

Technisch Rapport Duinwaterkeringen en Hybride Keringen 2011



Titel

Technisch Rapport Duinwaterkeringen en Hybride Keringen 2011

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat Waterdienst 1206018-001

Project

Kenmerk

1206018-001-HYE-0009

Pagina's

130

Trefwoorden

Technisch Rapport, duinwaterkeringen, hybride keringen, aansluitingsconstructies, Niet waterkerende objecten

Samenvatting

Technisch Rapport voor de beoordeling van duinwaterkeringen en hybride keringen ten behoeve van het Voorschrift Toetsen op Veiligheid 2011 (VTV2011). Het rapport bevat de volgende onderdelen:

- Inleiding duinwaterkeringen en hybride keringen
- Technische richtlijnen veiligheidsbeoordeling
- Rekenregels duinafslag, erosie en overstroming
- Toetssoftware
- Bijlagen

Referenties

KPP Sterkte en Belastingen Waterkeringen

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2	jun 2012	Marien Boers		John de Ronde		Marcel van Gent	

Status

concept

Dit document is een concept en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

Inhoud

A. INLEIDING DUINWATERKERINGEN EN HYBRIDE KERINGEN	7
1 Inleiding op het TRDH2011	9
1.1 Doelstelling	9
1.2 Status	10
1.3 Mogelijkheden voor ander gebruik van het TRDH2011	11
1.4 Ontwikkelingen TRDH2011 ten opzichte van het TRDA2006	11
1.5 Beperkingen aan het gebruik van het TRDH2011	12
1.6 Leeswijzer	13
1.7 Totstandkoming	14
2 Toetssporen duinwaterkeringen en hybride keringen	15
2.1 Toetsspoor Duinwaterkeringen	15
2.2 Toetsspoor Hybride Keringen: Verdedigd Duin	16
2.3 Toetsspoor Hybride Keringen: Verdedigde Dijk	18
2.4 Toetsspoor Aansluitingsconstructies Duinwaterkeringen en Hybride Keringen	19
2.5 NWO's in toetssporen	20
3 Veiligheidsnorm Duinen en Hybride Keringen	21
3.1 Wetgeving betreffende de veiligheidsnorm van primaire waterkeringen	21
3.2 Vertaling wettelijke norm	21
B. TECHNISCHE RICHTLIJNEN VEILIGHEIDSBEOORDELING	25
4 Richtlijn vastlegging waterkeringgegevens	27
4.1 Beschrijving waterkeringgegevens	27
4.2 Juridische waterkeringgegevens	27
4.3 Hydraulische randvoorwaarden	27
4.4 Waterkeringgegevens van de zachte kering	27
4.5 Waterkeringgegevens van de harde waterkeringsconstructies	28
4.6 Waterkeringgegevens NWO's	28
5 Richtlijn bepaling beoordelingstrajecten	29
5.1 Digitale rapportage toetsresultaten	29
5.2 Beoordelingstraject voor duinwaterkering en verdedigd duin	29
5.3 Beoordelingstraject voor verdedigde dijk	31
5.4 Beoordelingstraject aansluitingsconstructie	31
6 Richtlijn bepaling landwaartse grens toegestane afslagzone	33
6.1 Doelstelling van de landwaartse grens toegestane afslagzone	33
6.2 Bepaling aaneensluitend grensprofiel	33
6.2.1 Doelstelling grensprofiel	33
6.2.2 Bepaling grensprofiel	34
6.2.3 Bijzondere situaties	35
7 Richtlijn berekening duinafslag, erosie en overstroming	37
7.1 Duinafslag, erosie en overstromingsprocessen	37
7.2 Rekenregels voor duinwaterkeringen	43
7.3 Rekenregels voor hybride keringen	44

7.3.1	Duinafslag en erosie voor de waterkeringsconstructie	44
7.3.2	Standvastheid harde waterkeringsconstructie	44
7.3.3	Duinafslag verdedigd duin	45
7.4	Aansluitingsconstructies	45
7.5	Toets op maat	46
8	Richtlijn beoordeling veiligheid	47
8.1	Beoordeling veiligheid duinwaterkering	47
8.1.1	Beoordeling met het R – t diagram in de detailtoets	47
8.1.2	Bepaling van het maatgevend afslagpunt	47
8.1.3	Bepaling van de maatgevende afslag- en overstromingslijn	49
8.2	Beoordeling hybride keringen	49
8.2.1	Beoordeling verdedigd duin	49
8.2.2	Beoordeling verdedigde dijk	50
9	Richtlijn beoordeling Niet Waterkerende Objecten	51
9.1	NWO's in duinwaterkeringen en hybride keringen	51
9.2	Typen NWO's	51
9.2.1	Begroeiing	51
9.2.2	Wegen	51
9.2.3	Kabels en leidingen	51
9.2.4	Bebouwing	52
9.2.5	Harde constructies	52
9.3	Invloed van NWO's op duinerosie	52
9.4	Beoordeling NWO's in duinen	53
9.4.1	Richtlijn voor de beoordeling NWO's in het aaneensluitend grensprofiel	53
9.4.2	Richtlijn voor de beoordeling NWO's in de afslagzone	53
9.4.3	Toetsregel NWO's Categorie 2	55
C.	REKENREGELS DUINAFSLAG, EROSIE EN OVERSTROMING	57
10	Detailtoets voor duinwaterkeringen	59
10.1	Beschrijving Detailtoets	59
10.2	Morfologisch afslagmodel	60
10.2.1	Uitgangspunten van het afslagmodel	60
10.2.2	Morfologisch afslagmodel DUROS+	62
10.2.3	Morfologisch afslagmodel D++	63
10.3	Toetsmodel voor duinwaterkeringen met bijbehorende randvoorwaarden	65
10.3.1	Beschrijving toetsmodel	65
10.3.2	Toetsmodel DUROS+	66
10.3.3	Toetsmodel D++	66
10.4	Detailtoets met JARKUS – profielen	67
10.4.1	Rekenen met JARKUS – profielen	67
10.4.2	Te korte JARKUS – profielen	67
10.4.3	Zwakke plekken tussen JARKUS – raaien	67
10.4.4	Scheve JARKUS – raaien	68
10.4.5	JARKUS – raaien en een gekromde kust	69
11	Specifieke situaties voor duinwaterkeringen	71
11.1	Overzicht van morfologische situaties zandige kust	71
11.2	Banken en zandplaten	71

11.3 Dubbele duinen	74
11.4 Lage duinen	76
11.5 Geulen met steile taluds	77
11.6 Niet uniforme kust	79
12 Toets op maat	83
12.1 Aanleiding voor een toets op maat	83
12.2 Instrumenten voor een toets op maat	83
12.2.1 Overzicht potentiële afslagmodellen	83
12.2.2 Toets op maat op basis van DUROS+ of D++	83
12.2.3 DUROSTA – model	84
12.2.4 XBeach – model	85
12.3 Hydraulische randvoorwaarden bij een toets op maat	86
12.3.1 Inleiding	86
12.3.2 Probabilistische aanpak	86
12.3.3 Afgeleide hydraulische randvoorwaarden	87
D. TOETSSOFTWARE	89
13 MorphAn	91
13.1 Achtergrond	91
13.2 Functionaliteit toets veiligheid	91
E. BIJLAGEN	93
14 Literatuur	95
15 Symbolen	99
16 Definities	101
17 Korreldiameters volgens de TRDA2006	103
18 Voorbeelden afslagberekeningen DUROS+ en D++	109
19 Duinafslag boven een verdedigd duin	113
20 Extra afslag bij aansluitingsconstructies volgens VTV2006	115
20.1 Inleiding	115
20.2 Beschrijving typen aansluitingsconstructies	115
20.3 Faalmechanismen aansluitingsconstructies	117
20.4 Belastingen aansluitingsconstructies	122
20.5 Sterkte aansluitingsconstructies	123
20.6 Beoordeling aansluitingsconstructies tussen duinen en dijken/dammen	123
21 Voorbeelden toetsen specifieke situaties	133
21.1 Inleiding	133
21.2 Voorbeeld toetsspoor hybride kering: verdedigd duin	133
21.3 Voorbeeld eilandkop	134
21.4 Voorbeeld dubbel duin	135

A. INLEIDING DUINWATERKERINGEN EN HYBRIDE KERINGEN

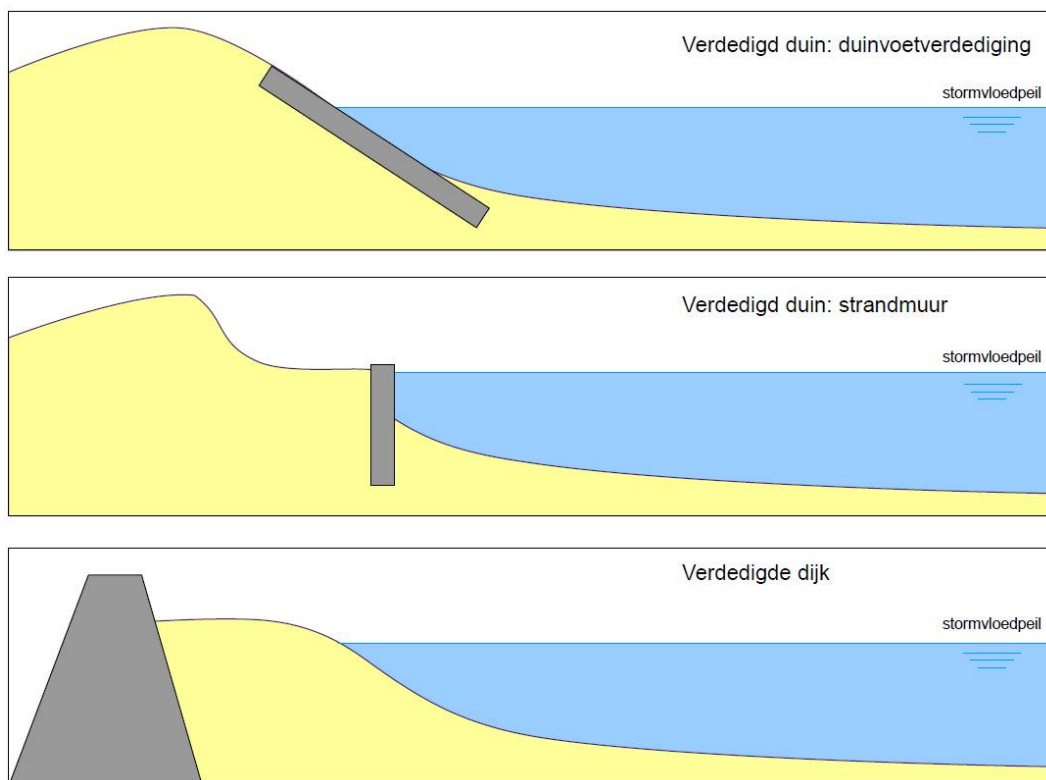
1 Inleiding op het TRDH2011

1.1 Doelstelling

Het Technisch Rapport Duinwaterkeringen en Hybride Keringen 2011 (in het vervolg aangeduid als TRDH2011) is bedoeld voor de wettelijke beoordeling van de veiligheid van duinwaterkeringen en hybride keringen langs de Noordzee, en in de monding van een aantal havens en estuaria. Hieronder vallen ook aansluitingsconstructies waarbij minimaal één van de aansluitende waterkeringen van het type duinwaterkering of hybride kering is.

Duinwaterkeringen

Een kenmerkende eigenschap van duinwaterkeringen is dat tijdens storm een groot deel van het duin mag afslaan. Het afgeslagen zand wordt gewoonlijk op het strand en de vooroever afgezet, en zorgt daarmee voor een afname van de golfaanval op het achterliggend duin. Hierdoor wordt de duinerosie gedurende het verdere verloop van de storm steeds verder vertraagd.



Figuur 1.1 Voorbeelden van een Hybride kering

Hybride keringen

Hybride keringen worden gekenmerkt als een type waterkering waarbij bescherming wordt geboden door een combinatie van een zandig duin met een hard waterkerend element. Hierbij kan worden gedacht aan een duinvoetverdediging, strandmuur of een dijk [Figuur 1.1]. Hybride keringen hebben recent veel aandacht gekregen door de Zwakke Schakels, maar komen reeds langer voor, vooral in Zeeland en Zuid-Holland. Hierbij is op een aantal locaties een duin of een zeedijk veranderd in een hybride kering. Binnen het type hybride

waterkeringen onderscheiden we twee subtypen waarvoor afzonderlijke toetssporen worden ontwikkeld:

- Het type Hybride Keringen: Verdedigd Duin betreft duinwaterkeringen met voorliggende harde waterkeringsconstructies zoals een duinvoetverdediging of een strandmuur.
- Het type Hybride Keringen: Verdedigde Dijk betreft een dijklichaam dat tegen golfaanval en golfoverslag wordt beschermd door een voorliggend duin.

Aansluitingsconstructies

De definitie van aansluitingsconstructies betreft overgangen tussen twee verschillende typen waterkeringen in langsrichting. Voor de Nederlandse kust betreft dit duinwaterkeringen, hybride keringen en zeedijken. Bij de beoordeling van de aansluitingsconstructie dient rekening te worden gehouden met een wederzijdse negatieve beïnvloeding van de aansluitende waterkeringen.

Het TRDH2011 beschrijft de toe te passen toetssporen voor deze typen waterkeringen en geeft technische rekenregels om het erosiegedrag tijdens storm van duinwaterkeringen en hybride keringen te bepalen. De sterkte van harde waterkeringsconstructies, die onderdeel zijn van hybride keringen en aansluitingsconstructies, valt buiten de doelstelling van het TRDH2011.

Niet Waterkerende Objecten

Het TRDH2011 geeft richtlijnen voor de beoordeling van Niet Waterkerende Objecten (in het vervolg aangeduid als NWO's) in duinwaterkeringen en hybride keringen.

1.2 Status

Volgens de Waterwet dient de veiligheid van de primaire waterkeringen periodiek te worden beoordeeld. De Minister van Infrastructuur en Milieu vaardigt voor deze beoordeling Voorschriften voor het Toetsen van Veiligheid (in het vervolg aangeduid als VTV*jaarta*) en bijbehorende Hydraulische Randvoorwaarden (in het vervolg aangeduid als HR*jaarta*) uit [Ministerie van Infrastructuur en Milieu (A, B)]. Deze voorschriften verwijzen naar zogenaamde technische rapporten waarin de technische beoordeling op type waterkeringen en/of type faalmechanismen wordt beschreven. Het Toetsvoorschrift Duinwaterkeringen en Hybride Keringen heeft betrekking op het toetsen van duinwaterkeringen en hybride keringen langs de Nederlandse kust.

Het toetsen van primaire waterkeringen kent drie niveaus:

- Het VTV2011 bevat voor sommige typen waterkeringen een eenvoudige toets waarmee snel en eenvoudig de veiligheid kan worden beoordeeld. Voor duinwaterkeringen en hybride keringen bestaat een dergelijke toets niet.
- Indien een primaire waterkering niet met een eenvoudige toets kan worden beoordeeld, schrijft het VTV2011 een zogenaamde detailtoets voor. Dergelijke detailtoetsen worden beschreven in afzonderlijke technische rapporten. Dit TRDH2011 is hier één van. Er is alleen voor duinwaterkeringen is een detailtoets beschikbaar [hoofdstuk 10].
- Een technisch rapport geeft voor specifieke situaties uitsluitend of een detailtoets toepasbaar is voor de beoordeling van de primaire waterkering. Indien dit niet het geval is, dient de waterkeringbeheerder onder eigen verantwoordelijkheid een toets op maat uit te voeren. Dit is altijd het geval voor hybride keringen en aansluitingsconstructies. Voor duinwaterkeringen geeft het TRDH2011 een afwegingskader. Het TRDH2011 bevat handvatten voor de uitvoering van een toets op maat.

Bij de uitvoering van de detailtoets voor duinwaterkeringen dient gebruik te worden gemaakt van de toetssoftware MorphAn. Deze toetssoftware wordt door Rijkswaterstaat aan de waterkeringbeheerders gratis ter beschikking gesteld. Het is vereist dat de rekenregels in MorphAn in overeenstemming zijn met de detailtoets zoals die in het TRDH2011 worden beschreven. Daarom is het TRDH2011 een brondocument voor de toetssoftware MorphAn.

Het TRDH2011 maakt gebruik van de Hydraulische Randvoorwaarden uit de HR2011. Het betreft de hydraulische randvoorwaarden voor de detailtoets ten behoeve van de beoordeling van duinwaterkeringen. Voor de vijf Waddeneilanden Texel, Vlieland, Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog zijn de Hydraulische Randvoorwaarden aangepast ten opzichte van de HR2006 [Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007B)]. Voor de overige delen van Holland en Zeeland zijn de Hydraulische Randvoorwaarden ongewijzigd.

Met het vaststellen van het TRDH2011 is het Technisch Rapport Duinafslag 2006 (TRDA2006) niet langer van kracht voor het beoordelen van de veiligheid van duinwaterkeringen [Expertise Netwerk Waterkeringen (2007)].

Indien er onduidelijkheid bestaat over het TRDH2011, dient de waterkeringbeheerder contact op te nemen met de Helpdesk Water.

1.3 Mogelijkheden voor ander gebruik van het TRDH2011

Het TRDH2011 is in beginsel bedoeld voor het beoordelen van de veiligheid van duinwaterkeringen en hybride keringen volgens de Waterwet. De inhoud van het rapport kan daarnaast van nut zijn voor andere vormen van beheer, zoals:

- het opstellen van leggers
- het ontwerpen of versterken van waterkeringen
- het bepalen van risico's in buitendijkse gebieden
- het opstellen van evacuatieplannen

1.4 Ontwikkelingen TRDH2011 ten opzichte van het TRDA2006

In 2007 is het TRDA2006 vastgesteld. Hierin is beschreven dat het een interim-rapport betreft:

Om het TRDA2006 te kunnen opstellen is er een weliswaar omvangrijk, maar toch nog niet volledig onderzoek uitgevoerd. Eén en ander heeft er in geresulteerd dat in hoge mate diende te worden voortgeborduurd op de TAW Leidraad Duinafslag van 1984. Dat betekent dat er niet kan worden verwacht dat het TRDA2006 een lange geldigheidsduur zal hebben. Naar verwachting zal er in 2011 een Technisch Rapport Duinafslag worden uitgegeven dat wel gedurende een langere tijd kan worden gebruikt als handreiking. Het TRDA2006 kan dus beschouwd worden als een interim-rapport.

Ten opzichte van het TRDA2006 laat het TRDH2011 een groot aantal ontwikkelingen zien. De belangrijkste ontwikkelingen zijn:

- Er is in het TRDH2011 een nieuwe detailtoets D++ ontwikkeld, waarmee het mogelijk is om gebruik te maken van hydraulische randvoorwaarden op ondiep water. Deze mogelijkheid geldt in 2011 alleen voor de vijf Waddeneilanden [paragraaf 1.2]. Overigens was voor het Deltagebied de invloed van golfdissipatie door breking op de Voordelta reeds verdisconteerd in de HR2006.

- Het TRDH2011 bevat toetssporen voor duinwaterkeringen, hybride keringen, aansluitingsconstructies en Niet Waterkerende Objecten (NWO's). Dit resulteert in richtlijnen voor de beoordeling van dergelijke situaties met behulp van de detailtoets of een toets op maat.
- In het TRDA2006 zijn beknopte richtlijnen gegeven voor de beoordeling van een waterkeringstraject tussen twee JARKUS – raaien. Dit is in het TRDH2011 verder ontwikkeld, met specifieke aandacht voor achterloopsheid.
- Het TRDH2011 bevat nieuwe richtlijnen voor de beoordeling van de veiligheid van hybride keringen. Het betreft twee typen hybride keringen, namelijk een verdedigd duin, waarbij een harde waterkeringsconstructie als een strandmuur of duinvoetverdediging het achterliggend duin beschermt, en een verdedigde dijk, waarbij een zandlichaam voor een dijk bescherming biedt tegen golfaanval.
- Het TRDH2011 bevat een nieuwe richtlijn voor de beoordeling van NWO's in duinen. Het betreft een eenvoudige toets, waarmee het aantal te toetsen objecten wordt gereduceerd. Voor de overgebleven objecten is een toets op maat nodig.
- De rekenregels voor aansluitingsconstructies die voorheen waren ondergebracht in het VTV2006 zijn als bijlage opgenomen in het TRDH2011 [Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007A)]. Ze kunnen bij een toets op maat worden toegepast.

1.5 Beperkingen aan het gebruik van het TRDH2011

Het gebruik van het TRDH2011 kent een aantal beperkingen. Deze beperkingen komen voort uit gebrek aan juiste gegevens en/of kennishiaten.

De beperkingen die voorkomen uit gebrek aan juiste gegevens zijn de volgende:

- Het gebruik van de HR2011 levert de volgende beperking op. Met het gereed komen van de detailtoets D++ dient de waterkeringbeheerder gebruik te maken van golfrandvoorwaarden op ondiep water bij de beoordeling van duinwaterkeringen op Waddeneilanden. Voor Holland (exclusief Texel) en Zeeland is dit nog niet mogelijk. Hier dient gebruik te worden gemaakt van golfrandvoorwaarden op diep water met de detailtoets DUROS+.
- Hybride waterkeringen en aansluitingsconstructies kunnen alleen als een toets op maat worden beoordeeld.
- Het TRDH2011 bevat (opnieuw) de korreldiameters voor duinzand, zoals die zijn opgenomen in het TRDA2006. Deze korreldiameters zijn behalve enkele uitzonderingen bepaald in 1982 [Rijkswaterstaat (1984)]. Sindsdien zijn er veel morfologische veranderingen opgetreden als gevolg van natuurlijke processen, kustlijnverzorging of versterkingsmaatregelen.

De beperkingen die voortkomen uit kennishiaten zijn de volgende:

- De detailtoets is gebaseerd op een empirisch afslagmodel dat een paraboolvormig afslagprofiel berekent na afloop van een storm. Het model is in beginsel afgeleid voor loodrecht invallende golven voor een "gemiddeld" Nederlands profiel. Het model is niet bedoeld voor het berekenen van afslagprofielen tijdens storm, ontgrondingskuilen voor harde waterkeringsconstructies en complexe situaties, zoals eilandkoppen, dubbele duinen met achterloopsheid, niet – waterkerende objecten en aansluitingsconstructies. Naar schatting betreft dit ongeveer 40% van de te beoordelen duinwaterkeringen en hybride keringen.
- Voor situaties waarvoor de detailtoets niet representatief is, dient de waterkeringbeheerder een toets op maat uit te voeren. In veel gevallen ligt het gebruik van een procesgebaseerd afslagmodel het meest voor de hand. Een dergelijk model

berekent de sedimenttransporten tijdens storm onder invloed van stroming en golven. Deze sedimenttransporten worden vervolgens gebruikt om de veranderingen van de bodem te berekenen. Er bestaat bij de vaststelling van het TRDH2011 echter nog geen generiek procesgebaseerd afslagmodel dat voor elke situatie langs de Nederlandse kust een betrouwbaar resultaat geeft. Daarom dient voor elke situatie afzonderlijk te worden bepaald welke aanpak het meest betrouwbaar is om tot een veiligheidsoordeel te komen.

- Voor de beoordeling van de veiligheid van duinwaterkeringen, hybride keringen en aansluitingsconstructies, wordt getoetst of deze waterkeringen voldoen aan de wettelijke norm. Voor de detailtoets en de bijbehorende HR2011 is een zogenaamd probabilistisch model ontwikkeld. Voor een toets op maat met een procesgebaseerd model is nog geen bijbehorend probabilistisch model beschikbaar. De benodigde hydraulische randvoorwaarden voor een toets op maat kunnen daarom slechts bij benadering worden afgeleid.
- Voor de uitvoering van een toets op maat voor NWO's bestaan nu nog onvoldoende betrouwbare rekentechnieken.

1.6 Leeswijzer

Het TRDH2011 bestaat uit een aantal delen:

- **A. Inleiding duinwaterkeringen en hybride keringen.** Dit deel bevat de volgende hoofdstukken die gezamenlijk een inleiding vormen op de veiligheidsbeoordeling van duinwaterkeringen en hybride keringen:
 - Hoofdstuk 1 (het huidige hoofdstuk) vormt een inleidend hoofdstuk op het TRDH2011.
 - Hoofdstuk 2 beschrijft de toetssporen voor duinwaterkeringen, hybride keringen en aansluitingsconstructies. Er wordt ook beschreven hoe NWO's in toetssporen worden inbegrepen.
 - Hoofdstuk 3 beschrijft de veiligheidsnormering voor dijkkringgebieden met duinwaterkeringen en hybride keringen.
- **B. Technische richtlijnen veiligheidsbeoordeling.** Dit deel geeft de technische richtlijnen voor de manier waarop de toetssporen uit hoofdstuk 2 dienen te worden opgevolgd. Het deel bevat de volgende hoofdstukken:
 - Hoofdstuk 4 bevat richtlijnen voor het vastleggen van gegevens over de waterkering.
 - Hoofdstuk 5 bevat richtlijnen voor het vaststellen van beoordelingstrajecten voor het veiligheidsoordeel. Het betreft hierbij duinwaterkeringen, hybride keringen en aansluitingsconstructies.
 - Hoofdstuk 6 bevat richtlijnen om de landwaartse grens van de toegestane afslagzone vast te stellen voor een duinwaterkering of een verdedigd duin.
 - Hoofdstuk 7 bevat de richtlijnen voor de berekening van duinafslag, erosie en overstroming van een duinvallei met een detailtoets of een toets op maat.
 - Hoofdstuk 8 bevat de richtlijnen voor de beoordeling van de veiligheid.
 - Hoofdstuk 9 geeft richtlijnen voor de beoordeling van Niet Waterkerende Objecten.
- **C. Rekenregels duinafslag, erosie en overstroming.** Dit deel beschrijft de modellen om duinafslag, erosie rond harde objecten en overstroming van een duinvallei te bepalen. Het is daarmee een uitwerking van de richtlijnen om de duinafslag, erosie en overstroming te beschrijven [Hoofdstuk 7]. Het gaat hierbij om de volgende hoofdstukken:
 - Hoofdstuk 10 beschrijft de detailtoets. Hierbij wordt ook beschreven hoe er dient te worden omgegaan met toetsen op JARKUS – raaien.

- Hoofdstuk 11 geeft richtlijnen voor het berekenen van duinafslag en overstroming voor een aantal specifieke situaties van duinwaterkeringen.
- Hoofdstuk 12 beschrijft de mogelijkheden van een toets op maat met procesgebaseerde morfologische modellen.
- **D. Toetssoftware.** Dit deel bevat één hoofdstuk:
 - Hoofdstuk 13 geeft een beschrijving van de toetssoftware MorphAn, met daarin de functionaliteit en de ondersteuning bij het gebruik.
- **E. Bijlagen.** Dit deel bevat de volgende hoofdstukken:
 - Hoofdstuk 14 bevat een lijst met de gebruikte literatuur.
 - Hoofdstuk 15 geeft een overzicht van de gebruikte symbolen.
 - Hoofdstuk 16 geeft definities van een aantal gehanteerde begrippen.
 - Hoofdstuk 17 geeft de korreldiameters voor het toetsen van de duinwaterkeringen en hybride keringen langs de Nederlandse kust.
 - Hoofdstuk 18 geeft voorbeelden van afslagberekeningen met de detailtoets, waarbij wordt gevarieerd met verschillende invoerparameters.
 - Hoofdstuk 19 beschrijft de methode om duinafslag boven een duinvoetverdediging te berekenen met de methode uit het Basisrapport Zandige Kust.
 - Hoofdstuk 20 beschrijft de toetsmethode voor aansluitingsconstructies volgens het VTV2006.
 - Hoofdstuk 21 bevat een aantal voorbeelden voor het toetsen van specifieke situaties.

1.7 Totstandkoming

Zowel het TRDA2006 als het TRDH2011 zijn tot stand gekomen binnen het programma Sterkte en Belastingen Waterkeringen (SBW). Binnen dit programma wordt gewerkt aan kennisontwikkeling voor duinen en dijken ten behoeve van nieuwe toetsregels en hydraulische randvoorwaarden. Voor dit programma draagt Rijkswaterstaat de eindverantwoordelijkheid. De uitvoering van het programma is opgedragen aan Deltares.

Het TRDH2011 is tot stand gekomen binnen het project SBWDuinen. Het projectteam bestond uit de volgende personen (in alfabetische volgorde):

- Dr. ir. M. Boers
- Dr. ir. F.L.M. Diermanse
- Dr. ir. A. R. van Dongeren
- Ir. P.F.C. van Geer
- Dr. ir. M.R.A. van Gent
- Ir. C. den Heijer
- Ir. B.M. Hoonhout
- Ir. B.J.A. Huisman
- Dr. ir. J.S.M. van Thiel de Vries
- Ir. D.J.R. Walstra

De begeleiding van het project vanuit Rijkswaterstaat is uitgevoerd door ir. A. Prakken.

Het TRDH2011 is geschreven door dr. ir. M. Boers. De interne beoordeling is uitgevoerd door ir. J.G. de Ronde.

2 Toetssporen duinwaterkeringen en hybride keringen

2.1 Toetsspoor Duinwaterkeringen

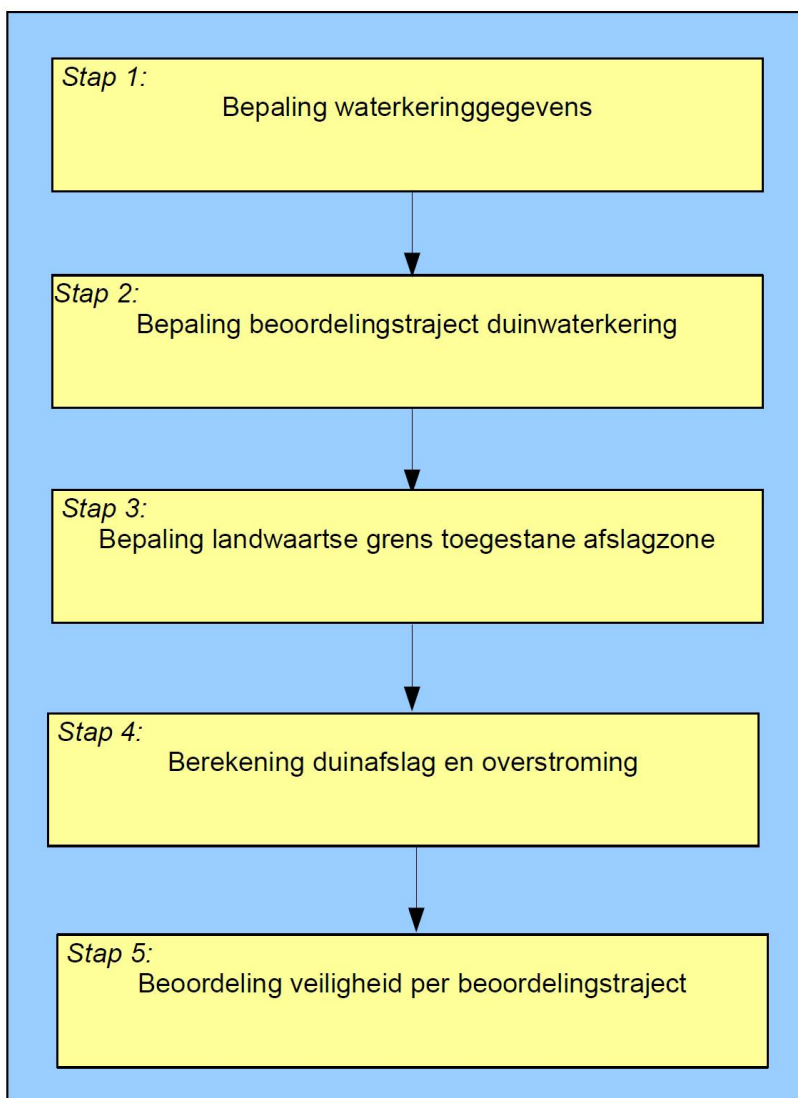
Het Toetsspoor Duinwaterkeringen is weergegeven in Figuur 2.1 en bevat vijf stappen.

Stap 1: Bepaling waterkeringgegevens

De waterkeringbeheerder verkrijgt de informatie over de waterkering betreffende de fysische gesteldheid en de juridische grenzen volgens de legger [hoofdstuk 4].

Stap 2: Bepaling beoordelingstraject duinwaterkering

De duinwaterkering wordt opgedeeld in een serie beoordelingstrajecten langs de dijkkringlijn. Per beoordelingstraject wordt een veiligheidsoordeel afgegeven conform de algemene voorschriften voor toetsrapportages [hoofdstuk 5].



Figuur 2.1 Toetsspoor Duinwaterkeringen

Stap 3: Bepaling landwaartse grens toegestane afslagzone

De waterkeringbeheerder legt in een kaart de landwaartse grens van de toegestane afslagzone vast. Zoals de naam aangeeft mag zeewaarts van deze grens onder normatieve omstandigheden afslag en overstroming worden verwacht [hoofdstuk 6].

Stap 4: Berekening duinafslag en overstroming

Met behulp van rekentechnieken wordt berekend welke duinafslag of overstroming kan worden verwacht bij normatieve omstandigheden [hoofdstuk 7]:

- Er is sprake van een afslaglijn als de duinafslag beperkt blijft tot de zeereep, dat wil zeggen tot de eerste duinregel in het waterstaatswerk.
- Als de zeereep doorbreekt, treedt er overstroming op van de achterliggende duinvallei. Door achterloopsheid kan een overstroming optreden achter dat deel van de zeereep waar nog geen sprake is van een doorbraak. De rand van de overstroomde duinvallei noemen we overstromingslijn.
- Na een doorbraak van de zeereep kan een deel van de binnenduinen blootstaan aan golfaanval, met opnieuw duinafslag als gevolg. In dat geval ontstaat er opnieuw een afslaglijn.

Stap 5: Beoordeling veiligheid per beoordelingstraject

Er wordt gecontroleerd of de maatgevende afslag- en overstromingslijn de landwaartse grens van de toegestane afslagzone niet overschrijdt. Uit deze vergelijking volgt de beoordeling van de veiligheid [hoofdstuk 8].

2.2 Toetsspoor Hybride Keringen: Verdedigd Duin

Het Toetsspoor Hybride Keringen: Verdedigd Duin is weergegeven in Figuur 2.2. Dit toetsspoor volgt een vergelijkbare procedure als het Toetsspoor Duinwaterkeringen.

Stap 1: Bepaling waterkeringgegevens

Behalve de gegevens betreffende het duin, zoals beschreven in Stap 1 van het Toetsspoor Duinwaterkeringen, dient de beheerder ook de gegevens over de harde waterkeringsconstructie te verkrijgen [hoofdstuk 4].

Stap 2: Bepaling beoordelingstraject verdedigd duin

De bepaling van het beoordelingstraject is identiek aan Stap 2 van het Toetsspoor Duinwaterkeringen [hoofdstuk 5].

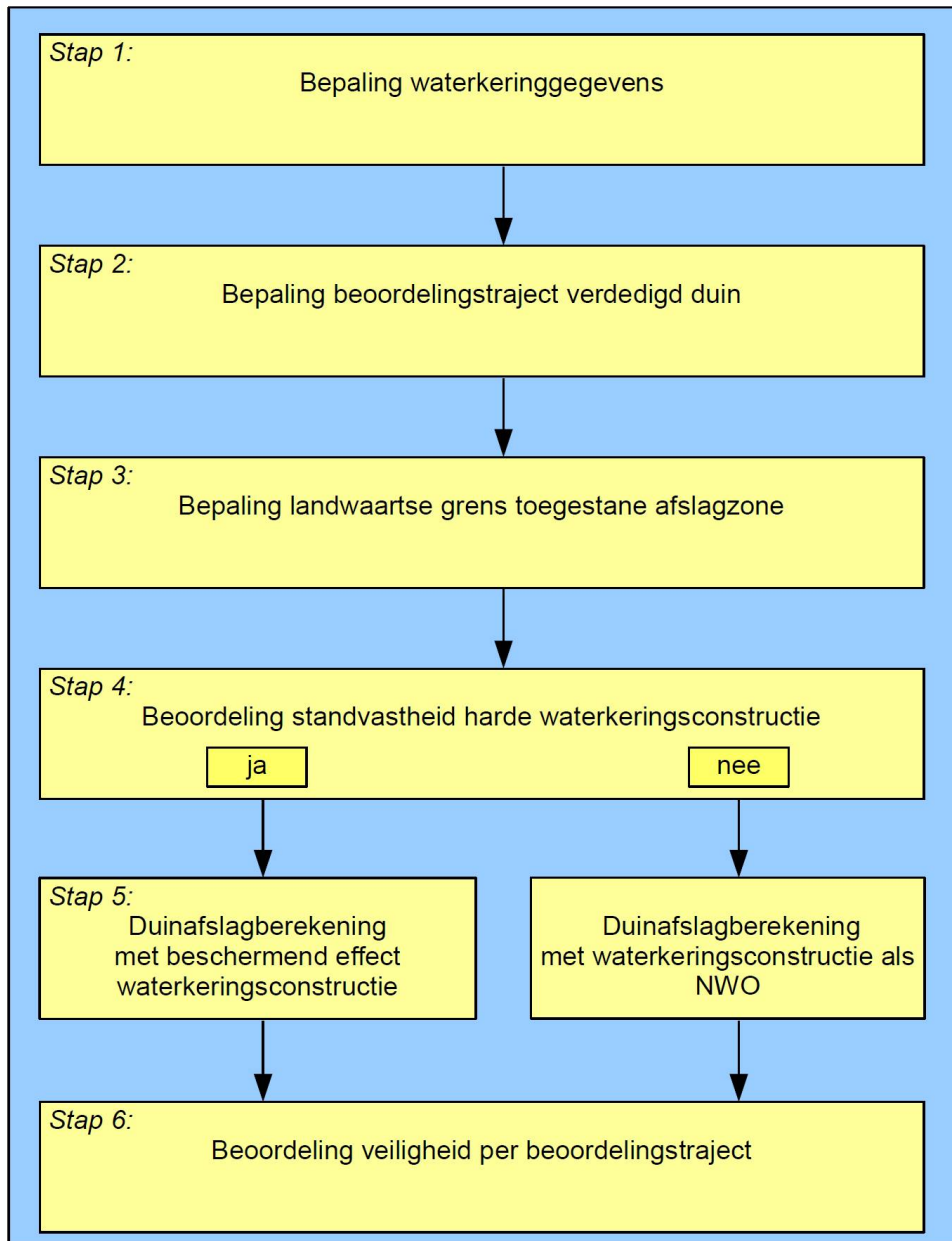
Stap 3: Bepaling landwaartse grens toegestane afslagzone

De bepaling van de landwaartse grens van het verdedigd duin is identiek aan Stap 3 van het Toetsspoor Duinwaterkeringen en wordt eveneens beschreven in hoofdstuk 6. Het is van belang dat tussen deze grens en de harde waterkeringsconstructie nog enige ruimte aanwezig is waar afslag kan optreden. Als dit niet mogelijk blijkt omdat er bijvoorbeeld onvoldoende ruimte in de legger aanwezig is, kan niet met het Toetsspoor Hybride Kering: Verdedigd Duin worden getoetst. In dat geval zijn er twee mogelijkheden om het toetsproces te vervolgen:

- De harde waterkerende constructie wordt bestempeld als “dijk”, en de toets wordt uitgevoerd met het Toetsspoor Hybride Keringen: Verdedigde Dijk.
- De landwaartse grens van de toegestane afslagzone komt zeewaarts van de harde waterkeringsconstructie en de toets wordt uitgevoerd met het Toetsspoor Duinwaterkeringen.

Stap 4: Beoordeling standvastheid harde waterkeringsconstructie

De harde waterkeringsconstructie dient te worden getoetst met de toetsvoorschriften die zijn opgesteld voor dijken en bekledingen. Deze toetsvoorschriften worden in het TRDH2011 niet behandeld. Op grond hiervan dient te worden nagegaan of de constructie standvast is onder maatgevende omstandigheden, of dat deze constructie geheel of gedeeltelijk bezwijkt.



Figuur 2.2 Toetsspoor Hybride Keringen: Verdedigd Duin

Stap 5: Duinafslagberekening

Na de toets van de harde waterkeringsconstructie volgt de berekening van de hoeveelheid duinafslag die eventueel van het verdedigd duin afslaat. Het resultaat uit Stap 4 wordt als volgt meegenomen:

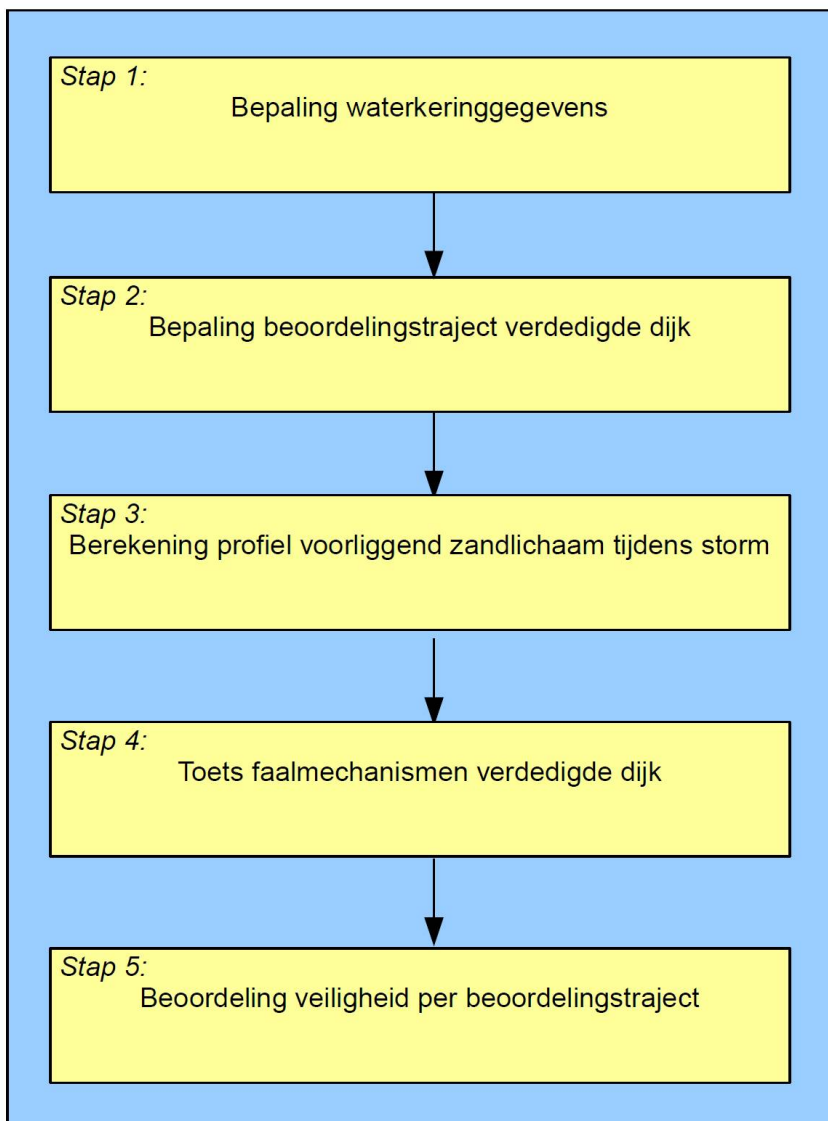
- De harde waterkeringsconstructie bezwijkt niet. In dit geval wordt het beschermend effect van de waterkeringsconstructie meegenomen in de duinafslagberekeningen [hoofdstuk 7].
- De harde waterkeringsconstructie bezwijkt geheel of gedeeltelijk. In dit geval dient de waterkering te worden beoordeeld als een duinwaterkering met een NWO [paragraaf 2.5].

Stap 6: Beoordeling veiligheid per beoordelingstraject

De beoordeling veiligheid per beoordelingstraject is identiek aan Stap 5 van het Toetsspoor Duinwaterkeringen hoofdstuk 8.

2.3 Toetsspoor Hybride Keringen: Verdedigde Dijk

Het Toetsspoor Hybride Keringen: Verdedigde Dijk is weergegeven in Figuur 2.3. In tegenstelling tot een (verdedigde) duinwaterkering is er bij een verdedigde dijk geen landwaartse grens als norm voor de duinafslag.



Figuur 2.3 Toetsspoor Hybride Keringen: Verdedigde dijk

Stap 1: Bepaling waterkeringgegevens

Deze stap is identiek aan Stap 1 van het Toetsspoor Hybride Keringen: Verdedigd Duin [hoofdstuk 4].

Stap 2: Bepaling beoordelingstraject verdedigde dijk

Deze stap is vergelijkbaar met Stap 2 van het Toetsspoor Hybride Keringen: Verdedigd Duin [hoofdstuk 5].

Stap 3: Berekening profiel voorliggend zandlichaam tijdens storm

In deze stap wordt de (minimale) bodemligging voor het dijklichaam tijdens de storm bepaald [hoofdstuk 7]. De uitkomst hiervan is bepalend voor de mate van bescherming die aan het voorliggend zandlichaam mag worden toegekend.

Stap 4: Toets faalmechanismen dijklichaam

In beginsel dient het dijklichaam te worden getoetst op alle faalmechanismen waarop een dijk wordt beoordeeld. Voor hybride keringen langs de kust zijn vooral de stabiliteit van het buitentalud, de bekleding en golfoverslag relevant. Bij het toetsen wordt rekening gehouden met de beschermende werking van het voorliggend zandlichaam [Stap 3].

Stap 5: Beoordeling veiligheid per beoordelingstraject

Er wordt beoordeeld of het dijklichaam op alle faalmechanismen uit Stap 4 een voldoende scoort [hoofdstuk 8]. Als dat het geval is, is de verdedigde dijk veilig. Als één van de faalmechanismen een onvoldoende scoort is de verdedigde dijk onveilig.

2.4 Toetsspoor Aansluitingsconstructies Duinwaterkeringen en Hybride Keringen

Het Toetsspoor Aansluitingsconstructies Duinwaterkeringen en Hybride Keringen richt zich op de aansluiting van twee typen waterkeringen, die met verschillende toetssporen dienen te worden beoordeeld [Figuur 2.4].

Stap 1: Identificatie typen waterkeringen

In deze stap worden de twee typen waterkeringen geïdentificeerd die samen de aansluitingsconstructie vormen. Minimaal één van beide waterkeringen behoort tot het type duinwaterkering of hybride kering, de andere waterkering kan tot een ander type behoren, zoals een hoge grond, dijk of een kunstwerk.

Stap 2: Bepaling beoordelingstraject aansluitingsconstructie

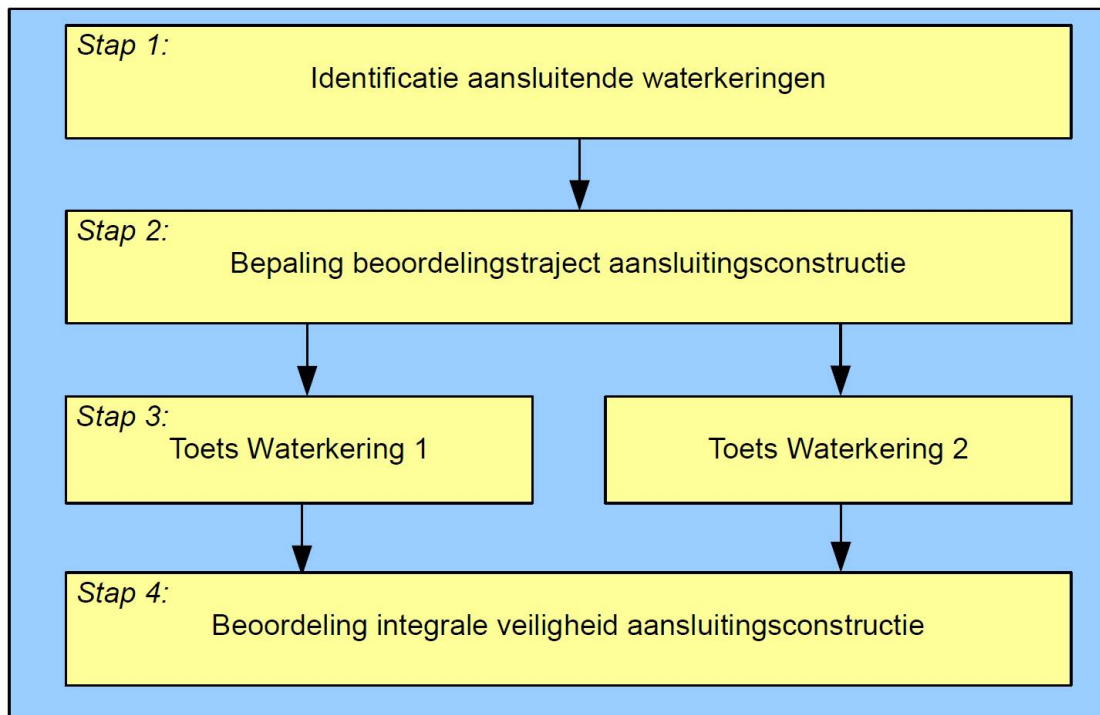
De voor de beoordeling van de aansluitingsconstructie wordt tijdens het toetsspoor één beoordelingstraject bepaald. Hoofdstuk 5 beschrijft het beoordelingstraject voor een aansluitingsconstructie.

Stap 3: Toets Waterkeringen 1 en 2

In Stap 3 worden de beide waterkeringen getoetst volgens de toetssporen die hiervoor van toepassing zijn. Hierbij dient de invloed van de ene waterkering op de andere in de toets te worden betrokken [hoofdstuk 7].

Stap 4: Beoordeling integrale veiligheid aansluitingsconstructie

Het doorlopen van de vereiste toetssporen in Stap 3 omvat tevens de beoordeling van de afzonderlijke waterkeringen. Op basis van deze resultaten vindt de integrale beoordeling plaats van de aansluitingsconstructie. Hiervoor geldt dat de aansluitingsconstructie slechts aan de veiligheid voldoet, indien beide waterkeringen afzonderlijk aan de veiligheid voldoen.



Figuur 2.4 Toetsspoor Aansluitingsconstructies Duinwaterkeringen en Hybride Keringen

2.5 NWO's in toetssporen

Bij de beoordeling van duinwaterkeringen en hybride keringen wordt allereerst getoetst of de waterkering zonder NWO's volgens de technische toetssporen voldoet. Indien dit tot een positief oordeel leidt dient de waterkeringbeheerder de NWO's in het veiligheidsoordeel te betrekken. Hiervoor is in hoofdstuk 9 een richtlijn opgesteld.

3 Veiligheidsnorm Duinen en Hybride Keringen

3.1 Wetgeving betreffende de veiligheidsnorm van primaire waterkeringen

De veiligheidsnormen voor primaire waterkeringen zijn verankerd in de Waterwet [Artikel 2.2 Lid 1]:

In de bij deze wet behorende bijlage II is voor elke dijkkring 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 de overige het waterkerend vermogen bepalende factoren.

Een overzicht van de dijkkringgebieden waarin duinwaterkeringen en / of hybride keringen voorkomen is, samen met de veiligheidsnorm, opgenomen in Tabel 3.1.

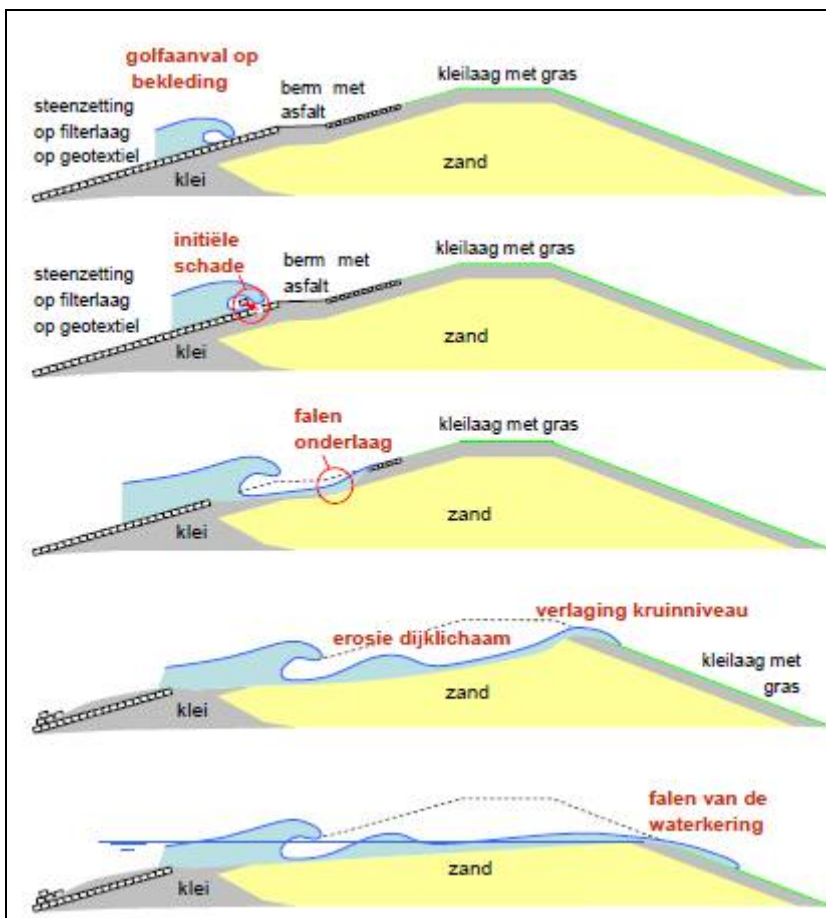
Dijkkringgebied	Veiligheidsnorm [overschrijdingskans per jaar]
1. Schiermonnikoog	1/2.000
2. Ameland	1/2.000
3. Terschelling	1/2.000
4. Vlieland	1/2.000
5. Texel	1/4.000
13. Noord – Holland	1/10.000
14. Zuid – Holland	1/10.000
20. Voorne – Putten	1/4.000
25. Goeree – Overflakkee	1/4.000
26. Schouwen – Duivenland	1/4.000
28. Noord – Beveland	1/4.000
29. Walcheren	1/4.000
32. Zeeuws – Vlaanderen	1/4.000

Tabel 3.1 Dijkkringgebieden met een duinwaterkering en/of hybride kering met de veiligheidsnorm volgens de Waterwet

3.2 Vertaling wettelijke norm

Bij de wettelijke toets van primaire waterkeringen wordt de veiligheid beoordeeld met behulp van rekenmethoden die door het rijk beschikbaar zijn gesteld. Met behulp van deze rekenmethoden kan de waterkeringbeheerder nagaan of er sprake is van falen van de waterkering bij het optreden van hydraulische randvoorwaarden die eveneens door het rijk ter beschikking zijn gesteld. Indien dit het geval is, dan is er sprake van een onvoldoende veilige waterkering.

Voor het falen van de primaire waterkering wordt in de rekenmethoden een strenge definitie gehanteerd. Er geldt dat de waterkering faalt indien er sprake is van overbelasting waardoor er initiële schade aan de waterkering optreedt. Nadat deze initiële schade is ontstaan zal nog een aantal andere stadia moeten worden doorlopen voordat de waterkering volledig is bezwaken en het achterliggende dijkkringgebied onder water loopt. Figuur 3.1 laat als voorbeeld het bezwijken van een dijk zien, nadat de bekleding van een dijk door een te hoge golfbelasting schade heeft opgelopen [Deltares (2011A)].



Figuur 3.1 Verschillende stadia van bezwijken van een dijklichaam. Tijdens de wettelijke toets vindt beoordeling plaats of er initiële schade onder normomstandigheden optreedt (tweede figuur van boven). In dat geval voldoet het dijklichaam niet [Deltares (2011A)]

Voor duinwaterkeringen is een dergelijke eis echter niet uitvoerbaar, aangezien zelfs bij een redelijke storm initiële schade ontstaat door duinafslag. Daarom is bij het opstellen van de Leidraad Duinafslag als eis gesteld dat er een gelijke “doorbreekkans¹” is voor een duin en voor een dijk [Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, TAW (1984)]:

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 Deltacommissie², 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

1. Kans dat de waterkering dusdanig bezwijkt, dat ter plaatse een overstroming van het achterliggende dijkringgebied optreedt. Bij overstromingskans spreekt men over de kans dat een dijkringgebied overstroomt. Dit kan ook door een doorbraak van een waterkering elders optreden.
2. Bedoeld wordt de eerste Deltacommissie

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} . Voor Centraal – Holland bijvoorbeeld betekent dit een maatgevende doorbreekkans per jaar van 10^{-5} .

In de begeleidende brief bij de Leidraad Duinafslag wordt beschreven hoe destijds deze eis tot stand is gekomen:

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 waakhoogte. Dijken op de wind, met een grote waakhoogte, 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.

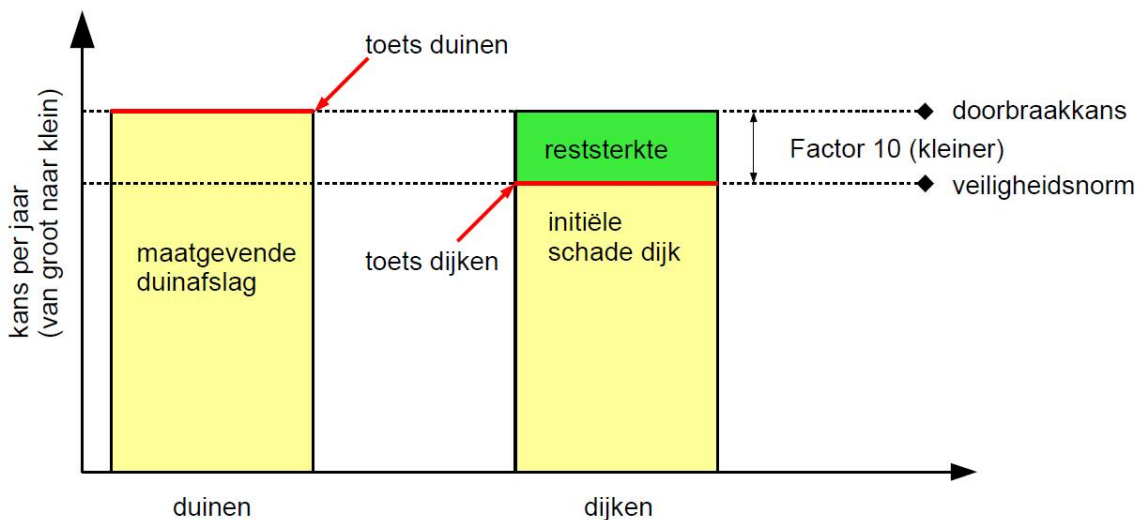
Uit bovenstaande tekst kan worden geconcludeerd dat dijken en duinen een vergelijkbare doorbreekkans dienen te hebben, om te kunnen voldoen aan de veiligheidsnorm. De uitwerking in het toetsproces is echter verschillend [Figuur 3.2]:

- Dijken worden getoetst met hydraulische belastingen met een overschrijdingsfrequentie gelijk aan de norm. Er mag dan nog geen initiële schade zijn opgetreden die tot falen

kan leiden van enig waterkerend onderdeel van de kering. Door de aanwezige “reststerkte” wordt verondersteld dat de doorbraakkans een factor 10 keer kleiner is. Met de huidige kennis kan deze factor voor veel dijken nog niet worden vastgesteld.

- Duinwaterkeringen worden getoetst onder de aanname dat er nog net geen doorbraak optreedt. Er is onder dergelijke omstandigheden alleen nog een aaneensluitend grensprofiel aanwezig, die een overstroming van het dijkkringgebied nog net voorkomt [Paragraaf 6.2.1]. De overschrijdingsfrequentie waarmee wordt gerekend is een factor 10 keer kleiner dan de veiligheidsnorm.

De uitgangspunten die bij de Leidraad Duinafslag zijn gehanteerd, worden ook in het TRDH2011 gehanteerd voor het toetsen van duinwaterkeringen. Voor hybride keringen geldt dat een verdedigde dijk dient te worden getoetst met de faalkans voor dijken, en een verdedigd duin met de faalkans voor duinwaterkeringen.



Figuur 3.2 Vertaling van de veiligheidsnormen in de toets voor duinen en dijken (NB: de factor 10 is een veronderstelling)

B. TECHNISCHE RICHTLIJNEN VEILIGHEIDSBEOORDELING

4 Richtlijn vastlegging waterkeringgegevens

4.1 Beschrijving waterkeringgegevens

De veiligheidsbeoordeling van duinwaterkeringen en hybride keringen begint met het vastleggen van de benodigde waterkeringgegevens. Voor de inwinning en beschikbaarstelling van deze gegevens zijn verschillende overheidsinstanties verantwoordelijk. Per regio kunnen de afspraken hierover verschillen. Voor de beoordeling van duinwaterkeringen met de detailtoets wordt gebruik gemaakt van de toetssoftware MorphAn. Via deze toetssoftware zijn veel waterkeringgegevens beschikbaar.

In dit hoofdstuk worden de volgende typen waterkeringgegevens beschreven:

- Juridische waterkeringgegevens
- Hydraulische Randvoorwaarden
- Waterkeringgegevens van de zachte kering
- Waterkeringgegevens van de harde waterkeringsconstructies
- Waterkeringgegevens NWO's

4.2 Juridische waterkeringgegevens

Om een veiligheidsbeoordeling te kunnen uitvoeren dient gebruik te worden gemaakt van de juridische grenzen van de waterkering, die in de legger zijn vastgelegd. Binnen deze grenzen dient de primaire waterkering voldoende veiligheid te bieden voor de normatieve omstandigheden [hoofdstuk 6]. Het maakt voor het beoordelingsproces niet uit of er landwaarts van de leggergrenzen nog een uitgebreid duingebied aanwezig is.

4.3 Hydraulische randvoorwaarden

Voor de beoordeling van een duinwaterkering met een detailtoets stelt het rijk hydraulische randvoorwaarden beschikbaar [paragraaf 1.2]. Indien er een toets op maat wordt uitgevoerd dient de waterkeringbeheerder zelf zorg te dragen voor de hydraulische randvoorwaarden [paragraaf 12.3].

4.4 Waterkeringgegevens van de zachte kering

Voor de uitvoering van een duinafslagberekening met een detailtoets wordt gebruik gemaakt van de volgende waterkeringgegevens van de zachte kering, welke door het Rijk ter beschikking worden gesteld:

- JARKUS – profielen vanaf 1996 tot de meest recente opname [hoofdstuk 10.4]
- Korreldiameters volgens de TRDA2006 [hoofdstuk 17]

De JARKUS – profielen betreffen een dwarsdoorsnede van de kust met een tussenliggende afstand van enkele honderden meters. In een aantal gevallen is meer gedetailleerde hoogtedata nodig:

- Indien de kust sterk niet uniform is, dient tijdens een toets ook te worden gekeken naar de bodemhoogte tussen de JARKUS – raaien. In veel geval is tevens een toets op maat noodzakelijk [paragraaf 7.5].
- Voor de bepaling van het doorgaand grensprofiel dient gebruik te worden gemaakt van een recente hoogtekaart van het duingebied [hoofdstuk 6].

De hoogteligging van het duingebied is beschikbaar in de vorm van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN). Daarnaast zijn er jaarlijkse hoogtemetingen ten behoeve van de bepaling van de JARKUS – profielen. De waterkeringbeheerder dient zich ervan te vergewissen dat deze hoogtemetingen daadwerkelijk een weergave zijn van het maaiveld, en niet van de bovenkant van bebouwing of vegetatie. In duinwaterkeringen met dynamisch duinbeheer dient de duindynamiek te worden gemonitord.

Om vast te stellen of er tijdens storm veel zand uit een profiel verdwijnt, is de volgende informatie van groot belang:

- De waterkeringbeheerder legt direct na een zware storm de duinafslag en de schade aan de waterkerende objecten vast. Dit heeft tot doel kwetsbare locaties te identificeren, die mogelijk over het hoofd worden gezien bij de veiligheidstoets.
- Rijkswaterstaat houdt voor het programma kustlijnverzorging het suppletiebestand bij. Dit bestand geeft per kustlocatie en jaartal de omvang en het type van de uitgevoerde suppleties weer. Hieruit kan de waterkeringbeheerder een aanwijzing verkrijgen van kwetsbare locaties.

De korreldiameters zijn bepaald voor een aantal locaties langs de Nederlandse kust. Voor de tussenliggende locaties kan de korreldiameter worden bepaald door middel van lineaire interpolatie.

4.5 Waterkeringgegevens van de harde waterkeringsconstructies

Bij aansluitingsconstructies en hybride keringen komen harde waterkeringsconstructies voor. De waterkeringgegevens van deze constructies zijn nodig voor de toets of deze constructies onder normatieve omstandigheden kunnen falen.

4.6 Waterkeringgegevens NWO's

De waterkeringbeheerder is ook verantwoordelijk voor het inwinnen van gegevens van NWO's voor zover deze van invloed zijn op het duinafslagproces of de sterkte van harde waterkerende constructies [hoofdstuk 9].

5 Richtlijn bepaling beoordelingstrajecten

5.1 Digitale rapportage toetsresultaten

Vanaf de derde ronde toetsing primaire waterkeringen is het verplicht om de toetsresultaten digitaal te rapporteren. Dit geldt niet alleen voor de waterkeringbeheerder, maar ook voor de toezichthoudende instanties. Hiervoor is de webapplicatie Toetsrap ontwikkeld.

De digitale rapportage vindt als volgt plaats:

- Eerst wordt een dijkkringlijn bepaald die de omtrek vormt van een dijkkringgebied. De dijkkringlijn is hiermee de referentielijn voor de primaire waterkering. Deze dijkkringlijn heeft de vorm van een shapefile, en kan daarmee in een GIS – kaart worden weergegeven.
- De dijkkringlijn wordt opgedeeld in segmenten waarvoor geldt dat de sterkte- en belastingparameters als uniform kunnen worden beschouwd. Als een waterkering wordt getoetst op meerdere faalmechanismen, kan de dijkkringlijn per faalmechanisme in segmenten worden opgedeeld.
- Voor elk segment vindt een beoordeling van de veiligheid voor de relevante faalmechanismen plaats. Daarom wordt in het TRDH2011 gesproken over beoordelingstrajecten.

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe een beoordelingstraject dient te worden bepaald. Hierbij wordt onderscheid gemaakt voor de volgende situaties:

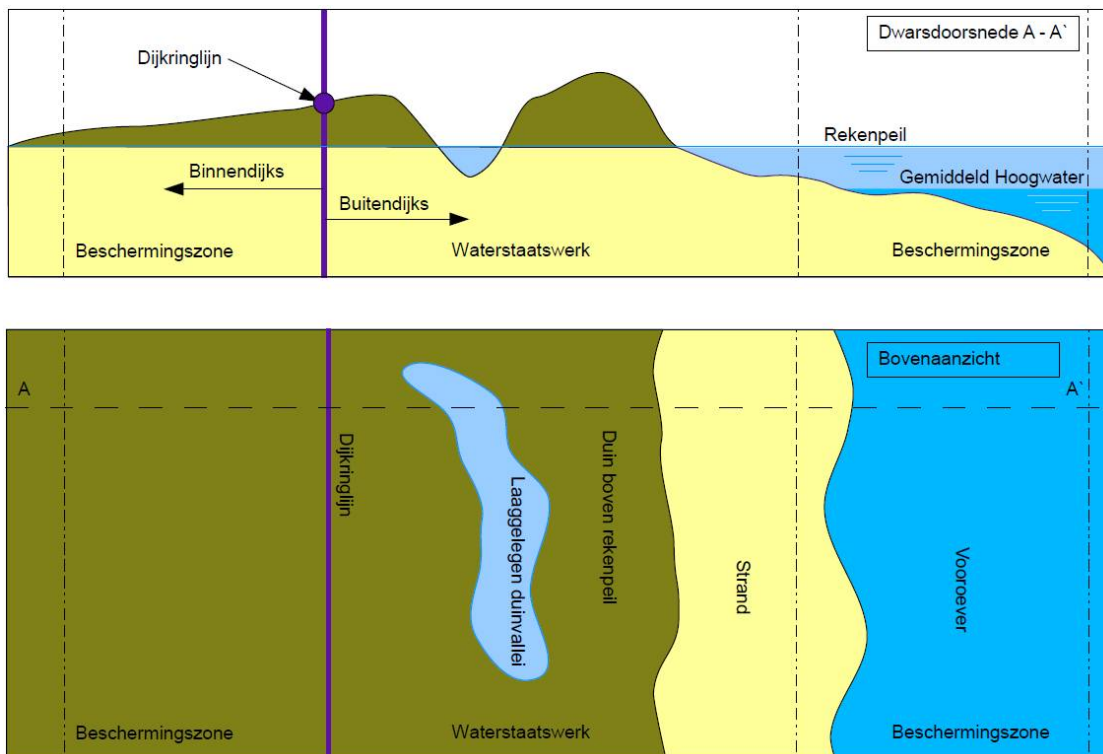
- Duinwaterkering en hybride kering: verdedigd duin [paragraaf 5.2]
- Hybride kering: verdedigde dijk [paragraaf 5.3]
- Aansluitingsconstructie [paragraaf 5.4]

5.2 Beoordelingstraject voor duinwaterkering en verdedigd duin

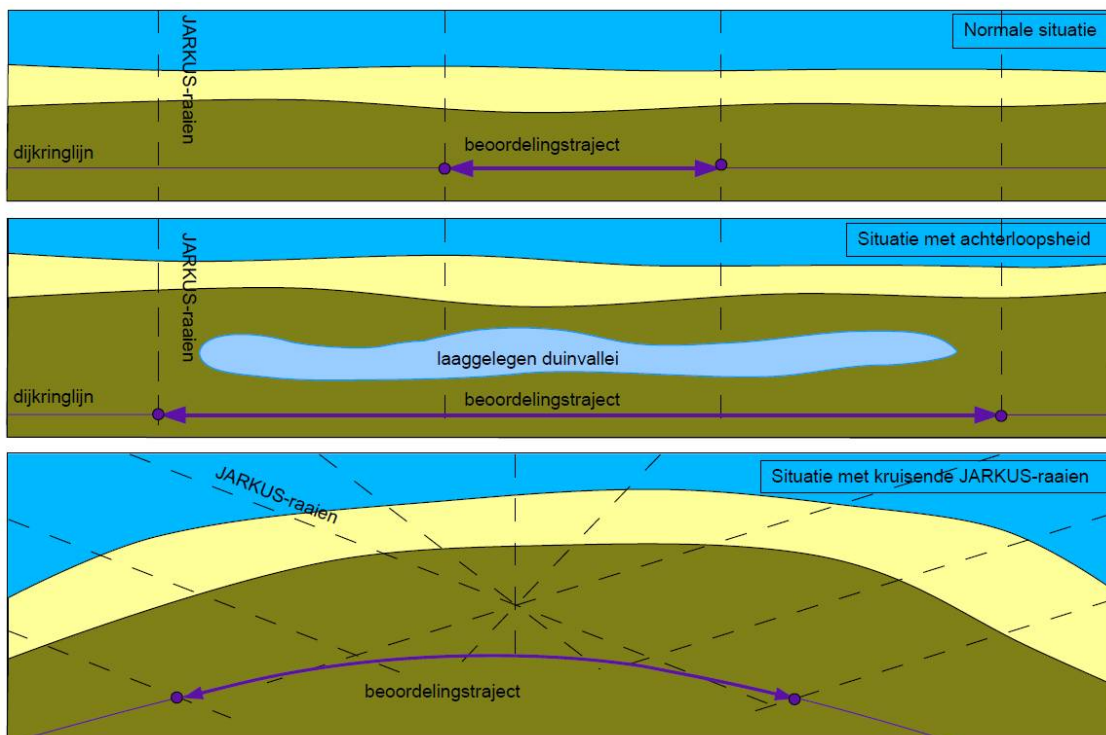
De positie van de dijkkringlijn van een duinwaterkering is tot op heden nog niet formeel gedefinieerd. Dit leidt ertoe dat waterkeringbeheerders hier verschillend mee omgaan [Deltares (2008A)]. In het TRDH2011 wordt daarom voorgesteld om voor een duinwaterkering of een verdedigd duin de dijkkringlijn te verbinden aan de legger van de primaire waterkering. Hierbij wordt de dijkkringlijn bepaald door de grens tussen het waterstaatswerk en de landwaartse beschermingszone [Figuur 5.1]. Het landwaartse gebied van de dijkkringlijn kan dan worden aangeduid als “binnendijs”, het zeewaartse gebied als “buitendijs”.

In normale gevallen wordt een beoordelingstraject begrensd door de snijpunten van de dijkkringlijn met twee aangrenzende JARKUS – raaien. Hierop zijn twee uitzonderingen [Figuur 5.2]:

- Als er kans is op achterloopsheid via een laaggelegen duinvallei (lager dan het rekenpeil) dient het beoordelingstraject dusdanig te worden vastgesteld dat deze duinvallei binnen de grenzen van het beoordelingstraject ligt.
- Als de JARKUS – raaien zich zeewaarts van de dijkkringlijn kruisen wordt het beoordelingstraject begrensd door de twee JARKUS – raaien waarbij er geen kruising meer voorkomt. JARKUS – raaien die nergens de dijkkring kruisen, omdat ze parallel aan de dijkkringlijn liggen, worden niet bij de bepaling van het beoordelingstraject meegenomen.



Figuur 5.1 Positie van de dijkkringlijn voor duinwaterkering en verdedigd duin



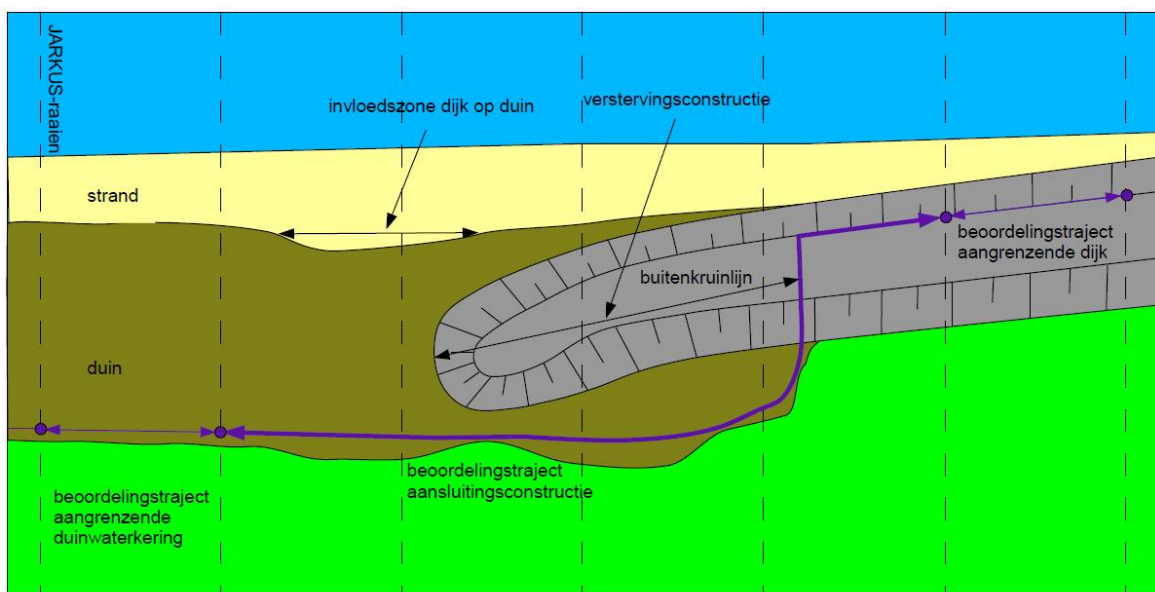
Figuur 5.2 Bepaling beoordelingstraject voor een duinwaterkering of een verdedigd duin

5.3 Beoordelingstraject voor verdedigde dijk

Voor dijken wordt de dijkkringlijn in de meeste gevallen bepaald door de buitenkruinlijn. In het TRDH2011 wordt voorgesteld om deze bepaling te volgen voor de verdedigde dijk. Het beoordelingstraject voor een verdedigde dijk wordt in normale gevallen begrensd door twee naastgelegen JARKUS – raaien, vergelijkbaar met het Toetsspoor Duinwaterkeringen [Paragraaf 5.2]. Een uitzondering wordt gemaakt indien de JARKUS – raaien voor het dijklichaam kruisen.

5.4 Beoordelingstraject aansluitingsconstructie

Voor een aansluitingsconstructie wordt één beoordelingstraject vastgesteld. Als voorbeeld is een aansluitingsconstructie bestaande uit een dijk en een duinwaterkering uitgewerkt in Figuur 5.3. Andere mogelijkheden zijn er ook, bijvoorbeeld de aansluiting van een duinwaterkering op een kunstwerk of de aansluiting van een onverdedigd duin op een verdedigd duin.



Figuur 5.3 Voorbeeld van de bepaling van een beoordelingstraject aansluitingsconstructie

Aan beoordelingstraject worden de volgende voorwaarden gesteld:

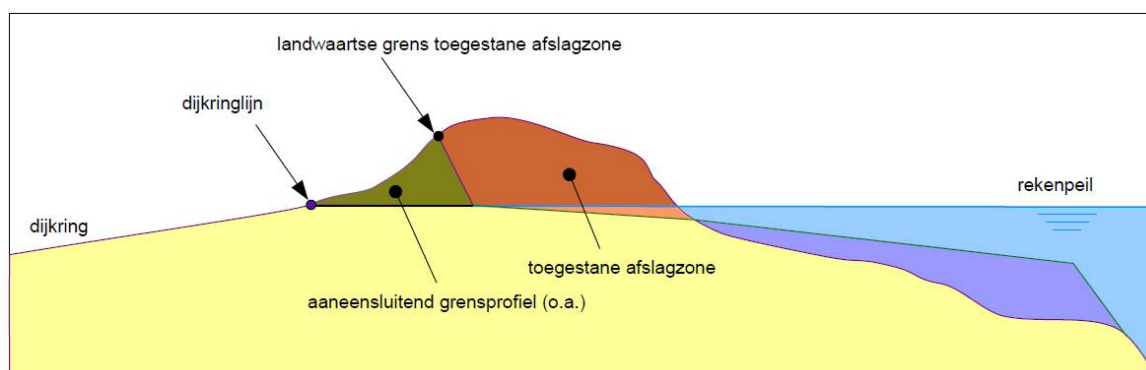
- Het beoordelingstraject aansluitingsconstructie sluit direct aan op de laatste beoordelingstrajecten van de aangrenzende waterkeringen. Er mag geen hiaat of overlap ontstaan. Voor zover dit een duinwaterkering of een verdedigd duin betreft valt de grens altijd samen met een JARKUS – raai.
- Het beoordelingstraject omvat de volgende zones:
 - De achterwaartse aansluiting van de ene waterkering op de andere. In Figuur 5.3 betreft dit de aansluiting van een dijkkringlijn van een duinwaterkering op een dijk.
 - De overgangszone tussen de ene waterkering naar de andere, bijvoorbeeld een verstevigingsconstructie. Hierbij loopt de harde kering door tot in de duinwaterkering.
 - De invloedszone(s) van de ene waterkering op de andere waterkering.

6 Richtlijn bepaling landwaartse grens toegestane afslagzone

6.1 Doelstelling van de landwaartse grens toegestane afslagzone

Zoals in hoofdstuk 3 is beschreven mag er onder normatieve omstandigheden afslag van een duinwaterkering of hybride kering worden verwacht. Met de bepaling van de landwaartse grens geeft de waterkeringbeheerder aan in welke zone van het waterstaatswerk afslag en overstroming toelaatbaar wordt geacht. Deze grens vormt het criterium waarmee de veiligheid van duinwaterkeringen en verdedigde duinen worden beoordeeld [hoofdstuk 8]. Deze grens is in het TRDA2006 geïntroduceerd als “landwaartse grens waterkering”. Omdat deze grens niet hetzelfde is als de landwaartse grens van het waterstaatswerk is besloten om dit begrip te wijzigen in “landwaartse grens toegestane afslagzone”.

De toegestane afslagzone kan niet het gehele waterstaatswerk omvatten. Ook onder normatieve omstandigheden mag er nog (net) geen sprake zijn van bezwijken van de waterkering. Daarom dient er landwaarts van de toegestane afslagzone binnen het waterstaatswerk nog een aaneensluitend grensprofiel aanwezig te zijn [Figuur 6.1]. Aaneensluitend betekent dat er tussen de JARKUS - raaien geen hiaat in het grensprofiel aanwezig is waardoor overstroming van het dijkkringgebied kan optreden [VTV2006].



Figuur 6.1 Zonering van een duinwaterkering

Behalve het criterium van het aaneensluitend grensprofiel kunnen er afwegingen vanuit ruimtelijke ordening zijn die meewegen bij de bepaling van de landwaartse grens toegestane afslagzone. Deze afwegingen zijn echter niet technisch van aard en vallen daarmee buiten het blikveld van het TRDH2011.

In paragraaf 6.2 wordt beschreven hoe het aaneensluitend grensprofiel kan worden bepaald. Deze paragraaf beschrijft de doelstelling van het grensprofiel, de wijze waarop een grensprofiel kan worden bepaald en bijzondere situaties.

6.2 Bepaling aaneensluitend grensprofiel

6.2.1 Doelstelling grensprofiel

Het aaneensluitend grensprofiel heeft als functie om nog juist overstroming van het dijkkringgebied te voorkomen op het moment dat de maatgevende storm is afgelopen. Daarmee is het aaneensluitend grensprofiel het sluitstuk van een duinwaterkering. Nadat het

duinafslagproces de landwaartse grens van de toegestane afslagzone heeft bereikt, dient het aaneensluitend grensprofiel de overstroming van het achterliggende dijkringgebied nog net te voorkomen. Het gaat hierbij om de condities zoals bepaald door de HR2011.

Het aaneensluitend grensprofiel is bij voorkeur aanwezig in de vorm van een zandlichaam. Alternatieven vormen van een aaneensluitend grensprofiel, in plaats van een zandlichaam, worden om waterstaatstechnische redenen niet uitgesloten. Hierbij kan worden gedacht aan een kleilichaam of een harde keermuur.

6.2.2 Bepaling grensprofiel

Het TRDH2011 volgt het TRDA2006 in de bepaling van het aaneensluitend grensprofiel in geval van een zandlichaam. De rekenregels hiervoor gaan terug op de Leidraad Duinafslag [TAW (1984)], waarin werd uitgegaan van een trapeziumvormig grensprofiel, zoals weergegeven Figuur 6.2. Hierbij mag het landwaartse talud het maaiveld nergens doorsnijden. De rekenregel voor de kruinhoogte boven het rekenpeil (RP) is hierbij gebaseerd op inzichten betreffende golfloop. Hiervoor is gebruik gemaakt van een bestaande formule voor de golfloop [TAW (1972)] in combinatie met experimenten in een golfgoot [WL|Delft Hydraulics (1984)]. Om de kruinhoogte boven rekenpeil (h_{gp}) te berekenen wordt de volgende vergelijking gebruikt, die is gebaseerd op de golfhoogte (H_{m0}) en golfperiode (T_p) op diep water, volgens de geldende hydraulische randvoorwaarden:

$$h_{gp} = 0,12 T_p \sqrt{H_{m0}} \quad (\text{minimaal } 2,5 \text{ m}) \quad 6.1$$

waarbij:

h_{gp} : kruinhoogte grensprofiel boven rekenpeil [m]

T_p : piekperiode [s]

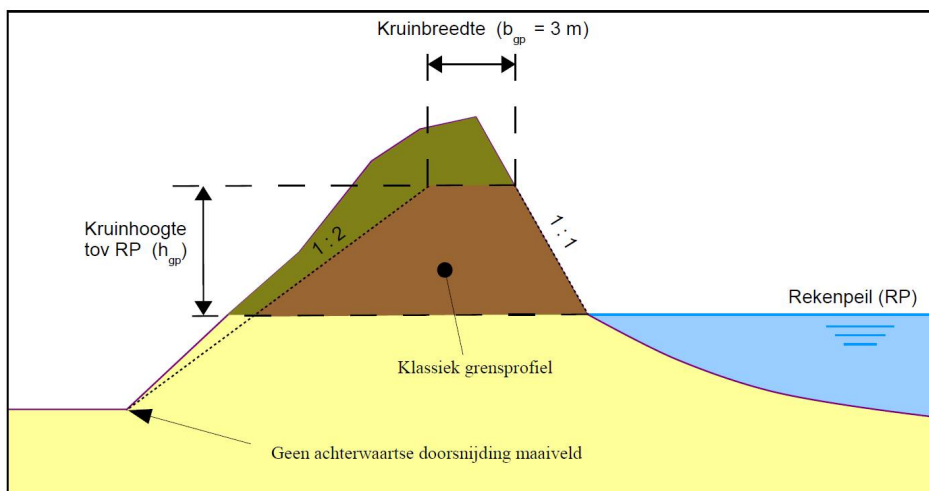
H_{m0} : significante golfhoogte [m]

De kruinbreedte van het grensprofiel bedraagt:

$$b_{gp} = 3 \quad 6.2$$

waarbij:

b_{gp} : kruinbreedte [m]



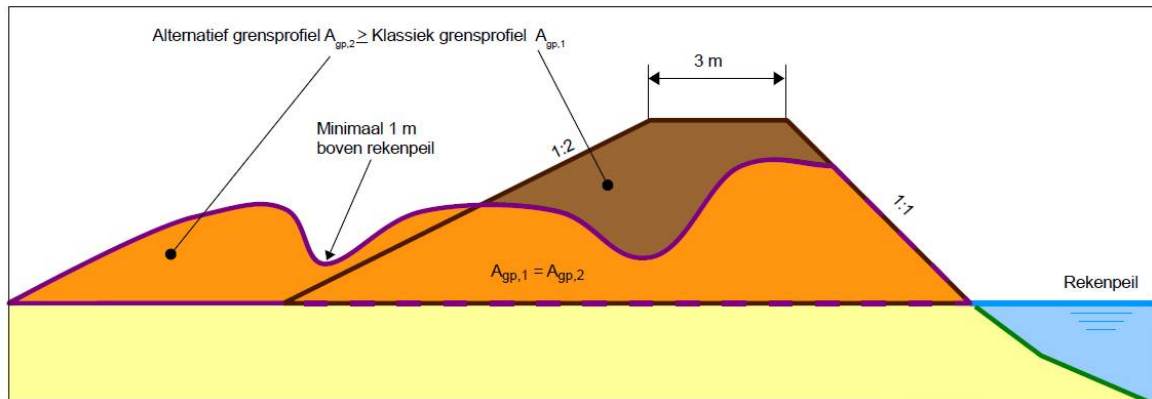
Figuur 6.2 Grensprofiel in de Leidraad Duinafslag [TAW (1984)]

Hieruit volgt dat het minimum volume waaraan het grensprofiel dient te voldoen als volgt kan worden berekend:

$$A_{gp} = 1,5h_{gp}^2 + 3h_{gp} \quad (\text{minimaal } 16,875 \text{ m}^3 / \text{m}) \quad 6.3$$

waarbij:

A_{gp} : volume grensprofiel per strekkende meter kust [m^3/m]



Figuur 6.3 Grensprofiel in het TRDA2006

In het TRDA2006 is de eis van het trapeziumvormig profiel verlaten en geldt dat het volume van het aaneensluitend grensprofiel boven rekenpeil een minimaal volume per strekkende meter heeft, die gelijk is aan het volume van het klassieke grensprofiel. Verder geldt als eis dat depressies in het grensprofiel een minimale hoogte hebben van 1 m boven rekenpeil [Figuur 6.3].

In het HR2011 staan nieuwe randvoorwaarden voor de vijf Waddeneilanden bestaande uit een golfhoogte (H_{m0}) en de spectrale golfperiode ($T_{m-1,0}$) op ondiep water. Voor deze locaties kan de kruinhoogte boven rekenpeil (h_{gp}) als volgt worden berekend:

$$h_{gp} = 0,132 T_{m-1,0} \sqrt{H_{m0}} \quad (\text{minimaal } 2,5 \text{ m}) \quad 6.4$$

waarbij:

$T_{m-1,0}$: spectrale golfperiode [s]

6.2.3 Bijzondere situaties

Voor een aantal bijzondere situaties worden aanvullende richtlijnen gegeven. Het betreft hierbij de aanwezigheid van bebouwing, dynamisch duinbeheer en pijpleidingen [hoofdstuk 9].

Bebouwing

Bebouwing op het aaneensluitend grensprofiel hoeft geen probleem te geven, mits er rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van mogelijke kelders die de beschikbare hoeveelheid zand in het grensprofiel verkleinen, en zelfs aanleiding kunnen geven tot een overstroming. Bij voorkeur loopt het aaneensluitend grensprofiel niet door bebouwing heen.

Dynamisch duinbeheer

Als er sprake is van dynamisch duinbeheer in het waterstaatswerk dient de waterkeringbeheerder te bewaken dat het aaneengesloten grensprofiel niet wordt doorsneden door stuifkuilen. Dit valt onder het normale beheer van het waterstaatswerk.

Daarom is besloten om de winderosietoets uit het VTV2006 die gericht is op deze problematiek te laten vervallen.

Pijpleidingen

Pijpleidingen mogen geen aanleiding geven tot een overstroming op het moment dat de maximale hoeveelheid duinerosie heeft plaatsgevonden. Dit betekent dat pijpleidingen over het grensprofiel dienen te worden gevoerd of voorzien dienen te zijn van goede afsluitmechanismen.

7 Richtlijn berekening duinafslag, erosie en overstroming

7.1 Duinafslag, erosie en overstromingsprocessen

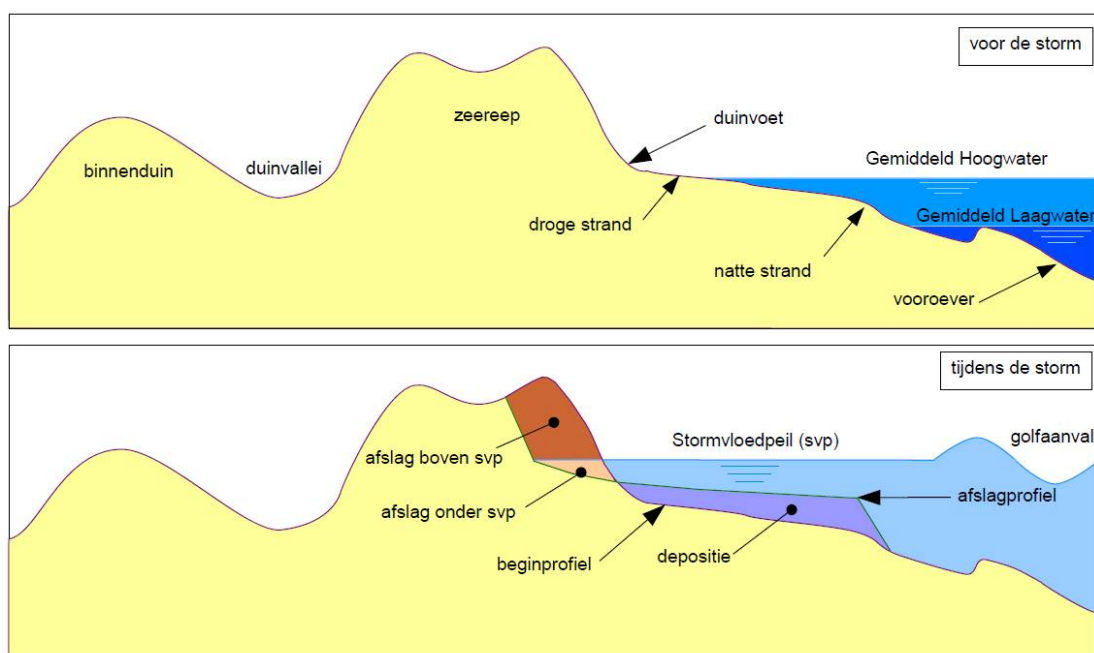
Tijdens het toetsproces dienen berekeningen te worden uitgevoerd voor duinafslag, erosie en overstroming van laaggelegen gebieden, voor de maatgevende condities. Hiervoor dient gebruik te worden gemaakt van rekenmethoden waarin de volgende processen zo betrouwbaar mogelijk zijn gemodelleerd. In dit hoofdstuk worden daarom richtlijnen gegeven voor de toe te passen rekentechnieken:

- Duinwaterkeringen dienen in principe te worden doorgerekend met de beschikbare detailtoets. Voor een aantal specifieke situaties dient de waterkeringbeheerder een afweging te maken of deze detailtoets voldoende betrouwbaar is [paragraaf 7.2]
- Hybride keringen worden doorgerekend met een toets op maat. Voor deze berekeningen worden richtlijnen gegeven in paragraaf 7.3.
- De richtlijn voor de berekening van erosie rond aansluitingsconstructies wordt beschreven in paragraaf 7.4.

Omdat niet voor elke situatie een detailtoets beschikbaar is beschrijft paragraaf 7.5 beknopt de mogelijke rekentechnieken in een toets op maat.

Voordat de richtlijnen voor de rekentechnieken worden beschreven volgt een beschrijving van de processen die tijdens storm optreden bij duinwaterkeringen en hybride keringen:

- Duinafslag in de zeereep
- Verlies van zand uit het systeem, bijvoorbeeld bij een aansluitingsconstructie
- Overstroming en achterloopsheid
- Erosie en harde waterkeringsconstructies
- De aanwezigheid van NWO's



Figuur 7.1 Situatie zeereep voor en tijdens de storm

Duinafslag in de zeereep

Figuur 7.1 toont het dwarsprofiel van een duinwaterkering voor en tijdens de storm. In dit dwarsprofiel treffen we de volgende zones aan:

- De vooroever bevindt zich beneden het Gemiddeld Laagwater.
- Tussen het Gemiddeld Laagwater en het Gemiddeld Hoogwater ligt het natte strand.
- Boven de gemiddelde hoogwaterlijn bevindt zich het droge strand.
- De duinvoet is de overgang tussen het strand en het duin.
- De zeereep is de eerste doorgaande duinregel in een duingebied. Het gaat hierbij dus niet om jonge niet aaneengesloten duinen die nog in ontwikkeling zijn.
- Soms liggen er achter de zeereep nog binnenduinen. Tussen de duinen liggen laaggelegen duinvalleien.

Als er een stormvloed optreedt, kunnen de golven doordringen tot tegen de zeereep. Door deze golfaanval treedt er duinafslag op, waardoor het duinvolume afneemt. Het afgeslagen zand verdwijnt niet direct uit het systeem, maar wordt in normale gevallen afgezet als een depositie voor het duin. Een dergelijke depositie heeft een beschermende werking op de zeereep. Doordat het profiel voor het duin ondieper wordt, breken de golven eerder, en neemt de golfbelasting op het duin af. Dit resulteert in een vertraging van het verdere duinafslagproces. Een luchtfoto van duinafslag en depositie na een zware storm is weergegeven in Figuur 7.2.



Figuur 7.2 Duinafslag en depositie op de Rottumerplaat na de storm van 1 november 2006; Foto RWS

Verlies van zand uit het systeem, bijvoorbeeld bij een aansluitingsconstructie

In Figuur 7.1 is het oppervlak van de depositie gelijk aan het oppervlak van de afslag. Een dergelijke situatie doet zich voor bij een rechte kust zonder verlies van zand uit het dwarsprofiel. In dat geval is er sprake van een gesloten sedimentbalans.

Er komen langs de Nederlandse kust echter veel situaties voor waarbij tijdens een storm netto zandverlies in langsrichting optreedt. Dit leidt tot een extra achteruitgang van het duin tijdens storm. Voor dit zandverlies zijn diverse oorzaken:

- Er kunnen in de vooroever diepe getijgeulen aanwezig zijn. Indien het afgeslagen duinzand in een dergelijke getijgeul terecht komt heeft dit geen invloed meer op het breken van de golven.

- Een gradiënt in het langstransport kan leiden tot een afname of toename van de hoeveelheid zand dat in een depositie wordt afgezet. Een dergelijke gradiënt kan het gevolg zijn van een kromming van de kust, een scheve golfaanval die niet uniform is in langsrichting, een scheve golfaanval op een niet uniforme kust en gradiënten in de getijstrooming langs de kust.
- Bij een aansluitingsconstructie kan het afgeslagen zand van de ene waterkering naar de andere waterkering worden getransporteerd [Figuur 7.3]. Een voorbeeld betreft de aansluiting van een duinwaterkering op een dijk, waarbij zand uit de depositie zone voor de zeereep wordt getransporteerd naar de (diepere) ontgrondingskuil voor de teen van de dijk.



Figuur 7.3 Duinafslag bij de aansluiting op de Pettemer Zeewering na de storm van 5 januari 2012; Foto Deltares

Overstroming en achterloopsheid

Een overstroming van het achterliggende gebied begint als de golven over het (restant) van de zeereep slaan. Deze golfoverslag en het doorgaande duinafslagproces leiden vervolgens tot een duindoorbraak waardoor de overstroming van de achterliggende duinvallei of polder snel verergert. Deze overstroming kan zich ver uitstrekken achter de zeereep of de aangrenzende dijk, die verder langs de kust nog volledig intact kan zijn.

Bij een grote bres kunnen golven verder doordringen in de overstroomde duinvallei. Deze golven kunnen vervolgens het binnenduin belasten, waardoor ter plaatse opnieuw duinafslag optreedt.

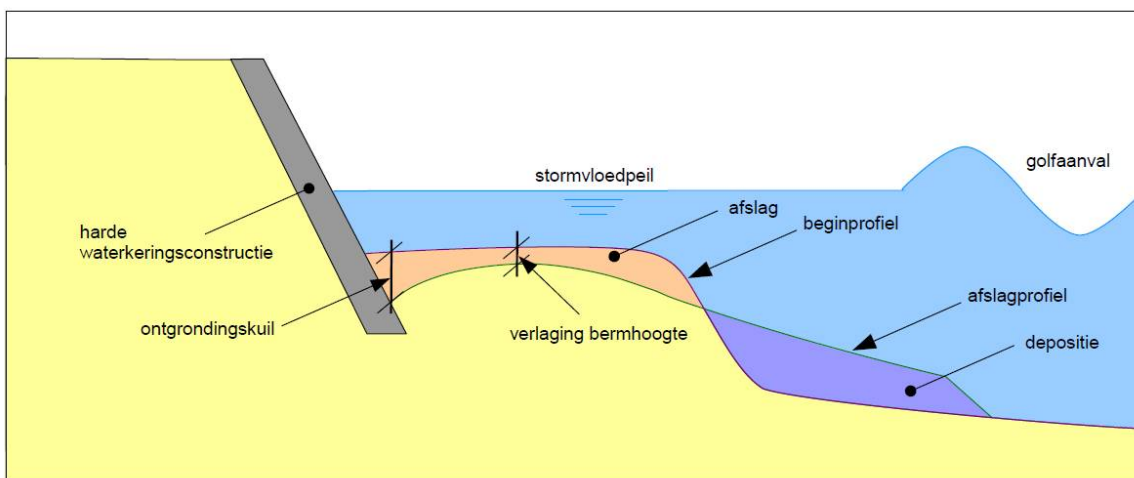
Op een aantal locaties langs de Nederlandse kust zijn er onderbrekingen in de zeereep aanwezig, waardoor bij lage stormvloed of zelfs dagelijkse getijbeweging het achterliggende gebied onderstroomt. Hierdoor zijn waardevolle natuurgebieden ontstaan. Voorbeelden hiervan zijn de Slufter op Texel, de Kerf bij Bergen, de Kwade Hoek op Goeree en het Zwin op Zeeuws – Vlaanderen. Een (onbedoelde) doorbraak van de zeereep in Nederland treedt slechts bij uitzondering op. Een voorbeeld hiervan is een doorbraak van een buitendijkse duinvallei op Ameland [Figuur 7.4].



Figuur 7.4 Doorbraak van de zeereep en overstroming van de achterliggende duinvallei op Ameland (oost) na de storm van 1 november 2006; Foto RWS

Erosie en harde waterkeringsconstructies

Bij hybride keringen is de sterkte van de primaire waterkering gebaseerd op de aanwezigheid van een harde waterkeringsconstructie en een zandlichaam. Hierbij biedt het voorliggende deel van de waterkering bescherming aan het achterliggende deel van de waterkering. Bij een hybride kering van het type verdedigde dijk biedt een zandlichaam bescherming aan een achterliggende harde waterkeringsconstructie. Bij een hybride kering van het type verdedigd duin biedt een harde waterkeringsconstructie bescherming aan een achterliggend zandlichaam [paragraaf 1.1]. Beide situaties worden achtereenvolgens beschreven.



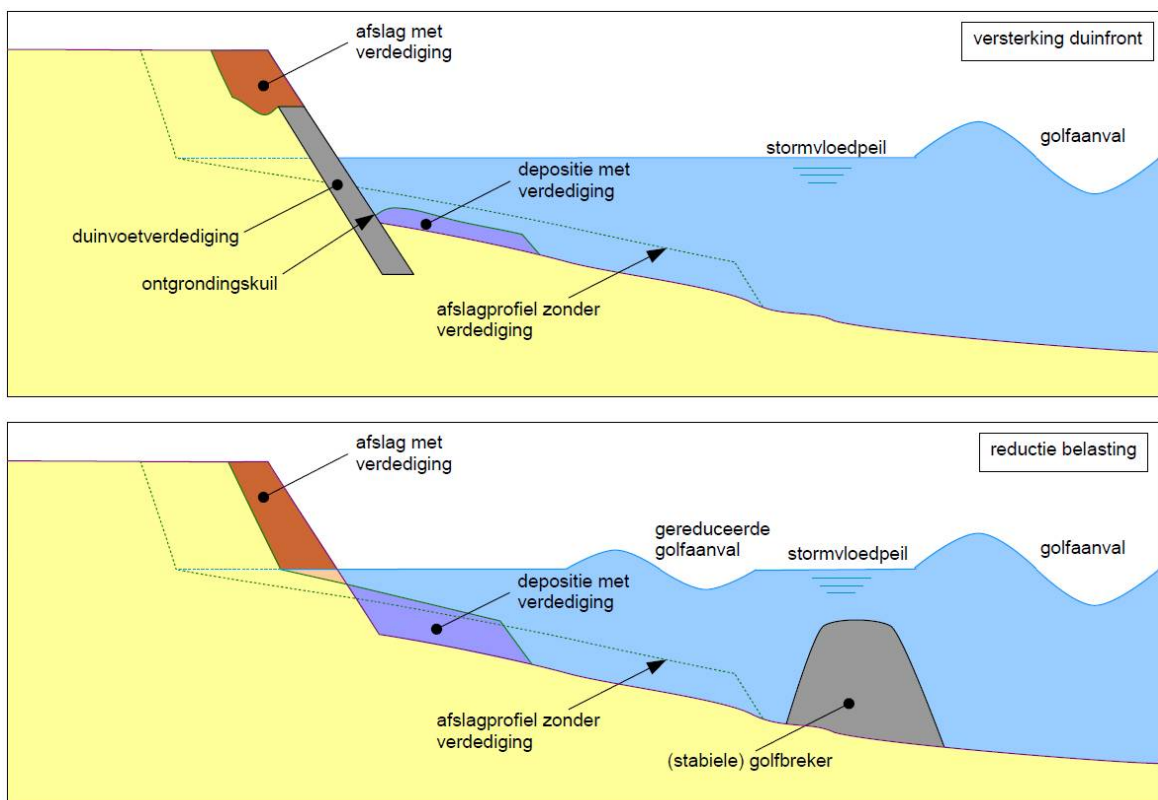
Figuur 7.5 Hybride kering: Verdedigde dijk. Bescherming van een harde waterkeringsconstructie door een voorliggende zandberm

Figuur 7.5 geeft de situatie weer van een harde waterkeringsconstructie met een voorliggende zandberm. De aanwezigheid van de zandberm heeft een gunstig effect op de

stabiliteit van de waterkeringsconstructie. Daarnaast wordt de golfbelasting en golfoverslag door het zandlichaam beperkt. Door de aanwezigheid van de zandberm hoeft de fundering van de waterkeringconstructie minder diep te worden aangelegd. Verder kan volstaan worden met een minder zware bekleding en kan de kruinhoogte worden gereduceerd. Er dient echter rekening mee te worden gehouden dat tijdens de storm erosie van de zandberm optreedt, met als mogelijke gevolgen een toename van de golfaanval door verlaging van de bermhoogte en een ontgrondingskuil voor de teen van de waterkeringsconstructie. Hierdoor wordt de beschermende werking van de zandberm deels teniet gedaan.

Omgekeerd kan de aanwezigheid van een harde waterkeringsconstructie leiden tot minder duinafslag [Figuur 7.6]. Hierbij zijn verschillende vormen van bescherming mogelijk:

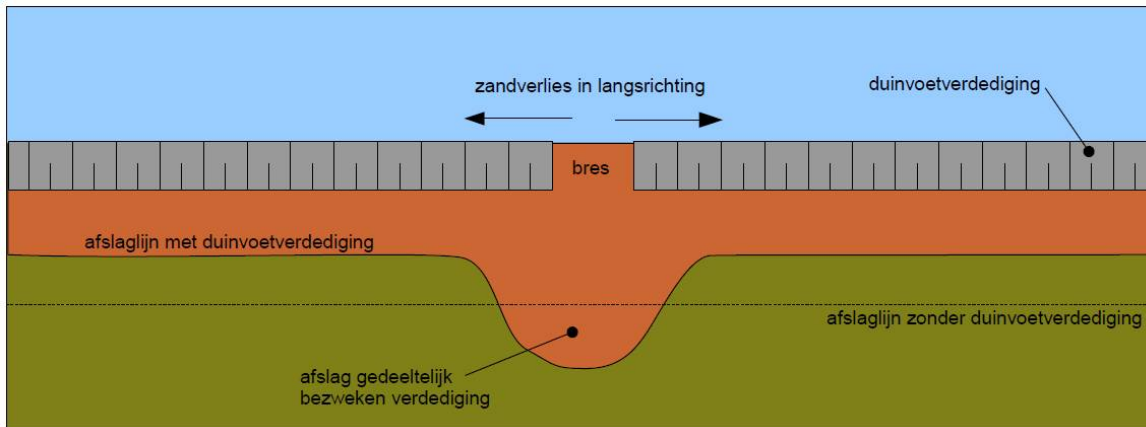
- De bescherming kan plaatsvinden door een duinvoetverdediging of strandmuur die is opgenomen in het duinfront. Duinerosie treedt alleen op in het onbeschermd deel boven de waterkeringsconstructie als gevolg van golfooploop en golfoverslag.
- Bescherming is ook mogelijk door een reductie van de golfaanval. Een dergelijke bescherming vindt plaats bij de aanwezigheid van een golfbreker die zich op enige afstand voor het duinlichaam bevindt.



Figuur 7.6 Hybride kering: Verdedigd duin. Bescherming van een duin door harde waterkeringsconstructies

In geval van gedeeltelijk falen van een beschermende waterkeringsconstructie kan juist een negatief effect optreden voor de veiligheid. Door een lokale bres wordt het achterliggend duin direct blootgesteld aan golfaanval. Een deel van het afgeslagen zand verdwijnt in langsrichting, omdat in de aangrenzende delen de waterkeringsconstructie nog aanwezig is en er een minimale depositie heeft plaatsgevonden. Hierdoor zal de depositie bij de bres kleiner zijn dan bij een onverdedigd duin, waardoor de golfaanval op het achterliggend duin groter is. Dit kan uiteindelijk resulteren in meer duinerosie dan bij een onverdedigd duin

[Figuur 7.7]. Een dergelijke achteruitgang bij een bres is ook waargenomen bij laboratoriumexperimenten zoals weergegeven in Figuur 7.8 [Boers et al. (2011)].



Figuur 7.7 Duinafslag achter een bres in een duinvoetverdediging of strandmuur



Figuur 7.8 Foto van duinafslag achter een bres in een duinvoetverdediging; Foto Deltares

De aanwezigheid van NWO's

Er kunnen op de duinwaterkeringen en hybride keringen NWO's (Niet Waterkerende Objecten) voorkomen, die zelf geen waterkerende functie hebben, maar wel de veiligheid van de waterkering beïnvloeden [Deltares (2009)]. Hierbij kan worden gedacht aan bebouwing, pijpleidingen of andere harde objecten [Figuur 7.9]. Het is van belang of het object tijdens de storm in brokstukken uiteenvalt, of als monoliet in stand blijft. Allereerst kunnen NWO's het direct overstromingsrisico vergroten:

- Er kan een overstroming optreden door of langs pijpleidingen die de waterkering doorkruisen.
- Er kan een overstroming optreden via een kelder die volstroomt.
- Er kan een overstroming optreden als een monoliet uit een duin afschuift en een bres achterlaat.



Figuur 7.9 NWO's op het duin bij Zandvoort; Foto RWS

Verder is het mogelijk dat de aanwezigheid van een NWO plaatselijk de duinerosie versterkt:

- Er kan langs het NWO extra afslag optreden, vergelijkbaar met een aansluitingsconstructie.
- Als de afslagrand het NWO heeft gepasseerd, waardoor het NWO als een eiland in zee komt te liggen, kan het NWO effect hebben op de golfbelasting waardoor de afslagrand lokaal extra terugschrijdt.
- Als de afslagrand het NWO heeft gepasseerd, waardoor het NWO als een eiland in zee komt te liggen, kan tussen de NWO en de duinrand extra duinafslag optreden door langsstroming.

7.2 Rekenregels voor duinwaterkeringen

De detailtoets dient te worden uitgevoerd voor alle JARKUS – raaien vanaf 1996. Als resultaat levert de detailtoets een serie afslagpunten R op [paragraaf 10.3.1]. Deze serie wordt gebruikt bij de beoordeling van de veiligheid [paragraaf 8.1].

De rekenregels voor de detailtoets voor duinwaterkeringen worden beschreven in hoofdstuk 10. Deze rekenregels bestaan uit twee doorontwikkelde versies van het model DUROS uit Leidraad Duinafslag [TAW (1984)]:

- DUROS+ dient te worden toegepast voor duinwaterkeringen met Hydraulische Randvoorwaarden op diep water. Dit model houdt rekening met de invloed van de golfperiode, en is in 2006 beschreven in het TRDA2006.
- D++ dient te worden toegepast voor duinwaterkeringen met Hydraulische Randvoorwaarden op ondiep water. Dit model is nieuw.

In de HR2011 worden voor Zeeland en Holland (exclusief Texel) Hydraulische Randvoorwaarden op diep water afgegeven. Hier dient gebruik te worden gemaakt van DUROS+. Voor de Waddeneilanden worden Hydraulische Randvoorwaarden afgegeven op ondiep water. Hier dient gebruik te worden gemaakt van D++.

Voor berekeningen met de detailtoets dient gebruik te worden gemaakt van de gemeten JARKUS – profielen [hoofdstuk 4]. Voor een aantal bijzondere situaties zijn hiervoor in paragraaf 10.4 aanvullende richtlijnen gegeven.

De detailtoets is gebaseerd op laboratoriumexperimenten met een zogenaamd referentieprofiel dat een “gemiddeld” profiel voor de Hollandse kust representeert. Voor de veiligheidsbeoordeling van complexe situaties is de toepassing van de detailtoets dient de waterkeringbeheerder echter een afweging te maken of met de detailtoets kan worden volstaan. Het betreft de volgende situaties [hoofdstuk 11]:

- Banken en zandplaten
- Dubbele duinen
- Lage duinen
- Geulen met steile taluds
- Niet uniforme kust

7.3 Rekenregels voor hybride keringen

7.3.1 Duinafslag en erosie voor de waterkeringsconstructie

Voor de beoordeling van hybride keringen zijn de volgende berekeningen van belang:

- Er dient te worden berekend of de harde waterkeringsconstructies voldoende standvast is. Deze berekeningen betreffen zowel het verdedigd duin als de verdedigde dijk [paragraaf 7.3.2].
- Voor het verdedigd duin geldt dat er een berekening dient te worden uitgevoerd naar de hoeveelheid duinafslag achter de waterkeringsconstructie [paragraaf 7.3.3].

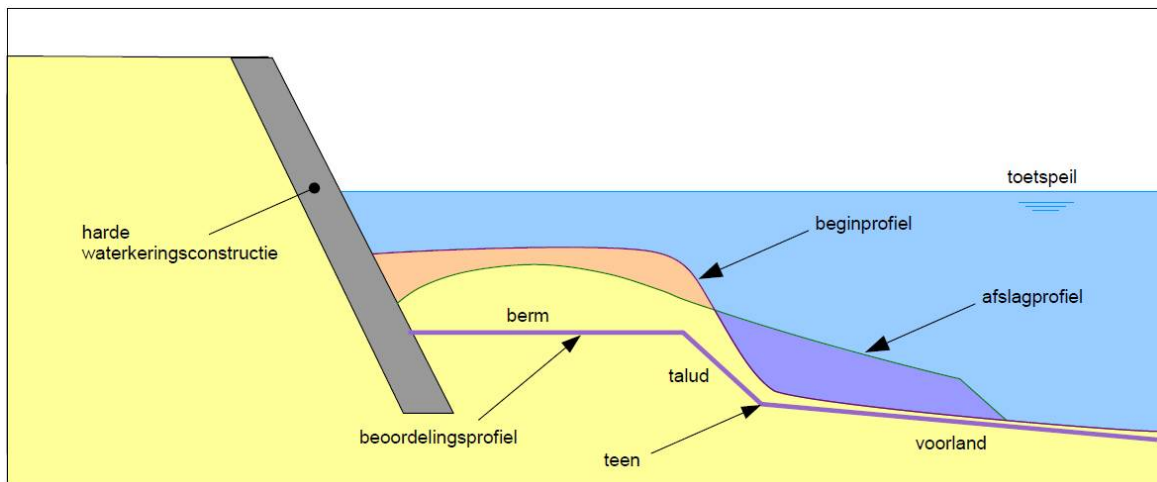
7.3.2 Standvastheid harde waterkeringsconstructie

In deze paragraaf worden twee methoden aangereikt voor berekenen van erosie voor en achter een hybride kering, namelijk de twee fasen aanpak en de integrale berekening. Het doel hierbij is de bepaling van de ontgrondingskuil voor de waterkeringsconstructie en de golfbelasting op de waterkeringsconstructie. Om te kunnen beoordelen of de waterkeringsconstructie standvast is dienen vervolgstappen te worden uitgevoerd die niet in dit TRDH2011 zijn beschreven.

Twee fasen aanpak

Een manier om de standvastheid van een harde waterkeringsconstructie te berekenen is de twee fasen aanpak [Figuur 7.10]:

- De standvastheid van de harde waterkeringsconstructie wordt beoordeeld met een beoordelingsprofiel die zich onder het oppervlakte van het zandlichaam bevindt. Figuur 7.10 geeft een voorbeeld van een beoordelingsprofiel met een berm, een talud en een voorland. Hierbij dient de hoogte van de berm dusdanig te zijn gekozen dat de stabiliteit van de harde waterkeringsconstructie niet in het geding komt. Dit betekent dat er geotechnisch onderzoek nodig is om het beoordelingsprofiel te berekenen. Voor de berekening van de golfloop en golfoverslag, en voor de sterktoets van de bekleding dienen golfbrandvoorwaarden aan de teen van het beoordelingsprofiel te worden bepaald [paragraaf 12.3.3]. Voor de waterstand wordt gebruik gemaakt van het toetspeil voor dijken (en dus niet het rekenpeil voor duinafslag).



Figuur 7.10 Beoordelingsprofiel voor de stabiliteit van een harde waterkeringsconstructie

- Met behulp van een procesgebaseerd afslagmodel wordt een erosieberekening uitgevoerd. Net als bij de duinwaterkering dienen te berekeningen te worden uitgevoerd met JARKUS – profielen vanaf 1996 [paragraaf 7.2]. Een eventuele teenconstructie dient te worden meegenomen als een niet – erodeerbare laag. Nadat de berekeningen zijn uitgevoerd, wordt nagegaan of voor alle JARKUS – profielen zowel beginprofiel als eindprofiel het beoordelingsprofiel niet hebben doorsneden. Als dit wel het geval is, dient het beoordelingsprofiel te worden aangepast. Met dit nieuwe beoordelingsprofiel wordt de harde waterkeringsconstructie opnieuw op veiligheid beoordeeld.

Integrale berekening

Bij een integrale berekening wordt met een procesgebaseerd afslagmodel het stormverloop doorgererekend. Dit levert een tijdsverloop op van de ontwikkeling van de ontgrondingskuil voor de harde waterkeringsconstructie, en de golfbelasting en golfoploop.

7.3.3 Duinafslag verdedigd duin

In het Basisrapport Zandige Kust is een rekenmethode beschreven voor duinafslag boven een duinvoetverdediging [TAW (1995)]. Deze rekenmethode is opnieuw beschreven in hoofdstuk 19, en kan eventueel worden toegepast in een toets op maat.

Als er echter enige afstand is tussen de beschermingsconstructie en het te verdedigen duin, wat dikwijls het geval is bij een strandmuur [onderste tekening van Figuur 7.6], kan de empirische methode niet worden toegepast. Een procesgebaseerd model biedt in dat opzicht meer mogelijkheden. Hierbij geldt wel als voorwaarde dat het toegepaste model de golfoploop en –overslag, en het daaruit volgende sedimenttransport op een betrouwbare manier berekent.

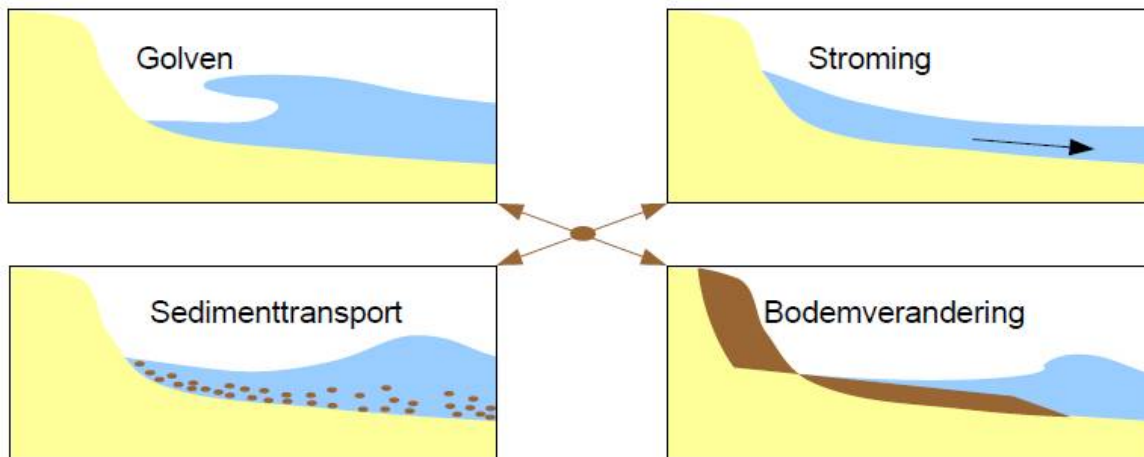
7.4 Aansluitingsconstructies

Bij een aansluitingsconstructie tussen twee typen waterkering, waarbij minimaal één waterkering tot het type duinwaterkering of hybride kering behoort, kan er extra duinerosie tijdens storm optreden. Om dit effect te berekenen is in het VTV2006 is een uitgebreide toetsmethode voor aansluitingsconstructies beschreven. Deze toetsmethode is als bijlage opgenomen in hoofdstuk 19, en kan ook in de volgende toetsronde als een toets op maat

worden uitgevoerd. Hierbij dient echter rekening te worden gehouden met het feit dat deze methode geen rekening houdt met extra erosie bij scheef invallende golven.

7.5 Toets op maat

Er bestaan diverse instrumenten waarmee een toets op maat kan worden uitgevoerd. Het is hierbij belangrijk om de juiste hydraulische randvoorwaarden te hanteren. Hoofdstuk 12 geeft een overzicht van de mogelijkheden hiervoor.



Figuur 7.11 Fysische processen die in een procesgebaseerd afslagmodel worden gesimuleerd

Eén van de mogelijkheden voor een toets op maat betreft het gebruik van procesgebaseerde afslagmodellen [Deltares (2008A, 2008B)]. Dit zijn rekenmodellen die de fysische processen golven, stroming, sedimenttransport en bodemligging zo betrouwbaar mogelijk proberen te voorspellen [Figuur 7.11].

Verder zijn er in het verleden empirische rekentechnieken ontwikkeld die kunnen worden toegepast binnen een toets op maat:

- Duinafslag boven een duinvoetverdediging, zoals beschreven in hoofdstuk 19 [TAW (1995)]
- Duinafslag bij een aansluitingsconstructie, zoals beschreven in hoofdstuk 20 [Ministerie van verkeer en Waterstaat (2007A)]

8 Richtlijn beoordeling veiligheid

8.1 Beoordeling veiligheid duinwaterkering

8.1.1 Beoordeling met het R – t diagram in de detailtoets

In het TRDA2006 is het zogenaamde R – t diagram geïntroduceerd waarmee op basis van een berekende duinafslag voor 15 opeenvolgende jaren de veiligheid van een JARKUS – raai kan worden beoordeeld. Deze methode vervangt de lineaire extrapolatie methode uit de Leidraad Duinafslag, waarmee wordt geanticipeerd op toekomstige erosie op basis van een negatieve trend uit het verleden [TAW (1984)]. Sinds 1990 is er door de handhaving van de BKL (Basiskustlijn) geen sprake meer van een doorgaande achteruitgang van de kust, en is de methode van de Leidraad niet meer realistisch.

Ook in het TRDH2011 wordt het R – t diagram voorgeschreven voor gebruik bij de detailtoets, waarbij vanaf 1996 de afslagpunten worden berekend voor de gemeten JARKUS – raaien [paragraaf 7.2]. Deze methode wordt nu verder uitgewerkt vanwege de volgende redenen:

- Op een aantal plaatsen zijn na 1996 versterkingen uitgevoerd. In dat geval beschrijft het VTV of het nodig is om een toets uit te voeren. Indien dat het geval is, dient het R – t diagram alleen voor de periode na de versterking te worden opgesteld. Dit betekent dat er minder jaren beschikbaar zijn waarop het oordeel kan worden gebaseerd. Dit wordt beschreven in paragraaf 8.1.2.
- Er kan gebrek zijn aan gemeten profielen, waardoor vanaf 1996 niet voor alle opeenvolgende jaren de duinafslag kan worden berekend.

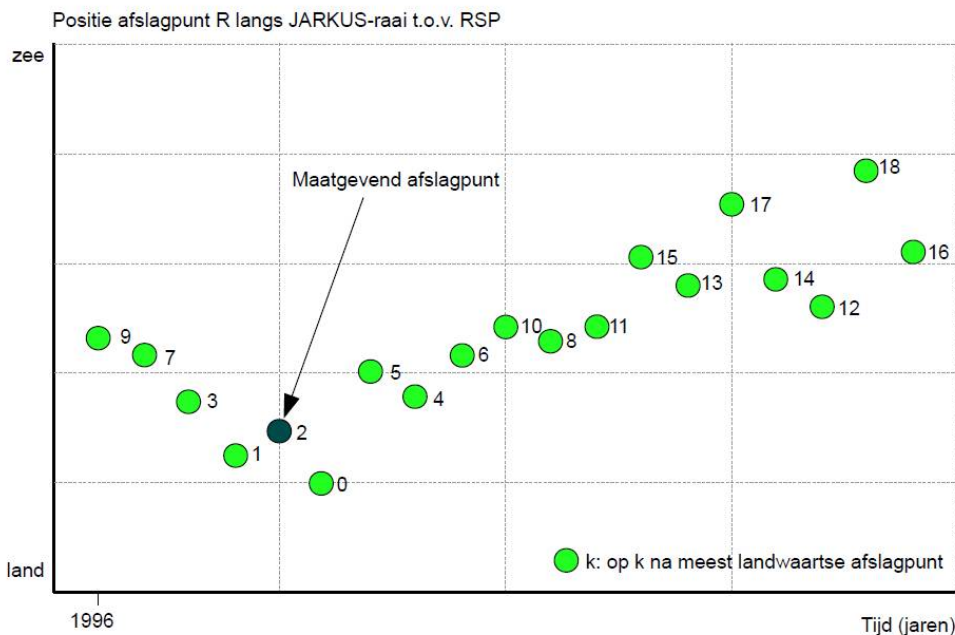
Van een versterking is in ieder geval sprake indien deze is uitgevoerd in het kader van het HWBP (Hoogwaterbeschermingsprogramma). Ook een (lichte) duinversterking van de zeereep of de binnenduinen mag als een versterking worden aangemerkt, mits duidelijk is dat deze na duinafslag door een zware storm in de oorspronkelijke staat wordt hersteld. Strandsuppleties of vooroeversuppleties in het kader van kustlijninzorg worden niet als versterking aangemerkt, tenzij er voor de betreffende locatie specifieke afspraken zijn gemaakt tussen de waterkeringbeheerder en Rijkswaterstaat. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan een zeewaartse verlegging van de BKL.

Op plaatsen waar sprake is van dynamisch duinbeheer kan verstuing van het duin optreden. Het verstuing van het duin zorgt voor aanpassingen van het dwarsprofiel, vergelijkbaar met de morfologische veranderingen op het strand en de vooroever. Deze dynamiek wordt in het beoordelingsproces ondervangen in het R – t diagram. Dynamisch duinbeheer leidt daarom niet tot aanvullende stappen in het beoordelingsproces.

8.1.2 Bepaling van het maatgevend afslagpunt

In het TRDA2006 wordt kort gesteld dat één of twee overschrijdingen van het afslagpunt ten opzichte van de landwaartse grens waterkering toelaatbaar kan zijn, indien er minimaal een reeks van 15 afslagpunten beschikbaar is. Uit dit “zachte” criterium kan nog niet een maatgevend afslagpunt op een JARKUS – raai worden bepaald. In het project 13 Kustplaatsen, waar de risico's van buitendijkse bebouwing in kaart zijn gebracht [Deltares (2008C, 2010A)], is dit criterium verder ontwikkeld, waarbij het op twee na meest landwaartse punt als maatgevend afslagpunt is gedefinieerd.

In het TRDH2011 geldt als uitgangspunt dat in minimaal 85 % van de gevallen het afslagpunt zeewaarts ligt van het maatgevend afslagpunt. Bij een reeks van 14 afslagpunten of meer betekent dit dat het maatgevend afslagpunt wordt bepaald door het op twee na meest landwaartse afslagpunt [Figuur 8.1]. Het aantal beschikbare afslagpunten bepaalt welk afslagpunt als maatgevend afslagpunt moet worden aangemerkt [Tabel 8.1]. Hierdoor is het mogelijk een toets uit te voeren indien er minder afslagpunten beschikbaar zijn, vanwege het tekort aan metingen of door recente versterkingen.



Figuur 8.1 Bepaling van het maatgevend afslagpunt door het op k na meest landwaartse afslagpunt

Aantal afslagpunten (N)	Waarde k voor bepaling maatgevend afslagpunt
$N \geq 14$	$k = 2$
$7 \leq N \leq 13$	$k = 1$
$N \leq 6$	$k = 0$

Tabel 8.1 Het op k na meest landwaartse afslagpunt als positie voor het maatgevend afslagpunt

Indien de afslagpunten landwaarts van het maatgevend afslagpunt zijn opgetreden gedurende de laatste vijf jaar dient nader onderzoek te worden uitgevoerd naar een mogelijk erosieve trend waardoor de sterkte voor de komende toetsronde afneemt.

Als tijdens een afslagberekening een doorbraak van de zeereep wordt geconstateerd dan wordt dit resultaat meegenomen in de veiligheidsbeoordeling. Hierbij geldt dat het maatgevend afslagpunt in de zeereep kan worden vastgesteld indien het aantal berekende doorbraken kleiner of gelijk is aan de waarde k. Indien het aantal doorbraken groter is dan k, dient bij de beoordeling rekening te worden gehouden met overstroming van de achterliggende duinvallei en mogelijk duinafslag van de binnenduinen.

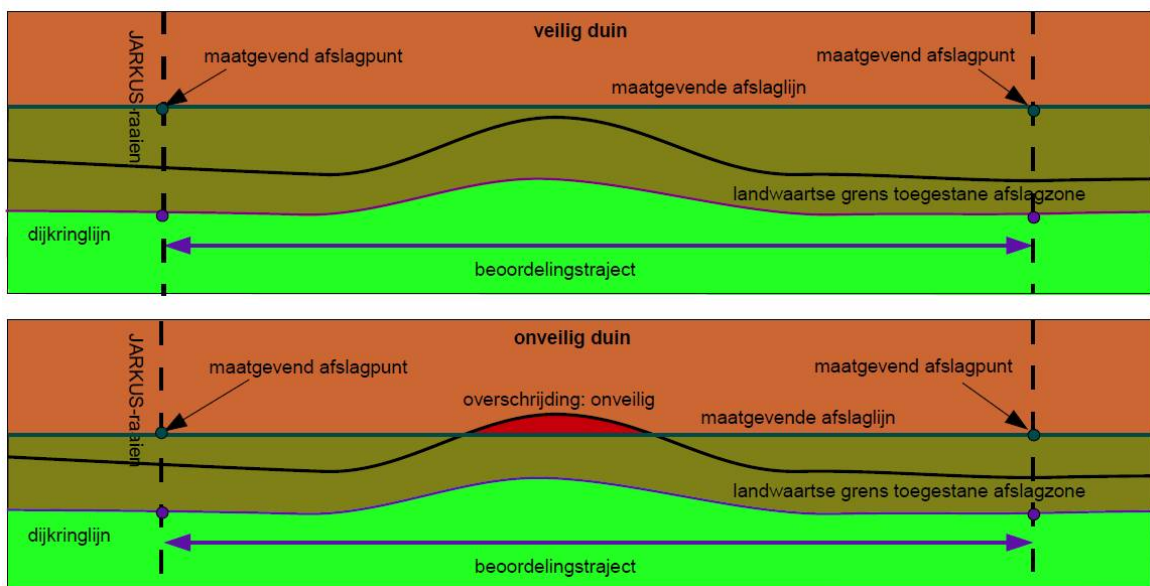
Voor complexe situaties kan het noodzakelijk zijn om een toets op maat uit te voeren met een gecompliceerde rekentechniek in een toets op maat. In een dergelijke situatie kost het mogelijk teveel rekentijd om voor een groot aantal jaren de berekeningen te herhalen. In dat

geval wordt aanbevolen om eerst met behulp van de detailtoets een maatgevend afslagpunt te berekenen, waarbij in de afslagberekening geen rekening wordt gehouden met harde elementen, en waarbij duinvalleien worden opgehoogd. De bodemligging die aanwezig is in het jaar dat het maatgevend afslagpunt bepaalt, dient vervolgens te worden toegepast tijdens de toets op maat.

8.1.3 Bepaling van de maatgevende afslag- en overstromingslijn

In hoofdstuk 5 is beschreven dat de veiligheid van een duinwaterkering of een hybride kering plaatsvindt over een beoordelingstraject. De waterkeringbeheerder dient een maatgevende afslag – overstromingslijn vast te stellen. Normaliter betreft dit een rechte lijn tussen de maatgevende afslagpunten tussen twee aangrenzende JARKUS – raaien, die de landwaartse grens van de toegestane afslagzone niet mag kruisen. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 8.2, waar voor een eenvoudige situatie een rechte maatgevende afslaglijn wordt verondersteld tussen twee maatgevende afslagpunten. De waterkeringbeheerder dient na te gaan of er sprake is van zwakke plekken tussen twee raaien. In dat geval dienen er aanvullende afslagberekeningen te worden uitgevoerd [paragraaf 10.4.3].

Indien er sprake is van een brede duinwaterkering met meerdere duinregels, kan er sprake zijn van overstroming van de achterliggende duinvallei. Voor een dergelijke situatie dient een overstromingslijn te worden vastgesteld [paragraaf 2.1]. Deze overstromingslijn mag ook de landwaartse grens van de toegestane afslagzone niet overschrijden.



Figuur 8.2 Beoordeling van de veiligheid door een vergelijking tussen de maatgevende afslaglijn met de landwaartse grens van de toegestane afslagzone. Boven: veilig, Onder: onveilig: de maatgevende afslaglijn ligt landwaarts van de landwaartse grens toegestane afslagzone

8.2 Beoordeling hybride keringen

8.2.1 Beoordeling verdedigd duin

De beoordeling van het verdedigd duin is vrijwel identiek aan de beoordeling van een duinwaterkering. Het verschil is erin gelegen dat bij de bepaling van de afslagpunten rekening wordt gehouden met de beschermende werking van een harde constructie [paragraaf 2.2].

Volgens het toetsspoor verdedigd duin dient wel te worden aangetoond dat deze constructie onder normomstandigheden “standvast” is. Hierbij kan voor het voorliggende profiel gebruik worden gemaakt van de richtlijnen uit paragraaf 7.3.2. Als er echter wel initiële schade wordt verwacht, dient de duinvoetverdediging of strandmuur als een NWO met een mogelijk negatief effect op de duinafslag te worden beoordeeld [hoofdstuk 9]. Als er sprake is van een complexe rekentechniek die veel rekentijd vraagt, wordt aanbevolen om eerst het maatgevend jaar voor het bodemprofiel te bepalen volgens de richtlijn uit paragraaf 8.1.2.

8.2.2 Beoordeling verdedigde dijk

Voor een verdedigde dijk geldt dat het dijklichaam niet mag falen conform de toetsregels die ten behoeve van het VTV2011 voor dijken zijn opgesteld. Hierbij wordt getoetst op het ontstaan van initiële schade [Figuur 3.1]. Indien dit wel het geval is dan dient de veiligheid als onvoldoende te worden beoordeeld. Voor het voorliggend profiel kan gebruik worden gemaakt van de toetsregels uit paragraaf 7.3.

9 Richtlijn beoordeling Niet Waterkerende Objecten

9.1 NWO's in duinwaterkeringen en hybride keringen

Bij de beoordeling van duinwaterkeringen en hybride keringen dient rekening te worden gehouden met NWO's [paragraaf 2.5]. De toetsregels die voor NWO's in dijken zijn opgesteld, zijn niet bruikbaar voor de beoordeling van NWO's op een zandige kering. Alleen NWO's die voorkomen op een verdedigde dijk kunnen met deze regels worden beoordeeld.

In dit hoofdstuk wordt daarom een eenvoudige toetsregel voor NWO's op duinwaterkeringen en de zandige delen van hybride keringen beschreven. Er moet worden opgemerkt dat de fysische kennis over de invloed van NWO's beperkt is. Voor een aantal situaties kan deze toetsregel geen uitsluitsel geven wat het effect is van de aanwezigheid van NWO's op de veiligheid.

9.2 Typen NWO's

9.2.1 Begroeiing

Duingebieden vervullen een belangrijke functie op het gebied van natuurwaarden, en het is daarom logisch dat grote delen zijn bedekt met vegetatie. Deze vegetatie zorgt ervoor dat het aanwezige zand sterk wordt geconsolideerd, waardoor de dynamiek van de duinen onder invloed van wind wordt beperkt. Bij de beoordeling van duinwaterkeringen en hybride keringen wordt geen rekening gehouden met de aanwezigheid of afwezigheid van vegetatie [paragraaf 8.1.1].

9.2.2 Wegen

De aanwezigheid van een verhard wegdek bestaande uit straatstenen, schelpen of asfalt zorgt ervoor dat het duinzand plaatselijk wordt vastgelegd. Indien kan worden aangetoond dat het wegdek tijdens storm in kleine brokstukken uiteenvalt, hoeft hier geen rekening mee te worden gehouden in de veiligheidsbeoordeling [Van Gent (2008)]. Als niet kan worden aangetoond dat het wegdek uiteenvalt, dient dit te worden beoordeeld als een harde constructie [paragraaf 9.2.5].

9.2.3 Kabels en leidingen

Er komen in de kustzone op veel plaatsen kabels en leidingen voor. In veel gevallen gaat het om aanlanding van pijpleidingen voor olie en gas of voor kabels voor telecommunicatie en elektriciteit. Ook in de langsrichting komen pijpleidingen voor, bijvoorbeeld voor het transport van drinkwater.

Bij de beoordeling van duinwaterkeringen dient de waterkeringbeheerder te controleren of er functionerende afsluiters in de pijpleidingen aanwezig zijn. Deze afsluiters dienen het uitspoelen van zand of het binnenstromen van water naar het binnendijkse gebied te voorkomen als er sprake is van leidingbreuk [TAW (2002)]. Kabels die het afslagprofiel doorsnijden en een diameter bezitten die groter is dan 0,50 m dienen te worden beoordeeld als een harde constructie [paragraaf 9.2.5]. Het gaat hierbij om extra duinafslag als gevolg van uitspoeling en erosie rond de leiding vanwege het aansluitingseffect.

9.2.4 Bebouwing

Bebouwing is een algemeen begrip voor harde objecten als huizen, appartementencomplexen, horeca, bedrijfspanden, bunkers, parkeergarages, vuurtorens en dergelijke. Van deze categorie NWO's wordt aangenomen dat een negatieve invloed op de duinerosie kan optreden. Waterkeringbeheerders dienen hier bij de veiligheidsbeoordeling rekening mee te houden.

9.2.5 Harde constructies

Er kunnen in duingebieden harde constructies voorkomen die niet bedoeld zijn om het water onder normomstandigheden te keren. Dergelijke harde constructies kunnen, net als bebouwing, van invloed zijn op de duinafslag, en dienen in de veiligheidsbeoordeling te worden meegenomen. Voorbeelden van dergelijke constructies zijn:

- Strandhoofden
- Duinvoetverdedigingen en strandmuren die onder normomstandigheden niet standvastig zijn [paragraaf 2.2]
- Grondkerende muren
- Steenbekleding op een duintalud
- (Fundering) van windmolens
- Wegdek dat niet uiteenvalt
- Pijpleidingen met een diameter groter dan 0,50 m.

9.3 Invloed van NWO's op duinerosie

In Deltares (2009) is een literatuurstudie uitgevoerd naar de invloed op duinafslag [zie paragraaf 7.1]. Op basis hiervan zijn de volgende factoren benoemd die van invloed zijn op de sterkte van de waterkering:

- Sterkte van een NWO.
- Ligging van de fundering.
- Omvang van het NWO
- Afstand van het NWO tot de afslaglijn
- Bebouwingsdichtheid van de NWO's

Sterkte van een NWO

De sterkte van een NWO bepaalt of deze tijdens de storm in brokstukken uiteenvalt of dat de constructie als een monoliet in stand blijft. Als de constructie bij een geringe belasting in kleine brokstukken uiteenvalt, wordt verondersteld dat er geen negatieve effecten zijn voor de hoeveelheid duinafslag. Als de constructie in stand blijft, worden er wel negatieve effecten verwacht. Sterke constructies zijn aanwezig in de vorm van bunkers, maar ook als parkeergarages of als hoogbouw waar een zware fundering noodzakelijk is. Als de constructie in stand blijft, kunnen de volgende verschijnselen optreden:

- Als de afslagrand het NWO bereikt, kan er naast het NWO extra afslag optreden.
- Als de afslagrand het NWO bereikt, kan het NWO worden ondergraven en afschuiven naar zee. Hierdoor kan er een gat achterblijven in het duin.
- Als de afslagrand het NWO heeft gepasseerd, waardoor het NWO als een eiland in zee komt te liggen, kan het NWO effect hebben op de golfbelasting waardoor de afslagrand lokaal extra terugschrijdt.

Ligging van de fundering

De ligging van de fundering is om meerdere redenen van belang. Als de fundering hoog boven het afslagprofiel ligt, zal het NWO of geheel bezwijken of afschuiven naar zee. Als er sprake is van een diepere fundering, bestaat de mogelijkheid dat de NWO op zijn plaats blijft staan. Dit is bijvoorbeeld mogelijk bij windmolens in het duingebied.

Omvang van een NWO

De omvang van een NWO wordt bepaald door het ruimtelijk oppervlak en de hoogte van het object. Beide hebben een effect:

- De hoogte is van belang voor de sterkte van het NWO en, indien deze bezwijkt voor de hoeveelheid brokstukken. Hoge objecten hebben een sterke fundering nodig, waardoor de kans groter wordt dat het object zich als één geheel (monoliet) gedraagt. Ook bij bezwijken kan er zoveel puin op het duin komen te liggen, dat hierdoor een soort duinvoetverdediging ontstaat met extra afslag naast het object tot gevolg [paragraaf 7.1].
- De oppervlakte is om meerdere redenen van belang. Als het object afschuift, bepaalt het de grootte van de achterblijvende bres. Als het object blijft staan, is de omvang van invloed op de golfbelasting en de lokale extra duinregressie.

Afstand van het NWO tot de afslaglijn

De afstand tussen het NWO en de afslaglijn aan het einde van de storm is ook van belang. Als de afstand groot is, ofwel als het NWO dicht bij het strand ligt, neemt de invloed van het NWO af. Monolieten zakken verder weg naar beneden en als het NWO bezwijkt, worden de brokstukken gemakkelijker verspreid.

Bebouwingsdichtheid van de NWO's

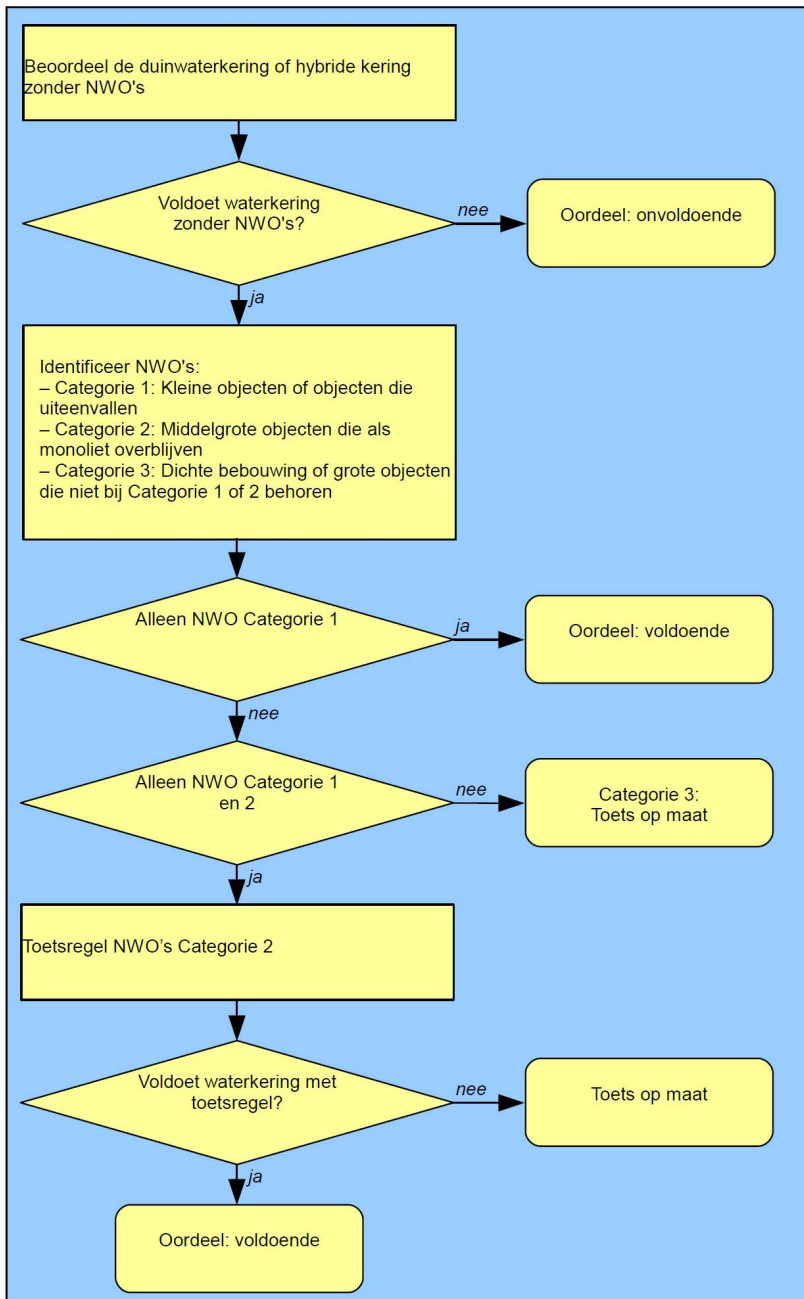
Als er sprake is van een hoge dichtheid van NWO's, is het mogelijk dat deze tijdens een storm gezamenlijk als een soort hybride kering gaan werken. Daar waar deze bebouwing lokaal ontbreekt, bijvoorbeeld bij een straat dwars op de kust, kan dan extra duinafslag optreden in de vorm van het zogenaamde breseffect [Figuur 7.7].

9.4 Beoordeling NWO's in duinen**9.4.1 Richtlijn voor de beoordeling NWO's in het aaneensluitend grensprofiel**

De waterkeringbeheerder dient te toetsen of er sprake kan zijn van lekkage door het aaneensluitend grensprofiel door de aanwezigheid van NWO's. Deze beoordeling betreft alle NWO's die (gedeeltelijk) op het aaneensluitend grensprofiel aanwezig zijn. Het betreft vooral pijpleidingen of holle ruimten onder het maaiveld, zoals kelders en tunnels [paragraaf 9.2.3]. Indien hiervan sprake is dient de landwaartse grens van de toegestane afslagzone in het extreme geval zeewaarts te worden verplaatst, totdat er geen sprake meer kan zijn van lekkage [paragraaf 6.2.3].

9.4.2 Richtlijn voor de beoordeling NWO's in de afslagzone

De waterkeringbeheerder dient te toetsen of de aanwezigheid van NWO's in de afslagzone leidt tot extra duinafslag of erosie. Hiervoor is een richtlijn opgesteld, die is weergegeven in Figuur 9.1. Allereerst wordt de waterkering beoordeeld zonder rekening te houden met de aanwezigheid van NWO's. Als deze beoordeling blijkt dat de waterkering voldoet, wordt het effect van NWO's apart beoordeeld.



Figuur 9.1 Richtlijn voor de beoordeling van het effect van NWO's op duinafslag en erosie

Bij de uitvoering van de richtlijn voor de beoordeling van het effect van NWO's op duinafslag en erosie, betreft het alle NWO's die geheel of gedeeltelijk zeewaarts liggen van de maatgevende afslaglijn. Deze NWO's worden in drie categorieën ingedeeld [Figuur 9.1].

- Categorie 1: Kleine objecten, objecten die in kleine brokstukken uiteenvallen, of objecten die niet boven het afslagprofiel uitsteken. Hiervan wordt verondersteld dat er geen effect is op duinafslag. Voor deze NWO's hoeft geen beoordeling te worden uitgevoerd.
- Categorie 2: Middelgrote objecten buiten dicht bebouwde omgeving die als monoliet in stand kunnen blijven. Voor deze objecten wordt een toetsregel NWO's Categorie 2 beschreven in paragraaf 9.4.3. Als uit deze toets blijkt dat de waterkering nog steeds

voldoet, kan met dit resultaat worden volstaan. Als blijkt dat de waterkering niet voldoet, dient een toets op maat te worden uitgevoerd.

- Categorie 3: Dichte bebouwing of grote objecten die niet onder de Categorieën 1 of 2 vallen dienen met een toets op maat te worden beoordeeld.

De hoogste categorie die in een beoordelingstraject wordt aangetroffen bepaalt de manier van toetsen. Stel dat een beoordelingstraject een NWO van Categorie 2 en een NWO van Categorie 3 bevat, dan dient een toets op maat te worden uitgevoerd.

De volgende NWO's maken onderdeel uit van Categorie 1:

- Vegetatie
- Wegen waarvan het wegdek in brokken uiteenvalt
- Kabels
- Leidingen met een diameter kleiner dan 0,5 m
- Strandtenten
- Bebouwing die voldoet aan alle volgende criteria:
 - De bebouwing valt in brokstukken uiteen (bijvoorbeeld hout en baksteen)
 - De fundering ligt hoger dan het rekenpeil + 1 meter
 - De hoogte boven maaiveld is minder dan 10 meter
 - Er is geen sprake van dichte bebouwing
- Kleine objecten (inclusief fundering) met een maximale diameter van 5% van de afstand tussen de nullijn duinafslag en de landwaartse grens van de toegestane afslagzone.
- Strandhoofden; deze spelen wel een rol in mogelijk zandverlies tijdens storm [paragraaf 11.6].

De volgende NWO's maken deel uit van Categorie 2:

- Bebouwing die niet valt onder Categorie 1 en waarvan de hoogte boven maaiveld maximaal 10 meter bedraagt, en waar geen sprake is van dichte bebouwing.

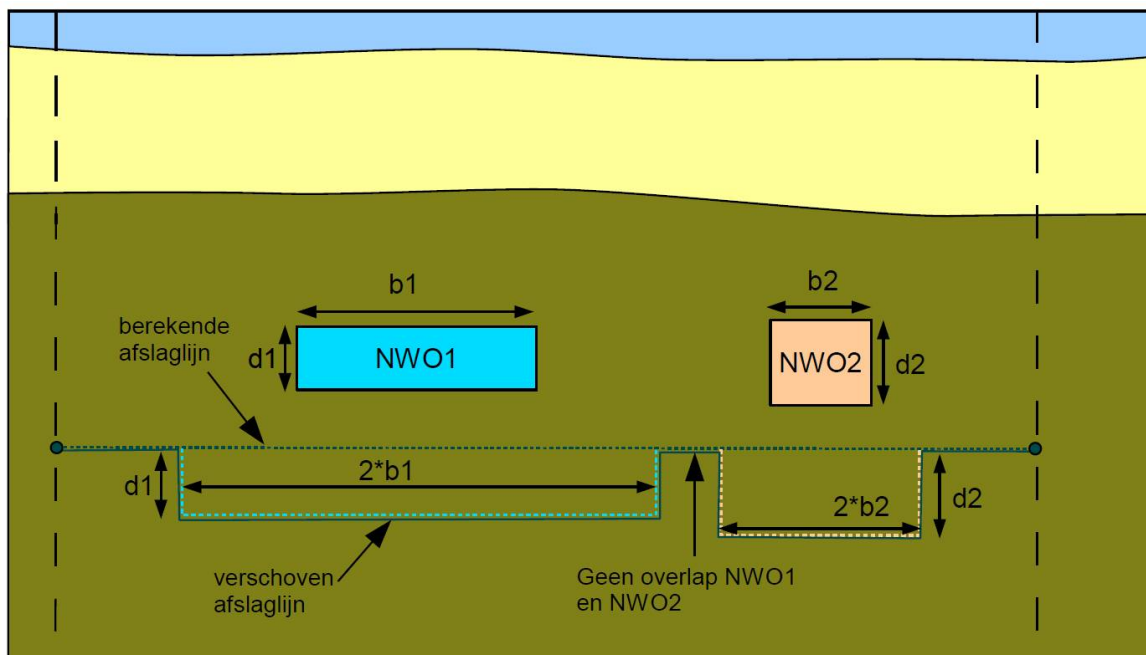
Alle overige NWO's vallen onder Categorie 3. Hierbij kan worden gedacht aan:

- Bebouwing met een hoogte boven maaiveld hoger dan 10 meter, of in dichte bebouwing.
- Harde constructies, exclusief strandhoofden [paragraaf 9.2.5].

9.4.3 Toetsregel NWO's Categorie 2

De eenvoudige toets voor NWO's uit Categorie 2 bestaat uit een landwaartse verschuiving van de afslag- overstromingslijn [Figuur 9.2]. Hiervoor dient de volgende procedure te worden gevolgd:

- Van het object wordt de breedte (b) langs de kust en de afstand (d) dwars op de kust bepaald. Het gaat hierbij om de uiterste punten.
- Voor elk object wordt de afslag - overstromingslijn landwaarts verschoven over een afstand d. Dit gebeurt over een lengte van twee maal de breedte b.
- De verschoven afslaglijn wordt geconstrueerd uit de omhullende lijn waarin de effecten van alle NWO's uit de Categorie 2 zijn opgenomen. Indien de verschoven afslaglijnen van twee objecten elkaar overlappen is er sprake van dichte bebouwing. Deze valt onder Categorie 3.



Figuur 9.2 Verschuiving afslaglijn in de eenvoudige toets NWO's Categorie 2

Vervolgens wordt de verschoven afslaglijn toegepast in de beoordelingsmethode zoals beschreven in paragraaf 8.1.3.

C. REKENREGELS DUINAFSLAG, EROSIE EN OVERSTROMING

10 Detailtoets voor duinwaterkeringen

10.1 Beschrijving Detailtoets

Hoofdstuk 7 bevat de richtlijn voor het berekenen van duinafslag met behulp van de detailtoets voor duinwaterkeringen. In dit hoofdstuk wordt deze detailtoets beschreven. Er zijn voor deze detailtoets twee versies beschikbaar, namelijk de detailtoets DUROS+ en de detailtoets D++. De keuze voor de detailtoets die dient te worden toegepast wordt bepaald door de HR2011.

Beide versies komen voort uit het DUROS – model uit de Leidraad duinafslag 1984 [TAW(1984)]. Elke versie van de detailtoets bestaat uit de volgende onderdelen [Tabel 10.1]:

- Morfologisch afslagmodel: Met het morfologisch afslagmodel kan een voorspelling van de duinafslag worden gemaakt indien alle benodigde randvoorwaarden bekend zijn. Dit toetsonderdeel wordt beschreven in paragraaf 10.2.
- Probabilistisch model: Het probabilistisch model combineert het morfologisch afslagmodel met de statistiek van de randvoorwaarden. Hiermee kan de duinafslag als functie van de overschrijdingskans per jaar worden voorspeld. Daarnaast levert het probabilistisch model zogenaamde ontwerppunten op die van belang zijn voor de afleiding van de hydraulische randvoorwaarden. Dit model is ontwikkeld voor de afleiding van het toetsmodel, maar wordt (nog) niet gebruikt bij het toetsen van modellen. Meer achtergrondinformatie kan worden gevonden in WL|Delft Hydraulics (2007) en Deltares (2011B).
- Toetsmodel: Met het toetsmodel wordt een voorspelling gedaan van de hoeveelheid duinafslag die hoort bij de maatgevende overschrijdingskans [hoofdstuk 3]. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de HR2011. Het resultaat van dit toetsmodel is een nauwkeurige benadering van het probabilistisch model voor deze specifieke overschrijdingskans, maar vergt veel minder rekentijd. Dit toetsonderdeel wordt beschreven in paragraaf 10.3.

		Applicaties			HR2011		
		Morfologisch afslagmodel	Probabilistisch model	Toetsmodel	Waddeneilanden	Holland	Zeeland
Versies	DUROS+ (2006)	X	X	X		X	X
	D++ (2011)	X	X	X	X		

Tabel 10.1 Versies, applicaties en hydraulische randvoorwaarden van de detailtoets

Het toetsmodel berekent afslagpunten met behulp van gemeten JARKUS – profielen. In een aantal situaties zijn hier aanvullende bewerkingen bij nodig. Paragraaf 10.4 geeft hiervoor aanvullende richtlijnen.

10.2 Morfologisch afslagmodel

10.2.1 Uitgangspunten van het afslagmodel

De ontwikkeling van het afslagmodel van DUROS+ en D++ is gebaseerd op een aantal belangrijke uitgangspunten:

- Tijdsonafhankelijke hydraulische randvoorwaarden: Het afslagmodel is afgeleid op basis van experimenten met vaste waarden voor de waterstand, de golfhoogte en de golfperiode. Deze vaste hydraulische randvoorwaarden vormen een benadering voor het tijdsafhankelijke stormverloop op de Noordzee.
- Empirisch afslagprofiel: Er wordt aangenomen dat het duinafslagprofiel na een storm met maatgevende omstandigheden goed wordt beschreven met een empirisch afslagprofiel. Hierbij geldt dat de vorm van het beginprofiel voor de storm niet van invloed is op de vorm van het profiel na afloop van de storm.
- Sedimentbalans: Er wordt aangenomen dat het volume aan zand in een dwarsprofiel tijdens een storm niet verandert. Dit betekent dat het zand dat voor het duin wordt afgezet gelijk is aan het volume duinafslag.

Bij de bepaling van het duinafslagprofiel met DUROS wordt de volgende rekenprocedure uitgevoerd:

- De invoergegevens voor de afslagberekeningen worden ingewonnen. Het gaat hierbij om:
 - de waterstand (stormvloedpeil)
 - de significantie golfhoogte (H_{m0})
 - de golfperiode als piekperiode (T_p) of spectrale golfperiode ($T_{m-1,0}$)
 - de korreldiameter (D_{50})
 - het beginprofiel
- Met behulp van de waterstand, de golfhoogte, de golfperiode en de korreldiameter wordt het evenwichtsprofiel berekend na afloop van een storm.
- Tot slot wordt het berekende afslagprofiel gekoppeld aan het beginprofiel, zodanig dat er sprake is van een volumebalans.

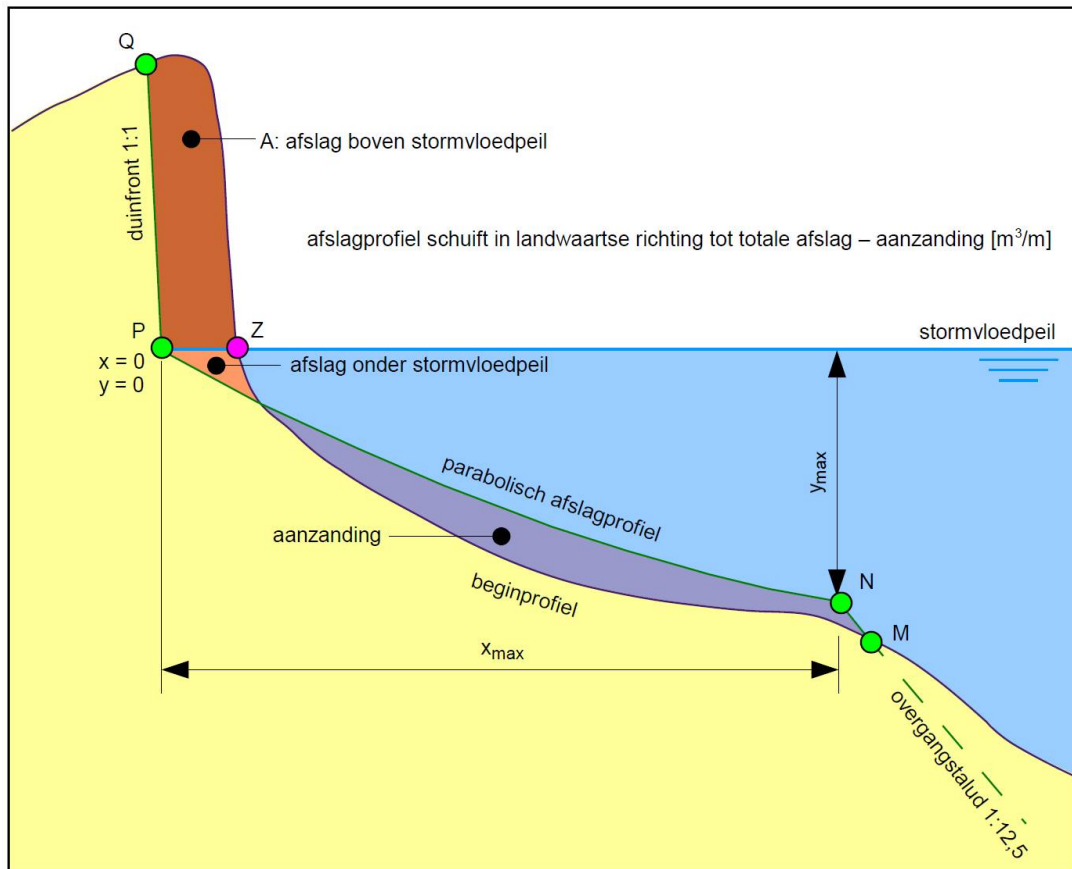
Deze uitgangspunten hebben ervoor gezorgd dat een eenvoudig en snel afslagmodel kon worden afgeleid. Dit is vooral van belang voor probabilistische berekeningen waarin een groot aantal berekeningen met het afslagmodel wordt uitgevoerd. Voor complexe situaties waarvoor één of meerdere uitgangspunten niet geldig zijn, vindt een afweging plaats of er een toets op maat dient te worden uitgevoerd [hoofdstuk 11].

Het morfologisch afslagmodel in de detailtoets berekent het afslagprofiel na afloop van een storm. Dit afslagprofiel is als volgt samengesteld [Figuur 10.1]:

- Duinfront: Het duinfront is het deel van het afslagprofiel dat boven het stormvloedpeil ligt. Aan de bovenzijde wordt het duinfront begrensd door het afslaggpunt Q, aan de onderzijde door de duinvoet P. Het duinfront heeft een veronderstelde helling van 1:1. Dit geldt zowel voor DUROS+ als D++.
- Parabolisch afslagprofiel: Het parabolisch afslagprofiel beschrijft het afslagprofiel tussen de duinvoet P en de voet van het afslagprofiel N. De functie die dit parabolisch afslagprofiel beschrijft, verschilt voor DUROS+ en D++. Deze functies worden in de paragrafen 10.2.2 en 10.2.3 beschreven. De oorsprong van de afslagparabool ligt op de duinvoet P. De (opgelegde) lengte van het parabolisch afslagprofiel (tussen de punten P en N) is gedefinieerd als x_{max} . De (opgelegde) maximale diepte van het parabolisch

afslagprofiel bedraagt $y_{\max}$ ter plaatse van punt N. Beide waarden worden berekend als functie van de invoerwaarden.

- **Overgangstalud:** Het overgangstalud beschrijft het afslagprofiel tussen de voet N en het depositiepunt M. Dit overgangstalud heeft een veronderstelde helling van 1:12,5. Dit geldt zowel voor DUROS+ als D++.



Figuur 10.1 Het afslagprofiel na afloop van een storm volgens DUROS

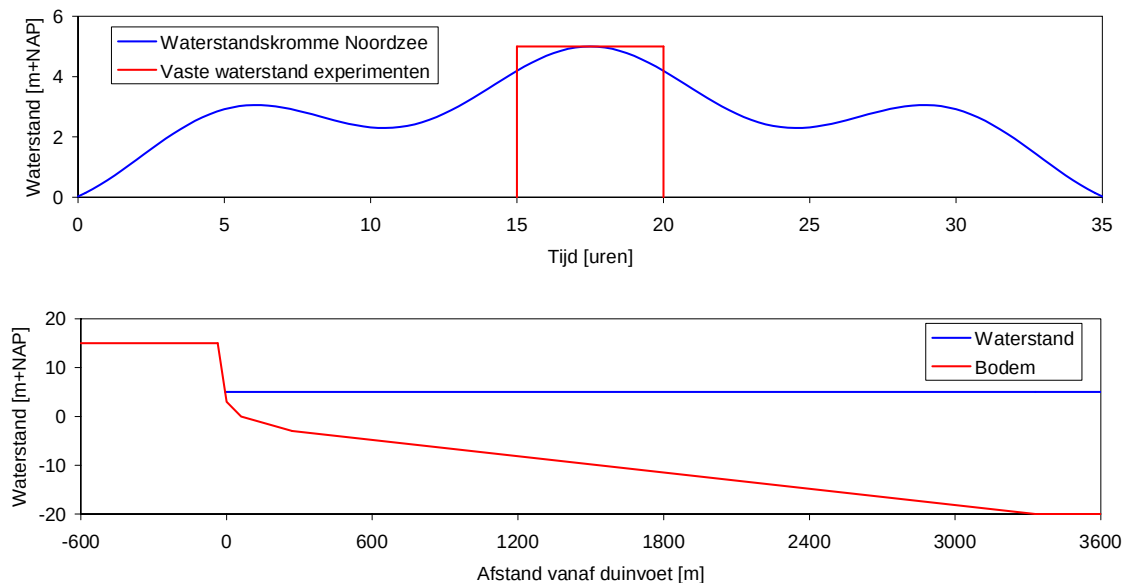
Figuur 10.1 geeft daarnaast twee parameters die de duinafslag boven het stormvloedpeil beschrijven:

- **Afslagvolume boven stormvloedpeil A:** Deze parameter wordt zowel in het probabilistisch model als in het toetsmodel gebruikt als een maat voor de hoeveelheid duinafslag.
- **Nulpunt duinafslag Z:** Dit nulpunt is het snijpunt tussen het stormvloedpeil en het duinprofiel voordat de storm begint.

Het parabolisch afslagprofiel wordt beschreven met een wiskundige vergelijking die gebruik maakt van de golfhoogte, golfperiode en korreldiameter. Deze vergelijking is tot stand gekomen na laboratoriumexperimenten in een golfgoot met een duin. De referentiecondities voor prototypeschaal bestaan uit een veronderstelde waterstandskromme voor de Noordzee, een referentieprofiel dat ongeveer overeenkomt met het gemiddelde profiel van de Nederlandse kust, een korreldiameter van $D_{50} = 225 \mu\text{m}$, een golfhoogte op diep water van $H_{m0} = 7,6 \text{ m}$ en een piekperiode van $T_p = 12 \text{ s}$ [Figuur 10.2].

Omdat het vrij bewerkelijk is om tijdens een duinafslagexperiment te werken met een variërende waterstand zijn de proeven in de meeste gevallen uitgevoerd met een vaste

waterstand, gelijk aan de maximale waterstand van de waterstandskromme. Uit experimenten bleek dat een storm van vijf uur met het maximale stormvloedpeil dezelfde hoeveelheid duinafslag veroorzaakt als de veronderstelde waterstandskromme [Figuur 10.2].



Figuur 10.2 Uitgangspunten voor de experimenten ten behoeve van het morfologisch afslagmodel voor de detailtoets; boven: waterstandskromme, onder: referentieprofiel

10.2.2 Morfologisch afslagmodel DUROS+

Het parabolisch afslagprofiel van de detailtoets DUROS+ maakt gebruik van golfbrandvoorwaarden op diep water [TRDA2006, WL | Delft Hydraulics (2006)]. De vergelijking van dit afslagprofiel tussen de duinvoet P en de voet van het afslagprofiel N [Figuur 10.1] luidt als volgt:

$$\frac{7,6}{H_{m0}} y = 0,4714 \left[\left(\frac{7,6}{H_{m0}} \right)^{1,28} \left(\frac{12}{T_p} \right)^{0,45} \left(\frac{w_s}{0,0268} \right)^{0,56} x + 18 \right]^{0,5} - 2,0 \quad 10.1$$

waarbij:

- x : horizontale afstand ten opzichte van P [m]
- y : diepte onder stormvloedpeil [m]
- w_s : valsnelheid van sediment in water van 5 °C [m/s]

Het gebruik van de piekperiode T_p is alleen valide in geval van een standaard enkeltoppig spectrum. Beter is het om gebruik te maken van de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ die kan worden toegepast voor alle spectrumvormen [Van Gent *et al.* (2008)]:

$$\frac{7,6}{H_{m0}} y = 0,4714 \left[\left(\frac{7,6}{H_{m0}} \right)^{1,28} \left(\frac{10,8}{T_{m-1,0}} \right)^{0,45} \left(\frac{w_s}{0,0268} \right)^{0,56} x + 18 \right]^{0,5} - 2,0 \quad 10.2$$

De valsnelheid van het sediment is een functie van de korreldiameter van het duinzand. Deze vergelijking luidt als volgt:

$$^{10}\log\left(\frac{1}{w_s}\right) = 0,476\left(^{10}\log D_{50}\right)^2 + 2,180 ^{10}\log D_{50} + 3,226 \quad 10.3$$

waarbij:

D_{50} : gemiddelde korreldiameter van duinzand [m]

De horizontale afstand tussen P en N is:

$$x_{\max} = 250 \left(\frac{H_{m0}}{7,6}\right)^{1,28} \left(\frac{0,0268}{w_s}\right)^{0,56} \quad 10.4$$

waarbij:

$x_{\max}$: maximale afstand van het parabolisch afslagprofiel [m]

De diepte van het parabolisch afslagprofiel ten opzichte van het stormvloedpeil op de voet van het afslagprofiel N bedraagt:

$$y_{\max} = \left\{ 0,4714 \left[250 \left(\frac{12}{T_p}\right)^{0,45} + 18 \right]^{0,5} - 2,0 \right\} \left(\frac{H_{m0}}{7,6}\right) \quad 10.5$$

waarbij:

$y_{\max}$: maximale diepte van het parabolisch afslagprofiel [m]

Indien er gebruik wordt gemaakt van de spectrale golfperiode wordt de diepte van het afslagprofiel berekend als:

$$y_{\max} = \left\{ 0,4714 \left[250 \left(\frac{10,8}{T_{m-1,0}}\right)^{0,45} + 18 \right]^{0,5} - 2,0 \right\} \left(\frac{H_{m0}}{7,6}\right) \quad 10.6$$

De vergelijkingen 10.1 en 10.5 zijn geldig voor stormvloeden met een standaard enkeltoppig spectrumvorm met de piekperiode in het traject $12 \text{ s} \leq T_p \leq 20 \text{ s}$. Voor stormvloeden waarbij geldt $T_p < 12 \text{ s}$, wordt $T_p = 12 \text{ s}$ aangehouden. Voor stormvloeden waarbij geldt $T_p > 20 \text{ s}$ wordt $T_p = 20 \text{ s}$ aangehouden. Bij gebruik van de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ in de vergelijkingen 10.2 en 10.6 dient eenzelfde werkwijze te worden gevolgd voor het traject $10,8 \text{ s} \leq T_{m-1,0} \leq 18 \text{ s}$.

10.2.3 Morfologisch afslagmodel D++

In de versie van D++ is de functie van het parabolisch afslagmodel opnieuw afgeleid op basis van de historische duinafslagexperimenten [Deltares (2010B)]. Het doel hierbij is een functie waarin ook golfhoogten en golfperiodes op ondiep water kunnen worden toegepast. Dit heeft geresulteerd in de volgende vergelijkingen voor het parabolisch afslagprofiel tussen de duinvoet P en de voet van het afslagprofiel N [Figuur 10.1]. De vergelijking met de spectrale golfperiode $T_{m-1,0}$ is toepasbaar voor alle spectrumvormen:

$$\frac{7,6}{H_{m0}} y = 0,6 \left[\left(\frac{7,6}{H_{m0}}\right)^{1,28} \left(\frac{10,8}{T_{m-1,0}}\right)^{0,45} \left(\frac{w_s}{0,0268}\right)^{0,56} x + 50 \right]^{0,5} - 4,2 \quad 10.7$$

De vergelijking met de piekperiode T_p is alleen toepasbaar voor een standaard enkeltoppig golfspectrum:

$$\frac{7,6}{H_{m0}} y = 0,6 \left[\left(\frac{7,6}{H_{m0}} \right)^{1,28} \left(\frac{12}{T_p} \right)^{0,45} \left(\frac{w_s}{0,0268} \right)^{0,56} x + 50 \right]^{0,5} - 4,2 \quad 10.8$$

De lengte van het parabolisch afslagprofiel wordt beschreven met de volgende vergelijking:

$$x_{\max} = 270 c_f \left(\frac{H_{m0}}{7,6} \right)^{1,28} \left(\frac{0,0268}{w_s} \right)^{0,56} \quad 10.9$$

waarbij:

c_f : coëfficiënt voor de positie van het randvoorwaardenpunt [-]

In deze vergelijking komt de coëfficiënt c_f voor, die betrekking heeft op de positie van het randvoorwaardenpunt. Deze coëfficiënt wordt bepaald door de verhouding tussen de golfhoogte H_{m0} , die als randvoorwaarde wordt opgelegd, en de waterdiepte die ter plaatse van deze golfhoogte aanwezig is:

$$\gamma = \frac{H_{m0}}{d} \quad 10.10$$

waarbij:

γ : verhouding golfhoogte / waterdiepte [-]

d : waterdiepte [m]

De coëfficiënt c_f wordt als volgt berekend:

$$c_f = \Delta \cdot \max \left[\left(\frac{15}{d} + 0,11 \right); 1 \right] + (1 - \Delta) \quad 10.11$$

$$\Delta = 0 \quad : \gamma \leq 0,4$$

$$\Delta = \frac{\gamma - 0,4}{0,06} \quad : 0,4 < \gamma \leq 0,46$$

$$\Delta = 1 \quad : 0,46 < \gamma$$

waarbij:

Δ : coëfficiënt die het effect van golfbreking inbrengt in c_f [-]

De diepte op de voet van het parabolisch afslagprofiel N luidt bij gebruik van de spectrale golfperiode als volgt:

$$y_{\max} = \left\{ 0,6 \left[270 c_f \left(\frac{10,8}{T_{m-10}} \right)^{0,45} + 50 \right]^{0,5} - 4,2 \right\} \left(\frac{H_{m0}}{7,6} \right) \quad 10.12$$

Indien gebruik wordt gemaakt van de piekperiode luidt deze vergelijking:

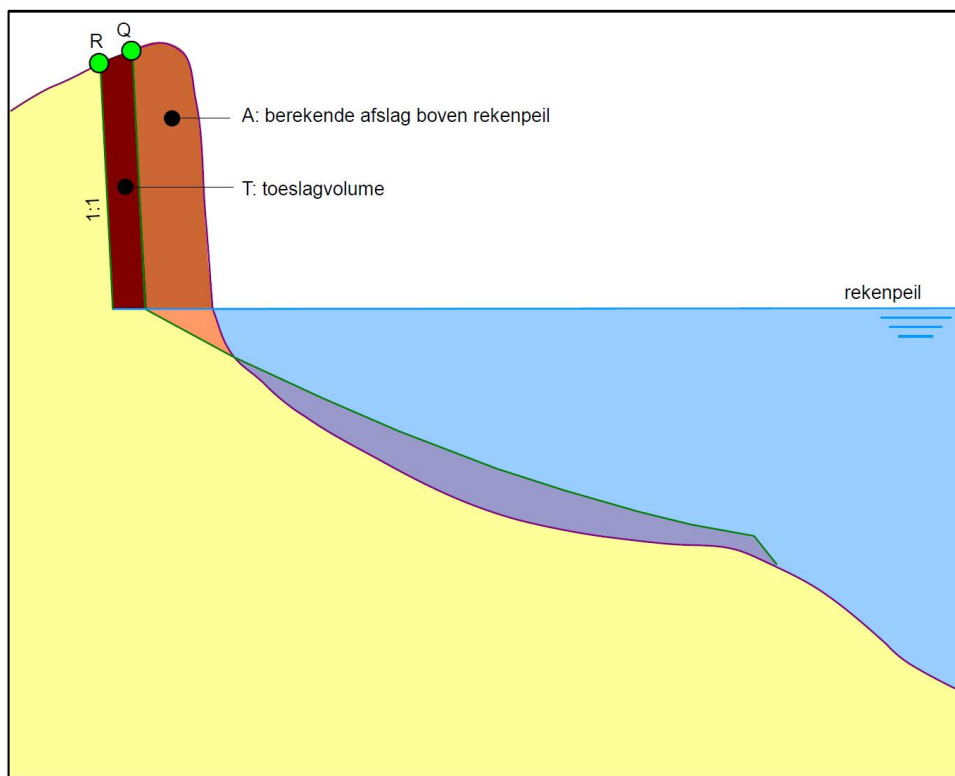
$$y_{\max} = \left\{ 0,6 \left[270c_f \left(\frac{12}{T_p} \right)^{0,45} + 50 \right]^{0,5} - 4,2 \right\} \left(\frac{H_{m0}}{7,6} \right) \quad 10.13$$

Evenals de detailtoets DUROS+ is de detailtoets D++ geldig voor de spectrale golfperiode $10,8 \text{ s} \leq T_{m-1,0} \leq 18 \text{ s}$ of piekperiode $12 \text{ s} \leq T_p \leq 20 \text{ s}$ [paragraaf 10.2.2].

10.3 Toetsmodel voor duinwaterkeringen met bijbehorende randvoorwaarden

10.3.1 Beschrijving toetsmodel

Op basis van probabilistische rekentechnieken zijn toetsmodellen voor DUROS+ en D++ ontwikkeld waarmee de waterkeringbeheerder in staat wordt gesteld om snel en eenvoudig een detailtoets voor duinwaterkeringen uit te voeren. Hierbij dient gebruik te worden gemaakt van de hydraulische randvoorwaarden die zijn opgenomen in de HR2011.



Figuur 10.3 Voorbeeld van een berekening met het toetsmodel van DUROS+ en D++

Een duinafslagberekening met het toetsmodel bestaat uit de volgende twee stappen:

- Eerst wordt een afslagberekening gemaakt met het morfologisch afslagmodel zoals beschreven in de paragrafen 10.2.2 en 10.2.3. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de hydraulische randvoorwaarden volgens de HR2011 en de korreldiameter D_{reken} zoals gepubliceerd in hoofdstuk 17. Dit levert het afslagpunt Q op [Figuur 10.3].
- Vervolgens wordt een toeslagvolume T boven het rekenpeil berekend [Figuur 10.3]. (Het rekenpeil is de benaming van het stormvloedpeil zoals gepubliceerd in de HR2011.) Dit toeslagvolume is een vast percentage van het berekende afslagvolume boven rekenpeil A. Na de berekening van het toeslagvolume wordt het afslagpunt R

berekend, waarmee de veiligheid van de duinwaterkering wordt beoordeeld [paragraaf 8.1.1].

De regels om de toeslag te bepalen verschillen voor de toetsmodellen DUROS+ en D++. Deze regels worden in de paragrafen 10.3.2 en 10.3.3 beschreven.

10.3.2 Toetsmodel DUROS+

Het toetsmodel van DUROS+ is gebaseerd op het morfologisch afslagmodel dat is beschreven in paragraaf 10.2.2. Bij de berekening worden de volgende randvoorwaarden gehanteerd [Van de Graaff (1984), WL|Delft Hydraulics (2007)]:

- Het rekenpeil is gedefinieerd als het ontwerppeil plus 2/3 decimeringhoogte.
- Voor de golfhoogte wordt de verwachtingswaarde toegepast die behoort bij het rekenpeil.
- Hetzelfde geldt voor de golfperiode.
- De rekenwaarde voor de korreldiameter wordt berekend met de volgende vergelijking:

$$D_{\text{reken}} = \mu D_{50} - 5 \frac{\sigma D_{50}^2}{\mu D_{50}} \quad 10.14$$

waarbij

D_{reken} : rekenwaarde voor de korreldiameter in het toetsmodel [m]

μD_{50} : verwachtingswaarde voor de korreldiameter [m]

σD_{50} : standaardafwijking voor de korreldiameter [m]

Uit de duinafslagberekening volgt de hoeveelheid duinafslagvolume boven rekenpeil A en het afslagpunt Q. Dit volume wordt gebruikt om het toeslagvolume T en het afslagpunt R te berekenen:

$$T = 0,25 A \quad 10.15$$

waarbij:

A : afslagvolume boven rekenpeil [m³/m]

T : toeslag op het afslagvolume boven rekenpeil in het toetsmodel [m³/m]

10.3.3 Toetsmodel D++

Het toetsmodel D++ maakt gebruik van het morfologisch afslagmodel uit paragraaf 10.3.3. Aanvullend op de randvoorwaarden voor het toetsmodel is nu ook de diepte op het randvoorwaardepunt van belang. Deze waarde staat vermeld in het HR2011. Hieronder volgt een beschrijving van de benodigde randvoorwaarden [Deltares (2011B)]:

- Het rekenpeil wordt op dezelfde wijze bepaald als voor het toetsmodel DUROS+.
- Voor elke JARKUS – raai zijn randvoorwaardepunten bepaald waarvoor de hydraulische randvoorwaarden met betrekking tot de golfparameters zijn berekend met het golfmodel SWAN. Deze golfberekeningen zijn ook gehanteerd voor de bepaling van hydraulische randvoorwaarden in de Waddenzee [Deltares 2012]. Voor elk randvoorwaardepunt worden de volgende randvoorwaarden gegeven:
 - De golfhoogte H_{m0}
 - De diepte d
 - De golfperiode $T_{m-1,0}$
- De rekenwaarde voor de korreldiameter blijft ongewijzigd ten opzichte van Duros+.

Na de berekening van het afslagvolume boven rekenpeil A_{D++} wordt de toeslag als volgt bepaald:

$$T = 0,18 A$$

10.16

10.4 Detailtoets met JARKUS – profielen

10.4.1 Rekenen met JARKUS – profielen

Bij de detailtoets geldt als uitgangspunt dat gebruik wordt gemaakt van de JARKUS – profielen die jaarlijks worden gemeten voor de zogenaamde JARKUS – raaien. Voor de volgende situaties worden aanvullende richtlijnen gegeven:

- Te korte JARKUS - profielen
- Zwakke plekken tussen JARKUS – raaien
- Scheve JARKUS – raaien
- JARKUS – raaien en een gekromde kust

10.4.2 Te korte JARKUS – profielen

In een aantal gevallen is het JARKUS – profiel te kort voor het uitvoeren van een afslagberekening. Dit kan zowel aan het landwaartse als het zeewaartse eindpunt van het profiel spelen. In dat geval dient het JARKUS – profiel te worden aangevuld om een afslagberekening mogelijk te maken. Hiervoor geldt de volgende procedure:

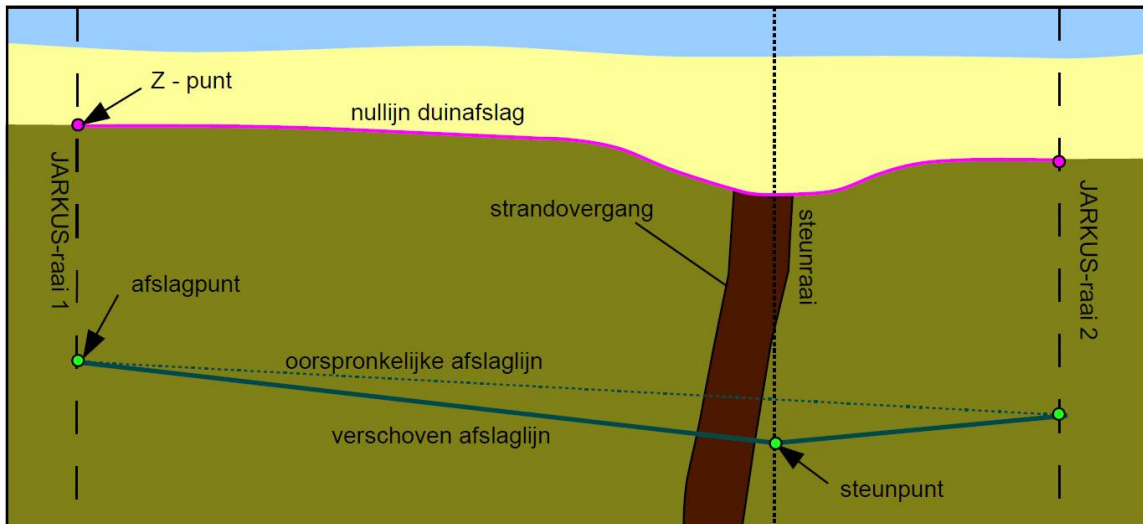
- Ga na of er in de vijf jaar voor of na het betreffende jaar een JARKUS – profiel aanwezig is dat kan worden gebruikt om (een deel van) het JARKUS – profiel aan te vullen. Als er meerdere profielen beschikbaar zijn, dient het meest representatieve jaar te worden gekozen. Er dient wel rekening te worden gehouden met grote ingrepen in het gebied.
- Als het profiel nog steeds niet (volledig) kan worden aangevuld, dient gebruik te worden gemaakt van het AHN – bestand voor het duingebied en de meest representatieve lodingskaart voor de onderwateroever. Bij gebruik van het AHN bestand dient de waterkeringbeheerder zich ervan te verzekeren dat het samengestelde dwarsprofiel een correcte weergave is van het maaiveld. Voorkomen dient te worden dat bijvoorbeeld het dak van een gebouw in het profiel wordt betrokken.

10.4.3 Zwakke plekken tussen JARKUS – raaien

Volgens de normale procedure wordt een afslaglijn berekend door een rechte lijn te trekken tussen twee JARKUS – raaien. Dit is niet alleen bedoeld om het rekenproces eenvoudig te houden, maar het heeft ook een fysische achtergrond. Na een storm blijkt de afslagrand opvallend vaak een rechte lijn te benaderen. Onregelmatigheden in de duinvoet blijken dan te zijn vereffend.

Er zijn situaties denkbaar waarbij de waterkeringbeheerder tussen twee JARKUS – raaien een zwakke plek vermoedt, bijvoorbeeld bij een strandovergang die lager is dan de gemiddelde zeereep [Figuur 10.4]. In dat geval is het raadzaam om voor de betreffende locatie een steunraai samen te stellen uit het AHN – bestand of een gemeten JARKUS – grid [hoofdstuk 4]. Vervolgens vindt een vergelijking plaats betreffende het oppervlakte duin boven rekenpeil tussen het Z – Punt en het R – Punt [Figuur 10.3]. Indien deze oppervlakte minder is dan 85% van de geïnterpoleerde waarde tussen de twee JARKUS – raaien, dient de

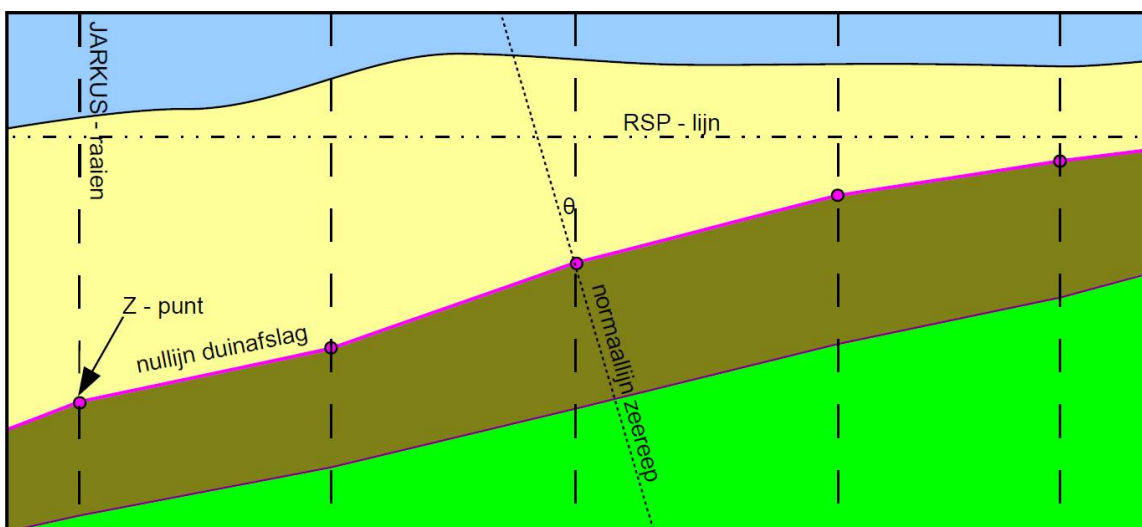
waterkeringbeheerder voor de steunraai aanvullende duinafslagberekeningen te doen. Het R – punt voor de steunraai wordt daarna als steunpunt aan de afslaglijn toegevoegd.



Figuur 10.4 Beoordeling zwakke plek bij een strandovergang

10.4.4 Scheve JARKUS – raaien

Door morfologische veranderingen, of door een uitbouw van de kust door suppleties komt het voor dat JARKUS – raaien niet meer haaks op de zeereep staan. Bij het samenstellen van de JARKUS – profielen wordt hierdoor een breder duinprofiel gesuggereerd, dan dat er daadwerkelijk aanwezig is. De verhouding tussen het duinprofiel haaks op de zeereep en het samengestelde JARKUS – profiel bedraagt $\cos(\theta)$, waarbij θ de hoek is tussen de JARKUS – raai en de normaallijn van de zeereep [Figuur 10.5]. Zolang de hoek θ niet groter is dan 10° , hoeft geen correctie op het JARKUS – profiel te worden doorgevoerd. Dit correspondeert met een foutenmarge van minder dan 2%. Als de hoek θ groter is dan 10° , dan wordt de kustdwarse positie gecorrigeerd door vermenigvuldiging met de factor $\cos(\theta)$.

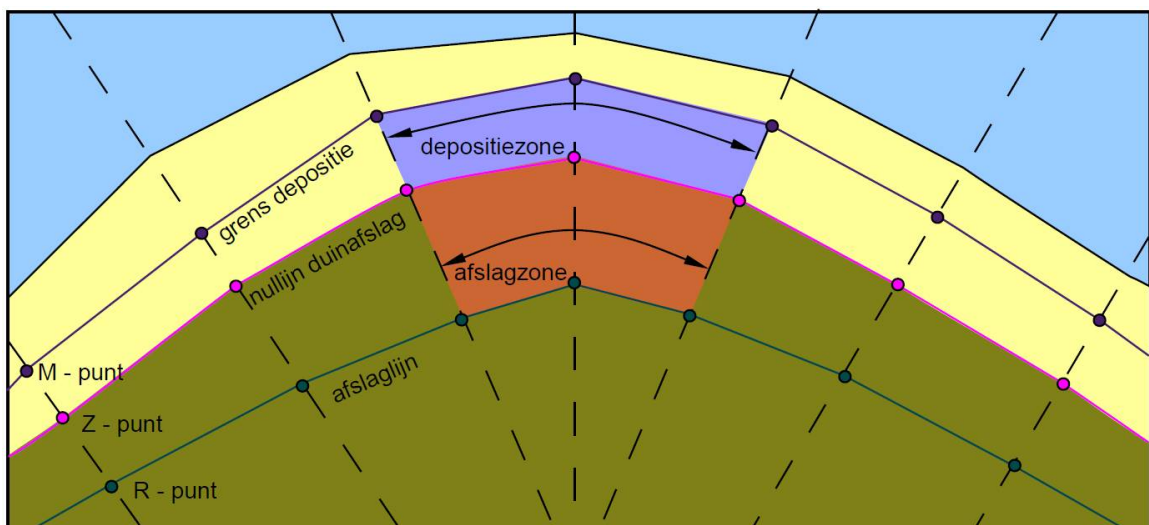


Figuur 10.5 JARKUS – raaien die niet haaks op de zeereep staan

10.4.5 JARKUS – raaien en een gekromde kust

Bij een gekromde kust wijkt de breedte van de depositiezone af van de breedte van de afslagzone [Figuur 10.6]. Dit heeft tot gevolg dat een correctie nodig is in de sedimentbalans bij een afslagberekening voor een dwarsraai. Bij een bol gekromde kust resulteert dit in een extra achteruitgang van de afslaglijn.

Het effect van een gekromde kust op de sedimentbalans is afhankelijk van de kromming van de kust en van de lengte van de depositiezone en de afslagzone. De correctie van de sedimentbalans dient te worden toegepast voor een bolle kust waarbij de kromming van de nullijn duinafslag meer dan $6^\circ/1000$ m kust bedraagt.



Figuur 10.6 Breedte van een depositiezone en een afslagzone voor een bol gekromde kust

Een gekromde kust kan ook leiden tot zandverlies in langsrichting. Dit onderwerp komt in paragraaf 11.6 aan bod.

11 Specifieke situaties voor duinwaterkeringen

11.1 Overzicht van morfologische situaties zandige kust

In dit hoofdstuk worden enkele specifieke situaties beschreven die kunnen optreden bij de berekening van duinafslag. Hierbij kan het gebeuren dat de detailtoets niet zondermeer tot een aanvaardbare oplossing leidt. Met behulp van zogenaamde toepassingsregels bestaat de mogelijkheid om de detailtoets alsnog uit te voeren. Deze toepassingsregels worden in dit hoofdstuk beschreven. Voor een aantal situaties is ook met behulp van toepassingsregels geen aanvaardbaar resultaat mogelijk. Er dient in dat geval een toets op maat te worden uitgevoerd.

De volgende situaties worden in dit hoofdstuk beschreven:

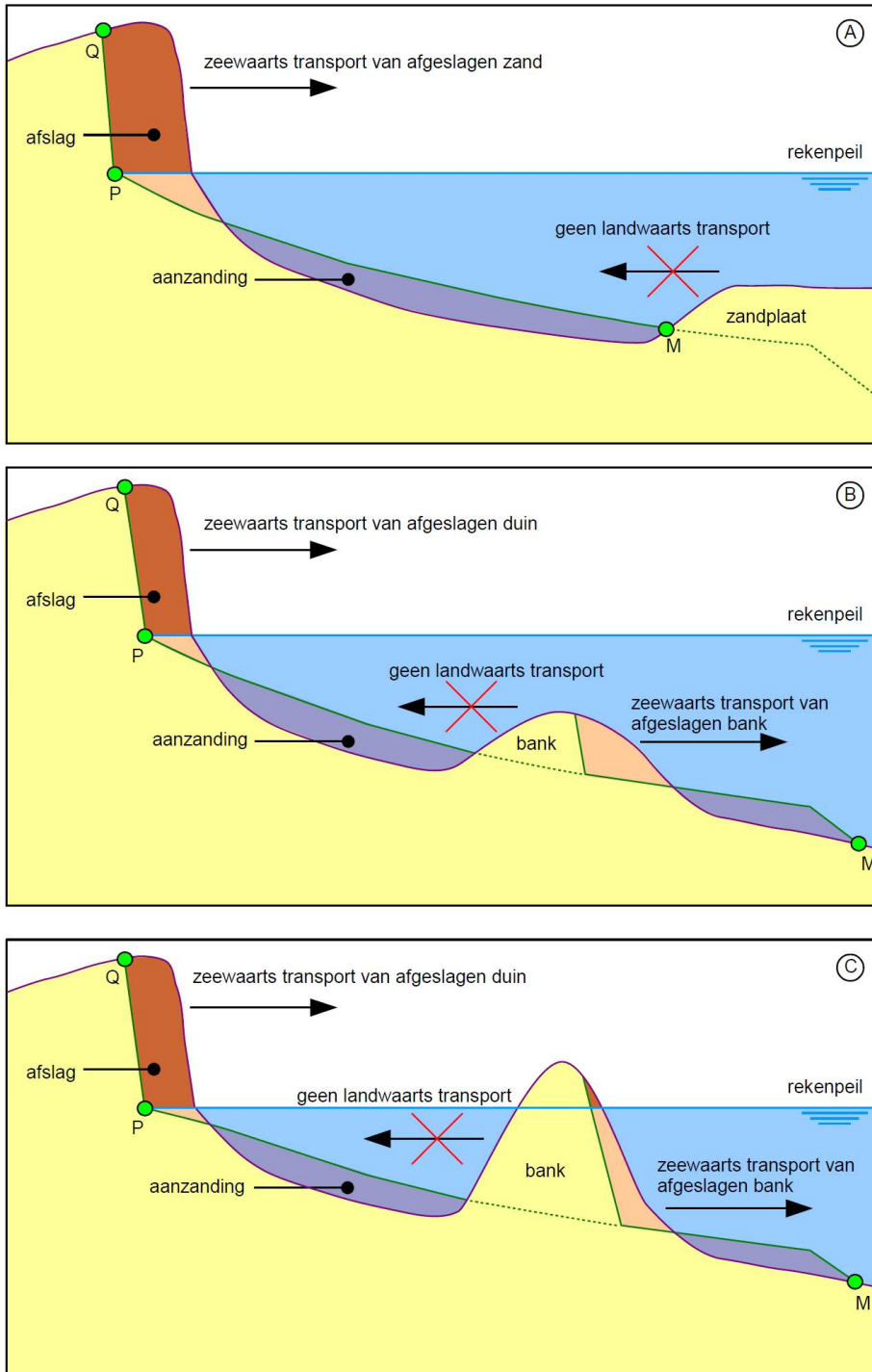
- Als het parabolisch afslagprofiel van de detailtoets banken of zandplaten doorsnijdt, rijst de vraag hoe hiermee dient om te worden gegaan. In paragraaf 11.2 wordt hier de toepassingsregel voor beschreven, en bevat een richtlijn wanneer deze mag worden toegepast.
- Een duinwaterkering kan bestaan uit meerdere duinregels, die gezamenlijk de veiligheid waarborgen. Voor een dergelijke situatie biedt de detailtoets slechts beperkte mogelijkheden. Paragraaf 11.3 geeft een richtlijn voor de afweging tussen een detailtoets en een toets op maat.
- Voor lage duinen is het soms moeilijk om het toeslagvolume te vinden [paragraaf 10.3.1]. Paragraaf 11.4 bevat voor een dergelijke situatie een toepassingsregel en een richtlijn voor het gebruik hiervan.
- Als er geulen met steile geulwanden aanwezig zijn in de depositiezone, kunnen er problemen ontstaan bij het vinden van een sluitende massabalans tussen afslag en aanzanding. Ook hiervoor is een toepassingsregel voorhanden. Het gebruik hiervan komt aan bod in paragraaf 11.5.
- De detailtoets gaat uit van een uniforme kust zonder verlies van zand in de langsrichting van de kust. Deze situatie is niet overal aanwezig, bijvoorbeeld bij de koppen van eilanden. Paragraaf 11.6 bevat een richtlijn hoe hiermee dient te worden omgegaan.

11.2 Banken en zandplaten

In de Leidraad Duinafslag [TAW (1984)] is een toepassingsregel opgenomen met betrekking tot banken en zandplaten, die ook wordt gehanteerd bij toepassing van de detailtoets in het TRDH2011. Hierin staat dat zand in banken en zandplaten alleen in zeewaartse richting mag bijdragen aan de volumebalans om het evenwichtsprofiel na afsloop van een storm horizontaal te positioneren [paragraaf 10.2.1]. Er wordt dus geen rekening gehouden met landwaarts transport van de banken naar het afslagprofiel tussen het duin en de bank of zandplaat. Figuur 11.1 illustreert dit aan de hand van een aantal voorbeelden:

- In Figuur 11.1A bevindt zich een zandplaat aan de voet van het parabolisch afslagprofiel. Het zand in deze zandplaats draagt volgens de toepassingsregel niet bij aan de depositie in de trog tussen het duin en de zandplaat.
- In Figuur 11.1B bevindt zich een bank halverwege het parabolisch afslagprofiel. In deze situatie wordt het zand in de bank gebruikt voor de depositie zeewaarts van de bank. Er blijft echter nog zand over dat volgens de toepassingsregel niet mag worden gebruikt voor de depositie tussen de bank en het duin. Een deel van de bank blijft als een residu achter in het afslagprofiel.

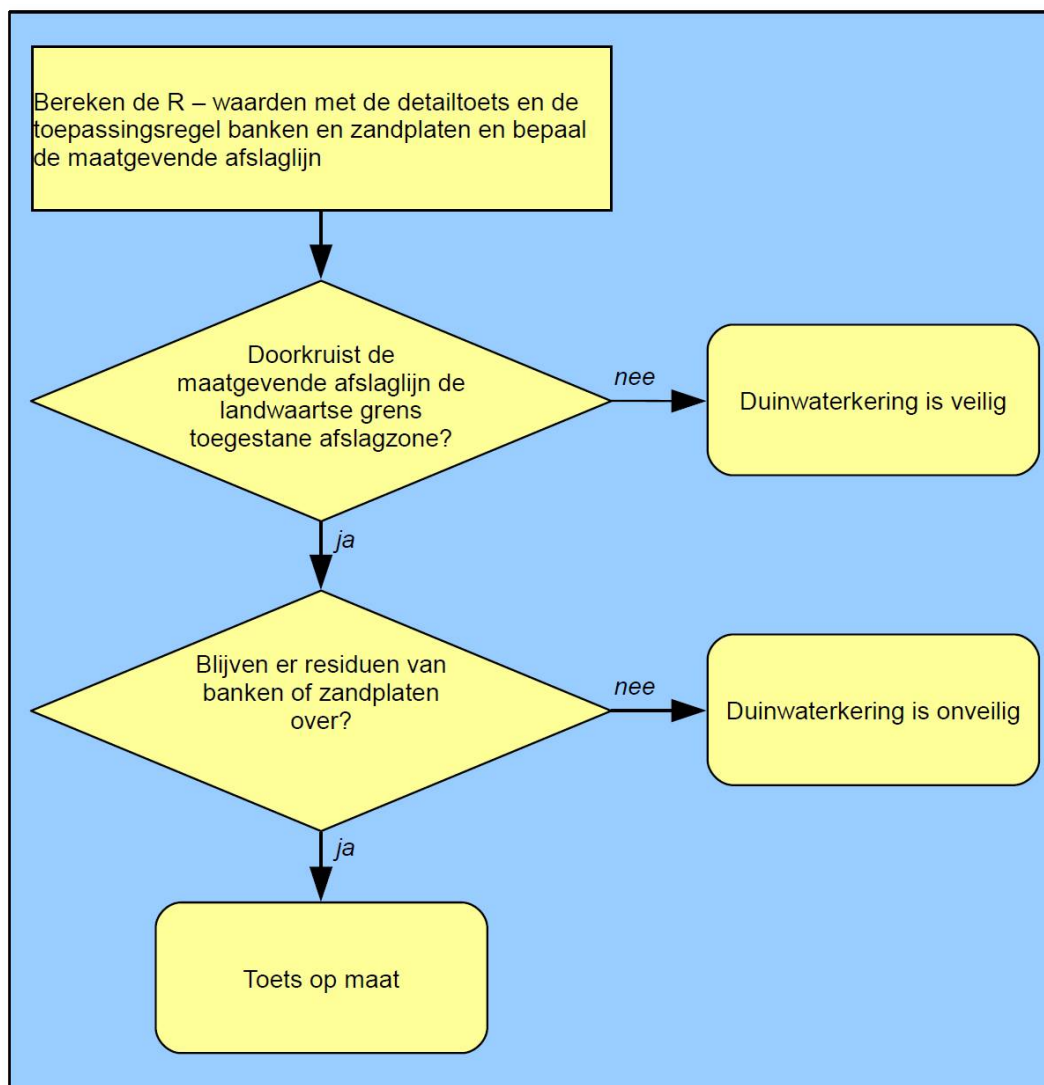
- Het kan zijn dat een bank uitsteekt boven het rekenpeil, zoals weergegeven in Figuur 11.1C. Ook in dat geval staat de toepassingsregel geen landwaarts transport toe, zelfs indien het residu van de bank boven het rekenpeil uitsteekt.



Figuur 11.1 Duinafslag bij banken en zandplaten

Het gebruik van de toepassingsregel in de detailtoets leidt tot een conservatieve benadering van de veiligheidstoestand. Dit heeft de volgende twee oorzaken:

- Het residu van de bank of zandplaat zorgt voor een reductie van de golfaanval op het duin. Hierdoor zal naar verwachting minder afslag optreden, dan wordt berekend met de detailtoets. In de situatie volgens Figuur 11.1C zal een zeer sterke of volledige reductie aanwezig zijn, waar de detailtoets geen rekening mee houdt.
- In werkelijkheid kan landwaarts transport van banken of zandplaten wel degelijk optreden. In dat geval is er minder zand uit het duin nodig om tot een evenwichtsprofiel te komen.



Figuur 11.2 Richtlijn voor het gebruik van de toepassingsregel banken en zandplaten

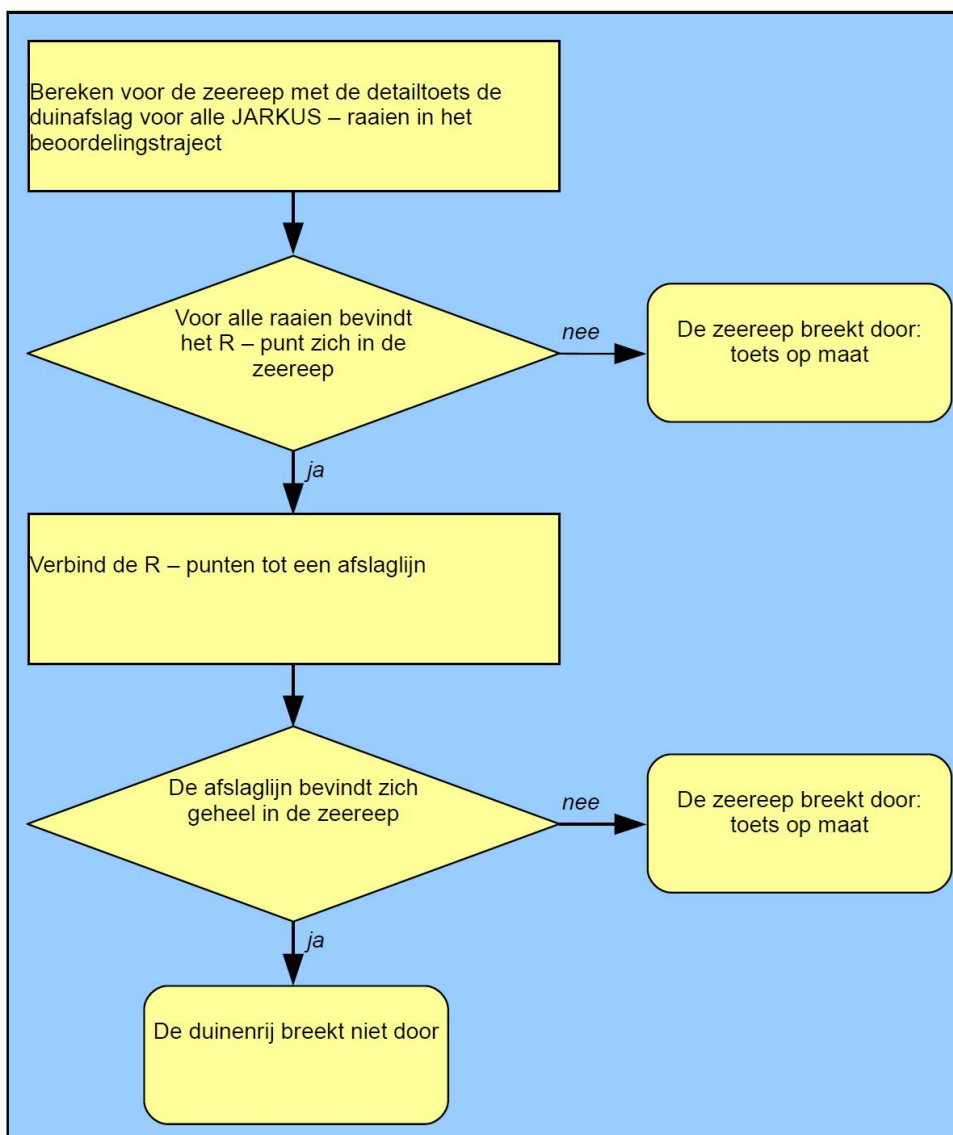
In de afslagberekeningen in de toetssoftware MorphAn wordt met behulp van een “sedimentboekhouding” bewaakt dat er geen sprake is van een landwaartse sedimentflux. Het maakt hierbij niet uit of de bank onder of boven stormvloedpeil uitsteekt. Indien volgens de detailtoets met inachtneming van deze toepassingsregel een voldoende sterk duin aanwezig blijkt te zijn, is er geen reden om deze uitkomst ter discussie te stellen. Als de uitkomst aangeeft dat er onvoldoende sterkte aanwezig is, dient een toets op maat te worden uitgevoerd [Figuur 11.2].

Verschillende waterkeringbeheerders hebben na de tweede toetsronde aangegeven zorgen te hebben over de betrouwbaarheid van de detailtoets voor kusten met een breed strand [Deltares (2008A)]. Het gaat hierbij vooral om de Waddeneilanden. Experimenten in het programma Sterke en Belastingen Waterkeringen laten zien dat ook voor dergelijke situaties de detailtoets toepasbaar is [Deltares (2011C)].

11.3 Dubbele duinen

Een duinwaterkering kan bestaan uit meerdere duinregels die gezamenlijk de veiligheid tegen overstromingen waarborgen. De eerste duinenrij vormt de zeereep, daarachter liggen de binnenduinen. Het is hierbij heel goed mogelijk dat elk van de afzonderlijke duinregels onvoldoende sterkte bezit, maar dat de gezamenlijke sterkte wel voldoende is. Dit werkt als volgt:

- Na verloop van tijd is de zeereep volledig afgebroken. Het zand wordt verspreid op de nieuwe vooroever van het binnenduin, dat nu door golfaanval wordt belast.

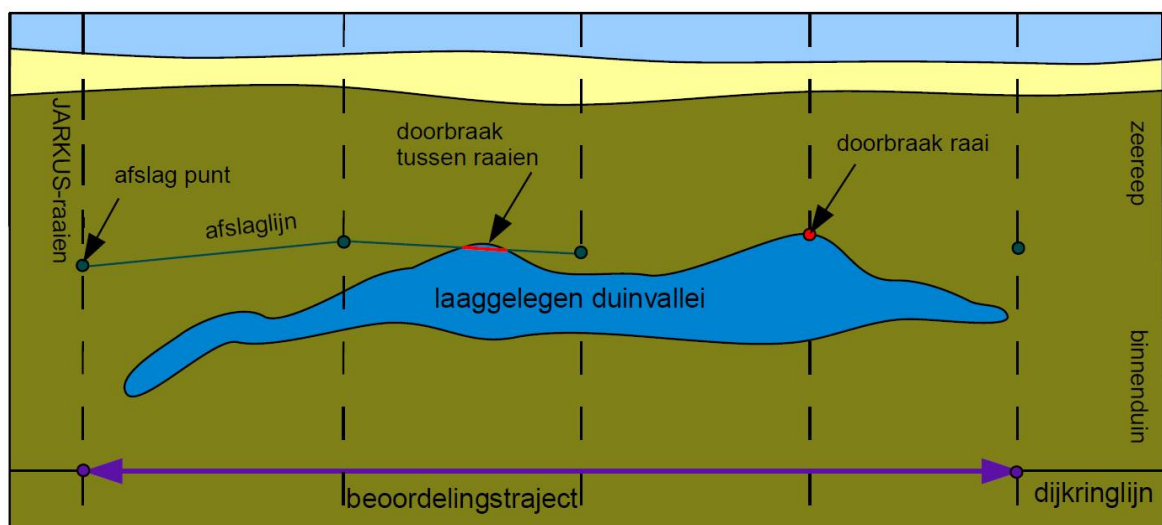


Figuur 11.3 Richtlijn voor het beoordelen of er duindoorbraak optreedt

- Door de golfbelasting op het binnenduin zal ook hier duinafslag optreden. De aanwezigheid van een zeereep aan het begin van een storm zorgt ervoor dat deze afslag wordt beperkt:
 - Het binnenduin wordt niet voor de volledige stormduur belast, omdat eerst de zeereep moet worden opgeruimd voordat er sprake kan zijn van golfaanval op het binnenduin.
 - De restanten van de zeereep zorgen voor golfbreking, waardoor de golfbelasting op het binnenduin wordt beperkt.

Bij het toetsen van een duinwaterkering met meerdere duinregels is het noodzakelijk om rekening te houden met achterloopsheid. In dat geval kan een binnenduin worden belast vanwege een doorbraak die verderop heeft plaatsgevonden. In dat geval geeft de berekening van duinafslag over een dwarsraai onvoldoende informatie, en is het noodzakelijk om tot een driedimensionale duinafslagberekening over te gaan. Dit is echter niet noodzakelijk voor kleine depressies in het duin, waardoor plaatselijk het maaiveld onder het rekenpeil ligt. In dat geval kan de aanpak voor zandplaten en banken worden gehanteerd, zoals beschreven in paragraaf 11.2 [Figuur 11.1]. Het criterium om na te gaan of er sprake is van een grote of kleine duinvallei wordt bepaald door de keuze van het beoordelingstraject in paragraaf 5.2. Indien het beoordelingstraject tussen twee aangrenzende JARKUS – raaien ligt, is er sprake van hooguit een beperkte duinvallei [Figuur 5.2; bovenste tekening]. Indien vanwege de aanwezigheid van een duinvallei een groter beoordelingstraject noodzakelijk blijkt, dan is er sprake van een grote duinvallei [Figuur 5.2; middelste tekening].

In Figuur 11.3 is voor een situatie met een grote duinvallei een richtlijn gegeven om te beoordelen of de zeereep voldoende sterk is of dat er sprake is van een doorbraak. Het gaat hierbij om de maatgevende afslagpunten en afslaglijn zoals beschreven in paragraaf 8.1.2. Er wordt niet alleen gekeken naar duinafslag in de JARKUS - raaien, maar ook in het tussengelegen duintraject [Figuur 11.4]. Het toetsen van een dubbel duin met achterloopsheid is niet mogelijk met de detailtoets, maar kan alleen met een toets op maat.



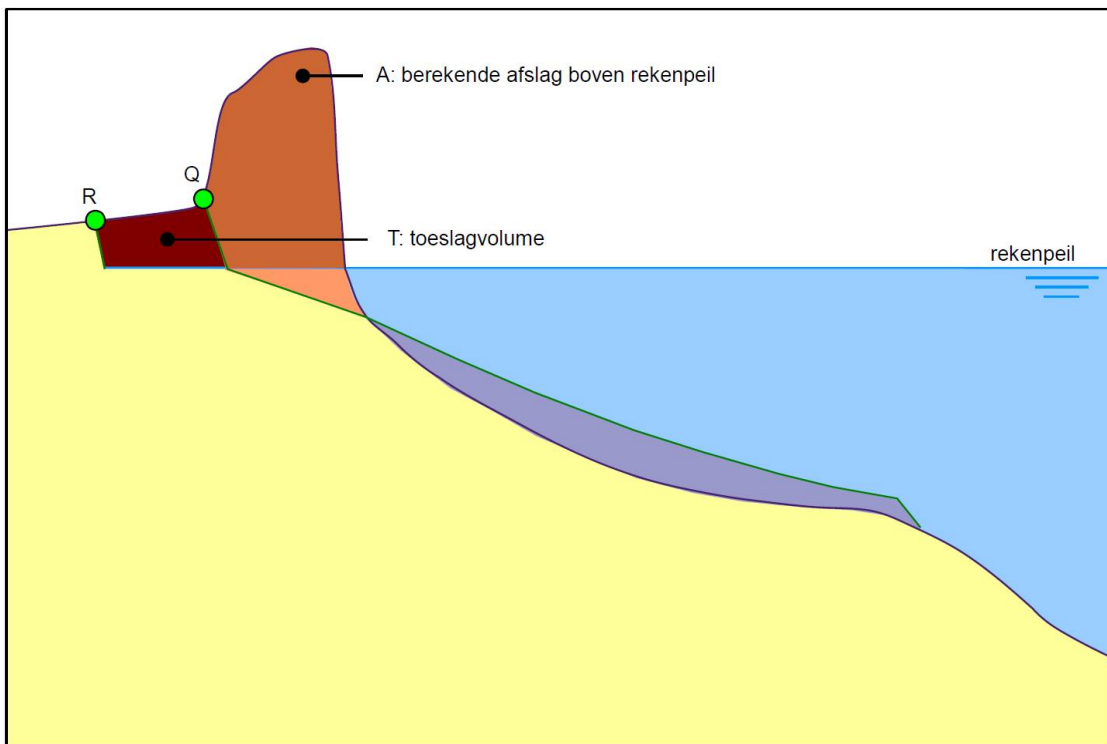
Figuur 11.4 Doorbraak van de zeereep

11.4 Lage duinen

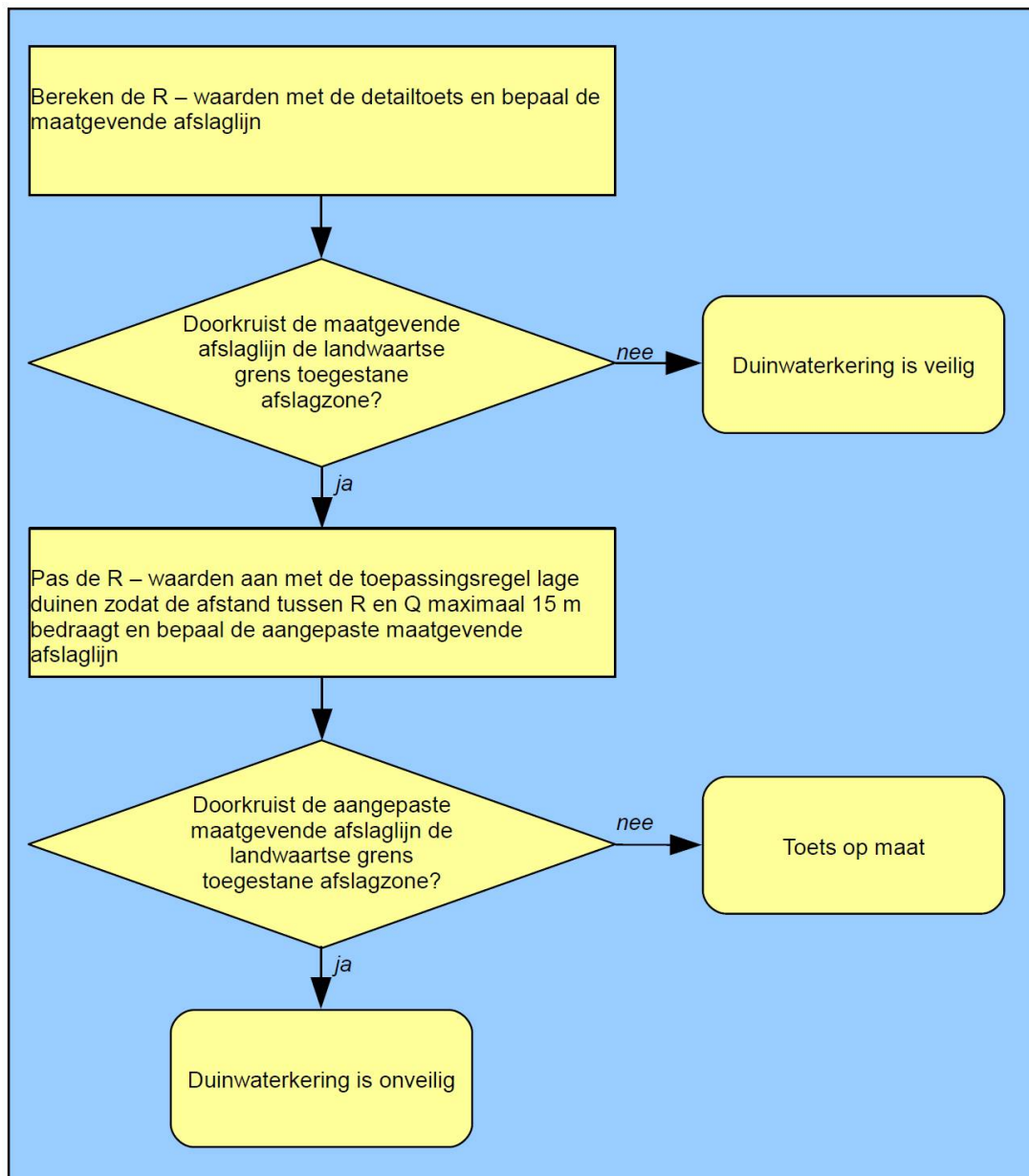
Als er sprake is van lage duinen, kan het voorkomen dat er veel ruimte nodig is om het toeslagvolume in het dwarsprofiel te positioneren [Figuur 11.5]. In het TRDA2006 is uiteengezet dat in een dergelijke situatie met de detailtoets een te conservatieve toets werd uitgevoerd. Daarom is een toepassingsregel opgesteld waarmee de afstand tussen de punten Q en R wordt begrensd tot maximaal 15 m.

In het TRDH2011 wordt deze toepassingsregel niet op voorhand in de duinafslagberekeningen gehanteerd, maar dient deze regel als signaalfunctie voor een eventuele vervolgstudie met een toets op maat. Hiervoor gelden de volgende richtlijnen [Figuur 11.6]:

- Indien na berekening van de R punten blijkt dat de maatgevende afslag- en overstromingslijn overal zeewaarts ligt van de landwaartse grens van de toegestane afslagzone [paragraaf 8.1.3], dan voldoet de duinwaterkering voor het betreffende beoordelingstraject, en hoeft de afstand tussen Q en R niet nader te worden beschouwd.
- Indien na berekening van de R punten blijkt dat de maatgevende afslag- en overstromingslijn de landwaartse grens van de toegestane afslagzone kruist, dan worden de R punten aangepast met de bovengrensbenadering. Indien vervolgens de aangepaste maatgevende afslag- en overstromingslijn de landwaartse grens van de toegestane afslagzone nog steeds kruist, dan voldoet de duinwaterkering niet voor het betreffende beoordelingstraject.
- Indien de maatgevende afslag- en overstromingslijn zonder bovengrens de landwaartse grens van de toegestane afslagzone wel kruist, maar met bovengrensbenadering niet, dan dient een toets op maat te worden uitgevoerd.



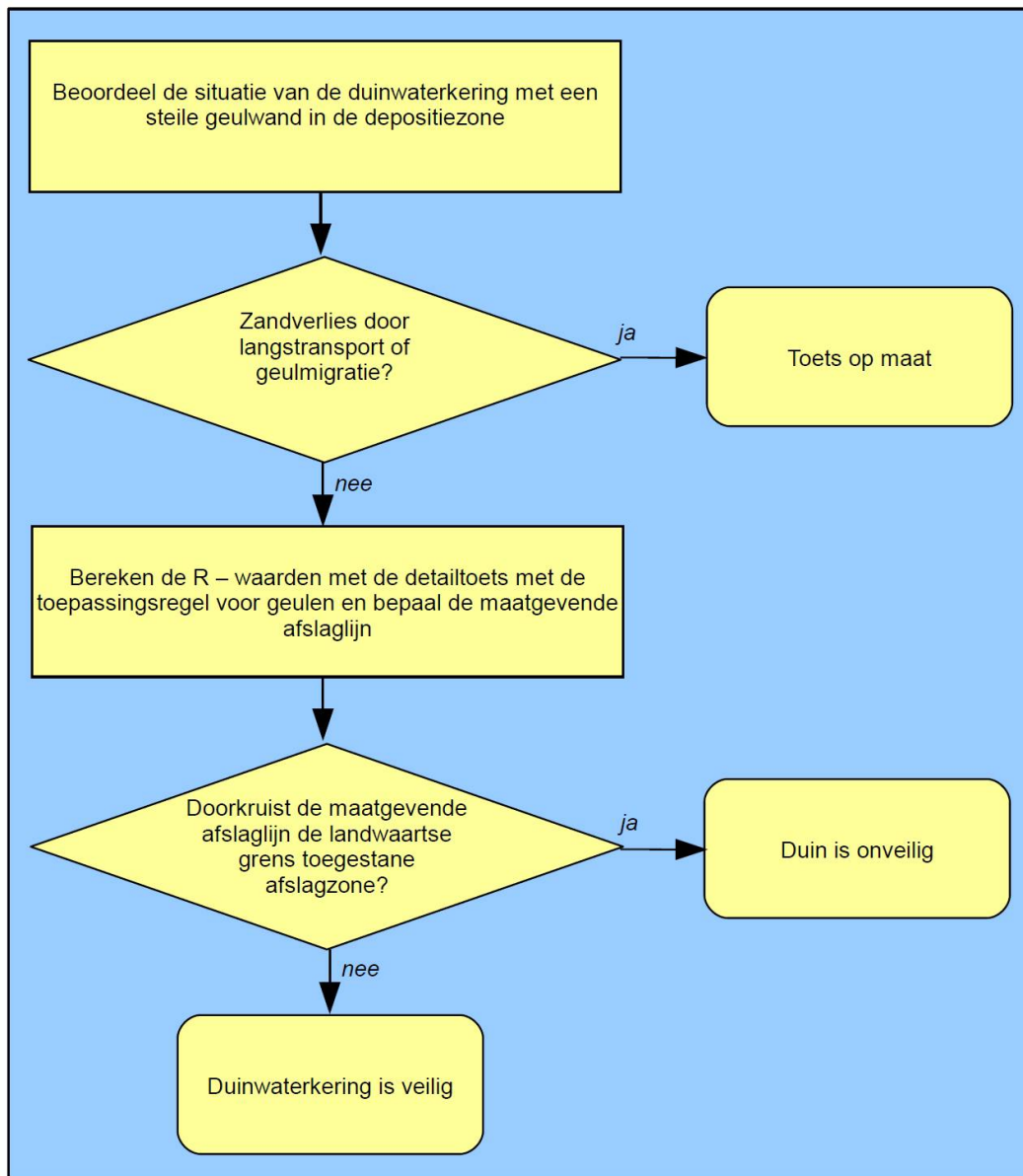
Figuur 11.5 Afslagberekening voor een laag duin



Figuur 11.6 Richtlijn voor het gebruik van de toepassingsregel lage duinen

11.5 Geulen met steile taluds

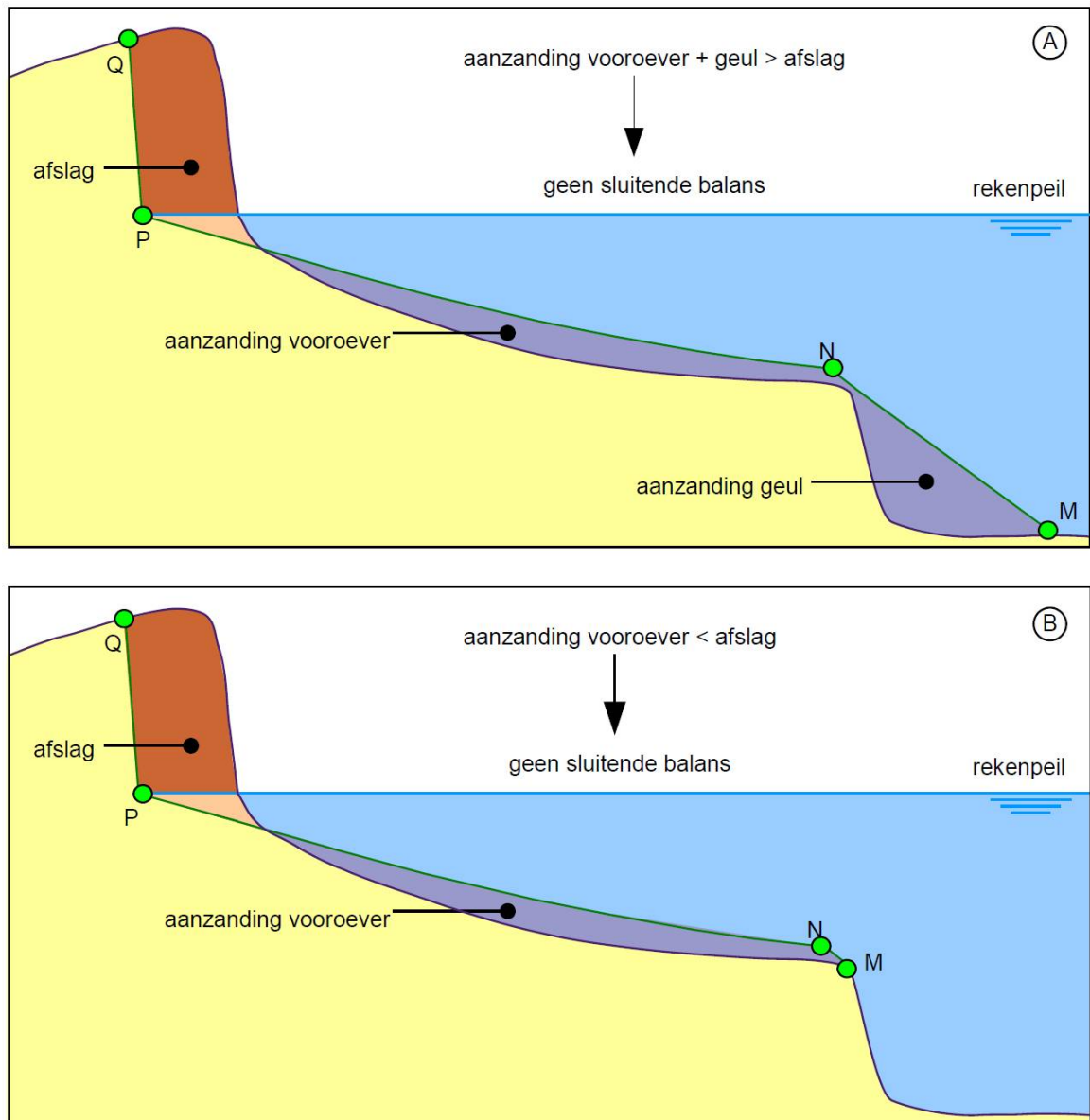
Op sommige locaties zijn diepe geulen aanwezig vlak voor de kust. Indien deze geulen zich binnen de depositiezone bevinden, en de geulwand steiler is dan 1 : 12,5 kan er een probleem ontstaan bij de berekening met de detailtoets. Omdat getijgeulen vaak aanwezig zijn bij eilandkoppen, dient de waterkeringbeheerder zich eerst ervan te vergewissen dat er geen sprake is van zandverlies uit het JARKUS – profiel tijdens de storm. Het gaat hierbij om een migratie van de geul in de richting van het duin of om zandverlies door het getij in de langsrichting. Dit onderwerp komt aan bod in paragraaf 11.6. Indien hiervan sprake is dient een toets op maat te worden uitgevoerd [Figuur 11.7].



Figuur 11.7 Richtlijn voor het gebruik van de toepassingsregel voor geulen

Als er geen sprake is van zandverlies kan gebruik worden van de toepassingsregel voor geulen [TAW (1995)]. De detailtoets gaat uit van een massabalans tussen afslag en aanzanding. Om tot dit evenwicht te komen wordt gebruik gemaakt van een zogenaamd afslagprofiel na afloop van een storm. Door dit profiel in horizontale richting te verschuiven, totdat er sprake is van een evenwichtssituatie tussen afslag en aanzanding, wordt uiteindelijk de eindsituatie na afloop van een storm berekend [paragraaf 10.2.1]. Als er een diepe geul in de depositiezone aanwezig is waarvan de geulwand steiler is dan het overgangstalud van 1:12,5, treedt er een discontinuïteit op in het aanzandingsvolume als het afslagprofiel horizontaal wordt verschoven. Zolang de geul binnen de depositiezone valt, is de hoeveelheid aanzanding groter dan de hoeveelheid afslag, zoals is weergegeven in Figuur 11.8A. Als het afslagprofiel echter tot landwaarts van de geulrand verschuift, blijkt ineens dat het afslagvolume groter is dan het aanzandingsvolume [Figuur 11.8B].

Voor een dergelijke situatie komt het depositiepunt M op de geulrand te liggen. Hierbij wordt de geulrand gedefinieerd als het punt waar het afslagprofiel het beginprofiel nog juist raakt. Het gevolg is dat er volgens de afslagberekening het afslagvolume groter is dan het depositievolume. Het verschil betreft het zandverlies in de richting van de geul.



Figuur 11.8 Duinafslag met de detailtoets met de toepassingsregel voor geulen

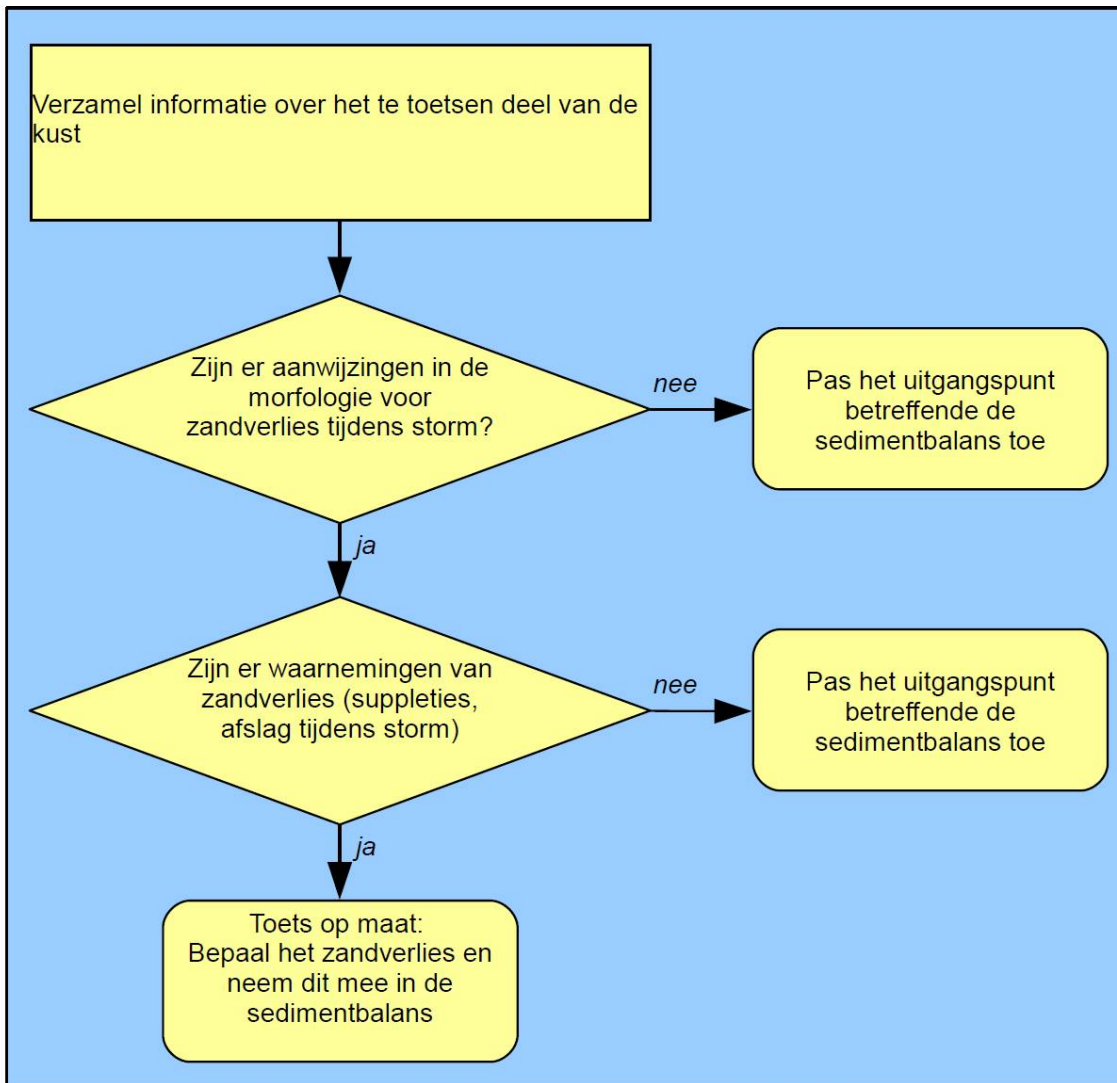
11.6 Niet uniforme kust

Bij een uniforme kust met een uniforme belasting treedt er geen verandering in het volume zand op uit een raai naar andere delen van de kust. Dit is één van de uitgangspunten die wordt gehanteerd bij het toepassen van de detailtoets [paragraaf 10.2.1].

Langs de kust komen er veel situaties voor met een niet uniforme kust, waardoor er tijdens storm zand uit een raai in langsrichting kan verdwijnen, en de hoeveelheid duinafslag wordt vergroot. Waterkeringbeheerders dienen situaties waar zandverlies optreedt te onderkennen

en dit mee te nemen bij de duinafslagberekening. Het berekenen van het zandverlies is alleen mogelijk met een toets op maat. Er zijn twee manieren om na te gaan of er sprake is van zandverlies tijdens storm [Figuur 11.9]:

- De mogelijkheid van zandverlies kan worden afgeleid uit de morfologie van de kust.
- Met waarnemingen kan zandverlies worden geconstateerd.



Figuur 11.9 Richtlijn voor het meenemen van zandverlies in afslagberekeningen

Morfologie van de kust

Door bestudering van de morfologie kunnen aanwijzingen worden gevonden voor zandverlies in een raai. Het gaat hierbij om de volgende verschijnselen:

- De aanwezigheid van ondiepten voor de kust waardoor scheef invallende golven niet uniform zijn in langsrichting. Deze scheef invallende golven drijven een langstransport van zand aan. Op locaties met een positieve gradiënt van het langstransport zal erosie van de kust optreden.
- Als de kust een kromming vertoont ontstaat er eveneens een gradiënt in het langstransport. Als er sprake is van een bolle kust, kan er zandverlies worden verwacht. Een dergelijke kromming doet zich voor bij de koppen van eilanden. Daarnaast komt

een bolle kust voor bij een lokale uitbouw van het duin, bijvoorbeeld om een zwakke schakel te beschermen.

- De aanwezigheid van obstakels waardoor het langstransport wordt onderbroken. Aan de benedenstroomse zijde van het obstakel kan erosie worden verwacht. Obstakels komen voor in de vorm van harde constructies zoals strandhoofden. Daarnaast kunnen zandgolven ervoor zorgen dat het langstransport wordt gereduceerd.
- Door getijstrooming kan het landwaartse talud van een getijgeul eroderen waardoor tijdens storm meer duinafslag kan worden verwacht.

Waarnemingen van zandverlies

Uit de volgende informatie kan worden afgeleid of er sprake is van zandverlies:

- Op een bepaalde locatie moet er onevenredig veel zand worden gesuppleerd om de Basiskustlijn (BKL) te handhaven.
- Op een bepaalde locatie treedt er tijdens storm veel meer afslag op dan op andere locaties.

In de Leidraad Duinafslag en in het TRDA2006 werd een methode beschreven om het zandverlies te berekenen voor een situatie met een gekromde kust in combinatie met recht invallende golven. Dit betreft echter slechts één van de vier verschijnselen die hierboven zijn genoemd. Inmiddels kan met de huidige morfologische modellen een betrouwbaarder inschatting van het zandverlies worden gemaakt voor alle vier de verschijnselen. Daarom is de methode uit de Leidraad Duinafslag niet meer in dit TRDH2011 opgenomen. De berekening van het zandverlies met een morfologisch model is een onderdeel van een toets op maat [Figuur 11.9].

12 Toets op maat

12.1 Aanleiding voor een toets op maat

Tijdens de beoordeling van duinwaterkeringen en hybride keringen kan het noodzakelijk zijn om een toets op maat uit te voeren. Hiervoor kunnen de volgende aanleidingen bestaan:

- Voor hybride keringen en aansluitingsconstructies bestaat geen detailtoets. Ook kan een complexe situatie bij een duinwaterkering aanleiding vormen voor een toets op maat [hoofdstuk 11].
- Er bestaan voor de te toetsen primaire waterkering geen hydraulische randvoorwaarden waarmee een detailtoets met het DUROS+ of D++ kan worden uitgevoerd.
- Het is bekend dat de detailtoets in veel gevallen een conservatieve weergave van de veiligheid weergeeft. Als uit de beoordeling blijkt dat een duinwaterkering nog net niet aan de norm voldoet, kan een waterkeringbeheerder een toets op maat uitvoeren als een second opinion. Het resultaat hiervan kan worden meegenomen in het beheerdersoordeel.

In tegenstelling tot de detailtoets geldt voor een toets op maat dat de waterkeringbeheerder verantwoordelijk is voor de gevolgde aanpak. Het is raadzaam om deze aanpak vooraf voor te leggen aan de Helpdesk Water, en te leren uit eerdere ervaringen [Alkyon (2010)]. De uitvoering van een toets op maat is mogelijk met verschillende instrumenten, die worden beschreven in paragraaf 12.2. De hydraulische randvoorwaarden die bij een toets op maat dienen te worden samengesteld komen in paragraaf 12.3 aan bod.

12.2 Instrumenten voor een toets op maat

12.2.1 Overzicht potentiële afslagmodellen

Er zijn verschillende afslagmodellen beschikbaar om een toets op maat uit te voeren. De meest voor de hand liggende mogelijkheden zijn:

- Toets op maat op basis van DUROS+ of D++
- DUROSTA – model
- XBeach – model

Andere manieren om een toets op maat uit te voeren zijn bijvoorbeeld fysisch modelonderzoek of een inschatting door experts. Ook is het mogelijk om een combinatie van instrumenten toe te passen.

12.2.2 Toets op maat op basis van DUROS+ of D++

Indien is komen vast te staan dat de waterkeringbeheerder een toets op maat dient uit te voeren, dan kan in een aantal gevallen nog steeds gebruik worden gemaakt van de rekenregels volgens de detailtoets die worden aangevuld met hydraulische randvoorwaarden of rekentechnieken die niet onder de detailtoets vallen. In deze paragraaf wordt een aantal voorbeelden van een toets op maat met DUROS+ of D++ beschreven, met voor elk van de voorbeelden een andere aanleiding [paragraaf 12.1].

Voorbeeld 1: Ontbrekende hydraulische randvoorwaarden

Er zijn situaties waarbij de waterkering als een dijk of als een duin kan worden getoetst. Als voorbeeld gaan we uit van een dijk waar in de loop van de tijd een voorliggend duin is ontstaan. Er zijn alleen hydraulische randvoorwaarden beschikbaar voor het toetsen van de dijk, en de waterkeringbeheerder wil graag weten of het voorliggend duin voldoende veiligheid biedt. In dat geval dient een set hydraulische randvoorwaarden te worden afgeleid waarmee het voorliggend duin kan worden getoetst.

Voorbeeld 2: Meenemen van zandverlies

Van een duinwaterkering is bekend dat er tijdens storm sprake is van zandverlies door een gradiënt in het langstransport. Tijdens de toets wordt een zo goed mogelijke inschatting van dit zandverlies gemaakt met een morfologisch model. De uitkomst hiervan wordt vervolgens meegenomen in de afslagberekening met DUROS+ of D++.

Voorbeeld 3: Herberekening met D++

Een duinwaterkering met hydraulische randvoorwaarden op diep water wordt afgekeurd op basis van het model DUROS+. Voor de kust ligt een ondiep gebied, waar tijdens storm veel golven breken. De waterkeringbeheerder zorgt voor hydraulische randvoorwaarden op ondiep water en voert de berekening vervolgens uit met D++. Het resultaat hiervan wordt opgenomen in het beheerdersoordeel.

12.2.3 DUROSTA – model

Achtergrond

Na de publicatie van de Leidraad Duinafslag in 1984 is begonnen met de ontwikkeling van het procesgebaseerde afslagmodel DUROSTA. Het doel van dit model is de berekening van de profielontwikkeling in de tijd, waarbij het mogelijk is om rekening te houden met harde constructies en een langstransportgradiënt. Een uitgebreide beschrijving van dit model wordt beschreven in Steetzel (1993). Vanaf dat moment zijn er geen grote inhoudelijke wijzigingen meer doorgevoerd aan dit model. Wel is de softwarecode vernieuwd, zodat het model kan worden gebruikt op hedendaagse computers. Deltares is de leverancier van de software.

Beschrijving model

Het model DUROSTA berekent duinafslag in een dwarsraai op de kust. De hydraulische randvoorwaarden kunnen tijdsafhankelijk worden opgegeven. Het betreft hierbij de waterstand, de significante golfhoogte H_{m0} , de piekperiode T_p en de golfrichting θ aan de zeewaartse rand van het model.

Het model berekent de golfhoogte tussen de zeewaartse rand van het model en het duin met een golfmodel. Vervolgens worden retourstroom en sediment concentratie berekend, die bepalend zijn voor het zeewaartse transport van het afgeslagen duinzand. Daarnaast berekent het model de gradiënt van het langstransport. Dit resulteert in een voorspelling van de verandering van het dwarsprofiel. Landwaarts transport dat kan optreden bij brekerbanken en bij golfoverslag wordt niet door het model berekend.

Kwaliteitsborging

Het model is gevalideerd met laboratoriummetingen en veldmetingen [Steetzel (1993)]. Het betreft normale duinprofielen, en profielen met een harde constructie, waarbij het model de ontgrondingskuil en de afslag boven de constructie voorspelt. In 2007 is het model opnieuw gevalideerd met laboratoriumexperimenten in de Deltagoot waarin onder andere de golfperiode is gevarieerd [Van Baaren (2007)].

12.2.4 XBeach – model

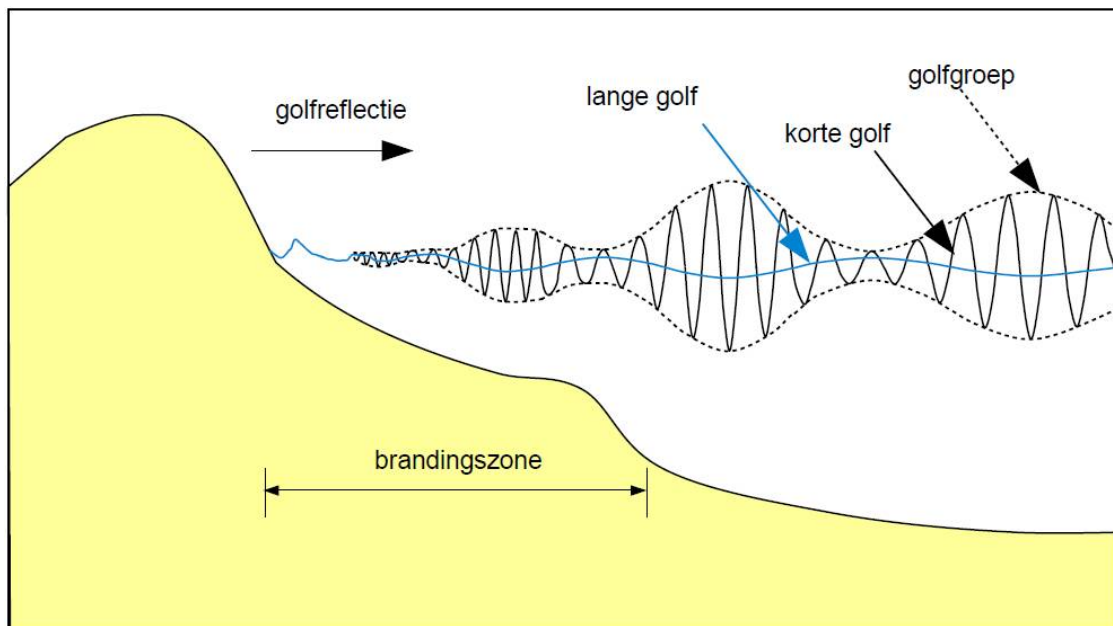
Achtergrond

De aanleiding voor de ontwikkeling van het model XBeach ligt in de zware orkanen die in 2004 en 2005 de oostkust van de Verenigde Staten hebben geteisterd. Hierdoor ontstond bij het US Army Corps of Engineers de behoefte aan een modelinstrument om de kwetsbaarheid van de kust in kaart te brengen en mogelijke beschermingsmaatregelen te ontwerpen. Er is daarom opdracht gegeven aan Deltares, Unesco-IHE en de Universiteit van Miami om het model XBeach te ontwikkelen.

Voor toepassing voor de Nederlandse kust is het model XBeach verder ontwikkeld en gevalideerd met de aanwezige metingen binnen het programma SBW. Daarnaast heeft het model een belangrijke rol gespeeld in het Europese onderzoeksproject MICORE. Het model is gratis en kan worden gedownload via de website van Deltares. Het model wordt in diverse publicaties beschreven [Roelvink et al (2009), Van Thiel de Vries (2009)].

Beschrijving model

Het model XBeach berekent duinafslag niet alleen voor een dwarsraai, maar kan ook worden toegepast voor een kustvak. Dit is een belangrijke voorwaarde voor betrouwbare berekeningen van het langstransport langs de kust en het overstromingsproces na doorbraak van de zeereep. Het model biedt de mogelijkheid om te rekenen met een kromlijinig grid om de morfologische situatie van het gebied zo nauwkeurig mogelijk te simuleren.



Figuur 12.1 Berekening van lange golven met XBeach

Bij de berekening van de golfbelasting met XBeach wordt de verandering in tijd en ruimte van de golfhoogte van de korte golven gesimuleerd. Dit zijn golven met perioden tussen de 6 en 15 seconden die in golfgroepen naar het duin bewegen. Als gevolg van deze golfgroepen, waarvan de energie in de brandingszone grotendeels wordt gedissipeerd, ontstaan lange golven met perioden tussen 25 en 200 seconden. Het zijn vooral deze lange golven die voor duinafslag zorgen. Een deel van de lange golven wordt gereflecteerd tegen het steile duinfront [Figuur 12.1].

XBeach berekent ook de stroming die wordt aangedreven door golven, getij en wind. Vervolgens worden de zandtransporten berekend die het gevolg zijn van de golfwerking, de stroomsnelheid en het instorten van het duinfront. Deze zandtransporten veroorzaken de veranderingen in de bodemligging. Hierbij kan de aanwezigheid van harde constructies worden meegenomen.

De functionaliteit van XBeach geeft in potentie veel mogelijkheden om in een toets op maat een voorspelling te maken van de duinafslag of de erosie rond harde constructies. De waterkeringbeheerder dient zich ervan te verzekeren dat deze uitkomsten voldoende zijn onderbouwd door middel van validatie met veldmetingen en / of laboratoriumonderzoek. Als dit niet blijkt, kan aanvullende validatie noodzakelijk zijn.

Kwaliteitsborging

De kwaliteit van XBeach wordt gewaarborgd door de software te toetsen met behulp van een toenemend aantal veldmetingen en laboratoriummetingen. Hiermee wordt het volgende bewerkstelligd:

- De vergelijking tussen het model en de metingen geeft een goed beeld van de nauwkeurigheid van het model voor een groot aantal situaties.
- De software van het model XBeach wordt doorlopend vernieuwd om te komen tot een betere waargave van de fysica, een uitbreiding van de functionaliteit en een optimalisatie van het rekenproces. Door het toetsen wordt voorkomen dat er onvoorziene problemen optreden.
- Het vergelijken van de software met de metingen wordt gebruikt voor de afleiding van de optimale modelinstellingen waarmee het model een zo goed mogelijk resultaat geeft.
- De vergelijking tussen model en metingen brengt kennishiaten in beeld, welke door onderzoek kunnen worden opgelost.

12.3 Hydraulische randvoorwaarden bij een toets op maat

12.3.1 Inleiding

Het vaststellen van hydraulische randvoorwaarden voor een toets op maat is een zorgvuldig proces. Het streven hierbij is om een set randvoorwaarden te vinden die samen met het toetsinstrument de faalkans van een duinwaterkering of hybride kering zo goed mogelijk kan voorspellen. Hierbij zijn de volgende drie aspecten van belang:

- Voor de te hanteren faalkans wordt verwezen naar paragraaf 3.2.
- Elk toetsinstrument heeft specifieke eisen ten aanzien van de te hanteren hydraulische randvoorwaarden.
- Er dient rekening te worden gehouden met statistische onzekerheden. In de detailtoets wordt dit gedaan door het hanteren van een toeslag [paragraaf 10.3.1].

In deze TRDH2011 worden twee methoden beschreven om tot hydraulische randvoorwaarden voor een toets op maat te komen:

- Probabilistische aanpak [paragraaf 12.3.2]
- Afgeleide hydraulische randvoorwaarden [paragraaf 12.3.3]

12.3.2 Probabilistische aanpak

In beginsel heeft het de voorkeur om een toets op maat uit te voeren met een probabilistisch model in combinatie met een morfologisch afslagmodel dat is gevalideerd voor de te toetsen situatie. Als de berekening correct wordt uitgevoerd, is de uitkomst een goede

verwachtingswaarde voor de duinafslag tijdens storm. Er dient wel rekening te worden gehouden met de volgende complicaties:

- Er dient een goede inschatting te worden gemaakt van de stochasten die in het probabilistisch model worden meegenomen.
- Voor elke stochast dient betrouwbare statistische informatie beschikbaar te zijn.
- Het uitvoeren van een probabilistische berekening vraagt veel rekencapaciteit, vooral indien een procesgebaseerd model wordt toegepast.

Voor eenvoudige situaties is de toepassing van een probabilistisch model het overwegen waard, ook als er gebruik wordt gemaakt van een procesgebaseerd afslagmodel.

12.3.3 Afgeleide hydraulische randvoorwaarden

In verreweg de meeste gevallen zullen de hydraulische randvoorwaarden worden afgeleid van de officiële HR [Alkyon (2010)]. Tijdens dit proces spelen de volgende overwegingen een rol:

- Zijn er officiële HR representatief voor het type waterkering. Als dit niet het geval is kan een aanname hiervoor gemaakt door middel van ruimtelijk interpolatie.
- Voor specifieke situaties kan het noodzakelijk zijn om een tijdsafhankelijke toets uit te voeren, en moeten er tijdsvariërende HR worden bepaald. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van het standaard stormverloop [Figuur 10.2].
- Voor een niet-uniforme kust is de golfrichting van belang vanwege mogelijk zandverlies uit het dwarsprofiel [paragraaf 11.6].
- Voor het toetsen van harde waterkeringsconstructies zijn er HR nodig voor de voet van de constructie. Het kan nodig zijn deze af te leiden met een golfmodel [paragraaf 7.3.2].

D. TOETSSOFTWARE

13 MorphAn

13.1 Achtergrond

De toetssoftware MorphAn is ontwikkeld op initiatief van Rijkswaterstaat. De programmatuur heeft als doel ondersteuning te bieden bij het toetsen van de veiligheid van duinwaterkeringen volgens de Waterwet en het toetsen van de kustlijn in het kader van het programma Kustlijn zorg. De toetssoftware MorphAn is hiermee de opvolger van de toetssoftware WINKUST2004. De ontwikkeling van MorphAn is vanaf 2009 gedelegeerd aan Deltares. Bij de vaststelling van dit TRDH2011 zal naar verwachting een eerste officiële versie van MorphAn beschikbaar zijn. Deze versie zal voorzien zijn van een gebruikershandleiding. Uitbreiding van de functionaliteit is voorzien in de jaren erna.

De toetssoftware wordt gratis ter beschikking gesteld, en kan worden opgevraagd of worden gedownload op internet. Ondersteuning van de toetssoftware vindt plaats via Helpdesk Water.

13.2 Functionaliteit toets veiligheid

Zoals beschreven in paragraaf 13.1 wordt MorphAn niet alleen ingezet voor het toetsen van duinwaterkeringen, maar ook voor het toetsen van de kustlijnligging. In dit TRDH2011 wordt alleen de functionaliteit van MorphAn met betrekking tot het toetsen van duinwaterkeringen beschreven. Deze beschrijving vindt plaats aan de hand van de volgende onderwerpen:

- Gebruikersinterface
- Datamanagement
- Afslagberekeningen
- Beoordeling veiligheid

Gebruikersinterface

De omgeving waarbinnen MorphAn wordt ontwikkeld is DeltaShell. DeltaShell is een software bibliotheek waarmee onder andere interfaces kunnen worden geprogrammeerd. Het wordt onderhouden en ontwikkeld binnen het Deltares Software Center en wordt ook toegepast voor andere softwarepakketten. Het grote voordeel van DeltaShell betreft het software kwaliteitssysteem, de beschikbaarheid van generieke software routines en het feit dat voor ontwikkeling van generieke componenten kan worden samengewerkt met andere software pakketten die eenzelfde functionaliteit beogen te ontwikkelen.

Het werken met MorphAn gebeurt op een interactieve manier met meerdere vensters, waarbij de gebruiker gegevens kan inzien in de vorm van tabellen, grafieken, dwarsprofielen en kaarten. De uitwisseling van data is mogelijk voor een groeiend aantal dataformats waaronder die van Winkust2004, en ARCGIS.

Datamanagement

MorphAn biedt de gebruiker direct toegang tot de standaarddata zoals RSP – punten, JARKUS – profielen, profielen afgeleid uit het AHN – bestand, korreldiameters en Hydraulische Randvoorwaarden. Daarnaast heeft de gebruiker de mogelijkheid om eigen data te importeren.

Afslagberekeningen

Afslagberekeningen volgens de detailtoets zijn mogelijk met het de toetsmodellen DUROS+ [paragraaf 10.3.2] en D++ [paragraaf 10.3.3]. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de toepassingsregels voor banken en zandplaten [paragraaf 11.2], lage duinen [paragraaf 11.4] en geulen [paragraaf 11.5].

Beoordeling veiligheid

De afslagberekeningen kunnen in MorphAn worden verwerkt tot maatgevende afslaglijnen, voor zover deze zijn berekend met de detailtoets. MorphAn biedt ondersteuning bij het vaststellen van het aaneensluitend grensprofiel. Met behulp van een grafische weergave in een kaart kan worden nagegaan of de landwaartse grens van de toegestane afslagzone wordt overschreden, en er sprake is van een onveilige situatie.

E. BIJLAGEN

14 Literatuur

- Alkyon. 2010. *Geavanceerde toetsing. Beschrijving huidige status en gewenste ontwikkelingen*, A2250.
- Boers, M., Geer, P.F.C. en M.R.A. van Gent. 2011. *Dike and Dune Revetment Impact on Dune Erosion*, Coastal Sediments 2011, pp 810 - 823.
- Deltares. 2008A. *Duinen als Waterkering; Inventarisatie van Kennisvragen bij Waterschappen, Provincies en Rijk + Kaarten*. Deltares (H5019.10).
- Deltares. 2008B. *SBWDuinen2-Ontwikkeltraject; Eerste aanzet tot de ontwikkeling van het 2011 Duintoetsinstrumentarium*. Deltares (H5019.20).
- Deltares. 2008C. *Bepaling Beschermingscontouren Kustplaatsen; Resultaten voor de zeven Hollandse kustplaatsen*. Deltares (H5016). Kennisalliantie met TU Delft en Alkyon.
- Deltares. 2009. *NWO Toets Duinen Rijnland*. Deltares (1201575).
- Deltares. 2010A. *Bepaling Beschermingscontouren 2e Fase; Resultaten voor Ameland, Terschelling, Vlieland, IJmuiden, Vlissingen en Cadzand*. Deltares (1200121-000). Kennisalliantie met TU Delft en Alkyon.
- Deltares. 2010B. *Ontwikkeling detailtoets duinen 2011 (D++)*; Tussenrapportage SBW-Duinen. Deltares (1202124-003).
- Deltares. 2011A. *Verkenning beoordeling veiligheid van dijken tot falen*. Deltares (1204200.009).
- Deltares. 2011B. *Detailtoets voor duinafslag; Afleiden van de rekenregel voor duinen op Waddeneilanden ten behoeve van WTI 2011*. Deltares (1202124-003).
- Deltares. 2011C. *Duinafslag en –overslag bij brede stranden; Deel A: toepasbaarheid DUROS bij kustprofielen met een breed strand*. Deltares (1202124-007).
- Deltares. 2012. *Achtergrondrapportage HR2011 voor zee en estuaria WTI - HR2011*. Deltares (1204143-002).
- Expertise Netwerk Waterkeringen (ENW). 2007. *Technisch Rapport Duinafslag 2006; Beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering ten behoeve van Voorschrift Toetsing op Veiligheid 2006*. (TRDA2006).
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 2007A. *Voorschriften Toetsen op Veiligheid Primaire waterkeringen*. (VTV2007).
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 2007B. *Hydraulische Randvoorwaarden 2006*. (HR2006).

Ministerie van Infrastructuur en Milieu. A. *Voorschriften toetsen op veiligheid. Primaire waterkeringen 2011*. VTV2011. **nog te verschijnen**.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu. B. *Hydraulische Randvoorwaarden 2011*. HR2011. **nog te verschijnen**.

Rijkswaterstaat. 1984. *De korrelgrootte karakteristiek van de zeereep (stuifdijk) langs de Nederlandse kust*. Nota WWKZ-84 G.007.

Roelvink, D., A. Reniers, A. van Dongeren, J. van Thiel de Vries, R. McCall, J. Lescinski. 2009. Modeling hurricane impacts on beaches, dunes and barrier islands. Coastal Engineering.

Steetzel, H.J. 1993. *Cross-shore transport during storm surges*. Ph. D. Thesis. Technische Universiteit Delft.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW). 1972. *Golfoploop en golfoverslag*.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW). 1984. *Leidraad voor de Beoordeling van de Veiligheid van Duinen als Waterkering*.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW). 1995. *Basisrapport Zandige Kust. Behorende bij de leidraad zandige kust*.

Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW). 2002. *Leidraad Zandige Kust*.

Van Baaren, P.F.J., 2007. *Influence of the wave period in the dune erosion model DUROSTA*. Msc-Thesis. TU Delft.

Van de Graaff, J. 1984. *Probabilistische Methoden bij het Duinontwerp; Achtergronden van de TAW-Leidraad 'Duinafslag'*. TH Delft, Civiele Techniek, Kustwaterbouwkunde.

Van Gent, M.R.A., J.S.M. van Thiel de Vries, E.M. Coeveld, J.H. de Vroeg, J. van de Graaff. 2008. *Large-scale dune erosion tests to study the influence of wave periods*. Coastal Engineering. Volume 55, Issue 12, Pag. 1041-1051.

Van Gent, M.R.A.. 2008. *Large-Scale Tests to Analyse the Influence of Collapsed Dune Revetments on Dune Erosion*. ICCE 2008. Pag. 2583-2595.

Van Thiel de Vries, J.S.M. 2009. *Dune erosion during storm surges*. Ph. D. Thesis. Technische Universiteit Delft.

WL|Delft Hydraulics. 1984. *Golfoploop en -overslag bij duinen tijdens superstormvloed, aanvullend onderzoek*. M1819IV.

WL|Delft Hydraulics. 1987. *Modelonderzoek duinvoetverdedigingen; systematisch onderzoek naar de werking van duinvoetverdedigingen; modelonderzoek op grote schaal in de Deltagoot; verslag modelonderzoek*. H298.01.

WL|Delft Hydraulics. 1995. *Toetsing Aansluitingsconstructies*. H2178.

WL|Delft Hydraulics. 2006. *Dune Erosion, Product 2: Large-scale model tests and Dune Erosion Prediction Methods*. H4357. Kennisalliantie met TU Delft en Alkyon.

WL|Delft Hydraulics. 2007. *Dune Erosion, Product 3: Probabilistic Dune Erosion Prediction Method*. H4357. Kennisalliantie met TU Delft en Alkyon.

15 Symbolen

γ	: verhouding golfhoogte / waterdiepte [-]
Δ	: coëfficiënt die het effect van golfbreking inbrengt in c_f [-]
θ	: hoek JARKUS – raai ten opzichte van de normaallijn van de zeereep [°]
μD_{50}	: verwachtingswaarde voor de korreldiameter [m]
σD_{50}	: standaardafwijking voor de korreldiameter [m]
A	: afslagvolume boven rekenpeil [m^3/m]
A_v	: afslag bij een deels verdedigd duin [m^3/m]
A_0	: afslagvolume boven rekenpeil bij een onverdedigd duin [m^3/m]
A_{gp}	: volume grensprofiel per strekkende meter kust [m^3/m]
b_{gp}	: kruinbreedte grensprofiel [m]
b	: breedte van een NWO langs de kust [m]
B	: mate van bescherming [-]
c_f	: coëfficiënt voor de positie van het randvoorwaardenpunt [-]
d	: afstand van een NWO dwars op de kust [m]
d	: waterdiepte [m]
D_{50}	: gemiddelde korreldiameter van duinzand [m]
D_{reken}	: rekenwaarde korreldiameter van duinzand [m]
g	: versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]
h_{gp}	: kruinhoogte grensprofiel boven rekenpeil [m]
H_{m0}	: significante golfhoogte [m]
k	: waarde om het maatgevend afslagpunt te bepalen [-]
M	: meest zeewaartse positie duindepositie na afslag [m]
N	: aantal afslagpunten in een R – t diagram [-]
N	: positie van de voet van het parabolisch afslagprofiel [m]
P	: positie van de duinvoet na duinafslag op rekenpeil [m]
Q	: positie van het afslagpunt na duinafslag in een morfologische afslagberekening [m]
R	: positie van het afslagpunt na duinafslag volgens de detailtoets [m]
R	: afslagreductie [-]
RP	: rekenpeil ten opzichte van NAP [m]
S_f	: steilheid referentieprofiel [-]
$\tan\alpha$	: helling van het talud [-]
t	: tijd [jaartal]
T	: toeslag op het afslagvolume boven rekenpeil in het toetsmodel [m^3/m]
$T_{m-1,0}$	: spectrale golfperiode [s]
T_p	: piekperiode [s]
w_s	: valsnelheid van sediment in water van 5 °C [m/s]
x	: horizontale afstand ten opzichte van P [m]
x_{max}	: maximale afstand van het parabolisch afslagprofiel [m]
y	: diepte onder stormvloedpeil [m]
y_{max}	: maximale diepte van het parabolisch afslagprofiel [m]
Z	: positie van het duinfront op rekenpeil [m]
Z_{duin}	: hoogste punt van het beschermde duin [m]
Z_{dvv}	: niveau van de bovenbegrenzing van de duinvoetverdediging [m]
Z_{max}	: verdedigingsniveau waarboven geen afslag meer optreedt [m]
Z_{min}	: niveau bovenbegrenzing een niet afslagreducerende verdedigingsconstructie [m]
Z_{opl}	: niveau van 2%'s golfoploop [m]

16 Definities

aansluitingsconstructie

aansluiting van twee typen waterkeringen, bijvoorbeeld een dijk, een duin of een hybride kering

achterloopsheid

proces waarbij water zijlings achter een waterkering langs stroomt

afslaglijn

lijn op maaiveldhoogte in het duin tot hoever de afslag is voortgeschreden

afslagprofiel

vorm van het bovenste gedeelte van het dwarsprofiel na afloop van een stormvloed

afslagpunt

punt in een dwarsprofiel op maaiveldhoogte tot hoever de duinafslag is voortgeschreden

beoordelingstraject

deel van een dijkkringlijn waarover een veiligheidsoordeel over een faalmechanisme wordt vastgesteld

binnenduinen

duinen die niet direct aan het strand grenzen

depositie

zand voor een duin dat tijdens een storm is afgeslagen

dijkringgebied

gebied dat door een stelsel van waterkeringen of hoge gronden aaneengesloten beveiligd is tegen overstroming door het buitenwater.

dijkringlijn

grens van een dijkkringgebied

dubbele duinen

meerdere duinregels die samen een duinwaterkering vormen

duinvoetverdediging

harde waterkeringsconstructie die het achterliggend duin beschermd tegen duinafslag

duinwaterkering

deel van een duingebied dat aangemerkt is als primaire waterkering

dynamisch duinbeheer

beheersvorm waarbij ruimte is voor verstuuving van duinzand

grensprofiel

profiel dat na duinafslag nog minimaal als waterkering aanwezig dient te zijn opdat er geen doorbraak zal optreden

hybride kering

primaire kering, bestaande uit een combinatie van een zandlichaam (duin) en een harde waterkeringsconstructie

JARKUS

landelijk databestand van jaarlijks opgenomen diepte- en hoogtemetingen van de zandige kust (JAaRlijkse KUSTmetingen).

Landwaartse grens toegestane afslagzone

Uiterste grens binnen een waterstaatswerk tot waar afslag en overstroming onder normomstandigheden mag plaatsvinden.

Niet Waterkerend Object (NWO)

Constructie die geen waterkerende bijdrage levert, maar wel van invloed is op de terkte van een primaire waterkering.

toetsspoor

Procedure die door een waterkeringbeheerder wordt doorlopen om een veiligheidsoordeel per faalmechanisme te geven

zeereep

Eerste aaneengesloten duinenrij vanaf het strand

Zwakke Schakels

Serie kustlocaties waarvoor een kustversterking is of wordt uitgevoerd

17 Korreldiameters volgens de TRDA2006

Plaats	Kustvak Raai	μD_{50} (μm)	σD_{50} (μm)	Dreken (μm)
Schiermonnikoog				
	2 1.04	150	8	148
	2 3.02	169	8	167
	2 5.01	165	8	163
	2 7	164	8	162
	2 9.2	163	8	161
	2 11	164	8	162
	2 13	159	8	157
	2 15	159	8	157
Ameland				
	3 4.01	187	10	184
	3 6	178	9	176
	3 8	172	9	170
	3 10	176	18	167
	3 12	161	8	159
	3 14	164	15	157
	3 16	170	9	168
	3 18	163	8	161
	3 21.4	170	9	168
	3 24	170	9	168
Terschelling				
	4 1	210	11	207
	4 3	202	10	199
	4 5	206	11	203
	4 7	189	9	187
	4 9	187	9	185
	4 11	178	9	176
	4 13	183	9	181
	4 15	181	9	179

Plaats	Kustvak Raai		μD_{50} (μm)	σD_{50} (μm)	Dreken (μm)
Terschelling (vervolg)					
	4	17	188	9	186
	4	19	187	9	185
	4	21	188	9	186
	4	23	190	10	188
	4	25	191	10	189
	4	27	189	9	187
	4	29	192	10	190
Vlieland					
	5	40	199	10	197
	5	41.87	195	10	193
	5	43.765	194	10	192
	5	45.175	194	10	191
	5	47	202	10	199
	5	48.62	205	20	195
	5	50.77	194	10	192
	5	52.5	194	11	191
	5	54	194	10	192
Texel					
	6	9.6	203	10	200
	6	12.1	207	10	204
	6	13.92	191	10	189
	6	15.86	186	9	184
	6	18.53	194	10	192
	6	19.52	202	11	199
	6	20.91	196	10	194
	6	22.51	203	10	200
	6	24.4	206	10	203
	6	26.4	213	29	193
	6	28.6	203	10	200
	6	30.41	193	10	191

Plaats	Kustvak Raai		μD_{50} (μm)	σD_{50} (μm)	Dreken (μm)
Noord-Holland					
	7	2.1	232	12	229
	7	4.09	233	12	230
	7	6.08	224	25	210
	7	7.89	247	14	243
	7	9.48	261	16	256
	7	12.65	219	18	212
	7	14.62	253	17	247
	7	16.47	277	14	274
	7	18.27	251	13	248
	7	20.15	237	14	233
	7	26.54	242	14	238
	7	28.32	235	12	232
	7	30	246	12	243
	7	32	251	13	248
	7	34	242	15	237
	7	36	259	26	246
	7	40	243	12	240
	7	42	231	12	228
	7	44	236	12	233
	7	46	224	11	221
	7	48	223	11	220
	7	50	218	11	215
	7	52	195	35	164
	7	54	188	9	186
	7	56.75	214	11	211
Rijnland					
	8	58.5	262	20	254
	8	62	218	30	197
	8	64	204	37	170
	8	66	180	9	178
	8	68	210	24	196

Plaats	Kustvak Raai		μD_{50} (μm)	σD_{50} (μm)	Dreken (μm)
	8	70	214	31	192
	8	72	199	14	194
	8	74	222	12	219
	8	76	220	11	217
	8	78	217	11	214
	8	80	224	15	219
	8	82	221	11	218
	8	84	224	15	219
	8	85.94	237	15	232
	8	88	226	26	211
	8	90	227	17	221
	8	92	224	12	221
	8	94	219	15	214
	8	96	199	10	197
Delfland					
	9	97.95	201	15	195
	9	102	236	21	227
	9	103.91	205	20	195
	9	105.825	186	9	184
	9	108.07	221	33	196
	9	109.96	224	11	221
	9	112	214	11	211
	9	114	213	19	205
	9	116.1	255	15	251
Voorne					
	11	6.6	177	9	175
	11	8	161	8	159
	11	12	181	38	141
	11	14	207	17	200
Goeree					
	12	3	176	10	173
	12	7	204	10	201

Plaats	Kustvak Raai		μD_{50} (μm)	σD_{50} (μm)	Dreken (μm)
Goeree (vervolg)					
	12	9	217	17	210
	12	11	207	10	204
	12	13	211	11	208
	12	15.01	267	37	241
	12	17.01	242	19	235
	12	19	248	23	237
Schouwen					
	13	0.84	205	12	201
	13	2.841	211	11	208
	13	4.842	211	11	208
	13	6.789	208	10	205
	13	8.789	212	15	207
	13	10.841	206	12	203
	13	12.883	218	11	215
	13	14.854	207	11	204
	13	16.88	222	11	219
Noord-Beveland					
	15	2.4	240	19	232
Walcheren					
	16	6.4	284	23	275
	16	8.4	276	19	269
	16	10.45	286	14	282
	16	12.45	322	30	308
	16	14.89	315	16	311
	16	16.53	318	34	300
	16	22.15	260	13	257
	16	23.975	252	13	249
	16	25.83	244	12	241
	16	27.7	249	13	246

Plaats	Kustvak Raai		μD_{50} (μm)	σD_{50} (μm)	Dreken (μm)
Walcheren (vervolg)					
	16	29.7	256	13	253
	16	31.77	260	13	257
Zeeuwsch-Vlaanderen					
	17	0.518	218	31	196
	17	4.869	188	9	186
	17	8.77	212	24	198
	17	12.62	216	13	212
	17	14.67	258	13	255

Tabel 17.1: Gemiddelde, standaardafwijking en rekenwaarde voor de korrelgrootte van zand in de zeereep

De waarden voor μD_{50} en σD_{50} zijn overgenomen uit het TRDA2006 [paragraaf 1.5].

18 Voorbeelden afslagberekeningen DUROS+ en D++

In deze bijlage wordt een aantal voorbeelden gegeven met de afslagmodellen DUROS+ en D++. Deze voorbeelden betreffen een uitbreiding op de Figuren 2 en 3 van het TRDH2011. Hierbij worden de volgende invoerparameters gevarieerd ten opzichte van een referentieberekening die wordt uitgevoerd op het referentieprofiel volgens Figuur 10.2. De waarden van de invoergegevens zijn weergegeven in Tabel 18.1:

- golfhoogte [Figuur 18.1]
- golfperiode, hierbij wordt gebruik gemaakt van de piekperiode T_p [Figuur 18.2]
- korreldiameter [Figuur 18.3]
- steilheid van het referentieprofiel [Figuur 18.4]
- waterdiepte waar de golfrandvoorwaarden bij D++ worden gepositioneerd [Figuur 18.5]

Parameter	Referentieberekening	Variatieberekeningen		
Golfhoogte op diep water H_{m0} [m]	7,6		5,7	9,5
Golfperiode op diep water T_p [s]	12		15	18
Gemiddelde korreldiameter D_{50} [μm]	240		200	280
Steilheid referentieprofiel S_f [-]	1		0,5	2
Diepte randvoorwaarde [m + NAP]	20	15	10	8

Tabel 18.1 Invoergegevens voor de referentieberekening en de variatieberekeningen met de afslagmodellen DUROS+ en D++

H_{m0} [m]	T_p [s]	D_{50} [μm]	S_f [-]	DUROS+ [m^3/m]	D++ [m^3/m]	Verschil [m^3/m]
7,6	12	240	1,0	267,7	261,0	6,7
5,7	12	240	1,0	215,4	215,0	0,4
9,5	12	240	1,0	300,0	280,7	19,3
7,6	15	240	1,0	304,2	306,2	-2,0
7,6	18	240	1,0	333,4	342,3	-8,9
7,6	12	200	1,0	353,1	350,3	2,8
7,6	12	280	1,0	211,6	203,0	8,6
7,6	12	240	0,5	67,8	62,7	5,1
7,6	12	240	2,0	392,9	396,0	-3,1

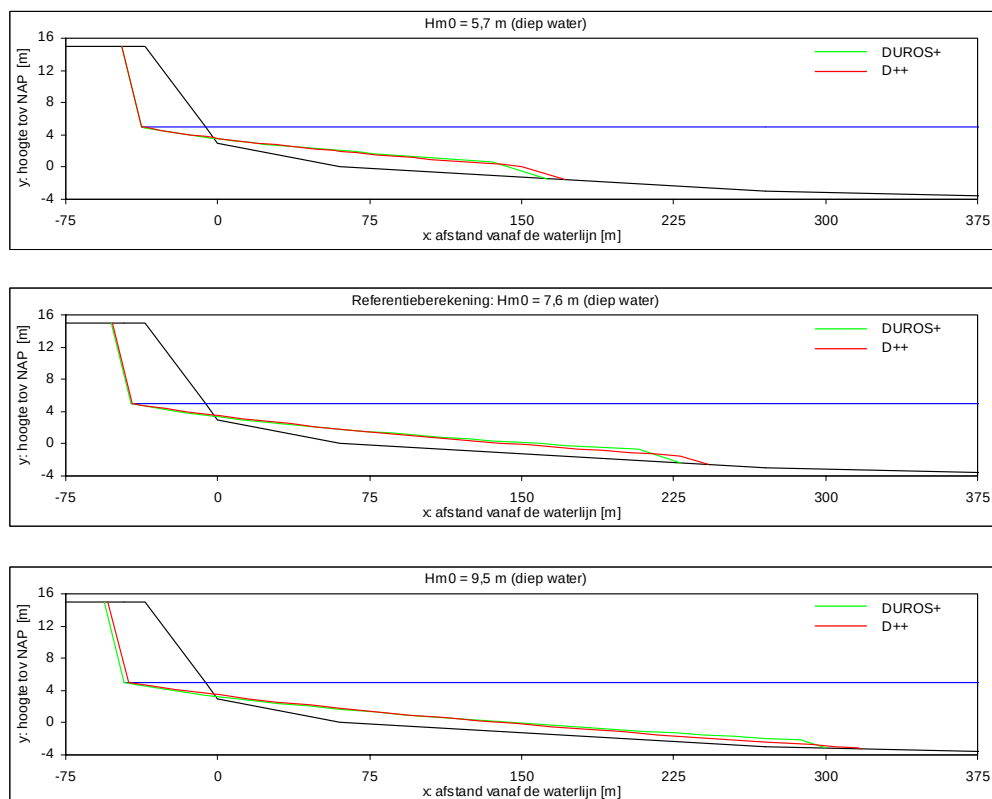
Tabel 18.2 Afslagvolume boven stormvloedpeil volgens DUROS+ en D++ (**vet**: variaties ten opzichte van de referentieberekening)

DUROS+ versus D++

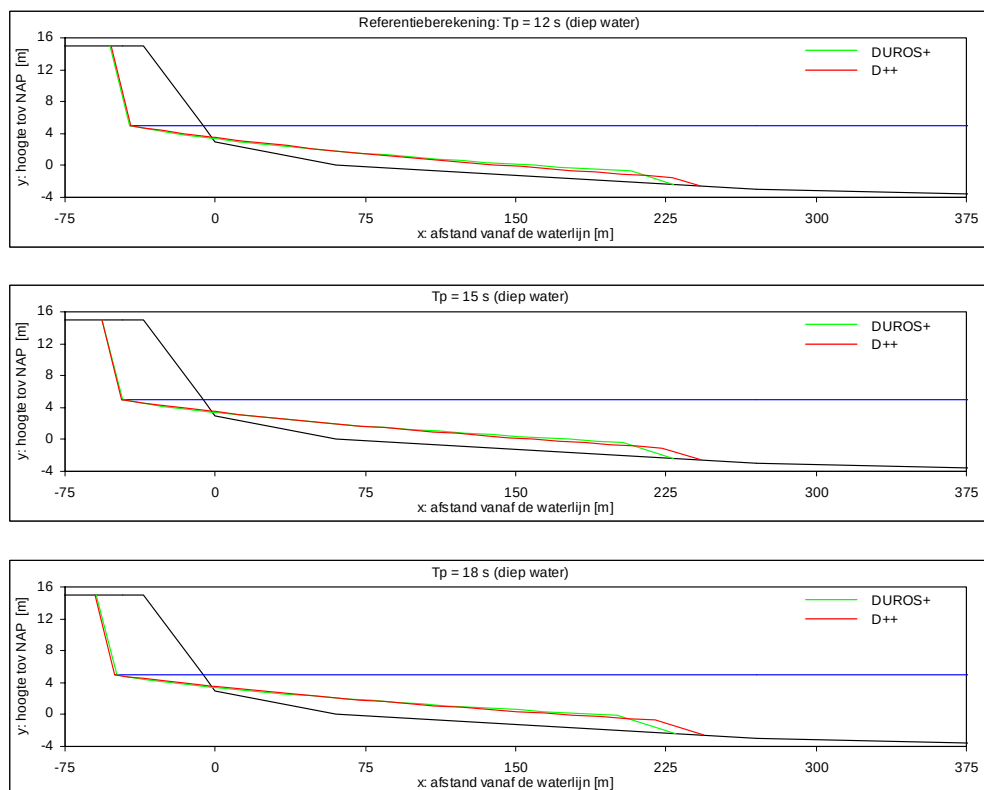
Het parabolisch afslagprofiel [Figuur 10.1] van D++ is meestal langer en steiler dan DUROS+ [Figuur 18.1 t/m Figuur 18.4]. In de meeste gevallen berekent het D++ minder duinafslag dan DUROS+, in een enkele situatie wordt er meer afslag berekend. Het gaat hierbij in vrijwel alle gevallen om een absoluut verschil in het afslagvolume boven stormvloedpeil van minder dan 10% [Tabel 18.2], wat geleet op de conservatieve voorspelling van DUROS+ als acceptabel wordt verondersteld [WL | Delft Hydraulics (2007)].

Invloed golfhoogte op diep water

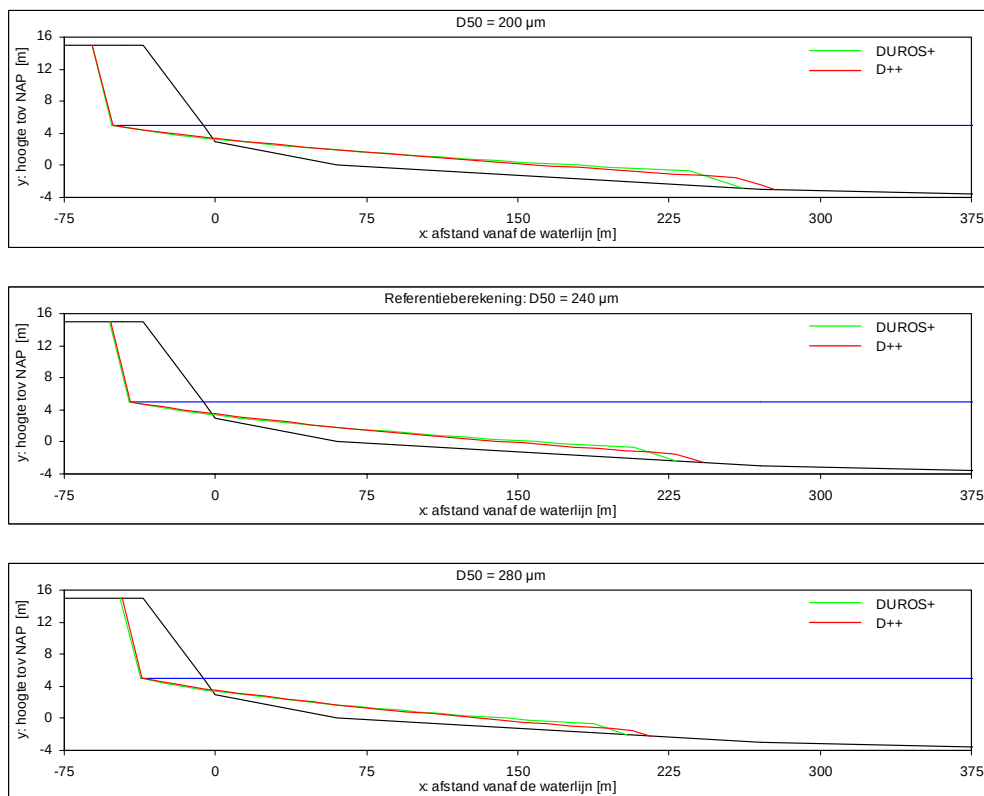
Een hogere waarde van de golfhoogte op diep water leidt tot een toename van de lengte van het parabolisch afslagprofiel (x_{max}) en een toename van de diepte van de voet van het parabolisch afslagprofiel (y_{max}).



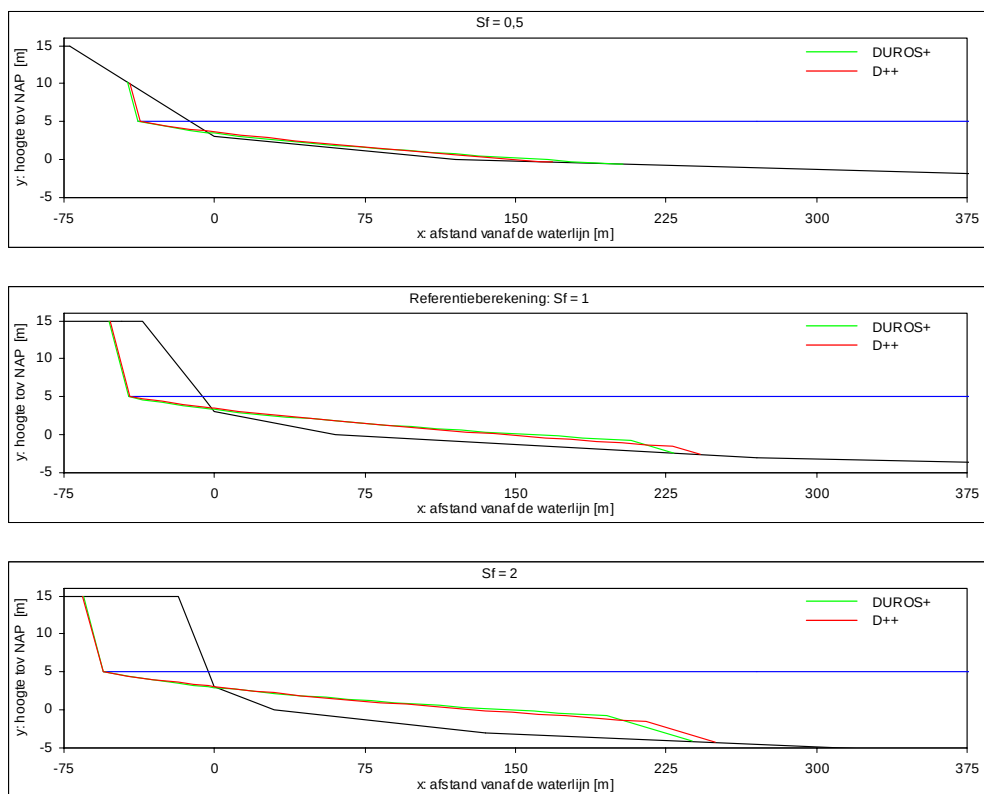
Figuur 18.1 Invloed van de golfhoogte op diep water op het afslagprofiel met DUROS+ en D++



Figuur 18.2 Invloed van de golfperiode op diep water op het afslagprofiel met DUROS+ en D++



Figuur 18.3 Invloed van de korreldiameter op het afslagprofiel met DUROS+ en D++



Figuur 18.4 Invloed van de steilheid van het referentieprofiel op het afslagprofiel met DUROS+ en D++

Invloed golfperiode op diep water

Een toename van de golfperiode op diep water leidt tot een afname van de diepte van de voet van het parabolisch afslagprofiel. De lengte van het parabolisch afslagprofiel is constant. Het parabolisch afslagprofiel krijgt daardoor een flauwere helling. Deze conclusie geldt ook bij gebruik van de golfperiode $T_{m-1,0}$.

Invloed korreldiameter

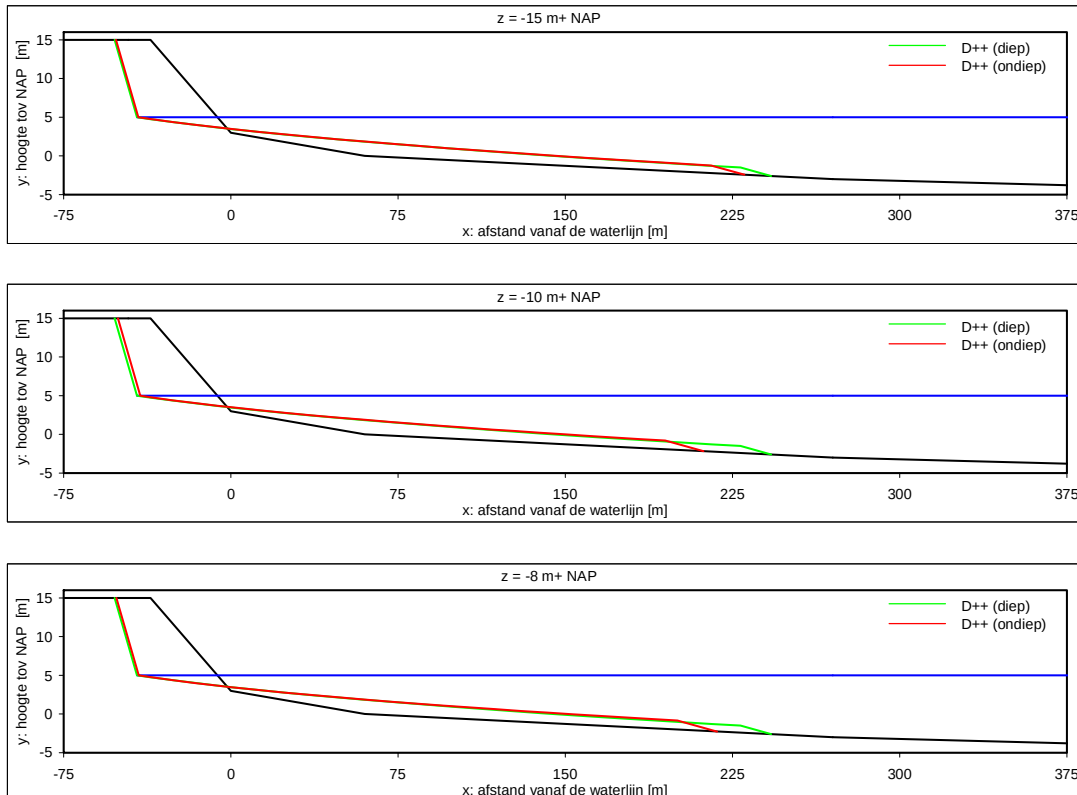
Een toename van de korreldiameter leidt tot een afname van de lengte van het parabolisch afslagprofiel, terwijl de diepte van de voet van het parabolisch afslagprofiel constant is. Het parabolisch afslagprofiel krijgt daardoor een steilere helling.

Invloed steilheid referentieprofiel

Hoe steiler het profiel (grote S_f), hoe meer afslag er wordt verwacht. Bij een heel flauw profiel doorsnijdt het parabolisch afslagprofiel het beginprofiel en wordt er geen overgangstalud berekend.

Invloed waterdiepte golfrandvoorwaarden

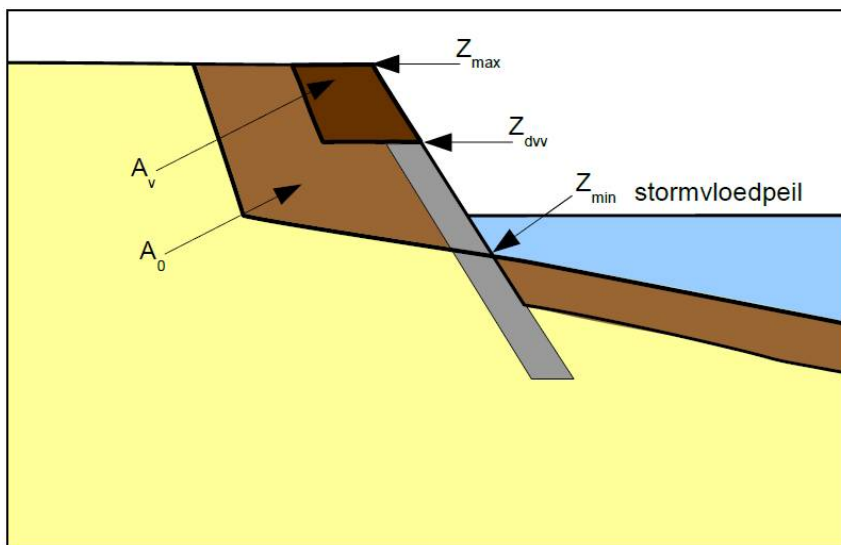
Als de golfrandvoorwaarden op ondiep water worden gepositioneerd, kan dit leiden tot een toename of afname van het duinafslagvolume boven stormvloedpeil in de orde van 10%. Voor de berekeningen met de referentiewaarden leidt de keuze voor golfrandvoorwaarden op ondiep water ertoe dat de hoeveelheid duinafslag afneemt. Het is echter ook mogelijk dat een toename wordt voorspeld [Deltares (2010B)].



Figuur 18.5 Invloed van de diepte voor de golfrandvoorwaarde op het afslagprofiel met DUROS+ en D++

19 Duinafslag boven een verdedigd duin

In het basisrapport Zandige Kust [TAW (1995)] is een empirische methode beschreven waarmee de hoeveelheid duinafslag van een verdedigd duin kan worden berekend. In deze paragraaf wordt deze beschrijving overgenomen. Deze methode kan worden toegepast voor een duinvoetverdediging direct tegen een hoog duin zoals weergegeven in Figuur 19.1. Voor een situatie waarbij er tussen de beschermingsconstructie en de top van het duin enige afstand aanwezig is, is deze methode minder geschikt.



Figuur 19.1 Reductie van het afslagvolume bij een verdedigd duin

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 | Delft Hydraulics (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 [Figuur 19.1]:

$$\frac{A_v}{A_0} = 1 - R \quad 19.1$$

waarbij:

A_v : afslagvolume boven rekenpeil bij een deels verdedigd duin [m^3/m]

A_0 : afslagvolume boven rekenpeil bij een onverdedigd duin [m^3/m]

R : afslagreductie [-]

De afslagreductie R is een functie van de mate van bescherming B , waarbij sprake is van geen enkele reductie als B gelijk is aan 0, en een volledige reductie als B gelijk is aan 1. Het blijkt dat de functie voor de afslagreductie op basis van metingen kan worden benaderd als:

$$R = -0,8B^2 + 1,8B \quad 19.2$$

waarbij:

B : mate van bescherming [-]

De mate van bescherming wordt berekend met de volgende vergelijking:

$$B = \frac{Z_{dv} - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} \quad 19.3$$

waarbij:

Z_{dv} : niveau van de bovenbegrenzing van de duinvoetverdediging [m]

$Z_{\min}$: niveau bovenbegrenzing een niet afslagreducerende verdedigingsconstructie [m]

$Z_{\max}$: verdedigingsniveau waarboven geen afslag meer optreedt [m]

Dit betekent dat de afslag bij een deels verdedigd duin kan worden berekend als:

$$\frac{A_v}{A_0} = 1 + 0,8B^2 - 1,8B \quad 19.4$$

De waarde van $Z_{\min}$ wordt gevonden uit het snijpunt van het berekende afslagprofiel voor het onverdedigd duin en de verdedigingsconstructie. 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:

$$Z_{opl} = RP + 0,7T_p \sqrt{gH_{m0}} \tan \alpha \quad 19.5$$

waarbij:

Z_{opl} : niveau van 2%'s golfoploop [m]

RP : rekenpeil ten opzichte van NAP [m]

g : versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]

$\tan \alpha$: helling van het talud [-]

Voor $Z_{\max}$ geldt de volgende vergelijking, waarbij de duinhoogte meestal maatgevend zal zijn:

$$Z_{\max} = \min(Z_{opl}, Z_{duin}) \quad 19.6$$

waarbij:

Z_{duin} : hoogste punt van het beschermde duin [m]

20 Extra afslag bij aansluitingsconstructies volgens VTV2006

20.1 Inleiding

In deze bijlage is de tekst uit het VTV2006 weergegeven die betrekking heeft op het toetsen van aansluitingsconstructies binnen een toets op maat. In deze tekst zijn enkele redactionele aanpassingen doorgevoerd, ondermeer om de verwijzingen te doen kloppen. Deze tekst is geschreven ten behoeve van de toetsronde 2006 – 2011. Het is daarom mogelijk dat de tekst niet overal aansluit bij de toetsvoorschriften voor de periode 2011 – 2016. Ook zijn er doublures met de voorgaande hoofdstukken. De symbolen uit dit hoofdstuk wijken voor een deel af van deze symbolenlijst [hoofdstuk 15].

20.2 Beschrijving typen aansluitingsconstructies

(VTV2006; Katern 6; Par 1.1.2)

Een aansluitingsconstructie bij duinen dient om duinen in langsrichting op waterkeringen van een ander type te laten aansluiten. Zoals in paragraaf 20.4 is aangegeven wordt in dit verband onder een aansluitingsconstructie verstaan dat gedeelte van de aansluitende 'harde' waterkering dat een aangepast dwarsprofiel en/of lengteprofiel heeft om de aansluiting zo geleidelijk mogelijk te laten verlopen. In dit katern gaat het om de volgende types aansluitingen:

- Type I: een onverdedigd duin aan een dijk
- Type II: een onverdedigd duin aan een verdedigd duin
- Type III: een verdedigd duin aan een dijk

Andere combinaties komen niet voor, waarbij opgemerkt wordt dat de aansluiting tussen een duin en een kunstwerk in het algemeen als dijk wordt uitgevoerd. Er is dan dus sprake van een aansluiting duin - dijk (zie boven) en dijk – kunstwerk.

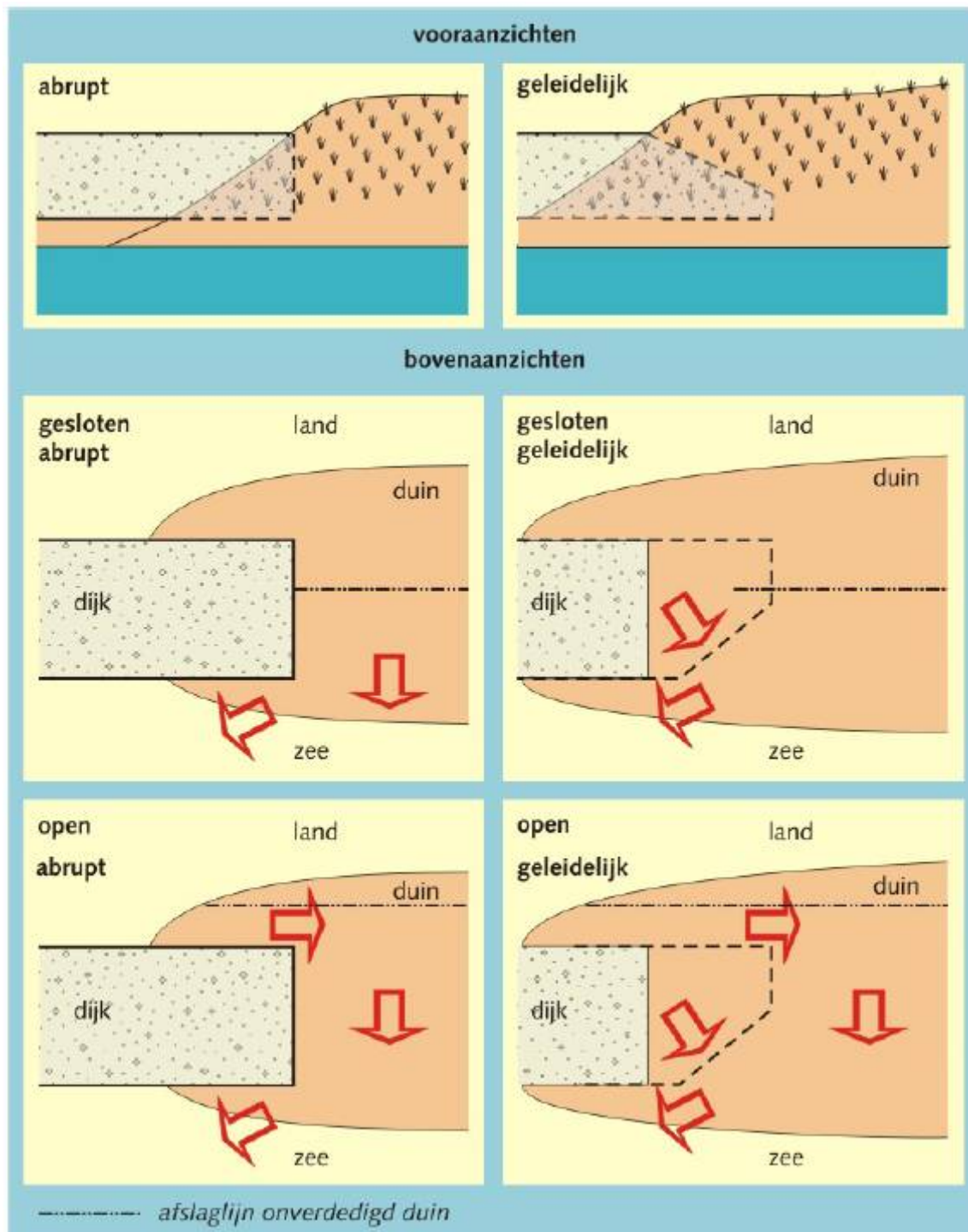
De aansluiting van een duin aan een dijk (Type I) is een overgang van een zachte waterkering (duin) naar een harde waterkering (dijk). De aanduiding 'hard' is hierbij relatief bedoeld, namelijk hard ten opzichte van het aansluitende zachte duin. In deze zin is de aansluiting van een onverdedigd duin aan een duin met duinvoetverdediging (Type II) ook een aansluitingsconstructie van een zachte naar harde kering. In dit verband kan de overgang van een verdedigd duin (duinvoetverdediging) naar een dijk (Type III) worden aangeduid als een overgang van een 'minder harde' naar een harde verdediging.

Aansluitingsconstructies kunnen verschillend worden gekenmerkt. Allereerst wordt onderscheid gemaakt tussen een open of een gesloten beëindiging. Dit wordt bepaald door de ligging van de afslaglijn van het aansluitende duin. Bij een gesloten aansluitingsconstructie ligt deze afslaglijn zeewaarts van de achterzijde (landwaartse zijde) van de aansluitende harde waterkering. Bij een open aansluitingsconstructie is dit niet zo en kan de constructie bij duinafslag onder maatgevende omstandigheden door golfaanval worden achterspoeld.

Ten tweede wordt er onderscheid gemaakt in verschillende uitvoeringen in langsrichting. De aansluitende profielen kunnen direct tegen elkaar aanliggen zonder enige aanpassing in profielvorm. We spreken dan van een abrupte overgang. Veelal zal de overgang van het ene kustprofiel in het andere echter geleidelijk verlopen, waarbij het harde profiel over een bepaalde afstand in langsrichting wordt aangepast richting onverdedigd duin. We spreken

dan ook van een geleidelijke overgang. Puur abrupte overgangen komen in feite niet voor, er is altijd wel enige vorm van aanpassing van de harde constructie.

Bij een geleidelijke overgang is de lengte van de aansluitingsconstructie gelijk aan de lengte waarover in de harde constructie (dijk)profielaanpassingen zijn aangebracht met het oog op de overgang.



Figuur 20.1 Principevoorbeelden aansluitingsconstructies Type I

Figuur 20.1 toont enige principevoorbeelden van Type I. De pijlen geven de richting van zandtransport aan tijdens duinafslag onder maatgevende omstandigheden. In de regel zal er naast afslag vanaf het duin in zeewaartse richting, ook zand verplaatsen van het onverdedigde duin richting de zeezijde van de harde constructie. In geval van een open constructie zal er mogelijk zelfs transport plaatsvinden vanaf de landzijde van de harde constructie richting het onverdedigde duin. Verder is het ook zo dat er aan weerszijden van de aansluitingsconstructie sprake zal zijn van een zekere invloed van de aansluitingsconstructie op het aanwezige kustprofiel. Het gebied waarover van een dergelijke beïnvloeding sprake is noemen we aansluitingszone. Buiten de aansluitingszone is er geen beïnvloeding en is er sprake van een ongestoorde situatie. De specifieke mechanismen die een rol spelen bij de toetsing van aansluitingsconstructies worden besproken in paragraaf 20.3.

20.3 Faalmechanismen aansluitingsconstructies

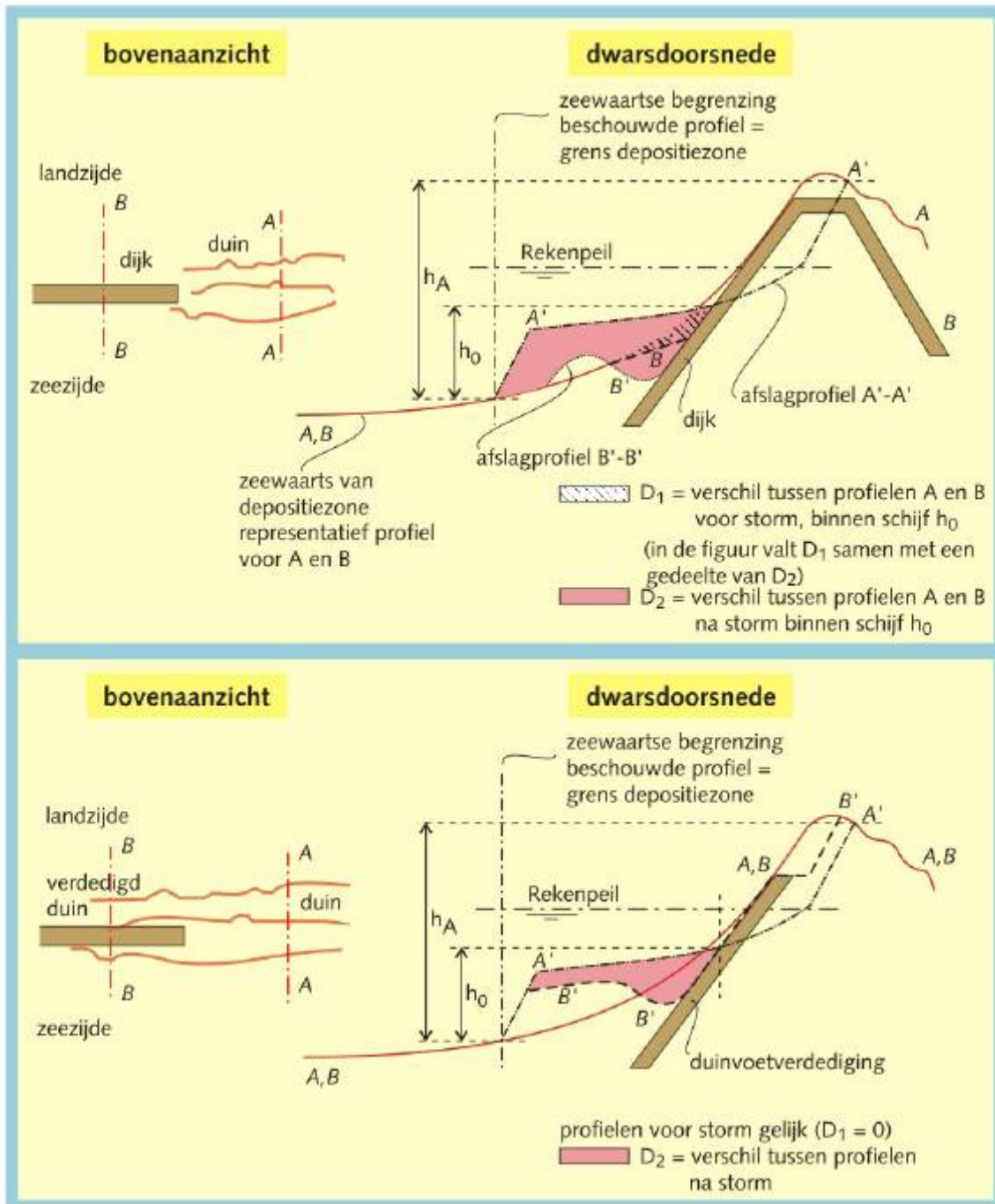
(VTV2006; Katern 6; Par 1.2.2)

Bij de beoordeling van het gedrag van een aansluitingsconstructie wordt uitgegaan van het gedrag van het onverdedigde duin onder maatgevende omstandigheden. Dat wil zeggen dat wordt uitgegaan van het maatgevende afslagprofiel van het onverdedigde duin, gebaseerd op de procedure in het TRDA2006. De 'hardheid' van de aansluitingsconstructie wordt bepaald door de mate waarin deze het proces van duinafslag en daarmee de toevoer van zand naar strand en vooroever belemmert. Deze belemmering, die wordt aangeduid met 'onthouden zandvolume', is maximaal bij een dijkachtige constructie; bij een lage duinvoetverdediging of een verborgen kering is deze beïnvloeding duidelijk geringer.

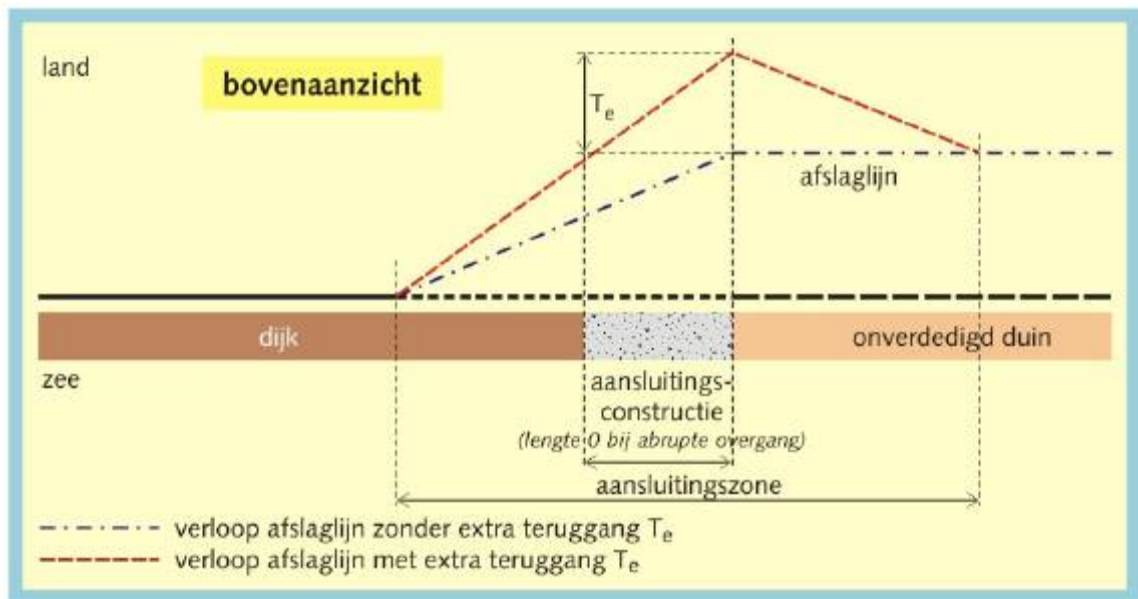
Figuur 20.2 toont het onthouden zandvolume bij de aansluiting van een duin aan respectievelijk een dijk (bovenste figuur) en een verdedigd duin (onderste figuur). Tijdens de maatgevende storm bij het onverdedigd duin vormt zich een afslagprofiel, waarbij de vooroever wordt opgehoogd met afgeslagen duinzand. Indien in een naastliggend profiel een harde constructie aanwezig is, zoals een dijk of een duinvoetverdediging, dan zal deze constructie beletten dat de vooroever wordt aangevuld tot een vergelijkbaar niveau als bij het onverdedigde duin. In dit geval zal zich een ontgrondingskuil ontwikkelen met voor de constructie dus een lager bodemniveau dan in het ongestoorde dwarsprofiel. Het natuurlijke effect is dan dat het tekort in het dwarsprofiel met de harde constructie (zandvraag) zal worden gecompenseerd door zandaanvulling vanuit het naastliggende onverdedigde duin (zandaanbod). Het gevolg is dat hier extra afslag plaatsvindt. De extra afslag wordt uitgedrukt in een extra teruggang T_e van het onverdedigde duin direct naast de aansluitingsconstructie [Figuur 20.5].

De positie van de afslaglijn voor het onverdedigde duin kan worden bepaald aan de hand van de in het TRDA2006 beschreven procedure. De extra teruggang T_e dient te worden bepaald op basis van twee momentane profielen, namelijk dat van het duin en dat van de dijk (met voorliggend strand) of het verdedigde duin. Omdat het resultaat van deze uitwerking natuurlijk afhankelijk is van het gebruikte dwarsprofiel en daarmee ook van het opnamejaar, dient deze uitwerking vooral plaats te vinden voor een recent, relatief zwak jaar die qua kustlijnligging nog net voldoet aan de minimaal gegarandeerde maat. Met andere woorden: de zogenaamde Momentane KustLijn (de MKL) van het gekozen jaar dient zo goed mogelijk overeen te komen met de vastgestelde BasisKustLijn (de BKL). De zone waarin deze processen van extra zandvraag en -aanbod zich afspelen wordt de aansluitingszone genoemd [paragraaf 20.2]. De aansluitingszone wordt begrensd door doorsneden die niet meer worden beïnvloed

door een discontinuïteit in de lengterichting. De aansluitingszone strekt zich in het algemeen uit over een afstand van 100 tot 200 m aan weerszijden van de aansluitingsconstructie.



Figuur 20.2 Onthouden zandvolume bij de aansluiting van een duin aan een dijk (bovenste figuur) en aan een verdedigd duin (onderste figuur), min of meer in elkaars verlengde

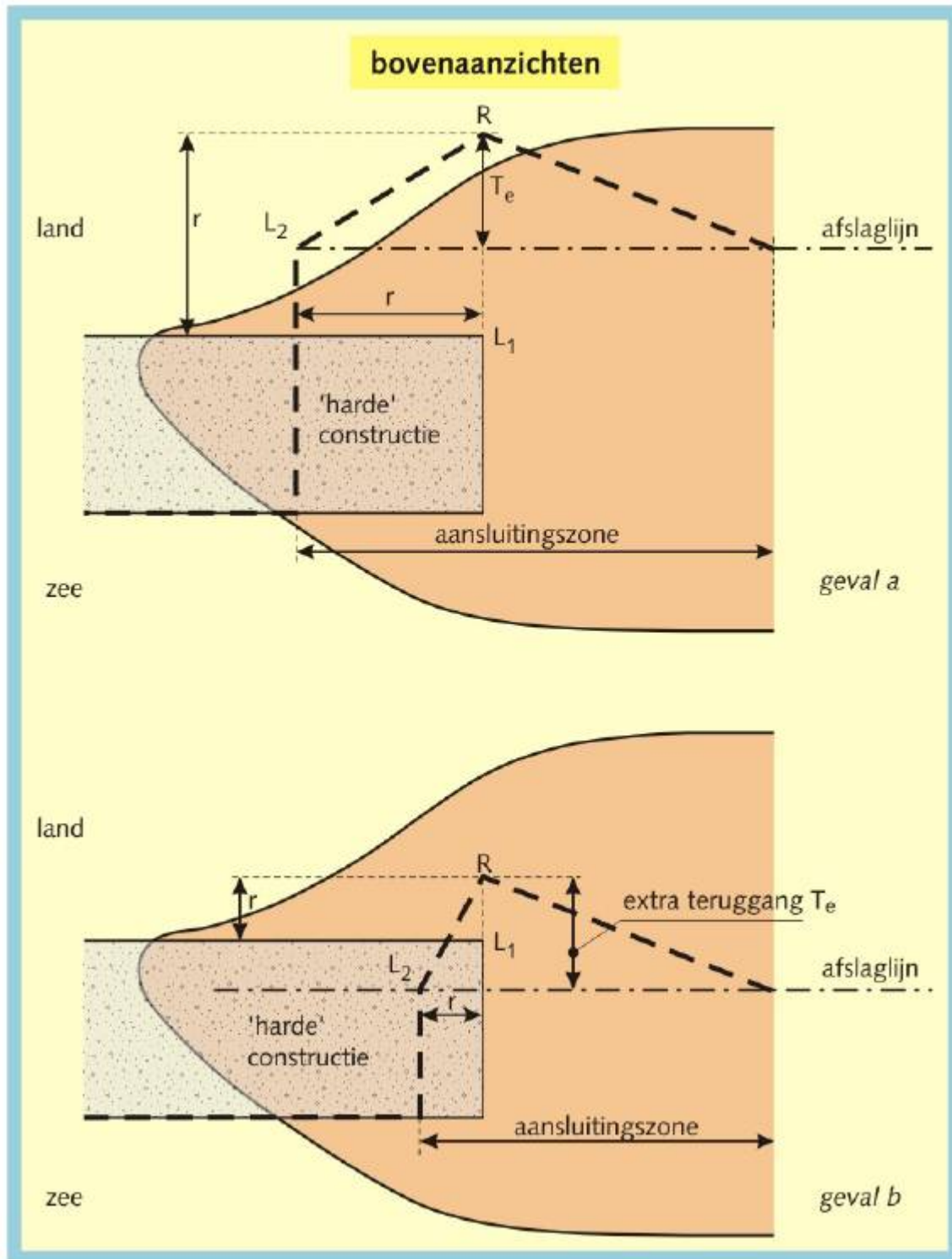


Figuur 20.3 Extra teruggang T_e

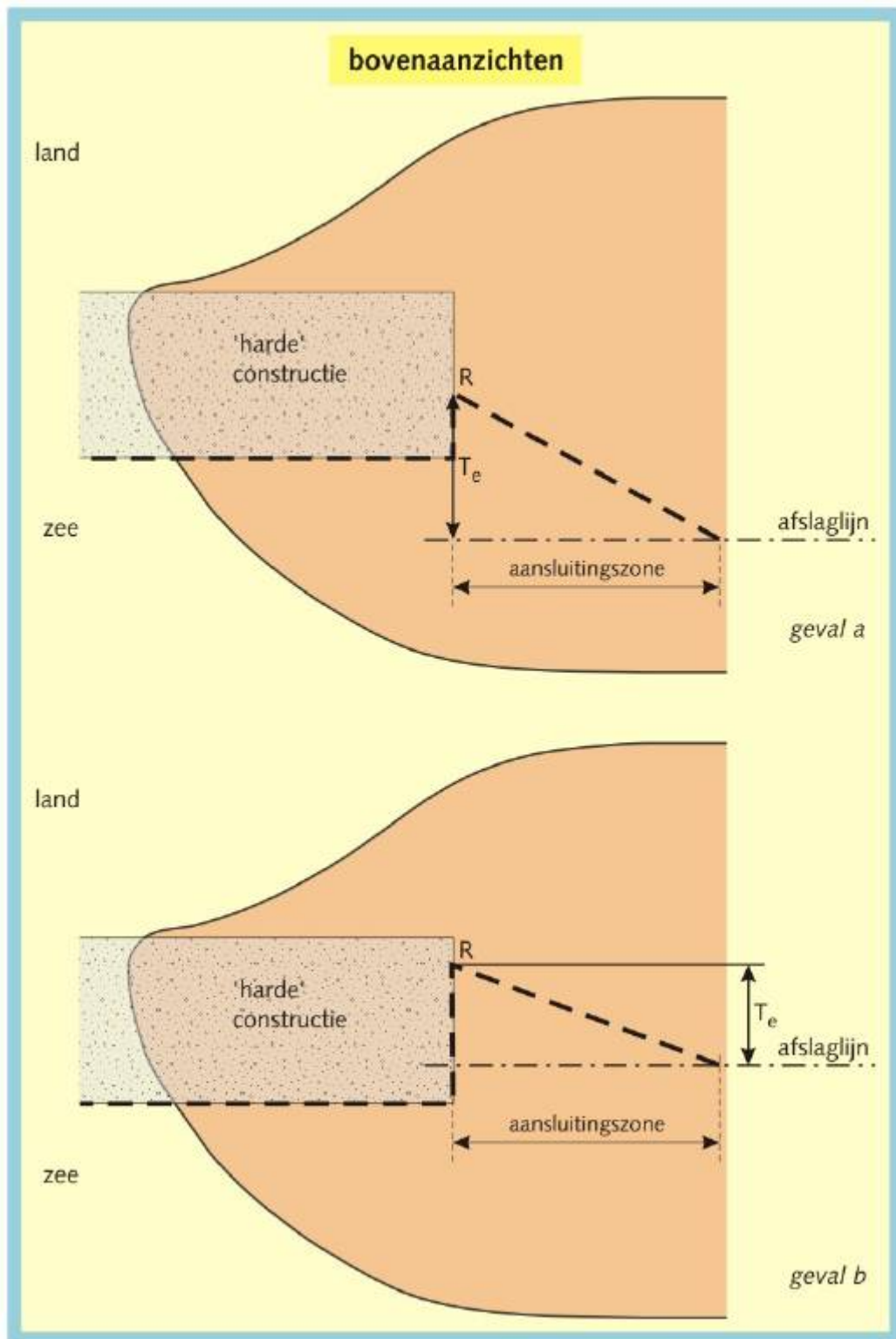
Duinafslag in het onverdedigde duin naast de aansluitingsconstructie kan leiden tot de afslag van zand van achter de aansluitingsconstructie: de aansluitingsconstructie wordt dan achterloopt. Dit is het geval bij open aansluitingsconstructies, waarbij dus de afslaglijn van het naastliggende onverdedigde duin landwaarts ligt ten opzichte van de achterzijde van de aansluitingsconstructie en het materiaal achter de constructie voldoende erodeerbaar is. Hierbij dient de extra teruggang T_e van de afslaglijn ook te worden beschouwd. Een op het eerste gezicht gesloten aansluitingsconstructie waarbij de afslaglijn van het naastliggende ongestoorde en onverdedigde duinprofiel niet achter de achterzijde van de aansluitingsconstructie reikt, kan in feite toch een open aansluitingsconstructie zijn, namelijk als de extra teruggang T_e alsnog tot achter de aansluitingsconstructie reikt. In principe is er door een dergelijke achterloopsheid extra zand beschikbaar voor het naastliggende duinprofiel. In zijn totaliteit is er dus ook meer zand beschikbaar voor de compensatie van het tekort aan zand in het aansluitende verdedigde profiel waar sprake is van zandonthouding, zoals hiervoor werd beschreven. Met andere woorden, het onthouden zandvolume A_{ont} wordt deels aangevuld met deze extra afslag van achter de aansluitingsconstructie. Dit betekent op zijn beurt dat de extra teruggang T_e van de afslaglijn in feite kleiner wordt in die gevallen waarbij er sprake is van een open aansluitingsconstructie.

Als veilige benadering voor de teruggang van het naastliggende duin als gevolg van de aansluitingsconstructie wordt de extra teruggang aangehouden die optreedt bij een gesloten beëindiging, dus zonder zijdelingse toevoer van zand van achter de aansluitende harde constructie. Bepalend voor de grootte van de toelevering van materiaal is de afstand tussen het afslagpunt R (dat dus over een afstand T_e verschoven is als gevolg van de naastliggende harde constructie) en de landwaartse achterkant van de eindconstructie (punt L_1). Deze afstand wordt bepaald op het niveau van het Rekenpeil en is linksboven in Figuur 20.4 aangegeven met r (dus $r = RL_1$). De contouren van de harde constructie zijn dus aangegeven op Rekenpeil. Voor het verloop in langsrichting langs de kust van de extra achteruitgang wordt dezelfde lengte r aangehouden, gemeten langs de niet-verschoven afslaglijn, waarbij de achteruitgang van punt R lineair naar 0 afneemt in punt L_2 . Theoretisch geredeneerd loopt de afslaglijn vervolgens naar de zeezijde van de harde constructie (op Rekenpeilniveau) om vervolgens in feite te worden bepaald door de harde constructie zelf. Dit is met een streeplijn

in de figuur aangegeven. Samengevat wordt de extra achteruitgang T_e bij een open eindconstructie dus bepaald zonder rekening te houden met de reducerende werking van extra aanvoer van achter de aansluitende constructie.



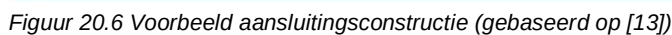
Figuur 20.4 Bepaling r bij open aansluitingsconstructie



Figuur 20.5 Verschuiving afslaglijn bij gesloten aansluitingsconstructie

Voor de volledigheid geeft Figuur 20.5 het verloop van de afslaglijn bij een 'echte' gesloten eindconstructie. Punt R ligt hierbij niet landwaarts van de aansluitende constructie. Ook deze figuur laat twee mogelijke liggingen zien van de afslaglijn t.o.v. de harde constructie. Figuur a toont het geval waarbij de afslaglijn zeewaarts van de harde constructie loopt, figuur b het

Een ontwerpvoorbeeld van een aansluitingsconstructie wordt gegeven Figuur 20.6 (Leidraad Zee- en Meerdijken [13]).



Voor het aansluitende duin geldt het 'ongestoorde' duinprofiel en de daarbij behorende belasting als uitgangspunt. Voor de harde constructie geldt dat ook: deze moet aan de toetsingsregels voldoen. Voor het aansluitende gedeelte van de 'harde' constructie - de aansluitingsconstructie - geldt dat deze, mocht hij geheel of gedeeltelijk bloot komen te liggen ten gevolge van duinafslag, onder de daarvoor geldende belastingen stabiel moet zijn. Hierbij

kan wel rekening worden gehouden met de na duinafslag verhoogde vooroever. Bij de geavanceerde toetsing wordt van geval tot geval beoordeeld van welke belasting op de aansluitingsconstructie moet worden uitgegaan.

20.5 Sterkte aansluitingsconstructies

(VTV2006; Katern 6; Par 3.5)

De sterkte van de aansluitingsconstructie wordt bepaald door het gedrag van de aansluitende onderdelen waaronder inbegrepen hun onderlinge beïnvloeding en de daaruit voortvloeiende belasting. Zoals in paragraaf 20.4 is aangegeven wordt de sterkte van de aansluitingsconstructie op basis hiervan getoetst. De procedure hiervoor wordt behandeld in paragraaf 20.6.

Naast de sterkte van de aansluitingsconstructie zelf is van belang dat de aanwezigheid ervan de sterkte van het naastgelegen duinprofiel ten aanzien van duinafslag verkleint.

20.6 Beoordeling aansluitingsconstructies tussen duinen en dijken/dammen

(VTV2006; Katern 6; Par 4.3)

Het schema voor de beoordeling van aansluitingsconstructies staat in Figuur 20.7.

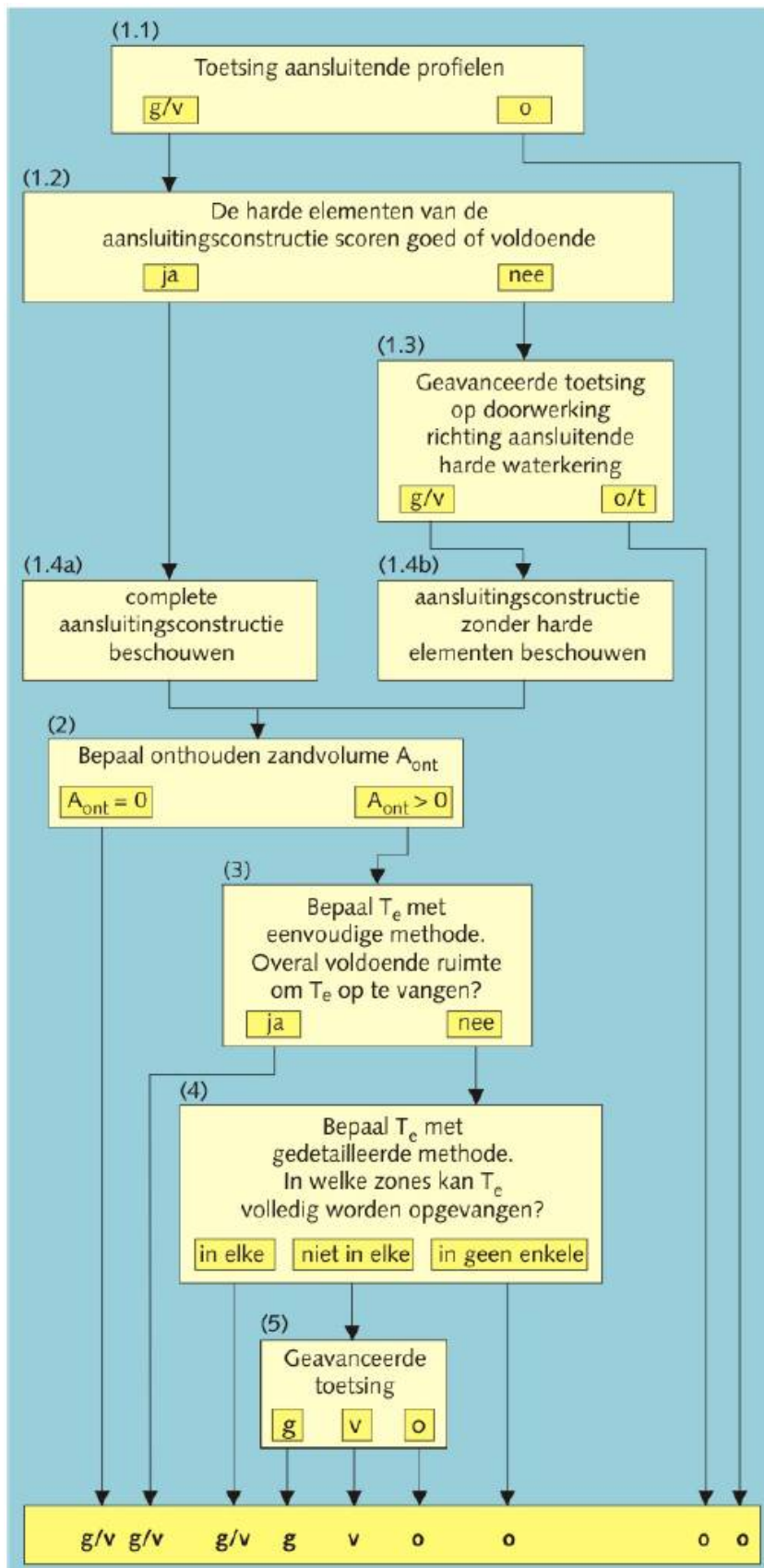
In het algemeen is sprake van een veilige aansluiting als de aan weerszijden aansluitende waterkering veilig is. Het is hierbij echter niet afdoende om de doorsneden afzonderlijk te bekijken omdat er sprake is van wederzijdse beïnvloeding [paragraaf 20.4]. Deze moeten in de toetsing worden meegenomen.

De eerste deelstap is de toetsing van de aansluitende profielen. Vervolgens, binnen stap 1, worden de harde elementen van de aansluitingsconstructie afzonderlijk beoordeeld. Bij een tussenscore 'onvoldoende' wordt de doorwerking naar het aansluitende harde profiel getoetst; verder bepaalt de tussenscore van de harde elementen de methodiek in stap 2. In die stap wordt bepaald of de aanwezigheid van het harde profiel daadwerkelijk extra afslag - A_{ont} - veroorzaakt en dus een negatieve invloed heeft op het duinprofiel. Als dat het geval is, wordt in stap 3 met eenvoudige regels de bijkomende (landwaartse) verplaatsing van de duinvoet bepaald. Als er niet voldoende zand in het profiel aanwezig is om de extra achteruitgang T_e op te vangen - dit betekent dat het grensprofiel door de afslag zal worden doorsneden - wordt in stap 4 de achteruitgang nauwkeuriger bepaald met de gedetailleerde methode. In bepaalde gevallen is tot slot geavanceerde toetsing nodig (stap 5).

Er worden aparte regels gegeven voor de drie types aansluitingsconstructies die genoemd worden in paragraaf 20.2:

- Type I: Een onverdedigd duin aan een dijk;
- Type II: Een onverdedigd duin aan een verdedigd duin;
- Type III: Een verdedigd duin aan een dijk.

Een aansluitingsconstructie kan ook bestaan uit een combinatie van types, bijvoorbeeld eerst type II en dan type III. De zwakste combinatie bepaalt in dat geval het toetsresultaat van de aansluitingsconstructie. In de Leidraad Zee- en Meerdijken [13] staat een rekenvoorbeeld voor type I.



Figuur 20.7 Beoordelingsschema aansluitingsconstructies

Stap 1: Toetsing van de afzonderlijke onderdelen

Stap 1.1: Aansluitende profielen

In deze stap worden de beide aansluitende profielen onafhankelijk van elkaar getoetst. Als de score voor beide aansluitende profielen 'goed' of 'voldoende' is, kan de toetsing worden voortgezet met stap 1.2. Als één van de profielen een score 'onvoldoende' krijgt, is dat tevens de eindscore van de aansluitingsconstructie.

Stap 1.2: Harde elementen van de aansluitingsconstructie

De harde elementen van de aansluitingsconstructie moeten worden getoetst volgens de regels van Katern 5 en/of Katern 8 van het VTV2006. Het resultaat van deze toetsing is geen eindscore, maar bepaalt het vervolg van de toetsing. Als de harde elementen een tussenscore 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' krijgen, wordt de toetsing voortgezet met stap 1.3. Bij een tussenscore 'goed' of 'voldoende' wordt de toetsing voortgezet met stap 1.4a.

Stap 1.3: Doorwerking richting aansluitende harde waterkering

Als de harde elementen van de aansluitingsconstructie een score 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' krijgen, wordt in deze stap getoetst of het bezwijken daarvan - in een soort kettingreactie - doorwerkt naar de aansluitende harde waterkering en daar tot een score 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' leidt. Hiervoor is een geavanceerde toetsing nodig. Als de doorwerking leidt tot een score 'onvoldoende' of 'twijfelachtig', is de eindscore van de aansluitingsconstructie 'onvoldoende'. Als het aansluitende harde profiel, ondanks het bezwijken van de harde elementen van de aansluitingsconstructie, toch voldoet wordt de toetsing voortgezet met stap 1.4b.

Opgemerkt wordt dat deze geavanceerde toetsing van stap 1.3 ook kan worden uitgevoerd nadat (volgens de stappen hierna) getoetst is op de doorwerking richting de aansluitende zachte waterkering. De slechtste score van beide toetsingen geldt als de eindscore.

Stap 1.4a: Beschouwing aansluitingsconstructie inclusief harde elementen

De gehele aansluiting met al zijn elementen wordt getoetst volgens de procedure van een aansluitingsconstructie.

Stap 1.4b: Beschouwing aansluitingsconstructie exclusief harde elementen

Als de stabiliteit van de harde elementen 'onvoldoende' of 'twijfelachtig' is, dan moet de aansluiting wel worden getoetst volgens de procedure van een aansluitingsconstructie, maar zonder het instabiele, harde deel van de aansluitingsconstructie mee te nemen, als ware dit niet aanwezig. Het punt L_1 [Figuur 20.4] aan het uiteinde van de harde aansluitende constructie moet dan worden gekozen ter plaatse van de stabiele oorspronkelijke doorsnede van de aansluitende constructie (bijvoorbeeld een dijk). Het 'onvoldoende' of 'twijfelachtige' gedeelte wordt dan dus genegeerd - althans de harde elementen daarin - en er dient te worden nagegaan of er voldoende zand in het profiel zit om Te op te vangen. In feite is er dan sprake van een abrupte overgang naar het aansluitende harde profiel. Zie verder stap 2.

Stap 2: Bepaling onthouden zandvolume A_{ont}

In deze stap wordt berekend of er sprake is van een aan het harde profiel onthouden zandvolume A_{ont} , dat een extra kustachteruitgang ter plaatse van het duinprofiel kan veroorzaken. De methode om A_{ont} te bepalen wordt afzonderlijk besproken voor de drie genoemde types aansluitingsconstructies. Voor alle drie de types geldt dat bij $A_{ont} = 0$ er geen extra teruggang van het duin te verwachten valt. De score is dan 'goed' als de tussenscore

van stap 1.2 en 1.3 'goed' is, en 'voldoende' in alle andere gevallen. Als $A_{ont} > 0$ dan moet worden doorgegaan met stap 3 om de extra achteruitgang te bepalen.

In principe wordt A_{ont} bepaald op basis van de verschillen tussen de profielen van de aansluitende kustgedeelten. We zouden, in analogie met sedimenttransport, kunnen spreken van profielgradiënten. Hierbij wordt het profielverschil beschouwd na de maatgevende storm. Echter, omdat in de bestaande situatie al sprake kan zijn van profielverschillen, worden deze voor de bepaling van A_{ont} afgetrokken van de profielverschillen na de maatgevende storm. Hierbij wordt het profielgedeelte beschouwd dat zeewaarts ligt van de meest zeewaartse (harde) verdediging. Hierbij wordt de volgende notatie gebruikt:

- A, B zijn de aansluitende profielen voor de storm;
- A', B' zijn de aansluitende profielen na de storm;
- $D_1 = A - B$, dus het profielverschil voor de storm;
- $D_2 = A' - B'$, dus het profielverschil na de storm.

Een complicatie bij de methode is dat niet alle afslagprofielen grafisch worden beschreven. Zo is er geen eenduidige formulering voor de vorm van een ontgrondingskuil voor een dijk of een duinvoetverdediging. Ook het beneden in het profiel afgezette zand bij de afslag van een verdedigd duin wordt niet grafisch beschreven, maar bepaald door een reductie toe te passen op de afslag bij een onverdedigd duin.

Bij de onderscheiden types aansluitingen wordt rekening gehouden met deze complicatie. Het leidt noodgedwongen van geval tot geval wel tot verschillende formuleringen van A_{ont} .

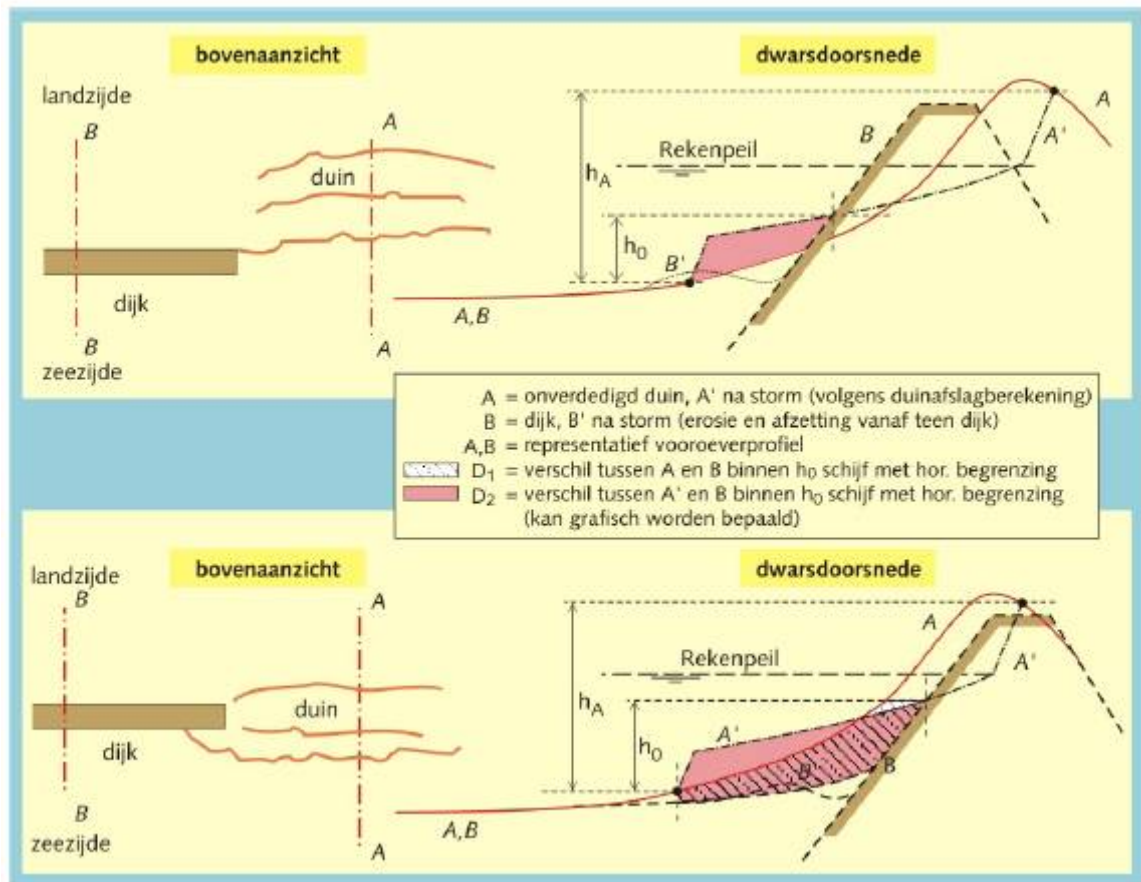
In het navolgende worden voor elk type eerst voorbeelden gegeven van de ligging van de aansluitende profielen ten opzichte van elkaar en de grafische aanduiding van A_{ont} ; daarna worden de rekenregels gegeven.

Type I: Aansluiting van een onverdedigd duin aan een dijk (voorbeeld)

Kies aan iedere zijde en op voldoende afstand (ca. 100 m) van de aansluitingsconstructie een karakteristieke doorsnede: dus een doorsnede over het kale duin (A-A) en een doorsnede over de harde constructie, het zogenaamde 'dijkprofiel' (B-B). De veiligheid van het duinprofiel wordt getoetst volgens Katern 6 paragraaf 4.2 van het VTV2006, de veiligheid van het dijkprofiel volgens Katern 5 van het VTV2006. Figuur 20.8 geeft een tweetal voorbeelden van de mogelijke ligging van deze profielen ten opzichte van elkaar. Hierbij is voor het duinprofiel het bijbehorende afslagprofiel aangegeven.

Zoals aangegeven in Figuur 20.2 is h_A gedefinieerd als de hoogte van de afslagzone van het duinprofiel, en is h_0 gedefinieerd als de hoogte van de afslagzone tot aan het snijpunt met de harde constructie waarbij het Rekenpeil als bovengrens wordt gehanteerd voor h_0 . Als dit snijpunt er niet is, kan hiervoor dus het Rekenpeil worden aangehouden.

Figuur 20.8 laat een situatie zien waarbij de dijk iets zeewaarts ligt ten opzichte van het aansluitende duin. De bepaling van A_{ont} in stap 2 gebeurt binnen de schijf h_0 , welke in horizontale zin wordt begrensd door - aan de zeewaartse zijde - het einde van de depositiezone en - aan de landwaartse zijde - door het snijpunt van het afgeslagen onverdedigde duinprofiel met de aansluitende dijk. Voor het profielgedeelte zeewaarts van de depositiezone wordt zoveel mogelijk een representatieve vorm gekozen, dus op basis van de vooroever voor het duin en de dijk.



Figuur 20.8 Voorbeeld ligging profielen Type I

Rekenregels

De werkwijze voor de bepaling van A_{ont} is voor dit type als volgt: ten eerste wordt het profielverschil vóór de maatgevende storm bepaald (D_1), ten tweede het profielverschil ná de maatgevende storm (D_2). Het verschil daartussen is A_{ont} .

Het profielverschil D_1 tussen het duin en de dijk vóór de maatgevende storm – binnen schijf h_0 – is aangegeven door het gearceerde vlakje in Figuur 20.8:

$$D_1 = A - B$$

23.1

In de bovenste figuur is $D_1 = 0$ omdat binnen de h_0 -schijf en zeewaarts van het buitentalud van de dijk de profielen voor de maatgevende storm hetzelfde zijn. In de onderste figuur is er duidelijk sprake van een profielverschil voor de maatgevende storm. In werkelijkheid zal een dergelijk verschil in aangrenzende profielen over ruimere afstand zijn uitgesmeerd. Vlakbij de overgang van duin naar dijk liggen de profielen dus veel meer in elkaars verlengde, zoals aangegeven in Figuur 20.2. Hiermee dient bij de bepaling van de aansluitingszone rekening te worden gehouden. Normaal gesproken zal de waarde van D_1 dus beperkt zijn.

Het profielverschil ná de maatgevende storm (D_2) volgt uit vergelijking tussen het afgeslagen duinprofiel A' en het dijkprofiel B . Het profielverschil D_2 is in Figuur 20.8 aangegeven door het ingekleurde vlakje. D_2 zou in principe moeten worden bepaald door het verschil te nemen tussen het afgeslagen duinprofiel A' en de ontgrondingskuil en de afzetting lager in het dijkprofiel B' . Om praktische redenen - er is geen voorgeschreven rekenmethode beschikbaar

voor de grafische bepaling van de ontgrondingskuil en afzetting lager in het profiel B, en de afzetting zal veelal binnen de depositiezone vallen - wordt D_2 bepaald door het verschil te nemen tussen A' en B, dus:

$$D_2 = A' - B \quad 23.2$$

Het afslagprofiel A' wordt bepaald door een afslagberekening voor het profiel A conform de methode uit stap 2 van Katern 6, paragraaf 4.2.1 van het VTV2006. De afslagberekening moet worden gemaakt voor de bestaande geometrie van het duinprofiel. Het onthouden zandvolume A_{ont} is nu het verschil tussen D_2 en D_1 :

$$A_{ont} = D_2 - D_1 \quad 23.3$$

Het kan voorkomen dat de vooroever van het dijkprofiel dusdanig hoog ligt ten opzichte van de vooroever van het duinprofiel dat er geen zand aan het profiel B wordt onthouden; dan geldt $A_{ont} = 0$. In dat geval heeft de dijk geen ongunstige invloed op het naastliggende duinprofiel, en is de eindscore gelijk aan de score van stap 1, dus 'goed' of 'voldoende'. In het geval dat de dijk verder landwaarts ligt, kan het zijn dat h_0 niet kan worden bepaald omdat het afslagprofiel geen snijpunt heeft met het dijkprofiel. In dat geval wordt h_0 aan de bovenzijde begrensd door het Rekenpeil.

Type II: Aansluiting van een onverdedigd duin op een verdedigd duin (voorbeeld)

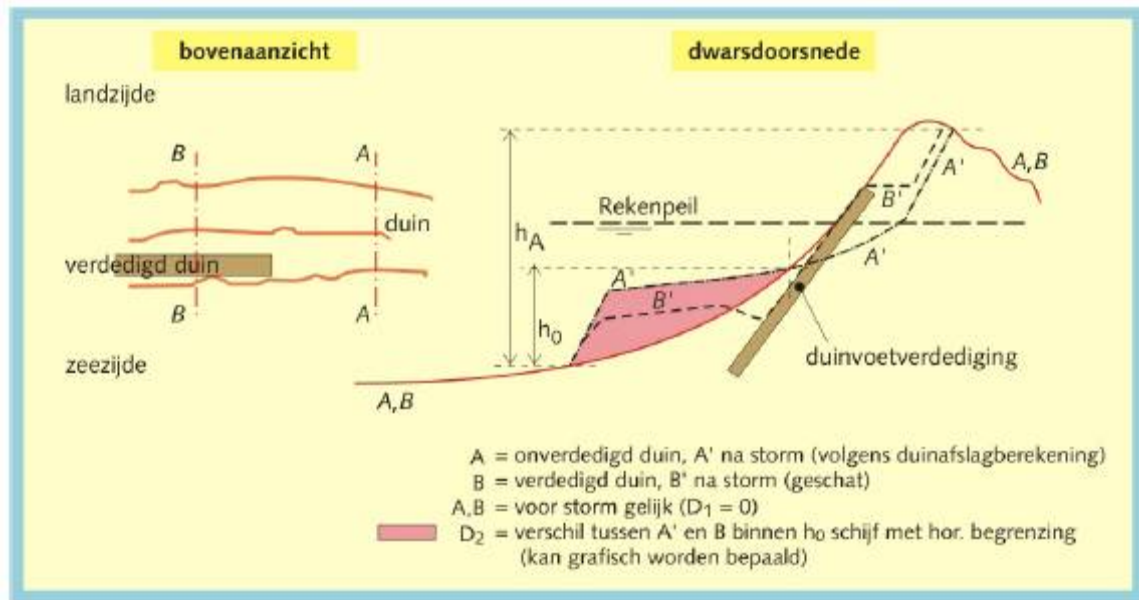
Kies aan iedere zijde en op voldoende afstand (ca. 100 m) van de aansluitingsconstructie een karakteristieke doorsnede: dus een doorsnede over het kale duin (A-A) en een doorsnede over het verdedigde duin (B-B). Voor deze twee profielen wordt de veiligheid getoetst met Katern 6 paragraaf 4.2 van het VTV2006 en met behulp van het TRDA2006. Figuur 20.9 geeft een voorbeeld van de ligging van deze profielen en de bijbehorende afslagprofielen ten opzichte van elkaar, normaal gesproken min of meer in elkaars verlengde. In de figuur is uitgegaan van het geval waarbij de dwarsprofielen vóór afslag exact hetzelfde zijn, om het verschil tussen de twee afslagprofielen duidelijk te maken.

Zoals Figuur 20.9 laat zien treedt de afslag in het verdedigde duin alleen op boven de duinvoetverdediging. De teruggang - en ook de depositie lager in het profiel - is duidelijk kleiner dan die bij het onverdedigde duin. Ook is schematisch een ontgrondingskuil aangegeven ter plaatse van de aansluiting van het strand aan de duinvoetverdediging.

Rekenregels

Consistent met de benadering voor Type I wordt A_{ont} in principe ook voor Type II [Figuur 20.9] bepaald door het verschil A' - B' tussen het afslagprofiel van het onverdedigde (A') en verdedigde duin (B'), en daar van af te trekken het bestaande profielverschil A - B. In feite is dus het profiel B' van het verdedigde duin na de maatgevende storm nodig. Dit profiel kan echter niet worden bepaald: de beschikbare rekenmethodiek leidt wel tot een afslaghoeveelheid A_{verd} door een reductie R te bepalen die wordt toegepast op de afgeslagen hoeveelheid A_{onverd} in het onverdedigde duin, als volgt::

$$\frac{A_{verd}}{A_{onverd}} = 1 - R \quad 23.4$$



Figuur 20.9 Voorbeeld ligging profielen Type II

De werkwijze voor de bepaling van A_{ont} is voor Type II daarom als volgt:

- zoals normaal gesproken het geval is bij de overgang van een onverdedigd duin naar een verdedigd duin zijn de beide profielen vóór de maatgevende storm min of meer hetzelfde en is $A = B$ en dus $D_1 = 0$;
- maak voor het onverdedigde profiel A een afslagberekening conform de methode van stap 2 van Katern 6, paragraaf 4.2.1 van het VTV2006. Dit resulteert in een afslagprofiel A'. Bepaal het verschil tussen het profiel A' en A binnen schijf h_0 . Dit wordt aangeduid met:

$$D_2^- = A' - A \quad 23.5$$

- bepaal de reductie R om de afslaghoeveelheid bij het verdedigde duin te bepalen;
- bereken de hoeveelheid $D_2 = A' - B'$ met:

$$A' - B' = (A' - A) - (B' - A) = (A' - A) - (1 - R) \cdot (A' - A) = (A' - A) \cdot R \quad 23.6$$

- dit leidt tot de volgende uitdrukking voor A_{ont} :

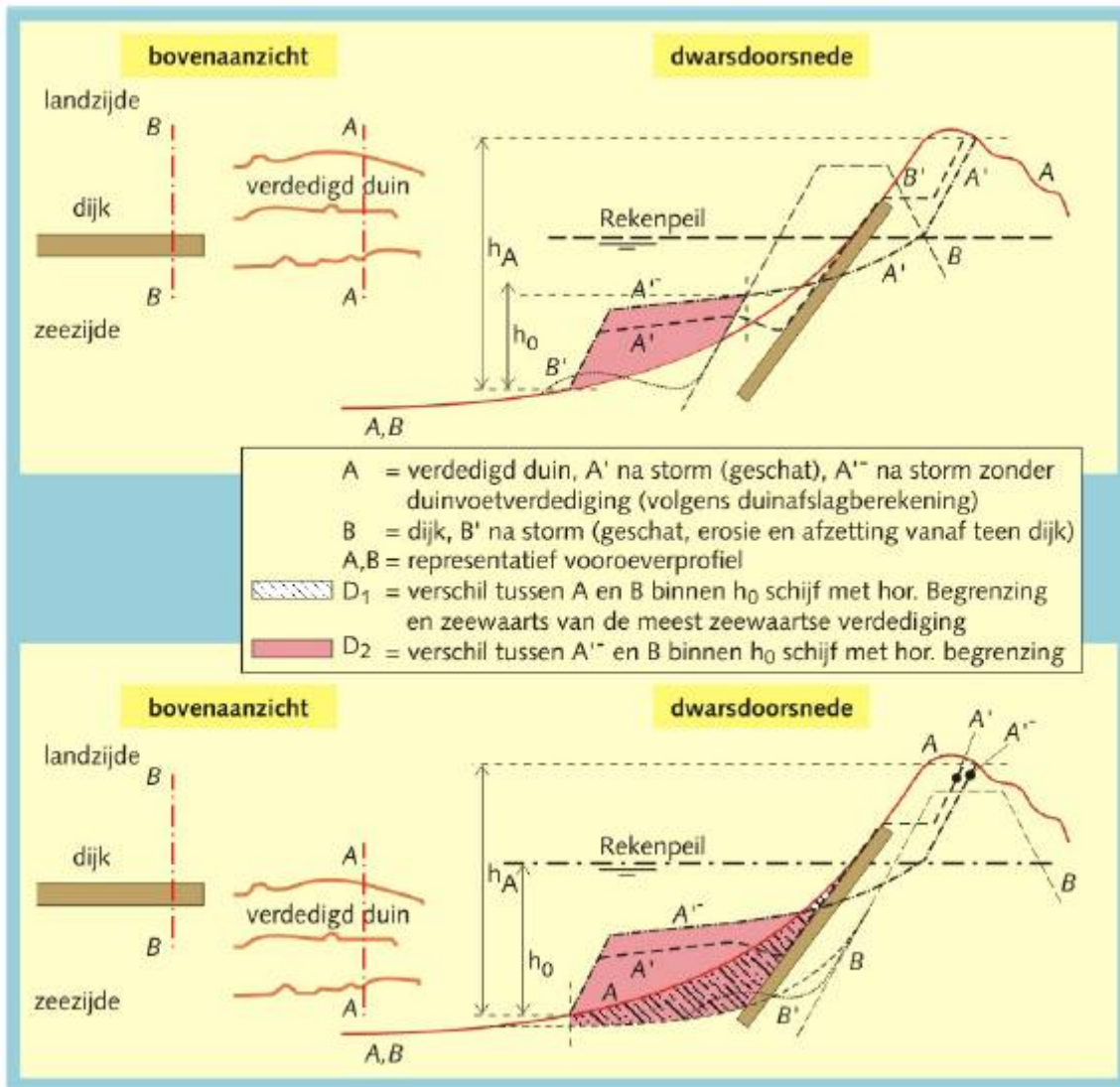
$$A_{ont} = D_2 - D_1 = D_2 = (A' - A) \cdot R \quad 23.7$$

Hoewel meestal niet het geval, is het mogelijk dat A_{ont} kleiner is dan 0, namelijk als de vooroever ter plaatse van het verdedigde profiel veel hoger ligt dan ter plaatse van het onverdedigde profiel. In dat geval heeft de verdediging geen ongunstige invloed op het naastliggende onverdedigde profiel, en is de eindscore gelijk aan de score van stap 1.

Type III: Aansluiting van een verdedigd duin aan een dijk (Voorbeeld)

Kies aan iedere zijde en op voldoende afstand (ca. 100 m) van de aansluitingsconstructie een karakteristieke doorsnede: een doorsnede over het verdedigd duin (A-A) en een doorsnede over het dijkprofiel (B-B). Voor deze twee profielen wordt de veiligheid van de dijk getoetst met Katern 5 van het VTV 2006 en van het duin met Katern 6 paragraaf 4.2 van het VTV2006

en met behulp van het TRDA2006. Figuur 20.10 geeft een voorbeeld van de ligging van deze profielen ten opzichte van elkaar.



Figuur 20.10 Voorbeeld ligging profielen Type III

Ook hier worden weer twee schematische voorbeelden getoond. De bovenste helft van Figuur 20.10 toont het geval waarin de dijk iets zeewaarts ligt t.o.v. het aansluitende verdedigde duin, de onderste helft het omgekeerde. In het eerste geval kan voor het 'zandgedeelte' van het profiel met de dijk (B) en het corresponderende gedeelte van het duinprofiel een representatief profiel worden gekozen, dus A en B vallen hier samen. Bij het tweede geval - de onderste figuur - ligt het duin zeewaarts van de dijk.

Rekenregels

Evenals bij Type II kan voor het verdedigde duin geen afslagprofiel worden berekend, alleen een reductie op de afslag bij eenzelfde onverdedigd duin. In het bovenste geval van Figuur 20.10, waarbij de dijk iets zeewaarts ligt ten opzichte van het duin, is voor het corresponderende zandige gedeelte van de profielen een gelijke, representatieve vorm gekozen. In het onderste geval is er sprake van een duidelijk profielverschil voor de maatgevende storm.

De procedure voor de bepaling van A_{ont} is als volgt:

- bepaal het verschil $D_1 = A - B$ binnen schijf h_0 tussen beide profielen vóór de maatgevende storm. In het bovenste geval is $D_1 = 0$ omdat binnen de h_0 - schijf en zeewaarts van de dijk de profielen voor de maatgevende storm gelijk zijn. In het onderste geval is er duidelijk sprake van een profielverschil voor de maatgevende storm vanwege de zeewaartse positie van het zandige gedeelte van het verdedigde duinprofiel;
- maak voor het onverdedigde profiel A een afslagberekening. Dit resulteert in een afslagprofiel A' ('-geeft aan 'onverdedigd'). Bepaal het verschil tussen het profiel A' en B binnen schijf h_0 . Dit wordt aangeduid met $A' - B$. Om dezelfde reden als bij Type I wordt bij de bepaling van D_2 niet uitgegaan van B' maar van B;
- bepaal de reductie R om de afslaghoeveelheid bij het verdedigde duin te bepalen; bereken de hoeveelheid $D_2 = A' - B'$ met:

$$D_2 = A' - B' = (1 - R) \cdot (A' - B) \quad 23.8$$

- dit leidt tot de volgende uitdrukking voor A_{ont} :

$$A_{ont} = D_2 - D_1 = (1 - R) \cdot (A' - B) - (A - B) \quad 23.9$$

Het is mogelijk dat A_{ont} kleiner is dan 0, als de vooroever ter plaatse van de dijk veel hoger ligt dan ter plaatse van het duin. In dat geval heeft de dijk geen ongunstige invloed op het naastliggende duinprofiel, en is de eindscore gelijk aan de tussenscore van stap 1.

Stap 3: Extra teruggang T_e (eenvoudig)

In deze stap wordt de extra teruggang T_e bepaald. Zoals aangegeven paragraaf 20.3 wordt uitgegaan van de waarde van T_e bij een gesloten aansluitingsconstructie. Er wordt dus geen rekening gehouden met een reductie hierop door zandaanvulling van achter de harde aansluitende constructie in geval van een open aansluitingsconstructie. De basiswaarde van T_e volgt uit::

$$T_e = A_{ont} \left[\sqrt{h_A \cdot h_0} + h_0 \right]^{-1} \quad 23.10$$

waarbij:

h_A : hoogte van de afslagzone [m]

h_0 : hoogte van de afslagzone tot het snijpunt met de harde constructie [m] [Figuur 20.2]

Opgemerkt wordt dat de gemeenschappelijke ondergrens van h_A en h_0 wordt bepaald door het laagste punt van de afzetting in het afslagprofiel, dus de zeewaartse begrenzing van de depositiezone. De resulterende waarde van T_e wordt opgelegd aan het einde van het duin, dus op de rand van de aansluitingsconstructie ter plaatse van het aansluitende duin [Figuur 20.3]. Vervolgens wordt een verloop van T_e naar 0 toegepast over een afstand van 100 m vanaf deze locatie in de richting van het aansluitende duin. Vergelijk de extra achteruitgang T_e met de ruimte tussen het afslagpunt en de voorzijde van het grensprofiel.

Ga na of:

- er bij een gesloten eindconstructie (Figuur 20.5), gezien de ligging van het grensprofiel, voldoende ruimte is om de extra teruggang T_e op te vangen;
- er bij een open eindconstructie (Figuur 20.4) de lineair over een afstand r afnemende extra teruggang T_e kan worden opgevangen achter de aansluitingsconstructie of, in het geval van een abrupte beëindiging, achter de aansluitende (harde) constructie.

Als de extra teruggang in elke doorsnede kan worden opgevangen is de score 'goed'. Zo niet, dan doorgaan met stap 4.

Stap 4: Extra teruggang T_e (gedetailleerd)

De gedetailleerde methode staat in [WL | Delft Hydraulics (1995)]. Bij deze methode wordt het verloop van T_e nauwkeuriger geschat. Dit gebeurt op basis van een ondergrens- en een bovengrensbepaaling voor het verloop van A_{ont} over de gehele lengte - verdeeld over een aantal zones - van de aansluitingszone. Bij de ondergrensbepaaling van A_{ont} wordt een te verwachten instabiel gedrag van de harde constructie in rekening gebracht. Bij toepassing van deze methode is specialistische hulp aanbevolen.

Deze methode leidt tot de volgende scores:

- 'goed': voor zowel de ondergrens- als de bovengrenswaarden van A_{ont} kan T_e overal in de aansluitingszone volledig worden opgevangen;
- 'onvoldoende': voor zowel de ondergrens- als de bovengrenswaarden van A_{ont} kan T_e nergens in de aansluitingszone volledig worden opgevangen;
- in alle overige gevallen is geen score mogelijk.

De scores 'goed' en 'onvoldoende' gelden als eindscore. Indien geen tussenscore mogelijk is wordt de toetsing voortgezet met stap 5.

Stap 5: Geavanceerde toetsing Aansluitingsconstructies

Als met de gedetailleerde methode geen score kan worden bepaald, dan moet nader onderzoek worden uitgevoerd. Dit leidt dan tot een eindoordeel 'goed', 'voldoende', of 'onvoldoende'.

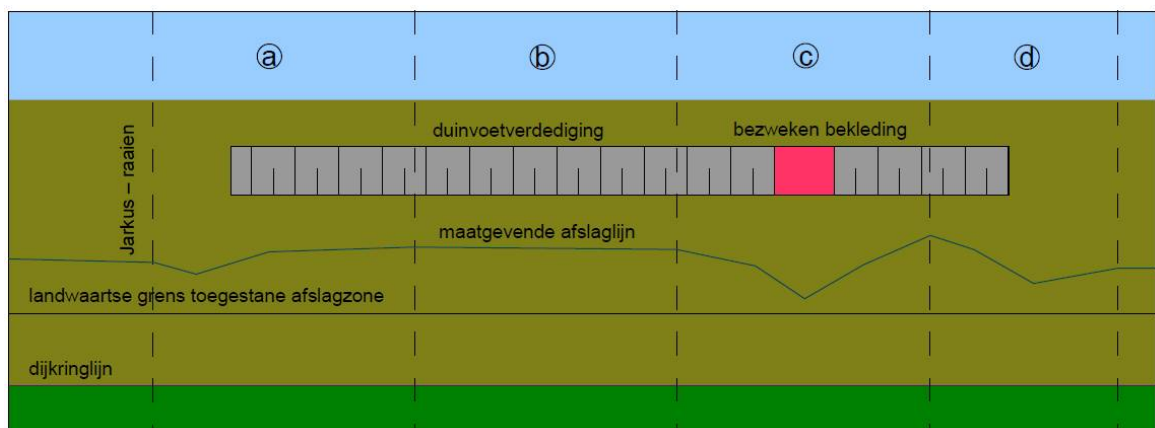
21 Voorbeelden toetsen specifieke situaties

21.1 Inleiding

In deze bijlage worden voorbeelden gegeven van het toetsen van een aantal specifieke situaties. In paragraaf 21.2 wordt een voorbeeld gegeven van het toetsen van een hybride kering en een NWO – situatie. In dit voorbeeld wordt als illustratie een geheel toetsspoor doorlopen. De andere twee voorbeelden betreffen slechts een deel van het toetsspoor. Het betreft een voorbeeld van het toetsen van een eilandkop [paragraaf 21.3] en een voorbeeld van een dubbel duin [paragraaf 21.4]. De voorbeelden dragen mogelijke oplossingsrichtingen aan voor een toets op maat, maar dienen niet als een richtlijn te worden opgevat.

21.2 Voorbeeld toetsspoor hybride kering: verdedigd duin

In een smalle duinwaterkering bevindt zich een duinvoetverdediging die in een ver verleden is aangelegd om kusterosie tegen te gaan [Figuur 21.1]. Omdat de duinvoetverdediging inmiddels door een laag zand is bedekt, is onduidelijk in welke toestand deze waterbouwkundige constructie zich bevindt.



Figuur 21.1 Voorbeeld toets hybride kering: verdedigd duin

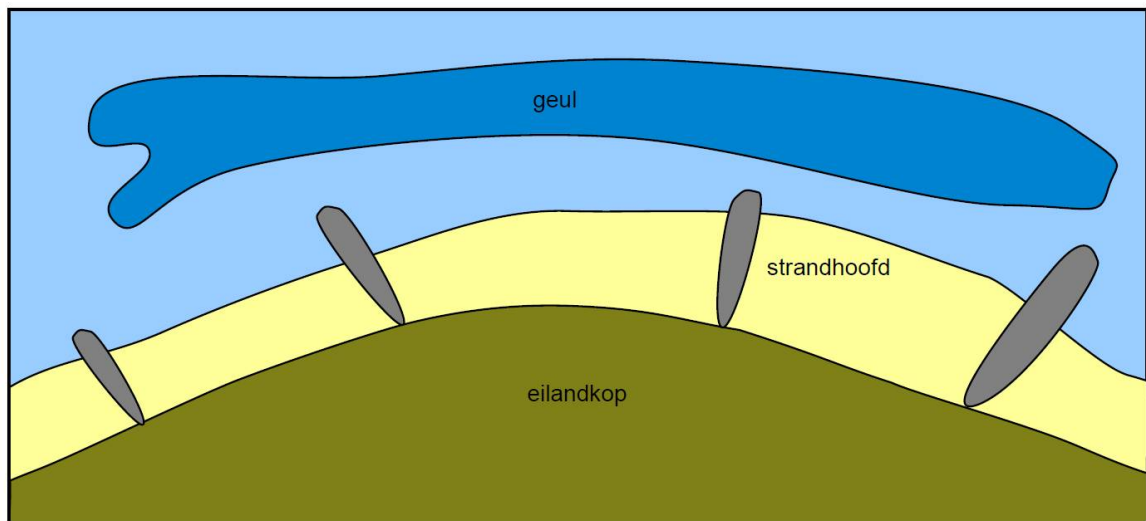
Tijdens de toets wil de waterkeringbeheerder weten of de duinvoetverdediging voldoende sterkte bezit onder de normatieve omstandigheden. Hiervoor worden de volgende activiteiten uitgevoerd:

- Bepaling waterkeringgegevens: De gegevens van de duinvoetverdediging worden verzameld. Allereerst vindt een inventarisatie plaats van de beschikbare gegevens in de vorm van bestekken en inspectierapportages. Vervolgens worden er op de locatie steekproeven uitgevoerd om te controleren of deze gegevens betrouwbaar zijn en om een indruk te krijgen van de toestand van de bekleding. Hieruit blijkt dat op één locatie de bekleding grotendeels is verdwenen.
- Bepaling beoordelingstraject verdedigd duin: De duinvoetverdediging wordt verdeeld in vier beoordelingstrajecten a t/m d welke worden begrensd door de JARKUS – raaien:
 - De trajecten a en d worden getoetst als een aansluitingsconstructie
 - De trajecten b en c worden getoetst als een hybride kering: verdedigd duin

- Bepaling landwaartse grens toegestane afslagzone: De landwaartse grens van het waterstaatswerk ligt aan de binnenduintrand. Dit is tevens de dijkkringlijn. De waterkeringbeheerder gaat na welk deel van de achterzijde van het duin nodig is voor een aaneensluitend grensprofiel, en bepaalt zeewaarts daarvan de landwaartse grens toegestane afslagzone.
- Beoordeling bezwijken harde waterkeringsconstructie: Voor de beoordeling of de harde waterkeringsconstructie bezwijkt worden de volgende stappen ondernomen:
 - Er blijkt voor de duinvoetverdediging geen beoordelingsprofiel te zijn uitgerekend. De waterkeringbeheerder besluit dit alsnog te doen. Hiervoor wordt een grondmechanische berekening naar de stabiliteit van de duinvoetverdediging uitgevoerd.
 - Voor de beoordeling van de bekleding voor de trajecten a, b en d zijn er hydraulische randvoorwaarden nodig aan de voet van de duinvoetverdediging. Voor deze locatie zijn officiële HR beschikbaar voor het toetsen van duinwaterkeringen. Omdat deze randvoorwaarden zich op zee bevinden, vindt er een vertaling van deze randvoorwaarden plaats met behulp van een golfmodel en het vastgestelde beoordelingsprofiel. Met behulp van deze HR wordt getoetst of de bekleding voldoet aan de gestelde eisen. Dit blijkt inderdaad het geval voor de trajecten a, b en d. Voor traject c blijkt de bekleding onvoldoende.
 - Met behulp van een rekenmodel wordt de erosie zeewaarts van de duinvoet berekend. Deze erosieprofielen worden vergeleken met het beoordelingsprofiel. Wanneer blijkt dat het beoordelingsprofiel tijdens de storm in stand blijft, wordt geconstateerd dat de duinvoetverdediging voldoende sterkte bezit voor de trajecten a, b en d.
- Duinafslagberekeningen: Voor de bepaling van de maatgevende afslaglijn voor de trajecten a t/m d worden duinafslagberekeningen uitgevoerd. Hierbij wordt rekening gehouden met de volgende effecten
 - Effect duinvoetverdediging: Voor de trajecten a, b en d wordt de maatgevende afslaglijn berekend waarbij rekening wordt gehouden met het afslagreducerende effect van de duinvoetverdediging.
 - Effect NWO: Voor traject c wordt de duinvoetverdediging beschouwt als een NWO van de categorie 3. Hier wordt geen rekening gehouden met het afslagreducerend effect van de duinvoetverdediging. Ter plaatse van het hiaat in de bekleding wordt bovendien een brestoeslag in rekening gebracht.
 - Effect aansluitingsconstructie: Voor de trajecten a en d wordt zijwaarts van de duinvoetverdediging een extra achteruitgang vanwege het effect van de aansluitingsconstructie in rekening gebracht.
- Beoordeling veiligheid per beoordelingstraject: Tijdens de beoordeling wordt geconstateerd dat de maatgevende afslaglijn de landwaartse grens van de toegestane afslagzone nergens overschrijdt. De hybride kering wordt daarom als voldoende veilig beoordeeld.

21.3 Voorbeeld eilandkop

Een beheerder van een duinwaterkering op een eilandkop weet uit ervaring dat er tijdens storm lokaal veel duinafslag kan optreden. Van een aantal stormen zijn er afslagprofielen ingemeten. Uit de vergelijking met de JARKUS – profielen voorafgaand aan de storm blijkt dat er netto zand verloren gaat uit het dwarsprofiel. Om kusterosie tegen te gaan zijn er in het verleden strandhoofden aangelegd die het opdringen van de geul naar het strand voorkomen [Figuur 21.2]. Voor het kustonderhoud wordt er in verhouding tot andere delen van het eiland veel zand gesuppleerd.



Figuur 21.2 Voorbeeld toets eilandkop

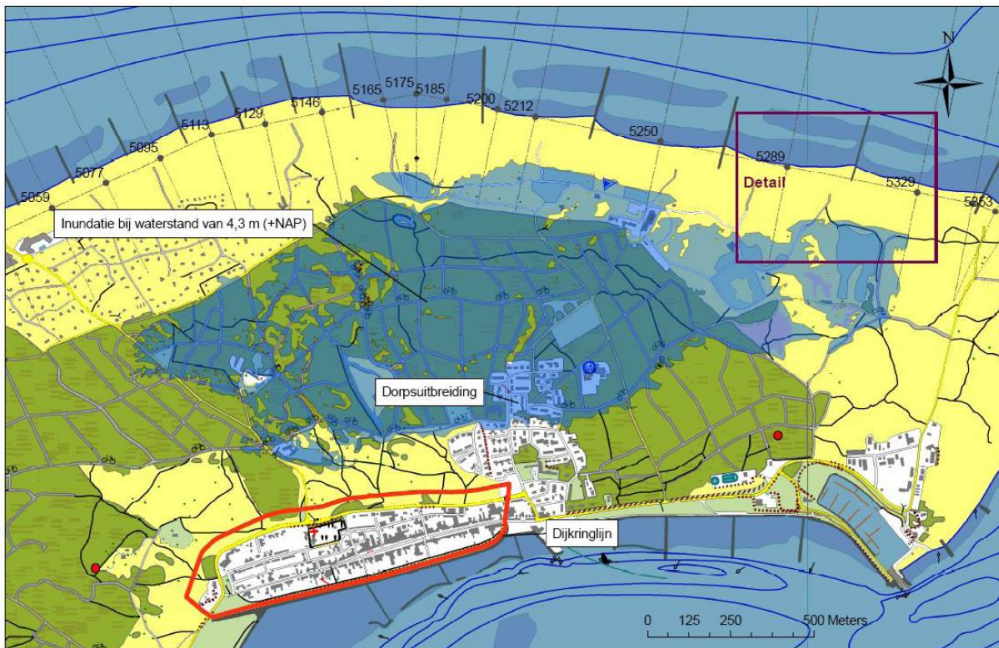
Bij het toetsen van de duinwaterkering dient het effect van het zandverlies tijdens storm in rekening te worden gebracht. Er wordt besloten om hierbij gebruik te maken van een morfologisch model. Om de betrouwbaarheid van dit model vast te stellen vindt een validatie plaats, waarbij gebruik wordt gemaakt van de gemeten afslagprofielen. Vervolgens wordt een schatting gemaakt van het zandverlies onder normatieve omstandigheden. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van hydraulische randvoorwaarden die zijn samengesteld op basis van de officiële HR, het standaard stormverloop en de dominante golfrichting.

Uit de morfologische berekening volgt het zandverlies tijdens de storm langs de gehele kust. Per JARKUS – raai wordt een representatieve waarde van het zandverlies bepaald. Vervolgens worden duinafslagberekeningen uitgevoerd met de detailtoets, waarbij echter een negatieve balans ter grootte van het zandverlies wordt opgelegd.

21.4 Voorbeeld dubbel duin

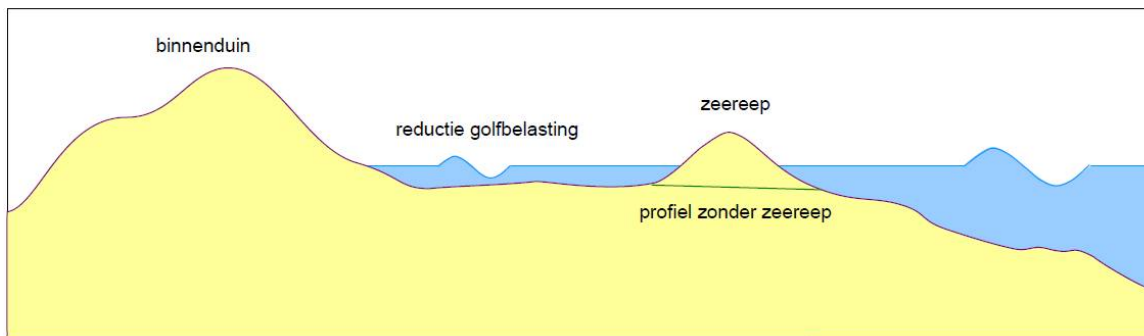
In een duinwaterkering met twee parallelle duinregels is er sprake van een zwakke zeereep die onder normomstandigheden doorbreekt. De landwaartse grens van de toegestane afslagzone bevindt zich daarom aan de achterkant van het binnenduin. In dit voorbeeld maakt de waterkeringbeheerder een afweging met welke rekenprocedure de duinerosie en overstroming van de duinvallei zo goed en eenvoudig mogelijk kan worden uitgevoerd.

Allereerst gaat de waterkeringbeheerder na welk deel van de binnenduinen een bijdrage dient te leveren aan de sterkte van de waterkering. Daarvoor wordt een overstromingskaart gemaakt op basis van een topografische hoogtekaart in combinatie met het rekenpeil. Een voorbeeld van deze methode is weergegeven in Figuur 21.3.



Figuur 21.3 Overstromingskaart Oost – Vlieland met in rood de dijkringlijn [Deltares (2010B)]

Voor de berekening van duinafslag op het binnenduin besluit de waterkeringbeheerder berekeningen uit te voeren met de detailtoets waarbij de zeereep uit de dwarsprofielen zijn weggelaten [Figuur 21.4]. Hierbij worden de officiële HR gehanteerd. Wanneer blijkt dat de maatgevende afslaglijn de landwaartse grens van de toegestane afslagzone doorsnijdt, wordt besloten om de golfreducerende werking van de doorgebroken zeereep in de afslagberekeningen mee te nemen. Hiervoor worden berekeningen uitgevoerd met de modellen DUROSTA of XBeach.



Figuur 21.4 Voorbeeld toets dubbel duin