

Veiligheid Duinwaterkering
Noorderstrand



Veiligheid Duinwaterkering Noorderstrand

Marien Boers
Pieter van Geer
Bas Huisman

Titel
Veiligheid Duinwaterkering Noorderstrand

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Waterschap Zeeuwse Eilanden	1200889-000	1200889-000-HYE-0004	39

Trefwoorden
Duin, Noorderstrand, Schouwen, veiligheid, duinafslag, Hoogwaterbeschermingsprogramma

Samenvatting
Dit rapport presenteert een beschouwing van de veiligheid van de duinwaterkering van het Noorderstrand gelegen aan de noordkust van het Zeeuwse eiland Schouwen. Het rapport omvat de volgende onderwerpen:



1. Een gebiedsbeschrijving van het Noorderstrand
2. Een vergelijking tussen de resultaten van Deltagoot proeven en door het DUROS+ model berekende afslag
3. Een voorspelling van zandverliezen door langstransport tijdens een storm
4. Historische ontwikkeling van de zandvolumes van het Noorderstrand en de natuurlijke aanzanding of erosie
5. Duinafslagberekeningen van de duinwaterkering van het Noorderstrand

Op basis van deze beschouwing adviseren we om bij de besluitvorming rond de veiligheid van de duinwaterkering van het Noorderstrand een extra toeslag in rekening te brengen bij de duinafslagberekeningen. Het betreft:

- Een toeslag van maximaal 30 m³/m voor het zandverlies in langsrichting tijdens een storm
- Een toeslag van 40 m³/m voor indien het niet mogelijk is dat Rijkswaterstaat in alle gevallen een strandsuppletie kan garanderen direct na overschrijding van de BasisKustlijn. Deze toeslag is gebaseerd over een structurele erosie van 20 m³/m/jaar over een periode van twee jaar in de raaien 106 – 172.

Om de inscharing tussen de raaien 148 en 172 te betrekken bij de veiligheidbeoordeling adviseren we voor raai 148 de landwaartse grens zeewaarts te verplaatsen.

Referenties
Waterschap Zeeuwse Eilanden; Opdrachtbrief 2009005141
Deltares; Offerte 1200889-000-HYE-0002

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	2009-07-09	Boers Van Geer Huisman		Walstra		Van Gent	
2	2009-07-15	Boers Van Geer Huisman		Walstra		Van Gent	
2.01	2009-08-24	Boers Van Geer Huisman	<i>MB</i>	Walstra		Van Gent	

Status
Definitief

Inhoud

1 Inleiding Veiligheid Duinwaterkering Noorderstrand	2
1.1 Aanleiding voor het Advies Duinwaterkering Noorderstrand	2
1.2 Beschrijving van de opdracht	2
1.3 Leeswijzer Advies	3
2 Gebiedsbeschrijving Noorderstrand	5
2.1 Historie Duinwaterkering Noorderstrand	5
2.2 Historie Brouwershavense Gat	9
2.3 Toets Veiligheid Duinwaterkering Noorderstrand	11
3 Deltagoot proeven Noorderstrand	15
3.1 Laboratorium proeven M1797	15
3.2 Nauwkeurigheid DUROS+ voor een duin met een geul	16
4 Morfologische veranderingen tijdens een storm	19
5 Morfologische ontwikkelingen Noorderstrand	21
5.1 Historische ontwikkeling zandvolumes	21
5.2 Morfologische veranderingen gedurende een normaal jaar	25
6 Inscharing binnenduinrand tussen raaien 148 en 172	27
7 Veiligheidsberekeningen duinwaterkering Noorderstrand	30
8 Advies Veiligheid Duinwaterkering Noorderstrand	32
8.1 Beantwoording onderzoeksvragen	32
8.2 Eindadvies	33

1 Inleiding Veiligheid Duinwaterkering Noorderstrand

1.1 Aanleiding voor het Advies Duinwaterkering Noorderstrand

Aan de noordkust van het Zeeuwse Eiland Schouwen bevindt zich het Noorderstrand, gelegen tussen de Brouwersdam (aan de oostkant) en De Oude Hoeve (ten westen) [Figuur 2.1]. Er is sprake van een smal duingebied waar oplettendheid is geboden ten aanzien van de veiligheid tegen overstromingen [Figuur 2.2]. Deze duinwaterkering is in beheer bij het Waterschap Zeeuwse Eilanden.

Begin 2003 heeft de Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat aan de waterkeringbeheerders gevraagd de gevolgen van een hogere golfbelasting op de Noordzee te beoordelen en vast te leggen in een beheerdersoordeel. Voor het Noorderstrand heeft de beheerder geoordeeld dat er voor een tweetal raaien onvoldoende zand aanwezig is om de veiligheid te waarborgen. Omdat er net een suppletie was uitgevoerd, achtte Rijkswaterstaat de situatie weer veilig. Wel werd er een opening geboden voor het eventueel verleggen van de BasisKustLijn [BKL] om gegarandeerd voldoende zand in het profiel te waarborgen [Rijkswaterstaat (2003)].

Het beheerdersoordeel heeft vervolgens geleid tot het oordeel "onvoldoende" voor 0.4 km duin op het Noorderstrand tijdens de tweede (laatste) toetsronde [Inspectie Verkeer en Waterstaat (2006)]. Op grond hiervan is het Noorderstrand opgenomen in het Hoog Water Beschermings Programma (HWBP) [Ministerie Verkeer en Waterstaat (2008)].

Inmiddels is de derde toetsronde aan de gang, met een nieuw voorschrift voor het toetsen van duinwaterkeringen en nieuwe Hydraulische Randvoorwaarden. Een eerste verkenning met duinafslagberekeningen levert geen onveilige situaties op bij het Noorderstrand. Dit heeft ertoe geresulteerd dat de versterking van de duinwaterkering ter discussie is komen te staan. Rijkswaterstaat en het Waterschap Zeeuwse Eilanden zijn daarom overeengekomen tot de uitvoering van een geavanceerde toets voordat een definitief oordeel wordt geveld. Voor deze geavanceerde toets is door het Waterschap opdracht verleend aan Deltares.

1.2 Beschrijving van de opdracht

De opdracht betreft een advies over de veiligheid van de duinwaterkering op het Noorderstrand. Dit advies komt tot stand na beantwoording van de volgende vijf onderzoeksvragen die de opdrachtgever in de offerteaanvraag heeft gesteld:

- 1 Ga na op basis van het bestaande WL rapport uit 1982 [Vellinga (1982)] of er reden is om extra afslag in rekening te brengen. Dit betreft dan de dwarstransport component.
- 2 Onderzoek of onder maatgevende omstandigheden er gerekend moet worden met extra afslag door driedimensionale effecten. Zo ja kwantificeer deze effecten in extra afslag uitgedrukt in meters of in verlaging van het strand.
- 3 Analyseer de verliezen van de uitgevoerde suppleties op dit kustvak. Kwantificeer de verliezen in dwars- en langsrichting.
- 4 Onderzoek of de veiligheid gebaseerd moet worden op een lagere strandligging dan gemeten wordt omdat door 3-dimensionale effecten zand uit het afslagprofiel verdwenen is voordat de maatgevende storm aanvangt. Hoe kan deze lagere

- strandligging het beste worden gekwantificeerd (verlaging van het strand of extra toeslag op de afslag uitgedrukt in meters).
- 5 Bepaal de invloed van de inscharing aan de binnenzijde van het duin tussen raaien 148 en 172¹ op de veiligheid.

Voor de uitvoering van de opdracht zijn onder andere de volgende data gebruikt:

- JarKus data (Rijkswaterstaat, Waterschap Zeeuwse Eilanden)
- Duinprofielen tussen de JarKus raaien (Waterschap Zeeuwse Eilanden)
- Vaklodingen Brouwershavense Gat (Rijkswaterstaat)
- Suppletiedatabase (Rijkswaterstaat)
- Meetdata M1797 (Deltares)

De duinafslagberekeningen worden uitgevoerd met duinafslagroutines uit het Morphan project. Dit project heeft tot doel op termijn het programma Winkust op te volgen. Dezelfde routines zijn toegepast voor het project 13 Kustplaatsen en zijn uitgebreid getoetst voor duinafslagberekeningen met een voorliggende geul.

Voor de beschrijving van de morfologische ontwikkeling van het gebied rond het Noorderstrand wordt gebruik gemaakt van eerder onderzoek. Grootschalig morfologisch modelonderzoek valt buiten de scope van de opdracht.

Het Noorderstrand bevindt zich tussen de raaien 84 en 337. De veiligheidsproblemen spelen vooral tussen de raaien 106 en 222.

Namens het Waterschap Zeeuwse Eilanden begeleidt ir. Hans van der Sande de opdracht. De opdracht is bij Deltares uitgevoerd door dr. ir. Marien Boers (projectleider), ir. Bas Huisman en ir. Pieter van Geer. De interne kwaliteitsborging is uitgevoerd door ir. Dirk – Jan Walstra.

1.3 Leeswijzer Advies

Het vervolg van dit advies is als volgt:

- Hoofdstuk 2 beschrijft de geschiedenis van de duinwaterkering bij het Noorderstrand en het voorliggende Brouwershavense Gat. Ook worden de relevante toetsregels en bijbehorende hydraulische randvoorwaarden voor de veiligheidstoets beschreven.
- In hoofdstuk 3 wordt een vergelijking gemaakt tussen de huidige toetsregel en de experimenten met het Noorderstrandprofiel in de Deltagoot. Op grond hiervan wordt een nagegaan of er extra zandverlies optreedt van het duin naar het Brouwershavense Gat.
- In hoofdstuk 4 wordt met eenvoudige modelberekeningen voorspelt hoeveel zandverlies er kan optreden in langsricting tijdens een storm.
- In hoofdstuk 5 vindt een beknopte analyse van de morfologische ontwikkelingen van het Noorderstrand plaats. Dit geeft inzicht in de hoeveelheid structurele aanzanding en erosie in dit gebied.
- In hoofdstuk 6 wordt beschreven hoe dient te worden omgegaan met de inscharing tussen raaien 148 en 172.
- In hoofdstuk 7 vinden de duinafslagberekeningen plaats.

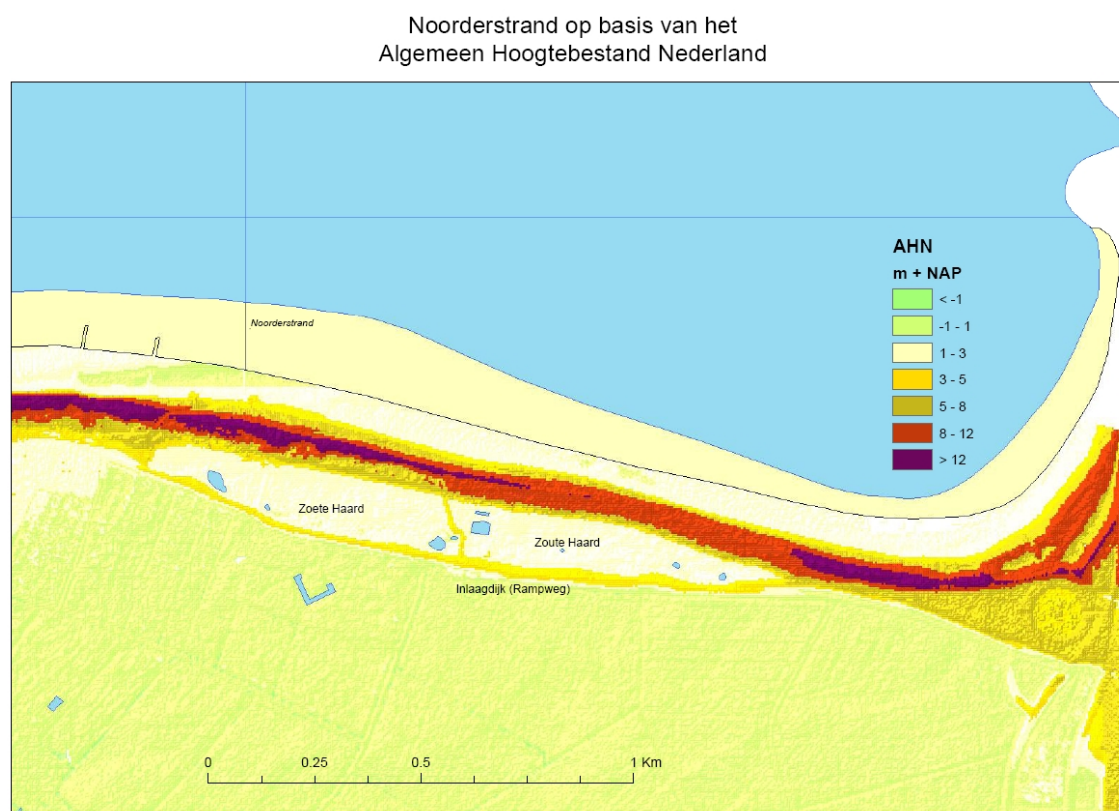
¹ In dit rapport hanteren we zowel de benaming voor de Jarkus-raaien volgens het kustlijnkaartenboek als de kustpositie volgens de Rijksstrandpalen. Hiertussen is een factor 100. Zo correspondeert raai 84 met RSP 0.84 km en raai 148 met RSP 1.48 km

- In hoofdstuk 8 worden alle antwoorden op de onderzoeksvragen nog eens weergegeven. Daarnaast wordt een eindadvies gegeven met betrekking tot de versterking van de duinwaterkering van het Noorderstrand.

2 Gebiedsbeschrijving Noorderstrand

2.1 Historie Duinwaterkering Noorderstrand

De veiligheid van de duinwaterkering bij het Noorderstrand is al eeuwenlang een zorg voor de polderbewoners en de verantwoordelijke overheden. Doordat de duinen onvoldoende bescherming boden is vermoedelijk aan het begin van de 16^e eeuw achter de duinen een inlaagdijk (reserve dijk) gelegd. Deze inlaagdijk, waar nu de Rampweg tussen Renesse en Scharendijke loopt, bestaat nog steeds. Tussen de inlaagdijk en de duinen liggen twee polders, de Zoete Haard en de Zoute Haard (de inlaag). Deze polders worden van elkaar gescheiden door een dijk en herbergen door de bijzondere samenstelling van het grondwater veel bijzondere plantensoorten. Figuur 2.1 geeft een hoogtekaart van het gebied op basis van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN). Deze kaart is erg vergelijkbaar met de kaart van Hattinga die in 1752 in opdracht van Prins Friso is vervaardigd [Figuur 2.2].



Figuur 2.1: Hoogtekaart van de duinwaterkering Noorderstrand en de achterliggende polders en inlaagdijk.

De historie van de duinwaterkering van het Noorderstrand is goed gedocumenteerd door onder andere Beekman (2007) en Wilderom (1964). Er blijkt vele malen dreiging te zijn geweest vanuit zee. Verder zijn er vele malen wijzigingen opgetreden in het bestuur van de duinwaterkering, wat tot uiting komt in de financiering van herstelmaatregelen. Voor het fysieke deel van de waterkering geven we hieronder een reconstructie vanaf ongeveer 1500.



Figuur 2.2: Uitsnede uit de kaart van Hattinga met daarin de duinen van het Noorderstrand en de achterliggende inlaagdijk. Ook de strandhoofden van rijshout zijn weergegeven.

In de stormvloed van 5 en 6 november 1530 worden er gaten in het duin geslagen en bezwijkt ook de achterliggende inlaaddijk, waardoor Renesse, Noordwelle en Elkerzee last krijgen van het zoute water. Ook vindt er een duindoorbraak plaats in 1532. Om het duin te beschermen wordt helm geplant om de aangroei van het duin te bevorderen.

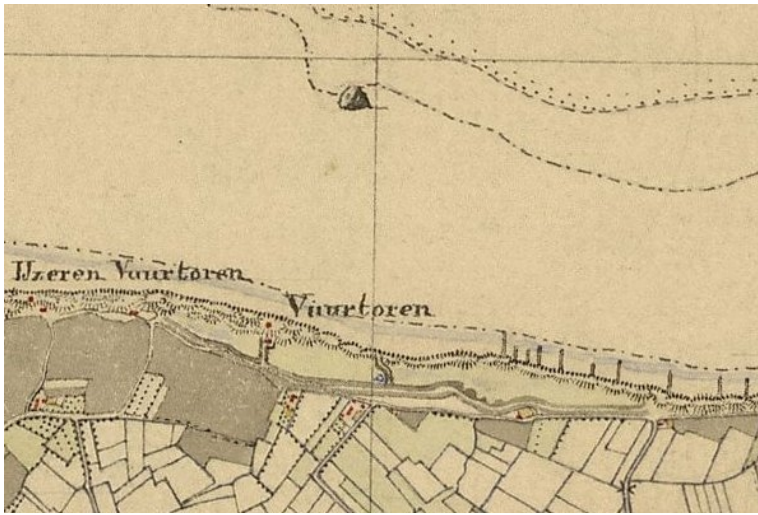
De stormvloed van 26 januari 1628 veroorzaakt opnieuw schade aan de duinen van het Noorderstrand, waardoor de polder Schouwen onder water komt te staan.

In de achttiende eeuw ontstaan er opnieuw problemen. Om deze te verhelpen worden vanaf 1717 strandhoofden van rijshout geplaatst. Deze werden later vervangen door paalrijen en nog weer later door stenen hoofden. In 1755 blijkt het duin bij de Zoete Haard toch verder achteruit te zijn gegaan en treedt er achterloopsheid van de strandhoofden op. Om dit tegen te gaan besluit men opnieuw tot de aanplant van helm. In 1771 wordt Vilvoordse steen gebruikt om het duin te beschermen.

In de tweede helft van de 19^e eeuw krijgt de duinwaterkering van het Noorderstrand het opnieuw te verduren [Figuur 2.3]. Wilderom (1964) geeft een overzicht van de voorafgaande stormen afkomstig uit de jaarverslagen van het waterschap:

- 1873: Bij de stormvloed van 21 oktober j.1. kwam de vloed tot 1.40 m boven H.W. en sloeg het duin zeer belangrijk af. Den 9 december J.1. steeg de vloed tot 1.70 m boven H.W. waardoor weder een zeer grote afslag plaats had en de duinen op sommige plaatsen tot aan de top afschoven en op vele plaatsen zoo steil afsloegen dat er nog verdere afschuivingen uit voor vloeiden.
- 1875: Bij de stormvloeden van 11, 15, 16 en 19 november 1875 sloeg het duin belangrijk af, gingen ongeveer 900 m rietschermen verloren en zijn de helm- en rietplanten, tengevolge van het afschuiven der duinen, belangrijk beschadigd geworden.
- 1883: Het duin werd tussen raai 38 en 44 na den afslag van de 6e maart j.1. opnieuw zwaar geteisterd. Het lag op sommige plaatsen als het ware in stukken en brokken op

het strand. Bij het ijzeren kustlicht gingen 1000 m² rietbeplanting van het Rijk verloren. Ware het duin voor dit kustlicht niet verdedigd geweest dan zou die toren vermoedelijk neergestort zijn. Deze afslag der duinen voor den Zouten Haard, gepaard met landwaartse verplaatsing van den laagwaterrand, was nu voor het behoud der duinrij zeer verontrustend geworden, zodat de veiligheid vorderde dat het duin, dat op sommige plaatsen op 1 m boven hoog water slechts een breedte van 20 m behouden had, op kunstmatige wijze met steenglooiing werd verdedigd.



Figuur 2.3: Situatie bij het Noorderstrand rond 1850

Tussen 1883 en 1929 wordt een duinvoetverdediging over 2,5 kilometer aangelegd, bestaande uit deels basalt en deels beton. Tijdens de zware storm van 23 november 1908 sloegen de golven over de top van de verdediging heen. Daarom werd deze verhoogd met een verticale Muralt betonmuur. Figuren 2.4 en 2.5 geven een beeld van het smalle duin en de duinvoetverdediging uit die tijd.



Figuur 2.4: Weggeslagen duinvoet tussen de strandhoofden 3 en 4 aan het Noorderstrand bij de storm van 30 december 1904; uit Wilderom (1964)



Figuur 2.5: Duinvoetverdediging en Muraltmuur in de duinwaterkering het Noorderstrand; uit Wilderom (1964)

In 1953 bleven de duinen in tact. Wel werd in 1954 de duin aan landwaartse zijde versterkt [Wilderom (1964), Figuren 2.6 en 2.7].

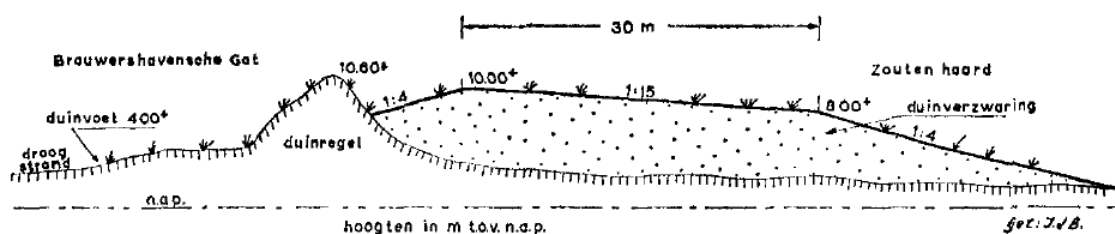


fig. 170. Duinverzwaring in 1954 voor de Zouten Haard aan de noordkust van Schouwen.

Figuur 2.6: Duinverzwaring uit 1954 uit Wilderom (1964)

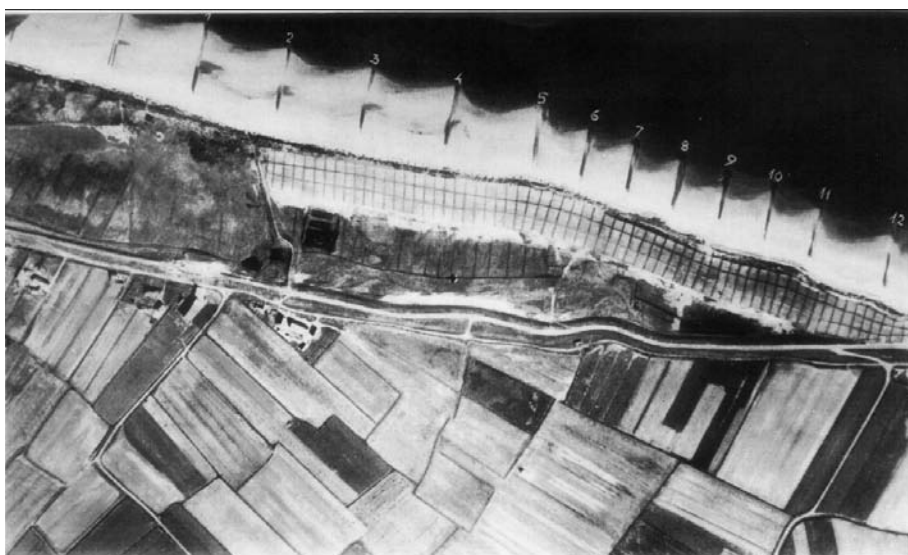


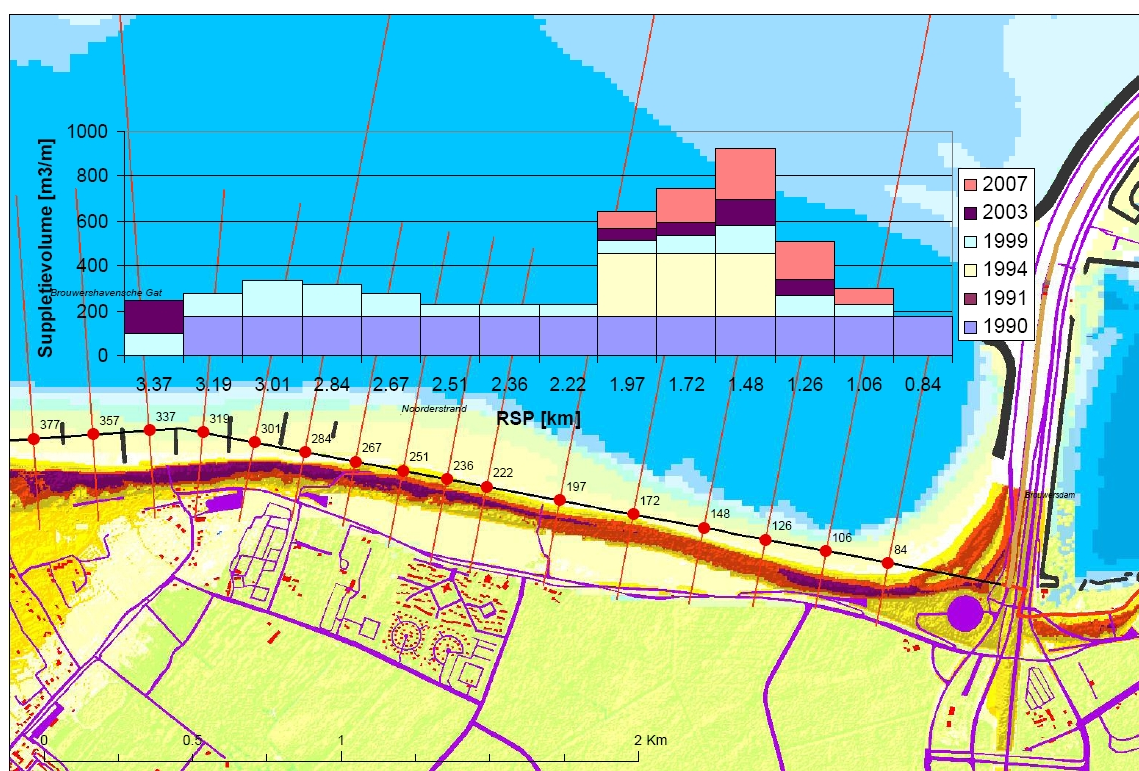
fig. 162. Luchtfoto van het Noorderstrand met duingebied op Schouwen tussen Reense en Schotendijkje. K.L.M. Aerocarto NV.
1 t/m 12 zijn de ars der strandhoofden. MIII = Mariniedam III, MIV = Mariniedam IV.

Figuur 2.7: Luchtfoto van vermoedelijk de duinverzwaring uit 1954 uit Wilderom (1964)

Op 2 april 1958 bleek een oeverval te zijn opgetreden voor het Noorderstrand. Het betrof hierbij het relatief geringe volume van 35000 m^3 .

In 1967 is een tweede duinvoetverdediging aangebracht tussen RSP 3.10 en 3.67. In 1982 zijn proeven met de duinvoetverdediging uitgevoerd in de Deltagoot [Vellinga (1982)]. Hieruit bleek dat deze constructie voor de normomstandigheden geen bijdrage aan de veiligheid biedt. Sindsdien is deze functie komen te vervallen, omdat de bovenkant van de duinvoetverdediging onder het rekenpeil ligt. Burgers (1987) constateert dat de duinveiligheid bij het Noorderstrand voornamelijk in stand wordt gehouden door helmbeplanting.

Vanaf 1990 worden er kustsuppleties uitgevoerd waardoor de hoeveelheid zand in de waterkeringszone op peil blijft. In 1990 is een duinsuppletie uitgevoerd, voor het grootste deel aan de zeezijde (415000 m^3), een klein gedeelte aan landzijde (15000 m^3). In de jaren 1991, 1994, 1999, 2003 en 2007 zijn strandsuppleties uitgevoerd. Figuur 2.8 geeft hiervan een overzicht. Het blijkt dat er binnen het relatief korte kusttraject van 2.5 kilometer grote verschillen bestaan in de volumes gesuppleerd zand. In het traject RSP 1.26 – 1.97 bleek het nodig om elke vier jaar terug te komen. In totaal is hier maximaal $900 \text{ m}^3/\text{m}$ gesuppleerd wat neerkomt op ongeveer $50 \text{ m}^3/\text{m}/\text{jaar}$.



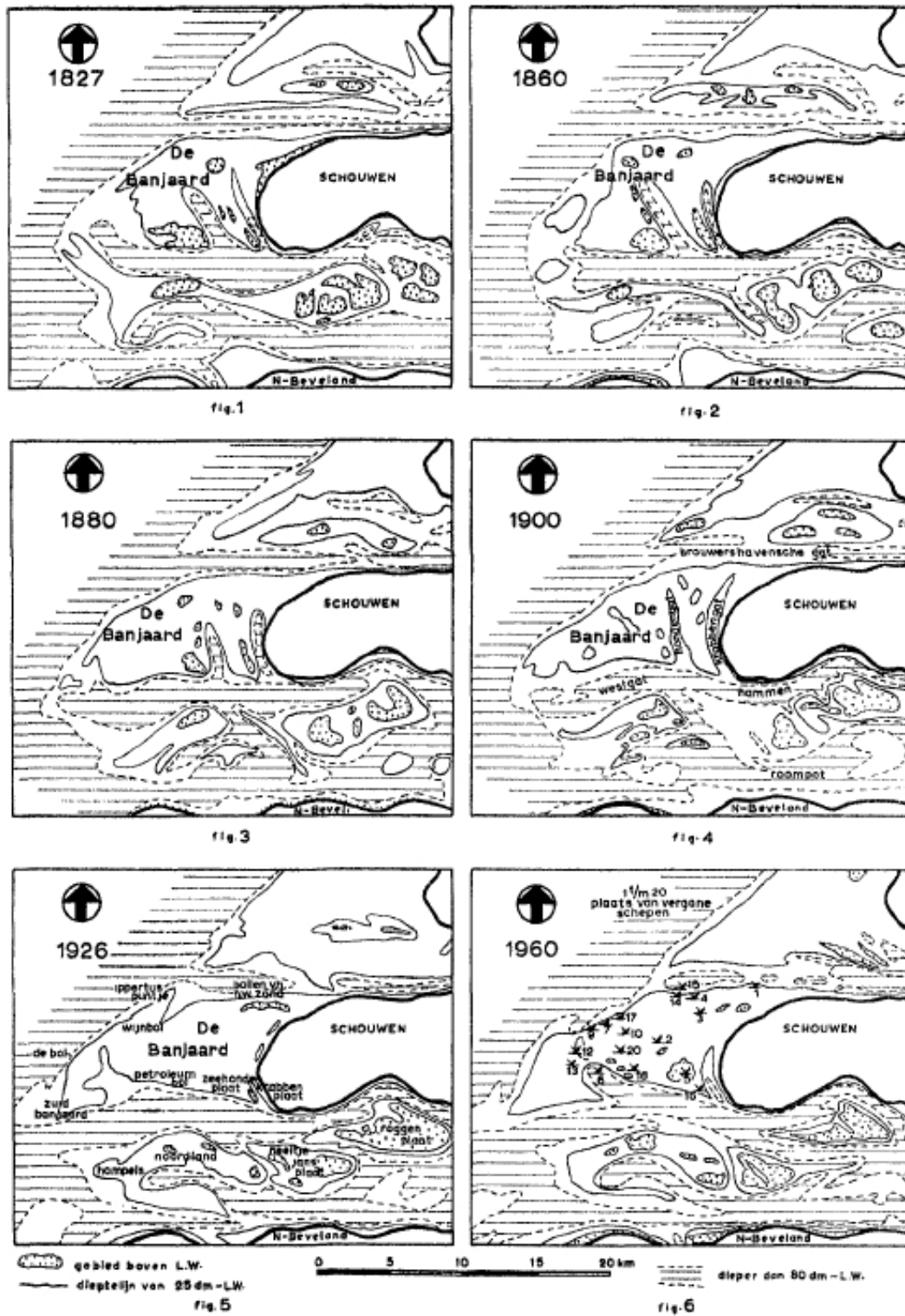
Figuur 2.8: Suppleties sinds 1990 aan de zeewaartse zijde van het duin. Vanaf 1999 zijn hoeveelheden per raai bekend, daarvoor is alleen het totale volume en het suppletietraject bekend

Vanuit ecologisch oogpunt worden vragen gesteld bij de hoge frequentie van strandsuppleties, met name omdat dit deel van de kust is aangewezen als vogel- habitat gebied. In dit verband citeren we de door Rijkswaterstaat uitgebrachte nota van Jonker en Jansen (2007):

“Op de stranden van de Waddeneilanden (Texel, Vlieland en Ameland) en de Zeeuwse eilanden (Goeree, Schouwen en Walcheren) vinden de activiteiten (suppleties, recreatie en aanverwanten) ook plaats binnen de grenzen van de speciale beschermingszones Noordzeekustzone en Voordelta. De menselijke activiteiten kunnen beschermde vogels zowel direct verstoren als indirect via het verwijderen en/of doden van voedselbronnen en het ongeschikt maken van de omgeving als broed- of rustgebied. De beschermde habitattypen kunnen worden geschaad of verwijderd door betreden en berijden, zandschuiven, mechanisch reinigen en suppleren. Stranden waar vaker dan eens per vijf jaar wordt gesuppleerd hebben mogelijk niet genoeg tijd om ecologisch gezien te herstellen.”

2.2 Historie Brouwershavense Gat

Het Brouwershavense Gat heeft vermoedelijk een afwateringsgeul van een hoog veenpakket als oorsprong. Door de eroderende werking vanuit zee, en door de winning van veen ten behoeve van de zoutproductie in de middeleeuwen is de Grevelingen ontstaan waarvoor het Brouwershavense Gat de toevoergeul is. De aanwezigheid van het Brouwershavense Gat voor het Noorderstrand is een constante factor. Wel is er sprake van een variërende afstand tot de laagwaterlijn en de diepte van de geul. De buitendelta is wel aan grote veranderingen onderhevig, zoals blijkt uit Figuur 2.9 afkomstig van Wilderom (1964).



Overzicht van het zandbankencomplex „De Banjaard” van 1827—1960.

Figuur 2.9: Morfologische ontwikkeling van de monding van de Oosterschelde en Grevelingen [Wilderom (1964)]

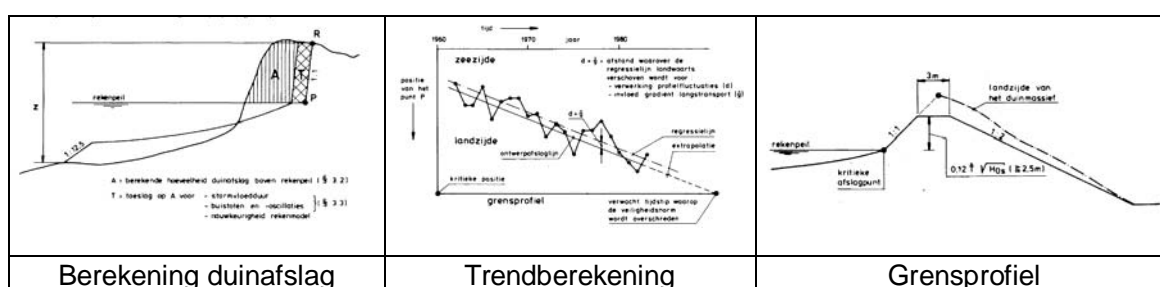
Tussen 1964 en 1972 is de Brouwersdam aangelegd, waardoor de Grevelingen is afgesloten van de Noordzee. Als gevolg daarvan is ongeveer 30 Mm³ gesedimenteerd in het zeewaartse deel van het Brouwershavense Gat [Cleveringa (2008)]. Voor de duinwaterkering van het Noorderstrand betekent dit dat de geulwand in zeewaartse richting is verplaatst en dat de geul ondieper is geworden.

Om de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer te verbeteren en om duurzaam energie te winnen voor ongeveer 50 duizend inwoners bestaan er plannen om in de toekomst de spuisluis om te bouwen tot een getijdecentrale. Als deze plannen doorgaan zal dit vermoedelijk leiden tot een minder aanzanding of zelfs erosie van het Brouwershavense Gat.

2.3 Toets Veiligheid Duinwaterkering Noorderstrand

In deze paragraaf besteden we aandacht aan de uitvoering van de vijfjaarlijkse toets voor waterkeringen zoals die ook voor de duinwaterkering bij het Noorderstrand worden uitgevoerd. Sinds een begin is gemaakt met de uitvoering hiervan, zijn wijzigingen doorgevoerd in zowel de toetsmethode als de te hanteren Hydraulische Randvoorwaarden. Ook in de toekomst worden nieuwe aanpassingen verwacht als gevolg van voortgaande kennisontwikkelingen, mogelijke normaanpassingen, de bodemontwikkeling van het Brouwershavense Gat en zeespiegelstijging.

Voor de eerste vijfjaarlijkse toets was het DUROS model van kracht [Figuur 2.10] zoals dat is beschreven in de Leidraad Duinafslag [Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (1984)]. Hierbij wordt voor opeenvolgende jaren (10 – 20) een duinafslag berekening gemaakt waarbij gebruik werd gemaakt van het dwarsprofiel van het betreffende jaar, de korrel diameter, het rekenpeil en de golfhoogte. Vervolgens werd de bandbreedte en de lineaire trend berekend om de resultaten te extrapoleren naar de toekomst. Eis hierbij was dat er minimaal een grensprofiel met voorgeschreven afmetingen in het duinprofiel te vinden moest zijn na het optreden van de duinafslag.

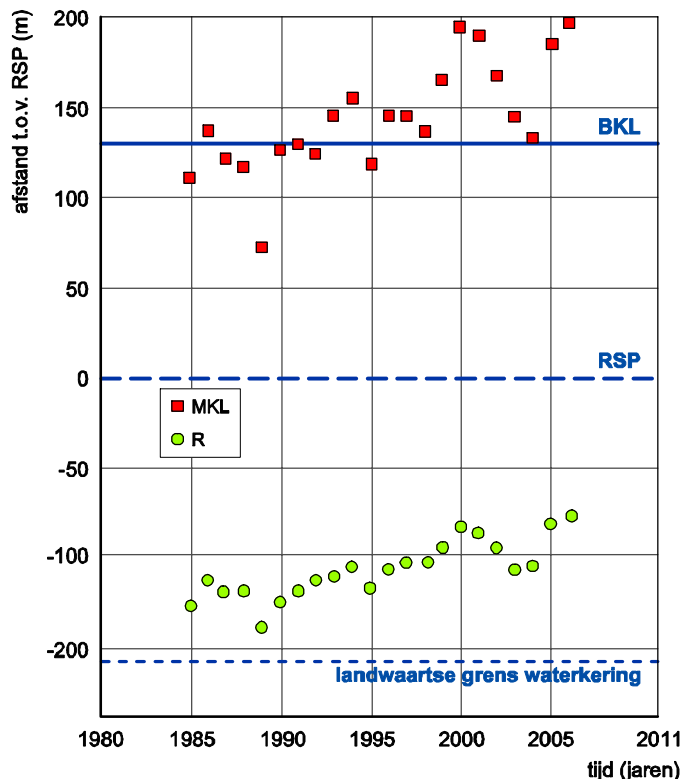


Figuur 2.10: Toetsmethode DUROS volgens de Leidraad Duinafslag [Technische Adviescommissie Waterkeringen (1984)]

In 2003 maakte de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat bekend dat de golfbelasting op de Noordzee hoger uitpakte dan eerder was voorzien. Dit had zowel betrekking op de golfhoogte als de golfperiode. Omdat de golfperiode niet wordt meegenomen in het DUROS model werd gevraagd een extra toeslag van 35% voor Hoek van Holland tot 50 % in Den Helder mee te nemen in een aanvullend beheerdersoordeel. Voor het Deltagebied (en dus ook voor het Noorderstrand) zijn de berekeningen uitgevoerd met 35% extra toeslag.

In 2007 kwam het Technisch Rapport Duinafslag 2006 (TRDA2006) uit met daarin de aangepaste toetsmethode DUROS+ [Expertisenetwerk Waterveiligheid (2007)]. Hier is de

golfperiode inbegrepen, indien deze groter is dan 12 s. Dit is voornamelijk boven Hoek van Holland het geval, voor het Noorderstrand is de invloed van deze aanpassing gering. Belangrijker is dat in de nieuwe toets rekening wordt gehouden met regelmatig terugkerende kustsuppleties waar extrapolatie met een lineaire trend niet zinvol is. Hierbij werd het zogenaamde R - t diagram geïntroduceerd [Figuur 2.11, waarin R = afslagpunt inclusief toeslag uit DUROS+, MKL = Momentane kustLijn en BKL = Basis KustLijn].



Figuur 2.11: Voorbeeld van een R - t diagram uit het TRDA2006

Bij de uitvoering van de toets voor een gesuppleerde toets doet de TRDA2006 de volgende aanbevelingen:

De MKL-punten en de R-punten in de R-t figuur laten een 'springerig' verloop zien, maar gemiddeld gezien is het verloop horizontaal. Van duidelijke 'uitschieters' wordt nagegaan wat de oorzaak zou kunnen zijn. Eventueel wordt na nader onderzoek een ongeloofwaardig punt verwijderd uit de reeks. De jaren waarvoor eventueel blijkt dat de MKL landwaarts van de BKL ligt, vallen direct op in de R-t figuur. Veelal is er een duidelijke correlatie te zien tussen de ligging van de MKL-punten en de R-punten. Wanneer alle R-punten duidelijk zeewaarts van de aangegeven landwaartse grens waterkering blijken te liggen, wordt de waterkering zonder meer als 'veilig' gekenschetst.

Indien er incidenteel (één of twee maal uit een reeks van $N > 15$) sprake blijkt te zijn van R-punten die landwaarts van de landwaartse grens waterkering liggen, behoeft er nog niet van een 'onveilige' situatie sprake te zijn, maar is extra waakzaamheid geboden. Nader onderzoek is dan nodig.

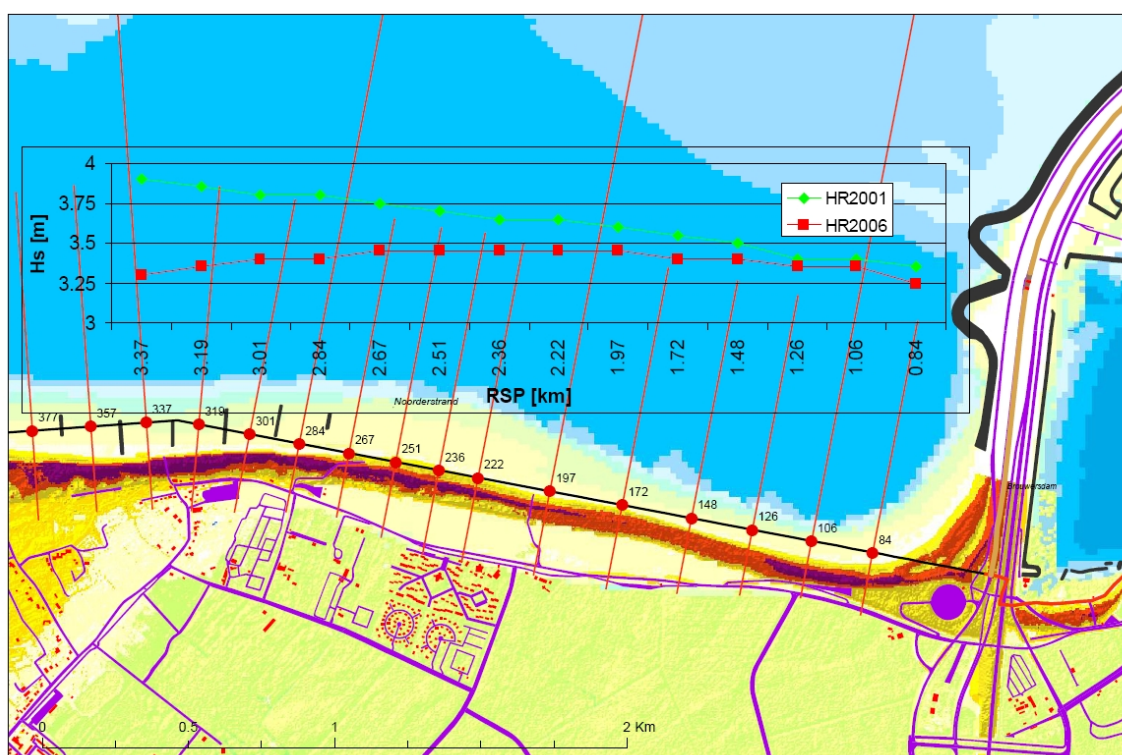
Indien de één of twee bedoelde overschrijdingen niet in de laatste vijf jaar zijn voorgekomen, voldoet de waterkering aan de 'veiligheidseisen'.

Verder is de volgende aanbeveling met betrekking tot de veiligheid tussen twee JARKUS - raaien van belang voor de toets van de duinwaterkering op het Noorderstrand:

De JARKUS-profielen vormen de basis van de 'veiligheidstoets'. De onderlinge afstand van de JARKUS-raaien bedraagt 200 - 250 m. De beheerder dient zich er in voorkomende gevallen van te vergewissen dat er zich tussen de JARKUS-raaien geen 'onveilige' situaties voordoen. Pas na een dergelijk onderzoek en een positief resultaat, kan de gehele duinwaterkering als 'veilig' worden aangemerkt.

Voor de berekening van duinafslag worden elke vijf jaar Hydraulische Randvoorwaarden afgegeven. Dit is gebeurd voor de jaren 1996 [Rijkswaterstaat (1996)], 2001 [Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2002)] en 2006 [Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007)]. Voor de eerste twee randvoorwaardenboeken zijn de randvoorwaarden voor het Noorderstrand identiek. Het rekenpeil bedraagt 5.45 m, de golfhoogte varieert tussen 3.3 en 4.1 m [Figuur 2.12] en de golfperiode is 8 s. Voor de Hydraulische Randvoorwaarden van 2006 zijn de hydraulische randvoorwaarden gewijzigd. Het rekenpeil neemt toe tot 5.5 m, de golfhoogte varieert tussen 3.2 en 3.45 m en de golfperiode is 12.3 s.

Golfhoogte Noorderstrand



Figuur 2.12: Verloop golfhoogte Noorderstrand, vergelijking HR2001 en HR2006

De reden voor het verlagen van de golfhoogte wordt in het HR2006 betreft een correctie op het feit dat de golfrandvoorwaarden nog niet waren aangepast aan de verlaagde basispeilen [Vos et al. 2007]:

Voor de kust van Schouwen zijn de golven diepte-gelimiteerd door breken op de hooggelegen banken. De energiedissipatie als gevolg van breken is door [Ebbens en Roelse (1982)] al in rekening gebracht met behulp van het zogenaamde Koelé breker criterium. Voor de hogere waterstand (rekenpeil) heeft [Roelse (1984)] deze berekeningen opnieuw uitgevoerd. De waarden voor de significante golfhoogte staan voor een aantal raaien voor de kust van Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen vermeld in [Roelse (1984), Tabel 1] en voor de kust van Schouwen in [Roelse (1984) Tabel 2]. Deze

waarden worden in HR2001 nog steeds gebruikt. De rekenpeilen zijn echter in de loop der jaren verlaagd met 0.5 - 0.8 m, i.v.m de vaststelling van nieuwe basispeilen [RIKZ (1995)].

De korreldiameter die wordt toegepast bij de duinafslagberekeningen wordt voorgeschreven in het TRDA2006 en is gebaseerd op metingen van Kohsiek (1984). Voor het Noorderstrand varieert de korreldiameter D_{reken} van 201 tot 208 μm . Sindsdien zijn deze korreldiameters nimmer herijkt.

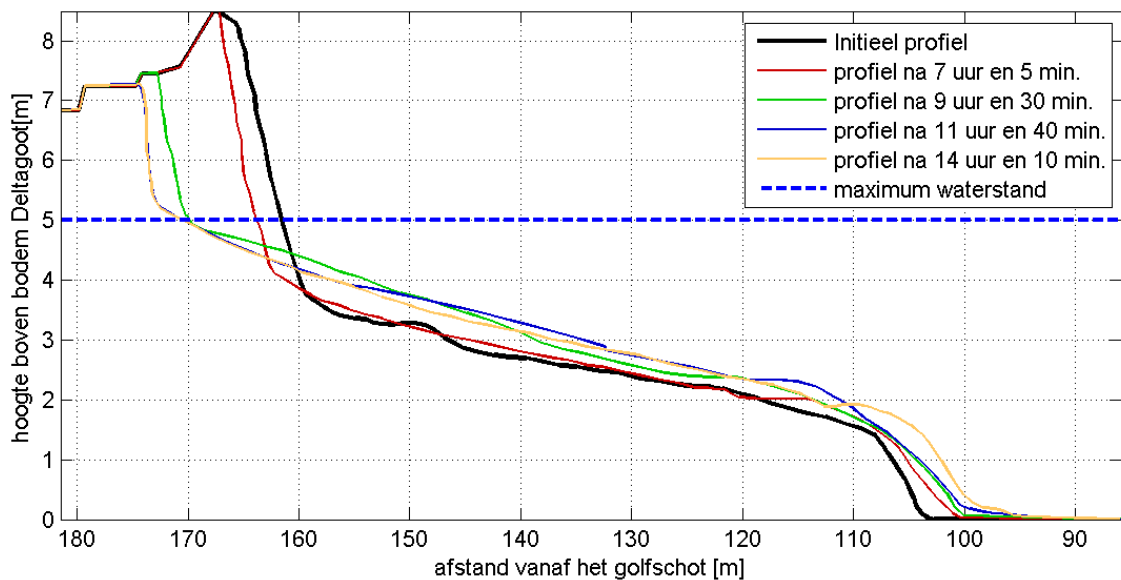
Binnen de Rijkswaterstaatprogramma's SBW (Sterke en Belastingen Waterkeringen) en WTI (Wettelijk Toets Instrumentarium) wordt gewerkt aan nieuwe toetsinstrumenten en bijbehorende hydraulische randvoorwaarden. Voor 2011 is het doel geformuleerd om de huidige toetsmethode DUROS+ toepasbaar te maken voor Hydraulische Randvoorwaarden op ondiep water. Dit is voor een duinwaterkering als het Noorderstrand een belangrijke verbetering. Daarnaast worden geavanceerde toetsmodellen ontwikkeld om langsverlies van afgeslagen duinzand beter te kunnen voorspellen.

Door zeespiegelstijging zal het rekenpeil de komende decennia stijgen. Of en hoe de golfparameters meestijgen, hangt sterk af van de mogelijkheden om de buitendelta mee te laten stijgen met de zeespiegelstijging door suppleties.

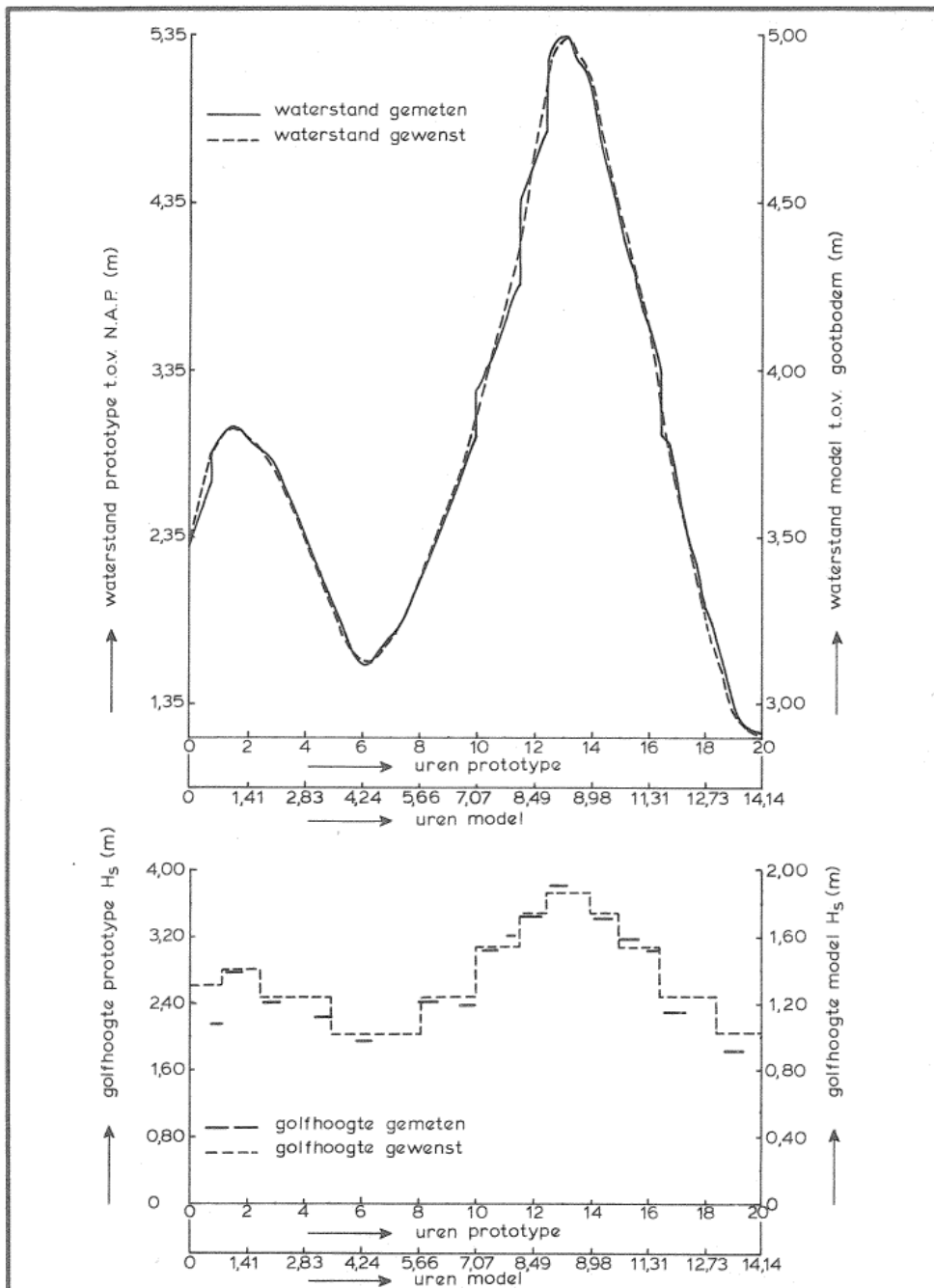
3 Deltagoot proeven Noorderstrand

3.1 Laboratorium proeven M1797

In 1982 zijn duinafslagproeven uitgevoerd in de Deltagoot met het profiel van het Noorderstrand als uitgangspunt [Vellinga (1982)]. Deze proeven wijken af van de proeven die als basis hebben gediend bij de afleiding van het huidige toetsmodel, vanwege de geul die relatief dicht bij de duinvoet licht. De geul maakt tijdens de proeven onderdeel uit van de actieve zone. Tijdens het onderzoek is het toenmalige profiel van RSP 1.17 km in de goot gereproduceerd, waarbij een dieptescaling toegepast is van $n_d = 2$ en een lengteschaal $n_l = 2.47$. Voor het zand was uitgegaan van een korrel diameter van $D_{50} = 220 \mu\text{m}$, zowel voor prototype als voor de experimenten. Deze waarde is iets hoger dan de waarde die is vastgesteld voor het Noorderstrand [Paragraaf 2.3]. Figuur 3.1 toont het initiële profiel en een aantal gemeten afslagprofielen. Tijdens de proeven is een variabele waterstand toegepast. H_s en T_p zijn eveneens gevarieerd in de tijd [Figuur 3.2].



Figuur 3.1: Beginprofiel en afslagprofielen tijdens de experimenten met het Noorderstrandprofiel [Vellinga (1982)]



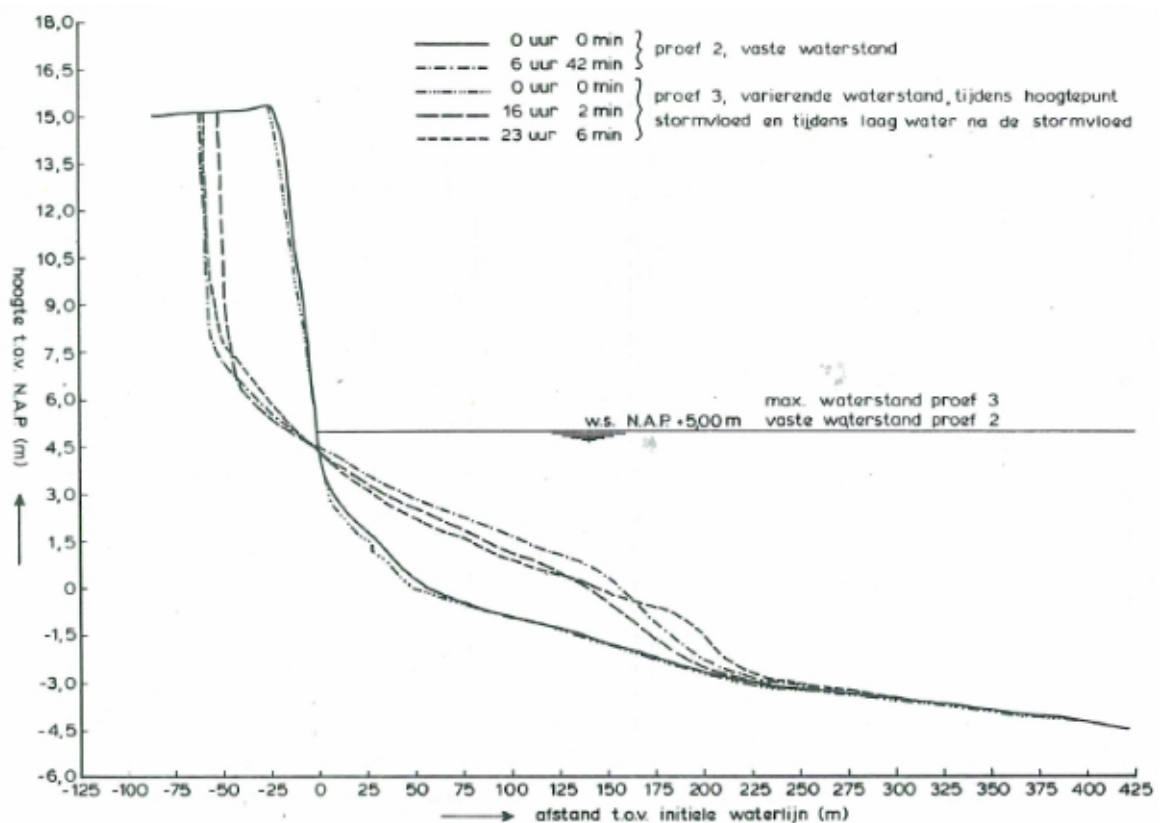
Figuur 3.2: Belastingverloop tijdens de experimenten met het Noorderstrandprofiel [Vellinga (1982)]

3.2 Nauwkeurigheid DUROS+ voor een duin met een geul

Het DUROS+ model is afgeleid op basis van laboratorium proeven, met een referentie profiel gebaseerd op het duin in Delfland. Effecten van bijvoorbeeld een flauwe vooroever of een diepe geul voor de kust zijn op voorhand niet in het model opgenomen. Hier wordt in het TRDA2006 in paragraaf 32 ook melding van gemaakt. Een schatting van de fout die wordt veroorzaakt door toepassing van DUROS+ in een gebied waar wel een diepe geul voorkomt kan worden verkregen door de resultaten van de M1797 proef te vergelijken met het resultaat van een DUROS+ berekening. Om deze vergelijking te kunnen maken zijn de resultaten van

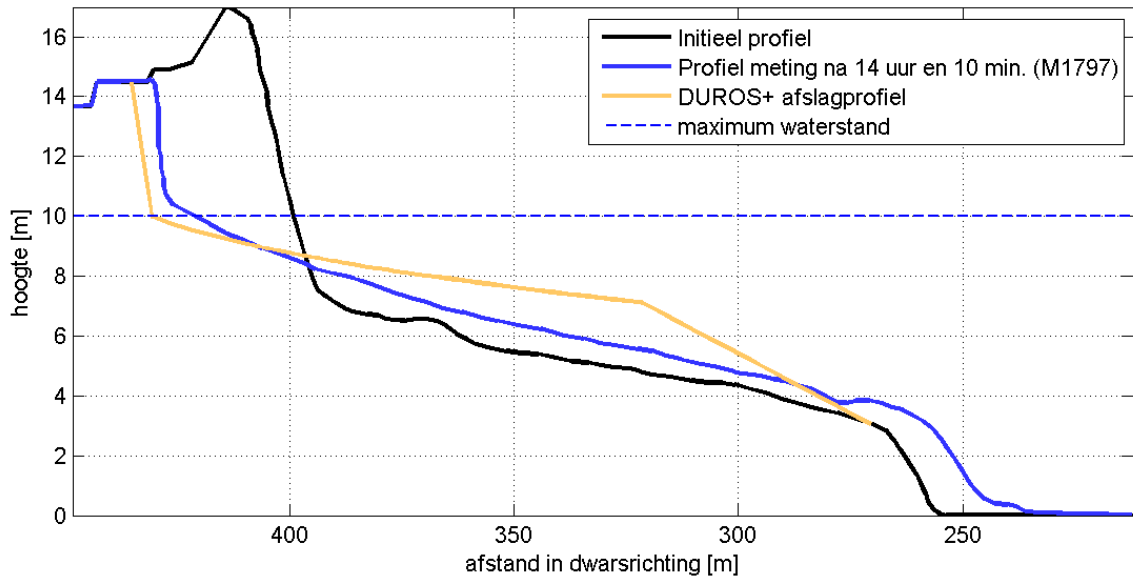
de Deltagootproeven met het Noorderstrand opgeschaald naar prototype. De verschaalde resultaten en het afslagprofiel volgens DUROS+ zijn weergegeven in Figuur 3.3.

Er wordt opgemerkt dat DUROS+ is afgeleid uit laboratoriumproeven een vast rekenpeil en een prototype stormduur van 5 uur, waarbij de hoeveelheid duinafslagvolume vergelijkbaar is als bij een variërende belasting met een stormverloop voor 29 uur dat kenmerkend is voor de Noordzee [Vellinga (1984)]. Voor het duinafslagprofiel gaat deze vergelijking niet op: bij een variërende waterstand is het profiel lager en langer is dan bij een vast rekenpeil [Figuur 3.3].



Figuur 3.3: Vergelijking tussen een afslagprofiel met een vaste waterstand (proef 2) met een variërende waterstand (proef 3) [Vellinga (1984)]

Dit gedrag doet zich ook voor in de resultaten van de experimenten voor het Noorderstrand. Reeds de eerste peiling laat zien dat er depositie optreedt in de getijgeul. DUROS+ voorspelt echter dat het afgeslagen zand alleen op de vooroever wordt afgezet onder een veel flauwer talud. Uiteindelijk is het afslagpunt volgens DUROS+ iets meer landwaarts dan gemeten is tijdens de experimenten [Figuur 3.4].



Figuur 3.4: Vergelijking tussen de opgeschaalde resultaten uit de Deltagoot en DUROS+

Ondanks dat de vorm van het afslagprofiel van het model DUROS+ afwijkt van de in het schaalmodel geobserveerde afslagprofielvormen, wordt verwacht dat dit niet leidt tot onderschatting van de hoeveelheid duinafslag voor dit profiel. Wij zien daarom geen reden om extra afslag in rekening te brengen vanwege de onnauwkeurigheid van DUROS+ voor deze specifieke locatie. Wel is er zorg over de nauwkeurigheid waarmee DUROS+ afslagprofielen voorspeld voor profielen met een diepe geul voor de kust. Dit is al eerder gesignaleerd door onder andere Boers (2008) en Walstra *et al.* (2008), en vormt aanleiding om binnen het programma SBW te werken aan de verbetering van het bestaande duintoetsinstrumentarium.

4 Morfologische veranderingen tijdens een storm

In de DUROS+ berekeningen wordt alleen het zandtransport in kustdwarsrichting meegenomen. De verandering van het zand volume in een raai wordt echter niet alleen bepaald door zandtransport in kustdwarsrichting. Andere drijvende krachten die zand kunnen aan- of afvoeren zijn golfgedreven langtransport en getijdestroming. Daarom is het belangrijk te onderzoeken of er extra verliezen tijdens een storm kunnen optreden als gevolg van deze processen. En wat de omvang is van deze verliezen. Mogelijk kan tijdens een extreme storm zoveel zand verplaatst worden dat het een significante invloed heeft op de kustprofielen en kustveiligheid.

Vraag 2: Extra afslag tijdens storm

Onderzoek of onder maatgevende omstandigheden er gerekend moet worden met extra afslag door driedimensionale effecten. Zo ja kwantificeer deze effecten in extra afslag uitgedrukt in meters of in verlaging van het strand.

Processen

We verwachten dat het golfgedreven transport dominant is voor het voor duinafslag relevante deel van het kustprofiel (boven MLW) van het Noorderstrand, aangezien getijstroming langs dit deel van de kust beperkt is. Zandtransporten door getijstroming zijn dominant in (getijde)geulen en op platen.

Golfgedreven transport ontstaat als gevolg van golven die onder een hoek met de kust van Schouwen binnenkomen. Dit veroorzaakt een kustlangsstroming die, gegeven het golfklimaat, voor het Noorderstrand vrijwel altijd in oostelijke richting zal stromen. Deze langsstroming bevindt zich in ondiep water, dicht langs de kust (grotendeels tussen de waterlijn en MLW). De hoeveelheid golfgedreven zandtransport hangt met name af van de golfenergie, golfrichting en sediment eigenschappen.

Kwantificering golfgedreven transport

Om het effect van (mogelijke) extra verliezen tijdens een extreme storm te kwantificeren zijn langtransport berekeningen gemaakt met het model UNIBEST-CL+. In de berekeningen zijn de golfgegevens van de maatgevende storm per raai uit het randvoorwaardenboek (HR2006) gebruikt. De hoek van inval van de golven is geschat op 320°N, aangezien dit ook de richting is van waaruit de 1/1 jaar golven komen. Om de gevoeligheid voor de hoek van inval van de golven te analyseren zijn echter ook berekeningen gemaakt met een hoek van inval van 310°N en 330°N. In Tabel 4.1 worden de zandverliezen per raai als gevolg van langtransportgradiënten gepresenteerd voor de drie richtingen van golfinval uitgaande van een stormduur van 6 uur.

Uit de berekeningen blijkt dat langtransporten tijdens een maatgevende storm erg groot zijn en voor de gehele storm van dezelfde orde als een normaal jaargemiddeld transport.

Op basis van de berekening mag verwacht worden dat de erosie als gevolg van langtransport voor de huidige kustvorm vooral plaats vindt in de raaien 84 t/m 148 én 222 t/m 301. Dit heeft te maken met de vorm van de kust, aangezien de 'zandgolf' die zich bij raai 23.6 bevindt zorgt voor een erosieve tendens aan de loefzijde (raaien 222 t/m 301) en een sedimenterende trend aan de lijzijde (raai 172 en 197). Echter indien deze 'zandgolf' verplaatst mag ook verwacht worden dat de zones met erosie en sedimentatie verschuiven.

	Sediment transport [m ³ /uur]	Zand volume verandering		
		310°N [m ³ /m/storm]	320°N [m ³ /m/storm]	330°N [m ³ /m/storm]
raai 84	500 – 1900	-16	3	30
raai 106	500 – 2000	-29	-5	31
raai 126	500 – 1800	-17	-11	1
raai 148	400 – 1800	-15	-13	-6
raai 172	400 – 1700	12	12	9
raai 197	400 – 1800	29	26	15
raai 222	500 – 2000	48	28	-6
raai 236	500 – 2100	46	25	-8
raai 251	600 – 2300	-4	-8	-13
raai 267	600 – 2200	-19	-23	-27
raai 284	500 – 2100	-22	-22	-22
raai 301	500 – 1900	-9	-2	4
raai 319	500 – 1900	7	10	11
raai 337	500 – 2000	13	9	3

Tabel 4.1: Zandaanvoer en -verlies als gevolg van langtransport tijdens een maatgevende (1/4000 jaar) storm uitgaande van een stormduur van 6 uur

Verder valt op dat de gradiënt in het langtransport lokaal erg afhankelijk is van de hoek van inval van de golven. Zo kan voor raai 106 afhankelijk van de hoek van de golven een positieve of negatieve gradiënt in het transport ontstaan.

Opgemerkt wordt dat de berekende zandverliezen door eenvoudige berekeningen onderbouwde schattingen zijn. Er dienen dan ook enkele kanttekeningen geplaatst te worden met betrekking tot de onzekerheden in de omgevingsfactoren (zand karakteristieken en kustvorm), hydraulische condities (opbouw in de tijd en eigenschappen van de storm) en transportformuleringen (steile profielen tijdens storm) waardoor mogelijk grotere verliezen kunnen optreden. Bij het toepassen van de correctie voor de langtransportverliezen wordt een lineaire relatie tussen de verliezen op het profiel en de duinafslag verondersteld. Niet-lineaire effecten in de relatie tussen kustafslag en golfgedreven langsstroming zijn verwaarloosd. Als gevolg hiervan kunnen de werkelijke zandtransporten en volumeveranderingen al snel een factor 2 groter of kleiner zijn dan de waarden vermeld in tabel 4.1.

Aanbevolen om tijdens de veiligheidstoets ook afslagberekeningen voor alle raaien uit te voeren waarbij sprake is van de maximaal optredende erosie per storm (30 m³/m). Voor een veiligheidsbeoordeling op korte termijn (bijvoorbeeld 6 jaar) vinden we het niet nodig om dit effect mee te nemen voor raaien die op dit moment gemiddeld een aanzanding tijdens de storm tonen. Voor een beoordeling op de lange termijn (bijvoorbeeld 50 jaar) adviseren we om dit effect voor alle raaien mee te nemen, omdat de aangroeiende en erosieve zones (zandgolven) zich waarschijnlijk langs de kust verplaatsen.

5 Morfologische ontwikkelingen Noorderstrand

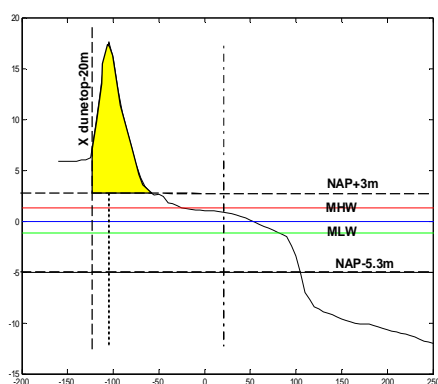
5.1 Historische ontwikkeling zandvolumes

Deze paragraaf besteedt aandacht aan de uitvoering van de historische ontwikkeling van de zandvolumes in de kuststrook tussen JARKUS raai 84 en 337. De volgende vraag wordt in deze paragraaf beantwoord:

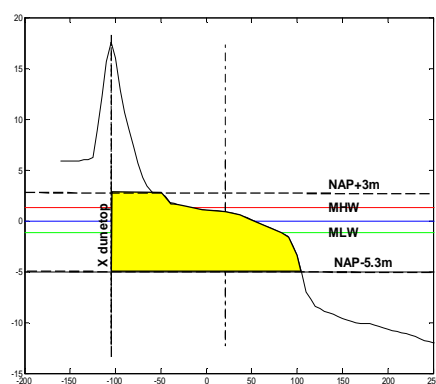
*Vraag 3: Zandverliezen in langs en dwarsrichting
Analyseer de verliezen van de uitgevoerde suppleties op dit kustvak. Kwantificeer de verliezen in dwars- en langsrichting.*

In de analyse is data uit de periode van 1983 tot 2008 beschouwd. Gekozen is om alleen de data na 1983 weer te geven, aangezien het systeem langzaam verandert en de recente ontwikkelingen daarom het meest relevant zijn. De JARKUS profielen zijn hiervoor opgedeeld in drie stukken (zie figuren 5.1 t/m 5.3), namelijk:

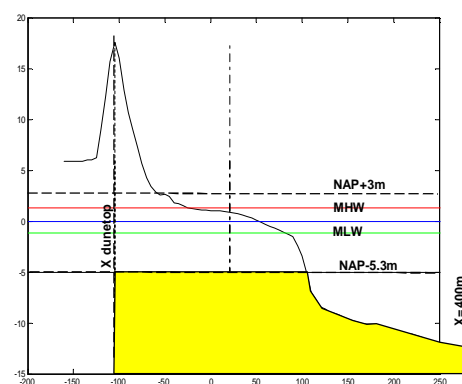
- **Duinen boven de duinvoet**
Deze schijf is gedefinieerd als het volume zand boven NAP+3m, dat aan de binnenzijde van het duin begrensd wordt door een gekozen lijn die 20 meter landwaarts van de locatie van de duintop in 2008 ligt (zie Figuur 5.1).
- **BKL-schijf**
De BKL-schijf bevat het volume zand tussen NAP+3m en NAP-5.3m. In onze berekeningen kiezen we voor een landwaartse begrenzing door de locatie van de duintop in 2008 (zie Figuur 5.2).
- **Geulwand en aangrenzende bodem van Brouwershavense Gat**
Deze schijf bevat het volume zand beneden NAP-5.3m (en boven NAP-15m). Om de invloed van de geul te beperken is er voor gekozen om het volume zand te integreren tot aan 400 meter vanaf de JARKUS referentielijn. De landwaartse begrenzing van het integratieoppervlak wordt gevormd door de locatie van de duintop in 2008 (zie Figuur 5.3).



Figuur 5.1: Integratievlak voor bepaling zandvolume duinen (boven NAP+3m)



Figuur 5.2: Integratievlak voor bepaling zandvolume in BKL-schijf (NAP+3m t/m NAP-5.3m)

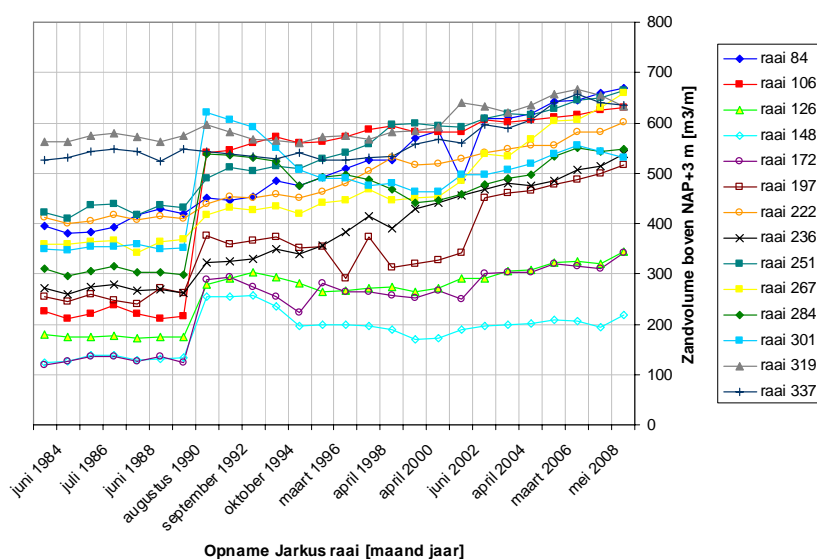


Figuur 5.3: Integratievlak voor bepaling zandvolume geulwand (beneden NAP-5.3m)

Voor alle drie de schijven zijn de zandvolumes berekend. In onderstaande paragrafen wordt de historische ontwikkeling per integratieschijf omschreven.

Zandvolume boven de duinvoet

Als het zand volume boven de duinvoet (zie figuur 5.4) beschouwd wordt, dan valt op dat het volume in deze schijf toegenomen is in de periode 1983-2008. Een deel van deze toename is echter toe te schrijven aan suppleties (op het droge strand en op het duin). Het effect van een strandsuppletie (met duinverbreding) is goed te zien voor de periode 1989-1990. Mede dankzij de suppleties is het duinvolume in de periode 1983-2008 tussen de 10% (raai 319) en 180% (raai 172) toegenomen. Enige interpretatie is echter nodig om de autonome ontwikkeling van het zandvolume uit Figuur 5.4 te herleiden.

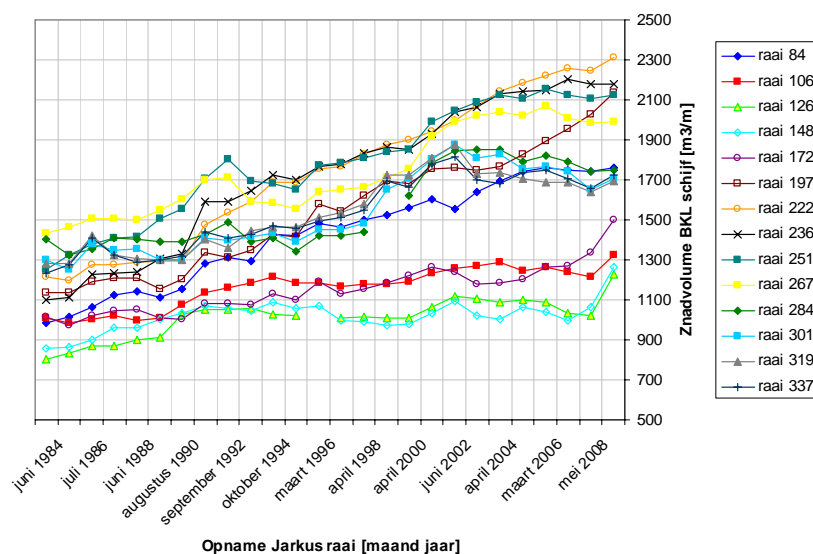


Figuur 5.4: Berekend zandvolume van duinen boven de duinvoet

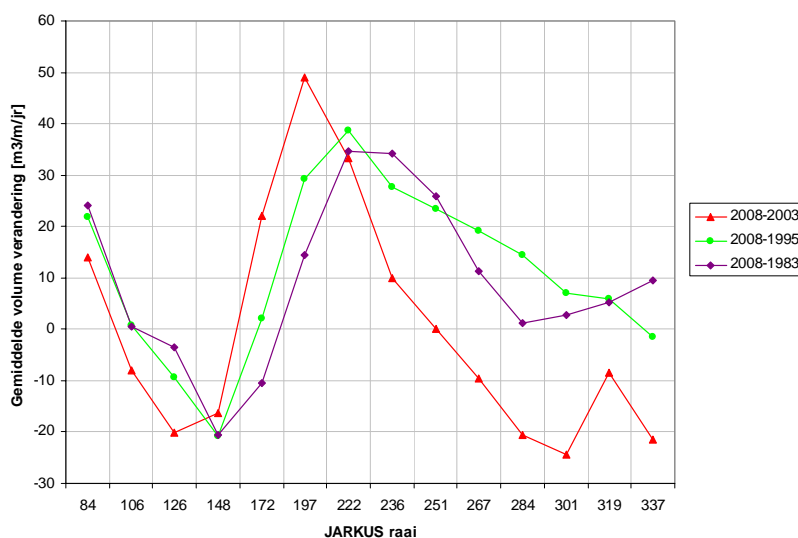


Figuur 5.5: Trends in verandering zandvolume van duinen boven de duinvoet

De autonome ontwikkeling van het duinvolume kan ingeschat worden door een trend over een aantal jaren te bepalen. Beschouwd is een periode van 13 jaar (1995 t/m 2008) aangezien binnen deze periode bekend is binnen welke raai de suppleties plaats hebben gevonden. Daarnaast kan voor een kortere of langere termijn (5 jaar of 15 jaar) de trend worden afgeleid, waardoor enig inzicht in de variabiliteit kan worden verkregen. In Figuur 5.5 worden de trends in volumeverandering van het duinvolume per raai weergegeven. Deze figuur laat zien dat over de beschouwde periodes sprake is van een toename in duinvolume (boven NAP+3m). Opgemerkt dient echter te worden dat dit niet gecorrigeerd is voor de duinsuppletie uit 1990. Op basis van Figuur 5.5 kan vastgesteld worden dat de trend in duinvolumeverandering niet wezenlijk anders is voor de drie beschouwde periodes. Onder de aanname dat het suppletiebeleid ongewijzigd blijft, kan de periode 1995-2008 representatief verondersteld worden voor toekomstige duinvolume ontwikkeling.



Figuur 5.6: Berekend zandvolume binnen BKL-schijf



Figuur 5.7: Trend in verandering zandvolume binnen BKL-schijf voor drie middelingperiodes gecorrigeerd voor de suppletievolumes

Zandvolume in BKL-schijf

De historische ontwikkeling van het zandvolume in de BKL-schijf wordt gepresenteerd in Figuur 5.6. Op basis van deze figuur kan gesteld worden dat het zandvolume binnen de BKL-schijf voor het kustvak tussen raai 84 en 337 (mede dankzij suppleties) is toegenomen. Voor een aantal raaien (raaien 267 t/m 319) is op de korte termijn (2002-2008) echter een beperkte teruggang te zien. Dit is een indicatie van een (licht) negatieve trend voor deze raaien als suppleties niet worden meegenomen. Opvallend is ook dat er bij een aantal raaien (o.a. 26.7 in 1991-1992) jaren geweest dat er een significante hoeveelheid zand uit de BKL-schijf is verdwenen. Ook is voor een aantal raaien een paar jaren met merkwaardige data weg gefilterd (bijv. raai 126, in 1995).

Om de trend in de volume verandering binnen de BKL-schijf beter te kunnen schatten, dienen de suppletievolumes (Tabel 5.1, zie ook Figuur 2.8) afgetrokken worden van de volume veranderingen. Voor de afleiding van de trend in volume verandering binnen de BKL-schijf is (net als voor het duinvolume) een periode van 13 jaar (1995 t/m 2008) gekozen in verband met de beschikbaarheid van gedetailleerde data over suppleties in deze periode. Om te zien of de gekozen middelingperiode een grote invloed heeft is ook een kortere en een langere termijn (5 jaar of 15 jaar) beschouwd. In Figuur 5.7 worden de historische trends in volumeverandering (gecorrigeerd voor de suppletievolumes in Tabel 5.1) van het duinvolume per raai weergegeven. Overigens is de suppletie uit 1990 voor een deel boven de BKL – schijf uitgevoerd.

	2007	2003	1999	1994	1990
	[m ³ /m/jr]	[m ³ /m/jr]	[m ³ /m/jr]	[m ³ /m/jr]	[m ³ /m/jr]
raai 84					177
raai 106	75		50		177
raai 126	171	69	92		177
raai 148	226	116	122	283	177
raai 172	150	57	80	283	177
raai 197	75	54	53	283	177
raai 222			50		177
raai 236			50		177
raai 251			50		177
raai 267			100		177
raai 284			140		177
raai 301			160		177
raai 319			100		177
raai 337		145	100		

Tabel 5.1: Zandsuppleties Noorderstrand in m³/m/jr in de periode 1990-2008

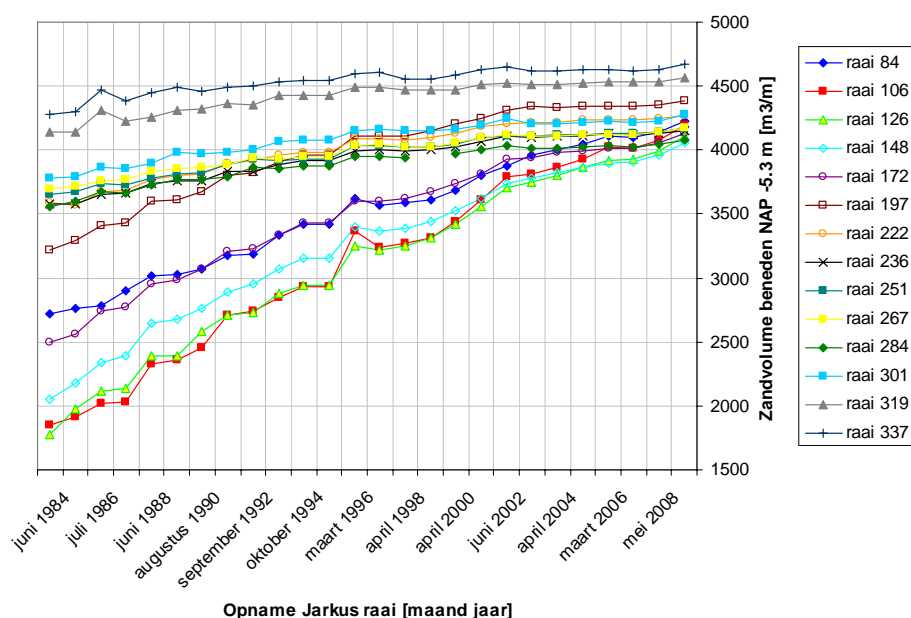
Opvallend is dat er een verschuiving naar het oosten plaats vindt in de tijd van het gebied (raai 106 t/m 172) met een negatieve trend (zandverlies). Dit is mogelijk gerelateerd aan 'zandgolven' zoals deze beschreven worden door Verhagen (1988). Als gekeken wordt naar de korte termijn (2008-2003) dan valt op dat er meer raaien zijn die (licht) teruglopen in volume (zoals raai 251 t/m 337) dan voor de langere termijn (2008-1995). Deze westelijke raaien hebben echter een veel grotere zandbuffer dan de oostelijke. Het is daarom ook van belang om vooral voor de oostelijke raaien de teruggang van het duin goed in te schatten.

Als we in detail naar de volumeontwikkeling van de BKL – schijf kijken, dan verwachten we dat de volumeontwikkeling boven de Laagwaterlijn meer dynamiek vertoont dan onder de laagwaterlijn. Dit komt omdat duinafslag niet over de hele BKL – schijf wordt afgezet, en

omdat de suppleties grotendeels op het strand worden uitgevoerd. De getallen ontbreken echter om dit te kwantificeren. We verwachten dat de uitbouw onder de laagwaterlijn groter is dan de (eventuele) uitbouw van het strand. Dit vanwege de morfologische ontwikkeling van het Brouwershavense Gat.

Zandvolume beneden NAP-5.3m (geulwand)

Het zand volume in de schijf beneden NAP-5.3m (geulwand en aangrenzend deel van Brouwershavense gat) neemt sterk toe in de tijd (zie Figuur 5.8). Voor alle raaien geldt dat er sprake is van een zeewaartse uitbreiding van het profiel (geulwand verplaatst) die gevoed wordt door zand dat hoger uit het profiel komt en door aanvoer van zand door langsgedreven zandtransport (Hoofdstuk 4). Voor de oostelijke raaien 84 - 197 is te zien dat het volume beneden NAP-5.3m sterker toeneemt dan voor de westelijke raaien. Een deel van deze volumeverandering dient echter op het conto van de opvulling van het Brouwershavense Gat geschreven te worden. Deze vult op met zand en slib dat door getijstroming wordt aangevoerd.



Figuur 5.8: Berekende verandering in zandvolume beneden NAP-5.3m

5.2 Morfologische veranderingen gedurende een normaal jaar

De vraagstelling vanuit het waterschap Zeeuwse Eilanden is de volgende:

Vraag 4: Zandverliezen in langs en dwarsrichting

Onderzoek of de veiligheid gebaseerd moet worden op een lagere strandligging dan gemeten wordt omdat door 3-dimensionale effecten zand uit het afslagprofiel verdwenen is voordat de maatgevende storm aanvangt. Hoe kan deze lagere strandligging het beste worden gekwantificeerd (verlaging van het strand of extra toeslag op de afslag uitgedrukt in meters).

In deze paragraaf wordt ingegaan op de kwantificering van een voldoende reserve in zandvolume om een mogelijke vertraging in de BKL – handhaving op te kunnen vangen.

Aangezien het niet ondenkbaar is dat door allerlei oorzaken een suppletie later tot uitvoering komt. Om een dergelijke reserve capaciteit te kunnen bepalen is het noodzakelijk om een goede schatting te hebben van de autonome ontwikkeling van de zandvolumes (zonder invloed van suppleties). Om dit te doen dient een zandbalans gemaakt te worden voor elke raai.

Aangezien het berekenen van zandtransporten (met name zandverlies naar het Brouwershavense Gat in dwarsrichting op de kust) vrij grote onzekerheden met zich meebrengt, is het beter de ontwikkeling te schatten met behulp van de historische ontwikkeling van de kust. De inschatting van toekomstige veranderingen in zandvolume is gemaakt voor de periode 1995 en 2008, aangezien voor deze periode de suppleties goed gespecificeerd zijn (suppletie locaties en volumes) én de periode lang genoeg is om een lange termijn schatting van de ontwikkelingen te maken. In Tabel 5.2 wordt zowel de trend tussen 1995 en 2008 als een schematisatie hiervan die in DUROS+ gebruikt kan worden weergegeven. Opgemerkt dient te worden dat hier een langjarig gemiddelde wordt gepresenteerd. Met name door natuurlijke variabiliteit (tussen verschillende jaren) kan de teruggang kleiner of groter zijn dan de gepresenteerde waarde!

	DUIN & BKL-schijf [m ³ /m/jr]	Meegenomen in DUROS+ [m ³ /m/jr]
raai 84	35	0
raai 106	6	-20
raai 126	-3	-20
raai 148	-19	-20
raai 172	7	-20
raai 197	42	0
raai 222	49	0
raai 236	42	0
raai 251	34	0
raai 267	36	0
raai 284	19	0
raai 301	10	0
raai 319	10	0
raai 337	7	0

Tabel 5.2: Schatting van toekomstige ontwikkeling zandvolumes (m³/m/jr) voor raai 84 t/m 337 op basis van gegevens uit de periode 1995-2008

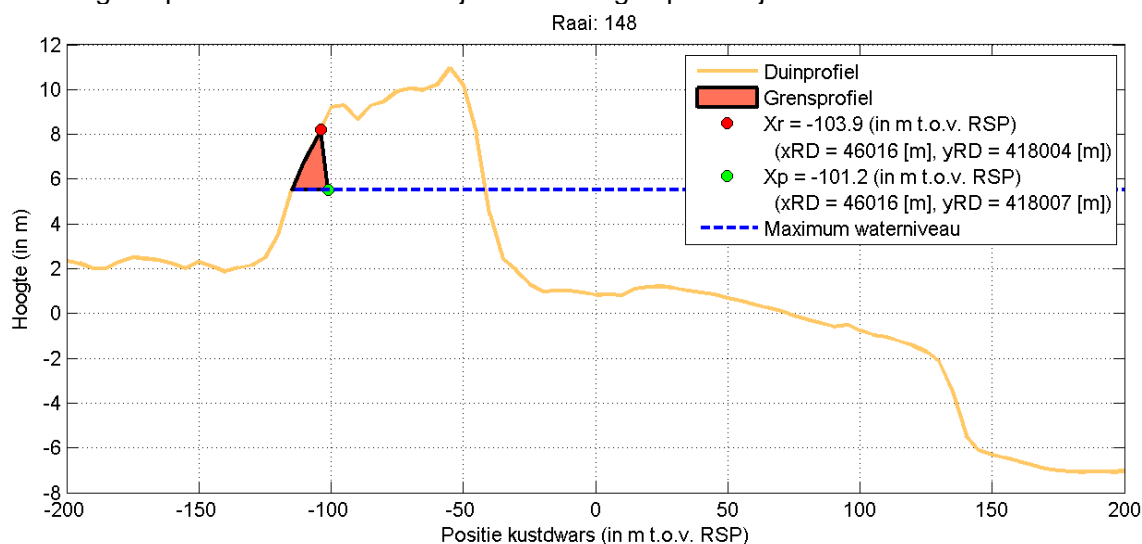
6 Inscharing binnenduintrand tussen raaien 148 en 172

Tussen de raaien 148 en 172 is er een inscharing van de binnenduintrand. Het TRDA2006 schrijft voor hier bedachtzaam voor te zijn om te voorkomen dat ter plaatse van de JARKUS-raaien de veiligheid lijkt te voldoen, terwijl in het tussengelegen gebied onvoldoende sterkte aanwezig is [paragraaf 2.3].

In dit hoofdstuk beschrijven we hoe de inscharing van de binnenduintrand tussen raaien 148 en 172 wordt meegenomen in de toets. Hiervoor zijn door de opdrachtgever profielen geleverd afkomstig uit het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN). Deze raaien gebruiken we alleen voor de bepaling van de landwaartse grens van de waterkering ten behoeve van het R – T diagram van het aangrenzende JARKUS – profiel, zoals weergegeven in Figuur 2.11. Voor de landwaartse grens van de waterkering gaan we uit van de meest landwaartse positie voor X_r in het duin, waarbij nog steeds een grensprofiel in het duin te vinden is [Figuur 6.1].

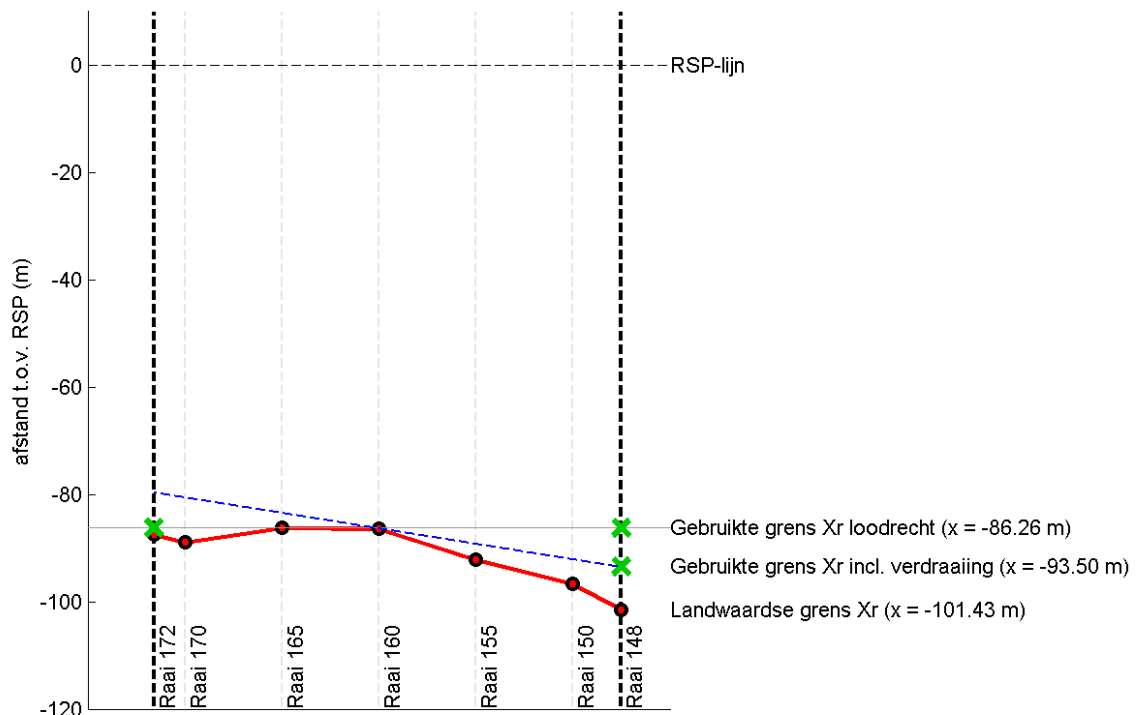
Het is uiteraard mogelijk om ook voor de tussenliggende raaien afslagberekeningen te maken. Hier is echter vanaf gezien omdat:

- Het TRDA expliciet voorschrijft dat de toets plaats dient te vinden op de JARKUS – raaien.
- Er geen profielen beschikbaar zijn over de afgelopen 15 jaar.

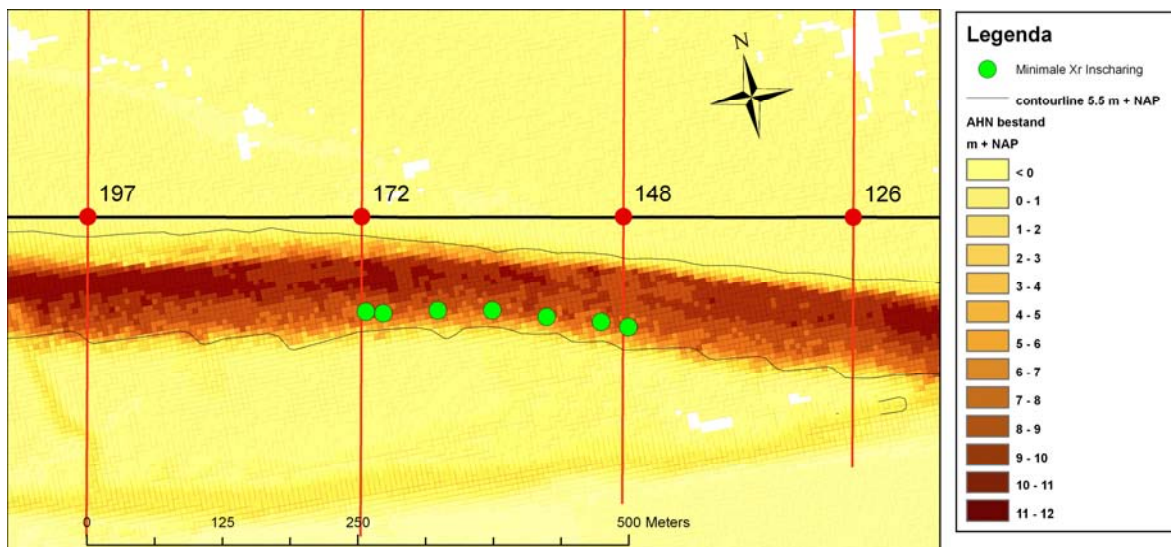


Figuur 6.1: Definitie van de landwaartse grens in het R – t diagram: het meest landwaarts mogelijke punt voor X_r

Om de inscharing van de binnenrand mee te nemen is voor de tussenliggende raaien eveneens de positie van X_r berekend. De meest zeewaartse waarde uit deze serie X_r – posities is gebruikt als de landwaartse grens van de waterkering voor de raaien 148 en 172 [Figuur 6.2]. Hierbij is uitgegaan van het principe uit het TRDA2006 dat de duinafslagrand loodrecht op de JARKUS – raai staat.



Figuur 6.2: Bepaling van de landwaardse grens voor de waterkering van de raaien 148 en 172.



Figuur 6.3: Detailkaart van de inschaling tussen raaien 148 en 172

In werkelijkheid zijn de JARKUS - raaien enigszins gedraaid ten opzichte van de ligging van het duin [Figuur 6.3]. Het gaat hierbij om 3,3 graden. Dit betekent dat de positie van de landwaardse grens van de waterkering een conservatieve schatting is. Daar staat tegenover dat aan het JARKUS - profiel meer sterkte wordt toegekend dan wanneer het profiel loodrecht op het duin was bepaald. Het TRDA2006 geeft geen handvatten om hiermee om te gaan. Ons advies is gebaseerd op de aanpak zoals hierboven beschreven, waarbij de berekende afslaglengte (X_r) wordt vergeleken met de maximaal toelaatbare X_r exclusief en inclusief de verdraaiing van de raaien.

Voor de overige JARKUS – raaien is de landwaartse grens bepaald op basis van het JARKUS – profiel uit het jaar 2007. In die gevallen is geen rekening gehouden met de hoogtegegevens van het duin tussen de raaien in.

7 Veiligheidsberekeningen duinwaterkering Noorderstrand

Voor de beoordeling van de veiligheid van het Noorderstrand voeren we duinafslagberekeningen uit op 3 niveaus:

- Methode 1 betreft een detailtoets conform het TRDA2006, waarbij geen rekening wordt gehouden met een zandverlies als gevolg van een gekromde kust.
- Methode 2 betreft een geavanceerde toets op basis van het TRDA2006 plus een zandverlies van 30 m³/m tijdens de storm [hoofdstuk 4].
- Methode 3 betreft een geavanceerde toets op basis van het TRDA2006 plus een zandverlies van 30 m³/m tijdens de storm en een zandverlies van 40 m³/m voor eventueel vertraagd kustonderhoud over een periode van 2 jaar tussen het traject tussen raaien 106 en 172 [Hoofdstukken 4 en 5].

Met uitzondering van raai 148 vertoont geen van de berekende raaien een overschrijding van de meest landwaartse grens van X_r . Dit geldt voor alle drie de niveaus en voor alle jaren waarvoor een berekening is gemaakt. Bij de toets van raai 148 conform het TRDA2006 Treedt er echter wel een overschrijding op [Tabel 7.1]. Figuur 7.1 toont de resultaten voor raai 148. Voor deze specifieke raai verschuift het punt R gemiddeld 4,3 meter landwaarts voor methode 2 en 9,3 meter voor methode 3.

	Loodrecht	Gedraaid
Methode 1	9	1
Methode 2	11	4
Methode 3	14	10

Tabel 7.1: Aantal overschrijdingen landwaartse grens X_r



Figuur 7.1: R-t figuur met R en gebruikte grenzen van Xr voor raai 148.

8 Advies Veiligheid Duinwaterkering Noorderstrand

8.1 Beantwoording onderzoeksvragen

In paragraaf 1.2 is een aantal onderzoeksvragen benoemd, die als doel hebben sturing te geven aan het advies rond de veiligheidsbeoordeling van de duinwaterkering op het Noorderstrand. Op basis van de analyse in de voorafgaande hoofdstukken, willen we deze vragen stuk voor stuk beantwoorden.

Vraag 1: De invloed van het Brouwershavense gat op de hoeveelheid duinafslag

Ga na op basis van het bestaande WL rapport uit 1982 [Vellinga (1982)] of er reden is om extra afslag in rekening te brengen. Dit betreft dan de dwarstransport component.

In 1982 zijn duinafslagproeven uitgevoerd in de Deltagoot met het profiel van het Noorderstrand als uitgangspunt. Uit de proeven bleek dat het afgeslagen zand vanaf het begin van het duinafslagproces werd afgezet in de voorliggende geul, het Brouwershavense Gat. Het huidige afslagmodel DUROS+ voorspelt dat het zand volledig tussen de geul en het duin wordt afgezet. Uiteindelijk voorspelt DUROS+ meer duinafslag dan is gemeten tijdens de proeven in de Deltagoot. Ondanks dat de vorm van het afslagprofiel van het model DUROS+ afwijkt van de in het schaalmodel geobserveerde afslagprofielvormen, wordt verwacht dat dit niet leidt tot onderschatting van de hoeveelheid duinafslag. Wij zien daarom geen reden om extra afslag in rekening te brengen vanwege de onnauwkeurigheid van DUROS+ voor deze specifieke locatie.

Vraag 2: Extra afslag tijdens storm

Onderzoek of onder maatgevende omstandigheden er gerekend moet worden met extra afslag door driedimensionale effecten. Zo ja kwantificeer deze effecten in extra afslag uitgedrukt in meters of in verlaging van het strand.

Voor zandverliezen tijdens een storm, als gevolg van een langstransportgradiënt geeft het model DUROS+ alleen voorschriften in geval van een gekromde kust. Er zijn echter meerdere oorzaken voor het optreden van een dergelijk zandverlies. Met een eenvoudige modelexercitie is nagegaan hoe groot een dergelijk zandverlies kan zijn voor het Noorderstrand. Op basis hiervan adviseren we voor elke raai rekening te houden met een verlies van 30 m³/m gedurende een maatgevende (1/4000 jaar) storm. Merk op dat dit een beste schatting is van het maximale verlies als gevolg van gradiënten in het langstransport. Onder afwijkende stormcondities (storm opbouw/condities) kan zandverlies hiervan verschillen.

Vraag 3: Zandverliezen in langs en dwarsrichting

Analyseer de verliezen van de uitgevoerde suppleties op dit kustvak. Kwantificeer de verliezen in dwars- en langsrichting.

Door de aanleg van de Brouwersdam wordt het Brouwershavense gat in snel tempo opgevuld. Dit uit zich in een verondieping van de bodem en een zeewaartse verplaatsing van de geulwand. In de BKL-schijf zijn er raaien waar overwegend aanzanding plaats vindt en raaien waar structureel zand verdwijnt. De volumeverandering binnen de BKL-schijf varieert tussen een structurele erosie van 20 à 30 m³/m/jaar tot een aanzanding van 40 à 50 m³/m/jaar. Om de verliezen te compenseren vindt eens in de vier jaar een strandsuppletie

plaats. Hierdoor wordt tussen de 10 en 50 m³/m/jaar aan de BKL-schijf toegevoegd (meeste suppleties bij raai 148). Echter, als gevolg van de suppleties is het duinvolume (boven NAP+3m) gegroeid. Het duinvolume neemt toe met 2 tot 25 m³/m/jaar. De grootste groei vindt vooral plaats tussen raai 197 en 267, terwijl bij raai 148 en 301 slechts sprake is van een beperkte vooruitgang (wat deels het gevolg is van suppleties).

Vraag 4: Extra toeslagen voor langtransport tijdens storm

Onderzoek of de veiligheid gebaseerd moeten worden op een lagere strandligging dan gemeten wordt omdat door 3-dimensionale effecten zand uit het afslagprofiel verdwenen is voordat de maatgevende storm aanvangt. Hoe kan deze lagere strandligging het beste worden gekwantificeerd (verlaging van het strand of extra toeslag op de afslag uitgedrukt in meters).

Het Noorderstrand is aan erosie onderhevig door zandverlies naar het Brouwershavense Gat en door een positieve gradiënt in het langtransport. Strandsuppleties in opdracht van Rijkswaterstaat zorgen ervoor dat de tekorten elke vier jaar weer worden aangevuld. Door allerlei oorzaken is het mogelijk dat een suppletie later tot uitvoering komt dan noodzakelijk is vanuit het oogpunt van BKL – handhaving. Vanuit het oogpunt van veiligheid is het wenselijk als er op dat moment voldoende reserve is om deze vertraging op te kunnen vangen.

Een inschatting van deze reserve dient gemaakt te worden op basis van de verwachte jaarlijkse zandverliezen. Voor de veiligheidstoets met DUROS+ is zowel het volume in het duin als in de BKL-schijf relevant. Het totale zandvolume in de deze schijven (BKL-schijf en duinen boven NAP+3m) is voor de meeste raaien toegenomen in de periode 1995-2008. Uitzondering hierop zijn de raaien 126 en 148 waar een negatieve trend zichtbaar is (zie tabel 4.2), met een maximum erosie van 19 m³/m/jaar in raai 148 over de periode 1995-2008. Om recht te doen aan de onzekerheid met betrekking tot de precieze raai waarin deze maximale erosie plaats vindt, dient ook in de omliggende raaien (raai 106 en 172) rekening gehouden te worden met significante erosie. Daarom wordt aanbevolen om de maximale teruggang in zandvolume van 20 m³/m/jaar (bij raai 148) als zandverlies mee te nemen voor de raaien 106 t/m 172. Als we uitgaan van een vertraging van het kustonderhoud komt dit uit op een toeslag in de veiligheidsberekeningen van 40 m³/m.

Vraag 5: Inscharing raai 148 en 172

Bepaal de invloed van de inscharing aan de binnenzijde van het duin tussen raai 148 en 172 op de veiligheid.

De inscharing aan de binnenzijde van het duin tussen raai 148 en 172 zorgt voor een zeewaartse verplaatsing van de minimale grens van Xr in deze aanliggende raaien. Voor de berekende veiligheid van raai 172 heeft dit weinig gevolgen. Toetsing van raai 148 met deze verplaatste landwaartse grens van Xr toont aan de duinafslag meerdere keren de landwaartse grens van de waterkering passeert.

8.2 Eindadvies

In dit eindadvies geven we de conclusies weer ten aanzien van de veiligheid van de duinwaterkering bij het Noorderstrand. Hiervoor zijn op drie niveaus berekeningen uitgevoerd.

- Methodie 1: Duinafslagberekeningen zonder zandverlies
Berekeningen zonder zandverlies voor of tijdens een storm geven aan dat de veiligheid in het geding is voor het duintraject tussen Raai 148 en 172. Dit wordt veroorzaakt door

de inscharing tussen deze twee JARKUS-raaien. Deze berekeningen zijn geheel conform het TRDA2006. Er is hier sprake van een gedetailleerde toets.

- Methode 2: Duinafslagberekeningen met zandverlies tijdens een storm
Zoals blijkt uit de beantwoording van de vierde onderzoeksvraag, adviseren we om tijdens de storm rekening te houden met een extra zandverlies van 30 m³/m. Dit zandverlies komt in plaats van het zandverlies voor een gekromde kust die wordt voorgeschreven door het TRDA2006, wat betekent dat er sprake is van een geavanceerde toets. Volgens deze berekeningen voldoet de veiligheid niet tussen de raaien 148 en 172.
- Methode 3: Duinafslagberekeningen met zandverlies voor en tijdens de storm
Sinds het begin van het kusthandhavingsbeleid heeft Rijkswaterstaat adequaat gereageerd met kustsuppleties nadat de BKL was overschreden. Toch adviseren we het Waterschap rekening te houden met een vertraging van de kustsuppletie met een termijn van 2 jaar. Dit komt neer op een extra zandverlies van 40 m³/m voor de storm tussen de raaien 106 t/m 172. Daarnaast is ook rekening gehouden met 30 m³/m zandverlies tijdens de storm. Ook deze berekeningen gaan verder dan de toetsregels uit het TRDA2006. Volgens dit niveau biedt de duinwaterkering onvoldoende sterkte tussen de raaien 148 en 172.

We adviseren om bij de besluitvorming rond de veiligheid van de duinwaterkering van het Noorderstrand uit te gaan van de Duinafslagberekeningen met zandverlies voor en tijdens de storm (Methode 3). Hiervoor hebben we de volgende twee redenen:

- Op dit moment is de waterkeringbeheerder voor de handhaving van de veiligheid van het Noorderstrand sterk afhankelijk van Rijkswaterstaat. Mocht een suppletie onverhoopt worden vertraagd, dan heeft de waterkeringbeheerder geen tijd voor het ontwerpen en uitvoeren van passende maatregelen. Met een marge van 2 jaar, krijgt de waterkeringbeheerder wel de tijd om zijn rol te vervullen.
- Na versterking van de duinwaterkering op grond van deze berekeningen ontstaat er ruimte om de strandsuppleties anders te ontwerpen. Hierbij kan gedacht worden aan suppleties op de vooroever of de geulwand, of suppleties met een langere levensduur. Hierdoor kan de schade voor het milieu en de kosten van de uitvoering worden beperkt.

A Referenties

- Beekman, F. 2007. *De kop van Schouwen onder het zand. Duizend jaar duinvorming en duingebouw op een Zeeuws eiland*. Uitgeverij Matrijs.
- Boers, M. 2008. *Duinen als waterkering; Inventarisatie van kennisvragen bij waterschappen, provincies en rijk*. Deltares. Rapport H5019.10.
- Burger 1987. *Onderzoek onderhoud zandige Noordzeekust inventarisatie van het gewone (jaarlijkse) en buitengewone (meerjaarlijkse) onderhoud over de periode 1975-1984*. Waterloopkundig Laboratorium. H316.
- Cleveringa, J., 2008. *Morphodynamics of the Delta coast (south-west Netherlands): Quantitative analysis and phenomenology of the morphological evolution 1964 – 2004*. Alkyon, Report A1881.
- Ebbens E.H. en Roelse, P. 1982. *Golfrandvoorwaarden duinwaterkeringen in Zeeland*, Rijkswaterstaat, Nota WWKZ-82.V017
- Expertisenetwerk Waterveiligheid. 2007. *Technisch Rapport Duinafslag 2006 (TRDA2006)*.
- Inspectie Verkeer en Waterstaat. 2006. *Landelijke rapportage toetsing 2006. Achtergrondrapport Deel 1: Dijkkringgebieden*.
- Jonker, S.IJ. en G.M. Janssen. 2007. *Strandlopers; Inventarisatie van strandgebruik aan de Noordzeekust en de relatie met natuurwetgeving*. Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rapport RIKZ/2007.001.
- Kohsiek, L.H.M. 1984. *De korrelgrootte karakteristiek van de zeereep (stuifdijk) langs de Nederlandse kust*, Rijkswaterstaat Nota WKZ-84G.282.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 2002. *Hydraulische randvoorwaarden 2001 voor het toetsen van primaire waterkeringen*.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 2007. *Voorschriften toetsen op veiligheid. Primaire waterkeringen*.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 2008. *HOOGWATERBESCHERMINGSPROGRAMMA Maatregelen aan de primaire waterkeringen met financiering door het Rijk*. Bijlage bij Voortgangsrapportage HWBP T2 2008.
- Rijkswaterstaat, 1996. *Hydraulische randvoorwaarden voor primaire waterkeringen*. DG Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat, 2003. *Nieuwe inzichten in golfbelastingen langs de kust; Samenvatting aanvullende beheerderoordelen*. Rijkswaterstaat. Dienst Weg- en Waterbouwkunde. Rapport DWW-2003-123.

- RIKZ. 1995. *De basispeilen langs de Nederlandse kust, de ruimtelijke verdeling en overschrijdingslijnen*, Rijkswaterstaat rapport RIKZ-95.008.
- Roelse, P. 1984. *Randvoorwaarden langs de Zeeuwse kust ten behoeve van de TAW-leidraad Duinafslag*. Rijkswaterstaat. Notitie WWKZ-84.V319.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. 1984. *Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering (Leidraad Duinafslag 1984)*.
- Vellinga, P. 1982. *Duinafslag tijdens superstormvloed, Noorderstrand Schouwen; onderzoek naar de werking van een duinvoetverdediging tijdens superstormvloed*. Waterloopkundig Laboratorium M1797.
- Vellinga, P. 1984. *Schaalserie duinafslag; proeven op grote schaal in de Deltagoot*. Waterloopkundig Laboratorium M1263 Deel III.
- Verhage, H.J. 1988. *Zandgolven en strandhoofden; de effectiviteit van strandhoofden in het licht van recente resultaten van zandgolfontoetsen*. Otar 5, pp 162-168
- Vos, R., Den Heijer, F., Diermanse F. en Gautier C., 2007. *Hydraulische Randvoorwaarden 2006 voor Duinwaterkeringen; Eindrapport*. Rijkswaterstaat. Rijksinstituut voor Kust en Zee. Rapport RIKZ/2006.026.
- Walstra, D.J.R., F.L.M. Diermanse, P.F.C. van Geer, J. van Thiel de Vries, J. Groeneweg en J. van de Graaff. 2008. *SBWDuinen2-Ontwikkeltraject; Eerste aanzet tot de ontwikkeling van het 2011 duintoetsinstrumentarium*. Deltares. Rapport H5019.20.
- Wilderom, M.H., 1964. *Tussen afsluitdammen en deltadijken II, Noord-Zeeland*, Middelburg.