



Effectberekeningen natuurinrichting Worsumsche Broek

Provincie Gelderland

13 juni 2022

Project Effectberekeningen natuurinrichting Worsumsche Broek
Opdrachtgever Provincie Gelderland

Document Effectberekeningen natuurinrichting Worsumsche Broek
Status Definitief
Datum 13 juni 2022
Referentie 130787/22-008.600

Projectcode 130787

Projectleider
Projectdirecteur

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

Paraaf

Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Daalsesingel 51c
Postbus 24087
3502 MB Utrecht
+31 (0)30 765 19 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veelelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	5
1.3	Leeswijzer	5
2	GEBIEDSBESCHRIJVING	6
2.1	Projectlocatie	6
2.2	Maaiveld	6
2.3	Bodemopbouw	7
2.4	Oppervlaktewater	8
2.5	Landgebruik	9
2.6	Grondwater	9
3	WERKZAAMHEDEN	12
3.1	Dempen	12
3.2	Opstuwen	13
3.3	Belemen	13
3.4	Afgraven	13
4	METHODE	15
4.1	Grondwatermodel	15
4.2	Lagenmodel MORIA	16
4.3	Maatregelen	17
5	RESULTATEN	19
5.1	Verandering grondwaterstand	19
5.2	Verandering kwelflux	20
5.3	Invloed op omgeving (afgeleide effecten)	22

6	CONCLUSIE	24
7	REFERENTIES	25
	Laatste pagina	25
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Situatietekening	1
II	Dwarsprofielen	2
III	Lagenmodel Moria	1

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

In het kader van natuurontwikkeling in het Worsumsche Broek is een inrichtingsplan in voorbereiding. Voor een aantal percelen worden veranderingen beoogd die mogelijk een effect hebben op het huidige grondwaterpeil en -stroming. Veranderingen aan de waterhuishouding zijn het verhogen van het streefpeil, belemen en verondiepen van watergangen, ontgraven van percelen en het dempen van watergangen. Het is de verwachting dat de invloed van de ruimtelijke ontwikkelingen op het grondwater beperkt zijn. Echter is een (verkenkende) modelberekening benodigd om inzicht te krijgen van de invloed op de omgeving.

1.2 Doel

De doelstelling van de voorliggende rapportage is de afleiding van de effecten van de ruimtelijke ingrepen op de grondwaterstand en -stroming. Hierbij wordt de afgeleide effecten op de bebouwde omgeving, graslanden en vennengebieden beschreven.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de projectlocatie omschreven. De geplande werkzaamheden zijn toegelicht in hoofdstuk 3. Het gebruikte model en de methode om de ruimtelijke ontwikkelingen in het model te verwerken is omschreven in hoofdstuk 4. Het vijfde hoofdstuk presenteert de berekende resultaten van de invloed op de grondwaterstand en kwel/inzijging. Tot slot wordt in het zesde hoofdstuk de conclusie gegeven.

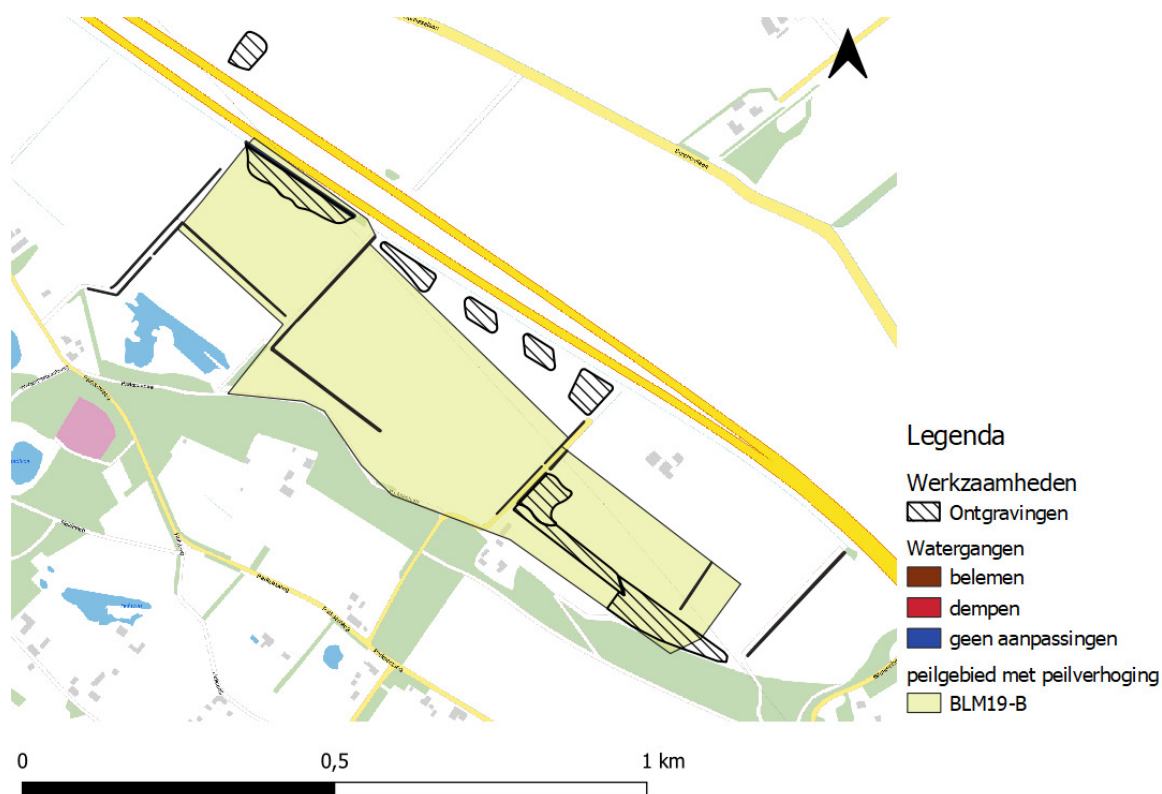
2

GEBIEDSBESCHRIJVING

2.1 Projectlocatie

De ligging van de projectlocatie is weergegeven in afbeelding 2.1. Het gebied ligt ten oosten van de Hatertse en Overasseltse Vennen, en ten westen van het Maas-Waalkanaal. De geplande werkzaamheden bevinden zich aan weerszijden van de A73.

Afbeelding 2.1 Overzicht van de projectlocatie

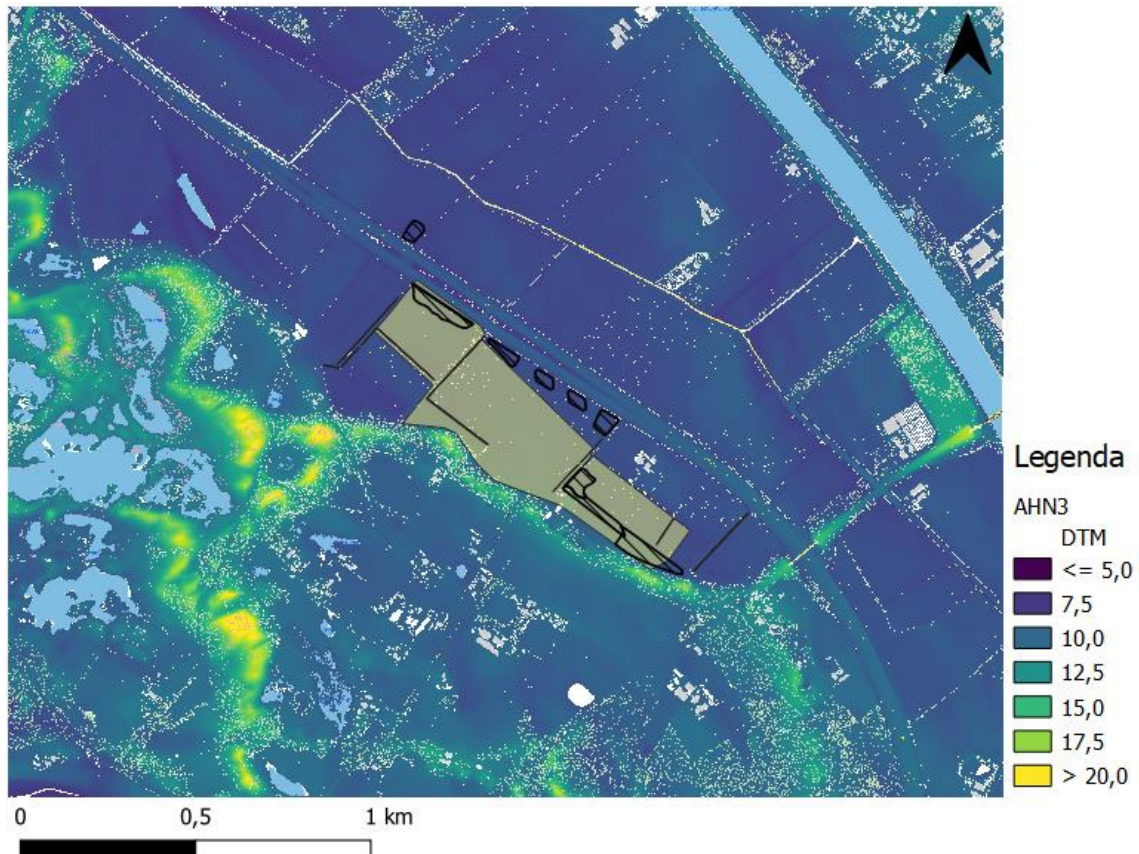


2.2 Maaiveld

Het projectgebied is gelegen ten oosten van de door de rivier afgezette zandduinen rondom de Hatertse en Overasseltse Vennen. De zandruggen kunnen tot een hoogte van circa NAP +22 m reiken. Verder naar het oosten toe aan de andere kant van het Maas-Waalkanaal ligt de stuwwal van Nijmegen. De tijdens het Saalien gestuwde afzetting kan oplopen tot een hoogte van NAP +100 m. Grotendeels op het rivierterras ligt, nabij het Maas-Waalkanaal, de projectlocatie, zoals weergegeven in afbeelding 2.2. Het duinzand begrenst de projectlocatie in het zuidwesten met een variabele hoogte tussen de NAP +12 en +15 m. De

snelweg A73 ligt aan de noordoostkant eveneens hoger, rond NAP +9,5 m. Binnen de percelen varieert de hoogte van het maaiveld tussen NAP +8 en NAP +9 m. Dit lokale hoogteverschil komt deels voort uit het voorkomen van voormalige stroombanen van geulen. Ten noordwesten van het gebied ligt ook een vochtig schraalgrasland waarvoor het maaiveld deels is afgegraven tot op een hoogte van NAP + 8 m. De watergangen waarvoor werkzaamheden gepland zijn lopen langs dit gebied.

Afbeelding 2.2 Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) 3 van de projectlocatie (Rijkswaterstaat, 2019)



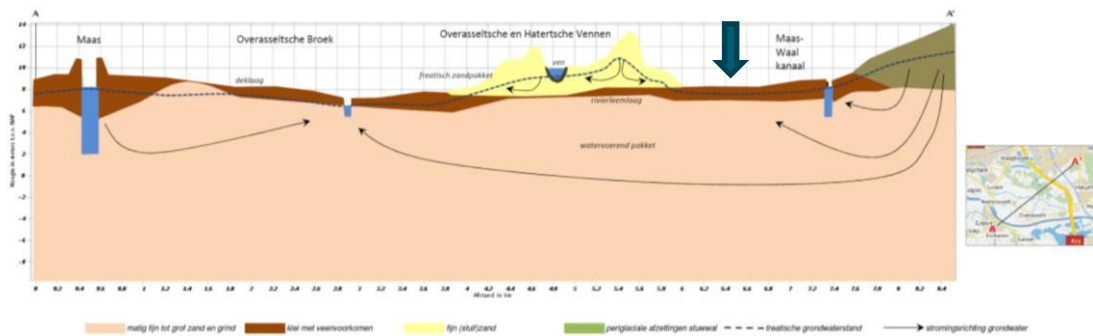
2.3 Bodemopbouw

Een schematisch overzicht van de bodemopbouw en de stroomrichting van het grondwater is weergegeven in afbeelding 2.3. De projectlocatie is gelegen tussen de Hatertsche en Overasseltsche Vennen, en het Maas-Waalkanaal. Onder het centrale deel van het vennengebied komt een rivierleemlaag voor. Deze rivierleemlaag bestaat uit zandige, zwak ziltige compacte klei met lokaal een veenlaag. De stuifduinen in het gebied zijn op deze leemlaag afgezet. Vanwege de doorlatendheid is in de stuifduinen horizontale grondwaterstroming mogelijk, afhankelijk van de dikte van de verzadigde zone.

Aan de oppervlakte bij de projectlocatie komt een deklaag voor, in het rivierengebied bestaat die uit klei en slibhoudende zanden. De deklaag is over het algemeen slecht doorlatend. Hierdoor is de horizontale stroming van het freatische grondwater beperkt. Rondom de projectlocatie zijn 19 boringen geplaatst. Deze tonen dat een kleilaag van enkele decimeters tot meer dan een meter voorkomt nabij het maaiveld (BWZ ingenieurs, 2021). Meerdere peilbuizen in de omgeving van de vennen geven aan er dat een groot verschil bestaat tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte. Dit geeft aan dat de weerstand van het rivierleem onder het stijfzand en de deklaag aanzienlijk moet zijn (Witteveen+Bos, 2018). De watergangen in het projectgebied snijden door de deklaag heen en hebben daardoor direct contact met het watervoerend pakket. Het materiaal van de watervoerende laag is voornamelijk preglaciaal zand, waarvan de korrelgrootte varieert van fijn tot grof. Dit zand behoort toe aan de Formatie van Kreftenheye. Sporadisch kunnen kleiige

veenlenzen voorkomen in de ondergrond. De Maas en het Maas-Waalkanaal snijden in de preglaciale zanden, waardoor de stijghoogte voornamelijk door de rivieren gestuurd is.

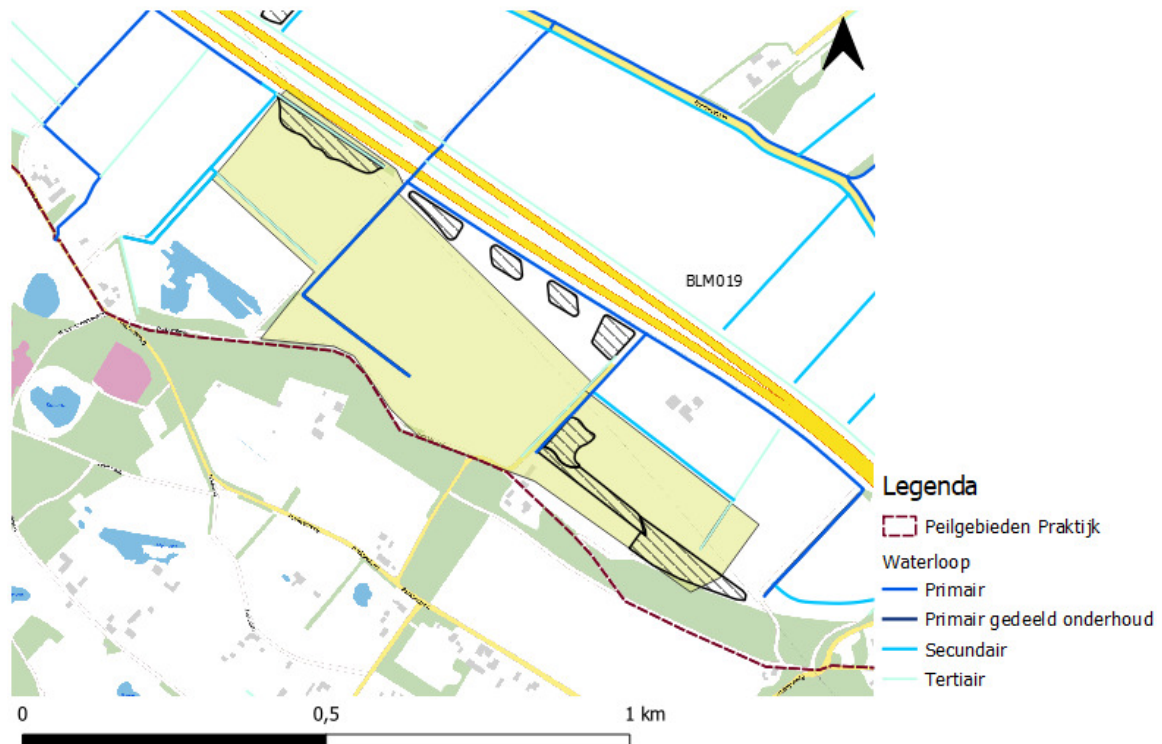
Afbeelding 2.3 Schematische doorsnede ondergrond en stroomrichting van het grondwater (Witteveen+Bos, 2018)



2.4 Oppervlaktewater

De projectlocatie is in het geheel gelegen in het peilgebied van Bloemers en Citters in vak BLM019. Het gereguleerde streefpeil ligt op NAP +7,35 m. De watergangen binnen het beheersgebied van het waterschap Rivierenland zijn weergegeven in afbeelding 2.4. De Hatertse en Overasseltse Vennen ten zuiden van de geplande werkzaamheden, liggen in een niet-gereguleerd peilvak. De stroomrichting van de watergangen is van het zuidoosten naar het noordwesten toe. Meerdere A, B en C legger watergangen liggen in de projectlocatie.

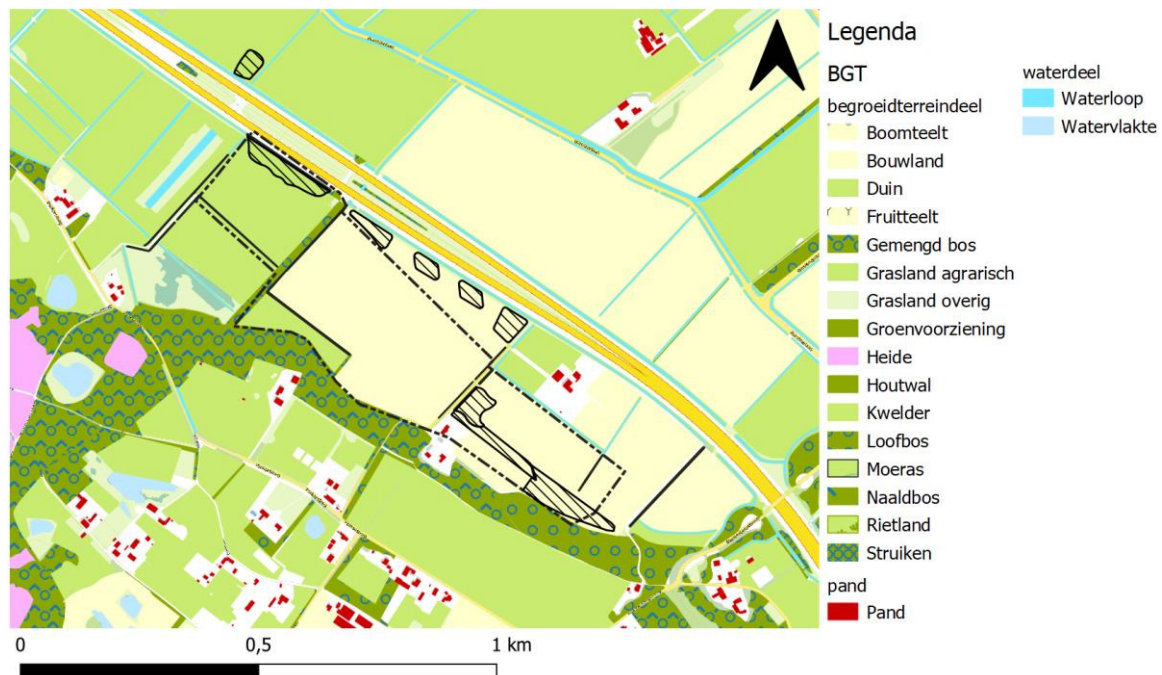
Afbeelding 2.4 Oppervlaktewater en peilgebieden (waterschap Rivierenland, 2022)



2.5 Landgebruik

Het landgebruik in de Worsumsche Broek bestaat rondom de projectlocatie voornamelijk uit bouwland, houtwallen, (agrarisch) grasland, bebouwing, wegen en water. Een deel van de percelen is in bezit van Staatsbosbeheer en heeft een afwijkend landgebruik dan in afbeelding 2.5. Zo bestaat het bouw- en grasland tussen de watergangen 1 en 3 deels uit kruiden- en faunarijke graslanden (afbeelding 3.1). Het grasland tussen watergangen 101 en 1 bestaat deels uit vochtige schraalgraslanden, en haagbeuken en essenbos. Het landgebruik rond vlak 9 betreft een droog productiebos. Direct langs watergang 104 ligt kruiden- en faunarijke grasland. Voor de ontwikkeling van dit type natuur ontvangt de eigenaar van het perceel subsidie.

Afbeelding 2.5 Landgebruik rondom het projectgebied (Kadaster, 2022)



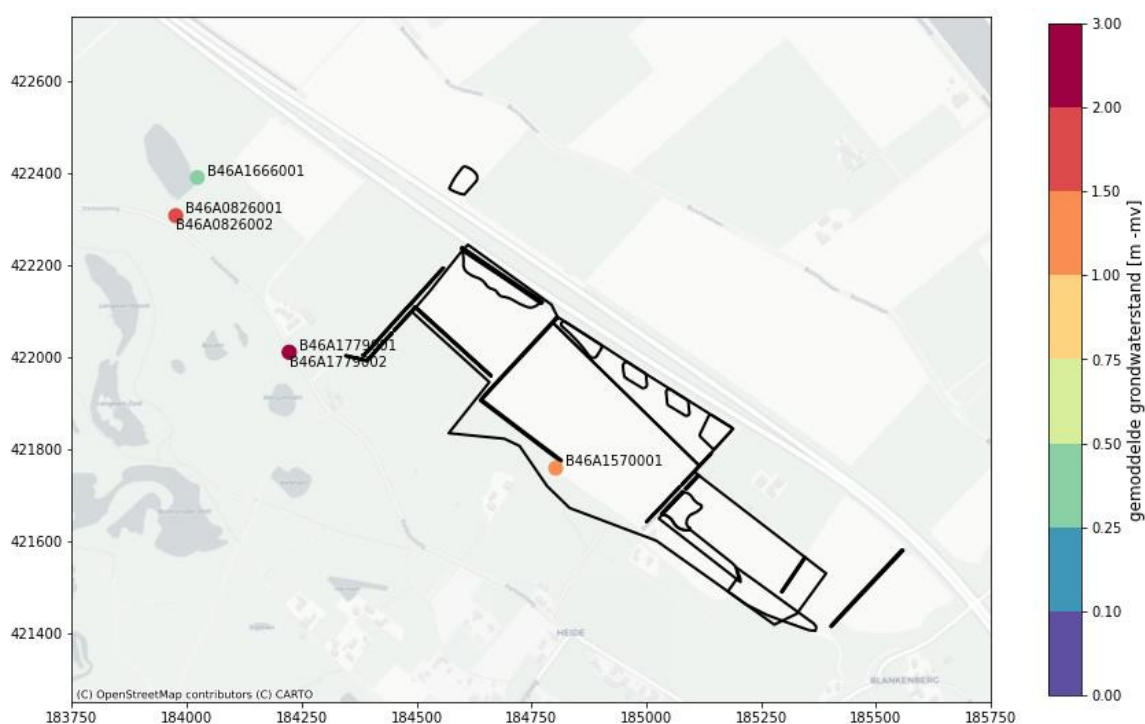
2.6 Grondwater

Aan de hand van metingen en de berekende gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG) is inzicht verkregen in de freatische grondwaterstand en de stijghoogte nabij de projectlocatie. In tabel 2.1 is de metadata gegeven van de peilbuizen. De gemiddelde grondwaterstand geeft aan dat de freatische grondwaterstand hoger ligt dan de gemiddeld gemeten stijghoogte. Hierdoor treedt verticale inzijging op in de richting van het watervoerend pakket. In afbeelding 2.6 is de ligging van de gemiddelde freatische grondwaterstanden en stijghoogte nabij de projectlocatie geïllustreerd. Binnen het zuidelijke perceel ligt een enkele peilbuis. Deze geeft aan dat over de gemeten periode de gemiddelde grondwaterstand circa 1,5 m onder het maaiveld ligt. De berekende GHG in afbeelding 2.7 geeft aan dat onder natte omstandigheden, bij een aantal percelen het water enkele centimeters van het maaiveld komt te staan. Rondom de hoger gelegen delen is de afstand tussen het maaiveld en de GHG groter. In een droge situatie zakt de grondwaterstand juist verder weg, zoals aangegeven in afbeelding 2.8. De berekende afstand tot het maaiveld bedraagt dan circa 1,1 m tot 1,6 m.

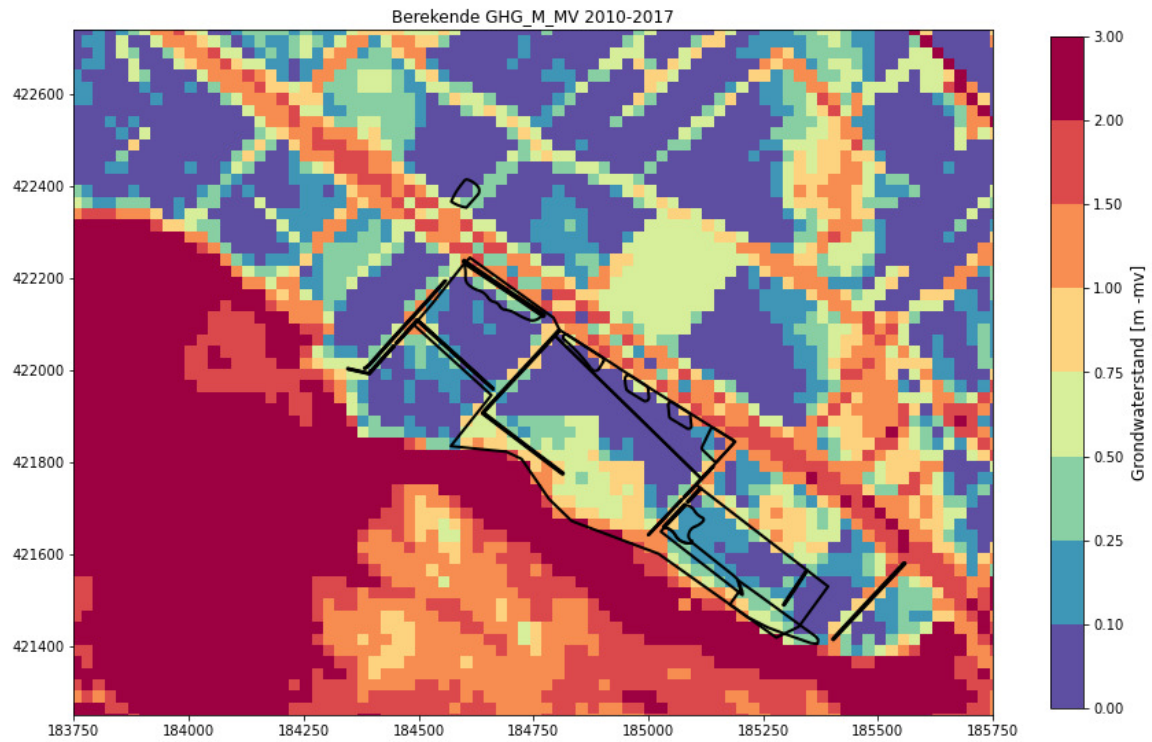
Tabel 2.1 Gemeten grondwaterstand en stijghoogten

Naam	X	Y	Periode	Gemiddelde [m -mv]	Gemiddelde [m nap]
B46A0826001	183976.0	422307.0	03-04-2008 - 01-07-2019	0,89	8,00
B46A0826002	183976.0	422307.0	03-04-2008 - 01-07-2019	1,72	7,17
B46A1570001	184803.0	421758.0	11-10-2016 - 26-05-2018	1,48	7,53
B46A1666001	184023.0	422390.0	13-11-2009 - 03-05-2012	0,41	7,27
B46A1779001	184223.0	422010.0	21-09-2011 - 20-02-2014	1,59	8,60
B46A1779002	184223.0	422010.0	21-09-2011 - 20-02-2014	2,85	7,33

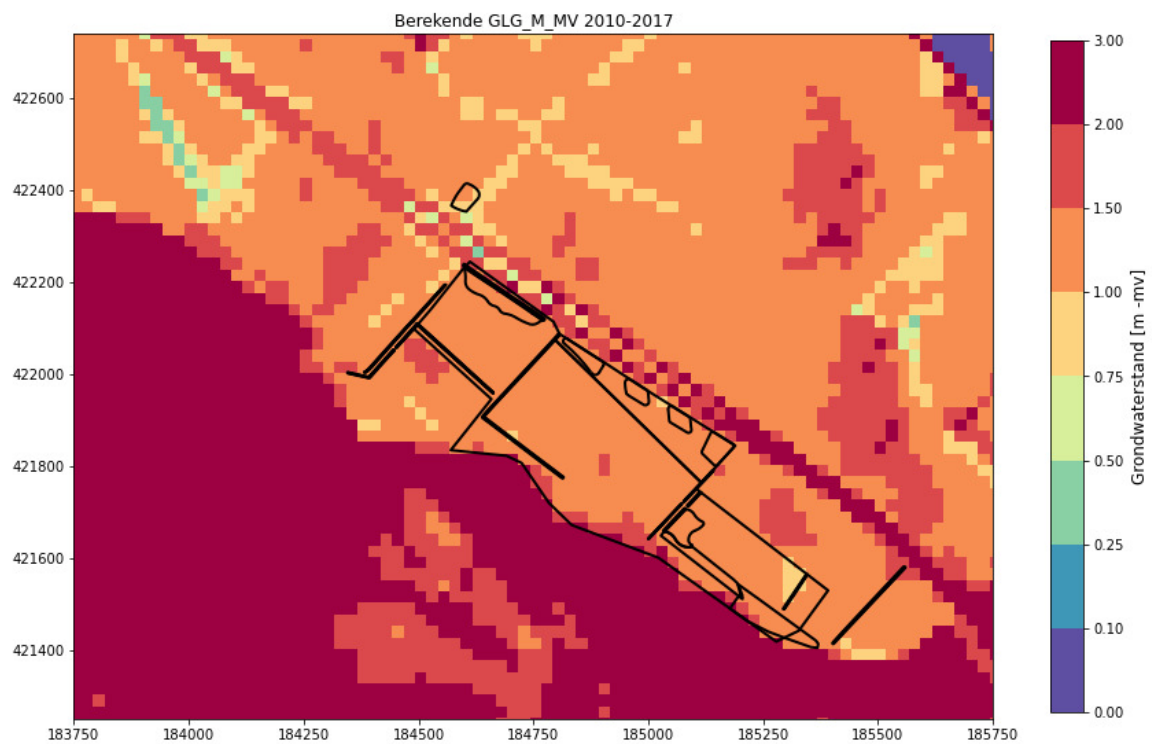
Afbeelding 2.6 Ligging van de peilbuizen en de gemiddelde grondwaterstand en stijghoogte in de omgeving van de projectlocatie



Afbeelding 2.7 Berekende Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG) met MORIA over de periode van 2010 tot en met 2017



Afbeelding 2.8 Berekende Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG) met MORIA over de periode van 2010 tot en met 2017



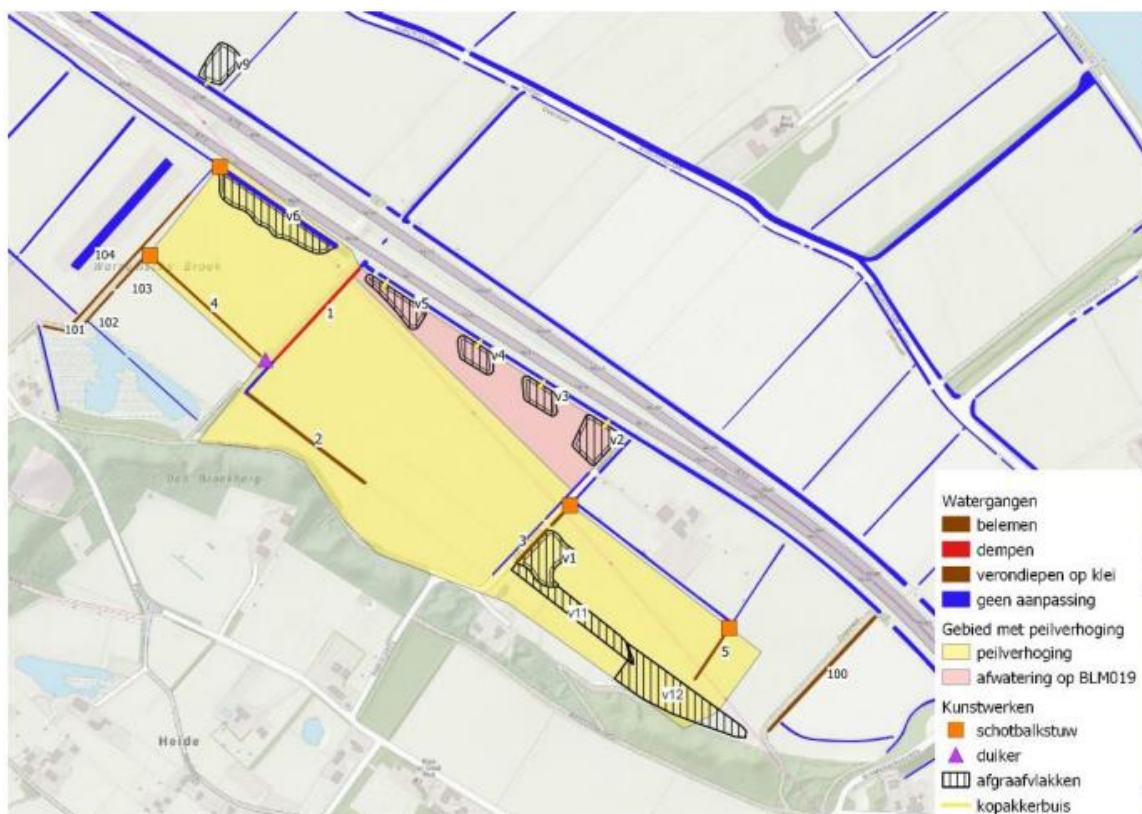
3

WERKZAAMHEDEN

Ten behoeve van het inrichtingsplan voor de natuurontwikkeling van het Worsumsche Broek zijn een aantal maatregelen beoogd. In afbeelding 3.1 is een overzicht gegeven van de werkzaamheden in het projectgebied. Een opsomming van de maatregelen op de huidige waterhuishouding is:

- het gedeeltelijk dempen van een watergang;
- het opstuwen van het waterpeil in de watergangen binnen het aangegeven vlak tot NAP +8,0 m;
- belemen van een aantal watergangen;
- afgraven van de klei in vlakken tot in onderliggende zandlaag;
- afgraven van het bouwvoor tot op de kleiige deklaag.

Afbeelding 3.1 Overzicht werkzaamheden (memo BWZ, 2022)



3.1 Dempnen

Een enkele watergang in het inrichtingsplan zal worden gedempt. In afbeelding 3.1 is aangegeven dat dit watergang 1 betreft. Momenteel is dit een klasse A watergang.

3.2 Opstuwen

Momenteel is het gereguleerde waterpeil van de watergangen ter plaatse van de projectlocatie NAP +7,35 m. In het beoogde inrichtingsplan wordt dit opgestuwd tot NAP +8,0 m. In afbeelding 3.1 is de ligging van de nieuwe schotbalkstuwen aangegeven. Hierdoor zal voor de nummers 2, 3, 4, 5 en de waterloop in het noordwesten van de projectlocatie (v6), een nieuw streefpeil gelden.

3.3 Belemen

In afbeelding 3.1 zijn de watergangen die beleemd worden gepresenteerd. De deklaag die in het gebied aanwezig is wordt doorgetrokken door een weerstandslaag aan te brengen in de watergangen. Hierdoor verdwijnt het contact met de zandige watervoerende laag. In tabel 3.1 is per watergang aangegeven wat de huidige en toekomstige bodemhoogte is. De nummering in de tabel komt overeen met de afbeelding. De dwarsdoorsneden staan in bijlage II en de locatie van de dwarsdoorsnede in de situatietekening in bijlage I

Tabel 3.1. Ingrepen watergangen

Watergang	Dwarsprofiel	Huidige ondergrond	Huidige bodemhoogte [m NAP]	Maatregel	Plan bodemhoogte
2	DP6	zand	+7,30	belemen	+7,50
3	DP9	zand	+7,30 tot +7,40	belemen	+7,50
4	DP4	zand	+7,35	belemen	+7,60
5	DP12	zand	+7,30 tot +7,40	belemen	+7,50
100	DP13, DP14	zand	DP13: +7,25 tot +7,35 DP14: +7,30 tot +7,40	belemen	+7,25 tot +7,35 +7,30 tot +7,40
101, 102, 103	DP2	zand	DP2: +7,40 tot +7,50	belemen	+7,60
104	DP2, DP1	zand	DP1: +7,36 DP2: +7,45 tot +7,60	belemen	+7,36 +7,47

3.4 Afgraven

Meerdere vlakken in het projectgebied worden afgegraven tot de onderliggende zandgrond en voor 2 vlakken tot de kleilaag. In tabel 3.2 is per vlak aangegeven wat de toekomstige bodemhoogte na afgraven wordt. Bij een aantal vlakken wordt een kopakkerbuis aangelegd waarmee water vanaf de vlakken richting de randsloot langs de snelweg kan stromen. Een kade ligt tussen vlakken 2 tot en met 6. Hierdoor kan water op het maaiveld blijven staan. Met een kopakkerbuis wordt het water afgevoerd als het te hoog komt. In het geval van hoogwater kunnen vlakken 2 tot en met 6 fungeren als waterberging.

Tabel 3.2 Afgraafvlakken

Vlak	Bodemhoogte na afgraven [m NAP]	Kopakkerbuis [m NAP]	Afgraven tot zandondergrond
V1	+8,31		nee, er blijft 0,6 m kleidek achter
V2	+8,35	+8,35	ja
V3	+7,50	+7,60	ja
V4	+7,50	+7,60	ja

Vlak	Bodemhoogte na afgraven [m NAP]	Kopakkerbuis [m NAP]	Afgraven tot zandondergrond
V5	+7,50	+7,60	ja
V6	+7,50	+7,60	ja
V9	+7,25	tussen +7,35/7,60	ja
V11	-0,40 t.o.v. maaiveld (tot minimaal ca. +8,20)		nee, er blijft kleidek achter
V12	-0,30 t.o.v. maaiveld (tot minimaal ca. + 8,30)		nee, er blijft kleidek achter

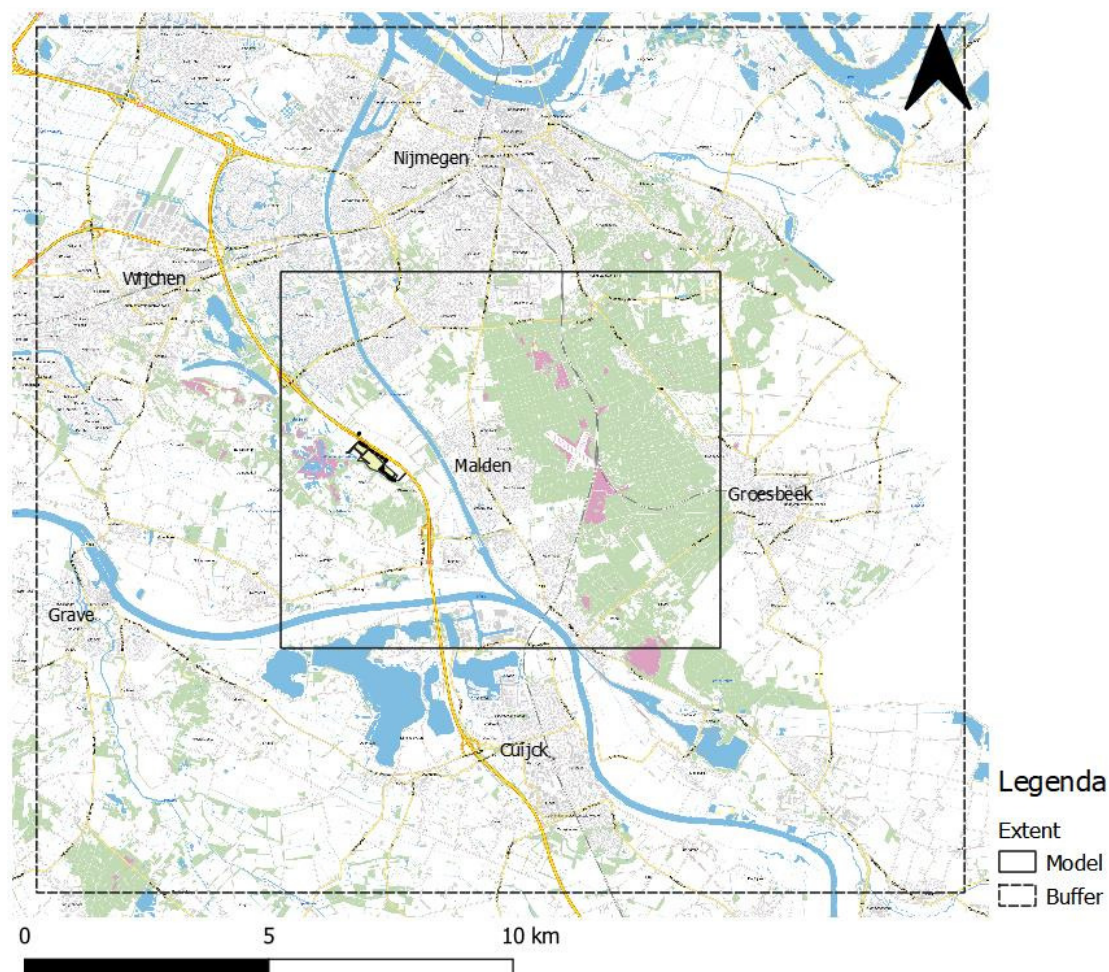
4

METHODE

4.1 Grondwatermodel

Het effect van beoogde maatregelen voor de natuurontwikkelingen in het Worsumsche Broek op de grondwaterstand is berekend met het grondwatermodel Modellerings Ondergrond Rivierenland Interactief en Actueel (MORIA). Dit is een gekalibreerd en gevalideerd regionaal grondwatermodel van het beheersgebied van het waterschap Rivierenland. Het model heeft een horizontale resolutie van 25 bij 25 m. Het grondwatermodel maakt gebruik van het rekenhart van iMOD (interactive MODeling) 4.2.1 dat modulair rekent. Voor de berekening is gekozen om het model stationair door te rekenen om de effecten van de maatregelen te bepalen. Gekozen is voor een stationaire berekening om relatief eenvoudig het effect van de ingrepen te kunnen bepalen over een gemiddelde situatie. In afbeelding 4.1 is met de doorgetrokken lijn de modelbegrenzing aangegeven. Met de stippellijn daaromheen is een buffer gelegd van 5 km. Binnen het modelgebied is een horizontale resolutie van 25 m gehanteerd. Binnen de buffer geldt een resolutie van 100 m. De begrenzing ligt meer naar het oosten toe om ook de stuwwal van Groesbeek in het model mee te nemen.

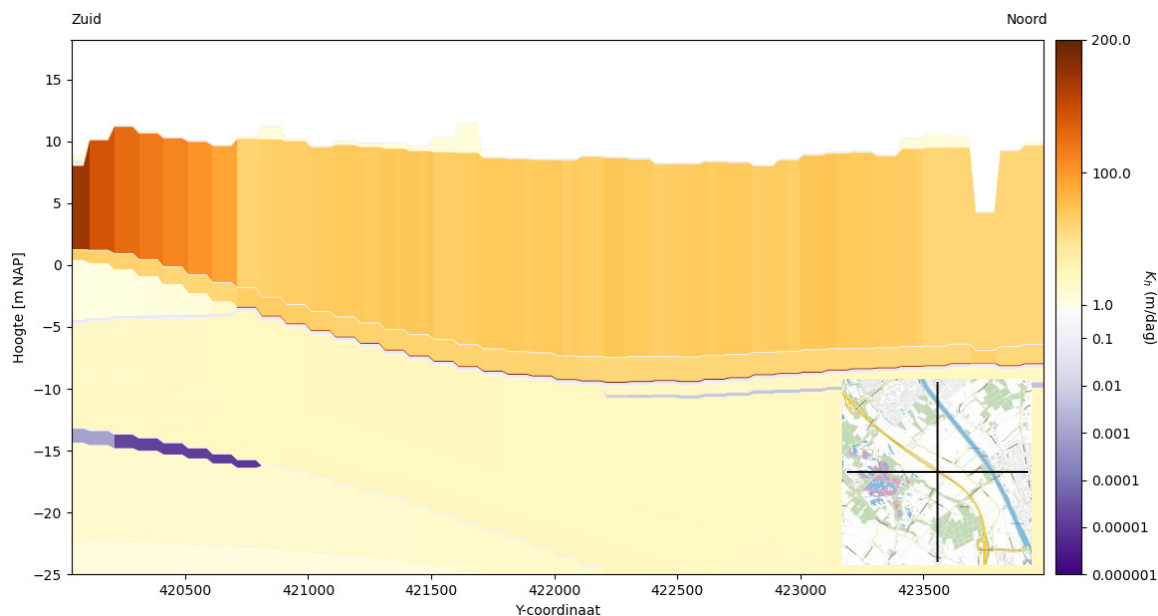
Afbeelding 4.1 Modelbegrenzing en buffer voor het berekenen van de effecten op de grondwaterstand



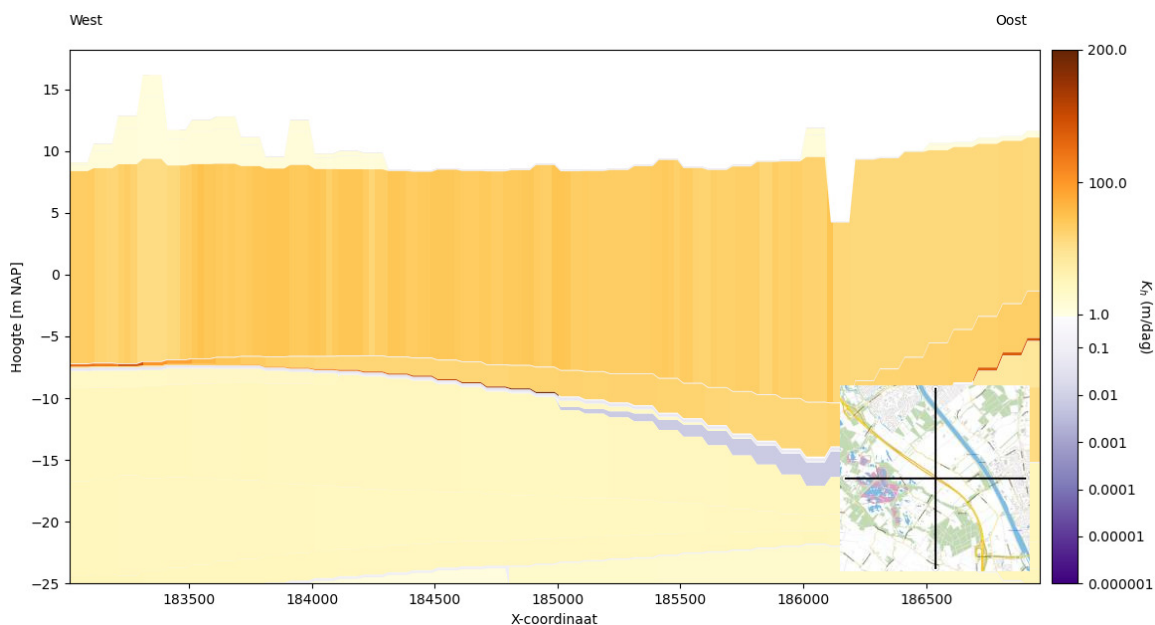
4.2 Lagenmodel MORIA

Het lagenmodel van MORIA is getoetst aan de boringen om het voorkomen van klei in de deklaag te bepalen. Een doorsnede van het bovenste gedeelte van het lagenmodel is weergegeven in afbeelding 4.2 en afbeelding 4.3. In bijlage III is een overzicht van de lagen gepresenteerd met de bijbehorende formaties, gemiddelde boven- en onderkant van de laag, en de gemiddelde transmissiviteit of de weerstand. Uit zowel de doorsneden als de tabel valt op dat de eerder beschreven deklaag een dikte van slechts een enkele centimeter heeft in het lagenmodel. Direct onder de weerstandslaag komt het doorlatende zand van de Formatie van Kreftenheye voor. De deklaag heeft wel een significante weerstand van tussen de 500 en 2000 dagen binnen de projectlocatie.

Afbeelding 4.2 Doorsnede lagenmodel MORIA van zuid naar noord



Afbeelding 4.3 Doorsnede lagenmodel MORIA van west naar oost



4.3 Maatregelen

De maatregelen zijn in het model verwerkt om inzicht te krijgen in de effecten van de natuurontwikkeling op de grondwaterstand. In tabel 4.1 is aangegeven op welke manier de maatregelen zijn verwerkt in de invoerbestanden van MORIA. Voor de aanpassingen van het oppervlaktewater zijn de invoerbestanden hiervoor aangepast. Het contact tussen het watervoerend pakket en de watergangen is verminderd door de intrede weerstand te verhogen. Voor een aantal watergangen wordt het peil verhoogd, maar wordt geen weerstandslaag aangebracht. Afhankelijk van de hoogte van de stijghoogte in het watervoerend pakket, kan de drainerende werking van de watergangen afnemen. Wanneer de stijghoogte juist lager is dan de freatische grondwaterstand kan de infiltratie naar het watervoerende zandlaag toenemen. In de modelberekening zijn de maximale waterpeilen van NAP +8,0 m getoetst. In werkelijkheid kan de sloot vrij afwateren waardoor deze waterstand niet altijd voor zal komen.

Tabel 4.1 Verwerking van de maatregelen in de invoerbestanden

Maatregel	Verwerkt in model
dempen watergang	watergang verwijderd uit de invoerbestanden: waterpeil, weerstand, bodem, infiltratiefactor
opstuwen waterpeil	waterpeil opgehoogd naar NAP +8,0 m in het invoerbestand: waterpeil
belemen watergang	weerstand verhoogd naar 200 dagen per meter in het invoerbestand: weerstand
afgraven gebieden	hoogte verlaagd voor elk vlak in het invoerbestand: maaiveld drainage

RESULTATEN

5.1 Verandering grondwaterstand

De verandering van de freatische grondwaterstand als gevolg van de maatregelen voor de natuurontwikkeling van de Worsumsche Broek zijn geïllustreerd in afbeelding 5.1. Rondom de watergangen is de grondwaterstand toegenomen tussen de +0,05 en +1,25 m. Door het afgraven van de vlakken tot op de preglaciale zandgrond varieert de daling tussen -0,05 en -1,30 m. Echter komt de grondwaterstand door het afgraven wel dicht op het maaiveld te staan en treedt vernatting op. Het effect van de ingrepen is beperkt tot een afstand van 25 m. Mogelijk is dit in werkelijkheid minder dan de gehanteerde celgrootte in het model.

Dempen

De grootste stijging vindt plaats rondom de gedempte watergang. Voorheen had de deze een drainerende werking op een streefpeil van NAP +7,35 m. Door het dempen hiervan kan de freatische grondwaterstand tot onder het maaiveld stijgen. Voor de stijghoogte is in een stationaire situatie géén significante verandering berekend.

Opstuwen en belemen

Voor beleemde watergangen waar een streefpeil van NAP +8,0 m is getoetst is de freatische grondwaterstand eveneens gestegen. De zijwaartse inzigging van het grondwater neemt af door de hogere intredeweerstand en de vermindering van de potentiaal. Hierdoor draineert het oppervlaktewaterlichaam het omliggende grondwater minder en stijgt de freatische grondwaterstand. Door het belemen van de watergangen bestaat ook geen direct contact meer met het watervoerend pakket. Bij het voorkomen van het streefpeil van NAP +8,0 m is het verschil tussen de freatische grondwaterstand en de stijghoogte toegenomen. Watergangen 101, 102 en 103 zijn beleemd zonder dat een peilverhoging is doorgevoerd (afbeelding 3.1). Eveneens is de grondwaterstand hier gestegen door een verminderd drainerend effect van het oppervlaktewater.

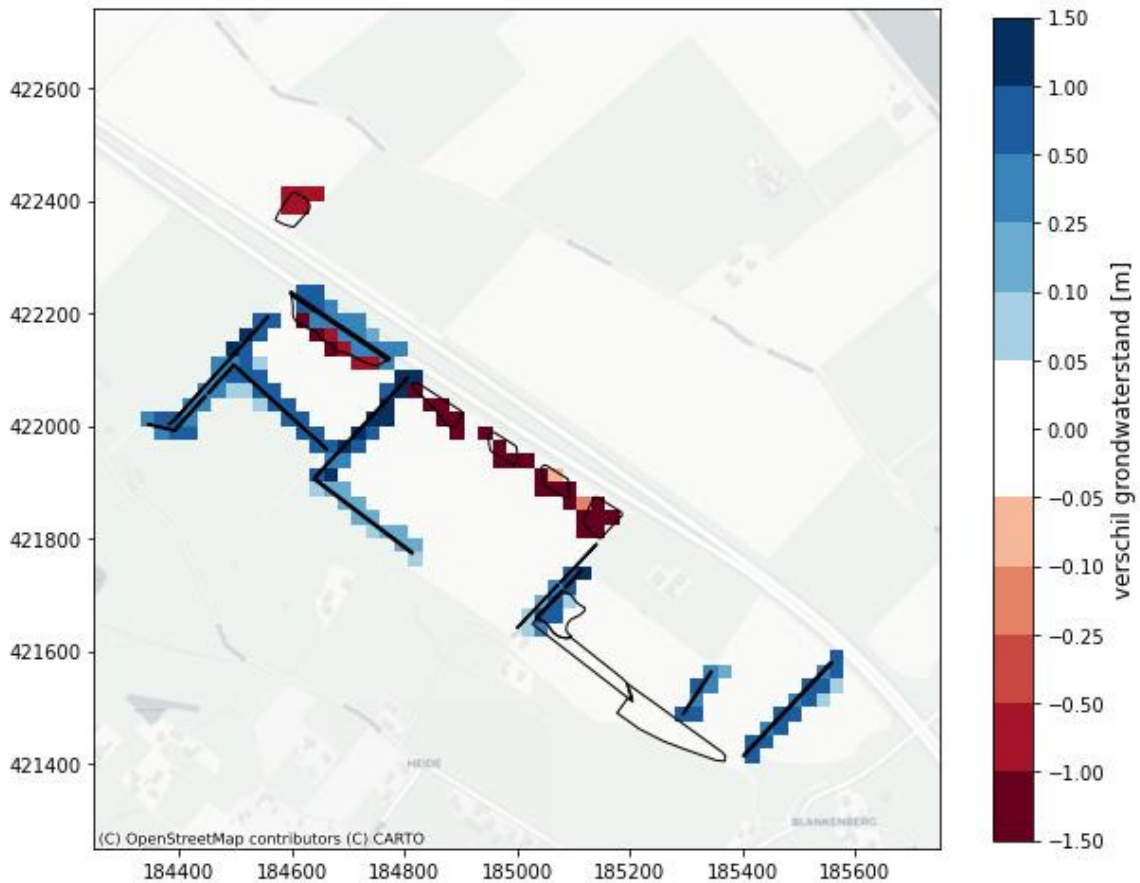
Bij de randsloot langs de snelweg en bij het niet gedempte deel van watergang 1 is bestaat nog steeds een direct contact met de zandige watervoerende laag. Ter plaatse van beide watergangen is de berekende stijghoogte lager dan het huidige streefpeil van NAP +7,35 m. Door een toename van 0,65 m neemt daardoor de infiltratie in de richting van het watervoerend pakket toe. In de stijghoogte is echter geen significant verschil berekend. Dit komt door de combinatie van de intredeweerstand en de kleine oppervlakte van de watergangen. De weerstand in het oppervlaktewaterlichaam is afkomstig van slibvorming. Hierdoor infiltreert reeds weinig water naar watervoerende laag in het model.

Afgraven

De grootste daling is berekend voor de vlakken 2 tot en met 5. Echter neemt de afstand tussen maaiveld en de grondwaterstand af. Voor vlak 9 is het effect minder sterk, omdat de verlaging van het maaiveld ook kleiner is. Hier blijft de afstand van het grondwater tot het maaiveld dan ook groter. Een daling van de freatische grondwaterstand is niet zichtbaar voor de vlakken 1, 11 en 12. In de methode is verklaard dat de top laag boven op de klei dermate dun is, dat dit niet zichtbaar is in de berekende resultaten. Het is wel bekend dat het maaiveld met -30 cm, -40 cm en -30 cm verlaagd wordt voor respectievelijk de vlakken 1, 11

en 12. Hierdoor zal ook enige vernatting optreden voor deze afgegraven gebieden. Een kleidek blijft hier achter, waardoor geen direct contact bestaat met het watervoerend pakket en de vernatting meer beperkt is.

Afbeelding 5.1 Verandering grondwaterstand ten gevolge van de maatregelen voor de natuurontwikkeling van de Worsumsche Broek



5.2 Verandering kwelflux

De mate van verandering van de kwelflux en inzijging als gevolg van de werkzaamheden is getoond in afbeelding 5.2. In een stationaire situatie berekend het model dat binnen de projectlocatie infiltratie naar het watervoerend pakket optreedt. Dit komt overeen met het geobserveerde verschil in de freatische grondwaterstand en de stijghoogte van de peilbuizen (Witteveen+Bos, 2018). De infiltratie neemt toe met +0,10 tot en met +0,60 mm/d bij een stijging van de grondwaterstand. Een toename van de kwelflux tussen de +0,10 en +0,65 mm/d is berekend voor de afgegraven gebieden.

Dempen

Rondom de gedempte watergang neemt de grondwaterstand het meeste toe en daarmee ook de inzijging in de richting van het watervoerend pakket. Echter zorgt het dempen van de watergang ervoor dat kwellend water niet meer wordt afgevoerd. De kwel treedt namelijk op wanneer de stijghoogte boven het gehanteerde peil uit komt.

Opstuwen en belemen

Door een toename van de freatische grondwaterstand neemt ook rondom de beleemde watergangen de inzijging toe. Hetzelfde geldt voor de watergangen die naast een weerstandslaag ook de peilverhoging toegekend zijn. Door het aanbrengen van de weerstandslaag zal echter minder water naar het watervoerend pakket infiltreren. Als sloten droogvallen wordt echter juist minder kwel uit het watervoerend pakket

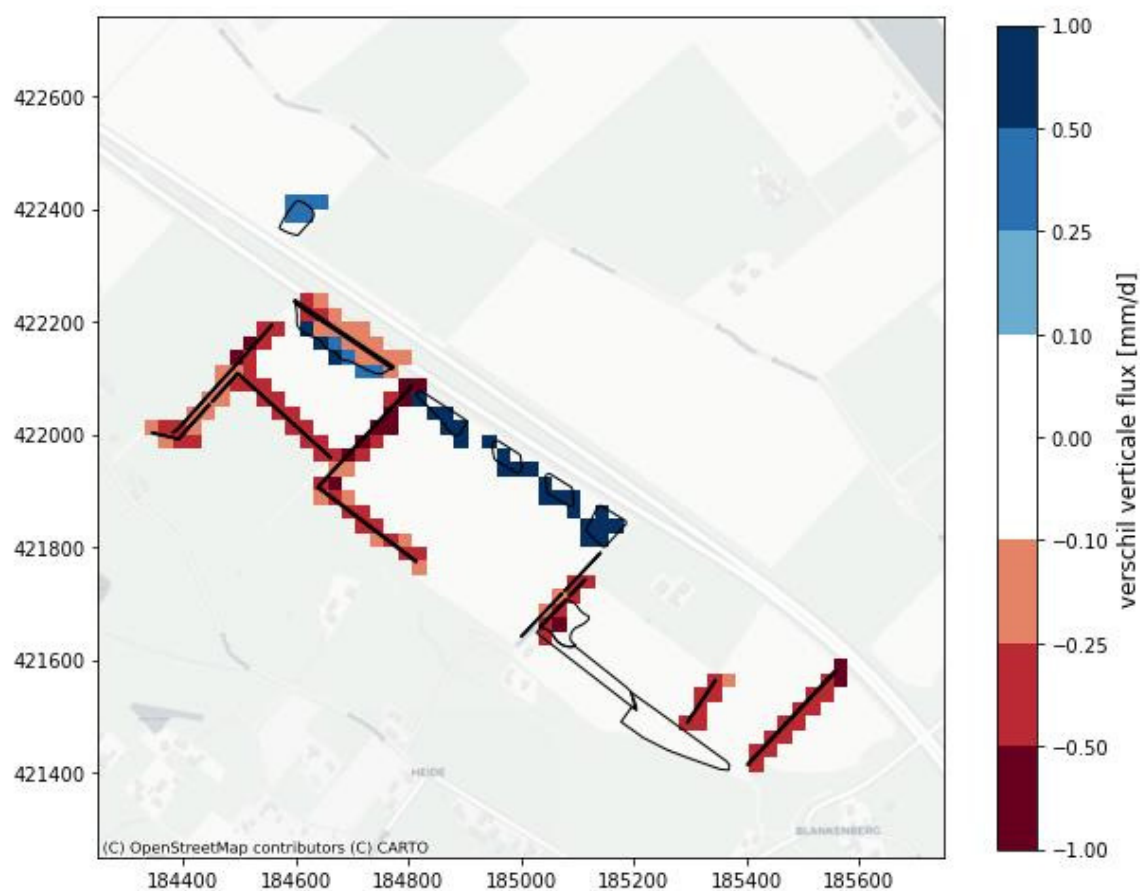
afgevoerd door de weerstand biedende laag. Tijdens het toetsen van het streefpeil van NAP +8,0 m neemt ook de inzigging van de randsloot en het niet gedempte gedeelte van watergang 1 toe (afbeelding 3.1). Het resulterende gedeelte van watergang 1 is echter ontworpen om vrij-afwaterend te zijn. Hierdoor kan dit gedeelte bij een stijghoogte hoger dan de bodemhoogte, kwel afvoeren. De inzigging en kwelflux neemt voor watergangen 101, 102 en 103 enkel af door het doortrekken van de deklaag.

Afgraven

Voor de vlakken 2 tot en met 5 is eveneens de grootste toename in kwel berekend. Door het afgraven van de weerstandslaag kan, bij een stijghoogte die hoger is dan de bodemhoogte van de vlakken, kwel optreden. De bodemhoogte van vlak 9 wordt minder drastisch verlaagd, waardoor de toename van kwel ook minder groot is dan de andere gebieden. Voor de gebieden die op de preglaciale zandgrond worden afgegraven, wordt het kwellende water met een kopakkerbuis naar oppervlaktewaterlichaam afgevoerd. Voor de vlakken 2 tot en met 5 is dat 10 cm boven het maaiveld. Hierdoor wordt de kwelflux enigszins verminderd. Naast vlak 6 wordt het oppervlaktewaterpeil van de randgeul opgehoogd. De randgeul snijdt in de preglaciale zandlaag waardoor het water via het watervoerend pakket naar vlakken 2 tot en met 6 kan stromen. De kwelflux wordt overschat door een te grote daling van de freatische grondwaterstand. In werkelijkheid is de toename van kwel minder groot dan +0,65 mm/d.

Geen verandering van de kwelflux is berekend voor de vlakken 1, 11 en 12 door de afwijkende kleilaag in het grondwatermodel. Wel kan geredeneerd worden dat met een daling van 40 cm over een weerstand van 2000 dagen, ongeveer -0,2 mm/d minder water infiltreert naar het watervoerend pakket. De bodemhoogte van de af te graven vlakken ligt boven NAP +8,2. Dit is ruimschoots boven de berekende stijghoogte en de observaties nabij de Parksesteeg (Witteveen+Bos). Enkel de toplaag boven op de weerstand biedende kleilaag wordt afgegraven. Op de kleiplaat kan regenwater zich verzamelen en infiltreren richting het grondwater. Hierdoor is de verwachting dat geen significante toename in kwel zal plaatsvinden.

Afbeelding 5.2 Verandering verticale flux ten gevolge van de maatregelen voor de natuurontwikkeling van de Worsumsche Broek



5.3 Invloed op omgeving (afgeleide effecten)

De verandering van de grondwaterstand kan van belang zijn voor het huidige landgebruik. Het landgebruik uit afbeelding 2.5 is volgens de Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT) en het Gelders Natuurnetwerk (GNN) vergeleken met de berekende effecten op de grondwaterstand. In paragraaf 2.5 is het landgebruik in de omgeving van de projectlocatie beschreven. In tabel 5.1 is uitgelicht wat het effect van de werkzaamheden is op het landgebruik. De berekende grondwaterstandsveranderingen zijn gelimiteerd tot enkel de projectlocatie. Een groot gedeelte van de effecten zijn berekend op percelen die eigendom zijn van Staatsbosbeheer of waar subsidie ten behoeve van natuurontwikkeling voor wordt ontvangen.

Tabel 5.1 invloed van de veranderde grondwaterstand op het landgebruik

Landgebruik	Effecten
bebouwing	de toename van de grondwaterstand bedraagt kort nabij de huizen (Parksesteeg 2) minder dan 10 cm. Dit betreft 3 woningen onder een kap. Onder de woningen heeft de deklaag een dikte van circa 1 m. Door het belemen van watergang 3 en het afgraven van vlak 1 verandert de grondwaterstand enigszins. Vlak naast de woning is de verlaging van dit vlak echter beperkt. De berekende GHG ter plaatse van de woning ligt circa 1,2 m onder het maaiveld. Een stijging van 10 cm zorgt voor een vernatting. Echter is de afstand nog steeds groter dan minimaal 0,7 m, waardoor geen risico op grondwateroverlast wordt verwacht. De maatregelen hebben op dit type landgebruik geen verwacht negatief effect
bouwland (mais)	op de percelen van Staatsbosbeheer neemt de afstand van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld af. Aangezien de percelen gebruikt gaan worden voor natuurontwikkeling, is de verwachting dat hier geen negatief effect optreedt. Langs watergang 100 neemt de grondwaterstand eveneens toe. Dit perceel is niet in bezit van Staatsbosbeheer. Een toename van de grondwaterstand kan daarom lokaal een negatief effect hebben op dit landgebruik
grasland agrarisch	tussen de watergangen 4, 104 en de randsloot ligt een grasland dat eigendom is van Staatsbosbeheer. Een toename van de grondwaterstand is berekend voor dit landgebruik. Eveneens is door het afgraven van vlak 6 ook een verlaging van het maaiveld gerealiseerd. Dit zorgt voor een vernatting van het afgegraven vlak. Het streefpeil van de watergangen is NAP +8,0 m geworden. In het midden van het perceel kan het grondwater hoger opbollen dan voorheen. Hierdoor kan in het midden van het perceel een nattere situatie ontstaan. Aangezien het perceel gebruikt gaat worden voor natuurontwikkeling is de verwachting dat hier geen negatief effect optreedt
natuur en grasland	in het projectgebied komt droog bos met productie, haagbeuken- en essenbos, kruiden- en faunairijk grasland en vochtige schraalgraslanden voor die in bezit zijn van Staatsbosbeheer of waar subsidie ten behoeve van natuurontwikkeling voor wordt ontvangen. Voor alle natuurgebieden wordt een stijging van de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld berekend. Voor deze typen natuur is de stijging van de grondwaterstand wenselijk en is het verwachte effect positief
vennengebieden	voor het vennengebied wordt geen negatief effect verwacht door de werkzaamheden

6

CONCLUSIE

Aan de hand van een stationaire modelberekening en een horizontale resolutie van 25 m is het effect van de maatregelen voor het inrichtingsplan voor de natuurinrichting van het Worsumsche Broek berekend. Uit de analyse blijkt dat de aanpassingen op de waterhuishouding tot een beperkte afstand van 25 m invloed hebben. De maximale grondwaterstandsverandering binnen dit beperkte invloedsgebied varieert tussen -1,30 en +1,25 m. Door het afgraven van de vlakken wordt de afstand tussen het grondwater en het maaiveld kleiner. De verandering van de kwelflux reikt binnen -0,6 en + 0,65 mm/d. Op locaties waar de grondwaterstand is toegenomen is de kwelflux juist afgenomen. De verandering van de grondwaterstand nabij een aantal specifieke typen landgebruik is eveneens geanalyseerd.

Bebouwing

Een toename van minder dan 10 cm van de grondwaterstand is berekend nabij 3 woningen onder-een-kap. De berekende gemiddeld hoogste grondwaterstand ligt met 1,2 m ruim onder de woning. Hierdoor wordt geen risico op grondwateroverlast verwacht.

Natuur en Grasland

Onder natuur en grasland vallen droog bos met productie, haagbeuken- en essenbos, kruiden- en faunarijk grasland en vochtige schraalgraslanden. De grondwaterstand neemt voor alle graslanden ten opzichte van het maaiveld toe. Voor alle natuur en graslanden heeft dit naar verwachting een positief effect.

Overig

Bij het bouwland (mais) en agrarisch grasland is een stijging van de grondwaterstand relatief met het maaiveld berekend. Voor de percelen die in bezit zijn van Staatsbosbeheer wordt in het kader van natuurontwikkeling geen negatief effect verwacht. Voor het bouwland dat niet in bezit is van Staatsbosbeheer kan de stijging van de grondwaterstand een negatief effect hebben.

Vennengebieden

Geen verandering is berekend voor het vennengebied. Daarom is de verwachting dat geen negatieve effecten op treden.

REFERENTIES

- Actueel Hoogtebestand Nederland 3. (2019). Rijkswaterstaat. <https://www.ahn.nl/>.
- Basisregistratie Grootschalige Topografie. (2022). Kadaster. <https://app.pdok.nl/lv/bgt/download-viewer/>.
- Bepaling kleilaagdiepte Worumsche Broek. (2021). BWZ Ingenieurs.
- Funderingsviewer indicatieve aandachtsgebieden. (2021). Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. https://geocontent.rvo.nl/funderingsviewer_storymap/.
- GEOTOPv1.4. (2020). dinoloket.nl. <https://www.dinoloket.nl/detaillering-van-de-bovenste-lagen-met-geotop>.
- Technische toelichting effectmonitoring 2013-2018 maatregelen. (2018). Witteveen+Bos.
- Watersysteem Legger Vastgesteld. (2022). Waterschap Rivierenland. <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?url=http%3A%2F%2Fkaarten.wsrl.nl%2Farcgis%2Frest%2Fservices%2Fkaarten%2FWatersysteemLeggerVastgesteld%2FMapServer&source=sd>.
- Peilgebieden Praktijk. (2022). Waterschap Rivierenland. https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?url=http%3A%2F%2Fkaarten.wsrl.nl%2Farcgis%2Frest%2Fservices%2Fkaarten%2FPeilgebieden_praktijk%2FMapServer&source=sd.

Bijlage(n)



BIJLAGE: SITUATIETEKENING



BIJLAGE: DWARSPROFIELEN

Measuring growth performance



-

- G.V. NAF

- 100% to
 with 100% to
 100% to 100%

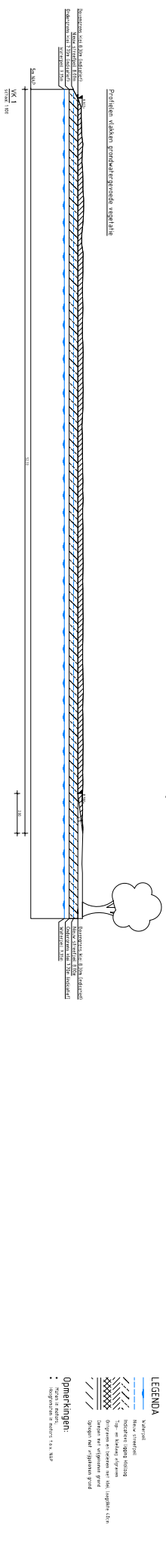
Principal Investigator:	044-21-0567
-------------------------	-------------

(b) (6) (b) (7) (C)	
---------------------	--

	Brightfield	[REDACTED]
Tubercle bacilli stain:		

DATE	06/07/2017	06/07/2017
------	------------	------------

Profielen vlakken grondwatergevoede vegetatie

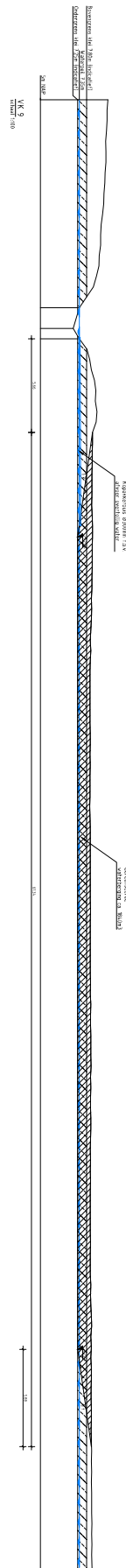
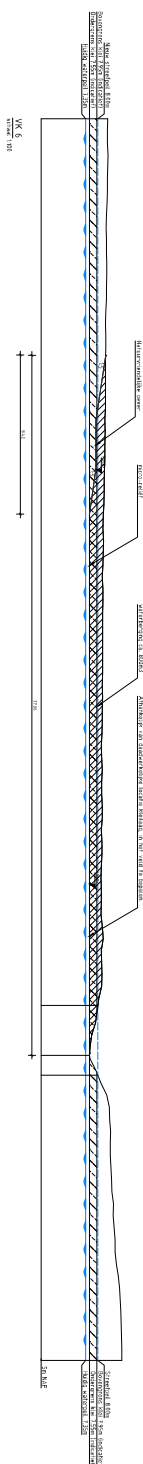
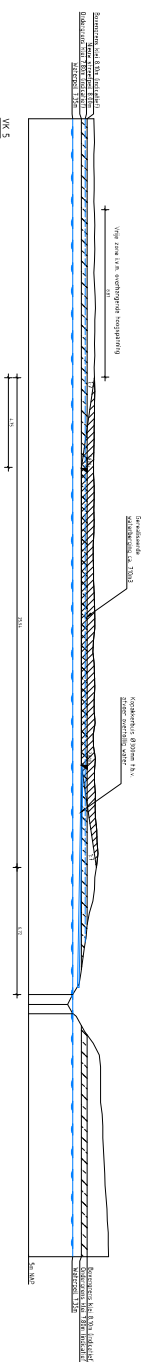
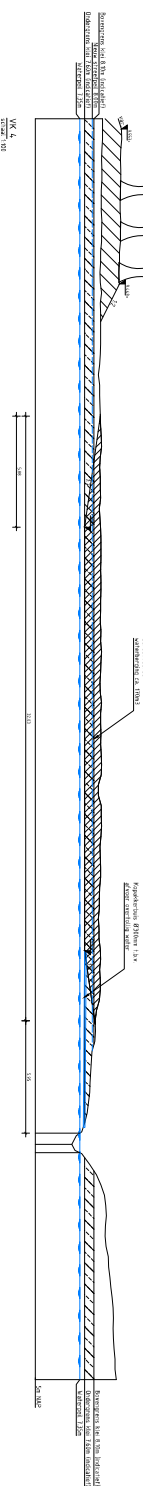
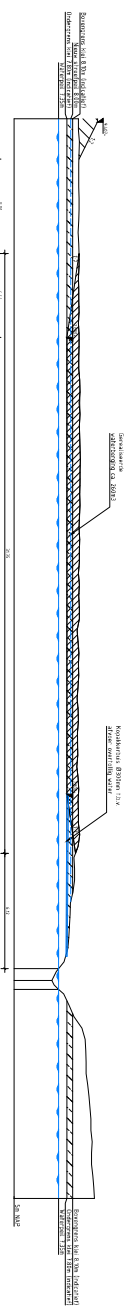
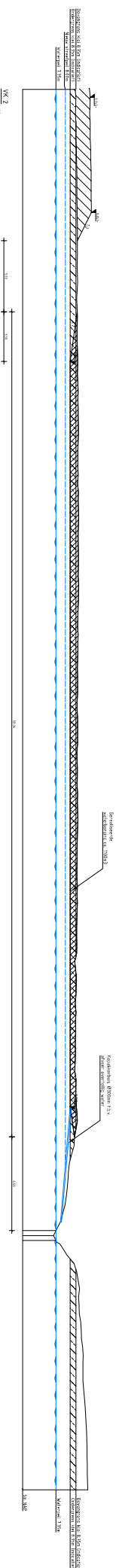


LEGENDA

- | | |
|---|------------------------|
|  | Waterpool |
|  | Nieuw streefpool |
|  | Moderate light holding |
|  | Top on holding sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |
|  | Overlapped sign |

Opmerkingen:

- Motion in motors;
- Hysteresis in motors & w. MAP





BIJLAGE: LAGENMODEL MORIA

Tabel III.1 Modellen MORIA voor modelgebied

Modellaag	Gemiddelde Bovenkant [m NAP]	Gemiddelde Onderkant [m NAP]	Gemiddelde KD (watervoerend) of C (weerstand)
1	+9,89	+9,86	10,5
-1	+9,86	+9,83	225,8
2	+9,83	+9,57	2,37
-2	+9,57	+9,54	1,0
3	+9,54	+8,93	3,6
-3	+8,93	+8,92	1,0
4	+8,92	-4,30	894,5
-4	-4,30	-4,31	1,0
5	-4,31	-4,36	0,01
-5	-4,36	-4,37	1,0
6	-4,37	-5,97	101,4
-6	-5,97	-5,98	1,0
7	-5,98	-7,18	53,2
-7	-7,18	-7,19	1,0
8	-7,19	-7,20	0,01
-8	-7,20	-7,21	1,0
9	-7,21	-7,55	7,7
-9	-7,55	-7,56	1,0
10	-7,56	-8,09	26,3
-10	-8,09	-8,10	1,0
11	-8,10	-8,11	0,01
-11	-8,11	-8,12	1,0
12	-8,12	-8,66	10,0
-12	-8,66	-9,05	51,5
13	-9,05	-18,14	210,9
-13	-8,66	-18,16	1,8
14	-18,16	-22,30	91,2
-14	-22,30	-22,31	1,0
15	-22,31	-24,98	60,0
-15	-24,98	-24,99	1,0
16	-24,99	-25,00	0,01
-16	-25,00	-25,01	1,0
17	-25,01	-25,08	0,01
-17	-25,08	-25,19	7741,2
18	-25,19	-31,06	78,0
-18	-25,08	-31,07	404,6
19	-31,07	-185,62	542,7

