

memorandum

PR2063.60

Project : Kustlijnzorg; controle faalkansen Waddeneilanden
Datum : 18-07-2014
Onderwerp : Beschrijving methodiek en algemene bevindingen
Status : Definitief
Van : Vincent Vuik
Aan : Deltares

1. Context

In 2011 zijn faalkansen berekend voor alle duinen langs de Nederlandse kust, voor alle beschikbare kustmetingen op dat moment (1965-2010), zie HKV (2011). In de voorgaande jaren zijn deze faalkansen gecontroleerd voor de duinen van Noord-Holland (2011), Rijnland en Delfland (2012), en Voorne, Goeree, Schouwen, Noord-Beveland, Walcheren en Zeeuws-Vlaanderen (2013). Bevindingen zijn verwerkt in de dataset op de dataserver, en resultaten zijn beschreven in verschillende beheerregisters. Het voorliggende memo beschrijft de controle van de faalkansen die berekend zijn voor de Waddeneilanden. Het document is onderverdeeld in een beschrijving van factoren die de betrouwbaarheid van de resultaten beïnvloeden (paragraaf 2), de controlemethodiek (paragraaf 3) en een beschrijving op hoofdlijnen van de resultaten van de controles (paragraaf 4).

De NetCDF-database met faalkansen is op de volgende locatie te vinden:

http://opendap.deltares.nl/thredds/dodsC/opendap/rijkswaterstaat/faalkans_PC-Ring/faalkans.nc

2. Betrouwbaarheid faalkansen

Er zijn verschillende factoren die de betrouwbaarheid van de duinafslagberekeningen beïnvloeden. Deze factoren zijn onder te verdelen in factoren buiten het profiel en factoren binnen het profiel waarvoor de duinafslagberekeningen zijn gemaakt.

Factoren buiten het profiel:

1. *Afscherming van de raai door een buitendelta of zandbanken voor de kust.* PC-Ring maakt gebruik van de TMR2006-database, waarin golfrandvoorwaarden zijn opgenomen die geldig zijn voor de NAP-20 m dieptecontour. De duinafslagmodule DUROS+ in PC-Ring is ook alleen geschikt om aangestuurd te worden op diep water. Daar waar golven reeds energie verliezen door breking en bodemwrijving, is het berekenen van duinafslag met de diepwater golfrandvoorwaarden te conservatief. Om die reden is recent de aangepaste duinafslagmodule D++ ontwikkeld (Deltares, 2010). Deze maakt (behalve van de randvoorwaarden op diep water) gebruik van een transformatiematrix voor de conversie van golfrandvoorwaarden op NAP-20 m naar een willekeurige dieptecontour. Deze transformatiematrix is gebaseerd op SWAN-berekeningen. Aangezien deze geavanceerde functionaliteit niet beschikbaar is in PC-Ring, kan er sprake zijn van een overschatting van de faalkansen op plaatsen waar afscherming door een buitendelta of zandbanken relevant is.
2. *Significante kustkromming.* De hoeveelheid afslag wordt beïnvloed door de kromming van de kust. Dwarstransport en langstransport kunnen bij een gekromde kustlijn niet meer als onafhankelijk beschouwd worden. Duinafslag bij een convexe kustlijn kan aanzienlijk groter zijn

dan bij een rechte kustlijn (Den Heijer, 2013). Dit aspect is niet meegenomen in de berekende faalkansen.

3. *Meerdere duinenrijen.* Er is gekozen om alleen faalkansen voor de eerste duinenrij (de zeereep) te berekenen. Hiervoor zijn meerdere redenen. Ten eerste kan DUROS+ alleen betrouwbare afslagberekeningen uitvoeren voor één duinenrij. Daarnaast zorgt een dubbele duinenrij voor een discontinuïteit in de relatie tussen hydraulische belasting en afslaglengte. De gebruikte probabilistische rekentechniek (FORM) heeft moeite met dergelijke discontinuïteiten. Tenslotte kunnen er 2D-effecten zoals achterloopsheid optreden bij doorbraak van de eerste duinenrij. Wanneer twee of meer duinenrijen aanwezig zijn, is de berekende faalkans dus mogelijk niet representatief voor de veiligheid van het achterland (HKV, 2012a).

Factoren binnen het profiel:

1. *Zeer flauw aflopend strand.* De duinafslagmodule DUROS+ is ontwikkeld en gevalideerd voor dwarsprofielen zoals die karakteristiek voorkomen langs de kust van Zuid- en Noord-Holland. Op de Waddeneilanden komen gebieden voor met zeer brede stranden, soms zelfs direct overgaand in de zandbanken van een buitendelta. DUROS+ heeft moeite met het berekenen van nauwkeurige afslagprofielen voor zulke geometrieën (Deltares, 2011).
2. *Getijdegeul dicht bij de kust.* Als er een getijdegeul dicht bij de duinvoet aanwezig is, kan deze tijdens stormcondities zorgen voor afvoer van het vanuit de duinen afgeslagen sediment. Er is dan geen sprake van een gesloten zandbalans, wat wel een uitgangspunt van DUROS+ is. Zonder gesloten zandbalans ontstaat er geen evenwichtssituatie, waardoor de duinafslag blijft voortschrijden. Faalkansen kunnen sterk worden onderschat in zo'n situatie.
3. *Zeer brede en/of grillige duinen.* Zoals gezegd is DUROS+ ontwikkeld en gevalideerd voor dwarsprofielen zoals die karakteristiek voorkomen langs de kust van Zuid- en Noord-Holland. Op de Waddeneilanden komen op verschillende plaatsen zeer brede duinen voor, soms met meerdere toppen. DUROS+ heeft moeite met het berekenen van nauwkeurige afslagprofielen voor zulke geometrieën.

De genoemde factoren *buiten het profiel* hebben invloed op de nauwkeurigheid van de grootte van de berekende faalkansen. Naar verwachting kan echter voor raaien waar deze factoren een rol spelen wel een nauwkeurige faalkansontwikkeling (trend) in de tijd worden bepaald.

De factoren *binnen het profiel* leiden vaak tot problemen met de nauwkeurigheid van de berekende afslagprofielen en convergentie van de probabilistische berekening. In een deel van de gevallen zal hier niet alleen de absolute grootte van de faalkansen, maar ook de trend in de tijd onbetrouwbaar zijn.

3. Controleprocedure

De factoren buiten en binnen het profiel, zoals beschreven in de vorige paragraaf, hebben we voor alle raaien langs de Waddeneilanden kwalitatief beoordeeld.

Daarnaast hebben we de volgende controles uitgevoerd:

1. Beoordeling van de dwarsprofielen (compleetheid, grillige profielen, dubbele duinenrijen, etc.);
2. Beoordeling van de nauwkeurigheid van de berekende afslagprofielen;
3. Beoordeling van de grootte van de berekende faalkans en de trend in de tijd;
4. Convergentie van de probabilistische rekentechniek FORM (First Order Reliability Method).

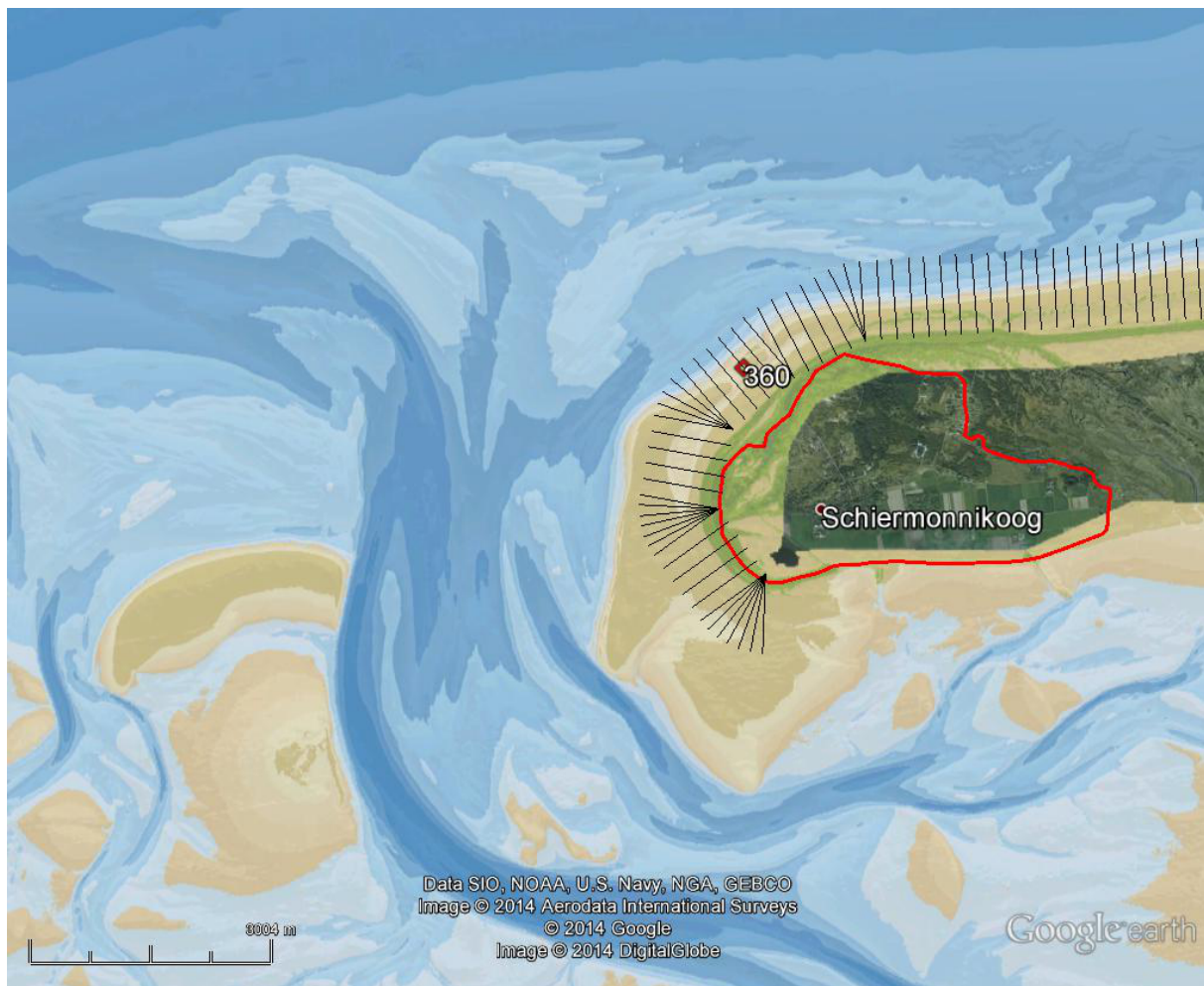
Deze controles zijn beschreven in Bijlage A van HKV (2012b) en Bijlagen A en B van HKV (2011).

Aangezien de controles grotendeels gebaseerd zijn op expert judgment, hebben we voor elke raai in de NetCDF-database een kwalitatieve beoordeling toegevoegd aan (1) de **absolute grootte** en (2) de **trends** in de berekende kansen. Voor beide geldt de volgende codering voor de betrouwbaarheid: **0 = slecht, 1 = matig, 2 = goed**. Bij een toekenning van een 0 voor de betrouwbaarheid van de trend hebben we de berekende kansen voor deze raai verwijderd uit de database. Dit is slechts incidenteel het geval. Bij een toekenning van een 0 voor de absolute grootte van de kansen en betrouwbare resultaten voor de trend hebben we de kansen wel opgeleverd. De grootte van de kansen is (om een of meer van de redenen als genoemd in paragraaf 2) voor deze raaien dan alleen niet maatgevend voor de veiligheid van het achterland.

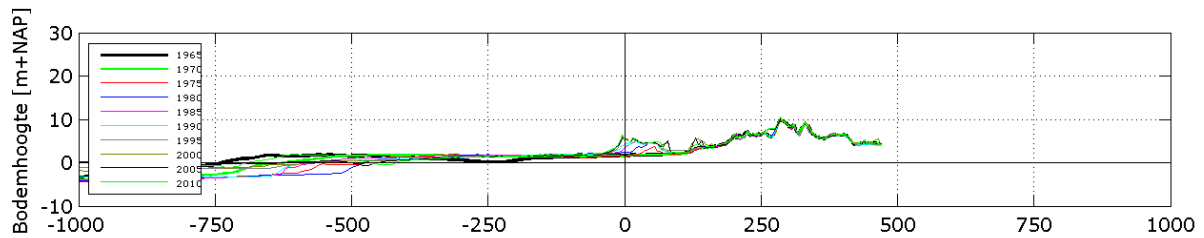
In het vervolg van dit memo wordt de controleprocedure met twee voorbeelden beknopt toegelicht.

Voorbeeld 1: raai 360 op Schiermonnikoog

Figuur 1 toont de locatie van raai 360 langs de kust van Schiermonnikoog, samen met de dijkring van Schiermonnikoog (rode lijn) en een weergave van de bodemligging volgens de vaklodingen van 2012. Figuur 2 toont voor elke 5 jaar tussen 1965 en 2010 het dwarsprofiel voor raai 360 volgens de Jarkus-metingen.



Figuur 1 Locatie van raai 360 op Schiermonnikoog, met de dijkring van Schiermonnikoog (rode lijn) en een weergave van de bodemligging volgens de vaklodingen van 2012



Figuur 2 Dwarsprofielen voor verschillende jaren voor raai 360 op Schiermonnikoog (interval: 5 jaar)

We hebben de volgende kwalitatieve beoordelingen gegeven voor deze raai:

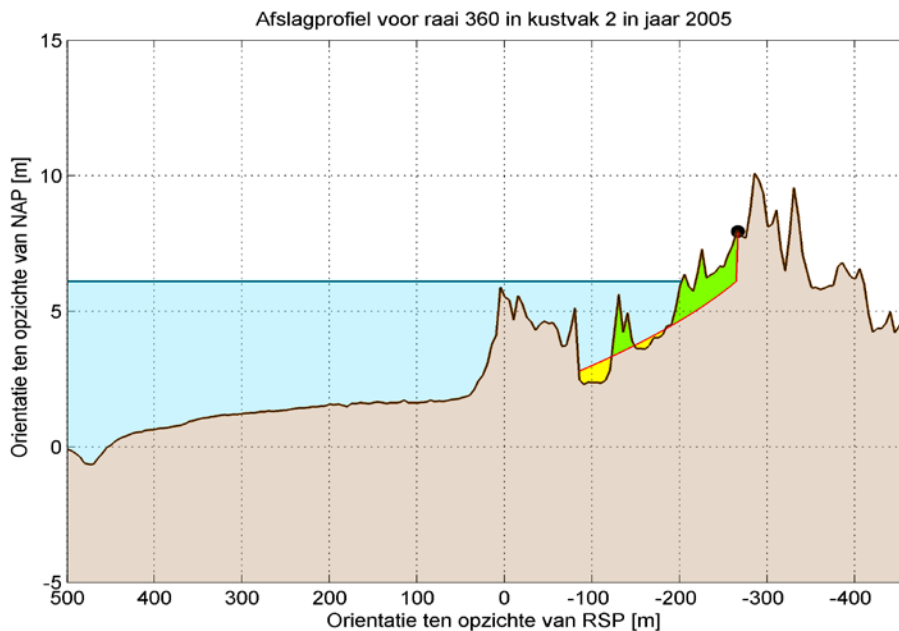
Factoren buiten het profiel:

- Afscherming van de raai door een buitendelta of zandbanken voor de kust: ja (de buitendelta van het Friese Zeegat maakt toepassing van golfrandvoorwaarden op diep water onrealistisch);
- Significante kustkromming: ja (de raai ligt nabij de gekromde kust van de eilandkop).
- Meerdere duinenrijen: ja (volgt uit een analyse van het AHN, landwaarts van het meetbereik van de Jarkus-metingen voor deze raai).

Factoren binnen het profiel:

- Zeer flauw aflopend strand: ja (het strand loopt hier vrijwel ononderbroken door in de buitendelta. Uit het profiel volgt dat op ongeveer 750 m vanaf de duinvoet het strand nog steeds rond NAP ligt).
- Getijdegeul dicht bij de kust: nee (het profiel wordt niet doorsneden door een diepe geul).
- Zeer brede en/of grillig gevormde duinen: ja (het profiel is niet bijzonder breed, maar wel grillig, met veel toppen op de duin).

Uit de kwalitatieve beschouwing van de factoren buiten het profiel volgt dat in elk geval de absolute grootte van de berekende faalkansen voor deze raai onbetrouwbaar (code 0) zal zijn. Er zijn echter ook verschillende factoren binnen het profiel, die naar verwachting veel invloed zullen hebben op de betrouwbaarheid van de afslagberekeningen met Duros+ en probabilistische berekeningen met FORM. De berekeningen worden daarom in meer detail bekeken.



Figuur 3 Afslagprofiel voor raai 360 van Schiermonnikoog voor het jaar 2005. De waterstand, behorend bij de condities tijdens falen (het ontwerp punt) is getoond in blauw. Het initiële dwarsprofiel is weergegeven met het grijs-bruin gearceerde gebied. Het berekende afslagprofiel in rood, het afgeslagen deel van het initiële dwarsprofiel in groen, het aangezande volume onder het afslagprofiel in geel, en het maatgevende afslagpunt met de zwarte marker.

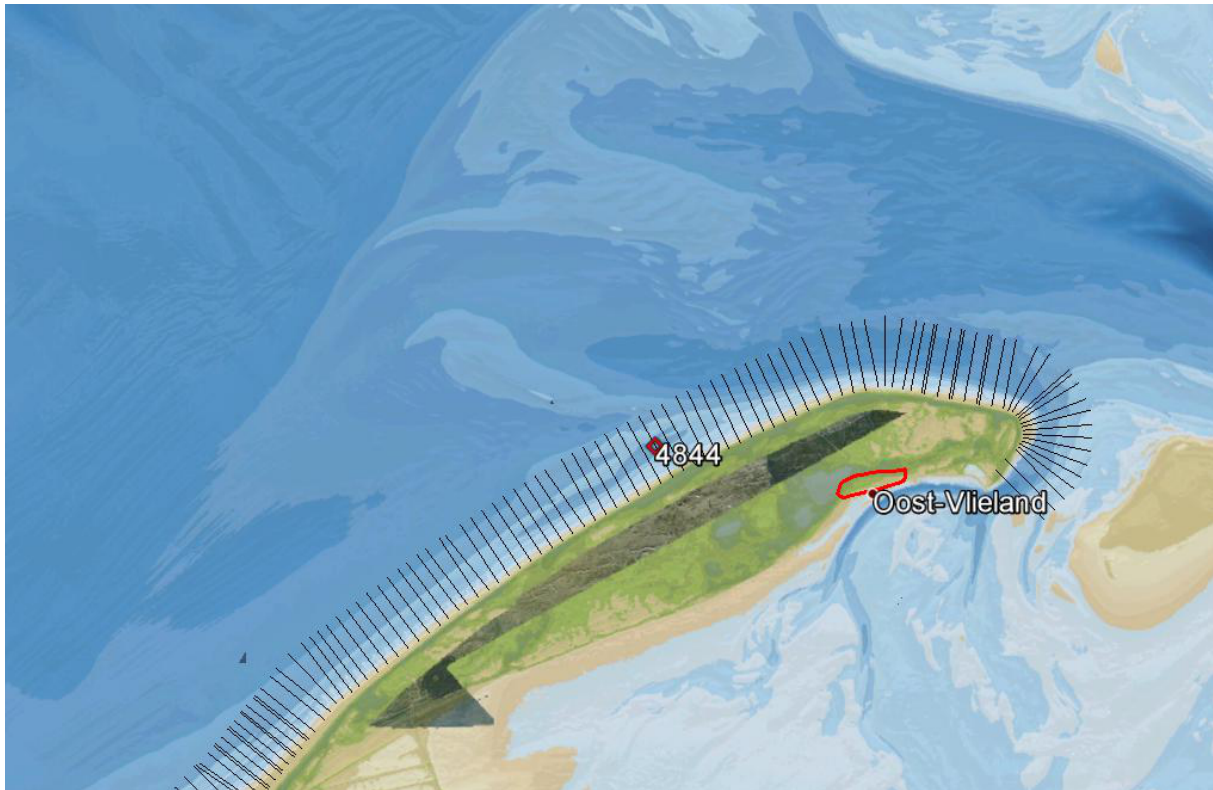
Figuur 3 toont het afslagprofiel dat DUROS+ berekent in het ontwerp punt, behorend bij de omstandigheden bij falen, voor een willekeurig jaar (2005). Het geparametriseerde parabolische afslagprofiel valt voor deze raai overduidelijk slecht in te passen in het grillige dwarsprofiel. De verhouding tussen het afgeslagen volume (groen gearceerd) en het aangezande volume (geel gearceerd) verschilt dan ook met 73%. Gemiddeld over alle 46 jaren bedraagt de absolute grootte van dit verschil 77%. In geen enkel jaar wordt een nauwkeurigheid binnen de bandbreedte [-20% 20%] behaald.

In 43% van de jaren heeft FORM moeite met convergeren bij deze raai, en is het eindresultaat daarom mogelijk onbetrouwbaar of zelfs geheel afwezig. De convergentieproblemen zijn het gevolg van de discontinuïteiten in het dwarsprofiel, die ook leiden tot discontinuïteiten in de relatie tussen afslaglengte en hydraulische belasting (voornamelijk gekarakteriseerd door de waterstand).

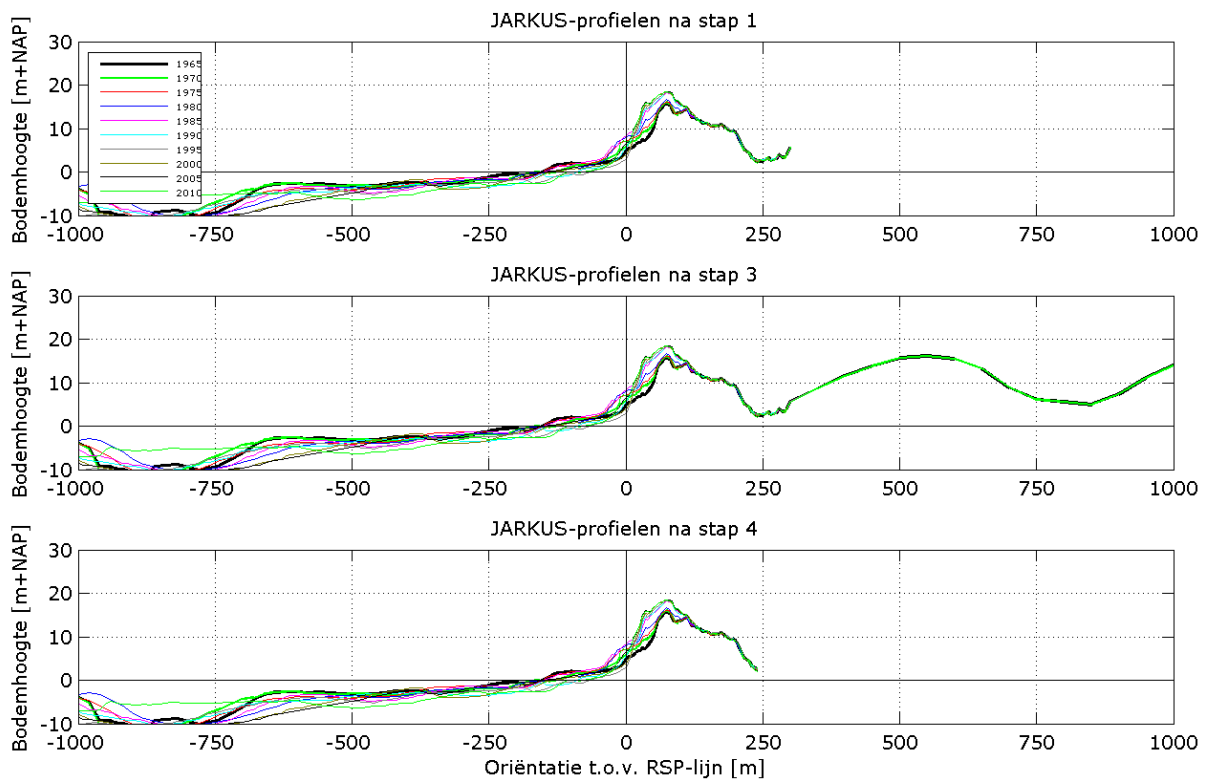
De complicaties voor deze raai waren zodanig, dat we ook de betrouwbaarheid van de trend als slecht (code 0) hebben beoordeeld. De resultaten voor deze raai hebben we uit de opgeleverde database verwijderd.

Voorbeeld 2: raai 4844 op Vlieland

Figuur 4 toont de locatie van raai 4844 langs de kust van Vlieland, samen met de dijkkring van Vlieland (rode lijn) en een weergave van de bodemligging volgens de vaklodingen van 2010 en 2011 (beide metingen beslaan een deel van de figuur). Figuur 2 toont voor elke 5 jaar tussen 1965 en 2010 het dwarsprofiel voor raai 360 volgens de Jarkus-metingen (boven), de profielen na aanvullen met AHN-data voor het completeren van het profiel (midden), en de profielen na verwijderen van meervoudige duinenrijen (onder). Deze laatste profielen zijn ook gebruikt in de berekeningen met PC-Ring.



Figuur 4 Locatie van raai 4844 op Vlieland, met de huidige dijkkring van Vlieland (rode lijn) en een weergave van de bodemligging volgens de vaklodingen van 2010 (oost) en 2011 (west)



Figuur 5 Dwarsprofielen voor verschillende jaren voor raai 4844 op Vlieland (interval: 5 jaar) volgens JarKus-data (boven), na aanvullen met AHN-data (midden) en na verwijderen van meervoudige duinenrijen (onder).

We hebben de volgende kwalitatieve beoordelingen gegeven voor deze raai:

Factoren buiten het profiel:

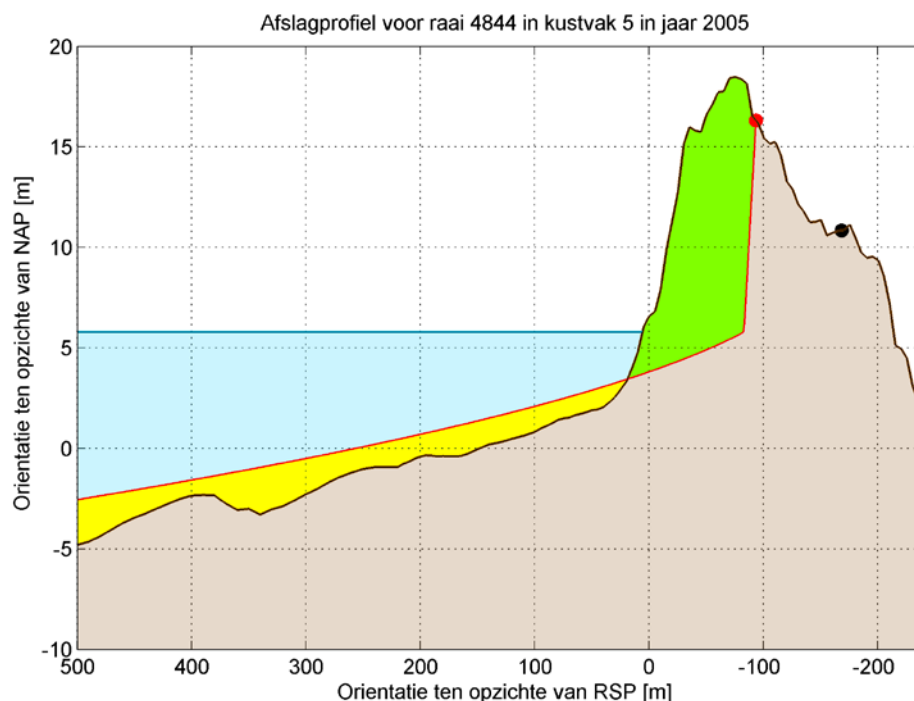
- Afscherming van de raai door een buitendelta of zandbanken voor de kust: ja (de buitendelta van het Vlie maakt toepassing van golftrandvoorwaarden op diep water minder realistisch);
- Significante kustkromming: nee (de raai ligt langs een recht stuk kust).
- Meerdere duinenrijen: ja (zie Figuur 5).

Factoren binnen het profiel:

- Zeer flauw aflopend strand: nee (het profiel loopt vanaf de duinvoet (3 m+NAP) binnen ongeveer 500 m naar een niveau van 5 m onder NAP).
- Getijdegeul dicht bij de kust: nee (het profiel wordt niet doorsneden door een diepe geul).
- Zeer brede en/of grillig gevormde duinen: nee (de eerste duinenrij is heel modaal van vorm).

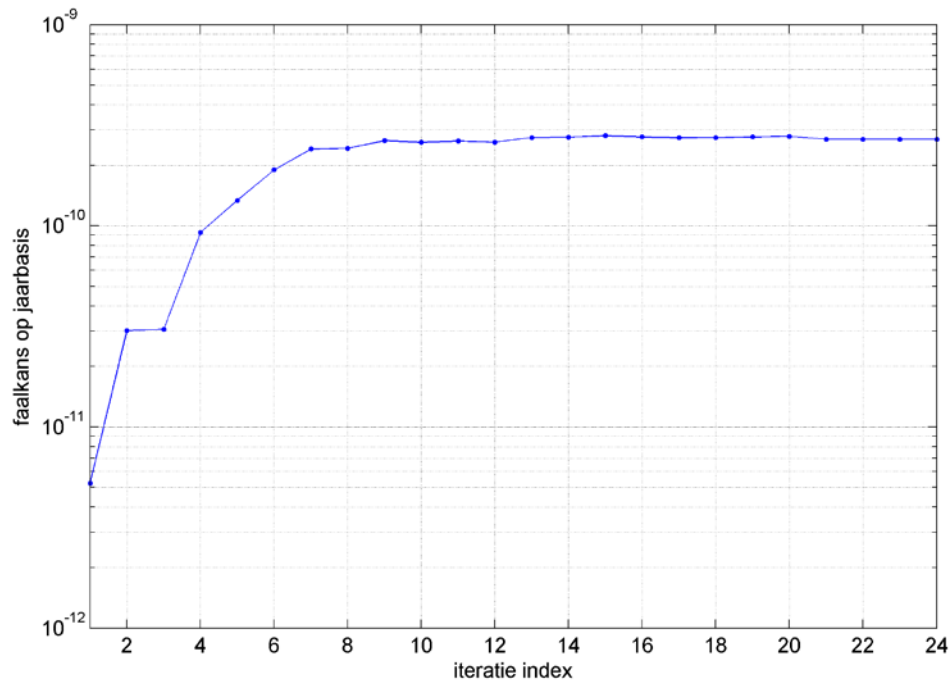
Uit de kwalitatieve beschouwing van de factoren buiten het profiel volgt dat in elk geval de absolute grootte van de berekende faalkansen voor deze raai niet representatief voor veiligheid is (code 0). Dit komt door de aanwezigheid van de grote duinen landwaarts van de zeereep, en in mindere mate door de afscherming door de zandbanken voor de kust. Er zijn geen factoren binnen het profiel, die naar verwachting veel invloed zullen hebben op de betrouwbaarheid van de afslagberekeningen met DUROS+ en probabilistische berekeningen met FORM.

Figuur 6 toont het afslagprofiel dat DUROS+ berekent in het ontwerppunt, behorend bij de omstandigheden bij falen, voor een willekeurig jaar (2005). Het afgeslagen volume (groen gearceerd) is 12% kleiner dan het aangezande volume (geel gearceerd). Dit is redelijk nauwkeurig.



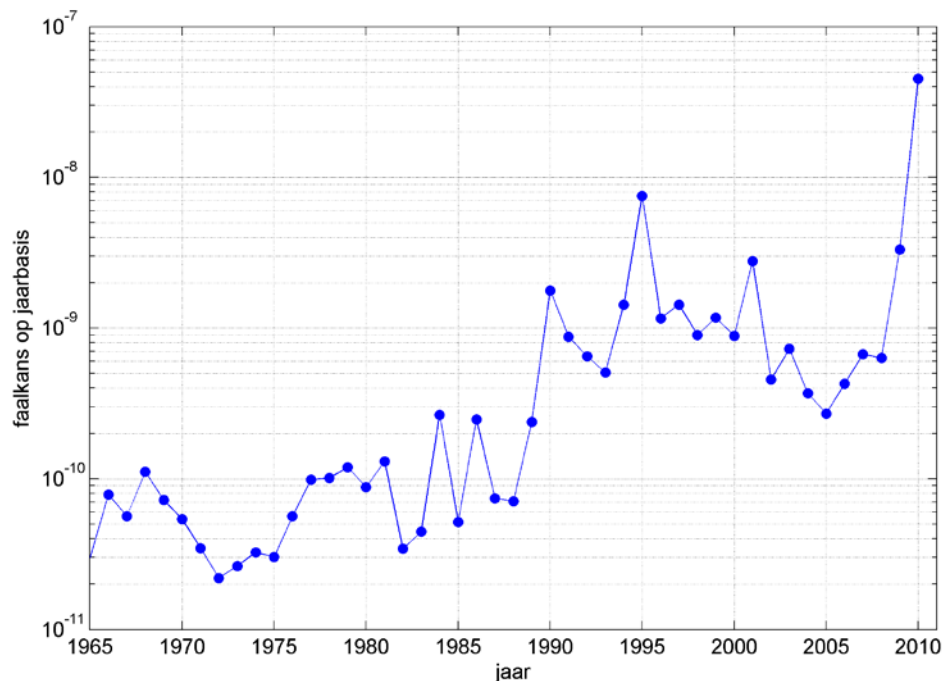
Figuur 6 Afslagprofiel voor raai 4844 van Vlieland voor het jaar 2005. De waterstand, behorend bij de condities tijdens falen (het ontwerppunt) is getoond in blauw. Het initiële dwarsprofiel is weergegeven met het grijs-bruin gearceerde gebied. Het berekende afslagprofiel in rood, het afgeslagen deel van het initiële dwarsprofiel in groen, het aangezande volume onder het afslagprofiel in geel, en het maatgevende afslagpunt met de zwarte marker.

In geen enkel jaar vertoonde FORM convergentieproblemen. Zie Figuur 7 voor een voorbeeld.



Figuur 7 Convergentie van FORM voor raai 4844 van Vlieland voor het jaar 2005.

Figuur 8 toont de berekende ontwikkeling van de faalkans in de tijd. Hierin zijn geen noemenswaardige onregelmatigheden te zien.



Figuur 8 Berekende faalkans in de tijd voor raai 4844 van Vlieland

Ons oordeel is dat de absolute grootte van de berekende faalkansen voor deze raai niet representatief voor veiligheid is (code 0), maar dat de betrouwbaarheid van de berekende trend goed is (code 2).

4. Beknopte beschrijving resultaten per Waddeneiland

Schiermonnikoog

Voor Schiermonnikoog zijn alleen de faalkansen voor de raaien 100 t/m 700 geanalyseerd. Verder oostwaarts is (vooral in het eerste deel van de analyseperiode 1965-2010) in het geheel geen sprake van duinen, of er zijn geen duinen aanwezig die relevant zijn voor veiligheid binnen de bebouwde gebieden.

De betrouwbaarheid van de absolute grootte berekende faalkansen voor Schiermonnikoog is veelal gering. Vrijwel overal zijn meerdere duinenrijen aanwezig dan in het doorgerekende profiel, de kust van de eilandkop is sterk gekromd, en afgeschermd door de buitendelta. Ook binnen de profielen zijn bij verschillende raaien zaken aan de orde die de nauwkeurigheid van de berekeningen beperken. Langs een deel van de beschouwde kustlijn van Schiermonnikoog is een zeer breed en flauw aflopend strand aanwezig, en de duinen zijn soms grillig van vorm.

Gemiddeld genomen hebben we de betrouwbaarheid van de absolute grootte van de faalkansen beoordeeld als slecht (code 0) en de betrouwbaarheid van de trend als matig tot goed (code 1-2). Voor één raai (de in dit memo als voorbeeld gegeven raai 360) hebben we ook de trend als slecht (code 0) beoordeeld, en zijn de resultaten verwijderd uit de database.

Ameland

Voor Ameland zijn alleen de faalkansen voor de raaien 100 t/m 2100 geanalyseerd. Verder oostwaarts is in het geheel geen sprake van duinen, of er zijn geen duinen aanwezig die relevant zijn voor veiligheid binnen de bebouwde gebieden.

Bij de westelijke eilandkop is sprake van afscherming door de buitendelta, een flauw aflopend strand, kustkromming en aanwezigheid van meerdere duinenrijen. De betrouwbaarheid van de absolute grootte van de berekende faalkansen is hier slecht (code 0). De trend is hier voor veel raaien naar onze inschatting wel valide.

De berekeningen voor de meer oostwaarts gelegen raaien hebben een wisselende nauwkeurigheid, afhankelijk van de geometrie van het profiel en de aanwezigheid van eventuele meervoudige duinenrijen.

Voor twee raaien (1320 en 1520) hebben we ook de trend als onbetrouwbaar (code 0) beoordeeld. In beide gevallen heeft dit een relatie met de zeer breed duingebied zonder duidelijk afgebakende zeereep, waarvoor geen realistische afslagprofielen konden worden berekend door DUROS+.

Terschelling

Voor Terschelling zijn alleen de faalkansen voor de raaien 120 t/m 2420 geanalyseerd. Verder oostwaarts en westwaarts is overwegend geen sprake van duinen, maar wat losse stuifduinen (westelijke eilandkop) of kweldergebied (oostelijk deel van het eiland). Buiten het gebied tussen de raaien 240 en 2000 zijn wel duinen aanwezig, maar deze zijn niet relevant voor veiligheid binnen de bebouwde gebieden.

Bij de westelijke eilandkop is sprake van afscherming door de buitendelta, een flauw aflopend strand, kustkromming en/of aanwezigheid van meerdere duinenrijen. De betrouwbaarheid van de absolute grootte van de berekende faalkansen is hier slecht (code 0). De trend is hier voor veel raaien naar onze inschatting wel valide.

Ook langs het centrale deel van het eiland is veelal meer dan een duinenrij aanwezig. Hier moet rekening mee gehouden worden bij het interpreteren van de grootte van de faalkansen, aangezien deze alleen betrekking hebben op de eerste duinenrij.

Voor drie raaien (600, 740 en 1920) hebben we ook de trend als onbetrouwbaar (code 0) beoordeeld. In deze drie gevallen heeft dit een relatie met zeer grillig gevormde duinen, waarvoor geen realistische afslagprofielen konden worden berekend door DUROS+.

Vlieland

Voor Vlieland zijn alleen de faalkansen voor de raaien 4217 t/m 5360 geanalyseerd. Buiten dit deel van de kust is geen sprake van duinen die relevant zijn voor veiligheid binnen de bebouwde gebieden. Alleen het gebied tussen de raaien 4900 en 5300 is werkelijk van belang voor veiligheid binnen de dijkkring.

Bij Vlieland is sprake van een significante reductie van de golfaanval door relatief ver uit de kust liggende zandbanken. Dit effect is niet meegenomen in de berekende kansen, waardoor de kansen mogelijk aan de conservatieve kant zijn.

In vergelijking met Terschelling, Ameland en Schiermonnikoog zijn de afslagberekeningen voor Vlieland nauwkeuriger, en vertoonden de probabilistische berekeningen met FORM minder convergentieproblemen. Wel is er bij veel raaien meer dan één duinenrij aanwezig, zodat de berekende faalkansen voor de eerste duinenrij grotendeels niet representatief zijn voor de veiligheid tegen overstromingen van de bebouwde gebieden.

Voor drie dicht bij elkaar liggende raaien (5227, 5267, 5307) is ook de trend onbetrouwbaar (code 0) vanwege ontbrekende Jarkus-data in het diepere deel van het profiel.

Texel

De absolute grootte van de berekende faalkansen is vrijwel nergens representatief voor de veiligheid tegen overstroming voor de bebouwde gebieden. Vrijwel overal zijn meerdere duinenrijen aanwezig. De officiële dijkkring loopt grotendeels niet door de eerste duinenrij. In het centrale deel van Texel ligt de eerste duinenrij tussen het strand en het natuurgebied De Slufter. Dit gebied inundeert al door getijdebeweging. Aan de landzijde van de Slufter bevinden zich kleine duinen, die de bebouwde gebieden beschermen tegen het water dat de Slufter binnen kan dringen.

De trends in de faalkansen zijn veelal behoorlijk betrouwbaar, met uitzondering van enkele gebieden met een zeer robuust, breed duinmassief. Deze duinen worden voornamelijk gevonden in het noorden van de kustlijn van Texel.

Voor 6 raaien hebben we ook de trend als onbetrouwbaar (code 0) beoordeeld. Het gaat om de raaien 2480, 2500 en 2520 (opening in duinen bij inlaat van de Slufter), 2720 en 2740 (grillige duinvorm) en 2917 (zeer breed duin).

5. Referenties

Deltares (2010). Ontwikkeling detailtoets duinen 2011 (D++). Deltares rapport 1202124-003, augustus 2010.

Deltares (2011). Detailtoets voor duinafslag, afleiden van de rekenregel voor duinen op de Waddeneilanden ten behoeve van WTI 2011, december 2011, definitief.

Heijer, C. den (2013). The role of bathymetry, wave obliquity and coastal curvature in dune erosion prediction. PhD thesis TU Delft, mei 2013.

HKV LIJN IN WATER (2011). Indicatoren voor kustlijnzorg; Analyse van indicatoren voor veiligheid en recreatie. HKV rapport pr2063.20. W. van Balen en V. Vuik.

HKV LIJN IN WATER (2012a). Overstromingskansen voor de Nederlandse kust. V. Vuik en W. van Balen, HKV rapport pr2334.10, oktober 2012.

HKV LIJN IN WATER (2012b). Indicatoren voor kustlijnzorg; Analyse van stormen, suppleties en kustveiligheid. HKV rapport pr2063.30. V. Vuik, W. Van Balen en A.J. Paarlberg.