

NOTITIE

Onderwerp	Stabiliteitsanalyse waterveiligheid Knardijk
Project	Poort Lelystad
Opdrachtgever	Staatsbosbeheer
Projectcode	124922
Status	Definitief
Datum	18 februari 2022
Referentie	124922/22-002.485
Auteur(s)	

Gecontroleerd door	
Goedgekeurd door	
Paraaf	

Bijlage(n)

-

Aan

Staatsbosbeheer

Kopie

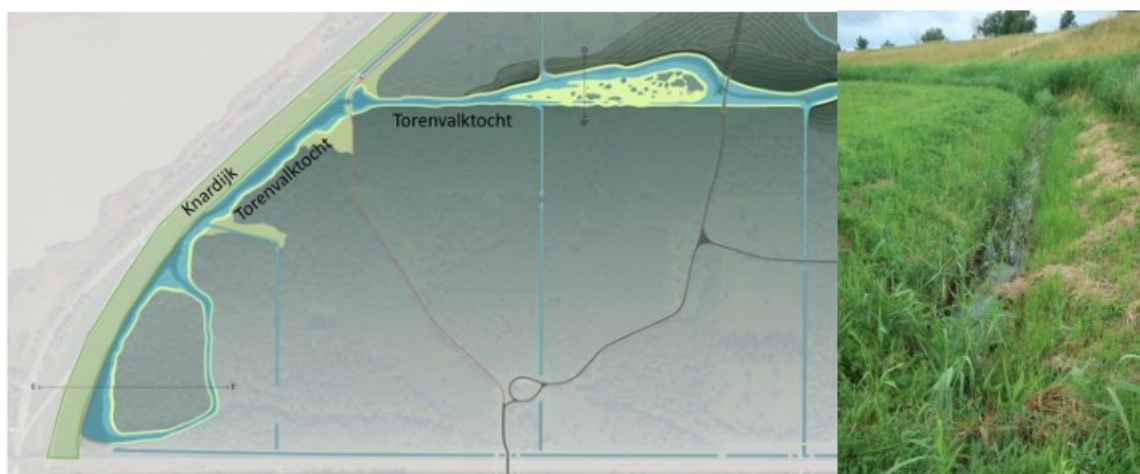
-

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Staatsbosbeheer en de gemeente Lelystad voeren een verkenning uit rond de aanleg van recreatiegebied 'Poort Lelystad' in het Hollandse Hout. Centraal in het plan staat de aanleg van een natuurkampeerterrein voor Staatsbosbeheer. Het idee is daarbij om dit aan te leggen op een serie kleine eilanden, die alleen per kano bereikbaar zijn. Ook is het nodig om de watergangen te verbreden en te verdiepen, waaronder de torenvalktocht. De torenvalktocht is een watergang die dwars op de Knardijk aansluit, zie afbeelding 1.1. De huidige sloot die langs de Knardijk ligt, wordt ook mee verbreed en verdiept richting het achterland. De beoordeling is gebaseerd op achtergrondrapporten beleidsregels [ref. 4] en functionele eisen [ref. 7] van de Knardijk.

Afbeelding 1.1 Positie torenvalktocht ten opzichte van de Knardijk in de nieuwe situatie en rechts de huidige sloot langs de Knardijk



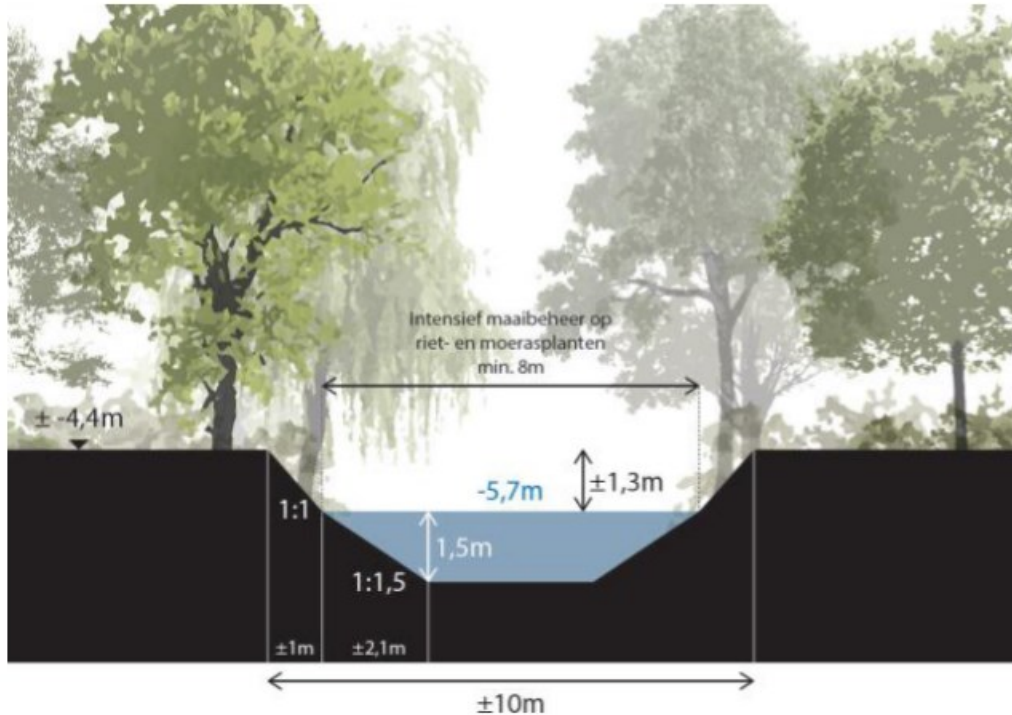
1.2 Beschrijving van de situatie

Het idee is om de torenvalktocht die dwars op de Knardijk gelegen is te verdiepen en te verbreden. Hiermee is het van belang dat de Knardijk niet bezwijkt. In 2007 was de Knardijk een regionale kering en sinds 2019 is de bestempeling veranderd van regionale kering naar overige kering [ref. 7], volgens opgave van waterschap Zuiderzeeland. Voor de Knardijk heeft het waterschap Zuiderzeeland beleidsregels [ref. 4] opgesteld. Hierbij staat duidelijk beschreven dat de Knardijk voor 5 dagen het water tegen dient te houden, indien de primaire kering faalt. Zo kunnen de bewoners van de achterliggende polder evacueren. De functie van de Knardijk is die van een vertragend element in geval van falen van de primair kering. Daarnaast heeft de dijk een cultuurhistorische waarde.

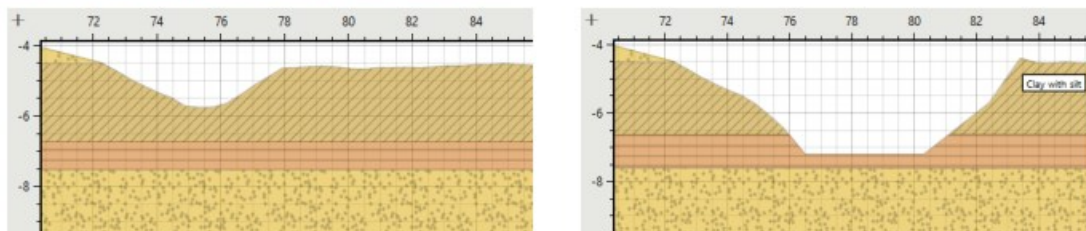
Tot 2050 wordt de primaire kering versterkt. In verband met deze versterking wordt het kerend vermogen van de Knardijk voorlopig gehandhaafd, ondanks de lagere kwalificatie van de Knardijk. In de stabiliteitsanalyse van de Knardijk wordt daarom uitgegaan van de maatgevende omstandigheden behorend bij een primaire kering. Hierbij is het van belang dat het huidige grondlichaam van de Knardijk met de bijbehorende bekleding gehandhaafd blijft. De Knardijk zelf is geen evacuatieroute. De beschermingszone van de Knardijk bedraagt 20 m en is gerekend vanaf de teen van de dijk.

De watergang wordt verdiept tot NAP -7,2 m, zie afbeelding 1.2. De bodembreedte van de watergang is hierbij 3,8 m, zie afbeelding 1.2. Voor de watergang verbreding en verdieping is als basis de huidige sloot van de dijkzijde aangehouden en is vanaf daar de watergang erin geschematiseerd, zie afbeelding 1.3. Op de Knardijk staan, in tegenstelling tot de suggestie in afbeelding 1.2, geen bomen.

Afbeelding 1.2 Indicatieve ontwerptekening verbreding en verdieping watergang



Afbeelding 1.3 Huidige situatie versus de de nieuwe situatie



1.3 Doel

Het doel van deze notitie is dat de verbreding en verdieping van de watergang niet zodanig de waterveiligheid van de Knardijk mogen verslechteren, waardoor de Knardijk zijn functie verliest. De functie van de Knardijk is vijf dagen HW keren, indien de primaire kering faalt. De notitie presenteert de aanpak en uitgangspunten om tot een ontwerp te komen waarin de waterveiligheid geborgd is.

1.4 Scope

De waterveiligheid van de Knardijk is gecontroleerd op binnenwaartse macrostabiliteit en een kwalitatieve piping beschouwing tijdens maatgevende omstandigheden. Het gaat om een deel van de Knardijk vanaf kilometerpaal 19,8 tot en met 20,6, zie afbeelding 1.4. De binnenwaartse stabiliteitsanalyse is uitgevoerd bij de eindfase. Momenteel zijn er geen tekeningen van de realisatie fase aanwezig.

Afbeelding 1.4 Hectometring Knardijk



1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de werkwijze om de waterveiligheid te borgen opgenomen. In hoofdstuk 3 zijn de uitgangspunten nader toegelicht. Daarna zijn in hoofdstuk 4 de resultaten van de stabiliteitsanalyse en piping weergegeven. Tot slot is in hoofdstuk 5 de conclusie beschreven.

2 WERKWIJZE OM WATERVEILIGHEID TE BORGEN

2.1 Norm

Het waterschap kiest voor een instandhoudingsnorm voor het kernprofiel en de overhoogte A van de Knardijk [ref. 4]. Dat is iets anders dan een norm die aangeeft welke maatgevende omstandigheden de dijk moet kunnen keren of bij welke omstandigheden de dijk mag falen. Aangezien het om een overige kering gaat, heeft deze geen norm.

2.2 Stabiliteit

Aangezien er geen norm van toepassing is, mag de stabiliteit niet significant achteruit gaan ten opzichte van de huidige situatie. Waterschap Zuiderzeeland heeft tevens als eis meegegeven dat de safetyfactor boven 1,0 dient te zijn. De binnenwaartse stabiliteitsanalyse van de Knardijk is geborgd door twee D-stability sommen te schematiseren, één van de huidige situatie en de ander in de nieuwe situatie. In D-stability is gerekend met de methode van Uplift-Van, omdat er wordt verwacht dat de glijcirkels diep en ver lopen vanwege de ontgraving. De glijcirkels worden niet begrensd.

2.3 Piping

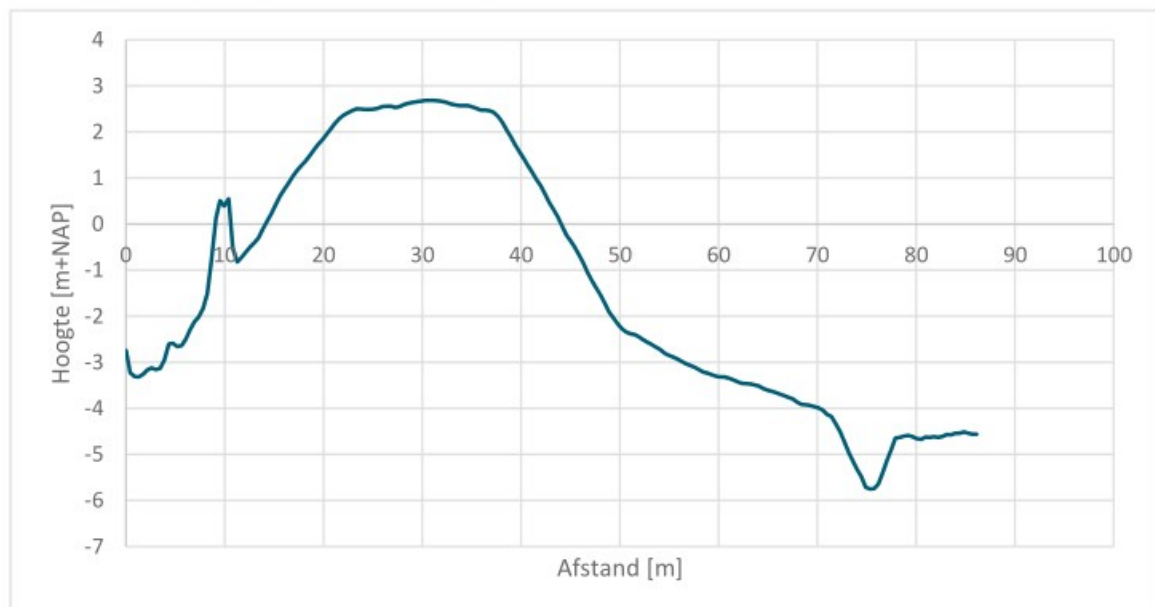
Piping van de Knardijk is geborgd door een kwalitatieve beschouwing. Hierbij zijn de achtergrondrapporten beleidsregels [ref. 4] en de functionele eisen [ref. 7] van de Knardijk gebruikt. De watergang wordt verbreed richting het achterland en wordt verdiept.

3 UITGANGSPUNTEN

3.1 Profielgeometrie

Met behulp van AHN-3 gegevens is het maatgevende dwarsprofiel gegenereerd en is weergegeven in afbeelding 3.1. Bij het maatgevende profiel is rekening gehouden met de kortste afstand vanaf de binnenteen naar de sloot. De geometrie van de Knardijk is uniform, conform de ontwerptekeningen van de legger van waterschap Zuiderzeeland.

Afbeelding 3.1 Maatgevend profiel binnentalud Knardijk met sloot



3.2 Opbouw dijk

In de beleidsregel Knardijk [ref. 4] is aangegeven dat het kernmateriaal bestaat uit zand. In 2011 zijn 10 sonderingen en 50 boringen gezet op/nabij de Knardijk. Een aantal sonderingen zijn in de kruin gezet en

hieruit is de zandkern bevestigd [ref. 5]. Boven op de zandkern is wel een kleileeflaag aanwezig, zodat gras zich goed kan wortelen in de kleilaag. Het gaat hier om een zanddijk op klei-ondergrond.

3.3 Ondergrondschematisatie

Boring B47 en sondering DKM8 zijn gebruikt om de bodemopbouw van de Knardijk samen te stellen. De sondering is gebruikt om het kernmateriaal te schematiseren en de boring om het binnenlandse maaiveld te schematiseren. Deze boring heeft de dikste deklaag en is hierdoor maatgevend. Opbarsten is hier niet van invloed, omdat de binnen- en buitenwaterstand relatief laag zijn. De ondergrondschematisatie is weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ondergrondschematisatie

Naamgeving laag	Bovenkant [m + NAP]	Dikte [m]	Bron
zand	+2,5	4,85	sondering DKM8
klei met zandlaagjes	-2,35	1,7	sondering DKM8
zand	-4,05	0,35	boring B45
klei met zandlaagjes	-4,40	2,33	boring B45
veen	-6,73	0,8	boring B45
zand	-7,53	0,3	boring B45

3.4 Geotechnische parameters

De sterkteparameters landelijke database voor dijktraject 8-1 [ref. 6] en de proevenverzameling van de Drontermeerdijk [ref. 11] zijn vanuit waterschap Zuiderzeeland aangeleverd. De locatie van de sterkteparameters wordt hieronder toegelicht. Dijktraject 8-1 ligt aan de zuidzijde van Flevoland. De Drontermeerdijk is gelegen aan de oostzijde van Flevoland. Deze documenten zijn gebruikt als bron voor de geotechnische parameters [ref. 6]. De karakteristieke waarde is gelijk gesteld aan de rekenwaarde, conform het Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [ref. 10].

3.4.1 Volumiek gewicht

Voor het volumiek gewicht zijn de sterkteparameters landelijke database voor dijktraject 8-1 gebruikt [ref. 6]. De gebruikte waarden voor het volumiek gewicht zijn weergegeven in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Invoer volumiek gewicht

Materiaal soort	Onverzadigd gewicht [kN/m ³]	Verzadigd gewicht [kN/m ³]
zand toplaag	17,0	19,0
zand pleistoceen	18,0	19,8
klei met zandlaagjes	15,0	15,5
veen	10,0	10,1

3.4.2 Gedraineerde sterkteparameters

In het WBI2017 [ref. 1] wordt gerekend met het CSSM-sterktemodel. Hierin is de cohesie (c) standaard nul. Hieronder wordt de hoek van inwendige wrijving (ϕ) toegelicht. De gedraineerde sterkteparameters komen uit de proevenverzameling van de Drontermeerdijk [ref.11] en zijn weergegeven tabel 3.3. De proevenverzameling van de Drontermeerdijk [ref. 11] is hiervoor gebruikt, omdat in de sterkteparameters landelijke database voor dijktraject 8-1 [ref. 6] niet de gedraineerde sterkteparameters voor zand zijn gegeven.

Tabel 3.3 Invoer gedraineerde sterkteparameters

Materiaal soort	ϕ , rekenwaarde [°]
zand top laag	32,2
zand	35,0

3.4.3 Ongedraineerde sterkteparameters

De ongedraineerde sterkteparameters, waaronder de schuifsterkteratio (S) en sterkte-toename-exponent (m), komen uit de sterkteparameters landelijke database voor dijktraject 8-1 [ref. 6]. Voor de POP geeft de schematiseringshandleiding [ref. 2] de karakteristieke waarden, zie tabel 3.4.

Tabel 3.4 Invoer ongedraineerde sterkteparameters

Materiaal soort	S, reken waarde	m, reken waarde	POP reken waarde
klei met zandlaagjes	0,31	0,873	13,8
veen	0,35	0,885	1,0

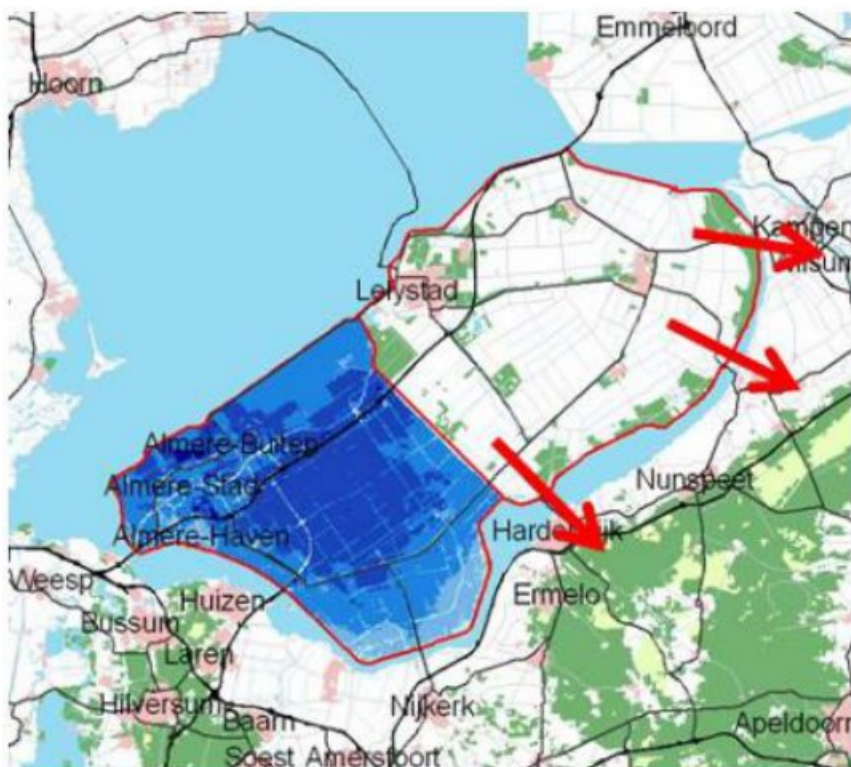
3.5 Hydraulische belastingen

Conform de beleidsregels [ref. 4] en de functionele eisen [ref. 7] dient de Knardijk de maatgevende waterstanden te keren omdat de dijk als een compartimenteringsdijk is aangewezen. Opgemerkt wordt dat de primaire kering wordt versterkt tot 2050.

Aan de buitenzijde van de Knardijk zijn de Oostvaardersplassen aanwezig. Uitgaande van de beleidsregel Knardijk [ref. 4] is de maatgevende situatie bij een dijkdoorbraak NAP -0,40 m. Hierin zit een toeslag van 0,5 m in verwerkt. Deze toeslag wordt buiten beschouwing gelaten, omdat het een conservatief uitgangspunt is. Dit is afgestemd met waterschap Zuiderzeeland. Hierdoor is de waterstand NAP -0,90 m. De Torenvalktocht heeft volgens waterschap Zuiderzeeland een variërende waterstand van NAP -6,0 m tot NAP -6,2 m. De Torenvalktocht is gelegen aan de binnenzijde van de Knardijk. De waterstand bij de Oostvaardersplassen varieert tussen NAP -3,6 m tot NAP -4,0 m bij dagelijkse omstandigheden.

Hierbij is de maatgevende situatie een hoge buitenwaterstand (NAP -0,9 m) en een lage binnenwaterstand (NAP -6,2 m) aangehouden. Hierbij is het verval 5,3 m. Ter illustratie de binnenwaterstand is lager dan de binnentoe van de dijk.

Afbeelding 3.2 Evacuatie Oostelijk Flevoland en ondergelopen Zuidelijk Flevoland [ref. 7, figuur 8b]



3.6 Freatische lijn

De freatische lijn van de zanddijk op klei is geschematiseerd, conform Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken [ref. 9].

3.7 Stijghoogte lijn

De stijghoogte lijn is gelijk gehouden aan de freatische lijn. Dit is een conservatief uitgangspunt omdat er buiten kilometerpaal 5,8 t/m 18,3 een afdichtende kleilaag aanwezig is bij het intredepunt, conform functionele eisen Knardijk [ref. 7]. Hierdoor is er geen respons voor waterspanningen in de korte tijd van 5 dagen. Opgemerkt is dat de stijghoogte lijn geen invloed heeft op de vergelijking tussen de nieuwe en de huidige situatie.

3.8 Verkeersbelasting

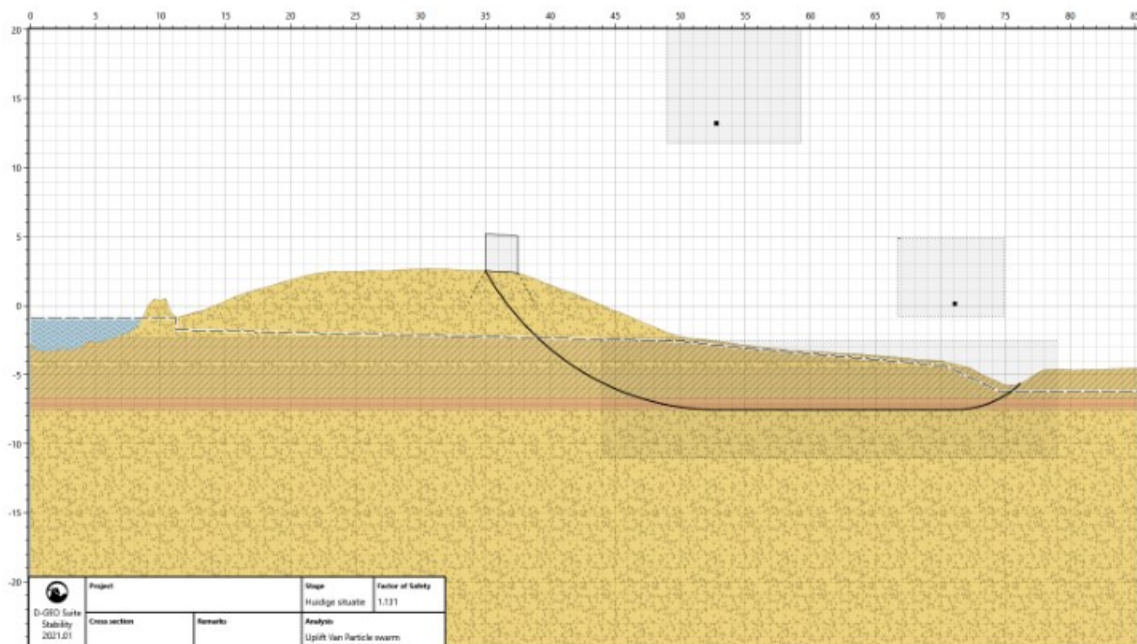
Er is rekening gehouden met verkeersbelasting [ref. 2]. Er is uitgegaan van $13,3 \text{ kN/m}^2$ over een breedte van 2,5 m, conform Handreiking Constructief Ontwerpen [ref.3] en functionele eisen Knardijk [ref. 7]. Voor de belastingspreiding is een spreidingshoek van 30° aangehouden. Voor cohesieve lagen (klei met zandlaagjes en veen) is het aanpassingspercentage op 0 % gesteld en voor niet-cohesieve lagen op 100 % (zand). Dit is een conservatief uitgangspunt.

4 RESULTATEN

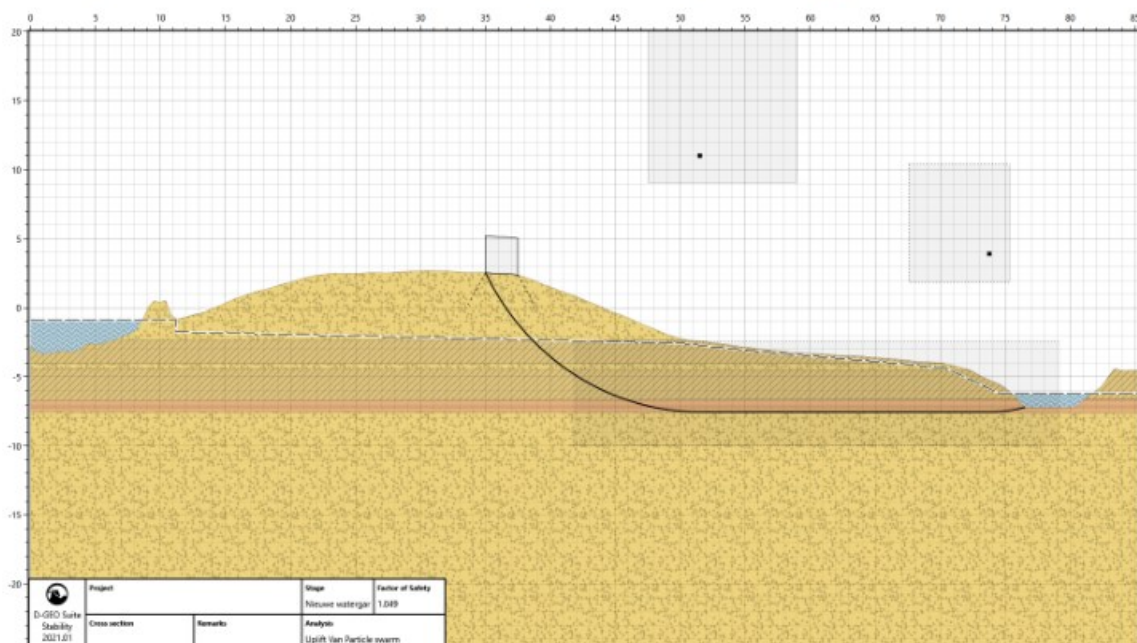
4.1 Stabiliteitsanalyse

In D-stability is het binnentalud in de huidige situatie en in de nieuwe situatie van de Knardijk geschematiseerd. Het binnentalud van de Knardijk heeft een helling van 1:3,0. De safety factor van de Knardijk in de huidige situatie is 1,131, zie afbeelding 4.1. De safety factor van de Knardijk in de nieuwe situatie is 1,049, zie afbeelding 4.2. De nieuwe situatie heeft ook een safetyfactor boven de 1,0 en het verschil tussen de huidige en de nieuwe situatie is klein. Hierdoor is er geen stabiliteitsprobleem bij de Knardijk.

Afbeelding 4.1 Resultaat van de binnenwaartse stabiliteitsanalyse van de Knardijk met sloot



Afbeelding 4.2 Resultaat van de binnenwaartse stabiliteitsanalyse van de Knardijk met watergang



4.2 Piping

In het te ontwerpen deel (vanaf kilometerpaal 19,8 tot en met 20,6) is piping niet relevant. Piping is wel relevant tussen kilometerpaal 5,8 t/m 18,3, conform functionele eisen Knardijk [ref. 7]. Dit komt omdat er buiten deze kilometerpaal (binnen 19,8 tot en met 20,6) een afdichtende kleilaag aanwezig is bij het intredepunt. Het te ontwerpen deel van de watergang nabij de Knardijk valt buiten het relevante piping deel.

5 CONCLUSIE

De waterveiligheid van de Knardijk is geborgd in de nieuwe situatie. Uit de stabiliteitsanalyse komt een safetyfactor boven de 1,0 uit en het verschil tussen de huidige en de nieuwe situatie is klein. Voor piping is een kwalitatieve analyse toegepast en het nieuw te ontwerpen deel ligt buiten het relevante piping deel van de Knardijk. Hierdoor is piping niet van toepassing in de huidige situatie en in de nieuwe situatie, omdat de watergang wordt verbreed richting het achterland en verdiept. De Knardijk met watergang kan nog steeds zijn functie waarborgen met betrekking tot de waterveiligheid.

6 REFERENTIELIJST

- 1 Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017). Bijlage III - Sterkte en veiligheid.
- 2 Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2021). Schematiseringshandleiding macrostabiliteit.
- 3 TAW (1994). Handreiking Constructief Ontwerpen.
- 4 Waterschap Zuiderzeeland (2019). Beleidsregel Knardijk.
- 5 Arcadis Nederland B.V. (2011). Grondonderzoek Knardijk te Flevoland.
- 6 HKV (2021). Sterkteparameters landelijke database voor dijktraject 8-1.
- 7 Waterschap Zuiderzeeland (2017). Functionele eisen Knardijk ten behoeve van evacuatie van het niet-overstroomde deel van de Flevopolder.
- 8 NEN (2012). Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: Algemene regels.
- 9 TAW (2004). Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, ISBN-90-369-5565-3.
- 10 TAW (2001). Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies.
- 11 Boskalis (2019). Versterking Drontermeerdijk ontwerpbasis dijkontwerp en geotechniek.