



Geohydrologische effectberekening Schubbenproject en Polder Waard- Nieuwland

Eindrapport

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

21 november 2016

Project	Geohydrologische effectberekening Schubbenproject en Polder Waard-Nieuwland
Document	Eindrapport
Status	Definitief 02
Datum	21 november 2016
Referentie	HHW14-1/16-019.425

Opdrachtgever	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Projectcode	HHW14-1
Projectleider	F.G. Versteegen MSc
Projectdirecteur	ir. H.J. Mondeel

Auteur(s)	F.G. Versteegen MSc
Gecontroleerd door	drs. A. Biesheuvel
Goedgekeurd door	F.G. Versteegen MSc

Paraaf



Adres	Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. Deventer Hoogoorddreef 15 Postbus 12205 1100 AE Amsterdam +31 (0)20 312 55 55 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 veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. 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	1
1.1	Achtergrond	1
1.2	Doel	2
1.3	Leeswijzer	2
2	UITGANGSPUNTEN EN RANDVOORWAARDEN	3
2.1	Projectlocatie	3
2.2	Huidig watersysteem en peilen	4
2.2.1	Peilen huidige situatie Polder Waard-Nieuwland	4
2.2.2	Peilen huidige situatie watergangen tussen Polder Waard-Nieuwland en Schubbenproject	6
2.2.3	Peilen huidige situatie locatie Schubbenproject	6
2.2.4	Indeling naar type watergangen in huidige situatie	7
2.3	Beschrijving aanpassing aan watersysteem	8
2.3.1	Aanpassingen bij Polder Waard-Nieuwland	8
2.3.2	Aanpassingen bij Schubbenproject	9
3	GRONDWATERMODEL	13
3.1	Modelversie	13
3.2	Modelgebied & grid	13
3.3	Modelschematisatie	14
3.4	Randvoorwaarden	16
3.4.1	Hydrologische randvoorwaarden	16
3.4.2	Randvoorwaarden chloridenconcentratie	16
3.5	Modelperiode	17
3.6	Huidig watersysteem in grondwatermodel	18
3.7	Berekende grondwaterstand huidige situatie met referentiemodel	19
3.8	Initiële chloridenconcentratie	19
3.9	Chloride gehalten in sink/sources	21
3.10	Samenvatting grondwatermodel	21
4	AANPASSINGEN WATERSYSTEEM IN GRONDWATERMODEL	23

4.1	Polder Waard-Nieuwland	23
4.1.1	Aanpassing peilen	23
4.1.2	Aanpassing ontwerp watergangen	23
4.2	Schubbenproject	24
4.2.1	Peil in het Schubbenproject	25
4.2.2	Waterdiepte in het Schubbenproject	25
4.2.3	Bodemweerstand waterpartij Schubbenproject	25
4.3	Scenario's	25
5	RESULTATEN	26
5.1	Effect op grondwaterstand	26
5.1.1	Effect aanpassingen watersysteem Polder Waard-Nieuwland	26
5.1.2	Effect aanpassingen watersysteem Schubbenproject	27
5.1.3	Effect aanpassingen watersysteem PWN & Schubbenproject	28
5.2	Effect op chloridenconcentraties	29
6	CONCLUSIES & AANBEVELINGEN	34
6.1	Conclusie	34
6.2	Aanbevelingen/mitigerende maatregelen	38
7	REFERENTIES	40
	Laatste pagina	40
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Watersysteem Polder Waard-Nieuwland	1
II	Beschrijving uitgangsmodel (grondwatermodel)	23

1

INLEIDING

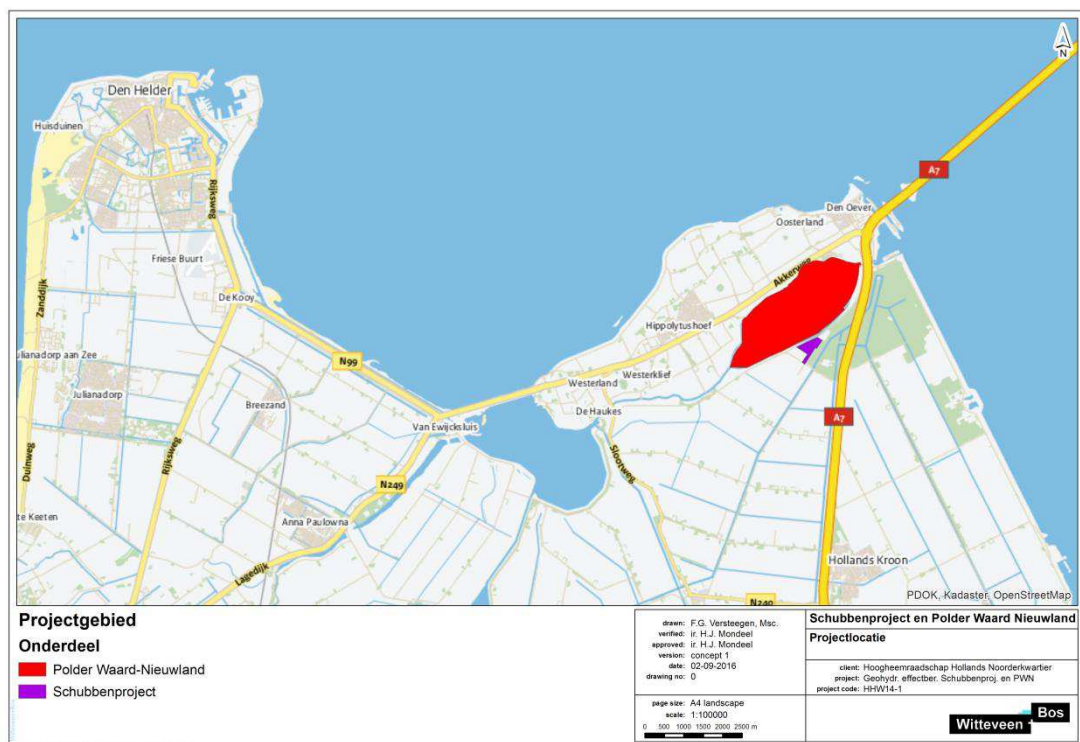
1.1 Achtergrond

Door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier worden plannen opgesteld voor een herziening van het watersysteem nabij Wieringen. De voorziene aanpassingen vallen binnen twee projecten:

- 1 aanpassingen aan het watersysteem in Polder Waard-Nieuwland;
- 2 aanpassingen aan het watersysteem tussen de Wieringerrandweg, de Hippolytushoeveerweg en de Den Oeversche Vaart, het zogenaamde Schubbenproject.

Afbeelding 1.1 toont de regionale ligging van Polder Waard-Nieuwland en het Schubbenproject.

Afbeelding 1.1 Regionale ligging projectlocatie



Beide projecten hebben invloed op de grondwaterstand en daarmee mogelijk op het grensvlak van zoet en zout grondwater op de lange termijn.

Voor het project Wieringerrandmeer heeft Witteveen+Bos in het verleden een geohydrologisch model opgesteld van het gebied Wieringen en Wieringermeerpolder (ref. 7). Dit model is gebruikt om de effecten van de aanpassingen in het watersysteem door te rekenen.

1.2 Doel

Doel van deze studie is de geohydrologische effecten van de aanpassingen aan het watersysteem van het Schubben- en Polder Waard-Nieuwlandproject te beschrijven. De effecten van de aanpassingen op de grondwaterstand en op het chloridegehalte in het grondwater zijn bepaald.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten en randvoorwaarden van het project beschreven. Hoofdstuk 3 beschrijft het grondwatermodel zoals dit gebruikt wordt in het project. Het watersysteem zoals dit in het model is ingevoerd, is vergeleken met het watersysteem zoals beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 4 is vervolgens beschreven welke aanpassingen aan het grondwatermodel worden gedaan, en welke berekeningen zijn uitgevoerd. In hoofdstuk 5 zijn de berekende effecten beschreven. Tot slot zijn in hoofdstuk 6 de conclusie en aanbevelingen beschreven.

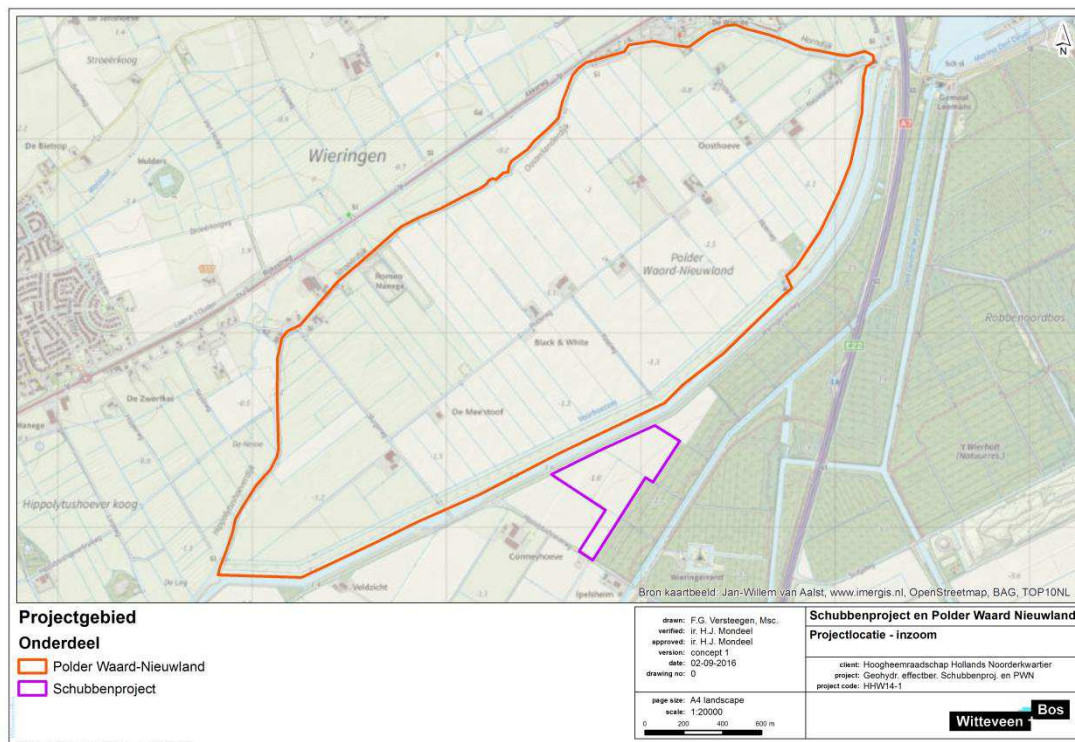
2

UITGANGSPUNTEN EN RANDVOORWAARDEN

2.1 Projectlocatie

Afbeelding 2.1 toont de projectlocatie. Zowel de ligging van Polder Waard-Nieuwland is aangegeven als de ligging van het Schubbenproject.

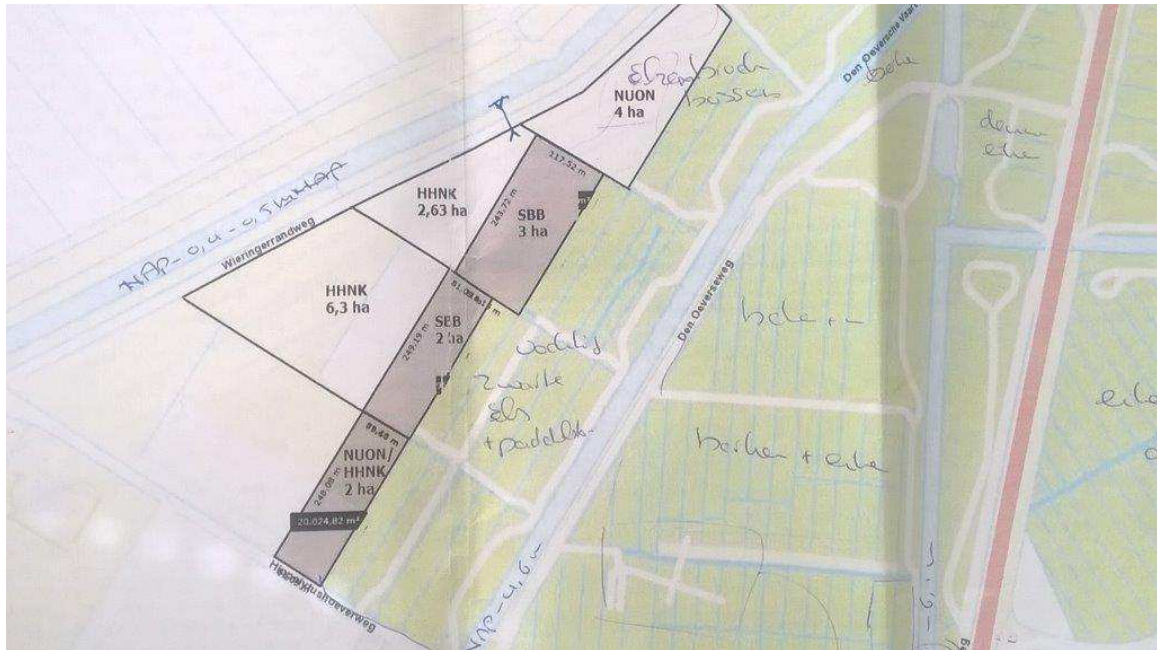
Afbeelding 2.1 Locale ligging projectlocatie



In afbeelding 2.2 staan de oppervlaktes en eigenaren van de verschillende delen van het Schubbenproject. Het gebied aan de noordoostzijde van het Schubbenproject, aangeduid met 'NUON 4 ha' is geen onderdeel van projectgebied Schubbenproject. De volgende percelen zijn wel onderdeel van het Schubbenproject:

- HHNK (2,63 ha);
- HHNK (6,3 ha);
- SBB (3 ha);
- SBB (2 ha);
- NUON/HHNK (2 ha).

Afbeelding 2.2 Projectgebied Schubbenproject met oppervlaktes en eigenaren van de verschillende percelen



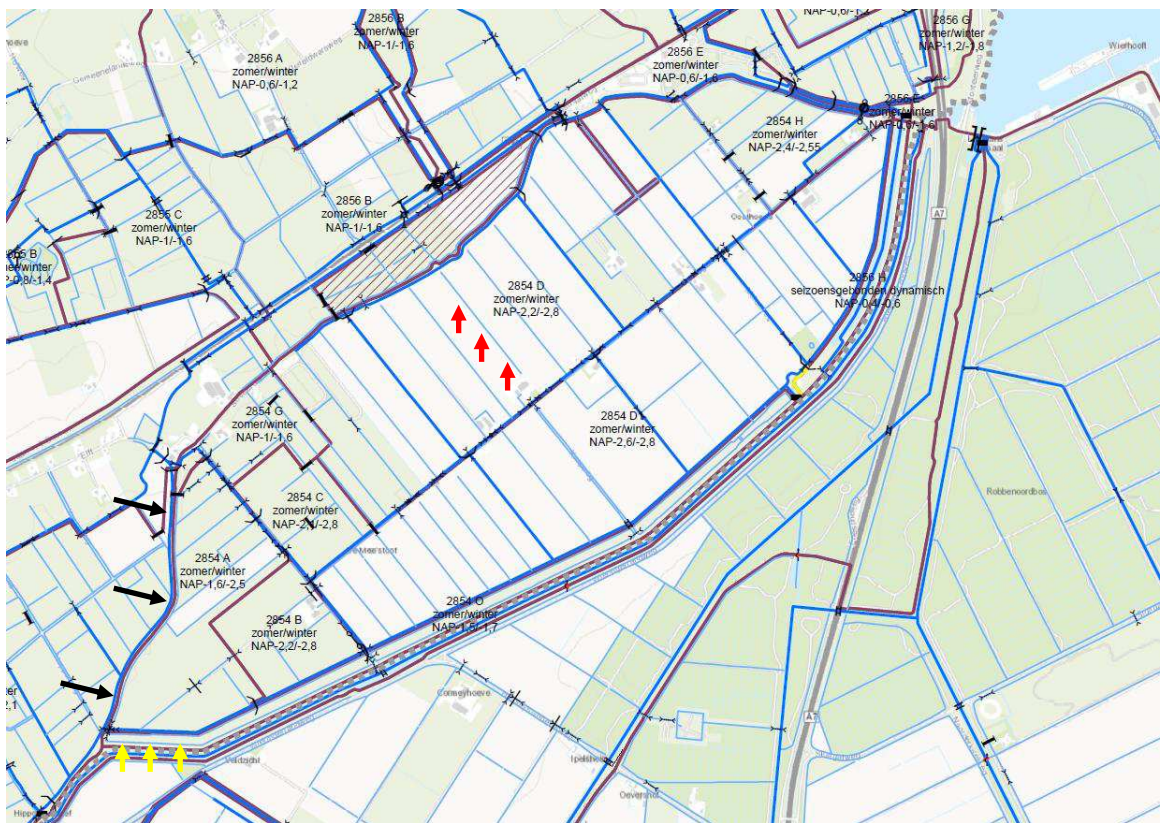
2.2 Huidig watersysteem en peilen

Deze paragraaf beschrijft het watersysteem en peilen in de huidige situatie van beide onderdelen van het project.

2.2.1 Peilen huidige situatie Polder Waard-Nieuwland

Afbeelding 2.3 toont de watergangen en peilen zoals in de huidige situatie [ref. 2].

Afbeelding 2.3 Huidige situatie [ref. 2]



In onderstaande tabel staan de peilgebieden en de zomer- en winterpeilen van de huidige situatie in Polder Waard-Nieuwland genoemd.

Tabel 2.1 Peilgebieden Polder Waard-Nieuwland met peilen in huidige situatie [ref. 2]

Peilgebied	Zomerpeil huidige situatie [m NAP]	Winterpeil huidige situatie [m NAP]
2854 A	-1,6	-2,5
2854 B	-2,2	-2,8
2854 C	-2,1	-2,8
2854 D	-2,2	-2,8
2854 D1	-2,6	-2,8
2854 G	-1	-1,6
2854 H	-2,4	-2,55
2854 O	-1,5	-1,7

De met de rode pijl aangegeven watergang is in afbeelding 2.3 opgenomen in peilgebied 2854 D. In de praktijk hoort deze watergang bij peilgebied 2856B met een zomer- en winterpeil van respectievelijk NAP -1 m en NAP -1,6 m.

De met de zwarte pijlen aangegeven watergang heeft in de huidige situatie een zomer- en winterpeil van NAP -1,6 m en NAP -2,1 m.

De met gele pijlen aangegeven watergang heeft in de huidige situatie het peil uit peilgebied 2854 A.

2.2.2 Peilen huidige situatie watergangen tussen Polder Waard-Nieuwland en Schubbenproject

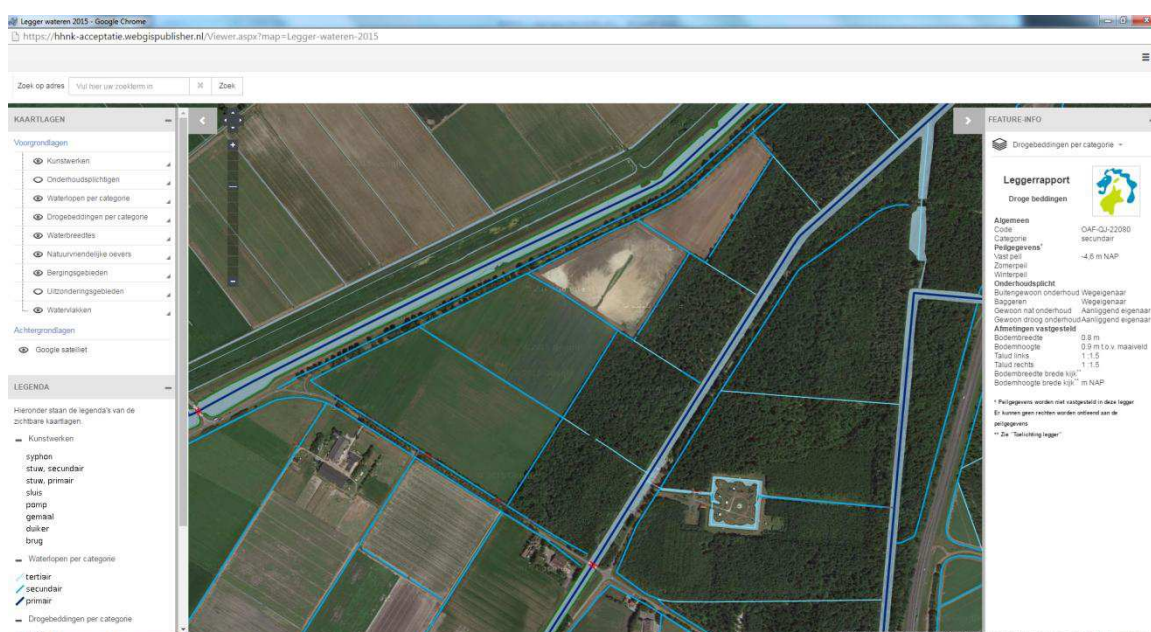
Ten zuiden van Polder Waard-Nieuwland ligt het Amstelmeerkanaal. Hierin geldt een peil van NAP -0,4 m (zomer) en NAP -0,5 m (winter). Peilgebied 2856 H, gelegen aan de oostgrens van Polder Waard-Nieuwland, is verbonden met het Amstelmeerkanaal. Hierin geldt hetzelfde peil als in het Amstelmeerkanaal.

Zuidelijk van het Amstelmeerkanaal loopt de Wieringenrandweg. Aan weerszijden van deze weg is een watergang gelegen. In deze watergang geldt een peil van circa NAP -2,5 m.

2.2.3 Peilen huidige situatie locatie Schubbenproject

Afbeelding 2.4 toont de ligging van de watergangen zoals die in de huidige situatie bij de locatie van het Schubbenproject gelegen zijn.

Afbeelding 2.4 Locatie watergangen huidige situatie locatie Schubbenproject [ref. 3]

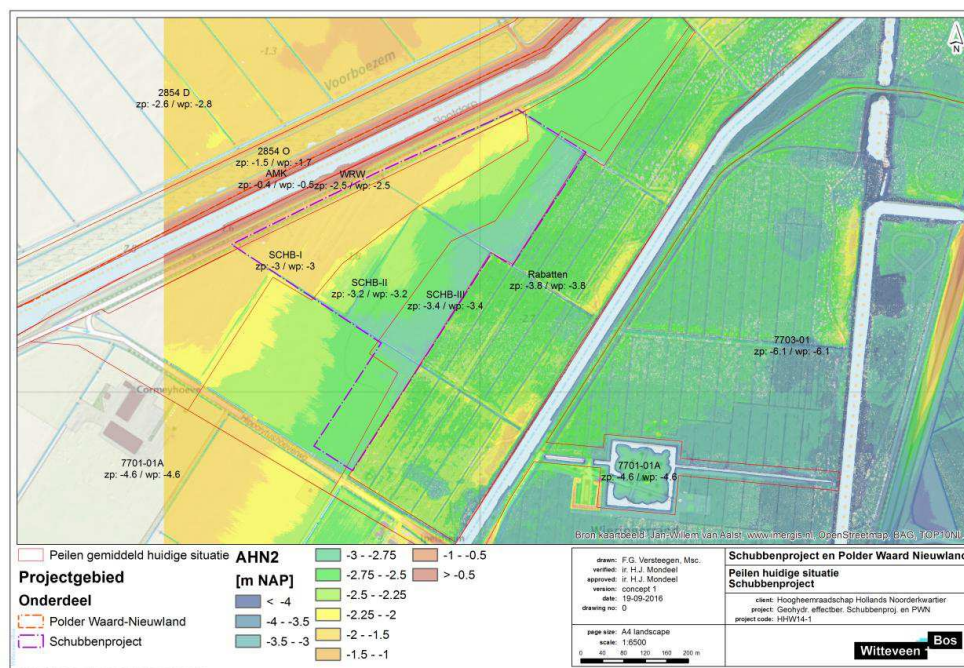


In de huidige situatie geldt in deze watergangen een vast streefpeil van NAP -4,6 m [ref. 3]. Echter, in de praktijk wijken de peilen hiervan af.

In afbeelding 2.5 zijn de praktijkpeilen van de huidige situatie weergegeven. Hierbij de volgende opmerkingen/toevoegingen:

- SCHB: dit betreft het gebied waarbinnen het Schubbenproject gerealiseerd wordt in de toekomst. Hierin is het peil tussen NAP -3,0 m en NAP -3,4 m [ref. 9]. Afhankelijk van maaiveldhoogte is het gemiddelde peil voor de huidige situatie vastgesteld. In de huidige situatie is het peil in dit gebied opgedeeld in drie peilgebieden (SCHB-I, SCHB-II en SCHB-III). In deze gebieden verloopt het peil van NAP -3,0 m naar NAP -3,4 m;
- Rabatten: dit betreft de bospercelen. Hierin geldt een gemiddeld peil van NAP -3,8 m;
- WRW: dit gebied omvat de Wieringenrandweg. De watergangen langs deze weg kennen een peil van NAP -2,5 m;
- AMK: dit gebied omvat het Amstelmeerkanaal. Hierin geldt een zomerpeil van NAP -0,4 m en een winterpeil van NAP -0,5 m.

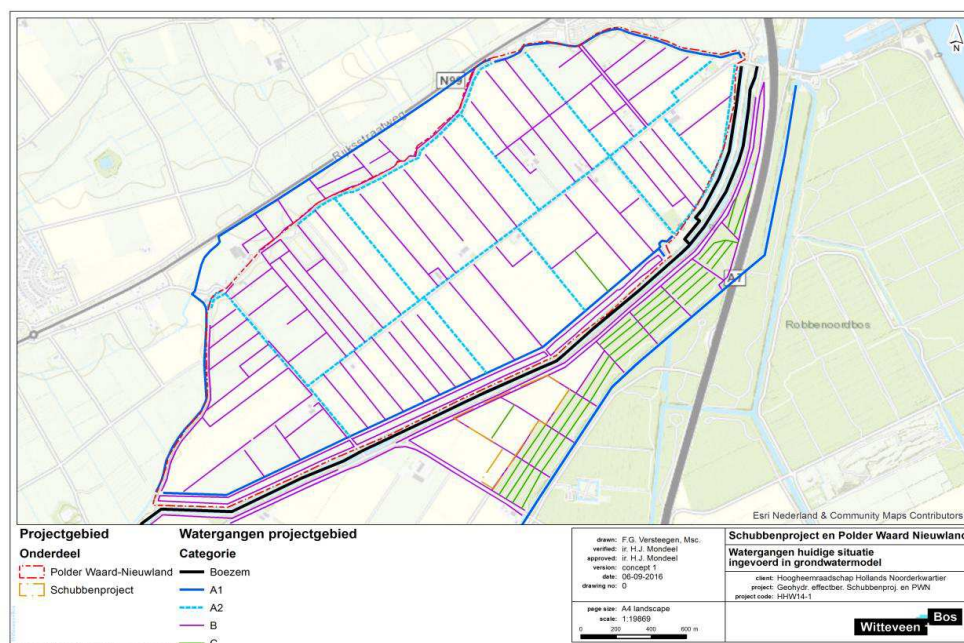
Afbeelding 2.5 Huidige situatie ter plaatse van Schubbenproject. De oranje/broine grenzen geven de aangemaakte peilvakken met de praktijkpeilen aan. Deze zijn op basis van het AHN2 maaiveldniveau ingetekend. Het peil verloopt van NAP -3 m tot NAP -3,4 m



2.2.4 Indeling naar type watergangen in huidige situatie

Op basis van [ref. 2] en [ref. 3] is een indeling gemaakt naar type watergangen in het projectgebied. Afbeelding 2.6 toont de verschillende categorieën watergangen in het projectgebied.

Afbeelding 2.6 Watergangen projectgebied, ligging watergangen op basis [ref. 2]



Er is onderscheid gemaakt tussen A1-, A2-, B- en C-watgangen en boezems. In tabel 2.2 staan de kenmerken van de verschillende type watgangen weergegeven. Per categorie is een typische breedte, diepte en bodemweerstand aangehouden. De afmetingen zijn gebaseerd op informatie uit de GIS-viewer van het HHNK [ref. 3]. Niet alle watgangen zijn in deze viewer beschikbaar, en tussen watgangen is veel variëteit in afmetingen. Daarom is een globale indeling gemaakt. De weerstandswaarden zijn gebaseerd op de invoer zoals in het Wieringerrandmeemodel [ref. 7] en op basis van standaardwaarden zoals opgenomen in [ref. 8].

Tabel 2.2 Kenmerken van verschillende categorieën watgangen in het grondwatermodel

Categorie watgang	Gemiddelde breedte watgang [m]	Gemiddelde diepte watgang [m]	Bodemweerstand watgang [dagen]	Conductance watgang ¹ [m ² /dag]
Boezem	25	2	25	25
A - 1 (breder)	5	1	5	25
A - 2 (smaller)	2.5	1	5	12.5
B	1	1	10	2.5
C	0.5	0.5	50	0.25

¹ Conductance = (lengte watgang in modelcel [m] * breedte watgang [m]) / bodemweerstand [dagen]. Lengte watgang in modelcel is 25 m, omdat modelcelgrootte 25 x 25 m is.

2.3 Beschrijving aanpassing aan watersysteem

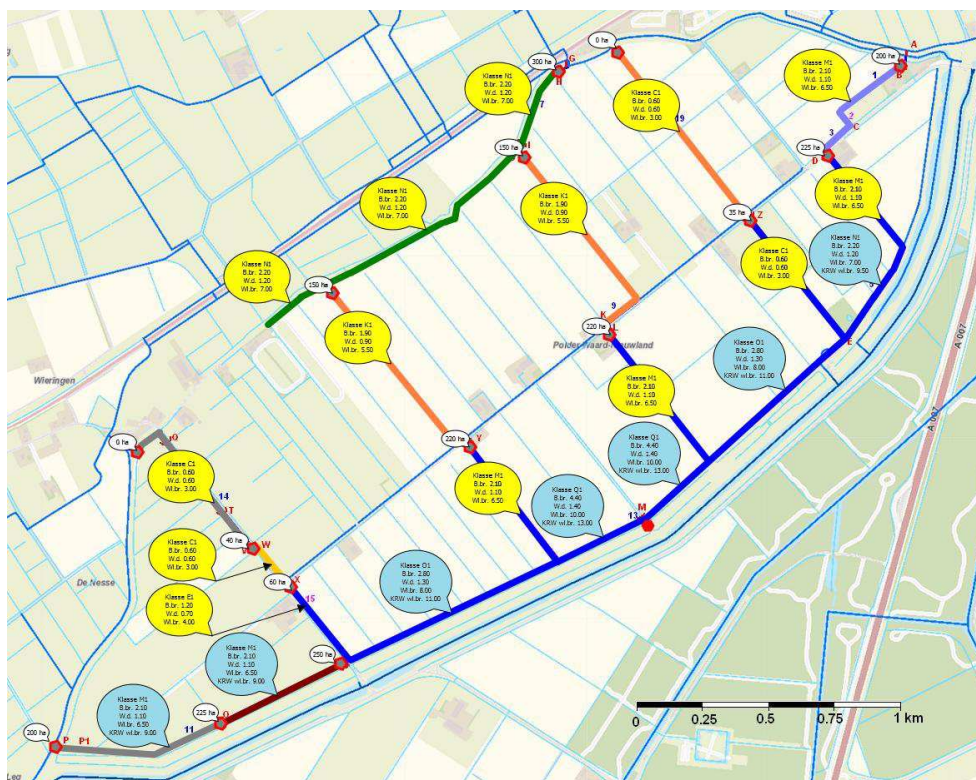
In deze paragraaf zijn de aanpassingen aan het watersysteem beschreven.

2.3.1 Aanpassingen bij Polder Waard-Nieuwland

In Polder Waard-Nieuwland worden de volgende wijzigingen in het watersysteem voorzien:

- 1 aanpassing peilen. In bijlage I is het peil in de toekomstige situatie weergegeven. De peilvakgrenzen veranderen ten opzichte van de huidige situatie. Het grootste gedeelte van Polder Waard-Nieuwland bestaat thans uit peilvak 2854D met een zomerpeil van NAP -2,6 m en een winterpeil van NAP -2,8 m. In toekomstige situatie wordt in een groot gedeelte van dit peilvak een gemiddeld peil van NAP -2,3 m ingevoerd;
- 2 aanpassing watgangen conform afbeelding 2.7. Ten opzichte van deze kaart is er één wijziging ontvangen [ref. 6]. Het gedeelte van de watgang tussen punt A en punt E wordt niet aangepast ten opzichte van de huidige situatie.

Abbeelding 2.7 Aanpassing aan watergangen [ref. 4.]



In afbeelding 2.7 staan de kenmerken van de watergangen gegevens zoals die in de toekomstige situatie (na aanpassing) zullen zijn. Er worden verschillende klassen watergangen onderscheiden. In tabel 2.3 staan de kenmerken van de verschillende klassen.

Tabel 2.3 Kenmerken verschillende klassen watergangen

Klasse	Bodembreedte [m]	Waterdiepte [m]	Breedte op waterlijn [m]
C1	0.6	0.6	3
E1	1.7	0.7	4.0
K1	1.9	0.9	5.5
M1	2.1	1.1	6.5 (KRW: 9)
N1	2.2	1.2	7.0 (KRW: 9.5)
O1	2.8	1.3	8.0 (KRW: 11.0)
Q1	4.4	1.4	10.0 (KRW: 13.0)

De waterbreedtes waarbij van de laatste vier klassen kennen ook een KRW (Kaderrichtlijn Water) breedte.

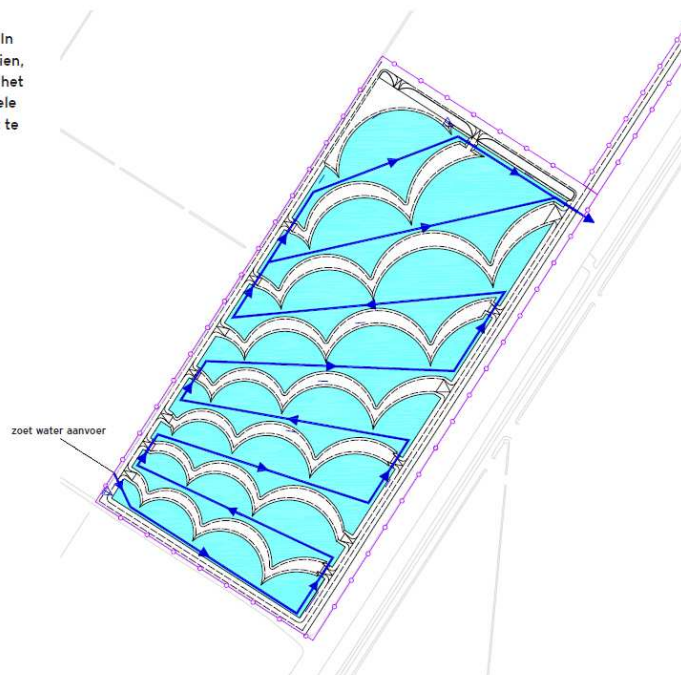
2.3.2 Aanpassingen bij Schubbenproject

Bij de locatie van het Schubbenproject wordt het huidig watersysteem volledig aangepast. Er wordt een 'schubbenpatroon' van open water in het landschap gecreëerd. Dit principe is weergegeven in afbeelding 2.8.

Afbeelding 2.8 Principeschets van het watersysteem Schubbenproject [ref. 6]

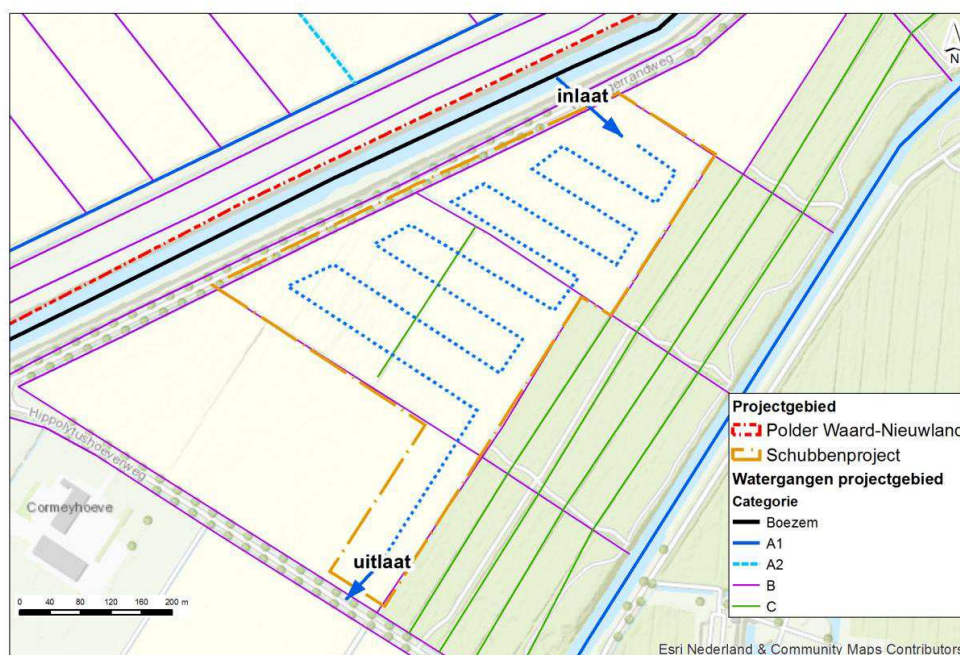
watersysteem

Er komt zoet water vanuit het westen via het bestaande slotenpatroon het plangebied binnen. In het ontwerp is een zo lang mogelijke route voorzien, waarbij het water via een radiatorstructuur door het gebied heen slingert. In het noorden worden enkele lussen met elkaar verbonden, om gezamenlijk uit te komen in de Den Oeverschevaart.



In afbeelding 2.9 is de locatie van het Schubbenproject weergegeven en de locatie van waterinlaat en wateruitlaat. Tussen deze beide punten worden de watervlakken zoals weergegeven in bovenstaande schets aangelegd.

Afbeelding 2.9 Locatie Schubbenproject



Het water wordt ingelaten vanuit het Amstelmeerkanaal. Het peil hierin is in de zomer NAP -0,4 m en in de winter NAP -0,5 m. Bij de inlaat wordt een peil van circa NAP -2,5 m aangehouden.

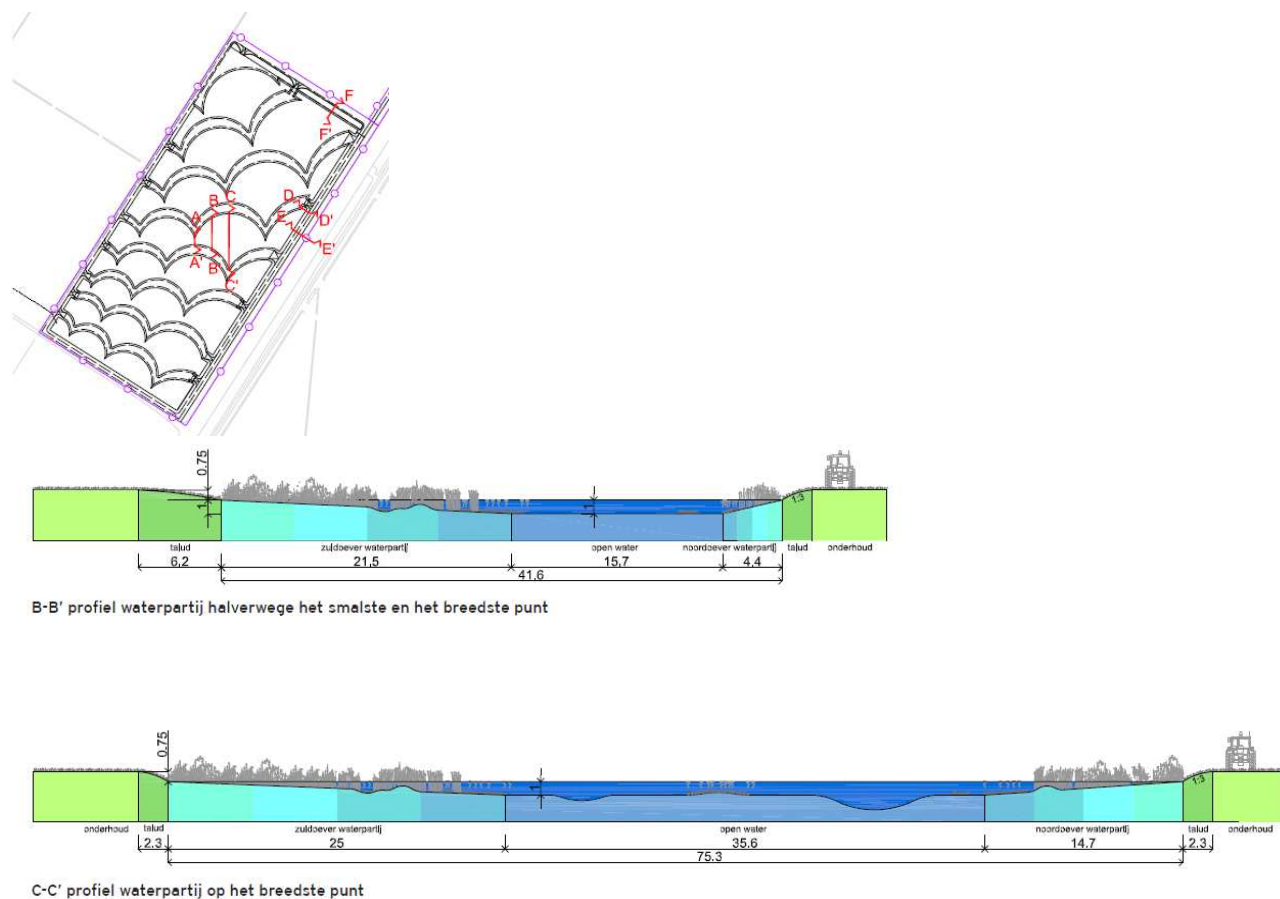
Binnen het Schubbenproject verloopt het peil van NAP -2,5 m tot circa NAP -3,3 m. De uitlaat van het Schubbenproject komt uit op de watergang die parallel aan de Hippolytushoeverweg loopt. Daarin geldt in de huidige situatie een peil dat verloopt van NAP -3 m (aan noordwestzijde) tot NAP -3,4 m aan zuidoostzijde. De uitlaat van het Schubbenproject komt in deze watergang, ter hoogte van een peil van NAP -3,4 m.

Via de sloot parallel aan de Hippolytushoeverweg watert het systeem af naar Den Oeverse Vaart. Hierin geldt een vast peil van NAP -4,6 m.

Door het gebied van het Schubbenproject zal één 'hoofdwatgang' aangelegd worden. Dit is het diepere gedeelte van de plassen. Deze 'watgang' is geschetst met de donkerblauwe pijl in afbeelding 2.8.

De dieptes van de waterpartijen zijn aangegeven in doorsneden in afbeelding 2.10 [ref. 6]. Daaruit is op te maken dat de bodem van de plassen onder een talud wordt aangelegd. De diepte van de plassen varieert dus van zeer ondiep naar een maximale diepte ter plaatse van de 'hoofdwatgang' van circa 1 m.

Afbeelding 2.10 Doorsneden Schubbenproject



Uit de doorsneden volgt dat op het smalste gedeelte de waterpartij 41,6 m breed wordt. Op het breedste deel wordt de waterpartij 75,3 m breed. De diepte van de waterpartij verloopt over de totale breedte van minimaal 0 m naar maximaal 1 m diepte [ref. 13]. In onderstaande tabel staan de eigenschappen van de te graven waterpartij.

Tabel 2.4 Diepte waterpartij Schubbenproject

Deel waterpartij	Maximale breedte	Breedte taluds (deel waar diepte verloopt van 0 m naar 1 m)	Breedte 'diep' gedeelte (waterdiepte = 1 m)	Percentage taluds	Percentage 'diep'
doorsnede smalste deel waterpartij	41,6	25,9 (21,5 m + 4,4 m)	15,7	62 %	38 %
doorsnede breedste deel waterpartij	75,3	39,7 (14,7 m + 25 m)	35,6	53 %	47 %

Bij het breedste gedeelte van de waterpartij bestaat circa 50 % van het profiel uit circa 1 m waterdiepte en circa 50 % van het profiel uit een waterdiepte die verloopt van 1 m diepte tot 0 m diepte. Gemiddeld wordt voor het ondiepere gedeelte een waterdiepte van 0,5 m aangehouden. Gemiddeld wordt voor het diepere gedeelte 1 m waterdiepte aangehouden.

In het volgende hoofdstuk wordt het grondwatermodel beschreven. Daarna wordt in hoofdstuk 4 beschreven hoe de aanpassingen in het watersysteem in het grondwatermodel zijn ingevoerd. In het grondwatermodel is het breedste deel van de waterpartij als maatgevend aangehouden, omdat hier het grootste deel van de watergang 'diep' is (47 %). Dit is een worstcase benadering.

3

GRONDWATERMODEL

In dit hoofdstuk is het gebruikte grondwatermodel beschreven.

3.1 Modelversie

Er wordt gebruik gemaakt van het MODFLOW/SEAWAT model dat is opgesteld om de effecten van het Wieringerrandmeer te berekenen [ref. 7]. Dit model is het uitgangsmodel. Een uitgebreide beschrijving van het uitgangsmodel is opgenomen in bijlage II. Dit is de modelbeschrijving zoals opgenomen bij [ref. 7].

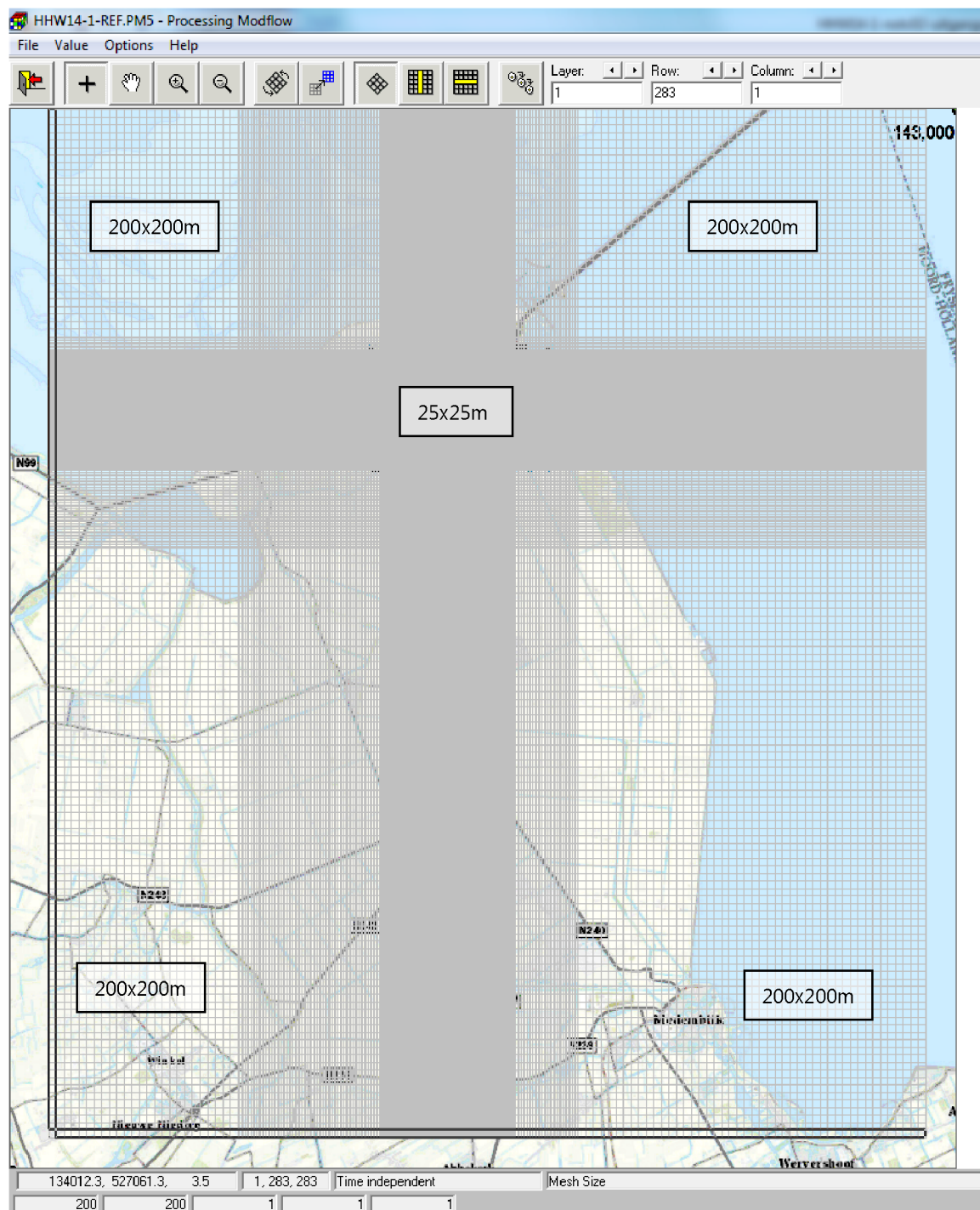
Het uitgangsmodel is gekopieerd en hernoemd naar HHW14-1-ref.pm5. Dit is het referentiemodel.

Ten opzichte van het uitgangsmodel is een aantal aanpassingen gedaan aan het referentiemodel. Deze aanpassingen zijn in dit hoofdstuk beschreven. In het volgende hoofdstuk (H4) is vervolgens beschreven hoe de aanpassingen aan het watersysteem Polder Waard-Nieuwland en Schubbenproject ingevoerd zijn.

3.2 Modelgebied & grid

Afbeelding 3.1 toont het modelgebied van het referentiemodel. Het modelgebied komt grofweg overeen met gemeente Hollandse Kroon. Het modelgrid is verfijnd ter plaatse van het projectgebied. In de afbeelding is te zien dat de gridgrootte van de cellen onregelmatig is. In de hoeken is de celgrootte 200 x 00 m. Naar het midden toe wordt dit verfijnd naar cellen van 25 x 25 m ter plaatse van het projectgebied. De celgrootte in het uitgangsmodel was hier 50 x 50.

Afbeelding 3.1 Modelgebied en celgrootte



3.3 Modelschematisatie

Er zijn in het referentiemodel geen aanpassingen gedaan ten opzichte van het uitgangsmodel aan de modelschematisatie. Afbeelding 3.2 toont de modelschematisatie. Voor uitgebreidere beschrijving wordt verwezen naar bijlage II.

Afbeelding 3.2 Modelschematie (uitsnede uit bijlage II, zie bijlage voor uitgebreide toelichting)

Laag	Van	Tot	Geologische Formatie	Geohydrologische eenheid	Conceptueel profiel ¹		
					WE	W1	W2
1	5	2	Westland, Bortel	Deklaag			
2	2	-1	Westland, Gieten Klei, Bortel	Deklaag, 1 ^o WVP			
3	-1	-3	Westland, Gieten Klei, Bortel	Deklaag, 1 ^o WVP, SDL			
4	-3	-8	Westland, Gieten Klei, Bortel	Deklaag, 1 ^o WVP, SDL			
5	-8	-13	Westland, Gieten Klei, Bortel	Deklaag, 1 ^o WVP, SDL			
6	-13	-18	Westland, Gieten Klei, Bortel	Deklaag, 1 ^o WVP, SDL			
7	-18	-23	Gieten Klei, Bortel, Eem	1 ^o WVP, SDL			
8	-23	-27	Eem (Bekkenklei), Drente(Keileem)	1 ^o WVP, 1 ^o SDL			
9	-27	-32	Eem (Bekkenklei), Drente(Keileem), Peelo	1 ^o WVP, 1 ^o SDL			
10	-32	-38	Eem, Urk, Peelo	2 ^o WVP			
11	-38	-43	Urk, Peelo	2 ^o WVP			
12	-43	-48	Urk, Urk klei I, Peelo	2 ^o WVP, SDL			
13	-48	-53	Urk	2e WVP			
14	-53	-61	Urk, Urk klei II	2e WVP, SDL			
15	-61	-69	Urk	2e WVP			
16	-69	-85	Appelscha	2e WVP			
17	-85	-105	Appelscha	2e WVP			
18	-105	-155	Peize	2e WVP			
19	-155	-215	Peize	2e WVP			
20	-215	-285	Maasluis	2e WVP			
21	-285	-355	Maasluis	2e WVP			
22	-355	-385	Maasluis	2e WVP			

1: WE: Wieringen eiland

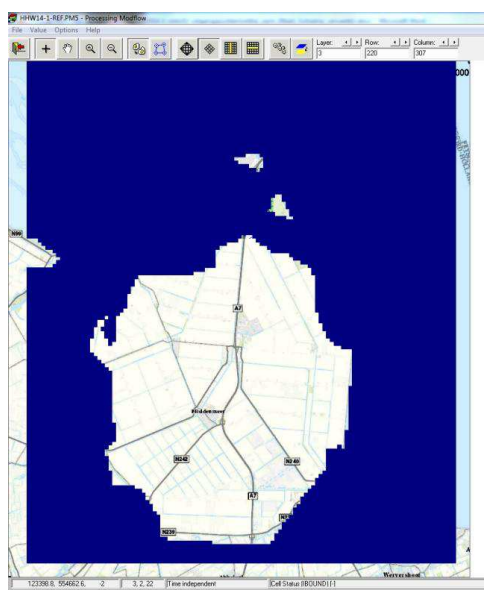
W1: Wieringermeerpolder ten noorden van Wieringerwerf

W2: Wieringermeerpolder ten zuiden van Wieringerwerf

Het model bestaat uit modellagen van gelijke dikte in het horizontale vlak. De boven- en onderkant van de modellagen zijn dus uniform over het modelgebied. Indien een modellaag hoger ligt dan dat het bestaande maaiveld gelegen is, dan is dit gedeelte van het model op inactief gezet.

In afbeelding 3.3 is dit ter illustratie voor modellaag 3 weergegeven. De onderkant van deze modellaag ligt op NAP -3 m. Daar waar het maaiveld lager gelegen is, is het model inactief. In de afbeelding geeft de blauwe kleur het actieve modelgedeelte aan.

Afbeelding 3.3 actief (blauw) en inactief (wit) modelgebied

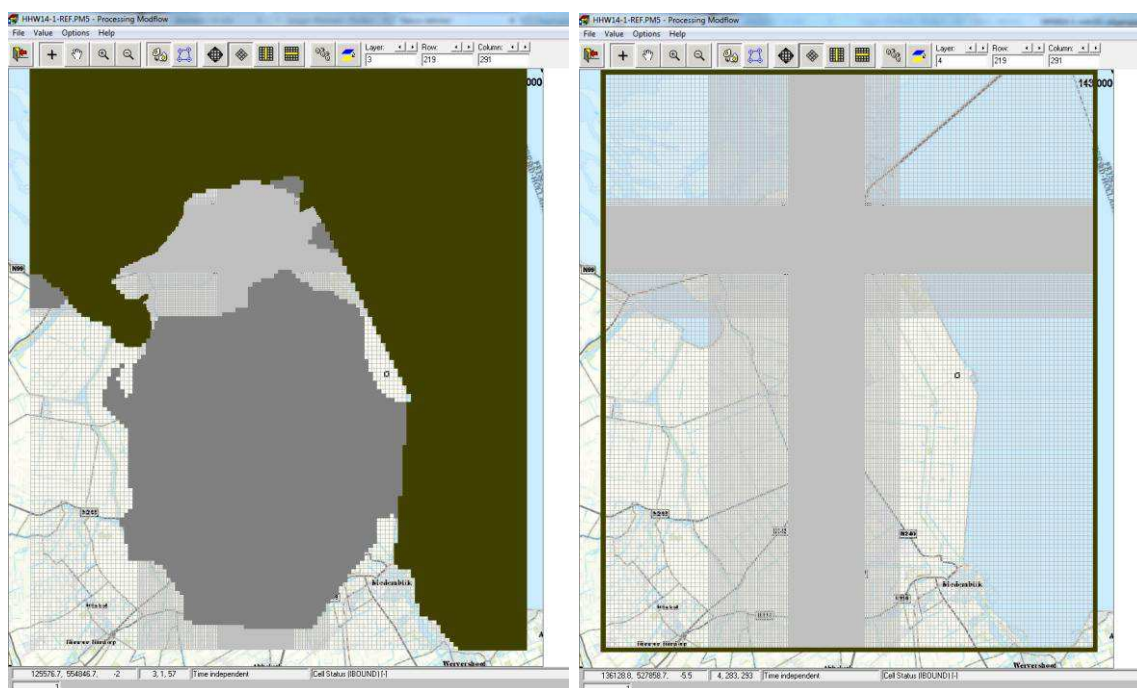


3.4 Randvoorwaarden

3.4.1 Hydrologische randvoorwaarden

Afbeelding 3.4 toont de randvoorwaarden. De groene kleur geeft aan dat er een vast peil is opgelegd (Waddenzee en IJsselmeer). De grijze kleur geeft inactieve cellen aan. Aan de linkerkant zijn de randvoorwaarden van modellaag 3 getoond. Hier is het gemiddeld oppervlaktewaterpeil als gefixeerde randvoorwaarde opgelegd. De Wieringermeerpolder is in deze modellaag inactief doordat het maaiveld hier lager ligt dan de onderkant van de modellaag. Aan de rechterkant (modellaag 4) is het gehele modelgebied actief en zijn de randen gefixeerd op de gemiddelde stijghoogte van de watervoerende pakketten.

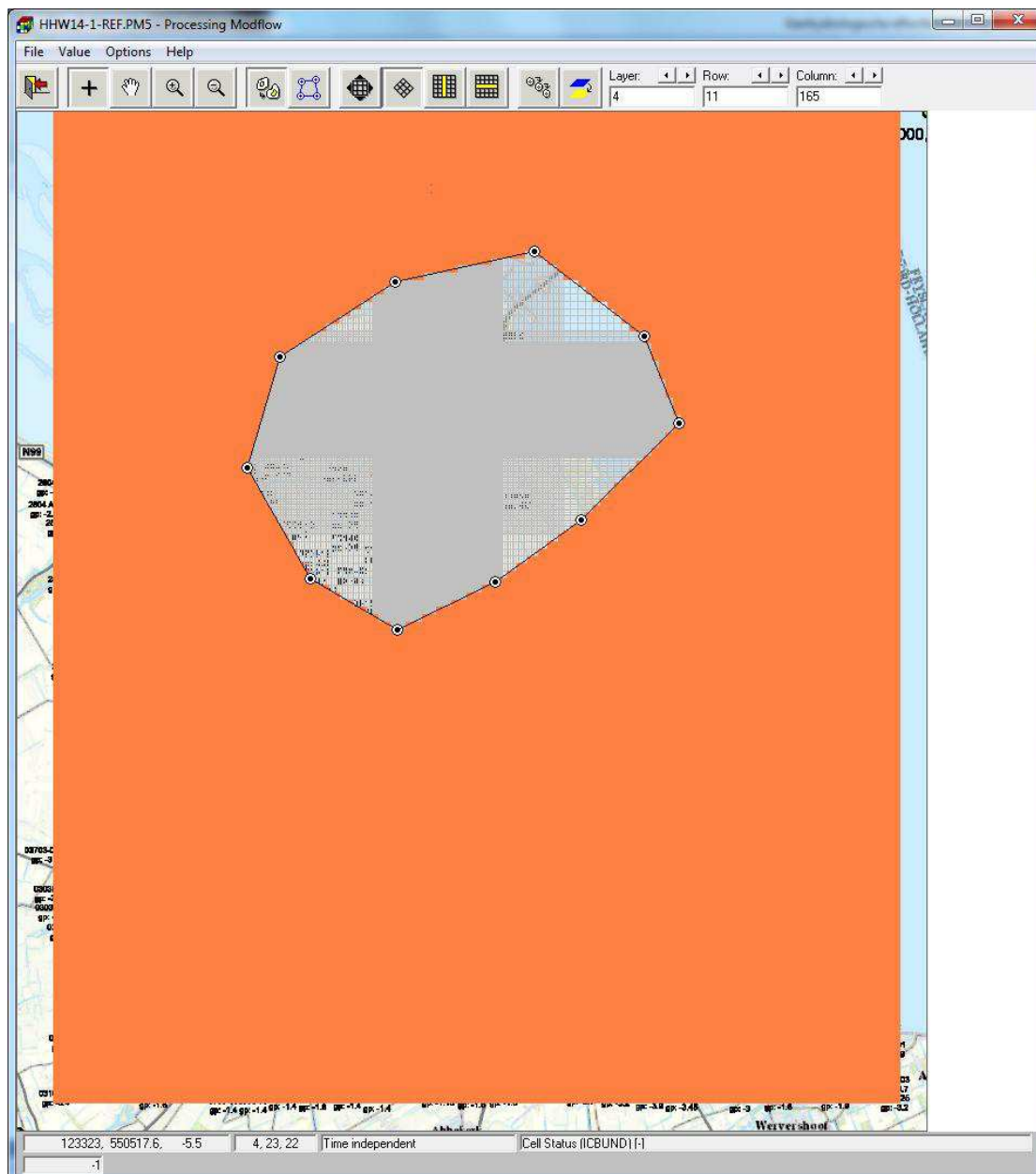
Afbeelding 3.4 Randvoorwaarden modellaag 3 (links) en modellaag 4 (rechts).



3.4.2 Randvoorwaarden chloridenconcentratie

De grondwaterstroming is berekend met SEAWAT, wat betekent dat dichtheidsstroming als gevolg van verschillen in chloridegehalten in het grondwater zijn meegenomen. In een zone rondom het projectgebied wordt de verandering van het chloridegehalte op lange termijn berekend, voor de referentiesituatie en voor de verschillende varianten. Op grotere afstand van het projectgebied is verondersteld dat het chloridegehalte niet wijzigt als gevolg van de ingrepen, en het is dan ook gefixeerd (ook om de rekentijd te bekorten). Afbeelding 3.5 toont het gefixeerde gedeelte van het model (oranje).

Afbeelding 3.5 Randvoorwaarden voor chloridenconcentratie berekening. Oranje is gefixeerd (ICBUND = -1). Wit is actief



3.5 Modelperiode

Het verfijnde stationaire grondwatermodel is gekalibreerd op een gemiddelde situatie tussen de jaren 1995 en 2004 [ref. 7]. De modelperiode is niet aangepast ten opzichte van het uitgangsmodel. Het stromingsmodel rekent stationair (tijdsafhankelijk, voor wat betreft de hydrologische randvoorwaarden als peilen en neerslag. De mogelijke veranderende chloridengehalten worden wel tijdsafhankelijk doorgerekend, om inzicht te geven in mogelijke verzoeting of verzilting op lange termijn.

Na de aanpassingen aan het watersysteem wordt het model doorgerekend. Vervolgens worden de chloridenconcentraties berekend. Daarvoor wordt het chloride model doorgerekend tot aan het jaar 2050 in stappen van 1 jaar. Dit resultaat is gebruikt om de effecten van de maatregelen op de zoutgehaltes in het grondwater te bepalen.

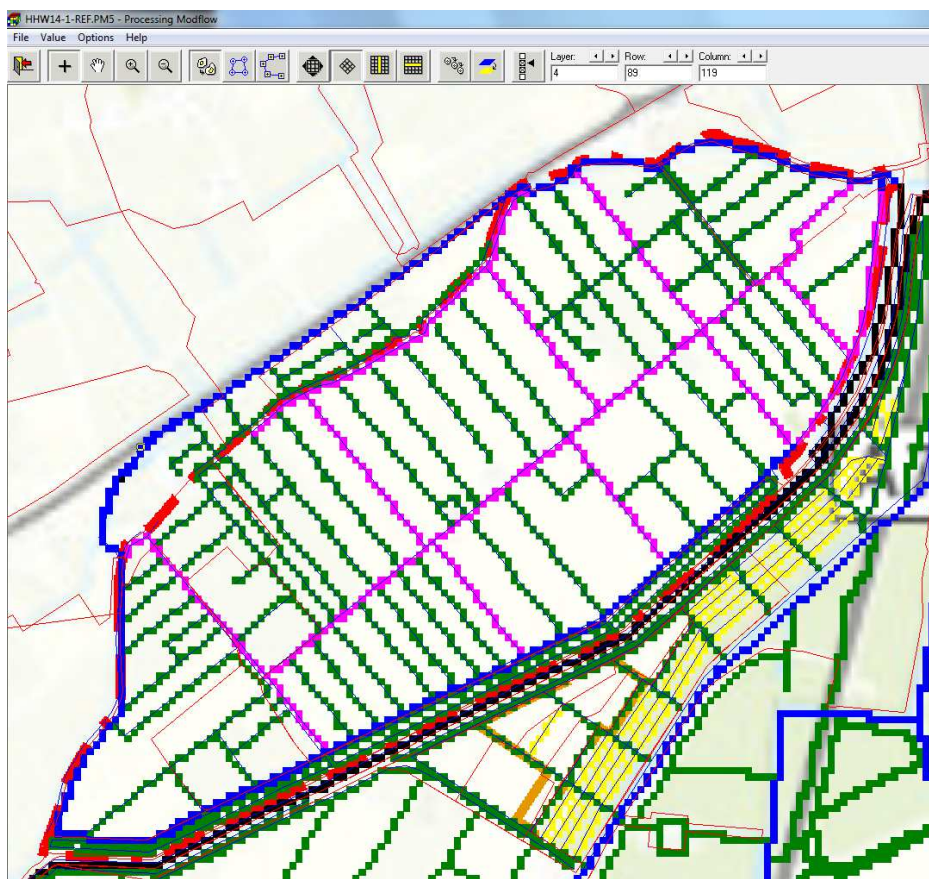
In totaal is 34 jaar doorgerekend. Dit simuleert de periode 2016-2050.

3.6 Huidig watersysteem in grondwatermodel

In het projectgebied zijn de watergangen apart ingevoerd. In het omliggende gebied (buiten het projectgebied) zijn de watergangen vlakdekkend ingevoerd middels een vast peil en een weerstand (General Head Boundary).

Afbeelding 3.6 toont de watergangen zoals ingevoerd. De verschillende kleuren refereren naar de verschillende bodemweerstand, zoals beschreven in paragraaf 2.2.3. In tabel 3.1 zijn de kenmerken nog een keer gegeven.

Afbeelding 3.6 Watergangen zoals ingevoerd in referentiemodel



Tabel 3.1 Kenmerken van verschillende categorieën watergangen in het grondwatermodel

Categorie watergang	Kleur in afbeelding 3.6	Gemiddelde breedte watergang [m]	Gemiddelde diepte watergang [m]	Bodemweerstand watergang [dagen]	Conductance watergang ¹ [m ² /dag]
boezem	zwart	25	2	25	25
A - 1 (breder)	blauw	5	1	5	25
A - 2 (smaller)	roze	2.5	1	5	12.5
B	groen	1	1	10	2.5
C	geel	0.5	0.5	50	0.25

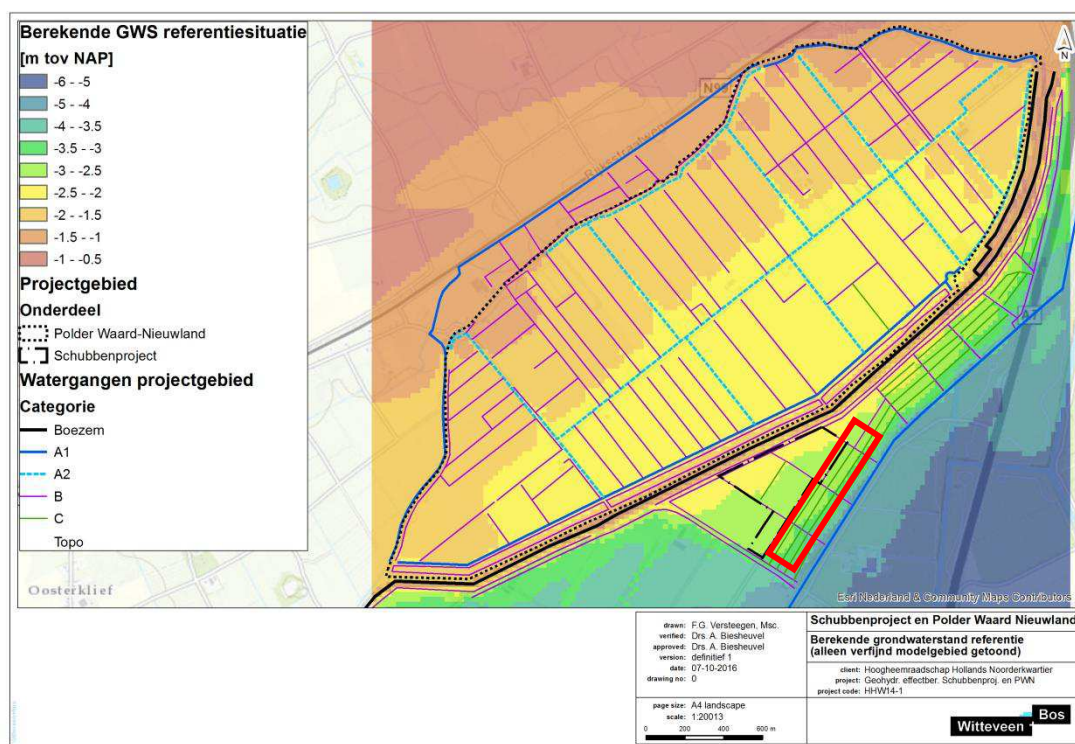
¹ Conductance = (lengte watergang in modelcel [m] * breedte watergang [m]) / bodemweerstand [dagen]. Lengte watergang in modelcel is 25 m, omdat modelcelgrootte 25 x 25 m is.

3.7 Berekende grondwaterstand huidige situatie met referentiemodel

Afbeelding 3.7 toont de berekende grondwaterstand in de referentiesituatie. Binnen Polder Waard-Nieuwland verloopt de berekende grondwaterstand van noord naar zuid van circa NAP -1,6 m tot NAP -2,25 m. Ter plaatse van het Schubbenproject is de berekende grondwaterstand circa NAP -2,3 m langs de Wieringerrandweg, tot circa NAP -3 m langs de Rabatten. De grondwaterstand op de grens van de Rabatten en het Schubbenproject wordt iets te hoog berekend (NAP -3 m). In de praktijk ligt de grondwaterstand hier op circa NAP -3,5 m. Dit verschil wordt verklaard doordat er tussen de watergangen opbolling ontstaat als gevolg van het neerslagoverschot. De bodemweerstand in dit gebied is in het grondwatermodel circa 5 tot 10 dagen. De bodemweerstand toegekend aan de watergangen in de Rabatten (50 dagen) zorgt ervoor dat het water sneller wordt aangevoerd via de grondwateraanvulling dan afgevoerd via de watergangen, waardoor de opbolling ontstaat.

Het gevolg van de te hoog berekende grondwaterstanden in dit gebied is dat lokaal eventueel vernattende effecten overschat zullen worden, en verdrogende effecten onderschat.

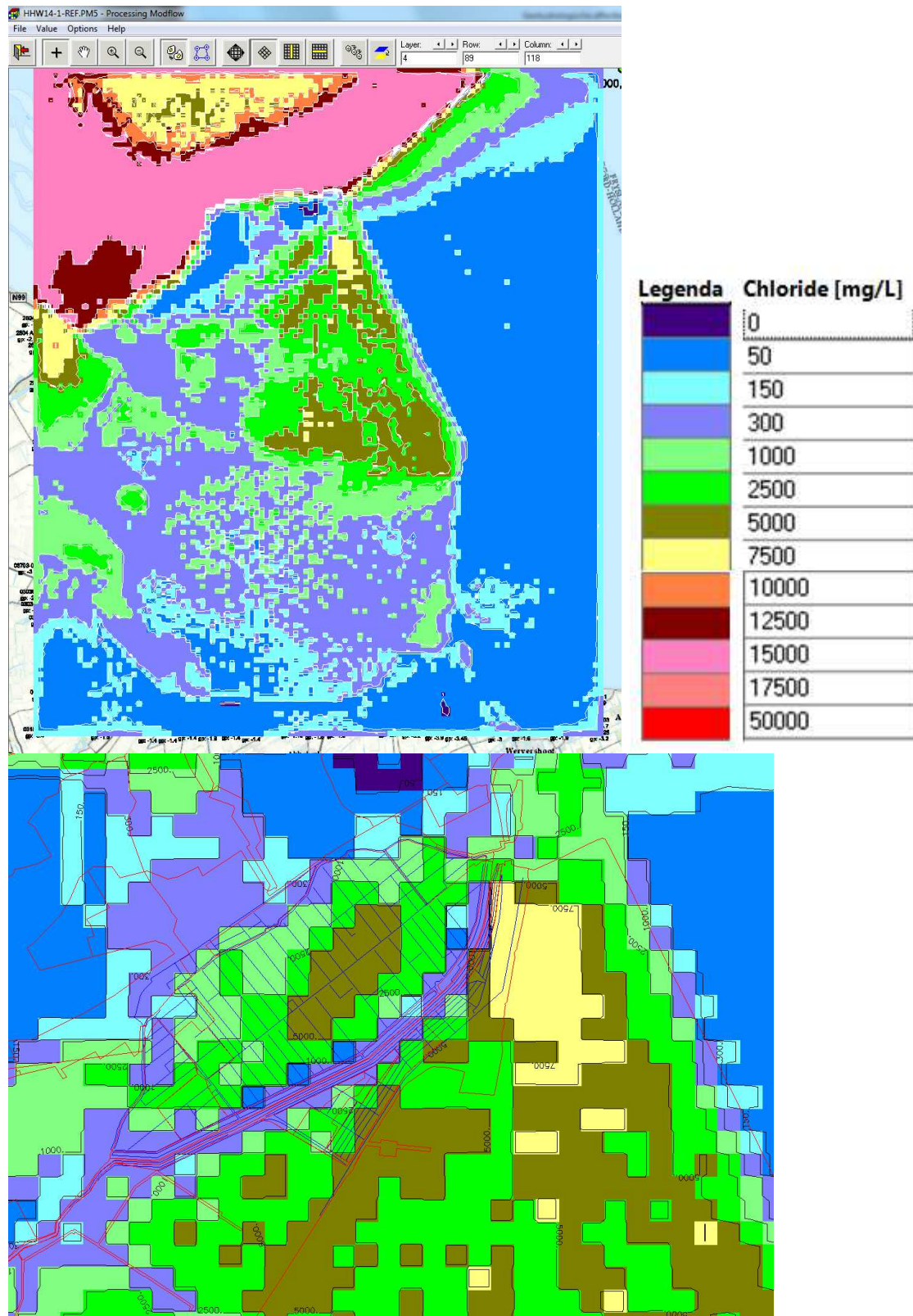
Afbeelding 3.7 Berekende grondwaterstand in referentiesituatie - alleen weergegeven voor verfijnd gedeelte van grondwatermodel



3.8 Initiële chloridenconcentratie

De initiële chloridenconcentratie is overgenomen uit het uitgangsmodel [ref. 7], zoals gebruikt is voor de studie naar de effecten van een randmeer op grondwaterstanden en chloridgehalten. Afbeelding 3.8 toont de chloridenconcentratie in het grondwater zoals opgenomen in modellaag 4. Deze gehalten zijn als uitgangspunt (initiële concentraties) voor de berekeningen gebruikt.

Afbeelding 3.8 Initiële concentratie chloride. Boven: hele modelgebied. Onder: inzoom projectgebied PWN & Schubbenproject



Ter plaatse van Polder Waard-Nieuwland is het chloridegehalte circa 5.000 mg/L in modellaag 4 (tussen NAP -3 m en NAP -8 m). Langs het Amstelmeerkanaal is het circa 300 mg/L. Bij het toekomstig Schubbenproject is het circa 2.500 mg/L.

3.9 Chloride gehalten in sink/sources

In het SEAWAT model zijn chloridenconcentraties aan de sink/sources toegekend. Dit betekent dat indien er water infiltreert of middels neerslag aan het model wordt toegevoegd er een bepaald chloridegehalte in deze bron wordt verondersteld. De waarden staan in onderstaande tabel samengevat. Deze concentraties zijn conform het uitgangsmodel.

Tabel 3.2 Chloridenconcentraties voor Sink/Sources.

Sink/source	Chloridenconcentraties
infiltratie via oppervlaktewater (General Head Boundary)	initiële chloridenconcentraties
aanvulling (recharge package)	25 mg/L.
infiltratie vanuit watergangen (river package)	500 mg/L.

3.10 Samenvatting grondwatermodel

Tabel 3.3 toont de belangrijkste gegevens van het grondwatermodel. Deze tabel is overgenomen uit [ref. 7]. Aan de tabel is een kolom toegevoegd aan de rechterzijde. In die kolom zijn de belangrijkste wijzigingen aan het model toegevoegd zoals deze zijn uitgevoerd in het kader van het huidige project (2016).

Tabel 3.3 Overzicht grondwatermodel gegevens [ref. 7]

Parameter	Aanpassing aan uitgangsmodel (aanpassing uit 2005)	Aanpassing aan referentiemodel (aanpassing 2016)
grid	Verfijning model tot 50 x 50 m ² ter plaatse van het toekomstige Wieringerrandmeer.	Verfijning model tot 25 x 25 m ² ter plaatse van projectgebied.
initiële verdeling chloridenconcentratie grondwater	3D-Interpolatie op basis van velddata (hierbij zijn de waargenomen inversie meegenomen).	Geen aanpassing.
chloridenconcentraties oppervlaktewater	Waddenzee: 16.000 mg/L. IJsselmeer: 100 mg/L. Amstelmeer: 500 mg/L.	Geen aanpassing.
peilen oppervlaktewater	Waddenzee: NAP +0,4 m. IJsselmeer: NAP – 0,3 m. Amstelmeerboezem: - NAP -0,55 m (historisch gemiddeld peil gebruikt voor kalibratie); - NAP -0,40 m (huidig peil gebruikt voor effectenberekeningen).	Waddenzee: geen aanpassing IJsselmeer: geen aanpassing. Amstelmeerboezem: NAP -0,45 m ingevoerd (is het gemiddelde tussen zomer- en winterpeil). Peilen watergangen ingevoerd op basis van [ref. 2].
geologische schematisatie	Op basis van REGIS-gegevens.	Geen aanpassing.
randvoorwaarden model	Randvoorwaarden (General Head Boundaries) zijn in SEAWAT gedefinieerd op veldstijghoogte gegevens (i.e. niet gecorrigeerd voor dichtheid in tegenstelling tot MOCDENSE3D).	Geen aanpassing.
grondwateraanvulling	Op basis van landgebruikkaart (LGN) en klimaatgegevens van meetstation de Kooy.	Geen aanpassing.
topsysteem	Polderpeilen op basis van gemiddelde van zomer- en winterpeil van peilenkaart. Drainageweerstand op basis van grondwatertrappen. Kwelsloten dieper dan de deklaag zijn apart gemodelleerd.	Aangepast aan huidige situatie voor polder Waard Nieuwland en het Schubbenproject. Zie paragraaf 3.6.

Parameter	Aanpassing aan uitgangsmodel (aanpassing uit 2005)	Aanpassing aan referentiemodel (aanpassing 2016)
wateraanvoer systeem	Aanvoersloten ingevoerd op basis van peilenkaart berekening vanuit sloten meegenomen in grondwateraanvulling.	Geen aanpassing.

4

AANPASSINGEN WATERSYSTEEM IN GRONDWATERMODEL

In dit hoofdstuk is beschreven hoe de aanpassingen aan het watersysteem in het grondwatermodel zijn ingevoerd.

4.1 Polder Waard-Nieuwland

4.1.1 Aanpassing peilen

De peilen zijn ingevoerd conform bijlage I.

4.1.2 Aanpassing ontwerp watergangen

Een aantal watergangen binnen Polder Waard-Nieuwland wordt opnieuw geprofileerd conform afbeelding 2.7.

In de huidige situatie zijn de watergangen die aangepast worden als A1 en A2 watergangen gemodelleerd. Dit betekent dat de gemiddelde breedte van de watergangen in de huidige situatie 5 m is en de diepte 1 m (A1 watergangen) of de huidige breedte 2,5 m en de diepte 1 m (A2 watergangen).

De waterdieptes en breedte van de watergangen verschillen in de toekomstige situatie per watergang. Er zijn verschillende klassen. In tabel 2.1 staan de verschillende klassen. Voor elke klasse is de gemiddelde breedte van de watergang in de toekomstige situatie bepaald, op basis van de bodembreedte en de breedte op de waterlijn. Op basis van de gemiddelde breedte van de watergang en de aanname dat de bodemweerstand 5 dagen is (zoals in huidige situatie bij A1 en A2 watergangen, zie paragraaf 2.2.3/tabel 2.2) is voor de watergangen in de toekomstige situatie de conductance berekend. Deze is per watergangklasse weergegeven in onderstaande tabel.

Als er voor de watergang een KRW-richtlijn voor de waterlijnbreedte gegevens, dan is deze breedte gebruikt.

Tabel 4.1 Kenmerken verschillende klassen watergangen

Klasse	Bodembreedte [m]	Waterdiepte [m]	Breedte op waterlijn [m]	Gemiddeld e breedte watergang [m]	Aanname bodemweerstand watergang [dagen]	Conductance watergang ¹ [m ² /dag]
C1	0.6	0.6	3	1.8	5	9
E1	1.7	0.7	4.0	2.9	5	14.5
K1	1.9	0.9	5.5	3.7	5	18.5
M1	2.1	1.1	6.5 (KRW: 9)	5.6	5	28
N1	2.2	1.2	7.0 (KRW: 9.5)	5.9	5	29.5

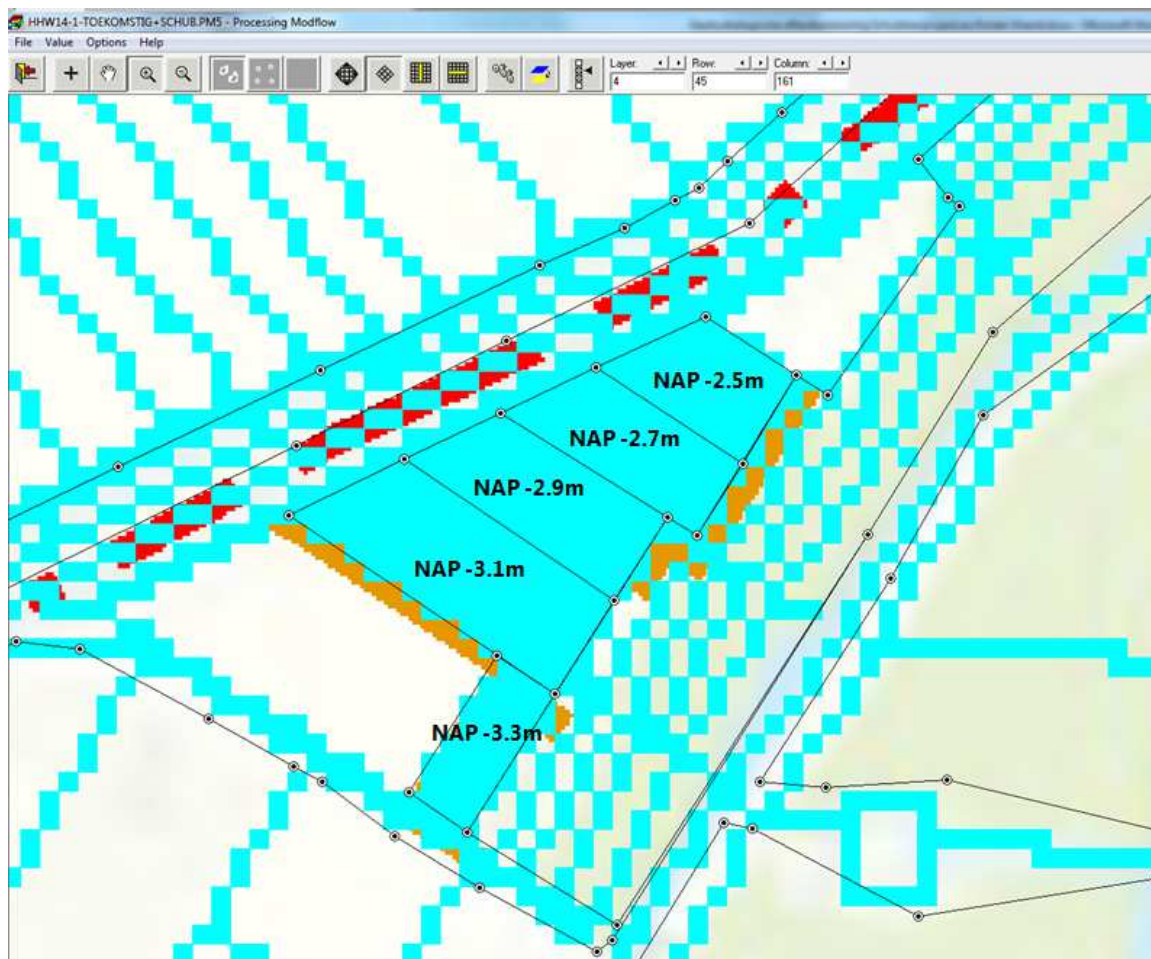
Klasse	Bodembreedte [m]	Waterdiepte [m]	Breedte op waterlijn [m]	Gemiddeld e breedte watergang [m]	Aanname bodemweerstand watergang [dagen]	Conductance watergang ¹ [m ² /dag]
O1	2.8	1.3	8.0 (KRW: 11.0)	6.9	5	34.5
Q1	4.4	1.4	10.0 (KRW: 13.0)	8.7	5	43.5

¹ Conductance = (lengte watergang in modelcel [m] * breedte watergang [m]) / bodemweerstand [dagen]. Lengte watergang in modelcel is 25 m, omdat modelcelgrootte 25 x 25 m is.

4.2 Schubbenproject

In het gebied van het Schubbenproject is de waterpartij ingevoerd. De waterpartij is binnen het volledige projectgebied van het Schubbenproject ingevoerd. De landstrengen zijn niet meegenomen (worstcase aanname). Afbeelding 4.1. toont de ingevoerde waterpartij binnen het Schubbenproject met de bijbehorende peilen.

Afbeelding 4.1 Schubbenproject in grondwatermodel, inclusief ingevoerde peilen (de rode en oranje kleuren op de achtergrond zijn geen watergangen of modelinvoer, maar staan op de achtergrond (topografische) kaart)



4.2.1 Peil in het Schubbenproject

Het peil in de waterpartij verloopt trapsgewijs van het inlaatpeil (NAP -2,5 m) naar het uitlaatpeil. Het systeem zal uitkomen op een watergang waarin in de huidige situatie een peil van NAP -3,4 m geldt [ref. 9]. Het laatste deel van het Schubbenproject is een peil van NAP -3,3 m toegekend. Het peil zal dus circa 0,8 m verlopen. Dit verloop is trapsgewijs in het grondwatermodel ingevoerd, in stappen van een peildaling van 0,2 m.

4.2.2 Waterdiepte in het Schubbenproject

Op het breedste gedeelte bestaat circa 50 % van het profiel uit circa 1 m waterdiepte en circa 50 % van het profiel uit een waterdiepte die verloopt van 1 m diepte tot 0 m diepte. Het breedste deel van de waterpartij wordt aangehouden als maatgevend, omdat in dit gedeelte relatief het grootste gedeelte van de waterpartij 'diep' is. Dit is een worstcase aanname.

Gemiddeld wordt voor het ondiepere gedeelte een waterdiepte van 0,5 m aangehouden. Gemiddeld wordt voor het diepere gedeelte 1 m waterdiepte aangehouden. De diepte is in het Schubbenproject overal gelijkwaardig ingevoerd. De gemiddelde waterdiepte in het Schubbenproject zoals ingevoerd in het grondwatermodel is dan 0,75 m ($50 \% \times 1 \text{ m} + 50 \% \times 0,5 \text{ m}$).

4.2.3 Bodemweerstand waterpartij Schubbenproject

De bodemweerstand van de waterpartij in het Schubbenproject is gemodelleerd conform een c-watergang. Dit omdat de verwachting is dat op de bodem van de waterpartij een weerstandlaagje zal ontstaan als gevolg van begroeiing (riet, waterplanten, etc.) die zich op de bodem en in de waterpartij ontwikkelen. Daarom is een bodemweerstand van 50 dagen toegekend, wat gelijk is aan de watergangen zoals ingevoerd in de Rabatten (c-watergang). Dit is een standaardwaarde voor c-watergangen en/of greppels. Omdat de waterpartij de volledige modelcellen (25 x 25 m) beslaan komt dit overeen met een conductance van $12,5 \text{ m}^2/\text{dag}$ in het grondwatermodel.

4.3 Scenario's

De volgende scenario's zijn met het grondwatermodel doorgerekend:

- 1 referentiemodel;
- 2 aanpassingen aan watersysteem Polder Waard-Nieuwland;
- 3 aanpassingen aan watersysteem Schubbenproject;
- 4 aanpassing aan watersysteem Polder Waard-Nieuwland + aanpassing aan watersysteem Schubbenproject.

5

RESULTATEN

In dit hoofdstuk zijn de kaarten gepresenteerd met daarop de berekende resultaten.

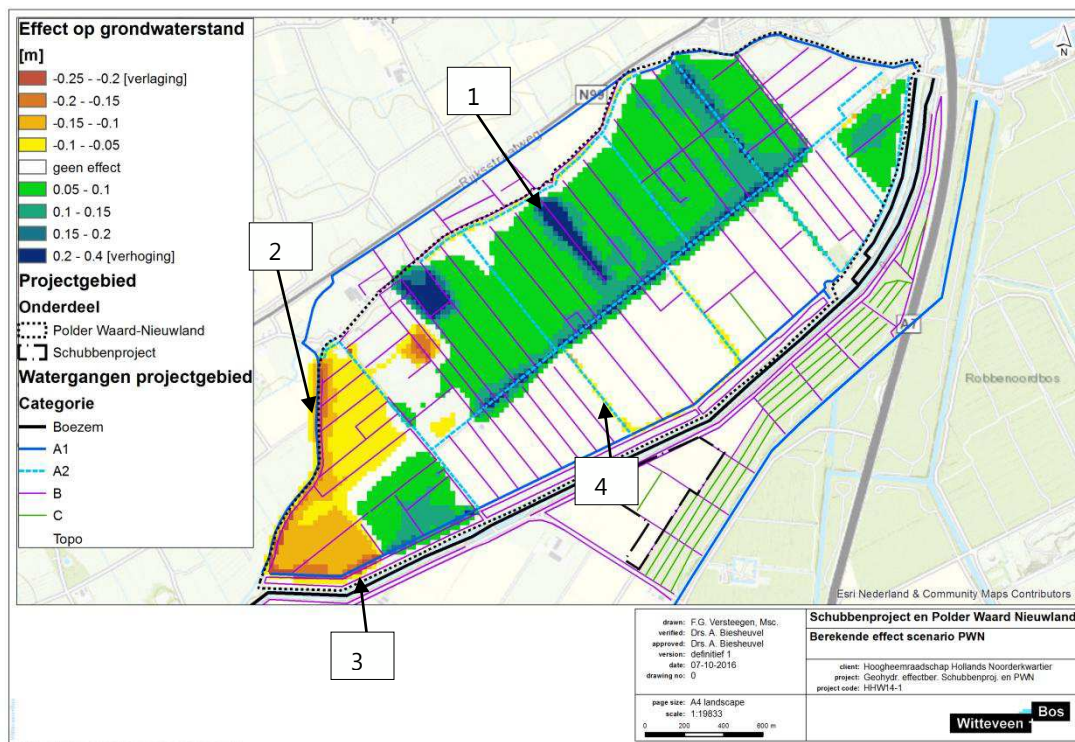
5.1 Effect op grondwaterstand

Deze paragraaf toont de berekende effecten op de grondwaterstand voor de verschillende scenario's.

5.1.1 Effect aanpassingen watersysteem Polder Waard-Nieuwland

Afbeelding 5.1 toont het berekende effect van de aanpassingen aan het watersysteem in Polder Waard-Nieuwland ten opzichte van de referentiesituatie. De weergegeven effecten zijn de berekende effecten voor modellaag 3 (deklaag).

Afbeelding 5.1 Effect aanpassingen watersysteem PWN op grondwaterstand (modellaag 3 - deklaag)



De effecten variëren van een verlaging van de grondwaterstanden van maximaal circa 25 cm aan de zuidwestzijde van Polder Waard-Nieuwland. In de huidige situatie is het peil hier gemiddeld NAP -2,05 m (peilgebied 2854 A: zomerpeil huidige situatie = NAP -1,6 m, winterpeil huidige situatie = NAP -2,5 m). In de toekomstige situatie wordt het peil hier gemiddeld NAP -2,3 m.

In het naastgelegen peilgebied 2854 B is in de huidige situatie het peil gemiddeld NAP -2,5 m. Hier wordt het in de toekomstige situatie ook NAP -2,3 m. Hier wordt dan ook een vernatting van circa 0,2 m berekend.

In het noordelijke deel van Polder Waard-Nieuwland (huidig peilgebied 2854 D) is in de huidige situatie het peil gemiddeld NAP -2,5 m. Dit wordt NAP -2,3 m. Hier wordt dus een vernatting berekend.

Daar waar de watergangen verbreed worden ten opzichte van de huidige situatie is het effect op de berekende grondwaterstand beperkt (zie pijl [ref. 4] in afbeelding 5.1).

In overleg met HHNK zijn de modelresultaten in detail geëvalueerd, waarbij rekening gehouden is met mogelijke verschillen tussen lokale waterpeilen in het model en in werkelijkheid.

Hieronder per locatie een toelichting:

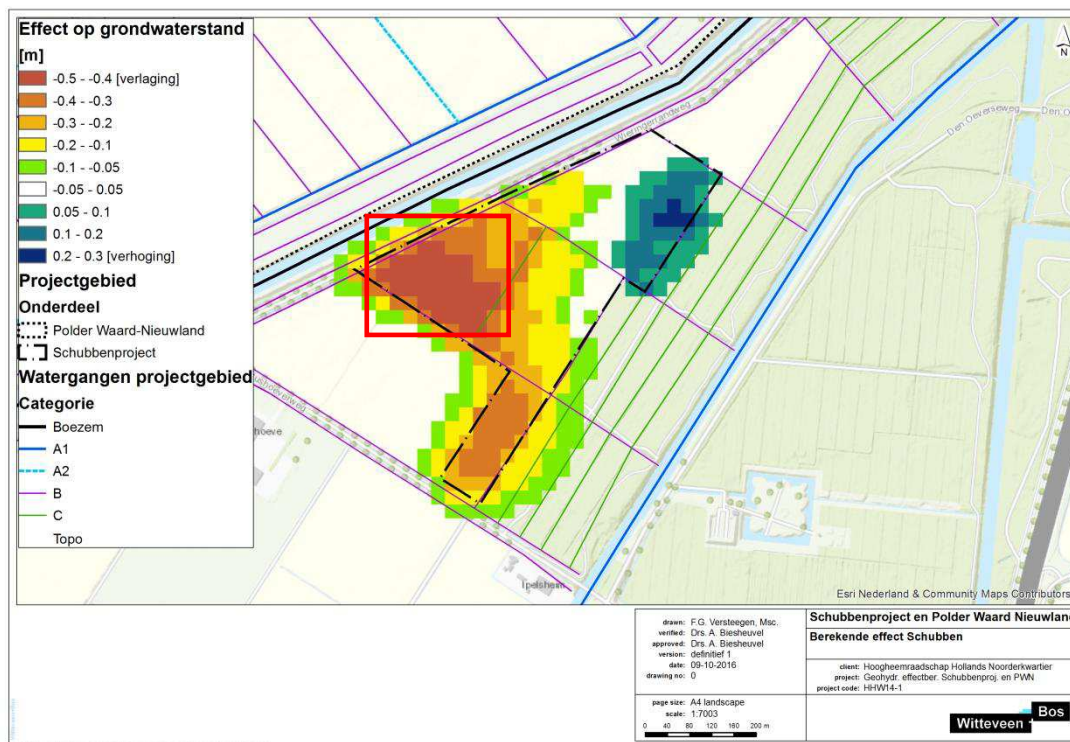
- 1 op deze locatie is een vernatting berekend omdat in het model deze watergang in de huidige situatie een gemiddeld peil van NAP -2,5 m toegekend heeft gekregen, en in de toekomstige situatie een peil van NAP -1,6 m. In de praktijk heeft deze watergang in de huidige situatie reeds een peil van NAP -1,6 m, en blijft het peil dus hetzelfde in de toekomst. Er is op deze locatie dus geen vernatting te verwachten in de praktijk;
- 2 deze watergang heeft in de huidige situatie een zomer- en winterpeil van NAP -1,6 m en NAP -2,1 m. In de toekomstige situatie blijft dit gelijk. Hier is dus geen verandering te verwachten;
- 3 op deze locatie zijn hebben de watergangen in de huidige situatie een zomer- en winterpeil van NAP -1,6 m en NAP -2,1 m. In de toekomstige situatie komt het peil hier op NAP -1,6 m. Er wordt dus een vernatting verwacht. In het model heeft deze watergang het peil van NAP -2,3 m toegewezen gekregen waardoor er een verdroging is berekend.

De berekende effecten blijven binnen het plangebied Polder Waard-Nieuwland.

5.1.2 Effect aanpassingen watersysteem Schubbenproject

Afbeelding 5.2 toont de verandering van de grondwaterstand na aanleg van het Schubbenproject ten opzichte van de referentiesituatie.

Afbeelding 5.2 Effect aanpassingen watersysteem Schubbenproject op grondwaterstand (modellaag 4 - deklaag)



In het gebied van het Schubbenproject wordt een verhoging van de grondwaterstand berekend van maximaal circa 0,25 m. In het noordoostelijke deel wordt een verhoging berekend. Hier is het slootpeil in de huidige situatie circa NAP -3 m. In de toekomstige situatie ligt dit gedeelte in het begin van het projectgebied, in het deel waar het peil op circa NAP -2,5 m komt (inlaatpeil). Daardoor wordt een verhoging van de grondwaterstand berekend.

In het zuidwestelijke gedeelte wordt juist een verlaging berekend, met name in het gedeelte dicht bij de Wieringerrandweg. In de huidige situatie ligt het peil hier op circa NAP -2,5 m (Wieringerrandweg) en verloopt het richting de Rabatten (zuidoostelijke richting) tot NAP -3,4 m en uiteindelijk NAP -3,8 m bij de Rabatten. Op de locatie waar de grootste verlaging is berekend (in afbeelding 5.2 aangegeven met het rode vierkant) is in de huidige situatie een grondwaterstand van circa NAP -2,5 m berekend met het grondwatermodel. De grondwaterstand is in de huidige situatie hoger dan het peil in de watergangen, als gevolg van een berekende opbolling. In de toekomstige situatie komt hier een waterpartij met een peil van circa NAP -3,1 m (zie afbeelding 4.1). Hierdoor wordt hier een verlaging van de grondwaterstand verwacht.

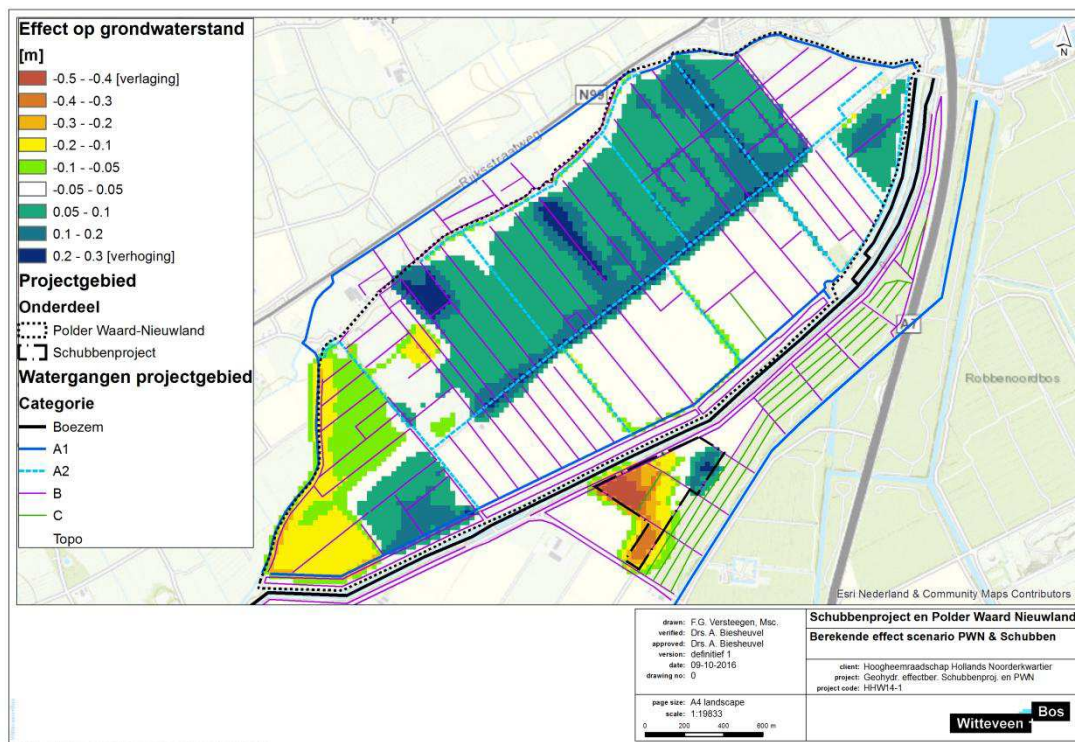
De berekende verlaging is maximaal circa 0,45 m. De berekende verhoging maximaal circa 0,25 m.

De berekende effecten komen net over de grens van het plangebied Schubbenproject, met name aan de kant van de Rabatten. Daar wordt een effect tot circa 50 m buiten het projectgebied berekend.

5.1.3 Effect aanpassingen watersysteem PWN & Schubbenproject

Afbeelding 5.3 toont het effect op de grondwaterstand na de aanpassingen in het watersysteem van Polder Waard-Nieuwland en het Schubbenproject tezamen. Te zien is dat de effecten van de beide projecten elkaar niet overlappen.

Afbeelding 5.3 Effect aanpassingen watersysteem PWN & Schubbenproject op grondwaterstand (modellaag 3 & 4 - deklaag)

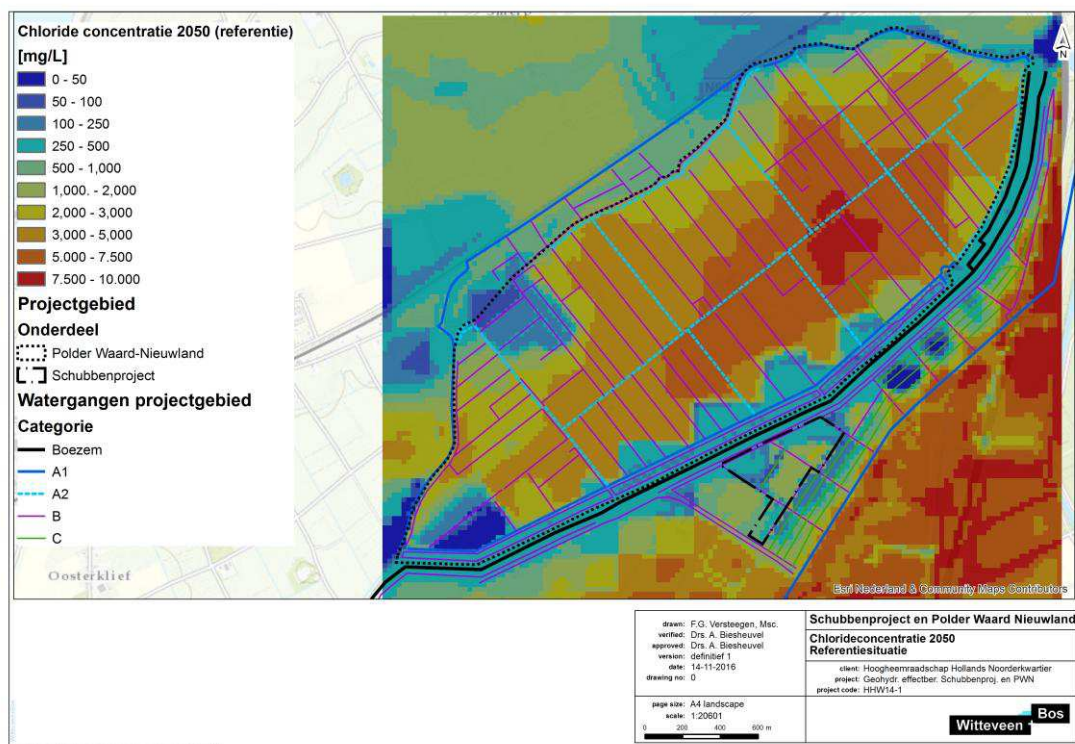


5.2 Effect op chloridenconcentraties

De verandering van de grondwaterstand resulteert in veranderingen in kwel en infiltratiefluxen. Daardoor kan het chloride gehalte in het grondwater veranderen door de aanpassingen in het watersysteem.

Afbeelding 5.4 toont de berekende chloridenconcentratie in 2050 zonder aanpassingen in het watersysteem. Dit is dus de referentiesituatie voor de effectberekeningen van het Schubbenproject en de geplande ingrepen bij polder Waard-Nieuwland.

Afbeelding 5.4 Berekende chloridenconcentratie in 2050 - zonder aanpassingen (referentiesituatie)

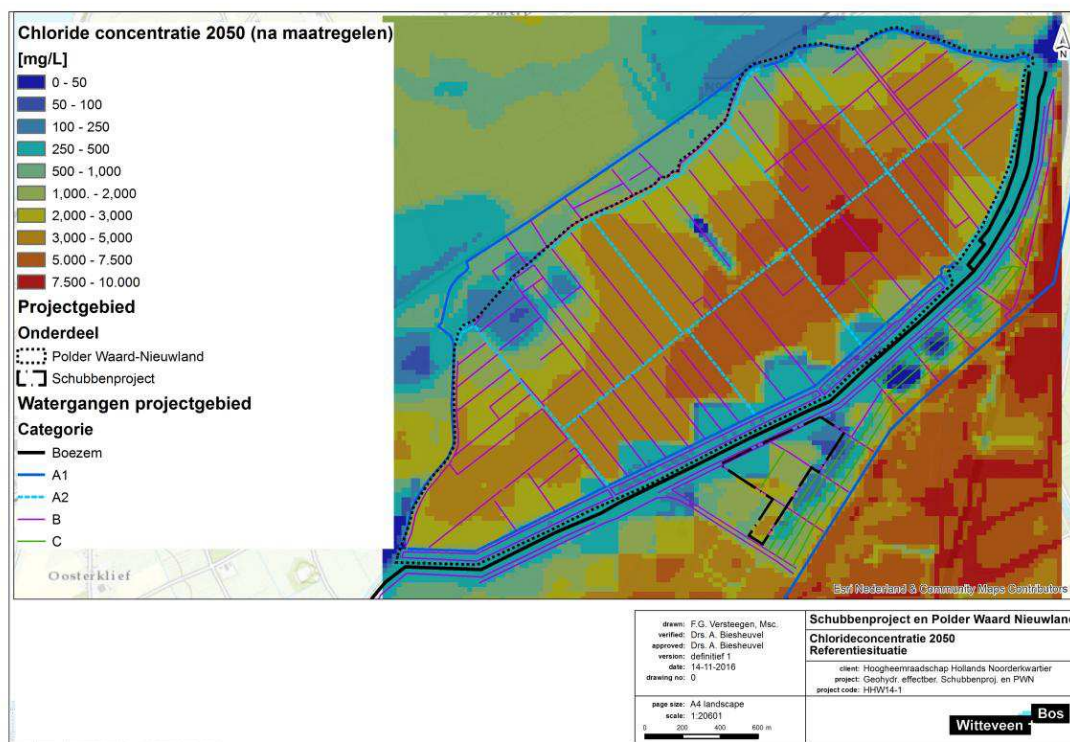


Te zien is dat in de referentiesituatie in het midden van de Polder Waard-Nieuwland de chloridenconcentratie het hoogst is: circa 8.000 mg/L. In de initiële situatie (huidige situatie) is de chloridenconcentratie hier ook het hoogst (circa 6.000 mg/L). Langs het Amstelmeerkanaal wordt in het grondwater een chloridenconcentratie van <500 mg/L berekend als gevolg van infiltratie vanuit het kanaal naar de ondergrond

Binnen het Schubbenproject gebied is de berekende chloridenconcentratie in 2050 maximaal circa 1.700 mg/L, en minimaal circa 100 mg/L.

Afbeelding 5.5 toont de berekende chloridenconcentratie in 2050 zoals berekend met invoering van de maatregelen in Polder Waard-Nieuwland en het Schubbenproject.

Afbeelding 5.5 Berekende chloridenconcentratie in 2050 - na maatregelen Schubbenproject en Polder Waard-Nieuwland

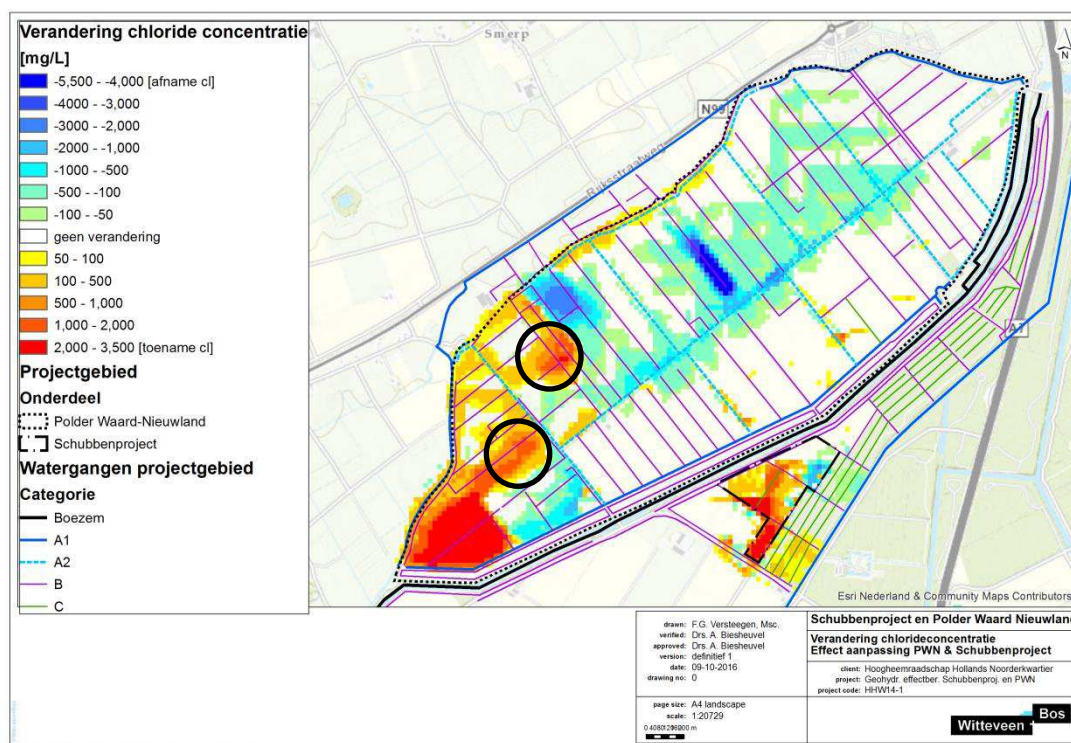


Meest duidelijke verschil ten opzichte van de referentiesituatie is de toename van chloridenconcentratie in de zuidwestelijke hoek van het projectgebied. Echter, de toename in chloridenconcentratie ontstaat hier door de berekende verlaging van de grondwaterstand. In deze hoek is echter gebleken dat het peil in de huidige situatie lager is dan in de toekomstige situatie (zie punt [ref. 2] en [ref. 3] in afbeelding 5.1). Er wordt hier dus een vernatting verwacht. Een vernatting zal resulteren in een verzoeting in plaats van een verzilting.

Bij het Schubbenproject is een toename van de oranje kleur te zien, wat duidt op een verzilting. Om de toe- en afname van chloride in het grondwater beter te beoordelen is een verschilkaart gemaakt.

In afbeelding 5.6 is deze verschilkaart weergegeven. De kaart toont het effect van zowel de ingrepen in Polder Waard-Nieuwland, als het Schubbenproject. De verandering is berekend ten opzichte van de referentiesituatie in 2050.

Afbeelding 5.6 Verandering in chloridenconcentratie als gevolg van aanpassingen in het watersysteem. Verandering ten opzichte van referentiesituatie in 2050



Daar waar een stijging van de grondwaterstand is berekend, is een verzoeting van het grondwater berekend. Daar waar een daling van de grondwaterstand is berekend, neemt de kwelflux toe. Daar wordt een toename van chloridenconcentraties berekend. In het Schubbenproject is te zien dat een verandering van de grondwaterstand binnen het Schubbenproject ook leidt tot een verandering in chloridenconcentraties in de Rabatten.

De toename van chloridenconcentratie is orde grootte 1.000 tot 2.000 mg/L. Dit betekent dat het grondwater hier zout wordt op de lange termijn. De sterkste toename is nu berekend in de zuidwestelijke hoek van Polder Waard-Nieuwland. Uit overleg is gebleken dat in deze hoek geen verdroging maar een (licht) vernatend effect wordt verwacht, omdat het peil in de huidige situatie gemiddeld op NAP -2,05 m staat, maar in de toekomstige situatie naar NAP -1,6 m gaat. Daardoor zal het verziltende effect minder groot zijn of zelfs afwezig in dit gebied. De sterke afname van de chloridenconcentratie is eveneens niet correct berekend, omdat in deze watergang het peil in de toekomstige situatie gelijk blijft aan de huidige situatie (zie [ref. 1] in afbeelding 5.1).

De relatief grote toename in gebieden die zijn aangeduid met de zwarte cirkels kan worden verklaard doordat in deze gebieden als gevolg van de peilwijziging de grondwaterstand van een infiltratiesituatie in de referentiesituatie naar een kwelsituatie in de toekomstige situatie gaat. Doordat het peil gemiddeld lager komt te liggen daalt de gemiddelde grondwaterstand. In de referentiesituatie is de gemiddeld berekende grondwaterstand hoger of gelijk aan onderliggende stijghoogteniveau in het watervoerende pakket. Daardoor is er netto sprake van een infiltratieflux. Deze wordt gevoed vanuit het oppervlaktewater dat relatief zoet is. Als gevolg van de peilwijziging is de gemiddelde grondwaterstand lager berekend, net onder het niveau van de berekende stijghoogte in het watervoerende pakket. Er is daardoor sprake van een netto kwelflux. Het chloridengehalte in onderliggend watervoerend pakket is hoger. Daardoor treedt verzilting op. Hierbij wordt opgemerkt dat in de huidige situatie (praktijk) er door de variatie in een zomer- en winterpeil reeds variatie optreedt tussen kwel en infiltratie. Bij het lagere winterpeil treedt in de huidige situatie kwel op.

Bij het Schubbenproject is de grootste toename van chloridenconcentratie berekend in de uiterst zuidwestelijke hoek. Dit komt omdat op deze locatie in de referentiesituatie sprake was van een freatische

grondwaterstand gelijk aan het stijghoogteniveau in het watervoerende pakket. Hier was dus geen sprake van een kwelsituatie. Dit verandert als gevolg van de verlaging van de grondwaterstand naar een kwelsituatie, waarbij dieper grondwater met hogere chloridenconcentraties wordt aangetrokken.

De modelresultaten geven een worstcase benadering van de veranderingen in chloridegehalten. Dit omdat het model rekent met een gemiddelde situatie en het grondwaterstromingsmodel rekent stationair. Dit betekent dat daar waar een verlaging van de grondwaterstand wordt berekend in de gemiddelde hydrologische situatie, dat dit jaarrond voor een periode van 34 jaar is doorgerekend om inzicht te geven in de verplaatsing van het chlorideveld in de tijd. Daardoor kan een overschatting van de verzilting ontstaan, omdat in werkelijkheid sprake is van seizoenen. In een nat seizoen kan een zoetwaterlens worden gevormd. Deze kan zouter grondwater wegdrücken. In het droge seizoen wordt deze dan mogelijk wel aangetrokken, maar gemiddeld kan het effect dan kleiner zijn dan in de situatie zoals nu doorgerekend, waarbij een verlaging van bijvoorbeeld 40 cm gedurende 34 jaar is ingevoerd.

De berekende toename van verzilting betekent niet dat grondwater in de akkers dezelfde chloridenconcentraties krijgt, omdat er sprake kan zijn van zoetwaterlenzen als gevolg van neerslagoverschot. Wel geeft het aan dat het grondwater (al dan niet afgevangen in watergangen) gemiddeld zouter wordt.

6

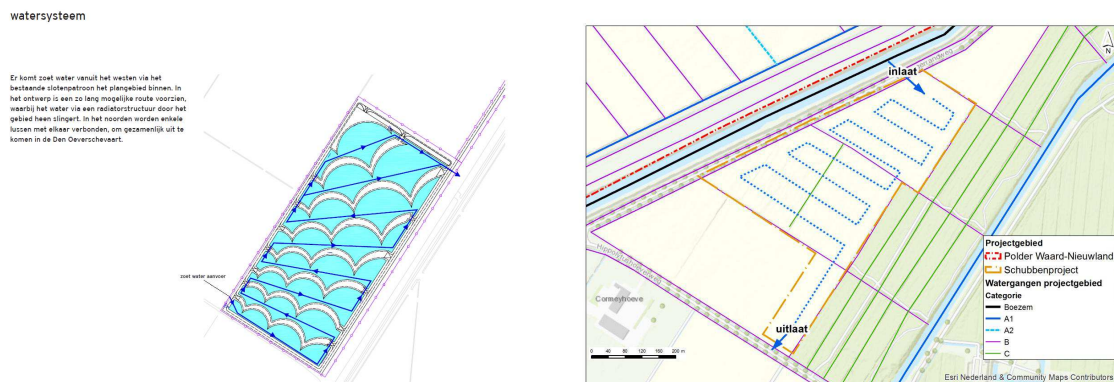
CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

6.1 Conclusie

Door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier worden plannen opgesteld voor een herziening van het watersysteem nabij Wieringen. Er worden op twee locaties aanpassingen in het watersysteem voorzien:

- 1 aanpassingen aan het watersysteem in Polder Waard-Nieuwland, bestaande uit:
 - 1 aanpassing peilen;
 - 2 aanpassingen aan profiel watergangen;
- 2 aanpassingen aan het watersysteem tussen de Wieringerrandweg, de Hippolytushoeveverweg en de Den Oeversche Vaart, het zogenaamde Schubbenproject. In dit project wordt een nieuwe waterpartij gegraven volgens een landschappelijk ontwerp zoals hieronder weergegeven.

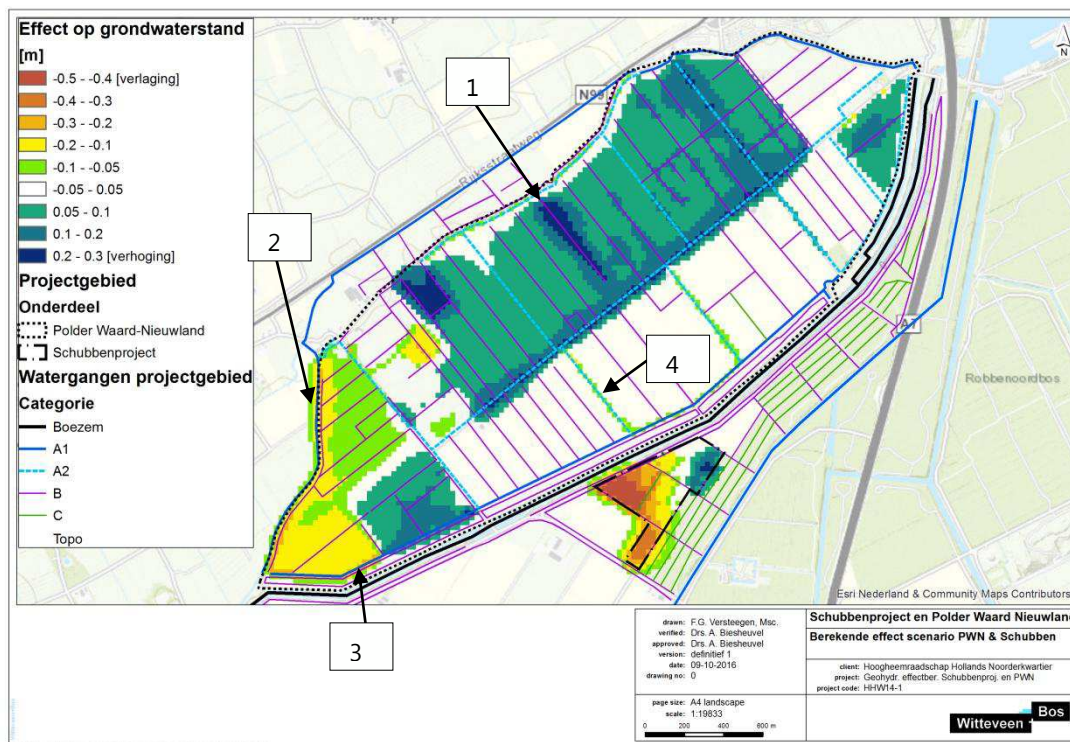
Afbeelding 6.1 Principeschets van het watersysteem Schubbenproject



Voor het project Wieringerrandmeer heeft Witteveen+Bos in het verleden een geohydrologisch model opgesteld van het gebied Wieringen en Wieringermeerpolder. Dit model is verfijnd, de peilen zijn aangepast en vervolgens is het model gebruikt om de geohydrologische effecten van de aanpassingen aan het watersysteem van het Schubben- en Polder Waard-Nieuwland project te berekenen. De effecten van de aanpassingen op de grondwaterstand en op het chloridegehalte in het grondwater zijn berekend.

De aanpassingen resulteren in een verandering van de gemiddelde grondwaterstand. Afbeelding 6.2 toont de berekende veranderingen.

Afbeelding 6.2 Effect aanpassingen watersysteem PWN & Schubbenproject op grondwaterstand (modellaag 3 & 4 - deklaag)



In overleg met HHNK zijn de modelresultaten in detail geëvalueerd, waarbij rekening gehouden is met mogelijke verschillen tussen lokale waterpeilen in het model en in werkelijkheid.

Hieronder per locatie een toelichting:

- 1 op deze locatie is een vernatting berekend omdat in het model deze watergang in de huidige situatie een gemiddeld peil van NAP -2,5 m toegekend heeft gekregen, en in de toekomstige situatie een peil van NAP -1,6 m. In de praktijk heeft deze watergang in de huidige situatie reeds een peil van NAP -1,6 m, en blijft het peil dus hetzelfde in de toekomst. Er is op deze locatie dus geen vernatting te verwachten in de praktijk;
- 2 deze watergang heeft in de huidige situatie een zomer- en winterpeil van NAP -1,6 m en NAP -2,1 m. In de toekomstige situatie blijft dit gelijk. Hier is dus geen verandering te verwachten;
- 3 op deze locatie zijn hebben de watergangen in de huidige situatie een zomer- en winterpeil van NAP -1,6 m en NAP -2,1 m. In de toekomstige situatie komt het peil hier op NAP -1,6 m. Er wordt dus een vernatting verwacht. In het model heeft deze watergang het peil van NAP -2,3 m toegewezen gekregen waardoor er een verdroging is berekend.

Daar waar de watergangen verbreed worden ten opzichte van de huidige situatie is het effect op de berekende grondwaterstand beperkt (zie pijl [ref. 4]).

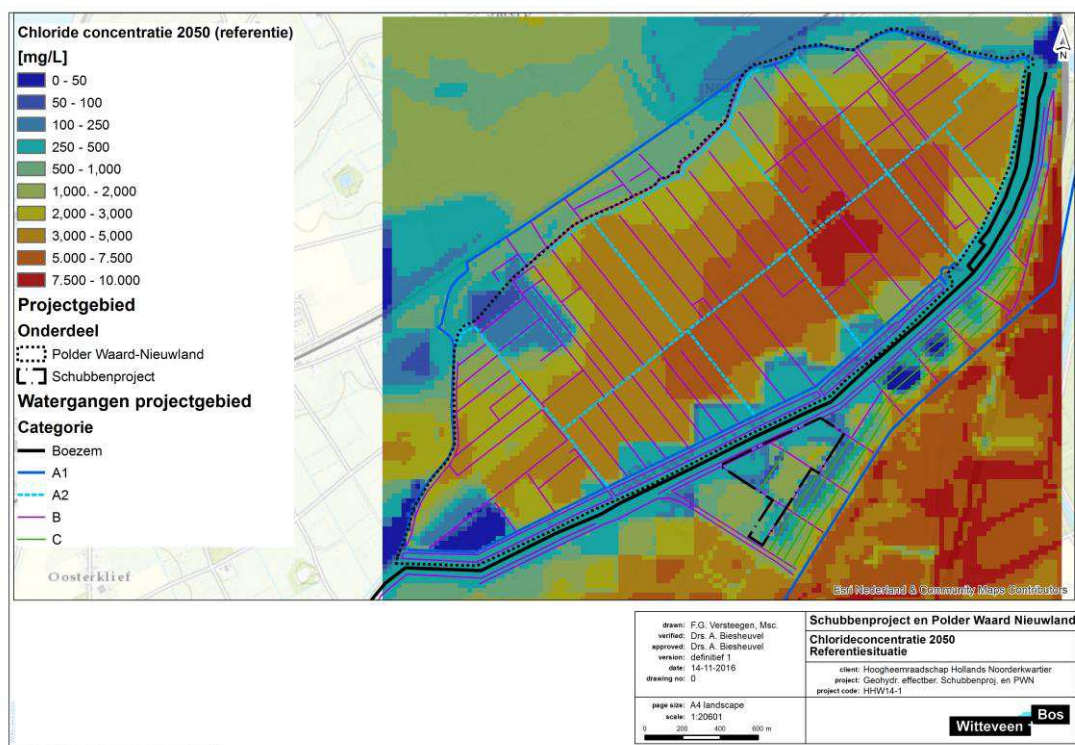
De berekende effecten blijven binnen het plangebied Polder Waard-Nieuwland.

In het gebied van het Schubbenproject wordt een verhoging en een verlaging van de grondwaterstand berekend. In het noordoostelijke deel wordt een verhoging berekend van maximaal circa 0,25 m. In het zuidwestelijke gedeelte wordt juist een verlaging berekend, met name in het gedeelte dicht bij de Wieringerrandweg. De berekende verlaging is maximaal circa 0,45 m.

De berekende effecten komen net over de grens van het plangebied Schubbenproject, met name aan de kant van de Rabatten. Daar wordt een effect tot circa 50 m buiten het projectgebied berekend.

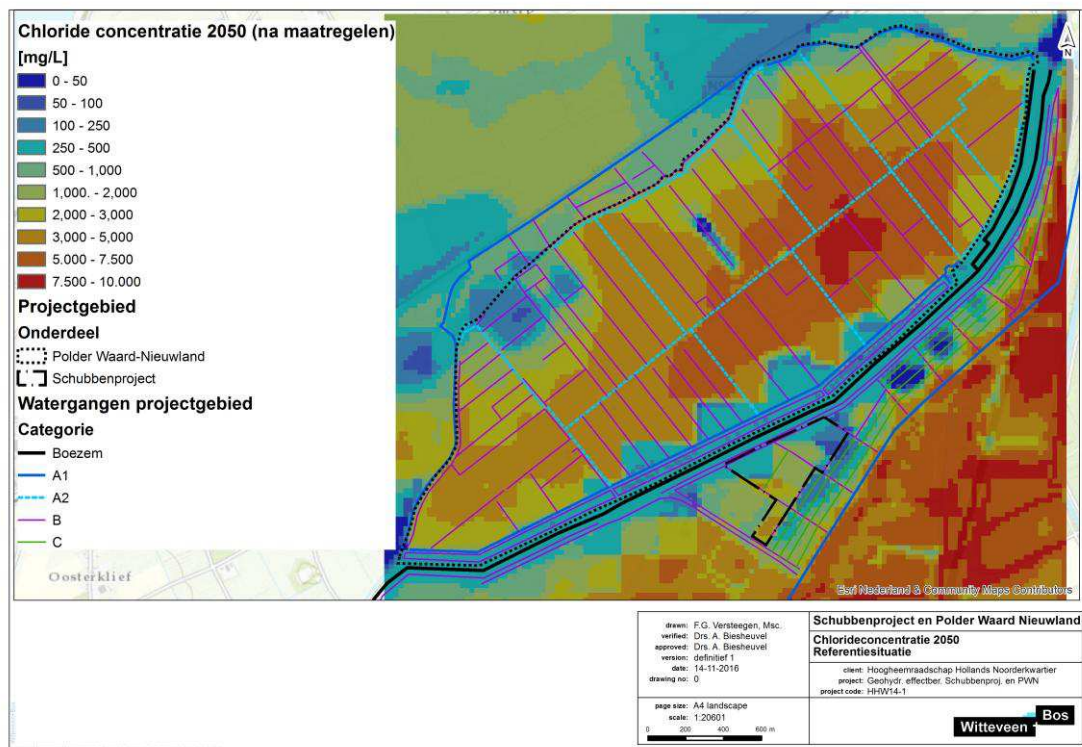
Met het referentiemodel is de chloridenconcentratie voor het jaar 2050 berekend. Afbeelding 6.3 toont de berekende chloridenconcentratie in 2050 voor de referentiesituatie.

Afbeelding 6.3 Berekende chloridenconcentratie in 2050 - referentie



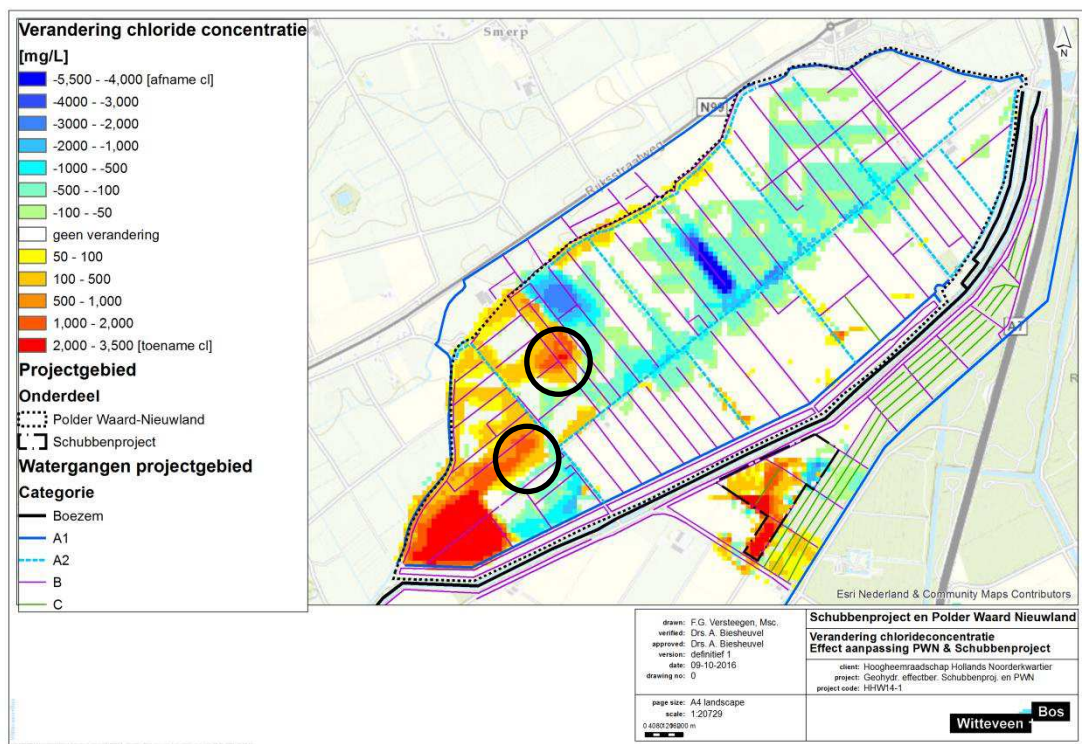
Hetzelfde is gedaan voor het model waarin de aanpassingen aan het watersysteem zijn ingevoerd (afbeelding 6.4).

Afbeelding 6.4 Berekende chloridenconcentratie in 2050 - na maatregelen PWN en Schubbenproject



Het verschil in chloridegehalte van het grondwater in het 2050 is weergegeven in onderstaande afbeelding.

Afbeelding 6.5 Verandering chlorideconcentratie in Polder Waard-Nieuwland en Schubbenproject in 2050



Daar waar een stijging van de grondwaterstand is berekend, is een verzoeting van het grondwater berekend. Daar waar een daling van de grondwaterstand is berekend, neemt de kwelflux toe. Daar wordt een toename van chloridenconcentraties berekend. In het Schubbenproject is te zien dat een verandering van de grondwaterstand binnen het Schubbenproject ook leidt tot een verandering in chloridenconcentraties in de Rabatten.

De toename van chloridenconcentratie is orde grootte 1.000 tot 2.000 mg/L in 34 jaar. Dit betekent dat het grondwater hier zout wordt op de lange termijn. De sterkste toename is nu berekend in de zuidwestelijke hoek van Polder Waard-Nieuwland. Uit overleg is gebleken dat in deze hoek geen verdroging maar een (licht) vernattend effect wordt verwacht, omdat het peil in de huidige situatie gemiddeld op NAP -2,05 m staat, maar in de toekomstige situatie naar NAP -1,6 m gaat. Daardoor zal het verziltende effect minder groot zijn of zelfs afwezig in dit gebied. De sterke afname van de chloridenconcentratie is eveneens niet te verwachten (donkerblauwe kleur bij watergang), omdat in deze watergang het peil in de toekomstige situatie gelijk blijft aan de huidige situatie (zie [ref. 1] in afbeelding 5.1).

De relatief grote toename in gebieden die zijn aangeduid met de zwarte cirkels in afbeelding 6.4 kan worden verklaard doordat in deze gebieden als gevolg van de peilwijziging de grondwaterstand van een infiltratiesituatie in de referentiesituatie naar een kwelsituatie in de toekomstige situatie gaat. Doordat het peil gemiddeld lager komt te liggen daalt de gemiddelde grondwaterstand. In de referentiesituatie is de gemiddeld berekende grondwaterstand hoger of gelijk aan onderliggende stijghoogteniveau in het watervoerende pakket. Daardoor is er netto sprake van een infiltratieflux. Deze wordt gevoed vanuit het oppervlaktewater dat relatief zoet is. Als gevolg van de peilwijziging is de gemiddelde grondwaterstand lager berekend, net onder het niveau van de berekende stijghoogte in het watervoerende pakket. Er is daardoor sprake van een netto kwelflux. Het chloridgehalte in onderliggend watervoerend pakket is hoger. Daardoor treedt verzilting op. Hierbij wordt opgemerkt dat in de huidige situatie (praktijk) er door de variatie in een zomer- en winterpeil reeds variatie optreedt tussen kwel en infiltratie. Bij het lagere winterpeil treedt in de huidige situatie kwel op.

Bij het Schubbenproject is de grootste toename van chloridenconcentratie berekend in de uiterst zuidwestelijke hoek. Dit komt omdat op deze locatie in de referentiesituatie sprake was van een freatische grondwaterstand gelijk aan het stijghoogteniveau in het watervoerende pakket. Hier was dus geen sprake van een kwelsituatie. Dit verandert als gevolg van de verlaging van de grondwaterstand naar een kwelsituatie, waarbij dieper grondwater met hogere chloridenconcentraties wordt aangetrokken.

De modelresultaten geven een worstcase benadering van de veranderingen in chloridegehalten. Dit omdat het model rekent met een gemiddelde situatie en het grondwaterstromingsmodel rekent stationair. Dit betekent dat daar waar een verlaging van de grondwaterstand wordt berekend in de gemiddelde hydrologische situatie, dat dit jaarrond voor een periode van 34 jaar is doorgerekend om inzicht te geven in de verplaatsing van het chlorideveld in de tijd. Daardoor kan een overschatting van de verzilting ontstaan, omdat in werkelijkheid sprake is van seizoenen. In een nat seizoen kan een zoetwaterlens worden gevormd. Deze kan zouter grondwater wegdrücken. In het droge seizoen wordt deze dan mogelijk wel aangetrokken, maar gemiddeld kan het effect dan kleiner zijn dan in de situatie zoals nu doorgerekend, waarbij een verlaging van bijvoorbeeld 40 cm gedurende 34 jaar is ingevoerd.

De berekende toename van verzilting betekent niet dat grondwater in de akkers dezelfde chloridenconcentraties krijgt, omdat er sprake kan zijn van zoetwaterlenzen als gevolg van neerslagoverschot. Wel geeft het aan dat het grondwater (al dan niet afgevangen in watergangen) gemiddeld zouter wordt.

6.2 Aanbevelingen/mitigerende maatregelen

De berekende effecten van het Schubbenproject komen tot in de Rabatten. Als dit ongewenst is, dan zijn de volgende mitigerende maatregelen mogelijk om de effecten te beperken en uit het gebied van de Rabatten te houden:

- om effecten bij Rabatten te voorkomen kunnen de ingrepen verder van Rabatten uitgevoerd worden. Dus nu is er nog circa 50 m effect in de Rabatten. Als de ingrepen op 50 m afstand van de Rabatten blijven, is de verwachting dat er geen effecten binnen Rabatten zijn. Ook is het een mogelijkheid om een

watgang langs Rabatten op oorspronkelijk peil te houden om als buffer tussen Schubbenproject en Rabatten te houden;

- de taluds in Schubbenproject flauwer aanbrengen. Daardoor is een kleiner gedeelte van de watgang 'diep' en blijft er meer bodemweerstand in de ondergrond aanwezig. Dit zal de kwelflux beperken. Het diepe deel van de watgang minder diep ontgraven. Er blijft dan meer weerstand in de ondergrond aanwezig;
- klei aanbrengen op de bodem van de watgang, waardoor er meer weerstand tussen de watgang en watervoerend pakket zit. Hierdoor zal de kwelflux afnemen.

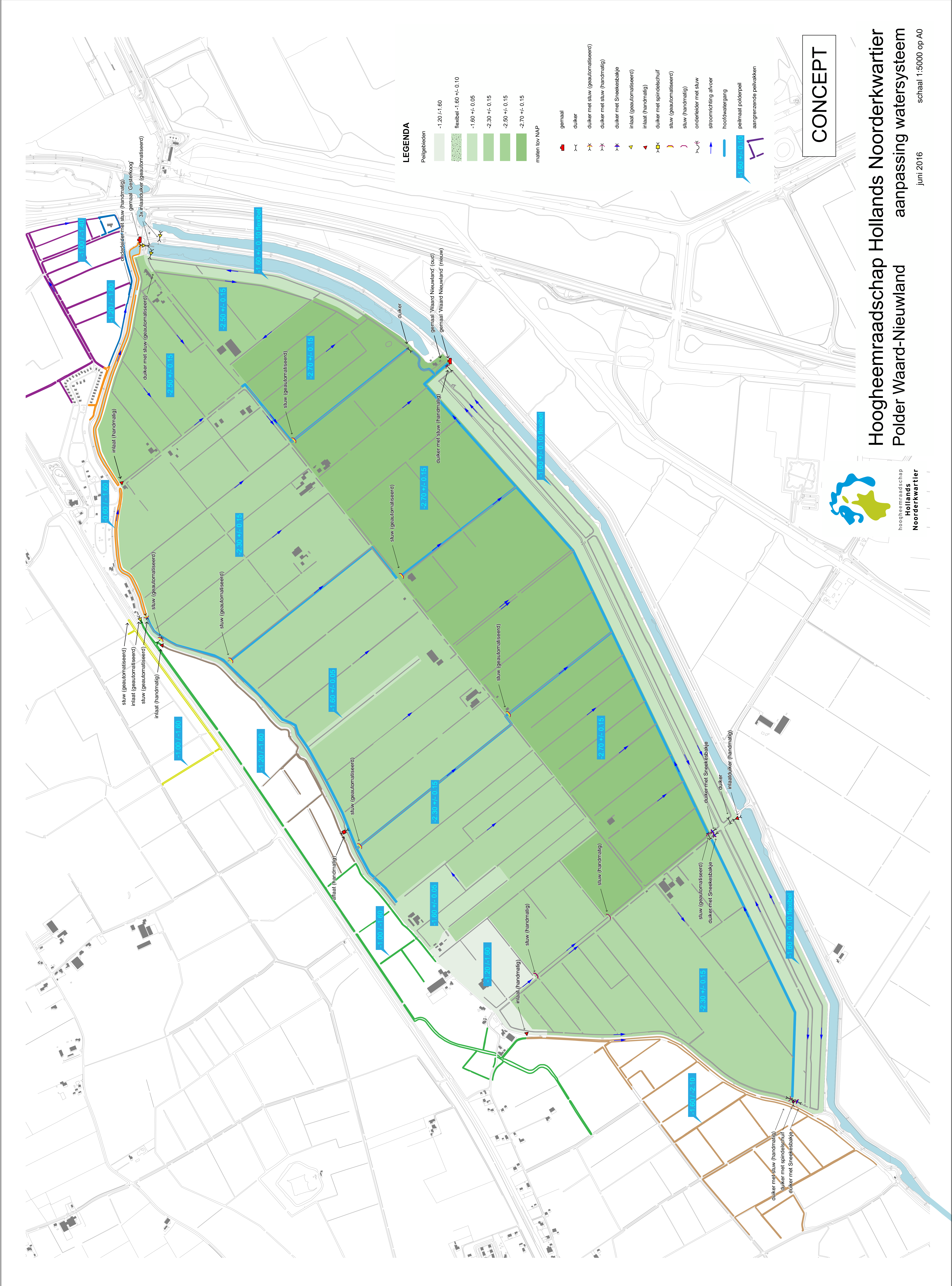
REFERENTIES

- 1 Afbeelding 'WP_20160707_015.jpg', per e-mail meegestuurd met offerteaanvraag HHNK op 7 juli 2016.
- 2 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Waterstaatkundige kaart - beheergebied 04, 3 februari 2016, getekend JBa, filenaam GB15_324_A0.
- 3 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Interactieve kaart ontwerp legger wateren 2016, beschikbaar via GIS Viewer op <http://hhnk.webgispublisher.nl/?map=Legger-wateren-2016>, geraadpleegd op 29 augustus 2016.
- 4 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Polder Waard-Nieuwland - aanpassing watersysteem, juni 2016, concept.
- 5 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Klassenindeling watersysteem met KRW alleen aan zuidkant, kaart per e-mail ontvangen op 26 augustus 2016.
- 6 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Toelichting op aanpassingen aan watergangen (kaart [ref. 4]); ontvangen per e-mail op 29 augustus 2016.
- 7 Witteveen+Bos, Geohydrologisch onderzoek Wieringerrandmeer, 12 december 2005, referentie WRW5-8-20/krub/007.
- 8 Ben Bot, Grondwaterzakboekje, 2011.
- 9 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, toevoeging aan uitgangspunten, per mail ontvangen op 08-09-2016.
- 10 Witteveen+Bos, Uitgangspuntennotitie, 31 augustus 2016, referentie HHW14-1-16-014.707.

Bijlage(n)

I

BIJLAGE: WATERSYSTEEM POLDER WAARD-NIEUWLAND



CONCEPT



hoogheemraadschap
Hollands
Noorderkwartier

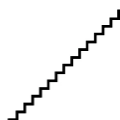
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier Polder Waard-Nieuwland aanpassing watersysteem

juni 2016

schaal 1:5000 op A0

II

BIJLAGE: BESCHRIJVING UITGANGSMODEL



onderwerp Details SEAWAT model Wieringermeer
projectcode WRW5-8-20
referentie
opgemaakt door BONM
datum opmaak 014-11-2005

aan WITT
kopie

1. INLEIDING

In deze notitie staan de technische details beschreven van het grondwatermodel gebruikt voor het project "Wieringerrandmeer". De volgende aspecten worden belicht:

- gebruikte gegevens;
- grid, modeldimensies;
- bodemschematisatie en parameters;
- randvoorwaarden;
- initiële stijghoogten en chlorideverdeling;
- kalibratieaanpassingen van bovenstaande modelparameters;
- numerieke instellingen en simulatie-code.

2. GEGEVENS

Bij de bouw en kalibratie van het grondwatermodel zijn de volgende gegevens gebruikt:

- Provincie Noord-Holland:
 - bestaande model van Grontmij, inclusief alle invoerfiles en rapportage;
 - AHN (5x5m2);
 - LGN4;
 - Top10vector ondergrond;
 - digitale bodemkaart en grondwatertrappenkaart;
 - REGIS-gegevens;
 - digitale neerslag en verdamingsgegevens (decade basis);
 - peilbuisgegevens DINO (kwantiteit en kwaliteit);
- Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier:
 - digitale leggergegevens (polderpeilen, afwateringseenheden, stuwpeilen, bodemdiepten, bemalingsgegevens)
- Consortium Lago Wierense: dimensioneringsgegevens te realiseren werken.

3. DISCRETISATIE

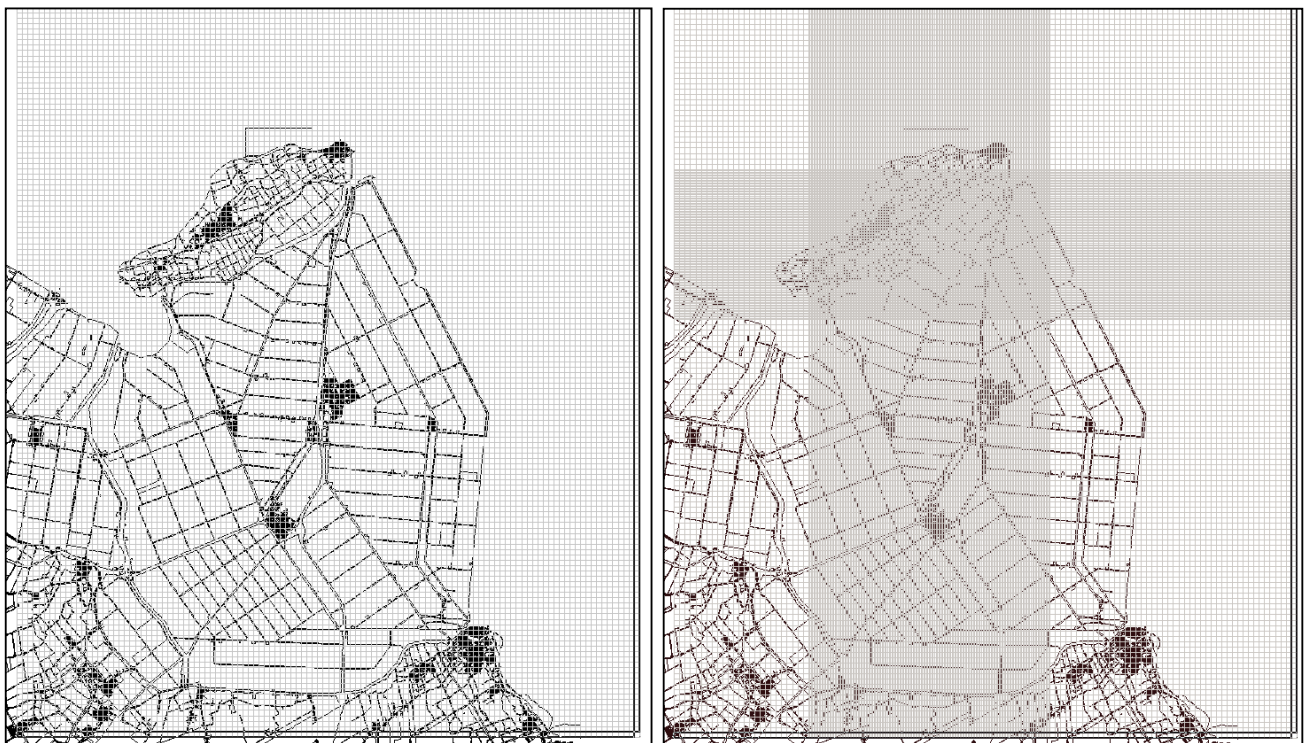
Het modelgebied is ongewijzigd ten opzicht van het Grontmij model en beslaat de Wieringermeerpolder, het eiland Wieringen, en een gedeelte van de Waddenzee en het IJsselmeer.

3.1. Horizontale modelschematisatie

Voor de berekeningen is gebruikt van twee modellen:

1. een grof model met een uniforme celgrootte van $200 \times 200 \text{ m}^2$ voor de berekening met stoftransport en dichtheidsstroming voor de periode 2005-2150.
2. een verfijnd model met een celgrootte van $50 \times 50 \text{ m}^2$ in het gebied waar het Wieringerrandmeer is geprojecteerd en $200 \times 200 \text{ m}^2$ in het overige gebied. Dit model wordt gebruikt voor de kalibratie voor de huidige situatie en worden de effecten van het project in het jaar 2030 berekend.

Afbeelding 2.1 geeft een overzicht van het grove en fijne model.



Afbeelding 3.1 Modelgrid grof en fijn model

3.2. Verticale modelschematisatie

In het model wordt de ondergrond in 22 lagen gediscetiseerd. Voor de modelschematisatie van de ondergrond is in eerste instantie het originele Grontmij model gebruikt en aangevuld met REGIS-gegevens (resolutie $100 \times 100 \text{ m}$). Dit houdt in dat aangesloten is bij de REGIS-laagindeling met betrekking tot de diepte en dikte van de formaties, en de horizontale en verticale doorlatendheid.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de verticale modeldiscretisatie.

Tabel 3.1 Verticale modelschematisatie

Laag	Van	Tot	Geologische Formatie	Geohydrologische eenheid	Conceptueel profiel ¹		
					WE	W1	W2
1	5	2	Westland, Bortel	Deklaag			
2	2	-1	Westland, Gieten Klei, Bortel	Deklaag, 1 ^e WVP			
3	-1	-3	Westland, Gieten Klei, Bortel	Deklaag, 1 ^e WVP, SDL			
4	-3	-8	Westland, Gieten Klei, Bortel	Deklaag, 1 ^e WVP, SDL			
5	-8	-13	Westland, Gieten Klei, Bortel	Deklaag, 1 ^e WVP, SDL			
6	-13	-18	Westland, Gieten Klei, Bortel	Deklaag, 1 ^e WVP, SDL			
7	-18	-23	Gieten Klei, Bortel, Eem	1 ^e WVP, SDL			
8	-23	-27	Eem (Bekkenklei), Drente(Keileem)	1 ^e WVP, 1 ^e SDL			
9	-27	-32	Eem (Bekkenklei), Drente(Keileem), Peelo	1 ^e WVP, 1 ^e SDL			
10	-32	-38	Eem, Urk, Peelo	2 ^e WVP			
11	-38	-43	Urk, Peelo	2 ^e WVP			
12	-43	-48	Urk, Urk klei I, Peelo	2 ^e WVP, SDL			
13	-48	-53	Urk	2e WVP			
14	-53	-61	Urk, Urk klei II	2e WVP, SDL			
15	-61	-69	Urk	2e WVP			
16	-69	-85	Appelscha	2e WVP			
17	-85	-105	Appelscha	2e WVP			
18	-105	-155	Peize	2e WVP			
19	-155	-215	Peize	2e WVP			
20	-215	-285	Maasluis	2e WVP			
21	-285	-355	Maasluis	2e WVP			
22	-355	-385	Maasluis	2e WVP			

1: WE: Wieringen eiland

W1: Wieringermeerpolder ten noorden van Wieringerwerf

W2: Wieringermeerpolder ten zuiden van Wieringerwerf

Deklaag

In REGIS is geen hydraulische weerstand van de deklaag opgenomen. De beginwaarde voor de hydraulische weerstand van de deklaag is daarom berekend op basis van de relatie afgeleid door Rijks-waterstaat en gegeven in het Grontmij rapport:

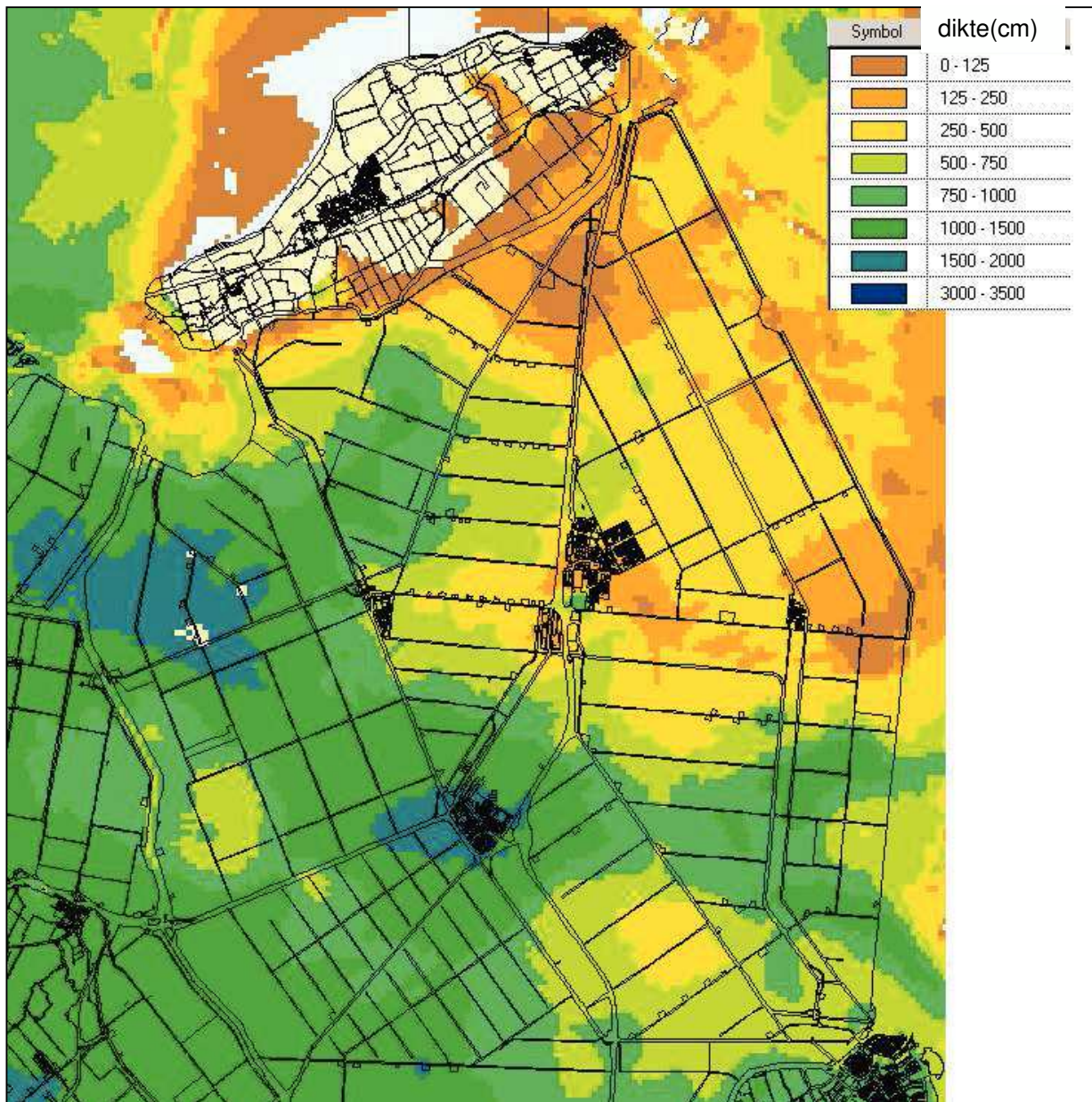
$$c = 50 + 100H + 20H^2$$

De dikte van de deklaag is weergegeven in afbeelding 3.2. In het Grontmij rapport wordt vermeld dat deze waarde als te hoog wordt beschouwd en daarom is verlaagd. Tijdens modelkalibratie bleek dat met name de kwel in eerste instantie te laag werd berekend doordat de kwel sloten in de oostelijke helft van de Wieringermeerpolder een diepte hebben tot in het 1^e Watervoerend Pakket. Nadat deze discreet in het model zijn gezet (zie hoofdstuk *, topsysteem) bleek de weerstand berekend met bovenstaande relatie nog steeds een factor 2 te hoog, met name in de noordelijke helft van de Wieringermeerpolder.

Op basis van kalibratie zijn globaal de volgende weerstanden ingevoerd:

- Wieringen: tot 100 dagen;
- Polder Waard-Nieuwland: 100 tot 250 dagen;
- Wieringermeerpolder vak 1: 100 tot 500 dagen
- Wieringermeerpolder vak 2: 400 tot 4.000 dagen
- Wieringermeerpolder vak 3: 700 tot 9.000 dagen

- Wieringermeerpolder vak 4: 100 tot 8.000 dagen



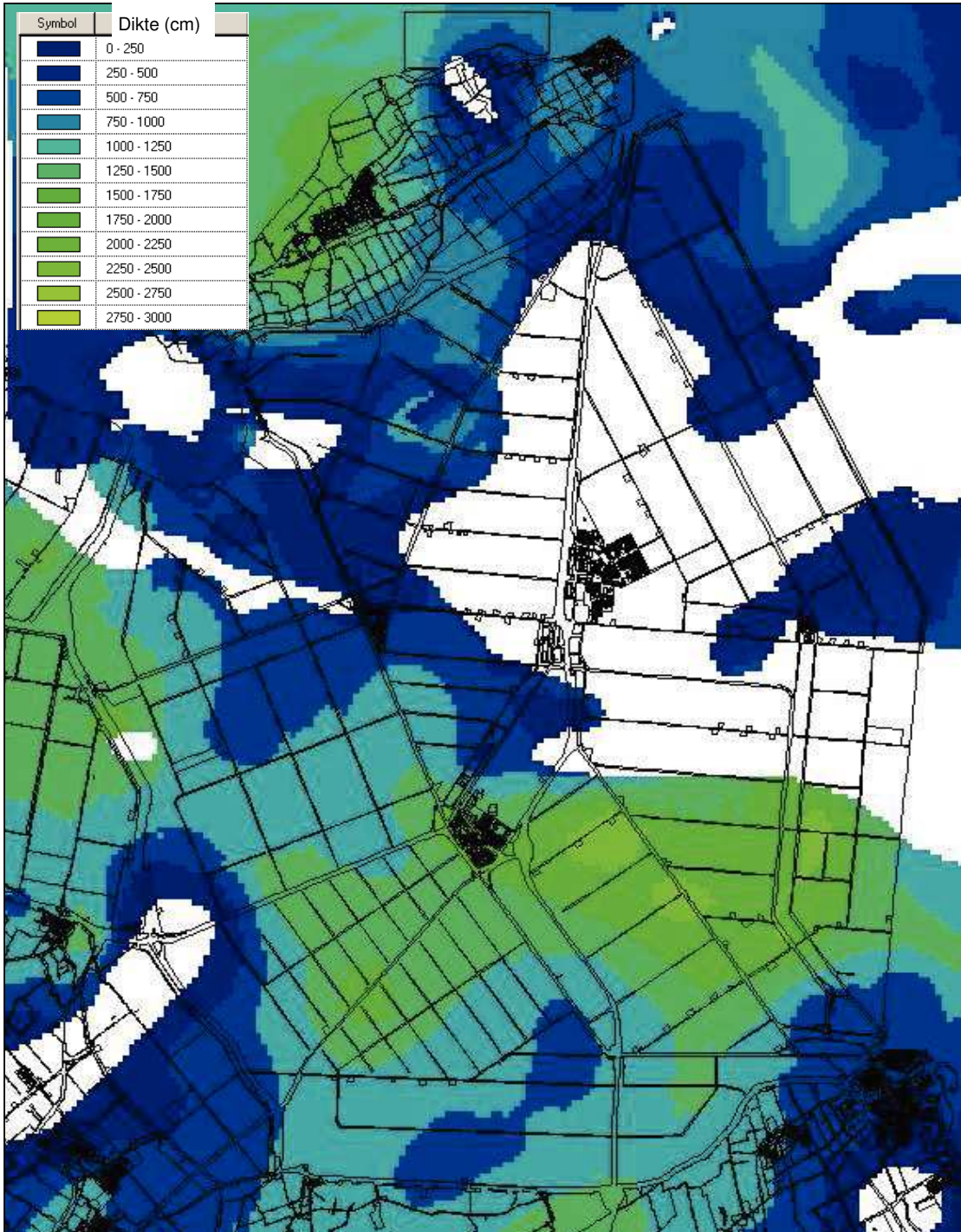
Afbeelding 3.2 Dikte van de Holocene Deklaag (bron REGIS)

1^e Watervoerend Pakket

Het eerste Watervoerend Pakket bestaat uit de geologische afzettingen van Boxtel en Eem. Deze formaties liggen op het eiland zeer ondiep en ter plaatse van de Polder Waard-Nieuwland komt deze lokaal aan maaiveld voor.

Slecht Doorlatende Laag

De slecht doorlatende laag wordt gevormd door bekkenklei ten zuiden van Wieringerwerf van Eem ouderdom en keileem van de Formatie van Drente (Drente Gietenklei). Tussen het eiland Wieringen en Wieringerwerf is een gebied waar de slecht doorlatende laag ontbreekt. Afbeelding 3.3 geeft een overzicht van de verspreiding van de Slecht Doorlatende Laag.



Afbeelding 3.3 Dikte 1^e Slecht Doorlatende Laag (Bron REGIS)

De verticale weerstand van de keileem onder Wieringen varieert tussen 1000 dagen aan de randen van het eiland tot 5000 dagen in het centrale deel. De hoge weerstand heeft tot gevolg dat Wieringen een geïsoleerd hydrologisch systeem is, waar neerslag direct tot afvoer komt en in beperkte mate infiltreert naar het 2^e Watervoerend Pakket. De ingevoerde verticale weerstand is veel hoger dan opgenomen in REGIS (90 tot 400 dagen).

Op basis van de REGIS data varieert de specifieke weerstand van de bekkenklei tussen 200 dagen nabij het noordelijk voorkomen van deze laag tot 350 dagen in het centrum van het poldervak 3. De totale weerstand is ingevoerd op basis van de REGIS data en varieert tussen 200 tot 4000 dagen.

2^e Watervoerend Pakket

Het tweede watervoerend pakket bestaat uit de geologische formaties: Peelo, Urk, Appelscha, Peize en Maassluis. Al deze formaties bestaan voornamelijk uit matig fijn tot matig grove zanden. In eerste instantie zijn doorlatendheden ingevoerd op basis van REGIS gegevens en waar noodzakelijk aangepast tijdens kalibratie. Indien de REGIS data geen of weinig ruimtelijke variatie in doorlatendheid hebben binnen het modelgebied, is een constante waarde ingevoerd.

Verder zijn in het modelgebied in de formatie van Urk twee vrij dikke kleilagen aanwezig: Urk klei II en III. Deze waterremmende lagen zijn niet aanwezig in het originele model en zijn ingevoerd op basis van de REGIS data.

Samenvatting

Tabel 3.2 geeft een samenvatting van de geohydrologische parameters toegepast in het Seawat model. Tevens weergegeven zijn de originele invoerwaarden gebruikt in het Grontmij model en de REGIS data.

Tabel 3.2 Samenvatting geohydrologische parameters

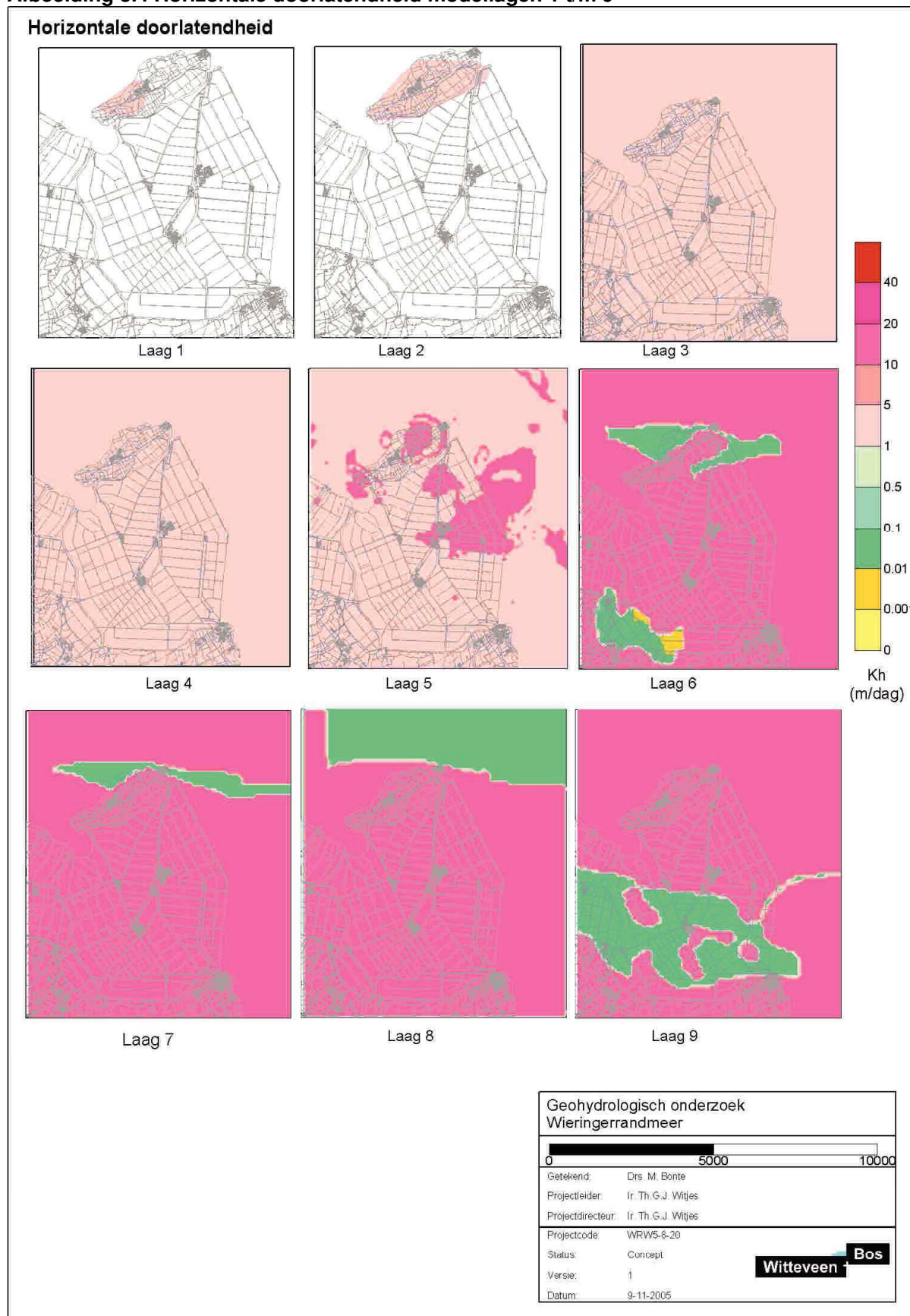
Geologische Formatie	Geohyd. eenheid	model lagen	Grontmij	REGIS	Na kalibratie
Westland	Deklaag	1 t/m 5	100 tot 4000 dagen	geen informatie	100 tot 9000 dagen
Boxtel	1e WVP	2 t/m 6	15 m/dag	5 tot 20 m/dag	Wieringen: 7 m/dag W'meer: 18 m/dag
Eem	1e WVP	7 t/m 9	15 m/dag	10 tot 20 m/dag	15 m/dag
Keileem	SDL	2 t/m 6	20 tot 1500 dagen	90 tot 400 dagen	1000 tot 5000 dagen
Bekkenklei	SDL	8 & 9	2000 dagen	200 tot 4000 dagen	200 tot 4000 dagen
Urk	2e WVP	10 t/m 15	40 m/dag	3 tot 15 m/dag	6 tot 30 m/dag
Urk Klei II & III	SDL	12 & 14	niet in model	800 tot 2400 dagen	800 tot 2400 dagen
Appelscha	2e WVP	16 & 17	40 m/dag	15 tot 30 m/dag	20 tot 50 m/dag
Peize	2e WVP	18 & 19	40 m/dag	17 tot 25 m/dag	30 tot 40 m/dag
Maassluis	2e WVP	20 t/m 22	40 m/dag	2,5 tot 10 m/dag	2,5 tot 25 m/dag

De geohydrologische parameters zijn omgerekend naar horizontale en verticale doorlatendheden en ingevoerd in Seawat. De verticale doorlatendheid (K_v) aan de slecht doorlatende lagen is gecorrigeerd voor het verschil tussen de werkelijke laagdikte ($D_{\text{werkelijkheid}}$) en de modellaagdikte (D_{model}) met de volgende formule:

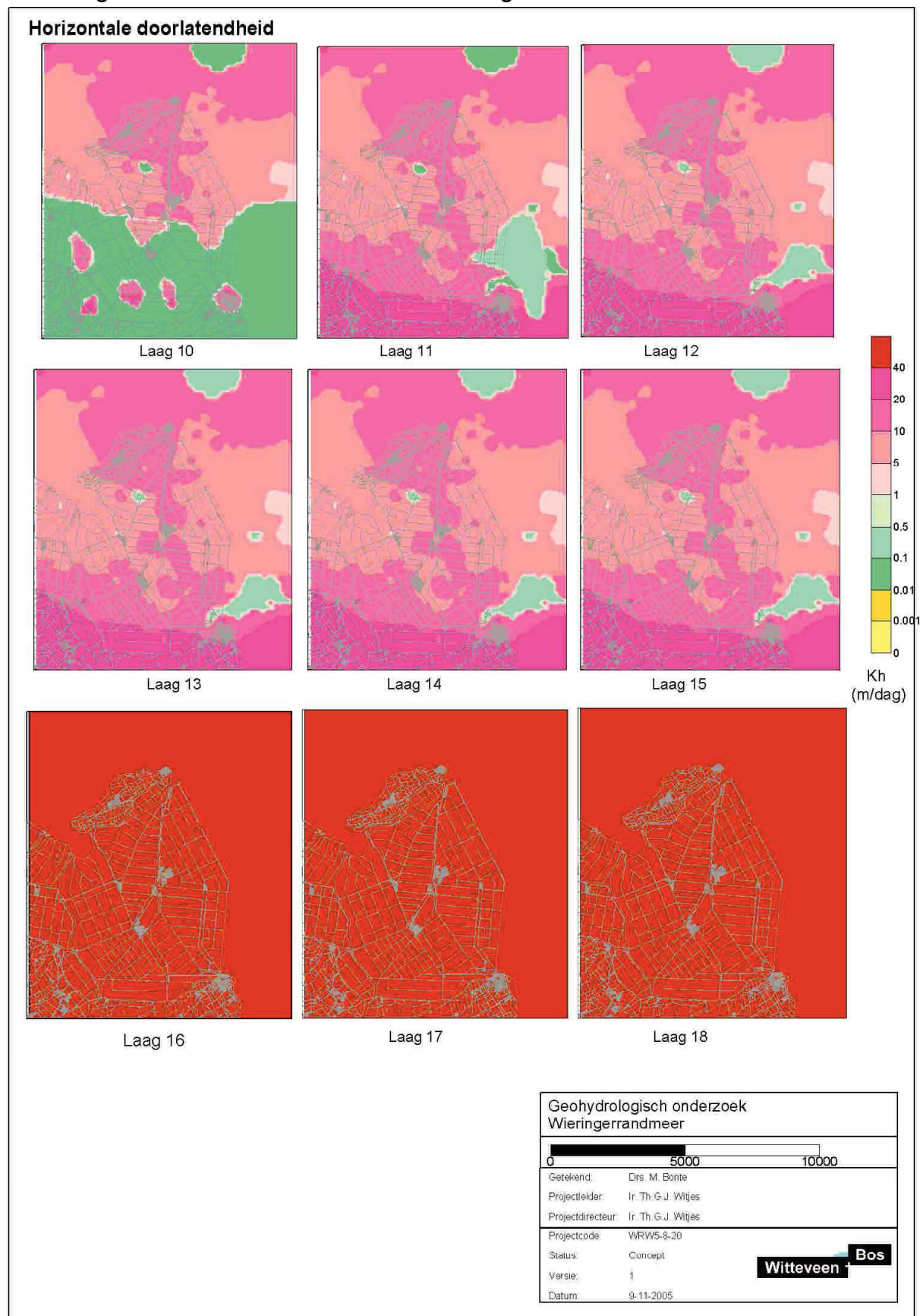
$$K_{v, \text{model}} = K_{v, \text{werkelijk}} \frac{D_{\text{model}}}{D_{\text{werkelijkheid}}}$$

Voor watervoerende lagen is aangenomen dat de verticale doorlatendheid gelijk is aan 0,25 x de horizontale doorlatendheid. In afbeelding 3.4 t/m 3.6 zijn de ingevoerde horizontale en verticale doorlatendheden per laag weergegeven.

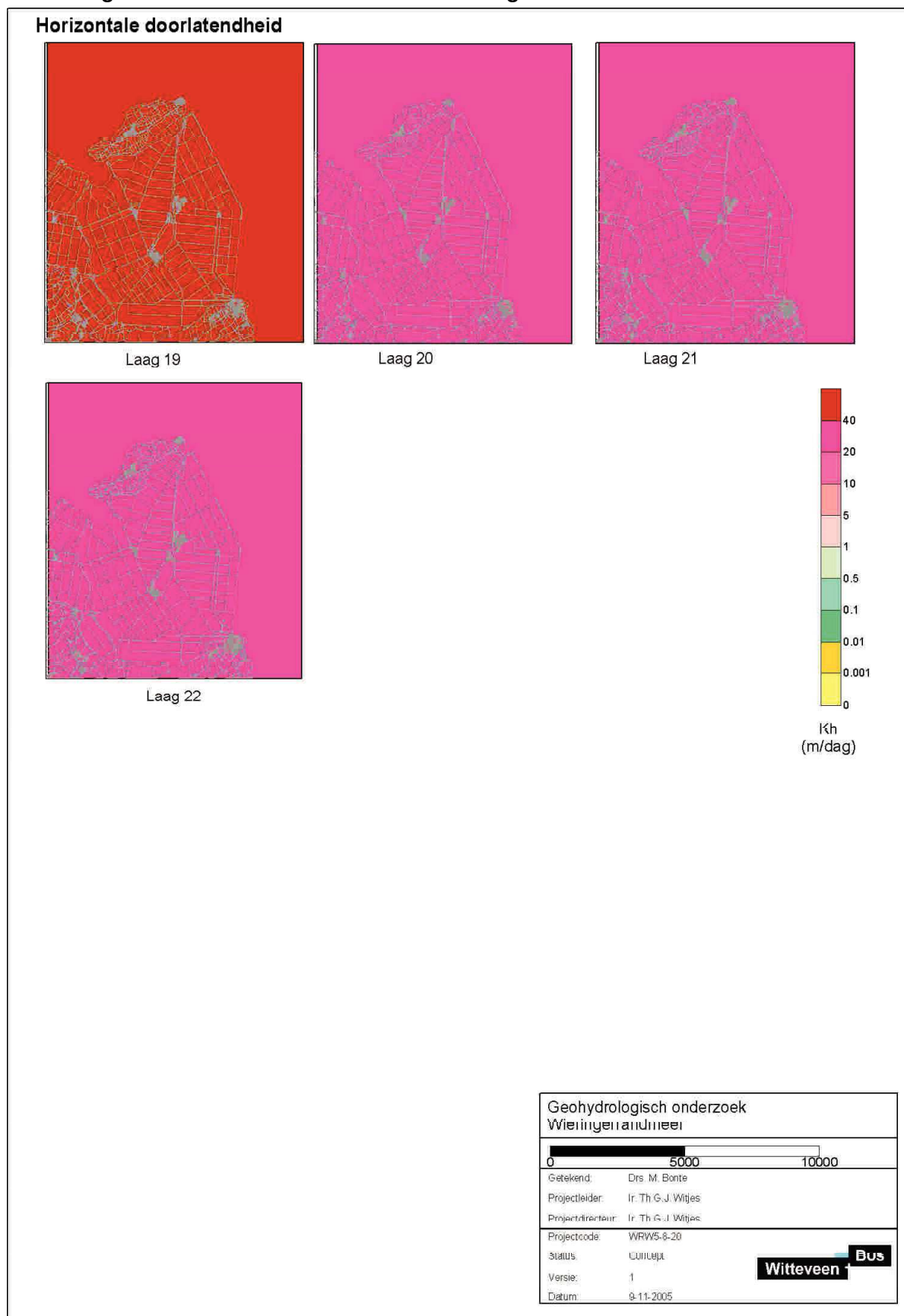
Afbeelding 3.4 Horizontale doorlatendheid modellagen 1 t/m 9



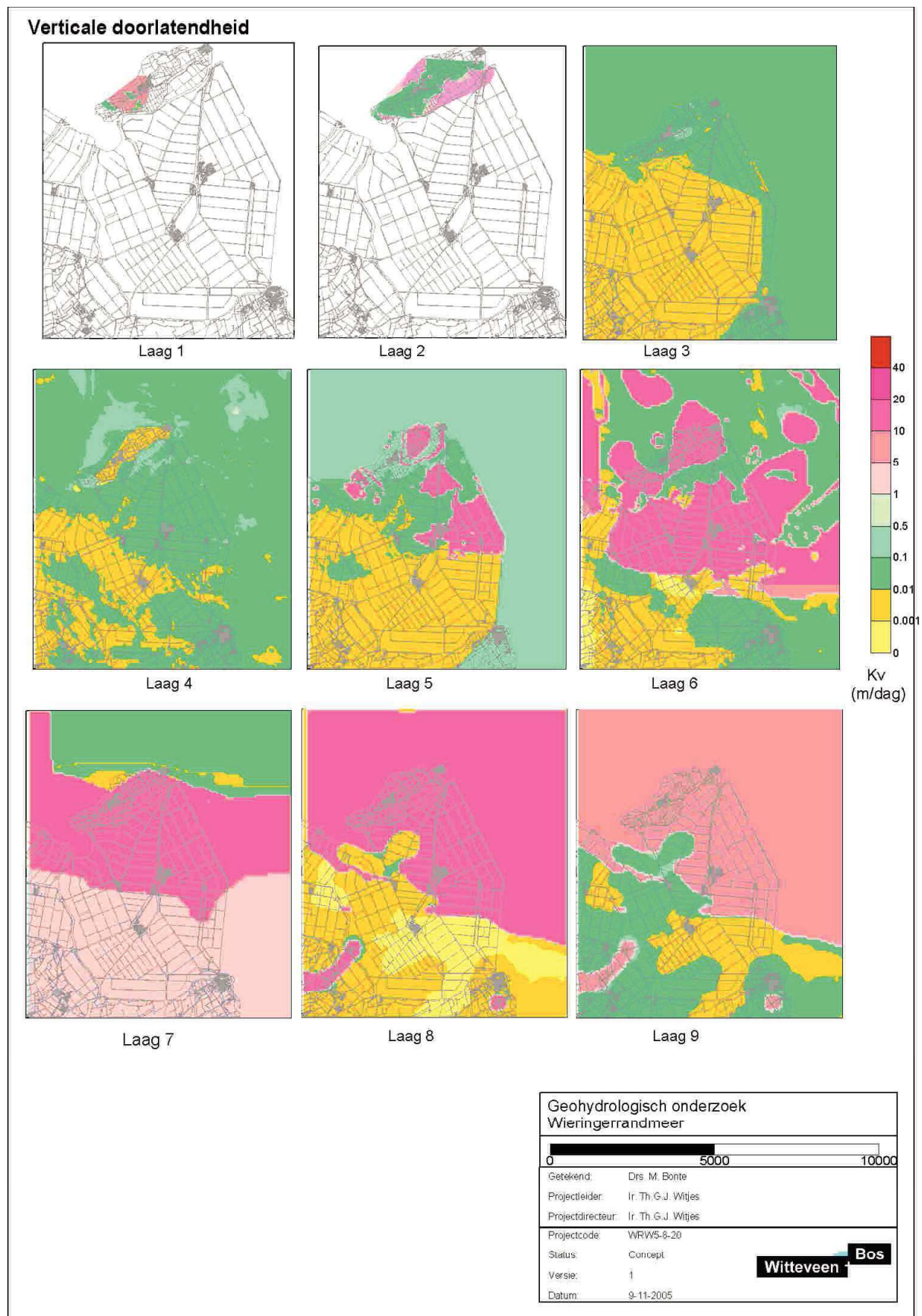
Afbeelding 3.5 Horizontale doorlatendheid modellagen 10 t/m 18



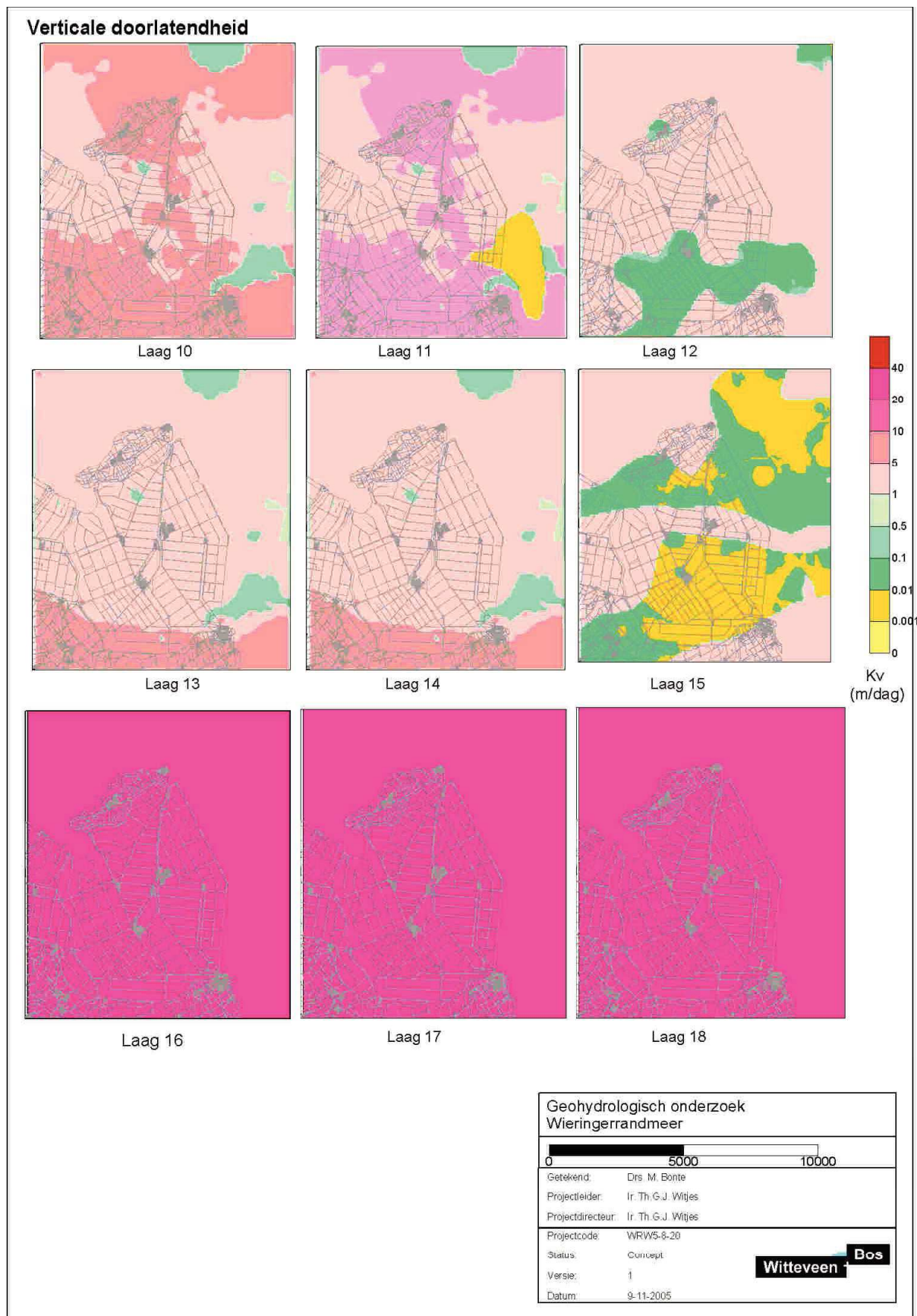
Afbeelding 3.6 Horizontale doorlatendheid modellagen 19 t/m 22



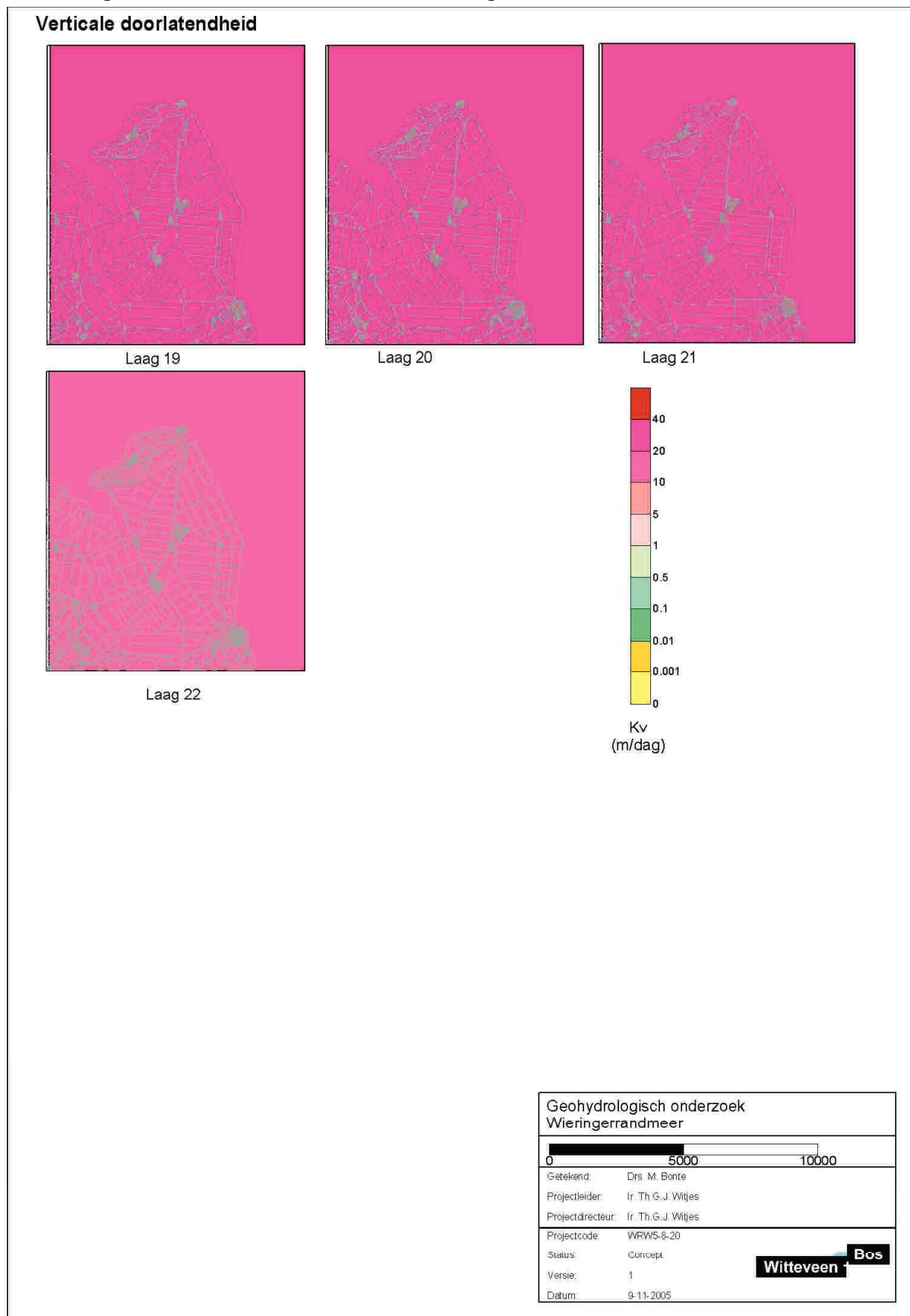
Afbeelding 3.7 Verticale doorlatendheid modellagen 1 t/m 9



Afbeelding 3.8. Verticale doorlatendheid modellagen 10 t/m 18



Afbeelding 3.9. Verticale doorlatendheid modellagen 19 t/m 22



4. Randvoorwaarden

In het model zijn de volgende randvoorwaarden toegepast:

- topsysteem, bestaande uit: neerslag, en wateraanvoer, drainage en de grote oppervlaktewateren (Waddenzee & IJsselmeer);
- modelranden: vaste stijghoogte;
- onderkant model: ondoorlatend.

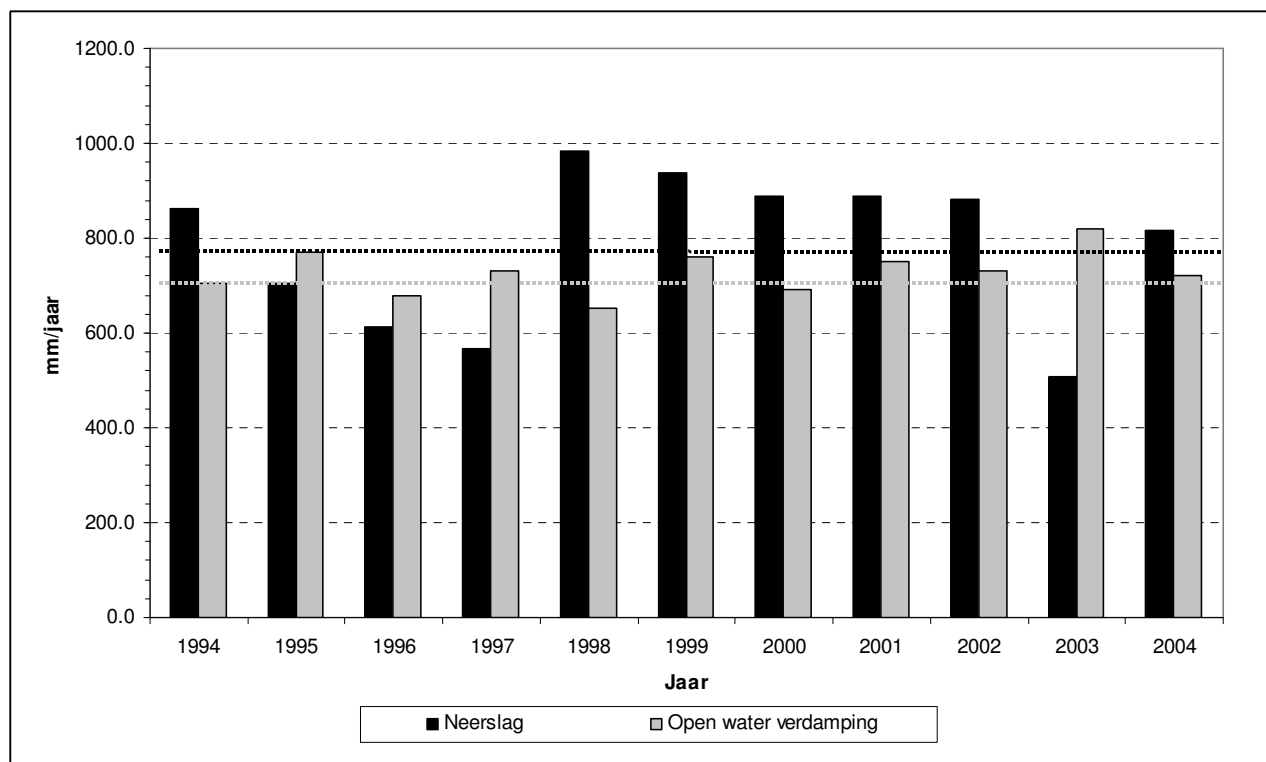
In het onderstaande worden deze vier groepen nader beschreven. Het model is opgezet als stationair model. Hierbij wordt de gemiddelde situatie doorgerekend voor de periode 1995-2005.

4.1. Topsysteem

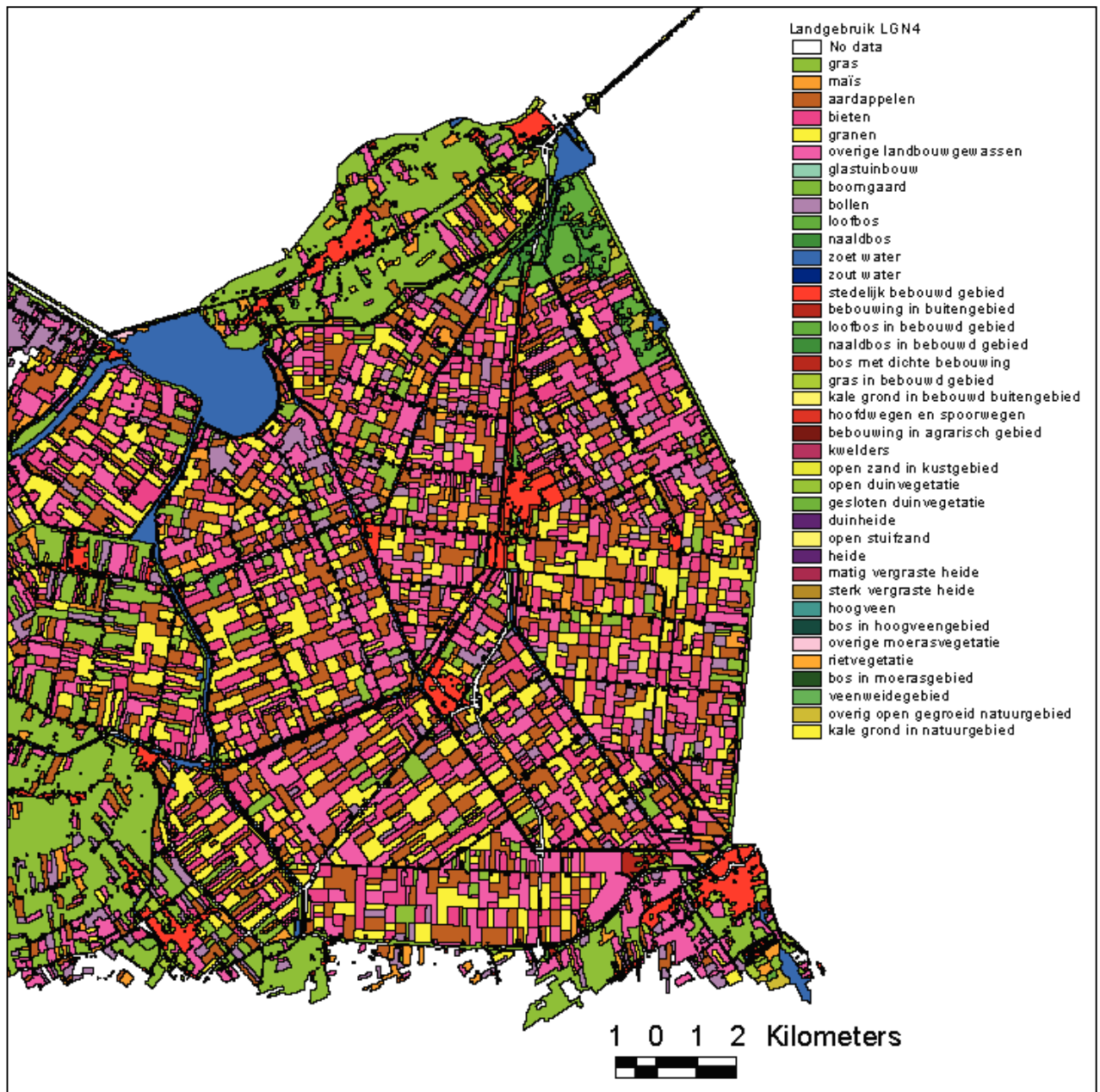
Grondwateraanvulling

De hoeveelheid grondwateraanvulling is berekend op basis van klimaatgegevens (neerslag en verdamping), gewas en interceptiefactoren en de gebiedsdekkende landgebruik kaart (LGN4).

In de omgeving van het plangebied is één meteostations waar de neerslag dagelijks wordt geregistreerd: de Kooy. In afbeelding 4.1 zijn de jaartotalen voor neerslag en verdamping voor de modelperiode 1995—2004 weergegeven.



Afbeelding 4.1 Neerslag en verdamping 1994-2004 station de Kooy (met gemiddelde lijnen)



Afbeelding 4.2 Landgebruik volgens LGN 4

Met behulp van gewasfactoren voor verschillende vegetatietypen is een onderscheid gemaakt in de grondwateraanvulling voor landbouw (behalve maïs), maïs, heide, kale grond, bos, stad en open water. De vegetatietypen zijn afgeleid van de landgebruikskaat (LGN4). Afbeelding 4.2 geeft het landgebruik weer waar de berekening van de grondwateraanvulling op gebaseerd is.

Voor elk vegetatietype is het gemiddelde neerslagoverschot ingevoerd (voor het stationaire model). De in het model ingevoerde grondwateraanvulling is in tabel 4.1 opgenomen. De grondwateraanvulling is op maandelijkse basis berekend met de volgende formule:

$$N = P - i * P - f * E$$

waarin

N = grondwateraanvulling

P = neerslag

E = verdamping

i = interceptiefactor

f = gewasfactor (Penman open waterfactor)

Tabel 4.1 Grondwateraanvulling

Landgebruik volgens LGN	Oppervlakte (Ha)	jaarlijkse gewasfactor	jaarlijkse interceptiefactor	aanvulling (mm/d)
gras	1300	0.70	0.00	0.61
maïs	200	0.53	0.00	0.72
aardappelen	1191	0.48	0.00	0.85
bieten	919	0.50	0.00	0.85
granen	1165	0.47	0.00	0.87
overige landbouwgewassen	1501	0.46	0.00	1.01
boomgaard	6	0.94	0.00	-0.01
bollen	328	0.53	0.00	0.72
loofbos	118	0.50	0.18	0.78
naaldbos	25	0.50	0.26	0.62
zoet water	347	1.00	0.00	0.13
stedelijk bebouwd gebied	219	0.60	0.23	0.47
bebouwing in buitengebied	24	0.60	0.23	0.47
loofbos in bebouwd gebied	5	0.50	0.18	0.78
naaldbos in bebouwd gebied	2	0.50	0.26	0.62
bos met dichte bebouwing	2	0.50	0.18	0.78
gras in bebouwd gebied	105	0.70	0.00	0.61
kale grond in bebouwd buitengebied	7	0.30	0.00	1.54
hoofdwegen en spoorwegen	141	0.50	0.23	0.68
bebouwing in agrarisch gebied	88	0.50	0.23	0.68
overige moerasvegetatie	2	0.70	0.00	0.61
rietvegetatie	2	0.70	0.00	0.61
bos in moerasgebied	2	0.70	0.18	0.26
overig open gegroeid natuurgebied	25	0.70	0.00	0.61
totaal	7724			0.78

Wateriaanvoer

Wateriaanvoer in het modelgebied vindt plaats op 2 manieren:

- in polderafdelingen 1 en 2 van de Wieringermeerpolder via een aanvoersloten systeem gevoed vanuit het Amstelmeerkanaal en Waardkanaal;
- in poldervakken 3 en 4 van de Wieringermeerpolder en polder Waard-Nieuwland via hevels vanuit boezemwater of IJsselmeer.

In het Vooronderzoek Integrale Effectrapportage (Witteveen + Bos, 2005) zijn de aanvoer hoeveelheden op basis van diverse bronnen geïnterpreteerd. Tabel 4.2 geeft een overzicht van de wateraanvoer. De aanvoer is gemodelleerd door deze bij de natuurlijke grondwateraanvulling op te tellen.

Tabel 4.2 Wateriaanvoer

Deelgebied	mm/jaar	mm/dag
Wieringermeerpolder		
<i>Afdeling 1+2</i>	80	0.22
<i>Afdeling 3+ 4</i>	85	0.23
Wieringen en aangedijkte polders		
<i>Polder Waard-Nieuwland</i>	62.5	0.17
<i>De Haukes</i>	52.5	0.14
<i>De Hoelm</i>	37.5	0.1
<i>Hippolytushoef</i>	49	0.14

In poldervakken 1 en 2 zijn tevens de aanvoersloten gemodelleerd door deze discreet in het model aan te brengen als *river* randvoorwaarden. Voor de aanvoersloten is aangenomen dat deze 4 m breed zijn en een intreeweerstand hebben van 10 dagen.

Afbeelding 4.3. geeft een overzicht van de ligging van de sloten en de aanvoerpeilen, met een fotoimpressie van een dergelijke aanvoersloot. Opgemerkt wordt dat bij de realisatie van het Wieringerrandmeer, de noordelijke tak van de oostelijke aanvoersloot zal komen te vervallen.



Afbeelding 4.3 Ligging aanvoersloten en aanvoerpeilen met een foto aanvoersloot

Drainagesysteem

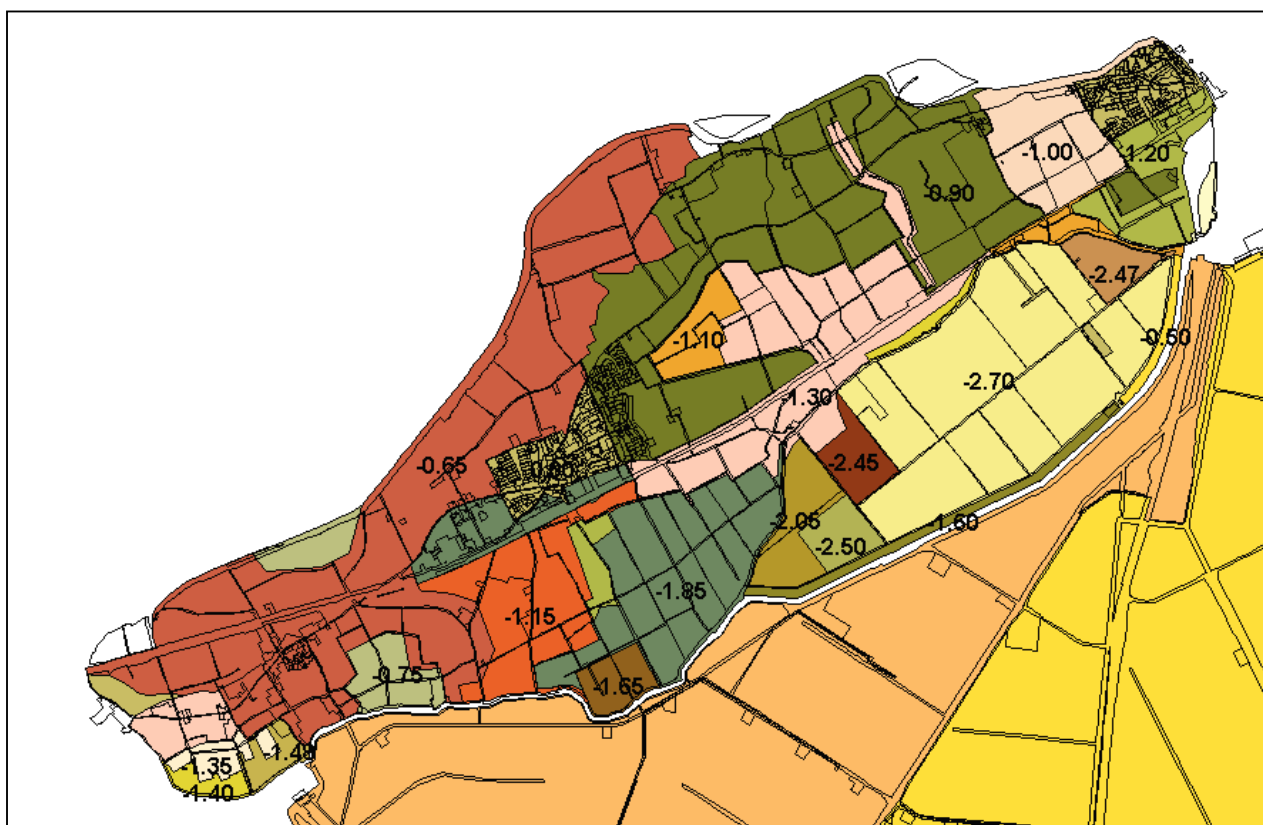
Drainage vindt in de poldergebieden plaats via systeem met een aantal grote kwelsloten waarop perceelsslots afwateren. Op de percelen liggen drains. Voor het eiland Wieringen zijn alleen sloten aanwezig op de lagere delen. Op de hogere delen zijn geen sloten aanwezig.

De polderpeilen voor de Wieringermeerpolder zijn opgedeeld in vier afdelingen. Het gesimuleerde polderpeil is ingevoerd als gemiddelde van het zomer- en winterpeil. Tabel 4.3 geeft een overzicht van de polderpeilen.

Tabel 4.3. Polderrpeilen Wieringermeer

afdeling	peilvak	zomerpeil (m NAP)	winterpeil (m NAP)	Gemiddeld Peil (m NAP)
1	1	-4,60	-4,60*	-4,60
2	2	-5,40	-5,30	-5,35
3	3a	-6,10	-6,10	-6,10
3	3b	-6,10	-5,70	-5,90
4	4	-6,60	-6,60	-6,60

Op het eiland Wieringen en de aangedijkte polders is sprake van een sterk gefragmenteerd peilregime met een gemiddeld peil variërend van NAP –2,7 m tot NAP –0,65 m. In dit gebied is tevens het gemiddelde van het zomer en winterpeil ingevoerd. Afbeelding 4.4 geeft een overzicht de verschillende peilvakken op het eiland Wieringen.



Afbeelding 4.4. Poldervakken Eiland Wieringen met gemiddeld peil

Drainage is op een aantal manieren gemodelleerd:

- het ontwateringsstelsel in de poldergebieden (modellagen 3 en 4) is in het model gesimuleerd met een *Drain randvoorwaarde*. In deze gebieden wordt water afgevoerd als de grondwaterstand boven het polderpeil komt.
- de grotere tochten in de oostelijke helft van de Wieringermeerpolder snijden door de deklaag. Deze zijn discreet in het model gezet met een *river randvoorwaarde* in modellagen 4 en 5.
- In de hogere gebieden op het eiland Wieringen (modellagen 1 en 2) zijn gebieden geïdentificeerd waar sloten aanwezig zijn. In deze gebieden zijn sloten ingevoerd als *River randvoorwaarde*. Het verschil met de poldergebieden is dat hier de sloten mogelijk een voedende werking hebben.
- In de hogere gebieden waar geen sloten aanwezig zijn, is geen drainage ingevoerd. Hier ligt het maaiveld over het algemeen voldoende hoog om op natuurlijke wijze te ontwateren.
- de boezemwateren (Amstelmeerkanaal en Waardkanaal) zijn discreet gemodelleerd met een *river randvoorwaarde*. Hierbij wordt opgemerkt dat in het Amstelmeerkanaal tot circa drie jaar geleden een afzonderlijk zomer en winter peil werd gehanteerd (respectievelijk NAP -0,4 / -0,7 m)

Bij inpoldering van de Wieringermeerpolder is drainage aangelegd op circa 0,8 m – m.v. met een h.o.h. afstand van 11 meter. Door klink ligt deze drainage momenteel op circa 0,5 m – m.v. Langs de IJsselmeerdijk, en op andere locaties waar de kweldruk groot is, zijn naast de drainage greppels gegraven en gevuld met takkenbossen.

In de jaren '60/'70 is een extra drainage systeem tussen de oude drainage ingelegd. Hiermee komt de h.o.h. afstand op 5,5 meter. Dit drainagesysteem ligt op circa 1,2 m-m.v. Op locaties die nog steeds nat waren, is daarnaast het oude drainagesysteem vervangen.

Natschade en grondwateroverlast wordt wel de boeren en Domeinen als één van de grootste gevaren van de aanleg van het Wieringerrandmeer gezien. Uit de praktijk is bekend dat in gebieden waar de kweldruk hoog is, dit kan leiden tot onbegaanbaar land. Dit is over het algemeen opgelost door aanleg van extra drainage.

De drainageweerstand is bepaald op basis van de grondwatertrap (GT). In eerste instantie zijn de in tabel 4.4 weergegeven drainageweerstand ingevoerd in het model. Hoe lager de grondwatertrap, hoe lager de drainageweerstand en hoe beter het grondwater wordt afgevoerd via sloten / drains.

Tabel 4.2. Drainageweerstand op basis van grondwatertrappen

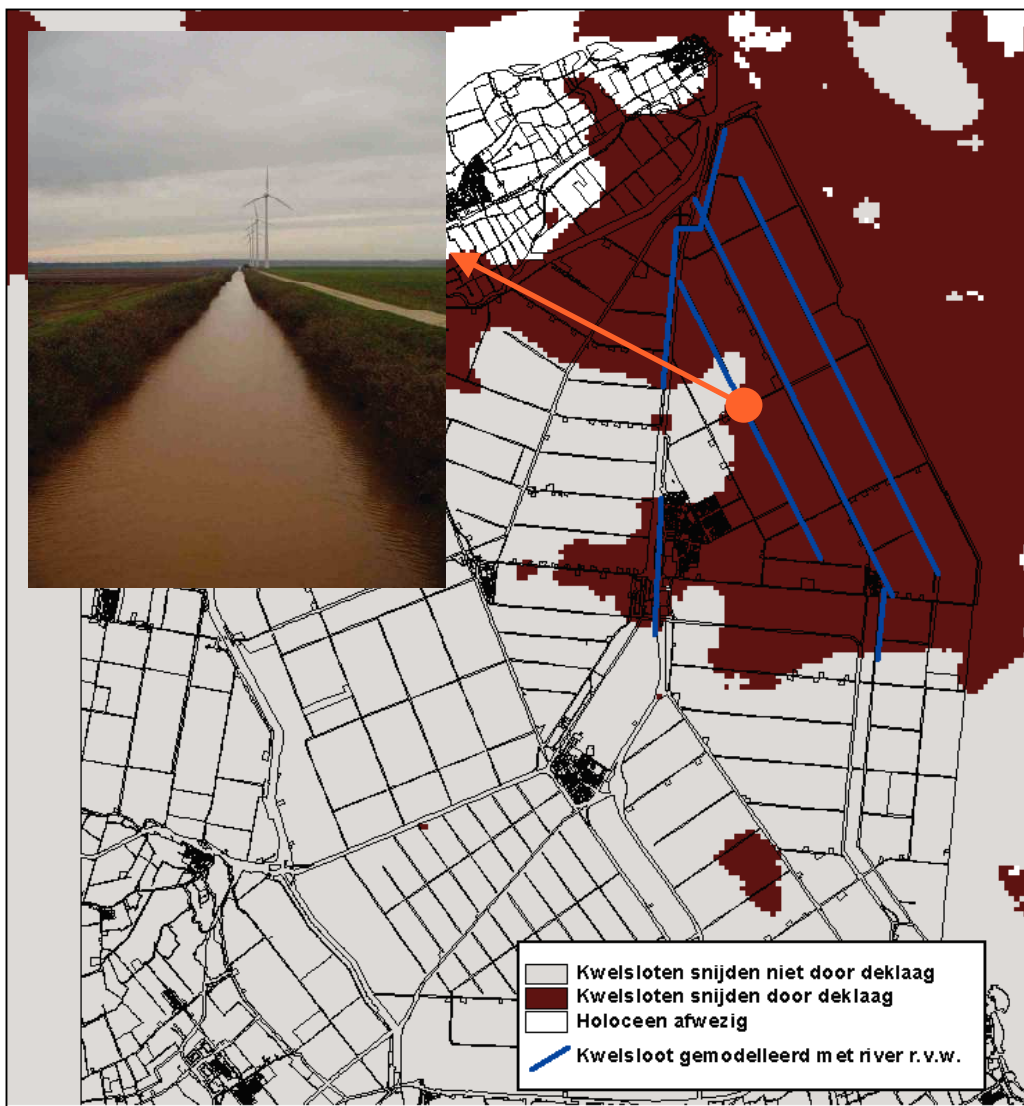
GT	kenmerken		Oppervlakte (Ha)	drainageweerstand (dagen)
II	GHG < 25	GLG 50-80	2176	100
II*	GHG 25-80	GLG 50-80	916	150
III	GHG <25	GLG 80-120	11360	150
III*	GHG 25-40	GLG 80-120	6112	200
IV	GHG 40-120	GLG 80-120	28252	300
V	GHG < 25	GLG > 120	7356	200
V*	GHG 25-40	GLG > 120	5696	250
VI	GHG 40-80	GLG > 120	62964	350
VII	GHG 80-140	GLG > 120	4200	400
VII*	GHG 40-80	GLG > 180	76	400

Tijdens kalibratie is gebleken dat op Wieringen de afvoer met name op de hoog gelegen gebieden te hoog werd berekend. Dat betekent dat de ingevoerde drainageweerstand hier te hoog is. Na kalibratie op gemeten afvoeren en stijghoogten, zijn de volgende aanpassingen op tabel 4.2 ingevoerd:

- De Hoelm: drainageweerstand is met een factor 4 verhoogd (drainageweerstand tussen 800 en 1100 dagen);
- Hippolytusehoef: drainageweerstand is met een factor 1,6 verhoogd (drainageweerstand tussen 165 tot 335 dagen);
- Stontele: drainageweerstand is met een factor 2,5 verhoogd (drainageweerstand tussen 300 en 850 dagen);
- Waard-Nieuwland: drainageweerstand is met een factor 2 verhoogd (drainageweerstand tussen 350 en 500 dagen).

Voor de kwelsloten is aangenomen dat deze 10 m breed zijn, 2 m diep en een intreeweerstand hebben van 10 dagen. Op basis van de REGIS kartering van de dikte van de deklaag is het gebied bepaald waar op basis van het polderpeil een diepte van 2 m de kwelsloten, de deklaag doorsnijden. Het gebied waar de kwelsloten door de deklaag snijden, de discreet gemodelleerde welsloten en een foto van een dergelijke diepe kwelsloot, zijn weergegeven in afbeelding 4.5.

Voor zowel het Amstelmeerkanaal als het Weerdkanaal is aangenomen dat deze 25 m breed zijn, 2 meter diep en een intreeweerstand hebben van 25 dagen. Het Amstelmeerkanaal heeft een gemiddeld peil van NAP – 0,4 m.



Afbeelding 4.6 Ligging discreet gemodelleerde kwelsloten

Groot oppervlakte water

De Waddenzee en het IJsselmeer zijn met *General Head Boundaries* gemodelleerd. Hierbij zijn de volgende waarden ingevoerd:

- gemiddeld peil Waddenzee: NAP + 0,4 m;
- gemiddeld peil IJsselmeer: NAP - 0,3 m;
- intreeweerstand: 8 dagen (conductance van 5.000 m²/dag)

4.2. Modelranden

De modelranden zijn gemodelleerd als *General Head Boundaries* met een gefixeerde stijghoogte. De stijghoogte is bepaald uit een 3D-interpolatie van de velddata. De stijghoogten op de randen zijn gelijk aan de initiële voorwaarden.

Opgemerkt wordt dat in Seawat de gemeten (niet voor dichtheid gecorrigeerde) stijghoogte worden ingevoerd.

4.3. Modelonderkant

De onderkant van het model is gemodelleerd als *no flow boundary randvoorwaarde*.

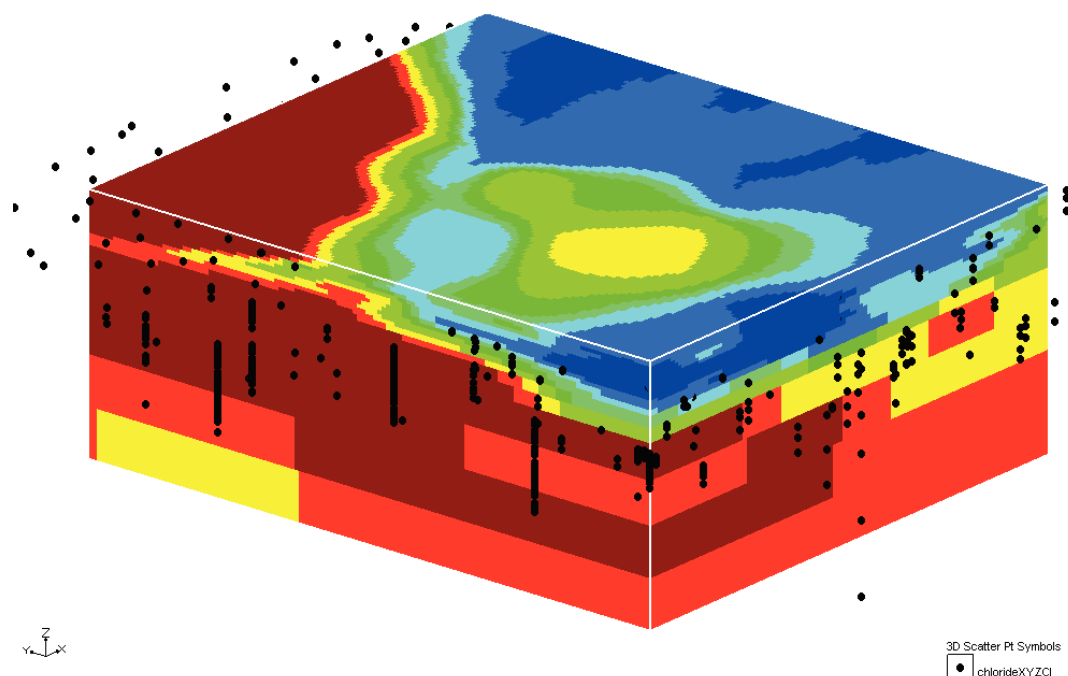
5. INITIËLE VOORWAARDEN

5.1. Stijghoogten

De beginvoorwaarden voor de stijghoogte dient alleen als beginvoorwaarde voor de berekening van de stationaire situatie. De verdeling is bepaald op basis van gemiddelde veldstijghoogtemetingen. De data is met behulp van het programma GMS (groundwater modelling system) middels 3-dimensionale kriging geïnterpoleerd.

5.2. Chlorideverdeling

De beginvoorwaarde voor de chlorideverdeling is tevens bepaald op basis van 3-D kriging. Hiervoor zijn metingen gebruikt van de afgelopen 20 jaar (1985-2005) om voldoende datapunten te verkrijgen. Afbeelding 5.1 geeft een weergave van de 3-D kriging.



Afbeelding 5.1 3-D Kriging initiële chloride verdeling

6. NUMERIEKE INSTELLINGEN

De modelberekeningen zijn uitgevoerd met Seawat-2000 (versie 3.11.02 2005/09/23).

De relevante numerieke rekeninstellingen voor de berekening van grondwaterstroming, stoftransport en dichtheidstroming zijn samengevat in tabel 6.1.

Tabel 6.1 Overzicht relevant numerieke instellingen

Parameter	Waarde
Grondwaterstroming	
Solver:	PCG2
Type:	Modified incomplete Cholesky
Relaxation:	1
Head change criteria:	1,00E-04
Waterbalance criteria:	10
Stoftransport	
Solver	Modified incomplete Cholesky
Concentration closure criteria	0.0001
Advection	HMOC
Percol (Courant nummer)	0.9
Negligible concentration gradient	0.001
Particles per cell	4
DCHMOC	0.001
Longitudinale dispersiviteit	10 m
Horizontale & transversale dispersie	1 m
Porositeit	0,25
Dichtheidsstroming	
Maximale dichtheid	1100
Minimale dichtheid	1000
Referentie dichtheid	1000
Dichtheidshelling	0,0013

