

Notitie

Referentienummer
330865

Datum
9 juli 2014

Kenmerk
KvdG-DO2

Betreft

Geotechnische berekeningen en Ontwerp verbetering waterkering Broekhornpolder

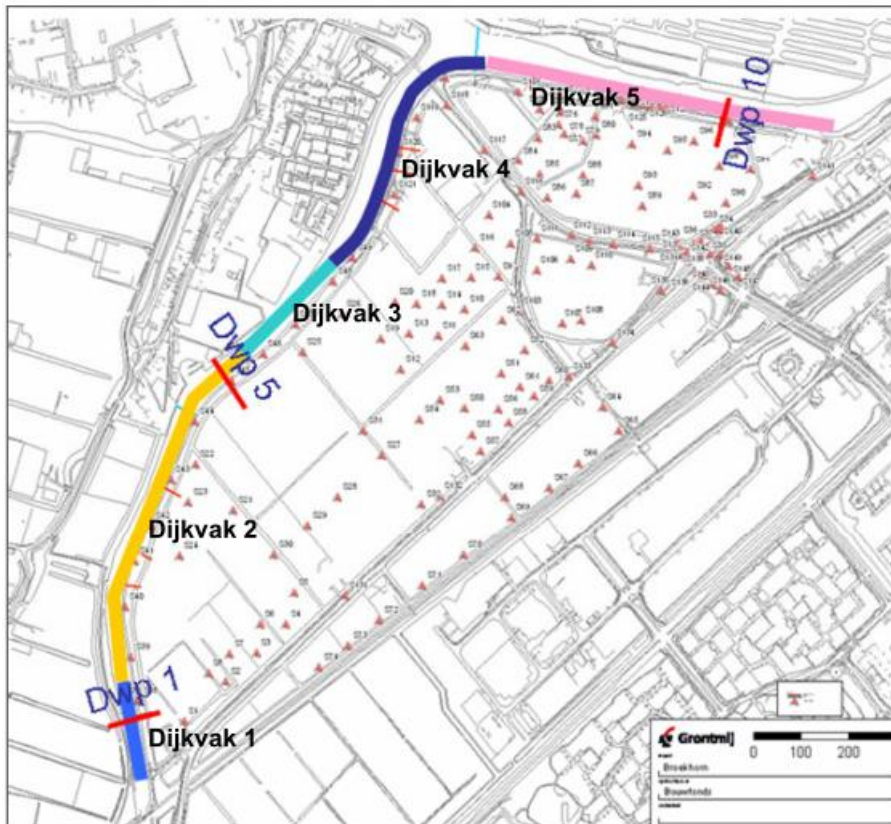
1 Inleiding

Het gebied binnen de polder Broekhorn (onderdeel van de polder Heerhugowaard), gelegen ten noordwesten van Heerhugowaard, wordt opnieuw ingericht. Hierbij wordt in het noordoostelijk deel van de polder een woonwijk gerealiseerd. In het zuidwestelijk deel van de polder wordt een natuurgebied in ontwikkeling gebracht. Dit natuurgebied zal bestaan uit de aanleg van bloemrijk grasland vanaf de kwelstoot achter de huidige waterkering en een plas-draszone. De voorwaarde voor de aanleg van deze ecozone is dat het toekomstige dijkverbeteringen niet mag belemmeren.

De polder Broekhorn wordt omringd door een waterkering met een lengte van circa 2,5 km. In 2007 zijn de waterkeringen rondom de polder Broekhorn getoetst op veiligheid tegen overstromen. Uit deze veiligheidstoetsing bleek dat de waterkering onvoldoende veilig is beoordeeld op de belangrijkste faalmechanismen. Derhalve dient de waterkering verbeterd te worden om in de toekomst aan de vastgestelde veiligheidseisen te kunnen voldoen.

Voorliggende notitie beschrijft het geotechnisch dijkontwerp voor de dijkvakken 2 en 3. De ligging van deze dijkvakken is opgenomen in figuur 1.1. De dijkvakken zijn gelegen in het zuidwestelijk deel van de polder Broekhorn. Achter de betreffende dijkvakken is de aanleg van een ecozone gepland. Aan het geotechnisch dijkontwerp liggen onderstaande documenten ten grondslag:

- [1] Gebiedsontwikkeling Broekhorn. Toetsing op veiligheid boezemkade Broekhorn. Grontmij Nederland B.V., 10 december 2007;
- [2] Heroverweging ontwerp waterkering t.p.v. Broekhorn langs het kanaal Alkmaar (Omval) – Kolhorn. HHNK, maart 2013;
- [3] Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies (TRWG) + addendum. Geotechnische aspecten van dijken, dammen en boezemkaden. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), juni 2001;
- [4] Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken (TRWD). Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), september 2004;
- [5] Regionale proevenverzameling Boezemkaden Noord-Holland v1, Leo Kwakman, maart 2013;
- [6] Samendrukkingsparameters definitief LK. HHNK, april 2013;
- [7] Technische rapport klei voor dijken. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), mei 1996.



Figuur 1.1 Dijkvakindeling waterkering Broekhornpolder (onderdeel polder Heerhugowaard)

2 Doelstelling

De dijkvakken 2 en 3 zijn in de veiligheidstoetsing afgekeurd op de faalmechanismen Piping (STPI), Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI), Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) en Micro-instabiliteit (STMI) [1]. Beide dijkvakken zijn goedgekeurd op het faalmechanisme Overlopen/Overslag (HT). De actuele kruinhoogten van dijkvak 2 en 3 (circa NAP+0,40 m) voldoen aan de minimaal benodigde kruinhoogte. Voor dijkvak 2 is deze minimaal benodigde kruinhoogte bepaald op NAP +0,38 m, voor dijkvak 3 is deze hoogte bepaald op NAP +0,39 m. Bij het bepalen van de minimaal benodigde kruinhoogte is in de toetsing rekening gehouden met een achtergrondzetting.

Als onderdeel van de toetsing zijn per faalmechanisme verbetermaatregelen voorgesteld [1]. Op basis van nieuwe inzichten dient het reeds voorgestelde dijkontwerp aangescherpt of herzien te worden. De belangrijkste wijziging ten aanzien van de toetsing is de beschikbaarheid van een regionale proevenverzameling, opgesteld door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK, [5]), waarin de sterkteparameters voor de diverse grondlagen zijn afgeleid. Ook is in het voorliggende ontwerp een schematiseringsfactor van 1,10 aangenomen [2].

Grontmij is gevraagd om voor de dijkvakken 2 en 3 een dijkontwerp op te stellen op basis van het faalmechanisme Macrostabiliteit binnenwaarts. Hierbij is tevens de invloed van de aanleg van een ecozone achter de kwelsloot in beschouwing genomen. De overige faalmechanismen, waarvoor de dijkvakken in de veiligheidstoetsing een onvoldoende oordeel toegekend hebben gekregen (STPI, STMI en STBU), zijn kwalitatief beschouwd in hoofdstuk 3. In het dijkontwerp zijn deze faalmechanismen niet meegenomen.

3 Nadere beschouwing faalmechanismen STPI, STMI en STBU

3.1 *Piping (STPI)*

Conform de toetsing van de waterkering zijn de dijkvakken 2 en 3 onvoldoende beoordeeld op het faalmechanisme Piping [1]. Bij gebruik van de eenvoudige rekenmethode van Bligh is voor zowel dijkvak 2 als 3 een tekort aan kwelweglengte van circa 40 m berekend.

In de toetsing is gesteld dat voor de dijkvakken 2 en 3 hydraulische kortsluiting tussen het boezemwater en de watervoerende zandlaag onder de dijk niet uitgesloten kan worden. Recentelijk zijn door HHNK lokaal peilbuizen geplaatst om de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket te meten. Tevens zijn boringen in de boezembodem uitgevoerd en is de introdeweerstand van de boezembodem bepaald. Uit dit onderzoek volgt dat ter plaatse van dijkvak 2 en 3 geen sprake is van een (groot) potentiaalverschil (verhang) in de watervoerende zandlaag als gevolg van hydraulische kortsluiting. Dit is te verklaren door het feit dat ter plaatse van de boezem een slechte waterdoorlatende deklaag is aangetroffen van circa 1 meter dik die bestaat uit klei en slib. Daarnaast is het watervoerende pakket op de betreffende locaties goed doorlatend (hoge transmissiviteit), waardoor de invloedszone van een lokale hydraulische kortsluiting beperkt is. Op basis van deze resultaten kan het voorkomen van piping uitgesloten worden (email HHNK, J. Haanstra, dd. 28-05-2014).

3.2 *Micro-instabiliteit (STMI)*

In 2011 is door het hoogheemraadschap een toetsing uitgevoerd van de hele Heerhugowaard-polder. De broekhornpolder is in deze toetsing gelijk aan dijkvak of sectie 11 (Ref. "Grondonderzoek en toetsing boezemkaden Heerhugowaard_075682827_VC", Arcadis, 4 okt 2011). Voor deze toetsing is aanvullend grondonderzoek uitgevoerd in deze sectie, inclusief boringen in het binnentalud van de waterkering. Op basis van deze gegevens is sectie 11 als voldoende beoordeeld op microstabiliteit. Op basis van de boringen in de kern en het binnentalud van de waterkering blijken er cohesieve lagen in de binnenteen aanwezig te zijn (niet volledig uit zand) en is er geconcludeerd dat er voldoende drainage van de binnenteen is.

3.3 *Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)*

Uit de toetsing volgt dat onvoldoende gegevens beschikbaar zijn voor het boezempeil na val, het verloop van het onderwatertalud en de aanwezigheid en staat van eventueel aanwezige beschoeiingen [1]. De buitenwaartse stabiliteit is alleen voor dijkvak 5 berekend. Hierbij is gerekend met een val van het peil van NAP -0,00 m (MBP) naar NAP -0,90 m (0,40 m onder streefpeil). Uitgangspunt is dat de dijk verzadigd is tot aan het maatgevend boezempeil. De gestelde stabiliteitsindex is 1,0. De berekende stabiliteit voor dijkvak 5 bedraagt 0,83. Het dijkvak heeft daardoor een onvoldoende oordeel toegekend gekregen voor het faalmechanisme Macrostabiliteit buitenwaarts.

Het is onduidelijk waarom dijkvak 5 in de toetsing als maatgevend voor de buitenwaartse stabiliteit is aangemerkt. Voor de toetsing waren slechts een beperkt aantal inmeetgegevens van het buitentalud beschikbaar. Mogelijk zijn deze wel voor dijkvak 5 beschikbaar geweest. In de stabiliteitsberekening is geen beschoeiing geschematiseerd. In de toetsing is genoemd dat de berekening als indicatief beschouwd dient te worden door het gebrek aan gegevens. Hierbij kan nog genoemd worden dat HHNK in de huidige toetsing geen rekening meer houdt met een peilval bij de beoordeling van STBU.

Het is onduidelijk of in de buitenteen van dijkvak 2 en 3 een beschoeiing aanwezig is. Op het moment van schrijven van deze notitie wordt door de Provincie Noord-Holland de laatste hand gelegd aan de inventarisatie van beschoeiingen/damwanden land het Kanaal Alkmaar-Kolhorn.

Wanneer geen beschoeiing aanwezig is, of de staat van de beschoeiing is slecht, is het een mogelijkheid om een constructie in de buitenteen aan te brengen.

Wanneer het wenselijk is om het buitentalud te verbeteren met grond is het aan te bevelen goede meting van het onderwatertalud uit te voeren. Bij het verbeteren in grond dient benadrukt te worden dat klei zich niet laat verdichten onder water en dat tijdens het herprofilen van het buitentalud (met name onder water) een beschoeiing wenselijk is. Daarnaast zal bij het herprofilen van het buitentalud mogelijk de natte omtrek van de boezem verkleind worden. Er dient nagegaan te worden of dit met betrekking tot waterberging/-afvoer wenselijk is.

4 Randvoorwaarden dijkontwerp

Voor de dijkvakken 2 en 3 is een ontwerp opgesteld om de binnenwaartse stabiliteit gedurende 30 jaar te kunnen garanderen. Voor beide dijkvakken is hetzelfde ontwerp voorzien. Dit is gerechtvaardigd omdat zowel de geometrie als de bodemopbouw van de representatieve dwarsprofielen (rekenprofiel 5 voor dijkvak 2 en rekenprofiel 1 voor dijkvak 3) weinig van elkaar verschillen. De berekeningen zijn uitgevoerd voor rekenprofiel 5 (dijkvak 2) aangezien dit profiel wat betreft de stabiliteit, vanwege de grotere dikte van de aanwezige slappe grondlagen in de kern van de dijk, maatgevend is. De belangrijkste randvoorwaarden ten aanzien van het dijkontwerp zijn hieronder beschreven:

- Uitgangspunten ten aanzien van het ontwerp is de aanleg van een steunberm achter de waterkering en de (gedeeltelijke) verlegging van de huidige teensloot. De steunberm dient tevens als onderhoudsberm voor HHNK.
- In de berekeningen wordt uitgegaan van de ontwatering van de waterkering door een teensloot waarin het huidige polderpeil wordt geschematiseerd. Hierbij wordt benadrukt dat voor dijkvak 3 geldt dat bij handhaven van dit slootpeil, de teensloot nagenoeg droog ligt.
- Nieuwe of gedeeltelijk te ontgraven teensloten zijn met dezelfde geometrie (breedte op de waterlijn en waterdiepte) geschematiseerd als de huidige teensloot.
- De insteek van de nieuwe teensloot (zowel aan de zijde van de dijk als het achterland) wordt ontgraven onder een helling van 1:3.
- Voor de uitvoer van de kadeverbetering is voor de (gedeeltelijke) demping van de teensloot zand als ophoogmateriaal aangenomen (gebiedseigen materiaal dat vrijkomt bij het ontgraven van de teensloot in het achterland), voor de steunberm is als ophoogmateriaal klei aangenomen.

4.1 Invloed toekomstige ecozone op dijkontwerp

Uit de plantekeningen volgt dat de ecozone op enige afstand van de waterkering gerealiseerd zal worden. Vanaf de kwelsloot wordt een bloemrijk grasland gerealiseerd met een maaiveldniveau van NAP -2,90 m. Dit niveau is gelijk aan het huidige maaiveld in de Broekhornpolder. Voorbij dit grasland wordt een plas-/draszone aangelegd op een niveau van NAP -3,60 m. Waarbij de bodemniveau van de natte gebieden NAP -4,30 m zal bedragen. Voor dijkvak 2 en 3 geldt dat in het huidige plan de plas-/draszone op circa 20-35 m afstand vanaf de kwelsloot achter de waterkering wordt gerealiseerd.

Hierbij dient de huidige teensloot gehandhaafd te worden om de afwatering van de waterkering te kunnen garanderen. Voor deze (huidige) situatie is het dijkontwerp doorgerekend, deze situatie kan als maatgevend worden beschouwd. Voor de binnenwaartse stabiliteit geldt dat bij mogelijk afschuiven van de waterkering het afschuifvlak begrensd wordt door de kwelsloot. De aanleg van de ecozone achter de kwelsloot heeft derhalve geen negatief effect op de beschouwde situatie. Hierbij gelden wel de voorwaarden dat er geen peilwijzigingen mogen optreden in de kwelsloten en dat de bestaande bodembreedtes en diepten van de kwelsloten gehandhaafd blijven [1].

4.2 Verloop freatische lijn in kern waterkering

Voor de schematisatie van de bodemopbouw is uitgegaan van de stabiliteitsberekeningen die ten behoeve van de veiligheidstoetsing zijn uitgevoerd door Grontmij [1]. Hierin is voor de situatie hoogwater de ligging van het freatisch vlak in de dijk aangepast. In de toetsing is voor de schematisatie van het freatisch vlak in de kering uit gegaan van een dijk met een kleikern. Voor de dijkprofielen representatief voor de dijkvak 2 en 3 geldt dat deze een zandkern hebben. Derhalve is het verloop van de freatische lijn lineair geschematiseerd. Het uitredpunt ligt hierbij circa 0,25*h boven het punt waar de steunberm aansluit op het binnentalud (h is hierbij het verschil tussen het MBP en het punt waarbij de steunberm aansluit op het binnentalud). Tijdens maatgevende omstandigheden is in de berekeningen aangenomen dat de steunberm grotendeels verzadigd is. Dit is een conservatieve aanname gezien het feit dat de freatische lijn in de kern van de dijk in praktijk waarschijnlijk lager zal liggen. Intredend water zal, doordat het buitentalud hoogstwaarschijnlijk niet geheel uit cohesieloos zand bestaat, ter plaatse van het buitentalud (enige) hydraulische weerstand ondervinden (ref. "Grondonderzoek en toetsing boezemkaden Heerhugowaard_075682827_VC", Arcadis, 4 okt 2011).

5 Uitgangspunten geotechnische berekeningen

In dit hoofdstuk zijn puntsgewijs de uitgangspunten beschreven, die zijn gehanteerd voor de geotechnische berekeningen die zijn uitgevoerd voor de bepaling van de stabiliteit van het dijkontwerp voor de uitvoeringsfase en de eindsituatie.

5.1 Veiligheidsfilosofie

- De waterkering is ingedeeld in IPO-klasse V waarvoor een vereiste schadefactor geldt van 1,00 [1] [2].
- Voor de stabiliteitsberekeningen is uitgegaan van een schematiseringsfactor van 1,10 [2].
- Tijdens de uitvoeringsfase dient de waterkering te voldoen aan een veiligheidsfactor van 0,88 (0,80 x schematiseringsfactor 1,10 [2]).
- In de eindsituatie dient de waterkering te voldoen aan een veiligheidsfactor van 1,10 (1,00 voor kade IPO-klasse V x schematiseringsfactor 1,10 [2], Tabel 5.1).

Tabel 5.1 Stabiliteitseisen waterkering Broekhornpolder

Dijkvak	Profiel	IPO-klasse	SF* uitvoeringsfase	SF* bij IPO-klasse	Schematiserings-Factor	Verseist SF* uitvoeringsfase	Vereiste SF* eindsituatie
2	5	V	0,80	1,00	1,10	0,88	1,10
3	1	V	0,80	1,00	1,10	0,88	1,10

* SF: Stabiliteitsfactor

5.2 Hydraulische randvoorwaarden

Uitgangspunten met betrekking tot de waterstanden, sloot- en polderpeilen en de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket wordt gehanteerd conform [2]. De hydraulische uitgangspunten zijn opgenomen in tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hydraulische randvoorwaarden waterkering Broekhorn

Dijkvak	Profiel	Streefpeil [m tov NAP]	MBP [m tov NAP]	Slootpeil [m top NAP]
2	5	-0,50	0,00	-3,40
3	1	-0,50	0,00	-3,40

5.3 Grondparameters

Voor de sterkteparameters is gebruik gemaakt van de parameters opgenomen in [2]. Deze waarden zijn gelijk aan de waarden opgenomen in de regionale proevenverzameling van HHNK [5]. In tabel 5.3 staan deze sterkteparameters weergegeven.

Tabel 5.3 Sterkteparameters rekenwaarden

Grondsoort	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]	Naamgeving grondlaag HHNK	c [kPa]	ϕ [°]
Zand	20,0	18,0	-	0,0	25,7
Klei	14,9	8,4	Klei_Calais	2,5	28,5
	14,6	8,2	s_z_h_o_dijk Klei_Calais s_z_h_n_dijk	2,4	26,0
Veen	10	1,8	Hollandveen_o_dijk_DM	2,5	19,6
	9,9	1,7	Hollandveen_n_dijk_BL	0,6	22,2
Wadzand	20,0	18,0	-	0,0	23,4
Zand (Pleistoceen)	20,0	18,0	-	0,0	25,7
Klei ophoogmateriaal	16,0	16,0	Klei_ophoogmateriaal	2,5	28,5

- Voor de samendrukkingsparameters is uitgegaan van de regionale proevenverzameling van HHNK [6]. De samendrukkingsparameters zijn in tabel 5.4 weergegeven.
- In de set samendrukkingsparameters van het Hoogheemraadschap is voor klei geen onderscheid gemaakt in 'onder' en 'naast' de dijk. De set met samendrukkingsparameters maakt onderscheid in klei op basis van het volume gewicht (groter of kleiner dan 16 kN/m³). Aangezien het volumegewicht van klei (zoals gepresenteerd in tabel 2-1) binnen één klasse valt (kleiner dan 16 kN/m³) zijn de samendrukkingsparameters voor de twee onderscheiden kleisoorten hetzelfde aangenomen [6].
- Voor alle kleiige en zandige grondlagen is gerekend met een POP-waarde van 10 kPa (tabel 5.4).
- Voor veen naast de dijk is een POP-waarde van 5 kPa aangenomen (tabel 5.4).

Tabel 5.4 Samendrukkingsparameters

Grondsoort	C_p [-]	C_p' [-]	C_s [-]	C_s' [-]	C_v [m/s ²]	POP [kPa]
Klei_Calais s_z_h_o_dijk	30	10	120	60	5,00E-08	10
Klei_Calais s_z_h_n_dijk	30	10	120	60	5,00E-08	10
Hollandveen_o_dijk_DM	20	5	80	30	1,00E-07	10
Hollandveen_n_dijk_BL	20	5	60	25	1,00E-07	5
Wadzand	1000	200	1,00E+09	1,00E+09	n.v.t.	10
Zand	3000	600	1,00E+09	1,00E+09	n.v.t.	10

5.4 Zettingsberekeningen

- Berekeningsmodel dat is gehanteerd: NEN-Koppejan, met natural strain
- Consolidatiemodel dat is gehanteerd: Terzaghi
- De zettingsberekeningen zijn uitgevoerd onder dagelijkse omstandigheden. Het waterpeil in de boezem is gelijk gesteld aan het streefpeil (tabel 5.2).

- Bij het wegschrijven van de gezette geometrie uit de zettingsberekening naar de stabiliteitsberekening is het berekende aanpassingspercentage van de wateroverspanning uit de zettingsberekening overgenomen.

5.5 *Stabiliteitsberekeningen*

- De stabiliteit van de waterkering in de uitvoeringsfase is uitgevoerd onder dagelijkse omstandigheden (streefpeil, tabel 5.2)
- De stabiliteit van de waterkering in de eindsituatie is uitgevoerd onder maatgevende omstandigheden (MBP, tabel 5.2)
- Voor zowel de stabiliteit in de uitvoeringsfase en in de eindsituatie is gerekend met een verkeersbelasting op de kruin van 13 kN/m^3 over een breedte van 2,5 m en een belastingspreiding van 45 graden [2].

6 **Verantwoording dijkontwerp**

6.1 *Dijkontwerp*

Het ontwerp voor de dijkvakken 2 en 3 gaat uit van een steunberm en de (gedeeltelijke) verlegging van de huidige teensloot. De steunberm dient tevens als onderhoudsberm gebruikt te worden en heeft de volgende geometrie:

- Helling: 1:15
- Minimale breedte steunberm: 4,0 m
- Hoogte aansluiting steunberm op binnentalud: NAP -1,50 m

De ontwerpschematisaties van dijkvak 2 en dijkvak 3 zijn opgenomen in bijlage 1. In bijlage 2 is een overzichtstekening opgenomen waarin het ruimtebeslag van de verbetering voor dijkvak 2 en 3 inzichtelijk is gemaakt ten aanzien van de huidige situatie. In deze overzichtstekeningen zijn ook de ontwerpprofielen opgenomen en is een voorstel voor een kadastrale correctie opgenomen.

Wanneer de ontwerpen voor de dijkvakken 2 en 3 worden uitgerold over de gehele dijkstrekking betekent dit dat de teensloot op bepaalde strekkingen dient te worden verplaatst. Dit komt doordat de afstand van de binnenteen en de insteek van de teensloot langs de dijkstrekking varieert.

6.2 *Resultaten zettingsberekening*

Voor het ontwerp voor dijkvak 2 is een zettingsberekening uitgevoerd. Door het uitvoeren van deze berekening is bepaald wat het zettingsgedrag van de ondergrond is als gevolg van de ophoging. Op basis van deze berekening is vervolgens bepaald of het ontwerp bij een gezette geometrie van de ondergrond aan de stabiliteitseisen voldoet over 30 jaar. Ook is bepaald of het ontwerp bij een gezette geometrie van de ondergrond voldoet aan de stabiliteitseisen gesteld voor de uitvoeringsfase.

Uit de resultaten van de zettingsberekening volgt dat de verwachte zettingen over 30 jaar ten gevolge van de ophoging zeer gering zijn. De maximaal berekende zetting voor dijkvak 2 bedraagt circa 0,06 m. De maximale zetting treedt op ter plaatse van de huidige binnenteen. Voor dijkvak 3 zullen de optredende zettingen ten gevolge van de ophoging iets groter. Ter plaatse van de grootste ophoging (de huidige binnenteen) bedraagt de dikte van de onderliggende slappe grondlagen 0,30 m en 0,70 m voor respectievelijk dijkvak 2 en 3. De zettingen voor dijkvak 3 zullen echter nog steeds zeer gering zijn. De zettingen ter plaatse van de binnenkruinlijn zijn verwaarloosbaar. De dijkverbetering heeft derhalve geen invloed op de kruinhoogte. Ter plaatse van de

te dempen sloten is direct zand aanwezig in de ondergrond. Bij goed opschonen van watergangen, alvorens deze te dempen, zijn er beperkte zettingen te verwachten.

De resultaten van de zettingsberekening zijn opgenomen in tabel 6.1. De grafiek met het tijd-zettingsverloop, berekend voor zowel dijkvak 2, is opgenomen in bijlage 3.

Tabel 6.1 Resultaten zettingsberekening

Dijkvak	Profiel	Verticaal (tpv huidige binnenteen)	Zetting [m]
2	5	12	0,06

6.3 Resultaten stabiliteitsberekening

Voor het dijkontwerp is beschouwd of deze aan de stabiliteitseisen voldoen in de eindsituatie (na 30 jaar). Hiervoor zijn stabiliteitsberekeningen uitgevoerd. Het resultaat van deze berekeningen zijn opgenomen in tabel 6.2. De stabiliteitsberekening voor de eindsituatie voor dijkvak 2 is opgenomen in bijlage 4. Uit de resultaten volgt dat de stabiliteit voor beide dijkvakken in de eindsituatie voldoet aan de gestelde eisen.

Tevens is een stabiliteitsberekening uitgevoerd om de stabiliteit na 0 dagen te beschouwen, deze situatie is representatief voor de uitvoeringsfase. Hierbij is het uitgangspunt dat de dijkverbetering instantaan opgebracht wordt, en dat het aanpassingspercentage van de slappe grondlagen 0% bedraagt. Dit kan beschouwd worden als een zeer conservatieve aanname. Uit de resultaten van deze berekening volgt dat de stabiliteit van de waterkering ruim voldoet aan de gestelde stabiliteitseisen voor de uitvoeringsfase. Het resultaat van de uitgevoerde stabiliteitsberekening zijn opgenomen in tabel 6.2. De stabiliteitsberekening voor de uitvoeringsfase voor dijkvak 2 is opgenomen in bijlage 5.

Tabel 6.2 Resultaten stabiliteitsberekeningen

Dijkvak	Profiel	Stabiliteit eindsituatie	Stabiliteit uitvoeringsfase
2	5	1,12	1,25
3	1	1,11	niet berekend

De geometrie van het ontwerp dat voor dijkvak 2 is doorgerekend, is geschematiseerd in een stabiliteitsberekening voor dijkvak 3. Aangezien de berekende zettingen zeer gering zijn en derhalve zeer weinig invloed hebben op de stabiliteit is voor dijkvak 3 alleen de stabiliteit in de eindsituatie bepaald. Uit de berekening (zonder gezette geometrie) volgt dat het ontwerp ook voor dijkvak 3 voldoet aan de gestelde veiligheidseisen.

In de stabiliteitsberekeningen is gebruik gemaakt van een minimum circle depth van 1,00 m. Wanneer de minimale diepte van de berekende glijcirkel niet wordt opgegeven resulteert dat in oppervlakkige afschuivingen van het binnentalud die niet onder invloed staan van de bovenbelasting (intredepunt op bovenzijde van het binnentalud) en waarvan het uittredepunt van de glijcirkel boven het punt ligt waar de berm aansluit op het binnentalud. Dit is te verklaren door het feit dat het binnentalud relatief steil is en dat de kern van de kering als zand is geschematiseerd dat geen cohesie heeft. In de praktijk zal er sprake zijn van enige cohesie van het zand, derhalve zijn deze afschuifvlakken niet als realistisch beschouwd.

Uit de aanvullende handboringen in de toetsing van 2011 voor de Heerhugowaard polder, blijkt dat de kern van de waterkering en het binnentalud niet volledig uit zand bestaan en er cohesieve

lagen aanwezig zijn (ref. "Grondonderzoek en toetsing boezemkaden Heerhugowaard_075682827_VC", Arcadis, 4 okt 2011). Het aanvullend grondonderzoek in de Broekhornpolder betreft de volgende boringen en sonderingen uit 2011: GBH-31 t/m 33, HB-GBH-31 t/m 33 en MB-GBH-06 met PB 01 en 02.

7 Uitvoeringsadvies

Ten aanzien van de uitvoering van de dijkverbetering worden de volgende adviezen gegeven:

- Voor de uitvoer van de kadeverbetering is voor de (gedeeltelijke) demping van de teensloot zand als ophoogmateriaal aangenomen (gebiedseigen materiaal dat vrijkomt bij het ontgraven van de teensloot in het achterland), voor de steunberm is als ophoogmateriaal klei aangenomen (minimaal volumiek gewicht van 16 kN/m³).
- Bij het gedeeltelijk dempen van de teensloten wordt geadviseerd de huidige teensloten eerst op te schonen alvorens deze te dempen met gebiedseigen materiaal. Stel we baggeren de sloot voorafgaand aan demping. De watergang dient te worden opgeschoond / gebaggerd tot de zanderige ondergrond. Hierdoor zijn ter hoogte van de slootdempingen ook minimale zettingen te verwachten. Het is dan mogelijk om het werk in één werkgang uit te voeren. Grote voordeel is dat er geen tijdelijke voorzieningen behoeven te worden getroffen voor bijvoorbeeld de afwatering van de achterliggende percelen en aanvoer van water via inlaten, dijsloot naar het polderachterland.
- Er is geen specifieke uitvoeringsfasering (ophoogslagen en wachttijden) benodigd, omdat de stabiliteit in de meest snelle uitvoeringsfasering al aan de vereiste veiligheid voldoet.
- Ter plaatse van de nieuwe steunberm dient het bestaande maaiveld zowel achter de waterkering alsook van het binnentalud ontdaan te worden van de grasbekleding en de laag teelaarde om zo te zorgen voor een goede aansluiting tussen de originele grond en het ophoogmateriaal waaruit de berm wordt opgebouwd.

Uit een indicatieve berekening ten aanzien van de benodigde hoeveelheid klei is gebleken dat circa 5.100 m³ (vaste kuubs) klei benodigd is voor het uitvoeren van de dijkverbetering. Hierbij is voorsnog geen rekening gehouden met een zettingscompensatie. Indien rekening dient te worden gehouden met de zettingscompensatie kan worden gekozen om het eerste deel van de steunberm (zijnde het deel met een talud van 1:15) 0,1 m hoger aan te leggen. Dit heeft geen gevolgen voor het ruimtebeslag van de dijkverbetering.

Op de tekening is tevens een voorstel aangegeven voor een kadastrale correctie. Hierbij is ervan uitgegaan dat de nieuwe kadastrale grens in het hart van de sloot komt te liggen (daar waar de sloot wordt verlegd). In totaal dient dan 1.427 m² te worden aangekocht door HHNK.

8 Conclusies en aanbevelingen

In het kader van de herinrichting van de polder Broekhorn is voor de dijkvakken 2 en 3 een dijkontwerp opgesteld op basis van het faalmechanisme Macrostabiliteit binnenwaarts. Hierbij is tevens de invloed van de aanleg van een ecozone achter de kwelsloot in beschouwing genomen. Het voorgestelde ontwerp voor de dijkvakken is als volgt:

- Steunberm met breedte 4,0 m en helling 1:15;
- Hoogte aansluiting steunberm op binnentalud: NAP -1,50 m
- (Gedeeltelijke) verlegging van de huidige teensloot.
- De insteek van de nieuwe teensloot (zowel aan de zijde van de dijk als het achterland) wordt ontgraven onder een helling van 1:3.
- De nieuwe teensloot wordt met dezelfde geometrie (breedte op de waterlijn en waterdiepte) ontgraven als de huidige teensloot.

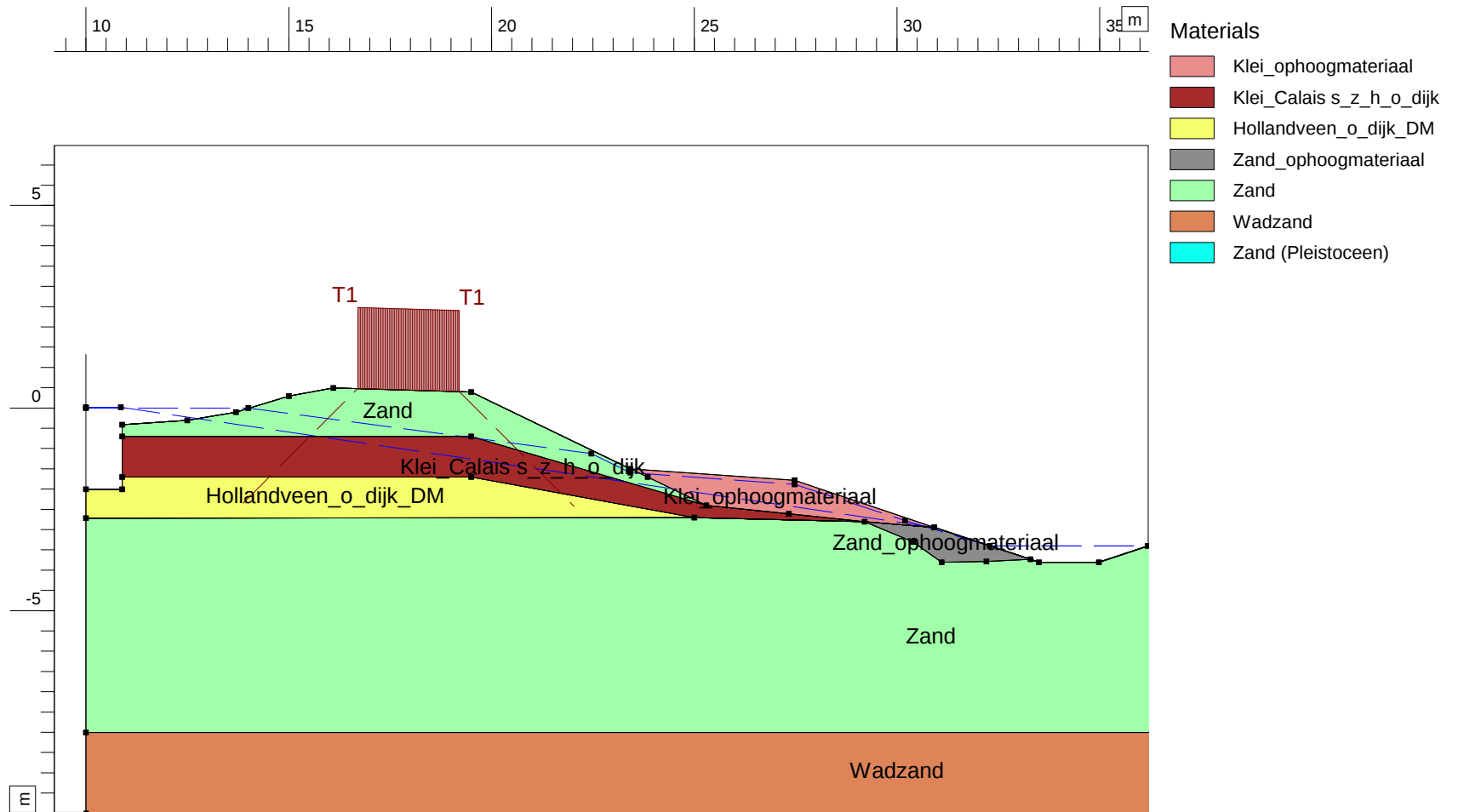
- Voor de uitvoer van de kadeverbetering is voor de (gedeeltelijke) demping van de teensloot zand als ophoogmateriaal aangenomen (gebiedseigen materiaal dat vrijkomt bij het ontgraven van de teensloot in het achterland), voor de steunberm is als ophoogmateriaal klei aangenomen.

Ten aanzien van het voorgestelde ontwerp worden de volgende conclusies en aanbevelingen gedaan:

- Voor alle beschouwde situaties wordt voor zowel dijkvak 2 als 3 voldaan aan de gestelde stabiliteitseisen.
- Voor het dijkontwerp is uitgegaan van de huidige situatie. De toekomstige ecozone, welke voorbij de kwelsloot achter de waterkering gerealiseerd zal worden, heeft geen negatief effect op de beschouwde situatie. Hierbij gelden wel de voorwaarden dat er geen peilwijzigingen mogen optreden in de kwelsloten en dat de bestaande bodembreedtes en diepten van de kwelsloten gehandhaafd blijven.
- Op basis van nader onderzoek, uitgevoerd door HHNK kan het voorkomen van piping voor de dijkvakken 2 en 3 worden uitgesloten.
- Op basis van nader onderzoek, uitgevoerd door HHNK kan het voorkomen van micro-instabiliteit voor de dijkvakken 2 en 3 worden uitgesloten.
- Voor een specifieke oplossing voor het buitenwaartse stabiliteitsprobleem zijn meer gegevens benodigd:
 - Inmetingen van het onderwatertalud.
 - Gegevens betreffende de aanwezigheid en staat van de oeverbeschoeiingen (inventarisatie wordt op het moment van schrijven van de deze notitie uitgevoerd door de provincie Noord-Holland.
 - Wanneer een verbetering in grond wenselijk is zal het buitentalud (ook onder water) geherprofileerd moeten worden. Hierdoor zal de natte omtrek van de boezem verkleinen. Duidelijk dient te zijn of dit wenselijk is vanuit waterberging en -afvoer.

Bijlage 1: Schematisatie ontwerp

Input View



Grontmij

De Holle Bit 22
3732 HM De Bilt

Phone
Fax

+31 30 220 79 11

D-Geo Stability 10.1 : Dijkvak2_DWp5_ontwerp.sti

date
6/13/2014

drw.
KvdG

Ontwerp waterkering Broekhornpolder

Dijkvak 2 - DWP5

Dijkontwerp

date

330865

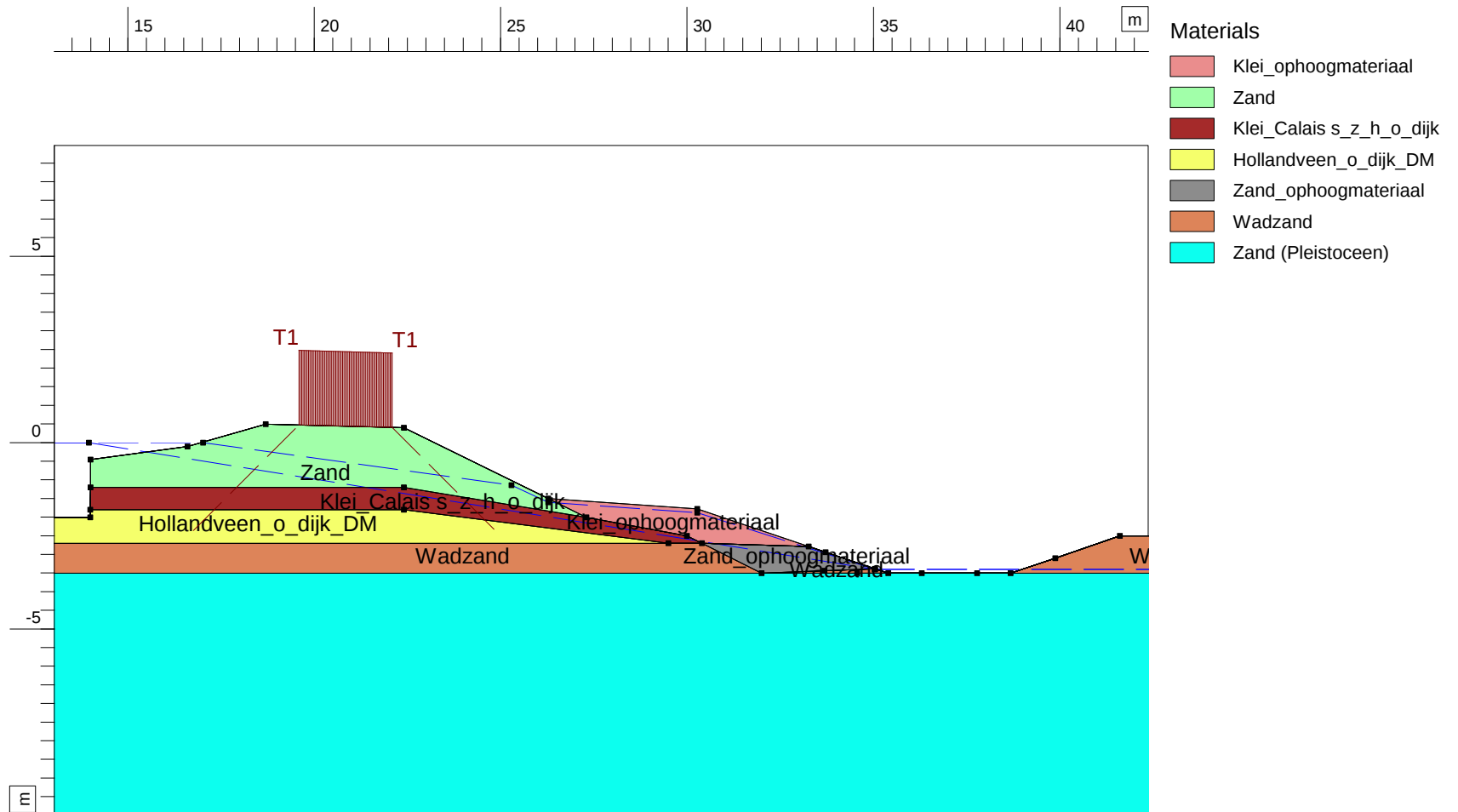
- Annex

dmv.

form.
A4

Bijlage 2: Overzichtskaart en ontwerpprofielen dijkverbetering

Input View



Ontwerp waterkering Broekhornpolder

Dijkvak 3 - DWP 1

Dijkontwerp

De Holle Bilt 22
3732 HM De Bilt

Phone
Fax

+31 30 220 79 11

D-Geo Stability 10.1 : Dijkvak3_DWP1_ontwerp.sit

date
6/13/2014

drw.
KvdG

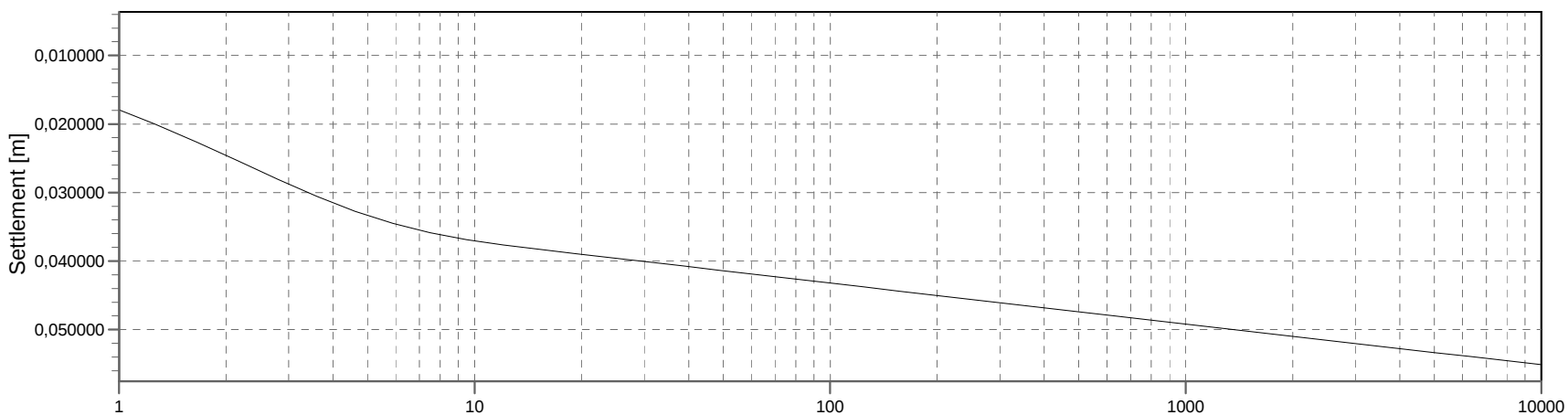
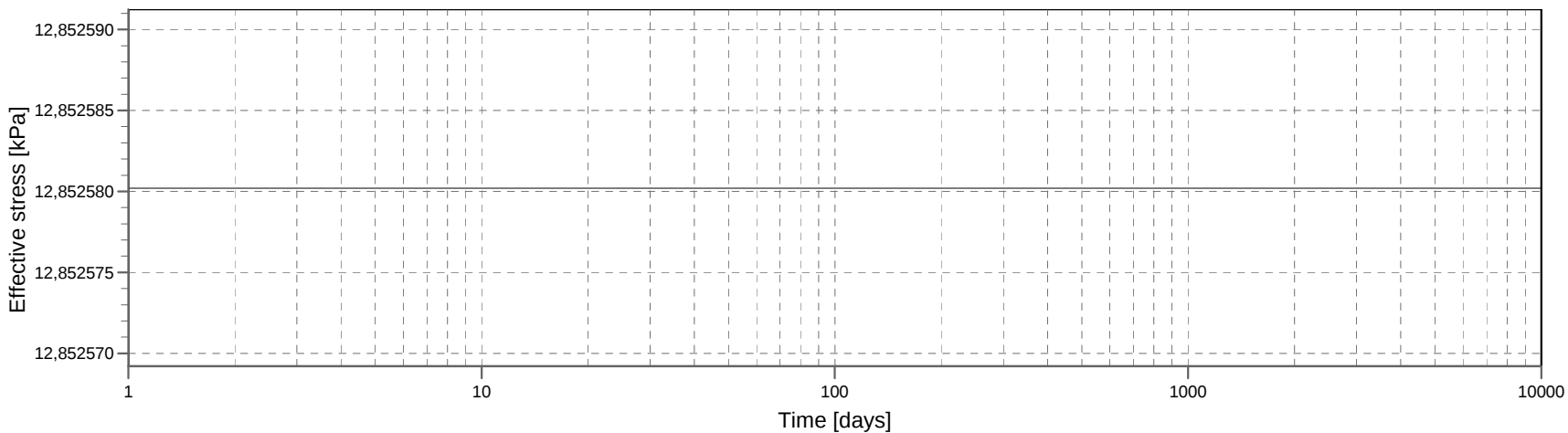
330865

- Annex

form.
A4

Bijlage 3: Tijd- zettingsverloop; dijkvak 2, dwarsprofiel 5

Time-History



Vertical 12 (X = 25,300 m; Z = 0,000 m)
Method = NEN - Koppejan with Terzaghi (Natural strain)

Depth = 2,400 (-) [m]
Settlement after 10000 days = 0,055 [m]



Grontmij

De Helle Blit 22
3732 HM De Bilt

Phone +31 30 220 7911
Fax

D-Settlement 9.3 : Dijkvak2_DWPs_zetting.sil

date
6/11/2014

drv.
KvdG

Ontwerp waterkering Broeknopolder

Dijkvak 2 - DWP 5

330865

ctf.

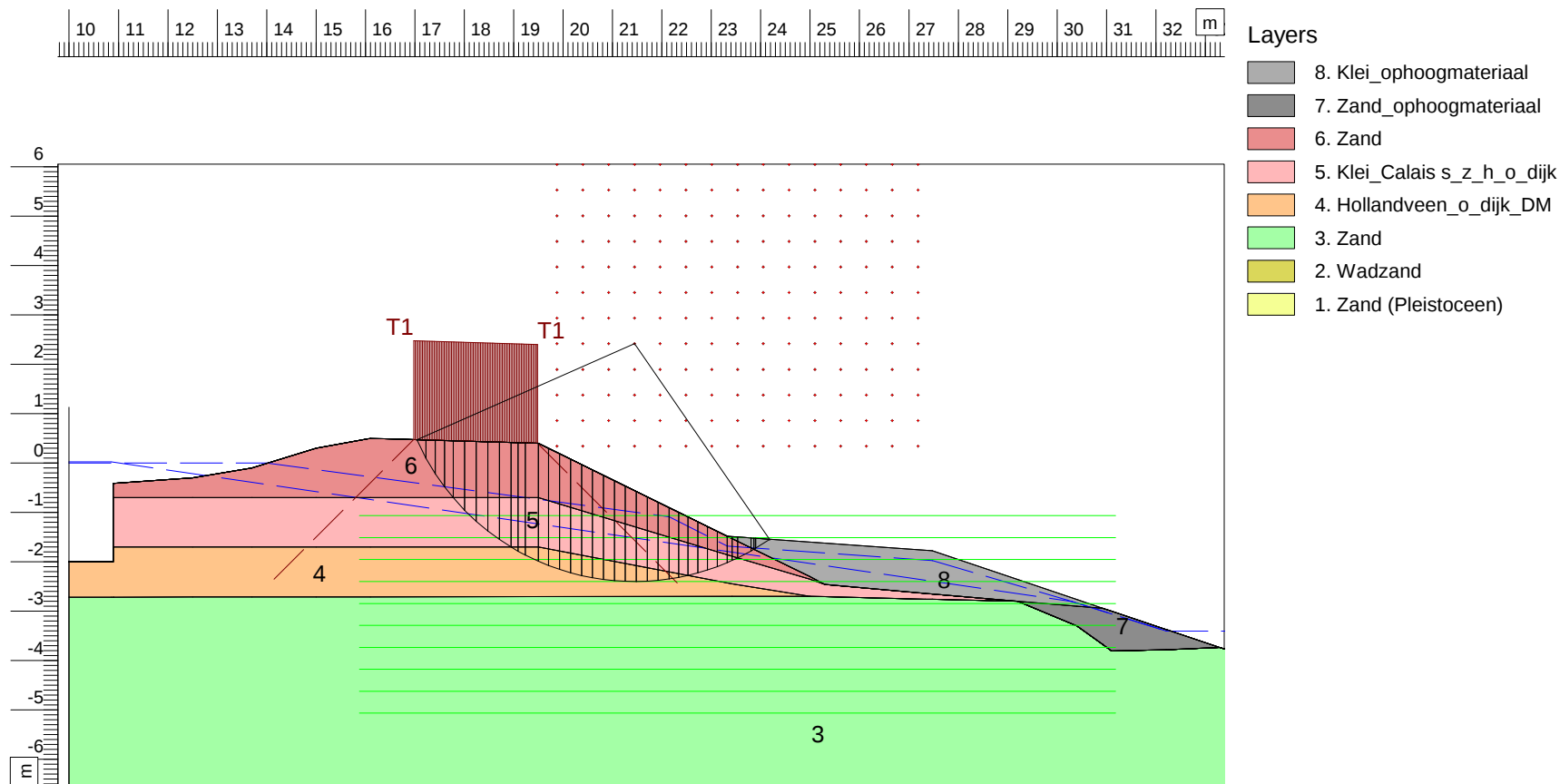
Tijd-zettingsverloop maatgevende verticaal

Annex -

A4

Bijlage 4: Stabiliteit eindsituatie over 30 jaar; dijkvak 2, dwarsprofiel 5

Critical Circle Bishop



Bijlage 5: Stabiliteit uitvoeringsfase na 0 dagen; dijkvak 2, dwarsprofiel 5

Bijlage 6: Stabiliteitscontrole dijkontwerp voor dijkvak 3, dwarsprofiel 1

Project: Dijkverbetering Broekhorn, te
 PN: Heerhugowaard
 Datum: 330865
 18-9-2013



Thema	Risico en conclusies	Oorzaak	Bron / Rapportage	Gevolg	Beheersmaatregel
Bodem	Vrijkomende grond kan in nabijgelegen gebied worden verwerkt	Ontgraven sloot	Bodemkwaliteitskaart	geen vervolgacties	De vrijkomende grond kan in nabijgelegen gebied worden verwerkt op basis van de bodemkwaliteitskaart. Nader onderzoek is niet noodzakelijk
	Bagger teensloot is klasse 0	Baggeren teensloot (voorafgaand aan demping)	Slibonderzoek 2008	geen vervolgacties	Op basis van het uitgevoerde onderzoek kan de sloot voorafgaand aan de demping worden gebaggerd. Nader onderzoek is niet noodzakelijk
Kabels en leidingen	Schade aan K en/of L	Ontgraving en/of frezen, ophoging (zetting)	KLIC-melding	Kosten, vertraging	Overleg NUTS en maatregelen kruisende KenL
Natuur	Verstoring vissoorten en/of rugstreeppad	Demping watergang	Natuurtoets Broekhorn 2007	geen vervolgacties	In veldinventarisatie 2012 zijn deze niet aangetroffen, zie "Aanvullend natuuronderzoek Broekhorn, 2012". Uitgevoerd onderzoek kan worden gebruikt voor de dijkverbetering
	Verstoring Noordse Woelmuis	Werkzaamheden in rietkraag	Natuurtoets Broekhorn 2007	geen vervolgacties	In veldinventarisatie 2012 zijn deze niet aangetroffen, zie "Aanvullend natuuronderzoek Broekhorn, 2012"
	Effecten op flora- en fauna bij dempen teensloot	Verflauwen binnentalud	Natuurtoets Broekhorn 2007	geen ontheffing nodig	Op basis van de uitgevoerde onderzoeken kan de sloot worden gedempt. Nader onderzoek is niet noodzakelijk. Voor de demping is geen ontheffing in het kader van de Flora en Fauna wet benodigd. Wel geldt voor de gedragscode FF wet voor waterschappen. Gedragscode FF-wet voor Waterschappen. Uitgevoerd onderzoek kan worden gebruikt voor de dijkverbetering.
Archeologie	Verstoring/-nietiging archeologische resten. Kans is zeer klein, want nieuwe teensloot ligt in gebied waar bodemverstoringen hebben plaatsgevonden	Graafwerkzaamheden, zettingen	Bureauonderzoek Archeologie (2007) en Inventariserend Veldonderzoek (2007)	geen vervolgacties	Uitgevoerd archeologisch onderzoek kan worden gebruikt voor de dijkverbetering. Uitgevoerd onderzoek kan worden gebruikt voor de dijkverbetering.
Water	geen risico's	Ontwerp sluit aan op watersysteem	VO	Watervergunning of Projectplan	voor de dijkverbetering dient projectplan of watervergunning (indien groot onderhoud) te worden opgesteld / aangevraagd. De verlegging van teensloot zou moeten worden geregeld middels een watervergunning (bij uitvoering door een derden) of middels een projectplan.
Geotechniek	Buitenwaardse stabiliteit	Huidige geometrie	Notitie geotechnische berekeningen	Kosten	Inmeting en nadere inventarisatie
Planologie	geen risico's	Er is een dubbelbestemming Waterkering opgenomen en Functie Water is in bestemming Groen, Water en Natuur mogelijk	Bestemmingsplan	geen vervolgacties, geen ruimtelijke procedure benodigd	Het recent vastgestelde bestemmingsplan voorziet in het verleggen van de sloot. Voor het realiseren van de dijkversterking is geen ruimtelijke procedure benodigd.
Inpassing	geen risico's	Ontwerp is gebaseerd op 3D-model	Ontwerp	geen vervolgacties	
Uitvoering	Schade aan fietspad op dijk	Bouwverkeer dijkverbetering via dijk		Schade, kosten	Bouwverkeer via polder, niet via dijk
	Overlast bewoners Broekhorn	Bouwverkeer dijkverbetering via nieuwe wijk		Overlast	Koppelen werk en werkverkeer Broekhorn. Op de kruin van de dijk is recent een fietspad aangelegd. Het is dus niet wenselijk om de uitvoering (inclusief bouwverkeer) via de dijk te ontsluiten. Bij koppeling met het werk en werkverkeer van Broekhorn kan het werk en het werkverkeer worden ontsloten via de polderzijde. Daarnaast kan door koppeling van de werken overlast voor de toekomstige bewoners Broekhorn worden voorkomen.
Kadastrale situatie	Toestemming eigenaar/aankoop grond/pachter	Grond tpv nieuwe teensloot is in eigendom van Bouwfonds. Dijk is in	Kadastrale kaart (2007)	Kosten, vertraging	Aankoop grond tpv nieuwe teensloot