

Analyse aanleghoogte en controle stabiliteit

Rondehoep West, traject A148



Lijst met aanpassingen

Versie	Datum	Beschrijving van de wijziging
C1.0	09-10-2023	Eerste versie uitgangspunten
C2.0	03-11-2023	Resultaten zettingsberekeningen
C3.0	12-01-2024	Resultaten stabiliteitsberekeningen
D1.0	31-10-2024	Robuustheidsfactor toegevoegd

Sweco Nederland B.V.	30129769
Onderwerp	INGD Dijkverbetering Rondehoep Oost en West
Projectnummer	51016261
Klant	Waterschap Amstel, Gooi en Vecht
Auteur	Marit Lambers, Meles Tewolde
Gecontroleerd door	Martijn Peters 
Vrijgegeven door	Marieke van den Broek 
Datum	31-10-2024
Versie	D1.0
Document referentie	NL24-648800269-108329_Analyse aanleghoogte en controle stabiliteit_Rondehoep West, traject A148

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Doel	4
1.3	Projectlocatie	4
1.4	Scope	5
1.5	Leeswijzer	5
2	Algemene uitgangspunten	6
2.1	Planperiode en IPO-klasse	6
2.2	Vakindeling	6
2.3	Geometrie en bodemschematisering	7
2.4	Grondparameters	8
2.4.1	Sterkteparameters	8
2.4.2	Zettingsparameters	9
2.5	Hydraulische randvoorwaarden	10
2.5.1	Freatische lijn	10
2.5.2	Stijghoogte	11
2.5.3	Opdrijven en opbarsten	11
2.6	Programmatuur	11
3	Uitgangspunten faalmechanismen	12
3.1	Hoogte	12
3.2	Macrostabiliteit binnenwaarts	12
3.2.1	Veiligheidsfilosofie	13
3.2.2	Verkeersbelasting	14
4	Geotechnisch ontwerp	15
4.1	Aanleghoogte	15
4.2	Controle op stabiliteit na kruinverhoging	15
4.3	Robuustheidsfactor	16
5	Conclusie en aanbevelingen	17
	Referenties	18
	Appendix A Stabiliteitsberekeningen	19

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2021 zijn binnen de afdeling Projecten van Waternet de projecten dijkverbetering de Rondehoep Oost 2^e fase, traject A145 (ten zuiden van A9 tot Stokkelaarsbrug) en Rondehoep West, traject A148 (ten zuiden van Achterdijk 21 tot de Waver) gestart.

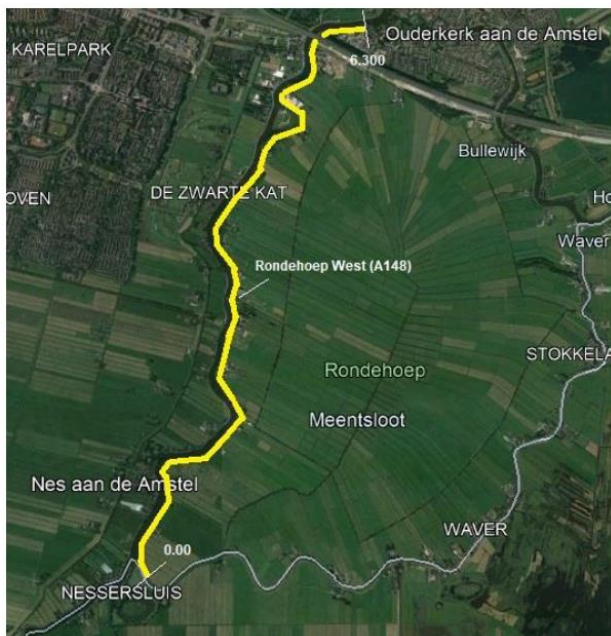
In deze rapportage wordt verder ingegaan op de Rondehoep West, traject A148 welke een lengte heeft van 6.300 meter. Uit toetsing en nadere geotechnische beschouwingen blijkt dat het gehele dijktraject niet op hoogte is voor de komende 30 jaar en dus opgehoogd moet worden [2].

1.2 Doel

Het doel van dit rapport is het vaststellen van de aanleghoogte voor dijktraject A148. Dit wordt gedaan met behulp van 8 zettingsberekeningen. Bovendien worden ter controle 8 stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op 4 locaties (met teensloot dicht bij de waterkering) uitgaande van de bepaalde aanleghoogte.

1.3 Projectlocatie

De dijk langs Rondehoep West, traject A148, beschermt de polder Rondehoep tegen de rivier de Amstel. De dijk ligt in de provincie Noord-Holland, in de gemeente Ouder-Amstel. In Figuur 1-1 is de ligging van de Rondehoep West weergegeven.



Figuur 1-1: Ligging de Rondehoep West, traject A148 [1]

1.4 Scope

In dit rapport wordt de aanleghoogte bepaald voor dijkverbetering Rondehoep West, traject A148 tot metrerling 6.300 m. Dit wordt gedaan op basis van zettingsberekeningen. Er is geen stabiliteitsopgave aanwezig, maar er wordt wel gecontroleerd of de stabiliteit blijft voldoen na de ophoging.

1.5 Leeswijzer

In deze rapportage komen de volgende hoofdstukken naar voren:

- Hoofdstuk 2: Algemene uitgangspunten
- Hoofdstuk 3: Uitgangspunten faalmechanismen
- Hoofdstuk 4: Geotechnisch ontwerp
- Hoofdstuk 5: Conclusie en aanbevelingen

2 Algemene uitgangspunten

In dit hoofdstuk zijn de algemene geotechnische uitgangspunten gegeven. De geotechnische uitgangspunten worden gebruikt voor het bepalen van de aanleghoogte en de controleberekeningen op stabiliteit.

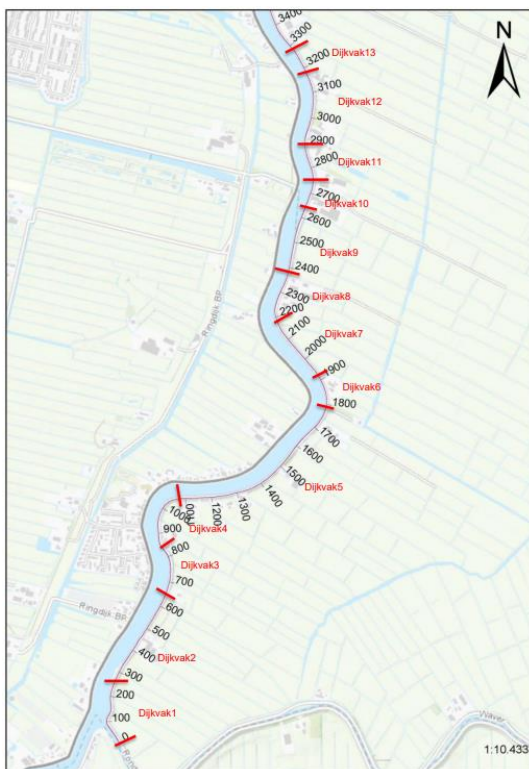
Voorafgaand aan de huidige technische uitwerking van de aanleghoogte is door Waternet een scopebepaling uitgevoerd en zijn uitgangspunten voor de dijkverbetering vastgesteld door Waternet [2][3][3]. Ten behoeve van de continuïteit sluiten de uitgangspunten hier zoveel mogelijk op aan.

2.1 Planperiode en IPO-klasse

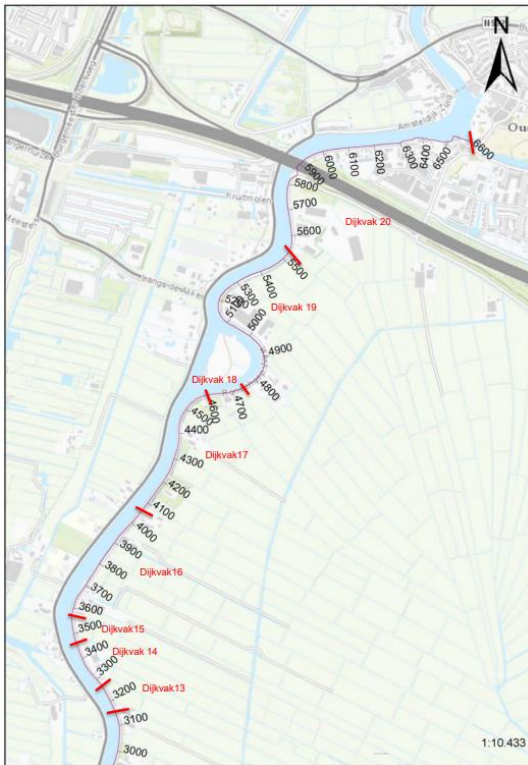
De waterkering dient na oplevering een restlevensduur te hebben van 30 jaar. Het dijktraject is opgenomen in de Provinciale Verordening. De vastgestelde veiligheidsnorm is veiligheidsklasse III (IOP-Klasse) met de bijhorende overschrijdingskans van 1/100 per jaar [2].

2.2 Vakindeling

De dijkvakindeling is in de scopebepaling gebaseerd op de geometrie van het dijktraject wat geresulteerd heeft in 20 dijkvakken. Deze dijkvakindeling wordt aangehouden. In Figuur 2-1 en Figuur 2-2 is de dijkvakindeling van traject A148 te zien. Hieraan moet worden bijgesteld dat dijkvak 20 in de huidige scope loopt tot metrerings 6300.



Figuur 2-1: Dijkvakken Rondehoep West, traject A148 (metrerings 0-3260) [3]



Figuur 2-2: Dijkvakken Rondehoep West, traject A148 (metreering 3170-6607) [3]

2.3 Geometrie en bodemschematisering

Voor alle dijkvakken zijn maatgevende dwarsprofielen gegenereerd door Waternet met behulp van het AHN4 [2]. De grondopbouw is met behulp van archiefgegevens, sonderingen, boringen en geotechnische lengteprofielen per dijkvak bepaald. Deze schematisering is bovendien toegepast voor de toetsing door Waternet [3]. In zijn algemeenheid is vastgesteld dat het dijklichaam grotendeels uit zand bestaat waaronder zich dunne veen- en kleilagen bevinden van circa 1 m dik gevolgd door een dikkere (zwaardere) kleilaag tussen NAP -5 en NAP -10 m. Vanaf NAP -10 m is het pleistocene zandpakket aanwezig. Tussen de zware klei en pleistocene zandlaag is een dunne veenlaag van circa 1 m aanwezig.

In Tabel 2-1 is een overzicht van de maatgevende dwarsprofielen met beschouwde boringen en sonderingen weergegeven. Met de maatgevende bodemopbouw en het maatgevende dwarsprofiel zijn modelschematiseringen opgesteld door Waternet [3].

Tabel 2-1: Vakindeling en bijbehorende boringen en sonderingen maatgevende dwarsprofielen [3]

Dijkvak [-]	Metrering [m]		Metrering van de maatgevende dwarsprofielen	Beschouwde boringen	Beschouwde sonderingen
	Van	Tot			
1	0	240	10	L05-40;L05-46	L05-34;L05-35
2	240	620	510	L05-63;L05-62	L05-47
3	620	820	690	L05-195;L05-196	L05-47
4	820	1090	915	L05-47-;L05-67;L05-68	L05-54
5a	1090	1400	1680	L05-70;L05-45;L05-69	
5b	1400	1780	1680	L05-197;L05-198	
6	1780	1900	1800	L05-50;L05-80	L05-73
7	1900	2160	1980	L05-164;L05-163;L05-2;L05-3	
8	2160	2360	2300	K05-18;K05-16	
9	2360	2610	2540	K05-212;K05-213	
10	2610	2760	2710	K05-112;K05-28	
11	2760	2900	2790	K05-31;K05-51;K05-50;K05-33	K05-13
12	2900	3170	3050	K05-39;K05-38	K05-19
13	3170	3330	3180	K05-43;K05-45;K05-41	K05-21
14	3330	3480	3340	K05-48;K05-46;K05-47	
15	3480	3560	3490	K05-5;K05-49;K05-4;K05-5;K05-6;K05-7	
16	3560 (3850)	4080 (3900)	3870	K05-61;K05-62;K05-63	
17	4080	4600	4570	J05-19;J05-28;J05-4;J05-20	
18	4600	4720	4630	J06-32;J06-109	J06-59
19a	4720	5100	4740	J06-278;J06-279	J06-59
19b	5100	5530	4740	J06-126;J06-123;J05-37	
20	5530	6300	5560	J06-201;J06-99	

2.4 Grondparameters

2.4.1 Sterkteparameters

In Tabel 2-2 zijn de sterkteparameters (rekenwaarden) opgenomen van de verschillende grondsoorten, gebaseerd op de AGV-proevenverzameling van Waternet uit 2019 [5].

Tabel 2-2: Grondparameterset (gebaseerd op 5% rek) [3]

Grondsoort	Volumiek gewicht		Rekenwaarde	
	Range	γ_d / γ_n [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	ϕ [°]
Klei	10,8-13,5	12,65	3,84	25,14
Klei	13,5-15,0	14,30	4,20	25,38
Klei	15,0-17,0	15,45	3,34	26,78
Klei	17,0-20,0	17,90	0,09	31,83
Veen	10,0-10,8	10,30	1,44	26,11
Zand, los	17,0	17,0/19,0	0,0	30,0
Zand, pleistoceen	19,0	19,0/21,0	0,0	35,0

Waarvoor geldt:

γ_d	Volumegewicht van de grond bij natuurlijk watergehalte
γ_n	Volumegewicht van verzadigde grond
c'	Effectieve cohesie (rekenwaarde)
ϕ'	Effectieve hoek van inwendige wrijving (rekenwaarde)

2.4.2 Zettingsparameters

Om de aanleghoogte te bepalen en uitspraak te doen over eventueel benodigde uitvoeringsfasering is het belangrijk om rekening te houden met optredende zettingen en consolidatiesnelheid. De zettingsparameters die gebruikt worden zijn gegeven in Tabel 2-3. Deze zijn overgenomen uit de proevenverzameling van Waternet [6].

Tabel 2-3: Rekenwaarden zettingsparameters AGV 2015 [6]

Grondsoort	Range	γ_d / γ_n [kN/m ³]	C_p/C_p' [-]	C_s/C_s' [-]	C_v [m ² /s]	OCR [-]	POP [kN/m ²]
Klei	10,8-13,5	12,65	40,18/9,58	287,10/69,80	$1,02 \cdot 10^{-6}$	-	10
Klei	13,5-15,0	14,30	53,10/12,04	404,64/134,58	$4,30 \cdot 10^{-7}$	-	10
Klei	15,0-17,0	15,45	47,98/14,21	396,57/146,59	$3,30 \cdot 10^{-7}$	-	10
Klei	17,0-20,0	17,90	72,48/30,48	634,16/226,10	$1,48 \cdot 10^{-6}$	-	10
Veen	10,0-10,8	10,30	44,22/6,58	246,96/94,46	$3,91 \cdot 10^{-6}$	-	5
Zand, los	17,0	17,0/19,0	$4,0 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$	Gedraineerd	1,3	[-]
Zand, pleistoceen	19,0	19,0/21,0	$4,0 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$	Gedraineerd	1,3	[-]
Klei Antropogeen		16,20	47,98/14,21	396,57/146,59	$3,30 \cdot 10^{-7}$	-	10

Waarvoor geldt:

γ_d/γ_n	Volumegewicht van aardvochtig/verzadigde grond
C_p	Primaire samendrukkingsconstante voor de grensspanning
C_s	Secundaire samendrukkingsconstante voor de grensspanning
C_p'	Primaire samendrukkingsconstante na de grensspanning
C_s'	Secundaire samendrukkingsconstante na de grensspanning
C_v	Verticale consolidatie coëfficiënt
OCR	Over Consolidation Ratio
POP	Pre-Overburden Pressure

2.5 Hydraulische randvoorwaarden

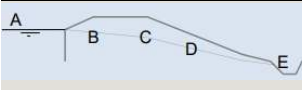
De polder aangrenzend aan de Rondehoep West, traject A148 heeft een zomerpeil tussen NAP -2,60 en NAP -2,86 m. Het streefpeil in de boezem is vastgesteld op NAP -0,40 m.

De hydraulische randvoorwaarden worden 2 situaties vastgesteld. Voor de zettingsberekeningen wordt uitgegaan van een dagelijkse condities waarbij de buitenwaterstand gelijk aan het streefpeil van de boezem. Voor de stabiliteitsberekeningen wordt rekening gehouden met maatgevende buitenwaterstandcondities. Voor beide situaties wordt een gelijke waarde aangehouden voor de binnenwaterstand (gelijk aan streefpeil polder). In de volgende alinea's worden de freatische lijnen voor de verschillende situaties toegelicht.

2.5.1 Freatische lijn

De schematisering van de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden is weergegeven in Tabel 2-4.

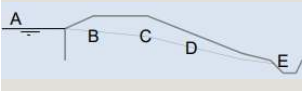
Tabel 2-4: Freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden [2], punt B en C op basis van scopebepaling Rondehoep Oost 2^e fase, traject A145 [7]



	A Boezem-peil [m+NAP]	B Buiten-kruinlijn [m+NAP]	C Binnen-kruinlijn [m+NAP]	D Binnen-teen [m+NAP]	E Polderpeil/ slootpeil [m+NAP]
0-3600	-0,40	-0,80	-0,90	Interpolatie	-2,86
3600-5860	-0,40	-0,80	-0,90	Interpolatie	-2,68
5860-6300	-0,40	-0,80	-0,90	Interpolatie	-2,60

De schematisering van de freatische lijn onder maatgevende omstandigheden is weergegeven in Tabel 2-5.

Tabel 2-5: Freatische lijn onder maatgevende omstandigheden [2], punt B aangepast op basis van scopebepaling Rondehoep Oost 2^e fase, traject A145 [7]



	A Boezem-peil [m+NAP]	B Buiten-kruinlijn [m+NAP]	C Binnen-kruinlijn [m+NAP]	D Binnen-teen [m+NAP]	E Polderpeil/ slootpeil [m+NAP]
0-3600	+0,00	-0,20	-0,60	MV	-2,86
3600-5860	+0,00	-0,20	-0,60	MV	-2,68
5860-6300	+0,00	-0,20	-0,60	MV	-2,60

2.5.2 Stijghoogte

De dagelijkse stijghoogte in het eerste watervoerende pakket varieert tussen NAP -4,00 m en NAP -5,00 m (isohypsenkaart 2019). De onderverdeling van de stijghoogte over de metrerings is weergegeven in Tabel 2-6.

Tabel 2-6: Dagelijkse stijghoogte in eerste watervoerende pakket [2]

Metrerings [m]	Stijghoogte [m+NAP]
0-1450 m	-5,00
1450-3600 m	-4,75
3600-6300 m	-4,25 (bij metrerings 5980 -4,06)

2.5.3 Opdrijven en opbarsten

De waterremmende lagen onder de teensloot bestaan grotendeels uit kleilagen met een volumegewicht van circa 15,0 kN/m³ en veenlagen van circa 11,0 kN/m³. Door de dikke waterremmende lagen van circa 6 meter is de neerwaartse druk veel groter dan de opwaartse druk. Het quotiënt van de neerwaartse gronddruk en de opwaartse waterdruk is groter dan de vereiste opbarstveiligheid van 1,2. Bij dit dijktraject kan het fenomeen opbarsten/opdrijven worden uitgesloten.

2.6 Programmatuur

Voor de berekeningen wordt gebruikt gemaakt van de D-Series van Deltares:

- Zettingsberekeningen worden uitgevoerd in D-Settlement versie 21.2.1.
- De stabiliteitsberekeningen worden uitgevoerd in D-geo Stability versie 18.2.

3 Uitgangspunten faalmechanismen

Na de algemene uitgangspunten zijn in dit hoofdstuk de specifieke uitgangspunten per faalmechanisme opgenomen.

3.1 Hoogte

De ontwerphoogte wordt bepaald door de afkeurhoogte in combinatie met de autonome bodemdaling.

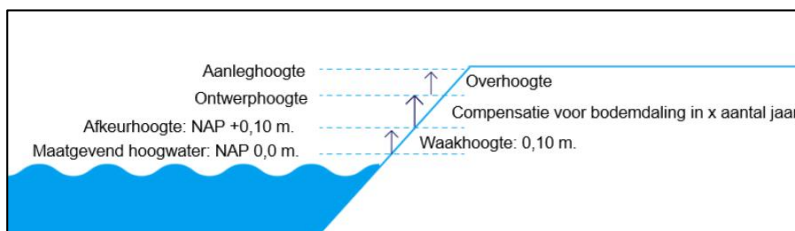
Bij het ontwerp wordt uitgegaan van een Maatgevend Hoog Water (MHW) op NAP +0,00 m en een waakhoogte van 0,10 m. De afkeurhoogte is daarmee NAP +0,10 m. [2]

Voor de achtergrondzetting wordt een vaste waarde van 9 mm/jaar aangehouden voor het hele traject. Deze waarde is vastgesteld door het waterschap. Voor de planperiode van 30 jaar resulteert dit in 27 cm in totaal.

In Figuur 3-1 is een overzicht van de bepaling van de aanleghoogte illustratief weergegeven. Met behulp van zettingsberekeningen wordt de benodigde overhoogte bepaald om over 30 jaar aan de afkeurhoogte te voldoen. Dit plaatst de ontwerphoogte op NAP +0,37 m (MHW + waakhoogte + compensatie voor bodemdaling).

Volgens deze ontwerphoogte light de huidige situatie onder hoogte op de volgende locaties tussen metrerings: 200-1000, 1200-2200, 2300-2600, 2700-2800, 3000-3600, 4000-4550, 4750-5300 en 5700-5900.

De aanleghoogte wordt bepaald voor dijkvakken 4, 5b, 9, 13, 17, 19a en 20. Deze dijkvakken zijn gekozen omdat ze een lage huidige hoogte hebben en/of er een dikke veenlaag aanwezig is in het maatgevende dwarsprofiel. Voor de dijkvakken 3, 13, 16, 17 en 19a geldt dat de aanleghoogte bepaald wordt omdat ze (bovendien) maatgevende profielen zijn voor binnenwaartse stabiliteit.



Figuur 3-1: Bepaling aanleghoogte dijk

3.2 Macrostabiliteit binnenwaarts

Door Waternet is in 2019 een scopebepaling uitgevoerd met stabiliteitsberekeningen [8]. Een deel van de resultaten wordt gepresenteerd in Tabel 3-1. Vervolgens is voor de dijkvakken met een stabiliteitsopgave extra bodemonderzoek uitgevoerd. Met behulp van de optimalisatie van de bodem zijn alle dijkvakken goedgekeurd op stabiliteit. Verder is de dijk getest op kruinhoogtestijging tot NAP+0,40 m.

Tabel 3-1: Resultaten STBI-toetsing (A148) Rondehoep West uit [8]

Dijkvak/ Meterering [m]	Scopebepaling 2019: Resultaten STBI-berekeningen		Resultaten STBI- berekeningen waarbij de dijk wordt opgehoogd NAP+0.40 m (voor een levensduur van 30 jaar)	
	Bishop veiligheidseis: 0,95	Spencer veiligheidseis: 0,91	Bishop veiligheidseis: 0,95	Spencer veiligheidseis: 0,91
DV1/010	1,11	1,14	1,11	1,14
DV2/510	1,67	1,67	1,66	1,72
DV3/690	0,85	0,88	0,96	1,04
DV4/915	1,09	1,06	1,06	1,06
DV5a/1680	1,07	0,95	1,06	0,95
DV5b/1680	0,93	1,01	1,35	1,27
DV6/1800	1,58	1,56	1,51	1,53
DV7/1980	1,14	1,20	1,08	1,14
DV8/2300	1,48	1,49	1,46	1,47
DV9/2540	0,84	0,89	1,03	1,12
DV10/2710	1,28	1,29	1,27	1,27
DV11/2790	1,07	1,09	1,03	1,01
DV12/3050	1,10	1,12	1,05	1,07
DV13/3180	1,08	1,03	0,95	0,93
DV14/3340	1,35	1,39	1,28	1,35
DV15/3490	1,06	1,10	1,02	1,08
DV16/3870	1,03	1,08	0,95	1,02
DV17/4570	1,00	1,07	0,97	1,03
DV18/4630	1,17	1,28	1,14	1,25
DV19a/4740	0,87	0,90	1,02	1,00
DV19b/4740	1,14	1,14	1,00	1,04
DV20/5560	1,38	1,49	1,34	1,45

De macrostabiliteit wordt in deze analyse als controleberekening uitgevoerd na het bepalen van de aanleghoogte. Uit Tabel 3-1, de binnenwaartse macrostabiliteit wordt bepaald voor dijkvakken 3, 13, 16, 17 en 19a omdat dit de maatgevende profielen zijn voor binnenwaartse stabiliteit volgens de beoordeling van Waternet.

3.2.1 Veiligheidsfilosofie

Het ontwerp ten aanzien van de macrostabiliteit wordt uitgewerkt conform de LTRVW [9] aan de hand van vereiste veiligheidsfactor. De veiligheidsfactor is het product van de schadefactor, modelfactor, schematiseringsfactor. Bovendien wordt voor het ontwerpen is nog een robuustheidsfactor opgeteld bij de schadefactor. Allen zijn hieronder beschreven.

3.2.1.1 Schadefactor

De waarde van de schadefactor is afhankelijk van de IPO-klasse van de kering en bedraagt 0,90 voor een IPO-klasse III kering [9].

3.2.1.2 Modelfactor

De modelfactor wordt bepaald door het rekenmodel. Omdat er geen sprake is van opbarsten wordt de methode Bishop gebruikt en Spencer-Van der Meij als controle. Bishop is geschikt als model aangezien een cirkelvormig glijvlak wordt verwacht. Grote afwijkingen tussen de berekende resultaten van de

gehanteerde rekenmodellen geven een indicatie dat het maatgevende glijvlak nog niet is gevonden. Een overzicht van de modelfactoren per rekenmodel en voor wel en niet opbarsten is weergegeven in Tabel 3-2.

Tabel 3-2: Modelfactoren per rekenmodel

Rekenmodel	Modelfactor (niet opbarsten)
Bishop	1,00
Spencer-Van der Meij	0,95

3.2.1.3 Schematiseringsfactor

De schematiseringsfactor is afhankelijk van de mate van onzekerheid in de schematisering. Deze factor varieert tussen 1,0 en 1,2. Voor de stabiliteitsberekening die Waternet reeds uitgevoerd heeft is een schematiseringsfactor van 1,06 toegepast voor Bishop en 1,09 voor Spencer [3]. Deze wordt bij de controlestabiliteitsberekeningen ook aangehouden.

3.2.1.4 Vereiste veiligheidsfactor ontwerp

In Tabel 3-3 is de vereiste veiligheidsfactor afgeleid. De veiligheidsfactor voor het ontwerp is het product van de schadefactor, modelfactor en schematiseringsfactor. Voor een robuust ontwerp dient de robuustheidsfactor (0,05) te worden opgeteld bij vereiste stabiliteitsfactor. Dit is nader uitgewerkt in H4.3.

Tabel 3-3: Vereiste stabiliteitsfactor

Model	IPO-klasse	Schematiseringsfactor	Model-factor	Schade-factor	Vereiste stabiliteitsfactor (F)
Bishop	III	1,06	1,00	0,90	0,95
Spencer-Van der Meij	III	1,09	0,95	0,90	0,93

3.2.2 Verkeersbelasting

Voor het gehele dijktraject is een weg aanwezig op de kruin van 4 of meer meter. Om dit verkeer mee te nemen wordt een verkeersbelasting van 14,3 kN/m² meegenomen in de berekeningen. Dit is in lijn met de Memo verkeersbelasting van Waternet [10].

Voor de cohesieve grondsoorten wordt als gevolg van de verkeersbelasting een aanpassingspercentage van zijn 50% aangehouden [10]. Voor zandlagen geldt een aanpassing van 100%. Als spreiding in de ondergrond wordt een hoek van 0° aangehouden [3].

4 Geotechnisch ontwerp

4.1 Aanleghoogte

De aanleghoogte is bepaald voor dijkvakken 4, 5b, 9, 13, 17, 19a en 20. Dit is gedaan door de zetting behorende bij de ophoging (bepaalt door de benodigde kruinhoogte aan het eind van de planperiode plus de aanwezige achtergrondzetting over de planperiode) op te tellen bij de ontwerphoogte. Vervolgens is de aanleghoogte naar boven afgerond op 5 cm. Deze ophoging is aanwezig over een breedte van 3 meter over de kruin. In Tabel 4-1 zijn de resultaten van de zettingsberekeningen en uiteindelijke aanleghoogte te vinden.

Tabel 4-1 Aanleghoogte bepaling maatgevende dijkvakken

Dijkvak/ metrering	Benodigde kruinhoogte einde planperiode	Bodemdaling over planperiode	Optredende zetting planperiode	Aanleghoogte
	[NAP + m]	[m]	[m]	[NAP + m]
DV4/ 900	+0,10	-0,27	-0,03	0,40
DV5b/1525	+0,10	-0,27	-0,03	0,40
DV9/2540	+0,10	-0,27	-0,01	0,40
DV13/3230	+0,10	-0,27	-0,02	0,40
DV17/4260	+0,10	-0,27	-0,02	0,40
DV19a/4887	+0,10	-0,27	-0,01	0,40
DV20/5700	+0,10	-0,27	-0,04	0,45

De bovenstaande zetting is met gemiddelde zettingsparameters berekend. Dit betekent dat in praktijk de zetting waarschijnlijk gemiddeld over het traject plaatsvindt. Door te rekenen met karakteristieke waarden, kan de optredende zetting tweemaal zo groot zijn¹. Vanwege de onzekerheid en de gewenste uniformiteit voor het traject wordt een aanleghoogte voor de westzijde van de Rondehoep van **NAP +0,45 m** geadviseerd.

4.2 Controle op stabiliteit na kruinverhoging

De stabiliteit van de dijk na het verhogen van de dijk tot NAP +0,45 m is gecontroleerd met STBI berekeningen. De ophoging van de dijk wordt uitgevoerd in zand. De berekening is gemaakt voor de dijkvakken: 3, 13, 16, 17 en 19a, omdat deze vakken de laagste stabiliteitsfactor hebben en daarmee maatgevend zijn. Tabel 4-2 toont de resultaten van de berekening.

Tabel 4-2 Resultaat STBI berekening na verhoging van de dijkvakken

¹ Op basis van enkele gevoeligheidsanalyses op DV20 van de Rondehoep west

Dijkvak/ metreering	STBI-berekeningen waarbij de dijk wordt opgehoogd tot NAP +0,45m (voor een levensduur van 30 jaar)		Eindoordeel Voldoende (V)/ Onvoldoende (OV)
	Bishop veiligheidseis: 0,95	Spencer veiligheidseis: 0,93	
DV3/ 690	0,98	1,02	V
DV13/ 3180	1,02	0,97	V
DV16/ 3870	0,97	0,98	V
DV17/ 4570	1,03	1,07	V
DV19a/ 4740	1,09	1,13	V

Uit de resultaten van de stabiliteit berekeningen blijkt dat alle dijkvakken voldoen met een ophoging tot NAP +0,45 m.

4.3 Robuustheidsfactor

Vanuit beheer is de sterke wens voor een robuust ontwerp, zodat de kering met de nieuwe hoogte ook voldoet aan de stabiliteit inclusief robuustheidsfactor. Conform de norm zijn geen stabiliteitsmaatregelen benodigd. Wanneer de robuustheidsfactor resulteert dit in een nieuwe veiligheidseis van 1,00 en 0,98 (voor model Bishop en Spencer). Zoals te zien is in Tabel 4-2 voldoen DV3, DV13 en DV16 niet volledig aan de nieuwe veiligheidseisen. In deze paragraaf worden aanvullende maatregelen beschreven om wel te voldoen aan de veiligheidseis met robuustheidsfactor.

De afstand tot de vereiste veiligheidseis inclusief robuustheidsfactor is beperkt. In principe worden de taluds de drie dijkvakken die nu niet voldoen aan de veiligheidseis met robuustheidsfactor verflauwd tot een talud van 1:3. Deze herprofilering wordt uitgevoerd in klei (13,5-15,0). Zoals te zien is in Tabel 4-3 voldoen de profielen dan al aan de eis. Bij DV3 is in huidige situatie al sprake van een berm. Deze berm wordt ook strak getrokken en licht opgehoogd.

Tabel 4-3 Resultaat stabiliteit na herprofilering (incl. robuustheidsfactor)

Dijkvak/ metreering	Beschrijving aanpassing	STBI-berekeningen waarbij de dijk wordt opgehoogd tot NAP +0,45m (voor een levensduur van 30 jaar)	
		Bishop veiligheidseis: 1,00	Spencer veiligheidseis: 0,98
DV3/ 690	Herprofilering talud (1:3) en berm	1,03	1,03
DV13/ 3180	Herprofilering talud (1:3)	1,04	1,01
DV16/ 3870	Herprofilering talud (1:3)	1,00	1,01

Met minimale maatregelen wordt voldaan aan de eis inclusief robuustheidsfactor. Daarom worden deze herprofileringen opgenomen in het ontwerp.

5 Conclusie en aanbevelingen

Op basis van de resultaten van de hoogteanalyse weergegeven in Tabel 4-1 wordt een aanleghoogte van NAP +0,45 m geadviseerd. Deze hoogte geldt voor de gehele lengte van de Rondehoep West.

Uit de resultaten van de stabiliteitsberekeningen blijkt dat na het aanbrengen van de benodigde grondverhoging tot NAP +0,45 m de geanalyseerde dijkvakken: 3, 13, 16, 17 en 19a vol voldoen aan de gestelde veiligheidseisen. Om een robuust ontwerp te hebben worden de taluds van dijkvakken 3, 13 en 16 verflauwd (herprofilering) tot 1:3. Bij dijkvak 3 wordt ook de berm strak getrokken en lichtelijk opgehoogd. Deze maatregelen hebben geen impact op het ruimtegebruik.

Referenties

Gebruikte gegevens

- [1] PVE / Opdrachtschrijving t.b.v. ingenieursdiensten DVB Rondehoep Oost en West, Waternet, 1 juni 2023.
- [2] Nota van uitgangspunten dijkverbetering Rondehoep West A148, Waternet, 11 november 2021.
- [3] Scopebepaling Ronde Hoep – West A148, Waternet, 15 juli 2020.
- [4] Ronde Hoep West (AO2-148B) - Rapport geavanceerde toetsing macrostabiliteit binnenwaarts, hydraulische kortsluiting en piping, Rapportnummer 11.029351, Waternet, 18 augustus 2011.
- [5] Regionale proevenverzameling; Sterkteparameters ondergrond beheergebied AGV, Rapportnummer 16.083578, Waternet, 1 september 2016.
- [6] Review AGV en Omegam proevenverzameling (samendrukkingsparameters), Waternet, 30 april 2015.
- [7] Technische scopebepaling A145 Rondehoep Oost, Waternet, 20 oktober 2022.
- [8] STBI A148

Normen en richtlijnen

- [9] Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen, STOWA, 2015.
- [10] Memo verkeersbelasting voor handboek, Waternet, 4 november 2020.

Appendix A Stabiliteitsberekeningen

