

Marker Wadden

Effecten zandwinputten en slibgeulen op het grondwatersysteem



Rijkswaterstaat

december 2014
Definitief

Marker Wadden

Effecten zandwinputten en slibgeulen op het grondwatersysteem

dossier : BA8757
registratienummer : LW-AF20140458
versie : Definitief
classificatie : Klant vertrouwelijk

Rijkswaterstaat

december 2014
Definitief

INHOUD**BLAD**

MANAGEMENTSAMENVATTING	3
1 INLEIDING EN DOELSTELLING	7
2 BASISALTERNATIEF EN UITVOERINGSVARIANTEN	9
2.1 Uitvoeringsscenario 1 (basisalternatief)	9
2.2 Uitvoeringsscenario 2 (variant 1)	9
2.3 Uitvoeringsscenario 3, cumulatie met zandwinput voor versterking Houtribdijk (variant 2)	10
2.4 Uitgangspunten	10
3 BODEMOPBOUW, GRONDWATERSTROMING EN GRONDWATERMODEL AZURE	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Bodemopbouw	13
3.3 Top Pleistoceen zandpakket	15
3.4 Stijghoogten en grondwaterstroming	17
3.5 Weerstand Holocene deklaag en spreidingslengte van het systeem	17
3.6 AZURE	20
4 METHODE VAN MODELLERING VAN ZANDWINPUTTEN IN AZURE	23
4.1 Methode	23
4.2 Worst case benadering effectbepaling	23
5 EFFECTEN ZANDWINPUTTEN EN SLIBGEULEN OP GRONDWATERSYSTEEM	25
5.1 Effect op stijghoogte	25
5.2 Effect op kwel en afvoer	26
5.3 Effect op grondwaterstand	27
5.4 Conclusies	28
6 STABILITEIT VAN DIJKEN	29
6.1 Inleiding	29
6.2 Oostvaardersdijk Noord- dijkkringgebied 8: Flevoland	30
6.3 IJsselmeerdijk – dijkkringgebied 8: Flevoland	33
6.4 Houtribdijk	38
6.5 Zuiderzeedijk van Drechterland	42
6.6 Conclusie	43
7 GEBRUIKTE GEGEVENS	45
8 COLOFON	47

BIJLAGEN

- | | |
|---|---|
| 1 | Effecten van een zandwinput, afleiden van intredeweerstand uit metingen bij IJsseloog |
| 2 | Grondwaterregime huidige situatie |
| 3 | Effecten uitvoeringsscenario 1 |
| 4 | Effecten uitvoeringsscenario 2 |
| 5 | Effecten uitvoeringsscenario 3 |
| 6 | Verkennde geotechnische berekeningen |

MANAGEMENTSAMENVATTING

Voor het project Marker Wadden worden zand, klei en veen gewonnen en worden slibgeulen aangelegd. De locaties en volumes van zandwinputten en slibgeulen staan nog niet vast. Ze liggen binnen een zoekgebied. In het MER worden een aantal varianten onderzocht waarmee de maximale bandbreedte van de mogelijk optredende effecten in beeld wordt gebracht. Dat betekent dat de effecten van elk mogelijk toekomstig ontwerp binnen die bandbreedte zal vallen.

Effecten op het grondwatersysteem worden veroorzaakt door het wegbaggeren van de holocene deklaag, waardoor direct contact ontstaat met het grondwater in het watervoerende pakket. De stijghoogte (waterdruk) in het watervoerende pakket is veel lager (NAP-4 tot NAP-2,5 m) dan het peil in het Markermeer (NAP-0,2 tot NAP-0,4 m). Daardoor neemt de infiltratie van oppervlaktewater toe en worden stijghoogten in de omgeving van zandwinputten en slibgeulen verhoogd. Dit leidt in de polders tot een toename van kwel (opwaartse grondwaterstroming). In stedelijke gebied en poldergebieden leidt een toename van kwel tot een verhoging van de grondwaterstand en toename van de afvoer van water door het oppervlaktewatersysteem (sloten).

Grondwatergerelateerde effecten die in deze rapportage worden behandeld betreffen:

- Verhoging van grondwaterstanden en risico's die daardoor optreden voor gebruiksfuncties (met name stedelijke bebouwing);
- Toename van de afvoer via het oppervlaktewatersysteem;
- Effecten op de stabiliteit van de dijken als gevolg van veranderingen van de stijghoogte en de grondwaterstand. Er zijn verschillende mechanismen waardoor een dijk kan falen. Mechanismen die door de stijghoogte en de grondwaterstand beïnvloed worden zijn: Opdrukveiligheid en piping, micro- en macrostabiliteit.

De volgende aspecten bepalen de omvang van het invloedsgebied en de grootte van de effecten op het grondwatersysteem:

- Het oppervlak waarin de holocene deklaag volledig wordt verwijderd. De holocene deklaag bestaat voornamelijk uit klei- en veenlagen, die een weerstandbiedende laag vormen tussen het Markermeer en de onderliggende pleistocene zanden (watervoerende pakket). De top van de pleistocene zanden varieert onder het Markermeer tussen NAP -11 en -16 m. De precieze ligging is in deze studie onderzocht en weergegeven in Afbeelding 3.4. Het verschil tussen het Markermeerpeil en de stijghoogte wordt in stand gehouden door de grote weerstand van de deklaag in het Markermeer. De zandwinputten hebben een diepte van NAP -40 m en zullen de deklaag volledig verwijderen. De slibgeulen hebben een diepte van NAP -12 m en zullen afhankelijk van de locatie de deklaag geheel of gedeeltelijk verwijderen. Grotere effecten ontstaan naarmate het oppervlak waarin de holocene deklaag verwijderd wordt groter is;
- De productiesnelheid. Het is aannemelijk dat bij een hoge zandproductie (m³/week) het areaal "schoon zandoppervlak" groter is dan bij een lage zandproductie. Nadat het baggeren gestopt is, zal slib neerslaan op de bodem van de zandwinput en slibgeul, waardoor de weerstand in de loop van de tijd weer toeneemt en de effecten op het grondwatersysteem afnemen. Bij een lage productiesnelheid krijgt slib meer kans om neer te slaan en is het areaal "schoon zandoppervlak" gemiddeld kleiner dan bij een grotere productiesnelheid;
- De afstand tot Flevoland of de Houtribdijk. Hoe kleiner de afstand, des te groter het effect. Daar komt bij dat op kortere afstand van de polders de stijghoogte lager is, en daardoor het effect ook groter wordt;

- Het aantal zandwinputten dat gelijktijdig in productie is. De invloedsgebieden van verschillende zandwinputten overlappen elkaar.

Effecten zijn tijdelijk en treden alleen op in de periode waarin zandwinputten in productie zijn. Binnen de uitgangspunten van het MER is dat maximaal tien jaar. De effecten zijn gedurende die tien jaar niet altijd even groot.

Bij de berekening van effecten is uitgegaan van gelijktijdige realisatie van de zandwinputten en slibgeulen en een korte aanlegperiode van circa twee jaar. In werkelijkheid zal dit langzamer gaan. Het contactvlak met het watervoerende pakket is dan kleiner dan in de modellering aangenomen, waardoor de weerstand groter is en zijn de effecten kleiner zullen zijn. De doorgerekende scenario's zijn dus worst case scenario's.

De effecten zijn berekend met het regionale grondwatermodel Azure [Deltares 2013].

Basisalternatief

Het basisalternatief gaat uit van de winning van 19,5 miljoen m³ zand in zandwinputten en 21,0 miljoen m³ holocene materiaal in zandwinputten en slibgeulen. De effecten van de aanleg van zandwinputten op het grondwatersysteem treden hoofdzakelijk op zolang de put in productie is. Als de zandwinning stopt zal de bodem in een periode van weken tot maximaal enkele maanden dichtslaan met fijn materiaal door bezinking, maar vooral door de infiltratie van water. Als gevolg daarvan neemt de bodemweerstand toe, neemt de infiltratieflux af, en nemen daardoor de effecten op het grondwatersysteem af.

Voor de effecten op grondwater is daarom niet het aantal putten in de eindsituatie van belang, maar het aantal putten dat gelijktijdig in productie is. De effecten op het grondwatersysteem worden daarom bepaald voor drie uitvoeringsscenario's.

Uitvoeringsscenario 1

Er is op elk moment maar één zandwinput in productie. Dit is het meest waarschijnlijke scenario, omdat de aannemer hierbij zijn materieel en transportcapaciteit optimaal inzet.

Bij uitvoeringsscenario 1 wordt uitgegaan van een zandwinput op een locatie op relatief korte afstand van de Marker Wadden, aan de kant van Flevoland. De oppervlakte van de put is 57 ha aan de waterbodem en 50 ha aan de top van het pleistoceen. De bodem van de put ligt op circa NAP-40 m en het volume zand dat er kan worden gewonnen is circa 6 miljoen m³. Omdat het waarschijnlijk is dat gedurende de aanleg van de zandwinput ook de slibgeulen worden aangelegd is in de berekening één slibgeul meegenomen met een bodemniveau van NAP-12 m, die deels het pleistocene zand aansnijdt.

Uitvoeringsscenario 2

Er zijn gelijktijdig twee zandwinputten in productie. Dit scenario is minder waarschijnlijk, maar het zou kunnen optreden als de aannemer tijdelijk extra materieel beschikbaar heeft en die inzet bij een tweede put.

Bij uitvoeringsscenario 2 wordt uitgegaan van twee zandwinputten, met dezelfde omvang als bij uitvoeringsscenario 1. De tweede punt ligt aan de andere kant van markerwadden. Om het mogelijke effect op Noord-Holland te verkennen is de locatie binnen het zoekgebied gekozen op een zo groot mogelijke afstand tot de Marker Wadden. Verder wordt in de berekening de aanleg van vier slibgeulen meegenomen. Daarbij leveren overigens alleen de delen van de slibgeulen die het pleistoceen aansnijden een significante bijdrage aan de extra infiltratie.

Uitvoeringsscenario 3

Bij uitvoeringsscenario 3 worden de mogelijke gevolgen van cumulatie met een zandwininput het project versterking Houtribdijk verkend. De locaties van beide putten is bij deze berekening gekozen op een zo kort mogelijke afstand van de Houtribdijk, en dus een zo kort mogelijke afstand van Flevoland en Lelystad. Verder wordt bij dit uitvoeringsscenario rekening gehouden met de gelijktijdige aanleg van een slibgeul op een relatief ongunstige locatie, namelijk een locatie waar de top van het pleistoceen ondiep is.

Effecten uitvoeringsscenario 1 en 2

Als gevolg van uitvoeringsscenario 1 en 2 treden de volgende effecten op het grondwatersysteem op:

- Onder de Houtribdijk worden stijghoogten met maximaal circa 20 tot 30 cm verhoogd. Bij de andere dijken is de verhoging minder groot;
- Als gevolg van de verhoging van de stijghoogte neemt de kwel binnendijs in Flevoland toe met maximaal enkele tienden millimeters per dag;
- Door kwel neemt de afvoer van oppervlaktewater in Flevopolders toe met 7.000 tot 8.000 m³/dag. Dat is minder dan 1% van de huidige afvoer, en dus niet significant. Ook in Noord-Holland is het effect van kwel op de afvoer niet significant;
- Effecten op de grondwaterstand zijn significant als ze groter zijn dan 5 cm. In Flevoland treden er significante effecten op de grondwaterstand op in een gebied met een omvang van ongeveer 8 bij 1,8 km. Op de meeste plaatsen is zo'n grondwaterstandverhoging geen probleem. Op ongeveer 7 ha in stedelijk bebouwde gebieden wordt de grondwaterstand ondieper dan 70 cm onder maaiveld of is de grondwaterstand al ondieper en vindt een stijging plaats van 5 – 10 cm;
- In Noord-Holland treden geen verhogingen van grondwaterstanden van meer dan 5 cm op;
- Effecten op dijkstabiliteit worden op bladzijde 5 en 6 behandeld.

Effecten uitvoeringsscenario 3

De effecten van dit cumulatiescenario op het grondwatersysteem zijn als volgt:

- Onder de Houtribdijk wordt de stijghoogte met maximaal 60 cm verhoogd, Ter plaatse van de andere dijken is de verhoging minder groot;
- Als gevolg van de verhoging van de stijghoogte neemt de kwel binnendijs in Flevoland in een gebied van 11,5 bij 4 km toe met maximaal 0,6 mm/dag;
- De afvoer van oppervlaktewater in de Flevopolder neemt met circa 11.000 m³/dag toe. Dat is minder dan 1% van de huidige afvoer. In Noord-Holland en de Noordoostpolder neemt de afvoer van oppervlaktewater minder toe;
- Effecten op de grondwaterstand zijn significant als ze groter zijn dan 5 cm. In Lelystad treden er significante effecten op de grondwaterstand op in een gebied van ongeveer 10 bij 2,5 km. De maximale verhoging van de grondwaterstand in Lelystad is daar 13 cm. ter plekke van de Bataviawerf en de Houtribhoogte is de maximale verhoging 35 cm. In Lelystad leidt de verhoging van de grondwaterstand op 15 ha tot verhoging van de grondwaterstand ondieper dan 70 cm onder maaiveld;
- Effecten op dijkstabiliteit worden op bladzijde 5 en 6 behandeld.

Effecten op dijkstabiliteit

De effecten van de verhoging van de stijghoogte en grondwaterstand zijn bekeken voor de Houtribdijk, Oostvaardersdijk, Zuiderzeedijk en de IJsselmeerdijk.

De volgende relevante mechanismen zijn beschouwd:

- Macrostabiliteit (binnen- en buitenwaarts);
- Opdrukveiligheid en piping;
- Microstabiliteit.

Op basis van de berekeningen en kwalitatieve analyse wordt niet verwacht dat het Toets- of Ontwerpresultaat ongunstiger wordt. Deze conclusie is gebaseerd op basis van effecten op het grondwatersysteem die groter zijn dan de worst casesituatie (uitvoeringsscenario 3) die in dit rapport beschreven wordt. Aangezien deze grotere effecten niet leiden tot een aanpassing van het Toets- of Ontwerpresultaat, zullen de effecten van uitvoeringsscenario 3 ook niet leiden tot een aanpassing van het Toets- of Ontwerpresultaat.

Het oordeel van de trajecten die reeds in de Toetsrapporten als probleemgebieden aangeduid zijn, blijft van kracht, maar worden niet ongunstiger.

Conclusies:

- Als gevolg van de aanleg van zandwinputten gecombineerd met slibgeulen wordt de stijghoogte onder delen van de Houtribdijk verhoogd met 5 tot maximaal circa 35 cm. De grondwaterstand in Flevoland wordt binnendijs verhoogd met maximaal 20 cm (gemiddeld 5 – 10 cm). De verhoging van de grondwaterstand leidt in gebieden met bebouwing vrijwel nergens tot grondwaterstanden die gemiddeld ondieper worden dan 70 cm onder maaiveld. In Flevoland neemt de kwel met enkele tienden van millimeters per dag toe. De afvoer naar het oppervlaktewatersysteem neemt daardoor ook toe. De toename van de afvoer naar de Lage Vaart is minder dan 1% van de hoeveelheid die in de huidige situatie wordt uitgeslagen;
- Bij gelijktijdig gebruik van zandwinputten voor de Marker Wadden en voor de Houtribdijk (uitvoeringsscenario 3) zijn de effecten op de stijghoogten groter, namelijk maximaal 30 cm onder de dijk van Flevoland en maximaal 60 cm onder de Houtribdijk. De verhogingen van de grondwaterstand leiden ook in die situatie in bebouwde gebieden vrijwel nergens tot grondwaterstanden gemiddeld ondieper dan 70 cm onder maaiveld. In Flevoland neemt de kwel met enkele tienden van millimeters per dag toe. De toename van de afvoer naar de Lage Vaart is minder dan 1% van de hoeveelheid die in de huidige situatie wordt uitgeslagen;
- Aan de hand van de maximale verhogingen van de stijghoogten bij de uitvoeringsscenario's 2 (twee zandwinputten voor Marker Wadden) en 3 (cumulatie met zandwinput voor versterking Houtribdijk) zijn effecten op het toetsingsoordeel van de dijken beoordeeld. Dijkvakken met een toetsingsoordeel 'goed' worden ook met de effecten van Marker Wadden als 'goed' beoordeeld. Het oordeel van de trajecten die reeds in de Toetsrapporten als probleemgebieden aangeduid zijn, blijft van kracht. Er treden geen extra faalmechanismen met een toetsingsoordeel 'onvoldoende' op.

1 INLEIDING EN DOELSTELLING

Voor het project Marker Wadden worden zand, klei en veen gewonnen en worden slibgeulen aangelegd. Zandwinputten en slibgeulen hebben invloed op het grondwatersysteem. De locaties en volumes van zandwinputten en slibgeulen staan nog niet vast. Ze liggen binnen een zoekgebied. In het MER worden een aantal varianten onderzocht waarmee de maximale bandbreedte van de mogelijk optredende effecten op het grondwatersysteem in beeld wordt gebracht. Dat betekent dat de effecten van elk mogelijk toekomstig ontwerp binnen die bandbreedte zal vallen.

Effecten op het grondwatersysteem worden veroorzaakt door het wegbaggeren van de holocene deklaag, waarna oppervlaktewater infiltreert in het watervoerende pakket. De stijghoogte in het watervoerende pakket is veel lager (NAP -4 tot NAP -2,5 m) dan het peil in het Markermeer (NAP -0,2 tot NAP -0,4 m). Daardoor worden stijghoogten in de omgeving van zandwinputten en slibgeulen verhoogd. Dit leidt in de polders tot een toename van kwel en verhoging van grondwaterstanden en heeft mogelijk invloed op de beoordeling van de stabiliteit van de Flevolanddijken en de Houtribdijk.

De volgende aspecten bepalen de omvang van het effect ter plaatse van polders en dijken:

- Het oppervlak waarin de holocene deklaag volledig wordt verwijderd;
- De productiesnelheid. Het is aannemelijk dat bij een hoge zandproductie (m^3/week) de intredeweerstand van de waterbodem lager is dan bij een lage zandproductie;
- De afstand tot Flevoland of de Houtribdijk. Hoe kleiner de afstand, des te groter het effect. Daar komt bij dat dichterbij de polders de stijghoogte lager is, en daardoor het effect ook groter wordt;
- Het aantal zandwinputten dat gelijktijdig in productie is. Effecten van verschillende zandwinputten overlappen elkaar.

Doelstelling

Dit rapport heeft de volgende doelen:

- Vaststellen van de grootte van de effecten van de werken voor de Marker Wadden op het grondwatersysteem, met name in Oostelijk Flevoland en Lelystad, op basis van een worst case situatie voor de gecombineerde aanleg van de benodigde werken en in combinatie met de benodigde werken voor de versterking van de Houtribdijk;
- Beoordeling van het effect van stijghoogteverhoging op de veiligheid van de betreffende dijkvakken.

2 BASISALTERNATIEF EN UITVOERINGSVARIANTEN

Het Basisalternatief kent twee varianten: 'snel en compact', waarbij in 5 jaar Marker Wadden aangelegd wordt, en 'batchgewijs', waarbij de aanlegduur 10 jaar bedraagt. De zandproductie bedraagt gemiddeld 3,9 miljoen m³/jaar bij het Basisalternatief 'continu en compact' en 1,95 miljoen m³/jaar bij de variant 'batchgewijs'.

De effecten van de aanleg van zandwinputten op het grondwatersysteem treden hoofdzakelijk op zolang een zandwinput in productie is. Als de zandwinning stopt zal de bodem in een periode van weken tot maximaal enkele maanden dichtslaan met fijn materiaal. Dit gebeurt door bezinking, maar vooral door de infiltratie van water, waardoor slib wordt afgefilterd. Als gevolg daarvan neemt de bodemweerstand toe, neemt de infiltratieflux af, en nemen daardoor de effecten op het grondwatersysteem af.

Voor de effecten op grondwater is daarom niet het aantal putten in de eindsituatie van belang, maar het aantal putten dat gelijktijdig in productie is. De effecten op het grondwatersysteem worden daarom bepaald voor drie uitvoeringsscenario's.

2.1 Uitvoeringsscenario 1 (basisalternatief)

Er is op elk moment maar één zandwinput in productie. Dit is het meest waarschijnlijke scenario, omdat de aannemer hierbij zijn materieel en transportcapaciteit optimaal inzet.

Bij uitvoeringsscenario 1 wordt uitgegaan van een zandwinput op een locatie op relatief korte afstand van de Marker Wadden, aan de kant van Flevoland. De oppervlakte van de put is 57 ha aan de waterbodem en 50 ha aan de top van het pleistoceen. De bodem van de put ligt op circa NAP -40 m en het volume zand dat er kan worden gewonnen is circa 3,9 miljoen m³. Omdat het waarschijnlijk is dat gedurende de aanleg van de zandwinput ook de slibgeulen worden aangelegd is in de berekening één slibgeul meegenomen met een bodemniveau van NAP -12 m, die deels het pleistocene zand aansnijdt. De locaties zijn weergegeven in Bijlage 3.

2.2 Uitvoeringsscenario 2 (variant 1)

Er zijn gelijktijdig twee zandwinputten in productie. Dit scenario is minder waarschijnlijk, maar het zou kunnen optreden als de aannemer tijdelijk extra materieel beschikbaar heeft en die inzet bij een tweede put.

Bij uitvoeringsscenario 2 wordt uitgegaan van twee zandwinputten, met dezelfde omvang als bij uitvoeringsscenario 1. De tweede punt ligt aan de andere kant van markerwadden. Om het mogelijke effect op Noord-Holland te verkennen is de locatie binnen het zoekgebied gekozen op een zo groot mogelijke afstand tot de Marker Wadden. Verder wordt in de berekening de aanleg van vier slibgeulen meegenomen. De locaties zijn weergegeven Bijlage 4. Daarbij leveren overigens alleen de delen van de slibgeulen die het pleistoceen aansnijden een significante bijdrage aan de extra infiltratie.

2.3 Uitvoeringsscenario 3, cumulatie met zandwininput voor versterking Houtribdijk (variant 2)

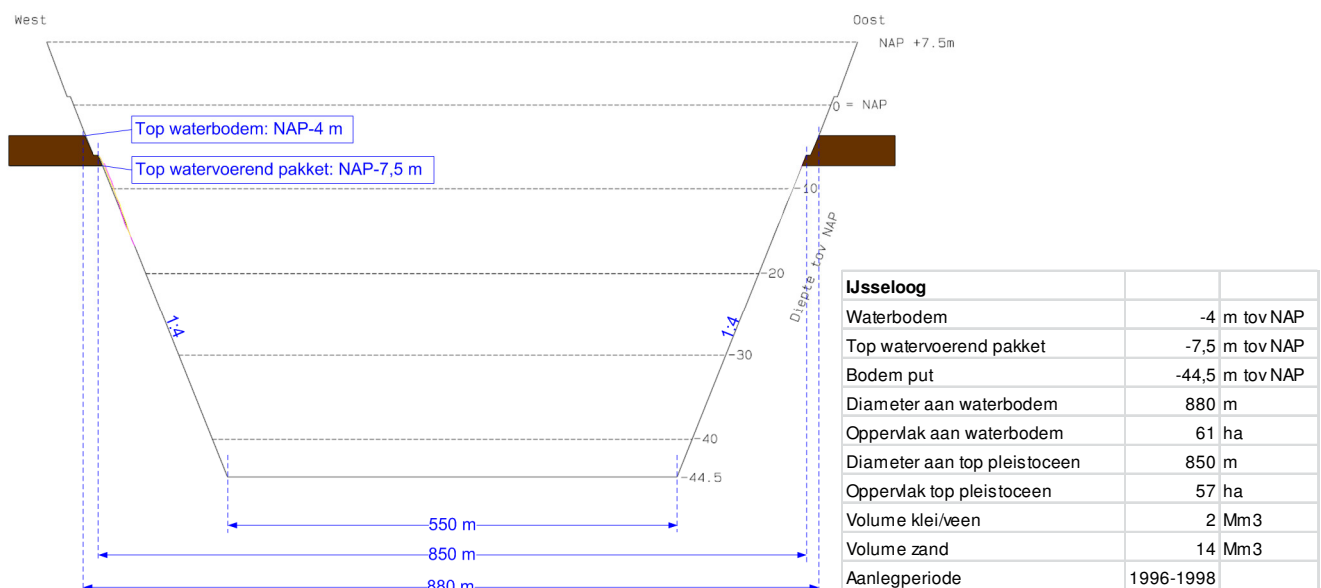
Bij uitvoeringsscenario 3 worden de mogelijke gevolgen van cumulatie met een zandwininput het project versterking Houtribdijk verkend. De locaties van beide putten is bij deze berekening gekozen op een zo kort mogelijke afstand van de Houtribdijk, en dus een zo kort mogelijke afstand van Flevoland en Lelystad. Verder wordt bij dit uitvoeringsscenario rekening gehouden met de gelijktijdige aanleg van een slibgeul op een relatief ongunstige locatie, namelijk een locatie waar de top van het pleistoceen ondiep is. De locaties zijn weergegeven in Bijlage 5.

2.4 Uitgangspunten

IJsseloog is referentie

Als referentie voor de effecten van zandwinputten in het Markermeer gebruiken we het IJsseloog. Het IJsseloog is aangelegd in het Ketelmeer in de periode 1996-1998. Relevante kentallen van de zandwinning die daar heeft plaatsgevonden staan in Afbeelding 2.1.

In Bijlage 1 zijn de effecten van IJsseloog uitvoerig geanalyseerd en is bepaald welke resterende infiltratieweerstand ter plekke van IJsseloog tijdens het baggeren aanwezig was. Deze weerstand in combinatie met de omvang van het baggerdepot is specifiek voor IJsseloog. Hiermee kunnen de effecten die optreden op de stijghoogten goed verklaard worden. In deze studie gebruiken we de kenmerken van IJsseloog om de effecten van zandwinputten ten behoeve van Marker Wadden door te rekenen. Omdat IJsseloog een groter oppervlak had dan de beoogde putten voor de Marker Wadden zijn de berekende effecten een overschatting. Omdat er geen andere referentie is dan IJsseloog weten we niet wat de correlatie is tussen de omvang van de put en de omvang van de effecten. Daarom is er voor gekozen om putten in te voeren met eenzelfde omvang/infiltratieweerstand-verhouding.



Afbeelding 2.1: Dwarsdoorsnede IJsseloog. Bron: [Rijkswaterstaat 2009]. Maatvoering door ons toegevoegd.

Uitgangspunten Marker Wadden

Voor Marker Wadden zijn eisen, uitgangspunten en een basisalternatief vastgesteld. Verder zijn voor verschillende grootheden de bandbreedten bepaald (paragraaf 4.2 en 4.3 van het milieueffectrapport). Op basis daarvan is een invulling voor het referentiealternatief gemaakt met een maximaal effect op het grondwatersysteem. In Tabel 2.1 zijn de uitgangspunten van de verschillende zandwinputten weergegeven.

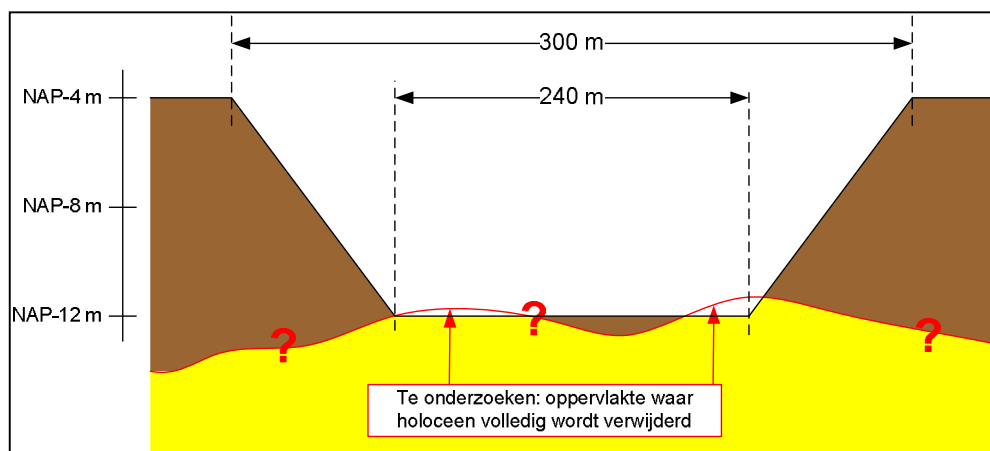
Bij de berekening van de effecten is voor de stromingsweerstand van de bodem van zandwinputten uitgegaan van de stromingsweerstand die is opgetreden bij de aanleg van de zandwinning voor het IJsselooi in het Ketelmeer. De productiesnelheid bij die zandwinning was orde van grootte 10 miljoen m³ zand per jaar. De zandproductie bij Marker Wadden bedraagt gemiddeld 3,9 miljoen m³/jaar bij het Basisalternatief 'continu en compact' en 1,95 miljoen m³/jaar bij de variant 'batchgewijs'. Het is daarom waarschijnlijk dat de stromingsweerstand die bij de zandwinputten voor Marker Wadden zullen optreden hoger zullen zijn dan bij IJsselooi. Daarom zijn de effecten op het grondwatersysteem die in hoofdstuk 5 worden beschreven waarschijnlijk een overschatting van de effecten die in werkelijkheid optreden (worst case).

Tabel 2.1: Uitgangspunten zandwinputten.

Dimensies Houtribdijk	Marker Wadden	Houtribdijk	
Waterbodembodem	-4	-4	m tov NAP
Top watervoerend pakket	-13	-11,7	m tov NAP
Bodem put	-40	-40	m tov NAP
Oppervlak aan waterbodembodem	57	35	ha
Oppervlak top pleistoceen (infiltrerend oppervlak, maatgevend voor effecten)	50	30	ha
Volume zand	3,9	5	Mm ³

Slibgeulen (ontleend aan Notitie Reikwijdte en detailniveau):

- Breedte: 100-500 m. Uitgangspunt 300 m;
- Lengte 2000-3000 m;
- Hellingshoek bij aanleg tussen 1:2 en 1:4. Uitgangspunt 1:4. Dat betekent dat bij aanleg een slibgeul aan de basis een breedte heeft van 240 m, zie Afbeelding 2.2.
- Diepte: tussen de NAP -10 m NAP -12 m. Uitgangspunt NAP -12 m;
- Locatie: Dwars op de dominante slibstroming binnen het aangegeven zoekgebied.



Afbeelding 2.2: Profiel slibgeul. Sterke infiltratie treedt alleen op waar holocene volledig wordt verwijderd.

3 BODEMOPBOUW, GRONDWATERSTROMING EN GRONDWATERMODEL AZURE

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de bodemopbouw en grondwaterstroming in het Markermeer en omgeving (paragraaf 3.2 tot en met 3.5). De effecten van de zandwinputten zijn met het grondwatermodel AZURE doorgerekend. Dat model wordt kort beschreven in paragraaf 3.6. De eerste versie van AZURE is begin 2014 opgeleverd. De belangrijkste bodemparameters van AZURE zijn gecheckt om te beoordelen of AZURE geschikt is voor het berekenen van de effecten op het grondwatersysteem.

3.2 Bodemopbouw

De bodemopbouw zoals die voorkomt ter plekke van de Marker Wadden is weergegeven in Tabel 3.1. De bodemopbouw is ontleend uit het AZURE-model en REGIS II.1.

Tabel 3.1: Bodemopbouw.

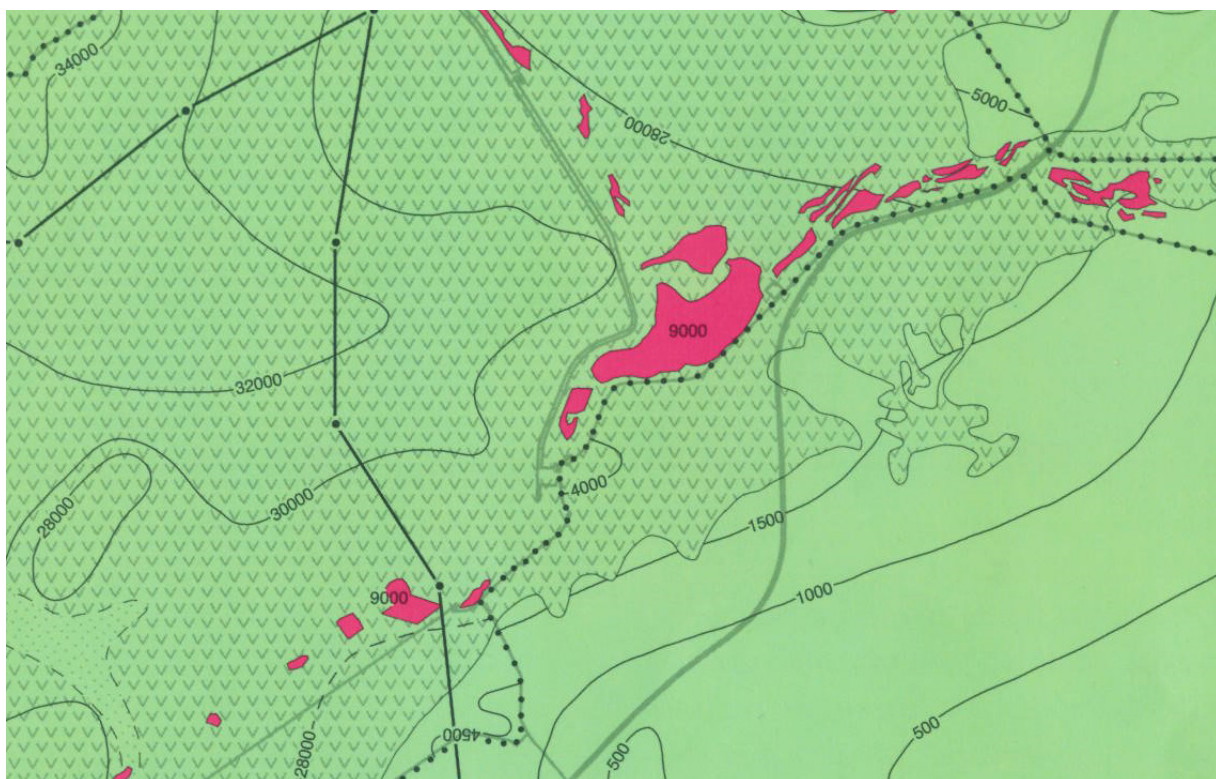
Formatie	Lithologie	Top	Basis	Geohydrologische typering	Modelparameter	
		[m tov NAP]				
Holocene deklaag	Hoofdzakelijk klei en aan de basis 0,5 - 2 m basisveen (komt niet overal voor)	-4	-11 --16	DKL	c1 [dagen]	20.000
Pleistoceen/Plioceen zandpakket met slechtdoorlatende lagen die niet overal voorkomen	Pleistoceen/Plioceen zandpakket	-11 --16	-230	WVP	$\Sigma kD2-8$ [m²/dag]	7.400
Formatie van Bostel (BX-k1)	Klei (komt niet overal voor)	1 - 2,5 m dik op ca NAP -14 m		SDL	c2 [dagen]	2,5 - 110
Eemformatie (EE-k1)	Klei (komt niet overal voor)	cm - 5 m dik op ca NAP - 21 m		SDL	c3 [dagen]	15 - 360
Formatie van Drente/Gieten en Urk (DRGI -k1 en UR-k2)	Klei (komt niet overal voor)	1 - 20 m dik op ca NAP -25 - -30 m		SDL	c5 [dagen]	50 - 4.500
Formatie van Urk (UR-k3)	Klei (komt niet overal voor)	0,5 - 3 m dik op ca NAP -40 m		SDL	c6 [dagen]	10 - 100
Gecombineerde formatie Peize en Waalre (PZ-C)	Complex	-230	-250	SDL	c8 [dagen]	25.000 - 50.000
Formatie van Maassluis (MS-z1)	Zand	-250	-260	WVP	kD9 [m²/dag]	750
Formatie van Maassluis (MS-C)	Complex	-260		Basis	c [dagen]	∞

Holocene deklaag

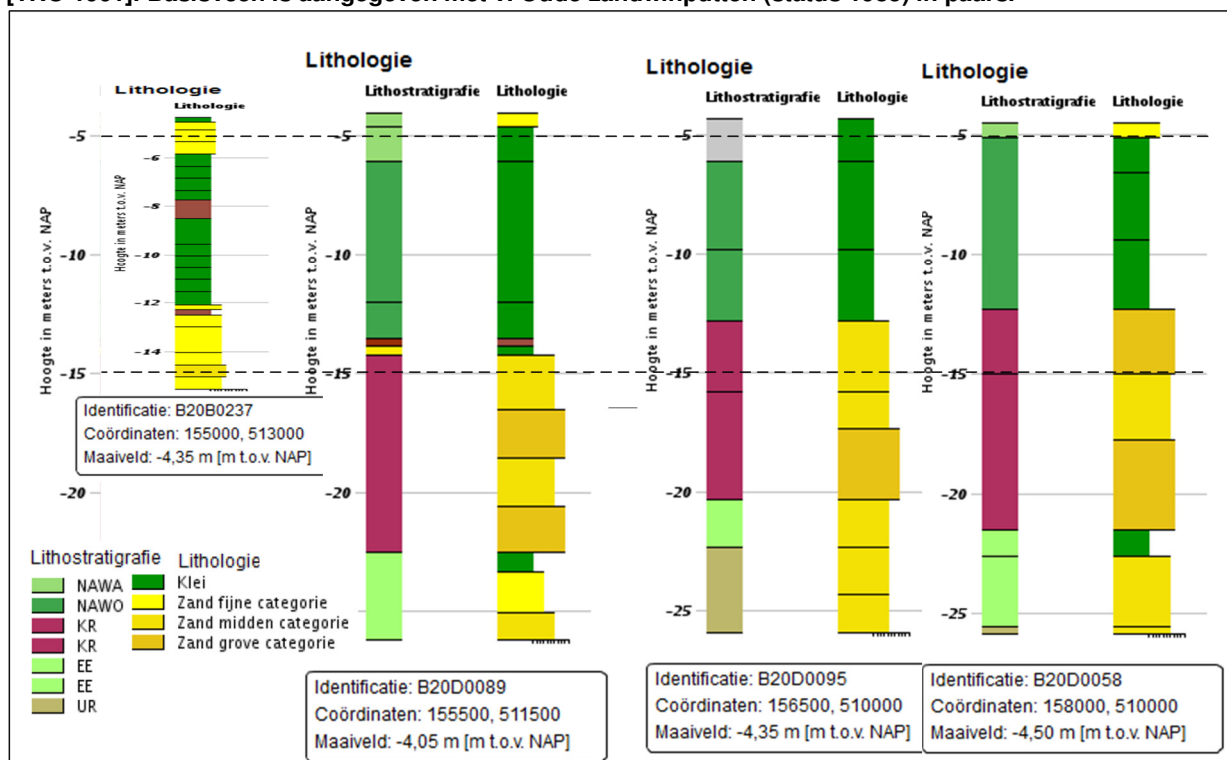
De bodem van het Markermeer bevindt zich op ongeveer NAP -4 m, daar begint de Holocene deklaag. De Holocene deklaag bestaat voornamelijk uit klei. Aan de basis bevindt zich een laag basisveen van circa 0,5 tot 2 m dik. Basisveen komt niet aaneengesloten voor. Uit de circa 30 sonderingen van Fugro blijkt dat basisveen in ongeveer de helft van de sonderingen voorkomt. Over de hydraulische weerstand van de deklaag vermelden verschillende bronnen zeer uiteenlopende getallen. In de Geohydrologische atlas van het IJsselmeergebied [TNO 1991], (zie Afbeelding 3.1) wordt melding gemaakt van 30.000 dagen op plekken waar basisveen aanwezig is. In AZURE zit een weerstand van 10.000 – 25.000 dagen (gemiddeld 20.000 dagen).

Pleistoceen/plioceen zandpakket

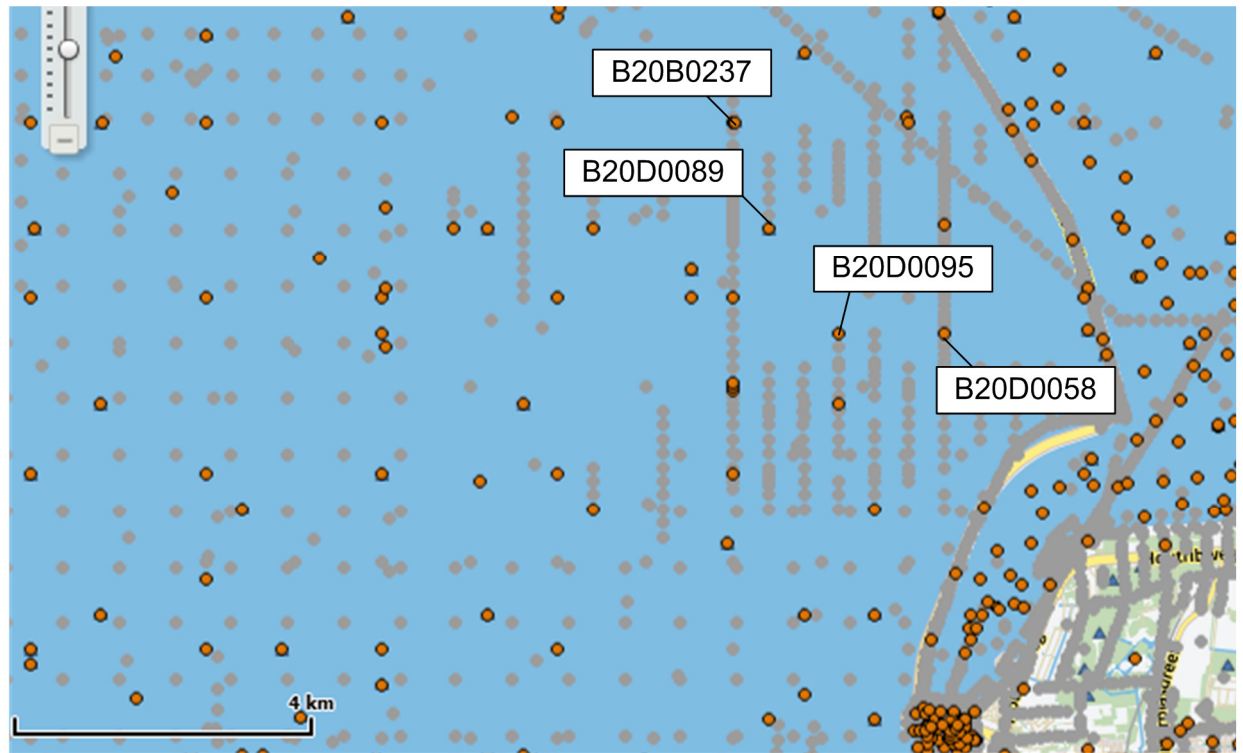
De top van het Pleistocene zandpakket ligt in het gebied van de Marker Wadden op NAP -11 m tot NAP -16 m (deze waarden zijn gebaseerd op Fugro 2013 alle diepe boringen uit DINOLoket. (zie paragraaf 3.3 en Afbeelding 3.4.). De basis ligt op circa NAP -230 m (Peize en Waalre complex). In dit zeer dikke watervoerende pakket komen slecht doorlatende lagen voor, maar juist bij Marker Wadden komen die niet aaneengesloten voor. Onder Flevoland en het gebied ten noorden en westen van Marker Wadden komt dit wel voor. Onder het Peize-Waalrecomplex komt nog een dun watervoerend pakket voor. De hydrologische basis wordt gevormd door de formatie van Maassluis op een diepte van ca NAP -260 m.



Afbeelding 3.1: Weerstand deklaag (dagen) in de Geohydrologische atlas van het IJsselmeergebied [TNO 1991]. Basisveen is aangegeven met v. Oude zandwinputten (status 1985) in paars.



Afbeelding 3.2: Lithologische en lithostratigrafische profielen van 4 boringen, zie kaart hieronder.



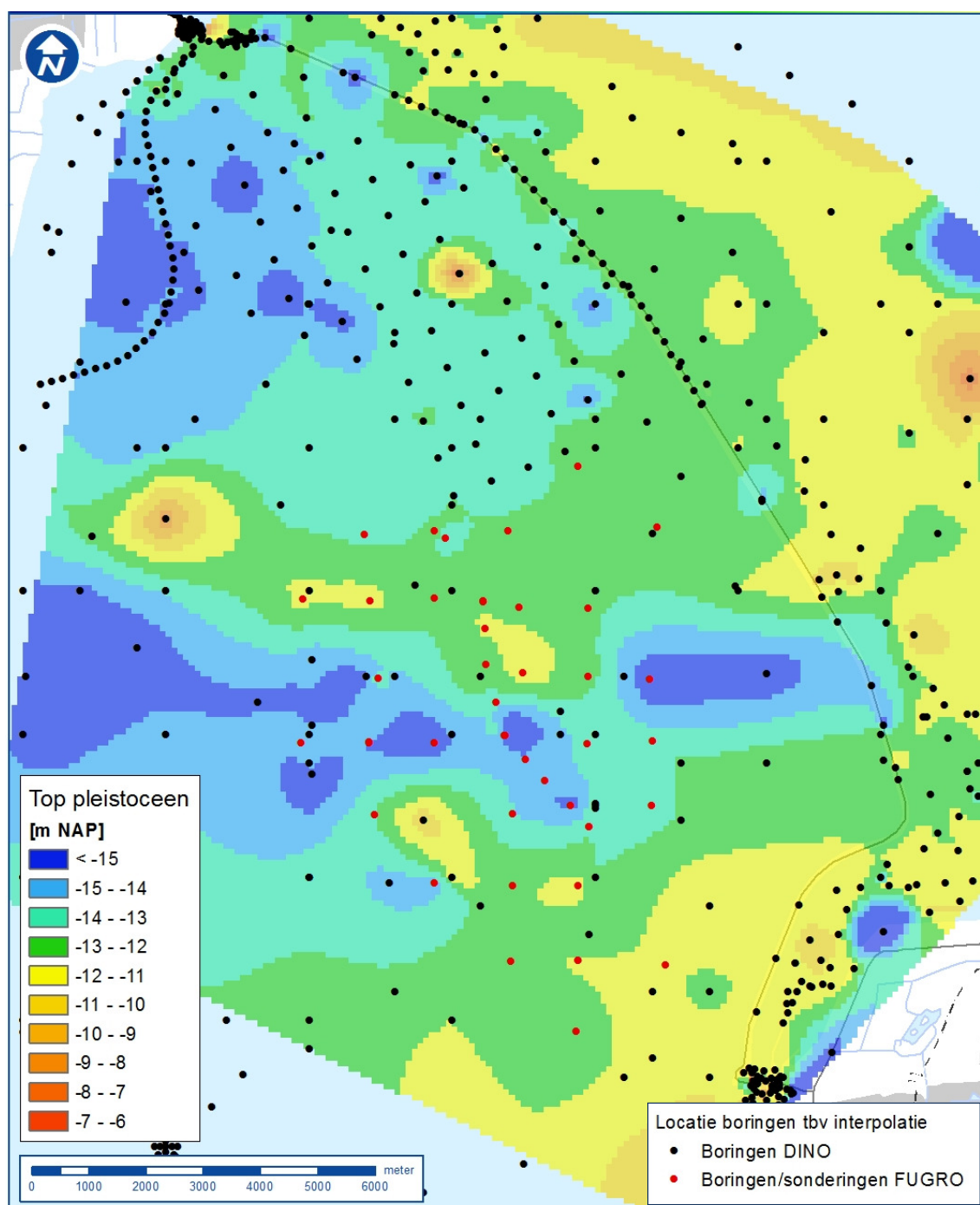
Afbeelding 3.3: Boringen in DINO dieper dan 10 m.

3.3 Top Pleistoceen zandpakket

Om de effecten van slibgeulen te onderzoeken is op basis van de volgende gegevens de top van het pleistocene zand in kaart gebracht:

- Boringen Dino;
- Circa 30 sonderingen in onderzoeksgebied: Fugro Geoservices BV. Rapportage geotechnisch veldwerk betreffende onderzoek Marker Wadden. Opdrachtnummer: 1013-0294-000, 17 december 2013.

De top van het pleistocene zandpakket is geïnterpoleerd op basis van alle boringen uit DINOLoket dieper dan 10 m. per boring is automatisch bepaald op welke diepte de zandlaag begint. Zandlagen ondieper dan 4 meter zijn genegeerd en ook zandlagen dunner dan 2 meter. Boringen die beginnen (Maaiveld) boven NAP waarbij de top van de zandlaag zich ondieper dan NAP -5 m bevindt, zijn uitgesloten voor de interpolatie. Naast de boringen uit DINOLoket is de top van het pleistocene zand afgelezen uit de boringen en sonderingen van Fugro 2013, deze zijn meegenomen in de interpolatie. Het resultaat is de kaart die weergegeven is in Afbeelding 3.4.



Afbeelding 3.4: Geïnterpoleerde top van de pleistocene zanden op basis van boringen uit TNO DINOLoket en boringen sonderingen van Fugro 2013.

3.4 Stijghoogten en grondwaterstroming

De stijghoogte, grondwaterstand en kwel zijn gepresenteerd in Bijlage 2. Het betreft een berekeningsresultaat van model Azure. Onder grote delen van Flevoland zijn de grondwaterstand en stijghoogte laag, tussen NAP -5 tot NAP -6 m. In Noord-Holland zijn de grondwaterstand en stijghoogte enkele meters hoger dan in Flevoland. In het Markermeer wordt een vast peil gehandhaafd van NAP -0,2/NAP -0,4 m (zomer-/winterpeil). De stijghoogte onder het Markermeer is veel lager dan het peil van het Markermeer. Vanaf Flevoland richting Noord-Holland neemt de stijghoogte toe van circa NAP -5 tot NAP -2 m. Het peilverschil tussen het Markermeerpeil en de stijghoogte wordt in stand gehouden door de grote weerstand van de deklaag in het Markermeer.

3.5 Weerstand Holocene deklaag en spreidingslengte van het systeem

De weerstand van de deklaag is deze onderzocht. De weerstand is één van de twee parameters die de spreidingslengte bepaalt. De spreidingslengte λ is een geohydrologische parameter die bepaalt tot op welke afstand een ingreep in het grondwatersysteem significante invloed kan uitoefenen:

$$\lambda = \sqrt{kD/c}$$

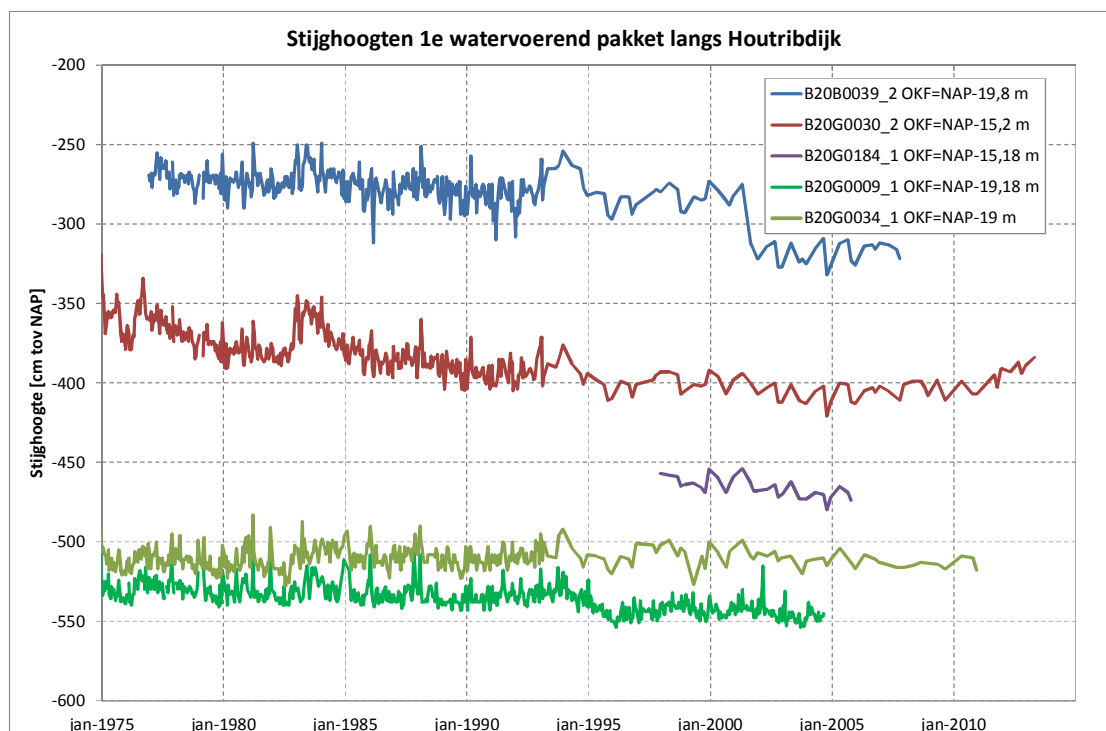
De spreidingslengte van het Markermeersysteem wordt hieronder afgeleid met behulp van de formule van Mazure, waarbij wordt uitgegaan van 1 dimensionale stroming vanaf een opgelegde rand ($\phi(x=0)$) naar een halfoneindige polder:

$$\phi(x) = MMP + [\phi(x=0) - MMP] \exp(-x/\lambda)$$

met

kD	=	doorlaatvermogen watervoerend pakket [m ² /dag]
c	=	weerstand deklaag [dagen]
λ	=	spreidingslengte [m]
MMP	=	Markermeerpeil [m tov NAP]
x	=	afstand tot dijk Flevopolder [m]
$\phi(x=0)$	=	stijghoogte onder dijk Flevopolder

Voor 5 waarnemingsputten in een raai over de Houtrtiddijk zijn in Afbeelding 3.5 vijf gemeten tijdreeksen weergegeven. Locaties staan in Afbeelding 3.6. Op het oog geschatte gemiddelde waarden staan in Tabel 3.2.



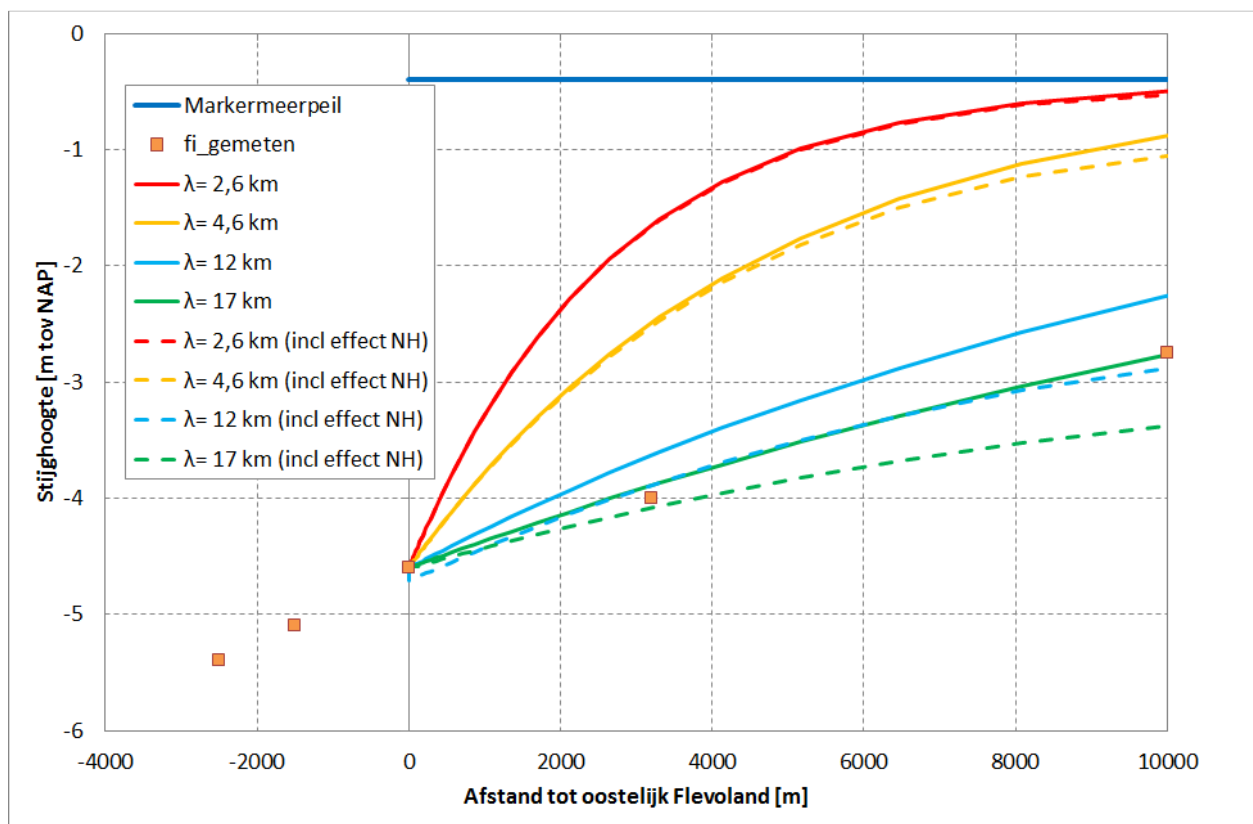
Afbeelding 3.5: Stijghoogtemetingen op raai Houtribdijk.



Tabel 3.2: Op het oog geschatte gemiddelde stijghoogten.

Waarnemingsput	x [m]	Gemiddelde stijghoogte [m tov NAP]
B20B0039	10000	-2,75
B20G0030	3200	-4
B20G0184	0	-4,6
B20G0009	-1500	-5,1
B20G0034	-2500	-5,4

Afbeelding 3.6: Locaties waarnemingsputten op raai Houtribdijk, langjarig gemiddelde stijghoogten.



Afbeelding 3.7: Afleiding spreidingslengte uit gemeten gemiddelde stijghoogten.

Uit de vergelijking tussen gemeten stijghoogten (oranje punten) en de met Mazure berekende stijghoogten is de spreidingslengte afgeleid, en daaruit een realistische bandbreedte voor de bodenparameters van het Markermeer bepaald:

- $\lambda = 12$ km als rekening wordt gehouden met het effect van polders in Noord-Holland op de stijghoogte;
- $\lambda = 17$ km als geen rekening wordt gehouden met het verlagende effect van polders in Noord-Holland.

Tabel 3.3: Realistische bandbreedte bodenparameters c (weerstand deklaag) en kD (totaal doorlaatvermogen watervoerend pakket).

	$\lambda = 12$ km	$\lambda = 17$ km
$kD = 8.000$ m ² /dag	$c = 18.000$ dagen	$c = 36.000$ dagen
$kD = 10.000$ m ² /dag	$c = 14.400$ dagen	$c = 19.000$ dagen
$kD = 12.000$ m ² /dag	$c = 12.000$ dagen	$c = 24.000$ dagen

Conclusie:

- de spreidingslengten van het Markermeersysteem zijn extreem groot (12-17 km), een ingreep kan dus op grote afstand effecten veroorzaken.

3.6 AZURE

De effecten van de verschillende scenario's op stijghoogte, grondwaterstand en kwel zijn doorgerekend met het stationaire grondwatermodel AZURE (versie 1.0). Dit is een grootschalig numeriek grondwatermodel van het IJsselmeergebied, de IJsselmeerpolders en hun omgeving. Het model is opgesteld en gekalibreerd door Deltares. De eerste versie van AZURE is begin 2014 opgeleverd. De belangrijkste bodemparameters van AZURE worden hieronder gecheckt om te beoordelen of AZURE geschikt is voor het berekenen van de effecten van zandwinputten op het grondwatersysteem.

Weerstand deklaag

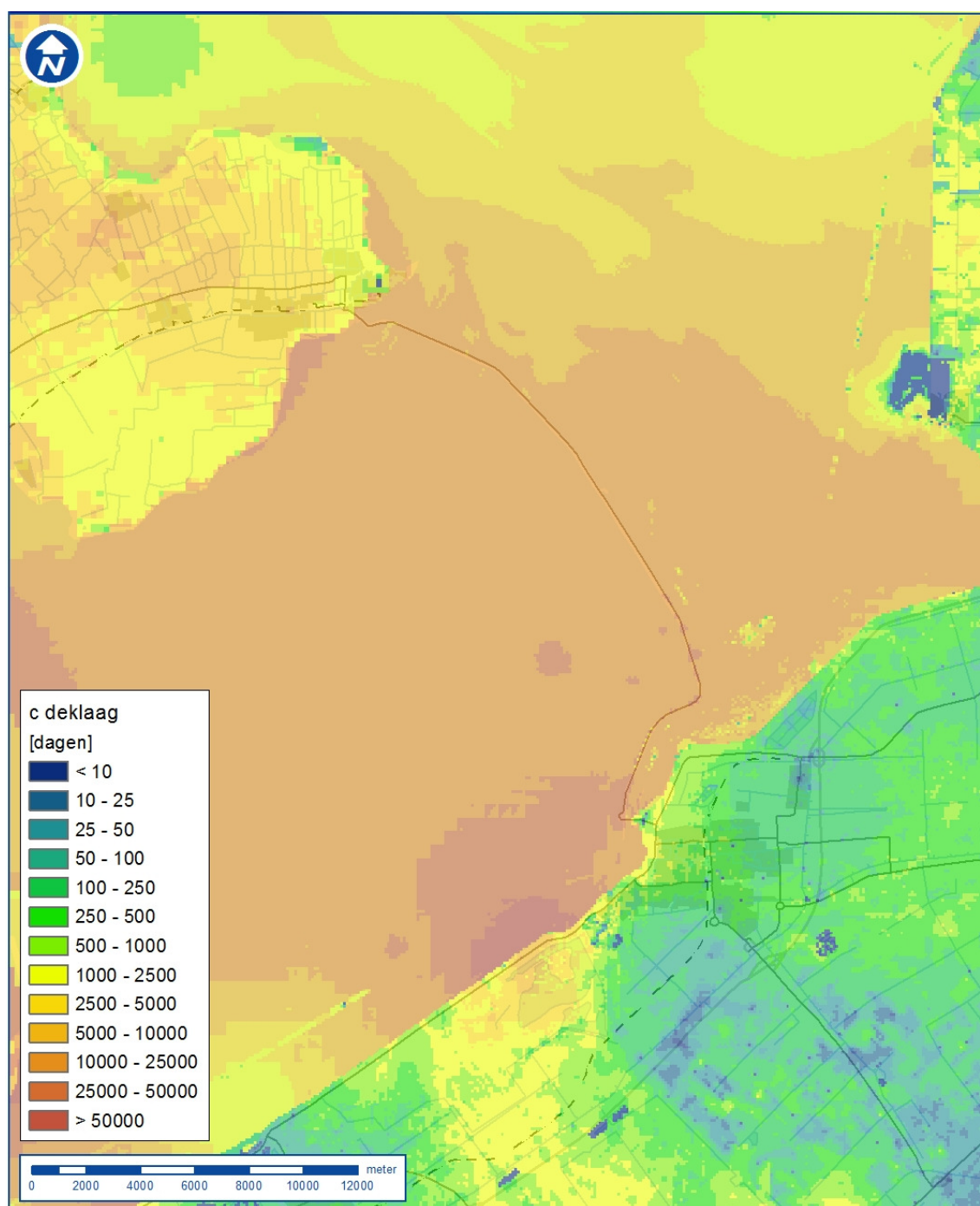
De weerstand van de deklaag bedraagt in het Markermeer in AZURE 10.000 – 25.000 dagen en gemiddeld in het gebied waar de Marker Wadden worden aangelegd 20.000 dagen (Afbeelding 3.8).

Doorlaatvermogen watervoerend pakket

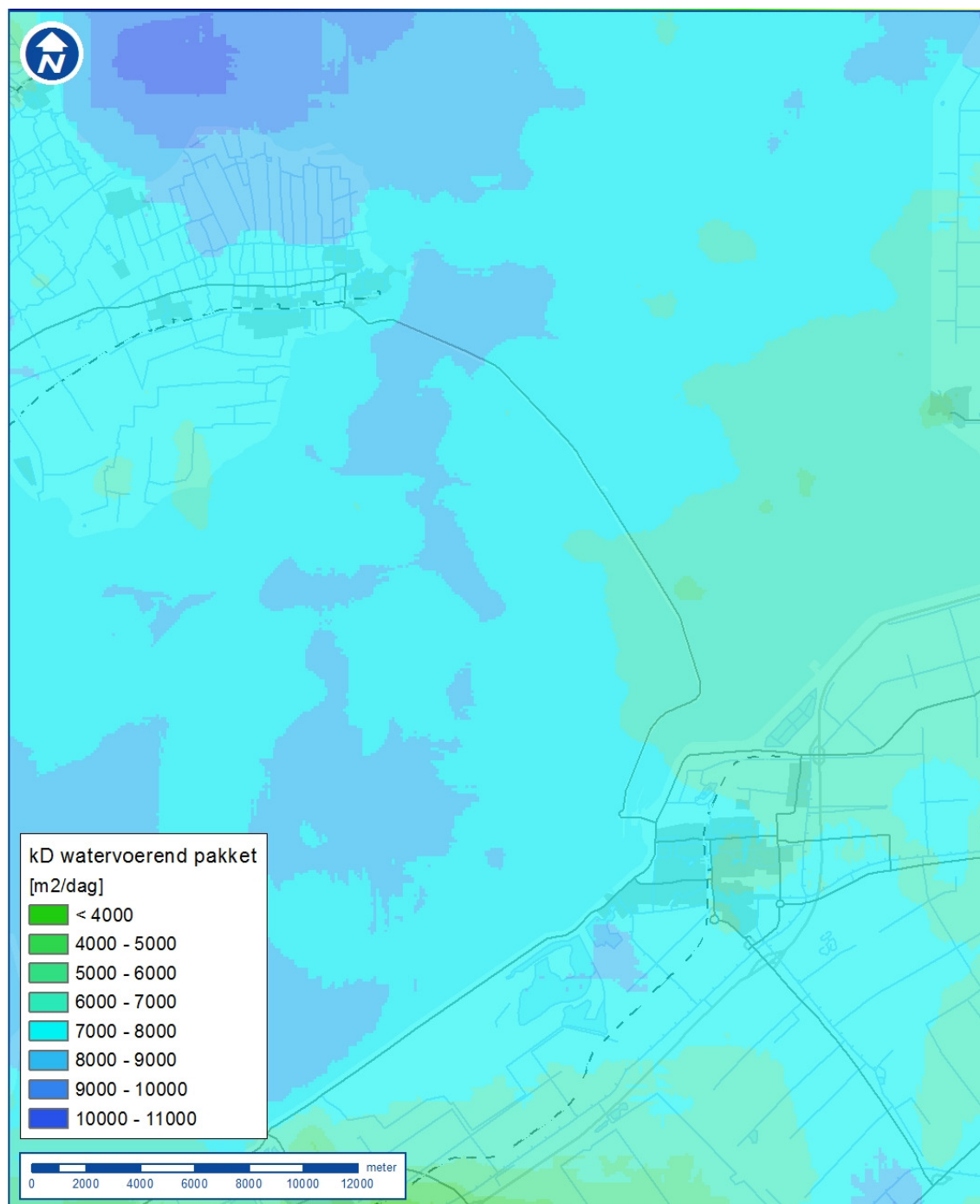
Het doorlaatvermogen van het watervoerende pakket onder het Markermeer bedraagt in AZURE 7.000 - 8.000 m²/dag met uitschieters richting 9.000 m²/dag. Gemiddeld bedraagt het doorlaatvermogen 7.400 m²/dag in het gebied waar de Marker Wadden worden aangelegd (Afbeelding 3.9).

Spreidingslengte

De gemiddelde spreidingslengte van het watervoerende pakket in het gebied waar de Marker Wadden worden aangelegd is in AZURE 12 km. Dit is de bandbreedte van de vorige paragraaf. Wij achten AZURE daarom geschikt voor het berekenen van de effecten van zandwinputten.



Afbeelding 3.8: Deklaagweerstand in AZURE [dagen].



Afbeelding 3.9: Doorlaatvermogen watervoerend pakket in AZURE [m2/dag].

4 METHODE VAN MODELLERING VAN ZANDWINPUTTEN IN AZURE

4.1 Methode

De zandwinputten en slibgeulen zijn ingebracht volgens de uitgangspunten die vermeld zijn in paragraaf 2.4 en door op de volgende wijze weerstand in het model te verwijderen:

Zandwinputten:

- Tot een diepte van NAP -40 m wordt alle weerstand van de deklaag en onderliggende weerstandbiedende lagen verwijderd over het oppervlak van de zandwinput (zie Tabel 2.1);
- Deze weerstand van IJsseloog is bepaald d.m.v. calibratie aan de effecten die opgetreden zijn bij de aanleg, zie Bijlage 1. De resterende weerstand van IJsseloog bedroeg 20 dagen. Voor de zandwinputten is de weerstand naar rato van het oppervlak ten opzicht van IJsseloog verkleind (of vergroot). Bij een put met het halve oppervlak van IJsseloog wordt de weerstand dus 10 dagen, hierdoor zijn de effecten op de stijghoogte even groot als bij IJsseloog;
- Per aanwezige weerstandslaag wordt een weerstand van 1 dag in het model terug gebracht;
- In de deklaag wordt de resterende weerstand minus de weerstand van de andere lagen die doorboord worden teruggebracht.

Slibgeulen:

- Top pleistoceen (geïnterpoleerd) < NAP -12 m:
 - Alle weerstand van de deklaag wordt verwijderd;
 - Weerstand van 20 dagen wordt terug gebracht;
- Top pleistoceen (geïnterpoleerd) > NAP -12 m:

$$c_{aangepast} = \max \left\{ c_1 \cdot \frac{Bot_{Slibgeul} - Top_{Pleistoceen}}{Top_{Laag1} - Top_{Pleistoceen}} \right. \\ \left. 20 \right.$$

Waarin:

$c_{aangepast}$	= Aangepaste modelweerstand laag 1	[dagen]
c_1	= Huidige modelweerstand laag 1	[dagen]
$Bot_{Slibgeul}$	= Bodemhoogte van slibgeul, in dit geval NAP -12 m	[m]
$Top_{Pleistoceen}$	= Top pleistoceen zandpakket (geïnterpoleerd)	[m]
Top_{Laag1}	= Top van Holocene deklaag (in model)	[m]

4.2 Worst case benadering effectbepaling

De effecten op de stijghoogte zijn afhankelijk van de stromingsweerstand tussen het Markermeer en het watervoerende pakket. Dat wordt bepaald door het areaal waar tijdens het baggeren een schoon zandoppervlak bestaat waar het water zonder veel weerstand kan instromen in het watervoerende pakket. Als met baggeren gestopt wordt, zal slib neerslaan op de bodem van de zandwinput en slibgeul, waardoor de weerstand in de loop van de tijd weer toeneemt en de effecten op het grondwatersysteem afnemen. Het is daarom aannemelijk dat bij een hoge zandproductie (m³/week) het areaal “schoon zandoppervlak” groter is dan bij een lage zandproductie. Bij een lage productiesnelheid krijgt slib meer kans om neer te slaan en is het areaal “schoon zandoppervlak” op een bepaald moment kleiner dan bij een grotere productiesnelheid.

De zandproductie bij Markerwadden bedraagt gemiddelde 3,9 miljoen m³/jaar bij het Basisalternatief 'continu en compact' en 1,95 miljoen m³/jaar bij de variant 'batchgewijs'.

Bij de berekening van de effecten is voor de stromingsweerstand van de bodem van zandwinputten uitgegaan van de stromingsweerstand die is opgetreden bij de aanleg van de zandwinning voor het IJsseloog in het Ketelmeer (zie Bijlage 1). De productiesnelheid bij die zandwinning was orde van grootte 10 miljoen m³ zand per jaar. Het is daarom waarschijnlijk dat de stromingsweerstand die bij de zandwinputten voor Marker Wadden zullen optreden hoger zullen zijn dan bij IJsseloog. Daarom zijn de effecten op het grondwatersysteem die in dit rapport worden beschreven waarschijnlijk een overschatting van de effecten die in werkelijkheid optreden (worst case).

De effecten zijn tijdelijk.: De effecten treden op voor de duur van de werkzaamheden. Nadat de werkzaamheden gestopt zijn, zal slib neerslaan op de bodem van de zandwinput (en slibgeul), waardoor de weerstand in een periode van weken tot maximaal enkele maanden weer toeneemt en de effecten op het grondwatersysteem afnemen.

5 EFFECTEN ZANDWINPUTTEN EN SLIBGEULEN OP GRONDWATERSYSTEEM

Effecten op het grondwatersysteem worden veroorzaakt door het wegbaggeren van de holocene deklaag, waardoor direct contact ontstaat met het grondwater in het watervoerende pakket. De stijghoogte (waterdruk) in het watervoerende pakket is veel lager (NAP-4 tot NAP-2,5 m) dan het peil in het Markermeer (NAP-0,2 tot NAP-0,4 m). Daardoor neemt de infiltratie van oppervlaktewater toe en worden stijghoogten in de omgeving van zandwinputten en slibgeulen verhoogd. Dit leidt in de polders tot een toename van kwel (opwaartse grondwaterstroming). In stedelijk gebied en poldergebieden leidt een toename van kwel tot een verhoging van de grondwaterstand en toename van de afvoer van water door het oppervlaktewatersysteem (sloten).

Grondwaterstandsverhogingen van minder dan 5 cm beoordelen we als niet significant. Bij de beoordeling van de gevolgen van grotere verhogingen van de grondwaterstand maken we onderscheid in de volgende categorieën:

- Categorie 1: gebieden met stedelijke bebouwing en ondiepe grondwaterstanden (gemiddeld minder dan 70 cm onder maaiveld in de huidige situatie), waar de grondwaterstand als gevolg van de ingrepen in het Markermeer met meer dan 5 cm stijgt;
- Categorie 2: gebieden met stedelijke bebouwing, waar de grondwaterstand door de ingrepen in het Markermeer met meer dan 5 cm stijgt, en daardoor ondieper wordt dan 70 cm onder maaiveld;
- Overige: stedelijk bebouwde gebieden waar de grondwaterstand dieper blijft dan 70 cm onder maaiveld, of gebieden zonder bebouwing, zoals stedelijk groen, bos en natuur.

Het is aannemelijk dat bij een hoge zandproductie (m^3/week) het areaal “schoon zandoppervlak” groter is dan bij een lage zandproductie. Nadat het baggeren gestopt is, zal slib neerslaan op de bodem van de zandwinput en slibgeul, waardoor de weerstand in de loop van de tijd weer toeneemt en de effecten op het grondwatersysteem afnemen. Bij een lage productiesnelheid krijgt slib meer kans om neer te slaan en is het areaal “schoon zandoppervlak” op een bepaald moment kleiner dan bij een grotere productiesnelheid.

Slibgeulen worden aangelegd met als doel het invangen en vastleggen van slib uit het Markermeer. Ze zijn effectiever naarmate ze dieper zijn. Zolang er bij slibgeulen een significante hoeveelheid klei/veen aan de basis blijft liggen (circa 0,5 m) blijft er hydraulische weerstand bestaan en hebben slibgeulen een verwaarloosbaar effect op stijghoogten.

5.1 Effect op stijghoogte

Als gevolg van het wegbaggeren van de deklaag wordt de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket onder het Markermeer verhoogd. De effecten op stijghoogte zijn weergegeven in Bijlage 3.1, 4.1 en 5.1.

Uitvoeringsscenario 1 (basisalternatief)

Op de rand van de zandwinput bedraagt de verhoging van de stijghoogte 90 cm, aan de rand van de slibgeul is dat 70 cm. Het gebied met verhogingen (meer dan 5 cm) is ongeveer 400 km^2 groot. Het overgrote deel van dit gebied ligt onder het Marker- en IJsselmeer. Onder Flevoland wordt in een strook van circa 12 bij 1 km de stijghoogte met meer dan 5 cm verhoogd. De maximale verhoging is circa 20 cm. Over een traject van 22 km wordt de stijghoogte onder de Houtribdijk met meer dan 5 cm verhoogd. De maximale verhoging bedraagt circa 30 cm.

Uitvoeringsscenario 2 (variant 1)

Met een zandwininput en drie slibgeulen erbij, zijn de effecten op stijghoogte groter dan bij Uitvoeringsscenario 1. De extra slibgeulen snijden niet in in het watervoerende pakket. De verhogingen van de stijghoogte worden dus alleen veroorzaakt door de extra zandwininput. De verhoging van de stijghoogte op de rand van de extra put bedraagt ongeveer 50 cm. Aan deze kant van het Markermeer is het effect kleiner dan dicht bij Flevoland, doordat het verschil tussen het Markermeerpeil en de stijghoogte hier kleiner is. Het totale oppervlak waar de stijghoogte verhoogd wordt bedraagt circa 550 km². Onder Flevoland neemt het oppervlak met stijghoogteverhogingen nauwelijks toe. De maximale verhoging bedraagt onder de dijk blijft circa 15 cm. Onder de gehele Houtribdijk wordt de stijghoogte verhoogd met meer dan 5 cm. De maximale verhoging op treedt op in een strook op korte afstand van de eerste zandwininput en bedraagt circa 35 cm. Bij dit uitvoeringsscenario treden er ook stijghoogteverhogingen op onder de Zuiderdijk Drechterland (Noord-Holland). De maximale verhoging bedraagt circa 20 cm.

Uitvoeringsscenario 3 (variant 2)

Bij dit scenario liggen de zandwininput en slibgeul uit uitvoeringsscenario 1 dicht bij Lelystad en is de slibgeul gelegen op een locatie waar de deklaag ondieper is dan NAP -12 m. De put voor de Houtribdijk ligt ook dicht bij Lelystad. De versterking van effecten is bij dit scenario groter dan bij uitvoeringsscenario 2. Op de rand van de zandwininput voor Marker Wadden vindt een verhoging van de stijghoogte plaats van circa 90 cm, op de rand van de slibgeul is de verhoging circa 85 cm. Op de rand van de zandwininput die wordt aangelegd ten behoeve van de Houtribdijk is de verhoging circa 75 cm. Het verschil tussen de twee zandwinputten wordt veroorzaakt doordat de put voor Houtribdijk dicht bij het vaste land van Flevoland ligt waar de deklaagweerstand kleiner is en effecten uitdempen en omdat het totale doorlaatvermogen van het watervoerende pakket bij de put voor Marker Wadden kleiner is, waardoor de druk in het pakket minder snel uitdooft. Het totale oppervlak waar de stijghoogte verhoogd wordt bedraagt circa 450 km². Onder een strook van 14 bij 2,5 km wordt de stijghoogte onder Flevoland verhoogd. De grootste verhogingen zijn onder de dijk aan de noordkant van Lelystad, de verhoging is hier maximaal 30 cm. De verhogingen reiken niet tot in Noord-Holland. Onder de Houtribdijk wordt de stijghoogte over een traject van 20,5 km verhoogd variërend van 5 cm tot 60 cm.

5.2 Effect op kwel en afvoer

De verhoging van de stijghoogte leidt in de polders tot een toename van kwel (opwaartse grondwaterstroming). In goed ontwaterde gebieden leidt extra kwel tot een toename van de afvoer van water door het oppervlaktewatersysteem (sloten). De effecten op kwel zijn weergegeven in Bijlage 3.4, 4.4 en 5.4.

Uitvoeringsscenario 1 (basisalternatief)

In een strook van ongeveer 12 bij 2 km vinden verhogingen van kwel met meer dan 0,1 mm/dag plaats, afhankelijk van de aanwezigheid van drainage en oppervlaktewater. Het totale gebied met verhogingen meer dan 0,1 mm/dag bedraagt ongeveer 20 km². De maximale verhoging is circa 0,3 mm/dag. De afvoer naar het oppervlaktewatersysteem neemt in Flevoland toe met ongeveer 7.000 m³/dag, dat is minder dan 1% van de afvoer die plaatsvindt via de Lage Vaart (zie Tabel 5.1). Hoewel de kwel in de Noordoostpolder en Noord-Holland met minder dan 0,1 mm/dag toeneemt, moet rekening gehouden worden met een toename van de afvoer met respectievelijk ongeveer 200 en 1.100 m³/dag.

Uitvoeringsscenario 2 (variant 1)

Het gebied waar in Flevoland een toename van kwel op treedt is even groot als voor uitvoeringsscenario 1, ook de maximale verhoging is circa 0,3 mm/dag. Ook in de Noordoostpolder en Noord-Holland zijn geen

verhogingen van kwel groter dan 0,1 mm/dag. De afvoer naar het oppervlaktewatersysteem neemt wel iets meer toe dan bij uitvoeringsscenario 1. In Flevoland is de toename ongeveer 7.900 m³/dag, ook dit is minder dan 1% van de afvoer via de Lage Vaart (zie Tabel 5.1). In de Noordoostpolder en Noord-Holland is de toename respectievelijk ongeveer 300 en 1.900 m³/dag.

Uitvoeringsscenario 3 (variant 2)

Door de cumulatie van de effecten van Marker Wadden en de Houtribdijk worden de effecten wel groter. Het totale gebied waar de kwel toeneemt met meer dan 0,1 mm/dag bedraagt ongeveer 30 km². In Flevoland neemt in de strook van ongeveer 11,5 bij 4 km de kwel toe, afhankelijk van de aanwezigheid van drainage en oppervlaktewater. De verhoging is maximaal circa 0,6 mm/dag. De afvoer naar het oppervlaktewatersysteem neemt met ongeveer 11.000 m³/dag toe in Flevoland. Dat is minder dan 1% van de afvoer die plaatsvindt via de Lage Vaart (zie Tabel 5.1).

Ook in de Noordoostpolder en Noord-Holland vindt toename van de kwel plaats, zij het minder dan 0,1 mm/dag. Er moet echter wel rekening worden gehouden met en een verhoging van de afvoer van respectievelijk ongeveer 200 en 1.000 m³/dag.

Tabel 5.1: Toename van afvoer naar het oppervlaktewatersysteem voor de verschillende scenario's in Noord-Holland, Flevoland en de Noordoostpolder.

	Toename afvoer [m ³ /dag]		
	Uitvoerings-scenario 1	Uitvoerings-scenario 2	Uitvoerings-scenario 3
Flevoland	7.000	7.900	11.000
Noord-Holland	1.100	1.900	1.000
Noordoostpolder	200	300	200

5.3 Effect op grondwaterstand

In stedelijk gebied en poldergebieden leidt een toename van kwel tot een verhoging van de grondwaterstand. De effecten op de grondwaterstand zijn weergegeven in Bijlage 3.2 en 3.3, 4.2 en 4.3 en 5.2 en 5.3.

Uitvoeringsscenario 1 (basisalternatief)

De grondwaterstand wordt in Flevoland verhoogd in een strook van ongeveer 8 bij 1,8 km. Het totale oppervlak met verhogingen van de grondwaterstand met meer dan 5 cm bedraagt ongeveer 3 km². De door het model berekende maximale verhoging in Lelystad is iets minder dan 10 cm. Op plaatsen met hoge maaiveldhoogten waar drainage ontbreekt, kunnen de grondwaterstandsverhogingen groter zijn. Dat is het geval op de Bataviawerf, de Houtribhoogte en het sluizencomplex. Daar treden verhogingen van de grondwaterstand op van maximaal 20 cm. Dat leidt daar niet tot grondwateroverlast, omdat de diepte van de grondwaterstand onder maaiveld relatief groot is.

In stedelijk bebouwde delen van Lelystad stijgt de grondwaterstand op ongeveer 7 ha, waar in de huidige situatie de gemiddelde grondwaterstand ondieper is dan 70 cm, met iets meer dan 5 cm (categorie 1). Op 2 ha stedelijk bebouwd gebied stijgt de grondwaterstand met meer dan 5 cm, waardoor deze ondieper dan 70 cm onder maaiveld wordt (categorie 2).

Uitvoeringsscenario 2 (variant 1)

De effecten op de grondwaterstand in Flevoland zijn vergelijkbaar met de effecten op de grondwaterstand van uitvoeringsscenario 1. Dit scenario leidt niet tot meer plekken met een grondwaterstand ondieper dan 70 cm onder maaiveld.

Uitvoeringsscenario 3 (variant 2)

Grondwaterstandsverhogingen treden op in een strook van ongeveer 10 bij 2,5 km. Het totale oppervlak met een verhoging van de grondwaterstand met meer dan 5 cm bedraagt ongeveer 8 km². De maximale verhoging in Lelystad bedraagt circa 10 cm. Op de Bataviawerf en de Houtribhoogte vinden verhogingen van circa 40 cm plaats. Dat leidt daar niet tot grondwateroverlast, omdat de diepte van de grondwaterstand onder maaiveld relatief groot is.

Door de ongunstige ligging van de putten ten opzichte van Lelystad is er een groter gebied met stedelijke bebouwing waar de grondwaterstand met meer dan 5 cm stijgt en ondieper is, of ondieper wordt dan 70 cm onder maaiveld. Circa 13 ha behoort tot categorie 1 en circa 2 ha tot categorie 2.

5.4 Conclusies

De intredeweerstand van de bodem van zandwinputten is gebaseerd op de zandwinput IJsseloog, waar de productiesnelheid orde van grootte 10 miljoen m³ zand per jaar was. De zandproductie bij Marker Wadden bedraagt gemiddeld 3,9 miljoen m³/jaar bij het Basisalternatief 'continu en compact' en 1,95 miljoen m³/jaar bij de variant 'batchgewijs'. Het is daarom aannemelijk dat de werkelijk optredende effecten minder groot zullen zijn dan uit de effectberekeningen volgt. Het is een worst case benadering.

Op basis van deze worst case scenario's trekken we de volgende conclusies:

- Bij alle scenario's treedt er verhoging van de stijghoogte en grondwaterstand op in bebouwd gebied;
- De stijghoogte onder de dijken wordt bij alle scenario's verhoogd tot maximaal 60 cm bij uitvoeringsscenario 3. Bij de andere scenario's is de verhoging maximaal 35 cm;
- In stedelijk bebouwde delen van Lelystad stijgt de grondwaterstand in een klein deel van het stedelijk bebouwde gebied met meer dan 5 cm tot een niveau van minder dan 70 cm onder maaiveld. Het grootste effect treedt op bij uitvoeringsscenario 3. In totaal gaat het om 15 ha, waarvan er op 13 ha volgens het model in de huidige situatie al een grondwaterstand ondieper dan 70 cm onder maaiveld voorkomt.
- In Flevoland neemt de kwel met meer dan 0,1 mm/dag toe. Het gebied waar de kwel toe neemt varieert van circa 2.400 (uitvoeringsscenario 1) tot 4.600 ha (uitvoeringsscenario 3);
- De toename van kwel resulteert in een verhoging van de afvoer naar het oppervlaktewatersysteem, zie Tabel 5.1. In Flevoland waar de toename van afvoer het grootst is, is de toename minder dan 1% van de afvoer die plaatsvindt via de Lage Vaart.

6 STABILITEIT VAN DIJKEN

6.1 Inleiding

Er zijn verschillende mechanismen waardoor een dijk kan falen. In dit hoofdstuk worden de effecten van de verandering van de geohydrologie (stijghoogte en polderpeilen) op de relevante faalmechanismen bij de omliggende dijken onderzocht. Het betreft de volgende mechanismen:

- Opdrukveiligheid en piping;
- Macrostabiliteit (binnen- en buitenwaarts).
- Microstabiliteit.

De beschouwing is uitgevoerd voor een worst-case situatie, met grotere effecten op het grondwatersysteem dan die van de uitvoeringsscenario's 2 en 3, die in dit rapport beschreven zijn. De geohydrologische effecten van uitvoeringsscenario's 2 en 3 zijn weergegeven in de Bijlagen 4 en 5.

Uit de bijlagen 4 en 5 is af te leiden dat de geohydrologische invloed zich uitstrekt tot de navolgende dijken:

- Oostvaardersdijk en IJsselmeerdijk – dijkkringgebied 8: Flevoland;
- Zuiderzeedijk van Drechterland – dijkkringgebied 13: Noord-Holland;
- Houtribdijk.

In Afbeelding 6.1 is de ligging van de verschillende dijken weergegeven. De keringen behoren tot de Primaire waterkeringen categorie (a), met uitzondering van de Houtribdijk, deze behoort tot categorie (c).

In de volgende paragrafen is per dijk een beschouwing uitgevoerd van de effecten.

De geotechnische toetsingsrapporten van de betreffende dijkvakken zijn in beschouwing genomen. Onderzocht is of de hiervoor beschreven worst case effecten kunnen leiden tot een ander toetsingsoordeel over de stabiliteit van de keringen. De situatie tijdens maatgevend hoogwater is hierbij beschouwd.



Afbeelding 6.1: Ligging van de dijktrajecten.

6.2 Oostvaardersdijk Noord- dijkringgebied 8: Flevoland

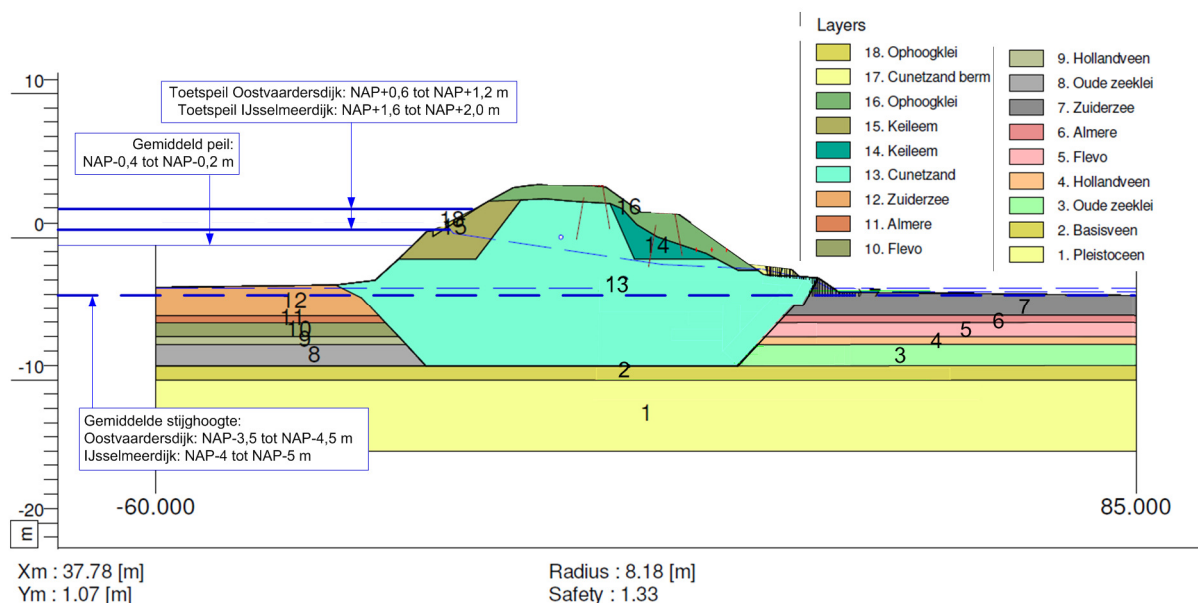
Door het Waterschap Zuiderzeeland is de Ontwerpnota beschikbaar gesteld [DHV, 2002a]. Tevens is gebruik gemaakt van het bijbehorende geotechnisch ontwerprapport [DHV, 2002b]. Over het dijktraject Lelystad Haven tot Houtribsluizen (5 km) zijn geen gegevens beschikbaar gesteld.

De Oostvaardersdijk is een dijklichaam met een kern van zand voorzien van een afdeklaag. De dijk is aangelegd op een zandcunet dat reikt tot ca. 1,0 m boven het Pleistocene zand. De oorspronkelijke bodemopbouw bestaat uit een Holocene pakket van klei- en veenlagen tot ca. NAP-9,0 m à NAP-11,0 m, gevolgd door het Pleistoceene zand. Zie figuur 5.2 voor schematisatie van de dijk en de ondergrond.

In onderstaande tabel is een overzicht opgenomen van de beschouwde dijksecties, de uitgangspunten ten aanzien van de stijghoogte en het huidige toetsoordeel.

Tabel 6.1: Samenvatting maatgevende omstandigheden en toetsingsoordeel Oostvaardersdijk [DHV 2002a]

Dijk	Locatie	Dijkvak		Maatgevende omstandigheden		Toetsings-oordeel			
				Polderpeil	Stijghoogte	Opbarsten en piping	Macro-stabiliteit binnen-waarts	Macro-stabiliteit Buiten-waarts	Micro-stabiliteit
		van	tot	m tov NAP	m tov NAP				
Oostvaardersdijk-Noord	Houtribsluizen-Lelystad haven	Geen gegevens ontvangen							
Oostvaarderdijs-Noord	Sectie VI Lelystad Haven	30,4	29,67	-6,2	-4	Goed	Goed	Goed	Indien berm, goed
	Sectie V	29,67	29,1	-3,4	-4	Goed	Goed	Goed	Indien berm, goed
	Sectie IV	29,1	28	-3.1--3.8	-4	Goed	Goed	Goed	Indien berm, goed
	deel van Sectie III	28	25	-3,8	-3,75	Goed	Goed	Goed	Indien berm, goed



Afbeelding 6.2: Schematische bodemopbouw Oostvaardersdijk.

De effecten strekken zich uit over het noordelijk deel van de Oostvaardersdijk van ca. km 25 tot km 30,4 (Lelystad Haven) en het deel tussen Lelystad-Haven en de Houtribsluizen.

De beschouwing van de faalmechanismen is uitgevoerd voor de effecten in onderstaande tabel. Omdat onder het zandcunet een laag klei en basisveen met een zeer lage doorlatendheid ligt, wordt de grondwaterspiegel in het dijklichaam vooral beïnvloed door het Markermeer en de sloot in de binnenteen. Een verhoging van de stijghoogte als gevolg van Marker Wadden heeft, zowel onder gemiddelde als onder maatgevende condities vrijwel geen invloed op de grondwaterstand.

Tabel 6.2: Samenvatting effecten op stijghoogten en grondwaterstanden Oostvaardersdijk

Dijk	Locatie	Maximale effecten Marker Wadden		
		Verhoging Stijghoogte [m]	Verhoging grondwaterstand in dijk [m]	Maatgevend scenario
Oostvaardersdijk-Noord	Houtribsluizen-Lelystad haven	0,4 tot 0,2	<0,05	Uitvoerings-scenario 3
Oostvaarderdijs-Noord	Sectie VI Lelystad Haven	0,2	<0,05	
	Sectie V	0.15 tot 0.20	<0,05	
	Sectie IV	0.10 tot 0.15	<0,05	
	deel van Sectie III	0.05 tot 0.10	<0,05	

Opdrukken en piping

Dit mechanisme is gevoelig voor een verandering van de stijghoogte. In het ontwerprapport [DHV, 2002b] wordt gesteld dat het opdrukken van het achterland geen rol speelt indien de stijghoogte lager is dan het polderpeil.

Controleberekeningen zijn uitgevoerd voor de situatie waarbij de stijghoogte toeneemt tot NAP -3,0 m. Dit is 0,75 m tot 1 m hoger dan de aangehouden stijghoogte in de toets en minimaal 0,1 tot 0,6 m hoger dan polderpeil. De resultaten van deze berekeningen staan in Bijlage 6. Hieruit blijkt dat de opdrukveiligheid op het traject van km 21 tot km 29 nergens lager is dan de benodigde 1,2, ook niet ter plaatse van de watergangen.

Doordat de veiligheid tegen opbarsten overal voldoende is, is piping niet aan de orde.

Macrostabieliteit

Voor een aantal maatgevende dwarsprofielen zijn stabiliteitsberekeningen (binnen- en buitenwaarts) uitgevoerd bij een stijghoogte van NAP-3,5 m in plaats van de oorspronkelijke waarde van NAP-4,0 m. De berekeningsresultaten – inclusief het resultaat van de originele berekeningen - zijn toegevoegd aan Bijlage 6.

Uit deze stabiliteitsberekeningen blijkt dat de stabiliteitsfactor zowel binnen- als buitenwaarts niet nadelig beïnvloed wordt door verhoging van de stijghoogte van NAP-4,0 m tot NAP-3,5 m. De maatgevende glijcirkel gaat door de klei- en veenlagen op een niveau van circa NAP -6 à -7 m. De verandering in stijghoogte onder maatgevende omstandigheden reikt niet zo ver.

Conclusie is daarom dat de berekende effecten op de stijghoogte geen negatief effect hebben op de macrostabiliteit binnenwaarts.

Microstabiliteit

Microstabiliteit betreft de stabiliteit van grondlagen van zeer beperkte dikte aan het oppervlak van het binnentalud onder invloed van grondwater dat door het grondlichaam stroomt en aan het binnentalud uitreedt. Uit de oorspronkelijke MSEEP en Plaxis-berekeningen volgt dat de freatische lijn uitreedt in het binnentalud op een niveau tussen circa NAP -1,00 tot -1,80 m afhankelijk van het niveau van het maatgevend hoogwater.

Op een groot aantal plaatsen is in verband met de macrostabiliteit gekozen voor een aanberming met een taludhelling van ca. 1:20. Het is niet bekend of deze aanberming reeds is uitgevoerd. Indien dit het geval is, is microstabiliteit hiermee niet aan de orde.

6.3 IJsselmeerdijk – dijkkringgebied 8: Flevoland

De IJsselmeerdijk is een dijklichaam met een kern van zand voorzien van een afdeklaag. De dijk is aangelegd op een zandcunet dat reikt tot ca. 1,0 m boven het Pleistocene zand, er resteert altijd een klei- of veenlaag onder het zandcunet om kortsluiting te voorkomen. De oorspronkelijke bodemopbouw bestaat uit een Holocene pakket van klei- en veenlagen tot ca. NAP-9,0 m à NAP-11,0 m, gevolgd door het Pleistocene zand. De effecten strekken zich uit over het zuidelijk deel van de IJsselmeerdijk van ca. km 25 tot ca. km 35.

Door het Waterschap Zuiderzeeland is het meest recente toetsrapport beschikbaar gesteld [Grontmij, z.j.]. In onderstaande tabel is een overzicht opgenomen van de beschouwde dijksecties, de uitgangspunten ten aanzien van de stijghoogte en het huidig toetsoordeel.

Tabel 6.3: Samenvatting maatgevende omstandigheden en toetsingsoordeel IJsselmeerdijk [Grontmij, z.j.]

Cursief: [Grontmij, z.j.] vermeldt geen stijghoogten. Op grond van de grafische weergave van de macrostabiliteit buitenwaarts leiden we af: NAP-3,25 m, bij macrostabiliteit binnenwaarts is de stijghoogte gelijk aan MHW weergegeven.

Dijk	Locatie	Dijkvak		Maatgevende omstandigheden		Toetsings-oordeel			
				Polderpeil	Stijghoogte	Opbarsten en piping	Macro-stabiliteit binnenwaarts	Macro-stabiliteit Buitenwaarts	Micro-stabiliteit
		van	tot	m tov NAP	m tov NAP				
IJsselmeerdijk Oostelijk Flevoland	Flevocentrale	24,75	27,55	-4 à -5	max -3,25	onvoldoende	km 24.8: 0,82	km 24.8: 2,4	onbekend
		27,55	29,55	-4 à -5	max -3,25	onvoldoende		km 28.3: 1,6	onbekend
		29,55	30,6	-4 à -5	max -3,25	onvoldoende	km 30.8: 0,78	onbekend	onbekend
		30,6	31,9	-4 à -5	max -3,25	onvoldoende		km 30.8: 2,5	onbekend
		31,9	33,3	-4 à -5	max -3,25	onvoldoende		onbekend	onbekend
	Houtribsluizen	33,3	34,95	-4 à -5	max -3,25	onvoldoende		onbekend	onbekend

De beschouwing van de faalmechanismen is uitgevoerd op basis van de volgende effecten:

Tabel 6.4: Samenvatting effecten op stijghoogten en IJsselmeerdijk

Dijk	Locatie	Maximale effecten Marker Wadden		
		Verhoging Stijghoogte [m]	Verhoging grondwaterstand in dijk [m]	Maatgevend scenario
IJsselmeerdijk Oostelijk Flevoland	Flevocentrale	0,05	<0,05	Uitvoeringsscenario 3
	27,55 - 29,55	0,05 tot 0,10	<0,05	
	29,55 - 30,6	0,10 tot 0,20	<0,05	
	30,6 - 31,9	0,20 tot 0,30	<0,05	
	31,9 - 33,3	0,3	<0,05	
	Houtribsluizen	0,3 tot 0,4	<0,05	

Door het Waterschap Zuiderzeeland is het meest recente toetsrapport beschikbaar gesteld [Grontmij].

Opdrukken en piping

In het Toetsrapport is voor een aantal profielen de veiligheid tegen opdrijven gecontroleerd. Hieruit blijkt dat de veiligheidsfactor $< 1,0$ is. Het is uit het Toetsrapport niet duidelijk bij welke stijghoogte deze berekeningen zijn uitgevoerd, maar op basis van het grafische resultaat van de stabiliteitsberekeningen (zie ook Afbeelding 5.4) is de in de toets gehanteerde waarde veel hoger dan NAP -3,0 m.

In ieder geval is duidelijk dat er in de oorspronkelijke toetsing niet aan de opdrukveiligheid wordt voldaan. Bij een verhoging van de stijghoogte met 0,05 tot 0,4 m zal de stijghoogte ca. NAP -3 m zijn. Opbarsten is dan nog steeds een probleem.

Doordat opbarsten kan plaatsvinden, is het mechanisme piping nader onderzocht.

Ten aanzien van het mechanisme piping zijn in het Toetsrapport [Grontmij] twee mogelijke kwelwegen bekeken:

- Kwelweg via het Pleistocene zandpakket
- Kwelweg via het zandcunet

In het Toetsrapport is het volgende resultaat aangegeven:

Tabel 6.5: Toetsresultaat piping [Grontmij, z.j.].

van	Tot	profiel	Pleistocene kwelweg	kwelweg via zandcunet	(laagste waarde)
22,1	23,6	22,30	onvoldoende	goed	onvoldoende
22,1	23,6	22,80	onvoldoende	goed	onvoldoende
30,6	32,6	30,80	onvoldoende	onvoldoende	onvoldoende
30,6	32,6	31,65	onvoldoende	onvoldoende	onvoldoende
30,6	32,6	32,30	onvoldoende	onvoldoende	onvoldoende

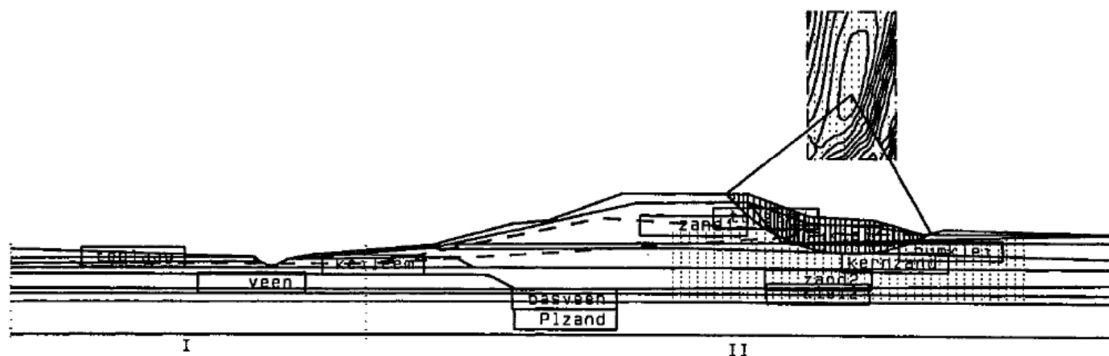
Door een verhoging van de stijghoogte verandert het toetsresultaat ten aanzien van piping niet.

Macrostabiliteit buitenwaarts

Voor een aantal maatgevende dwarsprofielen zijn in het Toetsrapport stabiliteitsberekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn de navolgende veiligheidsfactoren tegen instabiliteit berekend:

- km 24,8, $F_{\min} = 2,4$;
- km 28,3, $F_{\min} = 1,6$;
- km 30,8, $F_{\min} = 2,5$.

In Afbeelding 6.3 is de berekening ter plaatse van km 24,8 weergegeven.



Afbeelding 6.3: Macrostabiliteit buitenwaarts km 24,8.

Volgens het Toetsrapport dient voldaan te worden aan een veiligheidsfactor van $F_s > 1,0$. In het Toetsrapport wordt geen stijghoogte vermeldt waarmee gerekend is. Op basis van de grafische weergaven van de stabiliteitssommen, is afgeleid dat de stijghoogte in het pleistoceen in de berekeningen ca. NAP -3,5 m à NAP -3,25 m bedraagt. Gezien de grote marge ten opzichte van de benodigde veiligheid, wordt niet verwacht dat een verhoging van de stijghoogte met 0,05 tot 0,4 m tot een niveau van maximaal NAP -2,85 m een dermate negatief effect heeft dat er niet meer voldaan zou worden aan de veiligheidseis. Ook al omdat het dijklichaam aangelegd is in een zandcunet wat voor een verhoogde stabiliteit zorgt en de relatief ondiepe maatgevende glijcirkel

Uit voorgaande analyse op basis van de stabiliteitsberekeningen uit het Toetsrapport, blijkt dat het toetsoordeel ten aanzien van macro-stabiliteit buitenwaarts niet nadelig beïnvloed wordt door verhoging van de stijghoogte.

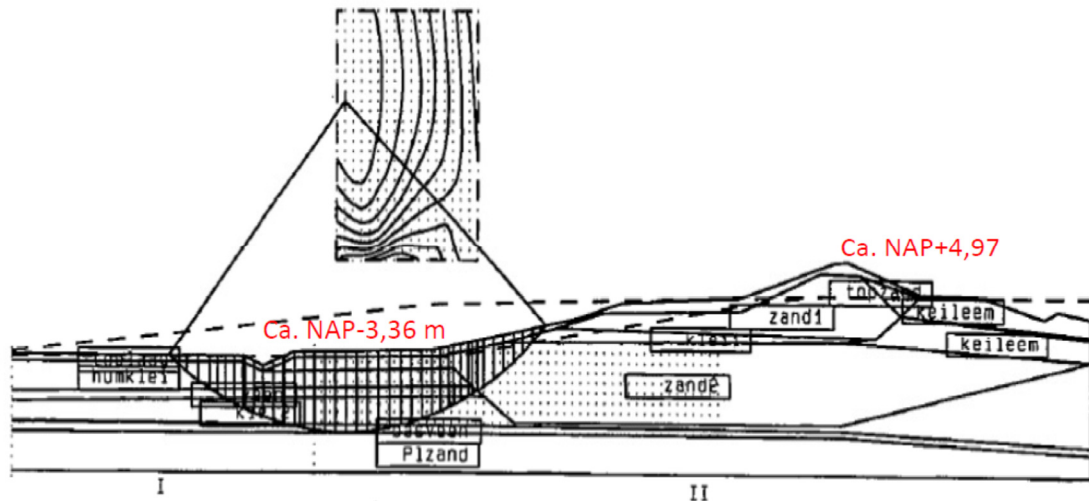
Macrostabiliteit binnenwaarts

Gezien het feit dat er onvoldoende veiligheid bestaat tegen opbarsten, is in het Toetsrapport gerekend met aangepaste sterkteparameters in het achterland ($\phi = 0$ en $c = 0$).

Hieruit volgen de navolgende veiligheidsfactoren:

- km 24,8, (representatief traject 20,8 – 28,8), $F_{min} = 0,82$;
- km 30,8, (representatief traject 28,8 – 34,25), $F_{min} = 0,78$;

Het blijkt dat het traject niet voldoet op macrostabiliteit binnenwaarts in het geval van opbarsten. In Afbeelding 6.4 is het berekeningsresultaat weergegeven voor km 24,8 ($\phi = 0$ en $c = 0$).



Afbeelding 6.4: Macrostabieliteit binnenwaarts km 24,8.

Uit het Toetsrapport wordt niet duidelijk welke stijghoogte is gehanteerd. Op basis van de vermelde kruinhoogte en het maaiveldniveau van het achterland (zie Afbeelding 6.4), is een stijghoogte in het pleistocene zand herleid van circa NAP+1,8 m, dit is nagenoeg gelijk aan het toetspeil voor de buitenwaterstand (MHW). Het effect van Marker Wadden kan in geen geval zodanig zijn dat de stijghoogte hoger wordt dan MHW. De berekeningen welke tijdens de toetsronde zijn uitgevoerd blijven daarom leidend.

Geconcludeerd wordt dat een verandering in stijghoogte geen invloed zal hebben op het oordeel macrostabieliteit binnenwaarts uit het Toetsrapport.

Een verhoging van de grondwaterstand heeft een negatieve invloed op de binnenwaartse macrostabieliteit. Uit Afbeelding 6.4 blijkt dat voor de freatische waterstand een waarde aangehouden is welke nagenoeg gelijk is aan het maaiveld. Het berekende effect op de grondwaterstand leidt niet tot een grondwaterstand hoger dan het huidige maaiveld en heeft daardoor geen effect op het berekeningsresultaat uit het Toetsrapport.

Microstabieliteit

De berekende verhoging van de stijghoogte zal naar verwachting geen effect hebben op het verloop van de freatische lijn in het dijklichaam doordat uit het Toetsrapport blijkt dat het dijklichaam niet in contact staat met het diepere zandpakket, als gevolg van de aanwezigheid van basisveen en/of kleilaag tussen het cunet en het watervoerende pakket. Beide systemen worden van een aparte waterstand voorzien.

Uit het Toetsrapport blijkt tevens dat over het merendeel van het traject een drainageconstructie aanwezig is. Toch zijn op een tweetal locaties natte plekken waargenomen (oorzaak onbekend):

- Tussen km 24,59 en km 24,90
- Tussen km 27,6 en 28,2

Mogelijk bestaat op enkele locaties toch contact tussen het cunet/dijklichaam en het Pleistocene zand (hydraulische kortsluiting). De gemodelleerde freatische lijn (deze is bij hydraulisch contact gelijk aan de

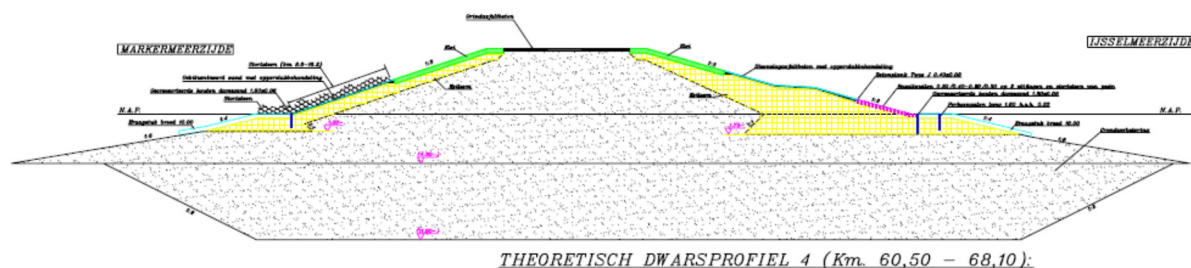
stijghoogte) in het dijklichaam heeft echter een maximale waarde (gelijk aan MHW). Het effect van Marker Wadden kan nooit zodanig zijn dat de stijghoogte hoger wordt dan MHW.

Geconcludeerd wordt dat het verhogen van de stijghoogte geen effect zal hebben op het toetsresultaat betreffende de microstabiliteit.

Ook een verhoging van de grondwaterstand zal naar verwachting geen effect hebben op het toetsresultaat. In Afbeelding 6.3 is te zien dat een waterstand is aangehouden welke nagenoeg gelijk is aan het maaiveld. Het verval wijzigt daardoor niet en daarmee ook de locatie van het mogelijk uittrede punt niet. De verhoging van de grondwaterstand heeft daardoor geen effect op het berekeningsresultaat uit het Toetsrapport.

6.4 Houtribdijk

De Houtribdijk is een zanddijk, afgedekt met een keileemlaag en begrensd door keileemkades. Ze is aangelegd op een zandcunet en is aan beide zijden waterkerend. Mogelijk (met name in vak 5 en 6) is de dijk breder dan het cunet. De taludhellingen zijn relatief steil (veelal 1:3 met het onderwatertalud soms 1:4).



Afbeelding 6.5: Principe opbouw Houtribdijk (breedte cunet mogelijk smaller dan weergegeven).

De dijk is aangelegd op een zandcunet dat reikt tot ca. 1,0 m boven het Pleistoceen. De oorspronkelijke bodemopbouw bestaat uit een Holocene pakket van hoofdzakelijk klei- en veenlagen tot ca. NAP-12,0 m à NAP-14,0 m, gevolgd door het Pleistoceen.

De effecten van Marker Wadden treden op vanaf de aansluiting op dijkkring 13 tot en met vak 6. In onderstaande tabel is een overzicht opgenomen van de beschouwde dijksecties, de uitgangspunten ten aanzien van de stijghoogte en het huidige toetsoordeel.

Tabel 6.6: Samenvatting maatgevende omstandigheden en toetsingsoordeel Houtribdijk

Dijk	Locatie	Dijkvak		Maatgevende omstandigheden		Toetsings-oordeel				
				Polder-peil	Stijg-hoogte	Opbarsten en piping	Macro-stabiliteit Binnen-waarts	Macro-stabiliteit Buiten-waarts	Micro-stabiliteit	
		van	tot	m tov NAP	m tov NAP					
Houtribdijk	Aansluiting op dijkkring 13					Niet relevant (type 2B)	Momenteel in voorbereiding voor verbetering, gebruik gemaakt van ontwerpberekeningen (Ontwerpnota [RHDHV 2013])			
	Dijklichaam C									
	Naviduct polderdijk									
	Vak 1	49,7	53		-2,0					
	Vak 2	53	55,4		-2,0					
	Vak 3	55,4	60,5		-2,0					
	Vak 4	60,5	68,1		-2,05					
	Vak 5	68,1	73,1		-2,0					
	Vak 6	73,1	75		-2,0					

De weergegeven stijghoogten zijn de waarden die zijn gehanteerd bij de stabiliteitstoetsen voor de ontwerpberekening (Ontwerpnota RHDHV 2013),

De beschouwing van de faalmechanismen is uitgevoerd op basis van de volgende effecten:

Tabel 6.7: Samenvatting effecten op stijghoogten en grondwaterstanden Houtribdijk

Dijk	Locatie	Maximale effecten Marker Wadden		
		Verhoging stijghoogte	Verhoging grondwaterstand	Maatgevend scenario
Houtribdijk	Aansluiting op dijkkring 13	0,05 tot 0,10	<0,05 tot 0,10	Uitvoeringsscenario 2
	Dijklichaam C	0,05 tot 0,10	<0,05 tot 0,10	
	Naviduct polderdijk	0,05 tot 0,10	<0,05 tot 0,10	
	Vak 1	0,05 tot 0,10	<0,05 tot 0,10	
	Vak 2	0,05 tot 0,10	<0,05 tot 0,10	
	Vak 3	0,10 tot 0,20	<0,10 tot 0,20	Uitvoeringsscenario 3
	Vak 4	0,20 tot 0,30	<0,20 tot 0,30	
	Vak 5	0,30 tot 0,50	<0,30 tot 0,50	
	Vak 6	0,50 tot 0,60	<0,50 tot 0,60	

Ter beoordeling van de effecten is gebruik gemaakt van de Ontwerpnota [RHDHV, 2013].

Piping

Voor dijken of dammen bestaande uit zand op een goed doorlatende ondergrond (type 2B) is piping niet relevant. In de Ontwerpnota (RHDHV 2013) is vastgesteld dat de Houtribdijk volledig type 2B is. Daarmee is piping niet relevant. Wel wordt aangegeven dat het mogelijk is dat er zich ten tijde van de aanleg van het cunet een sliblaagje heeft gevormd op het cunet (op het toenmalige waterbodenniveau). Hier onder zou een kwelstroom kunnen ontstaan. De Houtribdijk is echter dermate breed en het verval beperkt zodat niet verwacht wordt dat piping een relevant faalmechanisme is.

Aangezien verandering van de stijghoogte in het Pleistoceen geen verandering op de waterstand in het Markermeer of IJsselmeer zal hebben, verandert er niets aan de conclusie van de Ontwerpnota. Er wordt voldaan aan het mechanisme piping en heave.

Macrostabieliteit

Stabiliteitsberekeningen zijn uitgevoerd voor een zestal representatieve profielen welke tevens gebruikt zijn bij het opstellen van de Ontwerpnota.

In navolgende tabel zijn de berekeningsresultaten weergegeven voor zowel MHW aan de Markermeerzijde alsmede MHW aan de IJsselmeerzijde. De gehanteerde uitgangspunten (bodempopbouw, waterstanden e.d.) zijn niet gewijzigd ten opzichte van de Ontwerpnota, met uitzondering de stijghoogte in het Pleistocene zandpakket. De tabel toont berekende stabiliteitsfactoren (geen stijghoogten).

Tabel 6.8: Berekende stabiliteitsfactor macrostabiliteit met inachtneming effect op stijghoogte; STBI

dijkvak	STBI – hoogwater Markermeerzijde		STBI – hoogwater IJsselmeerzijde	
	Berekende stabiliteitsfactor bij stijghoogten conform ontwerpnota	Berekende stabiliteitsfactor bij verhoogde stijghoogten	Berekende stabiliteitsfactor bij stijghoogten conform ontwerpnota	Berekende stabiliteitsfactor bij verhoogde verhoging stijghoogte
1	1,48	1,48	1,13	1,13
2	1,31	1,31	1,46	1,46
3	1,46	1,46	1,42	1,42
4	1,19	1,19	1,42	1,42
5	1,63	1,63	1,54	1,54
6	1,66	1,66	1,32	1,32

Tabel 6.9: Berekende stabiliteitsfactor macrostabiliteit met inachtneming effect op stijghoogte; STBU

dijkvak	STBU – bij hoogwater Markermeerzijde en buitentalud		STBU – bij hoogwater IJsselmeerzijde en buitentalud	
	Berekende stabiliteitsfactor bij stijghoogten conform ontwerpnota	Berekende stabiliteitsfactor bij verhoogde stijghoogten	Berekende stabiliteitsfactor bij stijghoogten conform ontwerpnota	Berekende stabiliteitsfactor bij verhoogde verhoging stijghoogte
1	1,11	1,11	1,11	1,11
2	1,47	1,47	1,47	1,47
3	1,47	1,47	1,47	1,47
4	1,45	1,45	1,45	1,45
5	1,52	1,52	1,52	1,52
6	1,30	1,30	1,30	1,30

De berekende stabiliteitsfactoren blijken in het geheel niet te worden beïnvloed door de stijghoogte in het watervoerende pakket. Dat wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van het cunet. Dat zorgt ervoor dat de maatgevende glijcirkels ondiep gelegen zijn, en niet de basisveenlaag, of andere diepe lagen doorsnijden.

Geconcludeerd wordt dat de toename van de stijghoogte geen effect heeft op het ontwerp.

Microstabiliteit

In het versterkingsontwerp is microstabiliteit impliciet meegenomen. Wateroverdrukken onder de bekleding kunnen afvloeien door de filter onder de zetsteen onderin het talud (IJsselmeerzijde). Onder alle taludbekledingen wordt een geotextiel toegepast. Er is daarmee in feite geen kans van optreden van micro-instabiliteit.

Een verandering in de stijghoogte verandert niets aan deze situatie.

6.5 Zuiderzeedijk van Drechterland

De Zuiderzeedijk van Drechterland is een dijklichaam met een kern van zand voorzien van een afdeklaag. De oorspronkelijke bodemopbouw bestaat uit een Holoceen pakket van klei- en veenlagen tot ca. NAP-11,0 m à NAP-13,0 m, gevolgd door het Pleistocene zandpakket.

De effecten strekken zich uit over 2 trajecten: van dijkpaal (dp) 0 tot dp 73 en van dijkpaal 73 tot dp 137.

Voor deze dijk zijn de effecten van Uitvoeringsscenario 2 maatgevend (twee zandwinputten voor Marker Wadden, waarvan één midden in het Markermeer). Op basis van de resultaten zoals weergegeven in Bijlage 4.1 zijn de navolgende effecten te verwachten:

- Verhoging van de stijghoogte van 5 tot maximaal 10 cm
- Lokale verhoging van de grondwaterstand van 5 tot maximaal 10 cm.

Door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier zijn de volgende rapporten beschikbaar gesteld:

- Ontwerp dijkversterkingsplan – toelichting (HHNK, 2005)
- Toetsing veiligheid waterkeringen, dijkkringgebied 12 en 13 (Arcadis, 2010)
- Aanvullende werkzaamheden i.v.m. MER dijkversterking Enkhuizen – Hoorn (Fugro, 2005)

Uit voorgenoemde rapporten blijkt dat op 4 stukken het toetsoordeel onvoldoende is voor macrostabiliteit binnenwaarts en 1 stuk onvoldoende scoor voor microstabiliteit. Het is niet bekend of inmiddels maatregelen zijn uitgevoerd om deze stukken te verbeteren.

Opdrukken en piping

Uit de verstrekte rapporten blijkt dat ten aanzien van het faalmechanisme piping en opdrijven het oordeel “goed” wordt gegeven.

Tevens wordt in de rapporten vermeld dat uitgegaan wordt van een respons van de stijghoogte op de buitenwaterstand 80%. De verhoging van de stijghoogte tijdens MHW bedraagt 80% van het verschil tussen MHW en het Markermeerpeil in de winter (NAP-0,4 m).

Dit leidt tot de navolgende gehanteerde verhoging van de stijghoogten:

Tabel 6.10: afgeleide stijghoogtes

Lokatie	MHW [NAP m]	afgeleide verhoging van de stijghoogte tijdens MHW bij Markermeerpeil van ca. NAP-0,4 m [RHDHV, 2013]
DP 0 tot DP6+400	1,09	$(1,09 + 0,4) \times 80\% = \text{ca. } 1,2 \text{ m}$
DP6+400 tot DP 24	1,22	$(1,22 + 0,4) \times 80\% = \text{ca. } 1,3 \text{ m}$

De aanname dat de stijghoogte tijdens het optreden van een MHW met 80% van de Markermeerpeilstijging (1,5 tot 1,6 m) zal stijgen, is onzeker. Het effect van Marker Wadden op de stijghoogte is 5 tot 10 cm. Dat is 3 tot 7% van de Markermeerpeilstijging bij MHW. Dat is minder dan de onzekerheid over de aanname. Daarom is een stijghoogteverhoging van 10 cm niet significant.

Geconcludeerd wordt dat een toename in de stijghoogte en de grondwaterstand van ca. 0,05 à 0,1 m dermate gering is, dat er niks aan het toetsoordeel zal veranderen.

Macrostabiliteit buitenwaarts

Uit de verstrekte rapporten blijkt dat ten aanzien van het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts het oordeel “goed” wordt gegeven. De veiligheidsmarge is niet bekend.

Toch wordt verwacht dat een toename in de stijghoogte van ca. 0,05 à 0,1 m is dermate gering dat het toetsoordeel daarmee niet zal veranderen.

Macrostabiliteit binnenwaarts

Uit de verstrekte rapporten blijkt dat ten aanzien van het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts het oordeel “goed” wordt gegeven voor een groot deel van het traject. De veiligheidsmarge is niet bekend. Toch wordt verwacht dat een toename in de stijghoogte van ca. 0,05 à 0,1 m is dermate gering het toetsoordeel daarmee niet zal veranderen.

Voor een 4 tal delen is het oordeel “onvoldoende” gegeven. Als gevolg daarvan zijn versterkingsmaatregelen ontworpen (Fugro, 2005).

Een toename in de stijghoogte en grondwaterstand van ca. 0,05 à 0,1 m is dermate gering dat het toetsoordeel of versterkingsontwerp niet zal veranderen.

Microstabiliteit

Uit de verstrekte rapporten blijkt dat ten aanzien van het faalmechanisme microstabiliteit het oordeel “goed” wordt gegeven voor een groot deel van de trajecten, maar voor de sectie DP4+00 en DP6+700 de score “onvoldoende”.

De geringe berekende verhoging van de stijghoogte zal naar verwachting geen noemenswaardig effect hebben op het verloop van de freatische lijn in het dijklichaam. Verhoging van de grondwaterstand kan wel een negatieve invloed hebben op de microstabiliteit. Naar verwachting zal gezien de geringe verhoging van 0,1 m het toetsoordeel (eventueel aangevuld met aanvullende versterkingsmaatregelen) geen significant effect hebben.

6.6 Conclusie

In voorgaande paragrafen zijn de effecten van de verhoging van de stijghoogte en grondwaterstand bekeken voor de Houtribdijk, Oostvaardersdijk, Zuiderzeedijk en de IJsselmeerdijk.

De volgende relevante mechanismen zijn beschouwd:

- Macrostabiliteit (binnen- en buitenwaarts);
- Opdrukveiligheid en piping;
- Microstabiliteit.

Op basis van de berekeningen en kwalitatieve analyse wordt niet verwacht dat het Toets- of Ontwerpresultaat ongunstiger wordt. Deze conclusie is gebaseerd op basis van effecten op het grondwatersysteem die groter zijn dan de worst casesituatie (uitvoeringsscenario 3) die in dit rapport beschreven wordt. Aangezien deze grotere effecten niet leiden tot een aanpassing van het Toets- of Ontwerpresultaat, zullen de effecten van uitvoeringsscenario 3 ook niet leiden tot een aanpassing van het Toets- of Ontwerpresultaat.

Het oordeel van de trajecten die reeds in de Toetsrapporten als probleemgebieden aangeduid zijn, blijft van kracht, maar worden niet ongunstiger.

7 GEBRUIKTE GEGEVENS

[Arcadis 2010]

“Toetsing veiligheid waterkeringen , dijkkringgebied 12 en 13 dijktrajecten binnen HWBP”, nr. 074595938:A C03011.000046, 7 april 2010

[Bolt et al, 1999]

Bolt, F.J.E. van der ; Bierkens, M.F.P. ; Kleijer, H.; Beoordeling kwelonderzoek Ketelmeer: onderzoek naar het oorzakelijk verband tussen de in 1997 in de Noordoostpolder opgetreden landbouwschade en de aanleg van het speciedepot IJsseloog in het Ketelmeer. Wageningen : DLO-Staring Centrum, 1999

[Bruggeman 1999]

ir. G.A. Bruggeman, 1999 - Analytical Solutions of Geohydrological Problems. Elsevier, Amsterdam.

[Cmer 2013]

Commissie MER, Toetsingsadvies over het milieueffectrapport Marker Wadden.
7 oktober 2013 / rapportnummer 2769-77

[Deltares 2013]

Grondwatermodel AZURE, Actueel Instrumentarium voor de Zuiderzee Regio, Hoofdrapport - achtergonden modelbouw, stationaire calibratie, niet-stationaire calibratie, referentie 1205042-000. Deltares 2013.

[DHV en anderen 2002a]

“Ontwerpnota – Definitief ontwerp Oostvaardersdijk-Noord”, dossier R2079.05.011, juni 2002, reg. nr. NGSE20020593. Rapport opgesteld in samenwerking met Arcadis, Grontmij, Oranjewoud en Tauw b.v.

[DHV en anderen 2002b]

“Oosvaardersdijk-Noord – rapport geotechniek”, dossier R2079.05.005, juni 2002, reg. nr. NGSE20020448. Rapport opgesteld in samenwerking met Arcadis, Grontmij, Oranjewoud en Tauw b.v.

[Dinoloket 2014]

Boorbeschrijvingen en stijghoogtemetingen

[Fugro 2005]

“Aanvullende werkzaamheden i.v.m. MER dijkversterking Enkhuizen-Hoorn (Zuiderdijk Drechterland) – deel 1: ontwerp”, opdracht nr. 1204-0026-000, 1 maart 2005

[Fugro 2013]

Fugro Geoservices BV. “Rapportage geotechnisch veldwerk betreffende onderzoek Marker Wadden.”
Opdrachtnummer: 1013-0294-000, 17 december 2013.

[Grontmij, jaartal onbekend]

“Toetsing IJsselmeerdijken Oostelijk Flevoland km 17,5 km t/m 35,0 (IJsselmeerdijk), Definitief Rapport. Doc. nr. 13/99012392.JvV/Koo.

[HHNK 2005]

“Dijkversterking Enkhuizen-Hoorn Zuiderdijk van Drechterland – ontwerp dijkversterkingsplan toelichting”, nr. 110403/HN5/M60/100018.006/nbe, 1 maart 2005.

[Provincie Flevoland 2010]

Provincie Flevoland, besluit Ontgrondingenwet slibvangput Boskalis B.V, 4 februari 2010, waarin wordt verwezen naar een notitie van Witteveen en Bos: “Geohydrologische effecten slibvang Markermeer, onderzoek realisatie slibvang Markermeer”.

[RHDHV 2013]

Royal HaskoningDHV

Gemeente Lelystad / Natuurmonumenten, Milieueffectrapport ten behoeve van het bestemmingsplan Marker Wadden. Definitief. dossier : BA8757-102-104 registratienummer : AM-AF20130454/ES versie : 3.0 juni 2013

[RHDHV 2013]

“Ontwerpnota – Verkenning versterking Houtribdijk”, nr. 9x4628, 22 april 2013

[Rijkswaterstaat 2004]

Rijkswaterstaat 2004, H.A. van Manen en A. van der Scheer, Geohydrologische effecten sanering Ketelmeer, periode 2000 tot 2004, RIZA werkdocument 2004.184X, oktober 2004

[Rijkswaterstaat 2009]

Rijkswaterstaat 2008, Ianthe Brongers, Jaarverslag 2008 Depot IJsseloog, Status Definitief IJG-rapport 2009-2, 3 maart 2009

[Roukema et al 1998]

D.C. Roukema, J. Driebergen en A. Fase. Realisation of the Ketelmeer Storage Depot], Terra et Aqua nr 71, juni 1998.

[TNO 1985]

F.G. Aelmans, Grondwaterkaart van Nederland, kaartbladen 20W, 26W en 26O, TNO/DGV 1985

[TNO 1991]

F.G. Aelmans, J. Gieske en H. Houtman, Geohydrologische atlas van het IJsselmeergebied, DGV/TNO en BBW/RIZA, 1991

8 COLOFON

Opdrachtgever	: Rijkswaterstaat
Project	: Marker Wadden
Dossier	: BA8757
Omvang rapport	: 47 pagina's
Auteur	: Ron Stroet en Liesanne Verwij
Bijdrage	: Arnoud van Gelder en Ilse Hergarden
Interne controle	: Ron Stroet
Projectleider	: Carel Schut
Projectmanager	: Paul Eijssen
Datum	: 10 december 2014
Naam/Paraaf	:

HaskoningDHV Nederland B.V.

Rivers, Deltas & Coasts

Laan 1914 nr. 35

3818 EX Amersfoort

Postbus 1132

3800 BC Amersfoort

T (088) 348 20 00

F (088) 348 28 01

E info@rhdhv.com

W www.royalhaskoningdhv.com

BIJLAGE 1 Effecten van een zandwininput, afleiden van intredeweerstand uit metingen bij IJsseloog

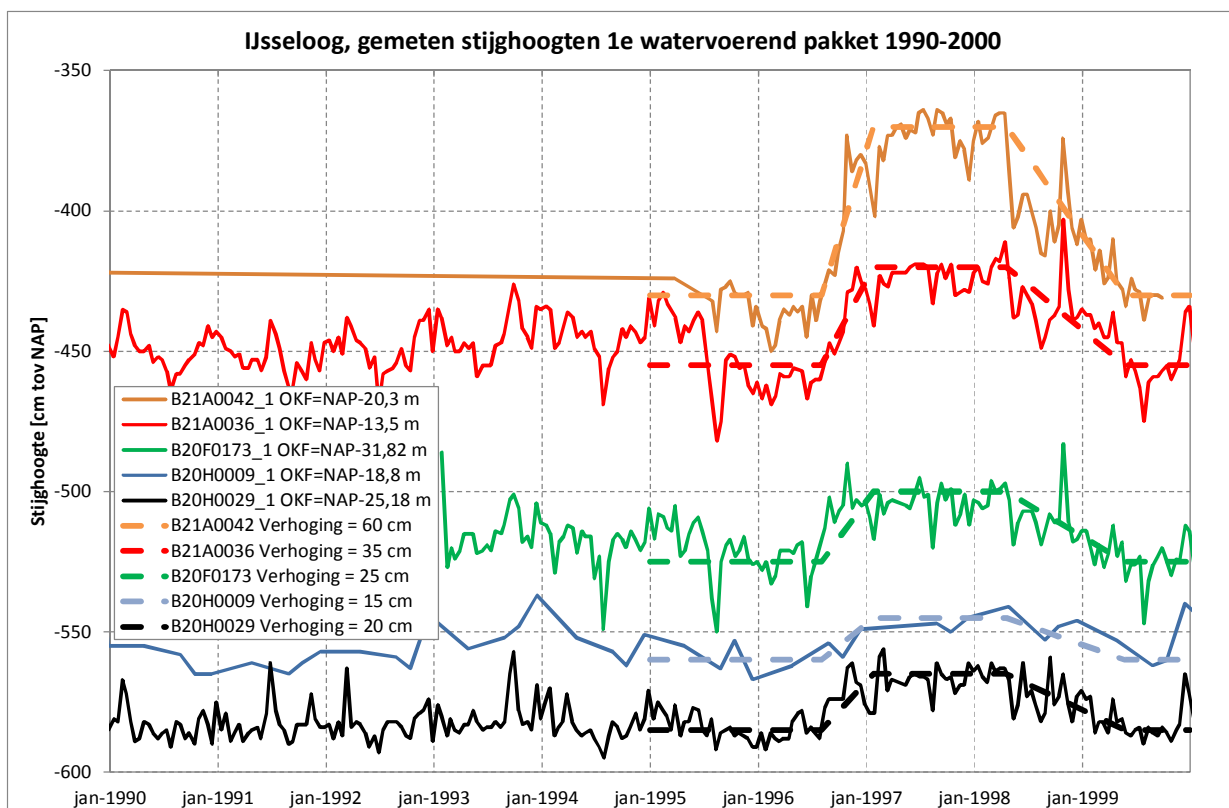
Door het baggeren van een zandwininput in het Markermeer wordt de hydraulische weerstand van de deklaag weggenomen. Op het contactvlak tussen het Markermeer en het watervoerende pakket treedt een sterke infiltratiestroming op, doordat de stijghoogte in het watervoerend pakket (bij de dichtst bij de Flevopolder gelegen zandwininput circa NAP -4 m) veel lager is dan het Markermeerpeil (NAP -0,2 tot NAP -0,4 m). Die stroming leidt tot verhogingen van de stijghoogte in het watervoerende pakket. De sterkte van de stroming hangt af van de intredeweerstand tussen op de gebaggerde bodem van de zandwininput. Doordat slib neerslaat op de bodem van de zandwininput neemt, nadat met baggeren is gestopt, in de loop van de tijd de intredeweerstand weer toe, en neemt het effect van infiltratie en stijghoogteverhogingen weer af.

Om een indruk te krijgen van de intredewestanden die in de praktijk optreden is de situatie rond IJsseloog in beschouwing genomen. Daar is in de periode 1996-1998 gebaggerd tot NAP-44,5 m [Rijkswaterstaat 2009]. De intredeweerstand die daar tijdelijk is ontstaan is bepaald op basis van uit tijdreeksen van gemeten stijghoogte uit DINO (Afbeelding B1.1 en Afbeelding B1.2). Daaruit zijn verhogingen geschat (stippellijnen in de grafiek). De verhogingen staan in Tabel B1.1. Uit de metingen blijkt:

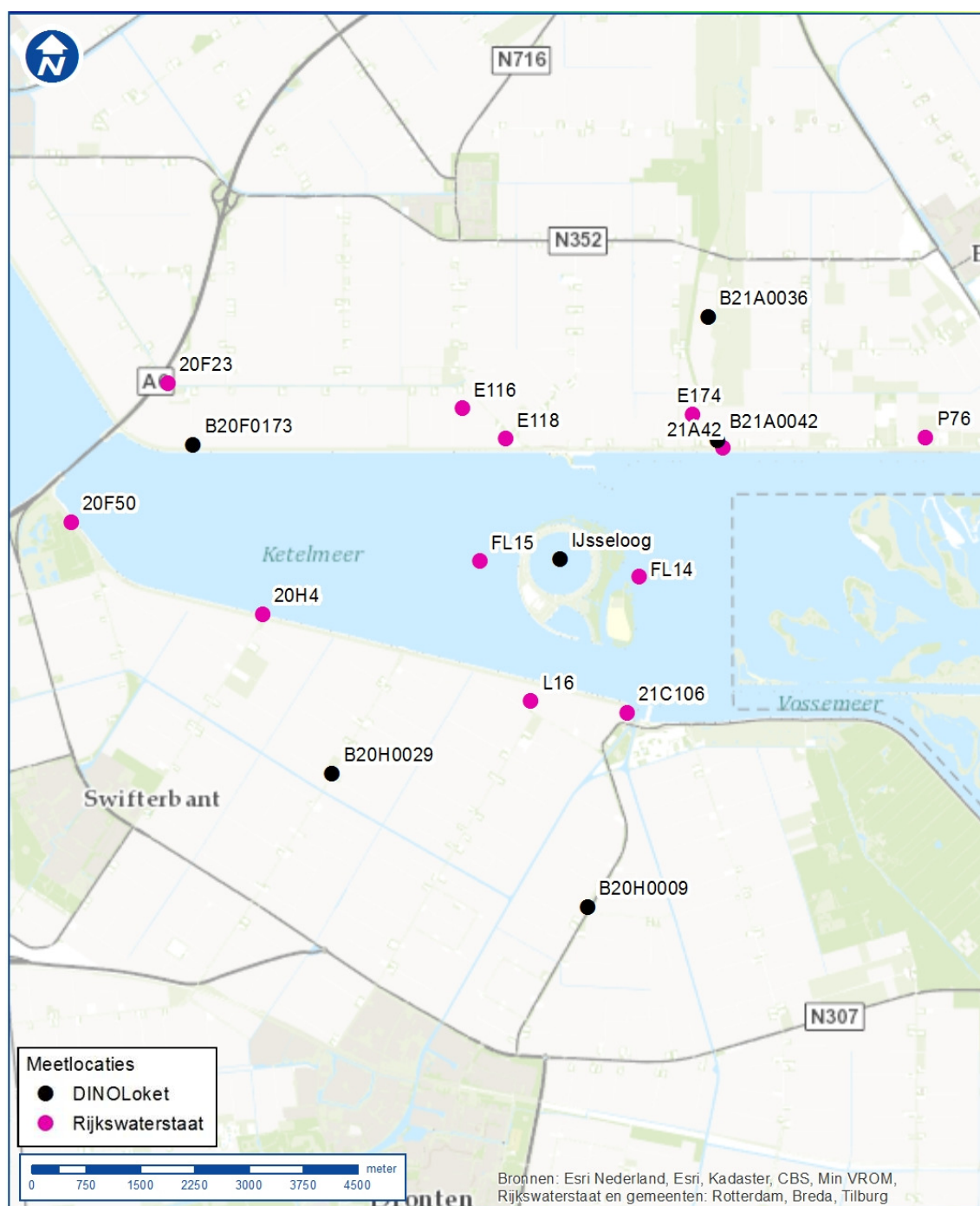
- De verhogingen beginnen medio 1996;
- Ze zijn gedurende ruim een jaar maximaal;
- Ze dalen geleidelijk van begin 1998 tot medio 1999 naar het oorspronkelijke peil;
- De interpretatie kan verbeterd worden door het Ketelmeerpeil erbij te betrekken, er is duidelijk een versturende invloed van de zeer hoge waterstanden in najaar 1998.

Dit verloop hangt uiteraard samen met de het verloop van het baggerwerk, dat, afgaande op de metingen, tenminste anderhalf jaar heeft geduurd. Uit de metingen blijkt verder dat zolang er wordt gebaggerd er sprake lijkt te zijn van een constante verhoging. Ongetwijfeld slaat de bodem snel dicht, maar door het baggeren is er steeds een nieuw infiltratievlak open, waardoor op de lange termijn er een constante verhoging lijkt te zijn.

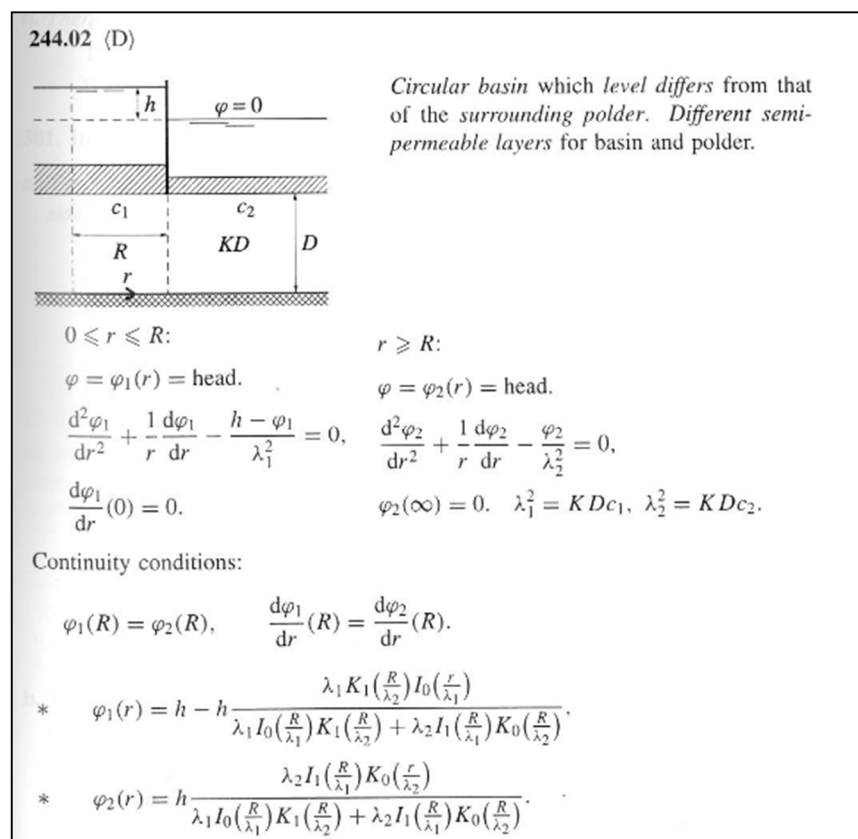
Hoe dan ook: uit de metingen blijkt dat bij het baggeren van een zandwininput met een diameter van 750 m, een oppervlak van circa 45 ha en een diepte van NAP-44 m, de stijghoogte gedurende circa 2 jaar, waarschijnlijk de periode waarin actief zand werd gewonnen, continu significant verhoogd was.



Afbeelding B1.1: Stijghoogtemetingen rond IJsseloog.



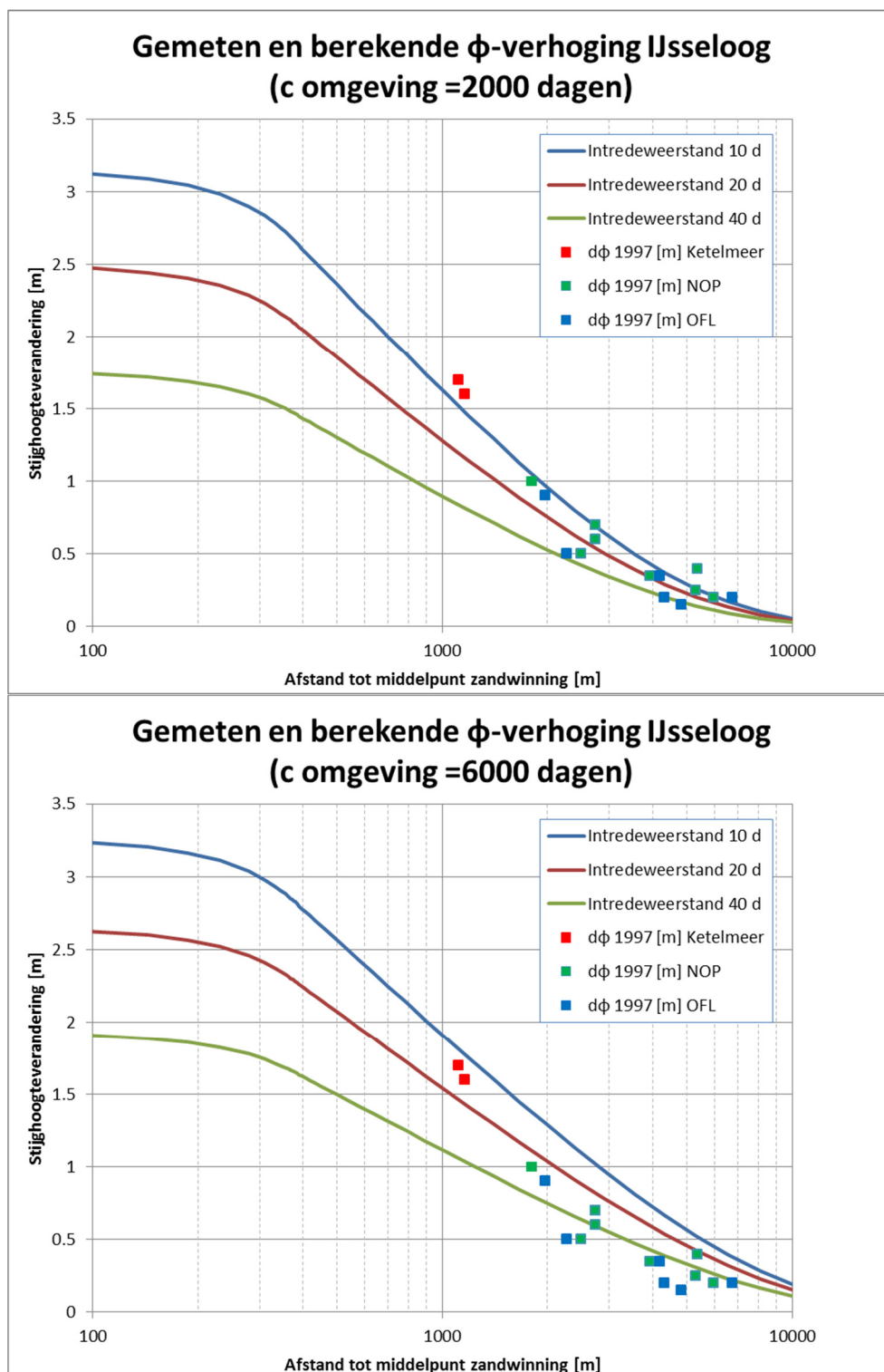
Afbeelding B1.2: Locaties waarnemingsputten rond IJsseloog.



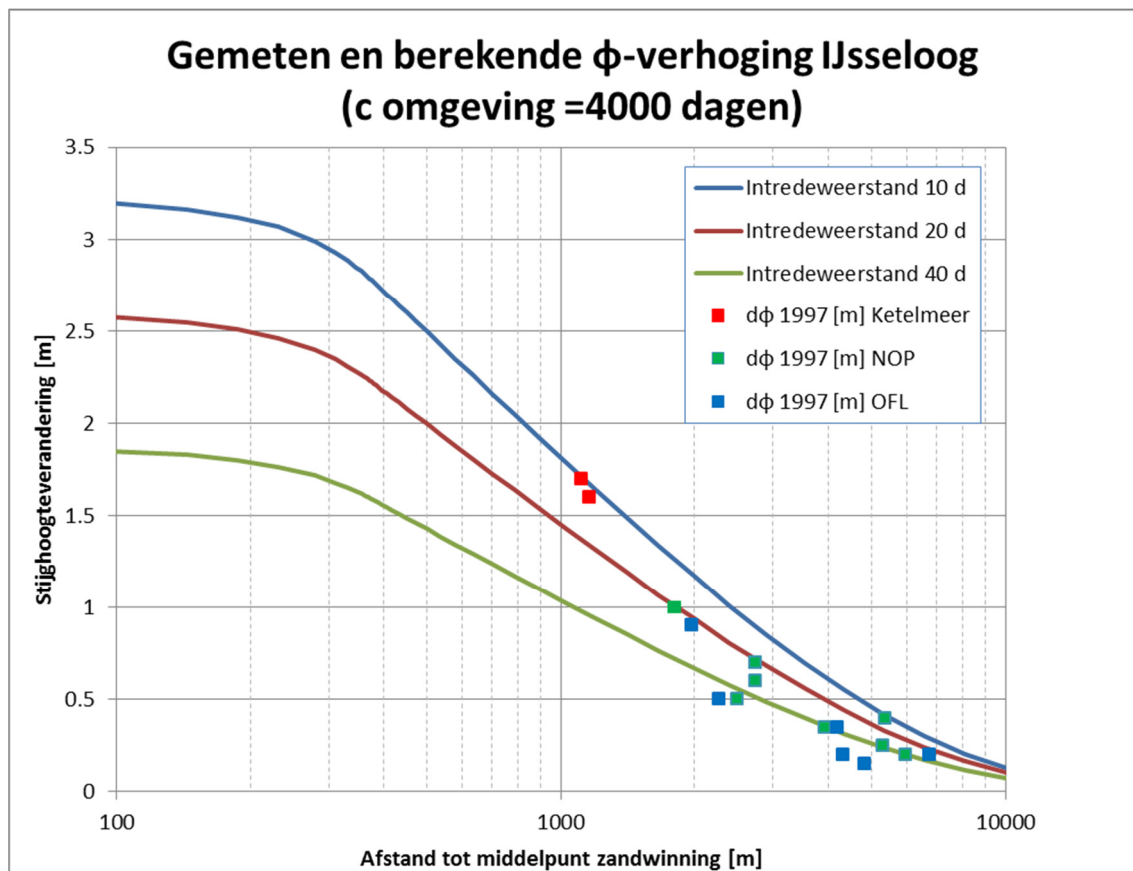
Afbeelding B1.3: Analytische vergelijking voor stijghoogten rond een cirkelvormige polder, binnen een polder met een afwijkend polderpeil en een afwijkende weerstand van de deklaag. Toepasbaar voor een zandwininput in het Markermeer, waarbij h= Peil Markermeer – stijghoogte watervoerend pakket en c1=intredeweerstand bodem zandwininput [Bruggeman 1999].

Tabel B1.1: Gemeten verhogingen stijghoogten rond IJsseloog.

	Bron	Locatie	Afstand IJsseloog [m]	Gemeten verhogingen 1997 dφ [m]
FL15	RWS 2004	Ketelmeer	1110	1.70
FL14	RWS 2004	Ketelmeer	1160	1.60
E118	RWS 2004	NOP	1800	1.00
E116	RWS 2004	NOP	2490	0.50
B21A0042	Dino	NOP	2734	0.70
E174	RWS 2004	NOP	2740	0.60
Z1A42	RWS 2004	NOP	2740	0.70
B21A0036	Dino	NOP	3927	0.35
B20F0173	Dino	NOP	5301	0.25
P76	RWS 2004	NOP	5360	0.40
Z0F23	RWS 2004	NOP	5960	0.20
L16	RWS 2004	OFL	1970	0.90
Z1C106	RWS 2004	OFL	2270	0.50
Z0H4	RWS 2004	OFL	4200	0.35
B20H0029	Dino	OFL	4316	0.20
B20H0009	Dino	OFL	4815	0.15
Z0F50	RWS 2004	OFL	6770	0.20



Afbeelding B1.4: Berekende en gemeten stijghoogteverhogingen rond IJsseloog (1997), voor twee verschillende waarden van de hydraulische deklaag-weerstand c.



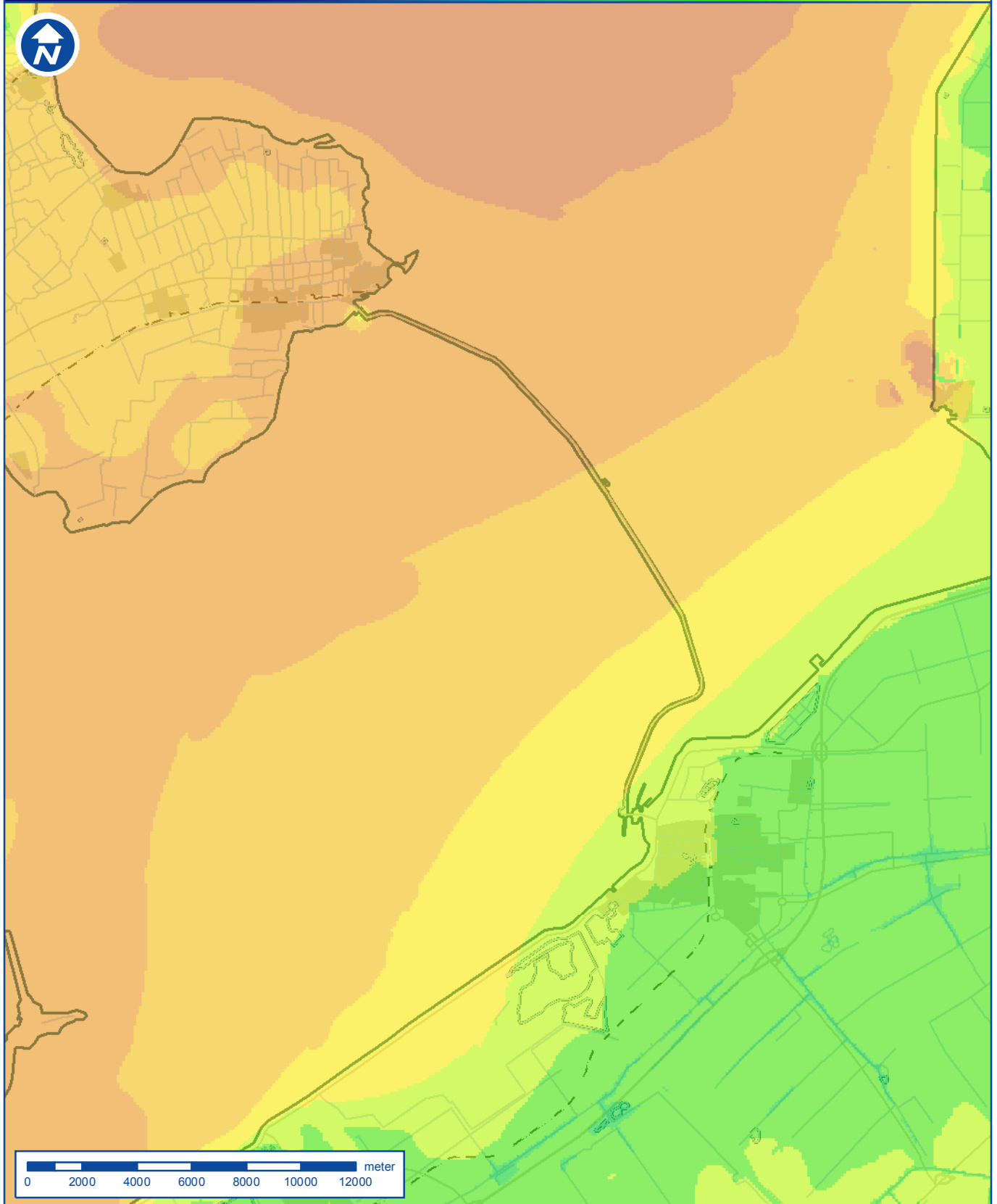
Afbeelding B1.5: Berekende en gemeten stijghoogteverhogingen rond IJsseloog (1997), voor de meest waarschijnlijke waarden van de hydraulische deklaag-weerstand c.

Uit de gemeten verhogingen zijn met behulp van een analytische formule (Afbeelding B1.3) waarden voor de intredeweerstand van de zandwinput afgeleid voor de periode dat er zand werd gewonnen (Afbeelding B1.4 en Afbeelding B1.5). Uit de metingen volgt:

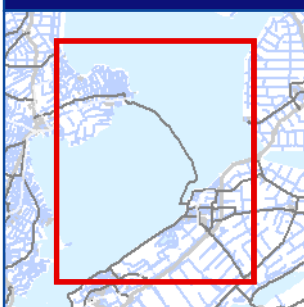
- Meest waarschijnlijke waarden: intredeweerstand 20 dagen
- Ondergrens: intredeweerstand 10 dagen
- Bovengrens: intredeweerstand 40 dagen

BIJLAGE 2 Grondwaterregime huidige situatie

Bijlage 2.1: Huidige situatie: Stijghoogte



Overzicht



Legenda

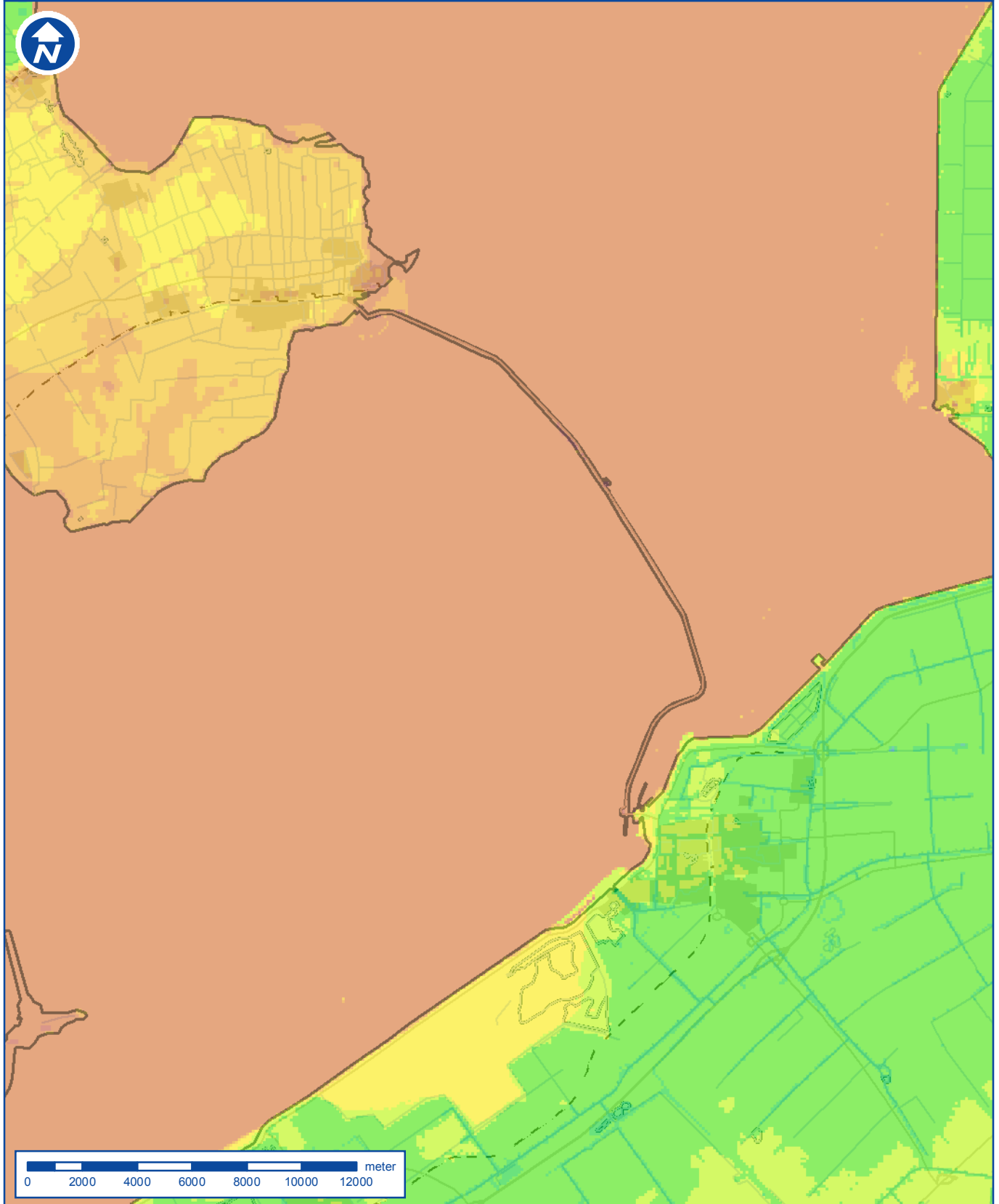
[m NAP]	
< -10	-5 - -4
-10 - -9	-4 - -3
-9 - -8	-3 - -2
-8 - -7	-2 - -1
-7 - -6	-1 - 0
-6 - -5	> 0

Projectnaam
Marker Wadden

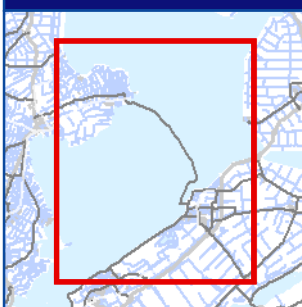
Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D02-N021
Datum
11-11-2014
Schaal
1:200000

Papierformaat
A4P
Versie
V02.00

Bijlage 2.2: Huidige situatie: Grondwaterstand



Overzicht



Legenda

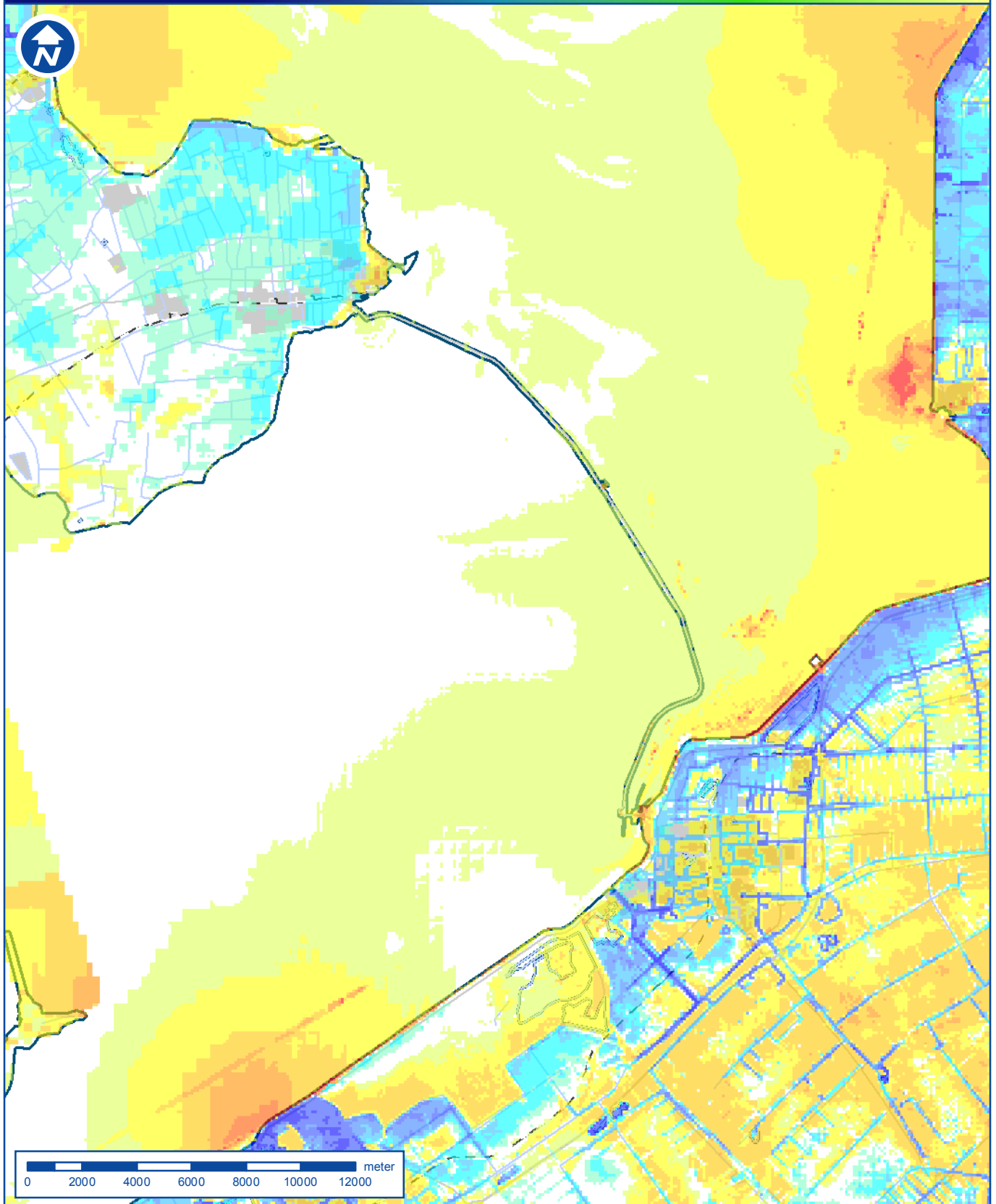
[m NAP]	
< -10	-5 - -4
-10 - -9	-4 - -3
-9 - -8	-3 - -2
-8 - -7	-2 - -1
-7 - -6	-1 - 0
-6 - -5	> 0

Projectnaam
Marker Wadden

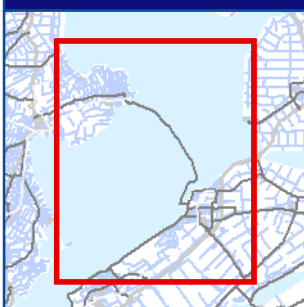
Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D02-N022
Datum
11-11-2014
Schaal
1:200000

Papierformaat
A4P
Versie
V02.00

Bijlage 2.3: Huidige situatie: Kwel



Overzicht



Legenda

[mm/dag]	
< 0.1 mm/d kwel/wegzijing	
> 5 mm/d kwel	0.1 - 0.2 mm/d wegzijing
2 - 5	0.2 - 0.5
1 - 2	0.5 - 1
0.5 - 1	1 - 2
0.2 - 0.5	2 - 5
0.1 - 0.2	> 5

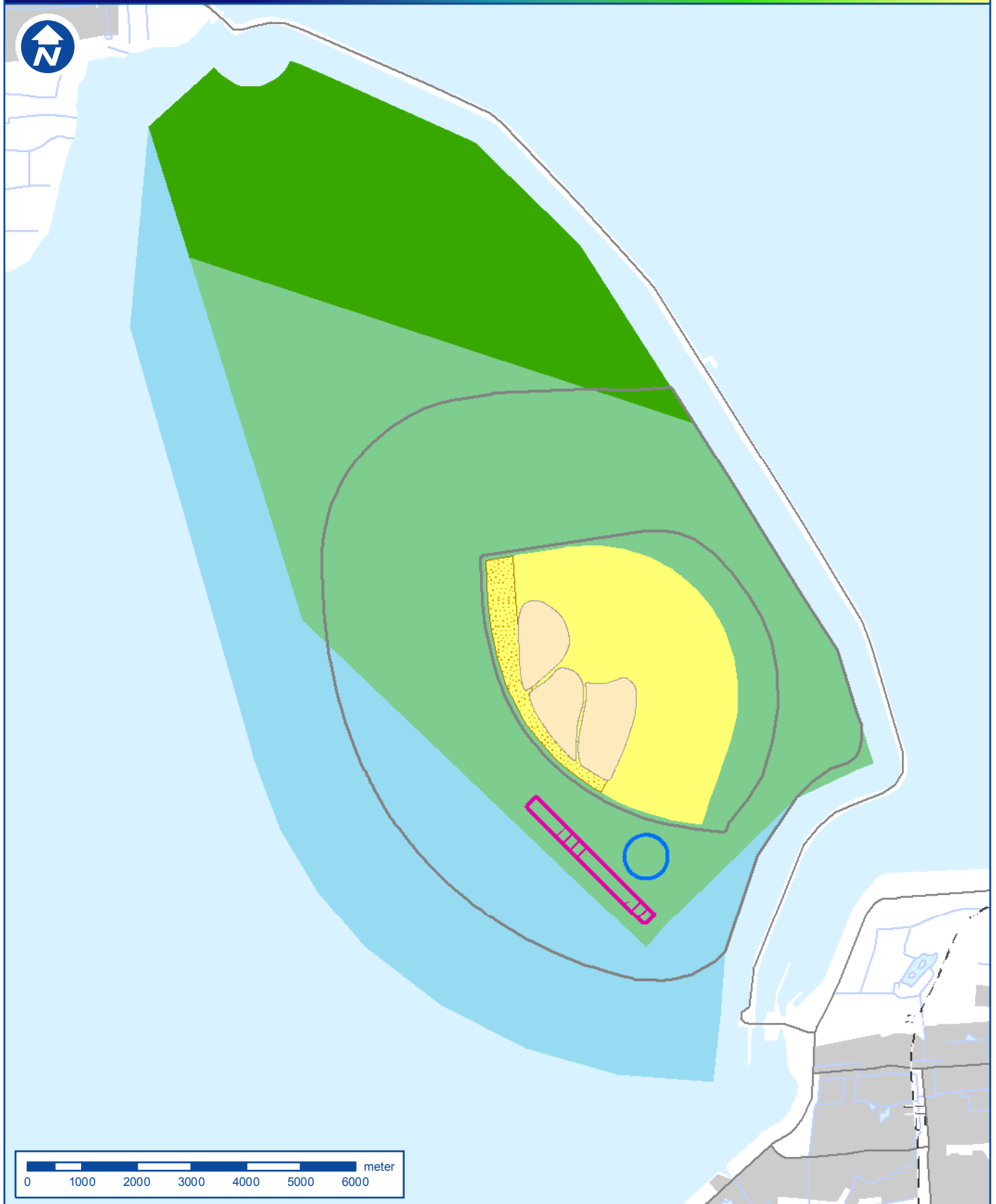
Projectnaam
Marker Wadden

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D02-N023
Datum
11-11-2014
Schaal
1:200000

Papierformaat
A4P
Versie
V02.00

BIJLAGE 3 Effecten uitvoeringsscenario 1

Bijlage 3.0: Uitvoeringsscenario 1: Ligging putten en geulen



Overzicht



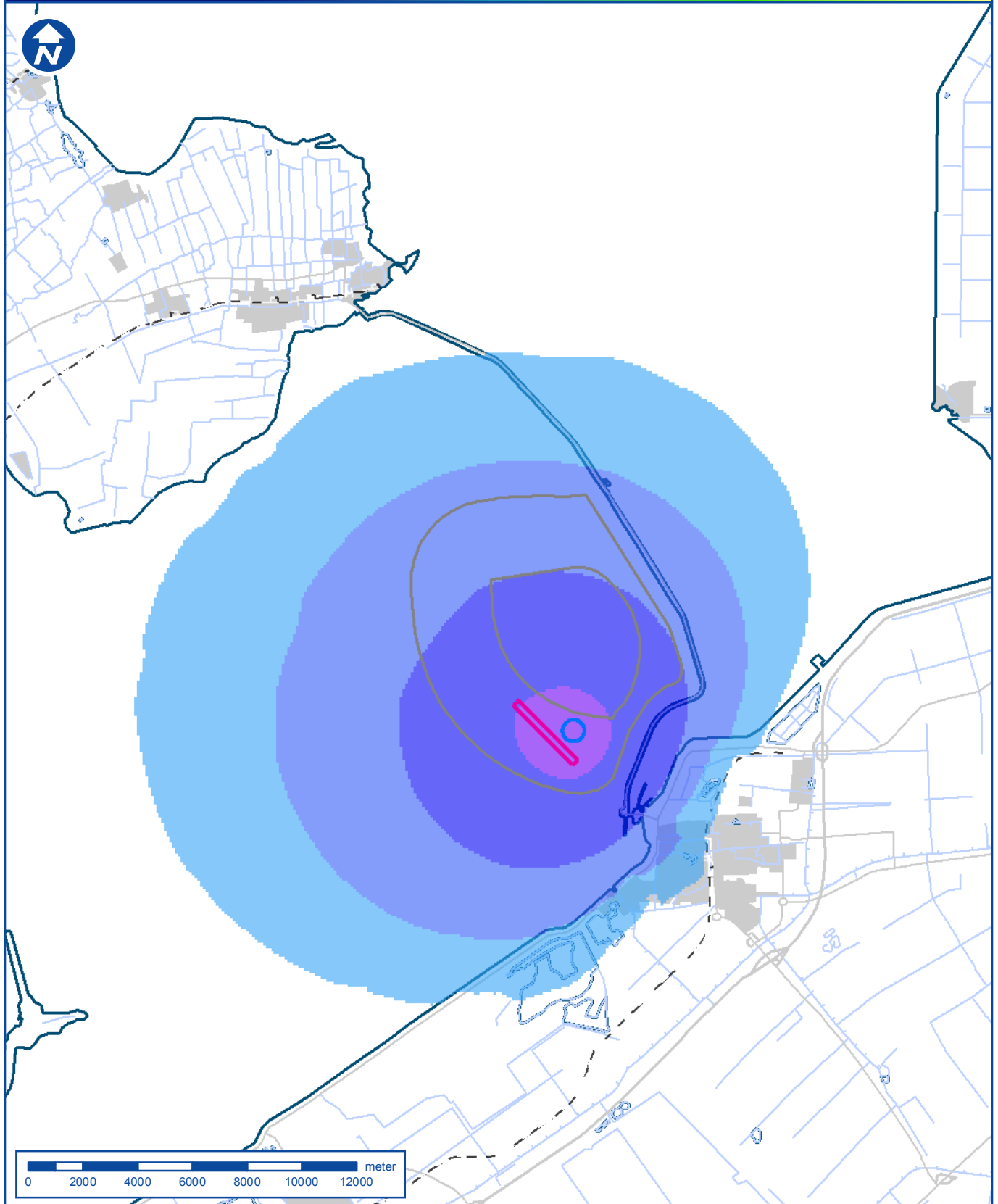
Legenda

- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| Zoekgebied | Natuur |
| Zandwininput | Water |
| Slibgeul | Water en Natuur 1 |
| Slibgeul door pleistoceen | Water en Natuur 2 |
| Compartimenten | |
| Rand atol en bezoekerscentrum | |

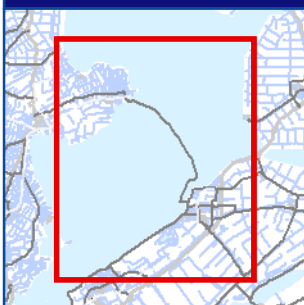
Projectnaam
 Marker Wadden
Opdrachtgever
 Rijkswaterstaat
Auteur
 L.M. Verwij
Controleur
 C.W. Stroet
Kaartnummer
 BA8757-D03-N030
Datum
 9-12-2014
Schaal
 1:100000

Papierformaat
 A4P
Versie
 V03.00

Bijlage 3.1: Uitvoeringsscenario 1: Effect op stijghoogte



Overzicht



Legenda

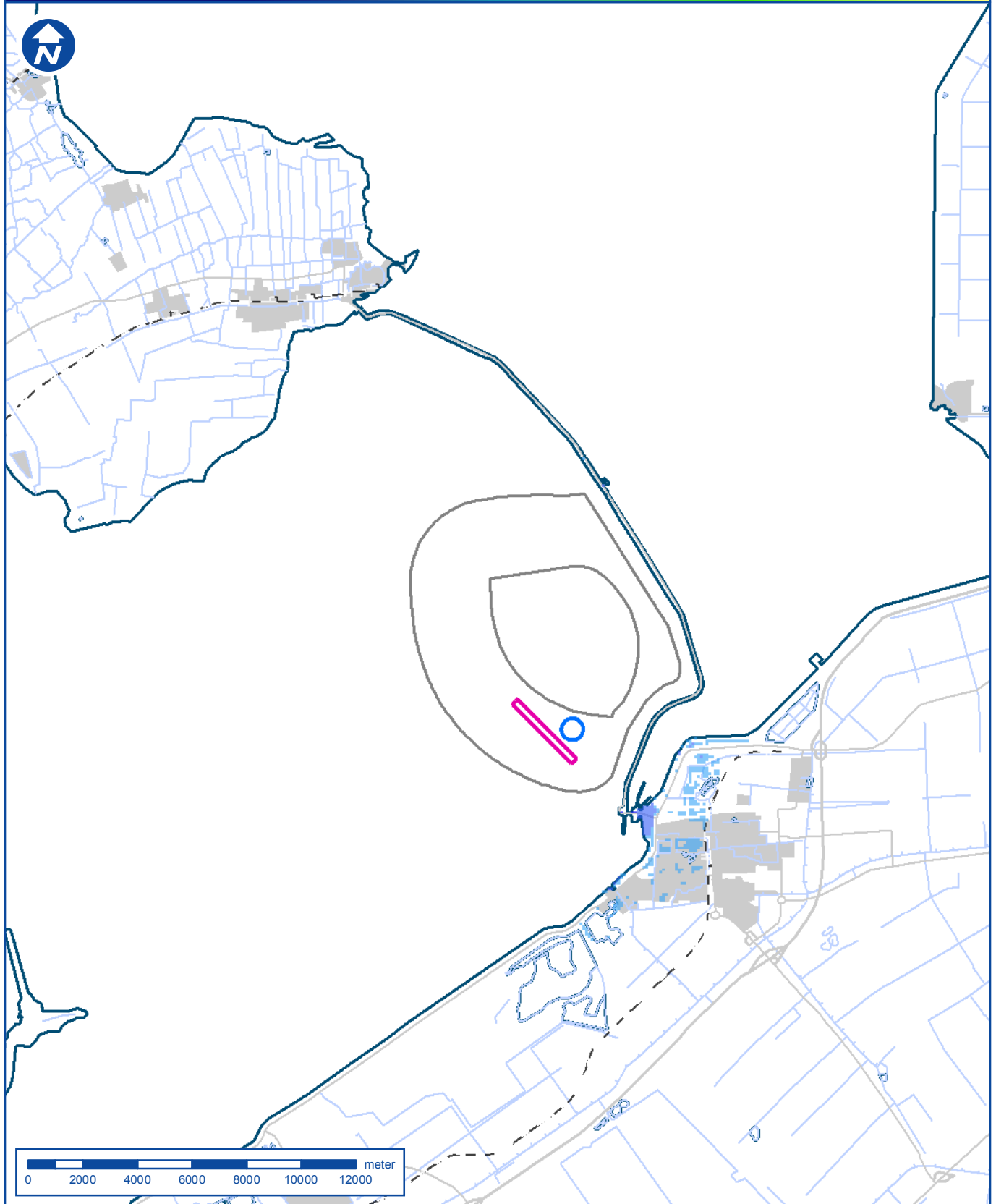
	Zoekgebied [m]		geen effect
	Zandwinput		0.05 - 0.1
	Slibgeul		0.1 - 0.2
			0.2 - 0.5
			0.5 - 1
			1 - 2
			> 2

Projectnaam
 Marker Wadden
Opdrachtgever
 Rijkswaterstaat
Auteur
 L.M. Verwij
Controleur
 C.W. Stroet
Kaartnummer
 BA8757-D03-N031
Datum
 9-12-2014
Schaal
 1:200000

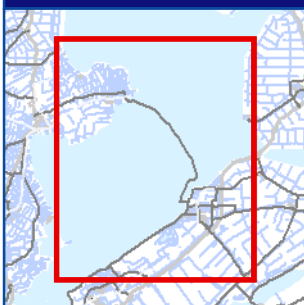
Papierformaat
 A4P
Versie
 V03.00



Bijlage 3.2: Uitvoeringsscenario 1: Effect op grondwaterstand



Overzicht



Legenda

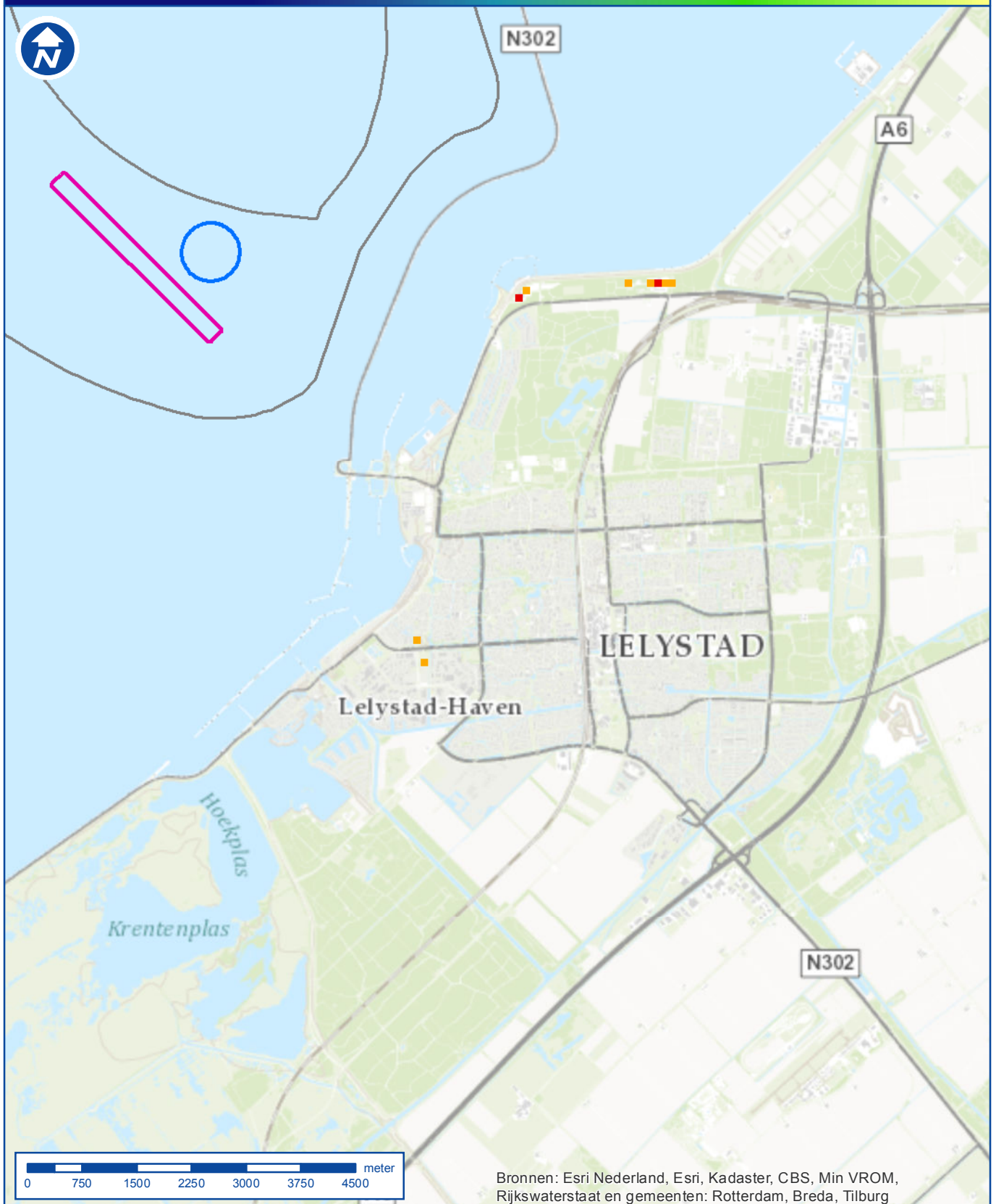
	Zoekgebied [m]		geen effect
	Zandwinput		0.05 - 0.1
	Slibgeul		0.1 - 0.2
			0.2 - 0.5
			0.5 - 1
			1 - 2
			> 2

Projectnaam
Marker Wadden

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D03-N032
Datum
9-12-2014
Schaal
1:200000

Papierformaat
A4P
Versie
V03.00

Bijlage 3.3: Uitvoeringsscenario 1: Bebouwd gebied met grondwaterstand ondieper dan 70 cm-mv



Overzicht



Legenda

- Zoekgebied
- Zandwinput
- Slibgeul

Bebouwd gebied met grondwaterstand ondieper dan 70 cm-mv
Toelichting: zie tekst

- Categorie 1
- Categorie 2

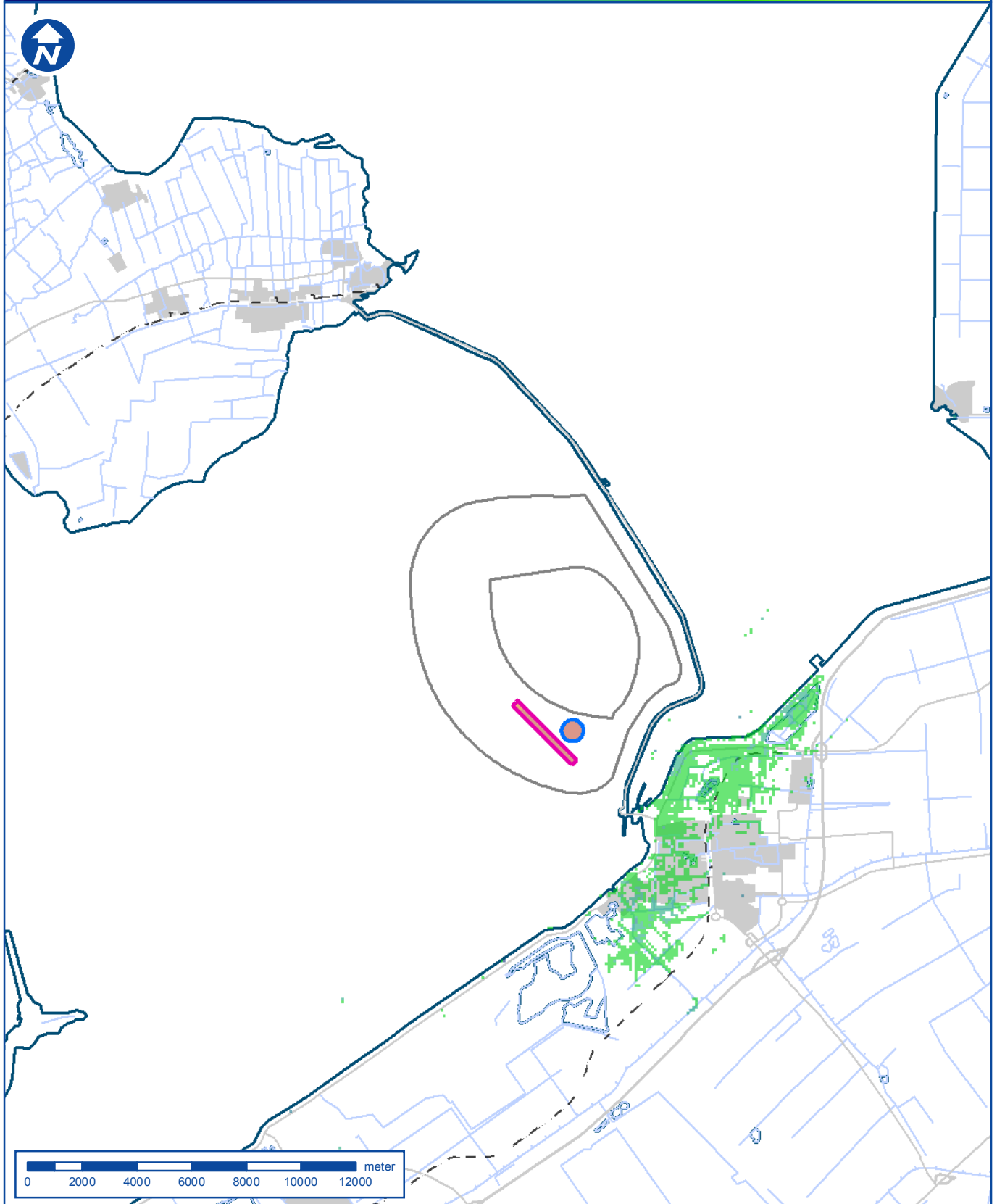
Projectnaam
Marker Wadden

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D03-N033
Datum
9-12-2014
Schaal
1:75000

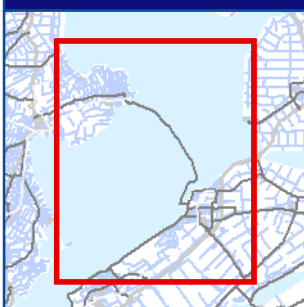
Papierformaat
A4P
Versie
V03.00



Bijlage 3.4: Uitvoeringsscenario 1: Effect op kwel



Overzicht



Legenda

Zoekgebied [mm/dag]	Geen effect
Zandwinput	> 1
Slibgeul	0.5 - 1
	0.2 - 0.5
	0.1 - 0.2
	-0.2 - -0.1
	-0.5 - -0.2
	-1 - -0.5
	< -1

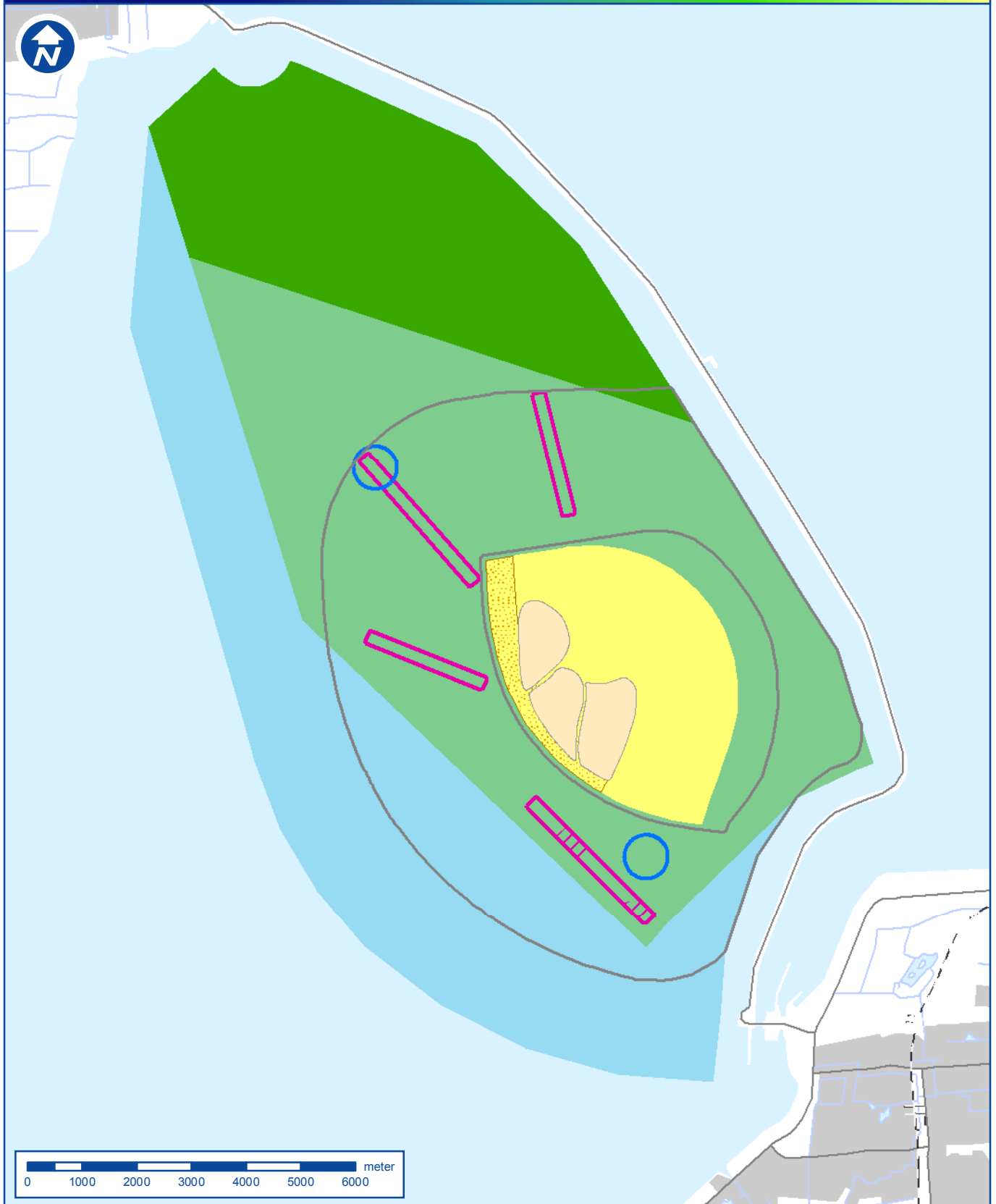
Projectnaam
Marker Wadden

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D03-N034
Datum
9-12-2014
Schaal
1:200000

Papierformaat
A4P
Versie
V03.00

BIJLAGE 4 Effecten uitvoeringsscenario 2

Bijlage 4.0: Uitvoeringsscenario 2: Ligging putten en geulen



Overzicht



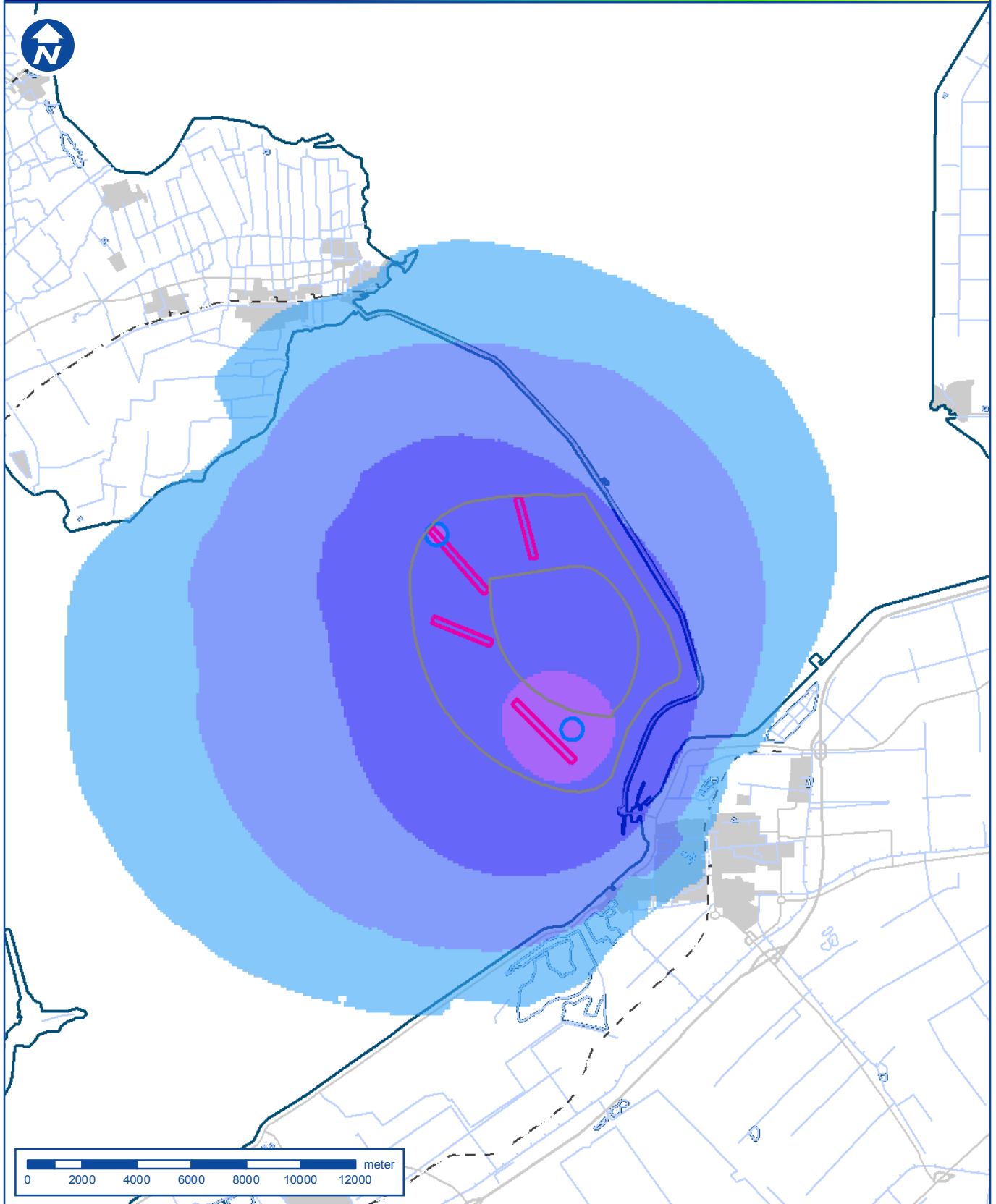
Legenda

- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| Zoekgebied | Natuur |
| Zandwinput | Water |
| Slibgeul | Water en Natuur 1 |
| Slibgeul door pleistoceen | Water en Natuur 2 |
| Compartimenten | |
| Rand atol en bezoekerscentrum | |

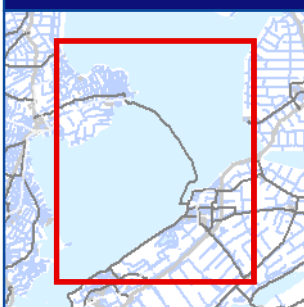
Projectnaam
 Marker Wadden
Opdrachtgever
 Rijkswaterstaat
Auteur
 L.M. Verwij
Controleur
 C.W. Stroet
Kaartnummer
 BA8757-D03-N040
Datum
 9-12-2014
Schaal
 1:100000

Papierformaat
 A4P
Versie
 V03.00

Bijlage 4.1: Uitvoeringsscenario 2: Effect op stijghoogte



Overzicht



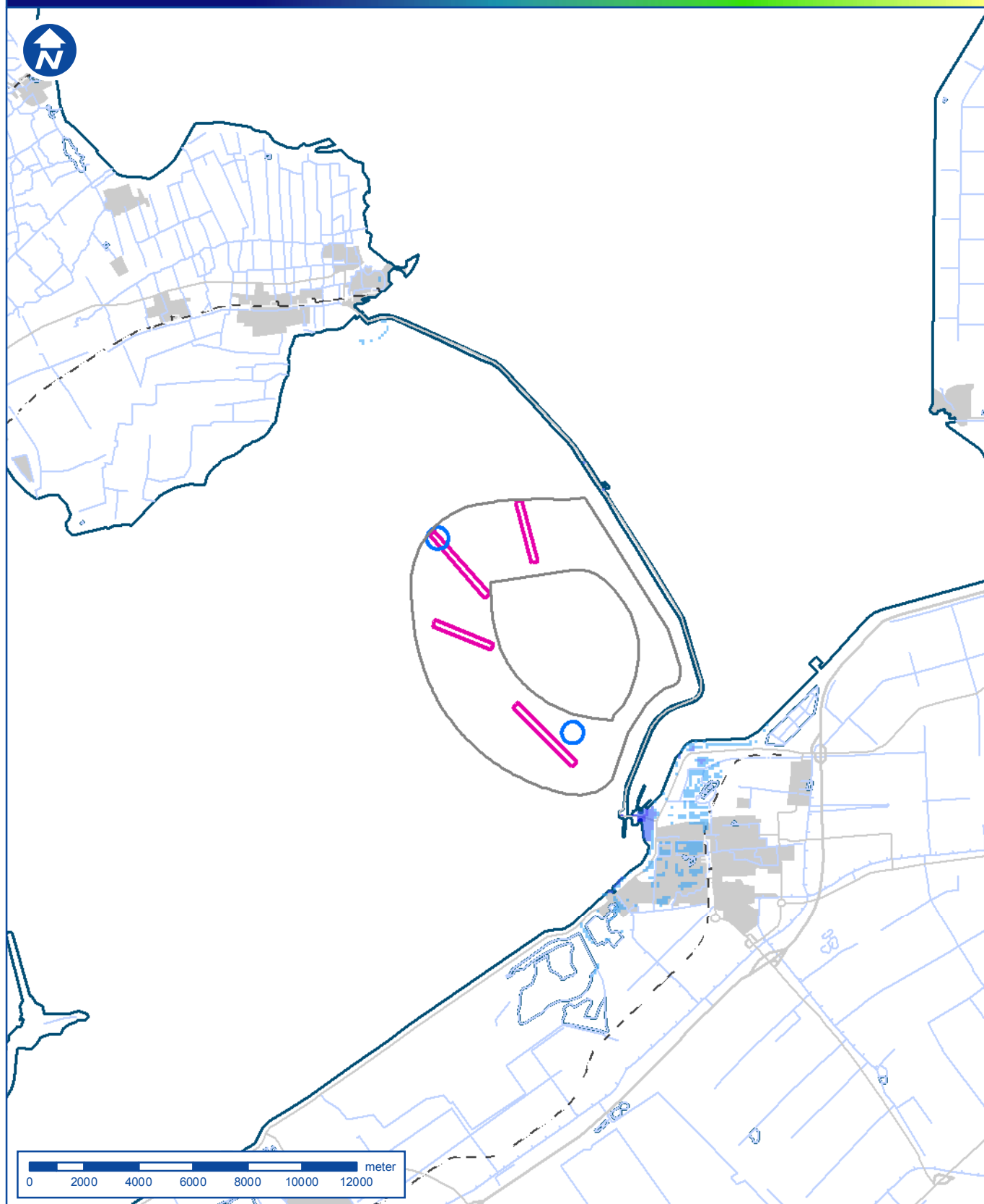
Legenda

	Zoekgebied [m]		geen effect
	Zandwinput		0.05 - 0.1
	Slibgeul		0.1 - 0.2
			0.2 - 0.5
			0.5 - 1
			1 - 2
			> 2

Projectnaam
 Marker Wadden
Opdrachtgever
 Rijkswaterstaat
Auteur
 L.M. Verwij
Controleur
 C.W. Stroet
Kaartnummer
 BA8757-D03-N041
Datum
 9-12-2014
Schaal
 1:200000

Papierformaat
 A4P
Versie
 V03.00

Bijlage 4.2: Uitvoeringsscenario 2: Effect op grondwaterstand



Overzicht



Legenda

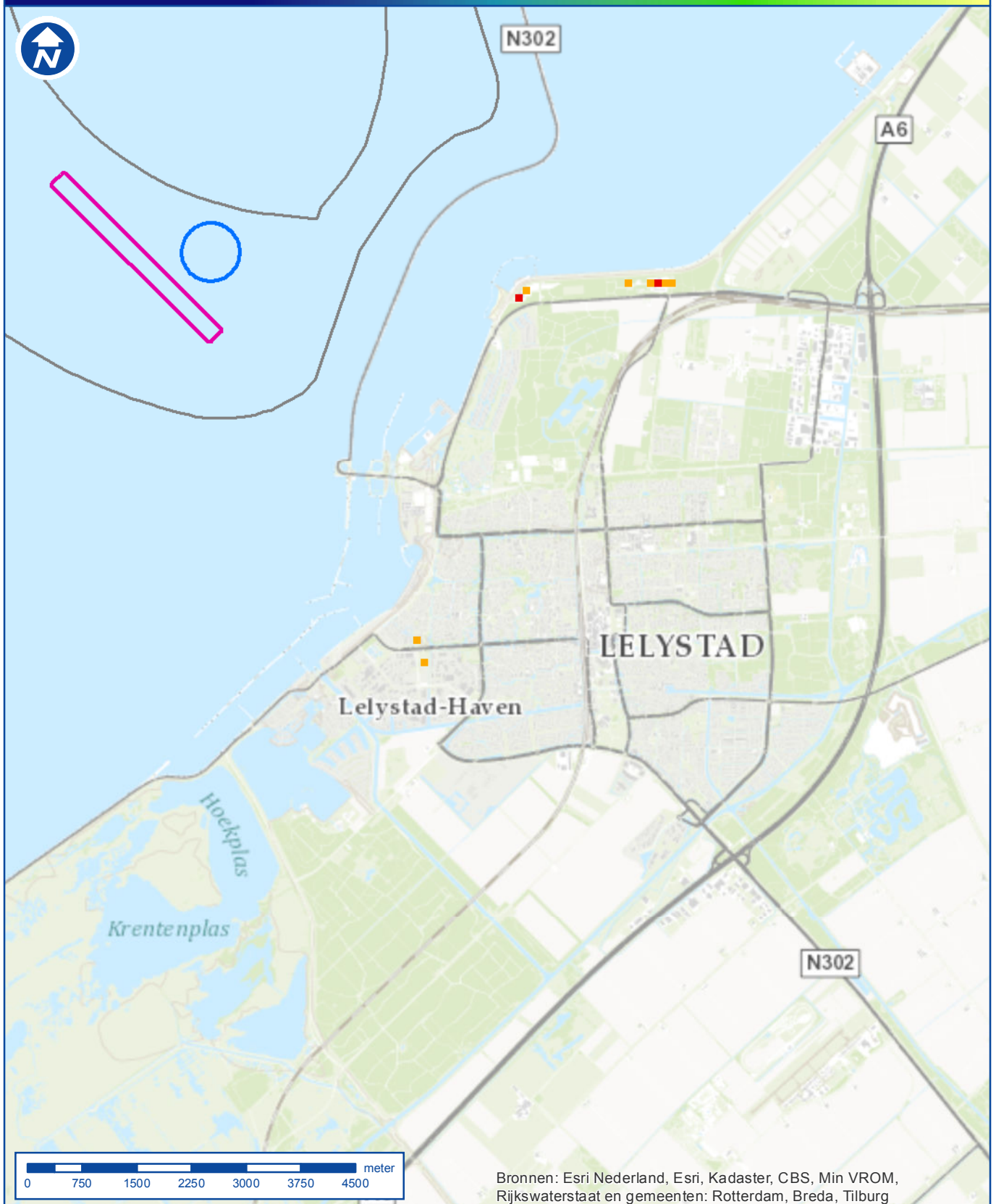
	Zoekgebied [m]		geen effect
	Zandwinput		0.05 - 0.1
	Slibgeul		0.1 - 0.2
			0.2 - 0.5
			0.5 - 1
			1 - 2
			> 2

Projectnaam
Marker Wadden

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D03-N042
Datum
9-12-2014
Schaal
1:200000

Papierformaat
A4P
Versie
V03.00

Bijlage 4.3: Uitvoeringsscenario 2: Bebouwd gebied met grondwaterstand ondieper dan 70 cm-mv



Overzicht



Legenda

- Zoekgebied
- Zandwinput
- Slibgeul

Bebouwd gebied met grondwaterstand ondieper dan 70 cm-mv
Toelichting: zie tekst

- Categorie 1
- Categorie 2

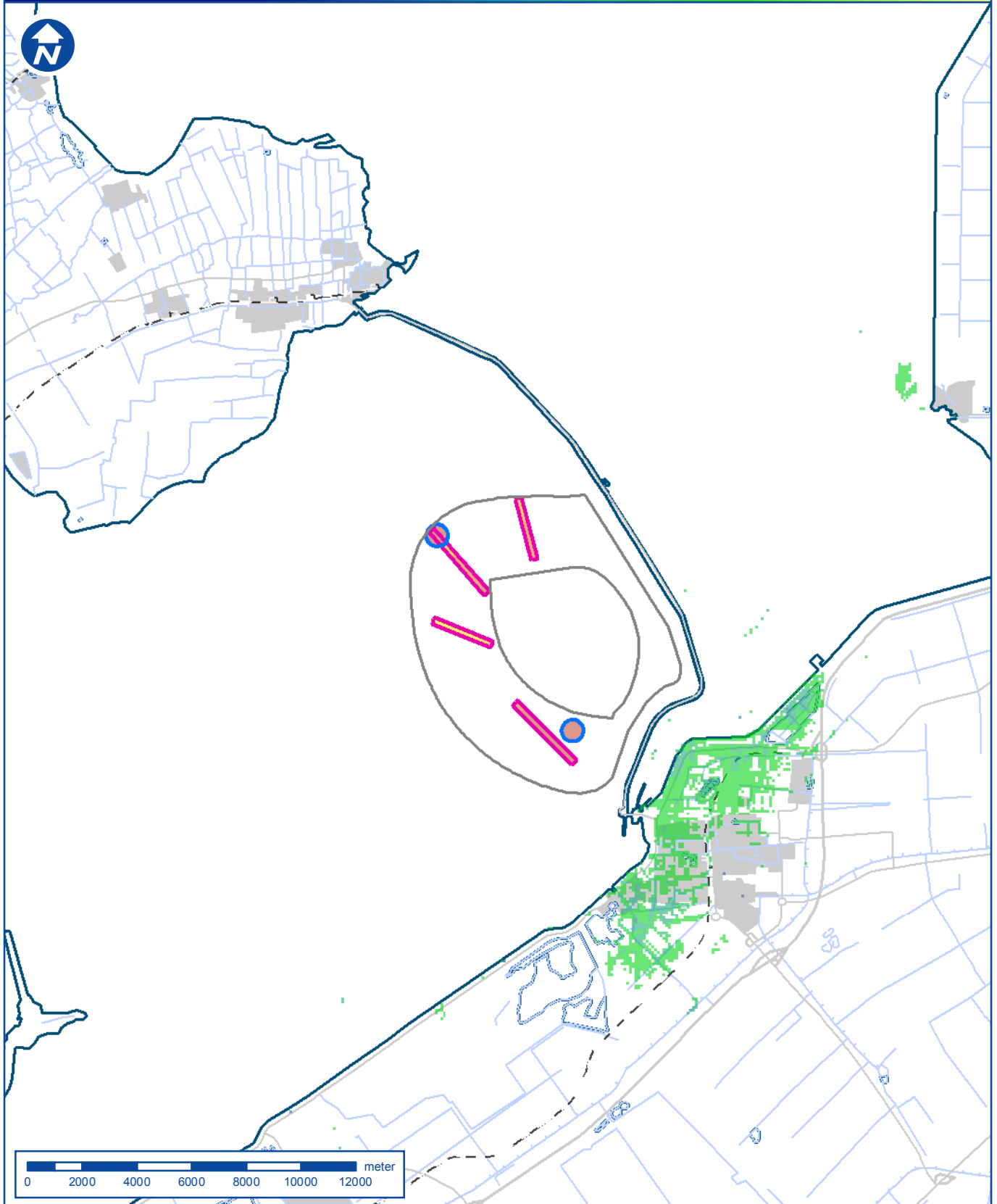
Projectnaam
Marker Wadden

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D03-N043
Datum
9-12-2014
Schaal
1:75000

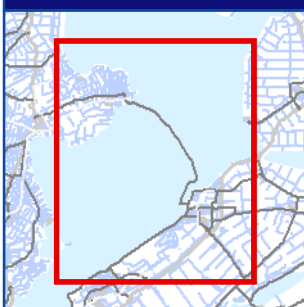
Papierformaat
A4P
Versie
V03.00



Bijlage 4.4: Uitvoeringsscenario 2: Effect op kwel



Overzicht



Legenda

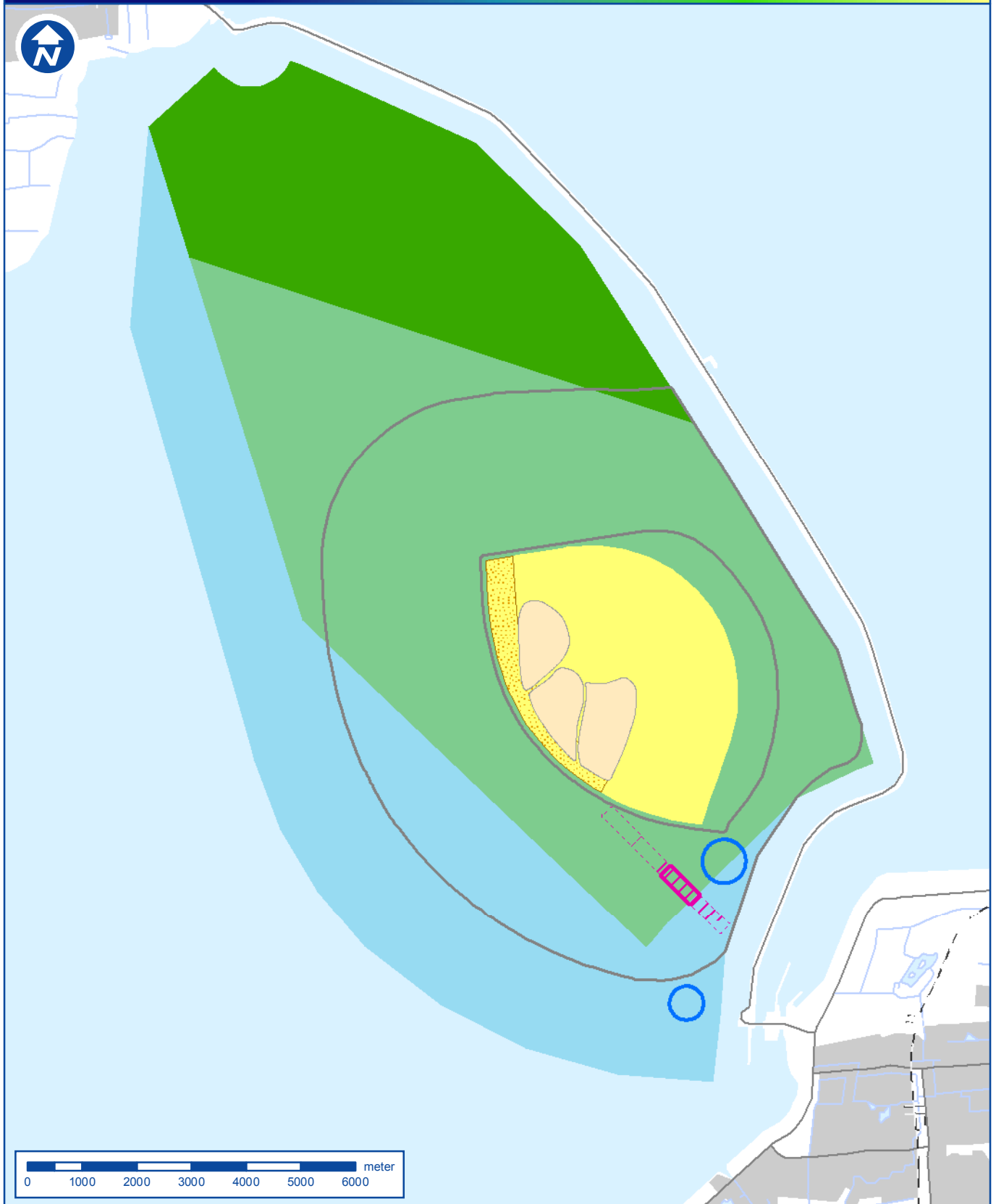
Zoekgebied [mm/dag]	Geen effect
Zandwinput	> 1
Slibgeul	0.5 - 1
	0.2 - 0.5
	0.1 - 0.2
	-0.2 - -0.1
	-0.5 - -0.2
	-1 - -0.5
	< -1

Projectnaam
 Marker Wadden
Opdrachtgever
 Rijkswaterstaat
Auteur
 L.M. Verwij
Controleur
 C.W. Stroet
Kaartnummer
 BA8757-D03-N044
Datum
 9-12-2014
Schaal
 1:200000

Papierformaat
 A4P
Versie
 V03.00

BIJLAGE 5 Effecten uitvoeringsscenario 3

Bijlage 5.0: Uitvoeringsscenario 3: Ligging putten en geulen



Overzicht



Legenda

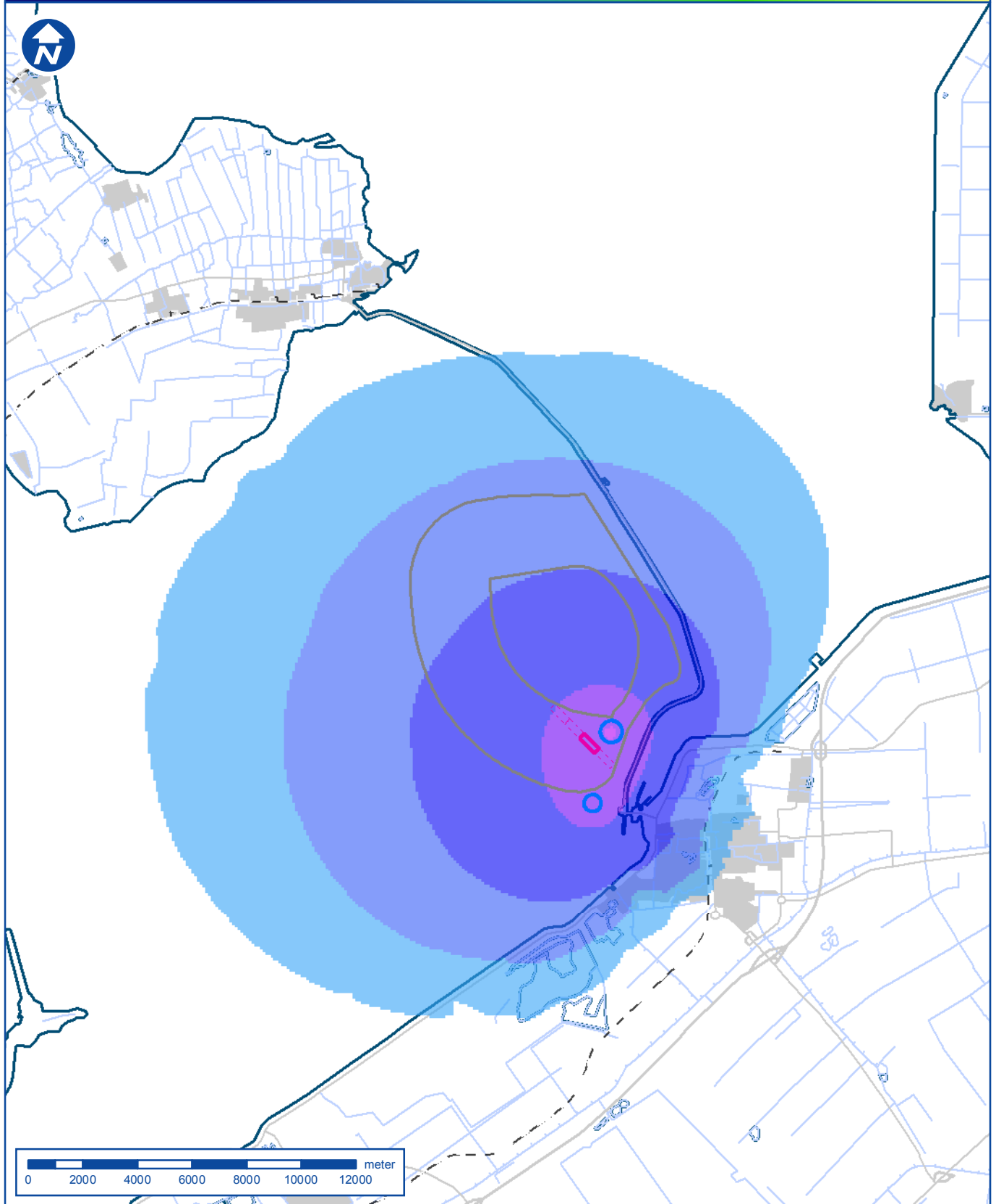
- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| Zoekgebied | Natuur |
| Zandwinput | Water |
| Slibgeul open | Water en Natuur 1 |
| Slibgeul dicht | Water en Natuur 2 |
| Slibgeul door pleistoceen | |
| Compartimenten | |
| Rand atol en bezoekerscentrum | |

Projectnaam
Marker Wadden

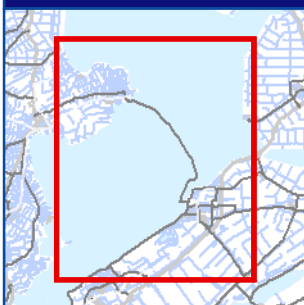
Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D03-N050
Datum
9-12-2014
Schaal
1:100000

Papierformaat
A4P
Versie
V03.00

Bijlage 5.1: Uitvoeringsscenario 3: Effect op stijghoogte



Overzicht



Legenda

	Zoekgebied	[m]
	Zandwinput	
	Slibgeul open	
	Slibgeul dicht	
	geen effect	
	0.05 - 0.1	
	0.1 - 0.2	
	0.2 - 0.5	
	0.5 - 1	
	1 - 2	
	> 2	

Projectnaam
Marker Wadden

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D03-N051
Datum
9-12-2014
Schaal
1:200000

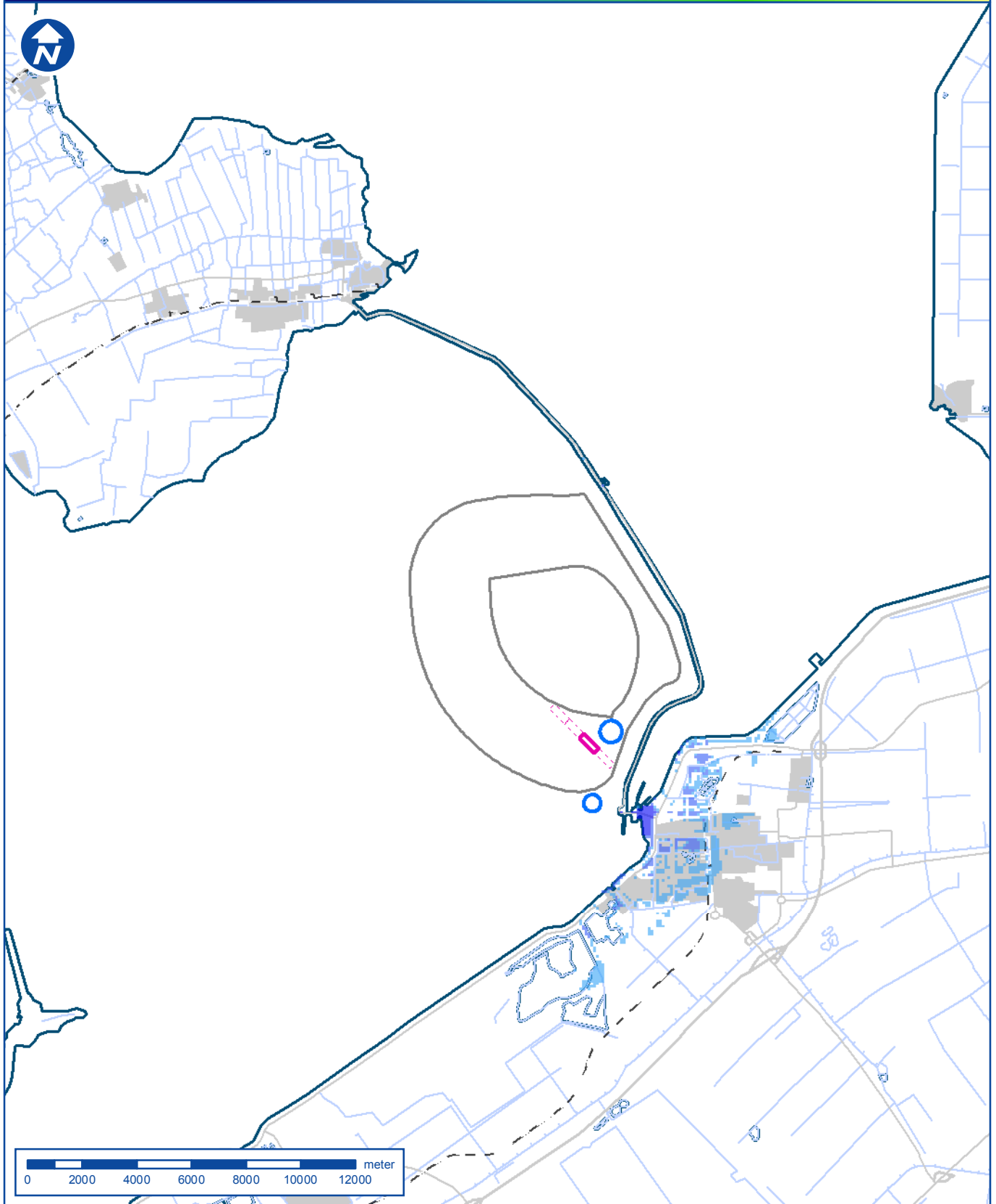
Papierformaat

A4P

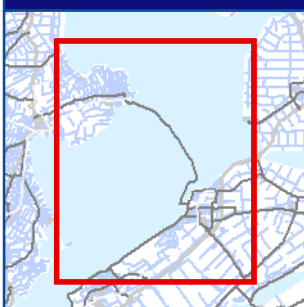
Versie

V03.00

Bijlage 5.2: Uitvoeringsscenario 3: Effect op grondwaterstand



Overzicht



Legenda

	Zoekgebied	[m]
	Zandwinput	
	Slibgeul open	
	Slibgeul dicht	
		geen effect
		0.05 - 0.1
		0.1 - 0.2
		0.2 - 0.5
		0.5 - 1
		1 - 2
		> 2

Projectnaam
Marker Wadden

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D03-N052
Datum
9-12-2014
Schaal
1:200000

Papierformaat

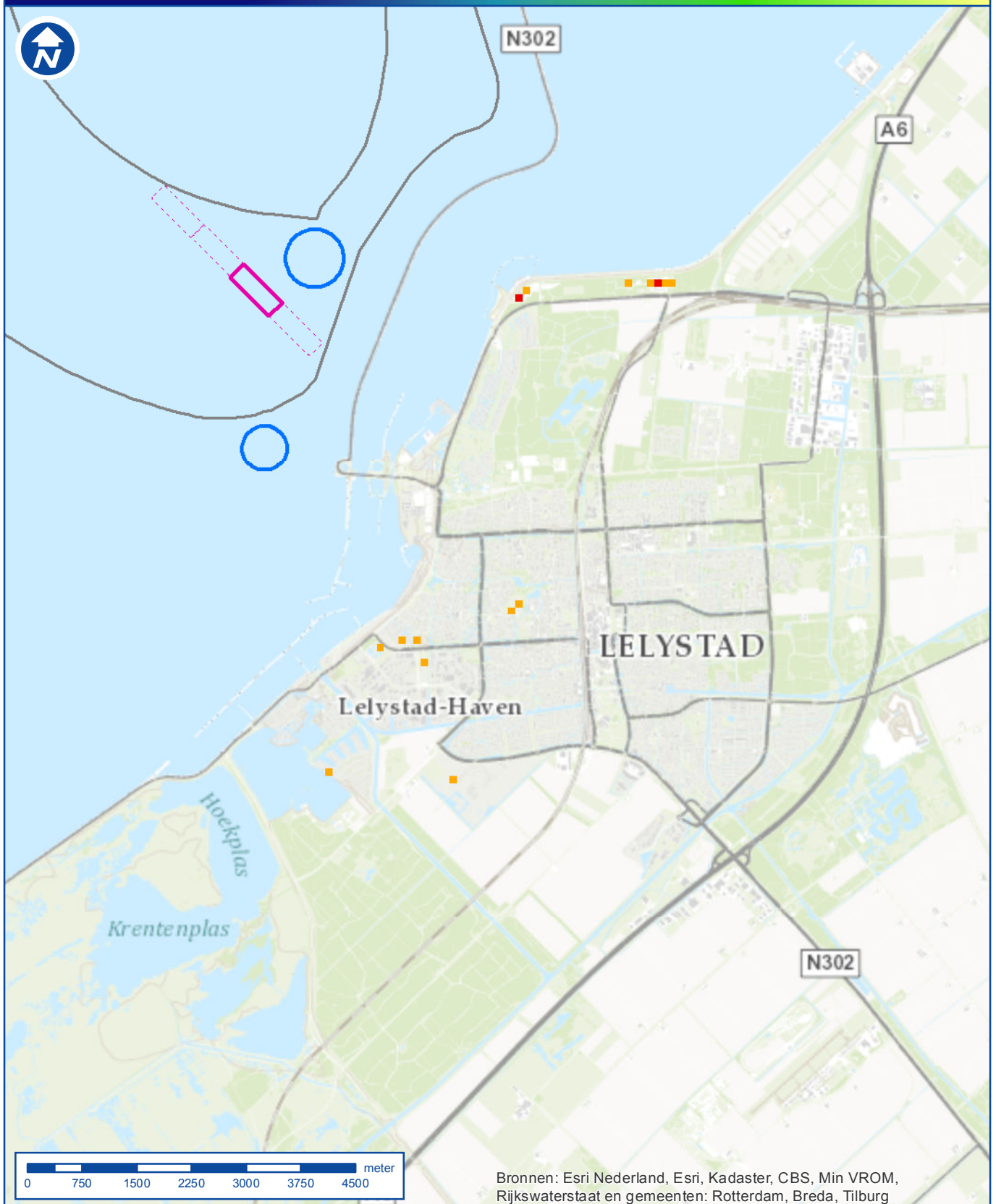
A4P

Versie

V03.00



Bijlage 5.3: Uitvoeringsscenario 3: Bebouwd gebied met grondwaterstand o



Overzicht



Legenda

- Zoekgebied
- Zandwininput
- Slibgeul open
- Slibgeul dicht

Bebouwd gebied met grondwaterstand ondieper dan 70 cm-mv

Toelichting: zie tekst

- Categorie 1
- Categorie 2

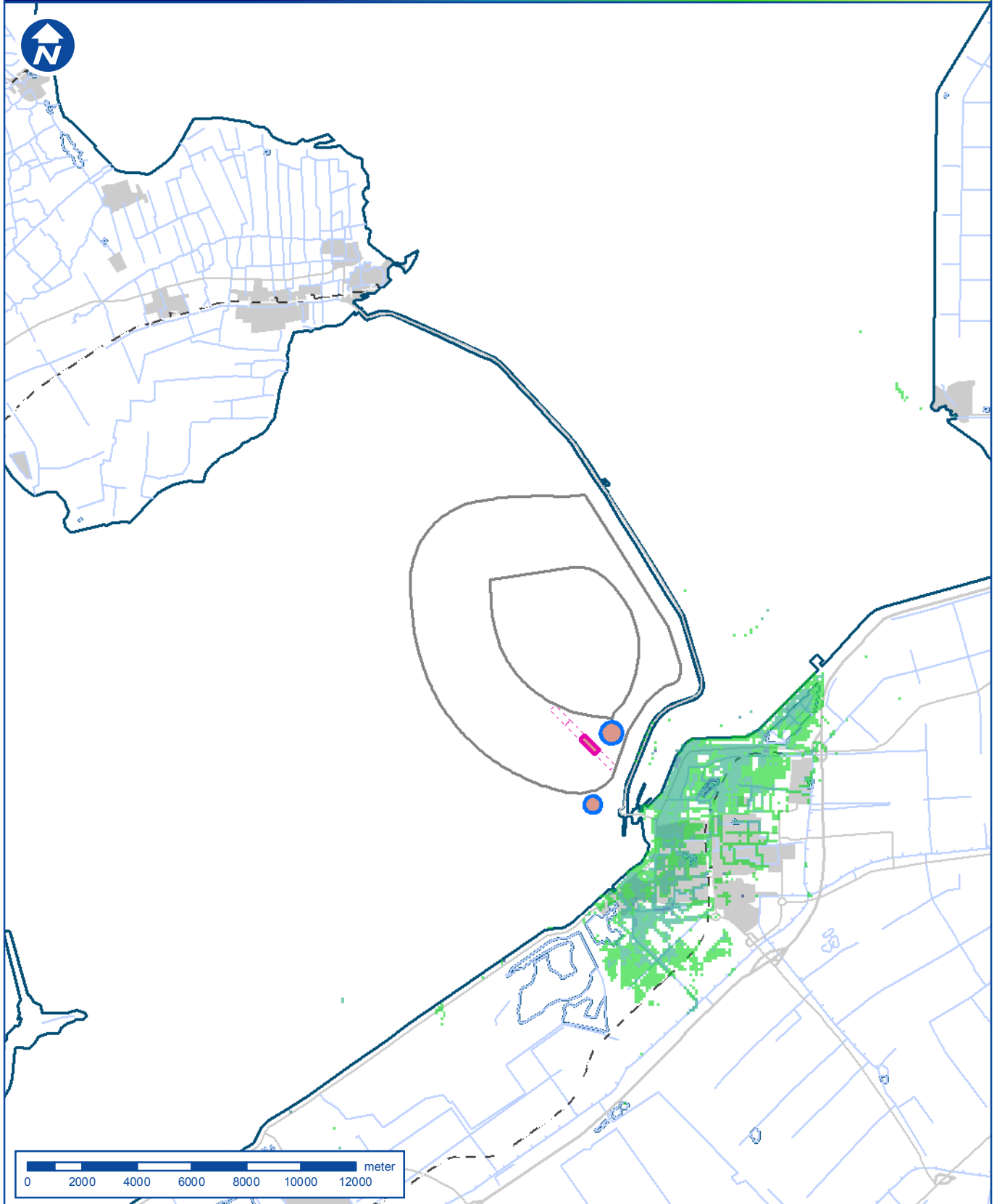
Projectnaam
Marker Wadden

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D03-N053
Datum
9-12-2014
Schaal
1:75000

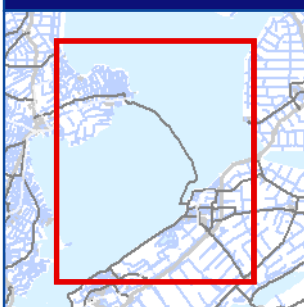
Papierformaat
A4P
Versie
V03.00



Bijlage 5.4: Uitvoeringsscenario 3: Effect op kwel



Overzicht



Legenda

Zoekgebied	[mm/dag]	Geen effect
Zandwinput	> 1	-0.2 - -0.1
Slibgeul open	0.5 - 1	-0.5 - -0.2
Slibgeul dicht	0.2 - 0.5	-1 - -0.5
	0.1 - 0.2	< -1

Projectnaam
Marker Wadden

Opdrachtgever
Rijkswaterstaat
Auteur
L.M. Verwij
Controleur
C.W. Stroet
Kaartnummer
BA8757-D03-N054
Datum
9-12-2014
Schaal
1:200000

Papierformaat
A4P
Versie
V03.00

BIJLAGE 6 Verkennende geotechnische berekeningen

Bijlage 6.1: toetsing opdrijven Oostvaardersdijk (achterland)

Invoerparameters:

<i>Algemeen</i>		
stijghoogte zand pakket	-3.00	m t.o.v. NAP
soortelijk gewicht water	10.00	kN/m3

<i>Volumiek gewicht per grondsoort</i>	nat	veldvochtig	
1 Zuiderzee (uiterst siltige klei)	15.6	15.0	kN/m3
2 Almere (sterk siltige klei)	14.5	14.0	kN/m3
3 Flevo-afz. (venige klei)	13.0		kN/m3
4 Holland Veen	13.4		kN/m3
5 Oude zeeklei (zwak humeus)	15.0		kN/m3
6 basis veen	12.0		kN/m3
7 Zandige geul-afz.	18.4		kN/m3
8 Kleiige geul-afz.	15.3		kN/m3
9 Pleistoceen zand	20.0		kN/m3
10 Cunet zand	20.0	19.5	kN/m3
11 Ophoogzand	19.5	18.5	kN/m3
12 Keileem	19.0	18.5	kN/m3
13 Bekledingsklei	17.5	17.0	kN/m3
14 Draineerzand	20.0	19.0	kN/m3
15 Steenbekleding	21.0	19.0	kN/m3

km 17.5	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-3.3	-4.5	1.2	18.72
2 Almere	-4.5	-6	1.5	21.75
3 Flevo	-6	-7	1	13
4 Hollandveen	-7	-7.2	0.2	2.68
5 Oude zeeklei	-7.2	-11	3.8	57
6 basisveen	-11	-12	1	12
7 oude zeeklei	-12	-12	0	0
				125.15
0.k. pleistoceen		-12		
opwaarts				90
veiligheid				1.39

km 19	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-3.3	-4.5	1.2	18.72
2 Almere	-4.5	-6.5	2	29
3 Flevo	-6.5	-7.5	1	13
4 Hollandveen	-7.5	-8	0.5	6.7
5 Oude zeeklei	-8	-10	2	30
6 basisveen	-10	-10.5	0.5	6
7 oude zeeklei	-10.5	-10.5	0	0
				103.42
0.k. pleistoceen		-10.5		
opwaarts				75
veiligheid				1.38

km 20	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-3.3	-4.3	1	15.6
2 Almere	-4.3	-5.2	0.9	13.05
3 Flevo	-5.2	-7.5	2.3	29.9
4 Hollandveen	-7.5	-8	0.5	6.7
5 Oude zeeklei	-8	-9	1	15
6 basisveen	-9	-10	1	12
7 oude zeeklei	-10	-10	0	0
				92.25
0.k. pleistoceen		-10		
opwaarts				70
veiligheid				1.32

km 21.6	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-3.3	-5.5	2.2	34.32
2 Almere	-5.5	-6	0.5	7.25
3 Flevo	-6	-7	1	13
4 Hollandveen	-7	-7.5	0.5	6.7
5 Oude zeeklei	-7.5	-9	1.5	22.5
6 basisveen	-9	-10	1	12
7 oude zeeklei	-10	-10	0	0
				95.77
0.k. pleistoceen		-10		
opwaarts				70
veiligheid				1.37

km 24,5	top	ok	dikte	gewicht
1 Zuiderzee	-3.3	-4.6	1.3	20.28
2 Almere	-4.6	-5.5	0.9	13.05
3 Flevo	-5.5	-7.5	2	26
4 Hollandveen	-7.5	-7.5	0	0
5 Oude zeeklei	-7.5	-8.5	1	15
6 basisveen	-8.5	-9	0.5	6
7 oude zeeklei	-9	-9	0	0
				80.33
0.k. pleistoceen		-9		
opwaarts				60
veiligheid				1.34

Bijlage 6.1: toetsing opdrijven Oostvaardersdijk (achterland, vervolg)

km 26,5	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-3.6	-3.6	0	0
2 Almere	-3.6	-5.8	2.2	31.9
3 Flevo	-5.8	-7.5	1.7	22.1
4 Hollandveen	-7.5	-8	0.5	6.7
5 Oude zeeklei	-8	-9.5	1.5	22.5
6 basisveen	-9.5	-10.3	0.8	9.6
7 oude zeeklei	-10.3	-10.3	0	0
				92.8
0.k. pleistoceen		-10.3		
opwaarts				73
veiligheid				1.27

km 28.5	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-3.9	-4.5	0.6	9.36
2 Almere	-4.5	-6	1.5	21.75
3 Flevo	-6	-6.7	0.7	9.1
4 Hollandveen	-6.7	-8	1.3	17.42
5 Oude zeeklei	-8	-9.7	1.7	25.5
6 basisveen	-9.7	-10	0.3	3.6
7 oude zeeklei	-10	-10	0	0
				86.73
0.k. pleistoceen		-10		
opwaarts				70
veiligheid				1.24

km 28,5	top	ok	dikte	gewicht
1 Zuiderzee	-3.9	-4.5	0.6	9.36
2 Almere	-4.5	-6	1.5	21.75
3 Flevo	-6	-6.7	0.7	9.1
4 Hollandveen	-6.7	-8	1.3	17.42
5 Oude zeeklei	-8	-9.7	1.7	25.5
6 basisveen	-9.7	-10	0.3	3.6
7 oude zeeklei	-10	-15	5	75
				161.73
0.k. pleistoceen		-15		
opwaarts				120
veiligheid				1.35

km 29	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-3.3	-5	1.7	26.52
2 Almere	-5	-6	1	14.5
3 Flevo	-6	-7	1	13
4 Hollandveen	-7	-7.8	0.8	10.72
5 Oude zeeklei	-7.8	-9.8	2	30
6 basisveen	-9.8	-10.2	0.4	4.8
7 oude zeeklei	-10.2	-10.2	0	0
				99.54
0.k. pleistoceen		-10.2		
opwaarts				72
veiligheid				1.38

km 30	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-2.5	-5	2.5	39
2 Almere	-5	-5	0	0
3 Flevo	-5	-6	1	13
4 Hollandveen	-6	-6.5	0.5	6.7
5 Oude zeeklei	-6.5	-9.5	3	45
6 basisveen	-9.5	-10	0.5	6
7 oude zeeklei	-10	-10	0	0
				109.7
0.k. pleistoceen		-10		
opwaarts				70
veiligheid				1.57

Bijlage 6.2: toetsing opdrijven Oostvaardersdijk (watergang)

Invoerparameters:

Algemeen

stijghoogte zand pakket	-3.00	m t.o.v. NAP
soortelijk gewicht water	10.00	kN/m3

Volumiek gewicht per grondsoort

	nat	veldvochtig	
1 Zuiderzee (uiterst siltige klei)	15.6	15.0	kN/m3
2 Almere (sterk siltige klei)	14.5	14.0	kN/m3
3 Flevo-afz. (venige klei)	13.0		kN/m3
4 Holland Veen	13.4		kN/m3
5 Oude zeeklei (zwak humeus)	15.0		kN/m3
6 basis veen	12.0		kN/m3
7 Zandige geul-afz.	18.4		kN/m3
8 Kleiige geul-afz.	15.3		kN/m3
9 Pleistoceen zand	20.0		kN/m3
10 Cunet zand	20.0	19.5	kN/m3
11 Ophoogzand	19.5	18.5	kN/m3
12 Keileem	19.0	18.5	kN/m3
13 Bekledingsklei	17.5	17.0	kN/m3
14 Draineerzand	20.0	19.0	kN/m3
15 Steenbekleding	21.0	19.0	kN/m3

km 20	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-4	-4.3	0.3	4.68
2 Almere	-4.3	-5.2	0.9	13.05
3 Flevo	-5.2	-7.5	2.3	29.9
4 Hollandveen	-7.5	-8	0.5	6.7
5 Oude zeeklei	-8	-9	1	15
6 basisveen	-9	-10	1	12
7 oude zeeklei	-10	-10	0	0
slootwater			0.2	2
				83.33
0.k. pleistoceen		-10		
opwaarts				70
veiligheid				1.2

km 21.6	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-4	-5.5	1.5	23.4
2 Almere	-5.5	-6	0.5	7.25
3 Flevo	-6	-7	1	13
4 Hollandveen	-7	-7.5	0.5	6.7
5 Oude zeeklei	-7.5	-9	1.5	22.5
6 basisveen	-9	-10	1	12
7 oude zeeklei	-10	-10	0	0
slootwater			0.2	2
				86.85
0.k. pleistoceen		-10		
opwaarts				70
veiligheid				1.24

km 24,5	top	ok	dikte	gewicht
1 Zuiderzee	-4	-4.6	0.6	9.36
2 Almere	-4.6	-5.5	0.9	13.05
3 Flevo	-5.5	-7.5	2	26
4 Hollandveen	-7.5	-7.5	0	0
5 Oude zeeklei	-7.5	-8.5	1	15
6 basisveen	-8.5	-9	0.5	6
7 oude zeeklei	-9	-9	0	0
slootwater			0.2	2
				71.41
0.k. pleistoceen		-9		
opwaarts				60
veiligheid				1.2

km 26,5	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-4	-3.6	0.4	6.24
2 Almere	-3.6	-5.8	2.2	31.9
3 Flevo	-5.8	-7.5	1.7	22.1
4 Hollandveen	-7.5	-8	0.5	6.7
5 Oude zeeklei	-8	-9.5	1.5	22.5
6 basisveen	-9.5	-10.3	0.8	9.6
7 oude zeeklei	-10.3	-10.3	0	0
slootwater			0.2	2
				101.04
0.k. pleistoceen		-10.3		
opwaarts				73
veiligheid				1.38

km 28.5	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-4	-4.5	0.5	7.8
2 Almere	-4.5	-6	1.5	21.75
3 Flevo	-6	-6.7	0.7	9.1
4 Hollandveen	-6.7	-8	1.3	17.42
5 Oude zeeklei	-8	-9.7	1.7	25.5
6 basisveen	-9.7	-10	0.3	3.6
7 oude zeeklei	-10	-10	0	0
slootwater			0.2	2
				87.17
0.k. pleistoceen		-10		
opwaarts				70
veiligheid				1.25

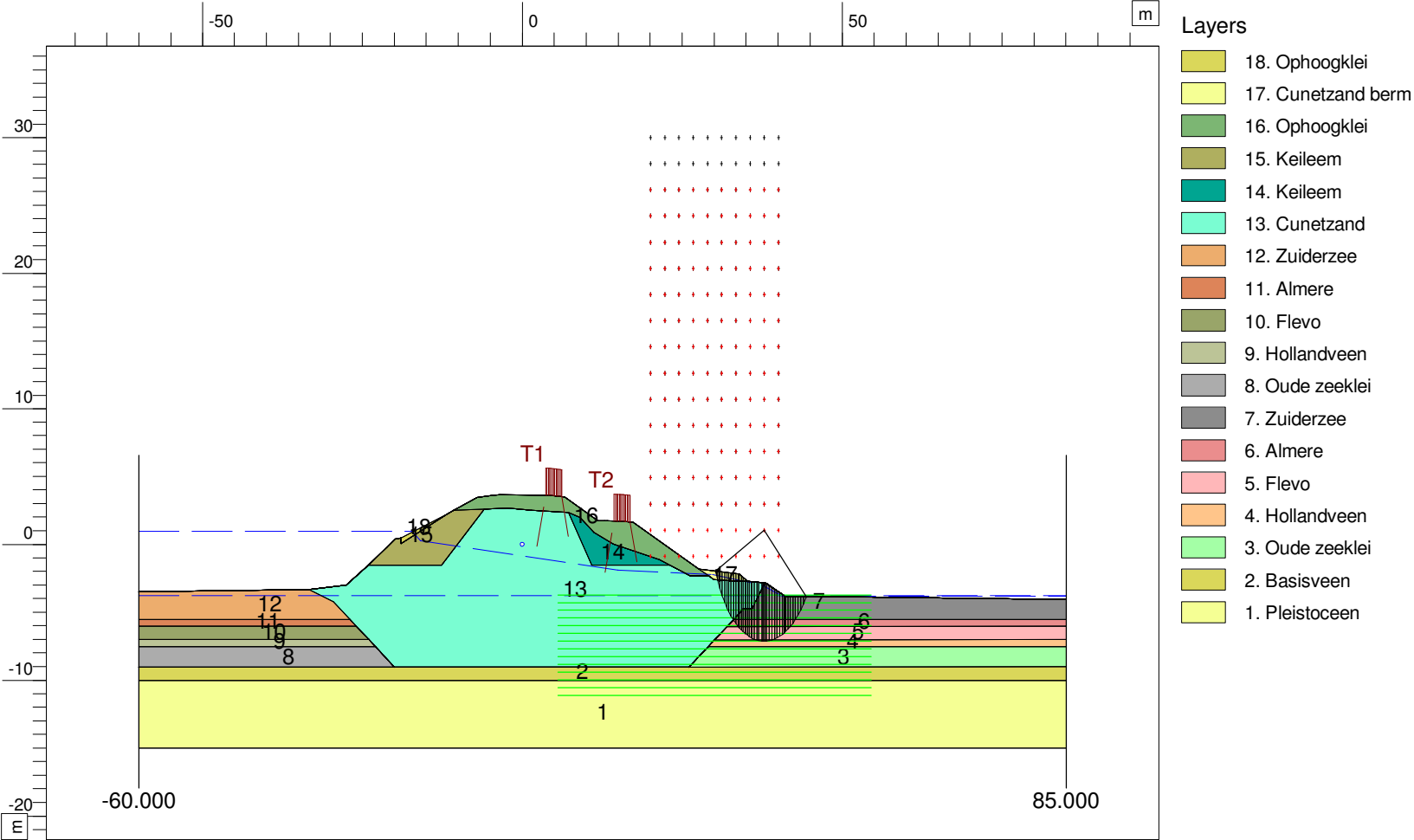
km 28,5	top	ok	dikte	gewicht
1 Zuiderzee	-4	-4.5	0.5	7.8
2 Almere	-4.5	-6	1.5	21.75
3 Flevo	-6	-6.7	0.7	9.1
4 Hollandveen	-6.7	-8	1.3	17.42
5 Oude zeeklei	-8	-9.7	1.7	25.5
6 basisveen	-9.7	-10	0.3	3.6
7 oude zeeklei	-10	-15	5	75
slootwater			0.2	2
				162.17
0.k. pleistoceen		-15		
opwaarts				120
veiligheid				1.35

Bijlage 6.2: toetsing opdrijven Oostvaardersdijk (watergang, vervolg)

km 29	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-4	-5	1	15.6
2 Almere	-5	-6	1	14.5
3 Flevo	-6	-7	1	13
4 Hollandveen	-7	-7.8	0.8	10.72
5 Oude zeeklei	-7.8	-9.8	2	30
6 basisveen	-9.8	-10.2	0.4	4.8
7 oude zeeklei	-10.2	-10.2	0	0
slootwater			0.2	2
				90.62
0.k. pleistoceen		-10.2		
opwaarts				72
veiligheid				1.26

km 30	top	ok	dikte	gewicht
	[m tov NAP]	[m tov NAP]	[m]	[kN]
1 Zuiderzee	-4	-5	1	15.6
2 Almere	-5	-5	0	0
3 Flevo	-5	-6	1	13
4 Hollandveen	-6	-6.5	0.5	6.7
5 Oude zeeklei	-6.5	-9.5	3	45
6 basisveen	-9.5	-10	0.5	6
7 oude zeeklei	-10	-10	0	0
slootwater			0.2	2
				88.3
0.k. pleistoceen		-10		
opwaarts				70
veiligheid				1.26

Critical Circle Bishop



Xm : 37.78 [m]
Ym : 1.07 [m]

Radius : 8.18 [m]
Safety : 1.33

D-Geo Stability 10.1 : KM21.5bomen.sti

Phone
Fax

date
6-7-2014

drw.

Oostvaardersdijk Noord

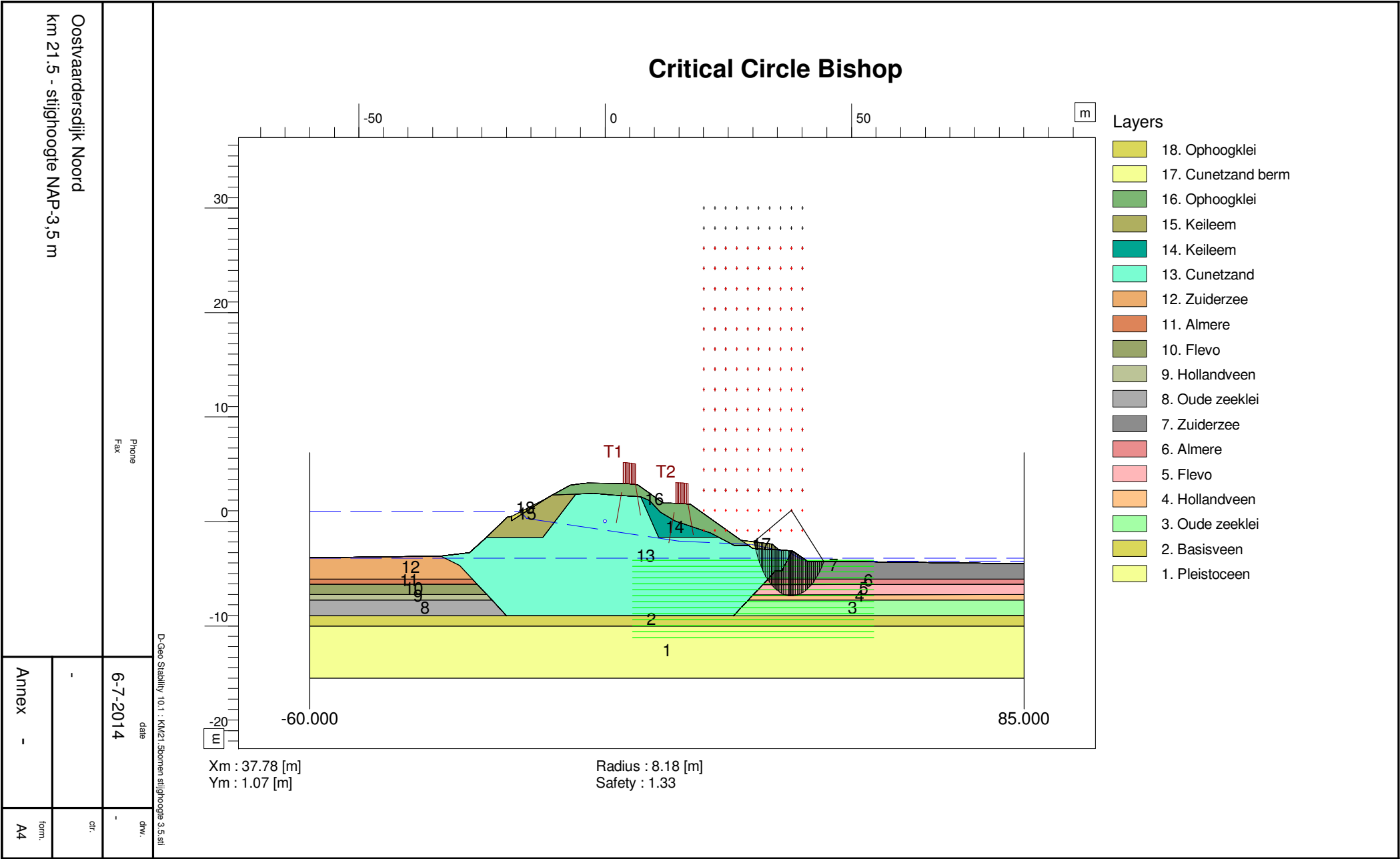
km 21.5 - stijghoogte NAP-3,75m

drw. -

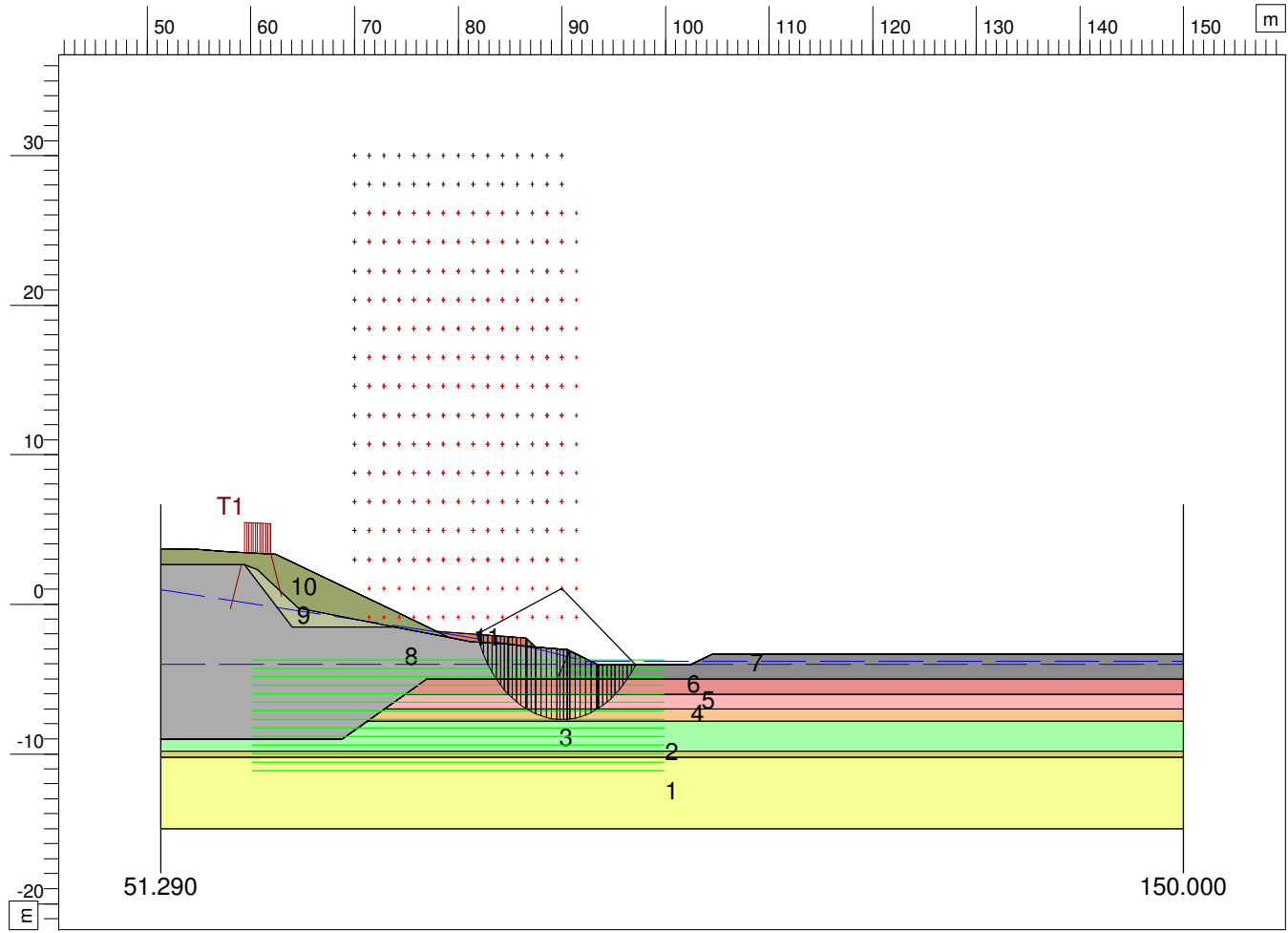
ctr.

Annex

form.
A4



Critical Circle Bishop



Layers

- 11. Cunetzand berm
- 10. Ophoogklei
- 9. Keileem
- 8. Cunetzand
- 7. Zuiderzee
- 6. Almere
- 5. Flevo
- 4. Hollandveen
- 3. Oude zeeklei
- 2. Basisveen
- 1. Pleistoecen

Xm : 90.00 [m]
Ym : 1.07 [m]
Radius : 8.75 [m]
Safety : 1.15

Oostvaardersdijk Noord km29; talud 1:3, berm - stijghoogte NAP-4,0m		Phone Fax	D-Geo Stability 10.1 : KM29.stl
Annex	-	date 6-7-2014	
A4	form.	drw. -	

