

## Samenvatting

In het kader van het Masterplan Kaden wil het Waterschap Hunze en Aa's de dijken van het traject Delfzijl-Farmsum, inclusief Oosterhornkanaal en -haven, verbeteren. Groningen Seaports wil op hetzelfde traject baggerwerkzaamheden uitvoeren en oevers onderhouden. Werkzaamheden zijn uitgevoerd om te komen tot een gecombineerd definitief ontwerp. Hierbij is een onderzoek uitgevoerd, waarbij de veiligheidsfilosofie het uitgangspunt was. Het geheel leidde tot een aanbeveling waarmee het Waterschap aan de slag kan gaan om de dijken te verbeteren zodat ze voldoen aan de nieuwe eisen qua hoogte en veiligheid.

## Veiligheidsfilosofie in praktijk gebracht

Toetsing dijken Oosterhornkanaal en -haven

Auteur: Eldon Daantje, adviseur en geotechnisch constructeur bij AIBD

### Introductie

In het kader van het Masterplan Kaden (MPK) wil het Waterschap Hunze en Aa's de dijken van het traject Delfzijl-Farmsum, inclusief Oosterhornkanaal en Oosterhornhaven (afbeelding 1) verbeteren. Daarmee gaan de dijken voldoen aan de nieuwe eisen qua hoogte en veiligheid. Uitgangspunt was dat het traject Delfzijl-Farmsum waterstanden moet keren met een norm van 1:100 jaar. Voor een aantal dijkenprofielen is deze norm aangescherpt naar 1:300 jaar.



Afb. 1 Oosterhoornkanaal- en haven

©Groningen Seaports

Het waterschap heeft een inventarisatie/controler van de bestaande dijken gemaakt, uitgaande van een norm van 1:100 jaar. Hieruit kwamen de volgende zaken naar voren:

- De steenbestorting van de huidige oever is gedeeltelijk verzakt of te laag. Hierdoor vindt op een aantal locaties afkalving van de kade plaats. De steenbestorting van de oever moet worden hersteld en de berm moet tot de gewenste hoogte worden opgehoogd.

- Een deel van de grondkaden van de Oosterhornhaven moet worden opgehoogd, zodat aan de nieuwe eisen qua hoogte en veiligheid wordt voldaan.

Naast het feit dat de dijken moeten voldoen aan de nieuwe eisen qua hoogte en veiligheid, spelen ook de volgende factoren een rol:

- Voorgenomen baggerwerkzaamheden en onderhoud aan oevers door Groningen Seaports. Door de geplande baggerwerkzaamheden en de ophoging van de kade kan de macro- en microstabiliteit van de waterkering worden beïnvloed.
- Voor een aantal delen van het traject moet rekening gehouden worden met het aanmeren van schepen, met name in het industriegebied. Hierdoor kan erosie onderaan de dijk ontstaan, waardoor de stabiliteit van de dijken in gevaar kan komen. Hierbij dient rekening gehouden te worden met de restant levensduur, het gebruikte dijkbekledingsmateriaal en de onderhoudsmaatregelen vanuit Groningen Seaports en Waterschap Hunze en Aa's.

Groningen Seaports en het Waterschap verstrekten aan de provincie Groningen de opdracht te bepalen welke dijkprofielen maatgevend zijn voor de macro- en microstabiliteit. Om zicht te krijgen in de verschillen tussen de bestaande en gewenste situatie (norm 1:100 versus 1:300) is voor de betreffende profielen de stabiliteit doorgerekend.

Het project bestaat uit twee onderdelen:

- Herstellen en ophogen van de steenbestorting van de oevers (GSP);
- Het ophogen van de grondkaden tot NAP +1,80m<sup>1</sup>

## Verdiepingsonderzoek

De vraag die in dit verdiepingsonderzoek centraal staat, is: *Wat voor effect heeft de verhoging van dijken en kaden en/of de verdieping van de bodem op de stabiliteit van dijken en kaden?* Om deze vraag goed te kunnen beantwoorden, moet eerst gekeken worden of de grondparameters betrouwbaar zijn en of de aannames overeenkomen met de praktijkervaring van de beheerders van dit gebied. Daarnaast is gevraagd om ook het verschil van de beide normen 1:100 versus 1:300 inzichtelijk te maken voor het gehele traject.

## Onderzoekstrategie

Als adviseurs hebben wij gekozen om niet met teveel formules en normen onze werkelijke doelstelling kwijt te raken. Het werd een praktische benadering en een begrijpelijke berekening om het overzichtelijk toe te passen. Onze ontwerpmethodiek voor de dijken bestond uit het terug beredeneren vanuit de veiligheidsfilosofie, om zo te weten te komen wat de toelaatbare stabiliteitsfactoren zijn die behoren bij het ontwerp op een norm 1:100 versus 1:300. Om de twee weken hadden de specialisten van het projectteam technisch overleg en was er een terugkoppeling naar de beheerders. Zo brachten we de theorie en de praktijk bij elkaar. Dit leidde tot overzichtelijke en transparante randvoorwaarden bij het ontwerp van de dijken.

Het ontwerpteam heeft een onderzoeksstrategie bepaald, die moet zorgen voor een snelle doorlooptijd en kostenbesparingen tijdens de ontwerp- en uitvoeringsfase. Er is gekozen voor een praktische geotechnische benadering voor het Plan van Aanpak en de ontwerpmethodiek. Ook voor deze stap is specialistische kennis nodig. Voor de uitvoering van de toetsing is de Leidraad toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen van de STOWA leidend (STOWA publicatie 2, 2007). In de praktijk grijpt deze leidraad vaak terug op de Voorschriften Toetsen op Veiligheid Primair Waterkeringen (VTV2006).

Bij dit onderzoek worden de verschillende concepten en methodes die in aanmerking komen voor dit project, tegen elkaar afgezet. Daarbij wordt gekeken naar de onderzoekskosten, de kans van slagen en de te realiseren besparingen. Dit wordt afgezet tegen de kosten van versterking als geen nader onderzoek naar optimalisatie zou worden uitgevoerd.

Veiligheidsbenadering of Veiligheidsfilosofie van een dijk voldoet volgens de gedetailleerde

beoordeling als de berekende stabiliteitsfactor  $F$  groter of gelijk is aan  $\gamma_n \cdot \gamma_b \cdot \gamma_d \cdot \gamma_m$ . Waarin geldt dat  $\gamma_n$  de schadefactor is,  $\gamma_b$  de schematiseringsfactor, en  $\gamma_d$  de modelonzekerheid en  $\gamma_m$  de materiaalfactor is.

## Ontwerpmethodiek

De ontwerpmethodiek is uitgegaan van de ontwerprichtlijnen van de Leidraad van Veiligheid Regionale Waterkeringen, De  $\sigma$ - $\tau$ -curves zijn ontleend aan de ter beschikking gestelde D-Geo Stability-sommen.

De stabiliteitsberekeningen worden uitgevoerd met het programma MStab / D-Geo Stability. Bij de berekening wordt, in plaats van de normale veiligheidsfactor, gebruik gemaakt van de schematiseringsfactor op basis van de grondopbouw. Door een uitgebreid terreinonderzoek, aangevuld met de specifieke kennis van de betrokken partijen over de bodemopbouw en aanwezige risicofactoren, kan de standaard schematiseringsfactor van 1,3 worden verlaagd naar 1,0.

## Veiligheidsfilosofie

Ten behoeve van de gehanteerde veiligheidsfilosofie voor het ontwerp van de waterkering met grondlichaam zijn de hierna genoemde uitgangspunten van belang.

### Uitgangspunten

- De schadefactor is bepaald met behulp van Tabel 4.2 van de Leidraad van Veiligheid Regionale Waterkeringen (afbeelding 2)

TABEL 4.2 MINIMAAL VEREISTE SCHADEFACTOR STABILITEIT BINNENTALUD - KERINGEN LANGS REGIONALE RIVIEREN

Normfrequentie waterkering [1/jaar]	Schadefactor [-]
1/10	0,80
1/30	0,85
1/100	0,90
1/300	0,95
1/1000	1,00

Afb. 2: Leidraad van Veiligheid Regionale Waterkeringen, tabel 4.2

Voor de kade van de Oosterhornhaven geldt deels de norm 1:100, dat geeft een schadefactor van  $\gamma_n = 0,90$ . Bij toepassing van de norm 1:300 is deze schadefactor  $\gamma_n = 0,95$ .

- Bij toetsing op macrostabiliteit wordt expliciet getoetst aan een vereiste stabiliteitsfactor. De stabiliteitseis bij gebruik van rekenwaarden voor de sterkte luidt:  $F/\gamma_n\gamma_b\gamma_m\gamma_d \geq 1,0$ .

Waarin:

- $F$  = stabiliteitsfactor berekend bij rekenwaarden van de sterkte [-]
- $\gamma_n$  = schadefactor [-]
- $\gamma_b$  = schematiseringsfactor [-]
- $\gamma_d$  = modelfactor [-], waarde 1,0 in geval van glijcirkelanalyse met model Bisschop
- $\gamma_m$  = materiaalfactor [-], waarde 1,15 (gemiddelde waarde van alle grondlagen)

### Resultaten

De toelaatbare stabiliteitsfactor ( $F$ ) voor deze kade is:  $0,90 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,15 > 1,04$  (1:100).

De toelaatbare stabiliteitsfactor ( $F$ ) voor deze kade is:  $0,95 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,15 > 1,09$  (1:300).

## Conclusie

Als uit de berekening van D-Stabiliteit D-Geo Stability blijkt dat de stabiliteitsfactoren van de representatieve dwarsprofielen groter zijn dan 1,04 of 1,09, kan geconcludeerd worden dat een stabiele constructie voor de dijk is ontworpen bij 1:100 respectievelijk 1:300.

## Stand van zaken

### Stabiliteit talud

De stabiliteit van de ophogingen is geanalyseerd door het uitvoeren van glijvlakberekeningen volgens de vereenvoudigde methode Bishop met het computerprogramma D-Geo Stability. Hierbij wordt de veiligheidsfactor van een grondmoot langs een cirkelvormig glijvlak berekend. De stabiliteit van het talud is afhankelijk van:

- de sterkte van de grond;
- de grootte van de ophoging;
- de wateroverspanning in de ondergrond en van de doorlatendheid van de ondergrond;
- de taludhelling, inclusief de eventuele aanwezigheid van een steunberm;
- de aanwezigheid van een sloot of watergang bij de teen van een talud;
- en de aanwezigheid van bomen.

### Resultaten D-Geo Stability -berekeningen dwarsprofielen

In de resultatentabel HWM kaden Farmsum-Delfzijl Oosterhornhaven (afb. 3) is de geometrie van de beschouwde doorsnede weergegeven. Hierin is indicatief rekening gehouden met een verzadiging van het dijklichaam. Invoer MStab nieuwe situatie dwarsprofielen.

## HWM kaden Farmsum-Delfzijl Oosterhornhaven

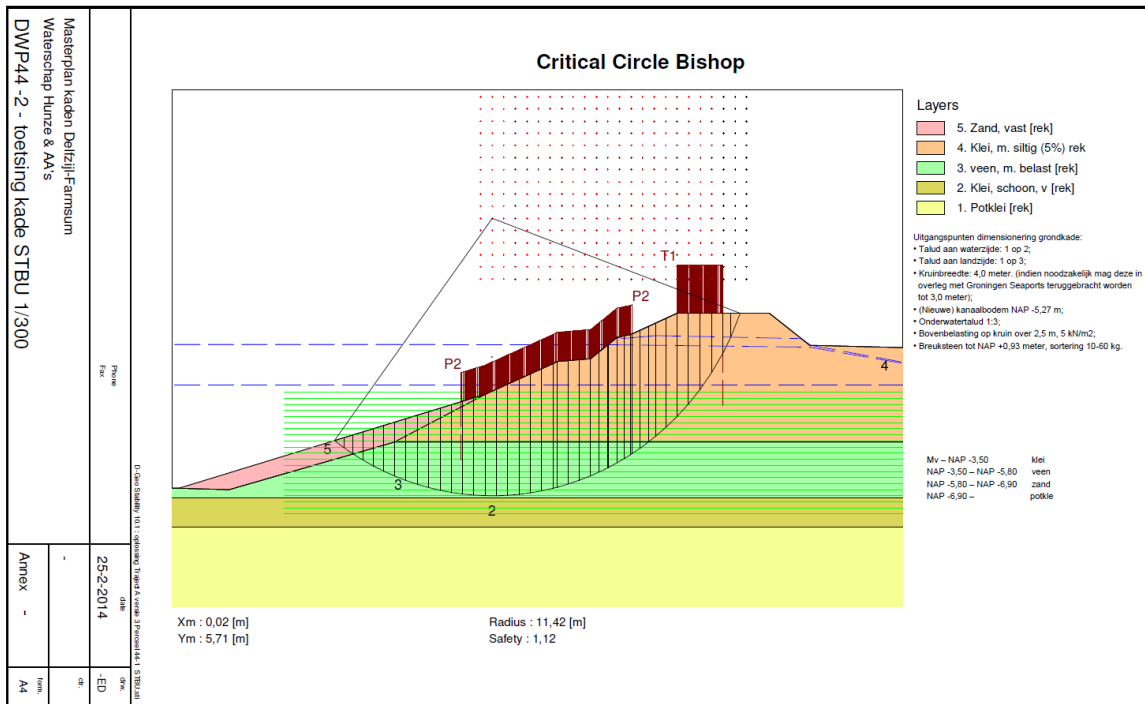


RESULTAAT WATERKERINGTOETS							
DWP	Soort Waterkering	Stabiliteit	Toets	Norm	Hoogte NAP	Maatregelen	Opmerking van Provincie
<b>PERCEEL A</b>							
STBU							
PG45-2	Grondkade met stortsteen	1,11	voldoet	1:300	1,80	Ophogen kade	Stortsteen verzaktingspoeling in onderwaterlalud?
PG46-2	Grondkade met stortsteen	1,23	voldoet	1:300	1,80	Ophogen kade	
PG47-4	Grondkade met stortsteen	1,13	voldoet	1:300	1,80	Ophogen kade	Stortsteen verzaktingspoeling in onderwaterlalud?
PG44-1	Grondkade met stortsteen	1,10	voldoet	1:300	1,80	Ophogen kade	Aanvullen met klei en stortsteen
PG44-2	Grondkade met stortsteen	1,12	voldoet	1:300	1,80	Ophogen kade	Aanvullen met klei en stortsteen
<b>PERCEEL B</b>							
PG42-9	Grondkade met stortsteen	1,13	voldoet	1:300	1,80	Ophogen kade	
PG42-13	Grondkade met stortsteen	1,20	voldoet	1:300	1,80	Ophogen kade	
<b>PERCEEL C</b>							
PG41-7	Grondkade met stortsteen	1,31	voldoet	1:100	1,80	Ophogen kade	
PG42-4	Grondkade met stortsteen	1,31	voldoet	1:100	1,80	Ophogen kade	

Afb 3. Resultaten Waterkeringstoets

## Aanbevelingen voor profielen die niet aan de stabiliteitsfactor voldoen

De dwarsprofielen PG44-1/PG44-2, de zwakste plekken in het traject, bleken niet te voldoen aan de stabiliteitseis voor afschuiving. Als deze profielen zonder aanvullende maatregelen worden opgehoogd, treedt afschuiving op. De gekozen oplossing voor de doorsneden PG44-1/PG44-2 bestaat uit het aanvullen van het bestaande talud aan de dijkzijde onder gelijkblijvende helling. Om uitspoeling in de toekomst te voorkomen, wordt de aanvulling voorzien van een steenbestorting.



Afb. 4: Dwarsprofiel 44-2 . Stabiliteitsberekening met Circle Bishop-methode.

Uit oriënterende berekeningen bleek de stabiliteit van deze oplossing hoger dan de bestaande situatie. De doorsnede is hierna enigszins aangepast om het ontwerp ervan te optimaliseren. In afbeelding 4 is het geoptimaliseerde ontwerp voor de doorsnede PG44-2 weergegeven. Het wordt aanbevolen de voorgestelde wijziging te hanteren om een voldoende veilig ontwerp te verkrijgen. Door het onderwatertalud aan te vullen met klei en deze te voorzien van een wiepenmat aangevuld met stortsteen, kan de stabiliteit van het dijklichaam voldoende verbeterd worden.

## Conclusie



Afb.5 Oosterhornkanaal

Conclusie is dat de dwarsprofielen van de trajecten allemaal voldoen aan de stabiliteitsfactor voor zowel 1:100 als 1:300. De kaden kunnen daarmee dus op de voorgestelde wijze opgehoogd worden. Voor de doorsneden PG44-1 en PG44-2, de zwakste plekken, geldt dat het veiligheidsniveau van de kade in de eindsituatie lager is dan benodigd. Bij deze profielen moet het onderwatertalud worden aangevuld, zoals is voorgesteld in afbeelding 4.