgevangen zand zo goed mogelijk vast te leggen. Het is goed mogelijk met dergelijke maatregelen de uiteindelijke kustachteruitgang te verminderen (in vergelijking met een minder actief beleid). Er dient echter te worden bedacht dat een onevenredige afvang van zand in het ene kustvak veelal ten koste gaat van de beschikbaarheid van zand voor de naastgelegen kustvakken.

gecontroleerde achteruitgang

Gecontroleerde achteruitgang van de zeereep werd in het verleden toegelaten bij brede, eroderende duingebieden, waarbij enig verlies toelaatbaar werd geacht. De achteruitgang werd geaccepteerd maar door begeleidende onderhoudsmaatregelen werd:

- de overlast beperkt;
- de totale behoefte aan onderhoud geminimaliseerd;
- de zeewerende functie verzekerd;
- zo mogelijk het tempo van het terugschrijden vertraagd.

De zandverplaatsingen die bij gecontroleerde achteruitgang plaatsvonden, waren het resultaat van begeleide verstuingen of zandverplaatsingen met behulp van bulldozers. Voorbeelden zijn te vinden in de kustvakken in de kop van Schouwen, het duingebied tussen Hoek van Holland en Den Haag, tussen Egmond en de Hondsbossche Zeewering en enkele delen van Texel, Vlieland, Terschelling en Ameland.

Bovengenoemde filosofie vond steeds minder toepassing langs de Nederlandse kust aangezien:



Fig. 7.4 Afrastering.

opnieuw worden aangelegd waardoor de vrijheid van bewegen van het strand wordt ingeperkt.

7.3.2 Normaal onderhoud van het strand

Het strand vormt een wezenlijk onderdeel van de totale zeewering. Toch is het normaal onderhoud van het strand vaak meer gericht op recreatieve belangen dan op de veiligheidsfunctie. De onderhoudswerken die in het kader van het normale onderhoud worden uitgevoerd, hebben onder andere als doel het gebruik van het strand ten behoeve van de recreatie te reguleren. Dit wordt bereikt door:

1. het plaatsen van afrasteringen;
2. het vastleggen van de standplaatsen van strandpaviljoens.

ad 1. plaatsen van afrasteringen

Met het plaatsen van afrasteringen wordt het betreden van de zeereep (duinfront en buitenste duinregel) voorkomen (fig. 7.4). Dit heeft tot gevolg dat het onderhoud van de duinvegetatie kan worden beperkt. Het effect van de afrastering is het grootst als de afrastering zeewaarts van de stuifschermen aan de duinvoet wordt geplaatst; de schade aan de stuifschermen als gevolg van betreding door recreanten wordt dan voorkomen. De kans dat de afrasteringen tijdens stormvloed worden weggeslagen is dan echter ook het grootst; dit verhoogt de kosten.

ad 2. vastleggen standplaatsen

De standplaatsen voor semi-permanente bebouwing ten behoeve van de dagrecreatie worden gecreëerd door lokale ophogingen op het strand. Deze verhogingen worden bereikt door de aanleg van zandbanketten en paalfunderingen (zie par. 5.4.2).

De banketten blijven liggen of worden zelfs uitgebreid voor de aanvang van het winterseizoen. Hiermee wordt een buffer gevormd voor de duinvoet (zie par. 7.3.3).

Naast deze werkzaamheden wordt nog het onderhouden van strandraai-palen en bebording tot het normaal onderhoud van het strand gerekend.

7.3.3 Normaal onderhoud van het duin

Aan het normaal onderhoud van het duingebied kan vaak goed worden gezien dat er vele functies zijn toegekend aan het duingebied. Zo moet



Fig. 7.5 Rijsscherm.

er bijvoorbeeld rekening worden gehouden met recreatie (wandelen of fietsen in de duinen), veiligheid (voldoende breed en hoog duin), flora en fauna, aanwezige bebouwing, waterwingebieden en industrie. Tot het normaal onderhoud van de duinen wordt gerekend:

1. bevorderen aangroei van het duinfront;
2. reguleren verstuing en overstuing;
3. afvlakken duinfront;
4. vrijhouden van overgangen en paden.

ad 1. bevorderen aangroei van het duinfront

De aangroei van de duinvoet wordt bevorderd om verliezen van het duin na winterstormen snel te compenseren. Vaak wordt tevens beoogd om een buffer te vormen voor de eerste duinregel. Bij stormen wordt deze buffer eerst weggeslagen alvorens het duin zelf wordt aangevallen.

De aangroei van het duinfront kan worden bewerkstelligd door het plaatsen van stuifschermen. Met stuifschermen wordt zand gevangen tot een hoogte van ongeveer 1 m boven het oorspronkelijke oppervlak. Stuifschermen kunnen het best dwars op de overheersende windrichting worden geplaatst. In plaats van rietschermen worden ook wel rietpoten gebruikt.

Zowel riet als rijshout worden toegepast om stuifschermen te vervaardigen (fig. 7.5), waarbij riet goedkoper is maar vooral in een vochtige omgeving een minder lange levensduur heeft. Riet en rijshout dienen te worden ingestoken tot een diepte van circa 0,4 m. Na verloop van tijd kan een stuifscherm in verval raken door rotting van het materiaal. Het scherm verliest dan zijn functie. Inmiddels aangebrachte helm moet deze functie dan overnemen. Experimenten met kunststofschermen zijn niet praktisch gebleken; er worden hiermee bovendien niet of moeilijk afbreekbare materialen in het milieu gebracht.

Het plaatsen van stuifschermen langs de duinvoet is overigens weinig effectief bij een snel eroderende kust. Als redenen hiervoor kunnen worden genoemd:

- door het smalle strand is er maar weinig zand beschikbaar dat aan het stuifproces kan deelnemen (het kenmerk van eroderende kusten zijn steile, smalle stranden, waarbij vaak geldt dat hoe sneller een kust erodeert hoe smaller het droge strand is);



Fig. 7.6 Rietpoten



Fig. 7.7 Nagenoeg ondergestoven rietpoten

- de schermen staan frequent aan golfaanval bloot en hebben daarvoor een geringe levensduur;
- de schermen kunnen gemakkelijk worden beschadigd door de recreatieve druk op het smalle strand.

Bij stabiele en matig eroderende kusten leveren schermen langs de duinvoet de gewenste buffervorming op. Redenen voor plaatsing zijn dan ook:

- vorming van een buffer tegen de duinvoet waardoor wordt voorkomen dat het duinfront bij niet al te zware stormen wordt afgeslagen;
- de zeewering wordt bij voldoende grote zandaanvoer versterkt;
- de overlast en schade door overstuiving aan vegetatie wordt beperkt of voorkomen.

Een bezwaar van het plaatsen van schermen is het beslag op (een deel) van het recreatiestrand. Gevolg is een grotere recreatieve druk op het smallere strand hetgeen kan leiden tot beschadiging van de stuifschermen. Om dit tegen te gaan dienen er afrasteringen voor de stuifschermen te worden geplaatst, wat echter een extra afname van de breedte van het recreatiestrand tot gevolg heeft.

ad 2. reguleren verstuiving en overstuiving

Verstuiving en het daarmee samenhangende verlies van zand uit de zeewering treedt op bij (grote) vlakken onverdedigd droog zand en in zogenaamde stuifgaten. Om de vlakken snel stuifvrij te maken, wordt naast de eerder beschreven stuifschermen gebruik gemaakt van verticaal gestoken riet- of stropoten (fig. 7.6 en 7.7). Deze werken direct, en kunnen worden toegepast om het nieuw aangevoerde zand vast te leggen totdat de begroeiing deze taak kan overnemen. Stuifgaten kunnen ook stuifvrij worden gemaakt door ze te bedekken met gehakt snoeimateriaal (bijvoorbeeld helm-maaisel) dat in een laag wordt aangebracht. Om zowel de toegankelijkheid te beperken als de erosieve werking van de wind te beteugelen, worden stuifgaten ook wel afgedekt met bijvoorbeeld dennetakken.

Riet- en stropoten worden met een onderlinge afstand van circa 0,5 m, min of meer verticaal in het zand gestoken. Het is een arbeidsintensieve methode die zand vangt tot ongeveer 0,5 m boven het oorspronkelijke oppervlak. Ten gevolge van het rottingsproces zal het materiaal uiteindelijk geheel verdwijnen. Wanneer de werking van de poten is verdwenen, moet de definitieve bescherming tegen erosie reeds zijn aangebracht en

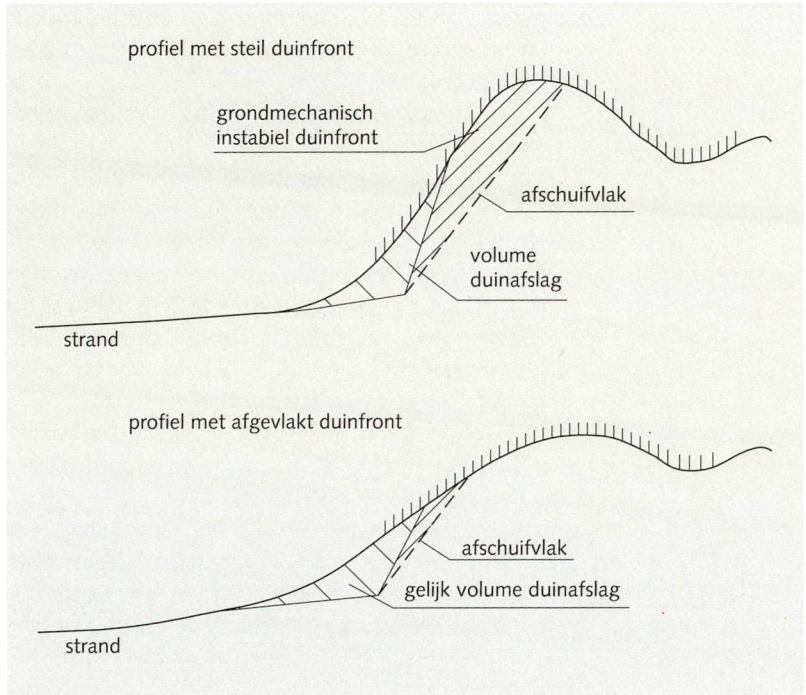


Fig. 7.8 Verlies van begroeiing bij duinafslag.

aangeslagen. Helmbeplanting is een doeltreffende manier om op langere termijn bescherming tegen erosie te verkrijgen (zie bijlage VIII).

Verstuiving vormt één van de belangrijkste sturende processen van de ontwikkeling van het duingebied. Geomorfologie, bodem, flora en fauna worden er door bepaald. Zoals in hoofdstuk 2 reeds is vermeld, worden bodems en vegetaties onder invloed van verstuivingen verjongd. Dit is onder andere van belang omdat daardoor effecten van atmosferische depositie (zoals vergrassing en verstruiking) worden tegengegaan. Hierdoor ontstaat een grotere ecologische variatie in het duingebied. Een aantal bijzondere plante- en diersoorten is zelfs afhankelijk van enige mate van stuivend zand. En ook helmplanten blijken aanzienlijk vitaler te zijn wanneer er regelmatig zand aanstuift. Door uitstuiving van valleien tot op het grondwater kunnen waardevolle vochtige duinvalleien ontstaan.

In enkele gevallen kan een te sterke mate van verstuiving schadelijk zijn voor de aanwezige natuur. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer een waardevolle, vochtige valleivegetatie wordt overstoven.

Bij de beoordeling of verstuiving toelaatbaar is, moet tevens rekening worden gehouden met andere belangen zoals recreatie, waterwinning en infrastructuur. In bepaalde situaties kan overstuiving strijdig zijn met deze belangen en niet toelaatbaar worden geacht.

ad 3. afvlakken duinfront

Ook op plaatsen waar de kust voor langere tijd stabiel is of zelfs licht aangroeit, ontstaan als gevolg van duinafslag steile afslagkanten in het duinfront. Hierdoor kan, vooral bij hoge duinen, ook bij relatief geringe duinafslag soms een groot oppervlak aan moeizaam verkregen begroeiing verloren gaan (fig. 7.8). Door tijdig een te steil duinfront af te vlakken (waarbij desgewenst een buffer met zand voor het duin kan worden aangelegd), kan een dergelijk verlies aan begroeiing worden voorkomen. Het doel van deze onderhoudsmaatregel is dan ook het verminderen van het toekomstig onderhoud; er is sprake van preventief onderhoud. Het afvlakken van de afslagkant na een stormvloed (soms nagenoeg verticaal) heeft tot doel een begaanbare helling te verkrijgen. Deze helling kan vervolgens worden ingeplant met helmgras of er kunnen stropoten worden ingestoken. De aangroei wordt daarmee bevorderd en stuifoverlast wordt tegengegaan.

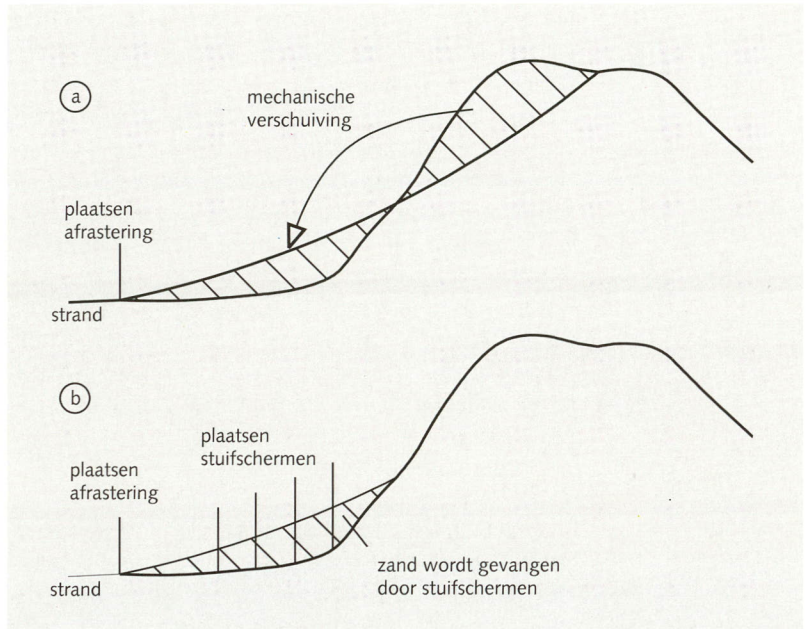


Fig. 7.9 Mogelijkheden om steile duinfronten af te vlakken.

Het afvlakken kan op verschillende manieren worden bereikt. Figuur 7.9 laat er twee zien. Bij methode a gebeurt het afvlakken op mechanische wijze. De veiligheid tegen doorbraak en overstroming wordt niet of nauwelijks beïnvloed omdat het totale volume zand in het profiel gelijk blijft.

Met methode b wordt het afvlakken door een bewuste plaatsing van stuifschermen op een natuurlijke wijze bewerkstelligd. Een overweging voor methode a is dat de recreatie er baat bij heeft dat de duinfronten niet al te steil zijn; er bestaat gevaar dat deze afschuiven. Daarom dient de afvlakking zo snel mogelijk te geschieden. Het uiteindelijke resultaat van methode b is weliswaar nagenoeg gelijk maar zal later worden bereikt. De kosten van methode b zijn lager dan van methode a.

In beide gevallen geldt dat een deel van het strand niet voor recreatie beschikbaar is.

ad 4. vrijhouden overgangen en paden

Strandrecreatie brengt met zich mee dat er toegangen naar het strand dienen te zijn. Deze overgangen over het duin naar het strand mogen in verband met de veiligheid het duin niet te laag doorkruisen. Wanneer dit wel het geval is, moeten deze worden opgehoogd.

De toegangen tot het strand bestaan vaak uit harde elementen (trap of betonnen platen). Deze elementen moeten verplaatsbaar zijn, zodat bij een eroderend of aangroeiend duin het duinfront eenvoudig kan worden gevolgd. Deze elementen dienen de natuurlijke ontwikkeling van het duinfront zo weinig mogelijk te belemmeren.

De paden in de duinen zijn voor de geleiding in langs- en dwarsrichting. Duinpaden kunnen stuifvrij worden gehouden door ze op een vergelijkbare manier te behandelen als stuifgaten. Bedekken met gehakt snoeimateriaal (of boomschors) is een goede methode.

Onderhoud moet met name worden uitgevoerd aan het wegdek. Regelmatig aanvullen van de schelpen of boomschors is nodig. Indien er asfalt is gebruikt, dient er regelmatig op scheurvorming te worden gecontroleerd.

Afrasteringen worden gebruikt om de toegang tot het dungebied vanaf het duinpad te belemmeren. Deze moeten regelmatig worden gecontroleerd op schade.



Fig. 7.10 Strandsuppletie.



Fig. 7.11 Aanbrengen van helm om het gesuppleerde zand vast te leggen.

7.3.4 Groot onderhoud van strand en duin

Mogelijke vormen van groot onderhoud van strand en duin zijn:

1. uitvoering zandsuppletie;
2. duinverzwaring.

ad 1. uitvoering zandsuppletie

Het toepassen van periodieke zandsuppleties (fig. 7.10) als onderhoudsmaatregel voor een eroderende kust is er op gericht om schade aan functies te voorkomen. Voor de verschillende vormen van zandsuppletie en het ontwerp ervan wordt verwezen naar paragraaf 4.3 van dit basisrapport.

Er wordt opgemerkt dat na een strand- of duinsuppletie het oppervlak in één keer aanzienlijk is vergroot met kaal zand. Wanneer er geen beschermende maatregelen worden genomen, zal er een voortdurende erosie van het droge zand optreden als gevolg van een overheersend landwaarts gerichte windrichting. Daardoor kunnen gemakkelijk problemen ontstaan in het achterliggende duingebied. Het gesuppleerde zand zal in dat geval moeten worden vastgehouden.

Hiervoor komen twee vormen van maatregelen in aanmerking die in de praktijk vaak worden gecombineerd:

- tijdelijke maatregelen;
- natuurlijke maatregelen (vegetatie).

Een kunstmatig aangebrachte, 'natuurlijke' bescherming eventueel gecombineerd met tijdelijke maatregelen wordt aangeraden. De volgende mogelijkheden komen in aanmerking:

- aanbrengen van een rietbepoting;
- aanbrengen van helmvegetatie (fig. 7.11);
- plaatsen van stuifschermen;
- insteken van stro;
- ineggen van stro.

Hiervan zijn de rietbepoting en stuifschermen bedoeld als tijdelijke maatregelen met als voornaamste doelen het opvangen van stuifzand en het gelijktijdig voorkomen dat het gebied erodeert. Het insteken van stro is een tijdelijke maatregel bedoeld om de erosie te beperken. Helmvegetatie is de enige mogelijkheid om de erosie door wind gedurende



Fig. 7.12 Natte duinvallei op Texel.

een aantal jaren te voorkomen. Daarbij functioneert de plant tevens als zandvang. Voor een uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar bijlage VIII.

ad 2. duinverzwaring

Voor een duinverzwaring wordt meestal zand gebruikt dat afkomstig is van de zeebodem. Soms kan een duinverzwaring worden aangelegd met zand dat wordt betrokken uit een landwaartse ontgraving om een natte duinvallei te doen ontstaan (fig. 7.12).

Landwaarts van de zeereep bestaat de oorspronkelijke vegetatie veelal uit plantesoorten die verschillen van de soorten die in de buitenste duinenregel groeien (waar helm dominant is). Als de landwaartse zijde van de zeereep wordt verzwaard met lokaal afgegraven zand, dan wordt hierdoor het herstel van de oorspronkelijke vegetatie op de verzwaring bevorderd.

Helmbepplanting slaat daarentegen het beste aan in nieuw gewonnen zeezand [Van der Putten & Van Gulik (1988)]. Dat komt omdat in 'oud zand' schadelijke schimmels en aaltjes voorkomen, die het wortelstelsel van helm aantasten. Deze organismen komen niet voor in strand- of zeezand. Ook andere zeereepsoorten zoals Duinzwenkgras, Strandkweek en Zandzegge blijken gevoelig te zijn voor bodemorganismen die in het verder landinwaarts gelegen duinzand voorkomen. Aan de buitenzijde van de zeereep verdient het dus aanbeveling om vegetatie aan te planten in zeezand en geen toplaag van lokaal afgegraven zand aan te brengen.

Een duinverzwaring heeft tevens invloed op de grondwaterstand; door de vergroting van het duinvolume zal de waterstand in het duinprofiel stijgen. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat in een nabijgelegen duinvallei water komt te staan.

Bij duinverzwaringen aan de binnenkant van de duinen dient vaak ontzilt zand te worden toegepast in verband met waterwinning en vegetatie. Het blijkt dat zeezand dat op het strand in depot wordt gezet, na ongeveer één jaar op een natuurlijke wijze zodanig is ontzilt, dat het daarna zonder bezwaar aan de binnenkant van de duinen kan worden aangebracht.

Het is mogelijk om aan een duinverzwaring zodanig vorm te geven dat er zo min mogelijk verstoring van het landschappelijk aanzicht zal op-

treten. Er kan worden gedacht aan het kunstmatig creëren van reliëf, onregelmatige hellingen en de toepassing van een aangepaste begroeiing. Om een duinverzwaring een natuurlijk aanzien te geven is circa 20 % meer zand nodig dan de hoeveelheid die voor een strakke afwerking nodig is.

7.4 Onderhoud harde elementen

7.4.1 Algemeen

Het onderhoud van harde elementen is van een geheel andere orde dan het onderhoud van duinen en stranden. Het toestaan van flexibel gedrag van harde elementen is niet wenselijk, omdat dit onherroepelijk tot bezwijken van het element zou leiden.

Hoewel in hoofdstuk 4 verscheidene harde elementen zijn behandeld, zal in deze paragraaf slechts aandacht worden besteed aan het onderhoud van:

- strandhoofden en paalrijen;
- vooroeverbeschermingen;
- duinvoetverdedigingen.

7.4.2 Strandhoofden en paalrijen

strandhoofden

Dat er eventueel onderhoud van strandhoofden nodig is, komt door:

- slijtage van de elementen waaruit het strandhoofd is opgebouwd; slijtage is het gevolg van de permanente aanval van golven en storming;
- schade van delen van de bestorting door golfaanval;
- ongelijke krachten aan weerszijden van het hoofd; Aan de ene zijde vindt aanzanding plaats en aan de andere erosie (zie par. 4.4.5). Hierdoor kunnen stabiliteitsproblemen ontstaan.
- lijzijde-erosie van het laatste strandhoofd uit een serie hoofden langs een te beschermen kustvak. Hierdoor kunnen stabiliteitsproblemen ontstaan.

De onderhoudsmaatregelen aan strandhoofden zijn afhankelijk van de feitelijke opbouw van het strandhoofd.



Fig. 7.13 Onderhoud van een strandhoofd; herzetten van een steenzetting na schade door stranding van een schip.

Bij strandhoofden bestaande uit zetwerk komen de volgende maatregelen in aanmerking:

- het 'stoppen' van de steenzetting;
- het herzetten van de steenzetting (fig. 7.13);
- het ingieten van de steenzetting met asfalt of betonmortel;
- het vervangen van palen (bij paalhoofden).

Bij strandhoofden bestaande uit stortwerk komen de volgende maatregelen in aanmerking:

- het aanvullen van kop- en langsbestorting;
- het penetreren van de bestortingen;
- het vervangen van palen (bij paalhoofden).

Naast normaal onderhoud dient bij strandhoofden rekening te worden gehouden met uitbreiding (groot onderhoud), omdat vrijwel alle strandhoofden zich in van nature eroderende kustvakken bevinden.

Een strandhoofd in een nog verder eroderend kustvak komt geleidelijk steeds verder boven het strand te liggen. Hierdoor neemt de belasting van golven en stroom op het hoofd geleidelijk toe en treedt er vaker schade op aan de steenzetting van het hoofd en de kraagstukken met bestorting.

Om het strandhoofd aan te passen aan de verlaagde strandligging wordt het hoofd vaak verbreed door het aanbrengen van nieuwe kraagstukken met als doel te voorkomen dat onderspoeling van het hoofd optreedt. Tevens wordt het hoofd veelal achterwaarts verlengd om de aansluiting met de duinvoet te behouden. Het doel van achterwaarts verlengen is het voorkomen van achterloopsheid. Door achterloopsheid kan het duin worden aangetast en in een later stadium kan ook het hoofd zelf worden bedreigd.

Het passeren van het dal van een zandgolf kan dezelfde consequenties hebben als structurele erosie. Door de tijdelijke aard van de met de passage samenhangende strandverlaging zijn de bovengenoemde maatregelen soms te drastisch van aard. In een dergelijke situatie kan het suppleren van zand worden overwogen om deze periode te overbruggen. Strandhoofden in aangroeiende kustvakken vergen vrijwel geen groot onderhoud en liggen soms zelfs volledig onder het zand.

paalrijen

Mogelijke vormen van (jaarlijks) onderhoud van paalrijen zijn:

- het vervangen van palen;
- het dieper inslaan of optrekken van palen;
- het achterwaarts of zeewaarts verlengen van paalrijen;
- het afsteken van mosselaangroei.

Door het optrekken van palen (bij een aangroeiende kust), door het dieper slaan (eroderende kust) en door het toevoegen of verwijderen van palen, kan een paalrij over het algemeen eenvoudig worden aangepast aan de veranderde kustligging. Het onderhoud beperkt zich verder, indien nodig, tot het afsteken van aangroei van bijvoorbeeld mosselen (weerstand tegen de stroming tussen de palen).

7.4.3 Vooroeverbeschermingen

Mogelijke vormen van (jaarlijks) onderhoud van een vooroeverbescherming zijn:

- het aanvullen van de bestorting;
- het aanleggen of uitbreiden van de bezinking;
- het opvullen van ontgrondingskuilen.

De vooroeverbescherming moet regelmatig worden gecontroleerd. De toestand van de zinkstukken kan worden bepaald aan de hand van peilingen.

Bestortingen rond vooroeverbeschermingen en strandhoofden bevinden zich soms vlak onder de waterspiegel zodat deze met een boot niet of moeilijk te peilen zijn. Daarom worden vaak duikers ingezet voor de inspectie. Op basis van de observaties van duikers kan eventueel worden besloten tot het aanvullen van de bestorting van een bestaand zinkstuk. Voor meer informatie kan worden verwezen naar het rapport 'Harde kustverdediging' [RWS, TR16 (1989)].

7.4.4 Duinvoetverdedigingen

Duinvoetverdedigingen staan niet frequent bloot aan golfaanval en liggen meestal voor een deel onder het zand, waardoor het onderhoud van een duinvoetverdediging minder is dan bijvoorbeeld van een zeedijk die wel constant wordt aangevallen.

Het onderhoud van duinvoetverdedigingen richt zich in het bijzonder op het in stand houden van de twee hoofdonderdelen van de buitenste bekledingslaag van de constructie:



Fig. 7.14 Ingieten van de teenconstructie met gietasfalt.

1. de glooiing;
2. de teenconstructie.

ad 1. de glooiing

Het onderhoud van gezette glooiingen betreft het uitvoeren van kleine reparaties (stormschade dient onmiddellijk te worden verholpen) en het herstellen van de samenhang tussen de verschillende blokken of zuilen van de steenzetting. Dit kan worden verkregen door:

- het inwassen van de glooiing waarbij granulair materiaal tussen de zuilen wordt gespoeld waardoor het zich kan vastklemmen in de spleten;
- de glooiing te penetreren met gietasfalt of gietbeton;
- het herzetten van de steenzetting en de aanvulling van weggeslagen stenen.

Door het penetreren van de glooiing wordt weliswaar de sterkte van de toplaag verhoogd, maar kan ook de interne hydraulische drukverdeling (grondwater) sterk toenemen door de verminderde waterdoorlatendheid van de toplaag. Dit kan tot ernstige schade leiden.

Bij glooiingen van asfaltbeton dient periodiek een nieuwe slijtlaag te worden aangebracht om de inwerking van zonlicht op de bitumen te beperken en daarmee het proces van veroudering van het asfalt te vertragen. Tevens worden zettingsscheuren in het asfalt zo snel mogelijk met gietasfalt gedicht.

ad 2. de teenconstructie

De teenconstructie moet regelmatig worden gecontroleerd. Indien de constructie voldoende diep onder het zand ligt, is onderhoud vaak niet nodig. De teenbestorting dient eventueel periodiek te worden aangevuld en bijvoorbeeld met gietasfalt te worden gepenetreerd (fig. 7.14).

7.5 Effecten van het onderhoud

7.5.1 Algemeen

Onderhoudsmaatregelen hebben invloed op de verschillende functies van het duingebied. Binnen de primaire waterkeringszone staat de veiligheidsfunctie voorop en zijn de belangen van de andere functies in principe ondergeschikt. Dit betekent echter niet dat met deze belangen geen rekening moet worden gehouden. Bij de voorbereiding en uitvoe-

ring van onderhoudsmaatregelen zal daarom zoveel mogelijk moeten worden gekeken naar de gevolgen voor deze andere functies. Daarnaast zal worden ingegaan op de invloed die enkele onderhoudsmaatregelen uitoefenen op de ligging van de kust.

7.5.2 Effecten onderhoudsmaatregelen op duinfuncties

In paragraaf 7.1 is beschreven dat er bij het onderhoud onderscheid kan worden gemaakt naar zachte of harde elementen. In deze paragraaf zal worden aangegeven welke gevolgen werkzaamheden aan deze elementen hebben op de verschillende functies van het duingebied. Achtereenvolgens komen aan de orde:

1. natuur en landschap;
2. recreatie;
3. drinkwaterwinning;
4. bebouwing en industriële bedrijvigheid.

ad 1. natuur en landschap

In feite is elke kunstmatige ingreep in de verstuiwingsprocessen een tegennatuurlijke handeling. Zodoende heeft elke onderhoudsmaatregel (wel enige) invloed op het ecosysteem.

Per kustvak dient te worden nagegaan of sommige onderhoudsactiviteiten enigszins terughoudend kunnen worden toegepast (fig. 7.3). Bij deze beheersfilosofie kunnen de belangen van de natuur het beste tot hun recht komen.

- Normaal onderhoud van strand:

Onderhoud van het strand heeft weinig directe gevolgen voor natuur en landschap. Wel kan intensief onderhoud in aangroei-kusten de primaire duinvorming belemmeren. Primaire duintjes zijn zeldzaam in Nederland en hebben zowel landschappelijke waarden als waarden voor flora en fauna.

Wanneer met het onderhoud van het strand echter wordt beoogd om een zo stabiel mogelijke duinfront in te verkrijgen, is dit eigenlijk een tegennatuurlijke actie. Als gevolg hiervan kan zich geen natuurlijke scheidingslijn tussen strand en duin ontwikkelen.

- Normaal onderhoud van duin:

Door het plaatselijk achterwege laten van stuifbeperkende maatregelen kan een natuurlijke vorm van duinreliëf en duinbegroeiing

ontstaan, met aanzienlijke natuurwaarden.

- Groot onderhoud van strand en duin:
Wanneer een duinsuppletie wordt uitgevoerd aan de achterzijde van de zeereep, kan dit ten koste gaan van de vegetatie in een duinvallei.
Een achterwaartse kering bevindt zich verder landinwaarts dan de eerste duinregel. Maatregelen om de achterwaartse kering te verhogen of te verbreden hebben direct effect op het landschap en de vegetatie. Vaak is de vegetatie op een achterwaartse kering andersoortig dan in de zeereep.
Schelpen en slib in suppletiezand zijn van invloed op de vegetatie.
- Onderhoud van strandhoofden:
Normaal onderhoud van strandhoofden, zoals het herzetten en 'stoppen' van de steenzetting en het aanvullen en penetreren van bestortingen, heeft een geringe directe invloed op aanwezige natuurwaarden. Een deel van de open ruimten tussen de toegepaste stenen zal voor de fauna en flora verdwijnen.
- Onderhoud van paalrijen:
Ook hier geldt dat normaal onderhoud een geringe directe invloed heeft op de natuurwaarden.
- Onderhoud van vooroeverbescherming en duinvoetverdediging:
De handhaving of uitbreiding heeft consequenties voor de open ruimten in de steenbestortingen en dus voor het aquatisch milieu.

ad 2. recreatie

- Normaal onderhoud van strand:
Door onderhoud van het strand worden de belangen van de recreatie juist gediend. Het aanleggen van banketten en het uitvoeren van onderhoud aan duinpaden en overgangen bevordert de recreatie.
- Normaal onderhoud van duinen:
De vorming van een zandbuffer voor de duinvoet heeft mogelijk een negatief effect, omdat de breedte van het (droge) strand afneemt.
Afvlakken van het duin veroorzaakt ook een afname van de breedte van het droge strand. De manier waarop het afvlakken wordt uitgevoerd, maakt daarbij niet uit.
- Groot onderhoud van strand en duin:
Bij de uitvoering van een strandsuppletie dient rekening te worden gehouden met de recreatie. Wanneer het aangebrachte zand niet

vlak wordt afgewerkt, is dit hinderlijk voor de recreanten. Ook wanneer vervuild (slibrijk) zand wordt gebruikt, heeft een strand-suppletie nadelige effecten voor de recreatie.

Als voor een duinsuppletie het strand wordt gebruikt als tijdelijk depot (natuurlijke ontziltling), kan dat tijdelijk nadelige gevolgen voor de strandrecreatie hebben.

(Overigens blijkt in de praktijk vaak dat de bedrijvigheid, die met de uitvoering van strand- en duinsuppleties samenhangt, veel belangstellenden trekt. Aan de uitvoering van zulke werken zijn dus niet alleen nadelige gevolgen voor de strandrecreatie verbonden.)

- Onderhoud van strandhoofden:

Onderhoud en uitbreiding van strandhoofden heeft consequenties voor de recreatie. Naast de overlast tijdens de uitvoering zijn meer aspecten te noemen.

Verbreiding of verlenging van de strandhoofden leidt tot verplaatsing van de stromingen, wat gevaarlijk kan zijn voor zwemmers. Daarnaast leidt een achterwaartse verlenging tot een obstakel op het strand. Zowel voor de recreanten als voor de exploitanten van strandpaviljoens kan dit hinderlijk zijn.

Aan de andere kant gaat achterloopsheid veelal gepaard met aanzienlijke strandverlagingen, zodat achterwaartse verlenging zeker voor de recreanten ook een positief effect heeft.

- Onderhoud van paalrijen:

Achterwaarts verlengen van paalrijen heeft dezelfde gevolgen als het achterwaarts verlengen van strandhoofden.

- Onderhoud van vooroeverbeschermingen:

Nauwelijks effect.

- Onderhoud van duinvoetverdedigingen:

Slechts het uitvoeren van onderhoud levert overlast op voor recreanten.

ad 3. drinkwaterwinning

Het uitvoeren van onderhoud aan zowel harde als zachte elementen van de kust heeft voor de drinkwaterwinning nauwelijks negatieve gevolgen. Drinkwaterinstallaties liggen daarvoor veelal te ver van de zee-reep vandaan. Overlast kan worden veroorzaakt door stuivend zand; dit dient dan te worden voorkomen.

Er dient bij het uitvoeren van (voornamelijk groot) onderhoud wel rekening te worden gehouden met de gevolgen voor de zoetwaterbel in de

duinen. Het uitvoeren van strand- en duinsuppleties en het retireren kan effect hebben op de grootte van de berging van zoetwater.

ad 4. bebouwing en industriële bedrijvigheid

De aanwezigheid van bebouwing en industrie in het duingebied bemoeilijkt het onderhoud in dat gebied. Stuivend zand veroorzaakt soms overlast, zodat dit dient te worden bestreden.

Bij een strandsuppletie voor een boulevard kan ernstige stuifoverlast ontstaan. Daarom wordt de omvang van de suppletie in dergelijke gevallen vaak enigszins beperkt.

Voortdurende erosie (en dus teruggang van de kust) heeft tot gevolg dat de bebouwing en industrie steeds dichterbij de zeereep komen te liggen. In het handhavingsbeleid speelt dit probleem niet meer.

7.5.3 Effecten onderhoud op de kustligging

In deze paragraaf worden de effecten beschreven die enkele beheers- en onderhoudsmaatregelen hebben op de veiligheid, de afslag tijdens een stormvloed, het gedrag van de kustlijn, de duinvoetligging, de ligging van het duinfront en de breedte van het strand.

De te beschouwen onderhouds- en beheersmaatregelen die aan de orde zullen komen zijn:

1. duinfrontverflauwing;
2. bevordering van aanstuiving nabij de duinvoet;
3. bevordering van aanstuiving in het duin.

ad 1. duinfrontverflauwing

Door duinfrontverflauwing ontstaat een (soms lager) breder duin. De aanleiding om de verflauwing te bewerkstelligen kan de aanwezigheid van een grondmechanisch instabiel duinfront of de bevordering van de aanstuiving zijn. Door de verflauwing zal de afslag bij een gegeven stormvloed qua volume zand niet wezenlijk anders zijn dan zonder verflauwing. Wel treedt duinafslag eerder op, omdat het zand is verplaatst naar een zone waar de golfaanval groter is.

De veiligheid wordt niet beïnvloed, omdat eenzelfde hoeveelheid zand aanwezig is in het duinmassief.

De ligging van de berekende kustlijn verschuift in zeewaartse richting, omdat het volume in de rekenschijf toeneemt.

De duinvoetligging verandert en zal meer zeewaarts komen te liggen.

De breedte van het strand zal direct na de verflauwing smaller zijn door de zeewaartse verplaatsing van de duinvoet. Een eroderende kust heeft vaak al een smal en steil strand zodat de verflauwing hierbij nadelig werkt.

ad 2. bevordering aanstuiving van de duinvoet

Het bevorderen van aanstuiving van de duinvoet heeft tot gevolg dat kleinere stormen niet direct tot aantasting van het buitenbeloop van de zeereep zullen leiden. De gevormde buffer van zand komt het duinfront en de daarop aanwezige vegetatie ten goede.

De veiligheid in relatie tot ontwerpstormvloed-condities neemt weliswaar toe door het vergrote zandvolume, maar deze toename is niet groot. Wanneer het aangestoven zand uit hetzelfde dwarsprofiel afkomstig is en voor een deel boven de duinvoet wordt afgezet, verplaatst de berekende kustlijn in landwaartse richting.

De duinvoetligging verplaatst zich zeewaarts en het duinfront wordt minder steil. De breedte van het strand neemt als gevolg hiervan af.

ad 3. bevordering aanstuiving in het duin

Het gevolg van aanstuiving in het duin is een toename van het totale zandvolume van het duin, wat een gunstig effect heeft op de veiligheid. Door aanstuiving van zand in het duin wordt op een goedkope manier het volume vergroot.

De duinvoetligging, het duinfront en de breedte van het strand worden door de aanstuiving in het duin niet direct beïnvloed.

LITERATUUR

Adriani, M.J. en J.H.J. Terwindt (1974)

Sand stabilization and dune building.
Rijkswaterstaat Communications 19.

Alphen, J.S.L.J. van en M.A. Damoiseaux (1988)

Geomorfologische kaart van de Nederlandse kustwateren.
Nota NZ-N-8616/mdlk-R-8621, Rijkswaterstaat, Directie Noordzee.

Arens, S.M. (1994)

Aeolian processes in the Dutch foredunes.
Thesis Universiteit van Amsterdam.

Bakker, W.T. (1968)

The dynamics of a coast with a groyne system.
Proc. 11th Coastal Engineering Conference.

Battjes, J.A. (1984)

Korte Golven (Collegediktaat b76, deel 1).
Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek.

Battjes, J.A. (1988)

Surf-zone dynamics.
Annual Review of Fluid Mechanics 20.

Bavelaar, A. (1988)

Verandering van de getijbeweging in de Noordzee ten gevolge van
zeespiegelrijzing van 1 meter.
Notitie GWAO-88.404, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren.

Bezembinder, L., A.H. Drost, J.J.P. Lambeek en K.M. Wijnberg (1987)

Morfologisch-sedimentologisch onderzoek in het intertidal gebied
(Egmond aan Zee).
Interimrapport. Rijksuniversiteit Utrecht, vakgroep Fysische Geografie.

Bruun (1954)

Coast Erosion and the Development of Beach Profiles
Journal Memorandum No. 44, U.S. Army Corps of Eng., Beach
Erosion Board Washington D.C.)

COW (1981)

Inventarisatie duinvoetverdedigingen.
Nota S-78.019.

DHV Milieu en Infrastructuur (1993 & 1994)

Bedrijfsmodel voor kustsuppleties, Handleiding.
Boekingsnummer J1901.01.001.

Dillingh, D. en P.F. Heinen (1994)

Zeespiegelstijging, getijverandering en deltaveiligheid.
Rapport RIKZ-94.026, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Eisma, D. en T. Fey (1982)

De kust van Rottum tot Calais.
Het Spectrum, Utrecht/Antwerpen.

Florida Shore and Beach Preservation Association (1988)

Short course on principles and applications of beach nourishment.
Department of Coastal and Oceanographic Engineering, University of Florida.

Glim, G.W. en G.C. Visser (1981)

Nauwkeurigheid van kustlodingen.
Nota WWKZ-81.H002, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, District Kust en Zee.

Graaff, J. van de (1984)

Probabilistische methoden bij het duinontwerp.
Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek.

Graaff, J. van de (1989)

Grote faalkansen.
Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen.

Groen, P. en R. Dorrestein (1976)

Zeegolven.
Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage.

Groenendijk, F.C. (1995)

Zand voor Nederland; De ontwikkeling van het zandvolume van de Nederlandse kust. Analyse vanaf 1965; extrapolatie tot 2010.
Rapport RIKZ-95.003, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Hallermeier, R.J. (1978)

Uses for a calculated limit depth to beach erosion.
Proc. 16th Coastal Engineering Conference.

Hallermeier, R.J. (1981)

A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate.
Coastal Engineering, Vol. 4, no. 3.

Hoozemans, F.M.J. (1989)

Analyse wind- en golfgegevens Nederlandse lichtschepen 1900-1980.
Nota GWAO-89.010, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren.

Janssen, M. en N.M. van Gelderen (1993)

Dynamisch kustbeheer. Verkennende studie naar de mogelijkheden voor herstel van natuurlijke processen in de zeereep. Stichting Duinbehoud, Bureau D&K, Leiden.

Klijn, J.A. (1981)

Nederlandse kustduinen; geomorfologie en bodems.
PUDOC, Wageningen.

Kohsiek, L.H.M. (1984)

De korrelgrootte karakteristiek van de zeereep (stuifdijk) langs de Nederlandse kust. Nota WWKZ-84.G.007, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, District Kust en Zee.

Kohsiek, L.H.M. (1988)

Kustafslag en -aangroei in Nederland. Verleden tot heden (1860-1985) en toekomst (2000).
Nota GWAO-88.007, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren.

Ligtendag, W.A. (1990)

Van ijzer tot jade; een reconstructie van de zuidelijke Noordzeekust in de jaren 1600 en 1750.
Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit van Amsterdam.

Malde, J. van (1984)

Voorlopige uitkomsten van voortgezet onderzoek naar de gemiddelde zeeniveau's in de Nederlandse kustwateren.
Nota WW-WH 84.08, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging.

Manual on Artificial Beach Nourishment (1987)

CUR/Rijkswaterstaat/Delft Hydraulics Report 130, Gouda, the Netherlands.

Maranus, J.W. (1986)

Grootschalige zandgolfbeweging langs de zuidelijke Deltakust.
Nota DGW-86.002, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren.

Maranus, J.W. en H.J. Verhagen (1987)

Zandgolven en kustverdediging in Zeeland.
Polytechnisch Tijdschrift 42.

Ministerie van Landbouw en Visserij (1991)

Natuurbeleidsplan; regeringsbeslissing 1990.
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1993)

Toetsing Uitgangspunten Rivierdijkversterkingen. Eindrapport van de Commissie Boertien.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1994)

Natuurlijke dynamiek in de zeereep; een onderzoek naar de mogelijkheden op vier lokaties. Dienst Weg en Waterbouwkunde.

Nanninga, H.D. (1984)

Het morfologisch gedrag van de brandingszone bij Egmond aan Zee naar aanleiding van natuurmetingen ter plaatse.
Afstudeerverslag Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek.

Nederlands Normalisatie Instituut (1993)

NEN 3650 - Eisen voor stalen tranportleidingssystemen.

Nederlands Normalisatie Instituut (1994)

NEN 3651 - Aanvullende eisen voor stalen pijpleidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

Nederlands Normalisatie Instituut (1995-a, in voorbereiding)

NEN 3652 - Aanvullende eisen voor niet-stalen pijpleidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken.

Nederlands Normalisatie Instituut (1995-b, in voorbereiding)

NPR 3659 - Kruisingen van pijpleidingen met waterstaatswerken.

Niedoroda, A.W., D.J.P. Swift en T.S. Hopkins (1985)

The shoreface.

In: R.A. Davis jr. (ed.) Coastal sedimentary environments. 2nd ed. Springer-Verlag, New York.

Oosterwijk, H.J.M. (1988)

Instructie kustmetingen.

Nota GWIO-88.005, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren.

Phillipart, M.E., S.T. Pwa en D. Dillingh (1994)

De basispeilen van de Nederlandse kust, ruimtelijke verdeling van basis- en ontwerppeilen.

Rapport RIKZ/94-xxx (in concept), Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Polak, B.M. en M.R. Behesti (1990)

Systematisch ontwerpen (Collegediktaat E1).

Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek.

Putten, W.H. van der en W.J.M. van Gulik (1988)

De aanleg van helmbegroeiing op zeewerende duinen.

Instituut voor Oecologisch Onderzoek, afdeling Duinonderzoek "Weevers' duin". In samenwerking met het Waterschap De Brielse Dijkkring.

Putten, W.H. van der, B.A.M. Peters en O.F.R. Tongeren (1994)

Inventariserend onderzoek naar de ecologische effecten van zand-suppletie: Helm vitaliteit en soortensamenstelling.

Interim rapport, Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek.

Rakhorst, H.D. (1984)

Werking Strandhoofden Noord-Holland, Texel en Vlieland.
Nota WWKZ-84.H007, Rijkswaterstaat.

Rakhorst, H.D. (1985)

Ervaringen bij het toepassen van de leidraad Duinafslag.
Nota WWKZ-85.H012, Rijkswaterstaat.

Rakhorst, H.D. en H. Beenker (1982)

Invloed paalrijen Noord-Holland.
Notitie WWKZ-82.H225, Rijkswaterstaat, Adviesdienst Hoorn.

Rapport Deltacommissie (1960)

Deel I: Eindverslag en Interimadviezen.
Staatsuitgeverij 's-Gravenhage.

Rijkswaterstaat (1987)

Evaluatie strandsuppleties.
Nota DGW-GWWS 87.006.

Rijkswaterstaat (1988)

Handboek zandsuppleties.

Rijkswaterstaat (1989)

Kustverdediging na 1990, discussienota.

Rijkswaterstaat, TR1 (1989)

Zandsysteem kust, een morfologische karakterisering.

Rijkswaterstaat, TR3 (1989)

Kustonderhoud, kosten van basisonderhoud.

Rijkswaterstaat, TR4 (1989)

Inventarisatie duinfuncties.

Rijkswaterstaat, TR5 (1989)

Kustvoorspelling, voorspelling ontwikkeling kustlijn 1990-2090.

Rijkswaterstaat, TR6 (1988)

Zeespiegelrijzing, Hydro Meteo scenario's.

Rijkswaterstaat, TR8 (1989)

Duinfuncties.

Rijkswaterstaat, TR10 (1989)

Zeezandwinning, invloed op kustgedrag; een verkenning.

Rijkswaterstaat, TR11 (1989)

Strand- en duinsuppleties, effectiviteit en kosten.

Rijkswaterstaat, TR12 (1989)

Strandhoofden en paalrijen, evaluatie en hun werking.

Rijkswaterstaat, TR14 (1989)

Onderwateroeversuppleties, een alternatieve kustverdedigingsmethode?

Rijkswaterstaat, TR15 (1989).

Monitoring kustgedrag, huidige situatie en toekomstbeeld.

Rijkswaterstaat, TR16 (1989)

Harde kustverdediging, zeedijken, havengebieden en strandmuren als waterkering.

Rijkswaterstaat, TR20 (1989)

Zeewaartse kustverdediging, een globale uitwerking van enkele mogelijkheden.

Rijkswaterstaat (1990)

Kustverdediging na 1990, beleidskeuze voor de kustlijnzorg.

Rijkswaterstaat (1991-a)

De basiskustlijn. Een technisch/morfologische uitwerking.
Nota GWWS-91.006 (RKB 91-19).

Rijkswaterstaat (1991-b)

Suppletie op de onderwateroever; een reëel alternatief voor strand-suppletie?
Nota GWWS-91.012.

Rijkswaterstaat (1993-a)

Kustverdediging Eierland. Eindverslag van de projectgroep.
Directie Noord-Holland.

Rijkswaterstaat (1993-b)

Vorm in verandering; Integraal Beleidsplan Voordelta.
Bestuurlijk Overleg Voordelta, Rijkswaterstaat, Directie Noordzee.

Rijkswaterstaat (1993-c)

Zeewaartse kustverdediging Zeeuwsch-Vlaanderen.
Directie Zeeland.

Rijkswaterstaat (1994)

Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen.
RIKZ/RIZA/DWW, concept 1994.

Rijn, L.C. van, J.S. Ribberink, A.J.H.M. Reiniers en T.J. Zitman (1994)

Yearly averaged sand transport at the -20 m and -8 m depth
contours of Jarkus profiles 14, 40, 76 and 103.
Report H1887, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

Roelse, P. (1995)

Evaluatie van zandsuppleties, een morfologische beschouwing (eind-
rapportage).
Rapport in prep., Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Roelse, P. en R. Hillen (1993).

Evaluatie van zandsuppleties, een morfologische beschouwing
(interim rapportage).
Rapport DGW-93.054, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren.

Ronde, J.G. de (1982)

Changes of relative mean sea level and of mean tidal amplitude
along the Dutch coast.
Proceedings NATO Workshop Utrecht.

Ronde, J.G. de (1993)

De toestand van de zee van morgen. Verwachtingen rondom zee-spiegel, getij, wind, stormvloed en golven.
Werkdocument GWAO-93.148x, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Roos, A., R.P. van Dijk en J. Vincent (1985)

Overzicht van de bij de Deltadienst en District Kust en Zee in gebruik zijnde WAQUA-modellen.
Nota WWKZ-85.G005, Rijkswaterstaat, Dir. Waterhuishouding en Waterbeweging.

Roskam, A.P. (1988)

Golfklimaten voor de Nederlandse kust.
Nota GWAO-88.046, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren.

Ruig, J.H.M. de (1995)

De kust in breder perspectief (Basisrapport kustnota 1995).
Rapport RIKZ/95-005, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Ruig, J.H.M. de en P. Roelse (1992)

Zeewaartse kustverdediging Zeeuwsch-Vlaanderen.
Gevoeligheidsonderzoek voor een praktijkproef 'Tienhonderdpolder'.
Rapport DGW-92.017, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren.

Soerdjballi, M. (1990)

Update nota WWKZ-85.G005.
Notitie GWAO-10.092, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren.

Steetzel, H.J. (1993)

Cross-shore Transport during Storm Surges.
Proefschrift Technische Universiteit Delft, Delft Hydraulics
Communications no. 476, rapport C1-93.05 van de Technische
Adviescommissie voor Waterkeringen.

Stive, M.J.F. (1988)

Cross-shore flow in waves breaking on a beach.
Proefschrift Technische Universiteit Delft, Delft Hydraulics
Communications no. 395.

Straaten, L.M.J.U. van (1961)

Directional effects of winds, waves and currents along the Dutch North Sea.
Geologie en Mijnbouw 40.

Svasek, J.N. en J.H.J. Terwindt (1974)

Measurements of sand transport by wind on a natural beach.
Sedimentology 21.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1984)

Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1988)

Keuzemethodiek dijk- en oeverbekledingen.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1989)

Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken, deel 2 - benedenrivierengebied.

Tweede Kamer der Staten-generaal, vergaderjaar 1983-1984

(Tweede) Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening.
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Tweede Kamer der Staten-generaal, vergaderjaar 1985-1986

Structuurschema Openluchtrecreatie.
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Tweede Kamer der Staten-generaal, vergaderjaar 1986-1987

Structuurschema Natuur- en Landschapsbehoud.
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Tweede Kamer der Staten-generaal, vergaderjaar 1988-1989

Wet op de Waterhuishouding, Ontwerpwet.
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Tweede Kamer der Staten-generaal, vergaderjaar 1990-1991

De Waterschapswet.
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Tweede Kamer der Staten-generaal, vergaderjaar 1993-1994

Wet op de waterkering, Gewijzigd Voostel van Wet.
Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Unie van Waterschappen (1991)

Model-Keur.

Unie van Waterschappen (1992)

Uniemodel-legger/technisch beheersregister ten behoeve van primaire waterkeringen. Supplement ten behoeve van de zandige kust.
Beschrijving en algemene aspecten.

Urk, A. van (1993)

De basispeilen langs de Nederlandse kust.
Rapport DGW-93.026, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Vellinga, P. (1986)

Beach and dune erosion during storm surges.
Proefschrift Technische Universiteit Delft, Delft Hydraulics
Communications no. 372.

Verhagen, H.J. (1988-a)

Groin height determination with an empirical parametric method.
Rijkswaterstaat.

Verhagen, H.J. (1988-b)

Zandgolven en strandhoofden; de effectiviteit van strandhoofden in het licht van recente resultaten van zandgolfonderzoek.
Otar 5, pp162-168.

Verhagen, H.J. en J. Butter (1985)

De werking van strandhoofden langs de Zeeuwsch-Vlaamse kust.
nota WWKZ-85.V016, Rijkswaterstaat.

Visser, G.C. (1982)

De nauwkeurigheid van lodingen.
Nota WWKZ-82.H010, Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, District Kust en Zee.

Waterloopkundig Laboratorium (1982)

Rekenmodel voor de verwachting van duinafslag tijdens stormvloed.
Verslag onderzoek M 1263, deel IV.

Waterloopkundig Laboratorium (1987-a)

Modelonderzoek duinvoetverdedigingen. Systematisch onderzoek naar de werking van duinvoetverdedigingen. Modelonderzoek op grote schaal in de Deltagoot.
Verslag modelonderzoek H 298, deel I.

Waterloopkundig Laboratorium (1987-b)

Breedte-hoogteverhouding lage grensprofielen.
Verslag onderzoek H 298, deel VI.

Waterloopkundig Laboratorium (1987-c)

Onderzoek onderhoud zandige Noordzeekust, inventarisatie van het gewone (jaarlijkse) en buitengewone (meerjaarlijkse) onderhoud over de periode 1975-1984.
Verslag onderzoek H 316.

Waterloopkundig Laboratorium (1988)

Ontgrondingskuilen, analyse van de voor de kuilvorm bepalende factoren op basis van uitgevoerd modelonderzoek en beschikbare literatuurgegevens.
Verslag onderzoek H 298, deel IV.

Waterloopkundig Laboratorium (1990-a)

DUROSTA: tijdsafhankelijk dwarstransportmodel voor extreme condities.
Verslag onderzoek H 298, deel III.

Waterloopkundig Laboratorium (1990-b)

Analysis of the vertical structure of the horizontal current velocity components.
Progress report H 840.

Waterloopkundig Laboratorium (1991-a)

Some considerations on tidal inlets. A literature survey on hydrodynamic and morfodynamic characteristics of tidal inlets with special attention to "Het Friesche Gat".

Progress report H 840.45.

Waterloopkundig Laboratorium (1991-b)

Horizontale zandgolven.

Literatuurstudie H 840.

Waterloopkundig Laboratorium (1992-a)

Sluftervorming en natuurontwikkeling.

Speurwerkverslag, tweede en herziene druk, T 857.

Waterloopkundig Laboratorium (1992-b)

Nederlandse slufters, verkennende inventarisatie naar abiotische parameters.

Bureaustudie, H 1464.

Wieringa, J. en P.J. Rijkoort (1983)

Windklimaat van Nederland.

KNMI, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Wright, L.D. (1987)

Shelf-surfzone coupling: cross-shore transport mechanisms on the shoreface.

Proceedings Coastal Sediments 1987.

WOORDENLIJST

aanleghoogte	hoogte van een waterkering, onmiddellijk na voltooiing.
achterloopsheid	bij een strandhoofd treedt achterloopsheid op als tussen de land-waartse beëindiging van het strandhoofd en het duin of de duin-voetverdediging relatief gemakkelijk water kan stromen.
afslagpunt	punt op het rekenpeil in een dwarsprofiel van de duinenkust tot waar de afslag reikt (wordt bepaald uit de basisafslag en de toeslag).
afslagzone	zone van het duin die tijdens stormvloed afslaet.
alarmeringspeil	peil van het buitenwater waarbij beheerders van primaire water-keringen en colleges van gedeputeerde staten worden gewaar-schuwd voor het nemen van passende maatregelen.
astronomisch getij	getijbeweging als gevolg van de veranderlijke resultante van de aantrekkingskracht van de maan en de zon op de watermassa's op aarde, niet gestoord door weerkundige omstandigheden.
balansgebied	gebied waarvoor een zandbalans wordt opgesteld.
banket	kunstmatige strandverhoging nabij de duinvoet die wordt gebruikt als standplaats voor strandpaviljoens op recreatiestranden.
basisafslag	duinafslag boven het maximum stormvloedpeil bij ontwerpomstan-digheden.
basis kustlijn (BKL)	kustlijn die in het kader van het kusthandhavingsbeleid zal worden gehandhaafd. (in het algemeen de positie van de 'gemiddelde' kustlijn op 1 januari 1990).
basispeil	peil van NAP +5 m (anno 1960) aan de peilschaal te Hoek van Holland en de daarmee vergelijkbare peilen op overige locaties (peilen met een gelijke overschrijdingsfrequentie). De overschrij-dingsfrequentie van basispeilen is per definitie gelijk aan 10^{-4} per jaar (volgens de Deltacommissie).
beheerder	overheid waarbij de primaire waterkering in beheer is.
bezwijken	doorbraak van dijk of duin (einde waterkerende functie).
bezwijkkans	kans op bezwijken.
branding	verschijnsel van golven die breken in ondiep water.
brandingsstroom	stroom die evenwijdig aan de kust ontstaat ten gevolge van de branding van scheef op de kust inkomende golven.
brandingszone	gebied waar de branding van golven optreedt (zie brekerzone).
brekerbank	zandbank of -rug, die nagenoeg evenwijdig aan de kust loopt, gevormd onder de invloed van brekende golven.
brekerindex	verhouding tussen de hoogte van de brekende golven en de water-diepte ter plaatse.
brekerzone	gebied waar de golven breken.
bui-oscillaties	onregelmatige schommelingen van de waterspiegel met wisselende periode, die vooral bij zware storm optreden.

buistoot	tijdelijke, vrij kort durende verheffing van de waterspiegel als gevolg van het passeren van een bui of een front.
buitenwater	oppervlaktewater waarvan de waterstand direct invloed ondergaat bij hoge stormvloed, bij hoogwater van het IJsselmeer of bij een combinatie daarvan.
calibratie	afstelling van instrumenten zodat de juiste waarden worden gemeten (ook afregeling van rekenmodellen).
circulatiecellen	horizontale stromingscellen die ontstaan door een samenspel van langsstroom en retourstroom.
decimeringshoogte	verschil van het stormvloedpeil, dat behoort bij een vergroting of verkleining van de overschrijdingsfrequentie met een factor 10.
deining	golven die niet meer onder invloed zijn van de wind die hen opwekte.
delta	mondingsgebied van rivieren, gekenmerkt door splitsende zij-armen.
Deltahoogte	hoogte van een waterkering, die voldoet aan de veiligheidsnorm volgens de Deltawet.
Deltaveiligheid	veiligheidsnorm tegen overstroming, zoals vastgelegd in de Deltawet.
depot	(tijdelijk) aangelegd zandlichaam.
diffractie (golf)	buiging van golfkammen om een obstakel of uitstekend kustgedeelte heen.
dijk	grondlichaam (al dan niet verdedigd) bestemd tot het keren van water.
dijkringgebied	gebied dat, door een stelsel van waterkeringen of hoge gronden, aaneengesloten beveiligd is tegen overstroming door het buitenwater.
DONAR	Data Opslag NATte Rijkswaterstaat.
doorgraving	door afgraving (tijdelijke) onderbreking van de zeereep.
doorlodng	driejaarlijkse dieptemeting van een meetraai.
duin	zandlichaam (al dan niet verdedigd) bestemd tot het keren van water op basis van inhoud.
duinafslag	verlies van duinareaal tijdens stormvloed.
duinregel	min of meer gesloten rij duinen.
duinvoet	benedenrand van het duin; overgang van het duinbeloop naar het strand of het terrein achter het duin. Meestal wordt de duinvoet aan de zeezijde bedoeld.
duinvoetverdediging	harde constructie ter plaatse van de duinvoet met het doel de mate van duinafslag tijdens storm te reduceren.
duinvoetmarge	geeft een zekere afstand landwaarts van de 'normale' ligging van de duinvoet aan. Als de duinvoetmarge wordt overschreden, dient actief herstel van duinen plaats te vinden.
dwarsprofiel	bodemprofiel in een dwarsdoorsnede van de kust.
dwarstransport	zandtransport loodrecht op de kust.

dynamisch evenwicht	voortdurende profielveranderingen als gevolg van voortdurend veranderende hydraulische omstandigheden zonder resulterend zandverlies.
ebgeul	geul waarin de ebstroom overheerst (ook wel ebschaar genoemd).
ebschaar	zie ebgeul.
eolisch transport	zandtransport door de wind.
eroderen	afslipen, verweren, achteruitgaan door zandverlies.
estuarium	wijde riviermond.
evenwichtsprofiel	kustprofiel behorend bij gegeven constante hydraulische omstandigheden.
falen	niet meer vervullen van de primaire functie.
faalkans	kans op falen.
filteren	verwijderen van korte termijn-fluctuaties (ruis) uit waarnemingen, zodat een vloeiende lijn ontstaat.
fungerend grensprofiel	grensprofiel dat direct aansluit aan de maatgevende afslagzone.
getijtafel	tabel met tijden en hoogten van het astronomische hoog- en laagwater en de havengetallen.
GHW-lijn	snijlijn van het vlak van gemiddeld hoogwater met het strand.
GLW-lijn	snijlijn van het vlak van gemiddeld laagwater met het strand.
golfbreker	stenen hoofd of strekdam, dienende om de invloed van de golven op de kust te verminderen.
golffenergie	totaal arbeidsvermogen (van plaats en van beweging) dat aan en onder een golvend wateroppervlak per eenheid van oppervlak gemiddeld aanwezig is.
golfklimaat	gemiddelde en variabiliteit van karakteristieken van golven die in een bepaald gebied voor kunnen komen.
golfoploop	hoogte boven de waterstand tot waar een tegen het talud oplopende golf reikt.
golfoverslag	debiet over een kruin per strekkende meter kering gemiddeld over een zekere tijd.
golfsteilheid	verhouding tussen de hoogte en de lengte van een golf.
gradiënt	verloop van een grootheid per eenheid van lengte.
grensprofiel	profiel dat na duinafslag nog minimaal als waterkering aanwezig dient te zijn.
handhavingsbeleid	term die het regeringsbeleid om de ligging van de kustlijn te handhaven, aangeeft.
hoogheemraadschap	waterschap waarin hoogheemraden het bestuur voeren.
hoogwaterkering	natuurlijke of kunstmatige begrenzing of afscheiding die het hoogwater dient tegen te houden.
JARKUS	landelijk data-bestand van jaarlijks opgenomen diepte- en hoogte-

Keur	metingen van de zandige kust (JAarlijkse KUSTmetingen). verordening met gebods- en verbodsbepalingen van een waterschap of hoogheemraadschap.
kopeffect	door stroomcontractie en turbulentie optredende erosie rond de koppen van strandhoofden of paalrijen.
kritiek grensprofiel	meest landwaartse positie waar een grensprofiel in past. Bij geringe toename van de duinafslag wordt het duin geacht door te breken.
kuberen	bepalen van de zandhoeveelheid in een raai, een strook of in een balansgebied.
kusterosie	achteruitgang van de kust door het afslijpen van het land door de zee als gevolg van zandverlies.
kusthoogtemeting	bepaling van de hoogteligging van het strand en het duin.
kustlijn	algemeen begrip waarmee de overgang van zee naar land wordt aangeduid: grens tussen het 'droge' en het 'natte' deel van de waterkering. Ook: volumetrisch bepaalde positie van denkbeeldige lijn ten opzichte van de RSP-lijn.
kustvak	een bepaald gedeelte van de kust in lengterichting.
langstransport	zandtransport evenwijdig aan de kust.
Legger	beheersdocument van de waterkering met de juridische relevante gegevens.
lijj-erosie	erosie aan de lijzijde van een obstakel dat het resulterend zandtransport onderbreekt.
loden	met een echolood of ander meetinstrument bepalen van de bodemligging.
maatgevende hoogwaterstand	ontwerp-waterstand behorend bij een vastgestelde overschrijdingsfrequentie per jaar.
marge	afstand landwaarts van de basiskustlijn die onder geen beding mag worden overschreden.
MKL	momentane ligging van de kustlijn die wordt berekend uit de zandinhoud van een speciaal gedefinieerde rekenschijf.
Model-Keur	landelijk concept voor het op uniforme wijze opzetten van een waterkeringskeur (voorstel van de Unie van Waterschappen).
momentaan	momenteel, huidig, op een bepaald tijdstip.
morfologie	leer en beschrijving van de vormen van het aardoppervlak.
mui	dwars over het strand en de vooroever lopende geul, gevormd door de (geconcentreerde) retourstroom.
NAP-vlak	referentievlak voor de hoogteligging van objecten.
onderstroom	zie retourstroom.
onderwateroever	zie vooroever.
opzet	verschil tussen werkelijk opgetreden en (astronomisch) voorspelde

ontwerpafslaglijn	waterstanden.
ontwerppeil	regressielijn door een reeks van afslagpunten. peil (stormvloedwaterstand) dat afgeleid van het basispeil als uitgangspunt dient bij het dimensioneren van een waterkering (vergelijkbaar met de Maatgevende Hoogwaterstand volgens de Deltacommissie).
overschrijdingsfrequentie	gemiddeld aantal keren dat in een zekere periode (meestal een jaar) een verschijnsel (bijvoorbeeld de waterstand) een zekere waarde bereikt of overschrijdt.
overschuiving	actieve maatregel om de zeereep mechanisch landwaarts te verplaatsen.
overstuiving	proces waarbij door de wind zand landwaarts wordt verplaatst (al dan niet doelbewust).
paalrij	rij van verticale (houten) palen die haaks op de kust is uitgebouwd om de stroomsnelheid te reduceren als onderdeel van een kustverdedigingssysteem.
paalhoofd	strandhoofd met één of meer paalrijen.
primaire waterkering	waterkering, die beveiliging biedt tegen overstroming.
probabilisme	leer volgens welke er geen zekerheid van kennen maar alleen waarschijnlijkheid bestaat.
Provinciaal Overlegorgaan voor de kust (POK)	samenwerkingsverband tussen de Provincie, het Waterschap en het Rijk met als doel behoud en inrichting van de zandige kust.
raai	denkbeeldig geprojecteerde meetlijn ten behoeve van kustmetingen met de RSP-lijn als basis.
refractie (golf)	bij-draaiing van golfkammen onder invloed van de bodemdiepte en/of van de stroom.
regressie-analyse	vaststellen van de relatie tussen een verklarende variabele (veelal de tijd) en waarnemingen.
regressielijn	relatie tussen verklarende variabele (veelal de tijd) en de waarnemingen (bijvoorbeeld lineair).
rekenpeil	rekenwaarde voor het stormvloedpeil dat (thans) moet worden ingevoerd ten behoeve van de berekeningen voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering.
relatieve zeespiegelstijging	lange termijn stijging van de gemiddelde zeestand ten opzichte van het (polder)land.
reservestrook	strook duin direct landwaarts van het grensprofiel, deel uitmakend van de primaire waterkering ten behoeve van de opvang van onder andere de effecten van de verwachte zeespiegelstijging.
reststroom	resulterende stroom die overblijft na sommatie van totalen over een

retireren	volledige getijcyclus. achterwaarts verschuiven van het duin met als doel dit zand aan de natte erosieprocessen te onttrekken.
retourstroom	zeewaarts gerichte stroming bij de bodem als gevolg van een verticale circulatie tijdens het breken van golven (ook wel onderstroom genoemd).
Rijkszeeweringen- reglement ringdijk RSP-lijn	verordening met bepalingen van het Rijk als beheerder van een zeewering (vergelijkbaar met Keur). om een polder gelegen stelsel van waterkeringen. RijksStrandPalen-lijn; de langs de gehele zandige kust gelegen referentielijn voor meetraaien.
sand by-pass	systeem waarbij op kunstmatige wijze zand wordt getransporteerd om de gevolgen van de onderbreking van het natuurlijke zandtransport te compenseren.
significant	statistisch verantwoord; bij golven gebruikt als karakteristiek: gemiddelde van het hoogste 1/3-deel van de golven in een golfveld.
slenk	door golven en stroom gevormde geul in een strand, nagenoeg evenwijdig aan de kustlijn.
slufter	zoute of brakke duinvallei, die in open verbinding staat met de zee.
stormeffect	waterstandsverhoging ten gevolge van een storm.
strand	gedeelte van de kuststrook tussen de laagwaterlijn en de duinvoet.
strandhoofd	stenen dam of hoofd veelal loodrecht op de kust, aangelegd tot bescherming van het strand (beteugeling langstransport).
strandmuur	op de grens van het strand en het duin opgetrokken muur.
strandslag	gereguleerde overgang over het duin.
strijklengte	lengte waarover de wind over het wateroppervlak strijkt.
stroomkrib	van stenen aangelegde dam loodrecht op de kust die de stroom uit de kust moet houden.
structurele erosie	geleidelijk, maar voortdurend verlies van zand uit een kustprofiel of balansgebied.
stuifdijk	duinregel, gevormd door (al dan niet) kunstmatig vastgelegd stuifzand.
stuifscherm	verticaal doorlatend scherm, vervaardigd van riet of rijshout, dat wordt toegepast voor het vangen van zand.
stuifgat	plaatselijke verstuuving van zand.
suppleren	kunstmatig aanvullen van een kustprofiel met van buiten het balansgebied aangevoerd zand.
surf-beat	verticale slingering van de waterspiegel in de brandingszone als gevolg van groepsgewijs aankomende golven.
talud	helling of glooiing.
Technisch Beheers-	beheersdocument van de waterkering waarin de feitelijke toestand

register	van de waterkering is aangegeven.
TKL	te toetsen kustlijnligging; bepaald uit de lineaire extrapolatie van 10 MKL punten.
toeslag	extra afslag waarmee in rekening wordt gebracht: effecten van de variatie van de stormvloedduur, buistoten en bui-oscillaties en de onnauwkeurigheden van het rekenmodel.
trend	ontwikkeling in de tijd.
2%'s golfoploop	golfoploophoogte die door 2% van de golven wordt overschreden.
vegetatie	rijkdom aan planten, zowel de structuur als het soortenaantal betreffende.
veiligheidsnorm	getal dat door de bevoegde autoriteit is toegekend aan een dijkvak of dijkkring, als relatieve maat voor de vereiste veiligheid in de bescherming tegen hoog water.
verhelen	één geheel worden (bijvoorbeeld een zandbank tegen de kust).
verstuiven	lokaal verlies van zand als gevolg van transport door wind.
vloedgeul	geul waarin een vloedstroom overheerst (ook wel vloedschaar genoemd).
vloedschaar	zie vloedgeul.
vooroever	gedeelte van de kuststrook zeewaarts van de laagwaterlijn tot de zeebodem, ook wel onderwateroever genoemd.
vooroeverbescherming	verdediging (structurele vastlegging) van de vooroever door middel van een zinkstuk of bestorting.
waterkerende hoogte	maximale waterstand, exclusief golfeffect, die door een constructie kan worden gekeerd.
waterkering	dijk, duin of kunstwerk, of een aaneenschakeling hiervan, welke over een bepaalde lengte de functie heeft water te keren.
waterschap	publiekrechtelijke doelcorporatie met taken op het gebied van waterstaatkundige verzorging.
wave set-down	verlaging van de waterstand aan de zeezijde van de brekerzone.
wave set-up	verhoging van de waterstand binnen de brekerzone.
windgolven	golven ontstaan door de wrijving van de lucht over het water, ook wel zeegang genoemd.
windklimaat	gemiddelde en variabiliteit van windsnelheid en windrichting.
windopzet	waterstandsverhoging aan de bovenwindse zijde van een waterbekken ten gevolge van door de wind op een watermassa uitgeoefende wrijvingskracht.
winterprofiel	profiel van een duinenkust horende bij de winterse hydraulische omstandigheden.
zandbalans	staat van de hoeveelheid zand in een balansgebied.
zandbank	zandige ondiepte in de zee of op de vooroever.

Dijkkringgebied volgens bij de wet behorende bijlage	Overschrijdingskans als bedoeld in Artikel 3 Wet op de waterkering
nummer dijkkringgebied	gemiddeld per jaar
1	1/2000
2	1/2000
3	1/2000
4	1/2000
5	1/4000
6	1/4000
7	1/4000
8	1/4000
9	1/1250
10	1/2000
11	1/2000
12	1/4000
13	1/10000
14	1/10000
15	1/2000
16	1/2000
17	1/4000
18	1/10000
19	1/10000
20	1/4000
21	1/2000
22	1/2000
23	1/2000
24	1/2000
25	1/4000
26	1/4000
27	1/4000
28	1/4000
29	1/4000
30	1/4000
31	1/4000
32	1/4000
33	1/4000
34	1/2000
34a	1/2000
35	1/2000
36	1/1250
36a	1/2000
37	1/1250
38	1/1250
39	1/1250
40	1/500
41	1/1250
42	1/1250
43	1/1250
44	1/1250
45	1/1250
46	1/1250
47	1/1250
48	1/1250
49	1/1250
50	1/1250
51	1/1250
52	1/1250
53	1/1250

Fig. I.2 Veiligheidsnormen voor dijkkringgebieden (geldig vanaf 1992).

BIJLAGE II. HERSTEL EN ONTWIKKELING VAN NATUURLIJKE DYNAMIEK

De laatste jaren groeit de aandacht voor het verhogen van de natuurlijke en landschappelijke waarden van het duingebied door het toelaten en stimuleren van natuurlijke processen. Dit komt zowel in landelijk als in regionaal beleid naar voren. Onder natuurlijke processen worden vooral verstaan verstuing van zand onder invloed van de wind en sluftervorming onder invloed van de zee.

Inmiddels is een aantal studies afgerond naar de werking van natuurlijke processen en naar de mogelijkheden van het toelaten van deze processen langs de Nederlandse kust. Aan de hand van de volgende onderwerpen wordt daar in deze bijlage aandacht aan geschonken:

1. achtergrond van de toenemende aandacht voor natuurlijke dynamiek;
2. nadere beschrijving van verstuing;
3. nadere beschrijving van sluffers;
4. toelaatbaarheid van natuurlijke dynamiek langs de Nederlandse kust.

ad 1. achtergrond van de toenemende aandacht voor natuurlijke dynamiek

In het verleden was de instandhouding van een tamelijk omvangrijke zeereep vaak een doel bij het kustbeheer. Vooral bij eroderende kustvakken heeft dat veel inspanning gekost. Het heeft er eveneens toe geleid dat de mate van teruggang van de kust enigermate werd beperkt. Door soms intensieve beheersmaatregelen is op veel plaatsen een brede, regelmatig begroeide zeereep verkregen. Dit heeft soms geresulteerd in kunstmatige, landschapsvreemde grenzen waardoor de wisselwerking tussen de verschillende landschapscomponenten van het duingebied verstoord is geraakt.

Door het beleid van 'dynamisch handhaven' hoeft in het kustbeheer geen rekening (meer) te worden gehouden met een doorgaande achteruitgang van de duinen. De noodzaak om een hoge, gesloten zeereep vanuit waterkeringsbelang in stand te houden wordt daardoor minder. Ook zand dat niet in de zeereep is opgeslagen, maar verder landinwaarts in hoge duinformaties is afgezet, draagt bij aan de uiteindelijke veiligheid die het gehele kustgebied het achterland biedt.

Daar waar de duinen breed genoeg zijn, kan daarom worden overwogen minder aandacht aan de instandhouding en vormvastheid van de zeereep te besteden. Door de werking van wind, neerslag, vegetatie en zee ontstaat een natuurlijker zeereep. Een grillig gevormde zeereep vormt veel duidelijker één geheel met het achterliggende duingebied en heeft zowel uit landschappelijk als uit ecologisch oogpunt een belangrijke meerwaarde.

ad 2. nadere beschrijving van verstuiving

Op veel plaatsen langs de Nederlandse kust wordt door de wind zand naar de zeereep getransporteerd. De maximale hoeveelheid zand, die door de wind wordt aangevoerd, wordt geschat op $25 \text{ m}^3/\text{m}^1/\text{jaar}$ [Arens (1994)].

Verstuivingen zijn in het duinecosysteem één van de meest basale sturende abiotische processen. Landschapsvormen en bodemsamenstelling worden er door bepaald en periodiek kunnen verder ontwikkelde bodems en vegetaties onder invloed van verstuivingen worden verjongd ('motor' van cyclische successie). In deze zin worden in principe alle biotische processen en het voorkomen van planten en dieren er door aangestuurd.

Verstuiving kan leiden tot de ontwikkeling van de volgende landschapsvormen:

primaire duintjes

Dit zijn jonge duintjes die gevormd worden achter vegetatie op het strand. De eerste vegetatie is vaak het Biestarwegras; in een later stadium neemt Helm het voortouw. Bij voldoende rust vinden in deze lage duintjes strandvogels als Strand- en Bontbekplevier, Scholekster, Dwergstern, Visdief en Noordse Stern een broedgebied. Zowel uit geomorfologisch opzicht als uit oogpunt van flora en fauna zijn primaire duintjes waardevol.

gekerfde zeereep

Dit is een afwisselende zeereep met deels stuivende toppen en dalen. De zeereep kan worden gevormd in een stabiele of een afslagkust en heeft hoge landschappelijke- en natuurlijke waarden. Hier kunnen bijzondere zeereepsoorten worden aangetroffen als Zeewinde, Zeewolfsmelk, Blauwe Zeedistel, Gele Hoornpapaver en Zeeraket. Deze soorten zijn afhankelijk van enige mate van verstuiving en werden vroeger veelvuldig in de zeereep aangetroffen. Verder kunnen hier strandbroedvogels voorkomen en kleine kolonies Visdieffjes.

vochtige vallei

Verstuiving achter de (gekerfde) zeereep kan leiden tot uitstuiving van valleien tot op het grondwater. Doordat het uitstuivingsproces jaren duurt en de hoogte van het grondwater jaarlijks verschilt, krijgen de valleibodems een wisselend maaiveld. Dankzij dit microreliëf is er sprake van ecologisch belangrijke gradiënten in grondwaterstand, overstromingsduur, voedselrijkdom, kalkgehalte en expositie aan het micro-klimaat.

Het planten- (en dieren)leven in vochtige/natte duinvalleien is bijzonder gevarieerd. De pionier- en graslandvegetaties omvatten een groot aantal zeldzame soorten. Langs de wat voedselrijkere duinmeren komen ook hoogopgaande riet- en zeggevegetaties voor, waarin onder andere Waterdrieblad, Wateraardbei en Grote Boterbloem opvallen. De vochtige/natte duinvalleien zijn verder zeer vogelrijk en er komen verschillende soorten kikkers en salamanders voor. Ook de rijkdom aan soorten insecten is groot, onder andere in de plasjes waar veel waterinsekten, zoals Libellen, Haften, Watertorren en Waterwantsen, voorkomen. Er komen vlindersoorten voor als de Aardbeivlinder, Bruine Vuurvlinder en Zilveren Maan.

Het belang van verstuiving voor de natuur kan als volgt worden samengevat:

- * Herstel van het dynamische duinmilieu (primaire duinvorming, vorming gekerfde zeereep);
- * Regeneratie van vochtige valleien;
- * Positief effect op helmgroei;
Zoals blijkt uit bijlage VII is enige mate van verstuiving in de zeereep een voorwaarde voor de groei van gezonde helm. Het wortelstelsel van helm is namelijk gevoelig voor aantasting door schimmels en aaltjes. Alleen als er continu vers strandzand, waarin deze organismen niet voorkomen, wordt aangestoven, kan de helm ontsnappen aan zijn belagers en gezond blijven.
- * Beheersmaatregel tegen vergrassing;
Door verstuiving wordt vergrassing en het sterk uitbreiden van struweel en bos tegengegaan. Hierbij worden kruidenrijke lage vegetaties in stand gehouden; deze vegetaties zijn in de regel zeer soortenrijk. In sommige situaties kunnen verstuivingen worden ingezet om onnatuurlijke naaldbossen op een min of meer natuurlijke wijze op te ruimen en te (laten) vervangen door karakteristieke duinvegetaties.
- * Biotoop voor diverse diersoorten.

ad 3. nadere beschrijving van sluffers

Met betrekking tot sluffers zal aandacht worden geschonken aan de volgende onderwerpen:

- a. kenmerken van sluffers;
- b. ontstaan van sluffers;
- c. voorkomen van sluffers en slufferachtige gebieden in Nederland;
- d. stabiliteit van sluffers;

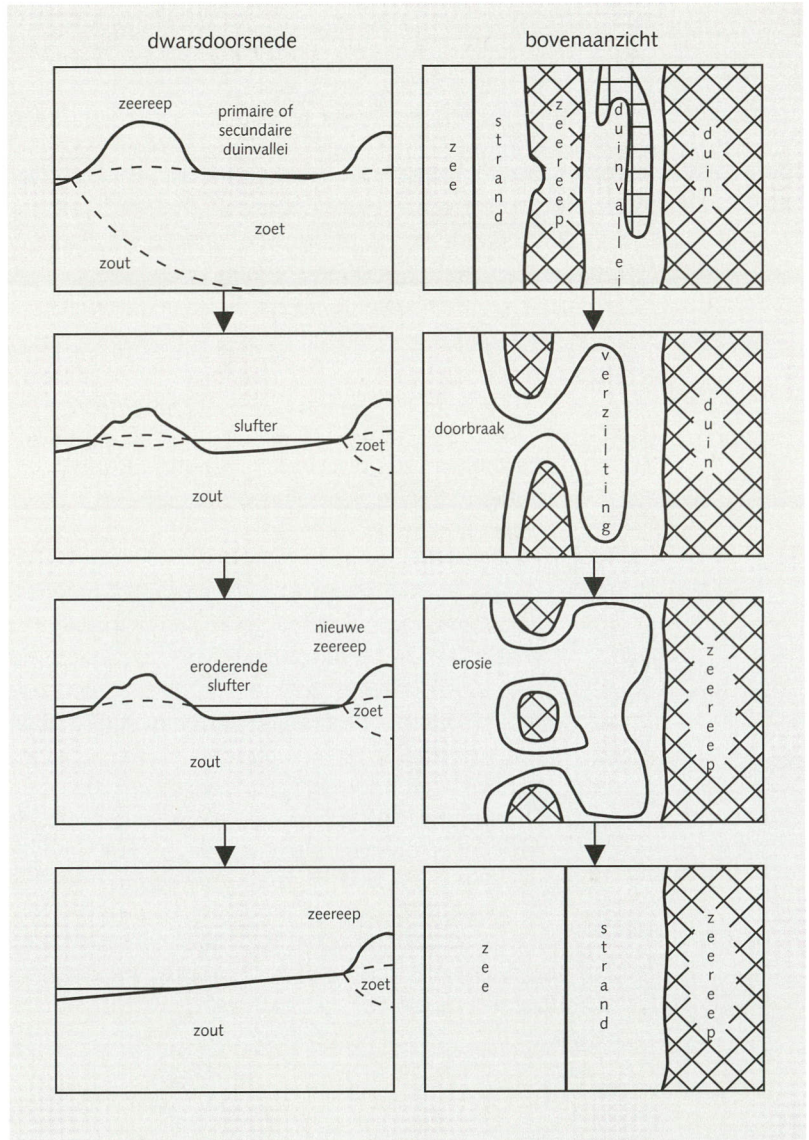


Fig. II.1 Morfologische ontwikkeling van een slufter in een eroderende kust [WL (1992-e)].

- e. onderhoud en beheer van sluffers;
- f. natuurwaarden van sluffers.

ad a. kenmerken van sluffers

Het woord sluffer is afkomstig van de naam van een vloedkom in de duinen op Texel. Een sluffer wordt gedefinieerd als een zoute of brakke duinvalei, die in open verbinding staat met de zee.

Een volledig ontwikkelde sluffer kan worden gekenschetst aan de hand van de volgende kenmerken:

- Overstroming van de gehele sluffervlakte met zeewater komt minimaal één keer per jaar voor.
- Tweemaal daags stroomt het zeewater via een geul (inlaatgeul) door de zeereep in en uit als gevolg van de werking van het getij. Dit zeewater dringt verder de vallei binnen via een vertakt geulstelsel.
- De inlaatgeul (aan de kust) heeft een sterk dynamisch karakter. Deze inlaat zit veelal dicht tegen het stadium waarin de inlaat instabiel wordt (en verzandt).
- De inlaatgeul in de zeereep heeft een drempel waardoor het krekensstelsel bij laagwater niet geheel leegloopt.
- Er is een krekensstelsel aanwezig met een intertijdsgebied (oppervlak dat tijdens bij de gemiddelde getijbeweging onderstroomt en weer droogvalt) dat relatief klein is ten opzichte van de vloedkom (oppervlak dat tijdens stormvloed onderstroomt). Dit betekent dat een groot deel van de sluffer bij de gemiddelde getijbeweging niet onderstroomt.
- De sluffervlakte bestaat voor een groot gedeelte uit zand.
- Bij de overgang van de sluffervlakte naar de omliggende duinen is een zout-zoet overgang aanwezig. Dit komt door het zoete kwelwater dat uit de duinen naar de sluffer stroomt. Ook elders in het bekken kan door regenval periodiek verzoeting optreden.
- De ecologische ontwikkeling van een sluffer wordt primair bepaald door de morfologische ontwikkeling.

ad b. ontstaan van sluffers

Er zijn verschillende mogelijkheden voor het ontstaan van sluffers. In WL (1992-a) en WL (1992-b) worden de volgende oorzaken genoemd:

- natuurlijke doorbraak van de zeereep (stabiele of eroderende kust);
- niet-aaneengesloten zeewaartse duinaangroei (aangroeiende kust);
- verzanding van een getijgeul tussen twee eilanden (bijvoorbeeld Texel);

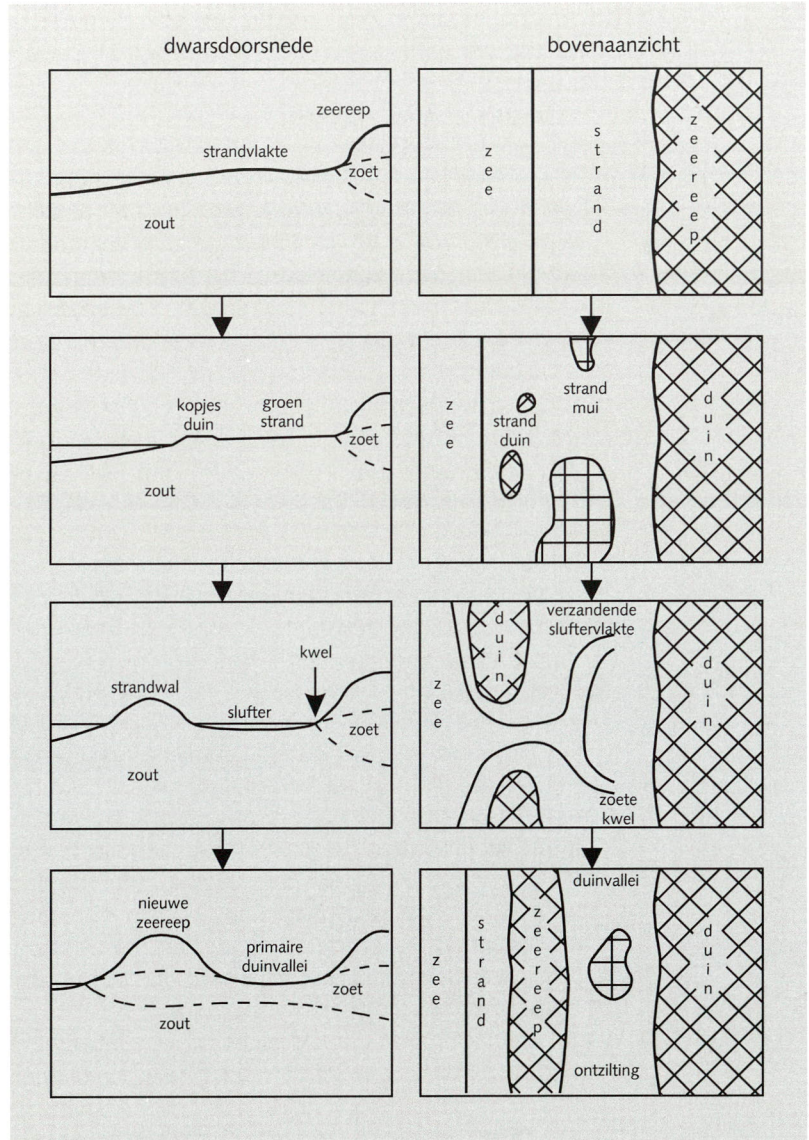


Fig. II.2 Morfologische ontwikkeling van een sluffer in een aangroeende kust [WL (1992-a)].

- verzanding van een in zee uitmondende rivier (of het afsluiten van een uitwatering; bijvoorbeeld het Zwin in Zeeuwsch-Vlaanderen);
- kunstmatige doorbraak van de zeereep;
- kunstmatige aanleg (Neeltje Jans).

Een natuurlijke doorbraak van een zeereep hoeft zich niet noodzakelijk-kerwijs voor te doen in een structureel eroderende kust. Indien er echter sprake is van een kustgebied met een doorgaande afkalving, dan geeft figuur II.1 een goed beeld van het ontstaan en de ondergang van een sluf-ter in een dergelijk kustgebied. Evenzo geeft figuur II.2 een goed beeld van het ontstaan en de ondergang van een sluf-ter in een aan-groeiende kust.

Als de aanleg van een kunstmatige sluf-ter ergens aan de Nederlandse kust wordt overwogen, verdient het aanbeveling vooraf een gedegen morfolo-gisch onderzoek op te zetten en de ontwikkeling te volgen.

ad c. voorkomen van sluf-ters en sluf-terachtige gebieden in Nederland
In Nederland komen eigenlijk maar twee 'echte' sluf-ters voor, die vol-doen aan de bovengenoemde kenmerken, namelijk het Zwin in Zeeuwsch-Vlaanderen en de Sluf-ter op Texel.

Daarnaast zijn er zogenaamde sluf-terachtige gebieden te vinden. Dat zijn gebieden met een vlakke bodem die minimaal één keer per jaar over-stromen. In ecologisch opzicht bestaan er weinig onderlinge verschillen tussen sluf-ters en sluf-terachtige gebieden. In figuur II.3 zijn de sluf-ters en sluf-terachtige gebieden in Nederland weergegeven. Hierbij is tevens informatie opgenomen ten aanzien van type, kustgedrag en grootte.

ad d. stabiliteit van sluf-ters

Indien wordt gekeken naar de stabiliteit van sluf-ters, dan kan er onder-scheid worden gemaakt naar ontwikkelingen op de lange en op de korte termijn.

Een voorbeeld van een ontwikkeling op de lange termijn is de stijging van de zeespiegel. Hierdoor neemt het getijvolume in de sluf-ter toe.

Voor de ontwikkelingen op de korte termijn is het van belang om ken-nis te hebben van de stromingen en zandtransporten nabij de sluf-termond. Het blijkt dat met name de verhouding tussen het getijprisma van de sluf-ter en het zandtransport langs de kust van groot belang is voor de stabiliteit van de sluf-termond. Ook de zandtransporten dwars

gebied	type	kustgedrag	grootte
Het Zwin Zeeuwsch-Vlaanderen	volledig slufteer- systeem met getijgeul	aangroei	±200 ha
Verdronken Zwarte Polder Zeeuwsch-Vlaanderen	groen strand met enkele duinachtige vormen	begin erosie	± 25 ha
Kamperlandse Duintjes Noord-Beveland	strandvlakte en groen strand	lichte aangroei	± 25 ha
Neeltje Jans Werkeiland Oosterschelde- kering (aanleg 1992)	slufteer met relatief hoge drempel	aangroei	± 25 ha
Buiten Verklikker Schouwen	strandvlakte en groen strand	aangroei	±100 ha
Kwade Hoek Goeree	enkele langwerpige volledige slufteersystemen met korte getijgeulen	aangroei	±200 ha
Slufteer aan zuidrand van baggerdepot Maasvlakte	kleine kunstmatige achterduinse strandvlakte	aangroei	± 5 ha
Brielsche Gat Voorne	zich ontwikkelende grote strandvlakte met getijgeul	aangroei	±300 ha
Mokbaai Texel	strandvlakte	aangroei	±200 ha
De Slufteer Texel	groot volledig slufteer- systeem met getijgeul	erosie	±400 ha
Noordoostpunt Terschelling	strandvlakte en groen strand	aangroei	±150 ha
Rietplak Ameland	strandvlakte en groen strand	lichte erosie	±150 ha
De Hon Ameland	strandvlakte en groen strand	aangroei	±200 ha
Noordoostpunt Schiermonnikoog	strandvlakte en groen strand	aangroei	±300 ha

Fig. II.3 Slufteerachtige gebieden in Nederland [WL (1992-a)].

op de kust kunnen van belang zijn. Tenslotte is de morfologische ontwikkeling sterk gerelateerd aan een aantal andere parameters zoals de drempelhoogte, de doorstroombreedte van de getijgeul en de komberging. Het is in dit verband opmerkelijk dat er grote verschillen bestaan tussen de grootte van het tijverschil in de gebieden waarin de twee Nederlandse sluffers zijn gelegen. Voor het Zwin bedraagt het verschil tussen GHW en GLW circa 4,0 m; voor de Slufter op Texel is het tijverschil slechts 1,6 m.

Ten gevolge van een netto langstransport heeft de geul de neiging om zich te verplaatsen in de richting van dit transport. Indien de geul vlak naast het uiteinde van de doorbroken zeereep komt te liggen, kan hierdoor een sterke erosie van de zeereep ontstaan. Overigens is het denkbaar dat de lengte van de geul door de verplaatsing zo groot wordt, dat er bovenstrooms van de monding een kortsluitgeul wordt gevormd. De oude geul zandt dicht en de kortsluitgeul wordt de nieuwe geul. De druk op de benedenstroomse zeereep wordt dan tijdelijk minder. Mocht dit verschijnsel niet op natuurlijke wijze optreden, dan is het altijd mogelijk om de geul op kunstmatige wijze te verleggen. Indien er een resulterend inwaarts gericht zandtransport aanwezig is, zal de bodem hoger komen te liggen en de komberging afnemen.

Ten gevolge van de grote zandsuppleties voor de Belgische kust is het aanbod van zand (door het uitvlakken van deze suppleties) voor de monding van het Zwin toegenomen. Veel van het aangevoerde zand verdwijnt in het Zwin. Om dit te compenseren zijn er de laatste zes jaar reeds drie keer grote hoeveelheden zand uit het Zwin gebaggerd (met name uit de sluffermond en het geulensysteem).

ad e. onderhoud en beheer van sluffers

Bij het onderhoud en beheer van kustvakken met sluffers zijn activiteiten mogelijk die van invloed zijn op de sluffer. Deze activiteiten kunnen van invloed zijn op de langs- of dwarstransporten of op de waterbeweging in de sluffer zelf en kunnen de stabiliteit en de ecologie van de sluffer zowel positief als negatief beïnvloeden. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om de volgende activiteiten:

- het uitvoeren van suppleties in de nabijheid van de sluffermond;
- het aanleggen van strandhoofden of paalrijen in de nabijheid van de sluffermond;
- het afwateren van (zoet) water op de sluffer.

ad f. natuurwaarden van sluffers

De hoge natuurwaarde van wash-overs en sluffers hangt samen met de grote variatie aan (abiotische) milieus. Er komen ecologisch belangrijke gradiënten voor in bodemsamenstelling: zandige, hoge plekken en slibrijke, lager gelegen plekken, in zoutgehalte, in expositie, in overstromings-frequentie en in sedimentatie. Ieder plekje kent zijn eigen specifieke

vegetatie. Zo groeien op de laagste delen vooral Zeekraal, Zeeaster, Schorrekruid en Slijkgras; op de hoger gelegen delen bevinden zich onder andere Gewoon Kweldergras, Engels Gras en Lamsoor. Op de overgang van zout naar zoet zijn onder andere Zilverschoon en Strand-duizendguldenkruid te vinden.

Een sluffer is onder meer broedgebied voor Scholekster, Kluut, Kievit, Tureluur, Grutto, Wulp en voor diverse eenden als Eidereend en Bergeend. Verder kunnen vele steltlopersoorten en andere op wadvlakten pleisterende en foeragerende vogelsoorten worden waargenomen.

ad 4. toelaatbaarheid van natuurlijke dynamiek langs de Nederlandse kust

Bij de toelaatbaarheid van natuurlijke processen spelen naast het waterkeringsbelang ook andere belangen een rol zoals recreatie, waterwinning en bebouwing. In bepaalde situaties kan overstuiving strijdig zijn met deze belangen en niet toelaatbaar worden geacht. Tevens moet rekening worden gehouden met de huidige natuurwaarde van het duingebied. Voorkomen moet worden dat het toelaten van natuurlijke processen tot een afname van de waarde voor landschap, flora of fauna leidt.

Op diverse plaatsen is het onderhoud van de zeereep inmiddels gestaakt. Soms vindt het stoppen van het onderhoud plaats als proef waarbij ter weerszijden van het proefvak het reguliere onderhoud gecontinueerd wordt. In het gehele proefgebied worden de ontwikkelingen in kaart gebracht. Verschillen in ontwikkelingen zowel in tijd als ruimte worden aldus gevolgd. Tevens kunnen eventuele ongewenste effecten tijdig worden gesignaleerd. Het monitoringprogramma is eenvoudig van opzet en bestaat vooral uit het volgen van de morfologische en ecologische ontwikkeling van de zeereep met hoogtemetingen en inventarisaties van de vegetatie.

Uit onderzoek blijkt dat ook op andere plaatsen langs de Nederlandse kust mogelijkheden bestaan voor het toelaten van natuurlijke dynamiek.

Hier kan extensivering van het zeereepbeheer worden gekoppeld aan de natuurlijke ontwikkeling van de landwaarts daarvan gelegen duinen. Met relatief weinig maatregelen en kosten is grote natuurwinst te behalen. Voor een overzicht van locaties wordt verwezen naar de desbetreffende onderzoeksrapporten [Janssen & Van Gelderen (1993)]; [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, (1994)].

BIJLAGE III. TAKEN/BEVOEGDHEDEN PARTICIPANTEN IN HET KUSTBEHEER

III.1 Inleiding

In het volgende overzicht wordt per partij in het kustbeheer (beheerder, Provincie, Rijk) aangegeven in welke Artikelen van de Wet op de waterkering een partij wordt genoemd.

In de opsomming wordt het desbetreffende artikel van de Wet op de waterkering steeds aangeduid. De taak of bevoegdheid zal slechts met een enkel trefwoord worden aangegeven; voor een precieze omschrijving wordt naar de Wet verwezen. Uiteraard kunnen aan deze opsomming geen rechten worden ontleend.

III.2 Taken/bevoegdheden beheerder volgend uit de Wet

- Art. 2.2 De beheerder wordt gehoord wanneer het Rijk voornemens is de veiligheidsnormen te wijzigen.
- Art. 3.4 De beheerder wordt gehoord wanneer het Rijk voornemens is een andere grondslag voor de veiligheidsnormering te kiezen (bezwijk-criterium in plaats van waterstands-criterium).
- Art. 4.1 De beheerder dient de 'officiële' randvoorwaarden te gebruiken bij de vaststelling van het waterkerend vermogen van de primaire waterkering.
- Art. 5.1 De inhoud van technische leidraden strekt de beheerder tot aanbeveling.
- Art. 6.2 Nieuwe primaire waterkering: ontwerp maken; goedkeuring GS vragen; aanleggen.
- Art. 6.3 Wijzigingen bestaande primaire waterkeringen: in principe als bovenstaand.
- Art. 6.5 Beroep op Kroon mogelijk van besluit GS.
- Art. 7.1 Iedere vijf jaar GS verslag uitbrengen over toestand primaire waterkering.

- Art. 7.2 Aanwijzingen voor de vorm van het 5-jaarlijks verslag:
- ingaan op veiligheid
 - is rekening gehouden met veiligheidsnorm?
 - zijn 'officiële' randvoorwaarden toegepast?
 - zijn technische leidraden goed gebruikt?
 - is beschrijving in Legger nog juist?
- Art. 8.4 Rijk mogen 'aansporen' om werken uit te voeren om de ligging van de kustlijn te handhaven.
- Art. 8.4 Stelt vast dat beheerder participant in POK is.
- Art. 8.6 Beroep op Kroon mogelijk van besluit van Rijk in verband met werken om de ligging van de kustlijn te handhaven.
- Art. 9 Bij GS aanvraag indienen voor bijdrage in kosten van beheer en onderhoud van een primaire waterkering.
- Art. 11 Raadplegen om na te gaan welke kosten binnen de provinciale regeling vallen; betreft kosten voor werken aan de primaire waterkering waarmee wordt beoogd voor de eerste keer aan de veiligheidsnorm te voldoen.
- Art. 12.a Overzichtskaart maken waarop de ligging van de primaire waterkering staat aangegeven.
- Art. 12.b Legger bijhouden waarin staat beschreven waaraan de primaire waterkering moet voldoen naar richting, vorm, afmeting en constructie.
- Art. 12.c Technisch Beheersregister bijhouden waarin de voor het behoud van het waterkerend vermogen kenmerkende gegevens van de constructie en de feitelijke toestand zijn omschreven.
- Art. 13.1 'Wachten' op verordening van Provinciale Staten waarin de plichten die uit Artikel 12 voortvloeien, nader worden geregeld.
- Art. 14.1 Alert zijn als Rijk waarschuwingen doet uitgaan over overschrijdingen van het verwachte hoogwater tijdens hoge stormvloed.

Art. 15.1 Oefeningen houden om inzetbaarheid van personeel en materieel te beproeven.

Art. 15.2 Opdracht van GS in ontvangst nemen om eventueel vaker te oefenen.

III.3 Taken/bevoegdheden Provincie volgend uit de Wet

Art. 2.2 GS worden gehoord wanneer het Rijk voornemens is de veiligheidsnormen te wijzigen.

Art. 3.4 GS worden gehoord wanneer het Rijk voornemens is een andere grondslag voor de veiligheidsnormering te kiezen (bezwijk-criterium in plaats van waterstands-criterium).

Art. 5.1 De inhoud van technische leidraden strekt de Provincie tot aanbeveling.

Art. 6.1 GS oefenen toezicht uit op alle primaire waterkeringen in hun provincie.

Art. 6.2 Nieuwe primaire waterkeringen: door beheerder ingediend plan beoordelen en eventueel goedkeuren.

Art. 6.3 Wijzigingen bestaande primaire waterkeringen: in principe plan beoordelen en eventueel goedkeuren.

Art. 6.4 Geeft aan hoe GS dient te handelen bij goedkeuringsprocedure (termijnen; uitstel beslissing).

Art. 7.1 Iedere vijf jaar krijgt GS een verslag van de beheerder over de toestand van de primaire waterkeringen.

Art. 7.1 GS dient iedere vijf jaar verslag aan het Rijk uit te brengen over de toestand van de dijkringen.

Art. 7.2 Aanwijzingen voor de vorm van het 5-jaarlijks verslag:
- ingaan op veiligheid
- is rekening gehouden met veiligheidsnorm?
- zijn 'officiële' randvoorwaarden toegepast?

- zijn technische leidraden goed gebruikt?
- is beschrijving in Legger nog juist?

- Art. 7.3 5-jaarlijks verslag eventueel uitbreiden met een omschrijving van de voorzieningen aan de primaire waterkering die GS nodig achten.
- Art. 7.4 Geeft aan wanneer GS voor de eerste maal een 5-jaarlijks verslag dient uit te brengen.
- Art. 8.4 Geeft aan dat GS het Rijk mag 'aansporen' om werken uit te voeren om de ligging van de kustlijn te handhaven.
- Art. 8.4 Geeft aan dat GS een POK dient in te stellen.
- Art. 8.6 Geeft aan dat GS een beroep op de Kroon kan doen in verband met een besluit van het Rijk met betrekking tot werken om de ligging van de kustlijn te handhaven.
- Art. 9 Geeft aan dat de Provincie bereid is een deel van de kosten van beheer en onderhoud van de primaire waterkeringen te dragen.
- Art. 11 Geeft aan dat de Provincie bereid is een groot deel van de kosten te dragen van de werken aan een primaire waterkering die beogen de waterkering voor de eerste maal aan de veiligheidsnorm te laten voldoen.
- Art. 13.1 Provinciale Staten stellen een verordening vast waarin de verplichtingen van de beheerder die uit Artikel 12 voortvloeien, nader zijn geregeld.
- Art. 13.2 Geeft aan hoe Provinciale Staten dient te handelen bij een dijkkring die in meer dan één provincie ligt.
- Art. 14.1 Geeft aan dat GS alert dient te zijn als het Rijk waarschuwingen doet uitgaan over het verwachte hoogwater tijdens hoge stormvloed.
- Art. 15.2 GS dient beheerder eventueel op te dragen vaker te oefenen.

- Art. 15.2 Opdracht van het Rijk in ontvangst nemen om beheerder op te dragen vaker te oefenen.

III.4 Taken/bevoegdheden Rijk volgend uit de Wet

- Art. 2.1 Het Rijk geeft een landkaart uit waarop de dijkkringgebieden en de primaire waterkeringen staan aangegeven.
- Art. 2.2 Het Rijk kan, gehoord hebbende de beheerders en GS, wijzigingen in die kaart aanbrengen.
- Art. 2.3 De in Artikel 2.2 bedoelde wijzigingen gaan in, drie maanden nadat de daarvoor benodigde algemene maatregel van bestuur aan de Tweede Kamer is toegezonden.
- Art. 3.1 Per dijkkringgebied is door het Rijk een veiligheidsnorm vastgesteld (zie ook bijlage I van dit basisrapport). Deze veiligheidsnorm is vooralsnog uitgedrukt in de gemiddelde overschrijdingskans per jaar van de hoogste hoogwaterstand die de primaire waterkering dient te kunnen keren.
- Art. 3.2 Het waterstands-criterium bedoeld in Artikel 3.1 kan door het Rijk worden vervangen door een bezwijk-criterium.
- Art. 3.4 Ook bij wijzigingen van veiligheidsnormen en vervangingen volgend uit Artikel 3.2, dienen procedures in de geest van Artikel 2.2 en Artikel 2.3 te worden gevolgd.
- Art. 4.1 Het Rijk stelt de 'officiële' randvoorwaarden vast waarvan bij de beoordeling van het waterkerend vermogen van de primaire waterkeringen dient te worden uitgegaan.
- Art. 4.2 Het Rijk stelt de 'officiële' randvoorwaarden elke vijf jaar vast.
- Art. 5.1 Het Rijk zorgt dat er technische leidraden beschikbaar zijn voor het ontwerp, het beheer en het onderhoud van primaire waterkeringen (onder andere de TAW leidraad 'Zandige Kust') en leidraden voor de beoordeling van de veiligheid van de primaire waterkeringen (onder andere de TAW leidraad 'Duinafslag').

- Art. 5.2 Geeft aan dat het Rijk de TAW kan opdragen zo'n leidraad samen te stellen.
- Art. 5.3 In de Staatscourant kondigt het Rijk aan dat leidraden beschikbaar zijn.
- Art. 7.1 Iedere vijf jaar krijgt het Rijk een verslag van GS over de toestand van de dijkkringen.
- Art. 8.1 Het Rijk voert, in gevallen waar de veiligheid op het spel staat, werken uit die nodig zijn om te voorkomen dat de kustlijn landwaarts verplaatst. Noodzaak, plaats en doel van de werken worden in een beschikking vastgelegd die in de Staatscourant wordt gepubliceerd.
- Art. 8.2 Ook andere doelen dan de veiligheid kunnen voor het Rijk aanleiding zijn om werken uit te voeren die nodig zijn om te voorkomen dat de kustlijn landwaarts verplaatst. (Inmiddels is besloten dat het Rijksbeleid zal zijn dat de ligging van de kustlijn in 1990 in principe wordt gehandhaafd. In de toekomst zullen er dus door het Rijk veel werken worden uitgevoerd die uit Artikel 8.2 voortvloeien.)
- Art. 8.3 Elke vijf jaar geeft het Rijk op een (kosteloos verkrijgbaar gestelde) peilkaart de positie van de kustlijn aan.
- Art. 8.4 Ingaan op verzoek van beheerder of GS, om werken bedoeld in Artikel 8.1 of Artikel 8.2 uit te voeren.
- Art. 8.5 Geeft aan dat het Rijk in principe binnen zes maanden op een verzoek als aangegeven in Artikel 8.4, dient te reageren.
- Art. 14.1 Het Rijk zorgt dat er informatie beschikbaar is over de verwachte afwijkingen van de hoogwaterstanden. Het Rijk waarschuwt beheerders en GS over de overschrijdingen van het verwachte hoogwater tijdens hoge stormvloed.
- Art. 14.2 Het Rijk stelt elke vijf jaar alarmeringspeilen vast. Bij een verwachte hoogwaterstand boven het alarmeringspeil, doet het Rijk een waarschuwing uitgaan.

Art. 15.2 Geeft het Rijk de mogelijkheid om GS op te dragen de beheerder opdracht te geven om vaker te oefenen.

BIJLAGE IV. OVERZICHT KUSTMORFOLOGISCHE MODELLEN

IV.1 Inleiding

Bij het overzicht van morfologische modellen is een onderverdeling gemaakt naar verschillende soorten modellen en modelonderdelen. Hierbij is tevens expliciet aandacht besteed aan de randvoorwaarde-modellen, welke de benodigde hydraulische condities (bijvoorbeeld getijstroming, golfgedreven stroming) voor de transportberekening genereren. Een verdere onderverdeling is aangebracht naar het aantal gemodelleerde dimensies.

IV.2 Basisonderdelen

Bij een onderverdeling naar (basis)onderdelen van een algemeen morfologisch model kunnen de volgende vier onderdelen worden genoemd:

- G- Golven;
- S- Stromingen;
- T- Transporten;
- B- sedimentBalans.

De eerste twee, het golven- en het stromingsmodel, zijn hierbij te zien als (randvoorwaarde) *toeleverende modellen* (bijvoorbeeld ENDEC).

Een *initieel model* berekent het transport van sediment onder invloed van stroom of golven en de daarmee samenhangende bodemverandering voor een enkele tijdstap (bijvoorbeeld COMOR).

Een *dynamisch model* herhaalt genoemde (initieële) berekening meermalen op een, met behulp van de sedimentbalans berekende, steeds aangepaste bodemligging (bijvoorbeeld DUROSTA).

Een *parametrisch model* bepaalt de profielverandering op basis van de toeleverende modellen, zonder daarbij expliciet gebruik te maken van een transportberekening (bijvoorbeeld DUROS).

Een *morfologisch model* (initieel of dynamisch) omvat dus minimaal een toeleverend model, een transportmodel en een balansmodel. Deze onderdelen zijn soms samengebracht in één model. In andere gevallen (zeker bij veldmodellen) staan deze modellen in feite los van elkaar; het morfologisch model (of eigenlijk modellen systeem: COMOR) zorgt dan met name voor de onderlinge koppeling van de verschillende (basis)-modellen.

IV.3 Aantal (horizontale) dimensies

Er kan, met name voor de toeleverende modellen, een onderscheid worden gemaakt naar de gemodelleerde horizontale ruimte. Het is duidelijk dat de hiermee samenhangende inspanning en complexiteit sterk toenemen met het aantal horizontale dimensies van een model.

In overzicht kan er onderscheid worden gemaakt tussen:

- 0-D Puntmodellen;
- 1-D Raai-, stroombuis- en lijnmodellen;
- 2-D Veldmodellen.

Binnen deze drie categorieën modellen kan er verder nog onderscheid worden gemaakt naar de mate waarin tevens de verticale dimensie wordt gemodelleerd. Uitgaande van het standaard model (zonder verticale informatie) kan ook deze dimensie, al dan niet volledig, worden gemodelleerd. De tussenvorm wordt aangeduid met het voorzetsel quasi.

puntmodellen

Bij een puntmodel (zonder horizontale dimensie) moet gedacht worden aan een enkelvoudige transportformule. Mogelijke vormen zijn:

- 0-D Standaard puntmodel;
- q1-DV Puntmodel met verticale informatie;
- 1-DV Puntmodel met volledige verticaal.

raai-, stroombuis- en lijnmodellen

De tweede categorie heeft betrekking op de beschrijving van één horizontale dimensie. Een raaimodel heeft betrekking op de modellering van het gedrag van een kustrai (loodrecht op de kust), terwijl een lijnmodel zich toespitst op de modellering van het gedrag van de kustlijn. Een stroombuismodel beschrijft het gedrag van het profiel in de as van een stroombuis. Er kan hierbij onderscheid gemaakt worden tussen de volgende vormen:

- 1-D Standaard een-dimensionaal horizontaal lijnmodel;
- q2-DV Raaimodel met verticale informatie;
- 2-DV Raai- of stroombuismodel met volledig vlak.

veldmodellen

Een veldmodel beschrijft de morfologische veranderingen in een horizontaal vlak (twee horizontale dimensies). Hierbij kan onderscheid worden gemaakt naar de mate waarin de derde dimensie is gemodelleerd:

- 2-DH Standaard twee-dimensionaal-horizontaal veldmodel;
- q3-DV Veldmodel met verticale informatie;
- 3-D Volledig veldmodel.

IV.4 Korte beschrijving (basis)modellen

In het navolgende komen de basismodellen aan de orde. Achtereenvolgens de relevante golven-, de stromings- en de transportmodellen, gevolgd door de (complete) morfologische modellen. (Het verschil tussen een transportmodel en een morfologisch model is bij de veldmodellen veelal minder duidelijk).

Per model komen respectievelijk: naam, aard, (zeer) korte beschrijving en mogelijke toepassing aan de orde.

Aansluitend is nog een overzicht gegeven van de thans operationele stromingsmodellen.

IV.4.1 Golfmodellen

Naam: ENDEC [WL, RWS-RIKZ]

Aard: Raaimodel, 1-D.

Beschr.: Golfhoogte-afname-model volgens formuleringen van Battjes-Janssen.

Toep.: Golfhoogte-afname van diep naar ondiep(er) water.

Comp.: PC.

Opm.: In morfologische raai-modellen (UNIBEST-LT, UNIBEST-TC, DUROSTA) veelal ingebouwd.

Naam: CREDIZ [RWS-RIKZ]

Aard: Veld, 2-DH.

Beschr.: Refractie, diffractie.

Toep.: Incidenteel RWS.

Comp.: Mainframe.

Opm.: Is vervangen door HISWA/PHAROS.

Naam: HISWA [WL, RWS-RIKZ, TUD]

Aard: Veldmodel, 2-DH.

Beschr.: Als ENDEC maar nu voor veld; met richtingspreiding en niet-constante (golf)periode.

Toep.: Berekening golfklimaat op ondiep water.

Comp.: Mainframe, PC.
Opm.: Basis voor morfologisch model. Berekende golfkrachten in te brengen in stromingsmodel.

Naam: DIFFRAC [WL, RWS-RIKZ-DWW]
Aard: Veldmodel, 2-DH.
Beschr.: Reflectie, diffractie, breking, specifiek voor havenbekkens.
Toep.: Bij problemen met reflectie en/of diffractie.
Comp.: Mainframe, PC.
Opm.: Moeilijk toepasbaar bij grote variatie in bodemligging.

Naam: PHAROS [WL, RWS-RIKZ]
Aard: Veldmodel, 2-DH.
Beschr.: Reflectie, diffractie, refractie, breking.
Toep.: Bij problemen met reflectie en/of diffractie.
Comp.: Mainframe.
Opm.: Geschikt voor haven-oscillaties en deining.

Naam: PHIDIAS [WL]
Aard: 2-DH.
Beschr.: 3e generatie golfmodel.
Toep.: Oceaan, zeeën.
Comp.: Mainframe.
Opm.: Opvolger WAM en HISWA; nog niet operationeel.

IV.4.2 Stromingsmodellen

Naam: SUTRENCH [WL]
Aard: Buis, 2-DV.
Beschr.: Zie bij transportmodellen.
Toep.: Idem.
Comp.: Mainframe, PC.
Opm.: Feitelijk een transportmodel.

Naam: DUCT [WL]
Aard: 2-DV.
Beschr.: Stroming en turbulentie.
Toep.: Dwarsstroom op geulen.
Comp.: PC.

Naam: WAQUA [RWS-RIKZ]
Aard: Veld, 2-DH.
Beschr.: Rechthoekig veldmodel dat op basis van rand-invoer (stroom-
snelheden en/of waterstanden) gedurende een gehele getij-
cyclus, in elk roosterpunt de waterstand en snelheid berekent.
Toep.: Zie beschrijving.
Comp.: Mainframe.

Naam: WAQUA [WL, RWS-RIKZ]
Aard: Veld, 2-DH.
Beschr.: Als WAQUA-RWS, maar nu kromlijinig en met golfgedreven
stroming.
Toep.: Als RWS-versie.
Comp.: Mainframe.
Opm.: Wordt in toekomst vervangen door TRISULA.

Naam: ODYSSEE [WL]
Aard: Vlak of Veld, 2-DV of 2-DH.
Beschr.: Geavanceerd stromingsmodel.
Toep.: Vooral voor 2DV, turbulentie, constructies.
Comp.: Mainframe.
Opm.: Geen 2DH-toepassingen (meer).

Naam: TRISULA [WL]
Aard: Veld, q3-DV / 2-DH.
Beschr.: Als WAQUA-RWS, maar nu kromlijinig, met golfgedreven
stroming.
Toep.: Veelal (nog) gebruikt zonder verticale dimensie.
Comp.: Mainframe.
Opm.: Huidige standaard.

IV.4.3 Transportmodellen

Naam: FORMULES [WL, RWS-RIKZ, TUD]
Aard: Punt.
Beschr.: Bijker, Van Rijn, Bailard en vele anderen.
Toep.: -
Comp.: PC.
Opm.: Bruikbaar voor gevallen waarbij naijling niet van belang is.

- Naam: UNIBEST-LT [WL, RWS-RIKZ]
Aard: Raai, 1-D.
Beschr.: Langtransportberekening voor golfaanval en/of getijstroming.
Toep.: Toeleverend aan kustlijnmodel UNIBEST-CL in de vorm van tabel met grootte van langtransport als functie van de kusthoek.
Comp.: PC.
Opm.: Gevallen met evenwijdige dieptelijnen.
- Naam: SUTRENCH [WL, RWS-RIKZ]
Aard: Buis, 2DV, initieel, dynamisch.
Beschr.: Stroming en transport in een stroombuis; met naijling (plaats).
Toep.: Tussenmodel bij 2DH-problematiek.
Comp.: Mainframe, PC.
Opm.: Ook slib en harde lagen.
- Naam: SUSTRA [WL, (RWS)]
Aard: Veld, 2-DH, initieel, tijdsafhankelijk.
Beschr.: Diepte-geïntegreerd transportmodel met parametrische naijling (plaats).
Toep.: Standaard veldtransportmodel.
Comp.: Mainframe.
- Naam: SUSTIM [WL]
Aard: Veld, q3DV, initieel, tijdsafhankelijk.
Beschr.: Volledig drie-dimensionaal transportmodel; tijdsafhankelijk (gehele getijcyclus in een keer doorrekenen); naijling in plaats en tijd.
Toep.: Voor complexe gevallen.
Comp.: Mainframe.
Opm.: Opvolger van SUSTRA-3D.
- Naam: JGZ [WL]
Aard: Punt.
Beschr.: Volledig drie-dimensionaal transportmodel; gehele getijcyclus; volledig golfklimaat; windeffecten en dichtheidsverschillen.
Toep.: Transportvectoren in vooraf gedefinieerde punten.
Comp.: PC.
Opm.: Gebruikt voor studies t.b.v. kustnota 1995.
-

IV.4.4 Balansmodellen

Naam: SCOUR [WL]
Aard: Veld, 2DH, initieel.
Beschr.: Op basis van snelheidsveld in oude en nieuwe situatie schatten van nieuwe bodemligging uitgaande van een ongewijzigd transportpatroon.
Toep.: Voorspelling erosie en aanzandigsgebieden.
Opm.: Ruwe methode.

IV.4.5 Morfologische modellen

Naam: DUROS [WL]
Aard: Raai, 1D, parametrisch.
Beschr.: Vorm afslagprofiel op basis van onder andere hydraulische condities; ligging op basis van sedimentbalans.
Toep.: Zie DUINAF.
Comp.: PC.

Naam: DUINAF [WL, RWS-RIKZ-DWW]
Aard: Raai, 1D, parametrisch.
Beschr.: Als DUROS maar nu met toevoeging van de effecten van onzekerheden in de randvoorwaarden (toeslag).
Toep.: Veiligheidstoetsing duinenkust.
Comp.: PC.

Naam: DUROSTA [WL, RWS-RIKZ-DWW]
Aard: Raai, q2DV, dynamisch.
Beschr.: Dwarstransportmodel voor profielveranderingen tijdens extreme hydraulische condities; gebruikmaking van ENDEC voor de golfhoogte-afname.
Toep.: Voorspellen effect stormvloed op kustprofiel.
Comp.: PC.
Opm.: Naast DUINAF bruikbaar; nog niet vervangend; ook ontgrondingskuil voor duinvoetverdediging.

Naam: UNIBEST-TC [WL, RWS-RIKZ]
Aard: Raai, q2DV, dynamisch.
Beschr.: Dwarstransportmodel op basis van transportbeschrijving volgens Bailard met gebruikmaking van ENDEC voor de golfhoogte-afname.

Toep.: Langjarige ontwikkeling dwarsprofiel.
Comp.: PC.

Naam: UNIBEST-CL [WL, RWS-RIKZ]
Aard: Lijnmodel, q2-DH.
Beschr.: Kustlijn (CoastLine).
Toep.: Voorspellen kustlijn-ontwikkeling.
Comp.: PC.
Opm.: Invoer van UNIBEST-LT nodig.

Naam: SILTAC [WL]
Aard: Stroombuis, q2-DV.
Beschr.: Als SUTRENCH maar geen naijling; consolidatie.
Toep.: Aanzanding in toegangskanalen.
Comp.: PC.

Naam: SILTHAR [WL]
Aard: Parametrisch model.
Beschr.: Getijvolume en havenoppervlak bepalen aanslibbing.
Toep.: Aanzanding in havens.
Comp.: PC.

Naam: COMOR [WL,RWS-RIKZ]
Aard: Veld, 2DH.
Beschr.: Algemeen modellensysteem bestaande uit verschillende basis-
 modellen, bijvoorbeeld HISWA/WAQUA/BIJKER of HISWA/
 TRISULA/SUSTIM.
Toep.: Complexe(re) morfologische problemen.
Comp.: Mainframe.

IV.4.6 Operationele veld-stromingsmodellen

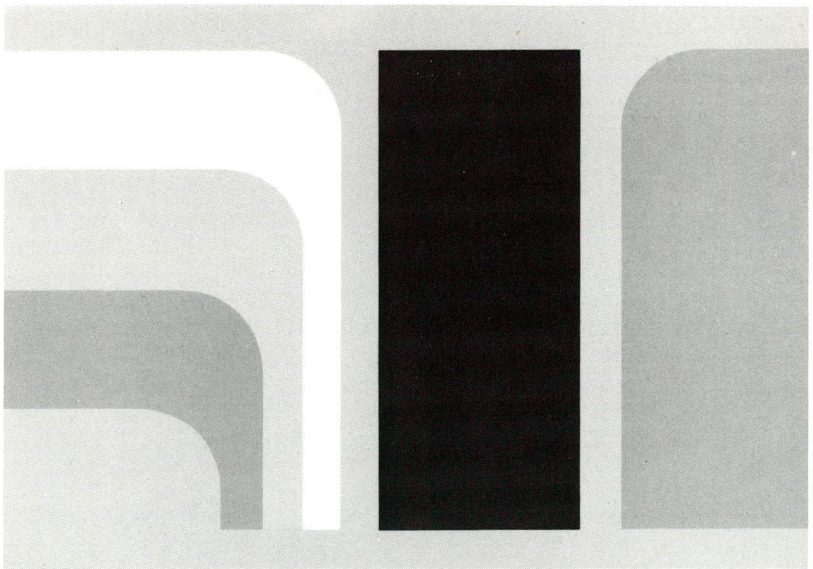
Een uitgebreid overzicht van operationele veld-stromingsmodellen is verschenen in 'Overzicht van bij de Deltadienst en District Kust en Zee in gebruik zijnde WAQUA-modellen' [Roos et al. (1985)]. Een recente aanvulling hierop is gegeven door Soerdjibali (1990). Om er enkele te noemen (lang niet volledig):

Naam	Beheerder	Ligging
WADDEN	RIKZ	
RANDELTA II	Dir. Zeeland	
VOORDELTA	Dir. Zeeland	
CSM	RIKZ	Continental Shelf Model
HOKU	RIKZ/WL	Hollandse Kust
TEXEL	RIKZ/WL	
DUCO	RIKZ/WL	Nederlandse kust
EEMS	RIKZ	
KAZUNO	RIKZ	Kanaal en Zuidelijke Noordzee
LOSWAL Noord	RIKZ	
NSBASE	RIKZ	North Sea Base
OOSTWAD	RIKZ	Oostelijke Waddenzee
SEUR	RIKZ	Seiches Europoort
GENO	RIKZ	Gehele Noordzee
ZUNO	RIKZ	Zuidelijke Noordzee

BIJLAGE V

leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen



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" ontwerpmethode, 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 geruleteerd 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 stormvloeden 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-

werpfilosofie 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 korreldiameter 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 stormvloeditijd 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 golfinvalsrichting, 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].

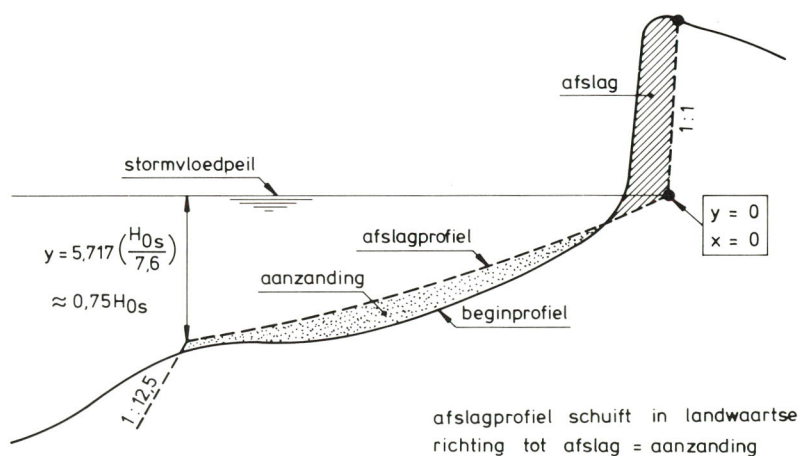


Fig. 1 Principe van het rekenmodel voor duinafslag.

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 stormvloed kan 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.

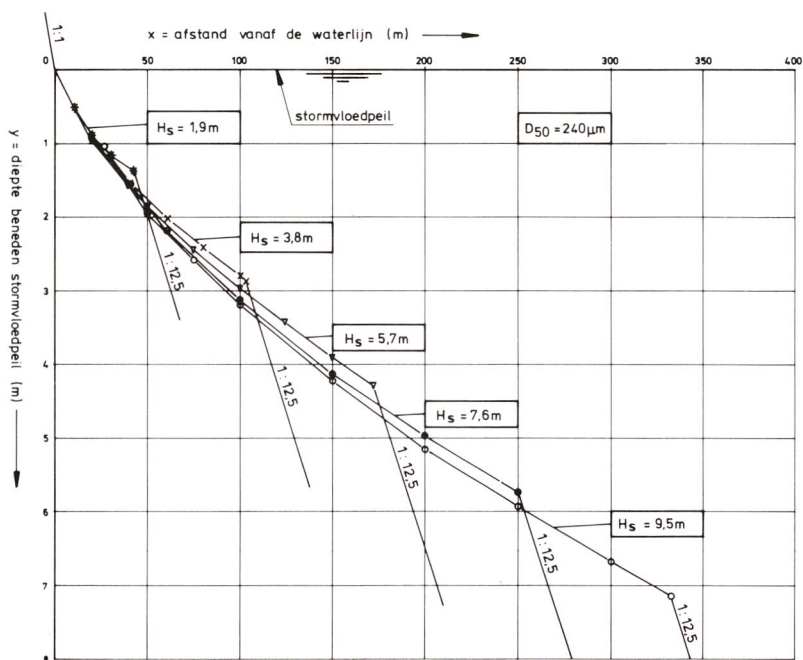


Fig. 2 De invloed van de golfhoogte op het afslagprofiel (voor $D_{\text{reken}} = 240 \mu\text{m}$).

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.

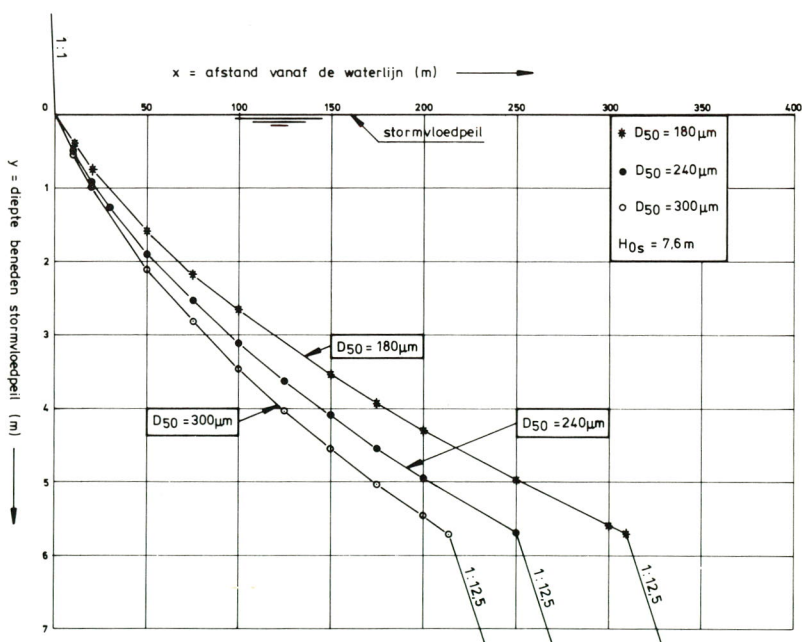


Fig. 3 De invloed van de korreldiameter op het afslagprofiel (voor $H_{0s} = 7,6$ m).

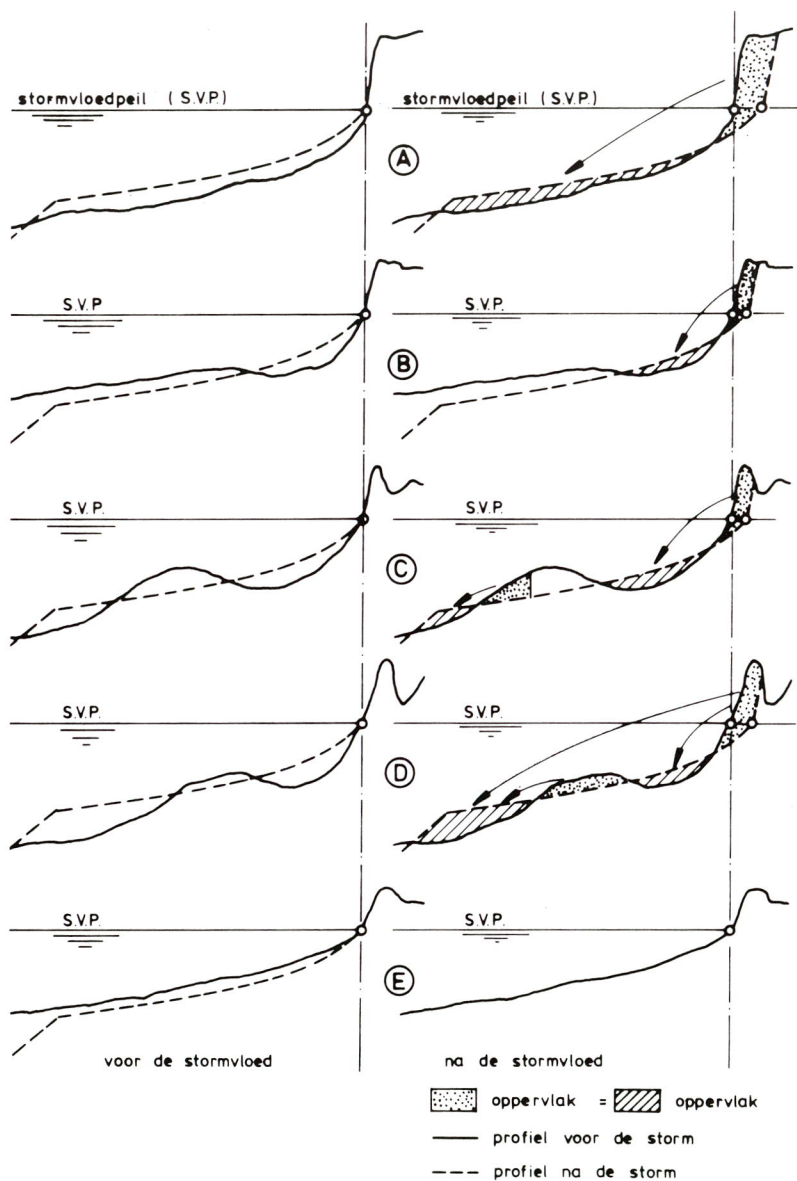


Fig. 4 Berekening duinafslag; voorbeelden van zandverplaatsing.

In figuur 4 wordt één en ander verduidelijkt aan de hand van een aantal voorbeelden. Aan de linkerzijde 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 oploep 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 $[\text{m}^3/\text{m}^1]$.

- 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 DWARSDOORSNEDEN 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 de 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 profielfluctuaties komen tot uiting in de gespreide ligging van de punten P om deze regressielijn (zie figuur 6).

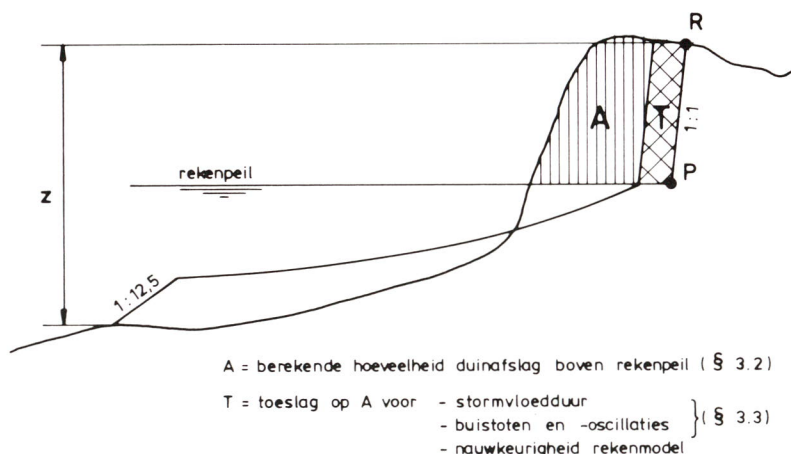


Fig. 5 Definitieschets.

- 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 profielfluctuaties, 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.

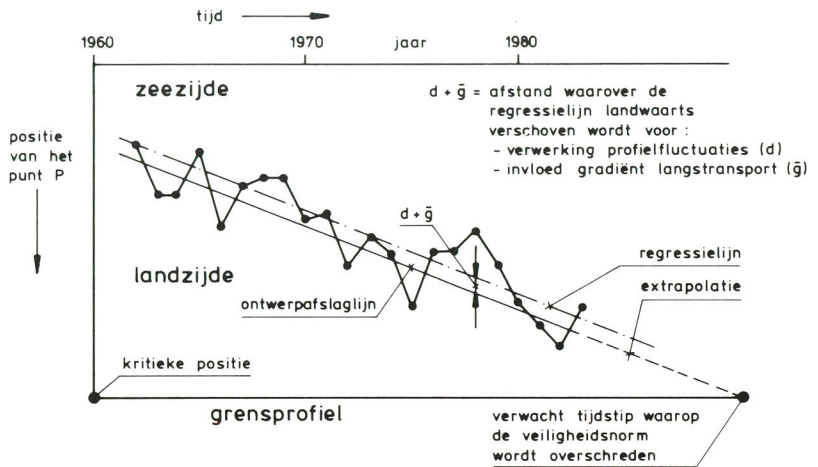


Fig. 6 Principe van de toetsingsmethode voor de beoordeling van de veiligheid.

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.

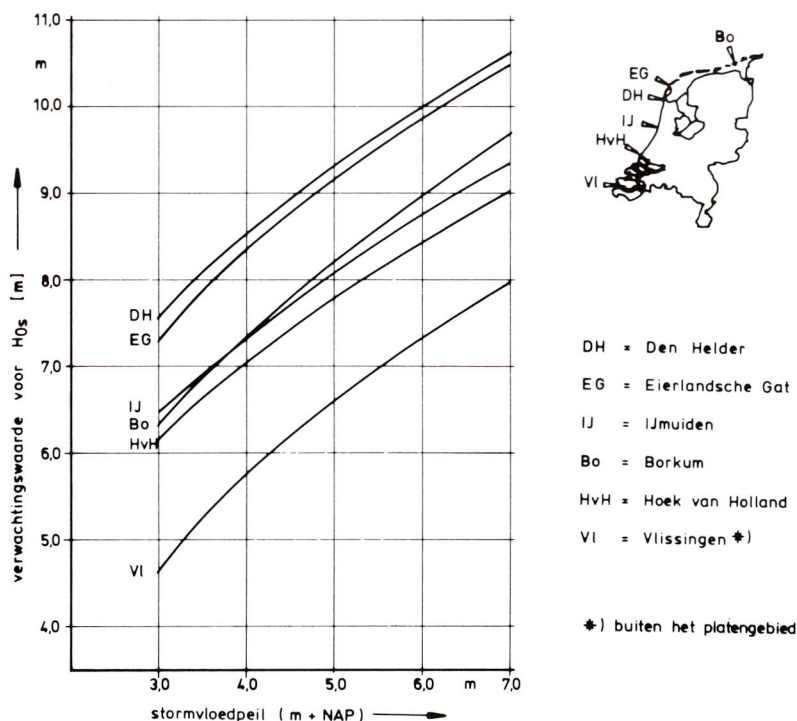


Fig. 7 Verwachtingswaarde van de significante golfhoogte als functie van het stormvloedpeil op enkele locaties voor de Nederlandse kust [10].

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:

$$D_{reken} = \mu_{D50} - 5 \frac{(\sigma_{D50})^2}{\mu_{D50}} \tag{4}$$

Hierin is:
 μ_{D50} = de verwachtingswaarde van de D_{50}
 σ_{D50} = 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} [μm]	σD_{50} [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
Terschelling	21.40	170	9	168
	24.00	170	9	168
	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
Vlieland	23.00	190	10	188
	25.00	191	10	189
	27.00	189	9	187
	29.00	192	10	190
	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 $0,10 A \text{ m}^3/\text{m}^1$ 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 $0,05 A \text{ m}^3/\text{m}^1$ voor het effect van buistoten en bui-oscillaties.
- Een toeslag van $0,10 A + 20 \text{ m}^3/\text{m}^1$ 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 $0,25 A + 20 \text{ m}^3/\text{m}^1$. 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 langsrichting (bijvoorbeeld achter banken). De leidraad is derhalve niet toereikend voor de beoordeling van de veiligheid van dergelijke kustvakken.

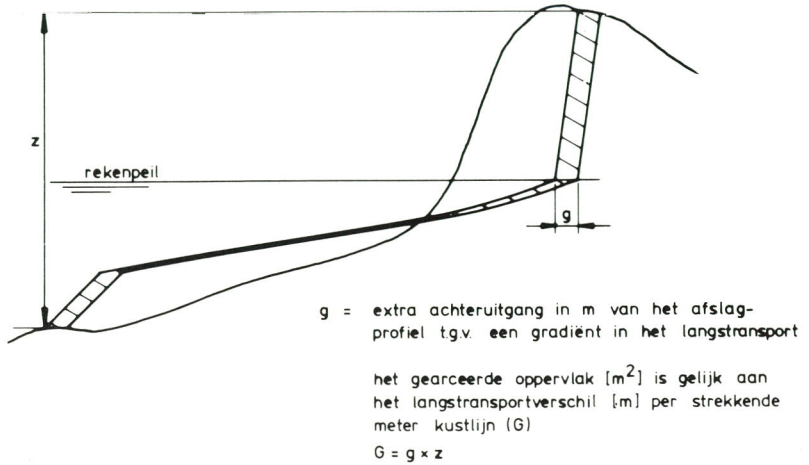


Fig. 8 De invloed van een gradiënt in het langstransport op de duinafslag.

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

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

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 $D = D_{\text{reken}}$ (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 langtransport. (zie figuur 6 en figuur 8).

Tabel 3. Referentiewaarde voor het langtransportverschil 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.

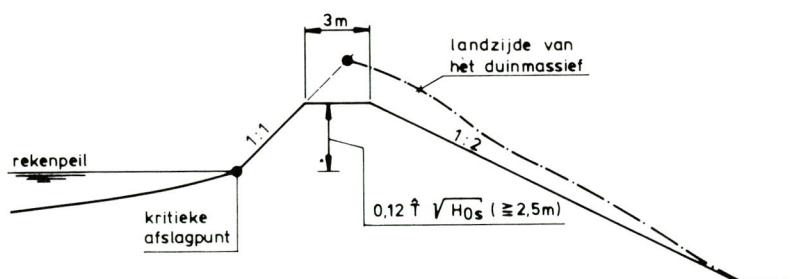


Fig. 9 Het grensprofiel.

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 hoogtetekort 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 vooralsnog 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. Een 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 onder-
zoek.
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.21^b, maart 1983.

BIJLAGE VI. VOORBEEDEN BESLUITVORMING

VI.1 Inleiding

De Wet op de waterkering en de gevolgen van de keuzen die met betrekking tot de toekomstige kustverdediging zijn gemaakt (kustnota), zijn van grote betekenis voor het kustbeheer in de toekomst.

Er is enerzijds zeker sprake van een grote mate van continuïteit. Het veelal al bestaande gedecentraliseerde beheer (in principe door waterschappen) wordt gehandhaafd en zelfs uitgebreid. Anderzijds zullen er zich echter ook veranderingen in het kustbeheer gaan voordoen die duidelijk invloed hebben op het gedrag en het karakter van de zandige kust.

Vooraf in de eerste jaren na de invoering van de Wet op de waterkering en bij voortdurend bij de verwezenlijking van het handhavingsbeleid voor de ligging van de kustlijn, dienen er besluiten en beslissingen te worden genomen die van verstrekkende aard zijn. Onder andere dienen de grenzen van de primaire waterkeringen in het kustgebied te worden vastgesteld en in sommige gevallen moeten zelfs nieuwe beheersgrenzen worden vastgelegd. Voor kustvakken met structurele erosie moeten er voortdurend keuzen worden gemaakt omtrent de beste methode van kustverdediging.

Daarnaast dient in veel gevallen het bestaande kustbeheer te worden uitgebreid of te worden aangescherpt tot een nog meer samenhangend beleid.

Er zijn met betrekking tot het kustbeheer dus veel problemen die moeten worden opgelost. Drie specifieke kenmerken van kustbeheersproblemen zullen hier met name worden genoemd:

- De aard van veel problemen in het kustbeheer brengt met zich mee dat er vaak veel oplossingen zijn voor één en hetzelfde probleem. De structurele erosie in een kustvak kan bijvoorbeeld op veel verschillende manieren worden bestreden (zie par. 4.1).
- Er zijn relatief veel belangen (of belanghebbenden) waarmee de kustbeheerder rekening dient te houden.
- Er zijn veel bestuurslagen die heel direct bij het kustbeheer zijn betrokken (Waterschap, Kustgemeenten, Provincie en Rijk).

Het POK is bij uitstek het forum waar de uiteindelijk te nemen besluiten worden voorbereid.

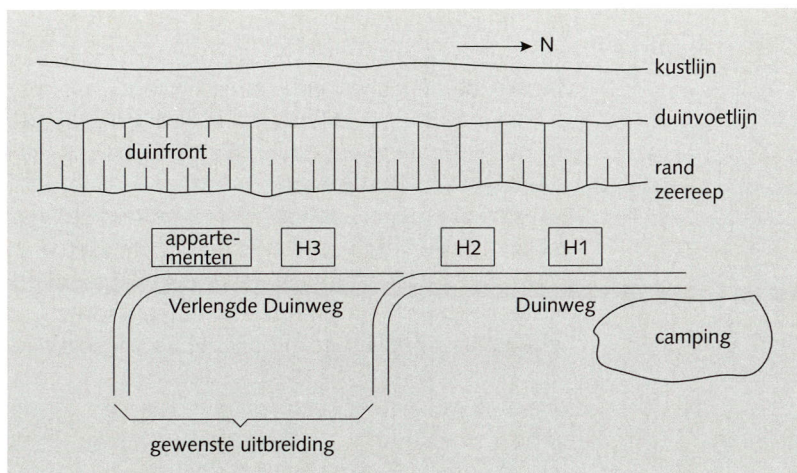


Fig. VI.1 Bovenaanzicht uitbreidingsplan kustgemeente.

Hoe in algemene zin kan worden omgegaan met complexe problemen in het kustbeheer, wordt in deze bijlage aan de hand van een tweetal voorbeelden uiteengezet. Hierbij wordt ingegaan op:

- wens voor medegebruik (in de vorm van bebouwing) in de afslagzone;
- keuze van methode om de structurele erosie tegen te gaan.

Er wordt voor een behandeling aan de hand van (twee) voorbeelden gekozen, omdat een meer fundamentele benadering van het keuzeprobleem buiten het bestek van dit basisrapport valt. Voor de aanpak van keuzeproblemen zijn tal van methoden aanwezig en er is daarover een uitgebreide literatuur beschikbaar, bijvoorbeeld Polak & Behesti (1990).

VI.2 Uitbreidingsplan van kustgemeente

beschrijving probleem

Een kustgemeente met bescheiden recreatieve voorzieningen vlak aan zee wil de mogelijkheid hebben de voorzieningen in zuidwaartse richting uit te breiden (fig. VI.1).

De bestaande hotels 'H1' en 'H2' zijn vele jaren geleden gebouwd. In die periode was het gevaar waaraan bebouwing vlak aan de kust blootstaat nog niet (volledig) bekend. Bovendien betreft het een kustvak met een geringe structurele erosie (circa 0,5 m per jaar). De bestaande bebouwing is in de loop der jaren dus steeds dichterbij de duinvoet komen te liggen. De eigenaren van de hotels 'H1' en 'H2' hebben één en ander met lede ogen aangezien. De bereidheid tot het doen van investeringen was de laatste jaren niet erg groot meer; het was toch een aflopende zaak. Van de bestaande bebouwing is vastgesteld dat de kans om tijdens een zware stormvloed te bezwijken, thans ongeveer 1/250 per jaar is. De nog resterende duinen zijn wel tamelijk laag, maar de breedte van het duingebied is nog ruim voldoende om de veiligheid van het achterland te waarborgen.

Het kusthandhavingsbeleid heeft in de kustgemeente een nieuw elan doen ontstaan. Voortaan zullen in dit kustvak de gevolgen van de structurele erosie teniet worden gedaan door periodieke strandsuppleties.

De kustgemeente wil de recreatie-voorzieningen uitbreiden. Voor die uitbreiding dient een, naar de mening van het college van B & W van de kustgemeente, niet bijzonder waardevol, natuurgebied te worden

opgeofferd. Het gebied waar de beoogde uitbreiding zal plaatsvinden, is in particulier bezit en maakt deel uit van de primaire waterkering. De huidige eigenaar is bereid zijn grondgebied aan de kustgemeente te verkopen.

In de plannen van de kustgemeente wordt de bestaande Duinweg verlengd. Met het oog op het uitzicht over zee wordt in de plannen rekening gehouden met de bouw van luxe appartementen in de afslagzone. Omdat zich in het verleden, ondanks de structurele erosie, nog nimmer problemen hebben voorgedaan met de bestaande bebouwing, bestaat de wens om de bebouwing in het uitbreidingsplan op nagenoeg dezelfde afstand uit de duinvoet te realiseren.

Voor de economie van de kustgemeente is de beoogde uitbreiding van groot belang, vooral ook omdat in de plannen tevens wintervoorzieningen zijn opgenomen.

De beoogde uitbreiding kan verder tamelijk op zichzelf staand worden gezien. De bestaande toevoerwegen tot de kustgemeente hebben bijvoorbeeld een zodanige capaciteit dat het niet nodig is om eventuele nieuwe toevoerwegen in het totale plan op te nemen.

enkele formele kanttekeningen

De beoogde uitbreiding vindt (gedeeltelijk) in de primaire waterkering plaats. De beheerder van de waterkering heeft dus het laatste woord; de beheerder dient uiteindelijk vergunning te verlenen voor de geplande bouwwerken en de uit te breiden infrastructuur in zijn beheerszone.

Er wordt aangenomen dat de beheerder inmiddels een samenhangend beheersplan voor het kustgebied heeft (ontwikkeld). Het is niet aannemelijk dat in dat kustbeheersplan een dergelijke uitbreiding zonder meer is opgenomen. Dat neemt overigens niet weg dat de beoogde uitbreiding niet in een dergelijk plan zou kunnen passen; wellicht is het beheersplan dermate ruim geformuleerd dat 'niets' volledig is uitgesloten. Er zullen niettemin zeer zwaarwegende argumenten moeten worden aangevoerd om de beheerder ervan te overtuigen dat hij, in dit speciale geval, van zijn uitgestippelde beleid af zou moeten wijken. Uiteraard wordt de beheerder in een zeer vroeg stadium in het besluitvormingsproces van het voornemen van de kustgemeente op de hoogte gesteld.

Beoordeling uitbreidingsplan kustgemeente:

- gevolgen voor primaire waterkering;
- nut voor kustgemeente:
 - werkgelegenheid;
 - voorzieningenniveau regio;
- natuurbeleid:
 - verlies natuurgebied aanvaardbaar?
- recreatiebeleid:
 - kan regio verhoogde recreatiedruk aan?
 - winter-accommodatie gewenst?
- streekplan wijzigingen.

Fig. VI.2 Aandachtspunten afwegingsproces bij Provincie.

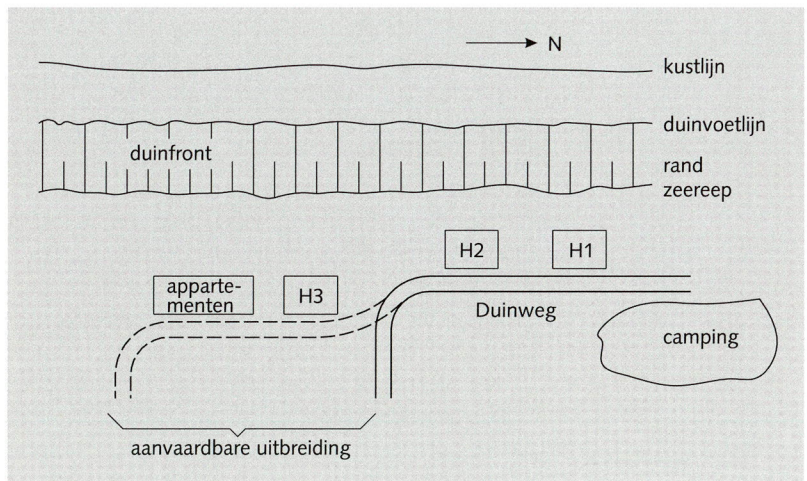


Fig. VI.3 Bovenaanzicht alternatief uitbreidingsplan.

het POK

Het POK is het orgaan waar de plannen van de kustgemeente uiteindelijk zullen worden besproken en vooral zullen worden beoordeeld op de consequenties voor de primaire waterkeringsfunctie van het duingebied. Voordat het POK zich echter over de uitbreidingsplannen van de kustgemeente zal buigen, dienen er al veel principe-besluiten op andere niveaus dan het POK te zijn genomen. Als algemene beleidscoördinator in de regio van ondermeer waterkering, natuur, milieu, recreatie en ruimtelijke ordening, zal de Provincie zelf intern tot de conclusie moeten komen dat de beoogde uitbreiding in principe verantwoord is. Op het afwegingsproces dat aan het nemen van die conclusie ten grondslag ligt, wordt in dit basisrapport verder niet in detail ingegaan. In figuur VI.2 worden slechts enkele aandachtspunten vermeld die aan de orde zullen komen bij dat afwegingsproces.

Er wordt vervolgens aangenomen dat de Provincie in principe positief staat tegenover de uitbreidingsplannen van de kustgemeente. Een beleidsanalytische studie heeft ondermeer aangetoond dat de plannen het waard zijn om te worden uitgevoerd.

discussie primaire waterkeringsfunctie in POK

Snel zal duidelijk worden dat niet kan worden aanvaard dat de nieuwe bebouwing, net als de al bestaande bebouwing, op een zodanige afstand van de duinvoet wordt gesitueerd dat de kans op schade door een stormvloed 1/250 per jaar is. De beheerder van de primaire waterkering stelt in het overleg dan ook voor om de bebouwing niet aan de zeezijde van de te verlengen Duinweg te situeren, maar aan de landzijde daarvan. Daarmee blijkt de veiligheid van de bebouwing met ongeveer een factor 10 te kunnen worden vergroot.

Voor de kustgemeente (mede als woordvoerder van de eigenaren van de toekomstige objecten 'Appartementen' en 'H3') is die suggestie minder aantrekkelijk. Het wordt als een groot voordeel gezien dat de Verlengde Duinweg landwaarts van de objecten zal liggen in verband met het verkeerslawaaï in de kamers en appartementen aan de zeezijde. Uiteindelijk wordt als compromis voorgesteld de Duinweg niet recht door te trekken, maar een (stedebouwkundig minder fraaie) S-bocht in het tracé op te nemen. In figuur VI.3 is de alternatieve positionering van de bebouwing en de Verlengde Duinweg aangegeven.

Gezien de kwaliteit van de nieuw te bouwen objecten acht de beheerder van het kustgebied het raadzaam om te eisen dat de zeekant van de objecten op een zodanige afstand van de duinvoet wordt gesitueerd, dat de kans dat de bebouwing tijdens een (zware) stormvloed zal worden bereikt, kleiner is dan 1/750 per jaar.

De duinen in het duingebied zijn tamelijk laag. Voor de beheerder van de primaire waterkering is dat (mede) aanleiding om te eisen dat de nieuwe bebouwing op verhoogde gedeelten moet worden aangelegd. De beheerder houdt er daarbij rekening mee dat in de toekomst wellicht een duinverzwaring noodzakelijk zal blijken te zijn. Als de bestaande bebouwing al op verhoogde gedeelten van de duinen staat, heeft de beheerder de handen meer vrij bij het ontwerp van de duinverzwaring. (Overigens komt voor de eigenaar van een nieuw bouwwerk deze extra eis niet geheel ongelegen. De enigszins verhoogde ligging verhoogt de status van zijn bouwwerk, onder andere omdat er dan een beter uitzicht over zee zal zijn.)

Het is vrijwel zeker dat in de discussies in het POK ook de positie van de reeds bestaande hotels 'H1' en 'H2' aan de orde zal komen. De bestaande hotels liggen gevaarlijker (kans 1/250 per jaar op schade) dan de nieuw te bouwen objecten (kans 1/750 per jaar). Het eerder genoemde nieuwe elan binnen de kustgemeente zal ook de eigenaren van 'H1' en 'H2' aansteken. Ook zij zullen willen gaan verbouwen en misschien zelfs willen gaan uitbreiden.

Hoe dient een dergelijk voornemen tegemoet te worden getreden?

Het is in het kader van dit basisrapport onmogelijk om een algemeen geldende beleidslijn voor dergelijke gevallen aan te geven. Er staat vast dat de kans op schade van 1/250 per jaar eigenlijk te groot wordt geacht voor een doelmatig beheer van de waterkering; in paragraaf 5.4.3 wordt een uiterste grens behorend bij een kans van 1/500 per jaar genoemd voor de situering van een hotel in de zeereep.

De volgende beleidsuitgangspunten kunnen in dergelijke gevallen worden overwogen:

- bewerkstelligen dat bestaande bebouwing H1 en H2 (op termijn?) wordt afgebroken;
- in het geheel geen uitbreidingen toestaan;
- uitzonderingstoestand aanvaarden en goed vastleggen voor de toekomst; uitbreidingen wel toestaan, maar zeker niet in zeewaartse richting;

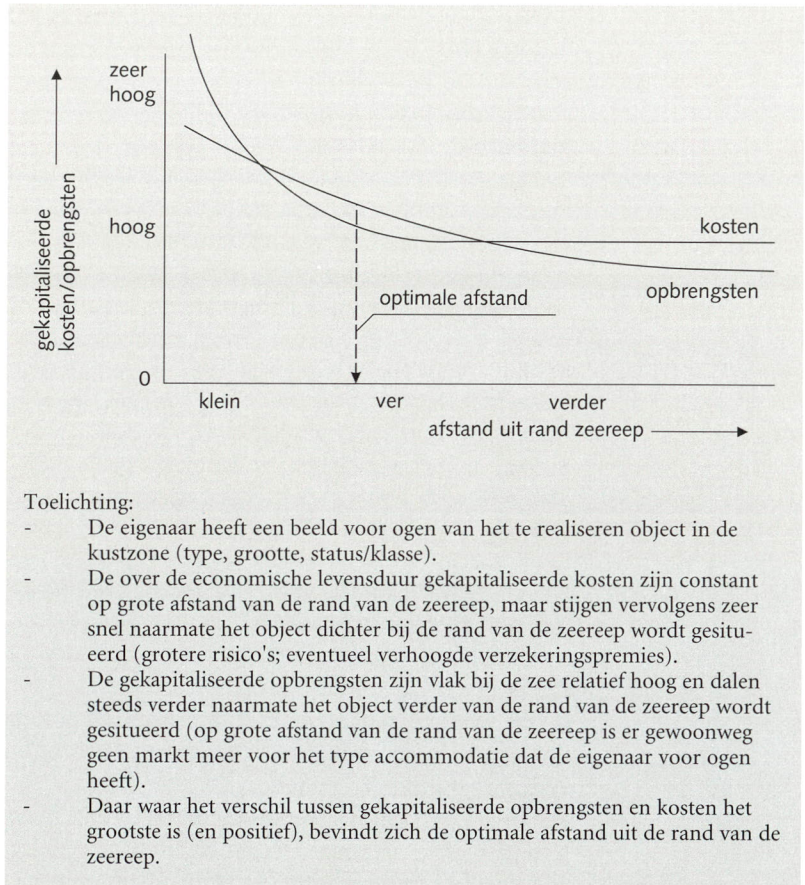


Fig. VI.4 Bepaling optimale afstand uit rand zeereep.

- basiskustlijn verleggen zodanig dat kans op schade aanvaardbaar wordt (bijvoorbeeld 1/500 per jaar).

Wat een kans op schade door een stormvloed van 1/250 per jaar overigens betekent, kan aan de hand van een paar voorbeelden worden verduidelijkt. Er wordt daarbij aangenomen dat een eigenaar het hotel gedurende 25 jaar feitelijk bezit.

In die 25 jaar heeft de eigenaar een kans van ongeveer 1/20 dat er in zijn hotel brand uitbreekt waarbij er aanzienlijke schade zal zijn. De eigenaar heeft een kans van ongeveer 1/400 om in het verkeer om het leven te komen. Als hij elke week met 10 rijtjes meedoet aan de lotto, heeft hij in die periode een kans van ongeveer 1/300 om de hoofdprijs te winnen. De kans dat zijn hotel door een stormvloed volledig verloren gaat, is ongeveer 1/10. Het stormvloed-risico is in dit geval dus een risico waarmee de eigenaar terdege rekening dient te houden.

Om de risico's van het bouwen in de afslagzone zichtbaar te maken, kan bij de aanleg van nieuwe objecten gebruik worden gemaakt van een rationele berekeningswijze. In figuur VI.4 zijn de basis-elementen van een dergelijke berekening aangegeven waarmee een eigenaar kan nagaan op welke afstand uit de kust hij zijn beoogde object het beste kan bouwen.

slotopmerkingen

In de voorgaande behandeling zijn lang niet alle aspecten aangestipt die in het uiteindelijke afwegingsproces aan de orde zullen komen. Er zijn voornamelijk enkele zuiver technische details behandeld. Hoe bijvoorbeeld de voorwaarden in benodigde vergunningen nader dienen te worden ingevuld, is in het geheel niet aan de orde gekomen omdat dat buiten het kader van dit basisrapport valt.

Verder is aangenomen dat de beheerder zich in dit geval buitengewoon coöperatief kon opstellen. Het is echter zeer goed voorstelbaar dat er zich gevallen (gaan) voordoen waarbij die opstelling minder coöperatief lijkt te zijn. Hoe in werkelijke conflict situaties (bijvoorbeeld: Provincie wil wel, beheerder wil niet) dient te worden gehandeld, is een vraagstuk van bestuurlijk-juridische aard en valt buiten het kader van dit basisrapport.

VI.3 Keuze methode van kustverdediging

beschrijving probleem

In principe wordt dezelfde situatie als in de vorige paragraaf als voorbeeld genomen. Er was daar sprake van een structurele erosie van gemiddeld circa 0,5 m per jaar. In het kader van het kusthandhavingsbeleid zal deze erosie afdoende worden bestreden. Er wordt hier aangenomen dat de genoemde erosie slechts in een kustvak van 4 km lengte optreedt; aan de eventuele erosie in de aansluitende kustvakken wordt hier verder geen aandacht besteed.

enkele formele kanttekeningen

De zorg voor de handhaving van de ligging van de kustlijn in het kustvak is een Rijkstaak. Dat betekent dat veel van de analyses die verder in deze paragraaf worden behandeld, in principe door het Rijk zullen worden uitgevoerd. Dat neemt uiteraard niet weg dat ook de beheerder nauw bij de analyse van het erosieprobleem en het formuleren van eventuele oplossingen zal zijn betrokken. De plannen om de erosie te bestrijden, worden uiteindelijk ook in het POK besproken.

analyse van het erosieprobleem

Er is sprake van een gemiddelde structurele erosie van circa 0,5 m per jaar. Dit is tot nu toe ervaren als een geleidelijke teruggang; niet alleen het strand ging achteruit, maar ook de duinen gingen, gezien over een reeks van jaren, geleidelijk achteruit. De gegevens in het strandlijnenbestand (positie van de GLW-, de GHW- en DV-lijnen sinds circa 1850) laten dat duidelijk zien.

Zorgvuldige analyses van het JARKUS-bestand laten zien dat de ligging van de kustlijn (op basis van een volumetrische bepaling; zie par. 6.3.2) eveneens gemiddeld circa 0,5 m per jaar achteruit gaat. Bovendien blijkt uit de analyse van het JARKUS-bestand dat de teruggang van 0,5 m per jaar gepaard gaat met een gemiddeld verlies van zand van circa $8 \text{ m}^3/\text{m}^1/\text{jaar}$. Deze waarde lijkt niet onaannemelijk gezien de hoogte van de zeereep (circa NAP +10 m) en de diepte tot waar de zandverliezen in dit kustvak blijken voor te komen (tot circa NAP -6 m). In het kustvak is de erosie overal nagenoeg even groot; voor het totale 4 km lange kustvak is de gemiddelde jaarlijkse erosie dus circa $32000 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

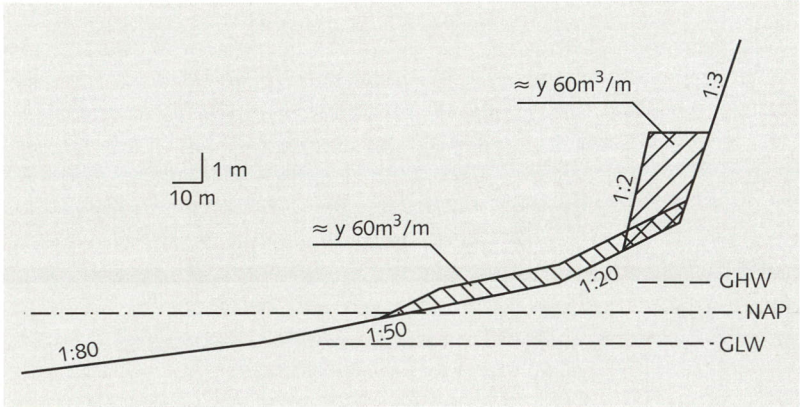


Fig. VI.5 Strandsuppleties.

Als wordt besloten de gevolgen van de erosie te bestrijden met behulp van periodieke zandsuppleties, is een verdere analyse van de eigenlijke oorzaak van het erosieprobleem niet strikt noodzakelijk. In alle andere gevallen wel.

zandsuppleties

De gemiddelde jaarlijkse verliezen zijn bescheiden (circa $8 \text{ m}^3/\text{m}^1/\text{jaar}$). In dit geval bieden de duinen nog voldoende veiligheid voor het achterland; duinversterkingen zijn dus niet aan de orde. Het verlies van zand uit de duinen zoals dat in het verleden werd geconstateerd, was uiteindelijk het gevolg van het feit dat er erosie van het strand en de vooroever optrad. Als die verliezen worden gecompenseerd, zal ook het doorgaande verlies aan duinareaal tot staan worden gebracht. Gezien de tamelijk bescheiden verliescijfers komen in dit geval zowel een strandsuppletie als een vooroeversuppletie in aanmerking om te worden uitgevoerd.

Als naar een levensduur van bijvoorbeeld 7 jaar wordt gestreefd, gaat het uiteindelijk om een zandhoeveelheid van circa $60 \text{ m}^3/\text{m}^1$ die per suppletie in het profiel dient te worden aangebracht. Dergelijke hoeveelheden zijn goed in een profiel aan te brengen.

Uit figuur VI.5 blijkt dat zowel een suppletie in de vorm van een banket (3 m boven de duinvoet) tegen de duinen aan, als een strandophoging (vanaf de gemiddelde zeestand tot de duinvoet) tot aanvaardbare oplossingen leiden. Zandhoeveelheden van in de orde van grootte van $60 \text{ m}^3/\text{m}^1$ zijn ook gemakkelijk op de vooroever te bergen.

De wijze van uitvoeren van de zandsuppletie die uiteindelijk wordt gekozen en ook de levensduur waar in het ontwerp naar wordt gestreefd, zijn ontwerp-aspecten die met een kosten-baten analyse kunnen worden bepaald. Op details van een dergelijke analyse wordt hier niet verder ingegaan.

Zonder verdere toelichting worden de voor- en nadelen van de zandsuppletie-variant samengevat; bij de uiteindelijke afweging dient met die aspecten terdege rekening te worden gehouden.

voordelen zachte maatregelen:

- geen vreemde objecten op het strand;
- vaak relatief goedkoop;

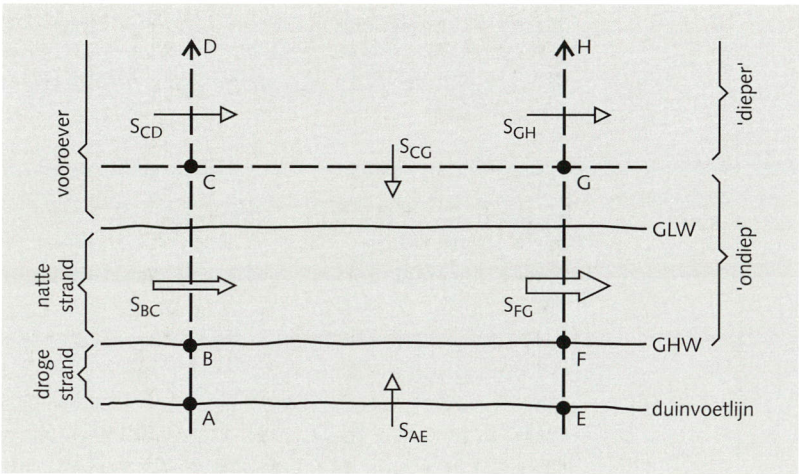


Fig. VI.6 Langtransportgradiënt op ondiep water (geen gradiënt op diep water).

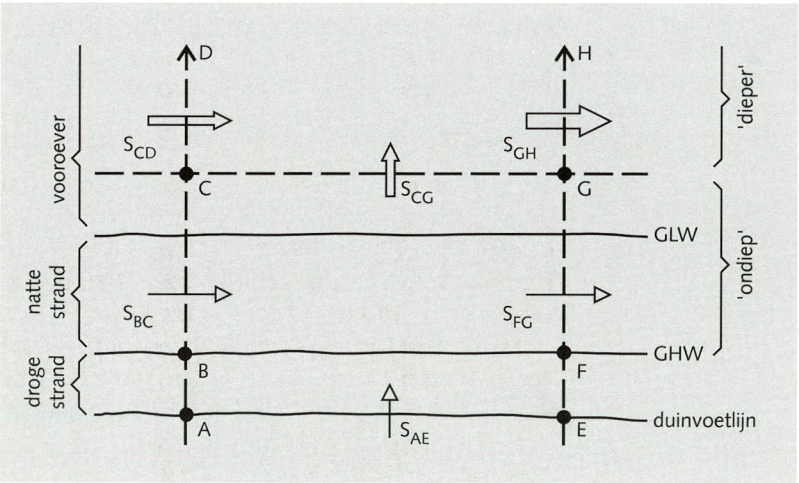


Fig. VI.7 Langtransportgradiënt op diep water (geen gradiënt op ondiep water).

- geen nadelige effecten voor naastgelegen kustvakken;
- het totale kustsysteem wordt hoe dan ook 'zandrijker';
- zeer flexibele wijze van kustverdediging; er kan bij vervolgsuppleties naar bevind van zaken worden gehandeld;
- het is niet strikt noodzakelijk om de precieze oorzaak van het erosieprobleem te kennen;
- vaak brede stranden.

nadelen zachte maatregelen:

- suppleties dienen te worden herhaald; naar buiten toe lijkt het vaak 'water naar de zee dragen' (dat maakt een goede voorlichting noodzakelijk);
- hinder tijdens uitvoering;
- eventueel stuifoverlast;
- bij suppleties in de vorm van banketten:
 - eventueel gevaarlijke steile afslagkant;
 - aanpassingen van de toegangen naar het strand zijn voortdurend nodig;
- de aanblik van het strand verandert voortdurend.

andere wijzen van erosiebestrijding

Voordat een effectieve manier van erosiebestrijding (met zogenaamde harde maatregelen) kan worden ontworpen, is het volstrekt noodzakelijk om te weten waardoor het kennelijke structurele erosieprobleem wordt veroorzaakt. Als voorbeeld zijn in de figuren VI.6 en VI.7 twee mechanismen aangegeven die beide de geconstateerde erosie verklaren, maar die een volstrekt andere wijze van bestrijding zullen vergen. In sommige gevallen is het niet eenvoudig om eenduidig vast te stellen wat het onderliggende mechanisme is dat de erosie veroorzaakt. Er wordt aanbevolen de verschillende opties (zie hoofdstuk 3) systematisch na te gaan; soms is het dan mogelijk de oorzaak van het erosieprobleem op te sporen.

Aan de hand van hoofdstuk 4 kan vervolgens worden nagegaan welke methoden van erosiebestrijding eventueel in aanmerking komen.

Uiteindelijk dienen kosten-baten analyses uit te wijzen welke methode de voorkeur verdient. Eén en ander wordt hier verder niet uitgewerkt. Slechts algemene voor- en nadelen van harde kustverdedigingsmaatregelen worden hier nog vermeld. Bij de analyses dienen de voor- en nadelen zorgvuldig te worden afgewogen.

voordelen harde maatregelen:

- met een goed werkend systeem is het erosieprobleem (plaatselijk) definitief opgelost;
- daarna geen buitengewone kosten meer.

nadelen harde maatregelen:

- het erosieprobleem dient volledig te worden begrepen;
- aanpassingen zijn nodig (eventueel alsnog zandsuppleties) als het ontwerp niet geheel aan de verwachtingen blijkt te voldoen;
- met een goed werkende verdedigingsmaatregel wordt er hoe dan ook zand aan het totale kuststelsel 'onthouden'; elders zullen daardoor erosieve tendensen worden ingezet of worden versterkt (bijvoorbeeld de lijzijde-erosie aan het eind van een stelsel strandhoofden);
- vreemde objecten op het strand of op de vooroever;
- vaak relatief duur (in aanleg en onderhoud);
- star; het is vaak moeilijk op een eenmaal gemaakte keuze terug te komen.

slotopmerkingen

Het zal duidelijk zijn dat, welke kustverdedigingsmaatregel uiteindelijk ook wordt gekozen, er veel afwegingen dienen te worden gemaakt. In die afwegingsprocessen is voor de POK's een belangrijke rol weggelegd. Ook hier geldt weer dat zolang de belangen van de instanties die in het POK zijn vertegenwoordigd parallel lopen (dat zal veelal het geval zijn), er vruchtbaar kan worden samengewerkt.

Gezien de 'moeilijkheidsgraad' van de problematiek van de kustverdediging, kan overigens niet worden uitgesloten dat er in sommige gevallen duidelijke verschillen van inzicht bij de partners in dat overleg zullen ontstaan over de beste manier om een erosieprobleem op te lossen. Omdat er nog geen ervaring is met het functioneren van de verschillende POK's, is het niet goed mogelijk om aan te geven hoe in conflictsituaties kan en zal worden gehandeld. Wellicht dat de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen in voorkomende gevallen een bemiddelende rol zou kunnen spelen.

BIJLAGE VII. EFFECT NIVEAU DUINVERDEDIGING OP AFSLAGHOEEVEELHEID

VII.1 Inleiding

Indien een verdedigingsconstructie in de afslagzone aanwezig is, zal er een reductie van de hoeveelheid duinafslag optreden ten opzichte van de situatie zonder de verdediging. Deze reductie neemt toe naarmate een relatief groter deel van het aangevallen duinfront wordt beschermd door een verdedigingsconstructie [WL (1987)].

In algemene termen is de verhouding tussen de verwachte afslag bij een deels verdedigd duin en die bij een onverdedigd duin, afhankelijk van de mate van de afslagreductie, welke op zich weer een functie is van de mate van bescherming. In formulevorm:

$$\frac{A_v}{A_o} = 1 - R \quad (\text{Vgl. VII.1})$$

$$R = f(B)$$

waarin:

- A_v de verwachte afslag bij een deels verdedigd duin;
- A_o de totale afslag bij een onverdedigd duin (dit is de duinafslag uit de DUROS-som, vermeerderd met de erosie onder stormvloedpeil);
- R de afslagreductie;
- B de mate van bescherming.

Een en ander is toegelicht in figuur VII.1.

VII.2 Mate van bescherming

De mate van bescherming is aangeduid met de parameter B, waarvoor geldt:

$$B = \frac{Z_{dv} - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} \quad (\text{Vgl. VII.2})$$

waarin:

- Z_{dv} het niveau van de bovenbegrenzing van de duinvoetverdediging;
- $Z_{\min}$ het niveau van de bovenbegrenzing van een niet afslagreducerende verdedigingsconstructie;
- $Z_{\max}$ het verdedigingsniveau waarboven geen afslag meer optreedt.

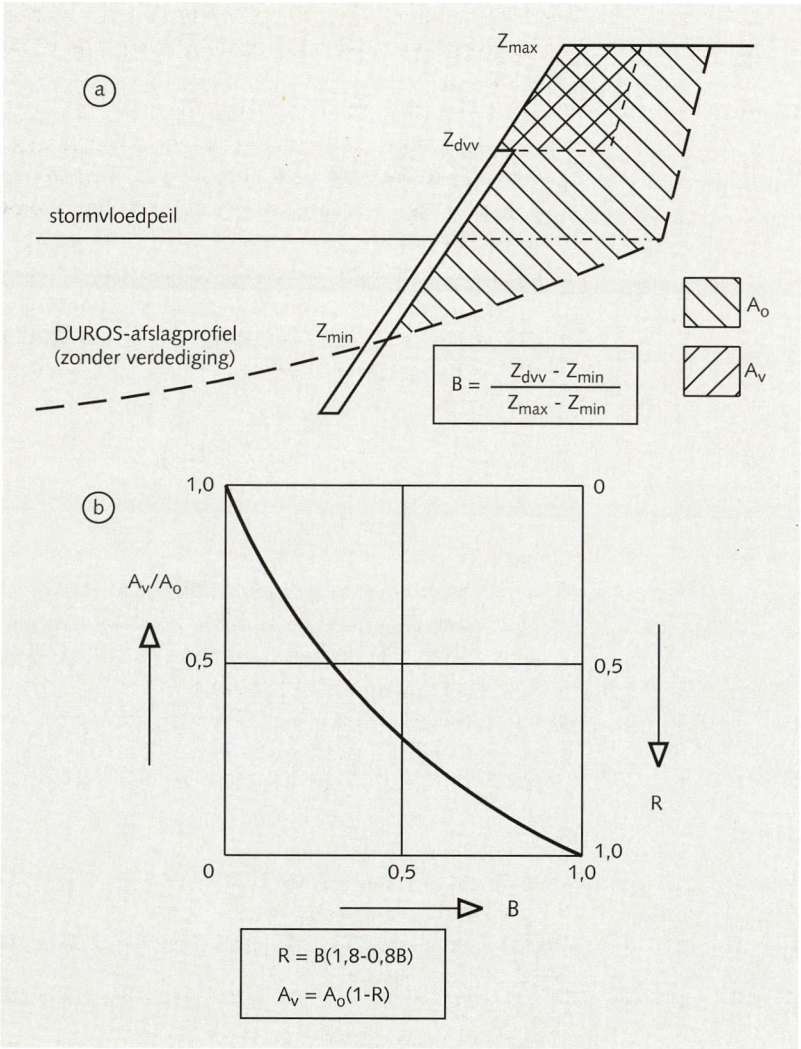


Fig. VII.1 a. positie van de verschillende niveaus in een profiel;
b. relatie tussen afslagreductie (R) en de mate van bescherming (B).

De waarde van $Z_{\min}$ wordt gevonden uit het snijpunt van het DUROS-afslagprofiel voor het onverdedigd duin en de verdedigingsconstructie (fig. VII.1-a).

De waarde van $Z_{\max}$ is afhankelijk van het niveau van de golfoploop Z_{opl} en het niveau van de duintop Z_{duin} . Er zal immers geen afslag optreden als de golven niet boven de verdediging uit komen (met andere woorden het overschrijdingspercentage van de golfoploop is voldoende klein), of als het duin volledig is verdedigd.

Voor de grootte van de golfoploop kan als indicatie de 2% overschrijdingswaarde $z_{2\%}$ worden aangehouden. Voor het niveau van de golfoploop betekent dit:

$$Z_{\text{opl}} = \text{svp} + z_{2\%} = \text{svp} + 0,7T_p\sqrt{gH_s}\tan\alpha \quad (\text{Vgl. VII.3})$$

waarin:

Z_{opl} het niveau van 2% 's golfoploop;
 svp het stormvloedpeil [m] ten opzichte van NAP;
 T_p de piekperiode [s];
 H_s de significante golfhoogte [m];
 $\tan\alpha$ de helling van het talud.

Voor $Z_{\max}$ mag als laagste niveau worden aangehouden:

$$Z_{\max} = \text{minimum}(Z_{\text{opl}}, Z_{\text{duin}})$$

Veelal zal de duinhoogte maatgevend zijn.

VII.3 Afslagreductie

De grootte van de reductie R volgt uit:

$$R = f(B) \text{ met } f(0) = 0 \text{ (onverdedigd met } B=0) \\ \text{en } f(1) = 1 \text{ (volledig verdedigd met } B = 1)$$

Het blijkt dat deze relatie op basis van de meetpunten kan worden benaderd door:

$$f(B) = -0,8B^2 + 1,8B \quad (\text{Vgl. VII.4})$$

Deze relatie is gegeven in figuur VII.1-b.

VII.4 Verwachte afslag

De verwachte afslag bij een gedeeltelijk verdedigd duin A_v volgt uit substitutie van vergelijking VII.2 en VII.3 in vergelijking VII.1:

$$\frac{A_v}{A_o} = 0,8B^2 - 1,8B + 1 \quad (\text{Vgl. VII.5})$$

BIJLAGE VIII. BEPLANTING MET HELM

Helm wordt gebruikt om verstuiving duurzaam tegen te gaan en aanstuiving te bevorderen. In Nederland worden twee soorten helm gebruikt, *Ammophila arenaria* en *Calammophila baltica* (Noordse helm). Goed aangeslagen helm stoelt uit en is in staat een groot oppervlak stuifvrij te maken en te houden (fig. VIII.1). De zandvang wordt door helm gestimuleerd en bij een gematigde zandaanvoer (ongeveer 0,2 m zandvang per jaar) is de helm in staat om met de aanwas mee te groeien. Om helm vitaal te houden is de aanvoer van vers zand een vereiste. Hierdoor ontstaat een dynamische begroeiing.

Om helm goed te laten aanslaan, moet er veel zorg worden besteed aan de voorbereiding van het te beschermen duin en aan de winning en inplant van helm.

De voorbereiding van het met helm te beschermen duin heeft tot doel de helmbeplanting beter te laten aanslaan. Om dit te verwezenlijken kan een aantal maatregelen afzonderlijk of gecombineerd worden overwogen:

- *loswoelen zandbed;*

Het loswoelen van een verdicht zandbed is noodzakelijk om de helmplanten goed te laten aanslaan. Vaak kan dit loswoelen mechanisch worden uitgevoerd. Wanneer bij het loswoelen gebruik wordt gemaakt van mechanische hulpmiddelen dient het te bewerken oppervlak daarvoor berijdbaar te zijn.

- *plaatsen rijsschermen;*

Helm is gevoelig voor te zware aanstuiving of uitstuiving. Het is daarom noodzakelijk om bij zware windaanval te zorgen voor een windvang voor de pas geplaatste helm.

- *bemesting;*

Bemesting kan een betere ontwikkeling van de planten bevorderen. Het gaat hierbij om bemesting met stikstof, fosfor en kali (NPK). Conventionele NPK-meststoffen spoelen tamelijk snel uit. Er kan worden overwogen om langzaam (9-12 maanden) werkende, duurdere meststof te gebruiken. De werking van deze meststof is afhankelijk van de temperatuur. Dit betekent dat de meststof in de winter kan worden aangebracht voor of gelijktijdig met de plantwerkzaamheden. Het wordt pas actief wanneer de bodemtemperatuur (in het voorjaar) stijgt.

- *tegengaan konijnenvraat;*

Voor jonge aanplant is konijnenvraat een probleem. Om dat te voorkomen kan worden gedacht aan rigoureuus afschot van konijnen of aan een konijnenwerende afrastering.



Fig. VIII.1 Goed aangeslagen helm.



Fig. VIII.2 Geplante helm.

Helm kan op verschillende manieren worden gewonnen en aangebracht. In dit basisrapport wordt slechts kort ingegaan op een aantal aspecten van helmbeplanting.

Voor een uitvoerige behandeling wordt verwezen naar (de conclusies van) een onderzoek dat is uitgevoerd door het Instituut voor Oecologisch Onderzoek (de afdeling duinonderzoek 'Weevers' duin') in opdracht van Rijkswaterstaat en van het Waterschap de Brielse Dijkkring. Het ging hierbij om een onderzoek ten behoeve van de beplanting van de omvangrijke duinverzwaringen op Voorne-Putten [Van der Putten & Van Gulik (1988)].

planten van helm

De uit te zetten helmplanten worden gestoken in een winvak met jong, sterk helmgras. Hiervoor is in elk geval een winvak vereist waar regelmatig verstuiwend of recent aangebracht zand aanwezig is. Een (groot) aantal helmplanten overleeft het verplanten niet. Voor een goede werking moet er dus vaak later helm worden bijgeplant.

Jonge planten zijn kwetsbaar voor uitstuiwing of verstikking. Daarom wordt de aanplant veelal gecombineerd met andere stuifbeperkende maatregelen (bijvoorbeeld stuifschermen).

Er wordt opgemerkt dat helmvegetatie beter aanslaat op steriel zand dan in het oorspronkelijke duinzand. Helm ondervindt namelijk hinder van de in het duinzand levende parasieten (van het geslacht *Heterodera* en *Meloidogyne*, cyste en wortelknobbel aaltjes).

Overwegingen:

- direct werkzame begroeiing;
- nauwelijks beperkingen door hellingen;
- onnatuurlijk kunstmatig patroon van helm (fig. VIII.2);
- relatief duur (arbeidsintensief).

zaaien van helm

Helm is schaars. Hoewel het steken van jonge helm goed is voor de vitaliteit van de plant in het winvak, is er veelal onvoldoende helm aanwezig voor de beplanting van grote oppervlakken. Daarom wordt helm ook wel gezaaid (in combinatie met stuifbeperkende maatregelen).

Helm kan worden gezaaid in de periode maart-april en augustus-september. Zaaian in het voorjaar levert de beste resultaten op. Een voorbehandeling (door middel van een vochtige koude-periode) van het



Fig. VIII.3 Gezaaide helm.



Fig. VIII.4 Stengelstukjes.

zaad verhoogt het kiempercentage aanzienlijk. De voorbehandeling is niet nodig wanneer er voor de maand maart wordt gezaaid, omdat het zaad dan op natuurlijke wijze een voorbehandeling met vochtige koude ondergaat.

Erosie of sedimentatie voordat het zaad ontkiemt, zal resulteren in een laag kiempercentage; een fixatie van het zaaibed is daarom noodzakelijk. Het ineggen van stro blijkt een goede methode te zijn om het zaaibed te fixeren (minstens één jaar effectief). Om het kiempercentage te verhogen, wordt het zaaien vaak gecombineerd met bemesting (zowel in korrelvorm als in vloeibare vorm).

Er dient te worden voorkomen dat pas ingezaaide hellingen worden betreden. Hiertoe kan voor de duinvoet een afrastering worden geplaatst.

Overwegingen:

- werkzame begroeiing op termijn;
- beperking opgelegd door hellingen (niet te steil);
- natuurlijker aanblik vanwege het minder sterk overheersend kunstmatig patroon van helm en het voorkomen van andere soorten vegetatie (fig. VIII.3);
- minder duur dan planten.

ineggen van stengelstukjes

Ineggen van stengelstukjes houdt in dat ondergrondse stengels van vitale helmplanten waarop zich slapende knoppen bevinden, worden aangebracht onder het zand. Dit blijkt een effectieve methode te zijn voor het verkrijgen van begroeiing. Het aanbrengen kan geschieden in de periode van september tot april. Het zandoppervlak moet worden gefixeerd met behulp van stro- of rietpoten. (De stengelstukjes worden onder het zand aangebracht, zodat ze vooralsnog geen stuifbeperkende functie hebben.)

Wat betreft het bewaren van de stengels tussen winning en verwerking, kan onderscheid worden gemaakt tussen een korte opslagperiode (bijvoorbeeld enkele dagen op het werk) en een lange opslagperiode. Wanneer stengels op het werk gedurende enkele dagen moeten worden bewaard, dient dit vorstvrij en bij constant lage temperaturen te gebeuren. Opslag van stengels in een kuil leidt binnen 1 tot 3 maanden tot een groot verlies aan vitaliteit. Na 3 maanden bezitten de stengels nog 20

tot 30 % van de oorspronkelijke vitaliteit [Van der Putten & Van Gulik (1988)]. Wanneer de sten-gels in een koelcel worden bewaard, zijn de verliezen wel geringer dan bij inkuilen maar de vitaliteit van de wasbare ogen is wel duidelijk lager dan van het verse materiaal. Vanwege deze verliezen is het economisch onaantrekkelijk om helm voor lange duur op te slaan.

Overwegingen:

- werkzame begroeiing op termijn;
- geen beperking opgelegd door hellingen;
- natuurlijker aanblik vanwege het minder sterk overheersend kunstmatig patroon van helm (fig. VIII.4);
- minder duur dan planten, maar duurder dan zaaien.

COLOFON

Dit basisrapport 'Zandige Kust' is in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (DWW) onder begeleiding van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW) tot stand gekomen. De Technische Universiteit Delft (faculteit der Civiele Techniek, vakgroep Waterbouwkunde) heeft voor de tekst en de figuren van dit basisrapport gezorgd.

De leidraad 'Zandige Kust' is onder eindverantwoordelijkheid van de TAW uitgegeven. Werkgroep D van de TAW heeft projectgroep D1 (opstelling leidraad 'Zandige Kust') gevraagd de concepten voor de leidraad en voor het basisrapport voor te bereiden. De projectgroep D1 was ten tijde van het uitkomen van de leidraad als volgt samengesteld:

voorzitter:	ir. H.J. Verhagen	International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering (IHE, Delft)
secretaris:	ir. H.D. Rakhorst	RWS, Dir. Noord-Holland
leden:	dr. ir. J. van de Graaff*)	Technische Universiteit Delft
	ir. J. van der Kolff	Hoogheemraadschap van Delfland
	ir. A.P. de Looff	RWS, Rijksinstituut voor Kust en Zee
	ing. A. Provoost*)	Waterschap Het Vrije van Sluis
	ing. J. Reeder	RWS, Dir. Noord-Holland (dienstkring Texel)
	dr.ir. H.J. Steetzel*)	Waterloopkundig Laboratorium (De Voorst)

Ir. S.C. van der Biezen, ir. M. Boers, ir. H.F.A. van Kampen, ir. J.R. Rundberg en ing. M.Z. Voorendt van de Technische Universiteit Delft, Vakgroep Waterbouwkunde, hebben aan het basisrapport meegewerkt.

De met *) aangeduide leden van de projectgroep vormden de zogenaamde kerngroep. Deze leden hebben de redactionele werkzaamheden van het basisrapport begeleid.

De begeleiding vanuit de opdrachtgever (Dienst Weg- en Waterbouwkunde) is verzorgd door ir. R.E. Jorissen, ir. A.W. Kraak, drs. M. Löffler en R.P. van der Laag.

Foto's zijn ter beschikking gesteld door:

- Arcadia Bloemendaal
- Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee
- Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde
- Hoogheemraadschap van Delfland
- Waterloopkundig Laboratorium (de Voorst)
- Technische Universiteit Delft
- Ir. A.P. de Looff
- Ir. W.H. van der Putten
- Dr. S.M. Arens, Universiteit van Amsterdam (omslagfoto)

Drukwerk: Drukkerij & DTP-Service Nivo, Delft.

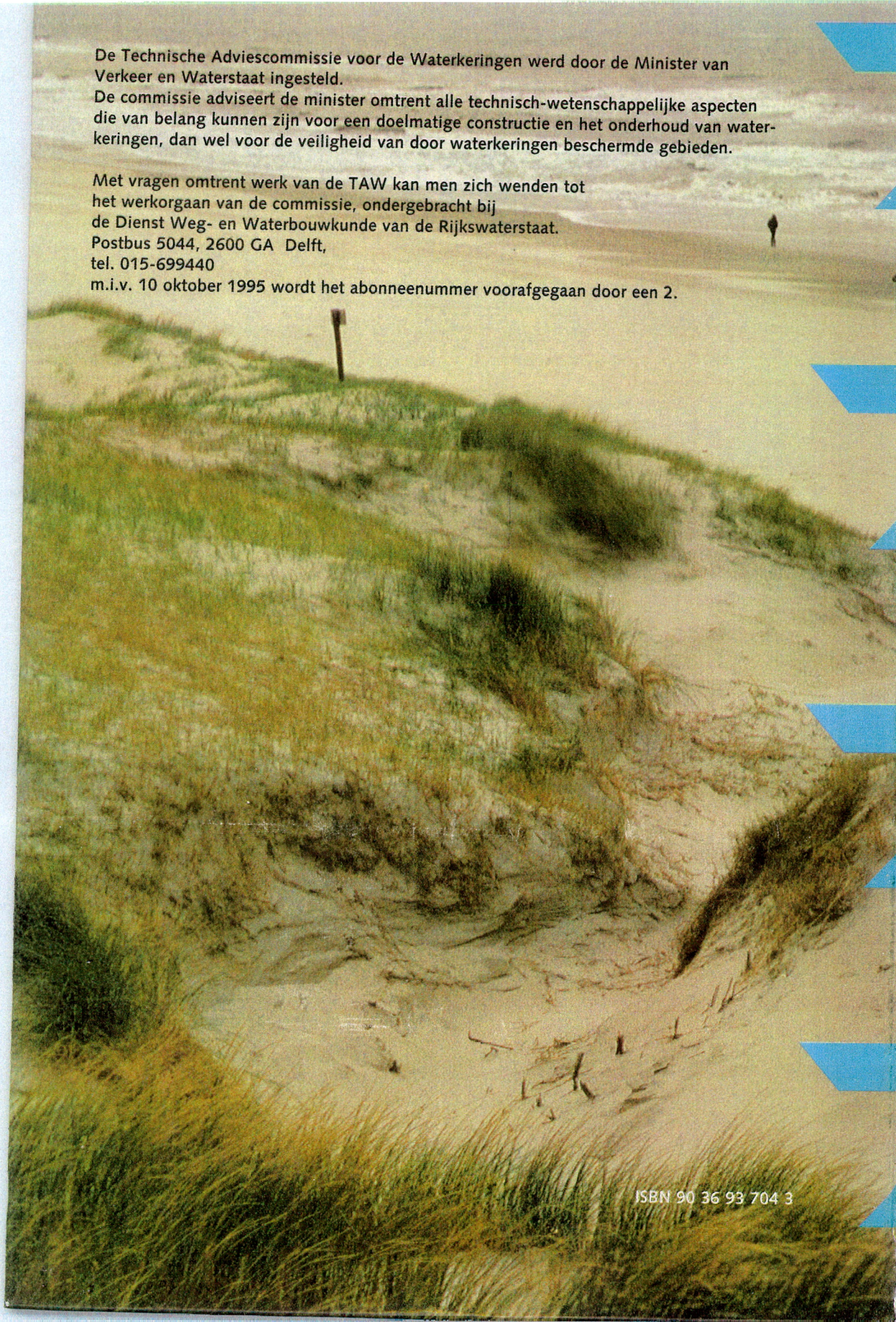
De Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen werd door de Minister van Verkeer en Waterstaat ingesteld.

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.

Met vragen omtrent werk van de TAW kan men zich wenden tot het werkorgaan van de commissie, ondergebracht bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat.

Postbus 5044, 2600 GA Delft,
tel. 015-699440

m.i.v. 10 oktober 1995 wordt het abonneenummer voorafgegaan door een 2.



ISBN 90 36 93 704 3