



Notitie hydrologie

**Noorderwold-Eemvallei Voorlopig Ontwerp
Eerste Fase**

projectnummer 0418870.00
definitief revisie 03
6 december 2017

Notitie hydrologie

Noorderwold-Eemvallei Voorlopig Ontwerp Eerste Fase

projectnummer 0418870.00

definitief revisie 03
6 december 2017

Auteurs

ir. Mirjam Stark
ir. Suzan van den Driest

Opdrachtgever

Het Flevo-landschap
Vlotgrasweg 11
8203AD Lelystad

datum vrijgave
6-12-2017

beschrijving revisie 03
definitief

goedkeuring
A.J.C. van Beek



vrijgave
W.A. Matla



Inhoudsopgave

Blz.

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	1
1.3	Onderzoeksvragen	1
1.4	Leeswijzer	1
2	Huidige (geo)hydrologische situatie	2
2.1	Ligging plangebied	2
2.2	Hoogteligging plangebied	3
2.3	Bodemopbouw	4
2.4	Geohydrologie	6
2.5	Oppervlaktewatersysteem	9
3	Voorlopig ontwerp (VO)	11
3.1	Toekomstige inrichting	11
3.2	Knelpuntenanalyse	14
4	Uitgangspunten en randvoorwaarden VO	17
5	Toetsing haalbaarheid VO & optimaliseren VO	19
5.1	Uitwerking watersysteem	19
5.2	Toetsing haalbaarheid VO	20
5.3	Effecten op omgeving	22
5.4	Tijdsafhankelijke berekening	25
6	Voorstellen voor optimalisatie VO	28
6.1	Vergelijking varianten ophogen en afgraven	28
6.2	Eventuele maatregelen ter optimalisatie	32
6.3	Effecten geoptimaliseerd VO	33
6.4	Raming VO op basis van kentallen	39
7	Conclusies en advies voor vervolg	40
7.1	Conclusies	40
7.2	Aanbevelingen	40

Bijlage 1 Toets Azure-model

Bijlage 2 Hoogtekaart plangebied

Bijlage 3 Kostenraming

Bijlage 4 Dwarsprofiel plangebied

Bijlage 5 Kaart boorpunten

Bijlage 6 Boorbeschrijving boorpunten

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Afgelopen periode heeft Het Flevo-landschap samen met projectpartner ERF B.V. en de projectgroep (o.a. Waterschap Zuiderzeeland) het Voorlopig Ontwerp (VO) met toelichting voor de Eerste Fase van het project Nieuwe Natuur Noorderwold opgesteld. De Eerste Fase betreft een plangebied van circa 180 hectare waarbinnen natuur, biologische landbouw en rode functies een plek krijgen. U heeft Antea Group gevraagd om te toetsen en u te adviseren of het VO hydrologisch en (kosten)technisch haalbaar is.

1.2 Doel

Doel van deze hydrologische notitie is het VO te toetsen op haalbaarheid en te komen tot een hydrologisch en (kosten)technisch haalbaar ontwerp.

1.3 Onderzoeksvragen

Om de hydrologische haalbaarheid van het ontwerp in beeld te brengen worden middels deze notitie de volgende onderzoeksvragen beantwoord.

1. Is het Voorlopig Ontwerp technisch haalbaar?
 - a. Als het VO niet of beperkt haalbaar is, biedt dan een andere verhouding tussen afgraven en opzetten wel perspectief?
2. Welke maatregelen in het watersysteem zijn benodigd om tot de realisatie van het kleimoeras zoals opgenomen in het Voorlopig Ontwerp te komen?
3. Op welke wijze is oppervlaktewater optimaal in het gebied te krijgen en houden, welke maatregelen zijn daarvoor nodig?
 - a. Is de bodem voldoende dicht om het water niet via kleischeuren te laten weglopen?
 - b. Is er veel wegzijging horizontaal te verwachten via zandbanen?
 - c. Hoeveel (%) wateraanvulling is mogelijk via retentie van neerslag?
 - d. Is er een tekort aan wateraanvoer te verwachten?
4. Hoe wordt overlast voor de omgeving als gevolg van de te wijzigen hydrologische situatie (Voorlopig Ontwerp) voorkomen?
5. Is het voorliggende plan (Voorlopig Ontwerp) financieel haalbaar?

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de huidige (geo)hydrologische situatie beschreven. Vervolgens is in hoofdstuk 3 het Voorlopig Ontwerp en mogelijke hydrologische knelpunten toegelicht. In hoofdstuk 4 zijn de uitgangspunten en randvoorwaarden opgenomen. Hoofdstuk 5 bevat de resultaten van de toetsing op de hydrologische haalbaarheid van het Voorlopig Ontwerp.

Naar aanleiding van de toets van de haalbaarheid van het VO is geconstateerd dat een optimalisatie wenselijk is. Dit betreft vooral een aanpassing van het gewenste waterpeil. Deze verdere uitwerking is opgenomen in hoofdstuk 6.

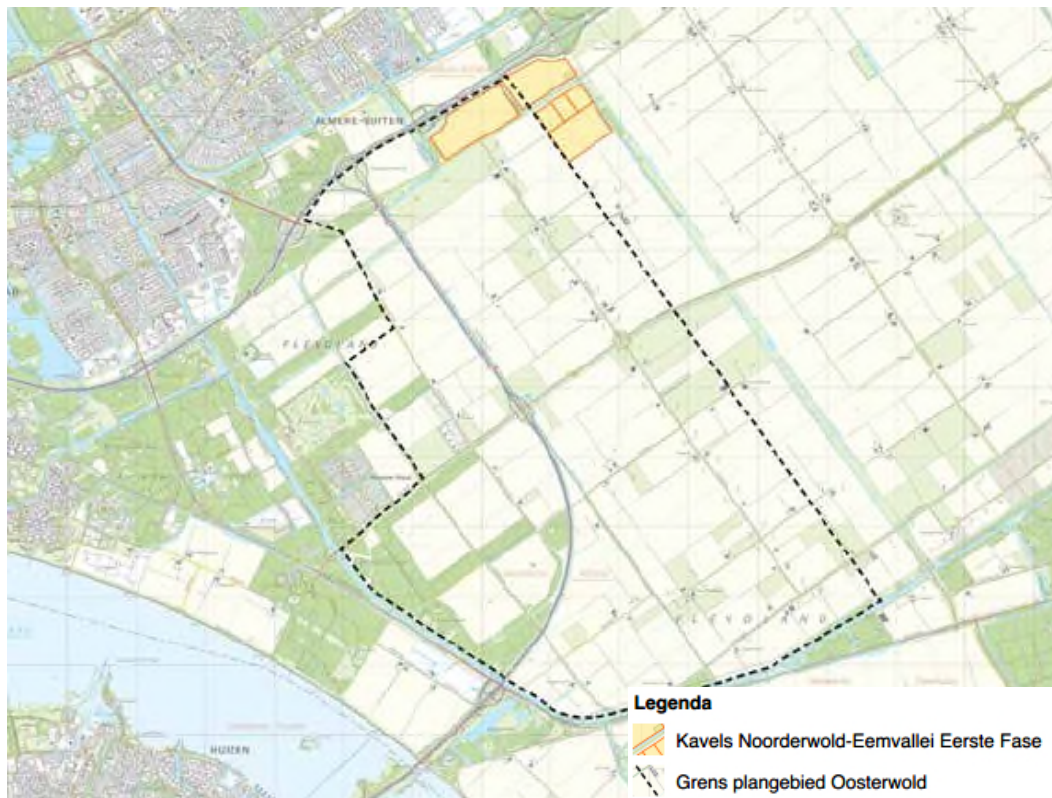
In hoofdstuk 7 zijn tenslotte de conclusies en een advies voor het vervolg opgenomen.

2 Huidige (geo)hydrologische situatie

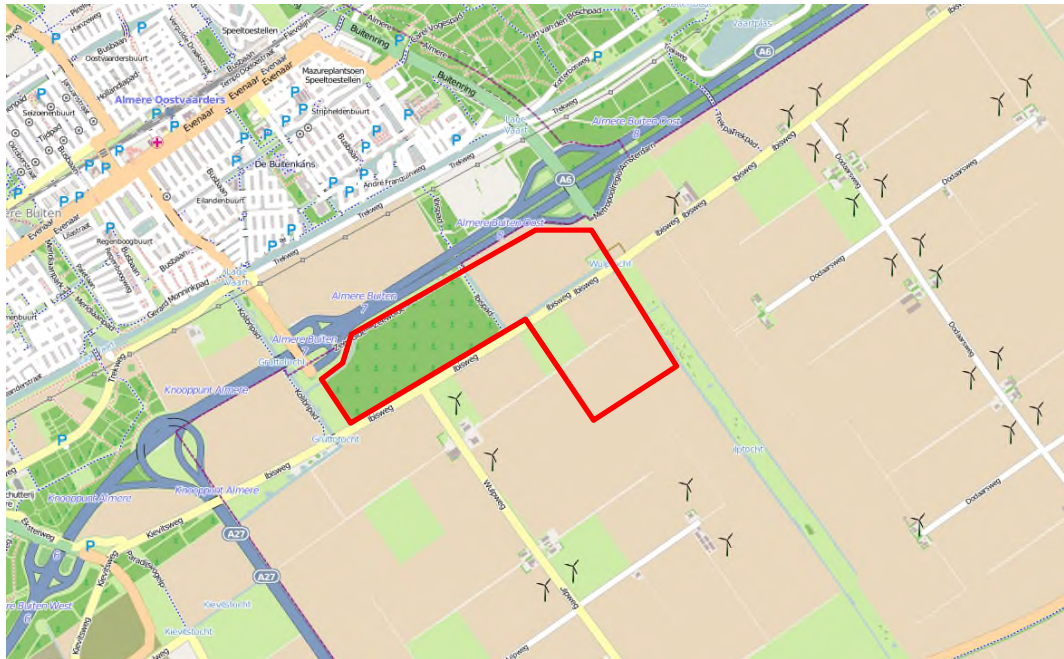
In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de huidige situatie betreffende geohydrologische aspecten als maaiveldhoogte, geohydrologische bodemopbouw, grondwatergegevens en het oppervlaktewatersysteem.

2.1 Ligging plangebied

Het plangebied Noorderwold-Eemvallei ligt zuidoostelijk van Almere (figuur 2-1). De percelen die tot de Eerste Fase behoren hebben een oppervlak van circa 180 hectare (figuur 2-2). Ten zuiden, westen en oosten is het kenmerkende Flevolandse polderlandschap aanwezig. Het gebied bestaat uit landbouwpercelen. Ten noorden is de A6 gelegen. Het gebied wordt doorkruist door de Ibisweg en een tweetal fietspaden, die verbinding vormen tussen het plangebied en Almere. Een opvallend landschapselement is de poldertocht (Wulptocht) die langs de Grote Trap loopt, met een brug de Ibisweg kruist en vervolgens door het plangebied heen naar de A6 loopt.



Figuur 2-1: Overzicht plangebied Oosterwold en Noorderwold Eemvallei Eerste Fase (bron: Feddes/Olthof Landschapsarchitecten)



Figuur 2-2: Ligging plangebied Noorderwold-Eemvallei (rode lijn)

2.2 Hoogteligging plangebied

De maaiveldhoogte binnen het plangebied varieert tussen de NAP -5,0 m tot NAP -4,3 m (figuur 2-3 en bijlage 2). Aan de noordwestkant van het plangebied loopt de verhoogde A6, met een hoogte van circa NAP -2,5 m. Binnen het plangebied bevindt zich microreliëf gevormd door de oude loop van rivier de Eem. In het meest westelijke gedeelte van het plangebied stroomde de rivier het plangebied vanuit het zuiden binnen, waarna het met een bocht richting de westkant weer het gebied uit stroomde.

De variatie in het maaiveld is gering met een voormalige rivierbedding op circa NAP -4,7 m en een oeverwal op circa NAP -4,3 m. Aan de zuidoostkant van het plangebied is een oude arm (bocht) van de voormalige rivier zichtbaar. Het noordoostelijke veld heeft de laagste maaiveldhoogte binnen het gebied met een maaiveldhoogte van circa NAP -5,0 m.

Tussen de voormalige akkers liggen een fietspad en een weg, gelegen op een verhoging met een hoogte van circa NAP -3,5 m.



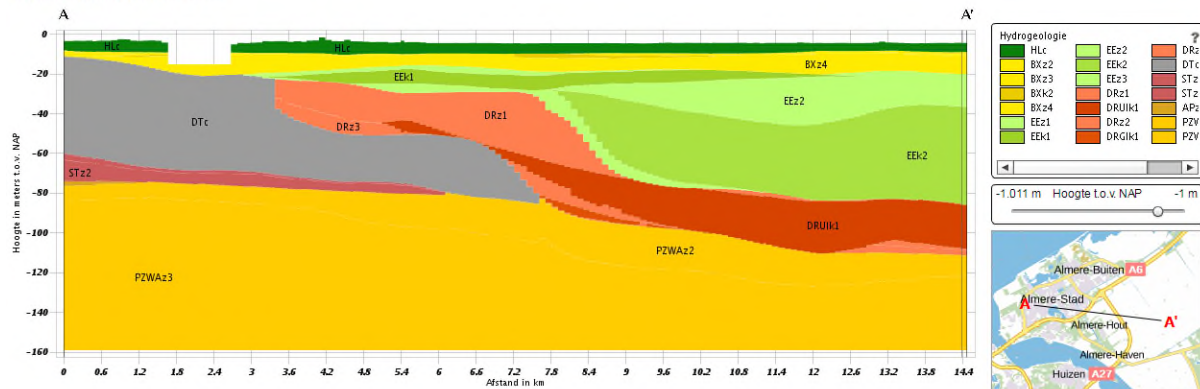
Figuur 2-3: Hoogtekaart plangebied Noorderwold Eemvallei Eerste Fase (bron: AHN 2) volledig formaat in bijlage 2

2.3 Bodemopbouw

Regionale bodemopbouw

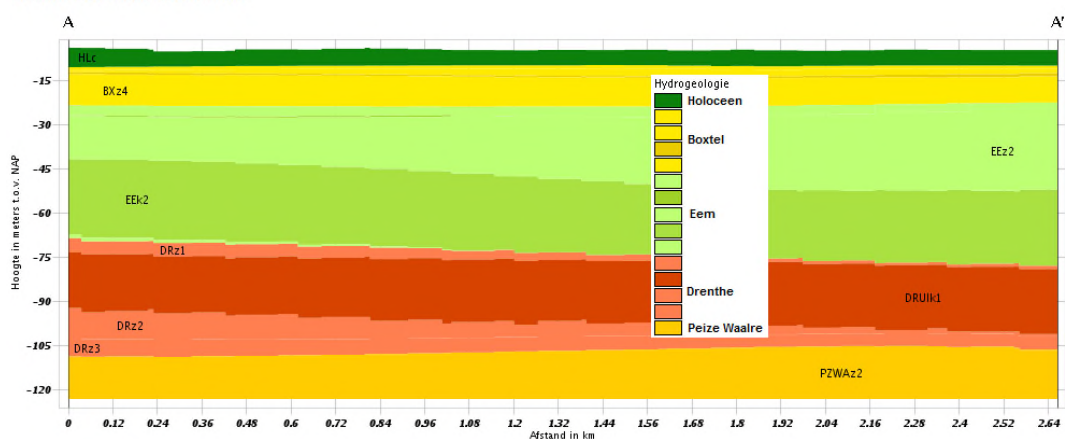
De regionale bodemopbouw heeft een wisselend karakter, zoals zichtbaar in figuur 2-4. Vanaf maaiveld wordt eerst de Holocene deklaag, bestaande uit hoofdzakelijk klei aangetroffen. De onderkant van deze deklaag ligt op circa NAP -9 à -10 m in het plangebied (op circa 4 a 5 m –mv.). Hieronder ligt eerst de zandige formatie van Boxtel met een dikte van ongeveer 15 m. Hieronder is de samenstelling van de bodem wisselen. In het oosten, onder meer onder het plangebied (figuur 2-5), komt de Eemformatie voor. Verder westelijk ligt een deel van de Drenthe formatie en vervolgens een gestuwd deel van Drenthe. In het plangebied zelf ligt de Drenthe formatie onder de Eemformatie.

Verticale Doorsnede REGIS II v2.2



Figuur 2-4: Regionaal dwarsprofiel bodemopbouw (bron: Regis II v2.2)

Verticale Doorsnede REGIS II v2.2



Figuur 2-5: Lokaal dwarsprofiel met de bodemopbouw in het plangebied (bron: Regis II v2.2)

Lokale bodemopbouw

In het plangebied zijn ten behoeve van dit project door Transect verschillende boringen geplaatst en gedetailleerd beschreven (zie bijlage 5 en 6). Over het algemeen bestaat de bodem uit klei, uiterst siltig en zwak humeus. De Laag van Almere, die kenmerkend is door de kleischeuren, komt in dit gebied voor en is vaak ook gereduceerd. Op een diepte van ongeveer 2 à 3 m –mv. komt meestal ook veen voor uit de Flevomeer Laag. De boringen zijn doorgezet tot circa 4 m –mv. Op deze diepte is de onderkant van de Holocene deklaag niet aangetroffen.

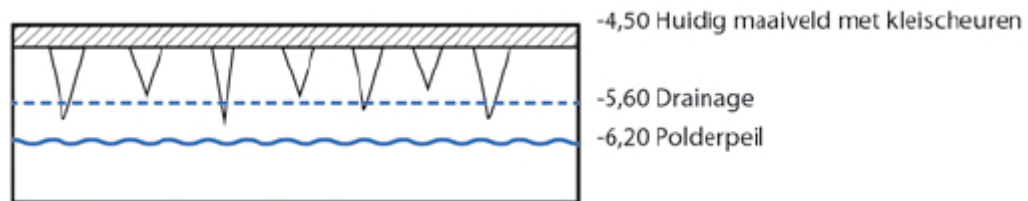
In één boring, boring NWOLD-3, is vanaf 0,7 m –mv. zand aangetroffen. De oorsprong (formatie) van dit zand is niet bekend.

In een onderzoek van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders (datum niet bekend) is de ligging van het Pleistoceen en de diepte van kanalen en tochten ten opzichte van het Pleistoceen in beeld gebracht. In het plangebied ligt de bodemkant van het Pleistoceen op circa NAP -9 à -10 m. Over het algemeen is in deze omgeving tussen de onderkant van de tochten en het Pleistocene zand nog 2,0 à 2,8 m Holocene aanwezig. Alleen de grote waterlopen, zoals de Lage Vaart, snijden in het Pleistoceen in.

Kleischeuren

Het is typerend voor dit deel van Zuidelijk Flevoland dat er in de bodem veel kleischeuren (figuur 2-6) voorkomen waardoor water dat op het maaiveld valt snel wegloopt in de bodem. Deze kleischeuren komen voor in het bodempakket tussen maaiveld en het drainagesysteem (op circa 1,10 meter beneden maaiveld). Ook in gebieden waar in de bouwvoor geen scheurvorming zichtbaar is, kunnen op een grotere diepte dergelijke scheuren voorkomen. In verschillende onderzoeken, waaronder het rapport Scheurvorming in de Almere laag, Oosterwold (Arcadis, 2010), is voor onder meer het plangebied een inschatting gemaakt van het voorkomen van scheurvorming. De aanleiding voor dit onderzoek is de constatering dat in delen van Flevoland de afstand tussen drainage overwegend 12 tot 24 m is, maar in delen van het gebied 24 tot 48 m. Bij de gebiedsdelen met een grote drainafstand is de doorlatendheid van de bodem blijkbaar groter. De doorlatendheid van ongerijpte bodems is zeer gering, volgens Rijnierse (1983) is deze $1,7 \cdot 10^{-4}$ m/d. Door rijping en vooral scheurvorming kan de doorlatendheid echter toenemen tot waarden groter dan 100 m/d. Deze waarde wordt vooral door de scheuren zelf bepaald.

In de bodem onder de grondwaterstand (GLG) is de klei nog ongerijpt, hier komen geen kleischeuren voor.



Figuur 2-6: Globaal beeld kleischeuren (bron: Feddes/Olthof Landschapsarchitecten)

Maaiveld daling

Sinds de inpoldering van Zuidelijk Flevoland in 1968 tot 2005 was het maaiveld ongeveer 80 cm gedaald. Tot 2013 werd nog een aanvullende daling van ongeveer 15 à 20 cm verwacht. De jaarlijkse maaiveld daling neemt steeds verder af.

In het plangebied is de bodemdaling relatief groot. In de periode 2011-2030 wordt in het noordelijke deel van het plangebied nog een daling van 40 à 50 cm verwacht. Het zuidelijke deel van het plangebied heeft een verwachte bodemdaling van minder dan 30 cm. Deze bodemdaling is bij het huidige waterpeil. Bij een hoger waterpeil zal de bodemdaling waarschijnlijk kleiner zijn.

2.4 Geohydrologie

Freatische grondwaterstand

De freatische grondwaterspiegel wordt gedeeltelijk bepaald door de oppervlaktewaterpeilen. In de strook van 30 tot 100 m langs het oppervlaktewater zal de grondwaterstand dus rond NAP -6,2 m liggen (het omliggende polderpeil).

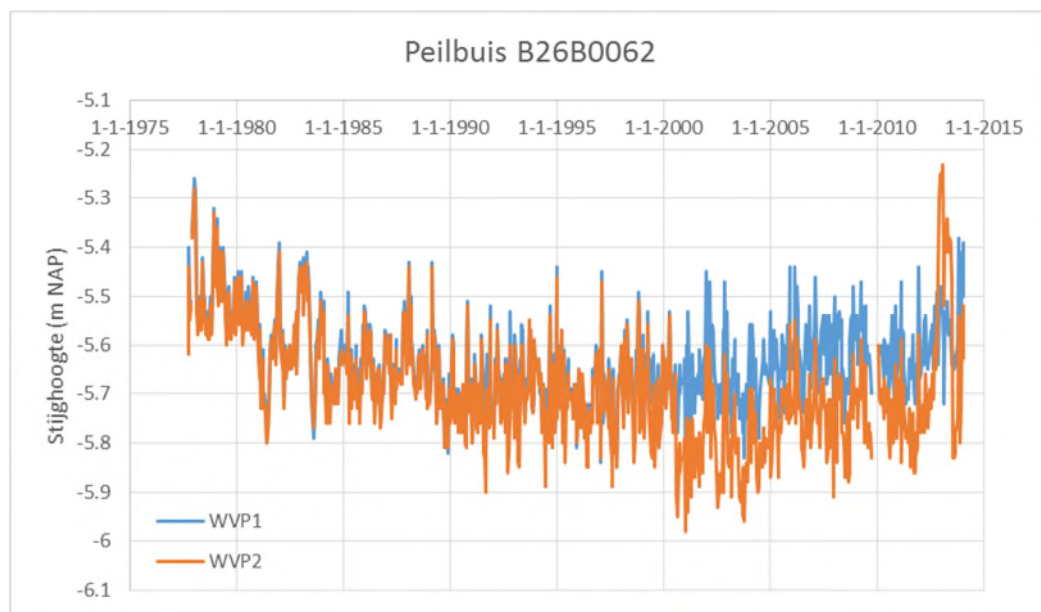
Op een grotere afstand van de waterlopen speelt ook de drainage een rol. Deze ligt in het plangebied globaal tussen NAP -5,7 m en -6,0 m (zie verderop).

In de wintersituatie ligt het grondwater hoger door de opbolling tussen de drains, in de zomer zakt het grondwater uit. De drainage ligt overwegend hoger dan het oppervlaktewaterpeil en zorgt dus niet voor een aanvulling van het grondwater.

Stijghoogte watervoerende pakket en kwel

In het peilbesluit van de Lage Vaart (WS Zuiderzeeland, 2005) is aangegeven dat er in de ruime omgeving van het plangebied geen significante kwel optreedt. Dit is in het startoverleg op 15 augustus bevestigd door het waterschap.

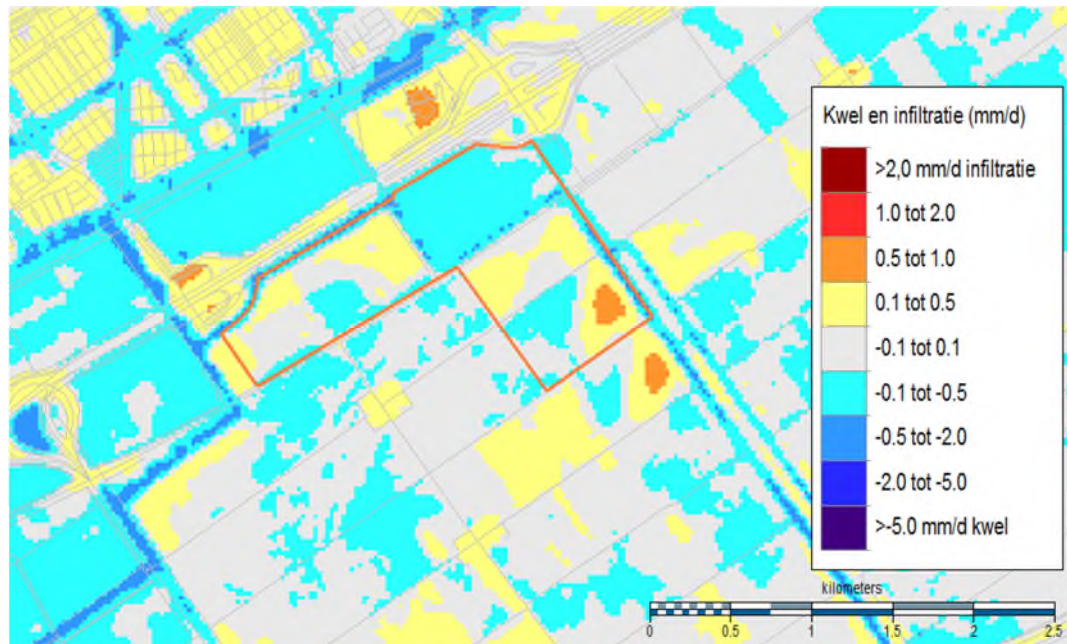
Uit de isohypsen opgenomen in DinoLoket van 28 april 1995, blijkt dat de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket rond NAP -5,5 m ligt. In de omgeving van het plangebied is een peilbuis met twee filters aanwezig, B26B0062 (figuur 2-7). De stijghoogte in het eerste en tweede watervoerende pakket vertonen van 1977 tot 2000 een sterke overeenkomst. De stijghoogte ligt in deze periode globaal tussen NAP -5,8 en -5,4 m, hetgeen een beperkte kweldruk naar het freatische pakket aanduidt. De bodemweerstand is wel hoog (orde 1.000 dagen), waardoor de kwel toch beperkt zal zijn. Bij een gemiddelde stijghoogte in het 1e watervoerende pakket van NAP -5,6 m en een gemiddelde freatische grondwaterstand van NAP -5,8 m komt de kwel op ongeveer 0,2 mm/d.



Figuur 2-7: Peilbuis B26B0062 nabij het plangebied

Opvallend is dat de stijghoogte in het 2e watervoerende pakket vanaf ongeveer 2000 lager komt te liggen dan in het 1e watervoerende pakket, terwijl het in de periode ervoor vrijwel gelijk was. Het verschil tussen de beide reeksen bedraagt ongeveer 10 cm. De oorzaak van dit verschil is niet bekend. Voor de onderhavige studie is dit niet van groot belang.

In figuur 2-8 is de kwel en infiltratie weergegeven zoals deze met het grondwatermodel AZURE is bepaald voor de huidige situatie (gemiddelde situatie). Ook uit deze figuur blijkt dat er sprake is van een hooguit beperkte kwel. Lokaal, waar het maaiveld hoger ligt, is er zelfs een geringe infiltratie.



Figuur 2-8: Kwel en infiltratie huidige situatie (bron: grondwatermodel AZURE)

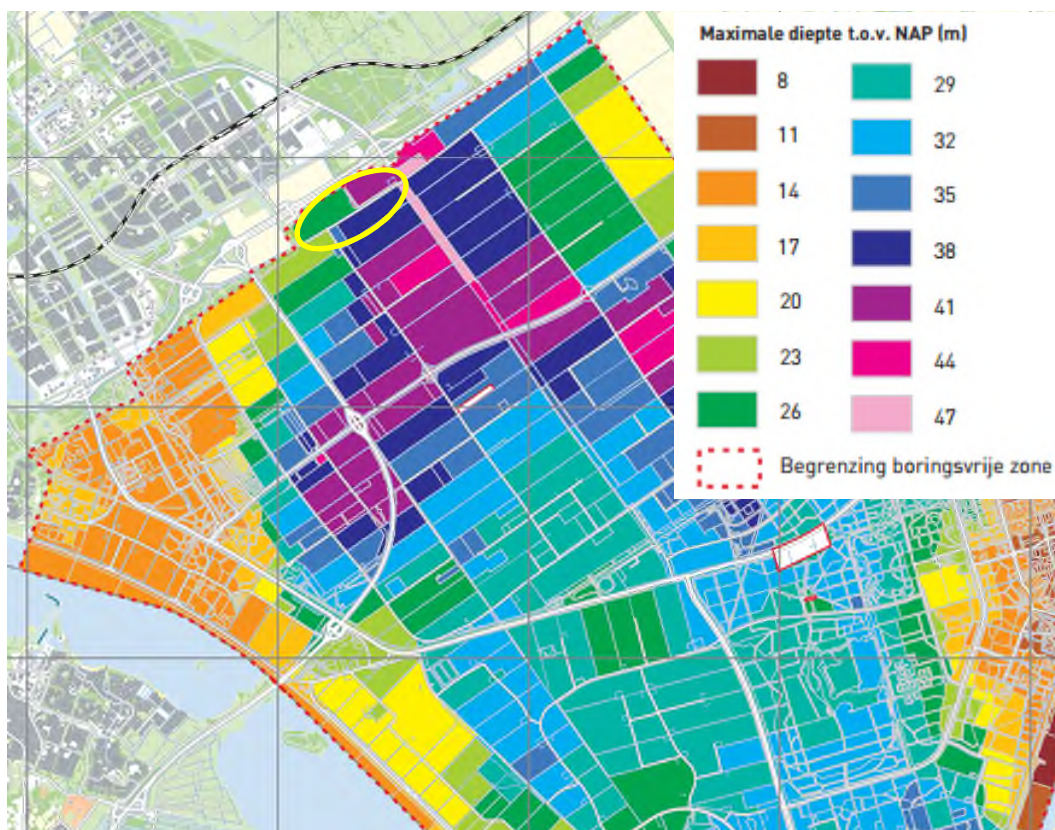
Drainage

In de akkers is op ongeveer 1,10 meter onder maaiveld een drainagesysteem aangelegd. Voor het plangebied komt dit dus overeen met ongeveer NAP -5,7 (westen) tot -6,0 m (oosten). In het westelijke deel van het plangebied, tussen de Gruttotocht en de Wulptocht (zie figuur 2-11), is de afstand tussen de drains 24 m. In het deel vanaf de Wulptocht tot afrit 8 van de snelweg A6 is de afstand tussen de drains veel groter, 48 m. Zoals in de voorgaande paragraaf bij 'kleischeuren' is beschreven, kan dit duiden op een grotere effectieve doorlatendheid van de bodem door scheurvorming van de Almere klei.

Waterkwaliteit

Het freatische grondwater en het grondwater in het 1e watervoerende pakket is overwegend brak en nutriëntenrijk. Het chloridegehalte varieert van 150 tot 1.000 mg/l, met plaatselijk hogere gehalten.

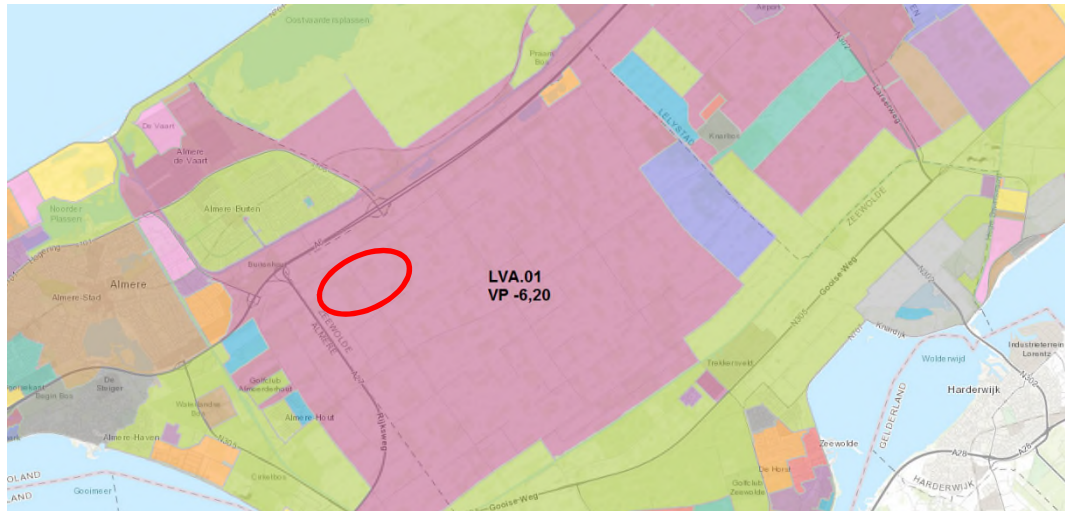
Het 3e watervoerende pakket bevat zoet grondwater. Dit water is afkomstig van de Veluwe, dat in noordwestelijke richting naar de Flevopolders stroomt. De bovenliggende kleilaag beschermt dit zoete grondwater. Om de bescherming van het zoete grondwater te vergroten, is hier een Milieubeschermingsgebied (boringsvrije zone) vastgelegd. Ter plaatse van het plangebied mag tot circa NAP -40 m zonder ontheffing worden geboord. Dit is de bovenkant van de Eemklei.



Figuur 2-9: Ligging boringsvrije zone, globale ligging plangebied: gele ovaal (bron: provincie Flevoland)

2.5 Oppervlaktewatersysteem

Het polderpeil in dit deel van Zuidelijk Flevoland is NAP -6,20 m binnen peilvlak Lage Vaart 01 (figuur 2-10). Ten opzichte van het maaiveld in het plangebied staat het water in de sloten en tochten dus 1,20 tot 1,70 meter lager.



Figuur 2-10: Uitsnede peilbesluit, rode ovaal: globale ligging plangebied (bron: www.zuiderzeeland.nl)

De hoofdwatrgang in het plangebied is de Wulptocht, die bij de A6 uitmondt in de Gruttotocht en vervolgens aansluit op de Lage Vaart (figuur 2-11). De waterlopen hebben allen hetzelfde polderpeil van NAP -6,20 meter. Het beleid van het Waterschap Zuiderzeeland is er op gericht om het polderpeil te handhaven en zoveel mogelijk grote aaneengesloten peilgebieden te hanteren.



Figuur 2-11: Huidig oppervlaktewaterwatersysteem plangebied Noorderwold Eemvallei Eerste Fase (bron: Feddes/Olthof Landschapsarchitecten); rode ovaal: drainafstand 24 m; groene ovaal: drainafstand 48 m; nb: de Lage Vaart kan twee kanten op stromen, in tegenstelling tot de aangegeven pijl in de figuur

3 Voorlopig ontwerp (VO)

De uitwerking van het Voorlopig Ontwerp voor de Eerste Fase van project Noorderwold-Eemvallei is opgenomen in het document "Noorderwold-Eemvallei, Voorlopig Ontwerp Eerste Fase, Feddes/Olthof landschapsarchitecten, juli 2017". Een schets van dit ontwerp is weergegeven in Figuur 3-1.



Figuur 3-1: Voorlopig Ontwerp Noorderwold Eemvallei

Eerste Fase (bron: Feddes/Olthof Landschapsarchitecten)

3.1 Toekomstige inrichting

De Eerste Fase betreft een plangebied van circa 180 hectare waarbinnen natuur, biologische landbouw en rode functies een plek krijgen. De invulling binnen de Eerste bevat de volgende functies/bestemmingen:

Natuur

- Natuur: 36 ha. bos (36 ha. EHS – compensatie);
- Natuur: 70 ha. kleimoeras (waarvan 68,5 ha. EHS – compensatie);
- Natuur: 8,5 ha. grasland en ruigteveld (waarvan 0,84 ha. EHS – compensatie);
- Natuur: 1,0 ha. 'een vierkante meter natuur';

Agrarisch

- Agrarisch: 10,5 ha. integratie experiment;
- Agrarisch: 42,5 ha. biologische landbouw;

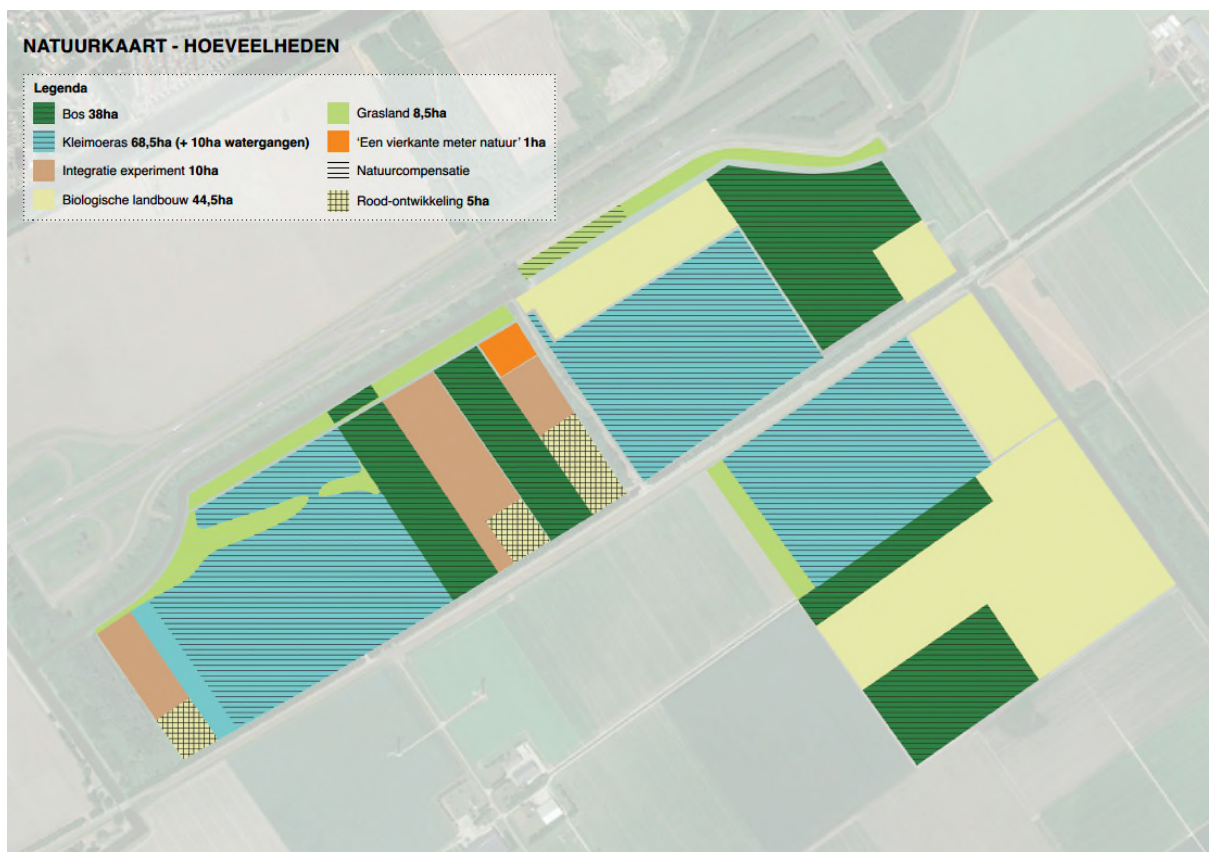
Rood

- Rood: 5,0 hectare rood & infrastructuur;

Water

- Water: 6,5 ha. nieuwe watergangen.

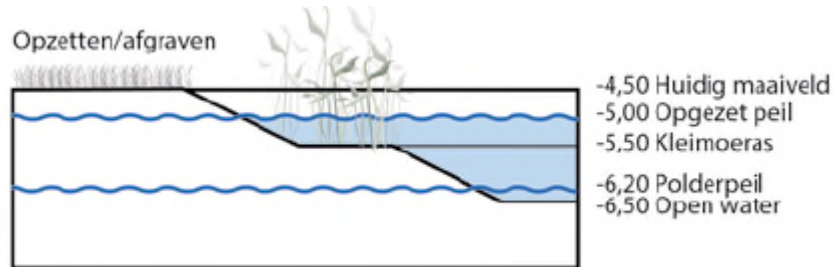
Op onderstaande kaart (figuur 3-2) zijn de verschillende toekomstige functies met bijbehorende oppervlakken weergegeven.



Figuur 3-2: Natuurkaart - hoeveelheden Noorderwold Eemvallei Eerste Fase (bron: Feddes/Olthof Landschapsarchitecten)

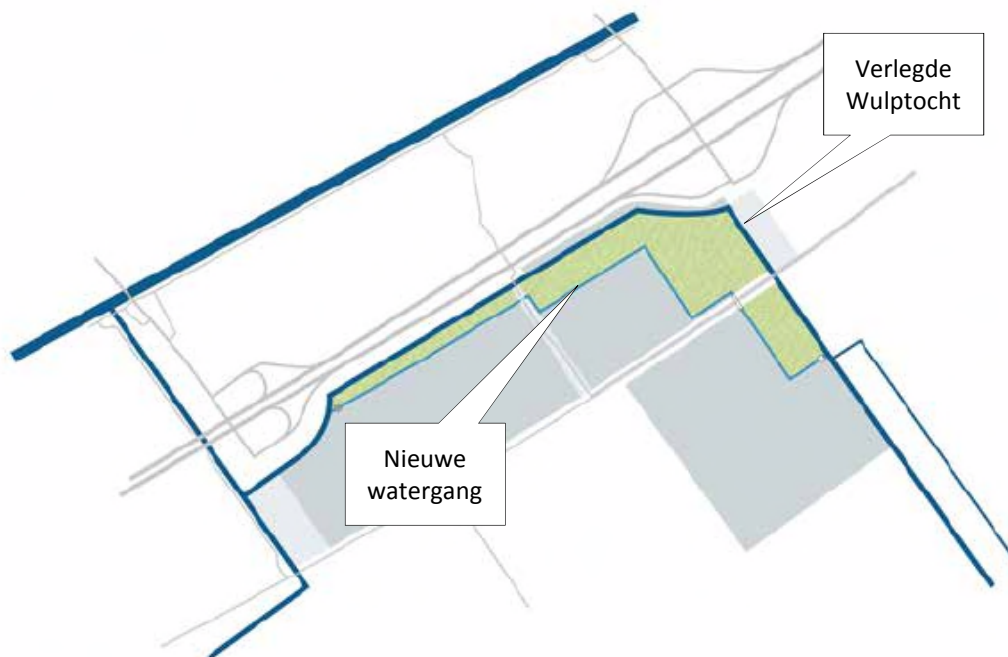
Om het kleimoeras te realiseren is voor het Voorlopig Ontwerp een “tussenvariant” gekozen waar de gebieden deels worden afgegraven gecombineerd met een peilopzet tot NAP -5,0 m (figuur 3-3). Hiermee wordt tevens de mogelijkheid gecreëerd om het peil te fluctueren. Er

wordt gestreefd naar een gesloten grondbalans, het af te graven materiaal wordt verwerkt in het plangebied door delen van het gebied op te hogen.



Figuur 3-3: Variant watersysteem VO (bron: Feddes/Olthof Landschapsarchitecten)

Vanaf de Wulptocht wordt het water in de toekomstige situatie middels een gemaal opgepompt naar een parallel gelegen, nieuw te graven watergang die de aangrenzende gebieden bedient. De watergang kruist de hoger gelegen Ibisweg met behulp van een duikerconstructie. Hiermee blijft het gebied een eenheid. Overtollig water kan via een verderop gelegen stuw worden afgevoerd naar de Wulptocht. De Wulptocht zelf wordt om het in te richten gebied verlegd (figuur 3-4). De tussengelegen strook dient als overgangszone om het peilverschil te overbruggen. Deze strook heeft een eigen vorm en afmeting, afgestemd op de invulling.

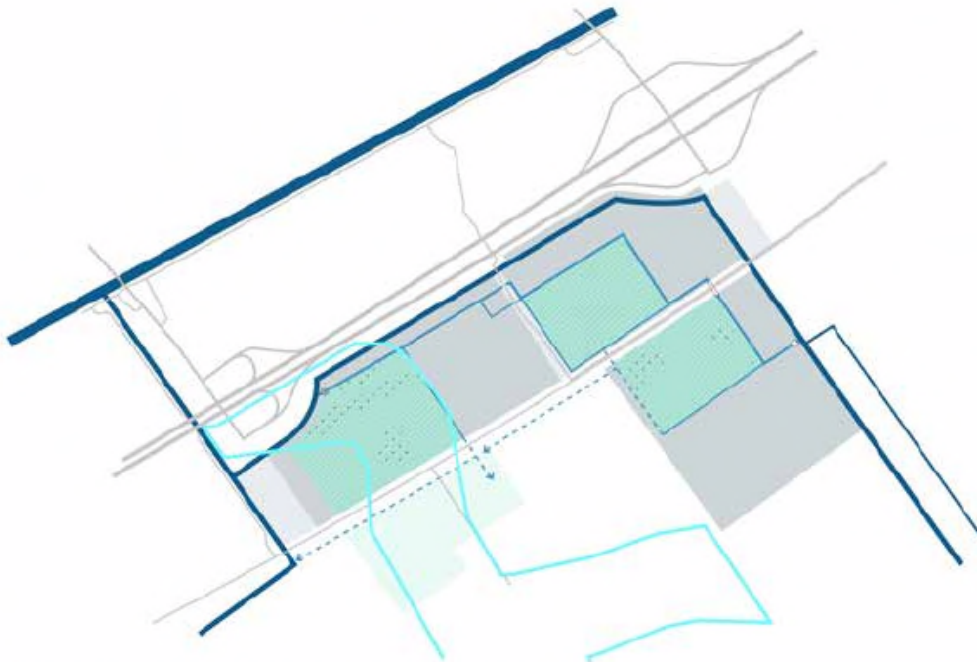


Figuur 3-4: Toekomstig watersysteem VO (bron: Feddes/Olthof Landschapsarchitecten)

De kleimoerassen zijn geprojecteerd op de laagste delen van het plangebied, waar meer kweldruk aanwezig is en de bodem relatief sterk daalt (figuur 3-5). De verschillende eenheden staan via watergangen, waaronder de 'oude' Wulptocht, met elkaar in verbinding.

Binnen het moeras blijven de hogere ruggen van de Eemvallei, die in de ondergrond nog aanwezig zijn, zichtbaar door hier niet of slechts weinig af te graven.

Ten zuiden van de Ibisweg grenst het moeras aan het landbouwgebied. Om vernatting van deze percelen te voorkomen is een brede strook grasland opgenomen als overgangszone, met daaraan grenzend een kavelsloot op het lage polderpeil.



Moeras op laagste delen, gekoppelde eenheden

Figuur 3-5: Locaties moerassen VO (bron: Feddes/Olthof Landschapsarchitecten)

3.2 Knelpuntenanalyse

Kleischeuren

In en rondom het plangebied zijn kleischeuren aanwezig, die gevormd zijn door het rijpen van de klei na het inpolderen van Flevoland. Door deze kleischeuren is horizontale wegzijging aanwezig, en is de weerstand van de bovenste laag (boven de grondwaterstand) relatief laag. Onder de grondwaterstand is de bodem niet gerijpt, waardoor geen kleischeuren voorkomen en de verticale doorlatendheid laag is. De aanwezigheid van kleischeuren kan een belemmering vormen voor het opzetten en vasthouden van het water binnen de kleimoerassen, welke een hoge waterstand nodig hebben.

Zandbanen Eem

Tijdens het pleistoceen stroomde de rivier de Eem door het plangebied, die nog steeds zichtbaar is in de maaiveldkaart (zie figuur 2-3). Binnen de oude loop van deze rivier is de aanwezigheid van zandbanen door hogere stromingssnelheden mogelijk. Een dergelijke zandbaan heeft een lagere weerstand dan de kleilagen waardoor water makkelijker kan draineren.

In het grondwatermodel AZURE is wel de ligging van de Eem zichtbaar in de maaiveldhoogte en het drainagepatroon. De aanwezigheid van zandbanen is niet in het model opgenomen. In de beschikbare boringen van het plangebied is ook geen overeenkomst tussen de oude loop van de Eem en de aanwezigheid van zand aangetroffen.

Kweldruk / slecht doorlatende laag

Over het algemeen is er een relatief lage kweldruk in het plangebied. Onder de freatische laag is een slecht doorlatende laag tot circa NAP -10 m aanwezig.

Bij de afgraafvariant, waar de bodem van de nieuwe waterlopen en/of het moeras wordt verlaagd tot maximaal NAP -7,7 m, blijft nog maar circa 2 m kleidikte aanwezig. Het opbarsten van de onderliggende kleilaag is bij deze variant niet uit te sluiten.

Bij de andere varianten, waaronder de tussenvariant waar minder wordt afgegraven is opbarsten van de kleilaag niet te verwachten.

Effecten op de omgeving

Een verandering van de waterhoogte binnen het plangebied kan effect hebben op het gebied daarbuiten. Een verhoging van de waterstand kan voor landbouwgebied of de omliggende infrastructuur ongunstige effecten hebben.

Gedeeltelijk in stand houden drainage

Bij de gebieden die voor (biologische) landbouw en als roodruimte worden ingezet, is het wenselijk om de bestaande drainage in stand te houden. In figuur 3-6 zijn deze gebieden weergegeven als rode vlakken.



Figuur 3-6: Gebieden waar drainage gewenst is/blijft (rode vlakken)

De huidige drainage loopt globaal noord-zuid, tussen de bestaande watergangen. Bij de nieuwe inrichting is er bijna nergens meer nog een aansluiting op een polderwatergang. Om de drainage in stand te houden, moet deze op een verzameldrain evenwijdig aan de Ibisweg en/of langs de

Notitie hydrologie

Noorderwold-Eemvallei Voorlopig Ontwerp Eerste Fase
projectnummer 0418870.00
6 december 2017 revisie 03
Het Flevo-landschap



nieuwe watergang met hoger peil worden aangesloten. Deze verzameldrain kan vervolgens afwateren op de Wulptocht of de polderwatergang die zuidelijk van de Ibisweg blijft lopen. In het Definitief Ontwerp (DO) moet dit nader worden uitgewerkt.

4 Uitgangspunten en randvoorwaarden VO

De ondergrond van het plangebied heeft een aantal bijzondere kenmerken, die deels een aanknopingspunt vormen voor de toekomstige inrichting en deels een randvoorwaarde zijn waar rekening mee moet worden gehouden.

Hoge archeologische verwachtingswaarde

Het plangebied ligt in de zone van de historische loop van de Eem en heeft daardoor in zijn geheel een hoge archeologische verwachtingswaarde. Voor de Eemgeulen betekent dit, volgens de Wet op de Archeologische Monumentenzorg, dat bij toekomstige graafwerkzaamheden dieper dan 50 centimeter en met een oppervlakte van meer dan 100 m² archeologisch onderzoek verplicht is. Buiten deze geulen geldt dit voor graafwerkzaamheden dieper dan anderhalve meter en met een oppervlakte van meer dan 500 m².

Bodemdaling

Het plangebied heeft sinds de drooglegging van de polder een sterke bodemdaling ondervonden. Ook in de komende jaren wordt nog een verdere maaiveld daling verwacht. Dit maakt het gebied robuust voor het kleimoeras dat hier ontwikkeld wordt, omdat het gebied de komende decennia geleidelijk nog lager komt te liggen en natter wordt. Voor de huidige aanleg van het kleimoeras kan hier echter niet op geanticipeerd worden, omdat het moeras direct na aanleg aan de gestelde condities moet voldoen.

De verschillende toekomstige functies hebben verschillende droogleggingsnormen en hydrologische uitgangspunten. Het Voorlopig Ontwerp is vanuit de opgave, de ondergrond, de maaiveldhoogte, het bestaande watersysteem, de bestaande groenstructuren en het gewenste strokenlandschap tot stand gekomen.

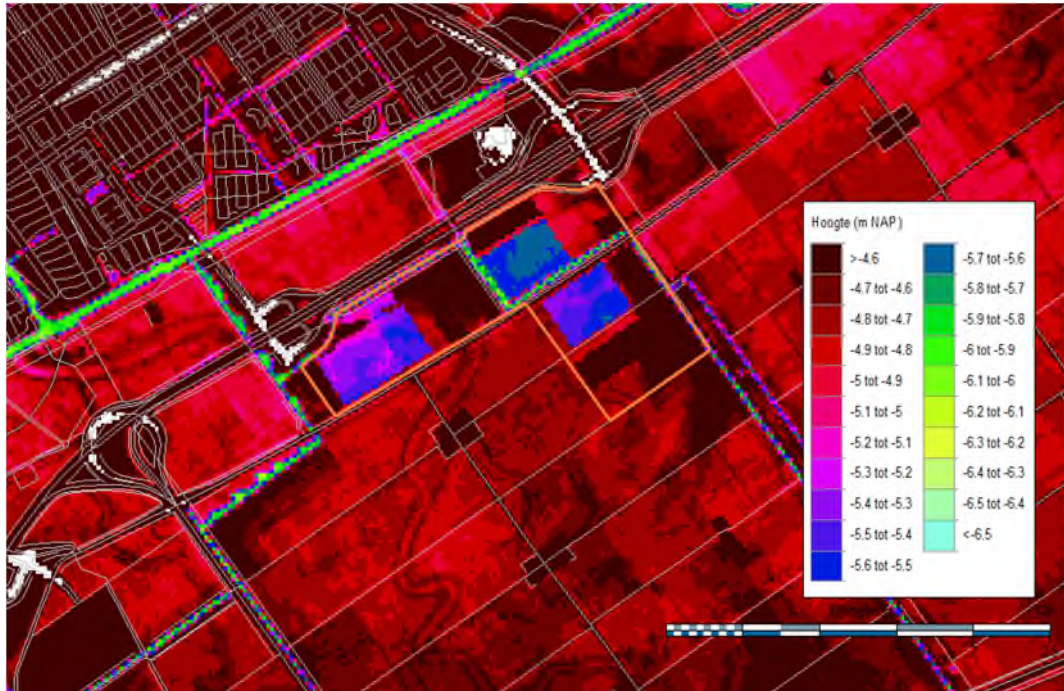
Drooglegging en ontwatering

- **Bos:** Het bos in de Flevopolders heeft veelal een grondwaterstand van 75 centimeter beneden het maaiveld. Door de vochthoudende kleibodem is het bos gedurende een groot deel van het jaar toch vochtig.
- **Kleimoeras:** Als minimale omvang van een moeraseenheid hanteert Het Flevo-landschap 15 hectare. Voor een goede kwaliteit kleimoeras moet het waterpeil in het voorjaar ongeveer 50 centimeter boven maaiveld staan. Hierna kan het peil gedurende de zomer uitzakken totdat het maaiveld lokaal droogvalt. Om overleving van de amfibieën- en vissenpopulaties gedurende perioden van droogval en de winter mogelijk te maken, dient een paar procent van het wateroppervlak (maximaal 20%) een minimale diepte van anderhalve meter te hebben.
- **Biologische landbouw:** Biologische landbouw vereist een drooglegging van circa 75 cm.
- **Graslanden:** Graslanden (nat of droog) zijn nodig voor het creëren van overgangsmilieus. Voor de drooglegging van de graslanden wordt een gemiddeld waterpeil van 40 centimeter beneden maaiveld gehanteerd.
- **Rood:** De drooglegging bij de rode functies is deels afhankelijk van de intensiteit van drainage die hier aanwezig is. Bij een intensieve drainage, zal de opbolling van het grondwater geringer zijn en kan met een geringere doorlegging worden volstaan.

Vooralsnog is een drooglegging van circa 1 m aangehouden, met het uitgangspunt dat middels drainage de ontwateringsdiepte verder wordt gereguleerd.

Aanpassing maaiveldhoogte

Om te garanderen dat de kleimoerassen nat blijven is het plan om deze drie gebieden af te graven en het peil daarbij te verhogen. Uitgegaan is van een maaiveldverlaging van 0,7 m en een peilopzet tot NAP -5,0 m. In Figuur 4-1 is de maaiveldverlaging bij de drie kleimoerassen duidelijk te zien.



Figuur 4-1: Maaiveldhoogte voor het voorlopige ontwerp met de maaiveldverlagingen in de drie kleimoerassen zichtbaar.

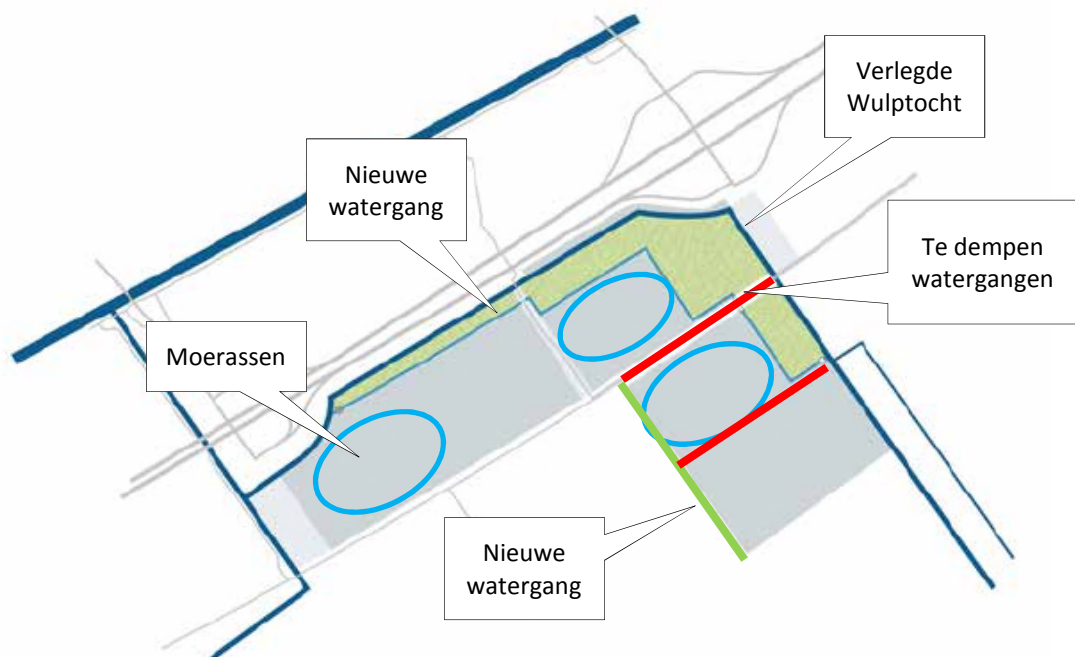
Verder zijn de bos- en landbouwgronden binnen het plangebied verhoogd met 0,5 m tot 0,65 m.

5 Toetsing haalbaarheid VO & optimaliseren VO

In dit hoofdstuk is ingegaan op de hydrologische haalbaarheid van het VO. Hierbij is onder andere gekeken naar de invloed van de kleiscreuren op het vasthouden van het water, een globale waterbalans opgesteld, de benodigde wateraanvoer voor het op peil houden van de kleimoerassen berekend en het effect van het VO op de omgeving bepaald. Hierbij is gebruikt gemaakt van grondwatermodel AZURE.

5.1 Uitwerking watersysteem

Om de moerassen op peil te houden, wordt een nieuwe watergang aangelegd (figuur 5-1). Deze wordt op het hoge ontwerppeil van NAP -5,0 m gebracht. De moerassen worden gevoed door deze middels afsluitbare duikers op de nieuwe watergang aan te sluiten. Wanneer de moerassen ten behoeve van beheer en onderhoud tijdelijk een lager peil moeten krijgen, kunnen de duikers worden afgesloten. Het betreffende moeras kan vervolgens middels een overlaat naar het normale poldersysteem leeglopen, of door een tijdelijke pomp in te zetten.



Figuur 5-1: Toekomstig watersysteem VO (bron: Feddes/Olthof Landschapsarchitecten)

De nieuwe watergang wordt aan de oostkant middels een gemaal door water uit de Wulptocht gevoed. Het benodigde debiet is berekend in paragraaf 5.2. Aan de westkant loopt het water over een stuw weer terug in de Wulptocht.

De nieuwe watergang kruist de Ibisweg middels een duiker. De Ibisweg ligt verhoogd, met een maaiveldhoogte van circa NAP -3,7 m. Bij een nieuw waterpeil van NAP -5,0 m is er tussen het maaiveld en het waterpeil nog 1,3 m ruimte. Dit is voldoende voor een normale duiker, waarbij

er circa 0,3 m lucht boven het waterpeil en vervolgens nog een gronddekking van 1,0 m beschikbaar is. Voor een doorvaarbare duiker is niet voldoende ruimte beschikbaar.

De Wulptocht, die door het plangebied loopt, wordt verlegd zodat deze de rand van het plangebied volgt. De poldersloten die door het plangebied lopen worden gedempt. Aan de oostkant van het plangebied zijn de sloten aangesloten op de Wulptocht. Voor de afwatering aan de westkant van het plangebied wordt een nieuwe watergang aangelegd. Deze watergang komt op het reguliere polderpeil te liggen.

5.2 Toetsing haalbaarheid VO

In dit hoofdstuk zijn de waterbalansen uitgewerkt en is inzicht gegeven in de effecten van het uitvoeren van het VO op de omgeving.

Bij deze berekeningen is er vanuit gegaan dat het water in het natuurgebied wordt aangevuld. Overwogen kan worden om het water in droge perioden (gedeeltelijk) uit te laten zakken. Wanneer een hoger peil dan het normale polderpeil gewenst is, is in ieder geval een gemaal nodig om het water op dit peil te krijgen.

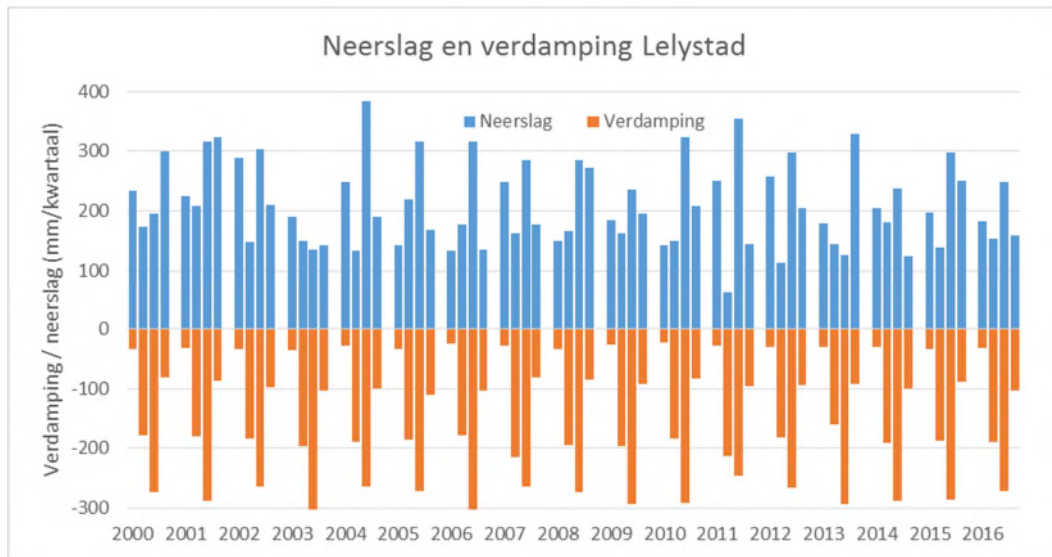
5.2.1 Neerslagoverschot / -tekort

Voor het bepalen van het gemiddelde neerslagoverschot per seizoen (tabel 1) zijn KNMI-meetreeksen gebruikt van het weerstation Lelystad. Dit weerstation ligt op een afstand van circa 15 km van het plangebied. Het gemiddelde neerslagoverschot is bepaald aan de hand van neerslag- en verdampingsgegevens van de periode 2001 t/m 2016. De neerslaggegevens per seizoen zijn weergegeven in figuur 5-2 en figuur 5-3. Te zien is dat het neerslagtekort in extreme jaren (drie gevallen) rond de 150 mm per kwartaal ligt.

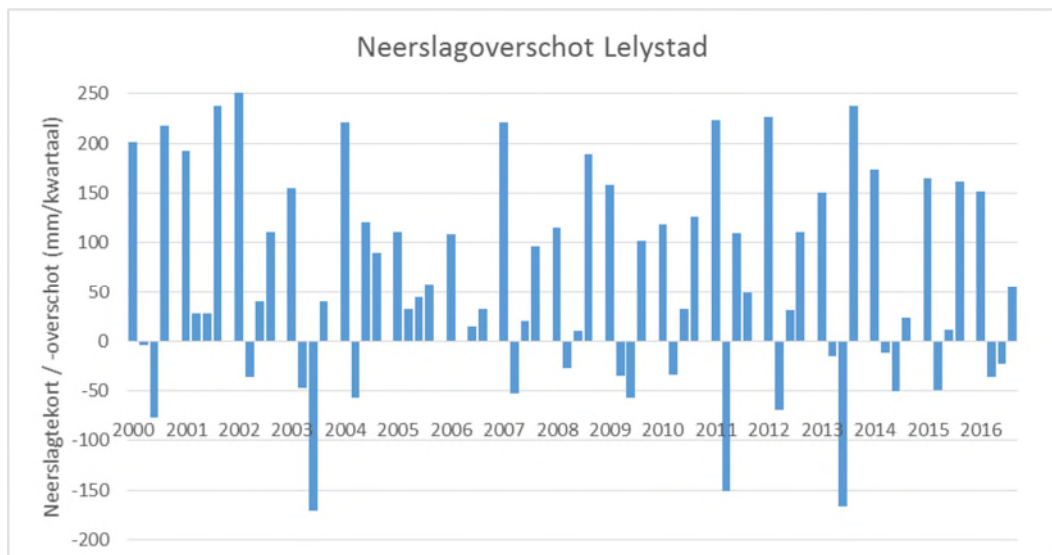
Tabel 1: Neerslagoverschot uit de neerslag en verdamping van weerstation Lelystad over de periode 2000-2016 (bron: KNMI)

Seizoen	Gemiddelde neerslag (mm/kwartaal)	Gemiddelde verdamping (mm/kwartaal)	Gemiddeld neerslagoverschot (mm/kwartaal)
Winter	204	30	173
Lente	155	188	-33
Zomer	274	279	-5
Herfst	208	94	114
Jaar (mm/jaar)	841	591	250

Het maximale neerslagtekort vormt zich in de lente met een gemiddelde van 33 mm per kwartaal. Het maximale neerslagtekort dat voorkomt in de periode 2000-2016 is vastgesteld op 150 mm per kwartaal. Wanneer voor dit neerslagtekort moet worden gecompenseerd resulteert dat voor het gehele plangebied in een aanvoer van circa 3.300 m³/d.



Figuur 5-2: Neerslag en verdamping voor de jaren 2000-2016 in Lelystad per seizoen.



Figuur 5-3: Neerslagoverschot voor de jaren 2000-2016 in Lelystad per seizoen.

5.2.2 Waterbalans AZURE

Met het grondwatermodel AZURE zijn verschillende berekeningen uitgevoerd. In bijlage 1 zijn het grondwatermodel en de uitgevoerde berekeningen nader toegelicht.

Met behulp van AZURE is voor het plangebied de waterbalans opgesteld. Deze waterbalans is voor de huidige situatie en het voorlopig ontwerp. De uitkomsten van de waterbalans staan weergegeven in tabel 2. Om de gevoeligheid van de uitkomsten te bepalen is voor verschillende weerstandswaarden voor de kleilaag (kleischeuren) de benodigde aanvoer bepaald. Deze

weerstandwaardes liggen een factor 2 en een factor 10 groter en kleiner dan de in het model opgenomen weerstand in de toplaag. Deze analyse is in tabel- a in bijlage 1 opgenomen.

Met het grondwatermodel wordt de wegzijging van water vanuit de moerassen en de nieuwe waterloop naar de ondergrond berekend. Deze wegzijging verloopt deels via de kleischeuren in de bodem, maar deels ook als infiltratie doordat het nieuwe waterpeil hoger ligt dan de grondwaterstanden in de omgeving. De huidige drainage in het gebied wordt ter plaatse van de nieuwe natuur (moerassen en bos) verwijderd. Ten opzichte van de huidige situatie neemt de afvoer door drainage dus af.

Verder heeft de verlegde Wulptocht een iets andere afvoersituatie dan de huidige Wulptocht.

De waterbalans bij het VO bedraagt ongeveer 1.900 m³/d bij de in AZURE opgenomen bodemparameters. Uit de analyse van de bodemweerstand is gebleken dat de maximale waterbalans 2.700 m³/d bedraagt wanneer de bodemweerstand van de klei tien keer zo klein is. Niet alle componenten van de waterbalans leiden ertoe dat er water aangevoerd moet worden naar het plangebied, zoals de kwelstroom naar het moeras en van het watervoerend pakket naar de freatische grondwaterstand. Doordat er minder drainage in het gebied is hoeft er bij het VO (1.735 m³/d) minder water aangevoerd te worden dan in de huidige situatie (1.850 m³/d). In de praktijk hoeft er echter geen water opgepompt te worden in de huidige situatie omdat het waterpeil gelijk is aan de rest van de polder.

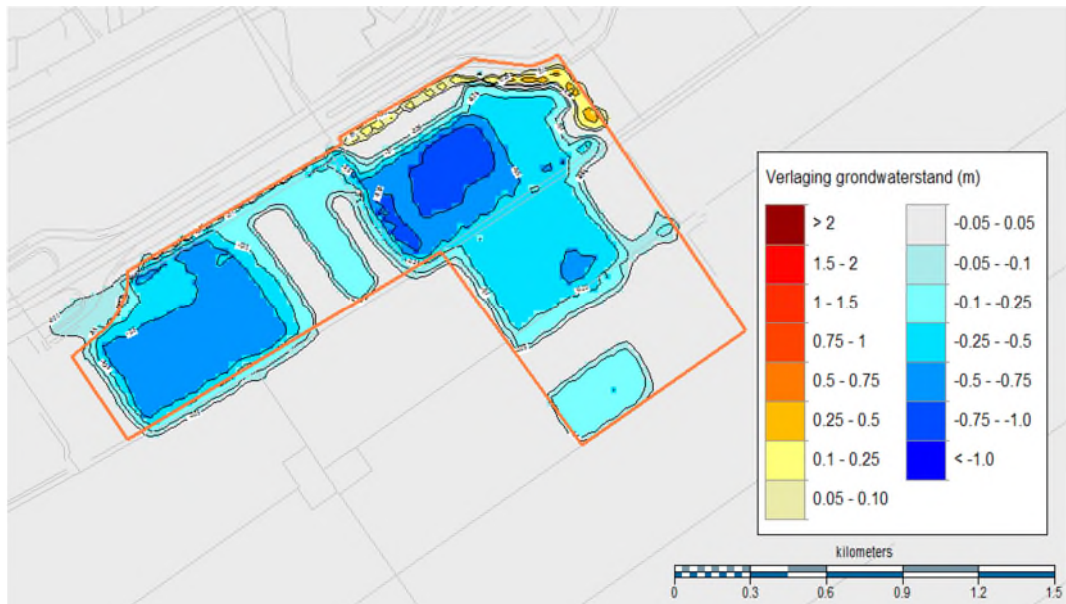
Samen met de aanvoer nodig voor de compensatie van het neerslagtekort komt dit op een totaal van circa 5.000 m³/d of 60 l/s. Deze compensatie is nodig bij de droogste jaren, bij een lage weerstand van de bodem (worstcase) en een vast waterpeil op NAP -5,0 m.

Tabel 2: Waterbalans van het plangebied berekend met AZURE voor de huidige situatie en het voorlopig ontwerp met de onzekerheidsanalyse van de weerstand in de kleilaag.

	Drainage in	Drainage uit	Rivier in	Rivier uit	Runoff	Wulptocht in	Wulptocht uit	Kwel	Totale waterbalans	Totale aanvoer
	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d
huidig	0	-1.480	0	-348	-1	0	-240	102	1.966	1.850
VO	0	-699	266	-848	-12	0	-304	-327	1.925	1.735

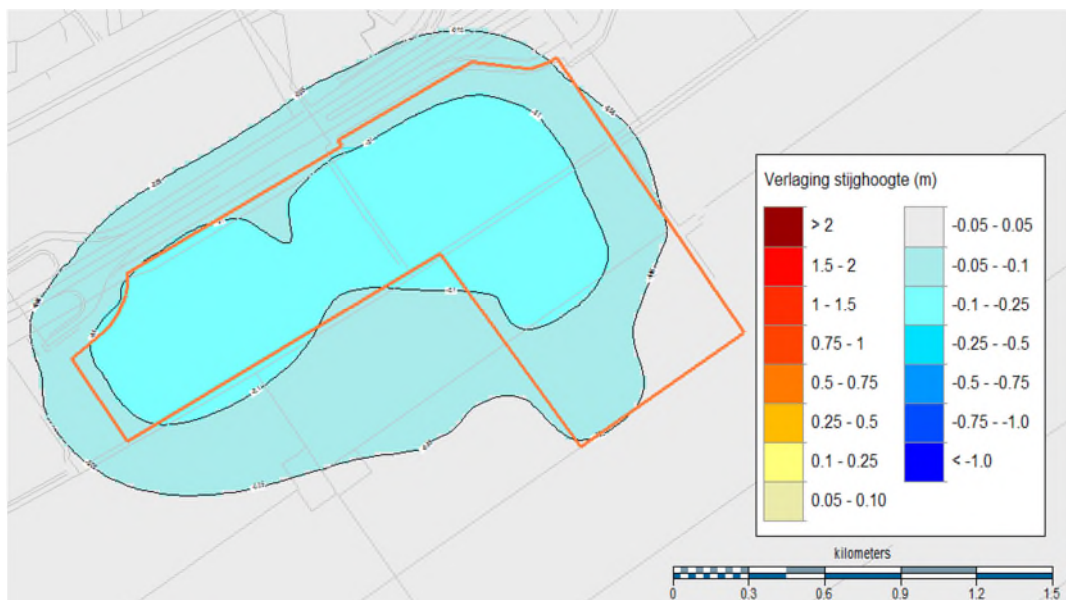
5.3 Effecten op omgeving

Het verschil in de grondwaterstand tussen de huidige situatie en de situatie in het voorlopig ontwerp is bepaald met behulp van AZURE. In het voorlopig ontwerp is daarbij het maaiveld verlaagd en het waterpeil verhoogd. In figuur 5-4 is de doorwerking van de ingrepen van het VO op de freatische grondwaterstanden in de omgeving weergegeven. Te zien is dat het peil buiten het plangebied niet of nauwelijks verandert ten opzichte van de huidige situatie.



Figuur 5-4: Verschil in grondwaterstand tussen de huidige situatie en het VO (blauw: verhoging grondwaterstand)

Ter plaatse van de nieuwe ligging van de Wulptocht treedt een verlaging van de grondwaterstand op. De effecten van deze verlaging zijn alleen lokaal en blijven binnen het plangebied. In figuur 5-5 zijn de veranderingen van de stijghoogte weergegeven. Zichtbaar is dat deze binnen het plangebied met 0,1 tot 0,25 m wordt verhoogd. Buiten het plangebied is nog een beperkte verhoging van de stijghoogte met 0,05 tot 0,1 m te verwachten.

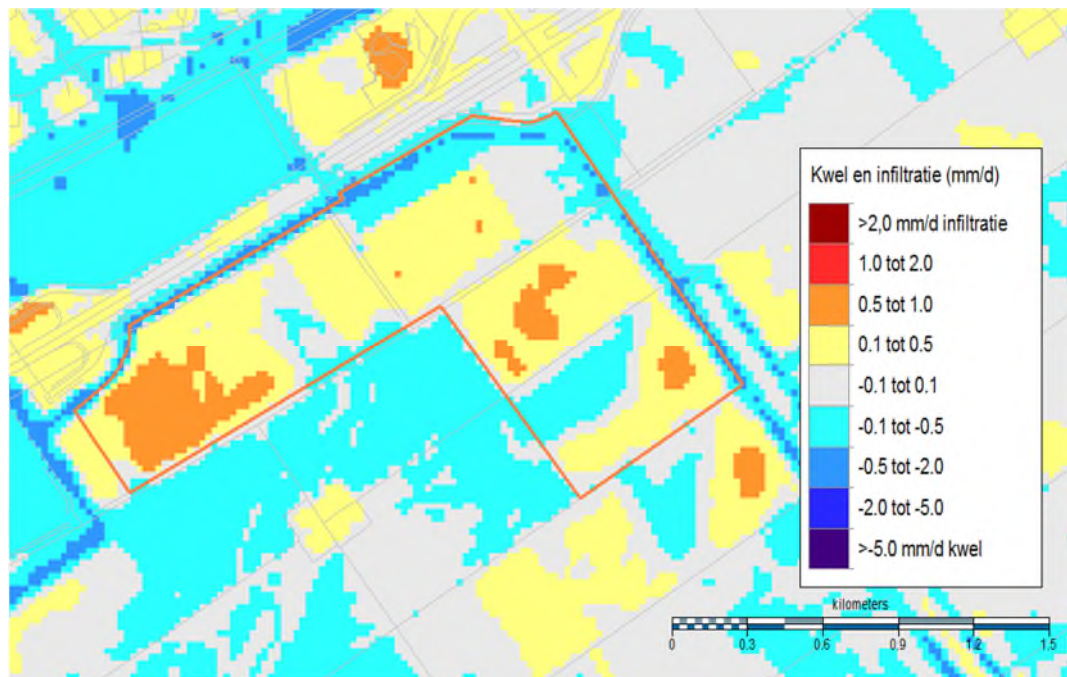


Figuur 5-5: Verschil in stijghoogte tussen de huidige situatie en het VO (blauw: verhoging stijghoogte)

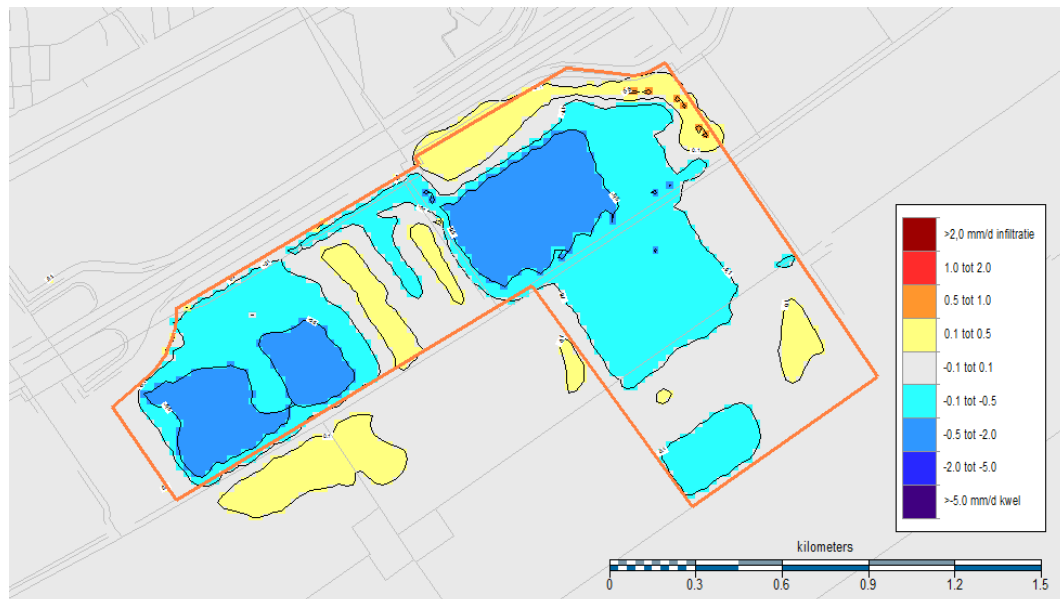
Deze verhoging van de stijghoogte rondom het plangebied werkt niet door in de freatische grondwaterstand, zoals weergegeven in figuur 5-4. De toename in stijghoogte wordt opgevangen door de drains die het water afvoeren.

Verticale kwel en wegzijging

De kwel en wegzijging van de freatische grondwaterstanden naar het onderliggende watervoerende pakket is eveneens bepaald met AZURE. In figuur 5-6 is deze weergegeven. Zichtbaar is dat er vrijwel uitsluitend nog een wegzijging optreedt bij het VO. In figuur 5-7 is het verschil tussen de kwel en wegzijging tussen de huidige situatie en het VO weergegeven. Daarin is te zien dat het grootste gedeelte van het plangebied de kwel afneemt. De toename van kwel in het landbouwgebied wordt opgevangen door de drainage.



Figuur 5-6: Kwel en wegzijging bij het VO



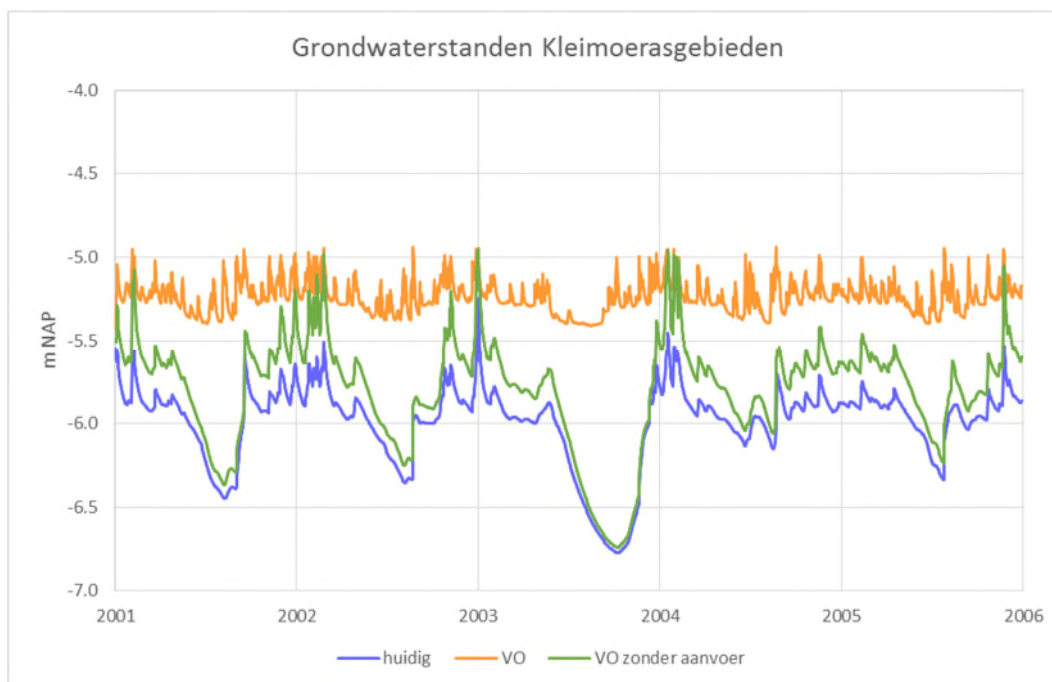
Figuur 5-7: Verschil in kwel tussen de huidige situatie en het VO, met in het blauw een afname van de kwel

5.4 Tijdsafhankelijke berekening

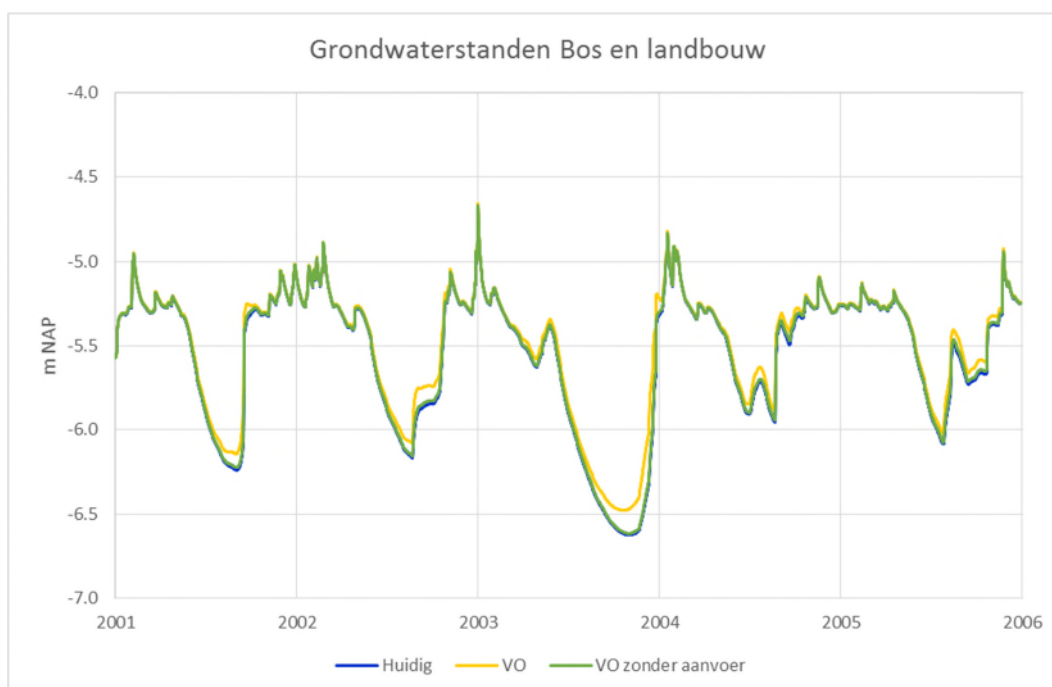
Naast een statische modelberekening is ter indicatie van de variatie in de tijd ook een tijdsafhankelijke modelberekening uitgevoerd. Deze berekening is gedaan voor de periode 2001 tot en met 2005. De berekeningen zijn met stappen van 1 dag uitgevoerd. De afmeting van de gridcellen is 250 bij 250 meter. In bijlage 1 zijn de resultaten gedetailleerd weergegeven.

In figuur 5-8 is het verloop van de grondwaterstand direct onder een kleimoeras weergegeven voor de huidige situatie, het VO met een waterpeil van NAP -5,0 m met aanvoer en zonder aanvoer. Figuur 5-9 geeft deze gegevens voor een bos- en landbouwgebied.

Zichtbaar is dat in de huidige situatie de grondwaterstanden sterk beïnvloed worden door de neerslag en verdamping. In de zomer, en dan vooral in de droge zomer van 2003, zakken de grondwaterstanden tot ruim onder het polderpeil weg. In de winter komen de grondwaterstanden hoger te liggen dan het polderpeil. Bij het VO zakken in de situatie met wateraanvoer de grondwaterstanden in het moeras in de zomer iets weg tot ongeveer NAP -5,3 m. De grondwaterstanden komen hier nauwelijks hoger dan het streefpeil in de waterlopen. In de situatie zonder wateraanvoer zakken de grondwaterstanden duidelijk verder weg, de grondwaterstanden liggen vaak niet meer dan 0,2 m hoger dan in de huidige situatie. Geconcludeerd wordt dat het noodzakelijk is om water aan te voeren wanneer een verhoogd waterpeil gewenst is.



Figuur 5-8: Grondwaterstand in een kleimoeras



Figuur 5-9: Grondwaterstand bij bos / landbouw

In de gebieden met bos en landbouw blijkt de grondwaterstand nauwelijks beïnvloed te worden door de wateraanvoer naar de moerassen. Dit hangt samen met de slecht doorlatende kleigrond, waardoor de relatie tussen oppervlaktewater en grondwater maar in een smalle strook langs de

Notitie hydrologie

Noorderwold-Eemvallei Voorlopig Ontwerp Eerste Fase
projectnummer 0418870.00
6 december 2017 revisie 03
Het Flevo-landschap



watergang aanwezig is. Wanneer in deze gebieden een hogere grondwaterstand gewenst is, zijn aanvullende maatregelen nodig. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het verder verwijderen van drainage.

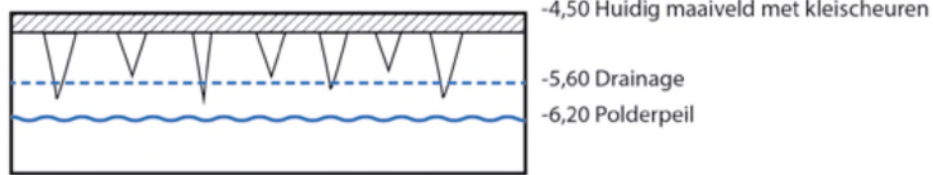
6 Voorstellen voor optimalisatie VO

6.1 Vergelijking varianten ophogen en afgraven

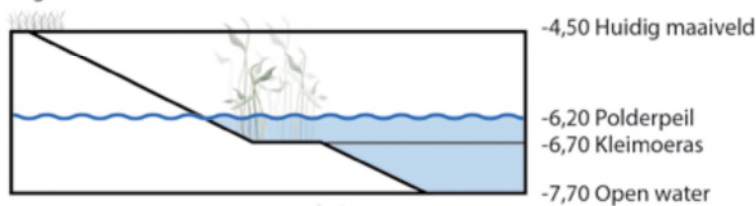
In het Voorlopig Ontwerp zijn drie varianten benoemd (figuur 6-1):

- volledige realisatie moerassen door afgraving
- volledige realisatie moerassen door opzetten
- combinatie afgraven en opzetten voor de moerassen

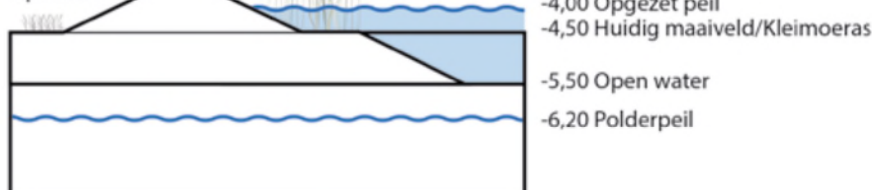
Huidige situatie



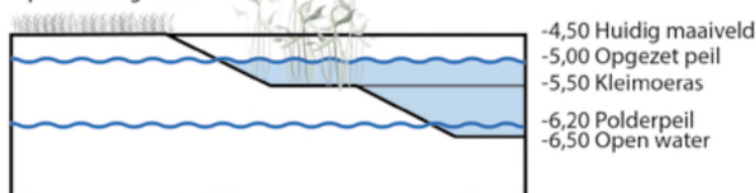
Afgraven



Opzetten



Opzetten/afgraven



Figuur 6-1: Varianten voor de inrichting (bron: Voorlopig Ontwerp, Feddes/Olthof Landschapsarchitecten)

In de voorgaande hoofdstukken is de combinatie afgraven en opzetten met een waterpeil van NAP -5,0 m uitgewerkt. In dit hoofdstuk zijn ook de twee extremen (opzetten en volledig afgraven tot de grondwaterspiegel) doorgerekend met het grondwatermodel AZURE. Uit deze

berekeningen bleek dat het optimum waarschijnlijk dichterbij de combinatie van afgraven en opzetten ligt, met wellicht een iets lager waterpeil dan NAP -5,0 m. Aanvullend zijn daarom ook de waterpeilen NAP -5,4 m en -5,8 m doorgerekend.

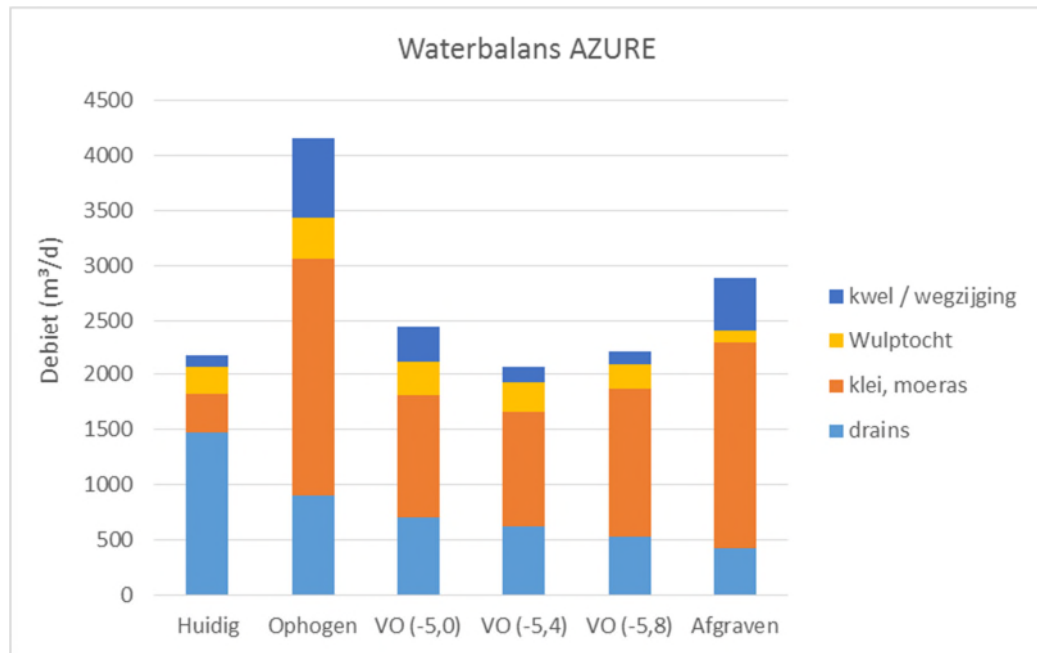
Watergebruik

Het watergebruik bij alle varianten is weergegeven in figuur 6-2. In de huidige situatie is vooral de afvoer door drainage (lichtblauw) relatief groot. Door de kleischeuren (oranje) wordt een klein debiet horizontaal afgevoerd, evenals door de Wulptocht (geel). De horizontale stroming vanuit het plangebied wordt gevormd door de afvoer via drainage, kleischeuren en de Wulptocht (oranje, blauw en geel), de verticale stroming wordt gevormd door de hoeveelheid water die van het kleimoeras (oranje) en de bodem (donkerblauw) naar het watervoerend pakket (oranje) stroomt.

Bij de variant met uitsluitend ophogen van het waterpeil neemt de stroming vanuit het opgezette waterpeil in de moerassen en aanvoerwaterloop (oranje) naar de ondergrond toe. De afvoer door drainage neemt bij alle inrichtingsvarianten af, omdat de totale oppervlakte aan drainage in het plangebied sterk beperkt wordt ten opzichte van de huidige situatie. Het totale watergebruik is bij de ophoogvariant relatief groot, ongeveer 4.200 m³/dag.

Bij het VO met waterpeil NAP -5,0 m en de lagere peilen is het watergebruik veel beperkter, tussen 2.000 m³/dag en 2.500 m³/dag. Bij de varianten met een hoger peil dan het polderpeil moet dit water worden aangevoerd met een gemaal. Geconstateerd wordt dat bij een peil van circa NAP -5,4 m het watergebruik het kleinste is en lager dan het watergebruik in de huidige situatie. Voor deze variant is een principe dwarsdoorsnede uitgewerkt, deze is opgenomen in bijlage 4. De wegzijging vanuit de moerassen en via de kleischeuren (oranje) is iets kleiner dan bij de andere varianten. De verschillen zijn echter gering, minder dan 10%.

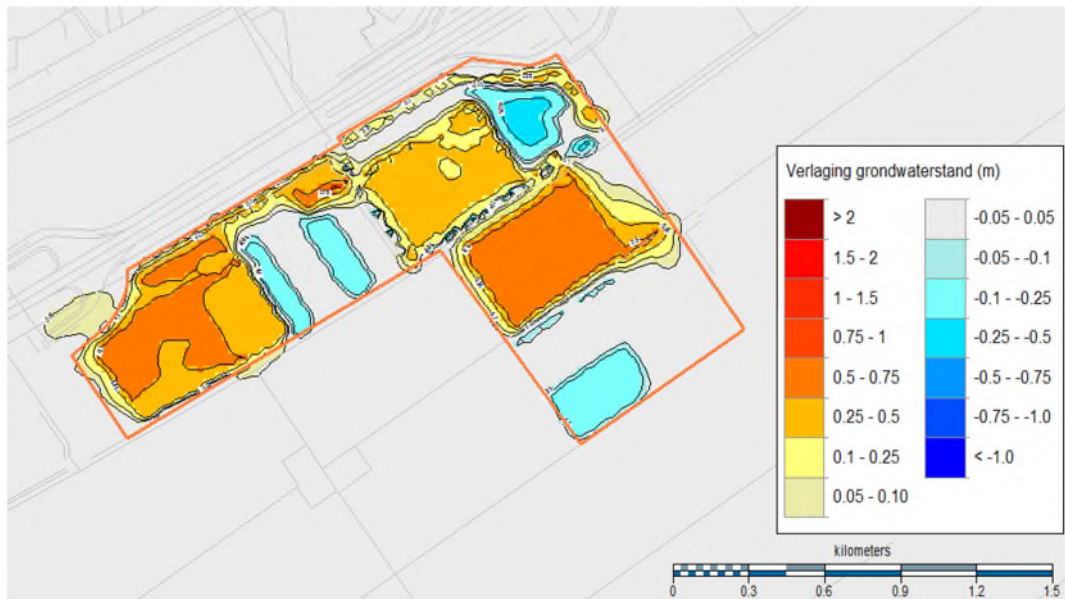
Bij de variant op polderpeil waarbij volledig wordt ingezet op afgraven hoeft het water niet specifiek te worden opgepompt. Wel is het watergebruik groter, bijna 3.000 m³/dag. Dit betreft vooral grondwater dat afstroomt naar het oppervlaktewater: in de huidige situatie liggen de grondwaterstanden hoger dan het polderpeil. De aanleg van extra oppervlaktewater leidt daardoor tot een extra afvoer van grondwater.



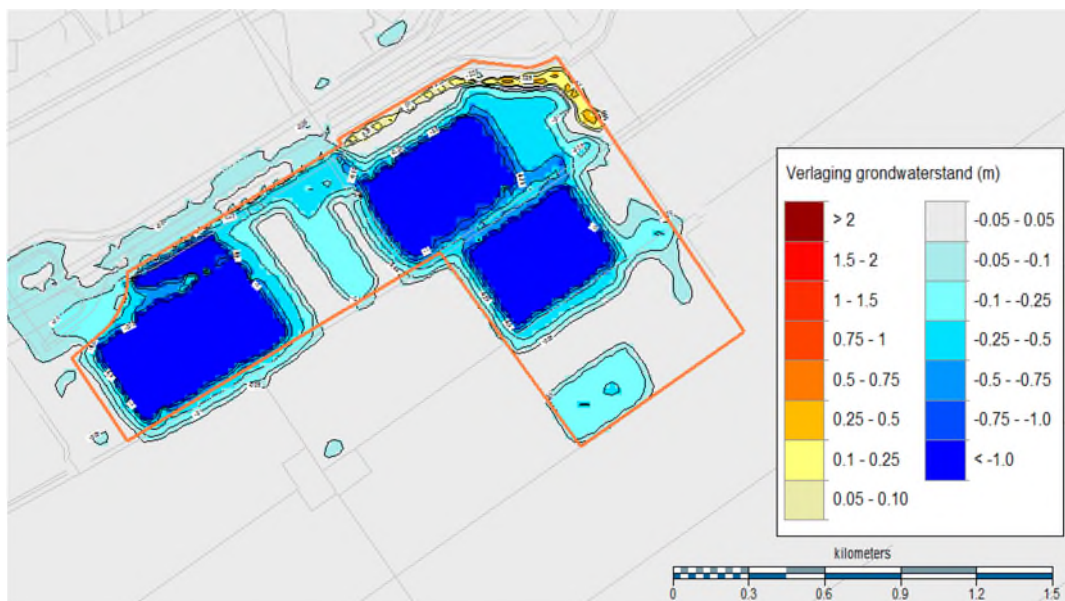
Figuur 6-2: Waterbalans bij varianten voor realisatie, met bij het VO de afgravingsdieptes in m NAP

Gevolgen omgeving

Ook de gevolgen voor de grondwaterstanden zijn berekend met AZURE. In de onderstaande figuren zijn de veranderingen voor volledig afgraven en volledig ophogen ten opzichte van de huidige situatie weergegeven. Uit de veranderingen van de grondwaterstand bij volledig afgraven blijkt eveneens dat deze variant bij het nieuwe oppervlaktewater een sterke drainerende werking heeft op de grondwaterstand. Omgekeerd treedt bij het volledig ophogen een sterke vernatting op. Buiten het plangebied zijn de gevolgen echter beperkt, lokaal tot 5 à 10 cm.



Figuur 6-3: Verschil huidige situatie en situatie bij volledig afgraven



Figuur 6-4: Verschil huidige situatie en situatie bij volledig ophogen

De veranderingen van de grondwaterstand en de stijghoogte van de combinatie van opzetten en afgraven (waterpeil -5,0 m) zijn al opgenomen in het voorgaande hoofdstuk. Bij een keuze voor een voorkeurswaterpeil in het Definitieve Ontwerp, kunnen de veranderingen in de omgeving verder bepaald worden.

Opbarstrisico

Bij de variant met volledig afgraven bestaat het risico dat de bodem dermate diep wordt ontgraven dat de onderliggende kleilaag op gaat barsten. Hierdoor trekt het plangebied

ongewenst veel kwel aan. Bij keuze voor dit alternatief wordt aanbevolen om de dikte van de kleilaag in de te ontgraven delen en daarmee het opbarstrisico goed in beeld te brengen.

6.2 Eventuele maatregelen ter optimalisatie

Wateriaanvoer

Uit de toetsing van de haalbaarheid komt voort dat bij een worst case-scenario (bij waterpeil NAP -5,0 m) voor de combinatie afgraven en peil opzetten een hoeveelheid van 60 l/s moet worden aangeleverd om het water binnen het plangebied op peil te houden. Dit omvat zowel de compensatie van water dat in de bodem wegzakt en naar de omgeving wordt afgevoerd als de compensatie voor verdamping. Wanneer het waterpeil in de zomer mag wegzakken (flexibel peilbeheer met een boven- en ondergrens), kan met een kleinere compensatie voor verdamping worden volstaan. Geadviseerd wordt dit nader te beschouwen in de DO-fase.

Wanneer dit ontwerp wordt uitgevoerd adviseren wij om uitgebreid te monitoren. Aanbevolen wordt om hierbij meetreeksen te maken van de hoeveelheid water dat het gebied instroomt en van de waterstanden binnen het gebied.

Wanneer blijkt dat er meer watergebruik is dan verwacht, door de aanwezigheid van (grote) kleischeuren zijn een aantal optimalisatieopties mogelijk:

- het laagsgewijs verdichten van de bodem (circa 30 cm per laag) rondom de moerassen middels een speciale wals, een schaapspootwals, die bij de aanleg van waterkeringen veel wordt gebruikt; Deze maatregel adviseren wij sowieso toe te passen rondom de gebieden waar het peil wordt opgezet om "lekkage" via kleischeuren te voorkomen.
- het aanbrengen van bentoniet rondom de kleimoerassen om deze af te dichten;
- het aanbrengen van een damwand tot de grondwaterstanddiepte (diepte kleischeuren) rondom de kleimoerassen om deze af te dichten.

Om de wateraanvoer te beperken kan gekozen worden voor een meer variabel peil, waarbij dit peil kan zakken tijdens droge periodes. De verwachting is echter dat wanneer het (grond)waterpeil in de moersaszone meer dan 0,5 m zakt het risico bestaat dat er opnieuw kleisneurvorming op zal treden, waardoor het water sneller afgevoerd wordt en meer water aangevoerd moet worden.

Een hoger peil dan NAP -5,0 m wordt niet aangeraden omdat er dan meer water naar de omgeving wegstroomt, er meer uitstraling naar de omgeving ontstaat en meer water aangevoerd moet worden.

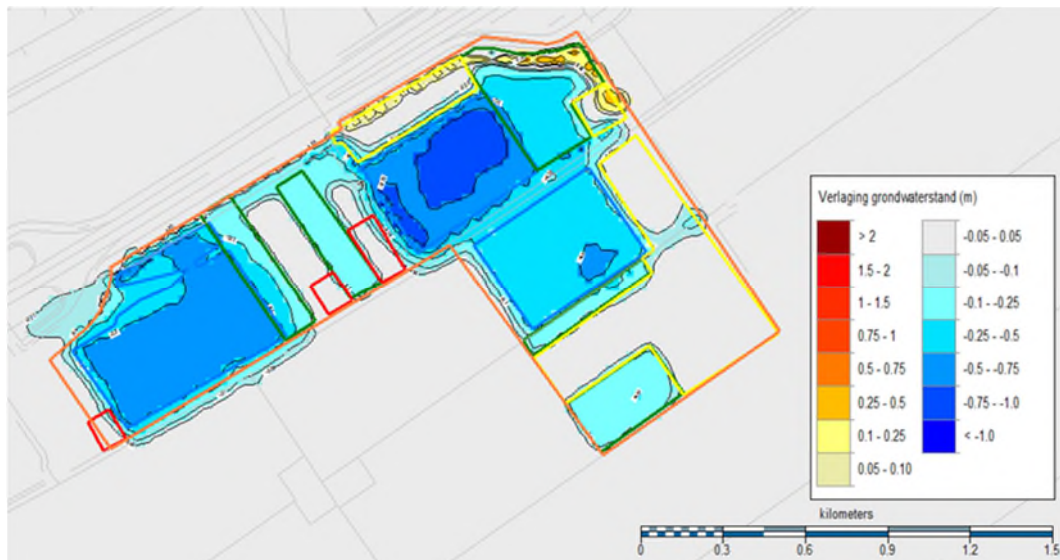
Ontwateringsdiepte bij bos / landbouw

Uit de tijdsafhankelijke berekening is gebleken dat de grondwaterstanden bij bos en landbouw sterk overeenkomen met de huidige grondwaterstanden. Wanneer een hogere grondwaterstand gewenst is, bijvoorbeeld om vochtige bossen te verkrijgen, kan overwogen worden om de huidige drainage (deels) te verwijderen in deze percelen.

Uitstraling naar de omgeving

Geconstateerd wordt dat de uitstraling naar de omgeving beperkt is. Een verdere optimalisatie hiervan kan worden bereikt door de afstand van de kleimoerassen tot de rand van het plangebied iets te vergroten, waardoor effecten in het plangebied zelf blijven. Het aanhouden

van deze afstand geldt ook voor de afstand tussen het kleimoeras en de nieuw aan te leggen biologische landbouwgebieden. In figuur 6-5 is het verschil in grondwaterstand tussen de huidige situatie en het VO weergegeven met de verschillende gebieden. Duidelijk te zien is dat de grenzen tussen de gebieden met een verlaagd of verhoogd peil en gebieden met een stationair peil scherp zijn, en er dus weinig uitstraling is. Daarbij komt dat in het ontwerp vaak bosgebied tussen het moeras en de landbouwgebieden is gepland. Aangeraden wordt om voor de overgangszones om landbouwgebieden tussen de 25 en 50 m aan te houden afhankelijk van de grens van landbouw met bos of het kleimoeras. Bij het voorliggende ontwerp neemt de freatische grondwaterstand met maximaal 10 cm toe over een afstand van maximaal 150 m vanaf de rand van het plangebied.



Figuur 6-5: Verschil in grondwaterstand tussen de huidige situatie en het voorlopig ontwerp. Blauw betekend een verhoging van de waterstand. De gebieden zijn als volgt verdeeld: blauw: kleimoerassen; groen: bos; geel: landbouw; rood: roodruimte; oranje: plangebied

Grondverzet

Uit de indicatieve kostenraming blijkt dat het grondverzet een belangrijke kostenpost is. Het grondverzet kan worden beperkt door voor een andere verhouding tussen opzetten en afgraven te kiezen.

6.3 Effecten geoptimaliseerd VO

Optimalisatie

De effecten op de omgeving zijn in paragraaf 5.3 bepaald voor de inrichting met deels gegraven en deels opgehoogd gebied en een waterpeil op NAP -5,0 m. In paragraaf 6.1 is geconcludeerd dat het watersysteem beter functioneert bij een waterpeil van NAP -5,4 m. Doordat er minder waterdruk is, stroomt er minder water weg en hoeft er dus ook minder water aangevoerd te worden.

Verder is er in het overleg op 14 november 2017 met Flevolandschap, ERF B.V. en waterschap Zuiderzeeland geconcludeerd dat door het handhaven van de drainage in het gebied teveel water

wordt gedraineerd. Door een deel van de aanwezige drainage te handhaven, ontstaat een versnipperd watersysteem. Wanneer geen drainage in het gebied wordt toegepast, ontstaat een robuuster watersysteem. Dit betekent echter wel dat de drooglegging / ontwateringsdiepte van de landbouwdelen binnen het plangebied afneemt. Alleen in het landbouwdeel ten zuiden van de Ibisweg blijft de drainage voor landbouw gehandhaafd, zoals is weergegeven in figuur 6-6. Dit heeft een beperkt effect op de drainerende werking van het systeem omdat dit deel min of meer buiten het gebied met het verhoogde waterpeil ligt en slechts over een afstand van ongeveer 50 m direct aansluit op het kleimoeras.



Figuur 6-6: Gebieden waar drainage gewenst is/blijft (rode vlakken)

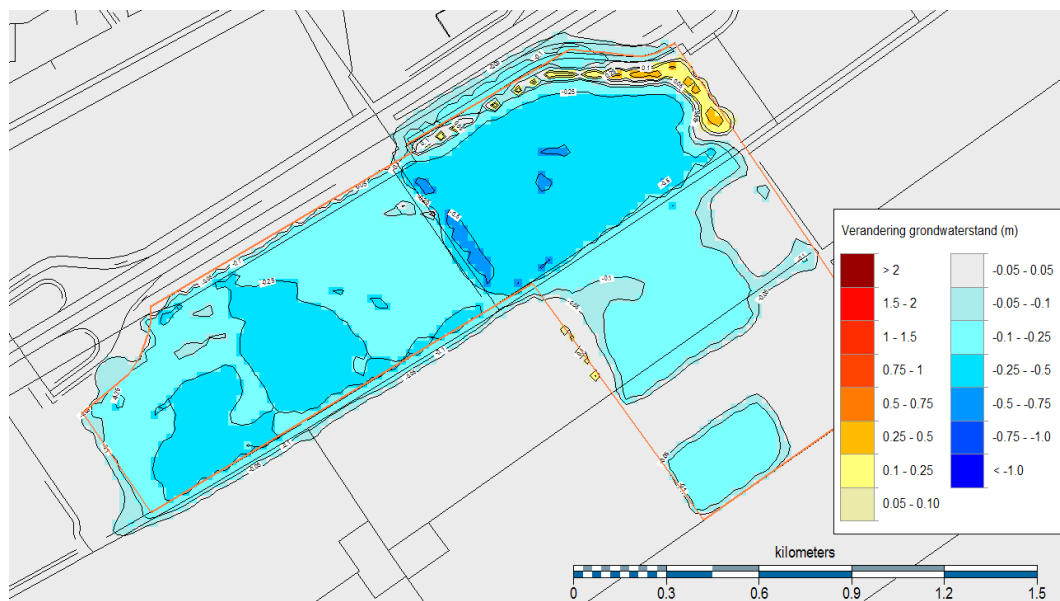
Verder kan het effect op de omgeving, een verhoging van de freatische grondwaterstand, nog beperkt worden door de overgangszone tussen het kleimoeras en de rand van het plangebied te vergroten. In de modellering is daarom 25 m aan de zuidzijde van het meest westelijk gelegen kleimoeras afgehaald.

6.3.1 Effecten op grondwaterstand

Het verschil in de grondwaterstand tussen de huidige situatie en de situatie in het geoptimaliseerde voorlopig ontwerp is bepaald met behulp van AZURE. In het voorlopig ontwerp is daarbij het maaiveld verlaagd ter plaatse van de kleimoerassen en verhoogd ter plaatse van de landbouwgrond. Ook is het waterpeil verhoogd in het gebied naar NAP -5,4 m. In figuur 6-7 is de doorwerking van de ingrepen van het VO op de freatische grondwaterstanden in het plangebied en de omgeving weergegeven. Te zien is dat het peil buiten het plangebied niet of nauwelijks verandert ten opzichte van de huidige situatie. Er is echter langs de zuidzijde van het plangebied langs de Ibisweg nog een maximale verhoging van 0,1 m berekend, ondanks de versmalling van het moeras.

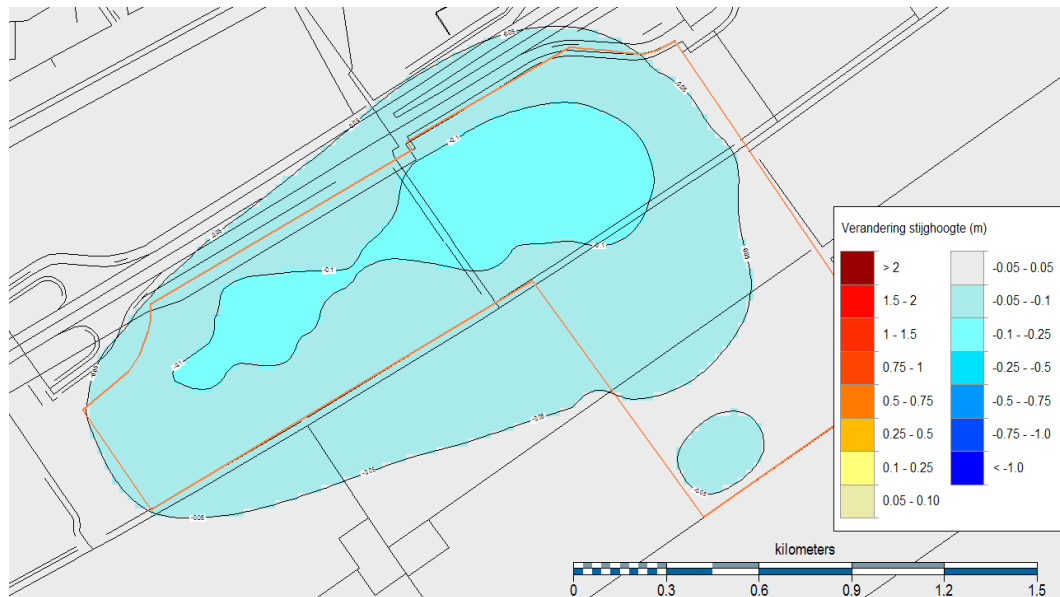
Ter plaatse van de oude ligging van de Wulptocht treedt een verhoging van de grondwaterstand op en ter plaatse van de nieuwe ligging van de Wulptocht treedt een verlaging van de grondwaterstand op. De effecten van de verlaging zijn alleen lokaal en blijven binnen het plangebied.

Door het verwijderen van de drainage in het overgrote deel van het plangebied treedt er bij het geoptimaliseerde ontwerp in het hele deel van het plangebied noordelijk van de Ibisweg meer dan 0,1 m verhoging van de grondwaterstand op. Op de locaties waar bij de eerdere berekening geen verhoging optrad, is nu ook een verhoging van de grondwaterstand. Ter plaatse van de kleimoerassen is dit tussen 0,25 m en 0,75 m. Doordat het peil in de kleimoerassen minder hoog is dan bij het VO, is de verhoging van de grondwaterstand geringer.



Figuur 6-7: Verschil in grondwaterstand tussen de huidige situatie en het VO bij waterpeil NAP -5,4 m (blauw: verhoging grondwaterstand)

In figuur 6-8 zijn de veranderingen van de stijghoogte in het watervoerende pakket weergegeven. Zichtbaar is dat deze binnen het plangebied met 0,1 tot 0,25 m wordt verhoogd. Buiten het plangebied is nog een beperkte verhoging van de stijghoogte met 0,05 tot 0,1 m te verwachten.



Figuur 6-8: Verschil in stijghoogte tussen de huidige situatie en het VO (blauw: verhoging stijghoogte)

Deze verhoging van de stijghoogte rondom het plangebied werkt niet door in de freatische grondwaterstand, zoals weergegeven in figuur 6-7. De toename van de stijghoogte leidt namelijk niet tot een verhoging van de freatische grondwaterstand (dit is de grondwaterstand die in het veld wordt waargenomen). Dit komt doordat de toename in stijghoogte wordt opgevangen door de drains en de watergangen in de directe omgeving die het water afvoeren naar de Wulptocht.

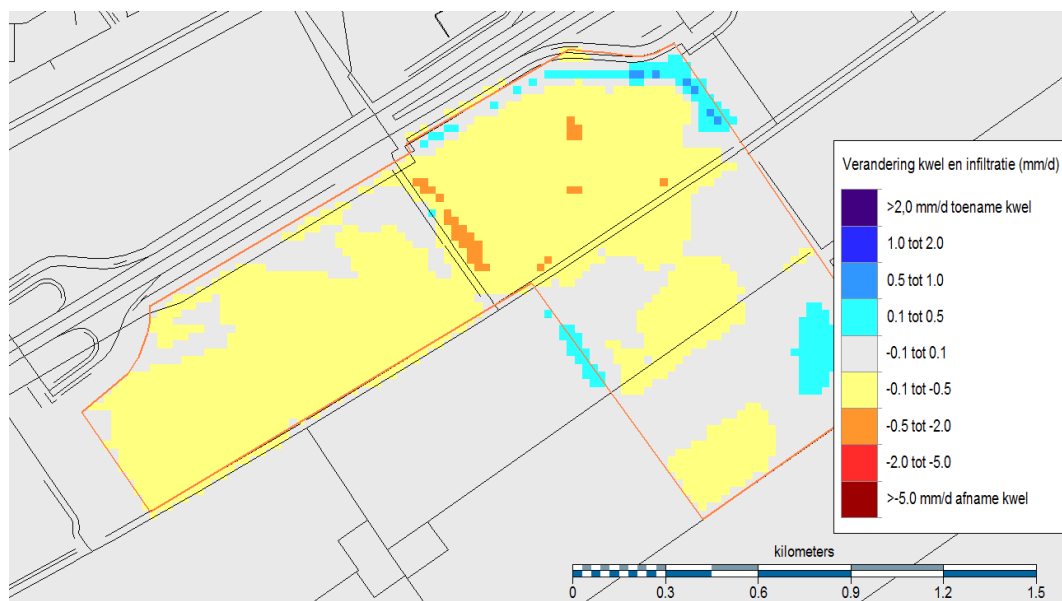
Verticale kwel en wegzijging

De kwel en wegzijging van de freatische grondwaterstanden naar het onderliggende watervoerende pakket is eveneens bepaald met AZURE. In figuur 6-9 is deze weergegeven. Zichtbaar is dat er vrijwel uitsluitend nog wegzijging optreedt bij het geoptimaliseerde VO. Alleen ter plaatse van de landbouw ten zuiden van de Ibisweg treedt er kwel op omdat de situatie hier nauwelijks gewijzigd is ten opzichte van de huidige situatie.

In figuur 6-10 is het verschil tussen de kwel en wegzijging tussen de huidige situatie en het VO weergegeven. Daarin is te zien dat het grootste gedeelte van het plangebied de kwel afneemt. De toename van kwel in een klein strookje van het landbouwgebied buiten de plangrenzen wordt opgevangen door de drainage en de nieuwe noord-zuid watergang die de oost-west liggende watergangen die gedempt worden vervangt.



Figuur 6-9: Kwel en wegzijging bij het geoptimaliseerde VO



Figuur 6-10: Verschil in kwel tussen de huidige situatie en het geoptimaliseerde VO, met in het blauw een afname van de kwel en in geel een toename van de infiltratie

Drooglegging landbouw

In het geoptimaliseerde VO is de drainage in het gehele landbouwgebied behalve in het gebied ten zuiden van de Ibisweg verwijderd (figuur 6-6). Hierdoor neemt de grondwaterstand op deze percelen meer toe dan bij het oorspronkelijke VO met waterpeil op NAP -5,0 m en handhaving van de drainage. Op de percelen met biologische landbouw is de nieuwe grondwaterstand tussen NAP -5,2 m en NAP -5,8 m. Het maaiveld ligt in de huidige situatie op deze percelen tussen de NAP -4,0 m en NAP -5,0 m. De ontwateringsdiepte is op de betreffende percelen overal ongeveer

0,7 m á 0,8 m. Dit betekent dat geen of slechts een geringe ophoging van het maaiveld met een decimeter nodig is om de gewenste ontwateringsdiepte te bereiken.

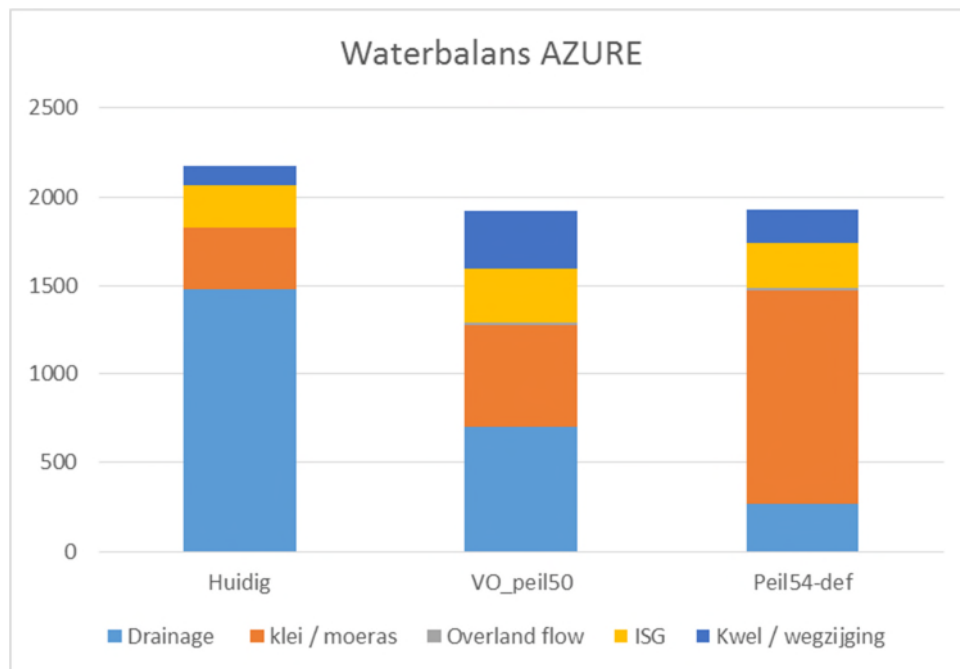
Voor de experimentele landbouwgebieden geldt dat de grondwaterstanden tussen NAP -5,2 m en NAP -5,6 m worden. Hier neemt de ontwateringsdiepte af tot enkele decimeters, waardoor een verdere ophoging van het maaiveld gewenst zal zijn.

6.3.2 Waterbalans AZURE

Voor het optimaliseerde voorontwerp is de waterbalans met AZURE bepaald om te bepalen hoeveel water er via de bodem wegstroomt en dus door middel van het gemaal ingelaten moet worden. In figuur 6-11 is het watergebruik in de huidige situatie vergeleken met het VO met waterpeil op NAP -5,0 m en het geoptimaliseerde VO met waterpeil op NAP -5,4 m en verwijderde drainage. Het watergebruik van de twee VO-varianten is gelijk. Bij het geoptimaliseerde VO heeft bijna geen afvoer door drainage meer, maar een grotere bijdrage aan water dat naar het moeras en door kleischeuren wegstroomt.

De waterbalans bij het geoptimaliseerde VO bedraagt ongeveer 1.950 m³/d bij de in AZURE opgenomen bodemparameters. Niet alle componenten van de waterbalans leiden ertoe dat er water aangevoerd moet worden naar het plangebied, zoals de kwelstroom naar het moeras en van het watervoerend pakket naar de freatische grondwaterstand. Doordat er geen drainage in het gebied met hoger waterpeil is, hoeft er bij het geoptimaliseerde VO minder dan 600 m³/d aangevoerd te worden, zoals is weergegeven in tabel 3.

Samen met de aanvoer nodig voor de compensatie van het neerslagtekort komt dit op een totaal van circa 4.000 m³/d of 50 l/s. Deze compensatie is nodig bij de droogste jaren, bij een lage weerstand van de bodem (worstcase) en een vast waterpeil op NAP -5,4 m.



Figuur 6-11: Waterbalans bij varianten voor realisatie, met bij het VO de afgravingsdieptes in m NAP

Tabel 3: Waterbalans van het plangebied berekend met AZURE voor de huidige situatie en het voorlopig ontwerp met de onzekerheidsanalyse van de weerstand in de kleilaag.

	Drainage in	Drainage uit	Rivier in	Rivier uit	Runoff	Wulptocht in	Wulptocht uit	Kwel	Totale waterbalans	Totale aanvoer
	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d	m ³ /d
huidig	0	-1.480	0	-348	-1	0	-240	102	1.966	1.850
VO (-5,0)	0	-699	266	-848	-12	0	-304	-327	1.925	1.735
VO (-5,4)	0	-266	31	-1.240	-10	0	-256	-187	1.928	570

6.4 Raming VO op basis van kentallen

Een ruwe raming op basis van kentallen voor de directe bouwkosten is opgenomen in bijlage 3.

7 Conclusies en advies voor vervolg

7.1 Conclusies

In het voorliggende rapport zijn de onderzoeksvragen beantwoord.

Het voorlopig ontwerp is technisch haalbaar. Bij een lage weerstand (veel kleischeuren) en een hoge verdampingshoeveelheid is circa 60 l/s aan aanvoer richting het plangebied nodig om te zorgen dat het water in de kleimoerassen op peil blijft (worstcase).

Bij een iets lager waterpeil dan het VO (NAP -5,4 m in plaats van -5,0 m) is de behoefte aan wateraanvoer uitgaande van hoge verdampingshoeveelheid lager, namelijk circa 50 l/s. Om de haalbaarheid van het plan te toetsen is in de bepaling van de benodigde pompcapaciteit als uitgangspunt gehanteerd dat het gebied op peil blijft. Om het oppervlaktewater in de moeraszones op een vast peil (NAP -5,0 m of NAP -5,4 m) te houden is in een droge periode vrijwel continue aanvoer van water noodzakelijk.

Aangezien het gewenst en toegestaan is om het waterpeil in de zomer uit te laten zakken, kan worden volstaan met een geringere pompcapaciteit. Hierbij is het wel gewenst de ondergrens van het waterpeil maximaal op circa 0,5 m beneden het ontwerppeil te houden om nieuwe kleischeurvorming te voorkomen. Dit om kleischeuring te voorkomen, dat een snellere afvoer van het water tot gevolg heeft.

Door de kleibodem is de invloed van de moerassen op de omgeving van het plangebied beperkt. Met een bufferzone (overgangszone) rondom de moerassen zijn effecten vrijwel volledig uit te sluiten. Alleen lokaal, langs de rand van het plangebied, neemt de grondwaterstand met maximaal 10 cm toe en er vindt een toename van de afvoer van kwel via de drainage plaats op de omliggende percelen.

7.2 Aanbevelingen

Wij adviseren verder om rondom de moerassen de kleibodem laagsgewijs (30 cm per laag) te verdichten met een schapenpootwals, zoals ook bij de aanleg van waterkeringen wordt toegepast. Hiermee wordt een goed verdichte bodem bereikt, die langdurig vrijwel waterdicht is.

Op basis van de beschikbare gegevens wordt geen opbarsting van de bodem of sterke verticale wegzijging door zandbanen of de huidige bodem verwacht bij het Voorlopig Ontwerp. Met de op dit moment beschikbare gegevens zijn geen zandbanen in het gebied aangetroffen echter is dit niet uit te sluiten zonder nader onderzoek.

Wanneer toch gekozen wordt voor de aanleg van het ontwerp bij een waterpeil gelijk aan het huidige polderpeil van NAP -6,2 m in de moeraszones in combinatie met volledig afgraven, wordt aanbevolen om de dikte van de kleilaag goed in beeld te brengen, zodat het opbarsten van de kleibodem wordt voorkomen.

De uitgevoerde studie betreft uitsluitend waterkwantiteitsaspecten. Aanbevolen wordt om in een vervolgfase ook nader naar de waterkwaliteit te kijken. Dit betreft bijvoorbeeld de wens om

de bouwvoor te verwijderen in verband met nutriënten en eventuele andere waterkwaliteitsparameters nader te beschouwen.

Voorafgaande aan de verwerking van de grond is mogelijk milieuhygiënisch bodemonderzoek nodig om te kunnen beoordelen of de grond eventueel mag worden afgevoerd. Daarnaast is civieltechnisch onderzoek nodig om te kunnen bepalen of de grond voor andere toepassingen geschikt is.

Om een beter beeld te krijgen van de huidige grondwaterstanden in het gebied en de effecten van de plannen op de omgeving is het gewenst om zo spoedig mogelijk een grondwatermeetnet op te zetten. Bij voorkeur wordt ten minste één heel hydrologisch jaar de grondwaterstand gemeten (van april tot april). Hierbij kan aangesloten worden op het meetnet van waterschap Zuiderzeeland. Behalve filters in het ondiepe grondwater is aanbevolen ook een gecombineerd diep en ondiep filter te plaatsen. Dit kan door een proef uit te voeren en de ondiepe peilbuis aan te vullen met water en de reactie van het diepe filter te meten. Hiermee kan inzicht verkregen worden in de weerstand van de kleilaag.

Op basis van lokale grondwaterstandsmetingen en proeven en eventueel aanvullend bodemonderzoek kan het grondwatermodel AZURE lokaal verfijnd en geijkt worden om nauwkeuriger de effecten te berekenen.

In de voorliggende studie is de haalbaarheid van het plan getoetst bij een stationaire (gemiddelde) situatie. Daarnaast is een beperkt beeld gegeven van de tijdsafhankelijke situatie. In de vervolgfase is het gewenst om een gedetailleerder inzicht in de werking van het watersysteem door het jaar heen te krijgen. Dit betreft een meer gedetailleerde tijdsafhankelijke berekening in AZURE. Ook is er nader onderzoek nodig om de werking te bepalen van het watersysteem met een verhoogd peil met de mogelijkheid om bij droogte uit te zakken. Hierbij moet bepaald worden wanneer en hoe lang het gemaal ingezet moet worden om een bepaald peilverloop te bereiken. Tenslotte is het wenselijk om hierbij een ondergrens van het waterpeil vast te stellen.

Door de peilverhoging binnen het plangebied droogt de bodem hier niet verder uit, waardoor lokaal de bodemdaling beperkt wordt. In de omgeving droogt de bodem wel uit en wordt het peil met de bodemdaling bijgesteld. Hierdoor kan er op de lange termijn een ongewenst verschil in maaiveld ontstaan. Het risico hierbij is dat de wegzijging naar de omgeving groter wordt dan in de huidige situatie en er ongewenste effecten ontstaan. Mogelijk kan dit beperkt worden door het waterpeil in het kleimoeras mee te laten zakken. Nader onderzoek is gewenst om het verschil in maaiveldaling te bepalen.

In de voorliggende studie is op hoofdlijnen rekening gehouden met de toekomstige inrichting van het watersysteem buiten het plangebied. In de vervolgfase moet dit nader uitgewerkt worden, zodat er geen doodlopende watergangen ontstaan, zoals de watergang aan de westzijde langs de Ibisweg.

Bijlage 1 Toets Azure-model

Bijlage 1 Toets Azure-model

Voor de grondwaterberekeningen is gebruik gemaakt van het regionale model Azure, versie 1.03. Door het waterschap Zuiderzeeland is toegang verleend tot het Modellen Platform, zodat de data bewerkt kan worden en berekeningen kunnen worden uitgevoerd.

Voorafgaande aan de werkzaamheden met het grondwatermodel is het rapport Aanbevelingen Azure – Regio Flevoland (Acacia Water, definitief rapport 23 juni 2014) gelezen. Dit rapport bevat aanbevelingen voor de aanpassing van het Azure 1.0 model voor de regio Flevoland.

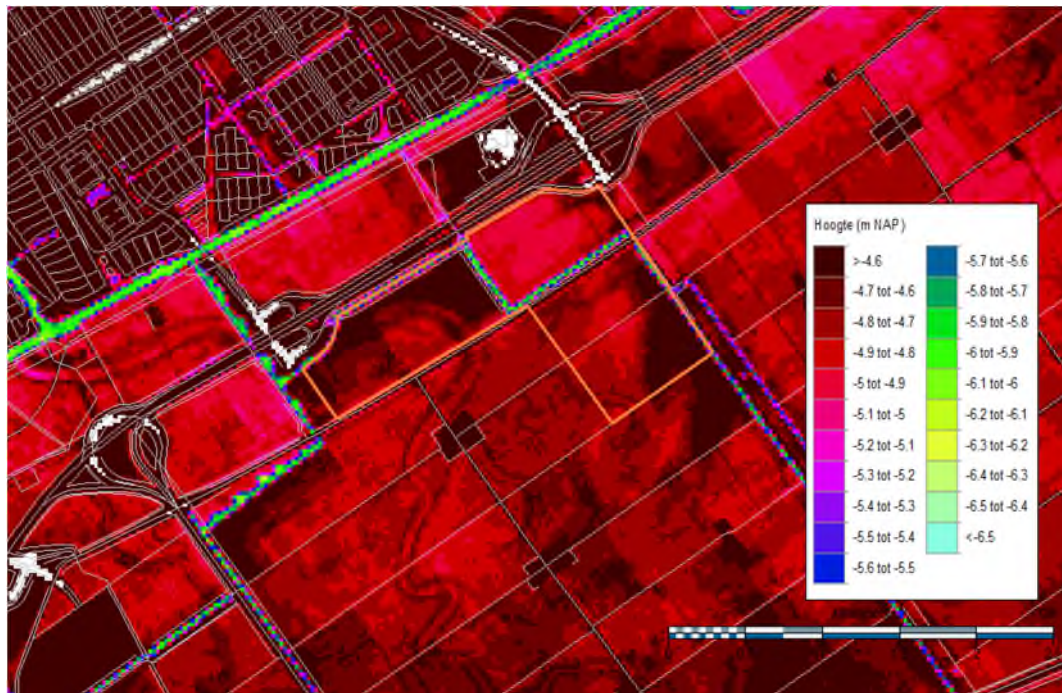
Kwel

Bij versie 1.0 werd in de Lage Afdeling, waar het plangebied ligt, een kwel berekend die ongeveer 25% lager ligt dan uit de afpompings van de gemalen blijkt. Om dit te verbeteren, is gesuggereerd om de weerstand van het IJsselmeer te verminderen. De toegepaste aanpassing heeft echter weinig effect gehad.

Omdat in dit project de te verwachten wegzijging een belangrijk onderdeel van de waterbalans is, geeft een te kleine kwel eerder een overschatting van de wegzijging dan een onderschatting. Het model is dus aan de veilige kant.

Huidige situatie

In figuur- a en figuur- r is de hoogtekarte weergegeven welke is gebruikt in het model. Hierin is ten zuiden van het plangebied de oude loop van de Eem te zien (pleistoceen).

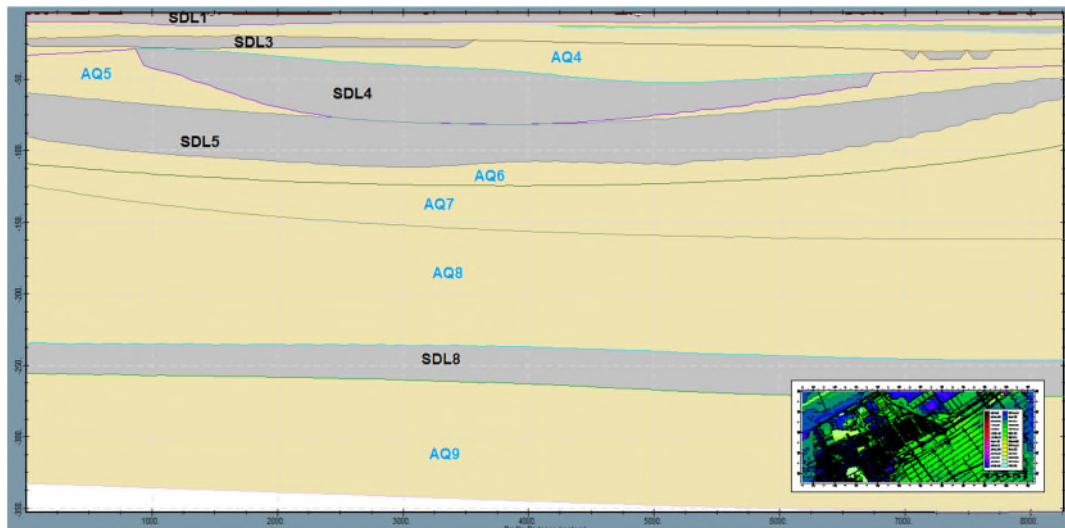


Figuur- a: AHN gebruikt in AZURE.

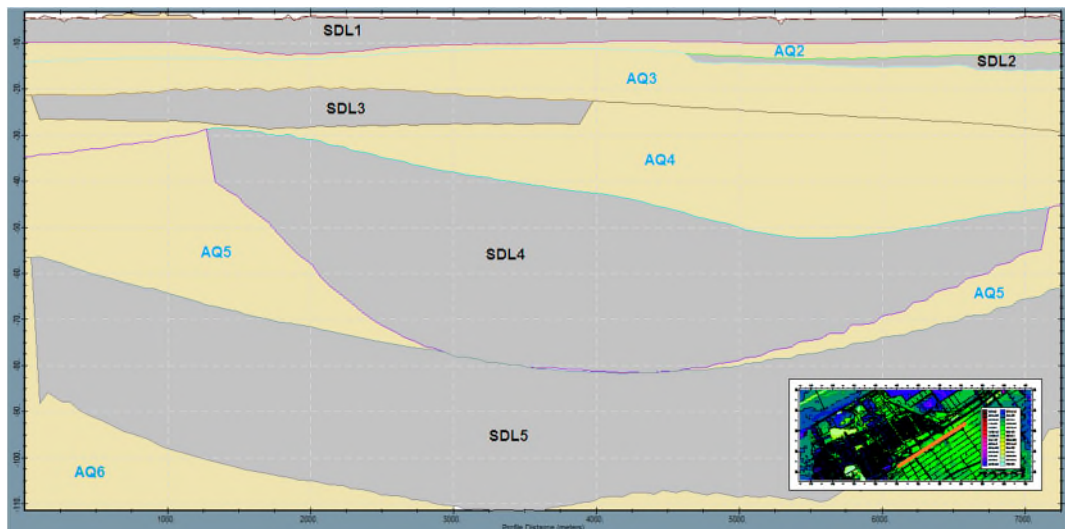
Het model Azure is opgezet voor een zeer groot gebied, dat loopt vanaf Gelderland tot en met Friesland /Groningen en Noord-Holland. Het model is gekalibreerd op deze schaal. Dit houdt in dat er geen toets op perceelsniveau mogelijk is geweest. In de voorliggende haalbaarheidsstudie zijn we er vanuit gegaan dat het grondwatermodel voldoende nauwkeurig is om een inschatting

te geven van de haalbaarheid. In een later uitwerkingsniveau is het wenselijk om de werking van het model in meer detail te toetsen en eventueel aan te passen.

Het grondwatermodel bestaat uit 9 watervoerende pakketten en scheidende lagen. In figuur- b zijn alle watervoerende en scheidende lagen bij het plangebied weergegeven. Deze doorsnede loopt tot NAP -350 m. Figuur- c geeft de watervoerende en scheidende lagen weer tot NAP -110 m. Zichtbaar is dat vanaf maaiveld er nauwelijks sprake is van een watervoerende laag, en dat er vooral een slecht doorlatende laag aanwezig is. De onderkant van deze laag ligt op ca. NAP -10 m. De watervoerende lagen 2, 3 en 4 vallen deels samen, en worden plaatselijk gescheiden door slecht doorlatende lagen. Hieronder vormen de slecht doorlatende lagen 4 en 5 een grotendeels samenvallende scheidende laag. De onderkant van deze scheidende lagen ligt op NAP -100 à -110 m.



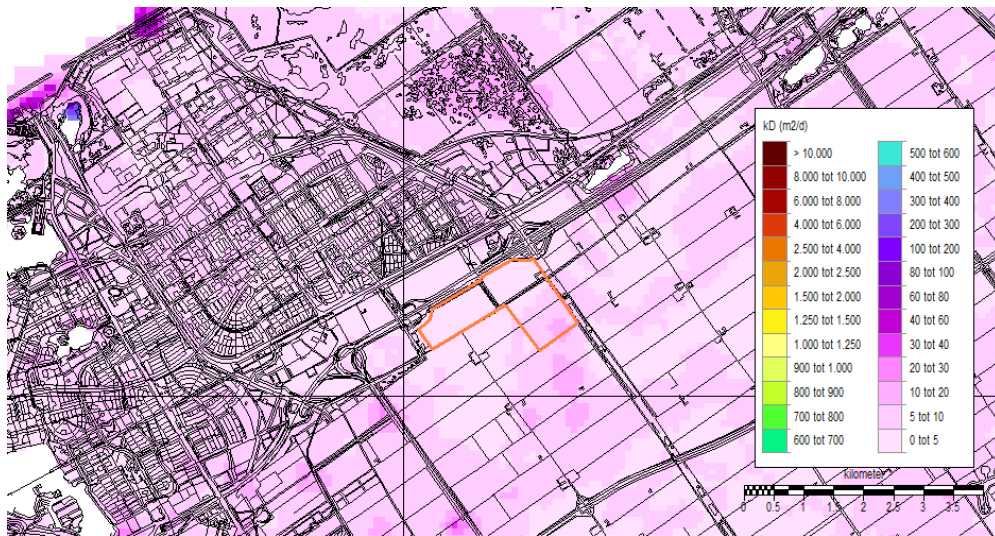
Figuur- b: Dwarsprofiel van watervoerende pakketten en scheidende lagen bij het plangebied; verticale diepte loopt tot NAP -350 m



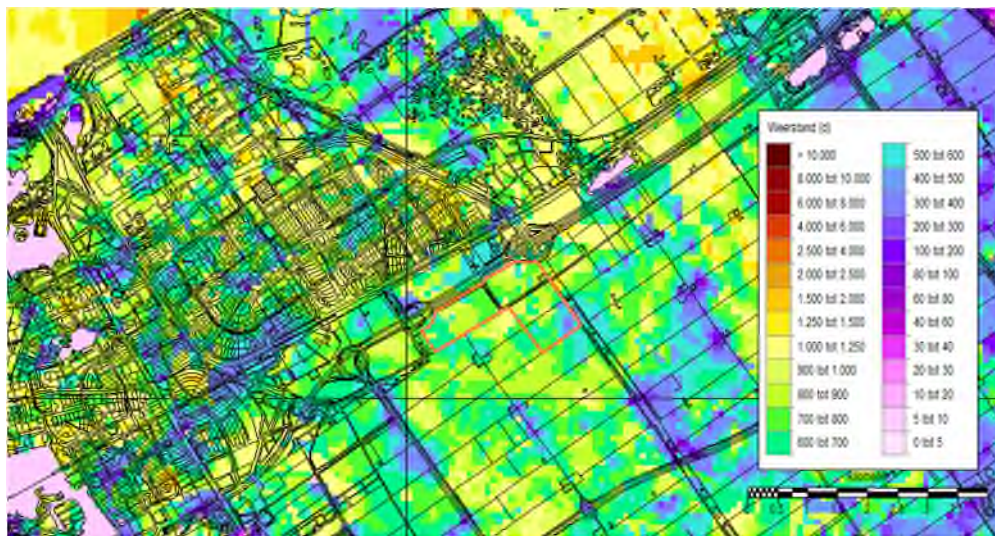
Figuur- c: Dwarsprofiel bij het plangebied tot NAP -110 m

Hieronder vormen de watervoerende lagen 6, 7 en 8 één watervoerend pakket met een totale dikte van ongeveer 125 m. De slecht doorlatende laag hieronder heeft een dikte van ruim 10 m. Watervoerende laag 9 vormt de onderste laag van het model, deze heeft bij het plangebied een dikte van ongeveer 80 m.

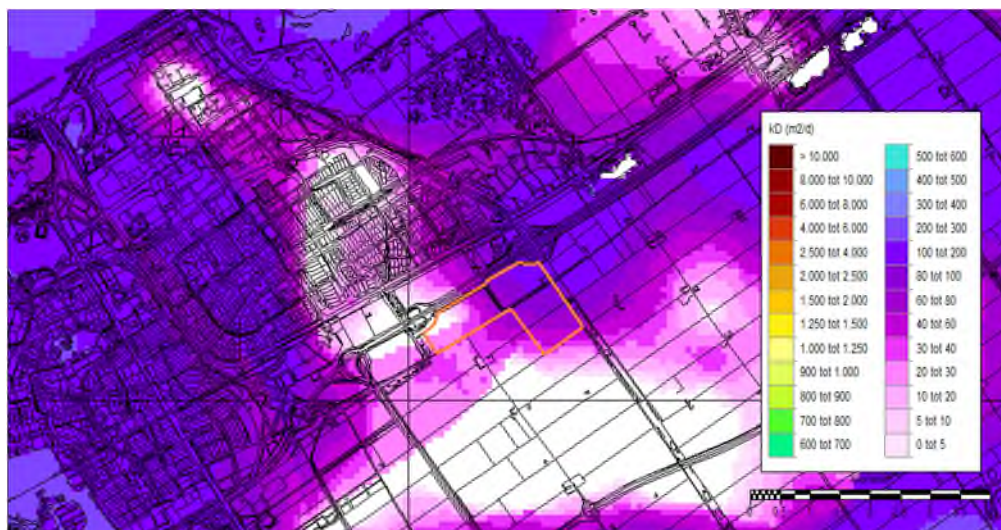
De doorlaatvermogens (kD) en weerstanden (c) van de scheidende lagen zijn voor de ruimere omgeving van het plangebied weergegeven in figuur- a t/m figuur- t. Uit deze figuren blijkt dat vooral in de aanwezigheid van weerstandslagen er een ruimtelijke variatie is.



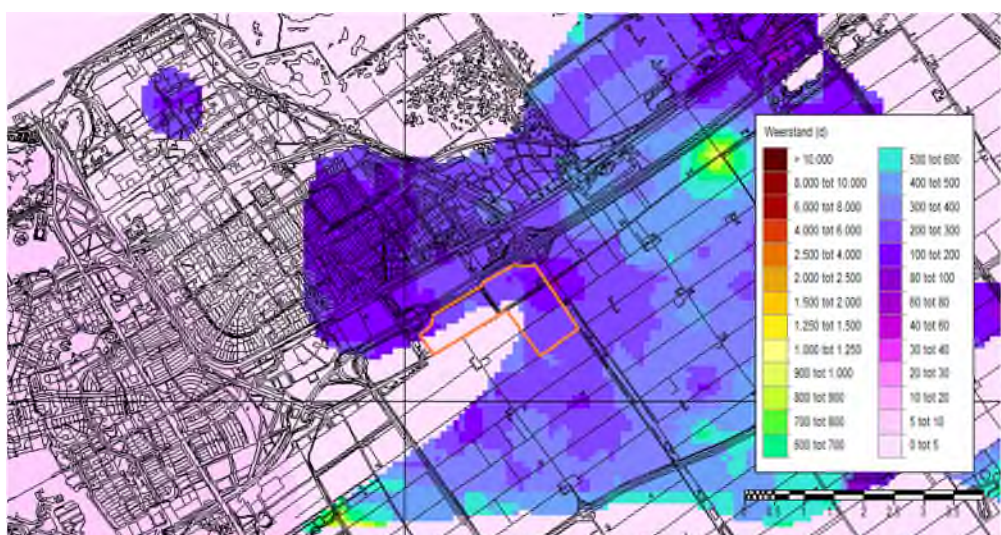
Figuur- d: kD-waarde laag 01



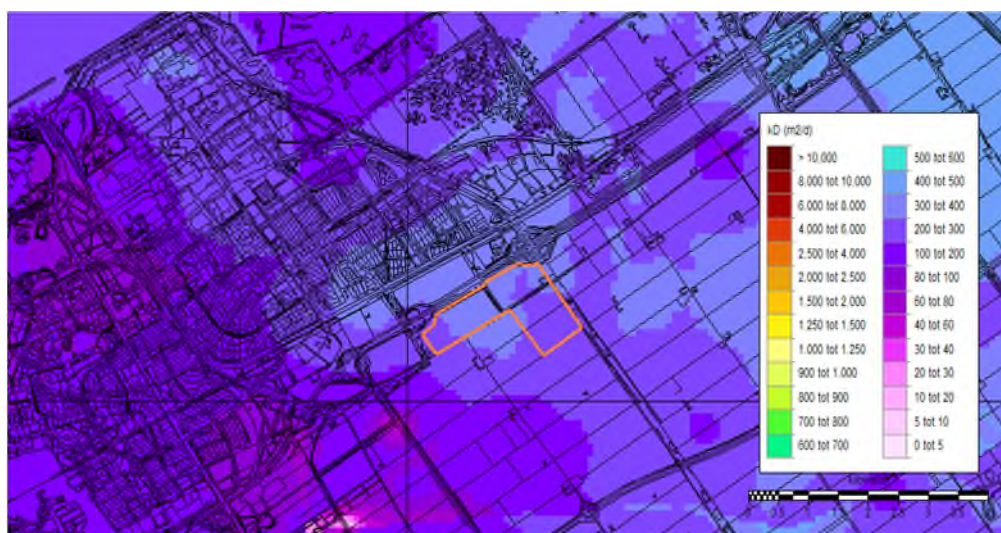
Figuur- e: C-waarde laag 01



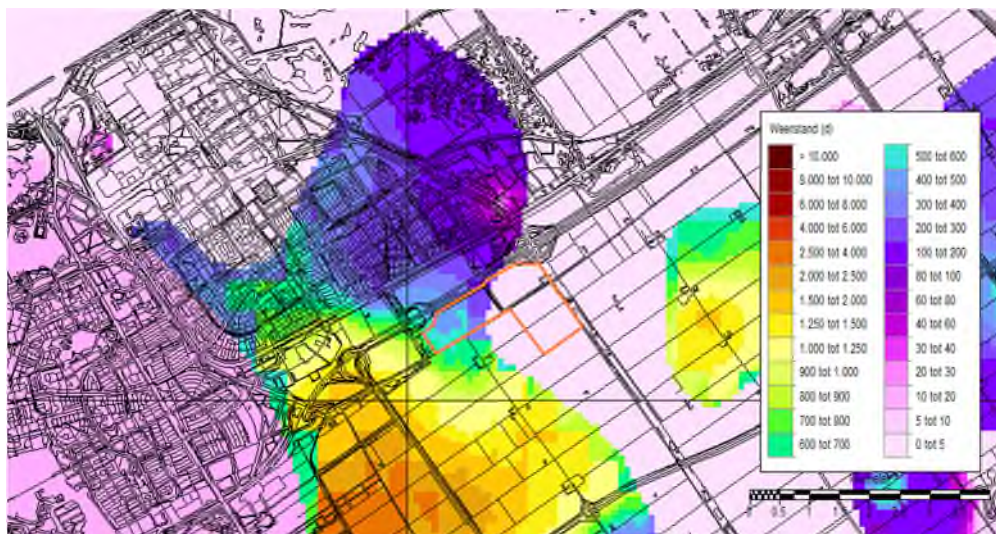
Figuur- f: kD laag 2



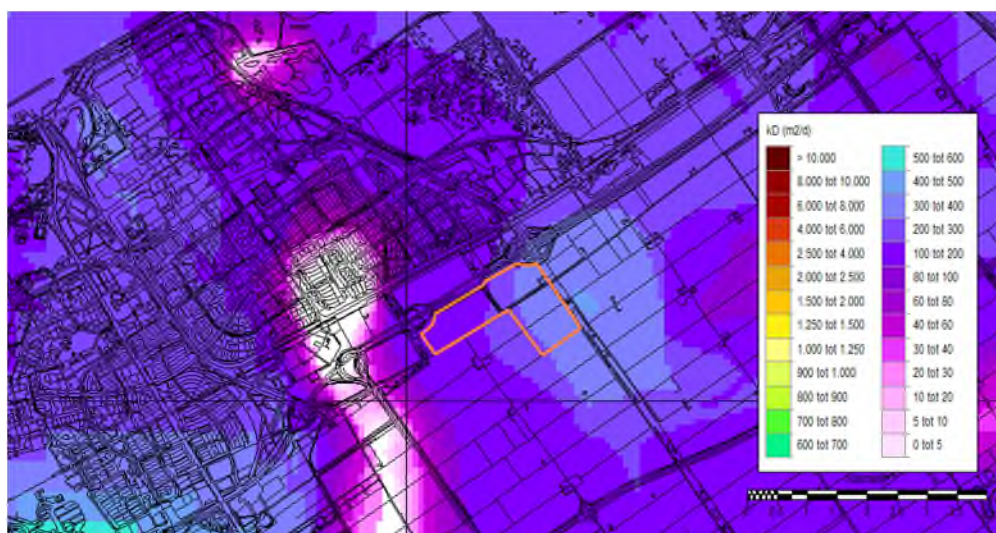
Figuur- g: C-waarde laag 2



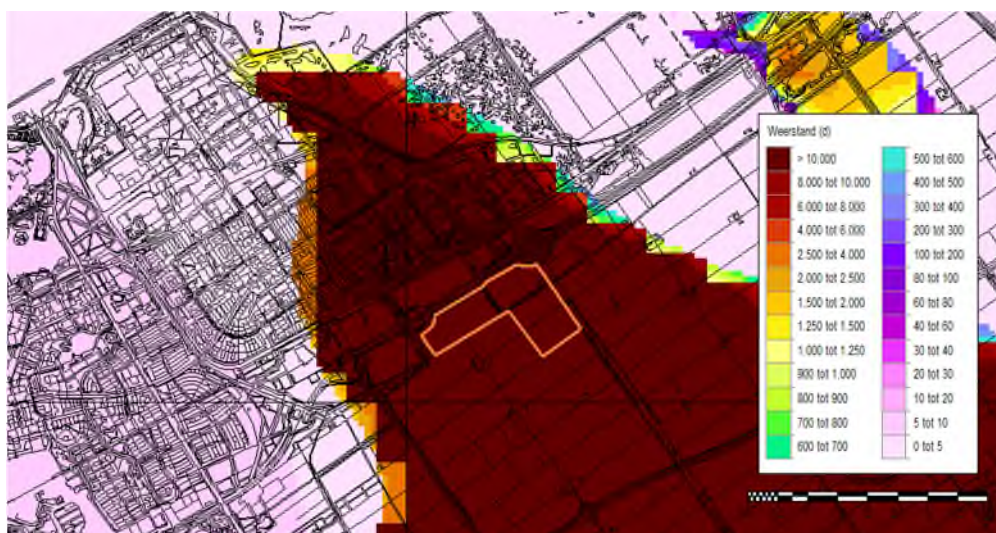
Figuur- h: kD laag 3



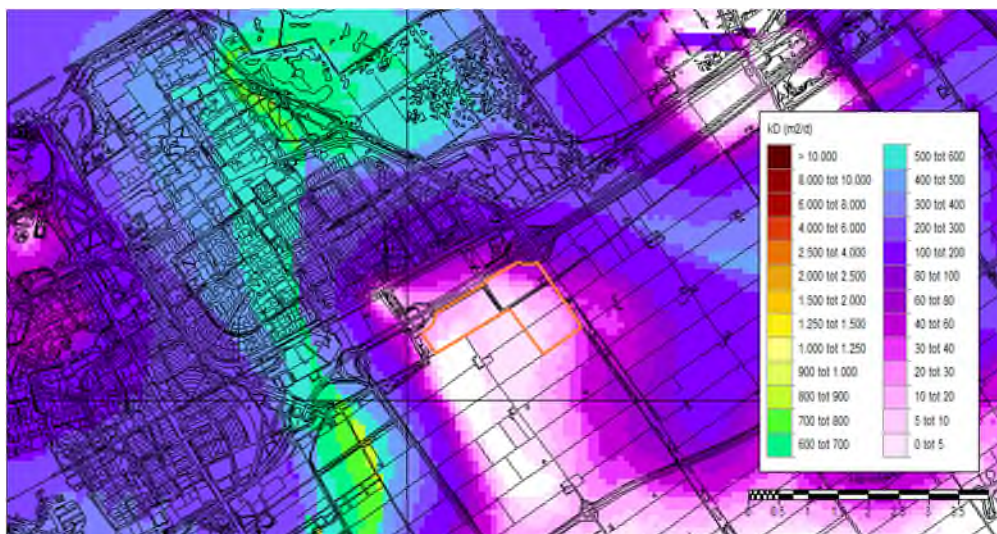
Figuur- i: C-waarde laag 3



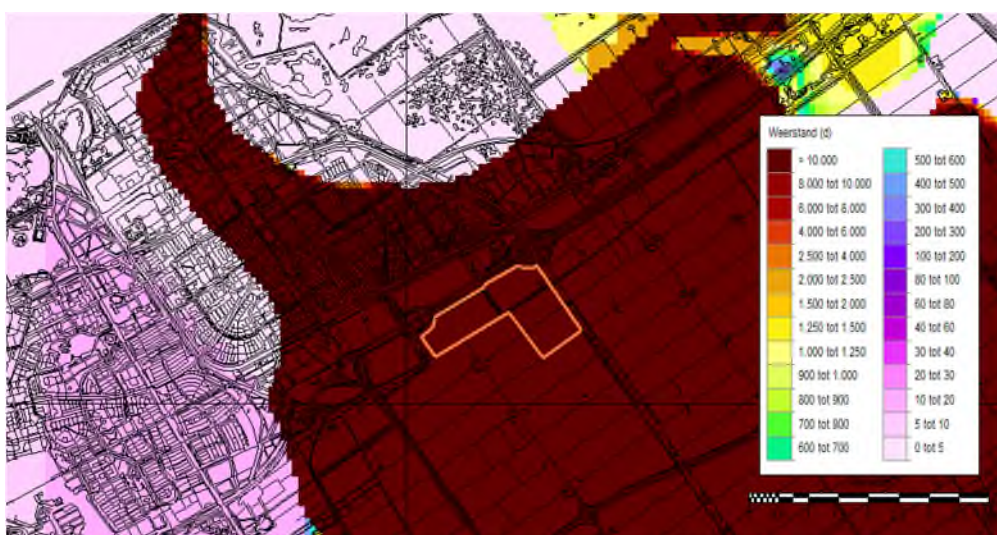
Figuur- j: kD-waarde laag 4



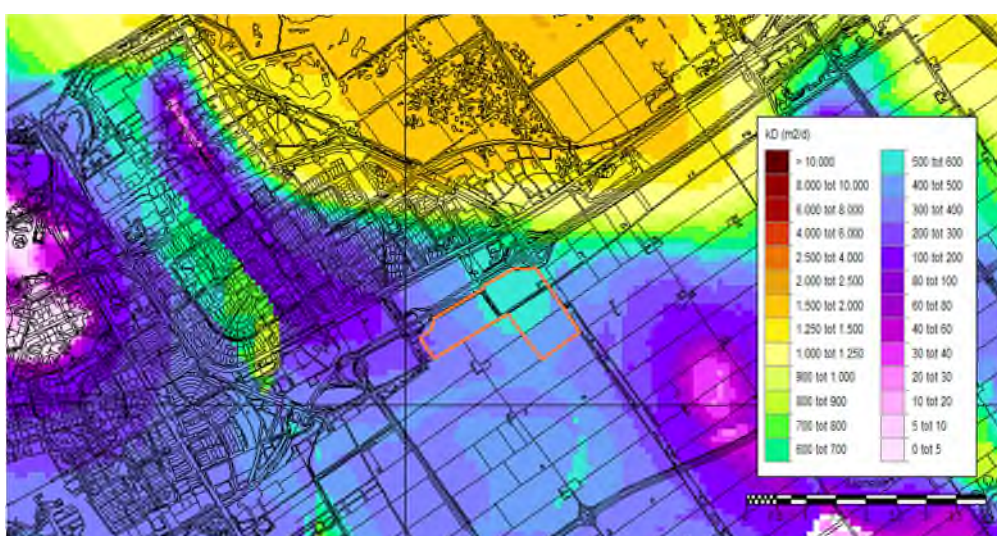
Figuur- k: C-waarde laag 4



Figuur- l: kD-waarde laag 5



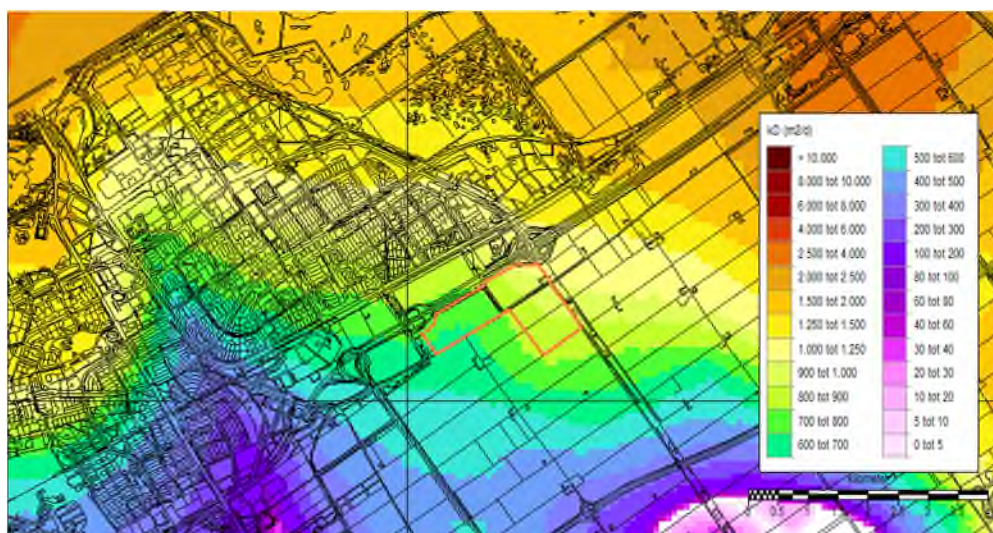
Figuur- m: C-waarde laag 5



Figuur- n: kD-waarde laag 6



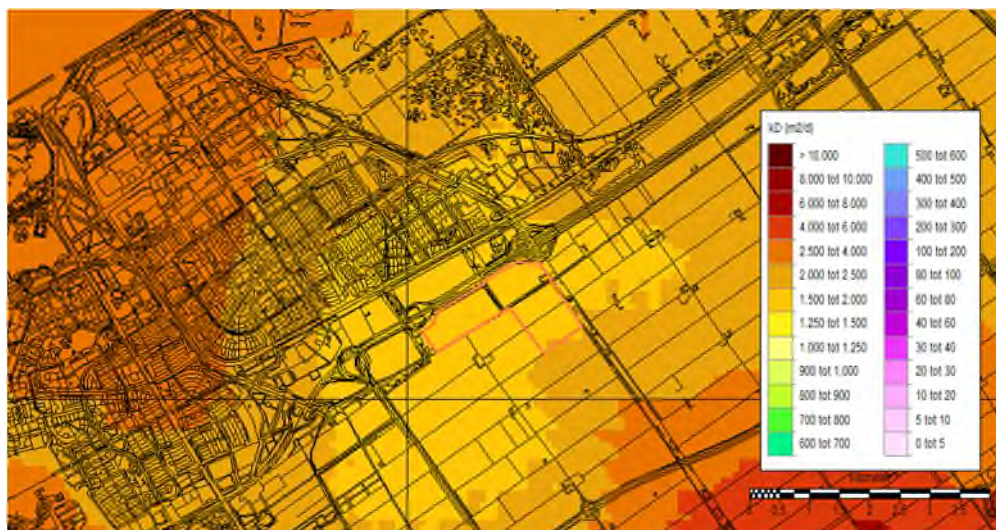
Figuur- o: C-waarde laag 6



Figuur- p: kD-waarde laag 7



Figuur- q: C-waarde laag 7



Figuur- r: kD-waarde laag 8



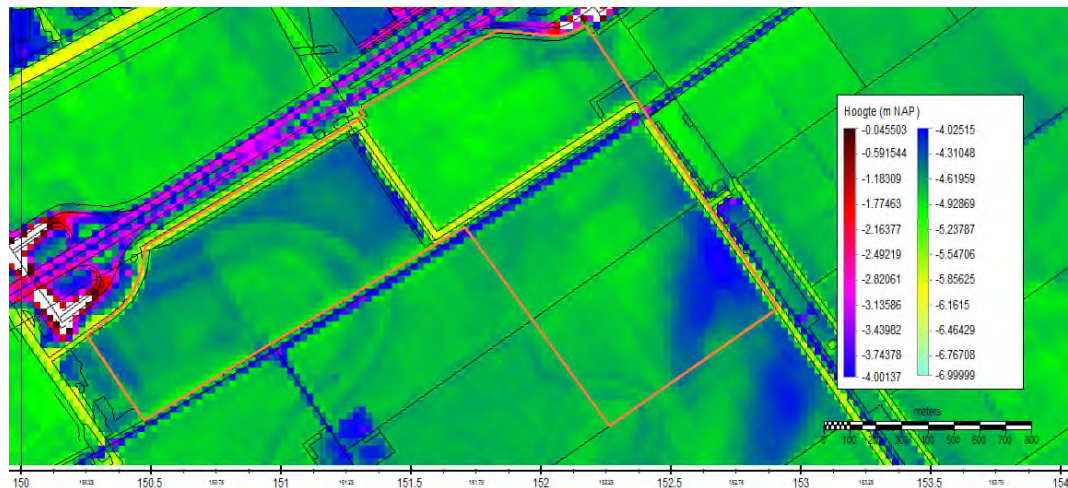
Figuur- s: C-waarde laag 8



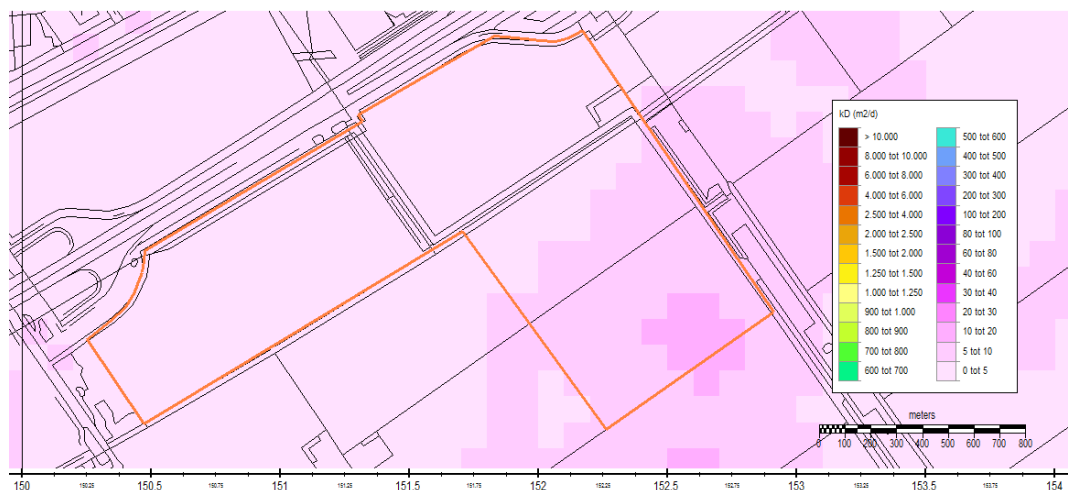
Figuur- t: kD-waarde laag 9

Ingezoomd op het plangebied

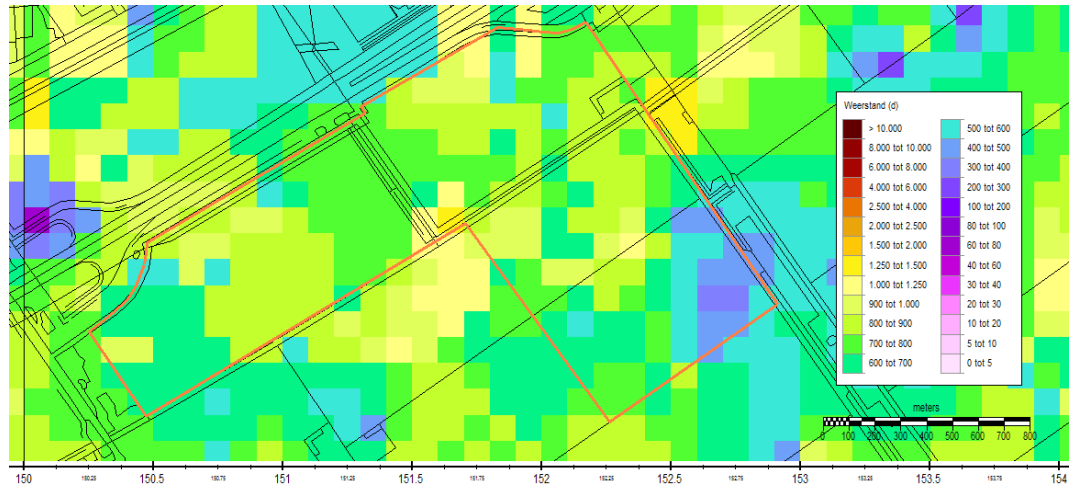
Het maaiveldsniveau zoals opgenomen in Azure is weergegeven in figuur- u. In figuur- v is de kD-waarde (doorlaatvermogen) van de eerste laag in het plangebied weergegeven, welke varieert tussen de 0 en 20 m²/d. Dit komt doordat de bovenste laag vooral de slecht doorlatende deklaag betreft, die een zeer beperkt doorlaatvermogen heeft. De weerstand van de bovenste laag is weergegeven in figuur- w. Deze ligt in het plangebied tussen 600 en 900 dagen. Wanneer er een meter stijghoogteverschil is tussen de freatische grondwaterstand en het onder de deklaag gelegen watervoerende pakket, doet het water er dus 600 tot 900 dagen over om het zandpakket te bereiken.



Figuur- u: AHN gebruikt in AZURE, plangebied

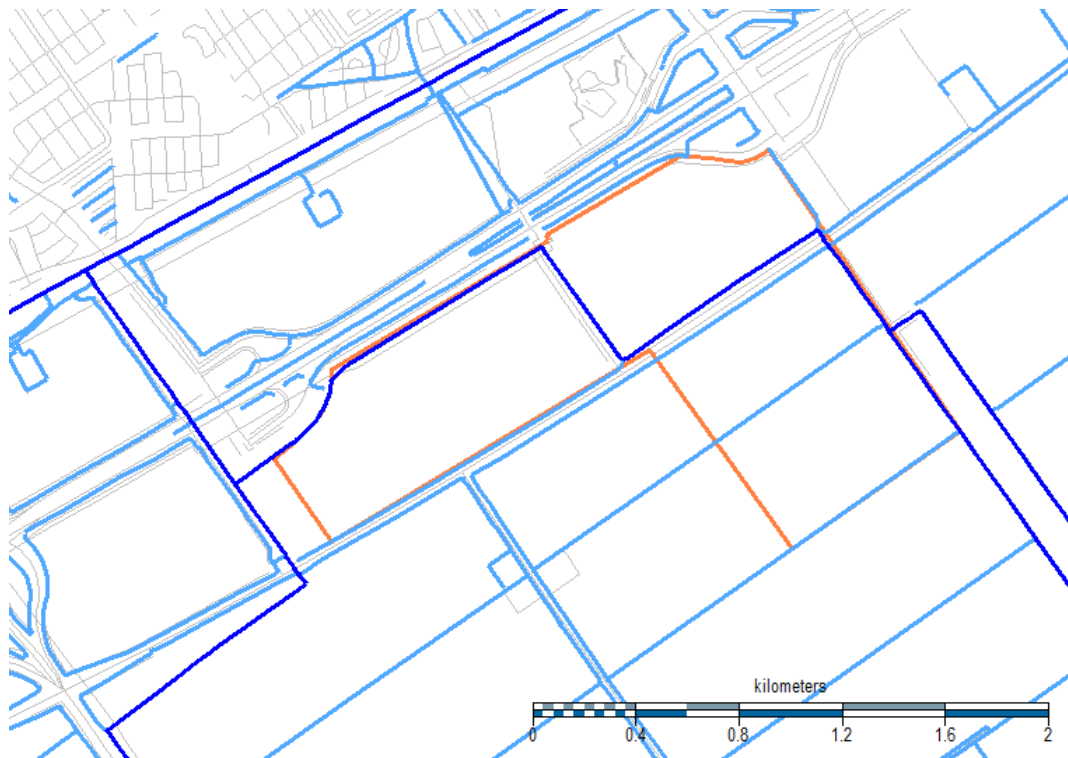


Figuur- v: kD-waarde laag 01, plangebied



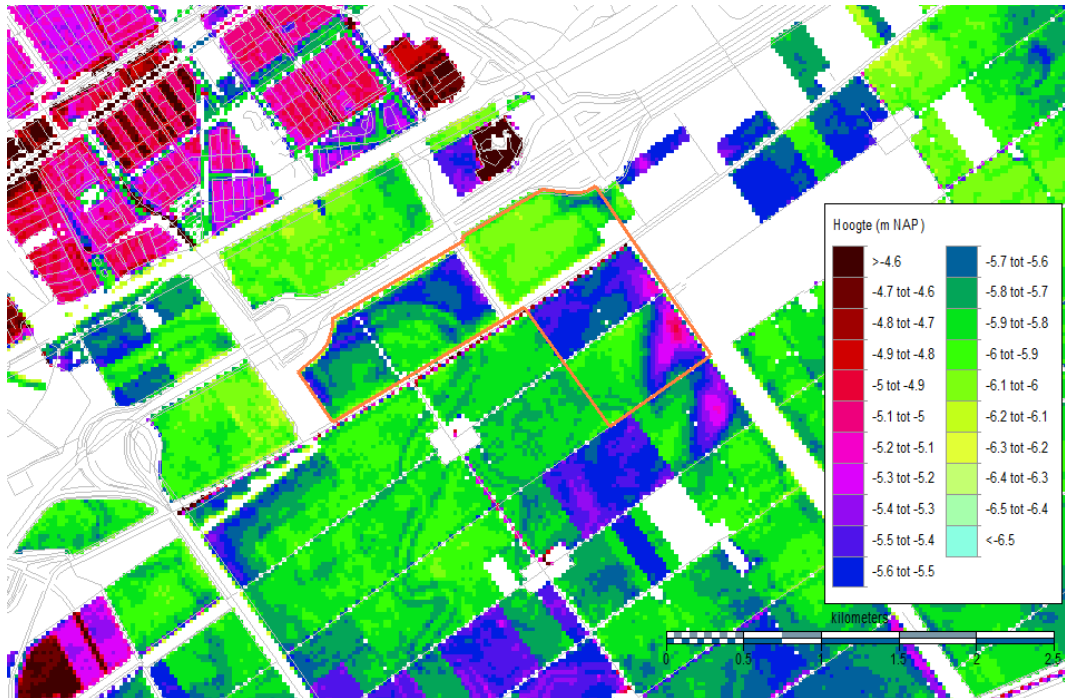
Figuur- w: C-waarde laag 01, plangebied

Het grondwater in het model wordt gereguleerd door verschillende factoren. Dit betreft onder meer het oppervlaktewatersysteem, zoals de kleinere en grotere poldersloten en –tochten (figuur- x).



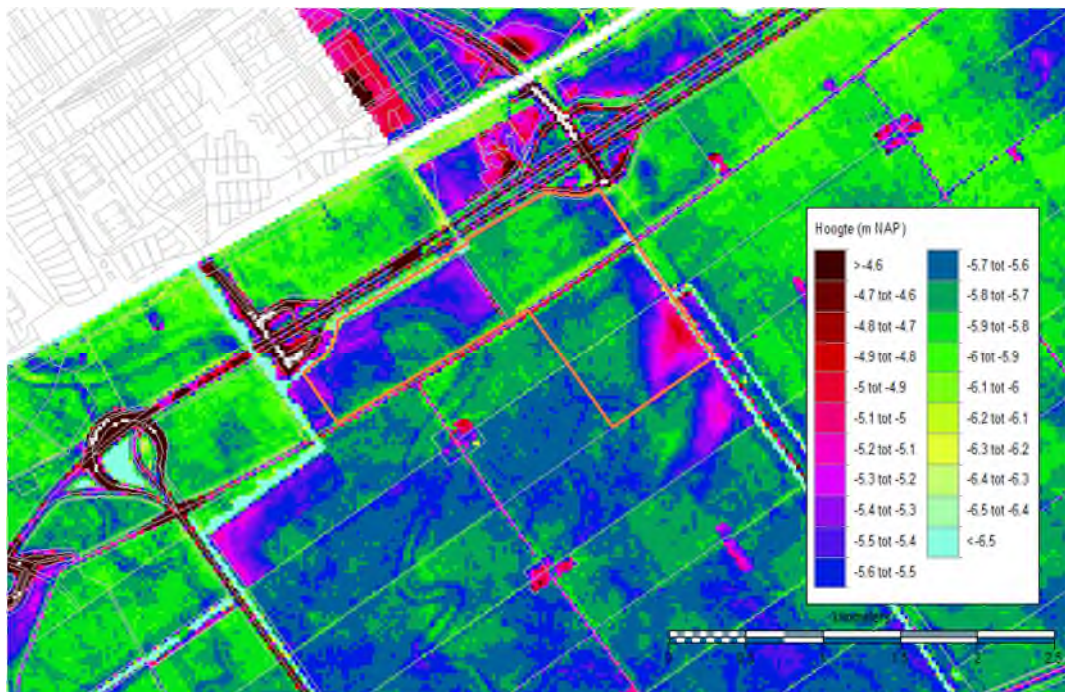
Figuur- x: Ligging waterlopen in het model

Verder is in een groot deel van het plangebied een buisdrainage ingevoerd. In figuur- y is het drainniveau weergegeven ten opzichte van NAP weergegeven. Over het algemeen liggen de drains ca. 1,1 m –mv. De weerstand die bij de drainage hoort, ligt tussen 60 en 90 dagen in het plangebied.



Figuur- y: Ligging buisdrainage met drainniveau, plangebied

Tenslotte spelen de scheuren in de gerijpte klei een rol in de afwatering. In de ruime omgeving van het plangebied zijn deze scheuren in het model ingevoerd. De globale ontwateringsdiepte door de kleischeuren bedraagt ongeveer 0,75 m –mv. (zie figuur- z). De weerstand van de kleischeuren is in deze omgeving 200 dagen.



Figuur- z: Onderkant kleischeuren, plangebied

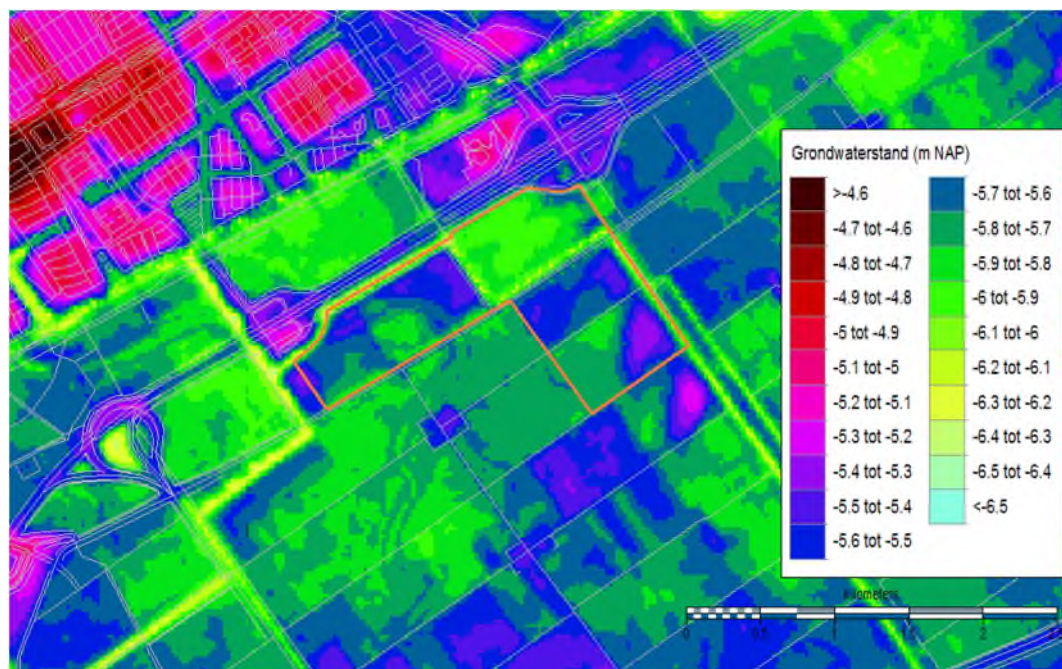
Uitgevoerde modellering

Met het grondwatermodel zijn de freatische grondwaterstanden en stijghoogten berekend. Hiervoor is een uitsnede van het gehele Azure-model gemaakt. De uitsnede loopt van x=135.000, y=473.000 in het zuidwesten tot x=170.000, y=503.000 in het noordoosten. Dit gebied betreft het grootste deel van zuidelijk Flevoland, inclusief de randmeren en een deel van het IJsselmeer. Doordat de randen van het model op een grote afstand van het plangebied liggen, hebben de randen geen invloed op de rekenresultaten. De grootte van gridcellen is in en rondom het plangebied 25x25 m. Op grotere afstand loopt de grootte van de gridcellen op tot 100x100 m.

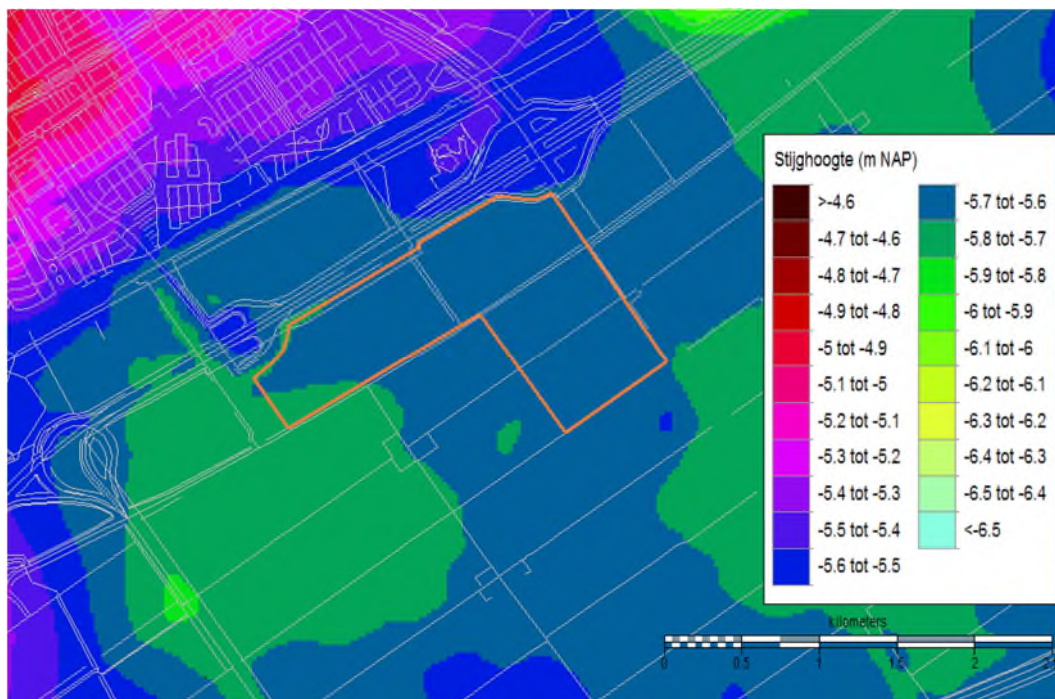
De modellering is in eerste instantie stationair uitgevoerd. Deze modellering geeft globaal de gemiddelde grondwatersituatie weer.

In figuur- aa is de berekende freatische grondwaterstand (gemiddelde situatie) weergegeven. Zichtbaar is dat hierin relatief grote variaties optreden, die samenhangen met het maaiveldniveau en de diepteligging van ontwateringsmiddelen.

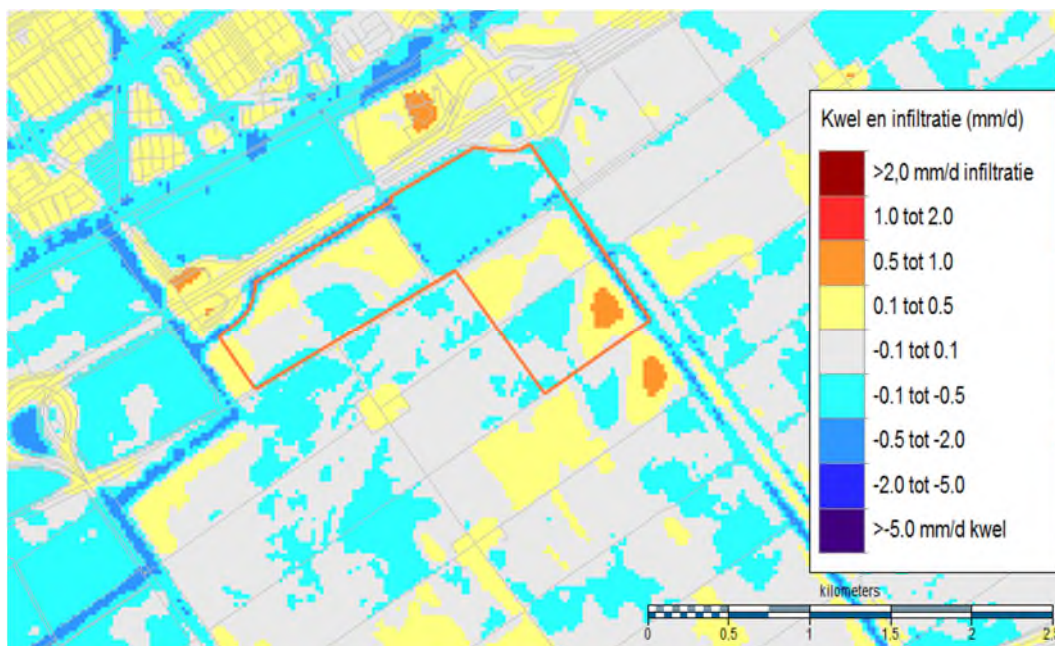
figuur- bb geeft de stijghoogte in de omgeving van het plangebied weer. De variaties in de stijghoogte zijn veel geringer. De kwel en infiltratie voor de huidige situatie zijn weergegeven in figuur- cc. Zichtbaar is dat in het noordwestelijke deel en in het zuidoostelijke deel van het plangebied er overwegend een intermediaire situatie of beperkte infiltratie wordt berekend. Het noordoostelijke deel van het plangebied laat kwel zien. Deze patronen hangen samen met het maaiveldniveau.



Figuur- aa: Huidige freatische grondwaterstand, plangebied



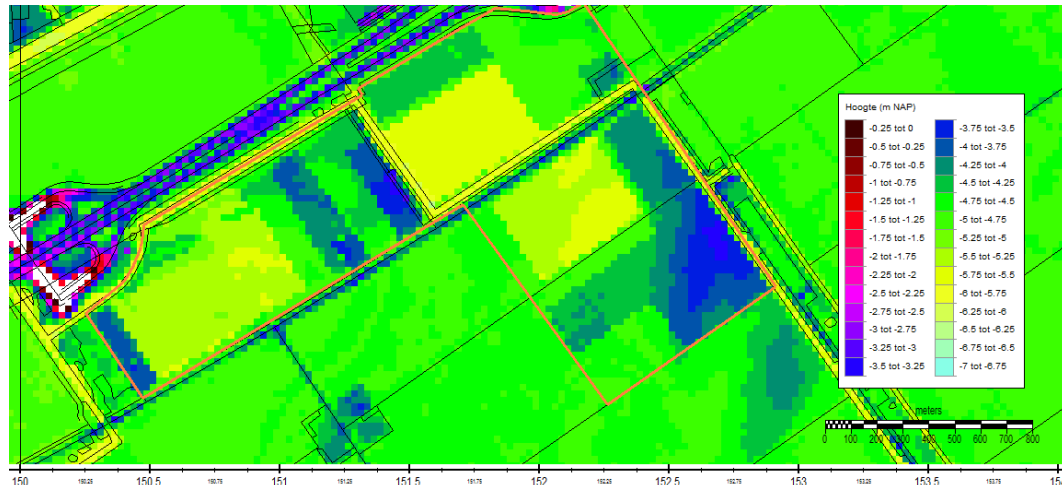
Figuur- bb: Huidige stijghoogte onder de deklaag, plangebied



Figuur- cc: Huidige infiltratie (geel-oranje) en kwel (blauw), plangebied

Aanpassingen voor het VO

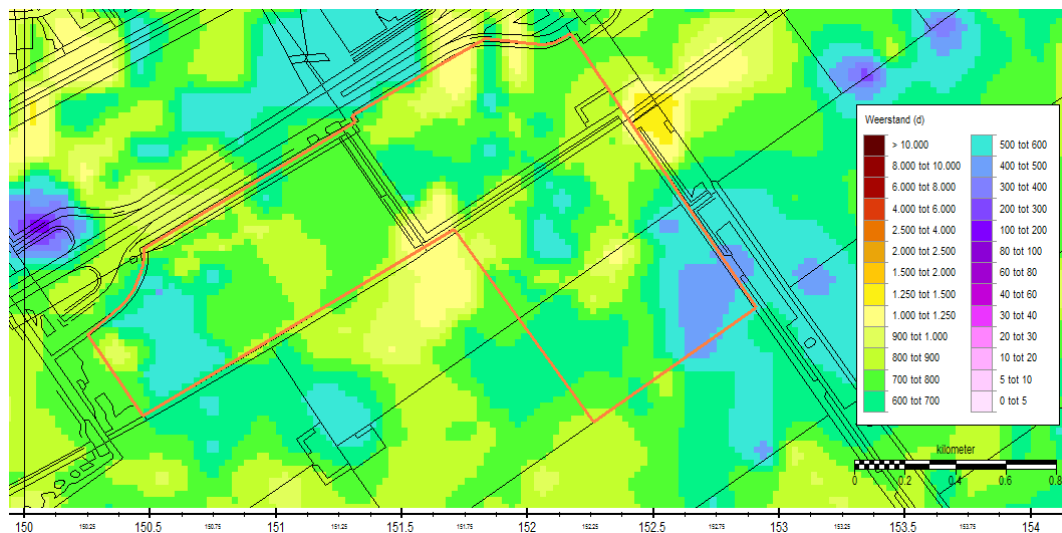
Om de verschillen tussen de huidige situatie en het VO te bepalen is de maaiveldhoogte voor de kleimoerassen met 0,7 m verlaagd en zijn de bos- en landbouwgebieden met 0,5 tot 0,8 m verhoogd. Dit is te zien in de uiteindelijk maaiveldhoogte van het VO welke is weergegeven in figuur- dd. De drie kleimoerassen zijn duidelijk zichtbaar, evenals de bosgebieden en landbouwgebieden.



Figuur- dd: AHN voor het voorlopige ontwerp met de maaiveldverlagingen in de drie kleimoerassen zichtbaar

In de gebieden waar het maaiveld is verlaagd, is het doorlaatvermogen (kD) van de deklaag verminderd tot 75% van de oorspronkelijke waarde. Bij een ophoging is de kD vermenigvuldigd met een factor 1,5. Omdat de kD in de huidige situatie klein is (overwegend tussen 4 en 9 m²/d) zijn deze aanpassingen beperkt.

Verder is de weerstand van de eerste scheidende laag aangepast. Bij een afgraving is deze met 100 dagen verminderd (van ca. 600 tot 900 dagen naar 500 tot 800 dagen). Bij een ophoging is er vanuit gegaan dat de weerstand relatief beperkter toeneemt als gevolg van de vermenging van de grond, aangenomen is dat de weerstand met 25 dagen wordt verhoogd. In figuur- ee is de weerstand in het VO weergegeven.



Figuur- ee: C-waarde gebruikt voor het VO

Verder zijn de volgende maatregelen in het VO ingevoerd:

- De ligging van de Wulptocht is verplaatst naar de rand van het plangebied.
- De drainage in moerassen en bosgebied is verwijderd, bij landbouw en de roodruimte is deze gehandhaafd. In figuur- ff is de ligging van de resterende drainage weergegeven.
- Middels waterlopen zijn de nieuwe tocht en de moerassen in het model ingevoerd. Deze hebben een waterpeil van NAP -5,0 m en een bodemligging van NAP -6,5 m. De ligging van deze waterlopen zijn weergegeven in figuur- gg. De bodemweerstand voor drainage is ingevoerd op 5 dagen, bij infiltratie is aangenomen dat de weerstand groter is, 50 dagen.



Figuur- ff: Ligging resterende drainage in het VO



Figuur- gg: Ligging nieuwe watergang (roze) en moerassen (blauw) in het VO

Naast deze aanpassingen is ook het maaiveldniveau dat van toepassing is voor run-off (overland flow) aangepast ter plaatse van de moerassen en de nieuwe watergang. De nieuwe hoogte is hier

gelijk gesteld aan het waterpeil plus 0,2 m. Dit houdt in dat het waterpeil 0,2 m kan stijgen voordat er een afvoer op begint te treden.

Resultaten VO

De berekende freatische grondwaterstanden zijn weergegeven in figuur- hh.

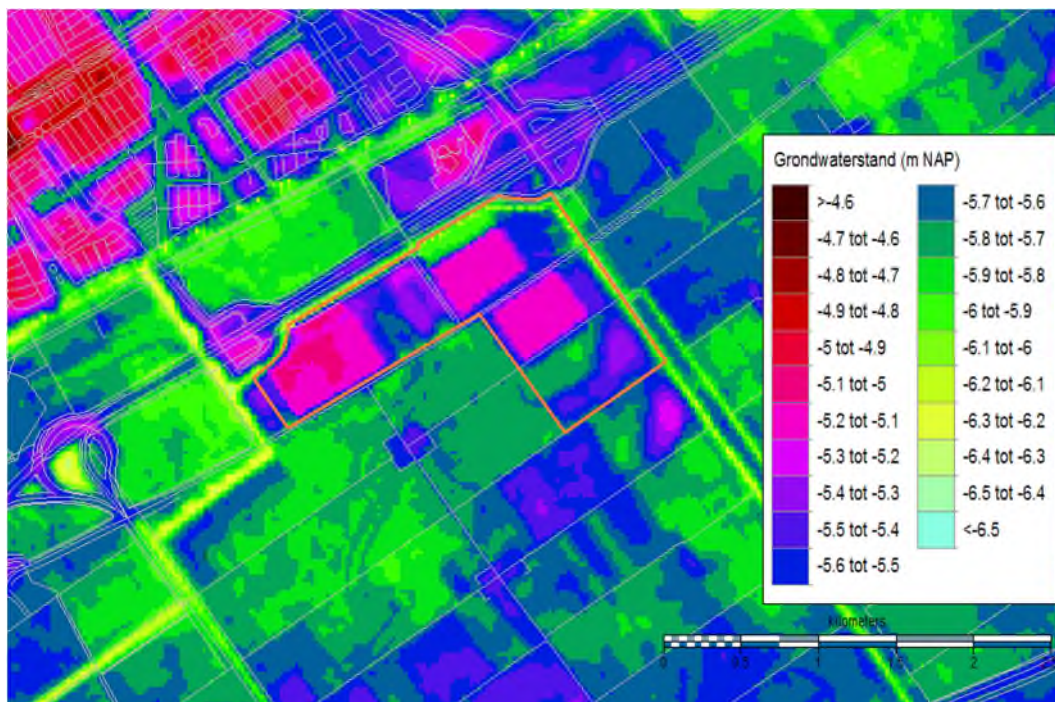
Het berekende verschil in freatische grondwaterstand tussen de huidige situatie en het VO is weergegeven in figuur- ii. Hierbij is te zien dat de grondwaterstand in de kleimoerassen met gemiddelde 0,5 m toeneemt (blauwe kleuren). Bij het noordwestelijke moeras is op of juist over de rand van de plangrens nog een beperkte verhoging van de grondwaterstand zichtbaar. Wanneer dit niet gewenst is, kan de begrenzing van het moeras iets verder naar binnen het plangebied worden gelegd. Bij de Ibisweg tussen het noordelijke en zuidelijke deel van het plangebied is een verhoging van de grondwaterstand met meer dan 0,25 m zichtbaar. De grondwaterstanden komen hier op ca. NAP -5,5 m. Op basis van de hoogteligging van de weg (NAP -3,7 m) geeft dit dus een ontwateringsdiepte van 1,8 m in de gemiddelde situatie. Dit wordt als ruim voldoende beschouwd.

Ook bij de opgehoogde gebieden is een hogere waterstand te zien, die te verklaren is door het verhoogde maaiveld in combinatie met een lage doorlatendheid.

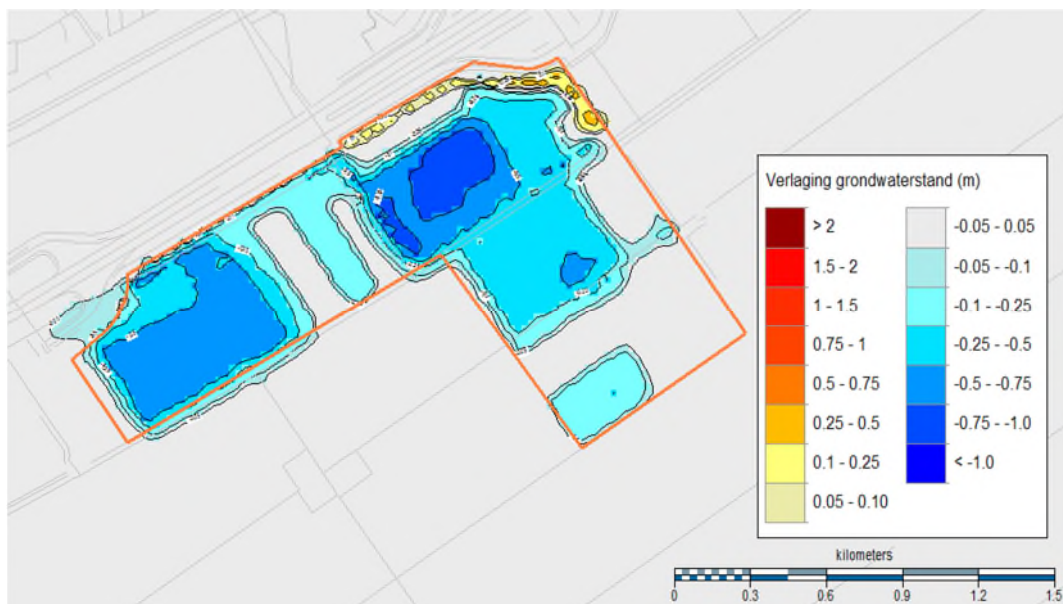
Bij de nieuwe ligging van de Wulptocht aan de noordoostelijke plangrens is een verlaging van de grondwaterstand zichtbaar. In de huidige situatie is hier een opbolling van het grondwater, die door de verlegde Wulptocht wordt weggenomen.

In figuur- jj is het verschil in de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket, dus onder de slecht doorlatende deklaag, zichtbaar. De verhoging van de freatische grondwaterstanden werken door naar dit diepere pakket, resulterend in een verhoging van de stijghoogte van iets meer dan 0,1 m in het plangebied. Juist buiten het plangebied wordt de stijghoogte met 0,05 tot 0,1 m verhoogd.

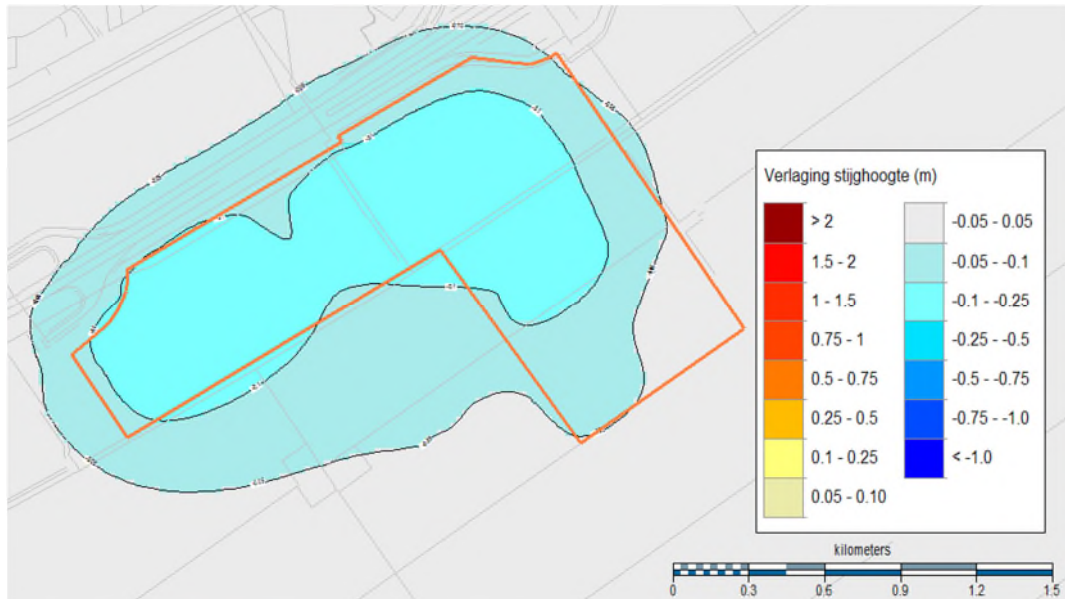
Deze wijzigingen in grondwaterstanden en stijghoogten zijn ook zichtbaar in de kwel en infiltratie, weergegeven in figuur- kk. Zichtbaar is dat er vrijwel alleen nog maar een infiltratiesituatie optreedt. Dit hangt samen met de relatief sterke verhoging van de freatische grondwaterstand.



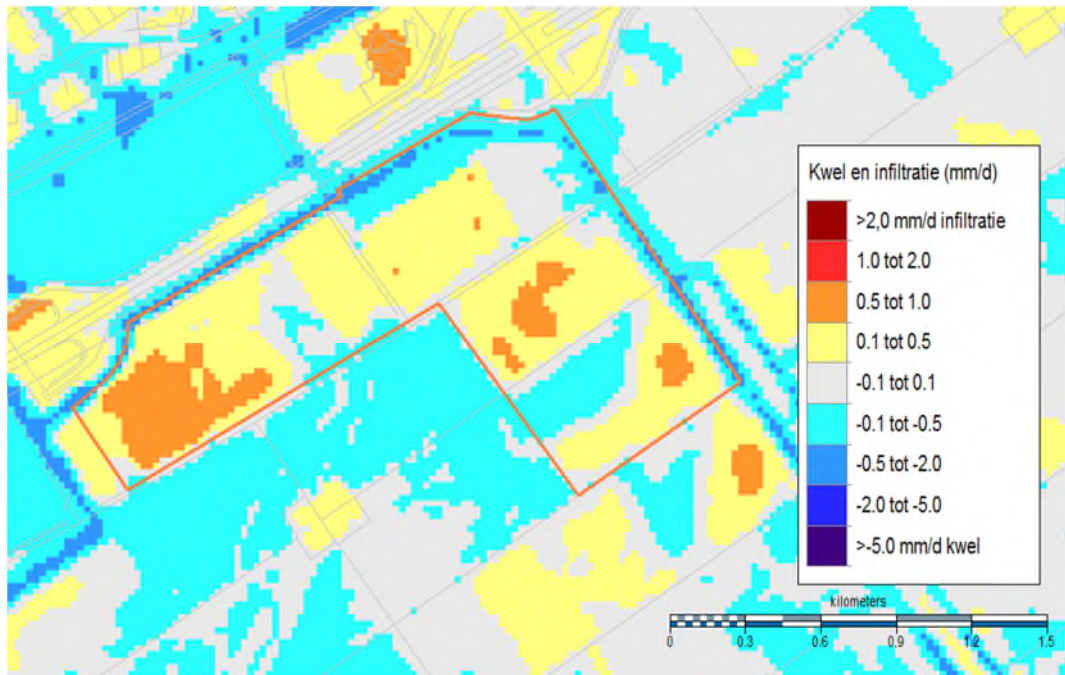
Figuur- hh: Freatische grondwaterstanden bij het voorlopige ontwerp



Figuur- ii: Verschil in freatische grondwaterstand tussen de huidige situatie en het voorlopige ontwerp (blauw: verhoging grondwaterstand, geel/oranje: verlaging)



Figuur- jj: Verschil in stijghoogte tussen de huidige situatie en het voorlopig ontwerp



Figuur- kk: Kwel (blauw) en infiltratie (geel/oranje) bij het voorlopig ontwerp

Gevoeligheidsanalyse weerstand kleischeuren

De weerstand van de kleischeuren is relatief onbekend. In het Azuremodel is een weerstand in deze omgeving van 200 dagen opgenomen. Om inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de waterbalans voor de kleischeuren, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hierbij is de weerstand van de kleischeuren verdubbeld en gehalveerd (dus 100 dagen en 400 dagen), en vermenigvuldigd en gedeeld door 10 (dus 20 en 2.000 dagen). Deze aanpassingen zijn voor het gehele model doorgevoerd en zowel voor de huidige situatie als bij het voorlopige ontwerp.

Uit de gevoeligheidsanalyse van de weerstand van de kleibodem blijkt dat bij een lagere weerstand dan verwacht, de grondwaterstand ook lager ligt (tot 0,75 m lager bij een factor 10). Dit betekent dat bij een lagere weerstand (meer kleischeuren) er meer water wegloopt uit het gebied. Te zien is dat het effect binnen de toekomstige kleimoerassen, met een verlaagde maaiveldhoogte en verhoogde waterstand, groter is dan in de omliggende gebieden. Dit is ook het geval langs de tochten.

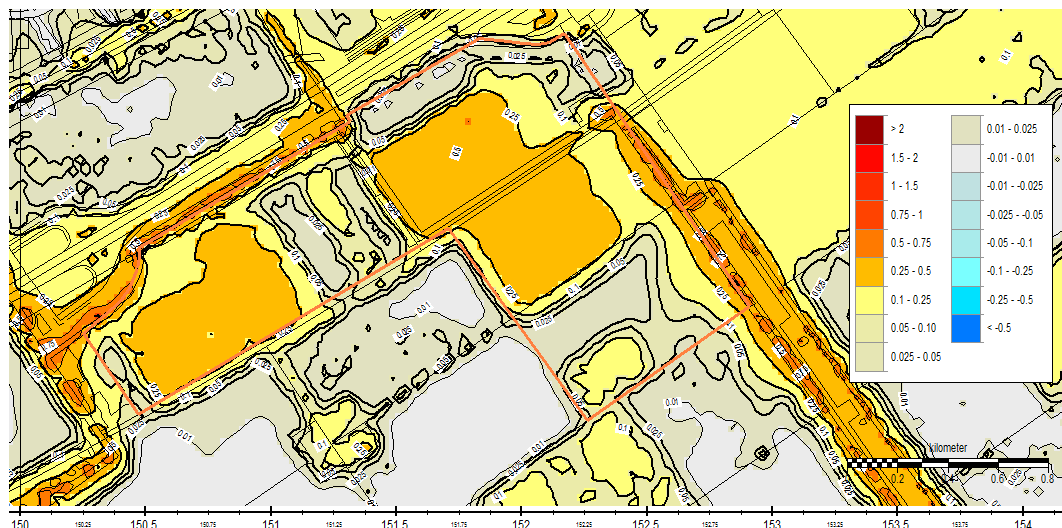
Bij een hogere dan verwachte weerstand van de toplaag is het omgekeerde effect zichtbaar, met een hogere waterhoogte tot gevolg.

De gevolgen van de weerstand voor de waterbalans van het plangebied zijn eveneens berekend. Deze zijn opgenomen in tabel- a.

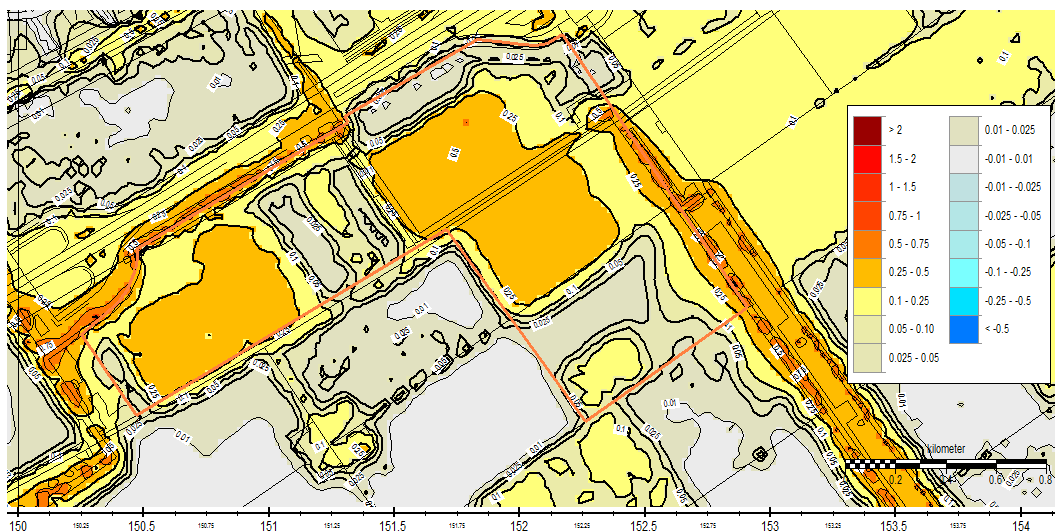
Opgemerkt wordt dat bij deze berekening niet alleen de weerstanden van de kleischeuren in het plangebied zijn aangepast, maar in het gehele model. Immers, de bekendheid van de weerstand is in het plangebied niet groter of kleiner dan in het gehele modelgebied. De veranderingen van de grondwaterstand buiten het plangebied betreffen dus niet een uitstraling van de maatregelen in het plangebied, maar een effect als gevolg van andere weerstanden van de kleischeuren.

Tabel- A: Waterbalans van het plangebied berekend met AZURE voor de huidige situatie en het voorlopig ontwerp met de onzekerheidsanalyse van de weerstand in de kleilaag.

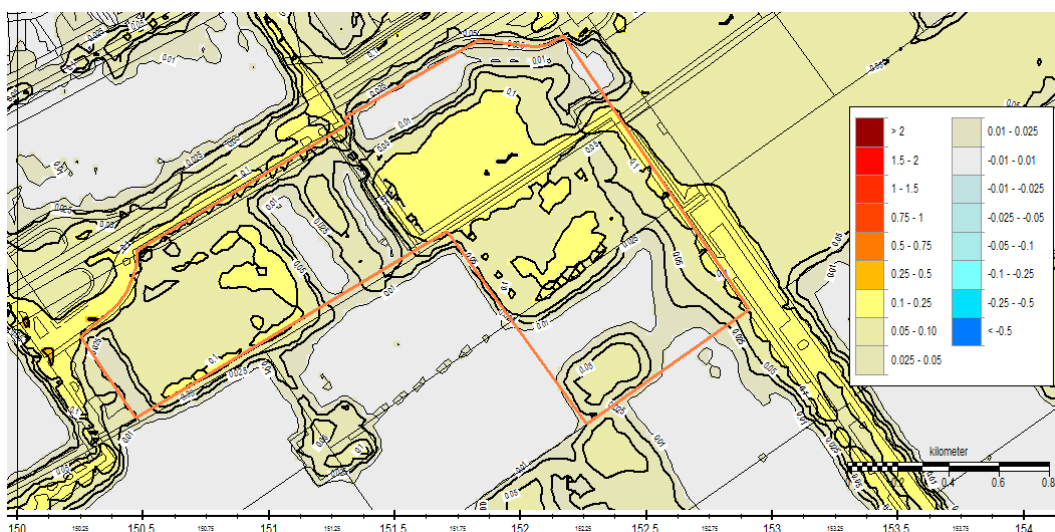
	Drainage in	Drainage uit	Rivier in	Rivier uit	Runoff	Wulp- tocht in	Wulp- tocht uit	Waterbalans
	m3/d	m3/d	m3/d	m3/d	m3/d	m3/d	m3/d	m3/d
huidig	0	-1.480	0	-348	-1	0	-240	2.069
VO	0	-699	266	-848	-12	0	-304	2.130
VO_c/2	0	-613	273	-1.086	-6	19	-198	2.195
VO_c/10	0	-493	218	-1.572	-2	286	-145	2.716
VO_c*2	0	-796	252	-636	-28	0	-403	2.114
VO_c*10	0	-976	233	-356	-72	0	-531	2.168



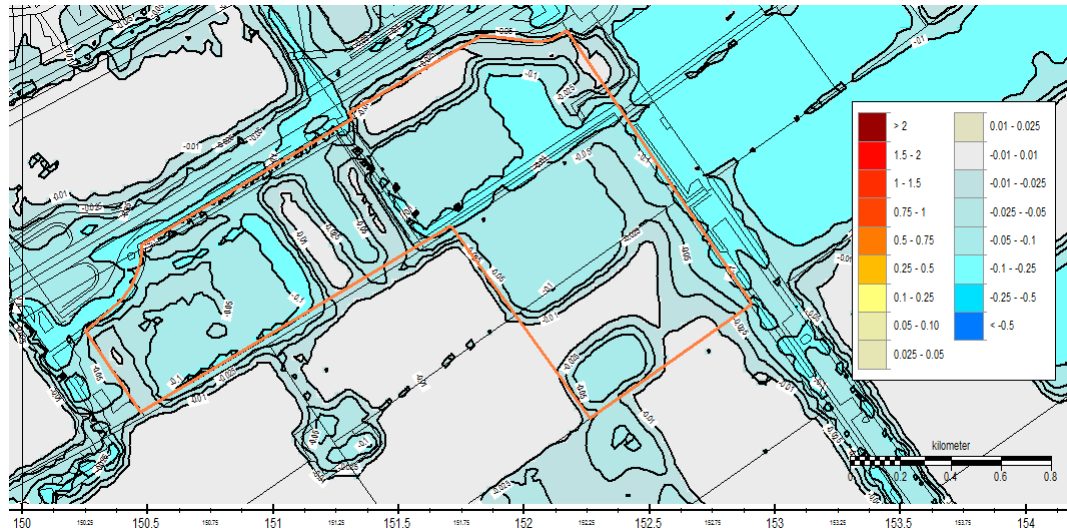
Figuur- II: Verschil in grondwaterstand tussen de huidige weerstand van de kleisheurenbodem en een verlaging van de weerstand met een factor 10.



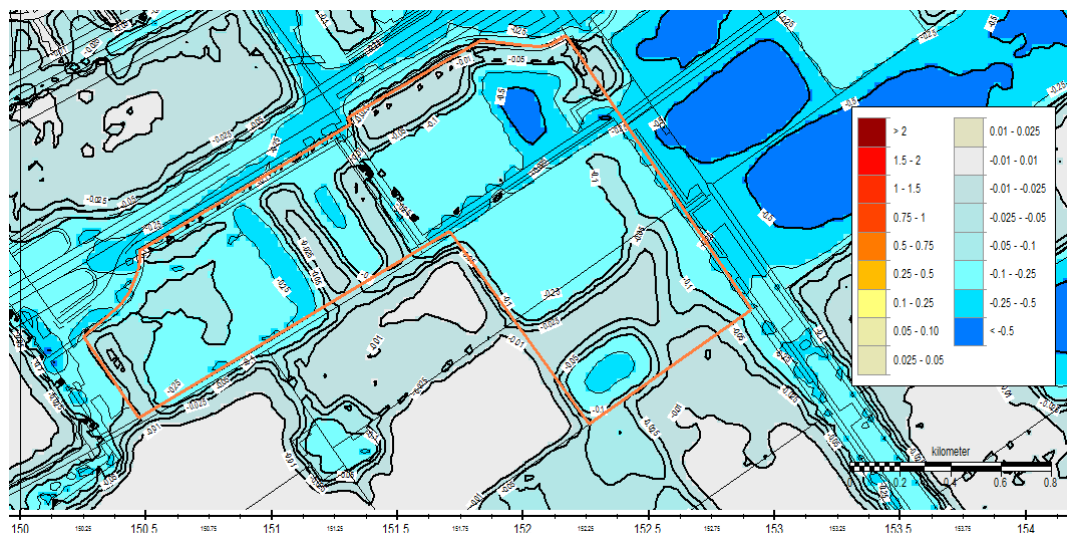
Figuur- mm: Verschil in head tussen de huidige doorlatendheid van de kleischeurenbodern en een verhoging van de doorlatendheid met factor 10



Figuur- nn: Verschil in head tussen de huidige doorlatendheid van de kleischeurenbodern en een verhoging van de doorlatendheid met factor 2



Figuur- oo: Verschil in head tussen de huidige doorlatendheid van de kleischeurenbodem en een verlaging van de doorlatendheid met factor 2



Figuur- pp: Verschil in head tussen de huidige doorlatendheid van de kleischeurenbodem en een verlaging van de doorlatendheid met factor 10

Tijdsafhankelijk model

Naast een statische modelberekening is ook een dynamische modelberekening uitgevoerd. Deze berekening is gedaan voor de periode 2001 tot en met 2005 met een celgrootte van 250 bij 250 meter. De verschillende cellen overlappen de verschillende landgebruiken binnen het plangebied. In figuur- qq zijn de geselecteerde cellen weergegeven voor de analyse van de tijdreeksen. Deze cellen bevatten alle verschillende landgebruiken.

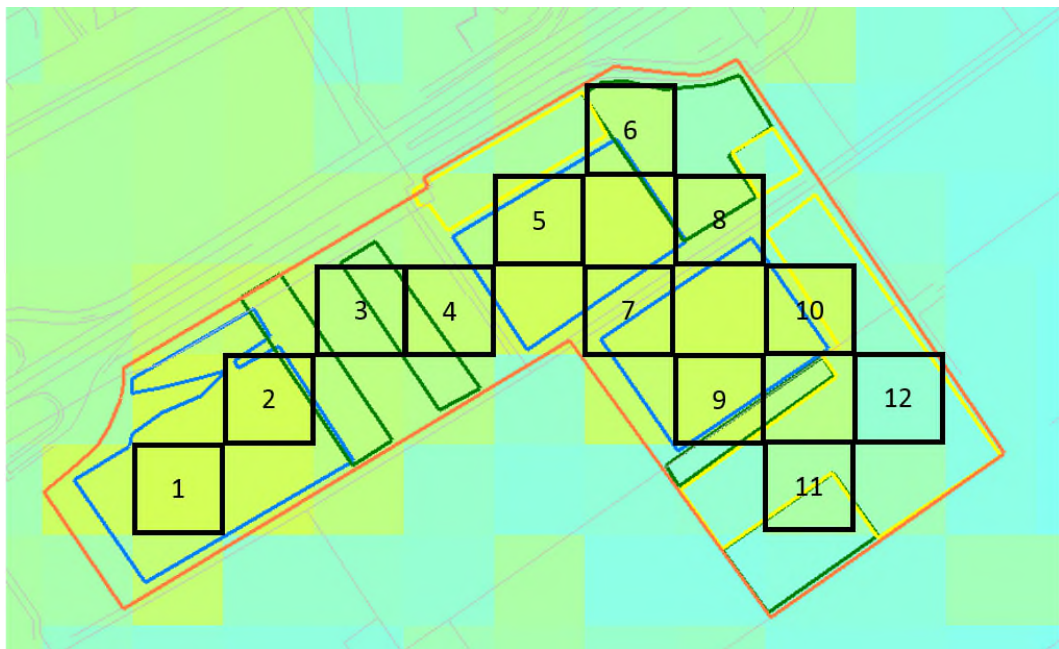
In figuur- rr zijn de grondwaterstanden in de cellen in de huidige situatie weergegeven voor de totale periode. Zoals verwacht zijn de grondwaterstanden hoger tijdens de herfst en winter. Opvallend is de droge zomer van 2003 met duidelijk lagere grondwaterstanden.

Hetzelfde model is ook uitgevoerd voor het VO, waarvan de tijdreeksen zijn weergegeven in figuur- ss. Duidelijk is te zien dat in een deel van de cellen de grondwaterstand in de zomer niet meer daalt, en (relatief) hoog blijft gedurende het jaar.

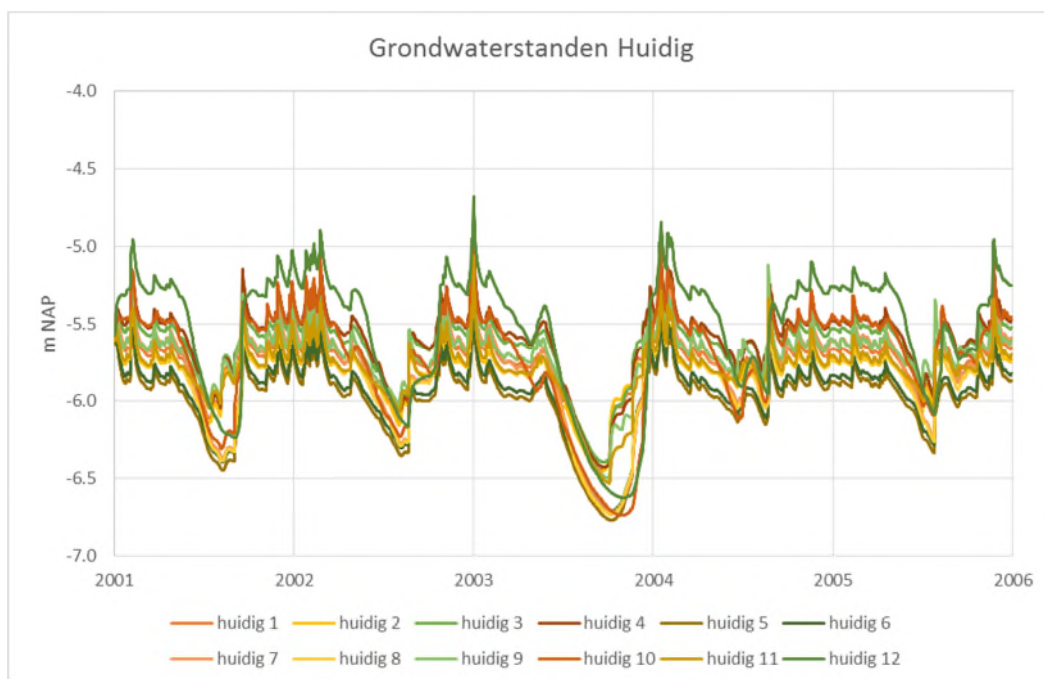
In figuur- tt zijn de tijdreeksen van de grondwaterstanden weergegeven voor de huidige situatie en het VO ter hoogte van de kleimoerassen. Hier is zeer duidelijk het verschil te zien in waterhoogte, waarbij bij de aanleg van de kleimoerassen het water niet tot nauwelijks zakt tijdens de zomerperiode en redelijk constant blijft.

figuur- uu geeft de tijdreeksen van de grondwaterstanden in de gebieden met bos- en landbouw weer. Hierin is te zien dat het grondwater tijdens de zomerperiode wel uitzakt, maar over het algemeen het grondwaterniveau hoger ligt dan in de huidige situatie.

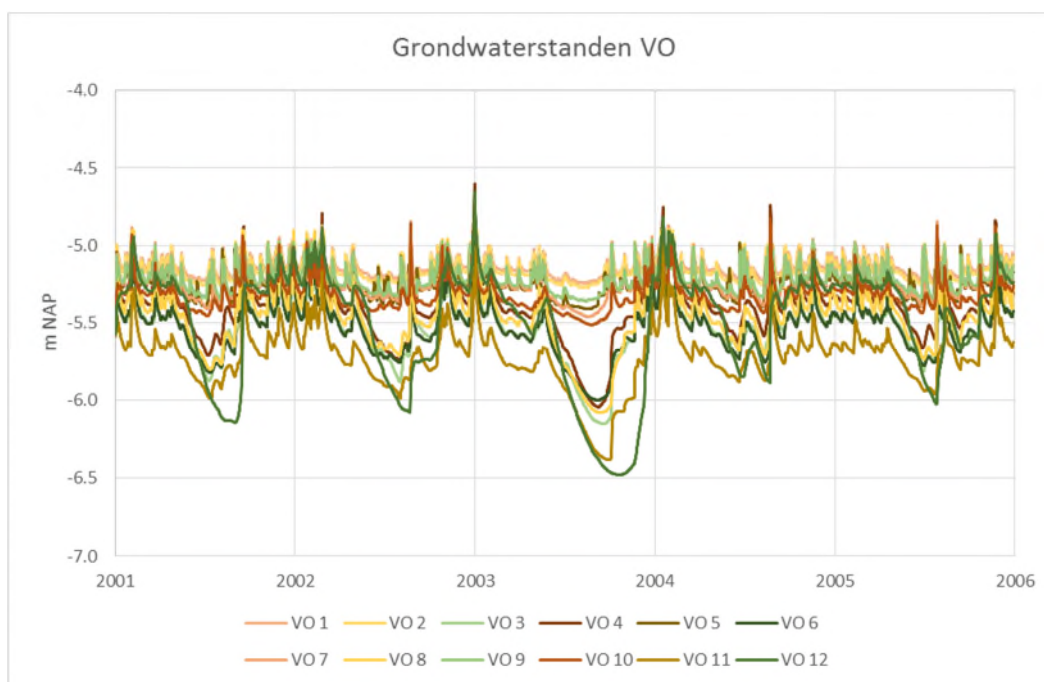
De verschillen tussen de huidige situatie en het VO zijn weergegeven in figuur- vv en figuur- ww, waarbij te zien is dat de verschillen in de gebieden waar de kleimoerassen komen groter zijn dan de overige gebieden.



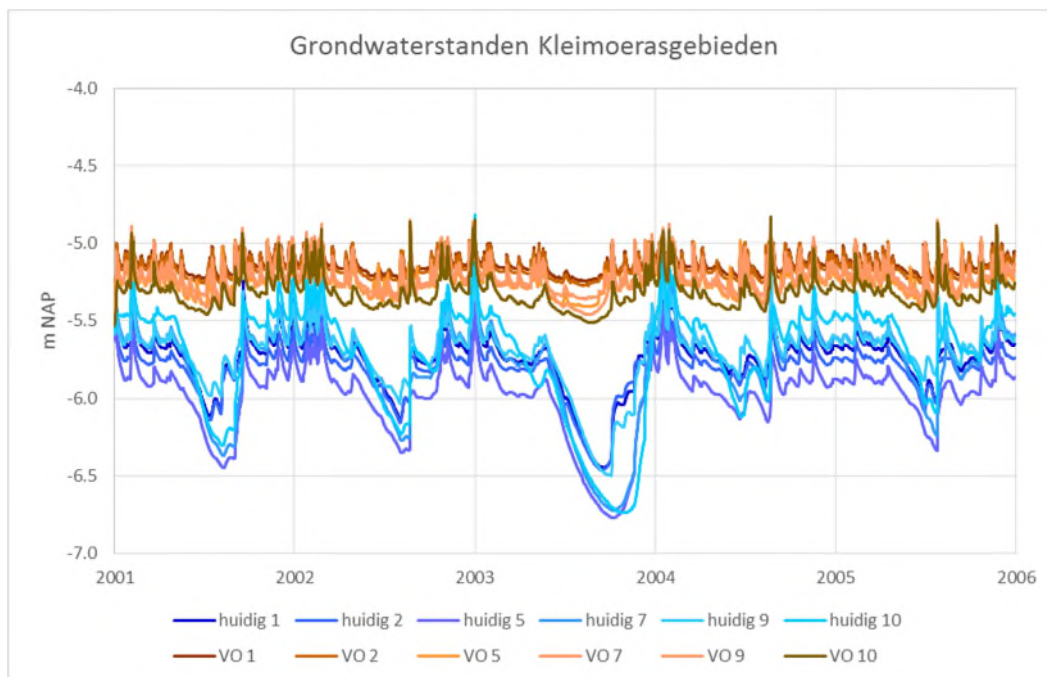
Figuur- qq: geselecteerde cellen voor de analyse van het dynamische model, waarin de cellen 1, 2, 5, 6, 9 en 10 binnen de kleimoerassen vallen en de cellen 3, 4, 6, 8, 11 en 12 binnen het bos en de landbouw



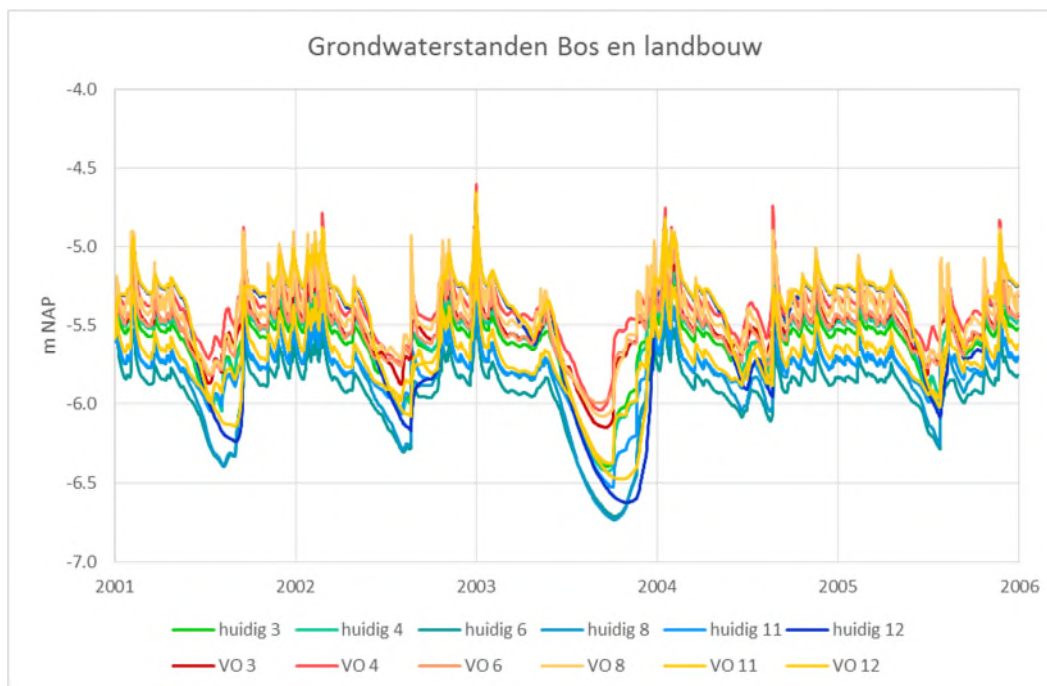
Figuur- rr: Grondwaterstanden tussen 2001 en 2006 voor de verschillende cellen in de huidige situatie



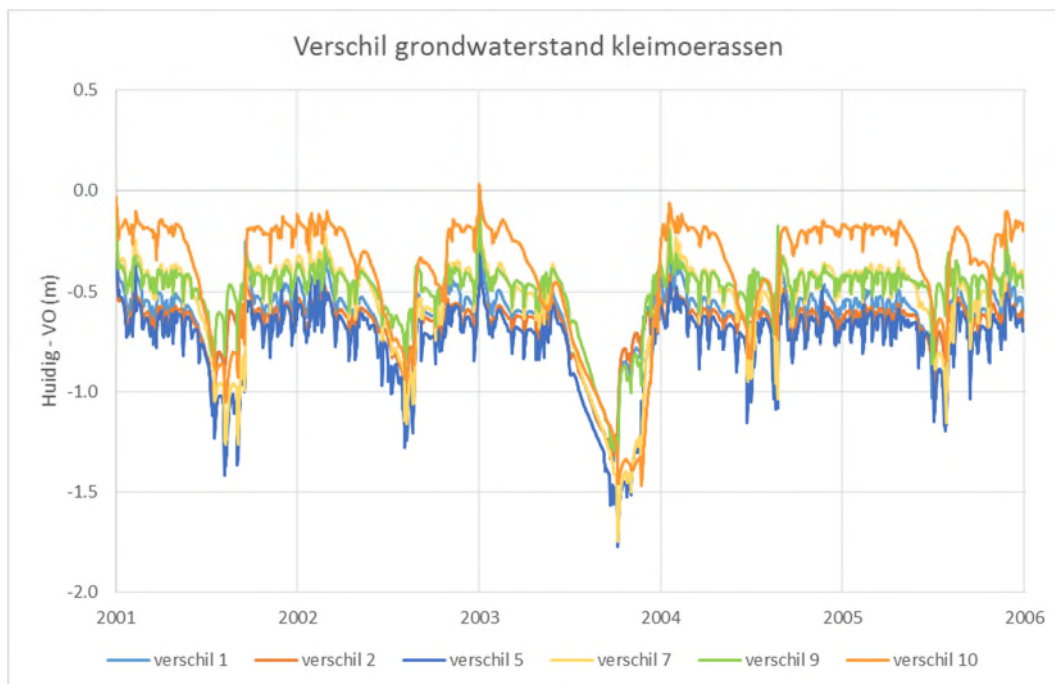
Figuur- ss: Grondwaterstanden tussen 2001 en 2006 voor de verschillende cellen voor het VO



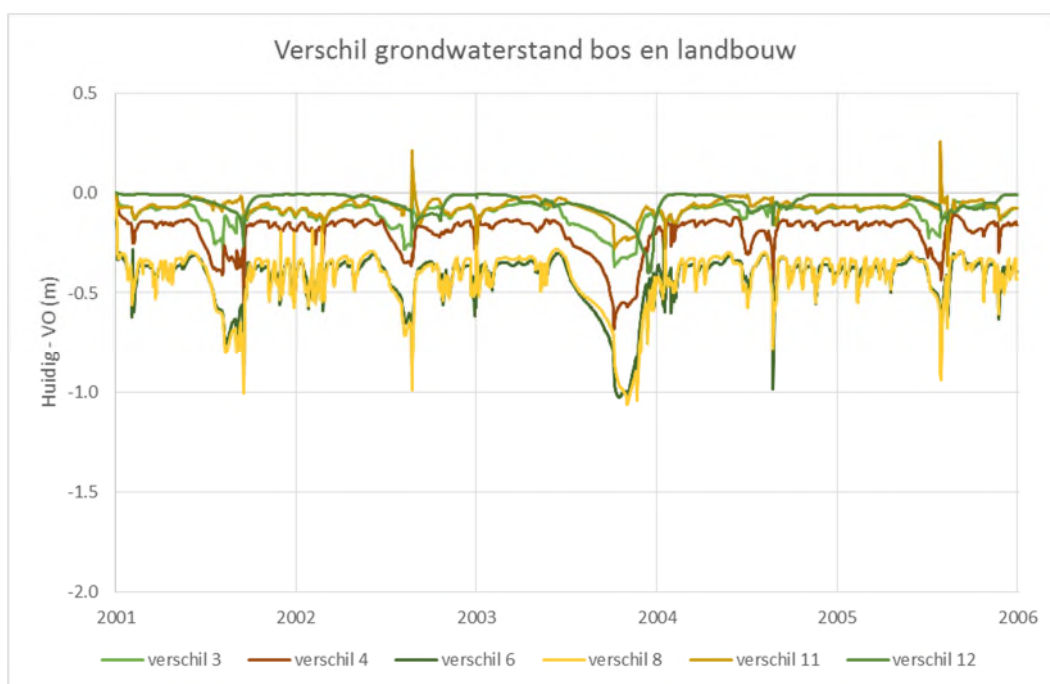
Figuur- tt: Grondwaterstanden tussen 2001 en 2006 voor de cellen met kleimoerassen in de huidige situatie (zonder kleimoerassen) en het VO



Figuur- uu: Grondwaterstanden tussen 2001 en 2006 voor de cellen met bos en landbouw in de huidige situatie (zonder bos) en het VO



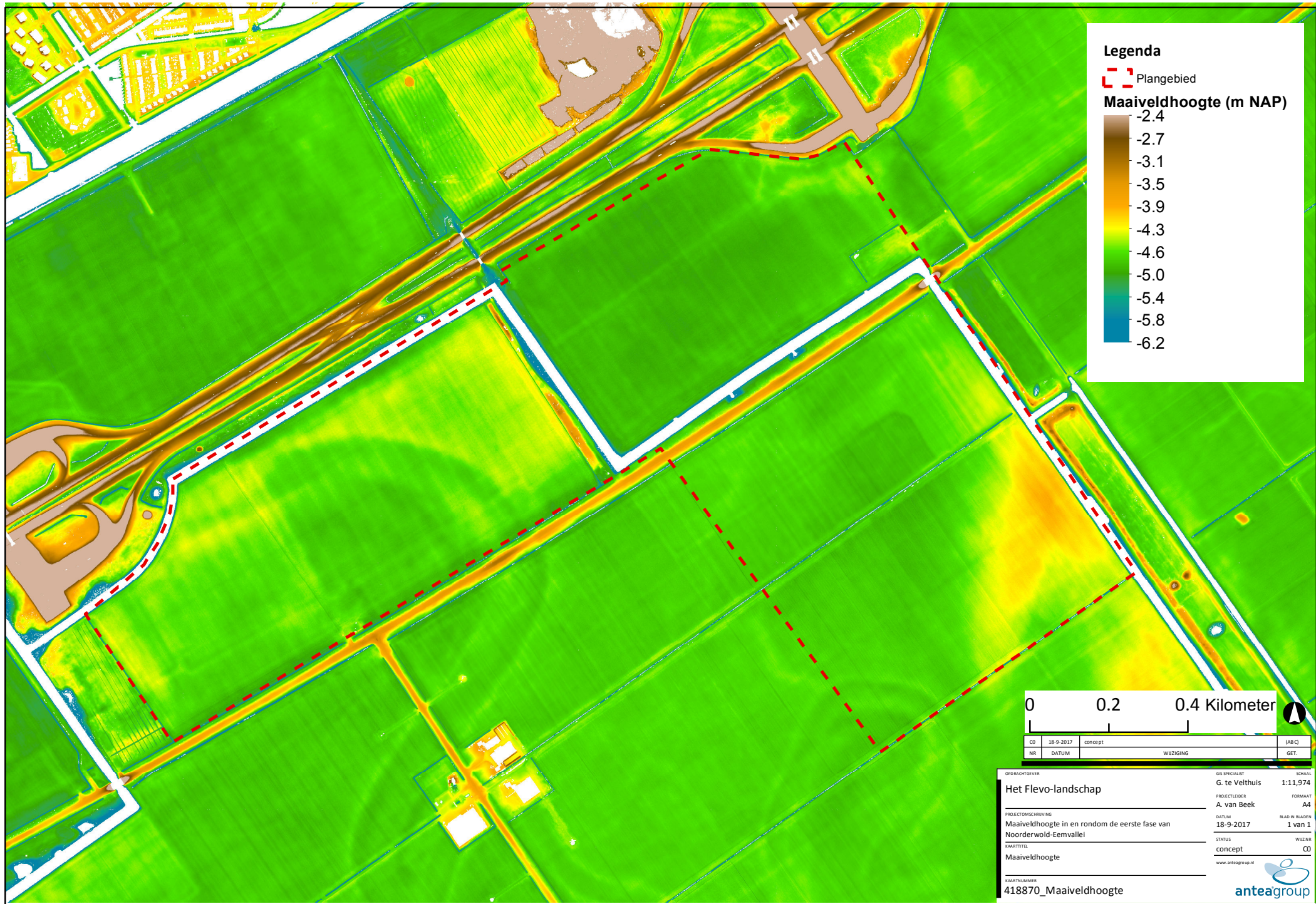
Figuur- vv: Tijdreeksen van het verschil in grondwaterstanden ter hoogte van de geplande kleimoerassen tussen de huidige situatie en het VO



Figuur- ww: Tijdreeksen van het verschil in grondwaterstanden ter hoogte van het geplande bos en de landbouw tussen de huidige situatie en het VO

Bijlage 2 Hoogtekaart plangebied

Bijlage 2 Hoogtekaart plangebied

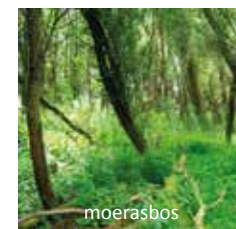
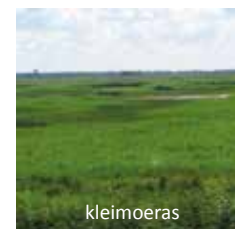
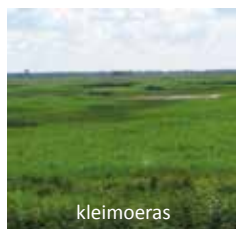
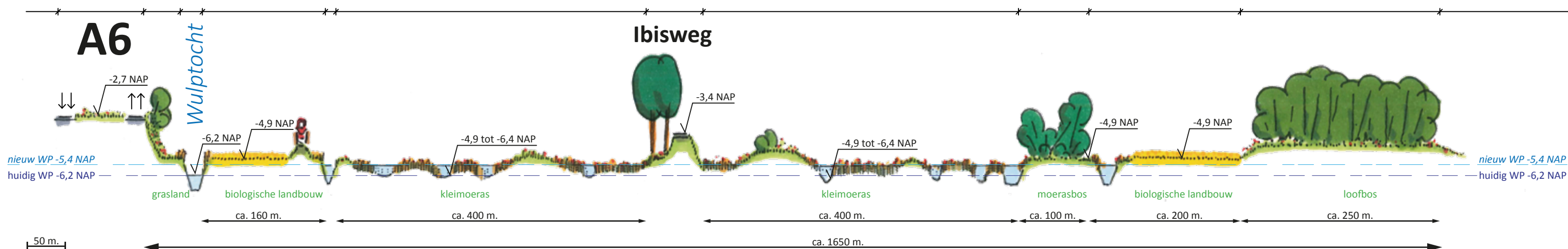
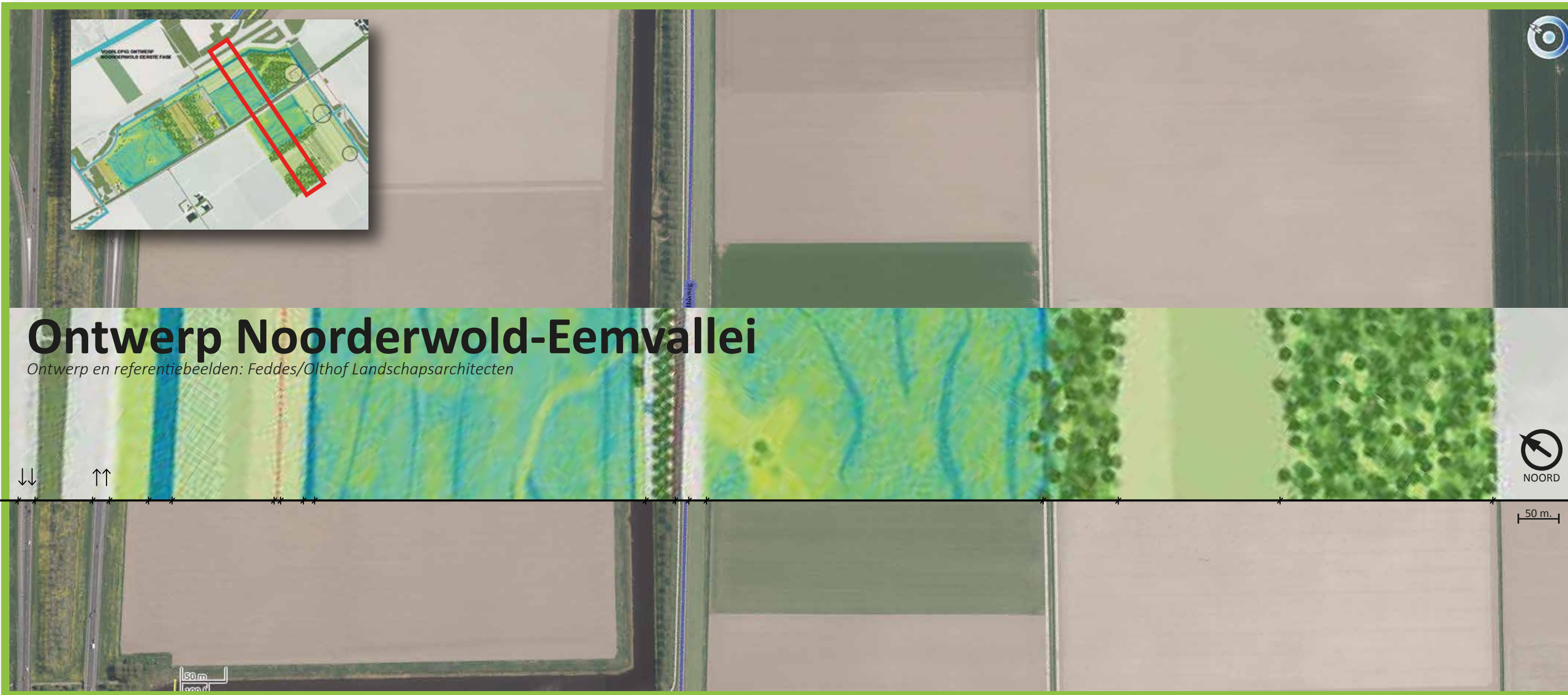


Bijlage 3 Kostenraming

Bijlage 3 Kostenraming

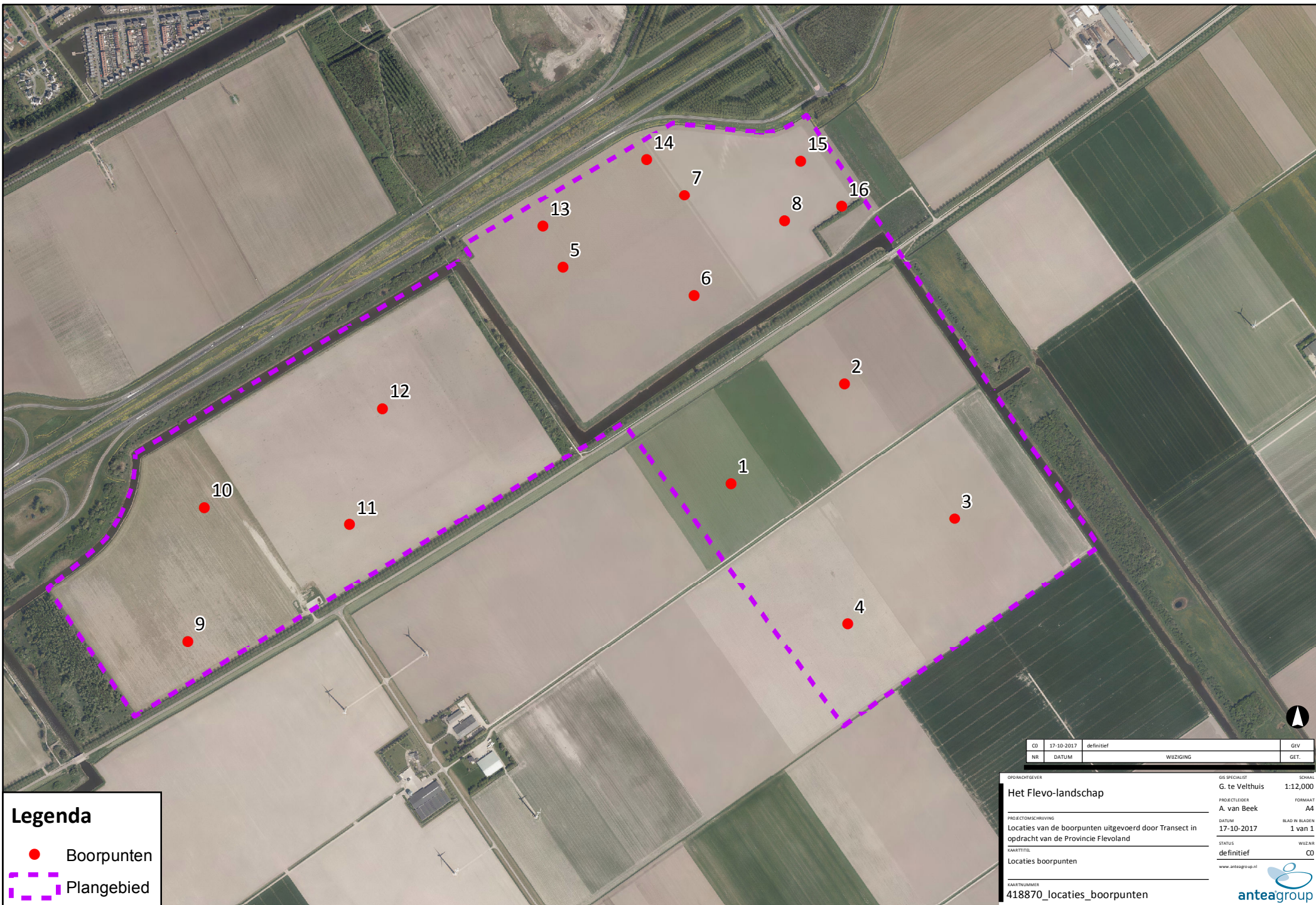
Bijlage 4 Dwarsprofiel plangebied

Bijlage 4 Dwarsprofiel plangebied



Bijlage 5 Kaart boorpunten

Bijlage 5 Kaart boorpunten



Legenda

Boorpunten

Plangebied

CD	17-10-2017	definitief	GEV
NR	DATUM	WIJZIGING	GET.

OPDRACHTGEVER

Het Flevo-landschap

PROJECTOMSCHRIJVING

Locaties van de boorpunten uitgevoerd door Transect in opdracht van de Provincie Flevoland

KAARTITTEL

Locaties boorpunten

KAARTNUMMER

418870_locaties_boorpunten

GIS SPECIALIST

G. te Velthuis

PROJECTLEIDER

A. van Beek

DATUM

17-10-2017

STATUS

definitief

WIJZIGING

CD

SCHAAL

1:12,000

FORMAAT

A4

BLAD IN BLADEN

1 van 1

www.anteagroup.nl

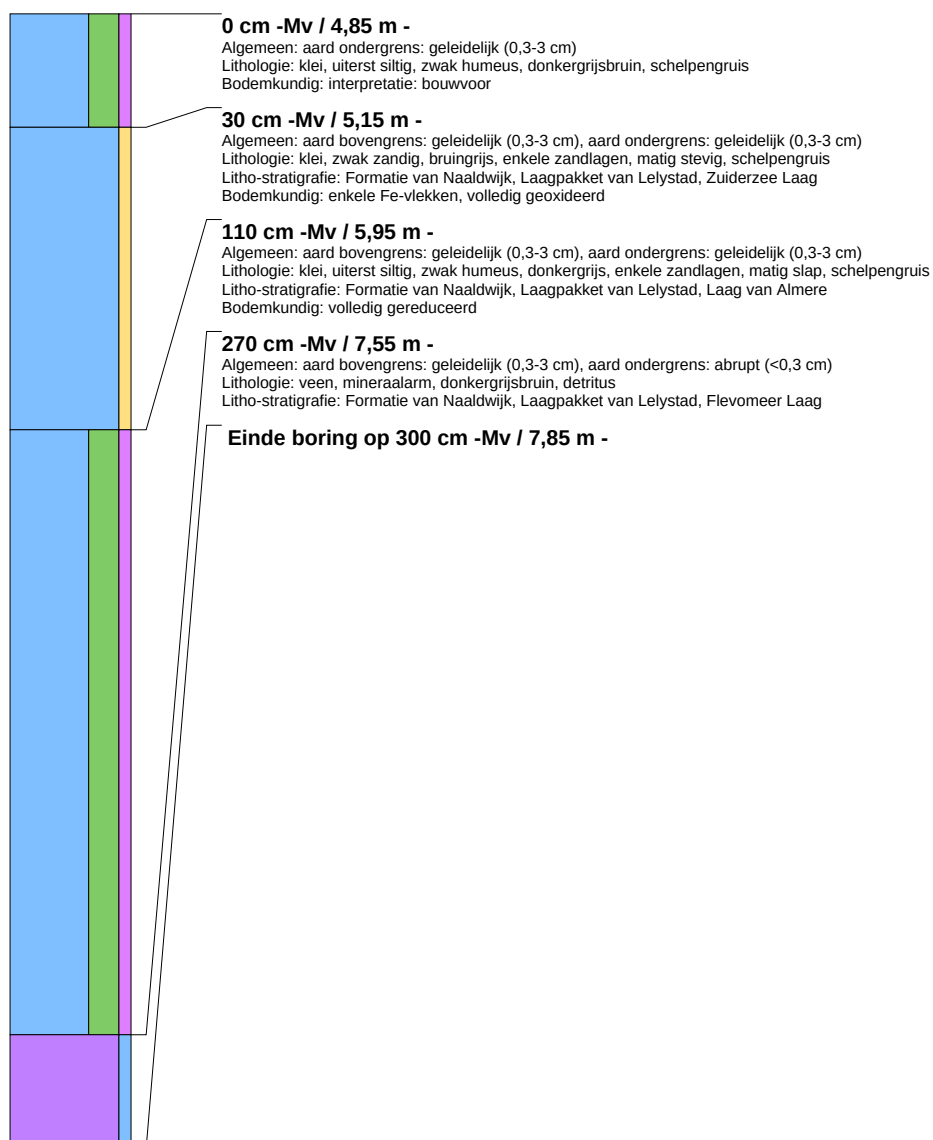
Bijlage 6 Boorbeschrijving boorpunten

Bijlage 6 Boorbeschrijving boorpunten



boring: NWOLD-1

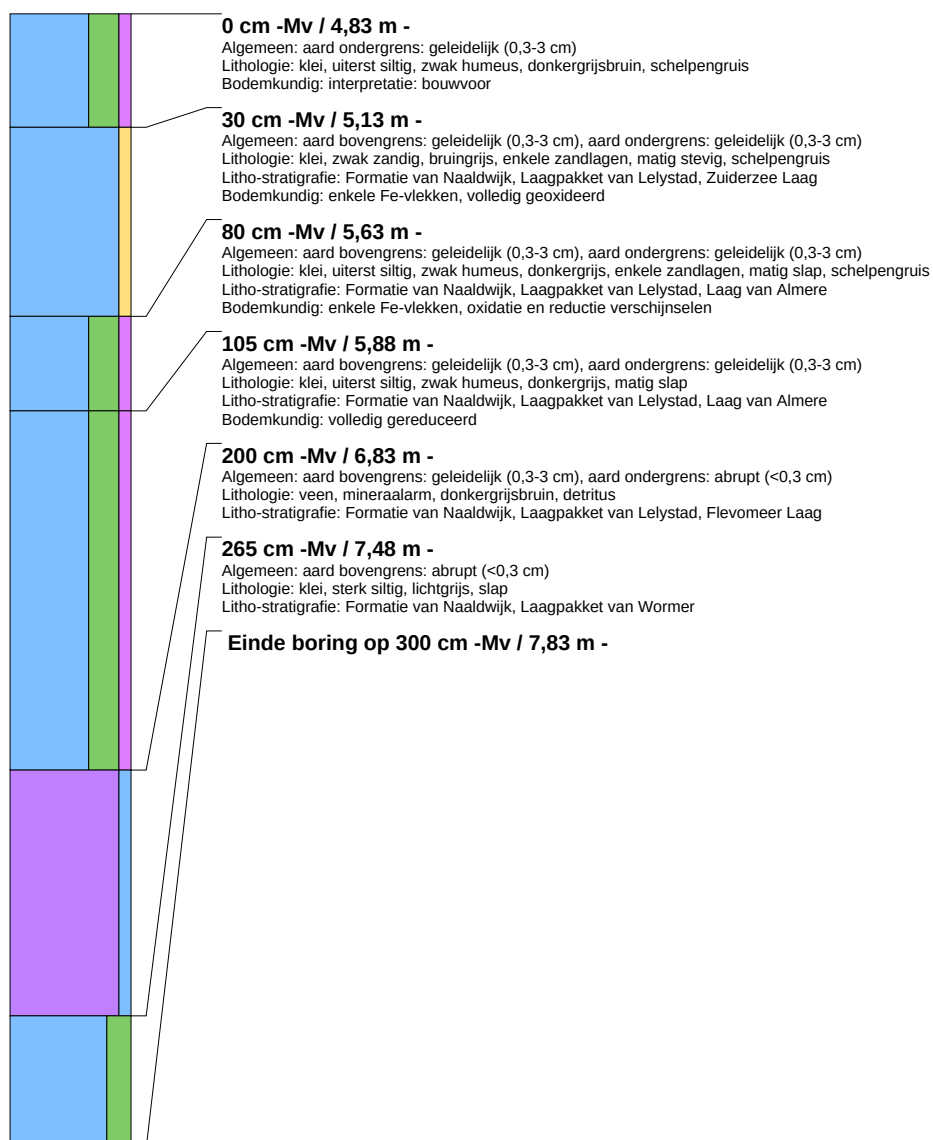
beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 151.980, Y: 488.883, hoogte: -4,85, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect





boring: NWOLD-2

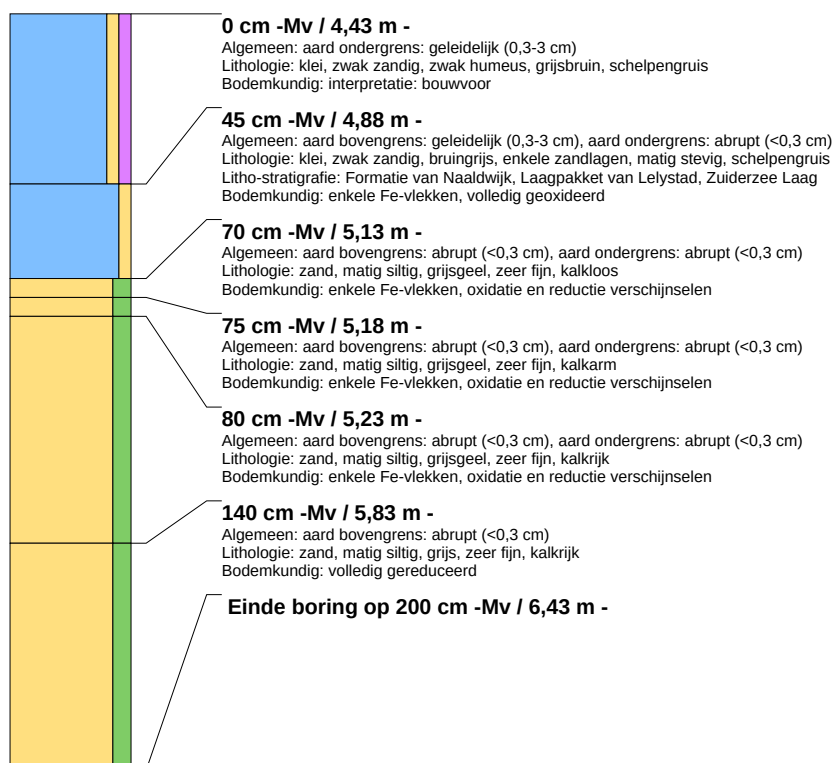
beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 152.261, Y: 489.136, hoogte: -4,83, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect





boring: NWOLD-3

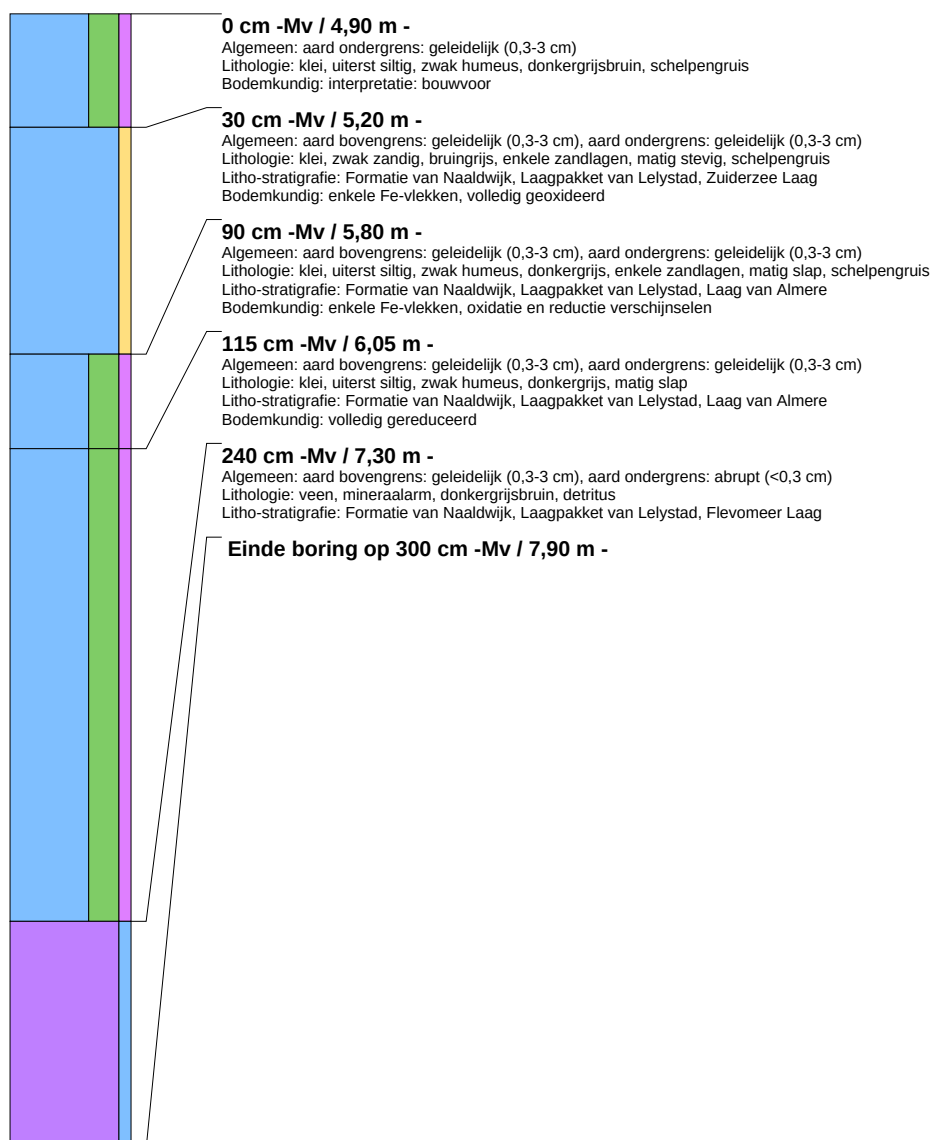
beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 152.545, Y: 488.795, hoogte: -4,43, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect





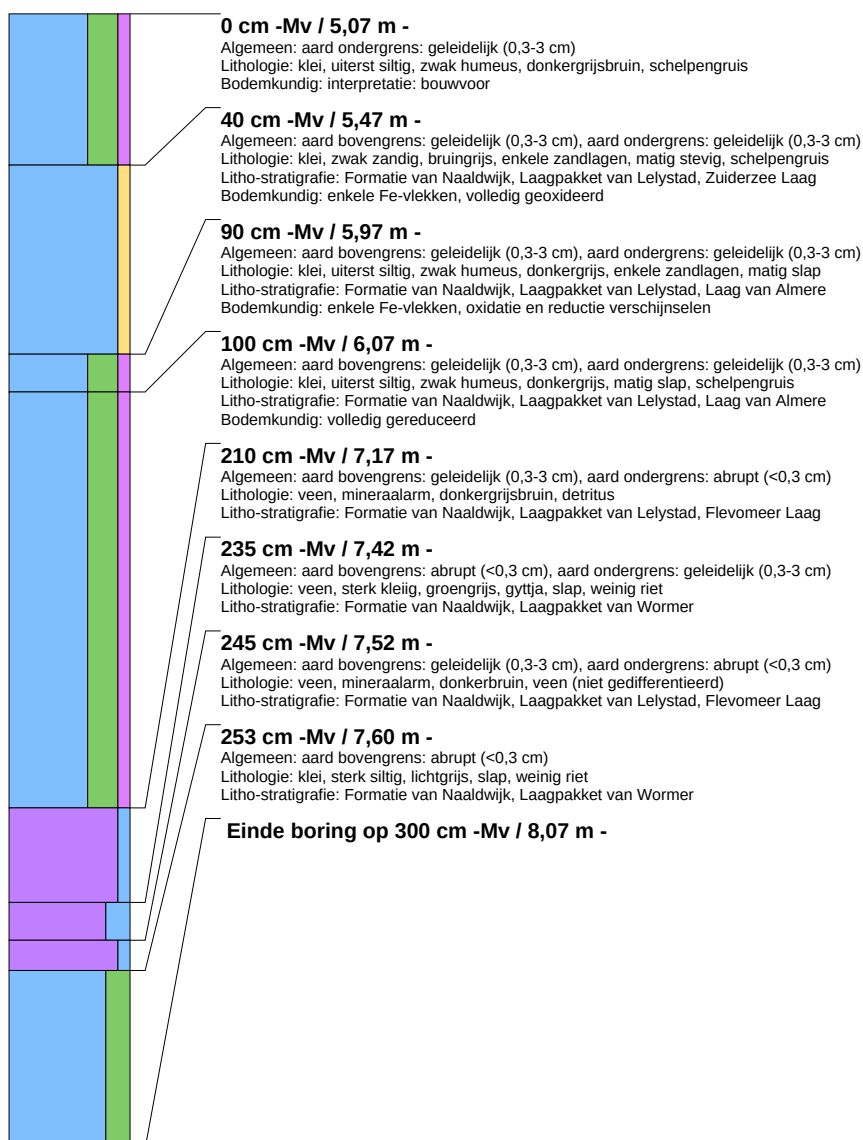
boring: NWOLD-4

beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 152.274, Y: 488.529, hoogte: -4,90, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect



boring: NWOLD-5

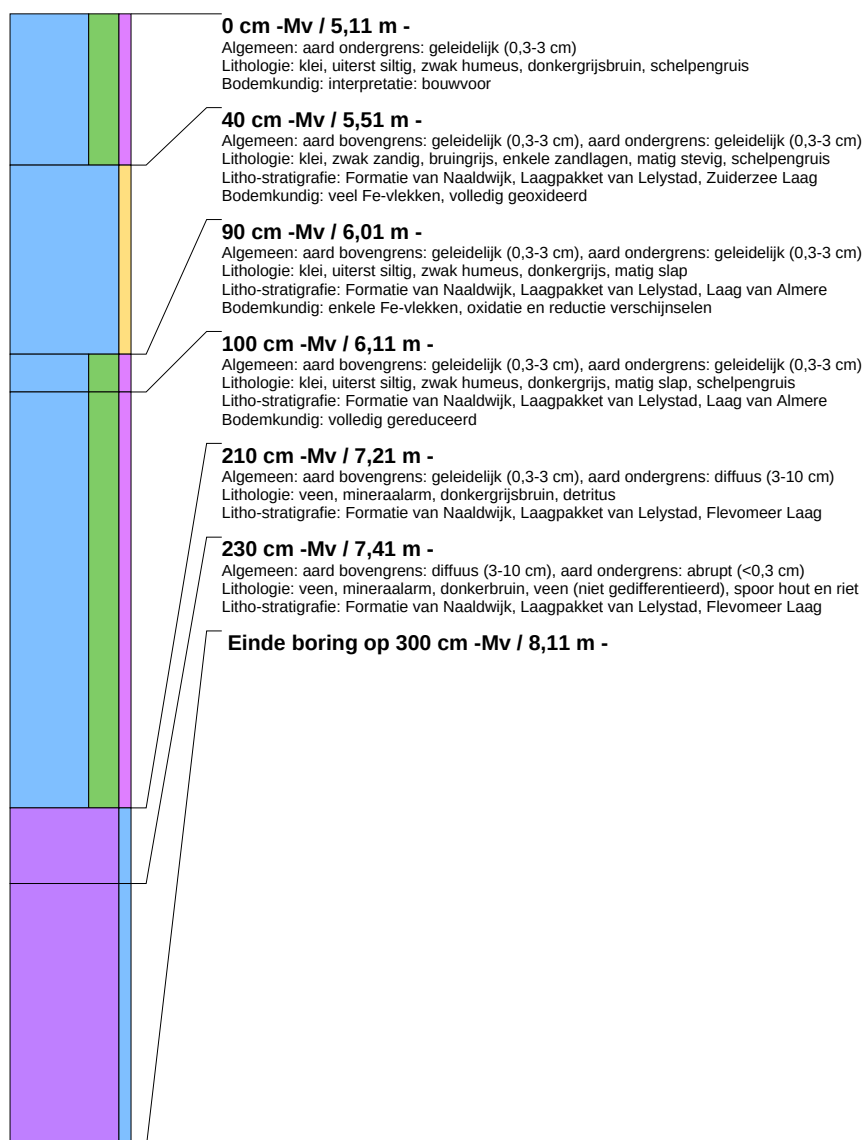
beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 151.555, Y: 489.431, hoogte: -5,07, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect





boring: NWOLD-6

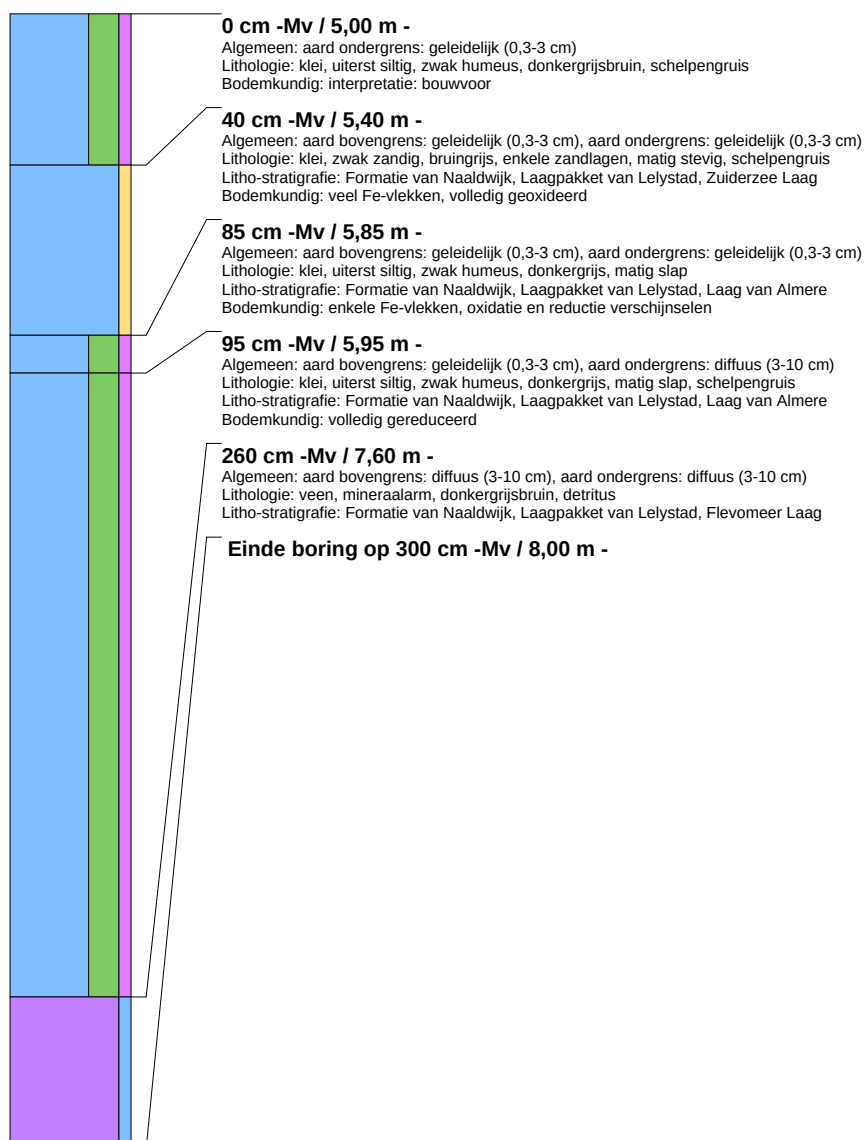
beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 151.886, Y: 489.360, hoogte: -5,11, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect





boring: NWOLD-7

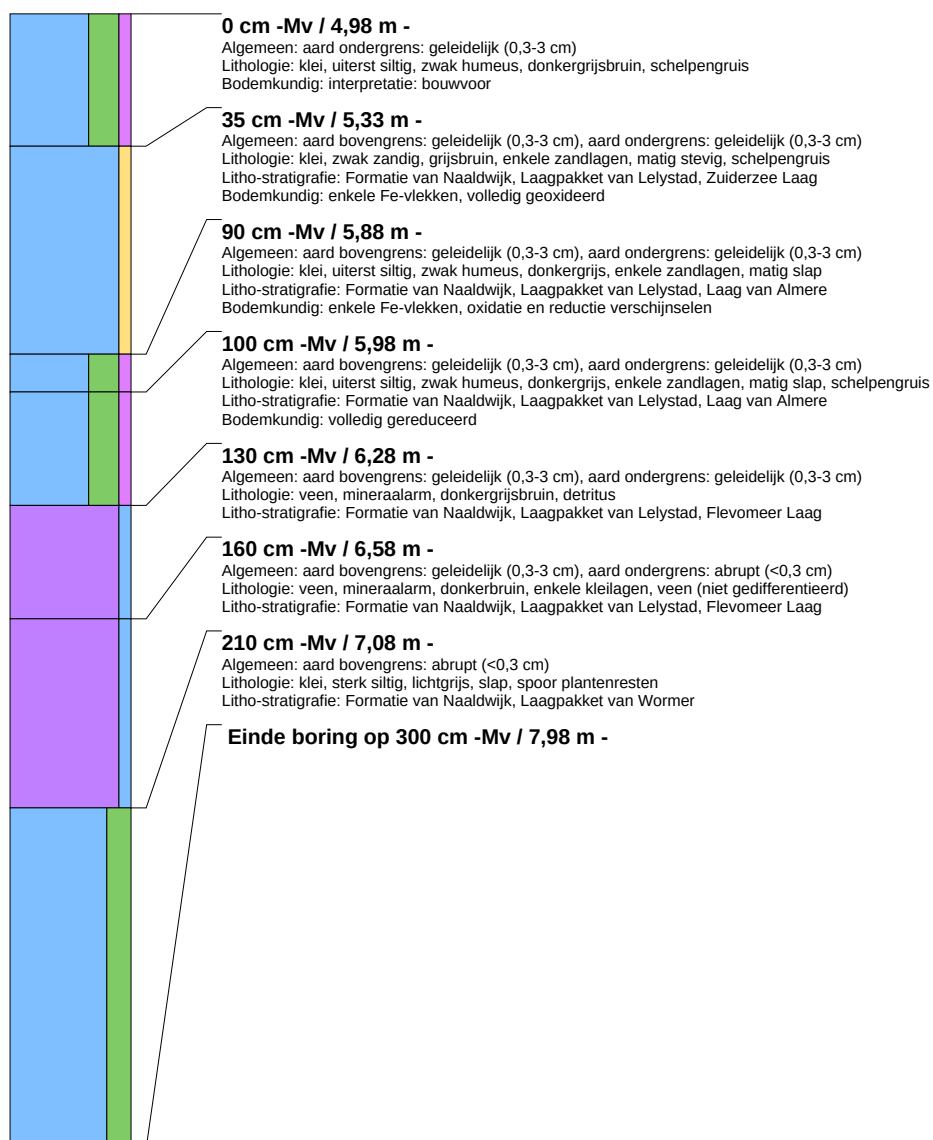
beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 151.863, Y: 489.613, hoogte: -5,00, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect





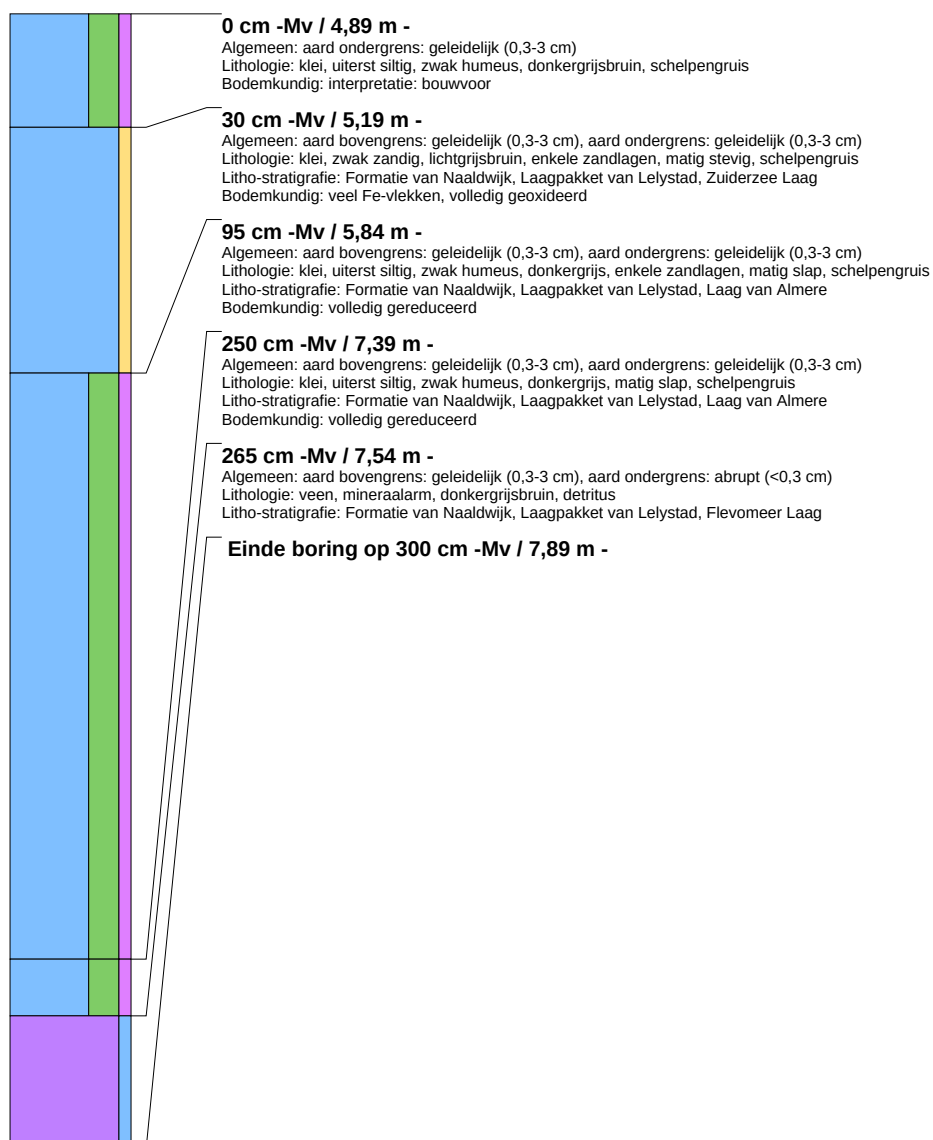
boring: NWOLD-8

beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 152.115, Y: 489.548, hoogte: -4,98, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect



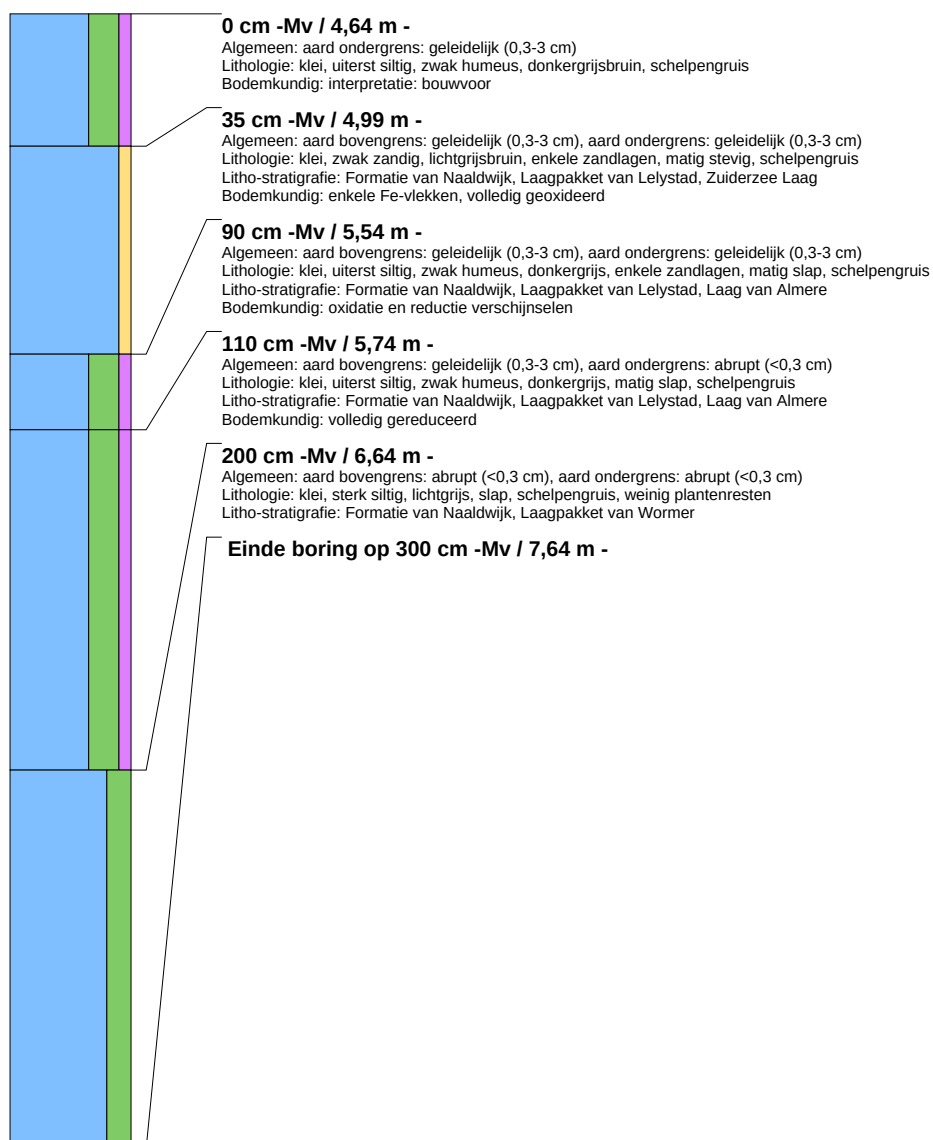
boring: NWOLD-9

beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 150.607, Y: 488.485, hoogte: -4,89, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect



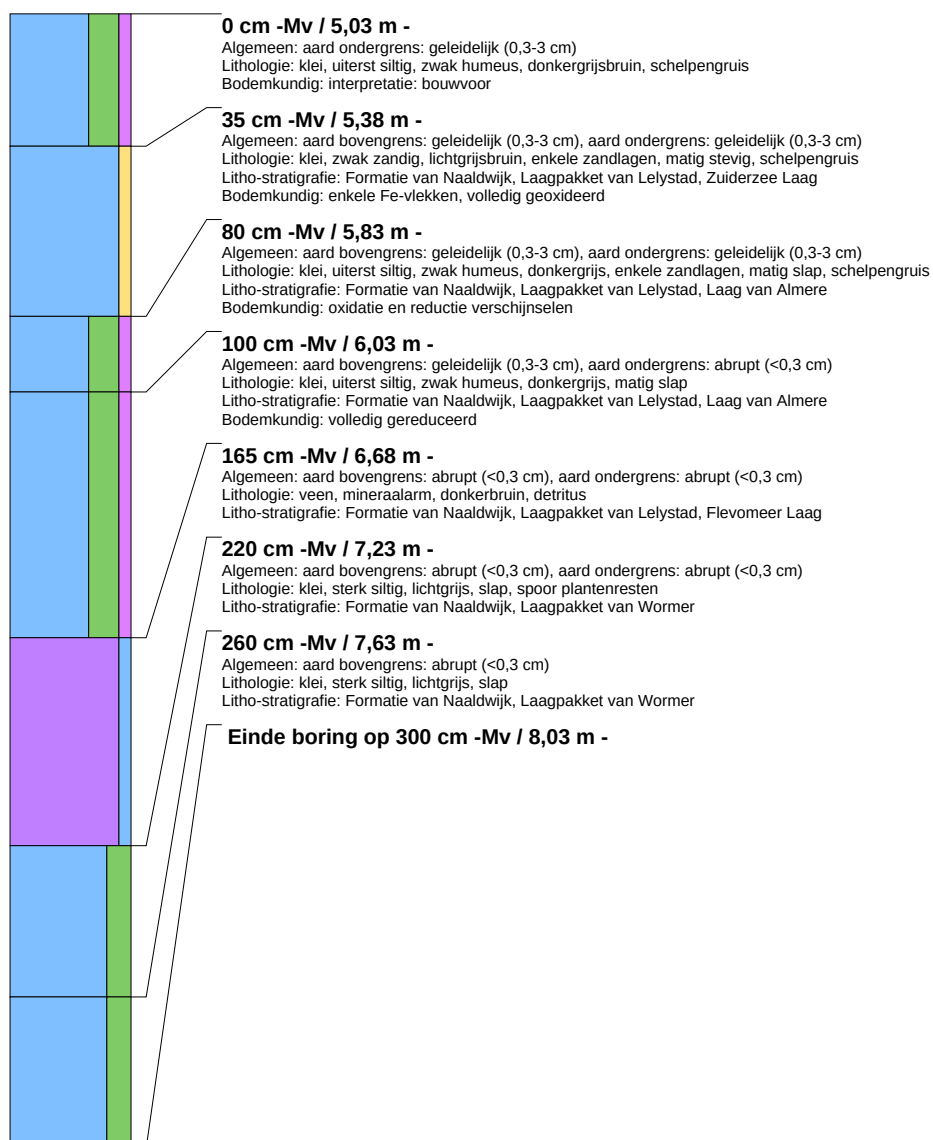
boring: NWOLD-10

beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 150.648, Y: 488.824, hoogte: -4,64, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect



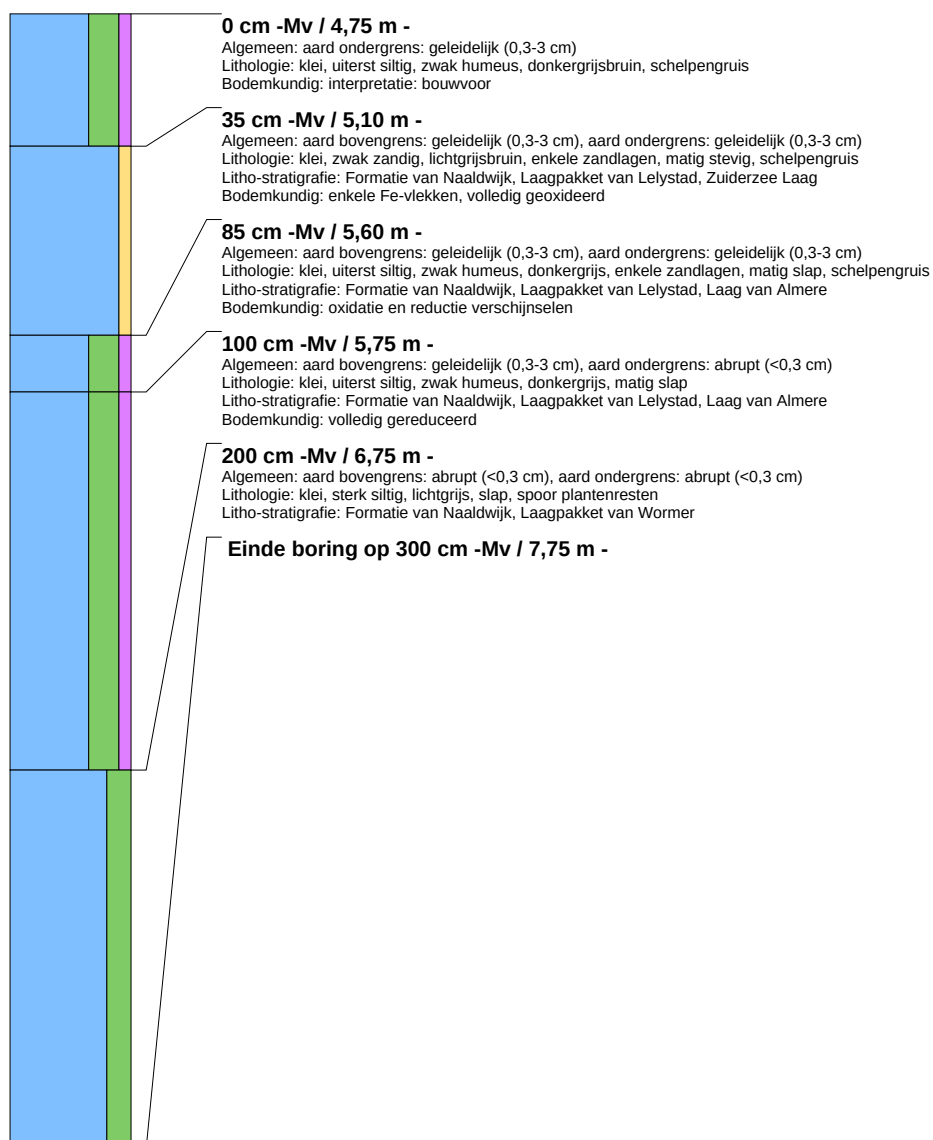
boring: NWOLD-11

beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 151.016, Y: 488.779, hoogte: -5,03, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect



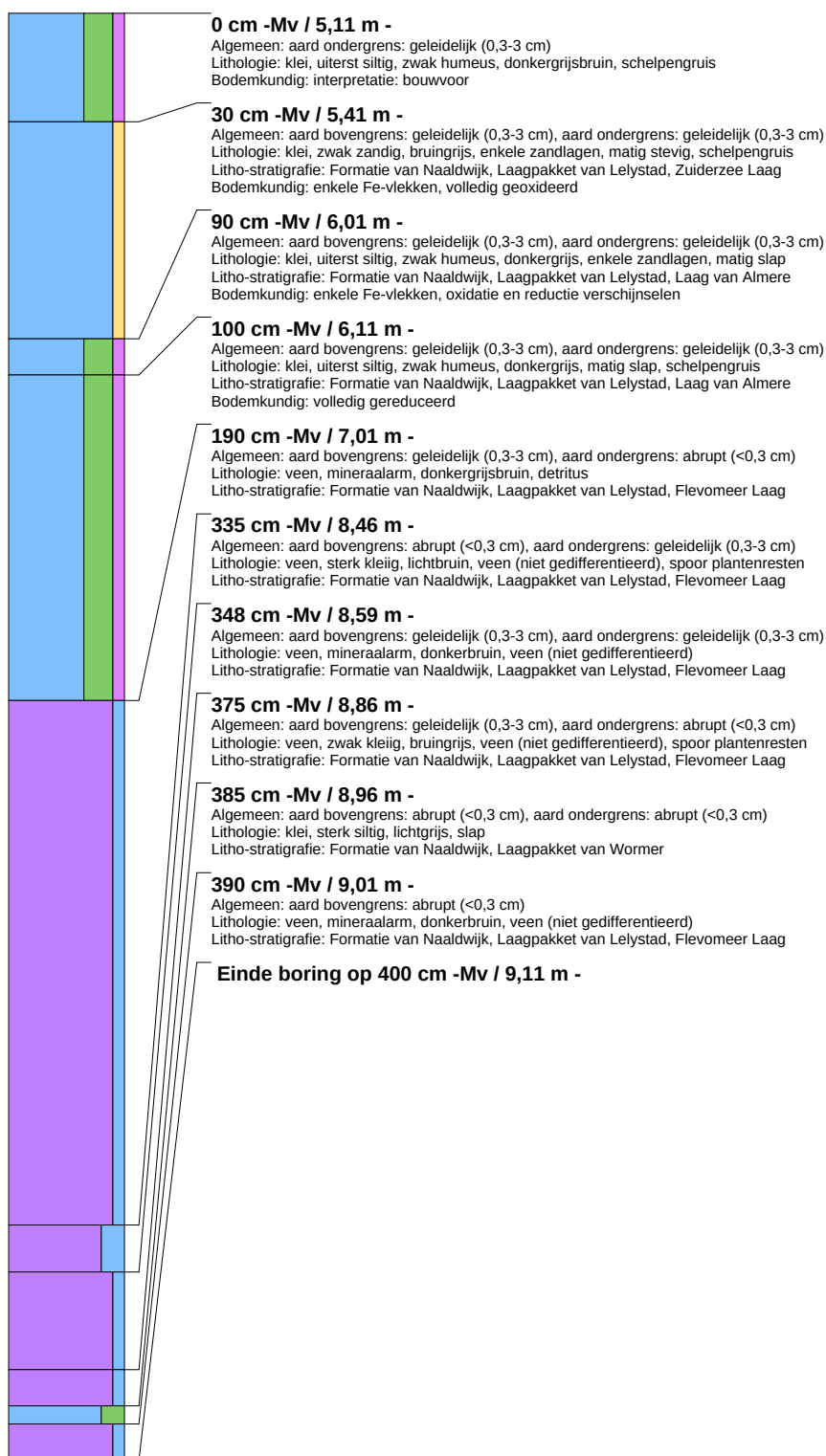
boring: NWOLD-12

beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 151.099, Y: 489.074, hoogte: -4,75, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect



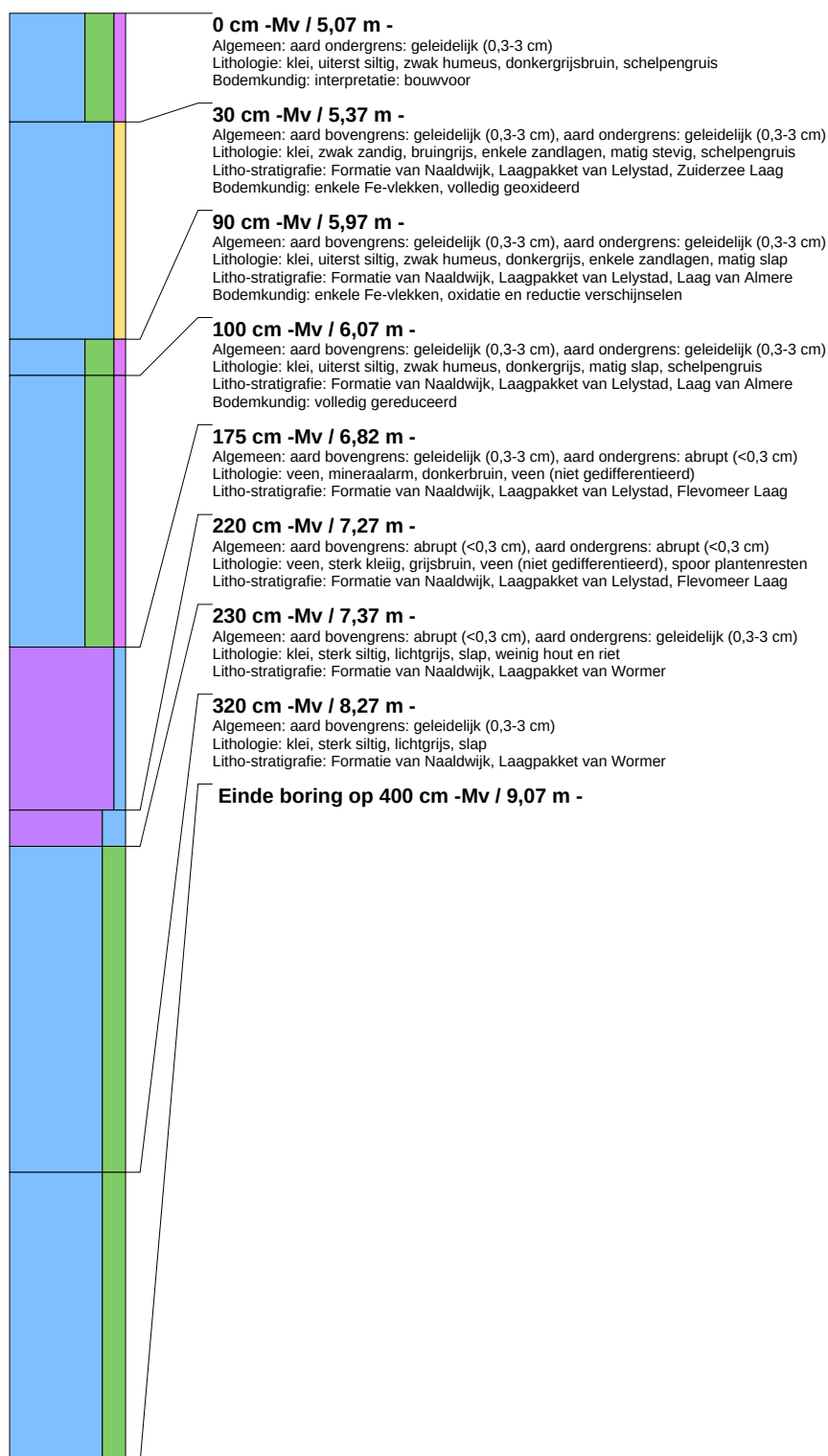
boring: NWOLD-13

beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 151.504, Y: 489.535, hoogte: -5,11, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect



boring: NWOLD-14

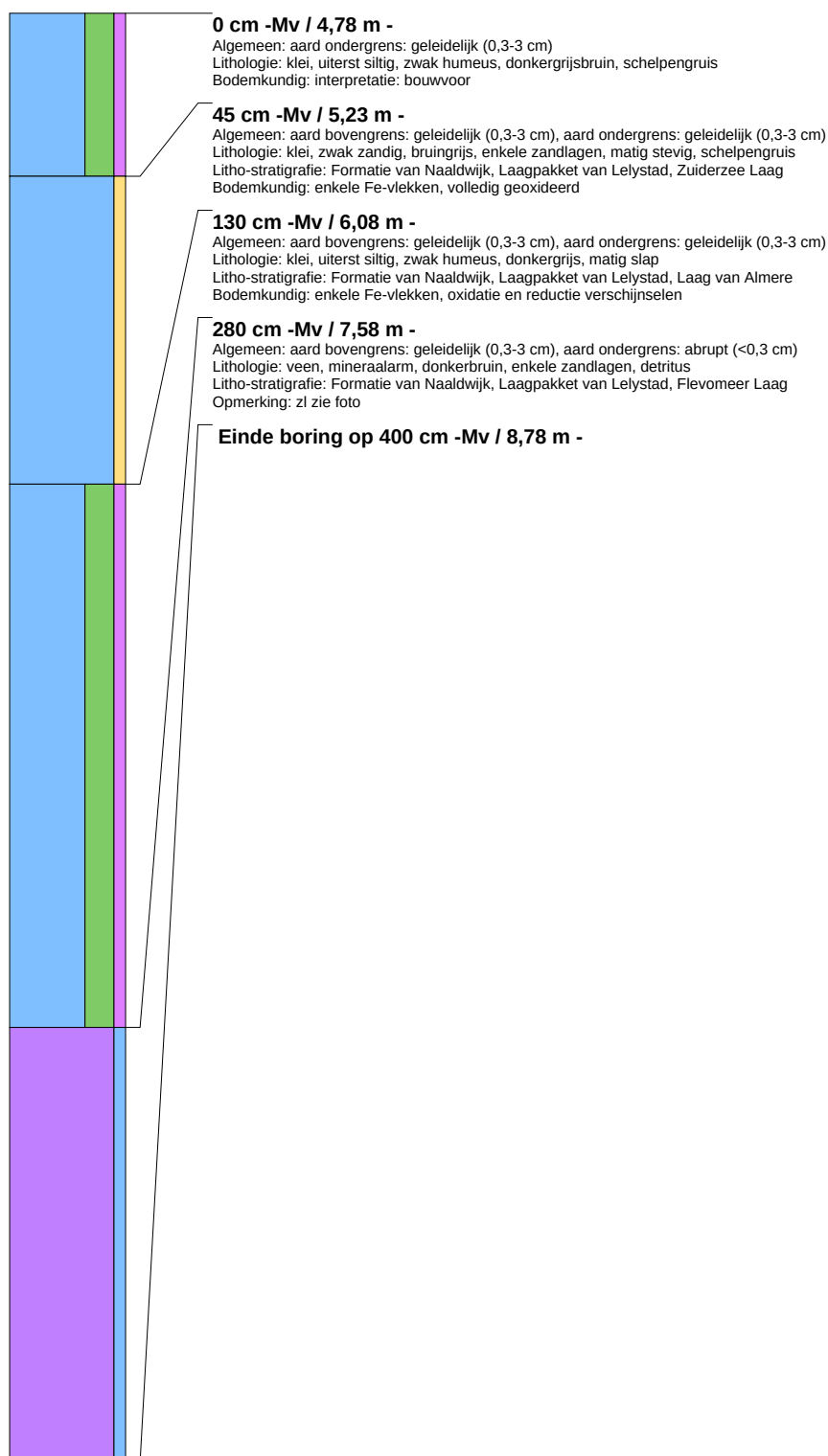
beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 151.766, Y: 489.703, hoogte: -5,07, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect





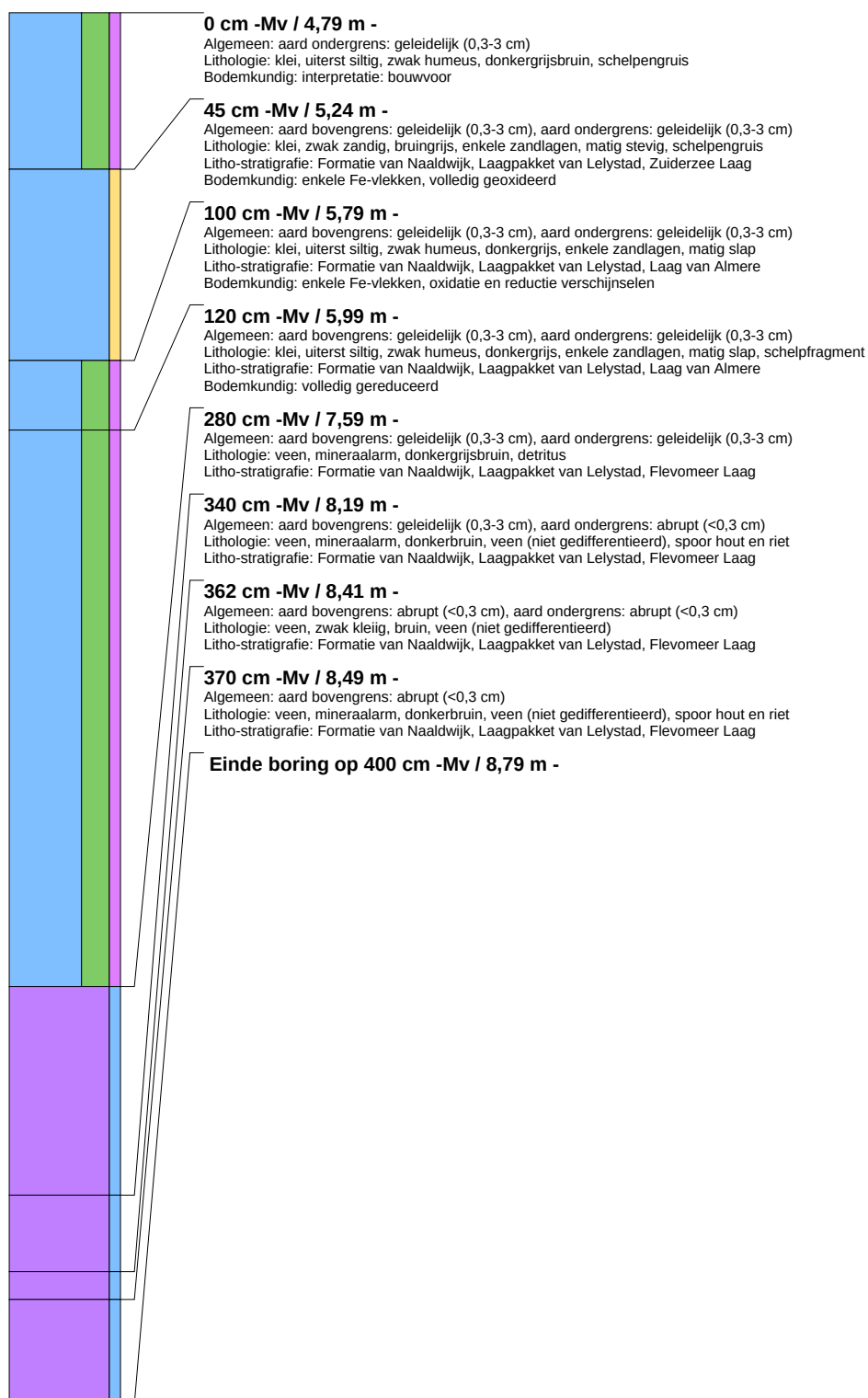
boring: NWOLD-15

beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 152.156, Y: 489.699, hoogte: -4,78, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect



boring: NWOLD-16

beschrijver: MS, datum: 23-5-2017, X: 152.260, Y: 489.584, hoogte: -4,79, landgebruik: akker, provincie: Flevoland, gemeente: Almere, opdrachtgever: Provincie Flevoland, uitvoerder: Transect



Over Antea Group

Van stad tot land, van water tot lucht; de adviseurs en ingenieurs van Antea Group dragen in Nederland sinds jaar en dag bij aan onze leefomgeving. We ontwerpen bruggen en wegen, realiseren woonwijken en waterwerken. Maar we zijn ook betrokken bij thema's zoals milieu, veiligheid, assetmanagement en energie. Onder de naam Oranjewoud groeiden we uit tot een allround en onafhankelijk partner voor bedrijfsleven en overheden. Als Antea Group zetten we deze expertise ook mondiaal in. Door hoogwaardige kennis te combineren met een pragmatische aanpak maken we oplossingen haalbaar én uitvoerbaar. Doelgericht, met oog voor duurzaamheid. Op deze manier anticiperen we op de vragen van vandaag en de oplossingen van de toekomst. Al meer dan 60 jaar.

Contactgegevens

Beneluxweg 125
4904 SJ OOSTERHOUT
Postbus 40
4900 AA OOSTERHOUT
T. 0612150767
E. suzan.vandendriest@anteagroup.com

www.anteagroup.nl

Copyright © 2017

Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd en/of openbaar worden
gemaakt door middel van druk, fotokopie,
elektronisch of op welke wijze dan ook,
zonder schriftelijke toestemming van de
auteurs.