



**Vakgroep
Geologie en Bodemkunde**



Cel Grondwatermodellering

**Uitwerking van maatregelen
voor milderen van verzilting in aangrenzende polders
bij uitbreiding ZWIN
(hydrogeologische deelaspect)**

Studie en Verslag: Prof. Dr. L. Lebbe & Lic. C. Courtens

Opdrachtgever: Uitvoerend Secretariaat Technische Scheldec commissie

Datum: juni 2011

Inhoudstafel

1. Opdracht.....	-3-
2. Integratie van lithostratigrafische en hydrogeologische gegevens	-3-
3. De dubbele pompproef	- 8 -
3.1 Inleiding dubbele pompproef	- 8 -
3.2 Opdeling van de freatische aquifer in het numerieke model	- 9 -
3.3 Interpretatie van de dubbele pompproef	- 9 -
3.3.1 Parameterisatie	- 9 -
3.3.2 Resultaten van interpretatie met behulp van inverse model.....	- 11 -
4. Veldwaarnemingen ter bepaling nultoestand	- 18 -
4.1 Zoetwaterstijghoogtemetingen.....	- 19 -
4.2 Elektromagnetische metingen (EM-39).....	- 27 -
4.2.1 Inleiding	- 27 -
4.2.2 EM-39 metingen in de 12 peilputten.....	- 28 -
4.3 Zoutgehalte van het oppervlaktewater.....	- 34 -
5. Modellerings met het 'groot model' met een drempel in het ZWIN op 3.0 m TAW ...	- 36 -
5.1 Aangewend model en modelopbouw.....	- 36 -
5.2 Evolutie naar huidige situatie en na geplande ingreep zonder milderende maatregelen	- 40 -
5.3 Simulatie met het 'groot model' van het plaatsen van een 'diepe drainage' naast de bestaande oppervlakte drainage als milderende maatregel	- 50 -
6. Detailmodellerings van de grondwaterstroming en de zoet-zoutwaterverdeling.....	- 56 -
6.1 Detailmodellerings aan de westelijke grens van de uitbreiding van het Zwin	- 56 -
6.1.1 Detailmodellerings van de 'oppervlakte drainage' aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding.....	- 58 -
6.1.2 Detailmodellerings van de 'diepe drainage' aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding.....	- 61 -
6.2 Detailmodellerings van een tijdelijk stilleggen van de milderende maatregel.....	- 63 -
6.2.1 Simulatie van de effecten bij het tijdelijk stilleggen van de extra 'oppervlakte drainage'	- 63 -
6.2.2 Simulatie van de effecten bij een tijdelijke stop van de extra 'diepe drainage'	- 68 -
6.2.3 Afstelling van onttrokken debiet bij de extra 'diepe drainage' op de variërende heropvulling	- 72 -
6.3 Detailmodellerings aan de zuidoostelijke hoek van de Zwinuitbreiding	- 75 -
6.3.1 Detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding zonder milderende maatregelen	- 77 -
6.3.2 Detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding met 'diepe drainage met vrije uitstroming' (type 1)	- 87 -
6.3.3 Detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding met 'diepe drainage met pompen' (type 2)	- 95 -
7. Besluiten uit het hydrogeologische deelonderzoek.....	- 103 -
8. Aanbeveling tot monitoring.....	-109-
9. Referenties	- 109 -
10. Samenvatting	- 111 -
11. Bijlagen	- 114 -

1. Opdracht

Overeenstemmend de overeenkomst afgesloten tussen **TECHNUM-TRACTEBEL ENGINEERING (TTE)**, enerzijds en de Universiteit Gent anderzijds gaf **TTE** de opdracht voor het uitwerken van maatregelen voor het milderen van de verzilting in de aangrenzende polders bij de uitbreiding van het Zwin (hydrogeologisch deelaspect). Deze opdracht gebeurde in onderaanneming.

In dit rapport wordt verslag gemaakt van de integratie van de hydrogeologische eenheden, de uitvoering en interpretatie van de dubbele pompproef en de drie meetcampagnes (zoetwaterstijghoogtemetingen, elektromagnetische metingen (EM-39) en metingen van het zoutgehalte van het oppervlaktewater). Dit heeft tot doel de zoet-zoutwaterverdeling in de omgeving van het Zwin op te volgen en de hydraulische parameters van het grondwaterreservoir beter in te schatten. Vervolgens zijn verscheidene modelleringen uitgevoerd voor het 'groot model' met een drempel in het ZWIN op 3.0 m TAW (0.7 mNAP):

- evolutie huidige situatie
- evolutie na geplande ingreep zonder milderende maatregelen
- evolutie na de geplande ingreep met het plaatsen van een 'diepe drainage' naast de bestaande oppervlakte drainage als milderende maatregel

Na de modellering van het 'groot model' zijn detailmodelleringen uitgevoerd. Één deelgebied is gelegen aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding en één deelgebied rond de zuidoostelijke hoek van de uitbreiding. Bij ieder deelgebied zullen twee alternatieven van milderende maatregelen in detail gemodelleerd worden

Westelijke grens van Zwinuitbreiding:

- detailmodellering extra 'oppervlakkige drainage' naast de bestaande oppervlakte drainage
- detailmodellering extra 'diepe drainage' naast de bestaande oppervlakte drainage
- simulatie effecten bij het tijdelijk stilleggen extra 'oppervlakte drainage'
- simulatie effecten bij het tijdelijk stilleggen extra 'diepe drainage'
- afstellen onttrokken debiet bij extra 'diepe drainage' op de variërende heropvulling

Zuidoostelijke hoek Zwinuitbreiding:

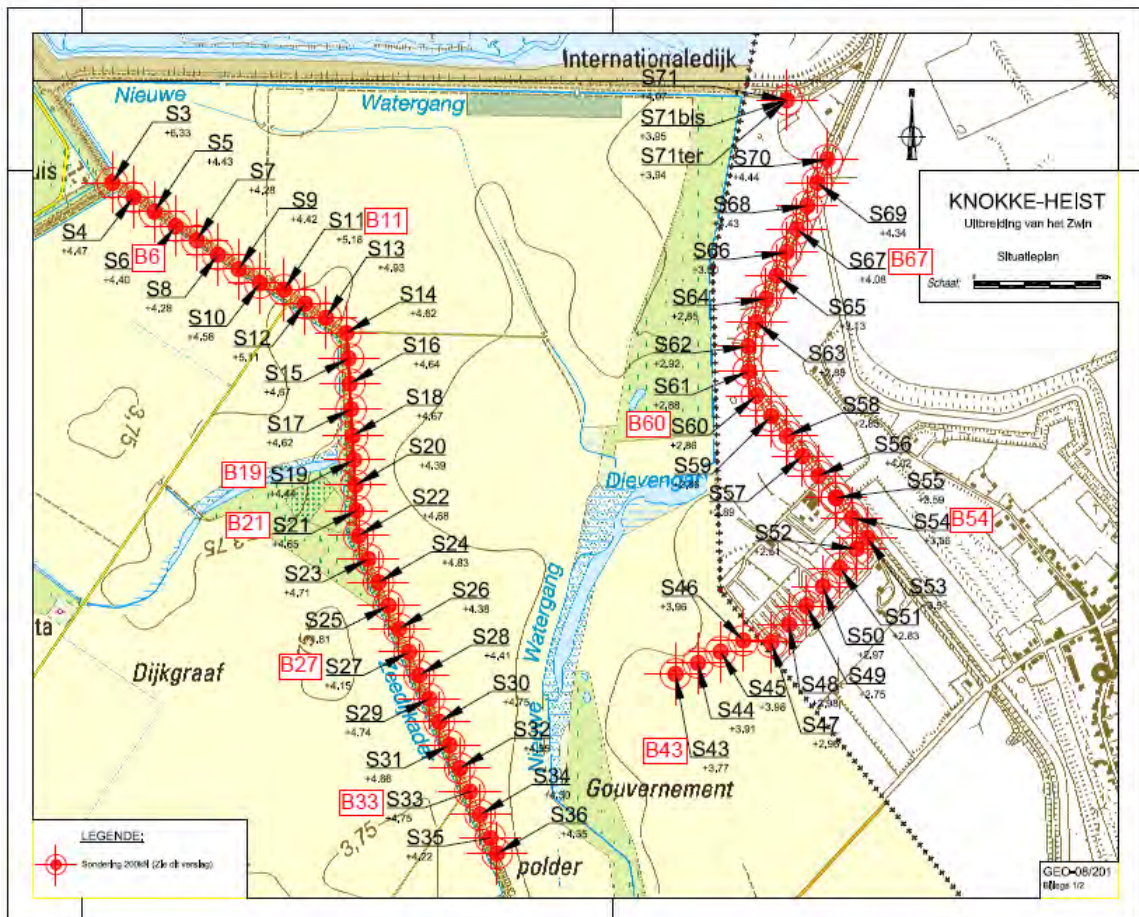
- detailmodellering zonder milderende maatregelen
- detailmodellering met 'diepe drainage met vrije uitstroming' (type 1)
- detailmodellering met 'diepe drainage met pompen' (type2)

2. Integratie van lithostratigrafische en hydrogeologische gegevens

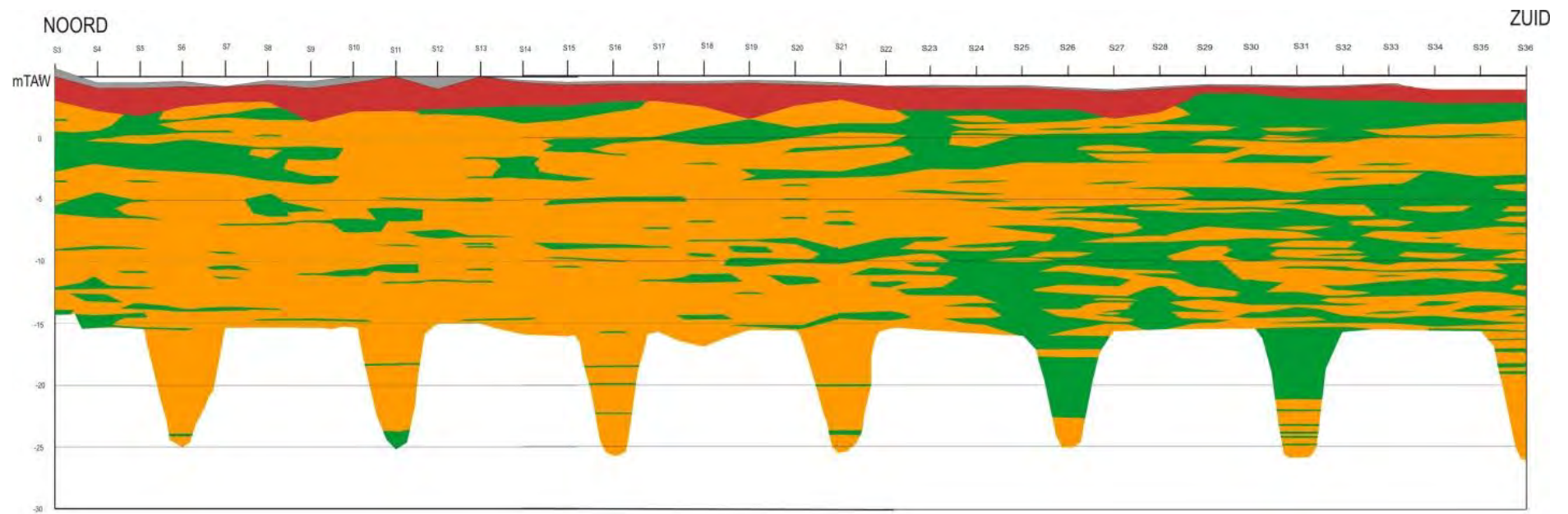
In deze deelopdracht worden lithostratigrafische en hydrogeologische gegevens afgeleid uit de Databank van de basissen van de HCOV-eenheden. Deze gegevens worden vergeleken met de boringen en geotechnische sonderingen uit het verslag GEO-08/202 dat in het kader van de uitbreiding van het Zwin werd uitgevoerd door afdeling Geotechniek, departement Mobiliteit en Openbare Werken, Vlaamse overheid in 2009. In het verslag GEO-08/202 staan 63 sonderingen en 8 boringen uitgevoerd langsheen de Internationale Dijk (figuur 2.1). Het doel is het maken van een gedetailleerde kartering (top en basis, laterale continue versus lateraal discontinue) van de doorlatende en slecht doorlatende lagen in de freatische aquifer vooral in de omgeving van de aan te leggen dijk rond het uitgebreide gedeelte van het Zwingebied. Op basis van de integratie van deze gegevens werd de locatie van de dubbele pompproef bepaald.

Aan de grens van de Zwinuitbreiding werd door Geotechniek in 2009 een 60-tal sonderingen tot 20 à 25 meter diepte uitgevoerd. Van deze sonderingen werden lithologische doorsneden gemaakt. Figuren 2.2, 2.3 en 2.4 geven de noord-zuid doorsneden van respectievelijk de westelijke en oostelijke grens van de Zwinuitbreiding en de west-oost doorsnede van de zuidelijke grens van de

Zwinuitbreiding. Het maaiveld wordt uitgedrukt in m TAW ($x \text{ m TAW} = (x-2.30) \text{ m NAP}$). Uit deze sonderingen kan afgeleid worden dat aan de westelijke grens van de Willem-Leopoldpolder de quartaire afzettingen bovenaan bestaan uit een dunne kleilaag (slappe laag). Dit kleilaagje wordt niet aangetroffen aan de oostelijke grens van de Willem-Leopoldpolder. De sonderingen geven ook weer dat aan de noordwestelijke grens van de Willem-Leopoldpolder de intercalaties van siltige/kleiige sedimenten minder frequent aanwezig zijn dan bij de overige sonderingen gelegen op de grens van de te ontpolderen zone. In figuur 2.4 is er ter hoogte van S49 geen interpretatie aangezien op deze locatie geen meting is uitgevoerd.



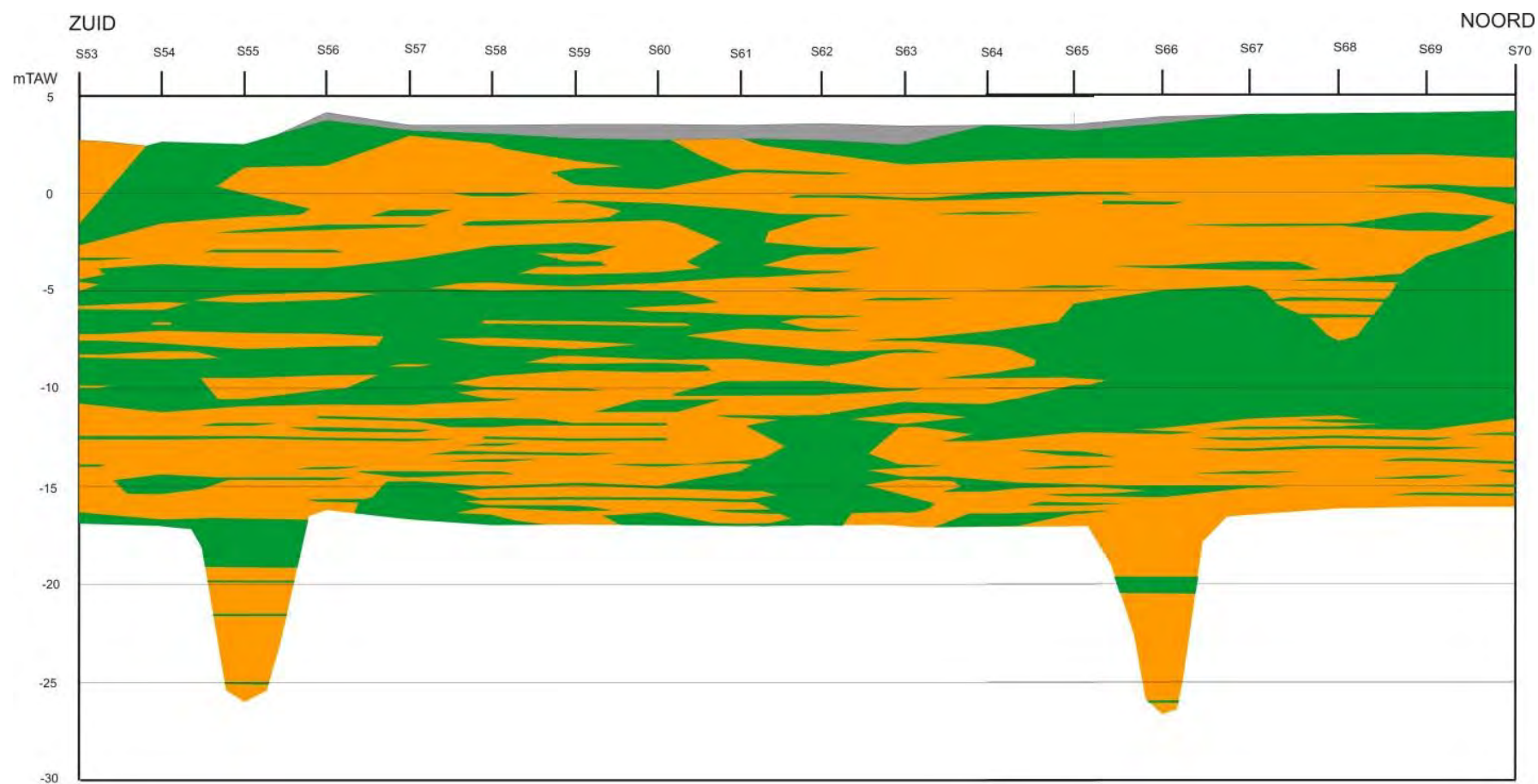
Figuur 2.1 Liggingplan sonderingen Geotechniek (2009).



LEGENDE

- grint
- slappe laag
- gemengde zand/silt/klei lagen
- vaste laag

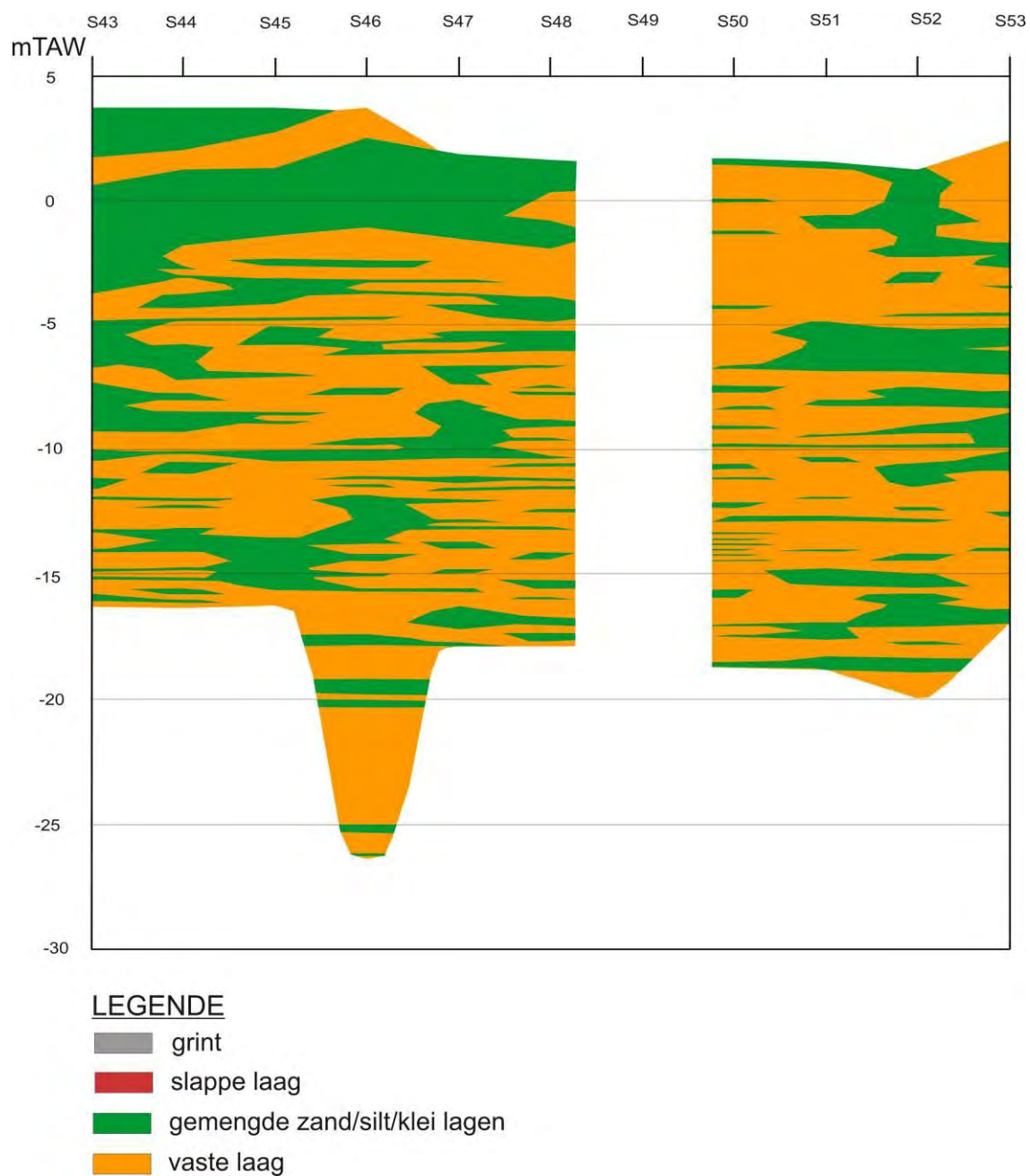
Figuur 2.2 Noord-zuid lithologische doorsnede van de westelijke grens vande Zwinuitbreiding.



LEGENDE

- grint
- slappe laag
- gemengde zand/silt/klei lagen
- vaste laag

Figuur 2.3 Zuid-noord lithologische doorsnede van de oostelijke grens vande Zwinuitbreiding.



Figuur 2.4 West - oost lithologische doorsnede van de zuidelijke grens vande Zwinuitbreiding.

3. De dubbele pompproef

3.1 Inleiding dubbele pompproef

Aan de hand van de geïntegreerde informatie over de hydrogeologische opbouw van de freatische aquifer werd de dubbele pompproef gepland. De pompproef is gelegen ter hoogte van S12 op de lithologische doorsnede van figuur 2.2. Een pompproef is een methode om *in situ* gemiddelden van de hydraulische parameters over grote volumes van de watervoerende laag te meten (Lebbe, 1999). Een voordeel van een dubbele pompproef is dat de twee pompproeven gebruikt kunnen worden voor onderlinge validatie, waardoor de betrouwbaarheid van de resultaten groter is dan bij één enkele proef.

De dubbele pompproef wordt uitgevoerd aan de hand van twee pompputten: één met zijn filterelement tussen 16,5 en 19,5 meter onder het maaiveld dus in het onderste gedeelte van de freatische laag (PP1) en één met filterelement tussen 6 en 9 meter onder het maaiveld dus in het bovenste gedeelte van de freatische laag (PP2). Het overzicht van de dubbele pompproef wordt weergegeven in figuur 3.1.



Figuur 3.1 Overzicht van locaties van de pompputten en observatieputten van de dubbele pompproef ter hoogte van de kruising Internationale Dijk en Dijkgraafstraat.

De pompproef werd gestart op 25 november 2010. Tijdens het eerste gedeelte van de dubbele pompproef werd gepompt op het onderste gedeelte van de freatische laag (PP1) met een debiet van 283,01 m³/d gedurende 24 uur. Hierbij werden met behulp van druksondes ("divers") de verlagingen

gevolgd in het onderste gedeelte van de freatische aquifer op 6,25 m (PB1), 25 m (PB2) en 35 m (P2) afstand van pompput PP1; tevens werden de verlagingen gevolgd in het bovenste gedeelte van de freatische aquifer op 3 m (PP2), 9,25 m (PB3) en 19 m (PB4) afstand van de pompput. Na één dag pompen op het onderste gedeelte van de freatische laag werd de pomp stil gelegd. Na drie dagen rust werd op 29 november 2010 het tweede gedeelte van de dubbele pompproef gestart waarbij gedurende 2 dagen op de pompput met filter in het bovenste gedeelte van de freatische aquifer (PP2) werd gepompt met een debiet van $269,44 \text{ m}^3/\text{d}$. Ook hier werden de verlagingen gevolgd in het bovenste gedeelte van de freatische aquifer op 6,25 m (PB3) en op 16m (PB4) afstand van de pompput PP2 en in het onderste gedeelte van de freatische aquifer op 3.3 m (PB1), op 22 m (PB2) en op 38,5 m (P2) van de pompput PP2.

Alle waargenomen verlagingen van de dubbele pompproef werden gezamenlijk geïnterpreteerd met behulp van een invers model (Lebbe, 1999). Het inverse model is gebaseerd op een normaal axi-symmetrisch 2D-model (AS2D-model), een reeks gevoeligheidsanalyses en een niet-lineaire regressie algoritme.

3.2 Opdeling van de freatische aquifer in het numerieke model

De freatische aquifer wordt in het axi-symmetrisch 2D-model (AS2D-model) opgedeeld in 14 lagen. De diktes van de lagen in het numerieke model worden weergegeven in figuur 3.3. Laag 1 in het numerieke model is de onderste beschouwde laag van het grondwaterreservoir. De onderste grens van Laag 1 is als ondoorlatend verondersteld en komt overeen met de top van de Bartoonklei. De top en de basis van Laag 3 komt overeen met de top en de basis van de filter van pompput 1. De filter van peilput P2 zit in Laag 2 van het numerieke model. De top en de basis van Laag 9 komt overeen met de top en de basis van de filter van de pompput PP2. Tussen de twee rechtstreeks aangepompte lagen (Laag 3 en Laag 9) wordt het freatische reservoir opgedeeld in vijf lagen met éénzelfde dikte (1.5 m, Laag 4, 5, 6, 7 en 8). De bovenste laag in het numerieke model (Laag 14) wordt bovenaan begrensd door watertafel en stemt overeen met de slappe en de gemengde lagen die gelegen zijn onder de watertafel. Tussen de bovenste rechtstreeks aangepompte laag (Laag 9) en de bovenste laag van het numerieke model wordt het freatische reservoir er opgedeeld in vier lagen met éénzelfde dikte (0,75 m, Laag 10, 11, 12 en 13 van het numerieke model).

3.3 Interpretatie van de dubbele pompproef

3.3.1 Parameterisatie

Na het uitvoeren van een reeks gevoeligheidsanalyses en verschillende testen met het invers model is gebleken dat zes parametergroepen gezamenlijk kunnen afgeleid worden uit de gegevens van de dubbele pompproef. Daarnaast kunnen de C-waardes van het putverlies van iedere pompput afzonderlijk afgeleid worden.

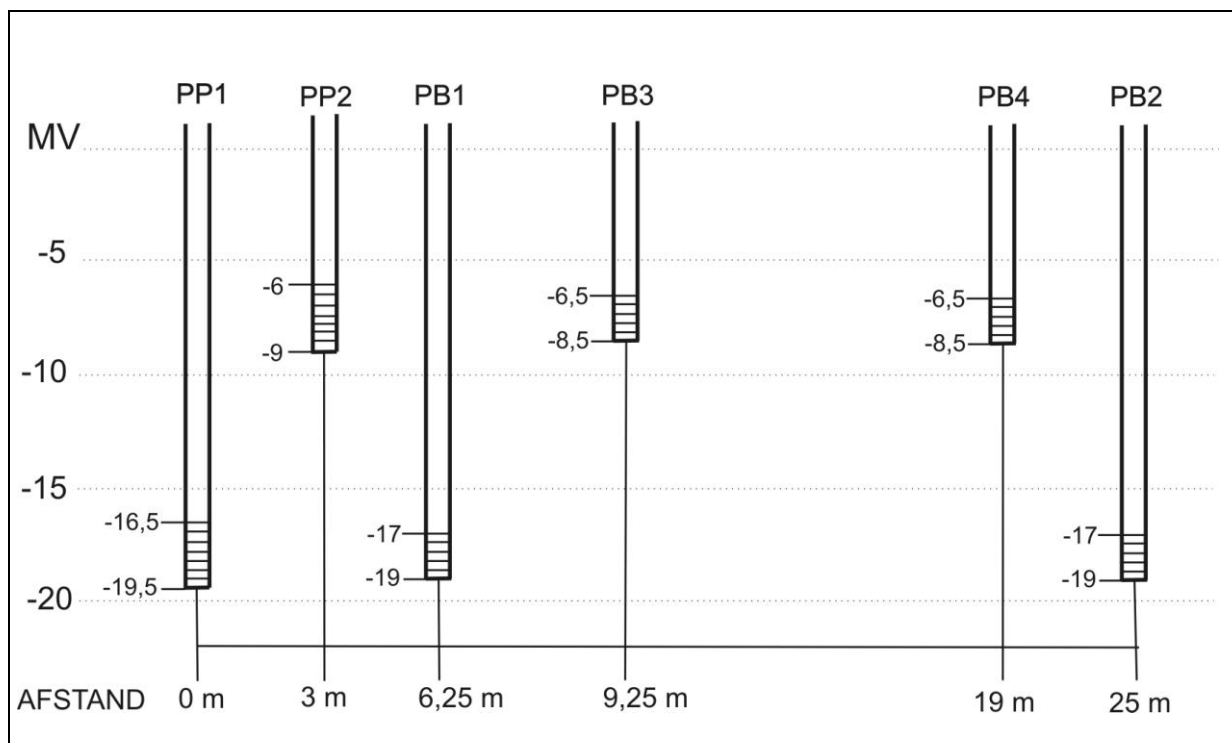
De eerste groep van hydraulische parameters omvat de horizontale doorlatendheden van het onderste gedeelte van de freatisch watervoerende laag. Het betreft de horizontale doorlatendheden van Lagen 1 t.e.m. 6 van het numerieke model. Deze groep wordt aangeduid met het symbool k_h (1-6). De tweede groep van hydraulische parameters omvat de horizontale doorlatendheden van het bovenste gedeelte van de freatisch watervoerende laag. Het betreft de horizontale doorlatendheden van Lagen 7 tot en met 13 van het numerieke model. Met het symbool k_h (7-13) wordt deze groep aangeduid.

De derde groep af te leiden hydraulische parameters groepeerde alle hydraulische weerstanden tussen de Lagen 1 tot en met 13 van het numerieke model. Hierbij wordt verondersteld dat de verticale doorlatendheden van de Lagen 1 tot en met 13 gelijk zijn. Het symbool c (1-13) wordt aangewend om verder deze groep aan te duiden. De vierde groep van hydraulische parameters

omvat alle specifieke elastische bergingen van alle lagen. Eerst veronderstelden we dat alle lagen een elastische berging hebben die overeenkomt met hun diepte-interval (zie Van der Gun formule in Lebbe, 1999, p. 46). Deze groep wordt verder aangeduid met het symbool $S_s(1-14)$.

De vijfde groep van hydraulische parameters groepeerde de horizontale en de verticale doorlatendheden van de bovenste laag in het numerieke model. Hierbij wordt verondersteld dat de verticale doorlatendheid tien maal kleiner is dan de horizontale. Daar bij deze groep de belangrijkste parameter de hydraulische weerstand tussen de lagen 13 en 14 is, wordt deze groep dan ook aangeduid met het symbool van deze hydraulische weerstand $c(13)$. De zesde hydraulische parameter die uit de dubbele pompproef afgeleid wordt, is de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel S_0 .

Daar bij beide pompproeven de verlaging in de pompputten waargenomen zijn, is het eveneens mogelijk om de C-waarden van het putverlies van beide pompputten afzonderlijk af te leiden. Het putverlies is gelijk aan CQ^2 waarbij Q het pompdebiet is en C wordt omschreven als C-waarde van het putverlies. Bij iedere pompput wordt een C-waarde afgeleid, de C1-waarde voor het putverlies van pompput PP1 en de C2-waarde voor het putverlies van pompput PP2.



Figuur 3.2 Doorsnede met situering van de filters van pompput PP1 en de peilputten (PB1, PB2) met filters in het onderste gedeelte van de watervoerende laag en de filters van pompput PP2 en de peilputten (PB3, PB4) met filters in het bovenste gedeelte van de watervoerende laag.

D (14) = 1.5 M
D (13) = 0.8 M
D (12) = 0.8 M
D (11) = 0.8 M
D (10) = 0.8 M
D (9) = 2.0 M
D (8) = 1.5 M
D (7) = 1.5 M
D (6) = 1.5 M
D (5) = 1.5 M
D (4) = 1.5 M
D (3) = 3.0 M
D (2) = 3.0 M
D (1) = 3.0 M

Figuur 3.3 Diktes van lagen in het numerieke model ($D(i)$, dikte van laag i , de lagen worden van onder naar boven geteld). In laag 3 van het numerieke model zitten de filters van pompput PP1 en van de peilputten PB1 en PB2; in laag 9 zijn de filters van pompput PP2 en van de peilputten PB3 en PB4 gelokaliseerd. Basis van de onderste laag van het numerieke model ligt 25.5 m onder het maaiveld.

3.3.2 Resultaten van interpretatie met behulp van invers model

In tabel 3.1 staan de resultaten van de gezamenlijke interpretatie van de pompproef met behulp van het invers model (Lebbe, 1999). Het betreft de optimale waarden van de afgeleide hydraulische parameters. In figuur 3.4 staat een schematische weergave van de lagen in het numerieke model samen met de optimale waarden van hydraulische parameters. De waargenomen verlagingen en de berekende verlagingen in overeenstemming met de optimale waarden van de hydraulische parameters worden weergegeven in tijd-verlagings- en afstand-verlagingsgrafieken (figuur 3.5 en 3.6). De logaritmische waarden van deze berekende verlagingen en hun overeenkomstige waargenomen verlagingen worden samen met hun onderling verschil of afwijkingen opgenomen in bijlage 1 en 2.

Tabel 3.1 Optimale waarden van de hydraulische parameters die gezamenlijk afgeleid worden uit alle waarnemingen van de dubbele pompproef.

Hydraulische parameter	Optimale waarde	Eenheid
$k_h(1-6)$	30.4	m/d
$k_h(7-13)$	29.5	m/d
$c(1-13) \rightarrow k_v(1-13)$	4.26	m/d
$S_s(1-14) \rightarrow S_s(9)$	1.21×10^{-4}	m^{-1}
$c(14)$	6.2	d
S_0	0.0074	m^3/m^3

Uit tabel 3.1 leiden we af dat de horizontale doorlatendheid van het onderste gedeelte van de freatische laag (Laag 1 t.e.m 6 van numerieke model) gelijk is aan 30.4 m/d en dat de horizontale doorlatendheid van het bovenste gedeelte van de freatische laag (Laag 7 t.e.m. 13 van het numerieke model) gelijk is aan 29.5 m/d. Hieruit blijkt dus dat de freatische aquifer over het grootste gedeelte (met uitzondering van de bovenste 1.5 m) bestaat uit zeer doorlatende afzettingen en dat er nagenoeg geen verschil is tussen het onderste en het bovenste gedeelte van de freatische aquifer. De verticale doorlatendheid van het grootste gedeelte van de freatische aquifer is eveneens groot, namelijk 4,3 m/d. De verhouding horizontale tot verticale doorlatendheid is bijgevolg gelijk aan 7. De top van de freatische aquifer is minder doorlatend. De hydraulische weerstand tussen de watertafel en het grootste goed doorlatende gedeelte van de freatische aquifer is gelijk aan 6.2 dagen.

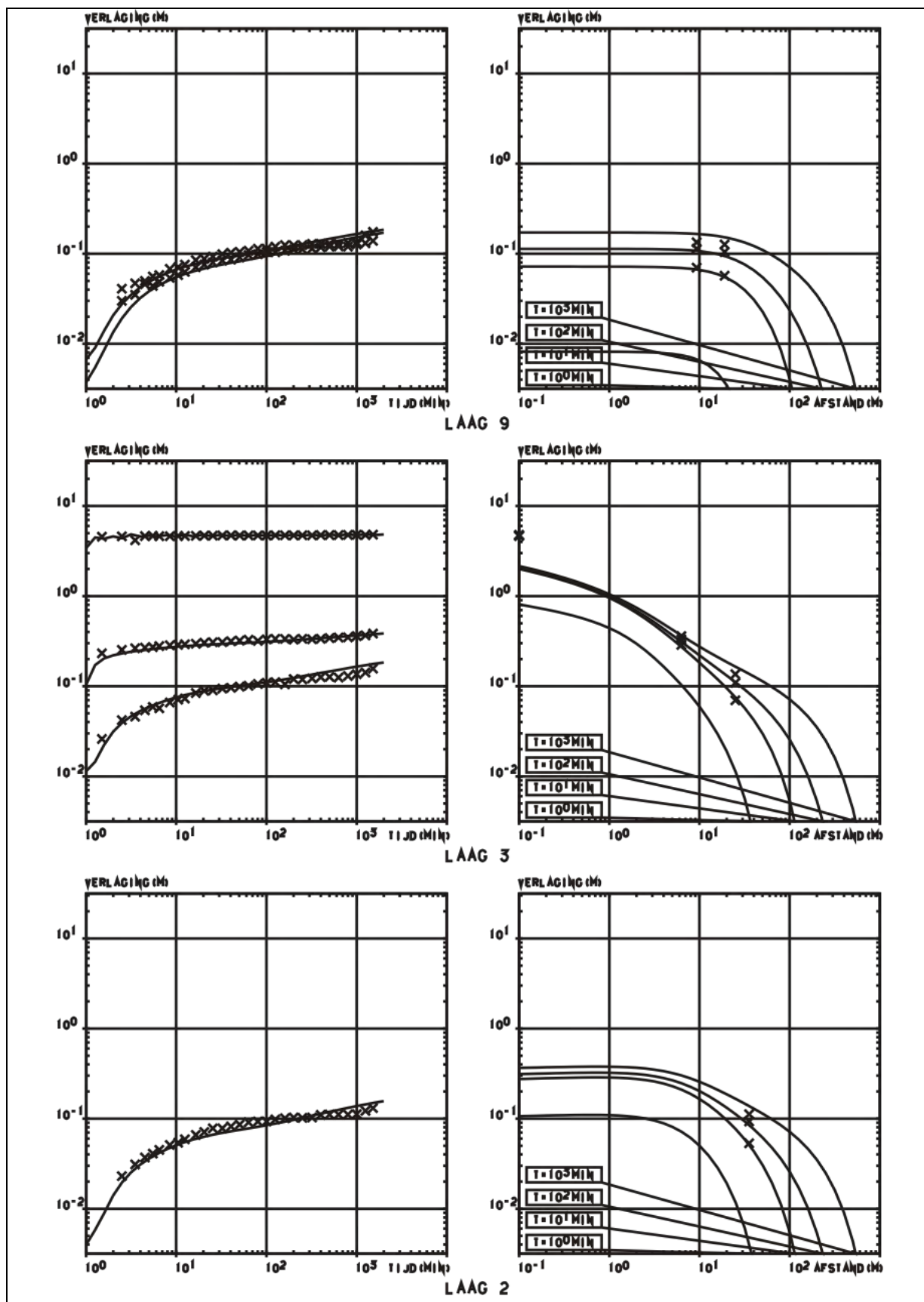
De specifieke elastische berging van de aangepompte laag (Laag 9) is gelijk aan $1.2 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$. De specifieke elastische bergingen van de Lagen 1 tot en met 14 zijn dus 1.8 maal groter dan de specifieke elastische berging die men uit hun diepte-interval kan afleiden met de Van der Gun-formule. De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel is gelijk aan 0.0074.

Bij pompput PP1 is de C-waarde van het putverlies gelijk aan $3.2 \times 10^{-5} \text{ m}^{-5} \text{ d}^2$. Bij een pompdebiet van $283 \text{ m}^3/\text{d}$ (zoals tijdens het eerste gedeelte van de proef) komt dit overeen met een putverlies van 2.56 m. Bij pompput PP2 is de C-waarde van het putverlies gelijk aan $7.2 \times 10^{-6} \text{ m}^{-5} \text{ d}^2$. Bij een pompdebiet van $269 \text{ m}^3/\text{d}$ (zoals tijdens het tweede gedeelte van de proef) komt dit overeen met een putverlies van 0.52 m.

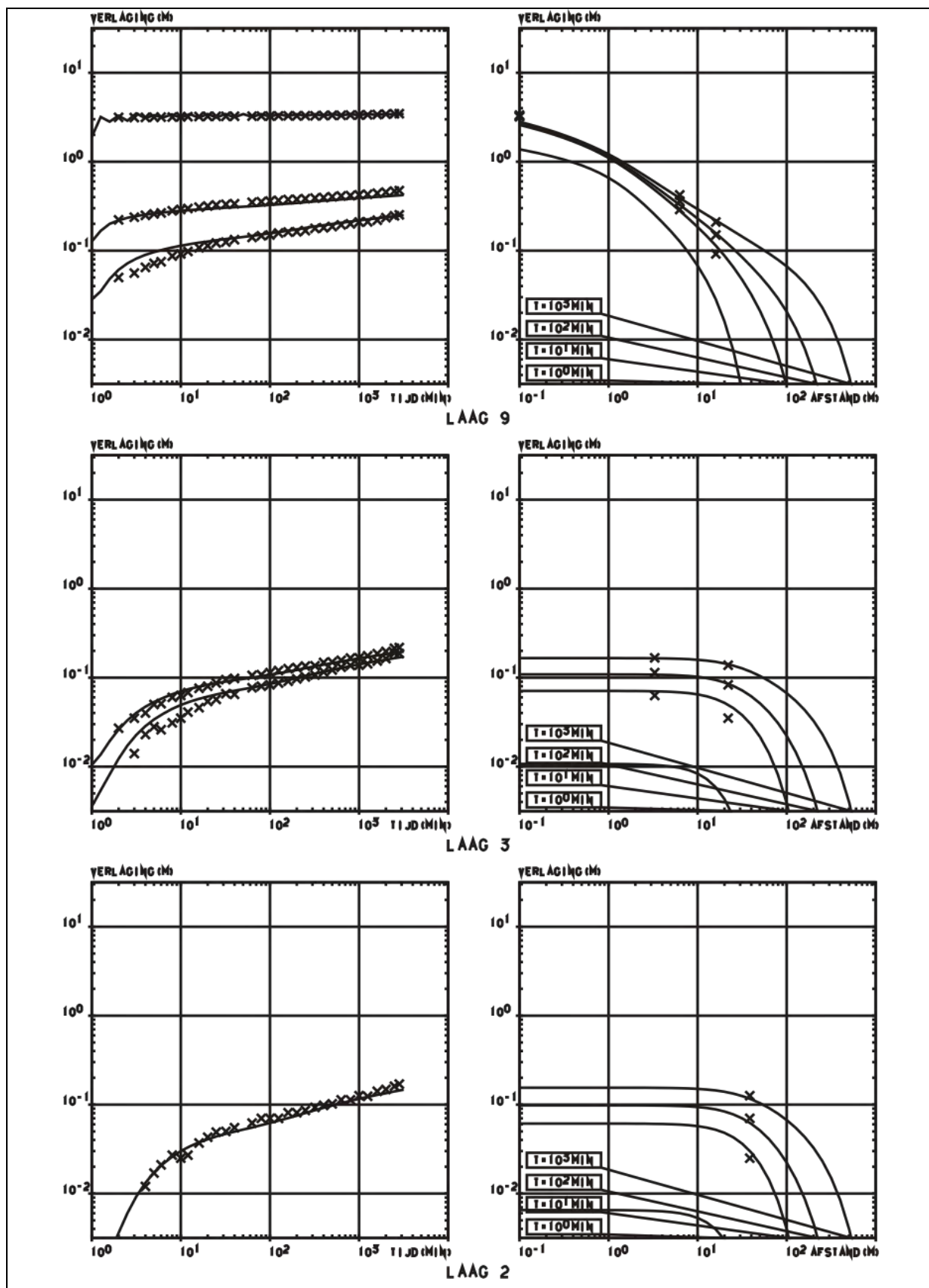
D (14) = 1.5 M	K (14) = 2.53 M/D	S0 = .007	SA (14) = .000257 M-1
D (13) = .8 M	K (13) = 29.47 M/D	C (13) = 6.2 D	SA (13) = .000193 M-1
D (12) = .8 M	K (12) = 29.47 M/D	C (12) = .2 D	SA (12) = .000170 M-1
D (11) = .8 M	K (11) = 29.47 M/D	C (11) = .2 D	SA (11) = .000152 M-1
D (10) = .8 M	K (10) = 29.47 M/D	C (10) = .1 D	SA (10) = .000139 M-1
D (9) = 2.0 M	K (9) = 29.47 M/D	C (9) = .1 D	SA (9) = .000121 M-1
D (8) = 1.5 M	K (8) = 29.47 M/D	C (8) = .2 D	SA (8) = .000104 M-1
D (7) = 1.5 M	K (7) = 29.47 M/D	C (7) = .4 D	SA (7) = .000094 M-1
D (6) = 1.5 M	K (6) = 30.36 M/D	C (6) = .4 D	SA (6) = .000086 M-1
D (5) = 1.5 M	K (5) = 30.36 M/D	C (5) = .4 D	SA (5) = .000079 M-1
D (4) = 1.5 M	K (4) = 30.36 M/D	C (4) = .4 D	SA (4) = .000074 M-1
D (3) = 3.0 M	K (3) = 30.36 M/D	C (3) = .2 D	SA (3) = .000068 M-1
D (2) = 3.0 M	K (2) = 30.36 M/D	C (2) = .4 D	SA (2) = .000061 M-1
D (1) = 3.0 M	K (1) = 30.36 M/D	C (1) = .7 D	SA (1) = .000055 M-1

Figuur 3.4 Schematische weergave van de lagen in het numerieke model samen met de optimale waarden van hydraulische parameters afgeleid bij de interpretatie van pompproef nabij de jachthaven van Blankenberge (D(i), is dikte laag i; K(i), horizontale doorlatendheid van laag i; C(i), hydraulische weerstand tussen laag i en i+1; en SA(i) is specifieke elastische berging van laag i).

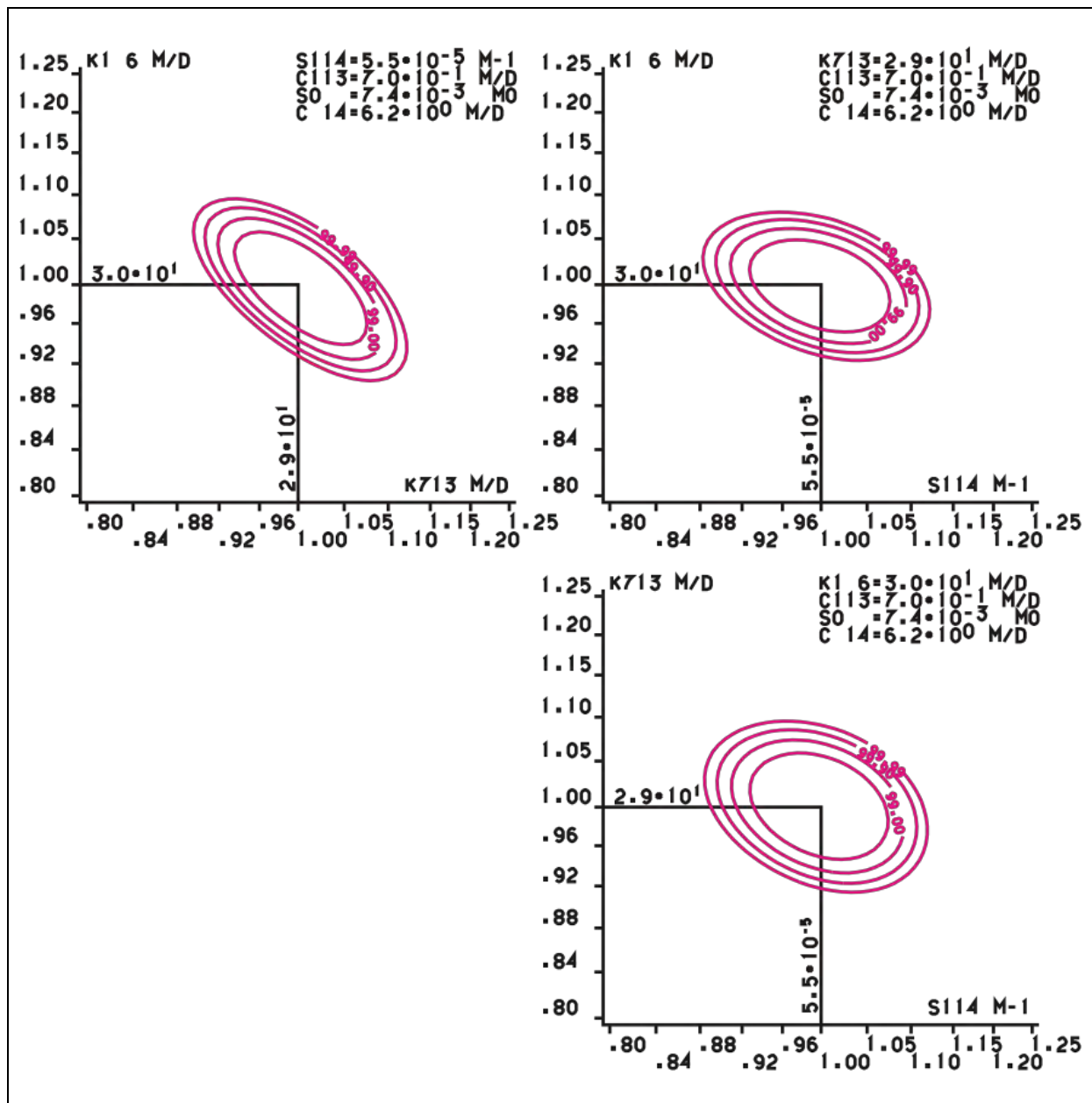
Bij de zes parameters die gezamenlijk afgeleid worden uit de dubbele pompproef hoort een gezamenlijk betrouwbaarheidsgebied in de zesdimensionale parameter ruimte. In de Figuren 3.7, 3.8 en 3.9 worden 15 tweedimensionale doorsneden gegeven doorheen vier zesdimensionale betrouwbaarheidsgebieden met een betrouwbaarheid van respectievelijk 90%, 99%, 99.9% en 99.99 % betrouwbaarheid. Voor het voostellen van deze doorsneden werden 25215 simulaties uitgevoerd voor de twee delen van de dubbele pompproef.



Figuur 3.5 Waargenomen verlagingen (kruisjes) en berekende verlagingen (continue lijnen) overeenkomstig de optimale waarden van de hydraulische parameters worden weergegeven in tijd-verlagings- en afstand-verlagingsgrafieken bij pomping op pompput PP1 ($Q(3) = 283 \text{ m}^3/\text{d}$).

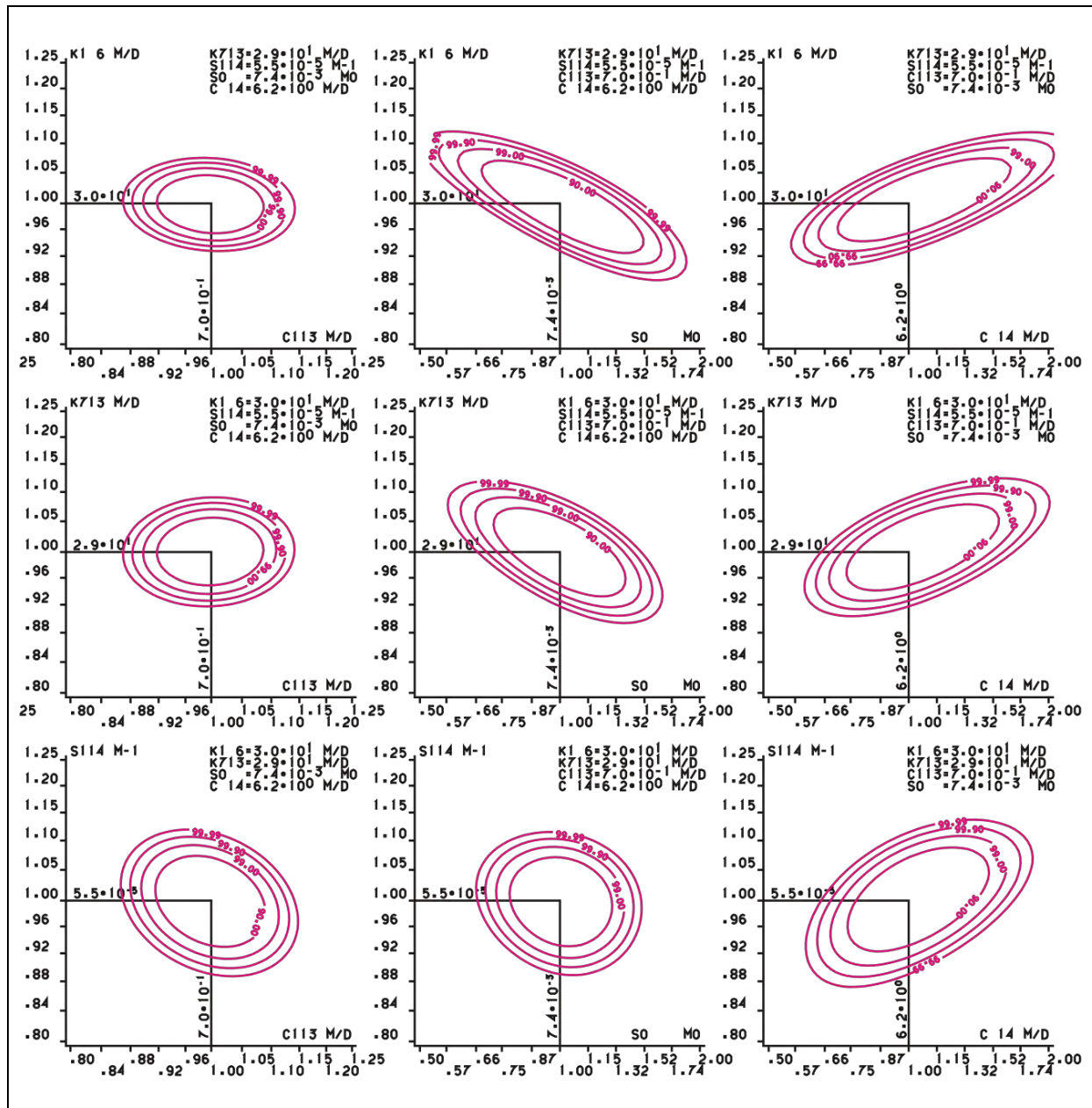


Figuur 3.6 Waargenomen verlagingen (kruisjes) en berekende verlagingen (continue lijnen) overeenkomstig de optimale waarden van de hydraulische parameters worden weergegeven in tijd-verlagings- en afstand-verlagingsgrafieken bij pumping op pompput PP2 ($Q(9) = 269 \text{ m}^3/\text{d}$)

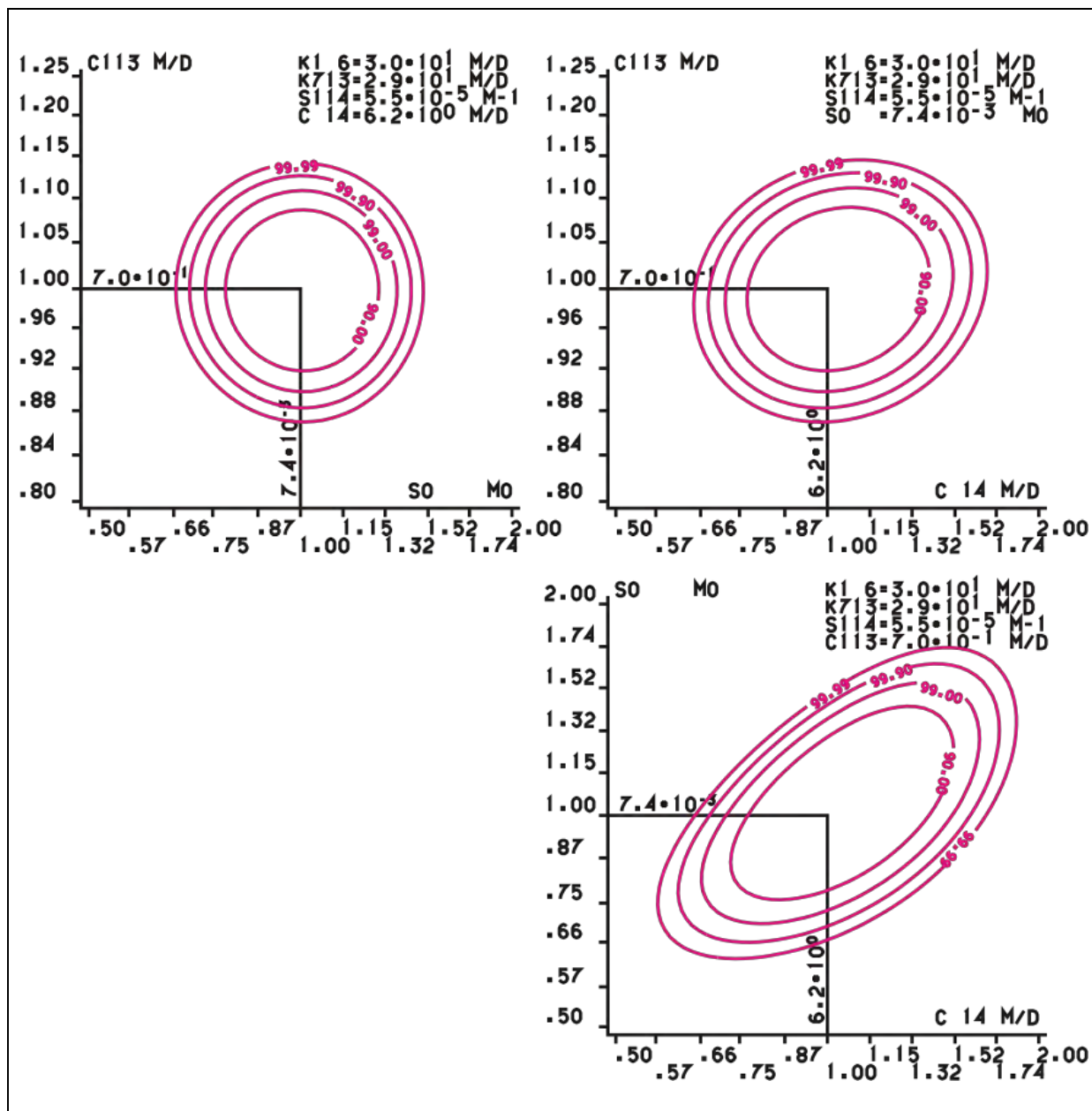


Figuur 3.7 Drie van de 15 tweedimensionale doorsneden gegeven doorheen vier zesdimensionale betrouwbaarheidsgebieden met een betrouwbaarheid van respectievelijk 90%, 99%, 99.9% en 99.99 % betrouwbaarheid.

Bij iedere twee dimensionale doorsnede worden twee parameters gevarieerd. Bij grafiek in de rechterbovenhoek van de figuur zijn dat de parameters Kh (1-6) en Kh (7-8). Op de twee parameterassen wordt de relatieve waarde van deze parameter weergegeven ten opzicht van de optimale waarde. Bij alle grafieken in Figuur 3.7 varieert deze relatieve waarde van 0.8 tot 1.25 (de minimum beschouwde waarde is dus 0.8 keer de optimale waarde en de maximale waarde is dus 1.25 maal de optimale waarde). Bij Kh (1-6) is de optimale waarde 30.4 m/d en wordt er het bereik tussen 24.2 tot 38.23 m/d beschouwd; bij Kh(7-13) ligt het beschouwde bereik tussen $29.5 \cdot 0.8$ en $29.5 \cdot 1.25$ of tussen 23.6 en 36.9 m/d. In de figuren 3.8 en 3.9 worden de overige doorsneden voorgesteld. Let er wel op dat bij sommige parameterassen een groter relatief bereik beschouwd wordt, namelijk tussen 0.5 en 2 maal de optimale waarde.



Figuur 3.8 Volgende negen van de 15 tweedimensionale doorsneden gegeven doorheen vier zesdimensionale betrouwbaarheidsgebieden met een betrouwbaarheid van respectievelijk 90%, 99%, 99.9% en 99.99 % betrouwbaarheid.



Figuur 3.9 Laatste drie van de 15 tweedimensionale doorsneden gegeven doorheen vier zesdimensionale betrouwbaarheidsgebieden met een betrouwbaarheid van respectievelijk 90%, 99%, 99.9% en 99.99 % betrouwbaarheid.

4. Veldwaarnemingen ter bepaling nultoestand

Ter bepaling van de nultoestand van het studiegebied zijn in de loop van deze studie in totaal 3 meetcampagnes (december 2010, maart 2011, mei 2011) uitgevoerd. Dit hield in het uitvoeren van zoetwaterstijghoogtemetingen, elektromagnetische metingen (EM-39) en metingen ter bepaling van het zoutgehalte van het oppervlaktewater. Er werd ervoor gekozen om geen bijkomende peilputten te plaatsen (behalve deze voor de pompproef). Enkel de peilputten geplaatst in het kader van vorige studies werden aangewend. Dit zijn vijf putten geboord in het kader van de studie 'Grondwaterstudie in kader van de uitbreiding van het Zwin' uitgevoerd in 2009 in opdracht van het US-TSC, 4 putten in het kader van de geotechnische studie voor de aanleg van de nieuwe dijk uitgevoerd in 2009 door Geotechniek en 3 putten in het kader van de studie van het Vlaams Natuurreservaat 'De Zwinduinen en -polders' uitgevoerd in 2007 in opdracht van Agentschap voor Natuur en Bos. De locaties van de 12 putten worden weergegeven in figuur 4.1. In tabel 1 van bijlage 3 staan de Lambertcoördinaten van deze peilbuizen alsook de top van de peibuis, de lengte van de filter van de peilput en het peil van het midden van de filter (m TAW).



Figuur 4.1 Locaties van de 12 peilputten.

4.1 Zoetwaterstijghoogtemetingen

Om de horizontale en de verticale grondwaterstroming te begroten in een grondwaterreservoir die gevuld is met waters van verschillende dichtheden (zoet, brak, zout), moet naast het verticale verloop van het zoutgehalte tevens de zoetwaterstijghoogte opgemeten worden. Naast de nivellering van de top van de peilbuizen, en het meten van de diepte van het wateroppervlak moet de gemiddelde dichtheid van de waterkolom in de peilbuis begroot worden. Dit gebeurde door het uitvoeren van elektrische geleidbaarheidsmetingen van water in de peilbuizen. Met deze aanvullende metingen werden de gemiddelde zoetwaterstijghoogtes begroot.

Indien we de verticale grondwaterstroming bekijken bij deze momentopnamen ter hoogte van de putten P1 tot P6 dan wordt in elke put een opwaartse stroming waargenomen. Bij de bepaling of er op- of neerwaartse stromingen optreden moet niet alleen gekeken worden naar de zoetwaterstijghoogten in de peilbuizen zoals weergegeven in tabellen 4.2, 4.3 en 4.4 maar er moet ook rekening gehouden worden met het dichtheid-diepteverloop van het water tussen de niveaus van de filter van de ondiepe en diepe peilbuizen zoals kan worden afgeleid uit de metingen van elektrische geleidbaarheid en EM-39 metingen. Men kan afleiden dat ter hoogte van observatieput P1 er een kolom van 14 m zout water voorkomt tussen het diepte-interval van de filters tussen de ondiepe en diepe peilbuis. Bij observatieputten P2 tot P6 is er een kolom van 20 m zout water aanwezig. Ter hoogte van observatieput P1 zou de zoetwaterstijghoogte in de diepe peilbuis ongeveer 28 cm hoger moeten zijn dan in de ondiepe peilbuis (dichtheid van zoet water is 1000 kg/m^3 en dichtheid zout water is hier gelijk aan 1020 kg/m^3) als er geen op- of neerwaartse stroming op deze plaats is. Uit tabel 4.1 leiden we af dat de zoetwaterstijghoogten in de drie meetcampagnes van de diepe peilbuis P1 28.1 tot 34.6 cm hoger zijn dan deze van de ondiepe peilbuis. Gedurende het tijdsinterval van de meting eerste en tweede meetcampagne heerst dus een kleine opwaartse stroming ter hoogte van P1. Bij de derde meetcampagne is er een verwaarloosbare stroming.

Ter hoogte van de peilputten P2, P4, P5 en P6 zou de zoetwaterstijghoogte in de diepe peilbuis ongeveer 40 cm hoger moeten zijn dan in de ondiepe peilbuis indien er geen op- of neerwaartse stroming is op deze plaats. Met uitzondering van peilbuis P2 wordt in alle drie de meetcampagnes een opwaartse stroming waargenomen in de peilputten. In peilbuis P2 wordt tijdens de derde meetcampagne een neerwaartse stroming vastgesteld.

In tabel 4.5 wordt de gemiddelde zoetwaterstijghoogte van de 3 meetcampagnes weergegeven. Tabel 4.6 geeft de gemeten gemiddelde zoetwaterstijghoogten weer en de gesimuleerde zoetwaterstijghoogten. Figuur 4.1a geeft de vergelijking van gemeten gemiddelde zoetwaterstijghoogte t.o.v. gesimuleerde zoetwaterstijghoogte weer. De putten waarin werd stijghoogten werden opgemeten zijn weergegeven in figuren 4.1b en 4.1c.

Tabel 4.1 Verschil zoetwaterstijghoogten tussen de diepe peilbuis en ondiepe peilbuis (m) voor de drie meetcampagnes en het gemiddelde verschil in peilputten P1, P2, P4, P5 en P6.

	Verschil zoetwaterstijghoogte diepe peilbuis - ondiepe peilbuis (m)			Gemiddelde verschil zoetwaterstijghoogte diepe peilbuis-ondiepe peilbuis (m)
	1 ^{ste} meetcampagne	2 ^{de} meetcampagne	3 ^{de} meetcampagne	
P1	0,346	0,320	0,281	0,316
P2	0,476	0,433	0,375	0,428
P4	0,595	0,591	0,520	0,569
P5	1,010	0,867	0,767	0,881
P6	1,568	1,344	1,244	1,385

Tabel 4.2 Geeft de gemeten peilen en zoetwaterpeilen weer voor de eerste meetcampagne (december 2010), x m TAW = $(x-2.30)$ m NAP en het Cl^- -gehalte in mg/l is bij benadering gelijk aan 0.55 TDS

		1^{ste} meetcampagne december 2010					
		Diepte peil t.o.v. top peilbuis (m)	TDS (mg/l)	dichtheidρ_{obs} (g/cm³)	Gemeten stijghoogte h (m TAW)	Zoetwaterstijghoogte h_f (m TAW)	correctiefactor h_f-h (m)
P1	diep	0,700	7042	1,00561	3,412	3,543	0,131
	ondiep	0,929	3948	1,00313	3,183	3,197	0,014
P2	diep	1,621	7576	1,00604	3,352	3,487	0,135
	ondiep	1,995	11957	1,00955	2,978	3,011	0,033
P4	diep	1,420	10332	1,00824	2,992	3,178	0,186
	ondiep	1,840	12200	1,00973	2,557	2,583	0,026
P5	diep	1,950	8085	1,00645	2,635	2,777	0,142
	ondiep	2,878	15838	1,01263	1,734	1,767	0,033
P6	diep	1,487	7729	1,00616	2,990	3,129	0,139
	ondiep	2,946	10593	1,00845	1,548	1,561	0,013
B6	ondiep						
B19	diep						
B60	ondiep	1,300	14600	1,01165	1,560	1,609	0,049
B67	ondiep	2,501	10300	1,00822	1,579	1,596	0,017
SB1	ondiep	0,780	3792	1,00300	4,283	4,294	0,011
SB2	diep	1,180	5158	1,00410	4,810	4,926	0,116
SB3	diep						

Tabel 4.3 Geeft de gemeten peilen en weer voor de tweede meetcampagne (maart 2011) , x m TAW = (x-2.30) m NAP en het Cl⁻ -gehalte in mg/l is bij benadering gelijk aan 0.55 TDS.

		2^{de} meetcampagne maart 2011					
		Diepte peil t.o.v. top peilbuis (m)	TDS (mg/l)	dichtheid_{obs} (g/cm³)	gemeten stijghoogte h (m TAW)	Zoetwaterstijghoogte h_f (m TAW)	correctiefactor h_f-h (m)
P1	diep	0,967	7258	1,00578	3,145	3,278	0,133
	ondiep	1,168	4033	1,00320	2,944	2,958	0,014
P2	diep	1,860	7484	1,00596	3,113	3,245	0,132
	ondiep	2,196	13193	1,01052	2,777	2,812	0,035
P4	diep	1,750	9875	1,00788	2,662	2,837	0,175
	ondiep	2,170	10067	1,00803	2,227	2,246	0,019
P5	diep	2,107	8190	1,00653	2,478	2,621	0,143
	ondiep	2,885	12908	1,01030	1,727	1,754	0,027
P6	diep	1,602	8054	1,00642	2,875	3,019	0,144
	ondiep	2,834	11127	1,00888	1,660	1,675	0,015
B6	ondiep	1,152	8548	1,00682	3,248	3,295	0,047
B19	diep	1,711	9249	1,00738	2,729	2,764	0,035
B60	ondiep	1,300	14417	1,01150	1,560	1,608	0,048
B67	ondiep	2,388	14533	1,01159	1,692	1,718	0,026
SB1	ondiep	1,433	3513	1,00278	3,629	3,639	0,010
SB2	diep	1,407	4891	1,00389	4,583	4,591	0,008
SB3	diep	1,557	12931	1,01032	3,353	3,613	0,260

Tabel 4.4 Geeft de gemeten peilen en zoetwaterpeilen weer voor de derde meetcampagne (mei 2011), x m TAW = $(x-2.30)$ m NAP en het Cl^- -gehalte in mg/l is bij benadering gelijk aan 0.55 TDS.

		3^{de} meetcampagne mei 2011					
		Diepte peil t.o.v. top peilbuis (m)	TDS (mg/l)	dichtheid_{obs} (g/cm³)	gemetenstijghoogte h (mTAW)	Zoetwaterstijghoogte h_f (mTAW)	correctiefactor h_f-h (m)
P1	diep	1,041	5508	1,00438	3,071	3,172	0,101
	ondiep	1,235	4085	1,00234	2,877	2,891	0,014
P2	diep	1,879	6641	1,00529	3,094	3,211	0,117
	ondiep	2,170	12380	1,00988	2,803	2,836	0,033
P4	diep	1,902	9230	1,00736	2,510	2,673	0,163
	ondiep	2,260	8907	1,00711	2,137	2,153	0,016
P5	diep	2,219	8314	1,00663	2,366	2,510	0,144
	ondiep	2,902	16095	1,01283	1,710	1,743	0,033
P6	diep	1,668	7783	1,00620	2,809	2,948	0,139
	ondiep	2,806	11736	1,00936	1,688	1,704	0,016
B6	ondiep	1,249	7004	1,00558	3,151	3,189	0,038
B19	diep	1,729	7750	1,00662	2,711	2,74	0,029
B60	ondiep	0,989	13234	1,01056	1,871	1,919	0,048
B67	ondiep	2,355	13505	1,01077	1,725	1,749	0,024
SB1	ondiep	1,462	3555	1,00281	3,600	3,610	0,010
SB2	diep	1,594	4594	1,00365	4,396	4,404	0,008
SB3	diep	1,798	12587	1,01004	3,112	3,363	0,251

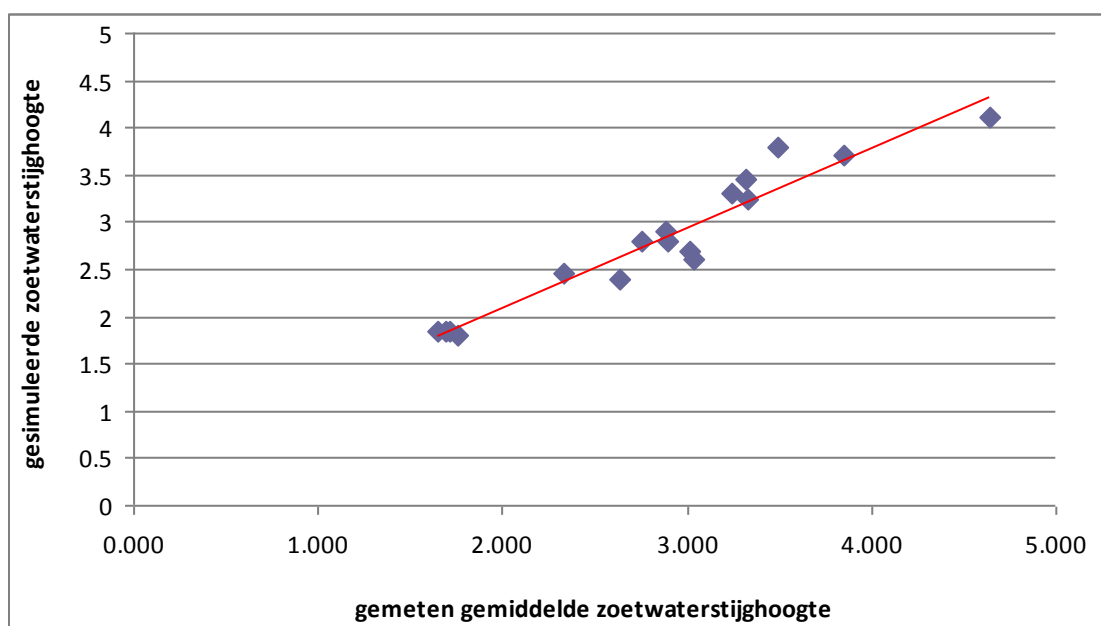
Tabel 4.5 Geeft de zoetwaterstijghoogtes (in m TAW) voor elke meetcampagne en de gemiddelde zoetwaterstijghoogte weer, $x \text{ m TAW} = (x - 2.30) \text{ m NAP}$.

		zoetwaterstijghoogte 1ste meetcampagne	zoetwaterstijghoogte 2de meetcampagne	zoetwaterstijghoogte 3de meetcampagne	gemiddelde zoetwaterstijghoogte alle meetcampagnes
P1	diep	3,543	3,278	3,172	3,331
	ondiep	3,197	2,958	2,891	3,015
P2	diep	3,487	3,245	3,211	3,314
	ondiep	3,011	2,812	2,836	2,886
P4	diep	3,178	2,837	2,673	2,896
	ondiep	2,583	2,246	2,153	2,327
P5	diep	2,777	2,621	2,510	2,636
	ondiep	1,767	1,754	1,743	1,755
P6	diep	3,129	3,019	2,948	3,032
	ondiep	1,561	1,675	1,704	1,647
B6	ondiep		3,295	3,189	3,242
B19	diep		2,764	2,74	2,752
B60	ondiep	1,609	1,608	1,919	1,712
B67	ondiep	1,596	1,718	1,749	1,688
SB1	ondiep	4,294	3,639	3,610	3,848
SB2	diep	4,926	4,591	4,404	4,640
SB3	diep		3,613	3,363	2,488

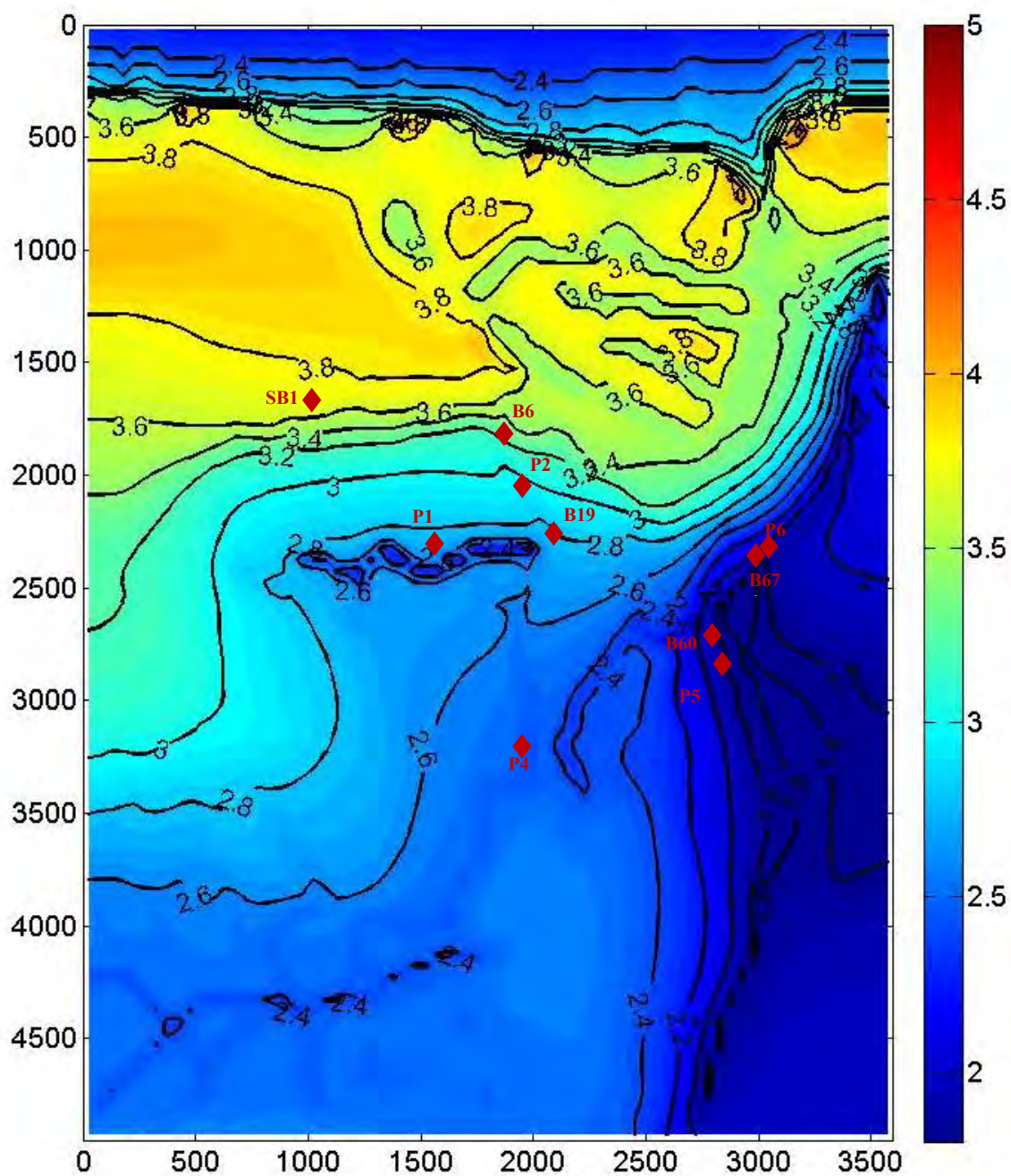
Tabel 4.6 Geeft de gemiddelde gemeten zoetwaterstijghoogtes en de gesimuleerde zoetwaterstijghoogtes (in m TAW, x m TAW = $(x - 2.30)$ m NAP) weer samen met de afwijking.

		gemeten gemiddelde zoetwaterstijghoogte	gesimuleerde zoetwaterstijghoogte	Afwijking (in m)
P1	diep	3,331	3,25	-0,081
	ondiep	3,015	2,72	-0,295
P2	diep	3,314	3,44	0,126
	ondiep	2,886	2,90	0,014
P4	diep	2,896	2,80	-0,096
	ondiep	2,327	2,45	0,123
P5	diep	2,636	2,40	-0,236
	ondiep	1,755	1,80	0,045
P6	diep	3,032	2,60	-0,432
	ondiep	1,647	1,85	0,203
B6	ondiep	3,242	3,30	0,058
B19	diep	2,752	2,80	0,048
B60	ondiep	1,712	1,85	0,138
B67	ondiep	1,688	1,85	0,162
SB1	ondiep	3,848	3,70	-0,148
SB2	diep	4,640	4,10	-0,540
SB3	diep	3,488	3,80	0,315

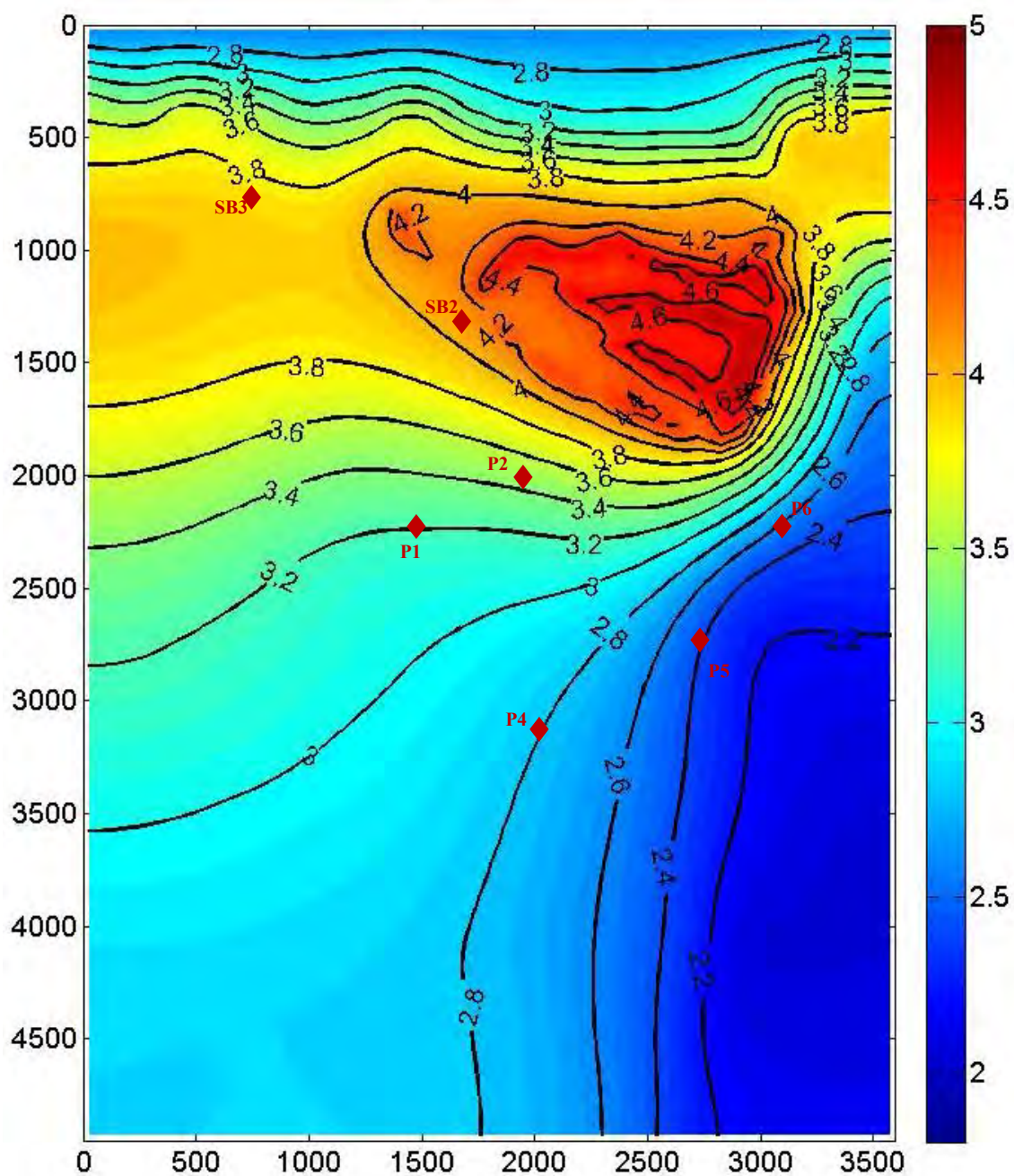
Gemiddelde afwijking is -0.02 m en de standaard deviatie van de afwijking is 0.25



Figuur 4.1a Vergelijking van gemeten gemiddelde zoetwaterstijghoogte t.o.v. gesimuleerde zoetwaterstijghoogte (in m TAW, x m TAW = $(x - 2.30)$ m NAP).



Figuur 4.1b Huidige zoetwaterstijghoogte in freatische laag van modellaag 2 (kleurschaal) op het 0 m TAW (-2.3 m NAP) niveau (x- en y-coördinaten in m) met daarop de locatie van de putten met rode ruit afgebeeld.

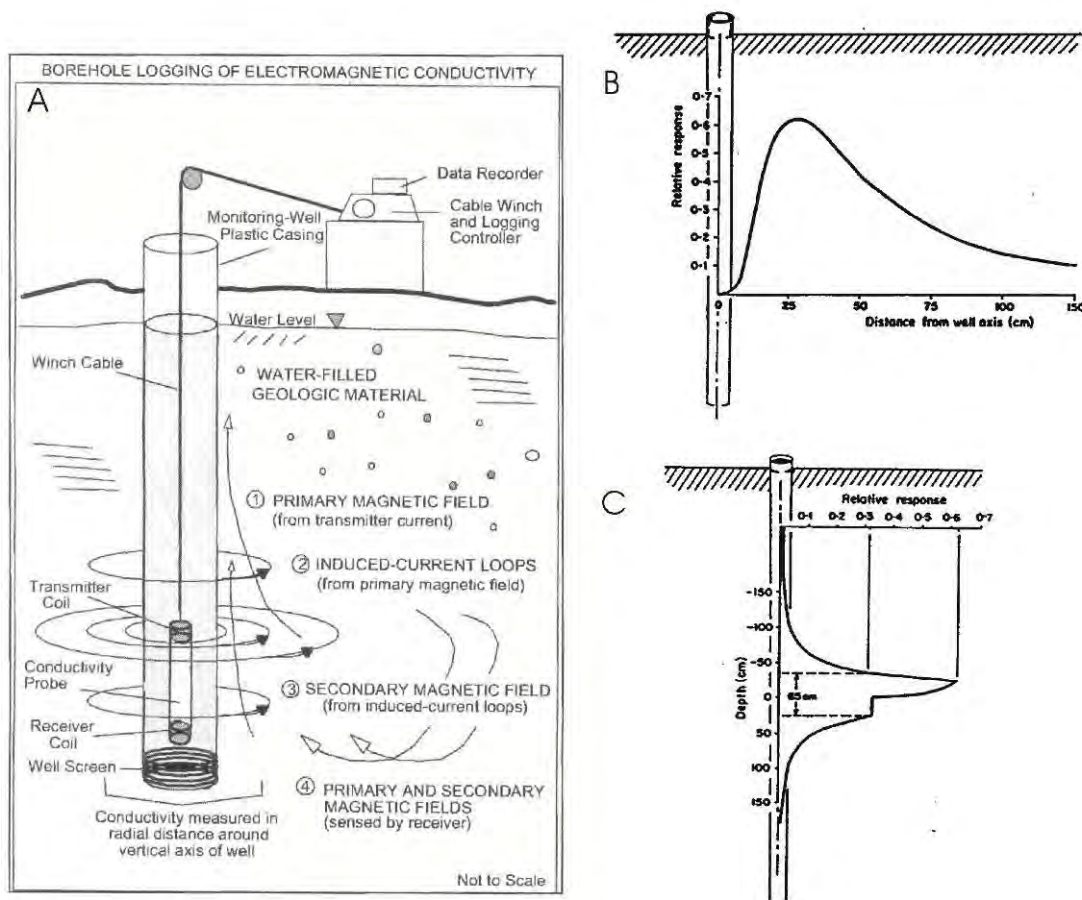


Figuur 4.1c Huidige zoetwaterstijghoogte in freatische laag van modellaag 14 (kleurschaal) op het -17.2 m TAW (-19.5 m NAP) niveau (x- en y-coördinaten in m) met daarop de locatie van de putten met rode ruit afgebeeld.

4.2 Elektromagnetische metingen (EM-39)

4.2.1 Inleiding

De monitoring van de verzilting van het grondwater aan de grenzen van het ontpolderde gebied wordt gedaan via boorgatmetingen, meer bepaald door EM-39 metingen. De EM-39 is een gefocusseerde elektromagnetische inductiemethode ontworpen door Geonics Ltd om de geleidbaarheid van sedimenten en poriënwater rond een observatieput te meten. Men kan er dus lithologische lagen, contaminatiepluimen en zoutwaterlenzen mee identificeren. Deze methode is speciaal ontworpen voor het gebruik in een met niet-geleidend materiaal verbuisd boorgat.



Figuur 4.2 A: Schema illustreert de werking van de EM39 (Risch & Robinson, 2000). B: Relatieve respons in functie van de horizontale afstand tot de as van de put. C: Relatieve respons in functie van de diepte (McNeill, 1986).

De EM39 meet de geleidbaarheid van sedimenten en poriënwater die zich bevinden in een torus rond de observatieput. Deze torus heeft een binnenstraal van ongeveer 15 cm en een buitenstraal van ongeveer 110 cm. Dit betekent dat de geleidbaarheid van alles binnen de 15 cm rond de as van de put (water in put, PVC-buis, omstorting, verstoring sediment rond boorgatwand, ...) niet gemeten wordt. Daardoor kan de meting ook in een verbuisd boorgat worden uitgevoerd. De dikte van de torus bedraagt slechts ongeveer een 30 cm. Daardoor kan er met een grote verticale resolutie gemeten worden. Typisch worden metingen om de 20 cm gedaan. Het resultaat is dan ook dat er een

continue en gedetailleerd beeld ontstaat van de geleidbaarheid van de sedimenten met hun poriënwater over de volledige lengte van het boorgat.

De EM39 meet de geleidbaarheid van de sedimenten én het poriënwater. Zand heeft daarbij een zeer kleine geleidbaarheid, terwijl klei een grotere geleidbaarheid heeft. Zoet water heeft een kleine geleidbaarheid en zout water een grote geleidbaarheid. Wanneer het sediment rond de observatieput hoofdzakelijk uit zand bestaat, kan op die manier de verdeling tussen zoet en zout water worden gemeten. In dit geval kan er zelfs een ruwe inschatting gemaakt worden van het totale zoutgehalte (TDS, mg/l) van het poriënwater (Van Meir & Lebbe, 2002):

$$TDS = 10 F \sigma_b$$

F is hierbij de formatiefactor en σ_b (mS/m) de geleidbaarheid gemeten met de EM39. De formatiefactor is de verhouding van de resistiviteit van het sediment en poriënwater t.o.v de resistiviteit van het poriënwater. Een gemiddelde waarde voor de formatiefactor van de zandige sedimenten aan de Vlaamse kust is 4. De opdeling in kwaliteitsklassen (De Moor & De Breuck, 1969) van het water wordt weergegeven in 4.4. Tussen de TDS en Cl⁻-gehalte is er een ruw verband namelijk, Cl⁻-gehalte = 0.55 TDS

Kwaliteitsklasse (De Moor & De Breuck, 1969)	TDS (mg/l)	Geleidbaarheid σ_b (mS/m)	Geleidbaarheid σ_w (mS/m)
zeer zoet	<200	<5	<20
zoet	200 – 400	5 – 10	20 – 40
matig zoet	400 – 800	10 – 20	40 – 80
zwak zoet	800 – 1600	20 – 40	80 – 160
matig brak	1600 – 3200	40 – 80	160 – 320
brak	3200 – 6400	80 – 160	320 – 640
zeer brak	6400 – 12800	160 – 320	640 – 1280
matig zout	12800 – 25600	320 – 640	1280 – 2560
zout	>25600	>640	>2560

Tabel 4.4 Relatie tussen de geleidbaarheid van het sediment, geleidbaarheid van het water, de TDS en de grondwaterkwaliteit.

4.2.2 EM-39 metingen in de 12 peilputten

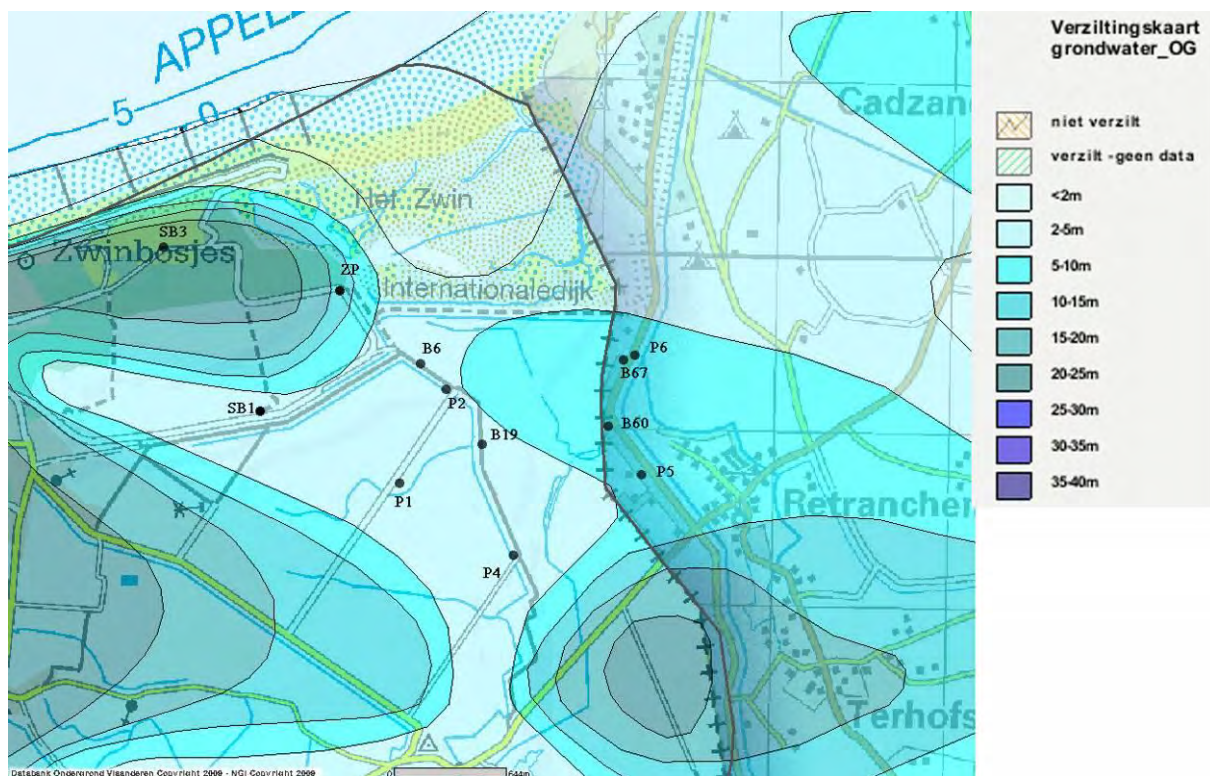
Bij het vergelijken van eenzelfde diepteprofiel tussen de verschillende meetcampagnes kan men besluiten dat de curven van de drie meetcampagnes heel goed overeenkomen. We hebben hier te maken met een stabiele situatie. Dit blijkt ook uit de over het algemeen goede overeenkomst van de metingen met de verziltingskaart van 1974. Deze kaart geeft de diepte weer van de 1500 ppm TDS contour (Total Dissolved Solids of the totaal gehalte aan opgeloste stoffen).

Uit de EM39-boorgatmetingen blijkt dat ter hoogte van modellaag 1 zeer brak water voorkomt bij de peilbuizen in het poldergebied (P2, P4, P6, B6, B19, B60 en B67) en matig brak water bij de peilbuizen P1 en P5. In de duinen en de Kleyne Vlakte wordt uit de waarnemingen afgeleid dat er zwak zoet water aanwezig is (SB1 en SB2). Deze laatste waarnemingen stemmen overeen met de resultaten van het numerieke model. Bij de modelresultaten is het water matig brak ter hoogte van P5 zoals waargenomen. Het gesimuleerde zoutgehalte ter hoogte van P2 was hoger en komt overeen met zeer brak water. Bij al de overige metingen (P2, P4, P6, B6, B19, B60, B67) was het water zeer brak in

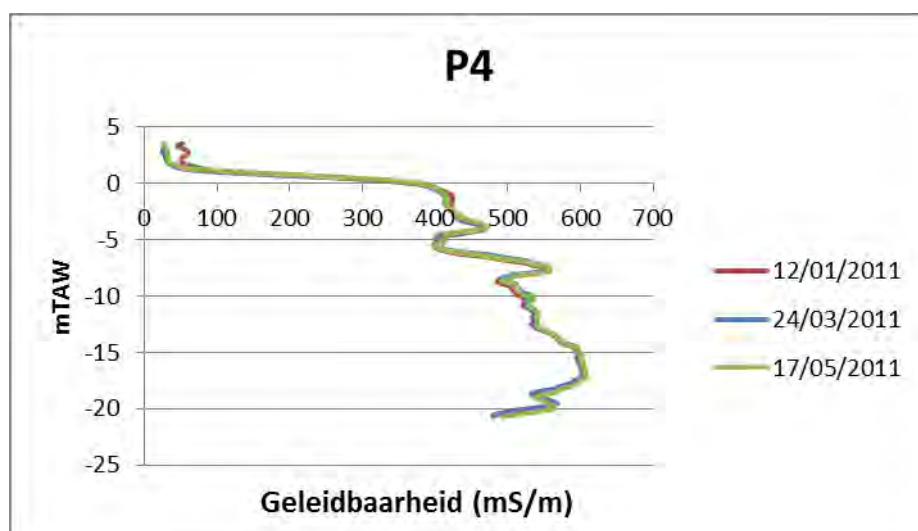
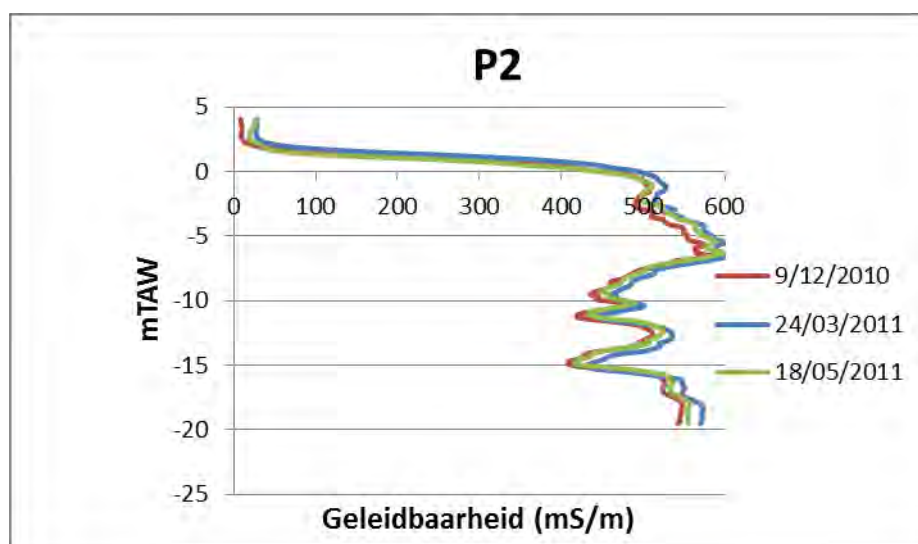
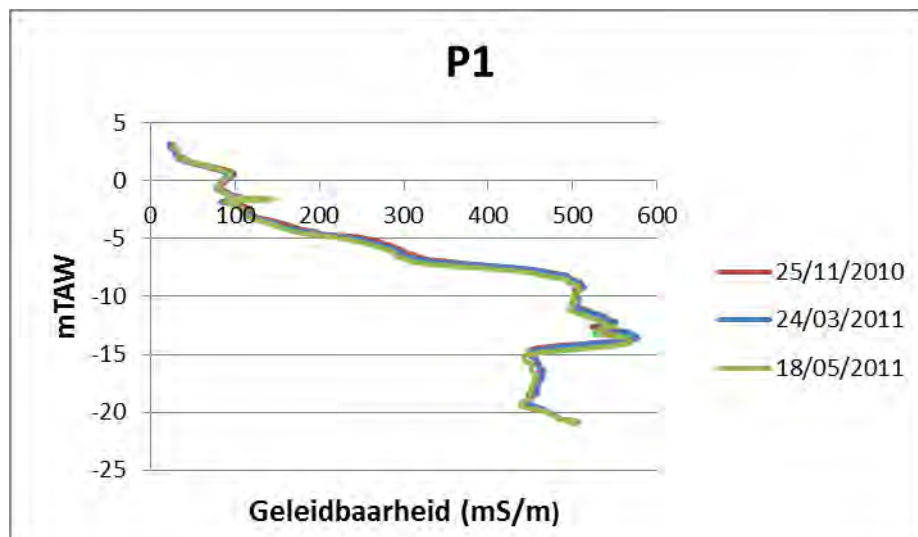
modellaag 1 wat overeenkomt met de waarnemingen. Enkel ter hoogte van P2 was er een afwijking in kwaliteitsklasse; er wordt matig zout water gemodelleerd in plaats van zeer brak water zoals waargenomen.

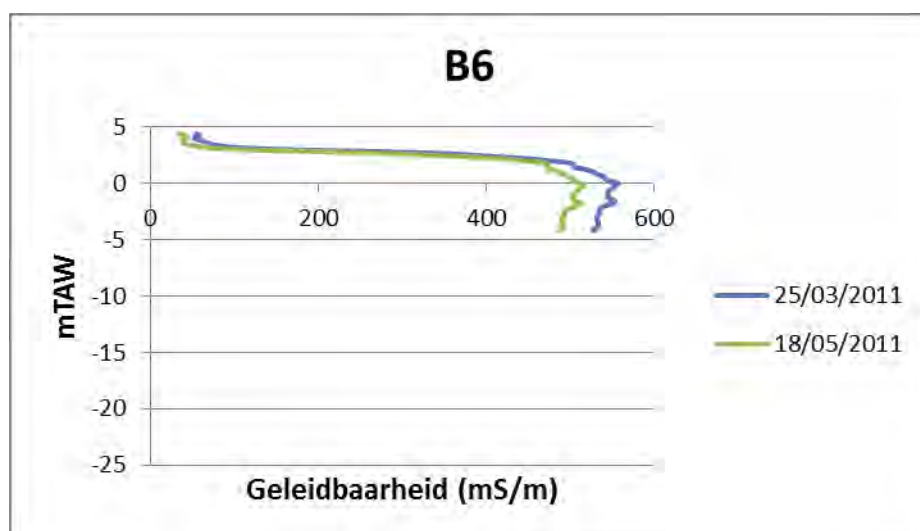
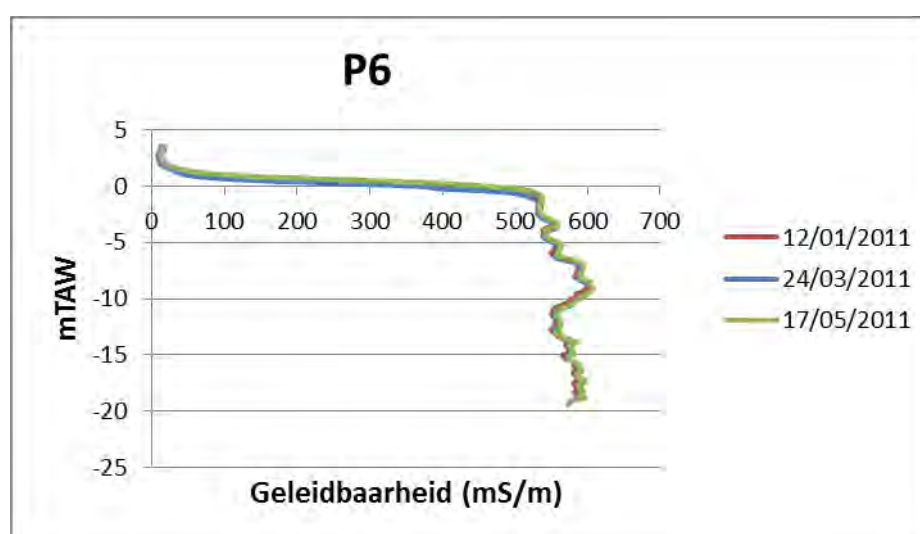
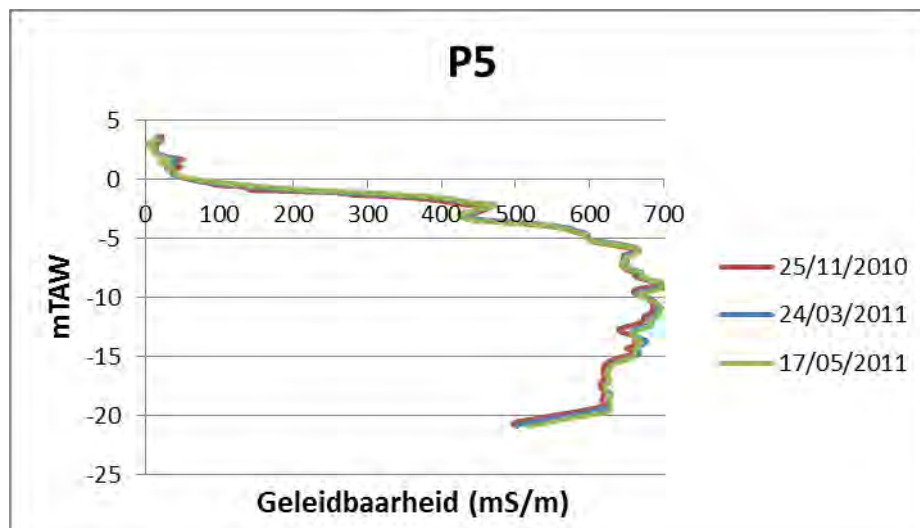
Ter hoogte van P1, P2, P4, B6 en B19 geeft de verziltingskaart aan dat vanaf een diepte van 2 tot 5 meter onder het maaiveld brak water aangetroffen kan worden. De diepteprofielen van P1, P2, P4 geven dit inderdaad weer. In B6 en B19 echter wordt op een minder dan 2 meter diepte onder het maaiveld brak water aangetroffen.

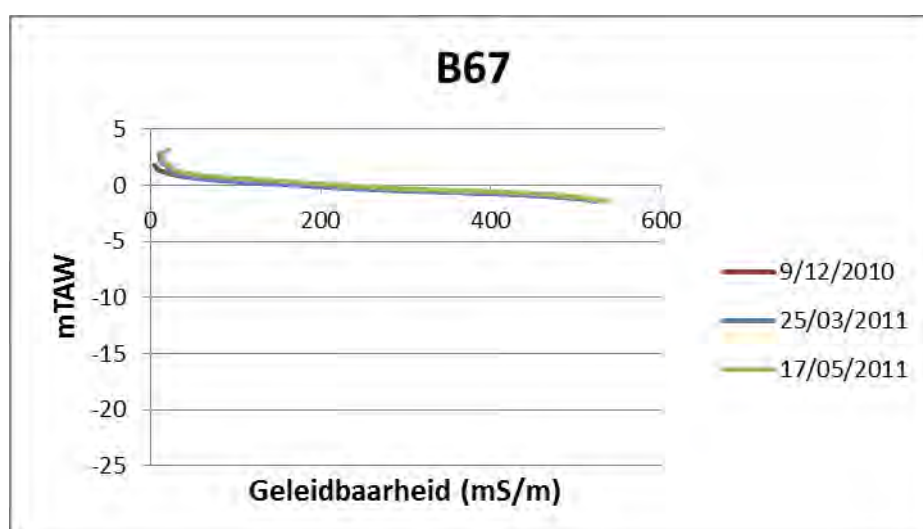
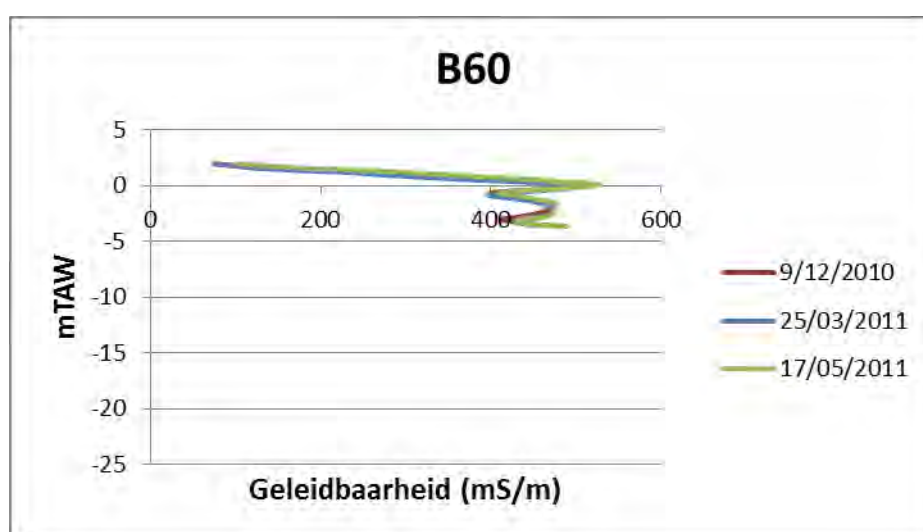
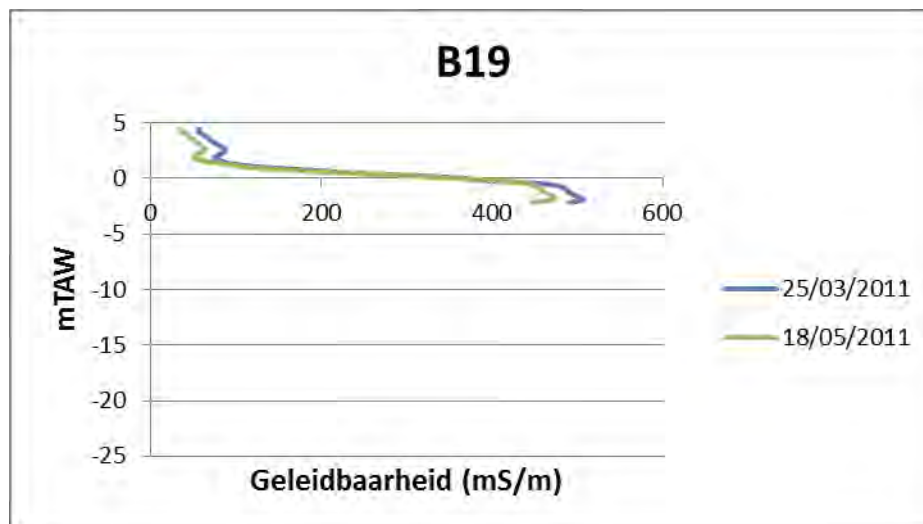
Ter hoogte van de locaties van de putten P5, B60, B67 en P6 zou volgens de verziltingskaart vanaf 5 tot 10 meter diepte onder het maaiveld brak water aangetroffen kunnen worden. De gemeten diepteprofielen van deze putten komen echter niet overeen met de verziltingskaart. In de putten P5, B67 en P6 treft men het brakke water aan op een diepte van 2 tot 5 meter onder het maaiveld. In B60 wordt het brakke water aangetroffen op minder dan 2 meter diepte. Ter hoogte van SB3 wordt zoet water aangetroffen tot op 22,5m diepte in overeenstemming met de verziltingskaart. In SB1 was het niet mogelijk om de grens tussen zoet en zout water op te meten aangezien de peilbuis te ondiep was. Er is wel met zekerheid vastgesteld dat tot op 4,5 meter onder het maaiveld zoet water aanwezig is. De meting van peilbuis ZP komt niet overeen met de verziltingskaart. In ZP ligt de grens tussen zoet en brak water op 4,9 meter onder het maaiveld in tegenstelling tot de verziltingskaart waar de grens tussen 10-15 m is gelegen.

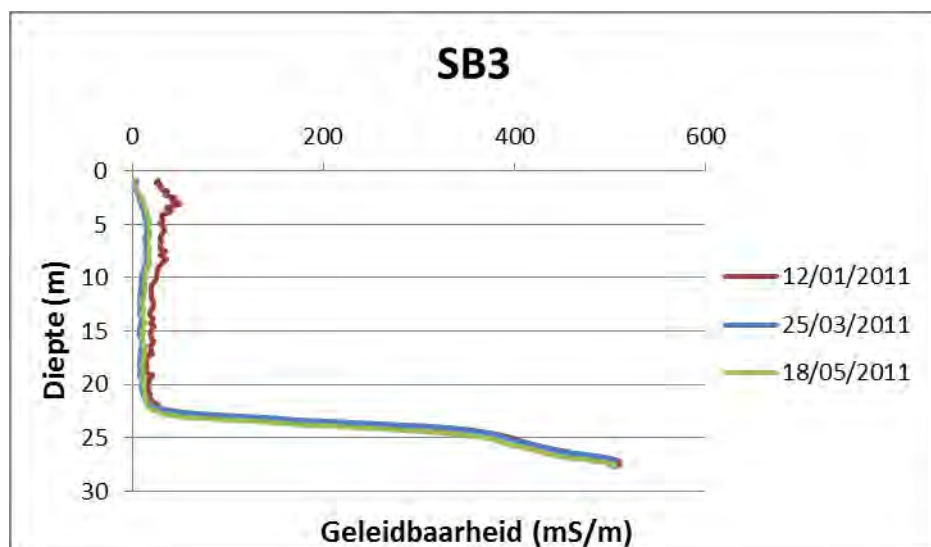
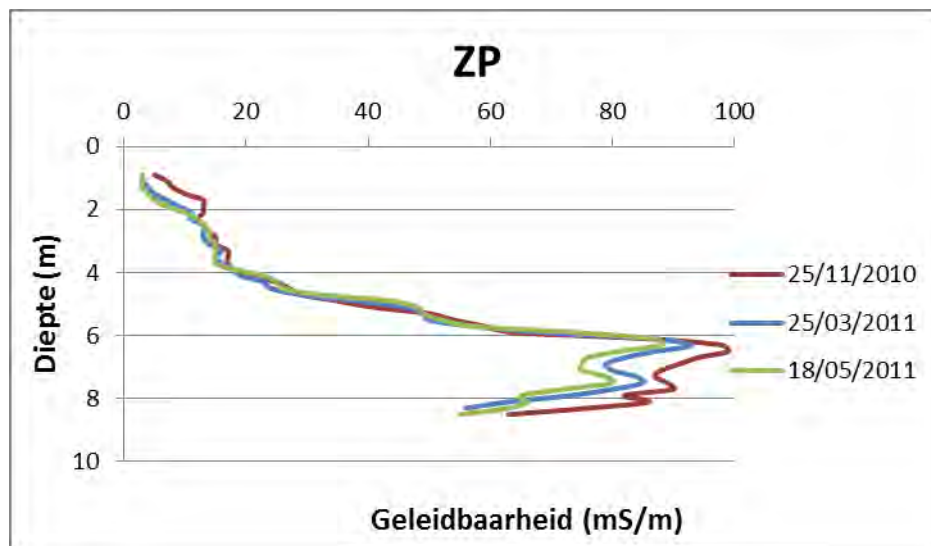
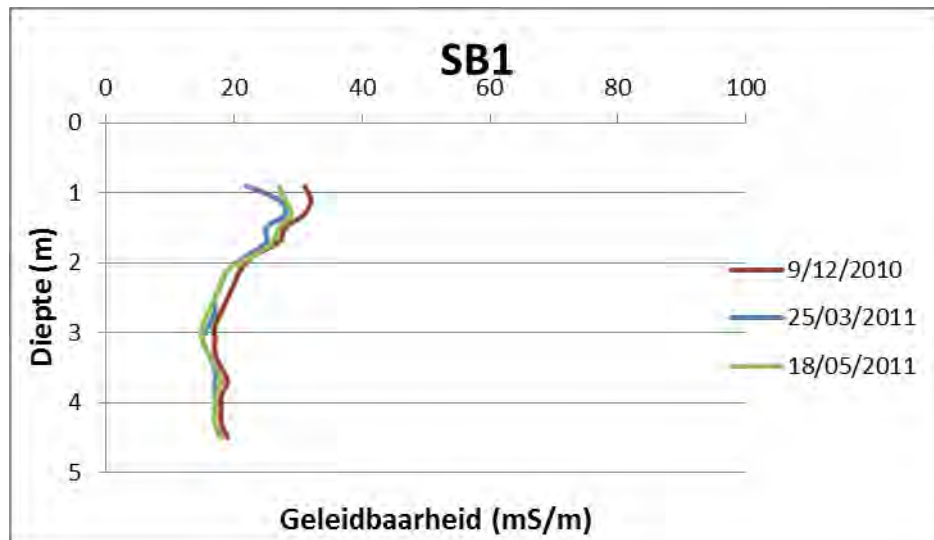


Figuur 4.3 Positie van de peilputten waarin de EM-39 metingen zijn uitgevoerd weergegeven op de verziltingkaart (De Breuck et al. 1974, DOV).









Figuur 4.4 Diepteprofielen van de EM-39 metingen uitgevoerd in de verschillende observatieputten.

4.3 Zoutgehalte van het oppervlaktewater

De kwaliteit van het oppervlaktewater werd driemaal gemeten door het opmeten van de elektrische geleidbaarheid in de drainagegrachten langs de grenzen vande Zwinuitbreiding (figuur 4.5). De geleidbaarheid varieert onder andere in functie van de temperatuur. Hierdoor hebben we de gemeten geleidbaarheden van de drainagegrachten omgerekend naar een referentietemperatuur van 11°C. Deze geleidbaarheid kan worden omgezet in een TDS (Total Dissolved Solids) volgens de relatie (Lebbe & Pede, 1986):

$$\text{TDS (mg/l)} = 10000/\rho_w (\Omega\text{m})$$

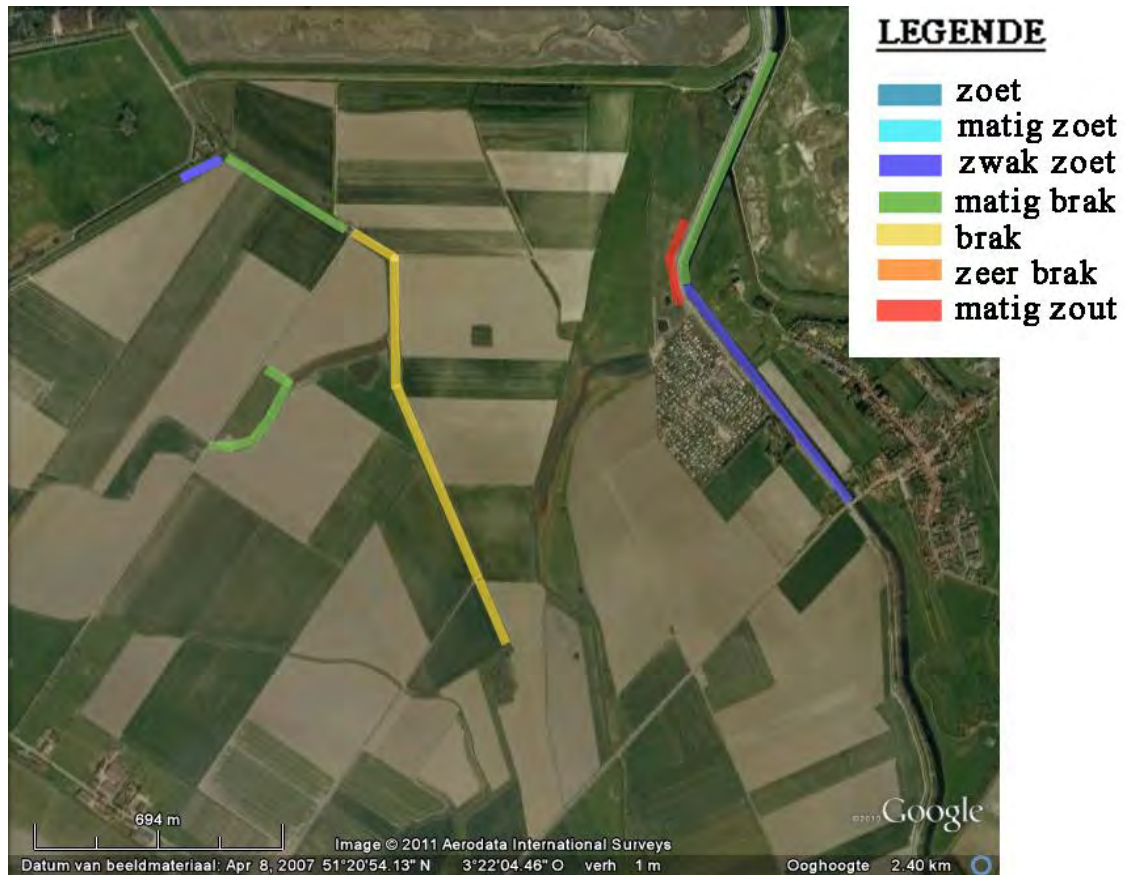
met ρ_w de resistiviteit van het water in Ωm . De resistiviteit is de reciproke waarde van de geleidbaarheid. Hierdoor kunnen we aan de drainagegrachten en aan het water opgemeten in het Zwin ook de kwaliteitsklassen van het water zoals gedefinieerd door De Moor & De Breuck (1969) toekennen (tabel 4.4).

De metingen van december in de drainagegrachten geven langs de Zeedijkader (westelijke grens vande Zwinuitbreiding) van noord naar zuid een overgang weer van zwak zoet tot brak water. In het Uitwateringskanaal van de Wielingen (Nederlandse zijde) is een overgang zichtbaar van zuid naar noord van zwak zoet naar matig brak water. De gracht naar de Nieuwe Watergang Dievangat, gelegen in het centrum vande Zwinuitbreiding werd in december niet opgemeten (waren onbereikbaar).

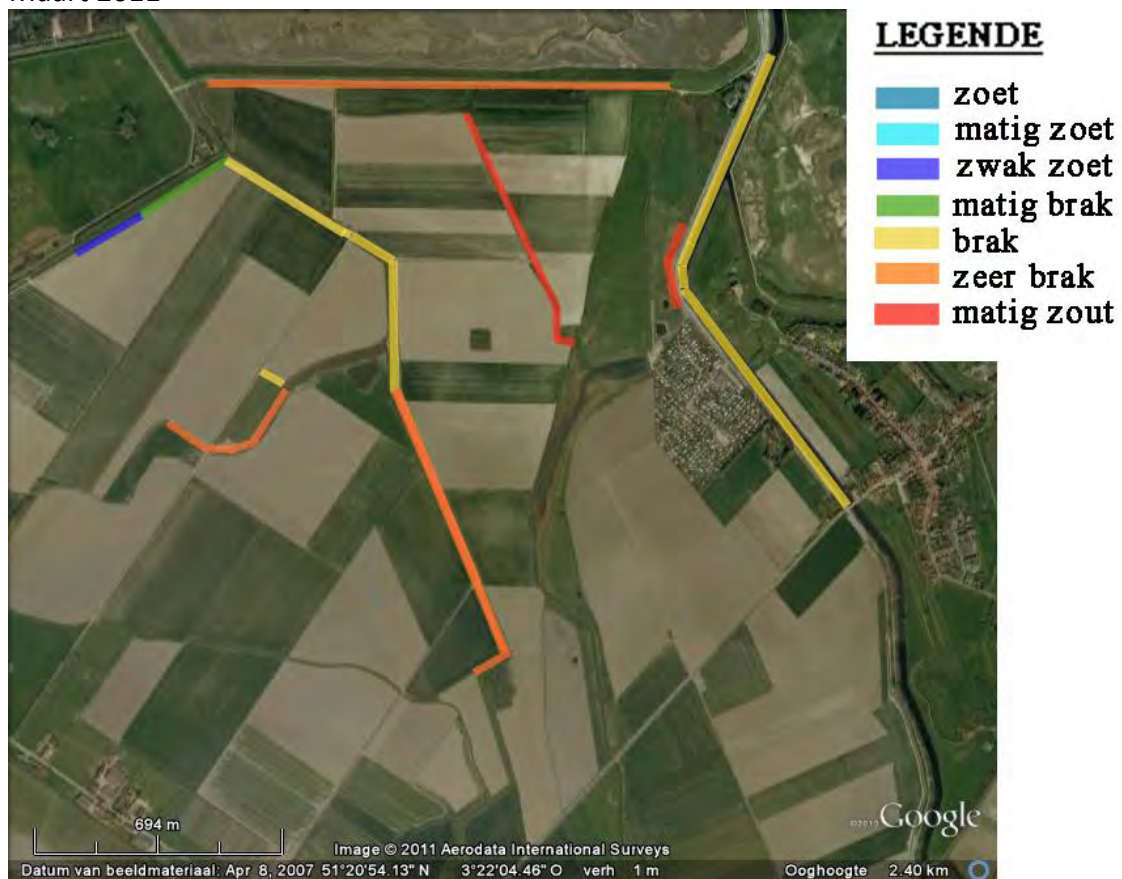
De metingen van de tweede en derde meetcampagne geven een hoger zoutgehalte in de grachten weer in vergelijking met de eerste meetcampagne. In het Uitwateringskanaal van de Wielingen werd in maart en mei brak water opgemeten in plaats van zwak zoet tot matig brak (in vergelijking met opmetingen van december 2010). De gracht naar de Nieuwe Watergang Dievangat is matig zout. De gracht nabij de Internationale Dijk vertoont een hoger zoutgehalte in mei (matig zout) dan in maart (zeer brak). Langs de Zeedijkader werd in maart van noord naar zuid de overgang zwak zoet – matig brak – brak – zeer brak waargenomen. In mei gaat deze overgang van matig brak – brak – matig zout – zeer brak.

De stijging van het zoutgehalte is in grote mate afhankelijk van de hoeveelheid neerslag die valt gedurende de periode vóór de meting. In de maanden maart en vooral mei is er minder neerslag gevallen dan in de periode november december voor de eerste metingen. De fluctuaties van het zoutgehalte in de drainagekanalen kunnen heel sterk variëren. De variatie van het zoutgehalte in een drainagegracht wordt bepaald door het debiet en zoutgehalte van het water dat de gracht ontvangt uit zijn bovenstrooms gedeelte, het zoutgehalte en debiet van het kwelwater rond de gracht en het zoutgehalte en debiet van water dat vanuit de omgeving van de watertafel gedraineerd wordt door de fluctuatie van de watertafel. De variatie in gedraineerde debieten rond de watertafel is zeer sterk afhankelijk van de bodemwaterhuishouding in het poldergebied. Meestal is tijdens de late lente, de zomer en de vroege herfst er geen flux van de onverzadigde zone naar de watertafel terwijl tijdens de late herfst, winter en vroege lente deze flux zeer sterk afhankelijk is van de variatie van de neerslag.

December 2010



Maart 2011



Mei 2011



Figuur 4.5 Kwaliteit van het water in de drainagegrachten opgemeten tijdens de drie meetcampagnes (december 2010, maart 2011, mei 2011).

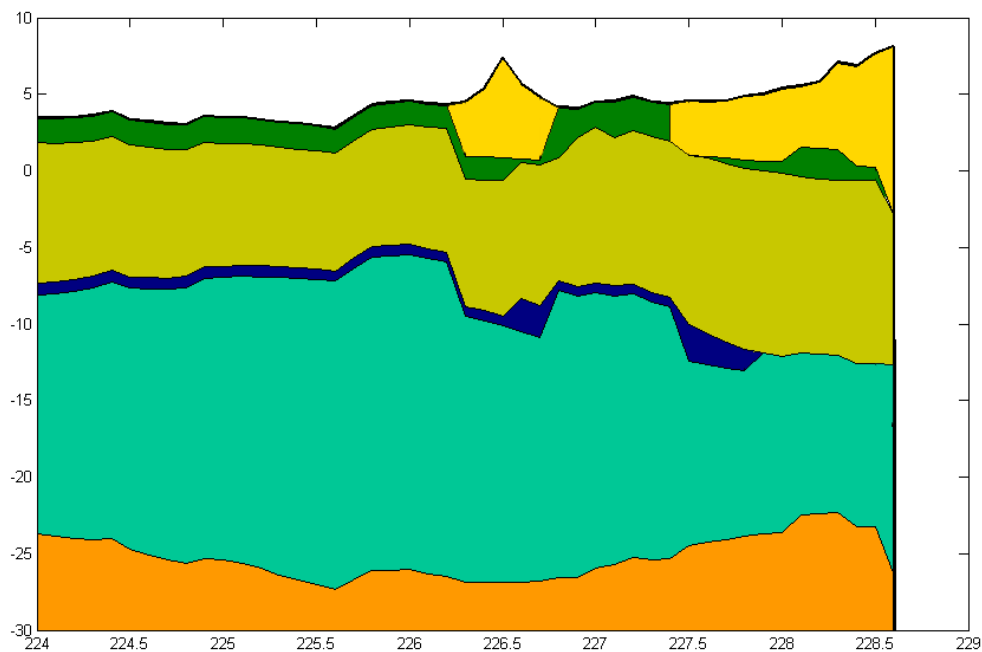
5. Modellerings met het ‘groot model’ met een drempel in het ZWIN op 3.0 m TAW (0.7 m NAP)

5.1 Aangewend model en modelopbouw

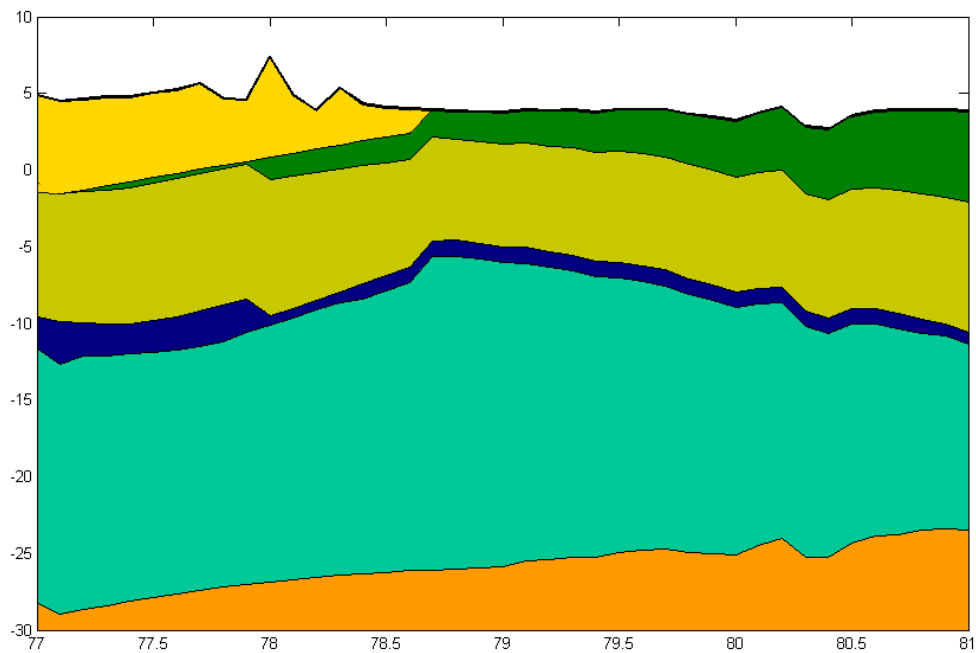
Voor deze simulaties wordt gebruikt gemaakt van MOCDENS3D (Lebbe & Oude Essink, 1999). MOCDENS3D is een dichtheidsafhankelijk eindig-verschil grondwaterstromingsmodel. Het is een aanpassing voor dichtheidsverschillen van het opgeloste stoffen transport model MOC3D (Konikow & Goode, 1996). MOC3D op zijn beurt is een koppeling van de opgeloste stoffen transport vergelijking aan de grondwaterstromingsvergelijking van MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988). Visual MOCDENS3D (Vandenbohede, 2007) wordt hier gebruikt als postprocessor.

Het beschouwde grondwaterreservoir bestaat uit quataire afzettingen en wordt onderaan begrensd door tertiaire afzettingen. De tertiaire afzettingen bestaan hoofdzakelijk uit zeer fijn zand waarin lagen voorkomen van zandhoudende klei. Het Tertiair wordt voor deze studie als ondoorlatend beschouwd en vormen zodoende de basis van het model. De hydrogeologische databank van de afdeling – Operationeel Waterbeheer van de VMM wordt aangewend voor het opstellen van het bestand van het doorlaatvermogen van de verschillende lagen en voor de hydraulische weerstand tussen de verschillende lagen van het numerieke model (Lebbe et al, 2008).

De hydrogeologische basiseenheden die in het beschouwde grondwaterreservoir samenstellen, zijn de kleiige polderafzettingen van de kustvlakte (HCOV 0131), de zandige kreekruigen (HCOV 0134), de veen-kleiige poelgronden (HCOV 0135), de deklagen (HCOV 0150) en het Pleistoceen van de kustvlakte (HCOV 0160). De kleiige polderafzettingen van de kustvlakte (HCOV 0131), de zandige kreekruigen (HCOV 0134), de veen-kleiige poelgronden (HCOV 0135) worden samen beschouwd in de hydrogeologische subeenheid "Polderafzettingen" (HCOV 0130). Binnen deze subeenheid wordt de laterale en verticale variatie van de doorlatendheden met behulp van een profieltypekaart omschreven. In het beschouwde modelgebied komen volgende profieltypes voor: strandafzettingen, duinen gelegen op doorlatende afzettingen, duinen gelegen op minder doorlatende afzettingen, doorlatende afzettingen onder de kreekruigen en minder doorlatende afzettingen onder de poelgrondpolder. In de figuur 5.0a wordt een N-Z-doorsnede doorheen het studiegebied voorgesteld; in figuur 5.0b een W-E-doorsnede en de legende in figuur 5.0c.



Figuur 5.0a N-Z-doorsnede doorheen de freatische watervoerende laag waarbij de ingevoerde HCOV-eenheden weergegeven zijn. De doorsnede valt samen met de X-Lambertcoördinaten = 78 Km. Doorsnede begint in het zuiden bij Y-Lambertcoördinaat 224 Km (Rechts) en loopt naar het noorden 228.7 Km (Links) (zie Legende in figuur 5.0c).



Figuur 5.0b W-O-doorsnede doorheen de freatische watervoerende laag waarbij de ingevoerde HCOV-eenheden weergegeven zijn. De doorsnede valt samen met de Y-Lambertcoördinaten = 226.5 Km. Doorsnede begint in het westen bij X-Lambertcoördinaat 77 Km (Rechts) en loopt naar het oosten bij X-Lambertcoördinaat 81 Km (Links) (zie Legende in figuur 5.0c)



Figuur 5.0c Legende van de HCOV –eenheden die voorgesteld zijn in e twee doorsneden; duinen (HCOV 0120), kleiige polderafzettingen van de kustvlakte (HCOV 0131), zandige kreekruigen (HCOV 0134), deklagen (HCOV 0150), Pleistoceen kustvlakte (HCOV 0160) en Bartoon aquitardsysteem (HCOV 0500).

De horizontale doorlatendheid van de strandafzettingen wordt gelijk gesteld aan 13 m/d over de volledige dikte van deze afzettingen. Ook de duinafzettingen die liggen op doorlatende afzettingen hebben een constante waarde voor de horizontale doorlatendheid over hun volledige dikte (12 m/d). De duinen die gelegen zijn op minder doorlatende afzettingen, hebben bovenaan een doorlatendheid van 12 m/d; onderaan is de horizontale doorlatendheid verminderd tot 0.25 m/d. De horizontale doorlatendheid van de kreekafzettingen varieert tussen 3 m/d en 12 m/d afhankelijk van de afstand van het beschouwde gebied tot de hoogwaterlijn. Tegen de hoogwaterlijn bereiken de kreekafzettingen de maximale waarde van 12 m/d. Er wordt aangenomen dat deze horizontale doorlatendheid afneemt met 0.4 m/d per kilometer afstand tot de hoogwaterlijn. Daar deze afzettingen in het modelgebied tussen -0,6 km en 4.4 km van de hoogwaterlijn gelegen zijn, varieert er de horizontale doorlatendheid tussen 12.0 en 10.24 m/d. De horizontale doorlatendheid van de minder doorlatende afzettingen onder de geulen, de poelgrond- en schorpolders is zowel een functie van de afstand tot de hoogwaterlijn als van de diepte van de verziltingsgrens (Lebbe et al., 2006). De toegekende doorlatendheid van deze minder doorlatende afzetting onder de poelgrondpolders varieert binnen het modelgebied van 0.25 m/d (bovenaan) tot 6 m/d (onderaan). Bij de geulen verandert de horizontale doorlatendheid van 0.3 m/d, bovenaan, naar 0.6 m/d in het onderste gedeelte van de afzetting. Onder de schorpolders varieert de horizontale doorlatendheid tussen 0.12 m/d (bovenaan) en 0.96 m/d (onderaan). De horizontale doorlatendheid van de dunne (maximum 1.5 m dik) en eerder discontinue deklagen (HCOV 0150) is gelijk gesteld aan 2 m/d. De onderste helft van het beschouwde grondwaterreservoir bestaat hoofdzakelijk uit het Pleistoceen van de kustvlakte (HCOV0160) met een horizontale doorlatendheid van 7 m/d. Binnen het beschouwde grondwaterreservoir wordt de verticale doorlatendheid gelijk gesteld aan één vijfentwintigste van de horizontale doorlatendheid. De quartaire afzettingen zijn onderaan begrensd door de minder doorlatende tertiaire afzettingen die behoren tot het Bartoonaquitard systeem (HCOV0500). In het model wordt de top van het Bartoonaquitard systeem beschouwd als de ondoorlatende basis van het gemodelleerde grondwaterreservoir. De ingevoerde doorlatendheden zijn hier identiek genomen als bij de grondwaterstudie in het kader van de uitbreiding van het Zwin (Lebbe et al., 2009). Deze berekeningen werden uitgevoerd vóór de uitvoering en de interpretatie van de dubbele pompproef.

Bij het 3D-model die dichtheidsafhankelijk grondwaterstromingsmodel simuleert, worden 72 kolommen, 99 rijen en 14 lagen beschouwd. De richtingshoek van de rijen vanuit het noorden naar het oosten bedraagt 69°. Alle eindig-verschil cellen hebben dezelfde grootte; hun basisoppervlak is vierkant met een zijde van 50 m en een hoogte van 1.5 m. De locatie van de rijen en de kolommen van het eindig-verschilnetwerk wordt weergegeven in figuur 5.0d. Het De grensvlakken tussen deze lagen zijn horizontaal. De basis van de bovenste laag van het numerieke model is gelegen op 0.8 m TAW (-1.5 m NAP). De dikte van de bovenste laag van het numerieke model varieert (tussen 0.9 en 4.0 m) daar de top van deze laag overeenkomt met de watertafel. Modellagen 2 tot en met 13 hebben éénzelfde dikte, namelijk 1.5 m. De dikte van de onderste laag (Laag 14 van het numerieke model) varieert eveneens (tussen het peil -17.2 m TAW (-19.5 m NAP) en de basis van het beschouwde grondwaterreservoir, d.i. de top van het Bartoonaquitard systeem). Voor het opgeloste stoffen transport wordt een effectieve porositeit van 0.38 gebruikt. De longitudinale, transversale horizontale en transversaal verticale dispersiviteit zijn respectievelijk gelijk aan 0.3, 0.05 en 0.03 m. Ook deze parameters zijn identiek aan deze die aangewend zijn in de vorige studie (Lebbe et al., 2009).



Figuur 5.0d Locatie van de rijen en kolommen van het eindige-verschilnetwerk van het modelgebied gelegen bij het natuurreserveaat het Zwin. De rijen en kolommen hebben éénzelfde breedte van 50m.

5.2 Evolutie naar huidige situatie en na geplande ingreep zonder milderende maatregelen

De grondwaterstroming en de verdeling van zoet en zout water wordt bepaald door de lithologische opbouw van het grondwaterreservoir, de heropvulling van het grondwaterreservoir, de drainage in de polders en de afwezigheid van drainage onder de dijken. De complexe opbouw van de quartaire toplagen zorgt samen met de verschillende drainage van de verschillende geomorfologische gebieden voor het ontstaan van zoetwaterlenzen. De aanvankelijke zoet/zoutwaterverdeling in het grondwaterreservoir werd afgeleid uit de kaart van De Breuck et al. (1975). Deze geeft de diepte aan van het grensvlak tussen zoet en zout water in de freatische laag in het Belgische kustgebied. Na de inpoldering zijn de drainageniveau's op de kreekruggen iets hoger dan in de poelgronden waardoor de diepte van het grensvlak onder de kreekruggen groter is dan onder de poelgronden.

De simulatie van de evolutie van de zoet/zoutwaterverdeling start in het begin van de jaren 1970. Het grondwaterreservoir wordt aangevuld met zoet water dat ontstaat door infiltratie van een gedeelte van het regenwater doorheen de onverzadigde zone. Het grootste gedeelte van dit water dat de freatische laag bereikt, wordt echter na een relatief korte periode uit de freatische laag verwijderd door het drainagesysteem (drainagebuizen en –grachten). Deze drainage wordt in het model ingevoerd via het drn-bestand. De wisselwerking tussen de onbevaarbare waterlopen in de

polders en de beschouwde freatische laag wordt in het model ingevoerd via het riv-bestand. De parameters van de rivieren worden opgesteld rekening houdend met de gegevens in databank van de waterlopen, de topografie en de HCOV-databank. Afhankelijk van de categorie van de waterloop wordt een contactfactor ingeschat. In het Zwin werken de geulen drainerend. Er werd een rivierhoogte van 3.5 m TAW (1.2 m NAP) aangenomen samen met een contactfactor van 1250 m²/d. Het zoutwaterpercentage in deze geulen is geschat op 60%. De rivierbodem is er 0.024 m lager dan de rivierhoogte.

De modelleerperiode is ingedeeld in negen tijdstappen elk met een duur van 10 jaar. Tijdens de eerste vier tijdstappen wordt de zoet/zoutwaterverdeling gesimuleerd vanaf 1970 tot op heden. Hierbij nemen we aan dat onder de duinen en de dijken van Knokke-Heist de bovenste laag aangevuld wordt met zoet water met een snelheid van 0.25 m/j. In de Kleine Vlake en de binnenduinen vanaf het Koningsbos tot de Hazegrashoeve wordt de bovenste laag aangevuld met zoet water met een snelheid gelijk aan 25 % van deze onder de duinen en de dijken. In de polders is de aanvulsnelheid van het zoete water 10% van deze onder de duinen en de dijken.

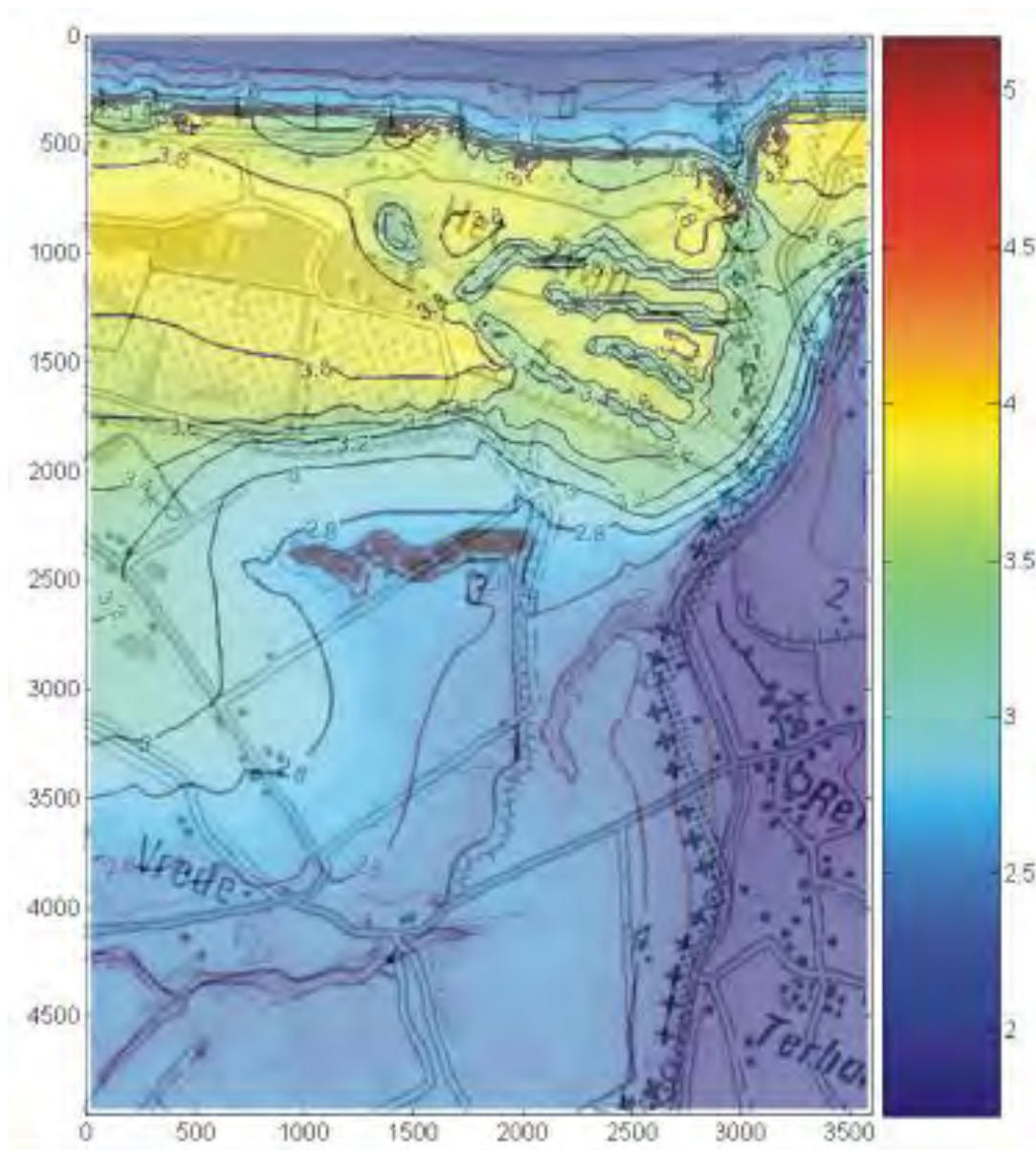
In het huidige natuurreservaat het Zwin is de aanvulsnelheid en het zoutwaterpercentage van het aanvulwater sterk afhankelijk van het niveau van het maaiveld. Steunend op een gemiddelde getijfluctuatie worden vier opeenvolgende niveau-intervallen onderscheiden. De bovengrens van de slikke wordt voor het heden op 4.95 m TAW (2.65 m NAP)gezet, d.i. de hoogte van de zeespiegel bij een normaal springtij. De bovengrens van de schorre komt overeen met een zeespiegelstand bij een zeer hoog springtij en wordt hier op 5.95 m TAW (3.65 m NAP) geplaatst. Indien het maaiveldniveau in het Zwin hoger is dan 5.95 m TAW wordt aangenomen dat de aanvulling analoog gebeurt als in de duinen; er is een aanvulling van zoet water met een snelheid van 0.25 m/j. Als het niveau van het maaiveld in het Zwin tussen 4.95 en 5.95 m TAW ligt dan wordt het grondwaterreservoir aangevuld met brak water (zoutwaterpercentage gelijk aan 12.5% en aanvulsnelheid van 0.28 m/j). Als het maaiveld gelegen is tussen 4.55 en 4.95 m TAW (2.25 en 2.65 m NAP) is er aanvulling met zout water (aanvulsnelheid van 0.4 m/j en een zoutwaterpercentage van 60%). De aanvulsnelheid en het zoutwaterpercentage is het grootst als het maaiveld tussen 0.15 en 4.55 m TAW (-2.15 en 2.25 m NAP) gelegen is (respectievelijk 0.5 m/j en 90%). Bij de volgende simulatiestappen in de toekomst verschuiven deze grenzen naar boven. Per stap van tien jaar vermeerderen deze niveau-intervallen met 6 cm (d.i. overeenkomstig met een ingeschatte zeespiegelstijging van 0.60 m/eeuw). Deze simulatie van de huidige toestand zonder de uitbreiding van het Zwin en met een zeespiegelstijging van 0.6 m/eeuw werd reeds uitgevoerd in de vorige grondwaterstudie (Lebbe *et al*, 2009). De resultaten van deze berekeningen werden nogmaals in dit rapport opgenomen om aldus vergelijking mogelijk te maken met de toestand met uitbreiding.

Tijdens de vijf volgende stappen wordt rekening gehouden met de uitbreiding van het Zwin. Bij de uitbreiding van het Zwin zal de Internationale Dijk volledig afgegraven worden tot op een niveau van 4,5 m TAW (2.2 m NAP) en zal er rekening gehouden worden dat er ter hoogte van de Internationale Dijk en in het verlengde van de bestaande aanvoergeul in het Zwin een aanvoergeul voor zoutwater aangelegd met de bodem op het niveau van 3 m TAW (0.7 m NAP)en met een breedte van 175 m. Dit is verschillend t.o.v. de vorige grondwaterstudie (Lebbe *et al*, 2009) waarbij de Internationale dijk over een breedte van ca 250 m doorbroken wordt tot op een peil van ca 3.5 m TAW (1.2 m NAP). Bij deze nieuwe simulatie ligt de drempel dus 0,5 m lager dan bij de vorige grondwaterstudie en is de dijk afgegraven tot 4.5 m TAW (2.2 m NAP) waardoor er geen zoet water zal infiltreren.

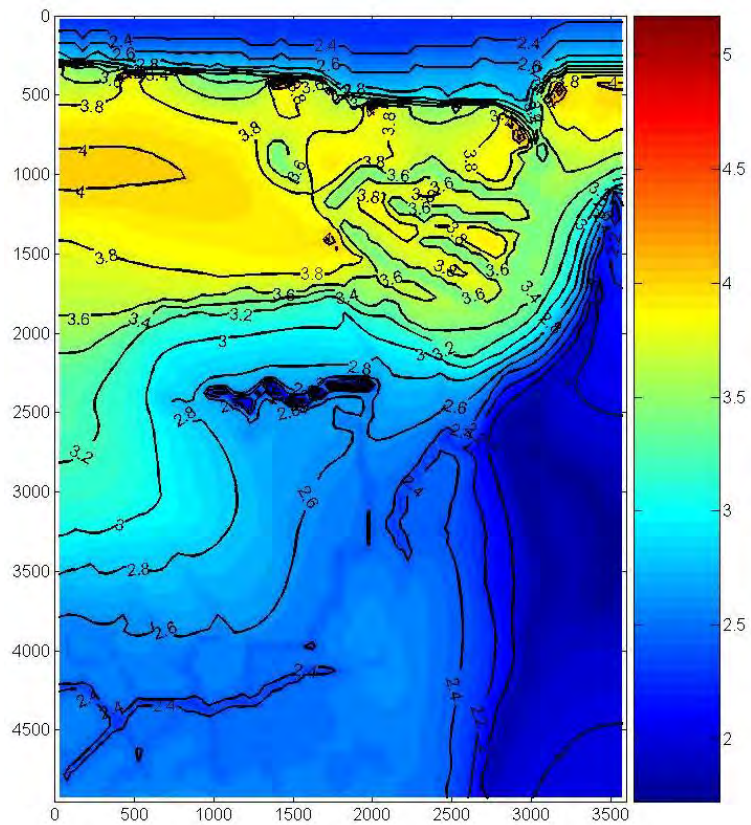
Het effect van de geplande ingreep op de grondwaterstroming en op de evolutie van de zoet/zoutwaterverdeling wordt ingedeeld in vijf stappen zodat we telkens een reeks van opeenvolgende figuren kunnen voorstellen. Na stap 5 wordt de toestand berekend na 10 jaar van de uitvoering van de ingreep en na stap 6, 7, 8 en 9 na respectievelijk 20, 30, 40 en 50 jaar na de uitvoering van de uitbreiding. In dit verslag worden enkel de figuren na 10 en 30 jaar opgenomen. In

de in bijlage toegevoegde powerpoint-presentaties worden alle figuren weergegeven. In de figuren worden de uitgemiddelde zoetwaterstijghoogtes t.o.v. de tijd uitgezet.

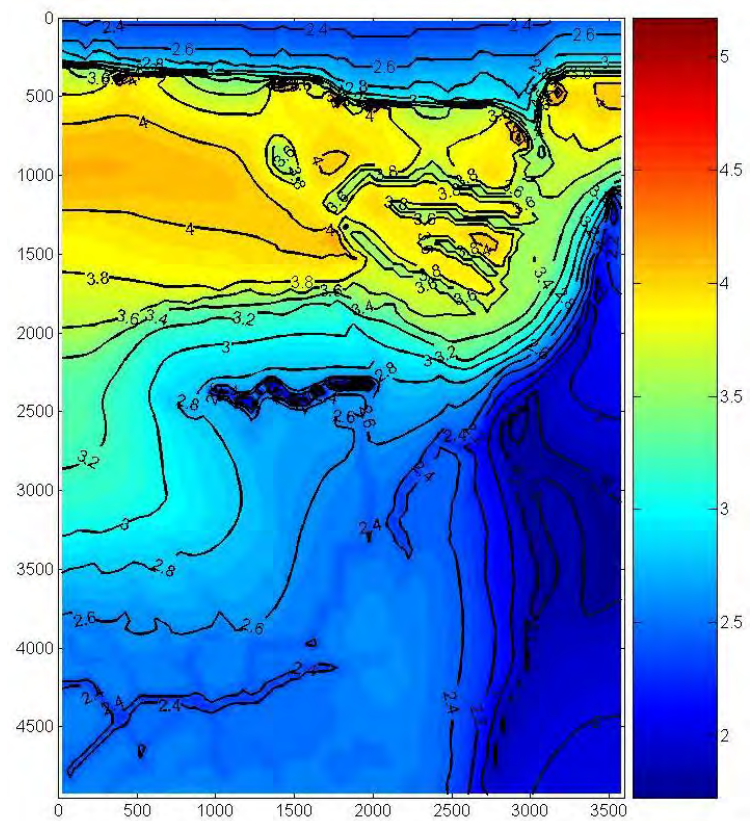
Figuur 5.1 toont de zoetwaterstijghoogten in een horizontale doorsnede volgens modellaag 1 (op het niveau van 1,5 m TAW of -0.8 m NAP) d.m.v. een kleurschaal (waarden in mTAW) en zwarte contourlijnen. Ter hoogte van de hoge duinen, bevindt er zich een waterscheidingskam waar zoet water infiltreert en er een zoetwaterlens in stand houdt. De Nieuwe Hazegraspolder wordt ingesloten in het noorden en in het westen door respectievelijk de Kleine Vlake en de binnenduinen. In het oosten in de richting van het uitwateringskanaal naar de Wielingen nemen de stijghoogtegradiënten toe. De lagere zoetwaterstijghoogtes in het Zwin komen overeen met de ligging van de geulen in het Zwin.



Figuur 5.1 Huidige zoetwaterstijghoogte in freatische laag van modellaag 1 (kleurschaal) op het 1.5m TAW niveau of -0.8 m NAP niveau (x- en y-coördinaten in m).



Figuur 5.2 Zoetwaterstijghoogtes na 10 jaar zeespiegelstijging in freatische laag van modellaag 1 (kleurschaal) op het 1.5m TAW niveau of -0.8 m NAP niveau (x- en y-coördinaten in m)..

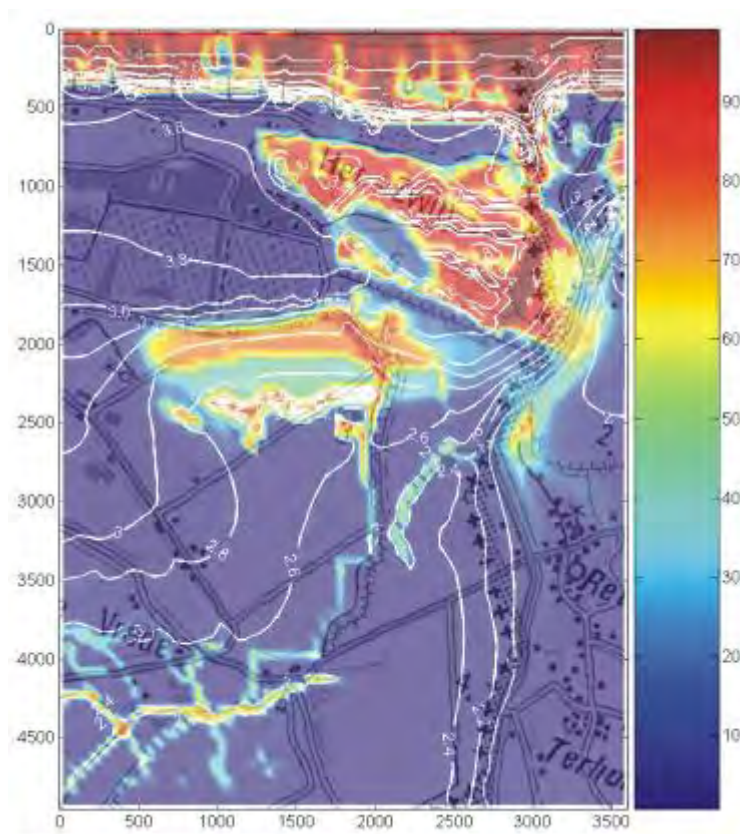


Figuur 5.3 Zoetwaterstijghoogtes na 30 jaar zeespiegelstijging in freatische laag van modellaag 1 (kleurschaal) op het 1.5m TAW niveau of -0.8 m NAP niveau (x- en y-coördinaten in m).

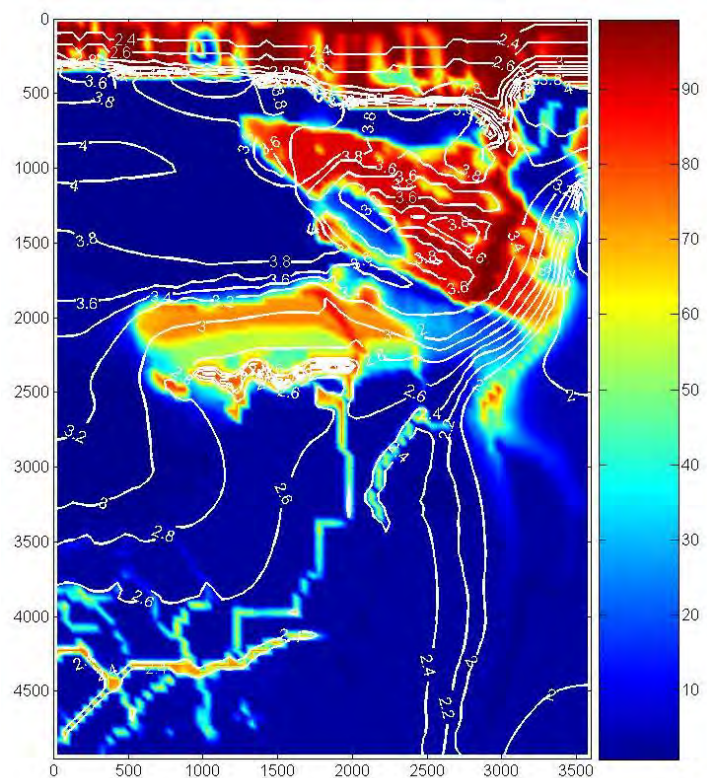
Figuur 5.2 en 5.3 geven de zoetwaterstijghoogten na respectievelijk 10 en 30 jaar weer in een horizontale doorsnede doorheen de freatische laag volgens modellaag 1 (1,5 m TAW of -0.8 m NAP) d.m.v. een kleurschaal (waarden in mTAW) en contourlijnen. De impact van de zeespiegelstijging, die 6 cm per 10 jaar toeneemt, op de zoetwaterstijghoogtes is vooral waarneembaar in de hoge duinen en in het Zwin-gebied zelf.

Figuur 5.4 toont een horizontale doorsnede volgens laag 1 (1.5 m TAW of -0.8 m NAP) doorheen het modelgebied waarop de huidige zoutwaterpercentages van het grondwater met een kleurschaal worden afgebeeld. Daarop worden de zoetwaterstijghoogtes weergegeven door middel van witte contourlijnen. Onder het strand en het Zwin komt zout grondwater voor tot aan het oppervlak ten gevolge van dagelijkse overstromingen door de getijdencyclus. Ter hoogte van het strand stroomt het zoetwater vanuit de duinen onder het geïnfiltereerde zout water en vervolgens opwaarts naar de zee zodat onder het strand een zoutwaterlens voorkomt. In het oosten in de richting van het uitwateringskanaal naar de Wielingen nemen de stijghoogtegradiënten toe. Ten zuiden van de Internationale dijk en in het noorden van de Nieuwe Hazegraspolder is er zout water aanwezig.

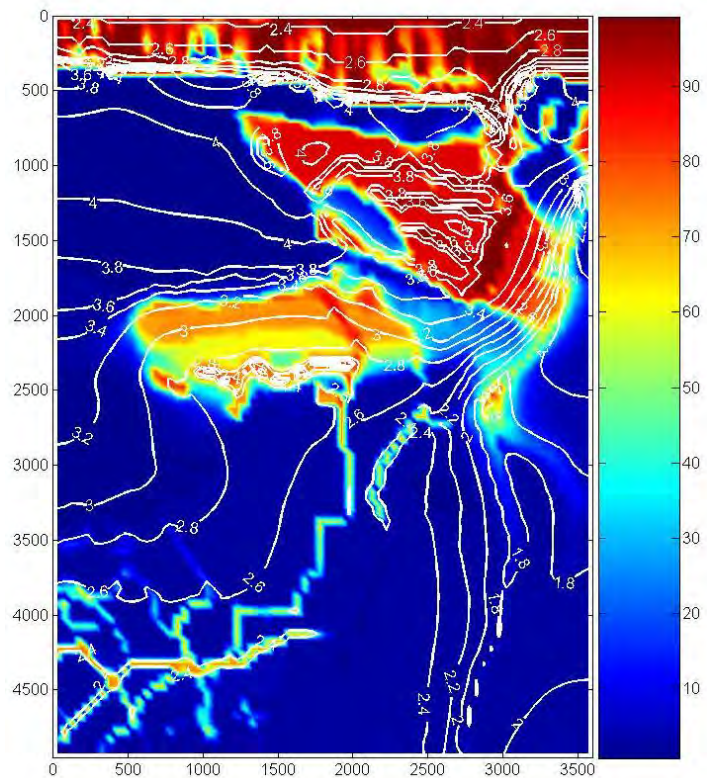
Figuren 5.5 en 5.6 geven in een horizontale doorsnede volgens laag 1 (1.5 m TAW of -0.8 m NAP) de zoutwaterpercentages na respectievelijk 10 en 30 jaar weer. Na 10 jaar en zeker na 30 jaar kan waargenomen worden dat de verzilting van het Zwin toeneemt. Dit geldt ook voor het noorden van de Nieuwe Hazegraspolder.



Figuur 5.4 Horizontale doorsnede volgens laag 1 (1.5 m TAW of -0.8 m NAP) van het modelgebied. Kleurschaal geeft het huidige zoutwaterpercentages weer (blauw 0% = zoet water, rood 100% = zout water). Witte lijnen stellen de zoetwaterstijghoogtes voor.



Figuur 5.5 Horizontale doorsnede volgens laag 1 (1.5 m TAW of -0.8 m NAP) van het modelgebied na 10 jaar zeespiegelstijging. Kleurenschaal geeft het zoutwaterpercentages weer (blauw 0% = zoet water, rood 100% = zout water). Witte lijnen stellen de zoetwaterstijghoogtes voor.

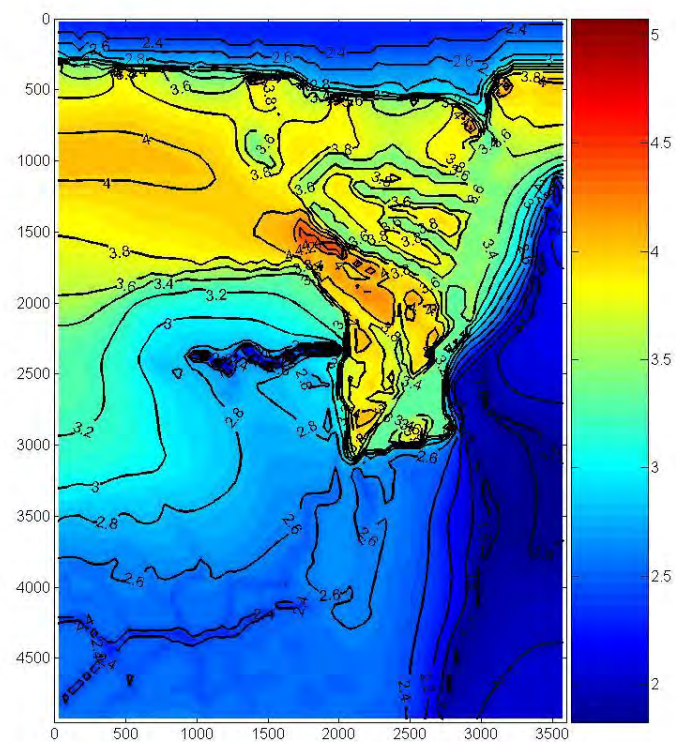


Figuur 5.6 Horizontale doorsnede volgens laag 1 (1.5 m TAW of -0.8 m NAP) van het modelgebied na 30 jaar zeespiegelstijging. Kleurenschaal geeft het zoutwaterpercentages weer (blauw 0% = zoet water, rood 100% = zout water). Witte lijnen stellen de zoetwaterstijghoogtes voor.

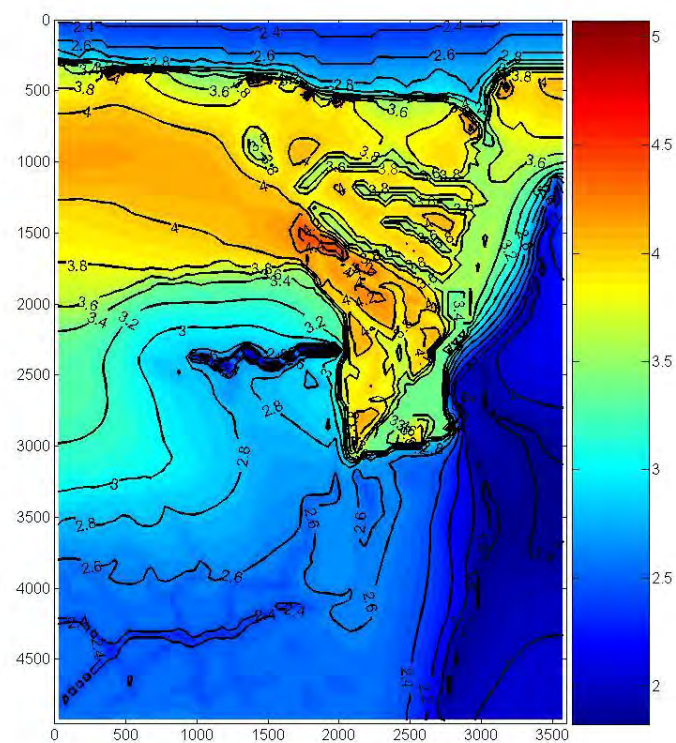
Figuren 5.7 en 5.8 geven de zoetwaterstijghoogtes na respectievelijk 10 en 30 jaar na de uitbreiding met 120 ha in de freatische laag van modellaag 1 weer. Na 10 jaar uitbreiding met 120 ha is in het volledige gebied de zoetwaterstijghoogte gestegen. Ter hoogte van de dijk die het uitbreidingsgebied omringd zijn er grote stijghoogtegradiënten aanwezig.

Figuren 5.9 en 5.10 geven in een horizontale doorsnede volgens laag 1 (*1.5 m TAW of -0.8 m NAP*) de zoutwaterpercentages na respectievelijk 10 en 30 jaar weer voor de uitbreiding met 120 ha. Het volledig afgraven van de Internationale Dijk tot op het niveau van 4.5 m TAW (2.2 m NAP) zal als gevolg hebben dat de aanwezige zoetwaterlens zal verdwijnen bij de ontpoldering. De verlaging van de drempel van de aanvoergeul tot 3 m TAW of 0.7 m NAP (in vorige grondwaterstudie in het kader van de uitbreiding van het Zwin (Lebbe *et al*, 2009) werd de drempel op 3,5 m TAW (1.2 m NAP) beschouwd) heeft vooral gevolgen voor de zoetwaterstijghoogte rond de zuidelijke en de oostelijke grens meer in het bijzonder op het lager gelegen gedeelte van het onderpolderde gebied. De gemiddelde zoetwaterstijghoogte zal er iets minder dan een 0.5 m lager zijn dan in de vorige grondwaterstudie. Dit zal dan ook de infiltratie van zoutwater in het uitgebreide Zwingebied verminderen t.o.v. de vorige studie en bijgevolg ook de hoeveelheid zout water dat vanonder de dijk omheen het gebied naar de omringende polders zal stromen. Aan de westelijke grens is de verlaging van de zoetwaterstijghoogte t.g.v. van een lagere drempel minimaal daarde Zwinuitbreiding er hoger gelegen is dan aan de oostelijke grens.

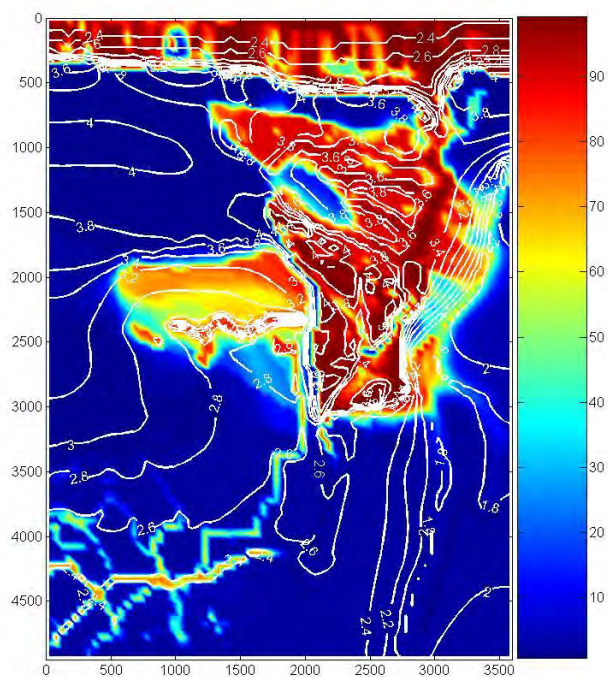
Uit de verticale doorsneden (Figuren 5.11) blijkt duidelijk dat de zoetwaterstijghoogte ongeveer 0.6 m zal stijgen in het onderste gedeelte van de freatische laag ten gevolge van de uitbreiding van het Zwin. Met een toenemende afstand tot het uitgebreide Zwin vermindert deze toename van de zoetwaterstijghoogte in het onderste gedeelte freatische aquifer in de omringende polders. Door de bestaande drainage in het poldergebied zal de toename van de zoetwaterstijghoogte in het bovenste gedeelte van de freatische aquifer er geringer zijn dan in het onderste gedeelte van de aquifer. Hierdoor ontstaat in het omringende poldergebied een opwaartse stroming. Daar in dit gebied zout grondwater voorkomt onder de zoetwaterlenzen met variërende dikte zal door deze opwaartse grondwaterstroming het gebied met zoute kwel uitbreiden (zie figuren 5.9 en 5.10 en figuur 5.11). Hierdoor zal in het omringende poldergebied het zoutgehalte van het water in de omgeving van de watertafel stijgen.



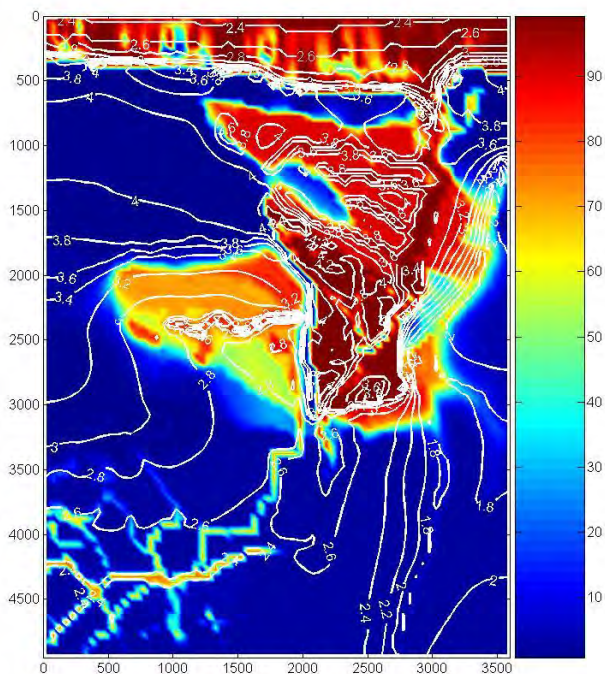
Figuur 5.7 Zoetwaterstijghoogtes na 10 jaar na de uitbreiding in de freatische laag van modellaag 1 (kleurschaal) op het 1.5m TAW niveau of -0.8 m NAP niveau (x- en y-coördinaten in m).



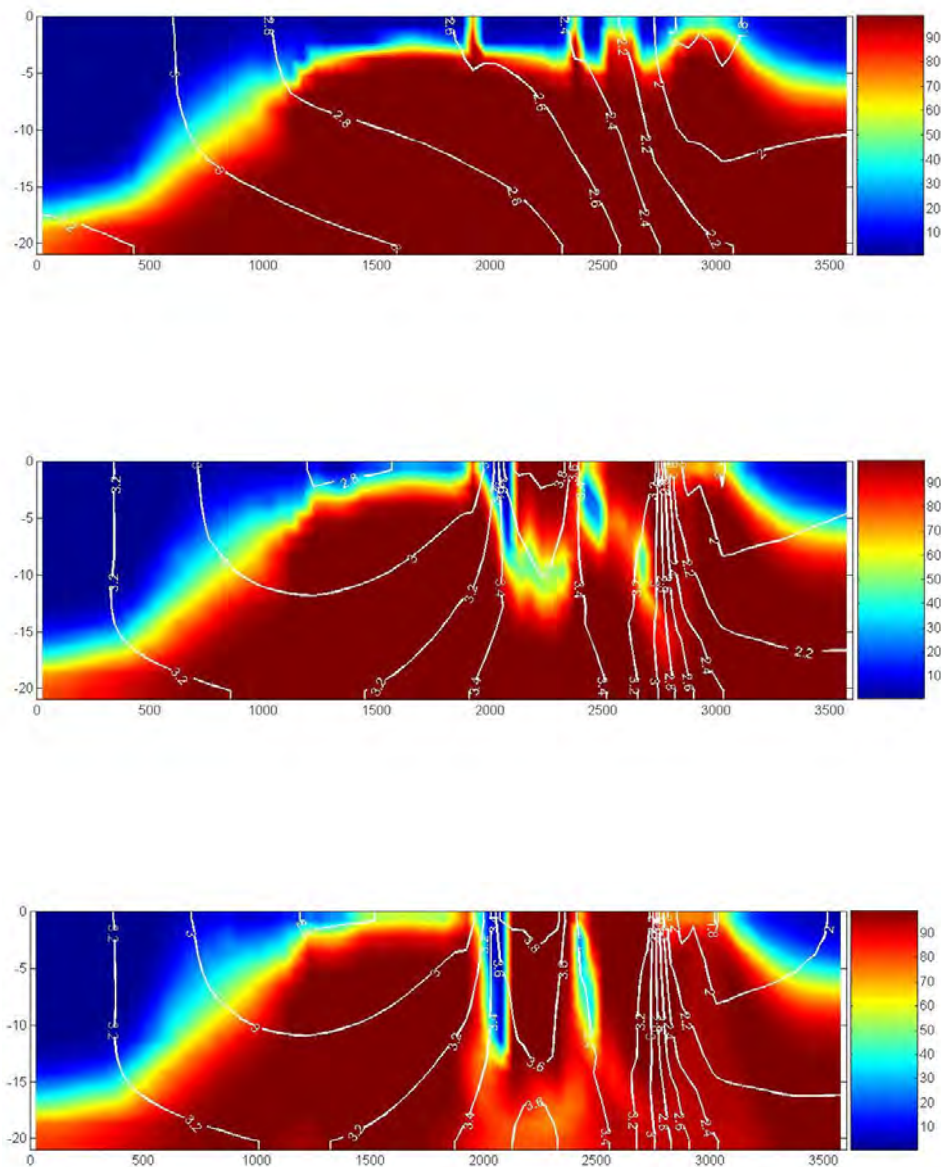
Figuur 5.8 Zoetwaterstijghoogtes 30 jaar na de uitbreiding in de freatische laag van modellaag 1 (kleurschaal) op het 1.5m TAW niveau of -0.8 m NAP niveau (x- en y-coördinaten in m).



Figuur 5.9 Horizontale doorsnede volgens laag 1 (1.5 m TAW of -0.8 m NAP) na 10 jaar uitbreiding. Kleurenschaal geeft zoutwaterpercentages weer (blauw 0% = zoet water, rood 100% = zout water). Witte lijnen stellen de zoetwaterstijghoogtes voor.



Figuur 5.10 Horizontale doorsnede volgens laag 1 (1.5 m TAW of -0.8 m NAP) na 30 jaar uitbreiding. Kleurenschaal geeft het huidige zoutwaterpercentages weer (blauw 0% = zoet water, rood 100% = zout water). Witte lijnen stellen de zoetwaterstijghoogtes voor.



Figuur 5.11 Zoetwaterstijghoogte en zoutwaterpercentage in verticale doorsnede volgens rij 55 (y-as =2725 m) van het modelgebied bij huidige toestand (boven), na 10 jaar uitbreiding (midden) en na 30 jaar uitbreiding van het Zwin. Kleurenschaal geeft het zoutwaterpercentages weer (blauw 0% = zoet water, rood 100% = zout water) . Witte lijnen stellen de zoetwaterstijghoogtes voor.

5.3 Simulatie met het ‘groot model’ van het plaatsen van een ‘diepe drainage’ naast de bestaande oppervlakte drainage als milderende maatregel

Met het ‘groot model’ waarin nu het volledig afgraven van de ‘Internationale Dijk’ en de bodem van de aanvoergeul van het Zwin naar het uitgebreide gebied op 3 m TAW of 0.7 m NAP (drempelhoogte) gelegd wordt over een breedte van 175 m zal nu de milderende maatregel van een ‘diepe drainage’ naast de bestaande oppervlakkige drainage onderzocht worden als milderende maatregel net zoals in de voorgaande grondwaterstudie (Lebbe *et al*, 2009). Bij de aanvullende diepe drainage wordt grondwater onttrokken uit het onderste gedeelte van de freatische aquifer. Daar dit gedeelte van de freatische aquifer bijna uitsluitend gevuld is met zout water zal het aldus onttrokken grondwater voornamelijk zout zijn. Deze onttrekking gebeurt d.m.v. een reeks putten die voorzien zijn van filters in het onderste gedeelte van de freatische aquifer. Deze putten zijn gelegen aan de voet van de omringende dijk van het uitbreidingsgebied. Het opgepompte zout water kan dan in het uitbreidingsgebied van het Zwin gebracht worden. Deze onttrekking zou zodanig moeten geoptimaliseerd worden dat het debiet van verwijderd zout water gelijk is aan het debiet van infiltrerend zout water in het uitbreidingsgebied van het Zwin vermeerderd met een groot gedeelte van het debiet van zoet water dat momenteel afgevoerd wordt door de ondiepe drainage in de omringende polders. Net zoals in de voorgaande grondwaterstudie (Lebbe *et al*, 2009) zal door deze simulatie aangetoond worden hoe door diepe drainage de zoute kwel en de toename van het zoutgehalte in het bovenste gedeelte van de freatische laag kan gekeerd worden. Na het uitvoeren het veldonderzoek kan door een gedetailleerde modellering het optimale onttrekkingsdebiet bepaald worden.

In het model wordt deze diepe drainage opgenomen door een onttrekking van zout water uit de twee onderste lagen van het model, namelijk laag 13 en 14. Dit komt overeen met een filter van de onttrekkingsputten tussen -15.7 en -18.7 m TAW (-18.0 en -21.0 m NAP). Langs de volledige omringende dijk wordt gelijk gepompt met een debiet van 1 m³/d per meter dijk. Met dit debiet wordt vanaf de uitbreiding van het Zwin steeds met hetzelfde debiet gepompt.

Figuren 5.12 en 5.13 geven de zoetwaterstijghoogtes van de modellaag 1 na respectievelijk 10 en 30 jaar na de uitbreiding en met de diepe drainage weer. Vooral langs de westelijke grens van het studiegebied is de stijghoogte door het pompen een weinig verlaagd. Hier zou het onttrokken debiet in deze simulatie iets te groot zijn. Na de uitvoering van de pompproef en met de detailmodellering zal dit onttrokken debiet aan de westgrens verder geoptimaliseerd kunnen worden (zie deel 6.1.2).

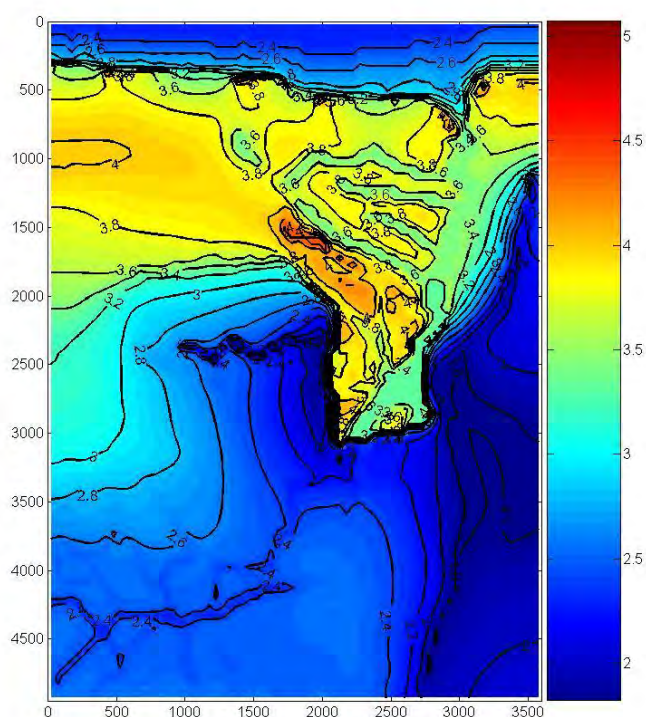
De figuren 5.14 en 5.15 tonen de zoet-zoutwaterverdelingen en de zoetwaterstijghoogtes respectievelijk na 10 en 30 jaar na uitbreiding en met de diepe drainage. Uit deze figuren kan afgeleid worden dat aan de westelijke grens van de uitbreiding van het Zwin de aangroei van de zone met zoute kwel kan gekeerd worden. Uit deze simulatie zien we tevens dat dit nog niet het geval is voor de zuidoostelijke hoek van het uitgebreide gebied. Hier is het ingevoerde debiet van de diepe drainage (1 m³/d per meter dijk) niet voldoende om de aanwas van de zone met zoute kwel te keren. Door middel van de detailmodellering zal dit debiet beter ingeschat kunnen worden (zie deel 6.3).

Figuur 5.16 geeft de evolutie van het zoutwaterpercentage en zoetwaterstijghoogte weer bij respectievelijk de start en na 10 en 30 jaar na de uitbreiding en met diepe drainage. Hier kan men duidelijk afleiden dat het zoete water dat oorspronkelijk onder de polders aanwezig was door het infiltrerende zout water in het ontpolderde gebied naar het diepere gedeelte van de freatische laag verdrongen wordt. Het zout water dat bij de aanvang van de ontpoldering in het onderste gedeelte van de freatische laag aanwezig is stroomt naar de filters van de pompputten van de diepe drainage. In de verticale doorsnede kan de plaats van de filter van deze putten gelokaliseerd worden door de plaatsen met een minimum in de zoetwaterstijghoogte (1.6 m onder westelijke grens en 2.0 m onder

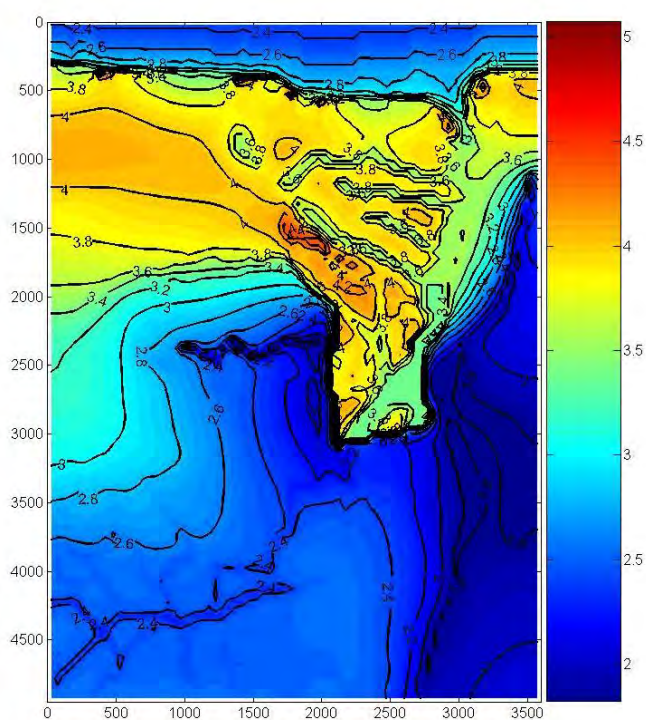
de oostelijke grens). Ten westen van het ontpolderde gebied is er nu een neerwaartse stroming waardoor de diepte van de overgangszone tussen zoet en zoutwater langzaam naar beneden getrokken wordt.

In figuur 5.17 wordt de toename van de zoetwaterstijghoogte ten gevolge van de ontpoldering met diepe drainage als milderende maatregel en dit in dezelfde verticale doorsnede als de figuren 5.29 t.e.m. 5.31. Dit is de zoetwaterstijghoogte na ontpolderen en met diepe drainage vermindert met de zoetwaterstijghoogte vóór de ontpoldering. De zone met een toename van de zoetwaterstijghoogtes worden er voorgesteld in de blauwe kleur; de zones met een afname met de rode kleur. Door het pompen in het onderste gedeelte van de freatische laag krijgen we een grote afname van de zoetwaterstijghoogte (maximale verlaging rond de filters van de pompputten). In het ontpolderde gebied komt aan de top van de freatische laag de grootste toename van de zoetwaterstijghoogte voor.

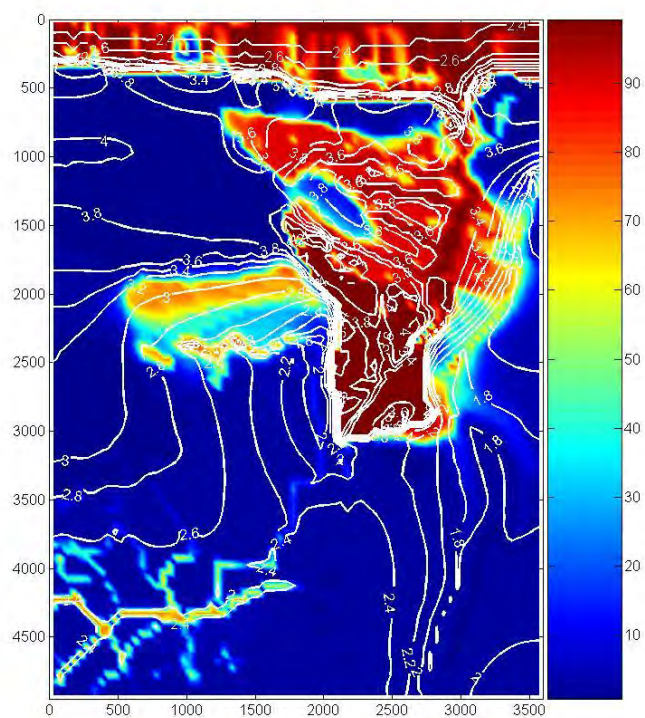
Figuren 5.18 en 5.19 tonen de toename van het zoutwaterpercentage in modellaag 1 t.g.v. de Zwinuitbreiding en met diepe drainage als milderende maatregel na respectievelijk 10 en 30 jaar. In deze figuren is ten westen van het uitbreidingsgebied verzoeting opgetreden (negatieve toename van het zoutwaterpercentage in de blauwe kleur). Deze verzoeting neemt toe in de loop van de tijd. Ten zuidoosten van het uitbreidingsgebied is er in de loop van de tijd een laterale uitbreiding van de zoutwaterkwelzone. Deze uitbreiding is het gevolg van het feit dat het ingevoerde onttrokken debiet op deze plaats te klein is, d.i. t.g.v. van de grote horizontale zoetwaterstijghoogtegradiënt tussen het uitbreidingsgebied en het Uitwateringskanaal naar de Wielingen. Ook hier zal het grotere debiet dat nodig zal zijn om de laterale uitbreiding van de kwelzone te voorkomen bepaald worden door een detailmodellering (zie deel 6.3).



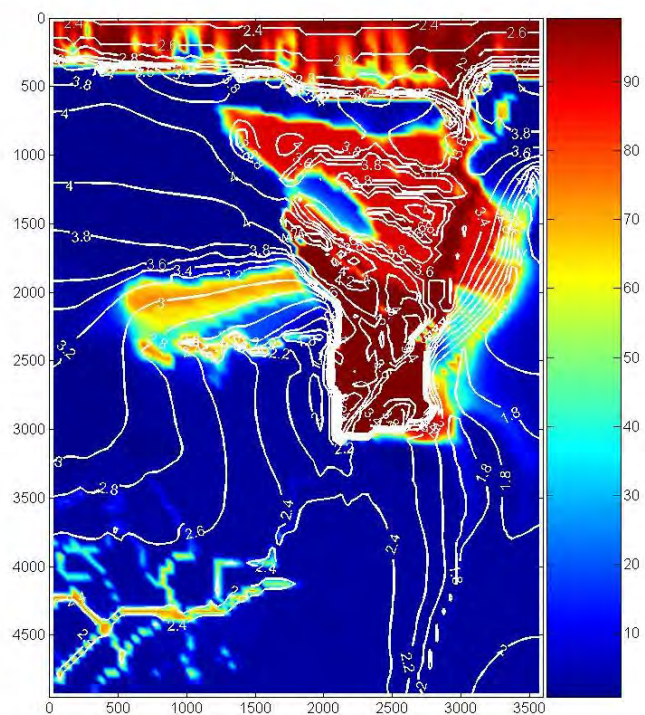
Figuur 5.12 Zoetwaterstijghoogtes na 10 jaar uitbreiding met diepe drainage in de freatische laag van modellaag 1 (kleurschaal) op het 1.5m TAW niveau of -0.8 m NAP niveau (x- en y-coördinaten in m).



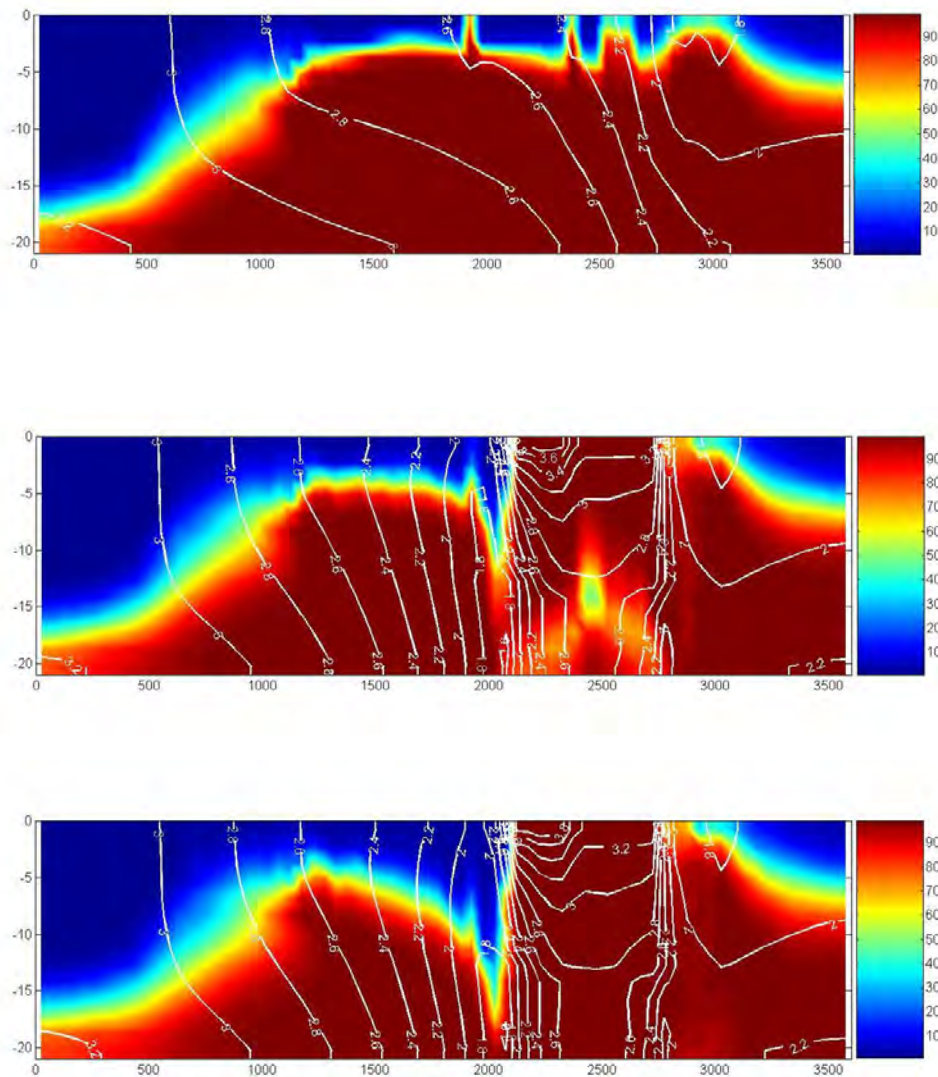
Figuur 5.13 Zoetwaterstijghoogtes na 30 jaar uitbreiding met diepe drainage in de freatische laag van modellaag 1 (kleurschaal) op het 1.5m TAW niveau of -0.8 m NAP niveau (x- en y-coördinaten in m).



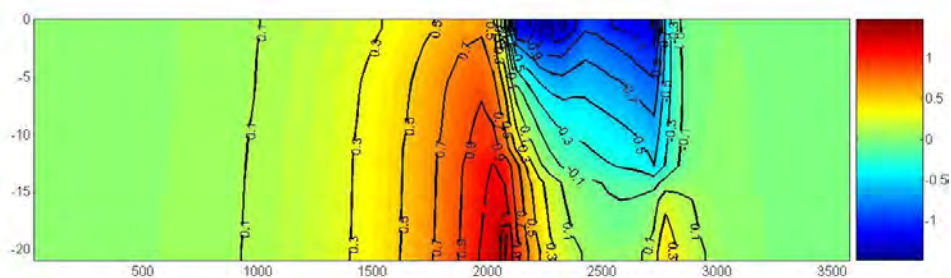
Figuur 5.14 Horizontale doorsnede volgens laag 1 (1.5 m TAW of -0.8 m NAP) na 10 jaar uitbreiding van 120 ha met diepe drainage. Kleurenschaal geeft zoutwaterpercentages weer (blauw 0% = zoet water, rood 100% = zout water).



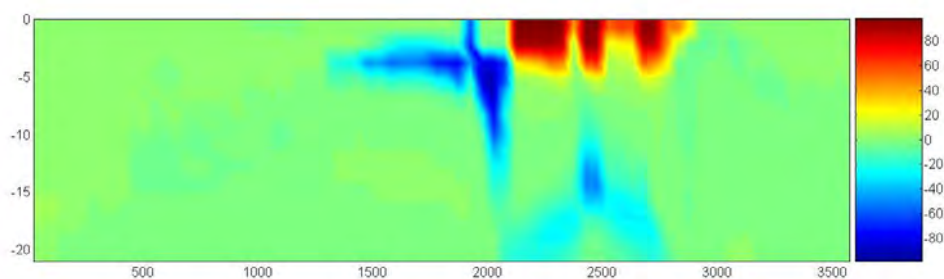
Figuur 5.15 Horizontale doorsnede volgens laag 1 (1.5 m TAW of -0.8 m NAP) met 30 jaar uitbreiding met diepe drainage. Kleurenschaal geeft zoutwaterpercentages weer (blauw 0% = zoet water, rood 100% = zout water).



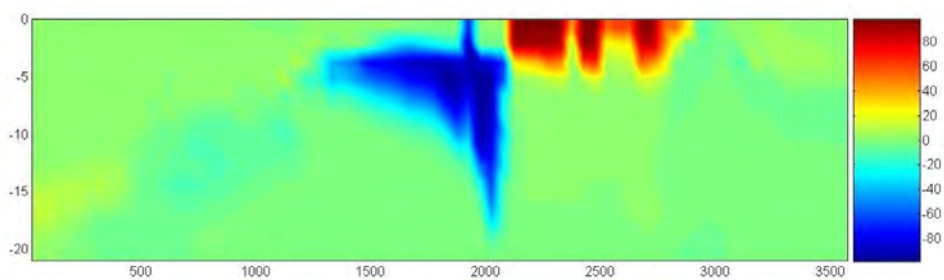
Figuur 5.16 Evolutie van de zoetwaterstijghoogte en van het zoutwaterpercentage in de verticale doorsnede volgens rij 55 (y-as =2725 m) van het modelgebied bij de start (boven), na 10 en 30 jaar uitbreiding van het Zwin en met diepe drainage (kleurschaal. Kleurenschaal geeft zoutwaterpercentages weer (blauw 0% = zoet water, rood 100% = zout water). Witte lijnen stellen de zoetwaterstijghoogtes voor. Westen ligt rechts en oosten links van de doorsnede.



Figuur 5.17 Toename in zoetwaterstijghoogte (in m) in verticale doorsnede volgens rij 55 (y-as =2725 m) van het modelgebied na 10 jaar uitbreiding en met diepe drainage (kleurschaal), (x- en z-coördinaten in m). Westen ligt rechts en oosten links van de doorsnede.



Figuur 5.18 Toename van zoutwaterpercentage in verticale doorsnede volgens rij 55 (y-as =2725 m) van het modelgebied na 10 jaar uitbreiding en met diepe drainage (kleurschaal) (x- en z-coördinaten in m). Westen ligt rechts en oosten links van de doorsnede.



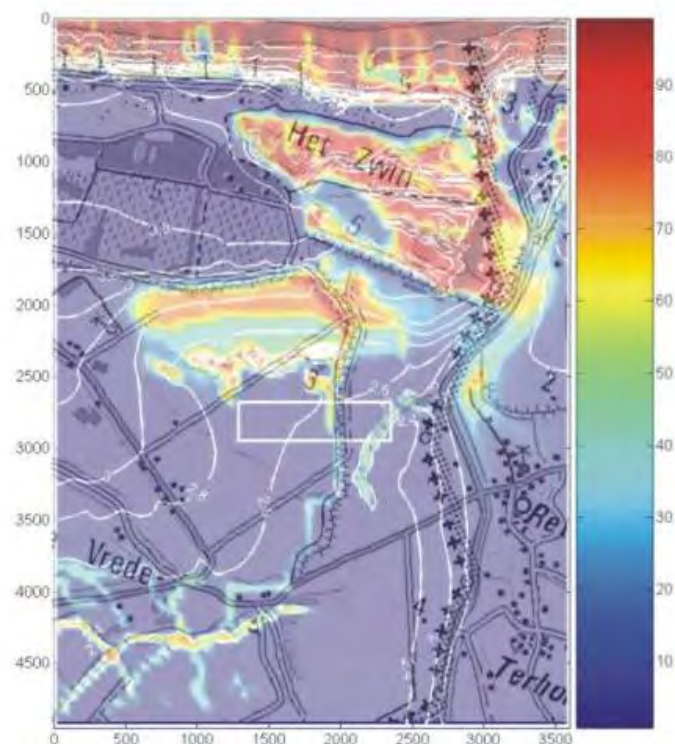
Figuur 5.19 Toename in zoutwaterpercentage in verticale doorsnede volgens rij 55 (y-as =2725 m) van het modelgebied na 30 jaar uitbreiding en met diepe drainage (kleurschaal) (x- en z-coördinaten in m). Westen ligt rechts en oosten links van de doorsnede.

6. Detailmodellering van de grondwaterstroming en de zoet-zoutwaterverdeling

Steunend op de resultaten bekomen met het 'groot' model worden twee deelgebieden uitgekozen waarin we een detailmodellering zullen uitvoeren. Deze detailmodellering worden eerst en vooral uitgevoerd om verschillende alternatieven van milderende maatregelen in detail te simuleren waardoor het mogelijk wordt de voor- en de nadelen van deze alternatieven te evalueren. Twee deelgebieden werden aldus in detail gemodelleerd. Één deelgebied is gelegen aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding en één deelgebied rond de zuidoostelijke hoek van de uitbreiding. Bij ieder deelgebied zullen twee alternatieven van milderende maatregelen in detail gemodelleerd worden. Bij het deelgebied gelegen aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding werden de twee alternatieven van drainage gemodelleerd (deel 6.1). Alternatief 1 omvat een extra 'oppervlakte drainage' naast de bestaande oppervlakte drainage (deel 6.1.1). Alternatief 2 is de extra 'diepe drainage met pompen' naast de bestaande oppervlakte drainage (deel 6.1.2). Bij deze detailmodellering aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding wordt rekening gehouden met de resultaten van de pompproef. In deel 6.2 worden de effecten bestudeerd als de opgelegde randvoorwaarden variëren in de tijd. Eerst wordt de extra 'oppervlakte drainage' beschouwd waarbij de waterstand in het extra brede drainagekanaal varieert in de tijd (deel 6.2.1). Vervolgens wordt een extra 'diepe drainage' beschouwd waarbij het systeem 180 dagen uitgezet wordt gevolgd door 180 dagen terug aan. In deel 6.2.3 wordt het effect bestudeerd als tenslotte het onttrokken debiet in het extra 'diepe drainagesysteem' varieert in de tijd alsook de heropvulling van de freatische aquifer. In deel 6.3 wordt de detailmodellering rond de zuidoostelijke hoek van de Zwinuitbreiding besproken. Eerst wordt de grondwaterstroming en de zoet-zoutwaterverdeling gemodelleerd bij de Zwinuitbreiding zonder milderende maatregelen (deel 6.3.1). In deel 6.3.2 wordt de Zwinuitbreiding beschouwd waarbij een extra 'diepe drainage met vrije uitstroming' (type 1) beschouwd wordt als milderende maatregel. In deel 6.3.3 wordt een extra 'diepe drainage met pompen' (type 2) als milderende maatregel bestudeerd.

6.1 Detailmodellering aan de westelijke grens van de uitbreiding van het Zwin

Bij de detailmodellering aan de westelijke grens van de uitbreiding van het Zwin wordt ingezoomd op het 'groot' model (zie deel 5). De locatie van het venster wordt weergegeven in figuur 6.1. Het venster is 1000 m lang, 240 m breed. Alle eindig-verschil cellen aangewend bij deze detailmodellering hebben dezelfde grootte. Hun basisoppervlak is vierkant met een zijde van 5 m en een hoogte van 1.5 m. Het aangewende eindig-verschil netwerk heeft 200 kolommen en 48 rijen. De richtingshoek van de rijen vanuit het noorden naar het oosten is dezelfde als bij het 'groot' model en bedraagt 69°. Het aantal beschouwde lagen en hun locatie is identiek als bij het groot model (zie deel 5). Er worden dus veertien lagen beschouwd en de grensvlakken tussen de lagen zijn horizontaal. De basis van de bovenste laag van het numerieke model is gelegen op 0.8 m TAW of -1.5 m NAP. De dikte van de bovenste laag van het numerieke model varieert (tussen 0.9 en 4.0 m) daar de top van deze laag overeenkomt met de watertafel. De modellagen 2 tot en met 13 hebben dezelfde dikte, namelijk 1.5m. De dikte van de onderste laag (Laag 14 van het numerieke model) varieert eveneens (tussen het peil -17.2 m TAW (-19.5 m NAP) en de basis van het beschouwde grondwaterreservoir, d.i. de top van het Bartoonaquitard systeem). Bij deze simulatie werden de hydraulische doorlatendheden zoals gevonden tijdens de pompproef ingevoerd (zie deel 3). Voor het opgeloste stoffen transport wordt een effectieve porositeit van 0.38 gebruikt. De longitudinale, transversale horizontale en transversaal verticale dispersiviteit zijn respectievelijk gelijk aan 0.3, 0.05 en 0.03 m. Ook deze parameters zijn identiek aan deze die aangewend zijn in de vorige studie (Lebbe *et al*, 2009).



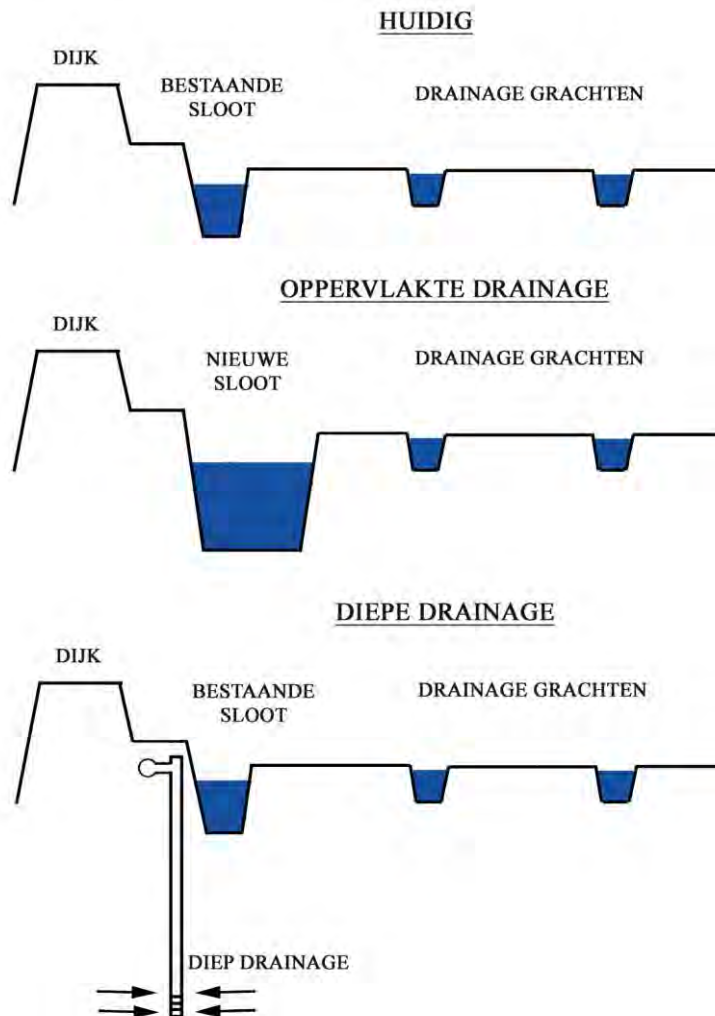
Figuur 6.1 Locatie van het venster (rechthoek aangeduid met witte lijnen) waarbinnen de detailmodellering aan de westelijke grens van de uitbreiding van het Zwin gebeurt op de figuur die huidige verspreiding van zoet en zout water weergeeft zoals berekend met het 'groot' model (zie deel 5) Het venster van het detailmodel ligt tussen de X - coördinaten 1290 m en 2290 m van het 'groot' model en tussen de Y - coördinaten 2640 en 2880 m van 'groot' model.

Met het detailmodel aan de westelijke grens van de uitbreiding van het Zwin zullen twee verschillende alternatieven van drainage gesimuleerd worden. Door de simulaties van beide drainagemethodes kunnen de specifieke kenmerken ervan afgeleid worden. Hierdoor worden tevens inzichten verkregen over de wijze waarop de verspreiding van zoet, brak en zout water zal evolueren door toepassing ervan. Naast de huidige toegepaste drainage staan de twee onderzochte alternatieven van drainage weergegeven in figuur 6.2.

Bij de eerste alternatieve methode wordt de bestaande sloot aan de voet van de dijk verbreed en wordt de waterstand ervan lager gehouden dan de waterstand in de omgeving. Door de modellering zal afgeleid worden hoe breed deze sloot moet zijn en hoeveel lager de drainagestand moet ingesteld worden ten opzichte van de huidige toestand in de omringende polders om te verhinderen dat de zone waar het zoutgehalte nabij de watertafel zal toenemen ten gevolg van de uitbreiding van het Zwin. Dit alternatief zal verder aangeduid worden als 'oppervlakkige drainage'.

Bij het tweede alternatief wordt een reeks van putten met filter in het onderste gedeelte van de freatische laag geplaatst. Door de detailmodellering wordt afgeleid welke de onderlinge afstand is tussen de putten en welk debiet per put moet gepompt worden. Dit alternatief zal verder aangeduid worden als 'diepe drainage'.

Zowel de 'oppervlakkige drainage' als de 'diepe drainage' worden aangelegd naast de bestaande drainage in de polders. Bij de 'diepe drainage' wordt niets gewijzigd aan het bestaande drainagesysteem in de omringende polders. Bij de 'oppervlakkige drainage' zal het nodig zijn om een extra sloot in de omringende polders aan te leggen om het zoete oppervlaktewater vanuit de 'Kleyne Vlake' af te voeren via de omringende polders naar het Leopoldkanaal.

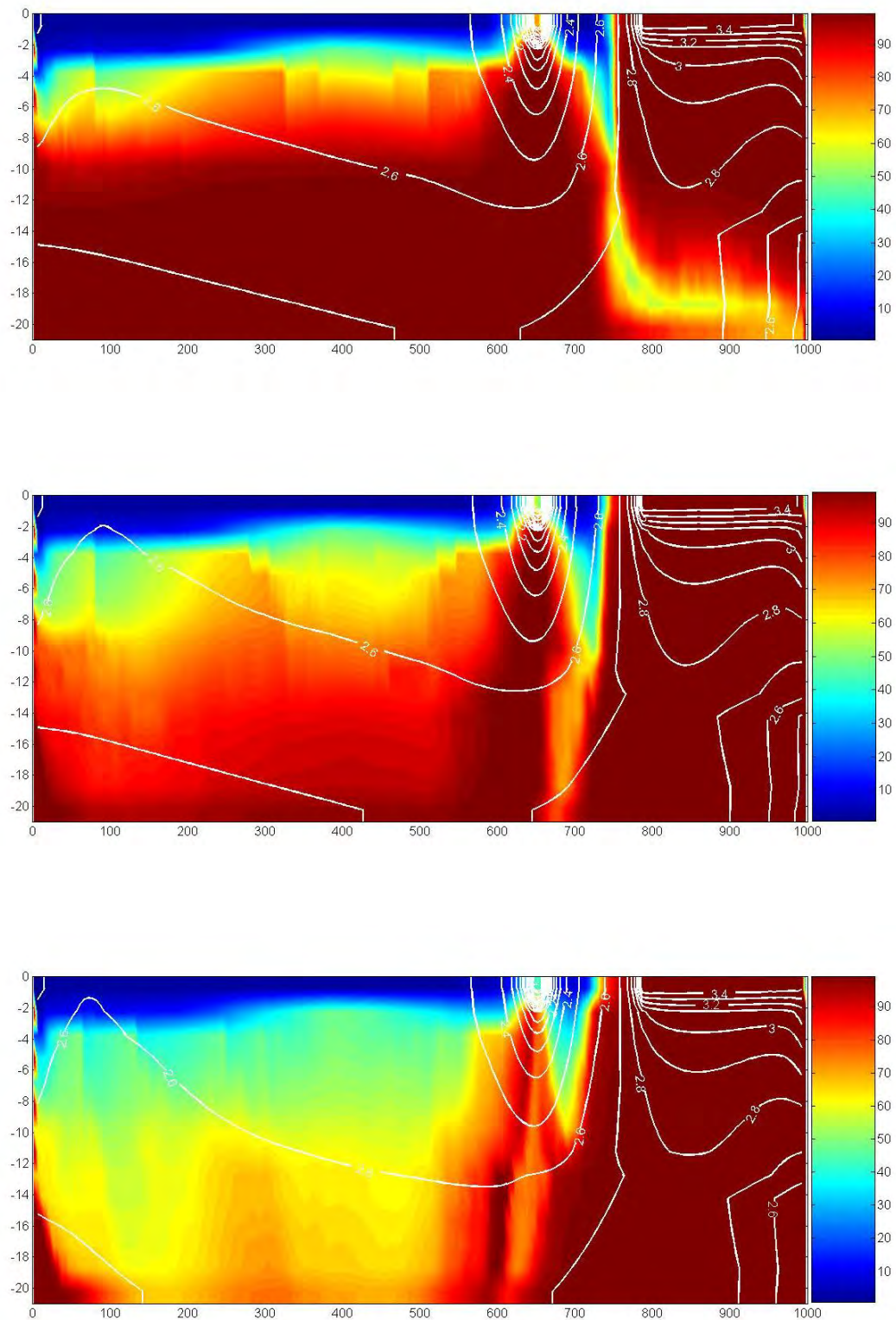


Figuur 6.2 Schematische voorstelling van de huidige drainage samen met de twee gemodelleerde alternatieven van drainage aan de westelijke grens van het studiegebied. Bij de 'oppervlakkige drainage' wordt een brede sloot aan de voet van de dijk aangelegd; bij de 'diepe drainage' wordt een reeks pompputten aangelegd aan de voet van de dijk. Deze pompputten onttrekken zout grondwater uit het onderste gedeelte van freatische aquifer. In dit schema is het uitbreidingsgebied van het Zwin links van de dijk gelegen.

6.1.1 Detailmodellering van de 'oppervlakte drainage' aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding

Bij deze detailmodellering worden de volgende randvoorwaarden aangenomen. De onderste grens van de freatische laag wordt als een ondoorlatende grens beschouwd. De verticale grenzen worden beschouwd als grenzen met een constante stijghoogte. De aangewende waarden van de zoetwaterstijghoogten worden overgenomen uit het 'groot' model bij de simulatie van de Zwinuitbreiding. Ook de zoutwaterpercentages van het water dat vanuit deze grenzen in het modelgebied stroomt, worden eveneens uit het 'groot model' afgeleid. Aan de bovengrens van de freatische laag heersen dezelfde randvoorwaarden als bij het 'groot' model. In de polders wordt er een constante zoetwaterflux beschouwd terwijl dat alle cellen er gedraineerd worden. Onder de dijk wordt een instroom van zoetwater beschouwd zonder drainage. Onder het uitgebreide Zwin wordt een constante stijghoogtegrens aangenomen waarbij zout water in het model stroomt. De zoetwaterstijghoogte wordt bepaald door de hoogteligging van het maaiveld en door de fluctuatie van de waterstanden in het uitgebreide Zwin.

Omringend poldergebied verbrede drainage sloot ↓ ↓dijk ↓ Zwinuitbreiding

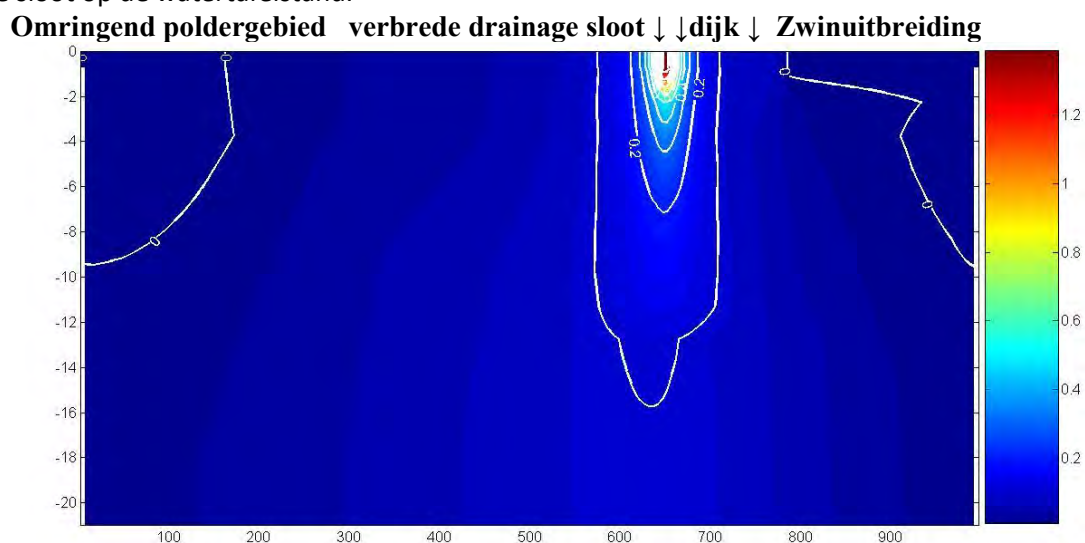


Figuur 6.3 Evolutie van de zoetwaterstijghoogte en van de verspreiding van zoet en zout water bij een drainagesloot van 15 meter breedte aan de voet van de dijk en met een drainage stand van 1.3 m TAW (- 1 m NAP) na 5 (boven) , na 10 jaar (midden) en na 20 jaar uitbreiding van het Zwin.

Aan de voet van de dijk wordt een extra brede en diepe drainagesloot beschouwd om te voorkomen dat de zone met een hoog zoutgehalte rond de watertafel verder zou uitbreiden. Door het uitvoeren van een reeks van simulaties werd afgeleid hoe breed deze sloot moest zijn. Hierbij namen we aan dat de bodem van deze sloot en de drainagestand 1 meter lager ingesteld wordt dan de bodem en de drainagestanden van de sloten in het omringende poldergebied (drainagestand op 1.3 m TAW (- 1 m NAP) in plaats van 2.3 m TAW of 0 m NAP). Uit deze simulaties bleek dat de vereiste breedte van de sloot 15 m was.

Uit de figuren 6.3 wordt de evolutie van de zoetwaterstijghoogte en van het zoutwaterpercentage weergegeven als de breedte van de drainagesloot aan de voet van de dijk 15 meter breed is en als drainagestand op 1.3 m TAW (-1 m NAP) gehouden wordt. In de omringende polders (tussen 0 en 600 m op horizontale as) zien we dat er een dunne laag van zoet water (donker blauwe kleur) onder de watertafel gehandhaafd blijft. Onder het grootste gedeelte van de omringende polders komt een zout-brak grondwaterlichaam voor onder deze dunne zoetwaterlaag. Binnen dit zout-brak grondwaterlichaam is de grondwaterstroming zeer beperkt. Door hydrodynamische dispersie wordt de overgangszone dus het zoet water en het brak-zout waterlichaam steeds breder. Onder de brede drainagesloot is er een grote opwaartse stroming van voornamelijk zout water dat vanuit het uitbreidingsgebied van het Zwin toestroomt. Door deze grote opwaartse stroming is er een groot hydraulisch verhang onder de vloer van de verbrede drainagesloot. Hierdoor zal de intergranulaire spanning binnen de sedimenten gelegen onder de vloer van de verbrede drainagesloot sterk gaan afnemen. Onder het uitbreidingsgebied van het Zwin is er een grote neerwaartse stroming van infiltrerend zout water. De grootste hydraulische gradiënten komen voor aan de top van de freatische laag waar de kleinste hydraulische doorlatendheden ingevoerd zijn.

In figuur 6.4 wordt de verlaging van de zoetwaterstijghoogte voorgesteld ten gevolge van de verbrede drainagesloot van 15 m en de ingestelde drainagestand die 1 meter lager is dan in het omringende poldergebied. Dit is de zoetwaterstijghoogte na de Zwinuitbreiding zonder enige milderende maatregel verminderd met de zoetwaterstijghoogte na de Zwinuitbreiding met een brede drainagesloot als milderende maatregel. Hieruit leiden we af dat de verbrede drainagesloot slechts een zoetwaterstijghoogteverlaging veroorzaakt van slecht 0.1 m in het onderste gedeelte van de freatische laag onmiddellijk onder deze sloot. Deze verlaging neemt lateraal geleidelijk af in het onderste gedeelte van de freatische aquifer. In het bovenste gedeelte van de freatische aquifer is er daarentegen een sterke laterale afname. Hierdoor zal er slechts een beperkte laterale invloed zijn van de sloot op de watertafelstand.

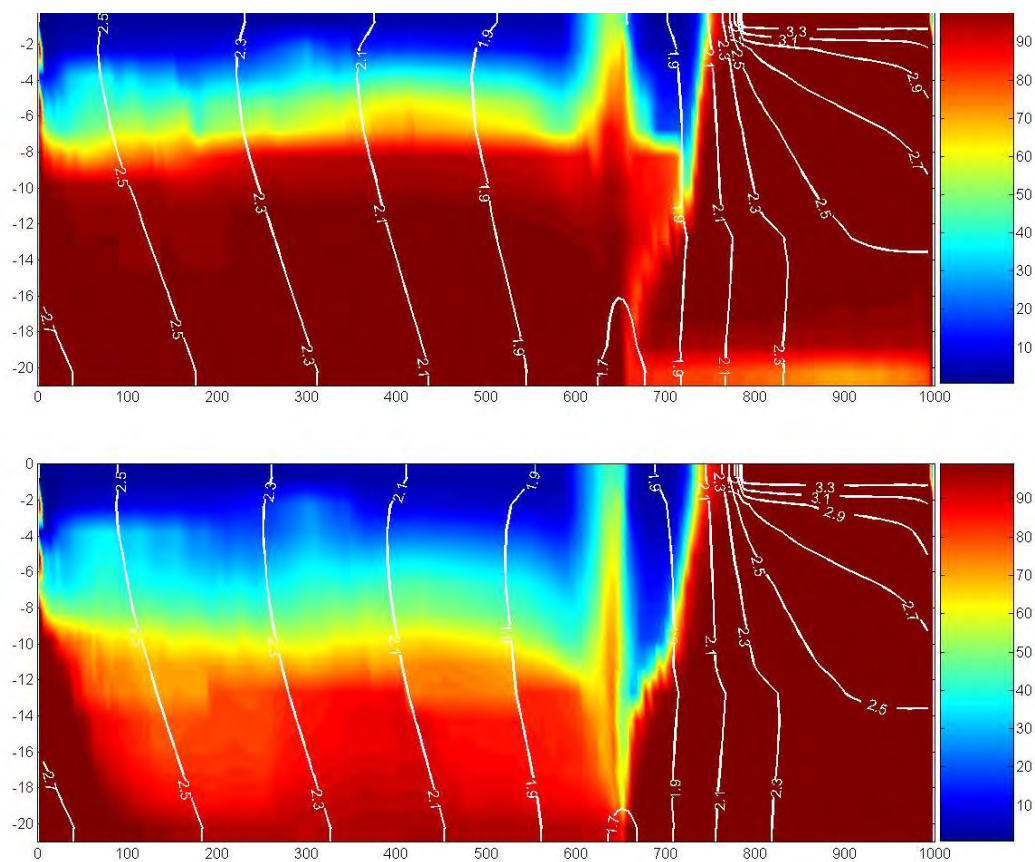


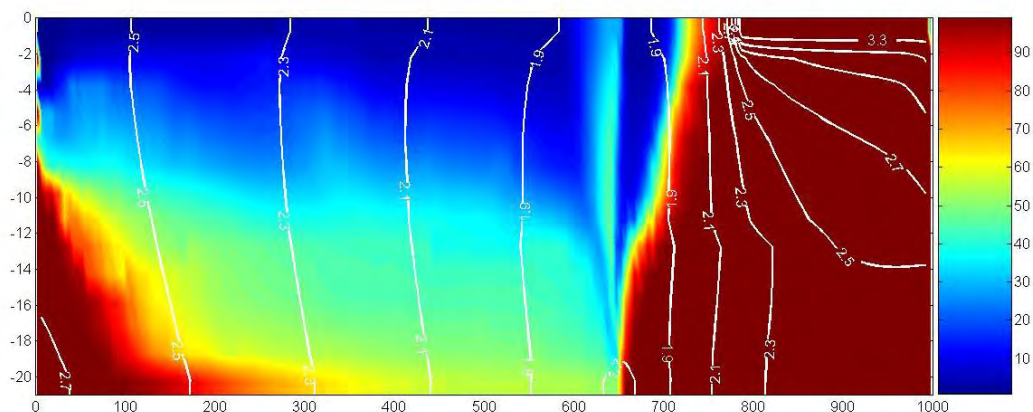
Figuur 6.4 Verlaging van de zoetwaterstijghoogte ten gevolge van een brede drainagesloot (15 meter breedte) aan de dijkvoet met een drainagestand van 1.3 m TAW na 10 jaar uitbreiding van het Zwin.

6.1.2 Detailmodellering van de 'diepe drainage' aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding

Bij deze detailmodellering worden dezelfde randvoorwaarden aangenomen als bij de vorige detailmodellering (zie eerste paragraaf deel 6.1.1). Hier wordt aan de dijkvoet langs de polderzijde een reeks van pompputten aangelegd. Deze putten hebben een filter in het onderste gedeelte van de freatische aquifer (tussen -15.7 m TAW of - 18.0 m NAP en top van het Bartoonaquitardsysteem). Door het uitvoeren van een reeks simulaties wordt de onderlinge afstand tussen de putten en het optimale debiet afgeleid. Hieruit bleek dat de onderlinge afstand tussen de putten 60 meter is en dat het opgepompte debiet per put 90 m³/d bedraagt. Dit komt overeen met een pompdebiet van 1.5 m³/d per meter dijk.

Omringend poldergebied locatie sloot + pompputten ↓↓ dijk ↓ Zwinuitbreiding



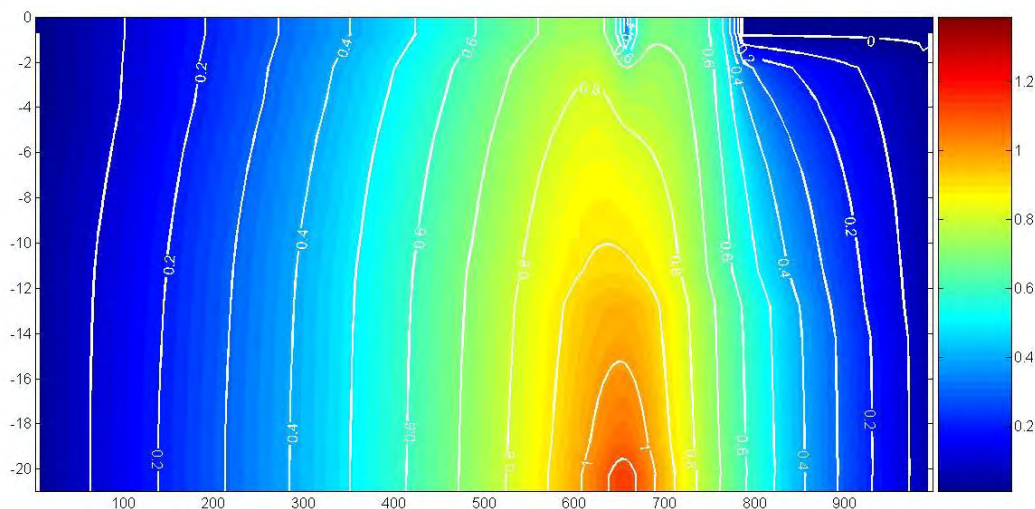


Figuur 6.5 Evolutie van de zoetwaterstijghoogte en van de verspreiding van zoet en zout water bij een diepe drainage waarbij aan de voet van de dijk aan de polderzijde om de 60 meter een pompput aangelegd wordt waarbij er 60 m³/d onttrokken wordt na 5 (boven) , na 10 jaar (midden) en na 20 jaar (onder) Zwinuitbreiding in een verticale doorsnede halweg tussen twee pompputten van het 'diepe-drainage'-systeem.

Uit de figuren 6.5 wordt de evolutie van de zoetwaterstijghoogte en van het zoutwaterpercentage weergegeven als een diepe drainage wordt uitgevoerd aan de dijkvoet langs de polderzijde. Bij deze 'diepe drainage' wordt om de 60 meter een pompput aangelegd met een filter tussen -15.7 m TAW of -18 m NAP en de top van het Bartoonaquitudsysteem. Deze doorsnede is gelokaliseerd centraal tussen twee putten van het 'diepe drainage systeem'. Op iedere put wordt gepompt met een debiet van 60 m³/d. In de omringende polders (tussen 0 en 600 m op horizontale as) zien we dat de zoetwaterlaag onder de watertafel dikker wordt en het onderliggende zout-brak grondwaterlichaam wordt geringer in omvang terwijl het gemiddelde zoutgehalte van het lichaam kleiner wordt. Onder de ongewijzigde drainagesloot (rond 650 m op horizontale as) waar er aanvankelijk een opwaartse stroming van zout en brak water is in het bovenste gedeelte van de freatische aquifer, ontstaat door de diepe drainage een stagnatiepunt op -6 m TAW of 8.3 m NAP (of rond -8.3 op verticale as van de figuur 6.5). Onmiddellijk rond dit stagnatiepunt is de grondwaterstroming zeer klein. Boven het stagnatiepunt stroomt het water opwaarts naar de ongewijzigde drainagesloot: onder het stagnatiepunt stroomt het water neerwaarts naar de filter van de pompputten van de 'diepe drainage'. Dit stagnatiepunt en de zeer trage stroming eromheen verklaart dat er na 20 jaar pompen nog een kleine zone van brak water blijft bestaan tussen de ongewijzigde drainagesloot en de pompputfilters van de 'diepe drainage'. Door de toepassing van de diepe drainage zal de opwaartse stroming onder de bestaande sloot sterk gaan afnemen en zal bijgevolg de intergranulaire spanning gaan toenemen aan de voet van de dijk. Dit zal de stabiliteit van de dijkvoet ten goede komen. Onder de dijk zelf is een neerwaartse stroming van zoet water waardoor er een volumetoename is van de zoetwaterlens. Onder het uitbreidingsgebied van het Zwin is een grote neerwaartse stroming van zout water die naar het onderste gedeelte van de freatische aquifer getrokken wordt door de 'diepe drainage'.

In figuur 6.6 wordt de verlaging van de zoetwaterstijghoogte voorgesteld ten gevolge van de 'diepe drainage' in een verticale doorsnede die gesitueerd is halweg tussen twee putten van het 'diepe-drainagesysteem. Dit is de zoetwaterstijghoogte na de Zwinuitbreiding zonder enige milderende maatregel verminderd met de zoetwaterstijghoogte na de Zwinuitbreiding met 'diepe drainage' als milderende maatregel. Hieruit leiden we af dat de 'diepe drainage' de grootse verlaging veroorzaakt is het onderste gedeelte van de freatische laag en een geringere verlaging in het bovenste gedeelte en dus nabij de watertafel. De laterale invloed van het diepe drainage systeem is veel grotere dan bij de verbrede drainagesloot aan de voet van de dijk bij de zogenaamde extra 'oppervlakte drainage' als milderende maatregel.

Omringend poldergebied locatie sloot + pompputten ↓↓ dijk ↓ Zwinitbreiding



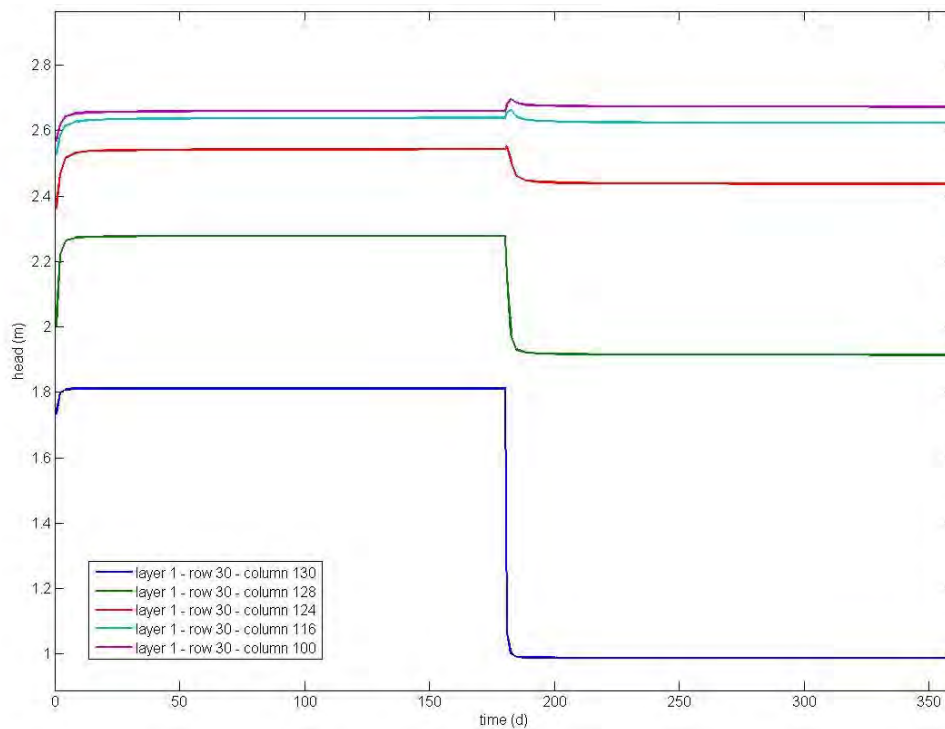
Figuur 6.6 Verlaging van de zoutwaterstijghoogte ten gevolge van een 'diepe drainage' (pompputten om de 60 meter met een debiet van 60 m³/d) naast de bestaande sloot aan de dijkvoet na 10 jaar uitbreiding van het Zwin in een verticale doorsnede halweg tussen twee pompputten van het 'diepe-drainage'-systeem.

6.2 Detailmodellering van een tijdelijk stilleggen van de milderende maatregel

Deze detailmodelleringen werden uitgevoerd om het effect te bestuderen op de zoutwaterstijghoogte en de zout-zoutwaterverdeling nadat de milderende maatregel tijdelijk zou uitvallen. Dit effect wordt zowel bestudeerd voor het tijdelijk uitvallen van de extra 'oppervlakkige drainage' als bij de extra 'diepe drainage'. Dit tijdelijk stilleggen van de milderende maatregelen wordt gesimuleerd in hetzelfde 'klein' modelgebied als behandeld in het voorgaande deel (6.1).

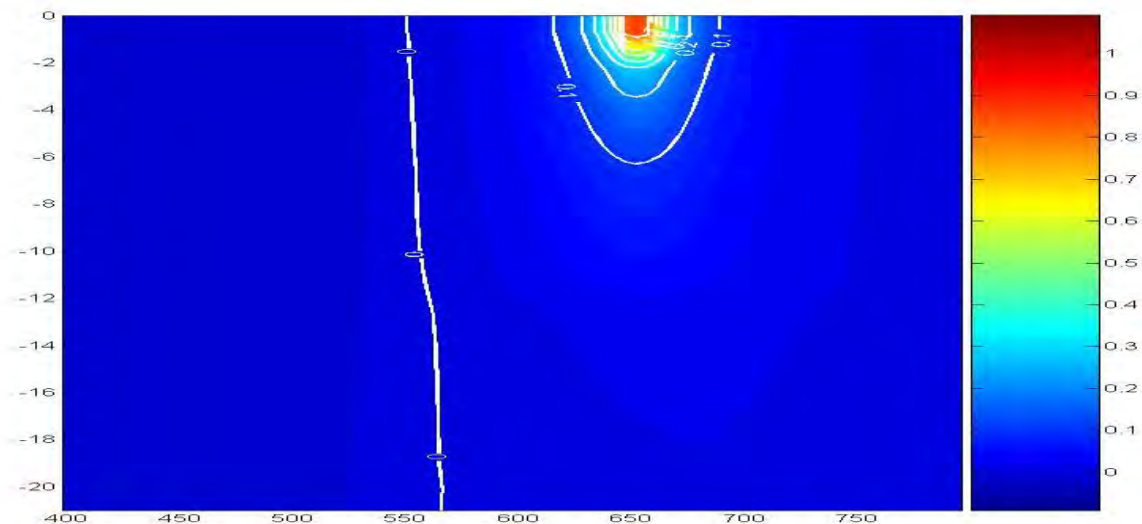
6.2.1 Simulatie van de effecten bij het tijdelijk stilleggen van de extra 'oppervlakte drainage'

Bij de aanvang van de simulatie veronderstellen we een zout-zoutwaterverdeling en een zoutwaterstijghoogte zoals we gesimuleerd hebben na 25 jaar extra 'oppervlakte drainage'. Hierbij is het drainagekanaal aan de voet van de dijk verbreed tot 15 m, is het drainagekanaal verdiept met 1 meter en is de drainagestand van deze verbrede drainagesloot 1 meter lager dan in het omringende poldergebied. Gedurende de eerste 180 dagen van deze simulatie wordt de drainagestand van het verbrede kanaal 1 meter verhoogd tot op dezelfde drainagestand van de bestaande sloten in het omringende poldergebied. Na deze 180 dagen wordt de drainagestand in de verbrede drainagesloot terug 1 meter lager geplaatst dan de drainagestanden in het omringende poldergebied. Om deze blokgolf van 180 dagen afzetten van extra 'oppervlakkige drainage' gevolgd door 180 dagen terug aanzetten van de extra 'oppervlakkige drainage' wordt de simulatieperiode van 360 dagen in twintig belastingsperiodes ingedeeld; namelijk in twee maal tien belastingsperiodes. Juist na het uit- en inschakelen van de extra 'oppervlakkige drainage' wordt de kortste belastingsperiode beschouwd (namelijk 0.57 d). Daarna nemen de opeenvolgende belastingsperiodes toe in tijd (namelijk 1.696 d, 2.262 d, 3.958 d, 6.219 d, 10.18 d, 16.40 d, 26.57 d, 42.97 d en 69.54 dagen).



Figuur 6.7 Schommeling van de zoetwaterstijghoogte in laag 1 (watertafel) bij het 180 dagen afzetten van de extra ‘oppervlakte drainage’ gevolgd door het terug aanzetten van de extra ‘oppervlakte drainage’. Kolom 130 ligt op 7.5 m van de centrale as van het verbrede drainagekanaal, de kolommen 128, 124, 116 en 100 liggen op respectievelijk 17.5, 37.5, 77.5 en 157.5 m van deze centrale as.

Omringend poldergebied verbrede drainage sloot ↓ dijk ↓ Zwinuitbreiding

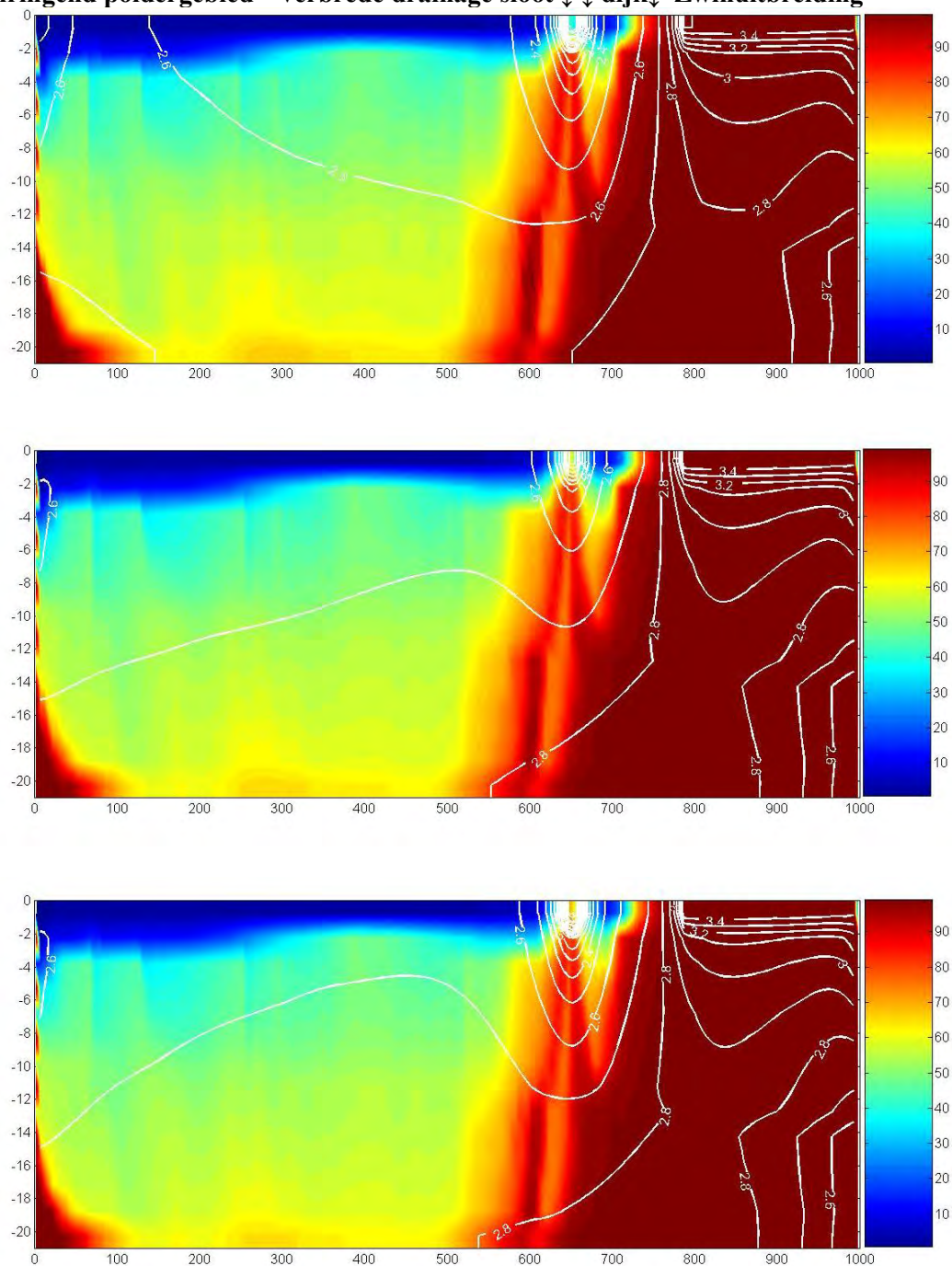


Figuur 6.8 Toename van zoetwaterstijghoogte (in m) na 180 d afzetten van de extra ‘oppervlakte drainage’ in een verticale doorsnede loodrecht op het kanaal. Let er op dat slechts een gedeelte van het gemodelleerde gebied in de verticale doorsnede weergegeven wordt tussen $x = 400$ m en $x = 800$ m.

Uit de grafiek voorgesteld in figuur 6.7 blijkt dat de watertafel in de onmiddellijke omgeving van de verbrede drainagesloot zeer vlug reageert op een verandering van de drainagestand in deze sloot. Binnen de twintig meter afstand van de sloot bereikt de watertafel na ca 1 week zijn nieuwe stand om dan gedurende de rest van de periode van 180 dagen nagenoeg niet meer te veranderen. Op een grotere afstand (rode lijn op 37.5 m van de centrale as van de sloot) gebeurt dit iets trager. De laterale invloed van de verandering van de drainagestand in de verbrede drainagesloot op de watertafelstand neemt lateraal sterk af. Op 17.5 m van de centrale as van de verbrede drainagesloot bedraagt de waterstandverandering slechts 34% van de drainagestandsverandering in de verbrede drainagesloot. Deze beperkte laterale invloed van de drainagestandsverandering op de watertafel is ook af te leiden uit figuur 6.8. Uit deze figuur kan eveneens de beperkte invloed van de drainagestandsverandering in de diepte afgeleid worden. Op ca vijf meter diepte bedraagt de verandering van de zoetwaterstijghoogte slechts 10% van de drainagestandsverandering in de verbrede drainagesloot.

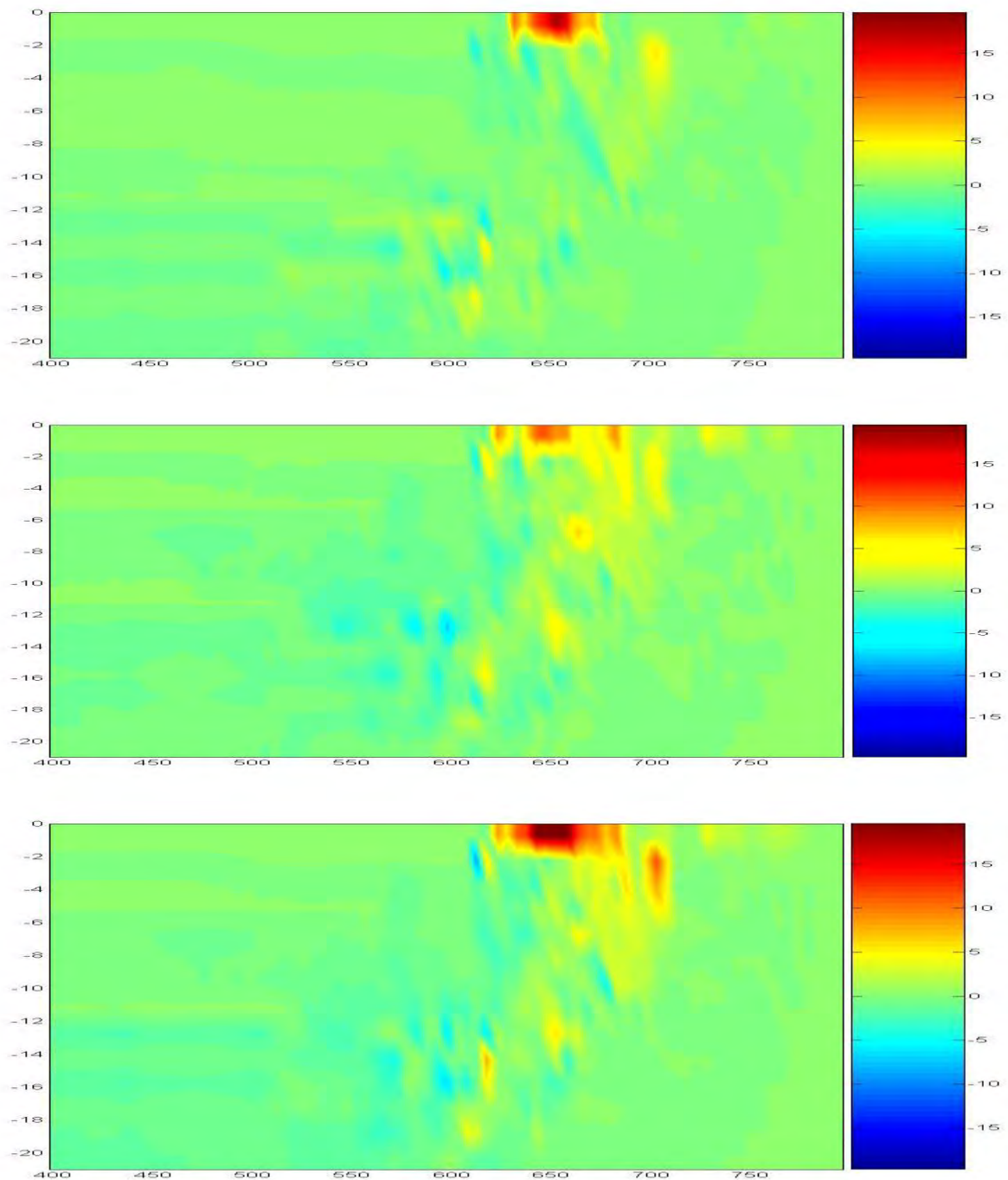
Uit figuur 6.9 waar de zoet-zoutwaterverdeling voorgesteld wordt juist voor het stilleggen van de extra 'oppervlakte drainage', na 180 dagen uitzetten ervan en terug na 180 dagen aanzetten ervan, blijkt dat het algemene beeld nauwelijks veranderd is. Let wel op de zoetwaterstijghoogten (witte contourlijnen) die wel veranderen. Om een beter beeld te krijgen van de kleine wijzigingen in de zoet-zoutwaterverdeling werden de toenames van het zoutwaterpercentage uitgezet (zie figuur 6.10) in een verticale doorsnede in een beperkt venster omheen de verbrede drainagesloot. Hierdoor is het wel mogelijk om vast te stellen dat het zoutwaterpercentage toeneemt in de onmiddellijke omgeving van de verbrede drainagesloot tijdens de periode van 180 stilleggen en eveneens gedurende de periode van heropstarten van de extra 'oppervlakte drainage' en dus ook gedurende de ganse gesimuleerde periode van 360 dagen. De grootste toename in zoutwaterpercentage is dus gelegen rond het verbrede drainagekanaal en bedraagt maximum 20%.

Omringend poldergebied verbrede drainage sloot ↓ ↓ dijk ↓ Zwinuitbreiding



Figuur 6.9 Zoutwaterpercentage (kleuren) en zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen) juist voor het stilleggen van de extra ‘oppervlakte drainage’ (boven), op het einde van de periode van 180 dagen na het stilleggen van de extra ‘oppervlakte drainage’ (midden) en na 180 dagen daaropvolgend terug toepassen van de extra ‘oppervlakte drainage’ (onder).

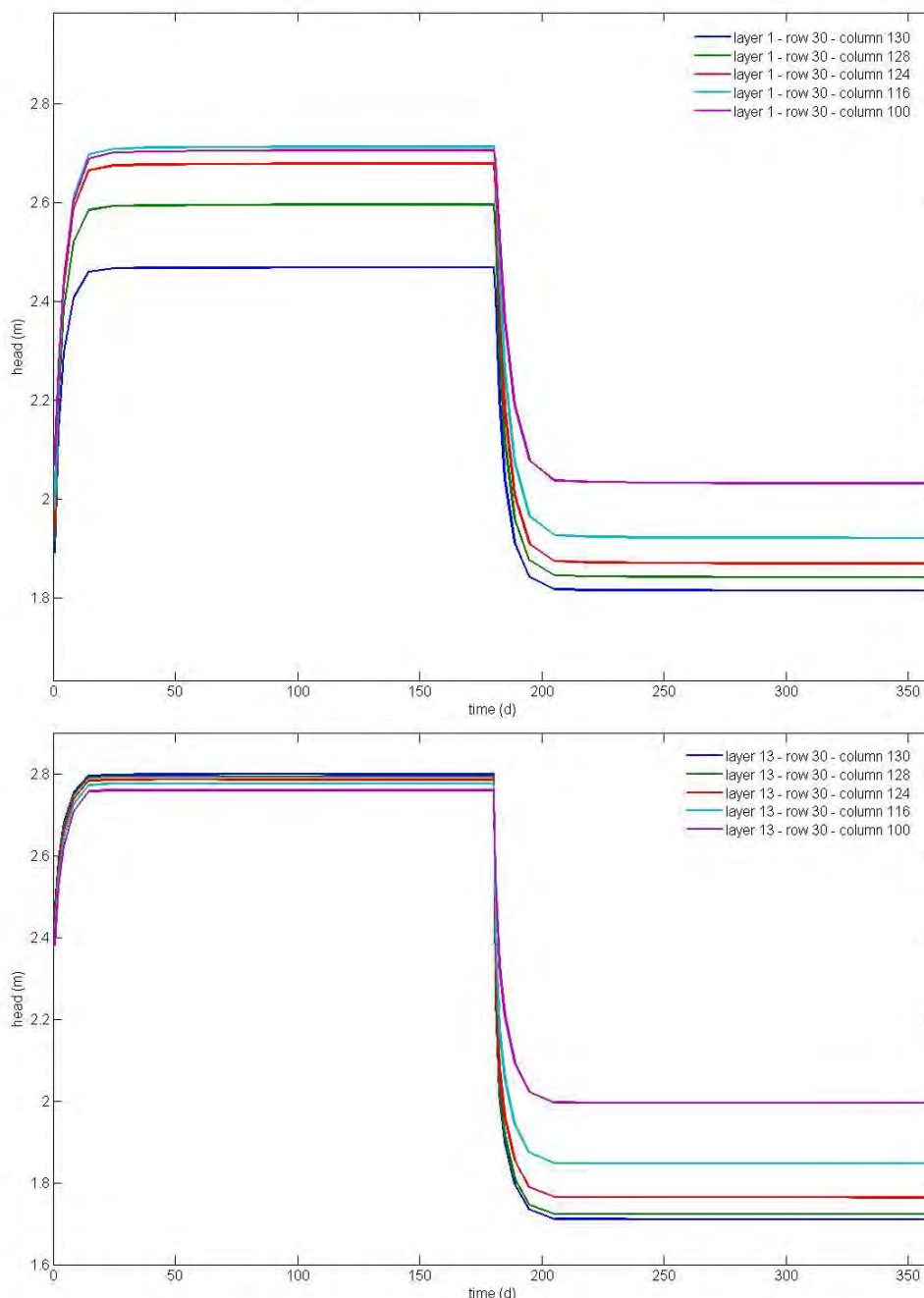
Omringend poldergebied verbrede drainage sloot ↓ ↓ dijk ↓ Zwinuitbreiding



Figuur 6.10 Toename van zoutwaterpercentage gedurende de 180 dagen dat de extra 'oppervlakte drainage' stil ligt (boven), toename van het zoutwaterpercentage gedurende de daaropvolgende 180 dagen dat de extra 'oppervlakte drainage' terug werkt (midden) en toename van het zoutwaterpercentage gedurende de 360 dagen dat de extra 'oppervlakte drainage' 180 dagen stil ligt en daarna 180 dagen terug werkt. Let er op dat slechts een gedeelte van het gemodelleerde gebied in de verticale doorsnede weergegeven wordt tussen $x = 400$ m en $x = 800$ m.

6.2.2 Simulatie van de effecten bij een tijdelijke stop van de extra 'diepe drainage'

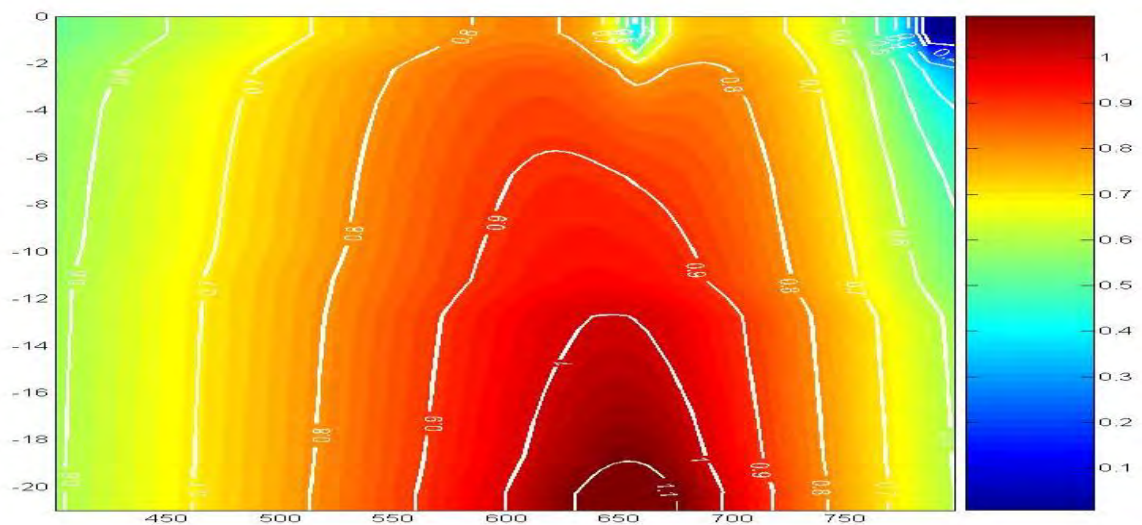
Bij de aanvang van de simulatie veronderstellen we een zoet-zoutwaterverdeling en een zoetwaterstijghoogte zoals we gesimuleerd hebben na 25 jaar extra 'diepe drainage'. Hierbij zijn om de 60 meter pompputten geplaatst aan de dijkvoet. Alle pompputten hebben filters tussen -15.7 m TAW of -18 m NAP en de top van het Bartoonaquifersysteem. Op iedere put wordt gepompt met een debiet van 90 m³/d. Dit stemt overeen met een debiet van 1.5 m³/d per meter lengte van de dijk.



Figuur 6.11 Schommeling van de zoetwaterstijghoogte in laag 1 (watertafel, bovenste grafiek) en laag 13 (in onderste gedeelte van de freatische aquifer die rechtstreeks aangepompt wordt, onderste grafiek) bij het 180 dagen afzetten van de extra 'diepte drainage' gevolgd door het terug aanzetten van de extra 'diepte drainage'. Kolom 130 ligt op 12.5 m van de putten van de extra 'diepte drainage'; de kolommen 128, 124, 116 en 100 liggen op respectievelijk 22.5, 42.5, 82.5 en 163 m van de diepe drainage.

Gedurende de eerste 180 dagen van deze simulatie wordt de extra 'diepe drainage' uitgeschakeld. Na deze 180 dagen wordt de 'diepe drainage' terug aangezet. Om deze blokgolf van 180 dagen uitschakelen extra 'diepe drainage' gevolgd door 180 dagen terug aanzetten ervan nauwkeurig te simuleren, wordt de beschouwde periode van 360 dagen terug ingedeeld in twintig belastingsperiodes. Iedere periode van 180 dagen werd opgedeeld in tien belastingsperiodes. Juist na het uitschakelen en juist na het terug aanzetten van de extra 'diepe drainage' is de beschouwde belastingsperiode het kleinst (namelijk 0.57 d). Daarna neemt de duur van de opeenvolgende belastingsperiodes toe (namelijk 1.696 d, 2.262 d, 3.958 d, 6.219 d, 10.18 d, 16.40 d, 26.57 d, 42.97 d en 69.54 d).

Omringend poldergebied ongewijzigde drainage sloot ↓ ↓ dijk ↓ Zwinuitbreiding



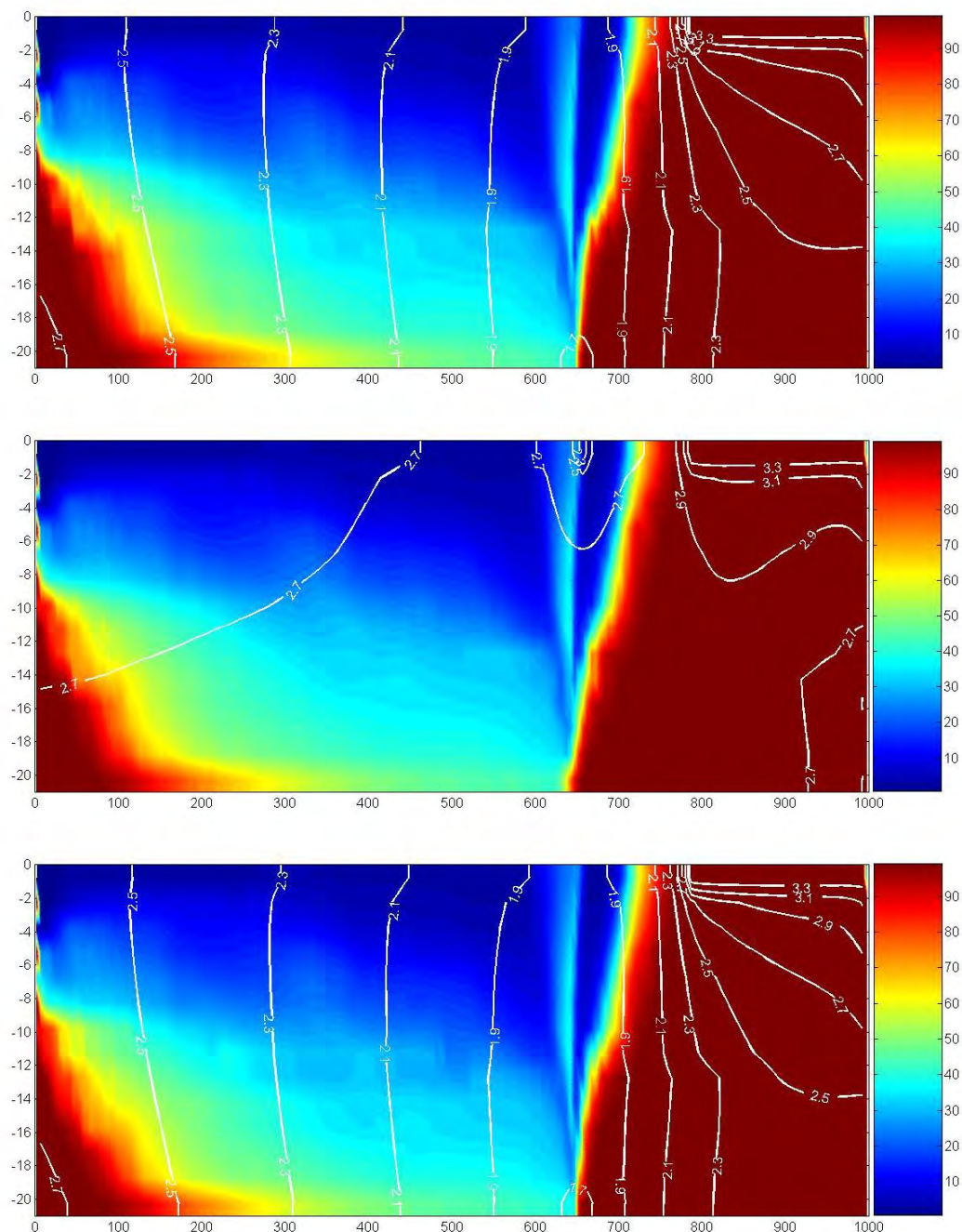
filter van pompput van diepe drainage ↑

Figuur 6.12 Toename van zoetwaterstijghoogte (in m) na 180 d afzetten van de extra 'diepe drainage' in een verticale doorsnede loodrecht op het kanaal. Verticale doorsnede is gelokaliseerd in het midden tussen twee pompputten van de extra 'diepe drainage'. Let er op dat slechts een gedeelte van het gemodelleerde gebied in de verticale doorsnede weergegeven wordt tussen $x = 400$ m en $x = 800$ m.

Door simulatie van deze blokgolf wordt aangetoond dat de watertafel over een relatief gebied gecontroleerd kan worden door een variatie van onttrokken debiet op de putten van de extra 'diepe drainage'. Dit gebied is veel groter dan het gebied beïnvloed door de extra 'oppervlakte drainage' (vergelijk figuur 6.11 met figuur 6.7 en figuur 6.12 met figuur 6.8). Uit de grafiek voorgesteld in figuur 6.11 blijkt dat de watertafel (laag 1) anders reageert dan de zoetwaterstijghoogte in het onderste gedeelte van de freatische laag (laag 13). Dit komt nog beter tot uiting bij figuur 6.12 waar de toename van de zoetwaterstijghoogte voorgesteld is in een verticale doorsnede in een beperkt venster omheen de putten van de 'diepe drainage' en de ongewijzigde drainagesloot aan de dijkvoet. In het onderste gedeelte van de freatische laag is de laterale invloed van de extra 'diepe drainage' het grootst. Onder de Zwinuitbreiding wordt de laterale invloed beperkt doordat de zoetwaterstijghoogte er bovenaan bepaald wordt door de infiltratie van zout en brak water. Naar de omringende polders toe is er een grote laterale invloed doordat de zoetwaterstijghoogte er bovenaan enkel beïnvloed wordt door de heropvulling van zoet water en door de drainage. Op ca 300 meter van de duinvoet is er nog een toename van de zoetwaterstijghoogte van 0.5 m. Ter hoogte van de ongewijzigde drainage sloot vertoont de toename van de zoetwaterstijghoogte er een minimum.

Omringend poldergebied

ongewijzigde drainagesloot ↓ ↓ dijk ↓ Zwinuitbreiding



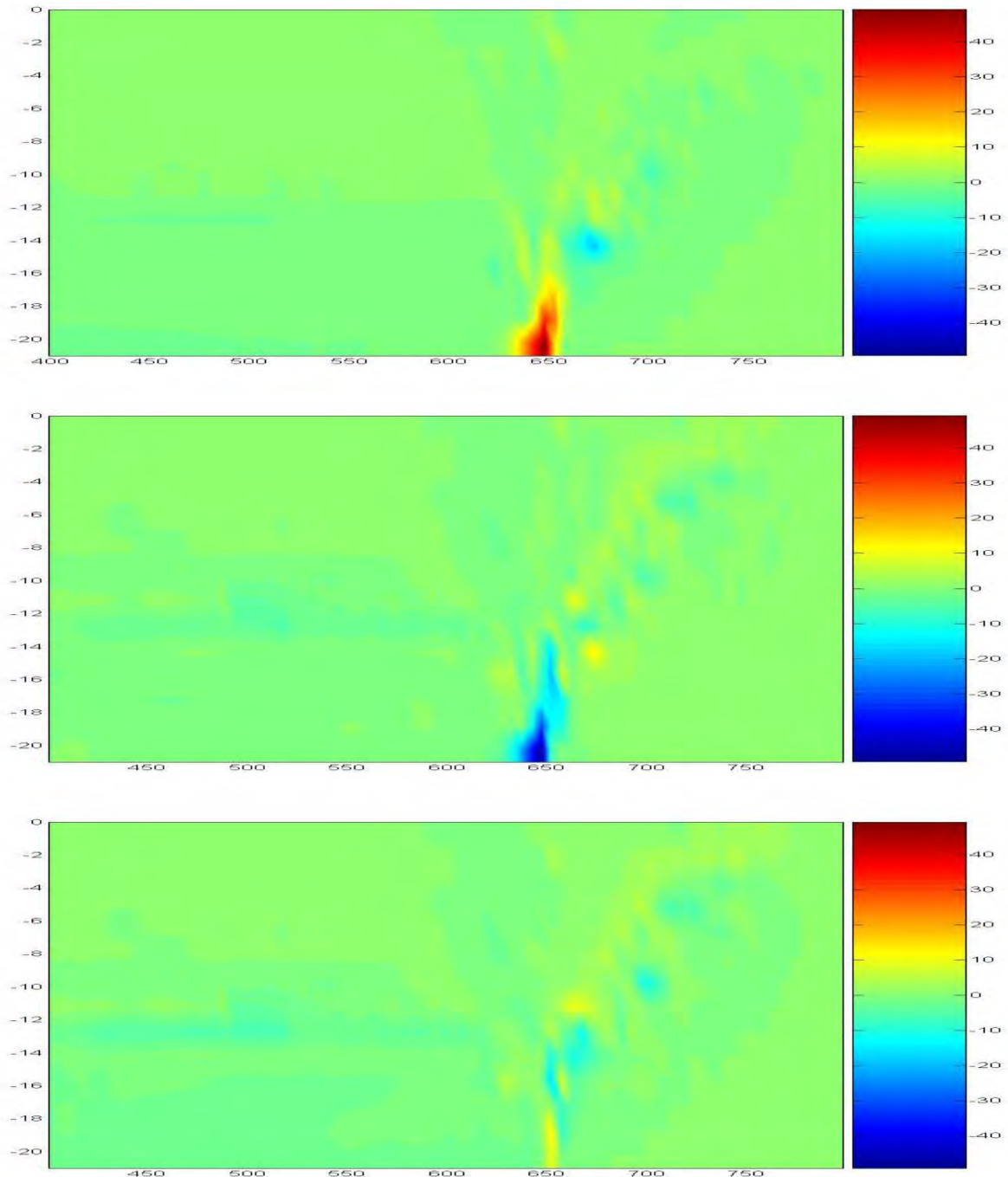
filter van pompput van diepe drainage ↑

Figuur 6.13 Zoutwaterpercentage (kleuren) en zoutwaterstijghoogte (witte contourlijnen) juist voor het stilleggen van de extra 'diepe drainage' (boven), op het einde van de periode van 180 dagen na het stilleggen van de extra 'diepe drainage' (midden) en na 180 dagen daaropvolgend terug toepassen van de extra 'diepe drainage' (onder).

Ook hier blijkt uit figuur 6.13 dat het algemene beeld van de zoet-zoutwaterverdeling nauwelijks verandert ten gevolge van het 180 dagen afzetten en dan terug 180 dagen aanzetten van de extra 'diepe drainage'. Daarentegen verandert de zoutwaterstijghoogteconfiguratie (witte contourlijnen) wel sterk. Om een beter inzicht te krijgen over de laterale wijzigingen van de zoet-zoutwaterverdeling werden de toenames van het zoutwaterpercentage uitgezet in figuur 6.14. Deze verticale doorsnede is gesitueerd midden tussen twee pompputten en behelst een beperkt venster omheen de puttenbatterij van de extra 'diepe drainage' en omheen de ongewijzigde drainagesloot.

Door deze voostelling is het mogelijk om vast te stellen dat het zoutwaterpercentage toeneemt in het onderste gedeelte van de freatische aquifer door het stilleggen van de extra 'diepe drainage' (toename zoutwaterpercentage tot maximum 50%). Door het terug aanzetten van de extra 'diepe drainage' kan de verzilting echter weer geneutraliseerd worden (afname zoutwaterpercentage met 50% op zelfde plaats van toename). Dit blijkt ook uit het verschil van het zoutwaterpercentage vóór en na de beschouwde periode van 360 dagen (onderste deel figuur 6.14).

Omringend poldergebied ongewijzigde drainage sloot ↓ ↓ dijk ↓ Zwinuitbreiding



filter van pompput van diepe drainage ↑

Figuur 6.14 Toename van zoutwaterpercentage gedurende de 180 dagen dat de extra 'diepe drainage' stil ligt (boven), toename van het zoutwaterpercentage gedurende de daaropvolgende 180 dagen dat de extra 'diepe drainage' terug werkt (midden) en toename van het zoutwaterpercentage gedurende de 360 dagen dat de extra 'diepe drainage' 180 dagen stil ligt en daarna 180 dagen terug werkt. Let er op dat slechts een gedeelte van het gemodelleerde gebied in de verticale doorsnede weergegeven wordt tussen $x = 400$ m en $x = 800$ m.

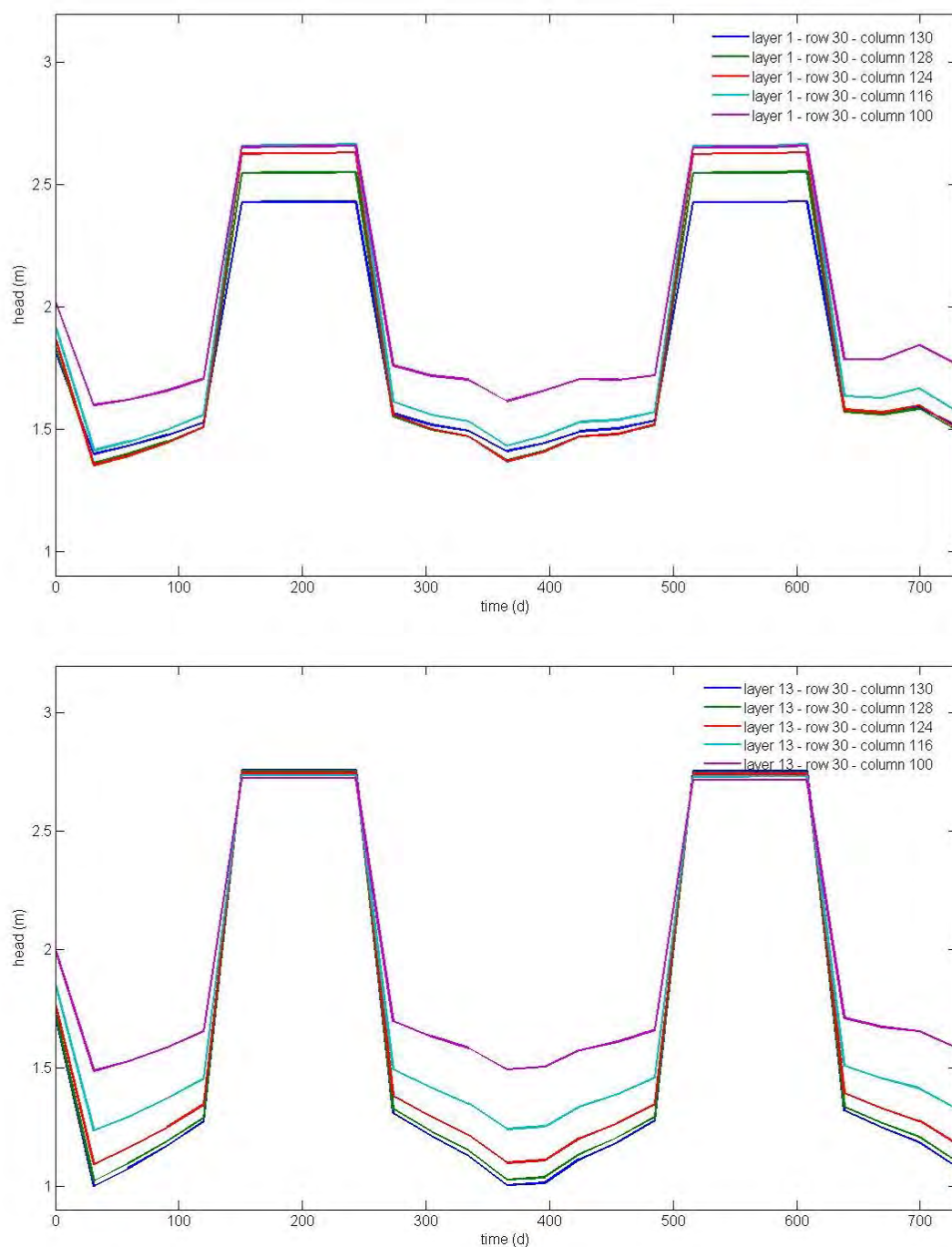
6.2.3 Afstelling van onttrokken debiet bij de extra 'diepe drainage' op de variërende heropvulling

Uit voorgaande simulatie van de fluctuaties van de watertafel bij de beschouwde blokgolf van het uit- en terug inschakelen van de extra 'diepe drainage' blijkt dat deze veel sterker kan beïnvloed worden dan door het uit- en terug inschakelen van de extra 'oppervlakte drainage'. Hierbij kan nu echter de vraag gesteld worden of door deze extra 'diepe drainage' aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding geen verdroging kan veroorzaken in het omringende poldergebied. Met de blokgolfsimulatie (deel 6.2.2) wordt enerzijds aangetoond dat door het drastisch verminderen van een debiet gedurende een periode van enkele maanden tot een half jaar er een zoutwaterintrusie kan ontstaan die echter zeer gemakkelijk kan geneutraliseerd worden door het terug aanzetten van de extra 'diepe drainage'. Anderzijds wordt stijghoogteverandering zeer sterk bepaald wordt door de grootte van het onttrokken debiet op de extra 'diepe drainage'. Aan de hand van deze blokgolfsimulatie kan de variatie van het debiet geoptimaliseerd worden bij een variërende heropvulling. Om het probleem van de verdroging te voorkomen kan vooral gepompt worden in de periode met grote heropvulling en kan tijdens periodes van geringe of geen heropvulling de extra 'diepe drainage' stilgelegd worden. Op een dergelijke wijze zal tijdens de periodes met een grote heropvulling zoet water 'geoogst' worden die nodig is voor het aanleggen van een dikke laag van zoet water onder de watertafel. Om dit systeem van 'alternerend pompen' op de extra 'diepe drainage' te illustreren werd een laatste simulatie uitgevoerd in het kleine modelgebied die gelegen is rond de westelijke grens van het uitbreidingsgebied van het Zwin.

Bij de aanvang van deze modellering wordt aangenomen dat de zoet-zoutwaterverdeling en de stijghoogteconfiguratie gelijk is aan deze bekomen na 25 jaar van toepassing van de extra 'diepe drainage' waarbij er putten aangelegd zijn om de zestig meter en waarop gemiddeld per put 90 m³/put gepompt wordt. Bij deze simulatie beschouwen we een periode van twee jaar waarbij zowel de heropvulling als het pompdebiet verschilt van maand tot maand. Hierbij veronderstellen we een variatie van de heropvulling en van het pompdebiet zoals weergegeven in Tabel 6.1. Deze beschouwde heropvullingvariatie is een gemiddelde variatie zoals afgeleid uit de hydrometeorologische gegevens van de luchtmachtbasis te Koksijde over een periode van twintig jaar (Lebbe, 1978).

Tabel 6.1 Maandelijks relatieve heropvulling t.o.v. de gemiddelde heropvulling van 250 mm/jaar en relatieve pompdebieten t.o.v. het gemiddelde debiet van 1.5 m³/d per meter lengte van de dijk

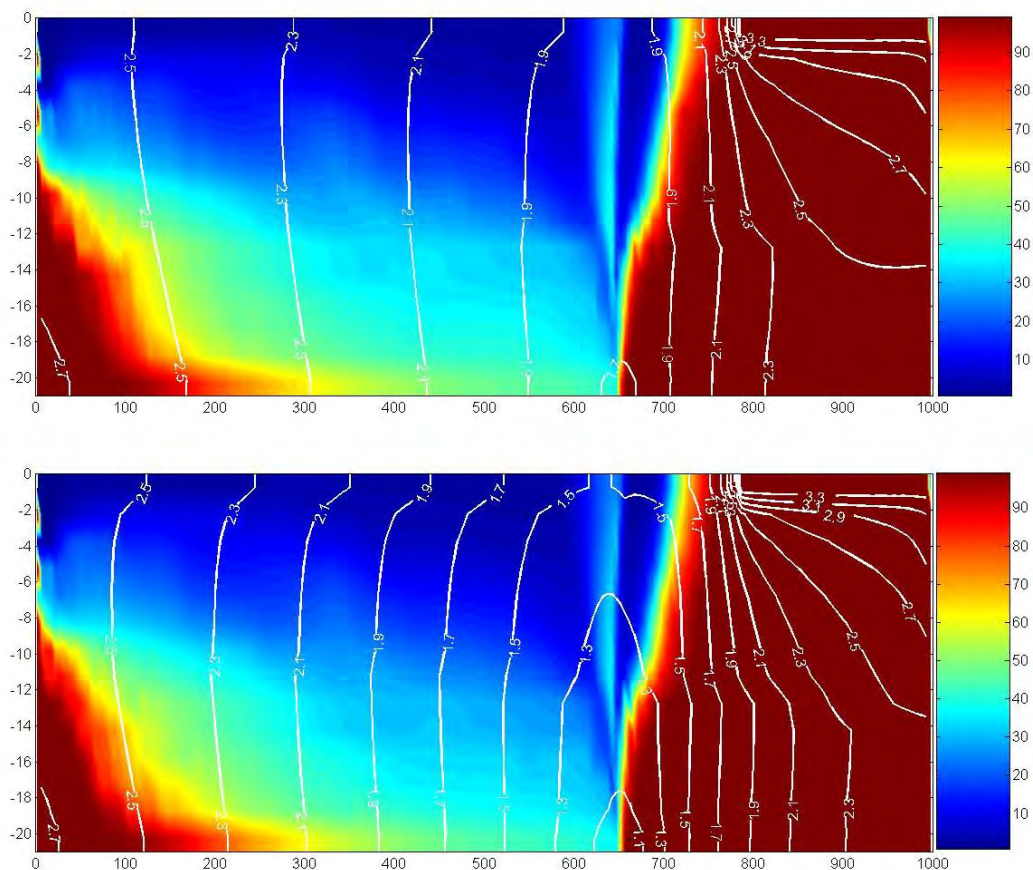
Maand	Relatieve heropvullingen	Relatieve pompdebieten
Januari	1.936	1.64
Februari	1.630	1.54
Maart	0.702	1.44
April	0.142	1.34
Mei	0.098	0.02
Juni	0.053	0.02
Juli	0.036	0.02
Augustus	0.204	0.02
September	0.422	1.34
Oktober	1.328	1.44
November	3.000	1.54
December	2.449	1.64



Figuur 6.15 Schommeling van de zoetwaterstijghoogte in laag 1 (watertafel, bovenste grafiek) en laag 13 (in onderste gedeelte van de freatische aquifer waarop rechtstreeks gepompt wordt, onderste grafiek) tijdens een periode van twee jaar waarbij zowel de heropvulling als de opgepompte debieten variëren zoals opgenomen in tabel 6.1 bij de extra 'diepte drainage'. Kolom 130 ligt op 12.5 m van de putten van de extra 'diepte drainage'; de kolommen 128, 124, 116 en 100 liggen op respectievelijk 22.5, 42.5, 82.5 en 163 m van de diepe drainage. Op de tijdsas komt het interval van 0 tot 120 dagen overeen met de maanden januari, februari, maart april van het eerst gesimuleerde jaar met pumping op de extra 'diepe drainage', het interval 120 tot 243 dagen met de maanden mei, juni, juli en augustus waarbij er nagenoeg niet gepompt wordt op de extra 'diepe drainage', etc.

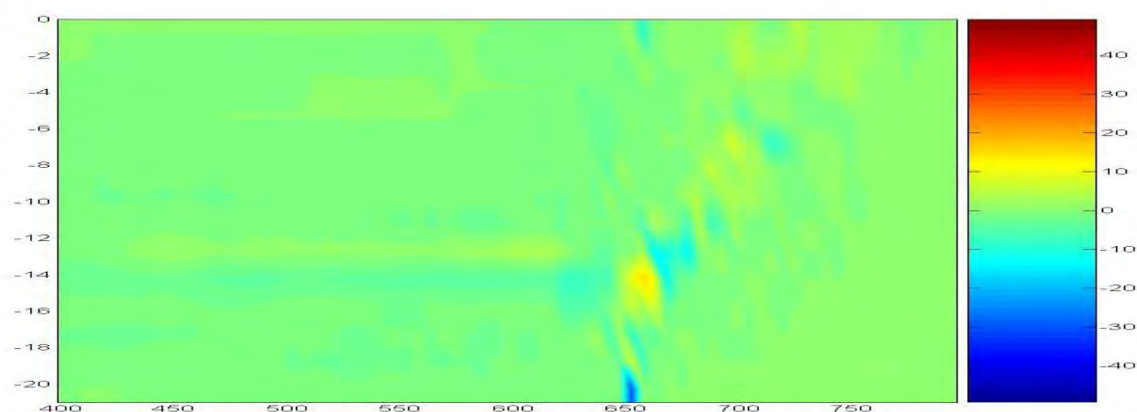
In figuur 6.15 wordt de schommeling van de zoetwaterstijghoogte in het onderste gedeelte van de freatische aquifer weergegeven (laag 13) samen met deze van de watertafel (laag 1). Tijdens de periodes met relatief grote heropvulling (maanden september, oktober, november, december, januari, februari, maart, april) wordt dus gepompt op de extra 'diepe drainage' en zakt de watertafel tot een peil onder 2.3 m TAW of 0 m NAP (vanaf 400 m van de batterij pompputten, zie figuur 6.16) tot een minimum van 1.5 m TAW of -0.8 m NAP (ter hoogte van batterij pompputten). Tijdens de periode van lage evapotranspiratie waarbij de plantengroei weinig behoefte heeft aan water en rond de periodes van inzaaien en oogsten wordt de watertafel door de extra 'diepe drainage' relatief laag gehouden. Tijdens de periode van relatief hoge evapotranspiratie en dus een grote waterbehoefte van de planten wordt niet gepompt op de extra 'diepe drainage' waardoor men een relatief hoge watertafel bekommt tussen 2.3 en 2.6 m TAW (0 en 0.3 m NAP, zie figuur 6.15). Daar er door de toepassing van de extra 'diepe drainage' in de natte periodes er zoet water is rond de watertafel en daar de waterstand relatief hoog is zal de plantengroei gemakkelijk voorzien worden van zoet water. Door de toepassing van de extra 'diepe drainage' zal niet alleen een voldoende dikke laag van zoet water gevormd worden onder de watertafel maar zal tevens de bestaande drainagesloten zoet water draineren en zal de schommeling van hun zoutgehalte zoals nu waargenomen sterk gereduceerd worden. Uit figuur 6.17 kan afgeleid worden dat de zoetwaterpercentages rond de puttenbatterij en de ongewijzigde drainagesloot nauwelijks veranderend zijn tijdens de tweejarige periode waarbij op putten van 'diepe drainage' met een veranderende debiet gepompt wordt en waarbij de heropvulling ook maandelijks varieert.

Omringend poldergebied verbrede drainage sloot ↓ ↓ dijk ↓ Zwinuitbreiding



Figuur 6.16 Zoutwaterpercentage (kleuren) en zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen) juist vóór het stilleggen voor de extra 'diepe drainage' met variërende pompdebieten en heropvulling (boven) en na twee jaar van extra 'diepe drainage' met variërende pompdebieten en heropvulling overeenkomstig tabel 6.1 (onder).

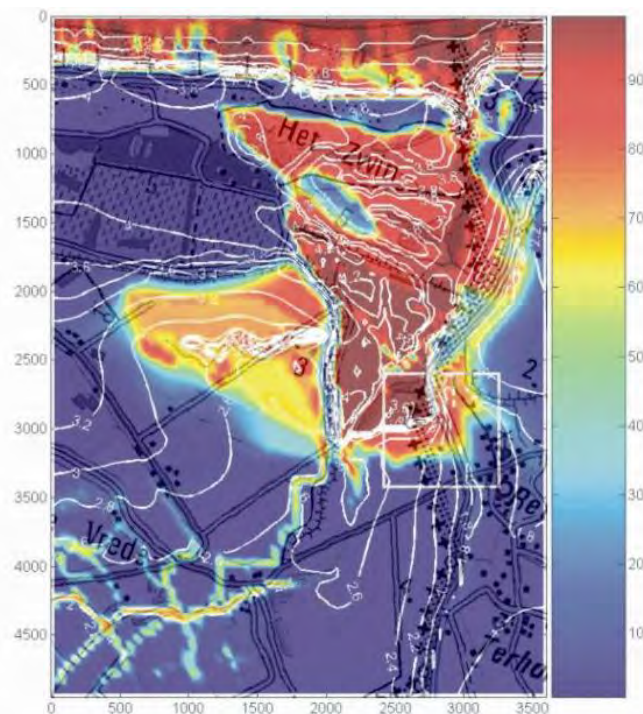
Omringend poldergebied verbrede drainage sloot ↓ ↓ dijk ↓ Zwinuitbreiding



Figuur 6.17 Toename van zoutwaterpercentage na twee jaar toepassen van extra 'diepe drainage' met variërende pompdebieten en heropvulling overeenkomstig tabel 6.1. Let er op dat slechts een gedeelte van het gemodelleerde gebied in de verticale doorsnede weergegeven wordt tussen $x = 400$ m en $x = 800$ m.

6.3 Detailmodellering aan de zuidoostelijke hoek van de Zwinuitbreiding

Bij de detailmodellering aan de zuidoostelijke hoek van de uitbreiding van het Zwin wordt ingezoomd op het 'groot' model (zie deel 5). De locatie van het venster wordt weergegeven in figuur 6.18. Het venster is een vierkant met een zijde van 780 m. Alle eindig-verschil cellen aangewend bij deze detailmodellering hebben dezelfde grootte; hun basisoppervlak is vierkant met een zijde van 6 m en een hoogte van 1.5 m. Het aangewende eindig-verschil netwerk heeft 130 kolommen en 130 rijen. De richtingshoek van de rijen vanuit het noorden naar het oosten is dezelfde als bij het 'groot' model en bedraagt 69° .



Figuur 6.18 Locatie van het venster (vierkant aangeduid met witte lijnen) waarbinnen de detailmodellering aan de zuidoostelijke hoek van de uitbreiding van het Zwin gebeurt op de figuur die de verspreiding van zoet en zout water weergeeft na 50 jaar uitbreiding van het Zwin zonder milderende maatregelen zoals berekend met het 'groot' model (zie deel 5). Het venster van het detailmodel ligt tussen $x = 2440$ en 3220 m en tussen $y = 2560$ en 3340 m van vorige 'groot' model.

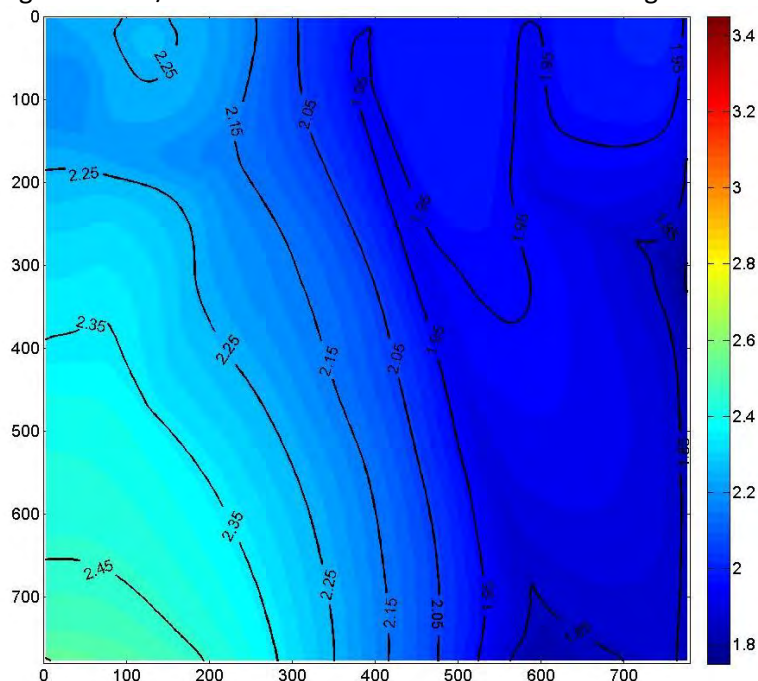
Het aantal beschouwde lagen en hun locatie is identiek als bij het groot model (zie deel 5). Er worden dus veertien lagen beschouwd en de grensvlakken tussen de lagen zijn horizontaal. De basis van de bovenste laag van het numerieke model is gelegen op 0.8 m TAW (-1.5 m NAP). De dikte van de bovenste laag van het numerieke model varieert (tussen 0.9 en 4.0 m) daar de top van deze laag overeenkomt met de watertafel. De modellagen 2 tot en met 13 hebben dezelfde dikte, namelijk 1.5m. De dikte van de onderste laag (Laag 14 van het numerieke model) varieert eveneens (tussen het peil -17.2 m TAW (-19.5 m NAP) en de basis van het beschouwde grondwaterreservoir, d.i. de top van het Bartoonaquitard systeem). Voor het opgeloste stoffen transport wordt een effectieve porositeit van 0.38 gebruikt. De longitudinale, transversale horizontale en transversaal verticale dispersiviteit zijn respectievelijk gelijk aan 0.3, 0.05 en 0.03 m. Ook deze parameters zijn identiek aan deze die aangewend zijn in de vorige studie (Lebbe *et al*, 2009).

Bij deze detailmodellering worden de volgende randvoorwaarden aangenomen. De onderste grens van de freatische laag wordt als een ondoorlatende grens beschouwd. De westelijk en noordelijke verticale grenzen worden beschouwd als ondoorlatende grenzen. Deze grensvoorwaarden werden zo gekozen omdat de grondwaterstroming in het 'groot' model (deel 5) evenwijdig is aan deze grenzen. De oostelijke verticale grens wordt beschouwd als grens met een constante stijghoogte. De aangewende waarden van de zoetwaterstijghoogten worden overgenomen uit het 'groot' model bij de simulatie van de Zwinuitbreiding. Ook de zoutwaterpercentages van het water dat vanuit deze grenzen in het modelgebied stroomt, worden eveneens uit het 'groot model' afgeleid. Door de relatieve nabijheid van de zuidelijke grens van het Zwinuitbreidingsgebied is het noodzakelijk deze als hybride te beschouwen. In het bovenste gedeelte van de freatische aquifer is de zuidelijke grens ondoorlatend en in de onderste helft is deze een constante stijghoogte. Aan de bovengrens van de freatische laag heersen dezelfde randvoorwaarden als bij het 'groot' model. In de polders wordt een constante zoetwaterflux beschouwd terwijl dat alle cellen gedraineerd worden. Onder de dijk wordt een instroom van zoetwater beschouwd zonder drainage. Onder het uitgebreide Zwin wordt een constante stijghoogtegrens aangenomen waarbij er zout water in het model stroomt. De zoetwaterstijghoogte wordt er bepaald door de hoogteligging van het maaiveld en door de fluctuaties van de waterstanden in het uitgebreide Zwin.

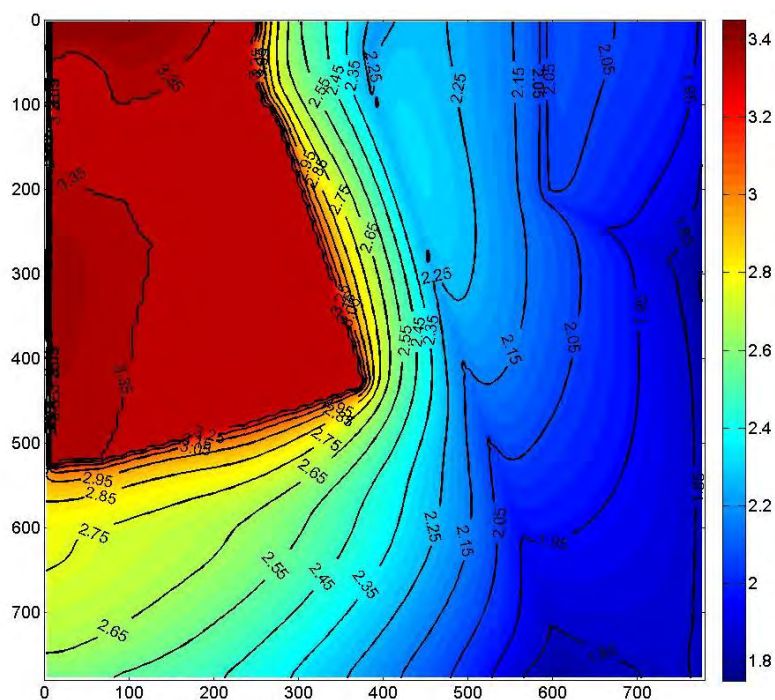
Met het detailmodel aan de zuidoostelijke hoek van de uitbreiding van het Zwin zullen drie simulaties uitgevoerd worden. Bij de eerste simulatie wordt de evolutie van de zoetwaterstijghoogte en van het zoutwaterpercentage gesimuleerd rekening houdend met de bestaande oppervlakte drainage in het gebied en met een zeespiegelstijging van 0.6 m/eeuw en dus zonder milderende maatregelen. Aanvankelijk was het ook hier de bedoeling om de twee verschillende alternatieven van extra drainage te simuleren, enerzijds het alternatief van extra 'oppervlakkige drainage' en anderzijds het alternatief van extra 'diepe drainage' zoals die het geval is aan de westelijke grens van het uitbreidingsgebied van het Zwin (zie deel 6.2). Wegens ruimtegebrek was het onmogelijk een extra brede kwelsloot aan te leggen en wordt de extra 'oppervlakkige drainage' hier niet in detail gemodelleerd. Daarom werd besloten om twee types van 'diepe drainage' te simuleren. Bij het eerste type beschouwen we een extra 'diepe drainage' met vrije uitstroming. Hierbij zal het de zoetwaterstijghoogte in de putten van het 'diepe drainage' systeem op dezelfde hoogte gehouden worden als de waterstand in het Uitwateringskanaal (op 1.7 m TAW of -0.6 m NAP). Bij het tweede type van extra 'diepe drainage' wordt er gepompt op de putten van de extra 'diepe drainage'. Door de simulaties van beide types worden de voor- en nadelen van beide types van extra 'diepe drainage' bestudeerd.

6.3.1 Detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding zonder milderende maatregelen

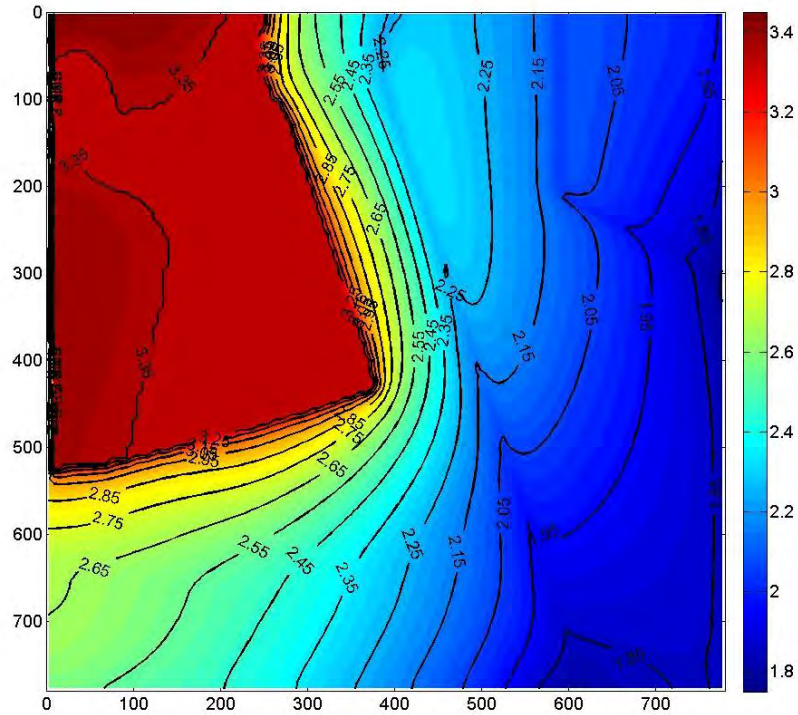
Bij deze simulatie wordt de evolutie van de zoetwaterstijghoogte en van het zoutwaterpercentage gesimuleerd rekening houdend met de bestaande oppervlakte drainage in het gebied en met een zeespiegelstijging van 0.6 m/eeuw en dus zonder milderende maatregelen.



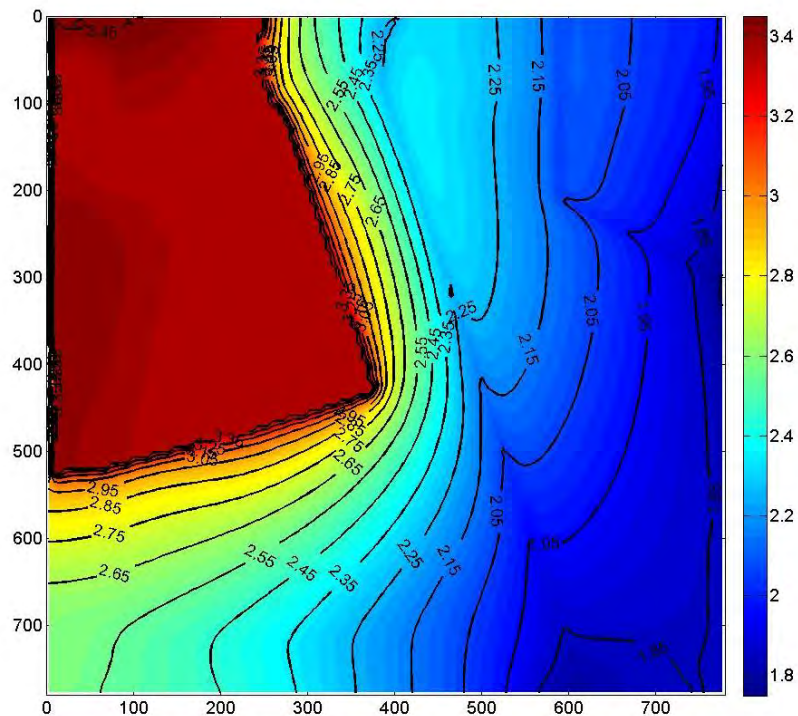
Figuur 6.19 Huidige zoetwaterstijghoogte voorgesteld door contourlijnen en kleurschaal in laag 1 (watertafel, in m TAW, $x \text{ m TAW} = (x - 2.30) \text{ m NAP}$) gesimuleerd met het detailmodel aan de zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding.



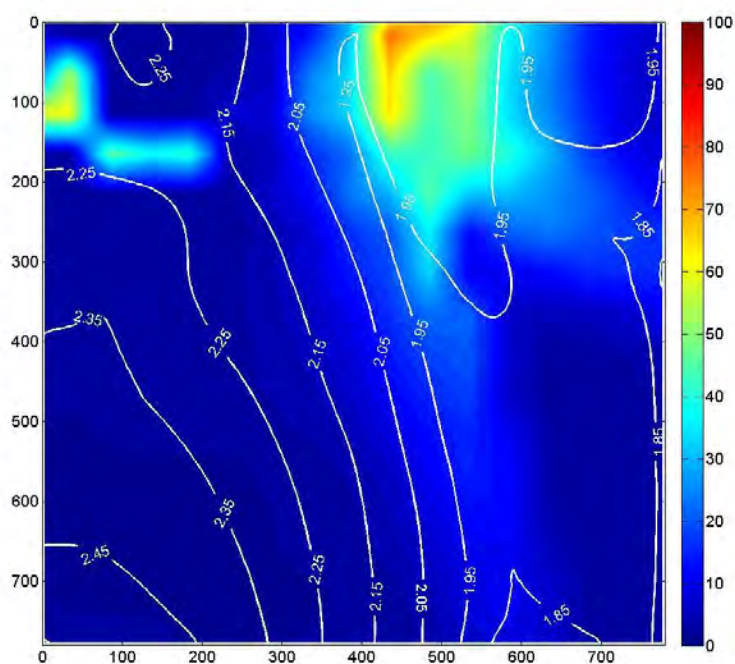
Figuur 6.20 Zoetwaterstijghoogte voorgesteld door contourlijnen en kleurschaal in laag 1 (watertafel, in m TAW, $x \text{ m TAW} = (x - 2.30) \text{ m NAP}$) gesimuleerd met het detailmodel aan de zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding **na 5 jaar** uitbreiding van het Zwin zonder milderende maatregelen.



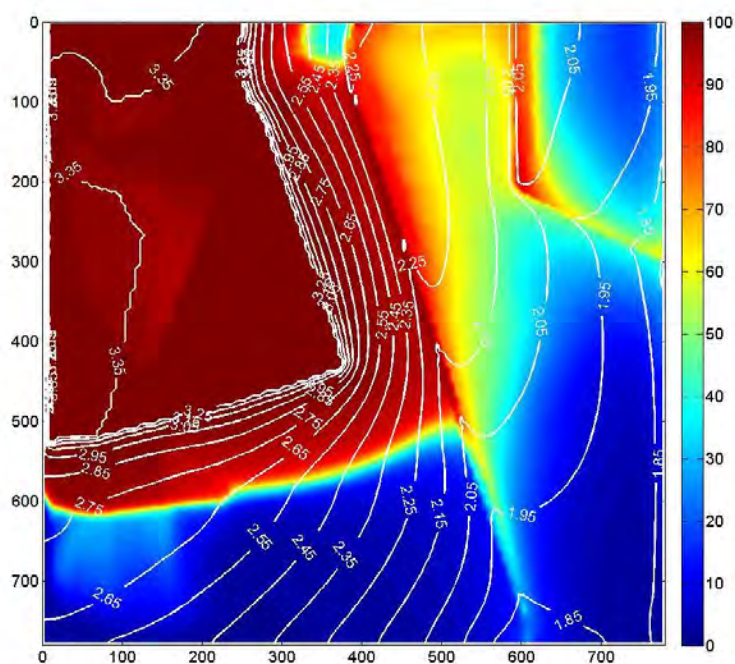
Figuur 6.21 Zoetwaterstijghoogte voorgesteld door contourlijnen en kleurenschaal in laag 1 (watertafel in m TAW, x m TAW = $(x - 2.30)$ m NAP)) gesimuleerd met het detailmodel aan de zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding **na 10 jaar** uitbreiding van het Zwin zonder milderende maatregelen.



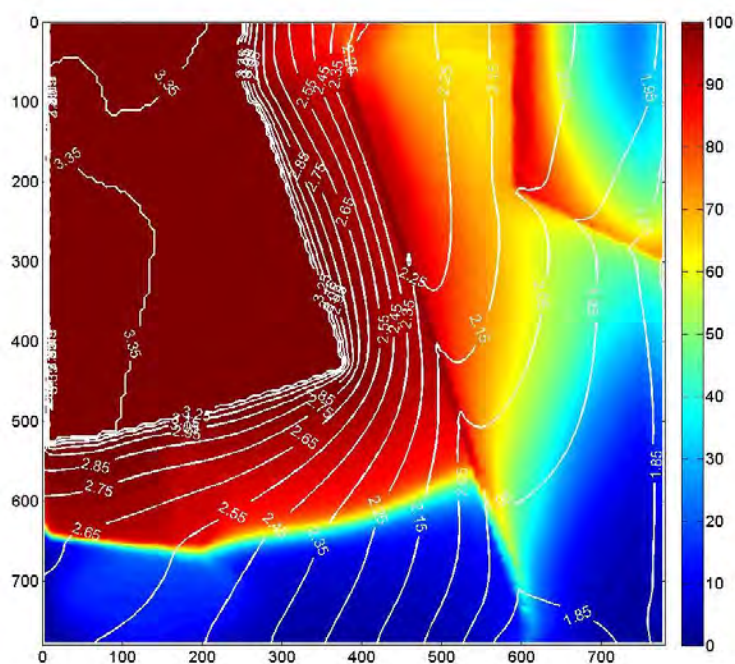
Figuur 6.22 Zoetwaterstijghoogte voorgesteld door contourlijnen en kleurenschaal in laag 1 (watertafel in m TAW, x m TAW = $(x - 2.30)$ m NAP)) gesimuleerd met het detailmodel aan de zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding **na 20 jaar** uitbreiding van het Zwin zonder milderende maatregelen.



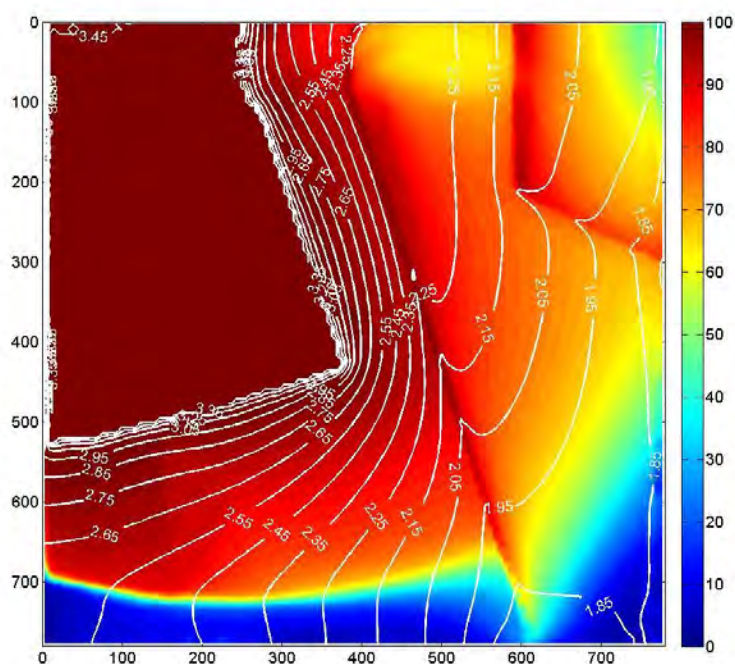
Figuur 6.23 Huidige zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in laag 1 (rond 1.5 m TAW of -0.8 m NAP) gesimuleerd met detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen).



Figuur 6.24 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in laag 1 (rond 1.5 m TAW of -0.8 m NAP) gesimuleerd met detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen) **na 5 jaar** uitbreiding van het Zwin zonder milderende maatregelen.



Figuur 6.25 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in laag 1 (rond 1.5 m TAW of -0.8 m NAP) gesimuleerd met detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen) na 10 jaar uitbreiding van het Zwin zonder milderende maatregelen.

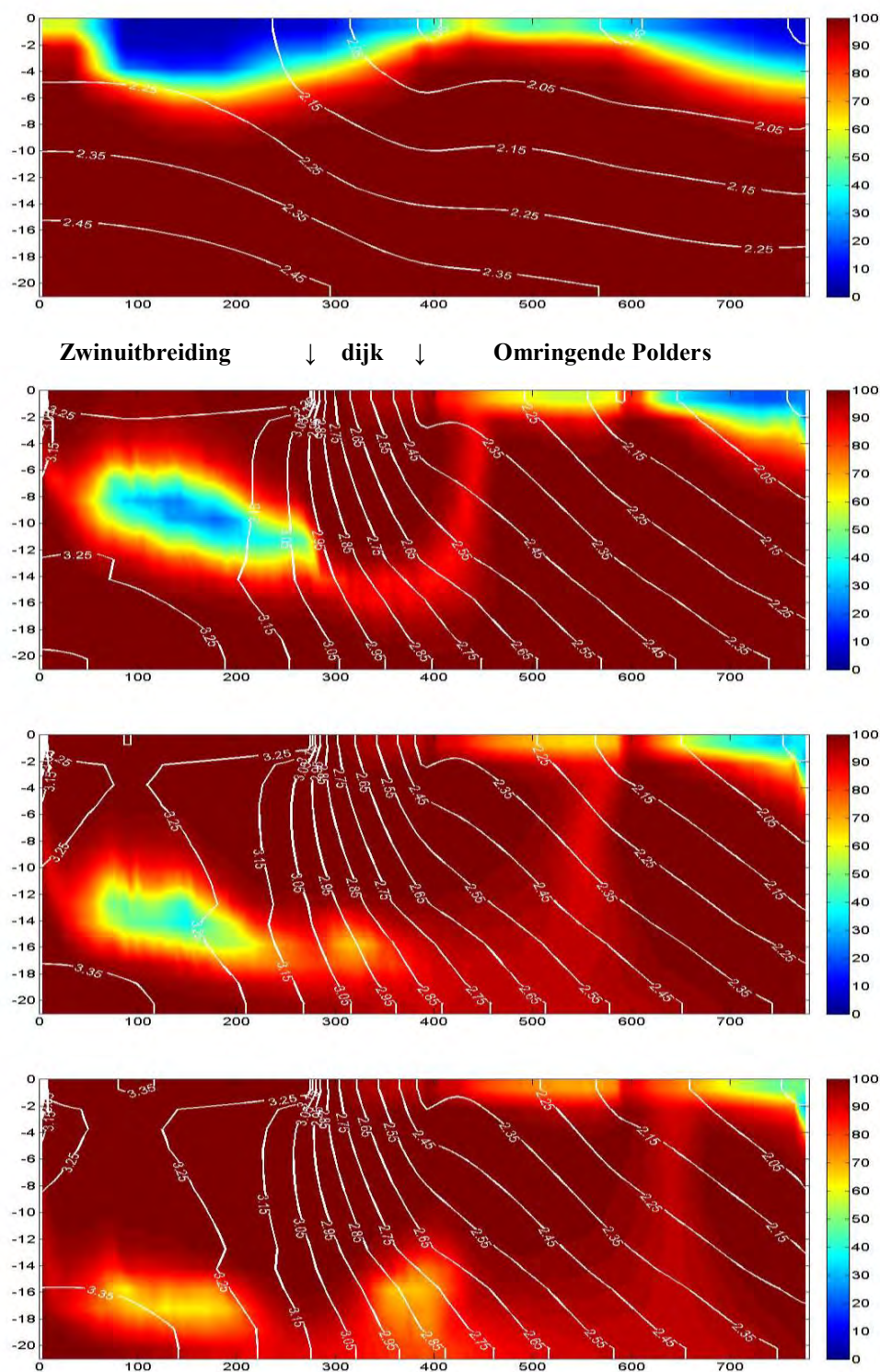


Figuur 6.26 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in laag 1 (rond 1.5 m TAW of -0.8 m NAP) gesimuleerd met detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen) na 20 jaar uitbreiding van het Zwin zonder milderende maatregelen.

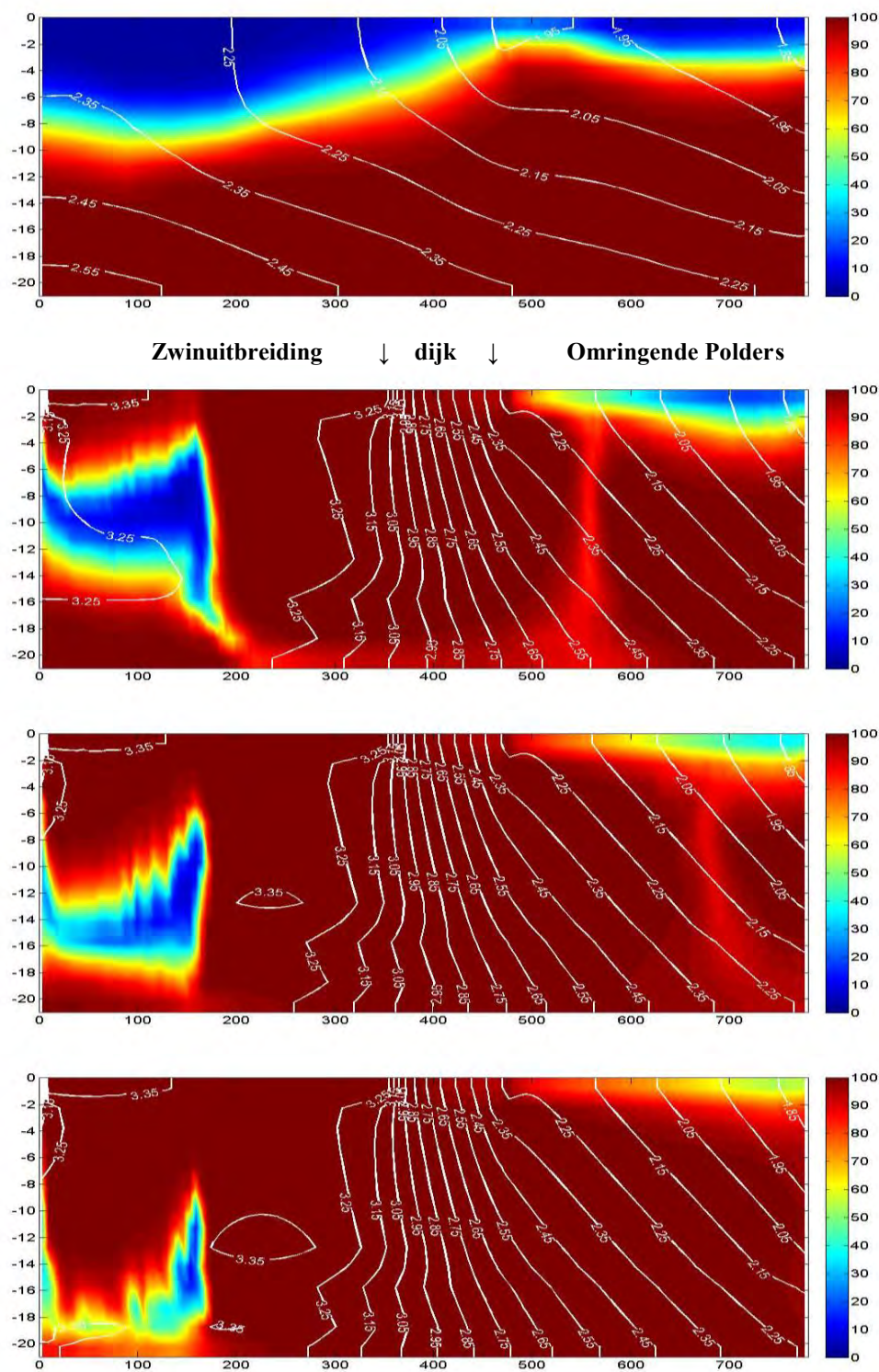
Figuur 6.19 geeft de huidige gemiddelde watertafelstand weer zoals berekend door het detailmodel aan de zuidoostelijke hoek van de Zwinuitbreiding. De evolutie van de watertafel na uitbreiding van het Zwin zonder milderende maatregelen wordt weergegeven in de figuren 6.20 tot en met 6.22 na respectievelijk 5, 10 en 20 jaar van uitbreiding. Figuur 6.23 stelt het huidige zoutwaterpercentage voor. In de figuren 6.24 tot en met 6.26 wordt de evolutie van zoutwaterpercentage weergegeven na de Zwinuitbreiding zonder milderende maatregelen na respectievelijk 5, 10 en 20 jaar van uitbreiding

Deze resultaten bevestigen de resultaten bekomen door het groot model (deel 5). In de omringende polders zien we dat de stijghoogte toeneemt en dat het zoutwaterpercentage in de bovenste laag (laag 1 van het numerieke model) over een groot gebied toeneemt. In de figuren 6.27, 6.28 en 6.29 zien we de evolutie van de zoetwaterstijghoogte en het zoutwaterpercentage in die verschillende doorsneden. In de eerste doorsnede wordt de evolutie gegeven in rij 20 (fig. 6.27) in de tweede doorsnede in rij 60 (figuur 6.28). In beide doorsneden zien we hoe de zoetwaterlens die voor de uitbreiding van het Zwin aanwezig is, in het bovenste gedeelte van de freatische aquifer verdrongen wordt naar het onderste gedeelte van de freatische aquifer om vervolgens lateraal te stromen onder het omringende poldergebied. Bij deze zuidoostelijke hoek is er onder het omringende polders een grote laterale gradiënt van zoetwaterstijghoogte waardoor er een grote laterale stroming van zout water bestaat vanuit de Zwinuitbreiding over het grootste gedeelte van de freatische laag die de grote laterale uitbreiding van het gebied met zout kwel verklaard.

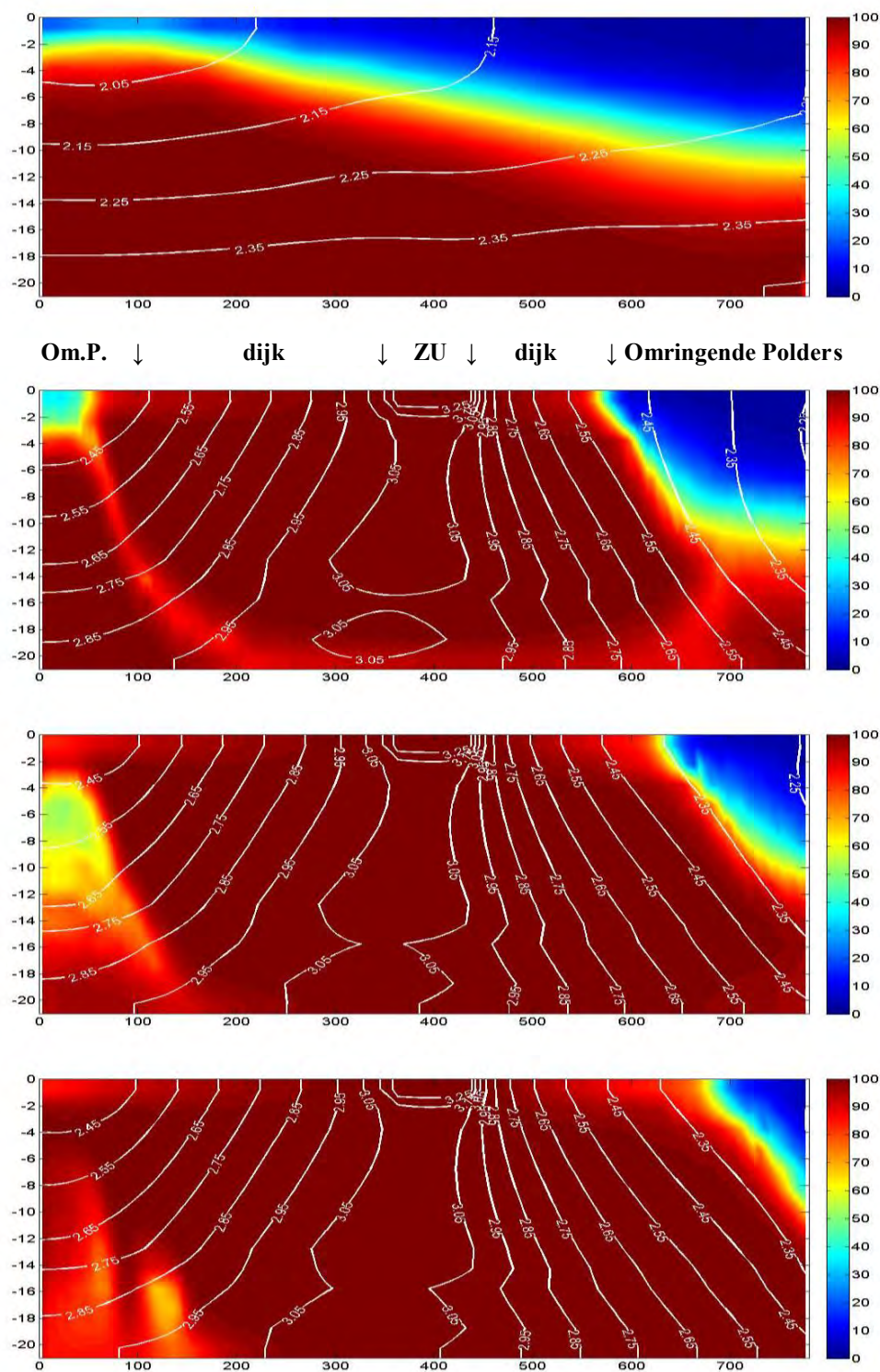
Figuur 6.29 heeft de evolutie van de zoetwaterstijghoogte en het zoutwaterpercentage in kolom 60 weer. Deze kolom loopt over de zuidoostelijke punt van de Zwinuitbreiding en onder een groot gedeelte van de dijk. Onder deze zuidoostelijke punt is de zoetwaterstijghoogte het grootst in de top van de freatische aquifer waar zout water infiltreert. Het zoet water dat oorspronkelijk in de top van de aquifer aanwezig is, wordt langs zowel in het noorden, zuiden alsook het oosten (zie figuren 6.24, 6.25 en 6.26) verdrongen. In de omringende polders breidt de zone met zoute kwel zich lateraal uit.



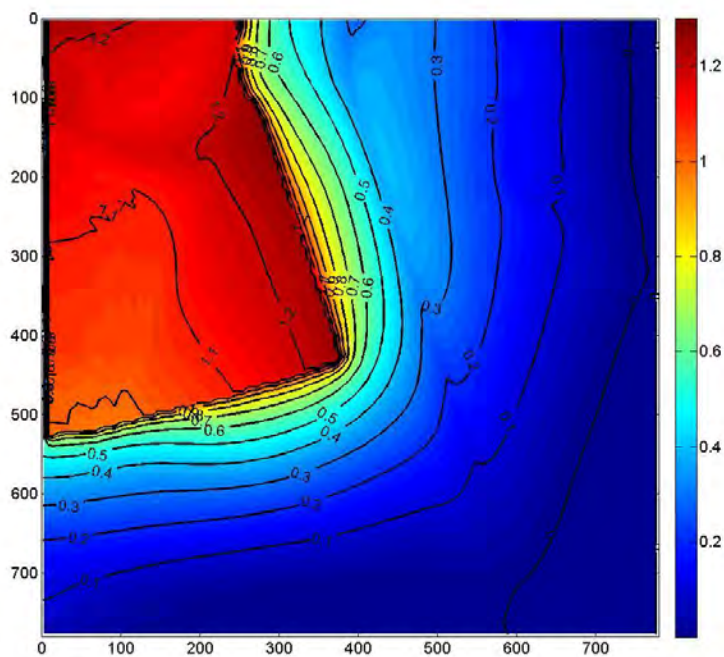
Figuur 6.27 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in **rij 20** van detailmode ($y = 117$ m) aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen). Huidige toestand (bovenste doorsnede), na 5 jaar (boven midden), na 10 jaar (onder midden) en 15 jaar (onderste doorsnede)uitbreiding zonder milderende maatregelen. Westen is links van doorsnede gelegen; oosten rechts.



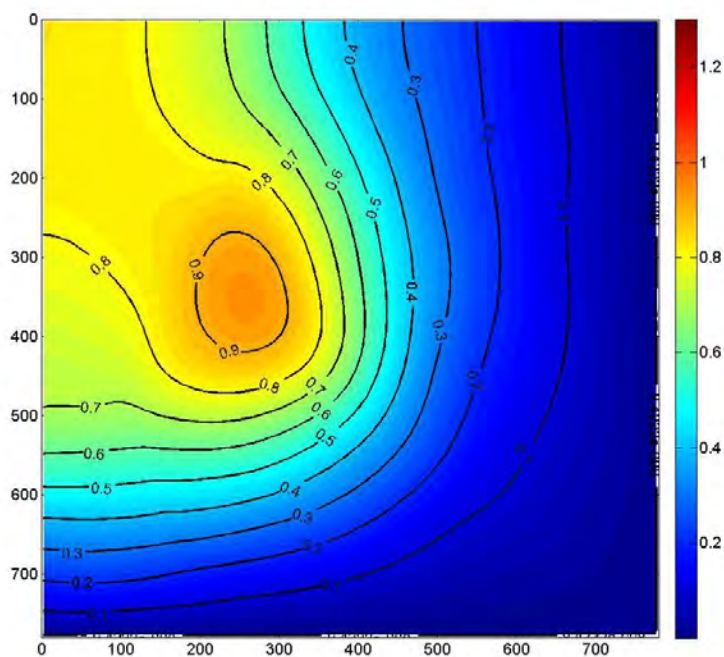
Figuur 6.28 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in rij 60 van detailmodel ($y = 357$ m) aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen). Huidige toestand (bovenste doorsnede), na 5 jaar (boven midden), na 10 jaar (onder midden) en 15 jaar (onderste doorsnede) uitbreiding zonder milderende maatregelen. Westen is links van doorsnede gelegen; oosten rechts.



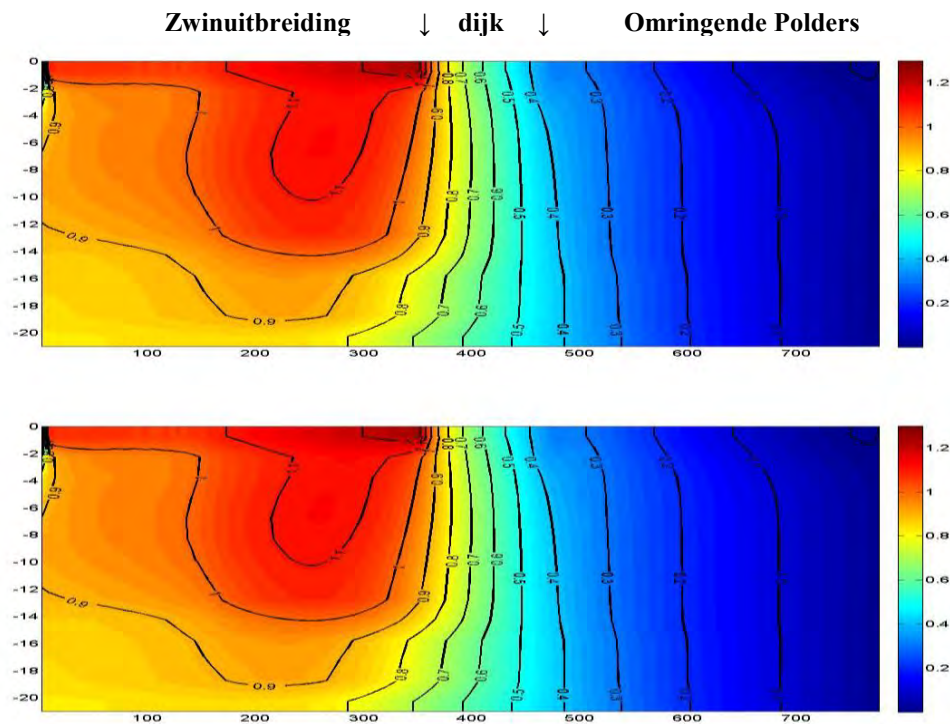
***Figuur 6.29** Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in **kolom 60** van detailmodel ($x = 357$ m) aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen). Huidige toestand (bovenste doorsnede), na 5 jaar (boven midden), na 10 jaar (onder midden) en 15 jaar (onderste doorsnede) uitbreiding zonder milderende maatregelen. **Om.P.** staat voor omringende polders, **ZU** voor de zuidoostelijke punt van de Zwinuitbreiding. Noorden is links van doorsnede gelegen; zuiden rechts.*



Figuur 6.30 Toename van de zoetwaterstijghoogte (kleurenschaal en contourlijnen) in laag 1 (watertafel) van detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding. Na 5 jaar Zwinuitbreiding zonder milderende maatregelen.



Figuur 6.31 Toename van de zoetwaterstijghoogte (kleurenschaal en contourlijnen) in laag 10 van detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding. Na 5 jaar Zwinuitbreiding zonder milderende maatregelen.

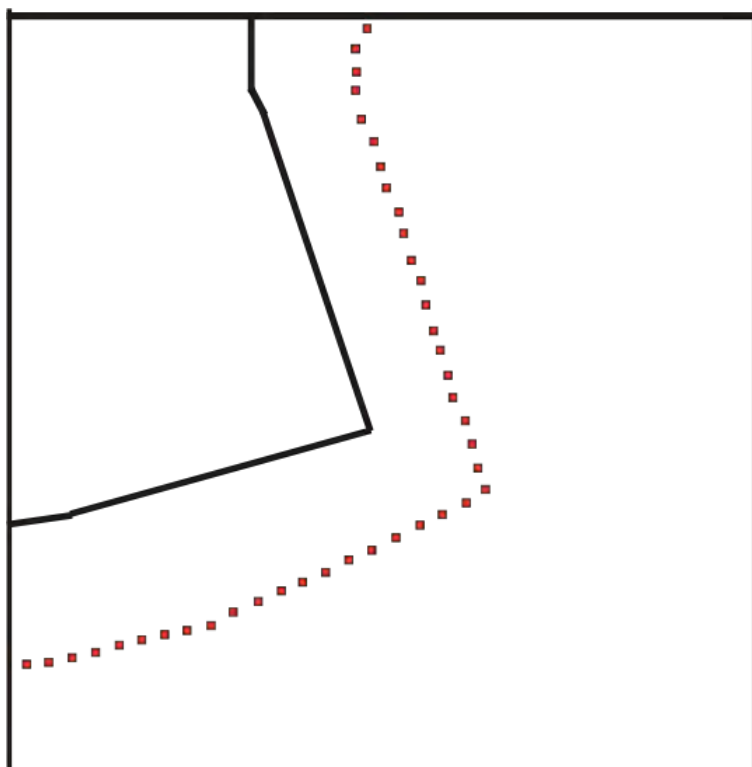


Figuur 6.32 Toename van de zoetwaterstijghoogte (kleurenschaal en contourlijnen) in **rij 60** van detailmodel ($y = 357$ m) aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding. Na 5 jaar (boven) en na 25 jaar (onder) uitbreiding zonder milderende maatregelen. Westen is links van doorsnede gelegen; oosten rechts.

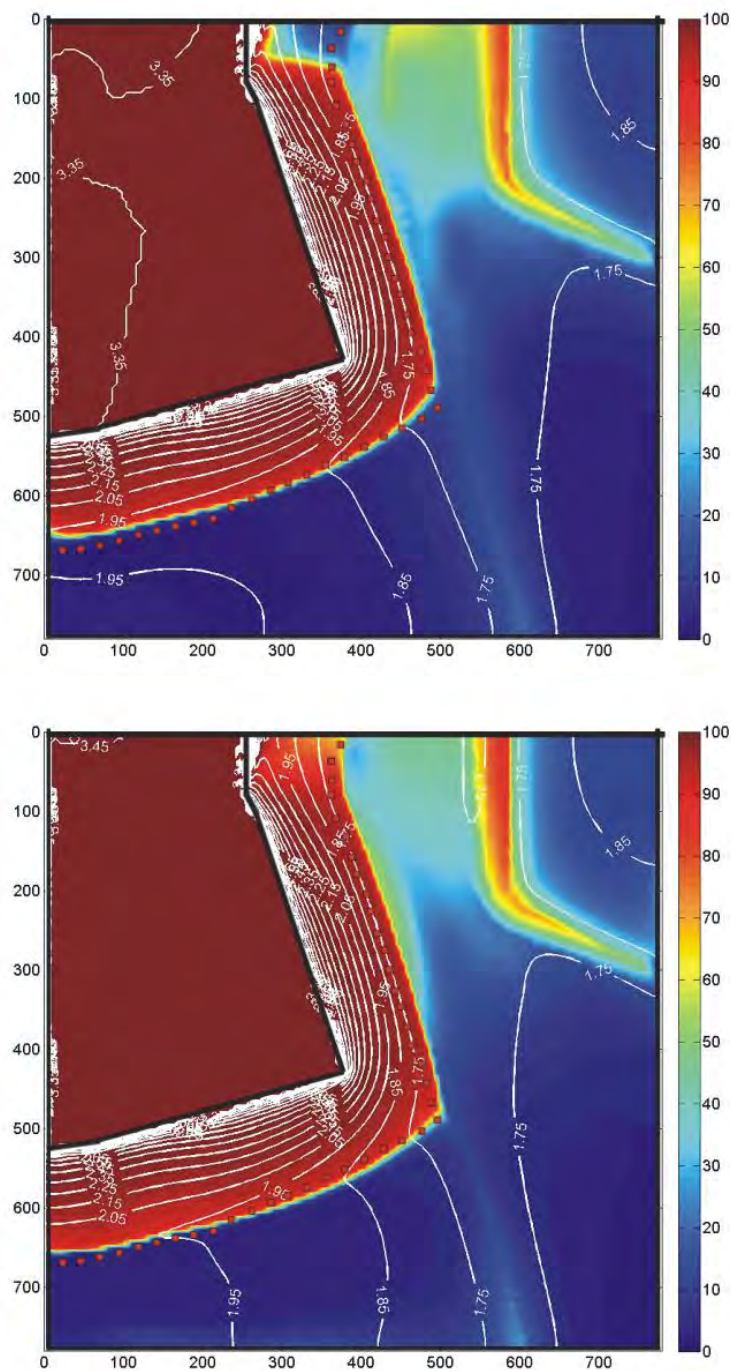
In figuur 6.30, 6.31 en 6.32 wordt de toename van de zoetwaterstijghoogte voorgesteld. Dit is de zoetwaterstijghoogte na de Zwinuitbreiding zonder enige milderende maatregel verminderd met de zoetwaterstijghoogte vóór de Zwinuitbreiding. Hieruit leiden we af dat de grootste toename van de zoetwaterstijghoogte (1.2 m) voorkomt in de top van de freatisch aquifer langs de oostelijke dijk van het uitbreidingsgebied. In het onderste gedeelte van de freatische aquifer (laag 10, figuur 6.31) is de toename beperkt tot 0.6 m onder de zuidoostelijke hoek van het uitbreidingsgebied. Onder de omringende polders ligt de toename van de gemiddelde watertafelstand (laag 1, figuur 6.30) tussen 0 en 0.4 m.

6.3.2 Detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding met 'diepe drainage met vrije uitstroming' (type 1)

Bij deze simulatie wordt de evolutie van de zoetwaterstijghoogte en van het zoutwaterpercentage gesimuleerd als er een extra 'diepe drainage met vrij uitstroming' toegepast wordt als milderende maatregel. Bij deze simulatie wordt nog steeds rekening gehouden met de bestaande oppervlakte drainage in het gebied en met een zeespiegelstijging van 0.6 m/eeuw. Bij de simulatie van de extra 'diepe drainage met vrije uitstroming' worden 41 putten aangelegd aan de voet van de dijk aan de zuidelijke en de oostelijke grens van het uitgebreide Zwin (zie Figuur 6.33). De putten die aan de voet van de oostelijk dijk liggen zijn gelegen nabij het uitwateringskanaal. Deze putten liggen op een onderlinge afstand van 27 m en hun filter bevindt zich tussen 13.5 tot 21 m onder de watertafel (laag 10 tot en met laag 14 van numerieke model). De waterstand in de put wordt op een constante zoetwaterstijghoogte van 1.7 m TAW (of -0.6 m NAP) gehouden, dit is de gemiddelde stand van het Uitwateringskanaal. Tijdens de eerste 5 jaar veronderstellen we bij alle putten éénzelfde putverlies dat constant is tijdens deze periode en gelijk aan 0.042 m. Tijdens de daaropvolgende vijf jaar is het putverlies terug constant maar groter, namelijk 0.061 m. In de opeenvolgende vijfjaarlijkse periodes worden ze dan achtereenvolgens 0.090 m, 0.128 m en 0.180 m. Bij dit type van diepe drainage is de evolutie van het vrije uitstromend debiet hoofdzakelijk afhankelijk van de opbouw van het putverlies en is in mindere mate afhankelijk van de toename van de waterstand in het uitgebreide Zwingebied en is in de orde van iets minder dan 0.03 m per vijf jaar (Tabel 6.2).



Figuur 6.33 Schematische weergave van de locatie van buitendijkse dijkvoet (zwarte lijn) en van de ligging van de putten (rode vierkantjes) rond de binnendijkse dijkvoet binnen het venster van het detailmodel. Het venster van het detailmodel is een vierkant met een zijde van 780 m.



Figuur 6.34 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in laag 1 van detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen). Na 5 jaar (boven) en na 20 jaar (onder) uitbreiding met extra 'diepe drainage met vrije uitstroming' (type1). Rode vierkantjes geven de ligging weer van de putten van de extra 'diepe drainage met vrije uitstroming'.

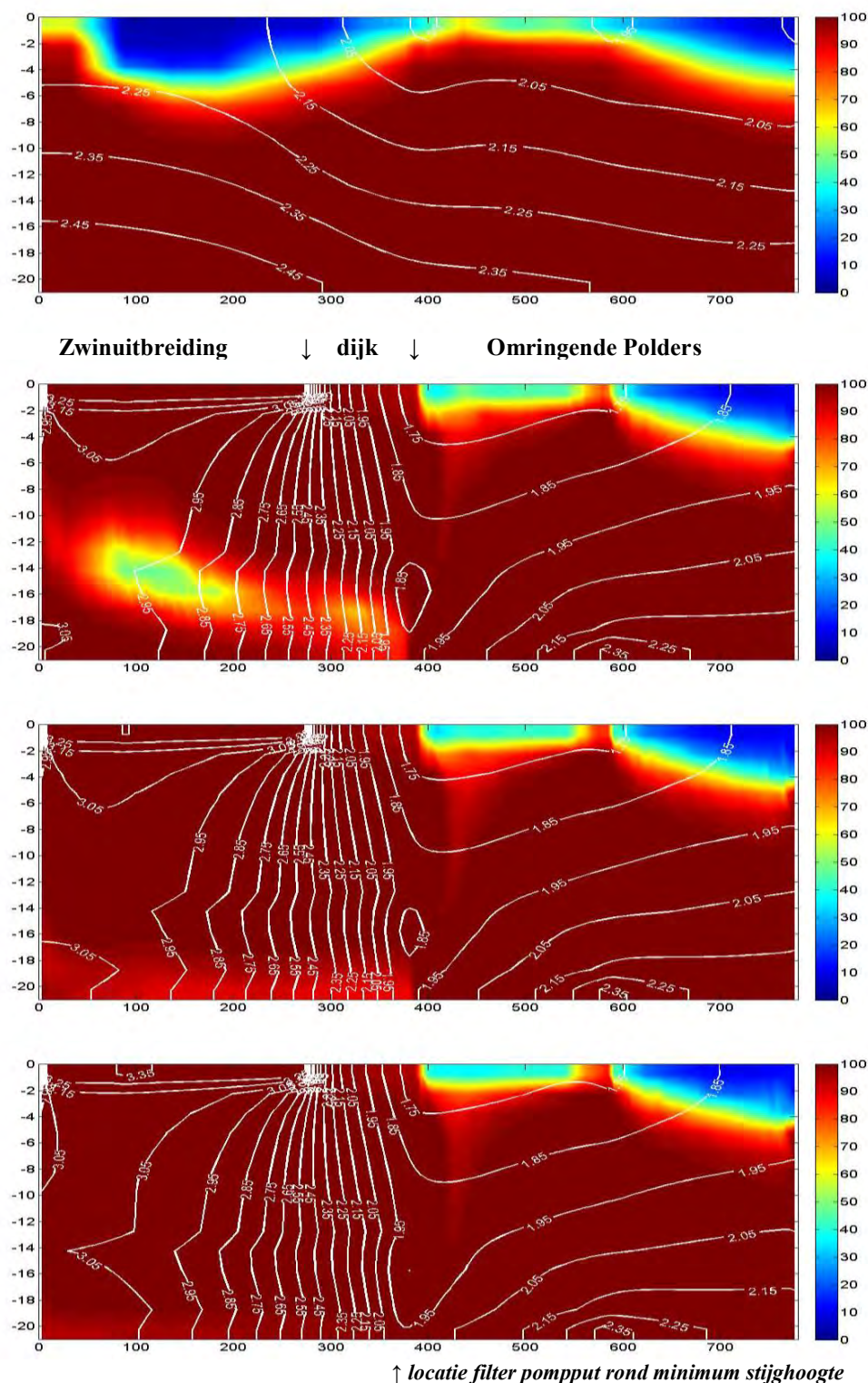
Figuur 6.34 geeft de gemiddelde watertafelstand weer (witte contourlijnen) zoals gesimuleerd door het detailmodel aan de zuidoostelijke hoek van de Zwinuitbreiding na 5 jaar en na 20 jaar uitbreiding. In dezelfde figuur wordt door middel van de kleurenschaal de evolutie van zoutwaterpercentage voorgesteld na de Zwinuitbreiding na respectievelijk 5 en 20 jaar van uitbreiding. Door de toepassing van de extra 'diepe drainage met vrije uitstroming' zal de gemiddelde zoetwaterstijghoogte in de omringende polders afnemen en zal het zoutwaterpercentage in de bovenste laag (laag 1 van het numerieke model) nagenoeg stabiel blijven.

De figuren 6.35, 6.36 en 6.37 stellen de evoluties van de zoetwaterstijghoogte en het zoutwaterpercentage voor in drie verschillende doorsneden. In de eerste doorsnede wordt de evolutie gegeven in rij 20 (fig. 6.35) en in de tweede doorsnede in rij 60 (figuur 6.36). Uit beide figuren leiden we eveneens af dat de verdeling van zoet- en zoutwater onder het omringende poldergebied nagenoeg onveranderd blijft. Het zoutwater dat in het uitbreidingsgebied van het Zwin infiltreert, wordt volledig opgevangen door de putten van de extra 'diepe drainage met vrije uitstroming'. Door de toename van het putverlies zal de zoetwaterstijghoogte rond de filters van de pompputten gaan stijgen in de loop van de tijd sinds de uitbreiding van het Zwin. Door deze toename zal vooral het debiet van het vrij uitstromend water afnemen.

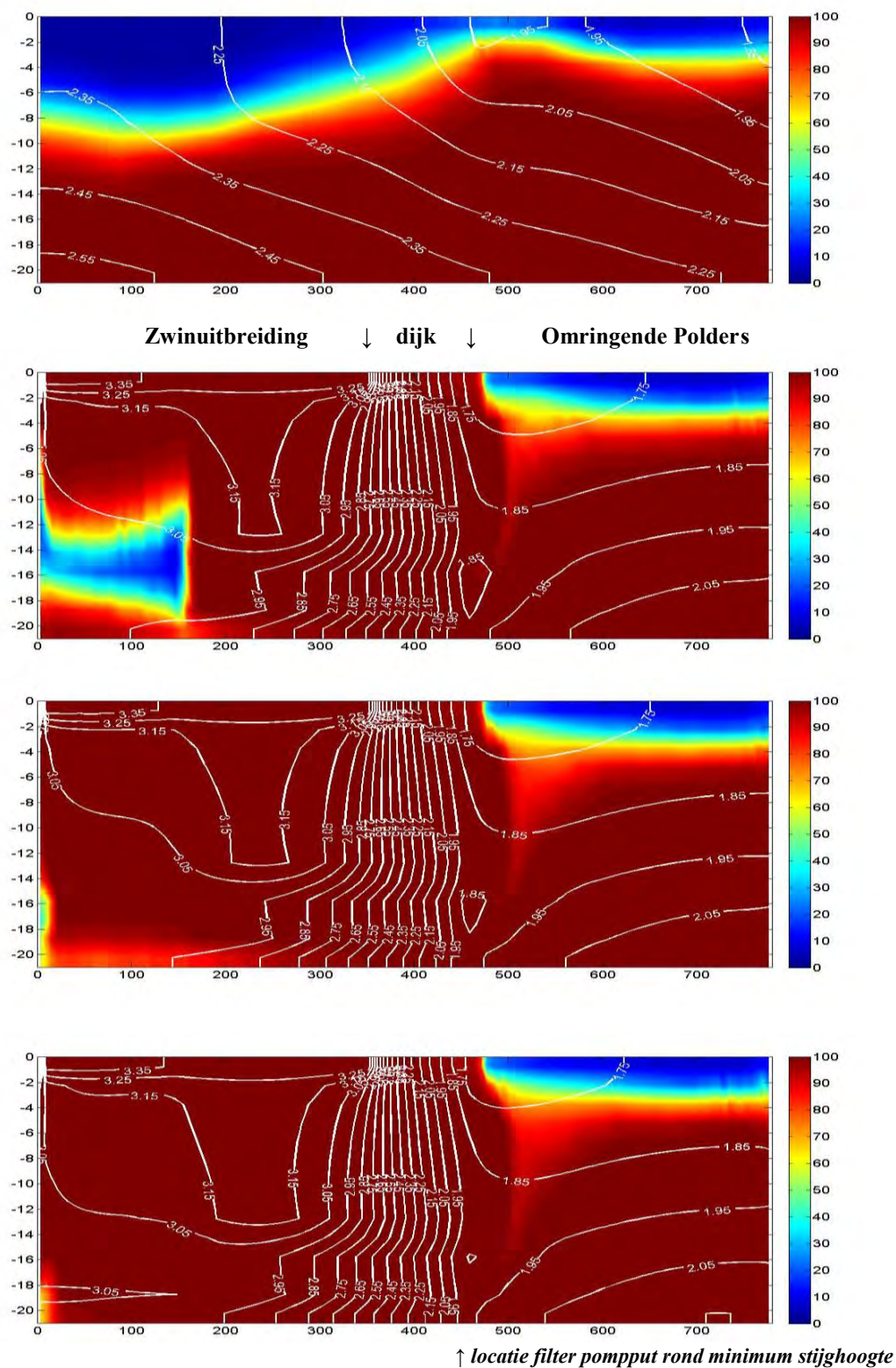
Tabel 6.2 Evolutie van het vrije uitstromend debiet bij de Zwinuitbreiding met extra 'diepe drainage met vrije uitstroming' als milderende maatregel

Periode na uitbreiding Zwin	Totaal debiet (m³/d)	Debiet per lopende meter dijk (m²/d)
Eerste vijf jaar	2914	2.63
Tweede vijf jaar	2817	2.54
Derde vijf jaar	2748	2.48
Vierde vijf jaar	2623	2.37
Vijfde vijf jaar	2450	2.21

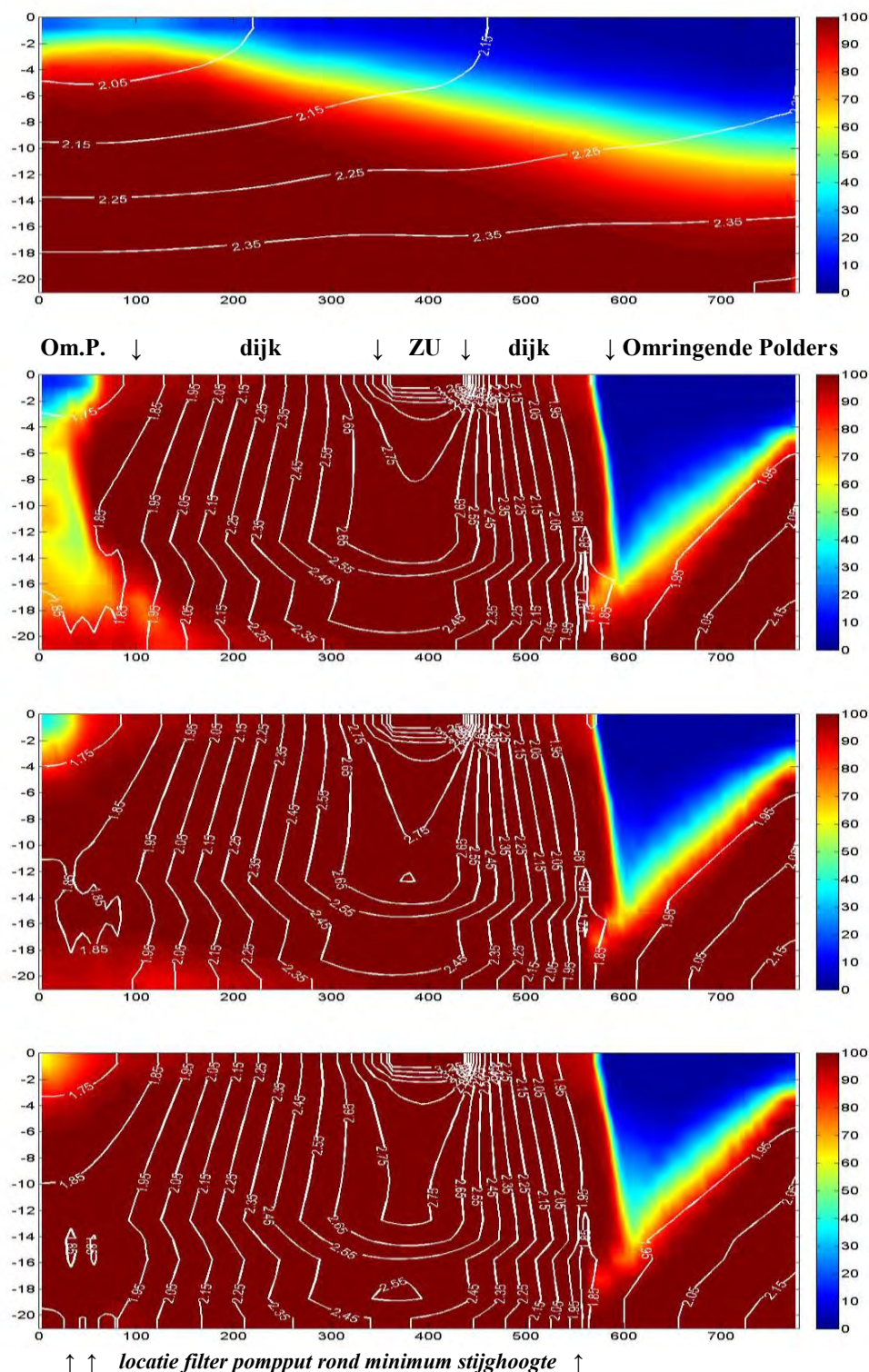
Figuur 6.37 heeft de evolutie van de zoetwaterstijghoogte en het zoutwaterpercentage in kolom 60 weer die loopt over de zuidoostelijke punt van de Zwinuitbreiding en onder een groot gedeelte van de dijk. Ook hier is de zoetwaterstijghoogte het grootst in de top van de freatische aquifer onder de zuidoostelijke punt waar zout water infiltreert. Door het onttrekken van het zout water zowel ten noorden en ten zuiden in de doorsnede en juist ten oosten ervan (zie figuur 6.34) is de grondwatersnelheid er zo groot zodat na vijf jaar het zoete water dat oorspronkelijk in de top van de aquifer aanwezig is volledig verwijderd is uit de voorgestelde doorsnede. In de omringende polders blijft de zoet-zoutwaterverdeling nagenoeg ongewijzigd. De geringe stijging van de overgangszone tussen zoet en zoutwater aan de zuidelijke grens van het gebied is eerder een gevolg van de gekozen grensvoorwaarde. In werkelijkheid zal de verdeling van zoet en zout water nagenoeg ongewijzigd blijven.



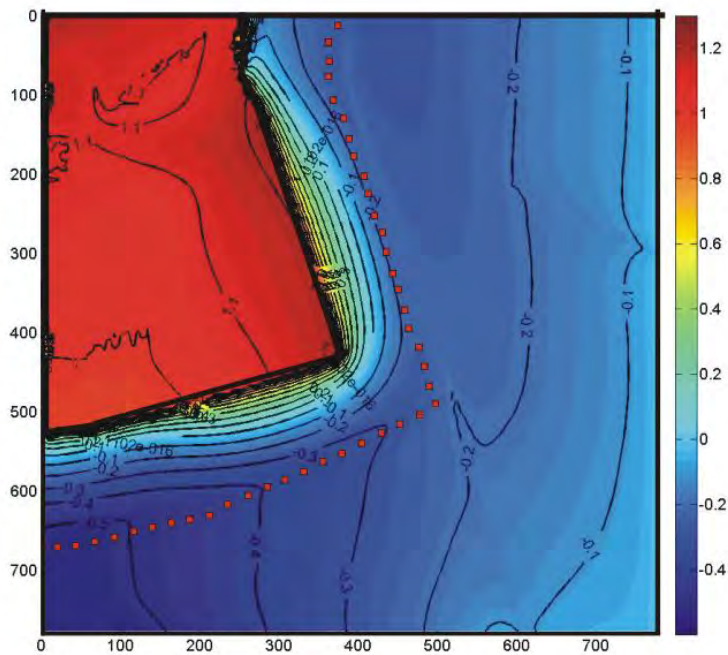
Figuur 6.35 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in **rij 20** van detailmodel ($y = 117$ m) aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen). Huidige toestand (bovenste doorsnede), na 5 jaar (boven midden), na 10 jaar (onder midden) en 15 jaar (onderste doorsnede) uitbreiding met extra 'diepe drainage met vrije uitloop' (type1). Westen is links van doorsnede gelegen; oosten rechts.



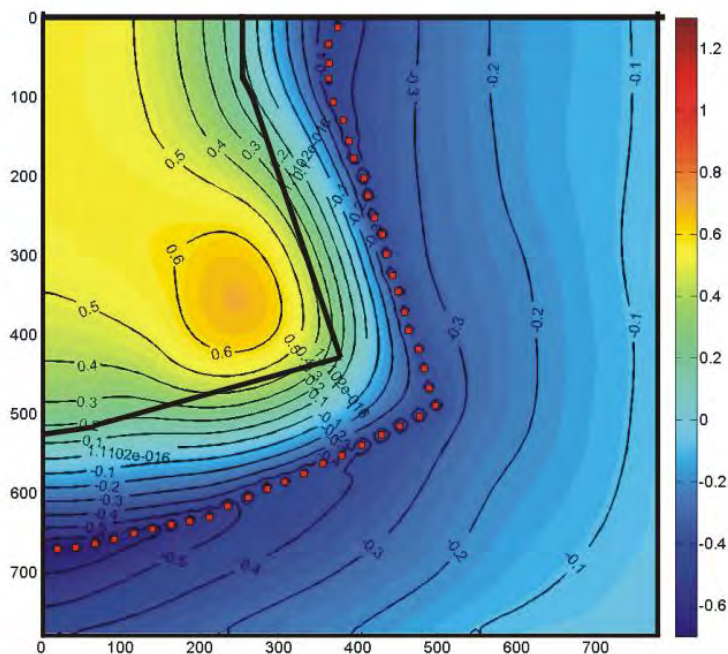
Figuur 6.36 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in **rij 60** van detailmodel ($y = 357$ m) aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen). Huidige toestand (bovenste doorsnede), na 5 jaar (boven midden), na 10 jaar (onder midden) en 15 jaar (onderste doorsnede) uitbreiding met extra 'diepe drainage met vrije uitloop' (type1). Westen is links van doorsnede gelegen; oosten rechts.



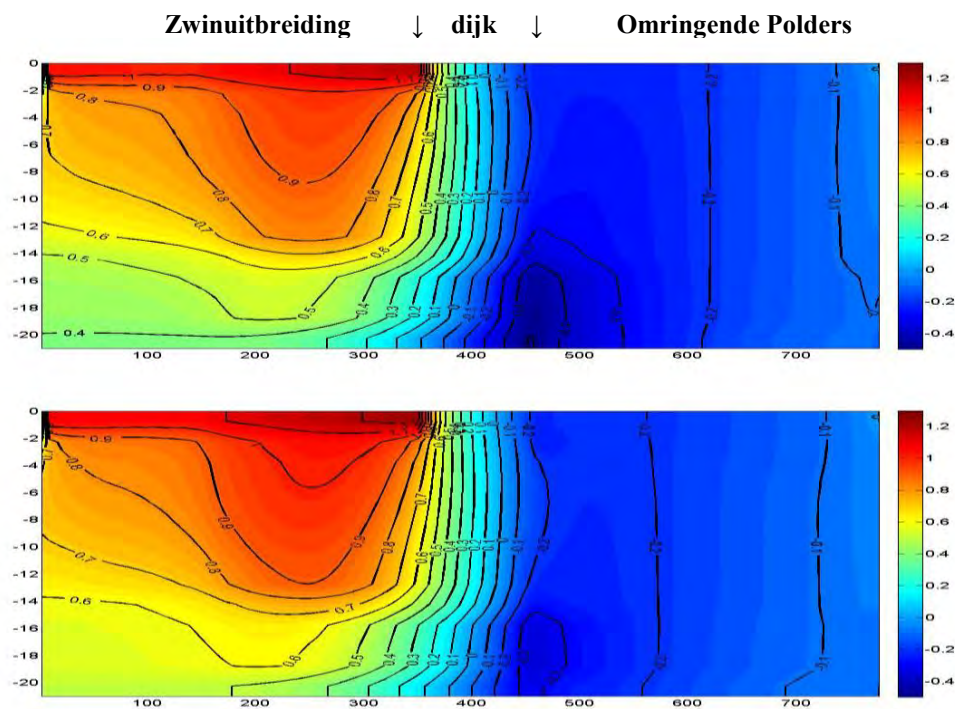
Figuur 6.37 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in **kolom 60** van detailmodel ($x = 357$ m) aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen). Huidige toestand (bovenste doorsnede), na 5 jaar (boven midden), na 10 jaar (onder midden) en 15 jaar (onderste doorsnede) uitbreiding met extra 'diepe drainage met vrije uitloop' (type1). **Om.P.** staat voor omringende polders, **ZU** voor de zuidoostelijke punt van de Zwinuitbreiding. Noorden is links van doorsnede gelegen; zuiden rechts.



Figuur 6.38 Toename van de zoetwaterstijghoogte (kleurenschaal en contourlijnen) in laag 1 (watertafel) van detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding. Na 5 jaar Zwinuitbreiding met extra 'diepe drainage met vrije uitloop' (type1). Rode vierkantjes geven de ligging weer van de putten van de extra 'diepe drainage met vrije uitstroming'.



Figuur 6.39 Toename van de zoetwaterstijghoogte (kleurenschaal en contourlijnen) in laag 10 van detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding. Na 5 jaar Zwinuitbreiding met extra 'diepe drainage met vrije uitloop' (type1). Rode vierkantjes geven de ligging weer van de putten van de extra 'diepe drainage met vrije uitstroming'.



↑ locatie filter pompput rond minimum stijghoogte

Figuur 6.40 Toename van de zoutwaterstijghoogte (kleurenschaal en contourlijnen) in rij 60 ($y = 357$ m) van detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding. Na 5 jaar (boven) en na 25 jaar (onder) uitbreiding met extra 'diepe drainage met vrije uitloop' (type1). Westen is links van doorsnede geleg; oosten rechts.

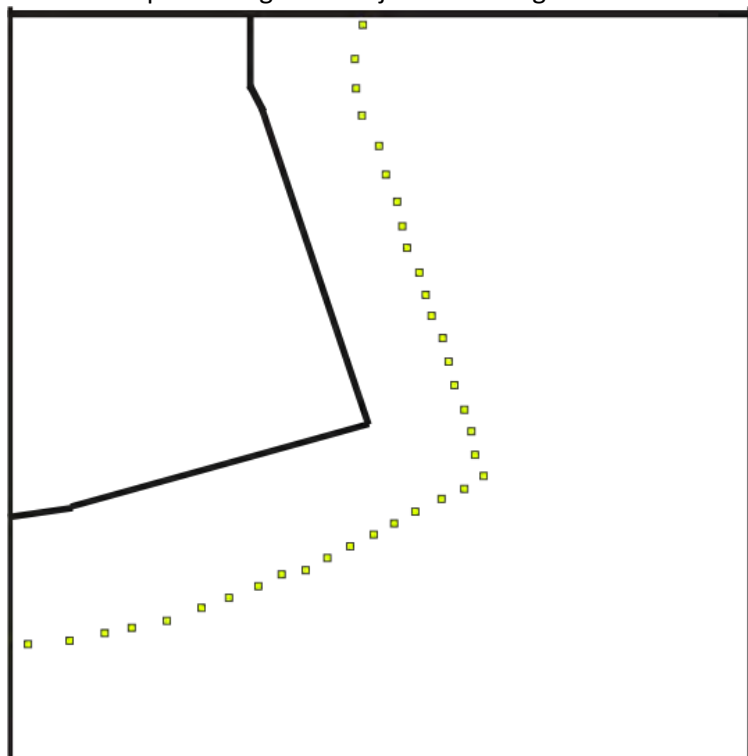
In figuur 6.38, 6.39 en 6.40 wordt de toename van de zoutwaterstijghoogte voorgesteld tengevolge van de uitbreiding van het Zwin waarbij de extra 'diepe drainage met vrije uitloop' als milderende maatregel toegepast wordt. Dit is de zoutwaterstijghoogte na de Zwinuitbreiding met deze milderende maatregel verminderd met de zoutwaterstijghoogte vóór de Zwinuitbreiding. Langs de oostelijke dijk van het uitbreidingsgebied is terug de grootste toename van de zoutwaterstijghoogte (1.1 tot 1.2 m) in de top van de freatische aquifer. Ook hier is de toename beperkt tot 0.6 m in het onderste gedeelte van de freatische aquifer (laag 10, figuur 6.31). Ten oosten van het Uitwateringskanaal neemt de gemiddelde watertafelstand (laag 1, figuur 6.30) af tussen 0.05 en 0.26 m. Ten zuiden van het uitbreidingsgebied in het Zwin berekend het model zelf een afname van 0.5 m. Deze afname wordt door het model overschat. Deze overschatting is er het gevolg van de aangenomen grensvoorwaarden: de westelijke grens is er over de volledige dikte van de freatische laag ondoorlatend en de zuidelijke grens is ondoorlatend in het bovenste gedeelte van de freatische laag. Onttrekkingen worden gespiegeld ten opzichte van ondoorlatende grenzen.

Net zoals aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding kan men stellen dat deze verlaging van de gemiddelde watertafelstand in verdroging zal resulteren (zie deel 6.2.3). Om het probleem van de verdroging te voorkomen wordt aan deze westelijke grens voorgesteld om te pompen tijdens de periodes met grote heropvulling en tijdens periodes van geringe of geen heropvulling niet te pompen op de putten van de extra 'diepe drainage'. Bij het systeem van diepe drainage met vrije uitloop is men echter beperkt in het regelen van het onttrokken debiet. In periodes van grote heropvulling zal de zoutwaterstijghoogte in het omringende gebied in een beperkte mate toenemen. Daar deze toename zich ook zal zetten naar het diepere gedeelte van de freatische aquifer, wellicht in een beperktere mate, zal hierdoor ook het vrij uitstromend zout water uit de diepe drainage een weinig toenemen. Tijdens droge periodes kan men overwegen de extra 'diepe drainage met vrije uitstroming' af te sluiten waardoor de watertafel er zal stijgen. Tijdens de periodes van grote heropvulling kan men echter niet de extra hoeveelheid water uit het grondwaterreservoir

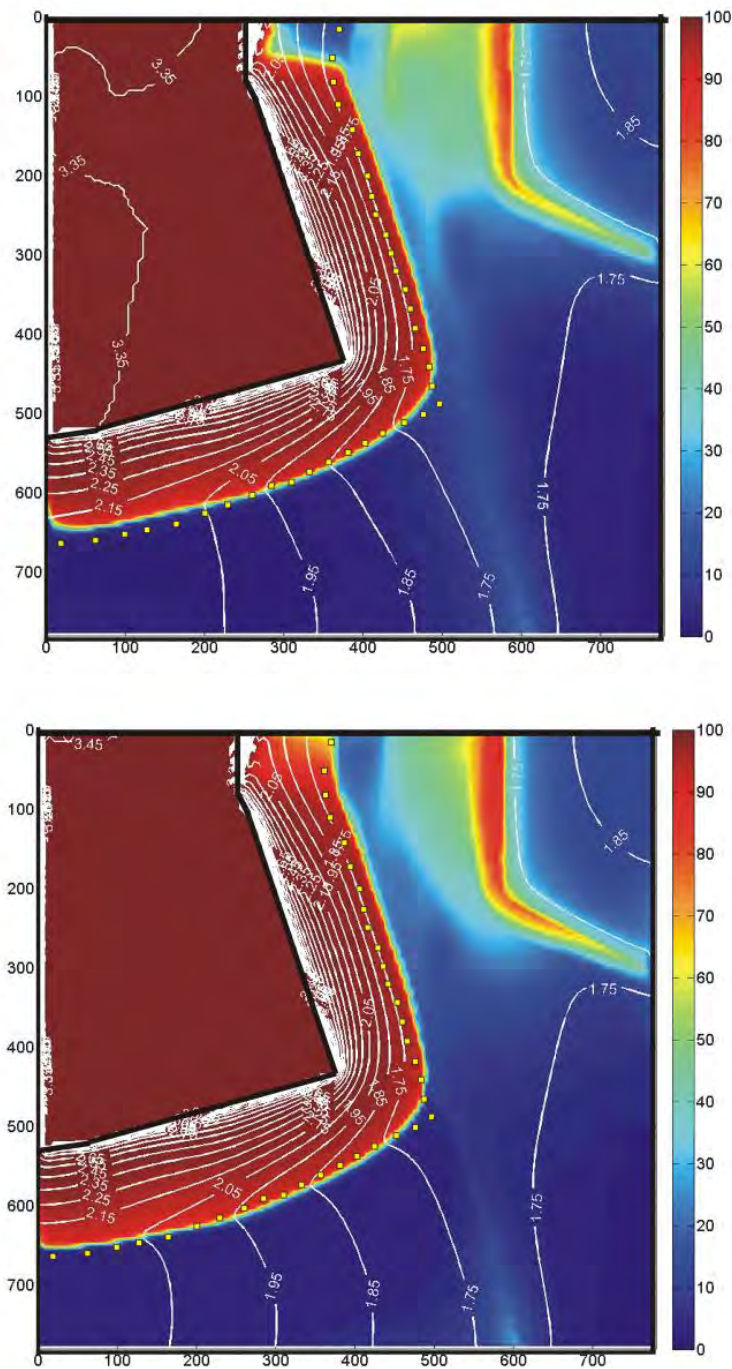
onttrekken (de hoeveelheid die tijdens de droge periode niet onttrokken is). Door de toename van de zoetwaterstijghoogte zal slechts een fractie van deze hoeveelheid extra uit het diepe gedeelte van de freatische aquifer onttrokken worden. Enkel door het plaatsen van extra putten zou de vereiste hoeveelheid uit het diepe gedeelte van de freatische aquifer kunnen onttrokken worden.

6.3.3 Detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding met ‘diepe drainage met pompen’ (type 2)

Hier wordt de evolutie van de zoetwaterstijghoogte en van het zoutwaterpercentage gesimuleerd waarbij een extra ‘diepe drainage met pompen’ toegepast wordt als milderende maatregel. Ook hier wordt er rekening gehouden met de bestaande oppervlakte drainage en met een zeespiegelstijging van 0.6 m/eeuw. Bij de simulatie van de extra ‘diepe drainage met pompen’ worden 36 putten aangelegd aan de voet van de dijk aan de zuidelijke en de oostelijke grens van het uitgebreide Zwin (zie Figuur 6.41). Deze putten liggen op een gemiddelde onderlinge afstand van 31 m. Deze onderlinge afstand varieert een weinig met als minimum afstand 27 meter en als maximum afstand 38 m. De filters van de pompputten bevinden zich tussen 13.5 tot 21 m onder de watertafel (in laag 10 tot en met laag 14 van numerieke model). Tijdens de opeenvolgende beschouwde periodes van vijf jaar wordt met een constant debiet op de putten gepompt. Door de toename van het putverlies zal de zoetwaterstijghoogte in de putten zelf dalen. Hierdoor zal de overpomphoogte iets toenemen en zal de benodigde energie voor het pompen iets toenemen. Daarentegen zal de zoetwaterstijghoogte rond de pompput tijdens het pompen zelf relatief stabiel blijven. Als op de putten kan gepompt worden, kan elk moment het gewenste onttrokken debiet ingesteld worden met de pompen. Hier is het onttrokken debiet volledig beheersbaar. Dit is het grootste verschil met de andere methode van extra ‘diepe drainage met vrije uitstroming’.



Figuur 6.41 Schematische weergave van de locatie van buitendijkse dijkvoet (zwarte lijn) en van de ligging van de putten (gele vierkantjes) rond de binnendijkse dijkvoet binnen het venster van het detailmodel. Het venster van het detailmodel is een vierkant met een zijde van 780 m.



Figuur 6.42 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in laag 1 van detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen). Na 5 jaar (boven) en na 20 jaar (onder) uitbreiding met extra 'diepe drainage met pompen' (type2). Gele vierkantjes geven de ligging weer van de putten van de extra 'diepe drainage met pompen'.

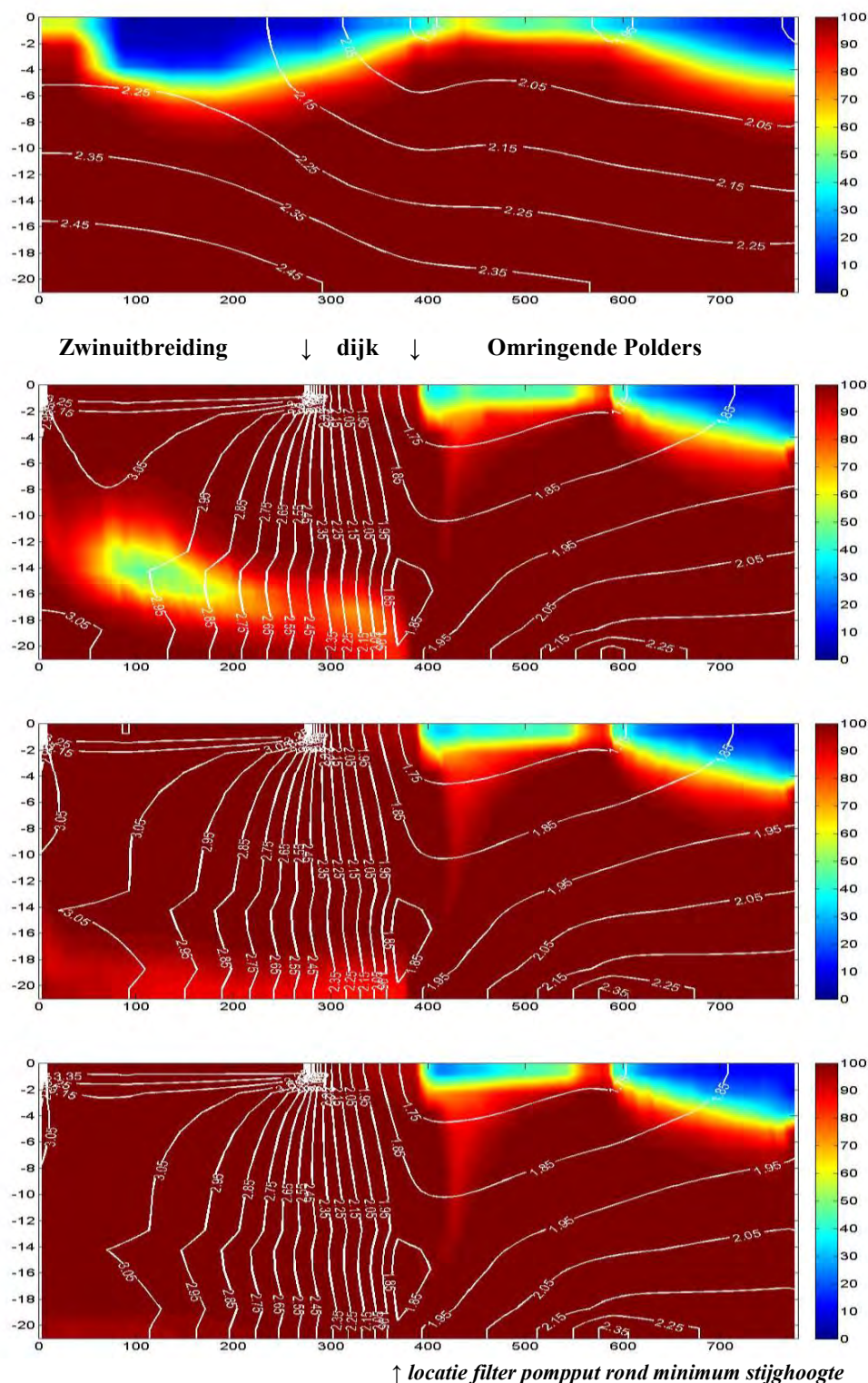
Figuur 6.42 geeft de gemiddelde watertafelstand weer (witte contourlijnen) zoals gesimuleerd door het detailmodel aan de zuidoostelijke hoek van de Zwinuitbreiding na 5 jaar en na 20 jaar uitbreiding. In dezelfde figuur wordt door middel van de kleurenschaal de evolutie van zoutwaterpercentage voorgesteld na de Zwinuitbreiding na respectievelijk 5 en 20 jaar van uitbreiding. Door de toepassing van de extra 'diepe drainage met pompen' zal de gemiddelde zoetwaterstijghoogte in de omringende polders afnemen en zal het zoutwaterpercentage in de bovenste laag (laag 1 van het numerieke model) een weinig afnemen.

De figuren 6.43, 6.44 en 6.45 stellen de evoluties van de zoetwaterstijghoogte en van het zoutwaterpercentage voor in de verschillende doorsneden. In de eerste doorsnede wordt de evolutie gegeven in rij 20 (fig. 6.43) in de tweede doorsnede in rij 60 (figuur 6.44). Uit deze figuren leiden we eveneens af dat de zoet-zoutwaterverdeling onder het omringende poldergebied nagenoeg onveranderd blijft. Ook hier zal het zoutwater dat in de Zwinuitbreiding infiltreert, volledig opgevangen worden door de putten van de extra 'diepe drainage met pompen'. Door de toename van het putverlies zal de zoetwaterstijghoogte rond de filters van de pompputten niet stijgen in de loop van de tijd sinds de uitbreiding van het Zwin. De zoetwaterstijghoogte zal daarentegen in de put zelf iets gaan afnemen waardoor de overpomphoogte iets zal toenemen. De evolutie van het opgepompte debiet is hier volledig functie van de lichte toename van de zoetwaterstijghoogte in het uitgebreide Zwin door de beschouwde zeespiegelstijging (Tabel 6.3).

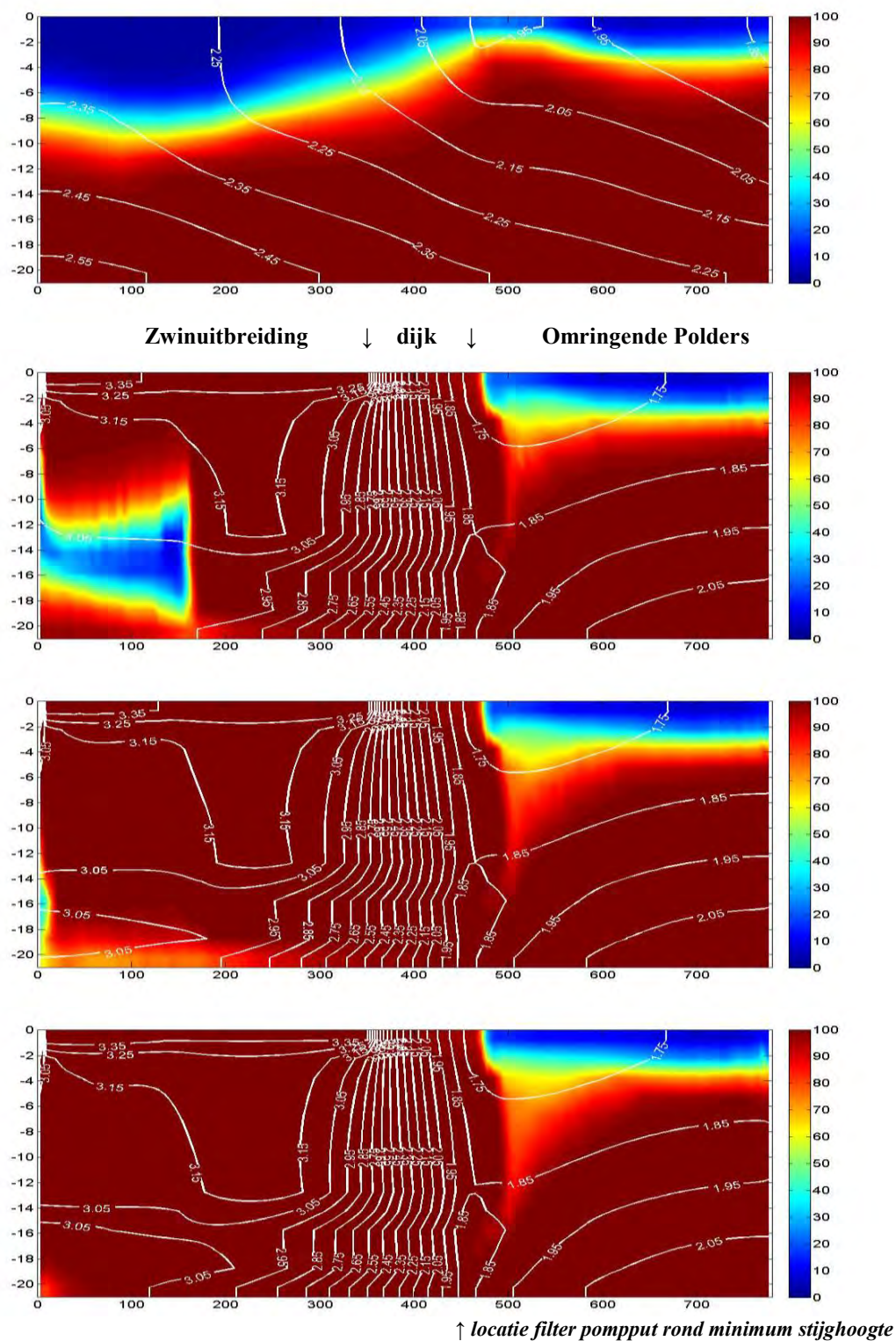
Tabel 6.3 Evolutie van het vrije uitstromend debiet bij de Zwinuitbreiding met extra 'diepe drainage met pompen' als milderende maatregel

Periode na uitbreiding Zwin	Totaal debiet (m ³ /d)	Debiet per lopende meter dijk (m ² /d)
Eerste vijf jaar	2747	2.48
Tweede vijf jaar	2762	2.50
Derde vijf jaar	2781	2.51
Vierde vijf jaar	2796	2.53

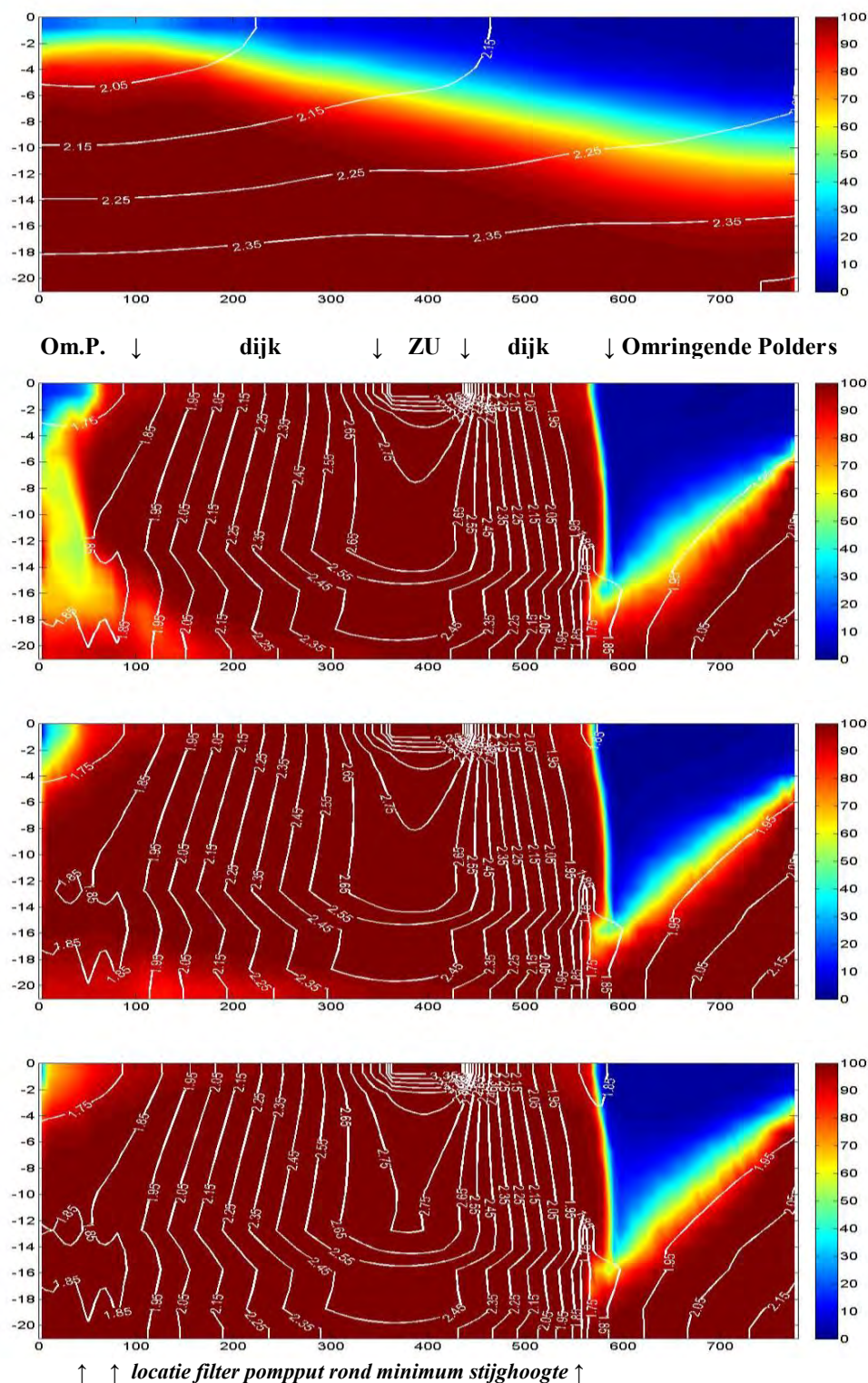
Figuur 6.45 geeft de evolutie van de zoetwaterstijghoogte en het zoutwaterpercentage in kolom 60 weer die loopt over de zuidoostelijke punt van de Zwinuitbreiding en onder een groot gedeelte van de dijk. In de omringende polders blijft de zoet-zoutwaterverdeling nagenoeg ongewijzigd. De geringe stijging van de overgangszone tussen zoet en zoutwater aan de zuidelijke grens van het gebied is terug het gevolg van de gekozen grensvoorwaarde. In werkelijkheid zal de verdeling van zoet en zout water nagenoeg ongewijzigd blijven.



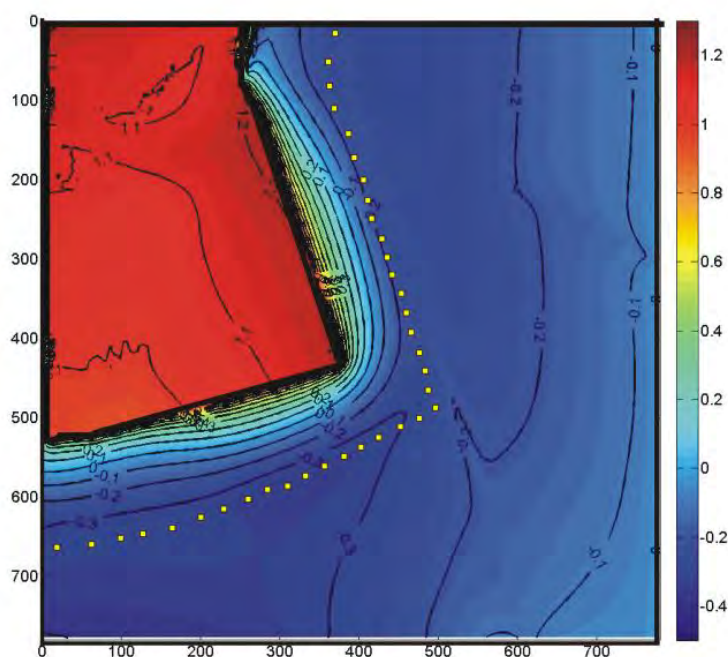
Figuur 6.43 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in **rij 20** van detailmodel ($y = 117$ m) aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen). Huidige toestand (bovenste doorsnede), na 5 jaar (boven midden), na 10 jaar (onder midden) en 20 jaar (onderste doorsnede) uitbreiding met extra 'diepe drainage met pompen' (type2). Westen is links van doorsnede gelegen; oosten rechts.



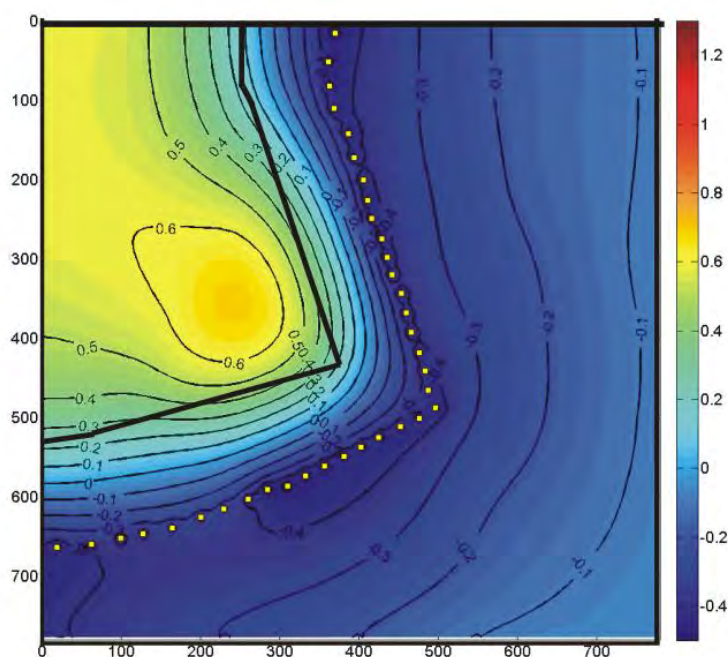
Figuur 6.44 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in **rij 60** van detailmodel ($y = 357$ m) aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen). Huidige toestand (bovenste doorsnede), na 5 jaar (boven midden), na 10 jaar (onder midden) en 20 jaar (onderste doorsnede) uitbreiding met extra 'diepe drainage met pompen' (type2). Westen is links van doorsnede gelegen; oosten rechts.



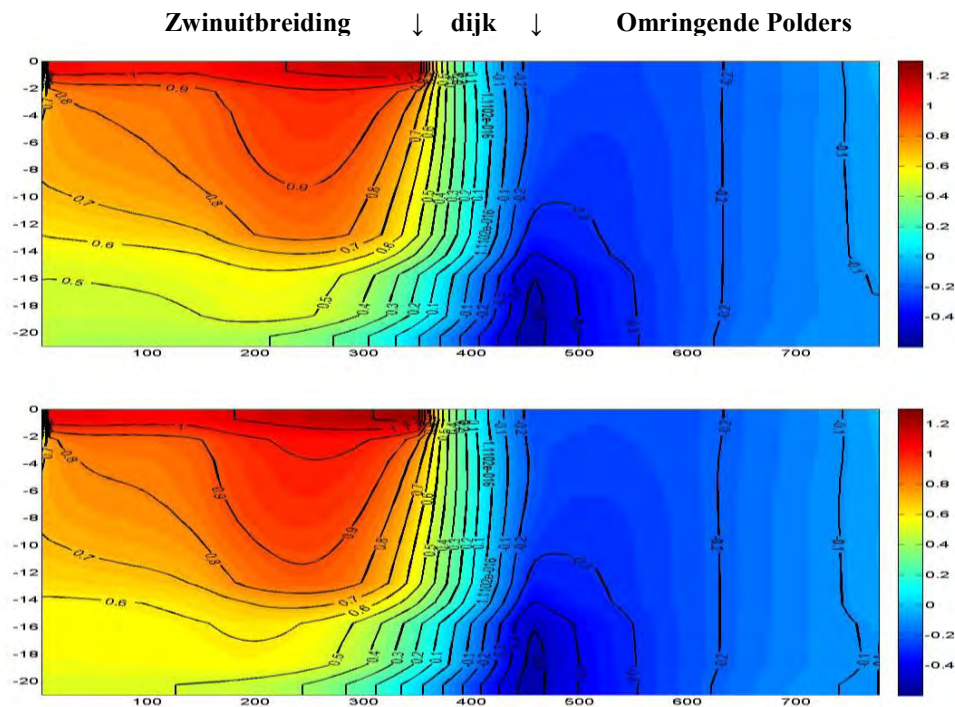
Figuur 6.45 Zoutwaterpercentage (kleurenschaal) in **kolom 60** van detailmodel ($x = 357$ m) aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding samen met zoetwaterstijghoogte (witte contourlijnen). Huidige toestand (bovenste doorsnede), na 5 jaar (boven midden), na 10 jaar (onder midden) en 20 jaar (onderste doorsnede) uitbreiding met extra 'diepe drainage met pompen' (type2). **Om.P.** staat voor omringende polders, **ZU** voor de zuidoostelijke punt van de Zwinuitbreiding. Noorden is links van doorsnede gelegen; zuiden rechts



Figuur 6.46 Toename van de zoetwaterstijghoogte (kleurenschaal en contourlijnen) in laag 1 (watertafel) van detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding. Na 5 jaar Zwinuitbreiding met extra 'diepe drainage met pompen' (type2). Gele vierkantjes geven de ligging weer van de putten van de extra 'diepe drainage met pompen'.



Figuur 6.47 Toename van de zoetwaterstijghoogte (kleurenschaal en contourlijnen) in laag 1 (watertafel) van detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding. Na 5 jaar Zwinuitbreiding met extra 'diepe drainage met pompen' (type2). Gele vierkantjes geven de ligging weer van de putten van de extra 'diepe drainage met pompen'.



↑ locatie filter pompput rond minimum stijghoogte

Figuur 6.48 Toename van de zoutwaterstijghoogte (kleurenschaal en contourlijnen) in **rij 60** ($y = 357$ m) van detailmodel aan zuidoostelijke hoek van Zwinuitbreiding. Na 5 jaar (boven) en na 20 jaar (onder) uitbreiding met extra 'diepe drainage met pompen' (type2). Westen is links van doorsnede gelegen; oosten rechts.

In figuur 6.46, 6.47 en 6.48 wordt de toename van de zoutwaterstijghoogte voorgesteld tengevolge van de uitbreiding van het Zwin waarbij de extra 'diepe drainage met pompen' als milderende maatregel toegepast wordt. Dit is de zoutwaterstijghoogte na de Zwinuitbreiding met deze milderende maatregel verminderd met de zoutwaterstijghoogte vóór de Zwinuitbreiding. Langs de oostelijke dijk van het uitbreidingsgebied is terug de grootste toename van de zoutwaterstijghoogte (1.1 tot 1.2 m) in de top van de freatische aquifer. Ook hier is de toename beperkt tot 0.6 m in het onderste gedeelte van de freatische aquifer (laag 10, figuur 6.31). Ten oosten van het Uitwateringskanaal neemt de gemiddelde watertafelstand (laag 1, figuur 6.30) af met 0.05 tot 0.24 m. Ten zuiden van het uitbreidingsgebied in het Zwin is de afname beperkt tot maximum 0.32 m. Dit is minder dan bij het voorgaande deel 6.3.2 doordat er minder water onttrokken wordt in de zuidwestelijke hoek van het model. Ook hier is er een lichte overschatting van de verlaging door de aangenomen grensvoorwaarden (zie deel 6.3.2).

Net als in deel 6.2.3 en deel 6.3.2 kan men door de verlaging van de gemiddelde watertafelstand een verdroging vrezen in het omringende poldergebied. Doordat hier kan gepompt worden op de putten, kan dit probleem van verdroging gemakkelijk geneutraliseerd worden door te pompen met een sterk variërend debiet. Tijdens periodes van grote heropvulling kan intenser gepompt worden waardoor het gepermitteerd is het pompen te stoppen tijdens periodes van droogte. Door de mogelijkheid van het pompen kan er een grote variatie in het onttrekkingsdebiet zijn. Zelfs na lange periodes van stilleggen van de pompen kan het gewenste streefdoel van evenveel zout water te onttrekken als dat er infiltreert in het uitbreidingsgebied van het Zwin aangehouden worden door sterk te onttrekken tijdens periodes met grote heropvulling (zie ook deel 6.2.3).

7. Besluiten uit het hydrogeologische deelonderzoek

Uit de integratie van de lithostratigrafische en de hydrogeologische gegevens kan afgeleid worden dat aan de westelijke grens van de Willem-Leopoldpolder de quartaire afzettingen bovenaan bestaan uit een dunne kleilaag (slappe laag). Dit kleilaagje wordt niet aangetroffen aan de oostelijke grens van de Willem-Leopoldpolder. De geotechnische sonderingen geven ook weer dat aan de noordwestelijke grens van de Willem-Leopoldpolder de intercalaties van siltige/kleiige sedimenten minder frequent aanwezig zijn dan bij de overige sonderingen gelegen op de grens van de te ontpolderen zone.

De dubbele pompproef werd uitgevoerd aan de noordwestelijke grens van de Willem-Leopoldpolder. Uit de resultaten van deze proef blijkt dat de freatische aquifer voor het grootste gedeelte bestaat uit doorlatende afzetting met uitzondering van de anderhalve meter onder de watertafel. De horizontale doorlatendheid van het onderste en bovenste gedeelte van de freatische laag is nagenoeg gelijk (30 m/d). De verticale doorlatendheid van het grootste gedeelte van de freatische aquifer is eveneens groot, namelijk 4.3 m/d. De hydraulische weerstand tussen de watertafel en het grootste, goed doorlatende gedeelte van de freatische aquifer is gelijk aan 6.2 dagen. De specifieke elastische bergingen van de freatische aquifer (Lagen 1 tot en met 14 van het numeriek model) zijn 1.8 maal groter dan de specifieke elastische berging die men uit hun diepte-interval kan afleiden met de Van der Gun-formule. De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel is gelijk aan 0.0074. Pompput PP1 heeft een C-waarde van het putverlies die gelijk is aan $3.2 \times 10^{-5} \text{ m}^{-5} \text{ d}^2$ en de C-waarde van het putverlies van pompput PP2 is gelijk aan $7.2 \times 10^{-6} \text{ m}^{-5} \text{ d}^2$.

Door middel van EM39-metingen werd de zoet-zoutwaterverdeling rond 11 waarnemingen driemaal opgemeten met een tijdsinterval van ca 3 maand (november - december 2010, maart 2011 en eind mei 2011). Uit deze metingen bleek dat onder de duinen een dikke zoetwaterlens voorkomt boven zout water. In de polders daarentegen is er brak of zoet water aanwezig onder de watertafel. De verdeling van zoet, brak en zout water in het grondwaterreservoir is nagenoeg ongewijzigd bij de drie verschillende metingen. Door middel van een CTD-diver werd de geleidbaarheid van het water in de poldersloten ook drie maal opgemeten eveneens met een tijdsinterval van circa 3 maand. De metingen van de tweede en derde meetcampagne geven een hoger zoutgehalte in de grachten weer in vergelijking met de eerste meetcampagne. In het Uitwateringskanaal van de Wielingen werd in maart en mei brak water opgemeten in plaats van zwak zoet tot matig brak in vergelijking met opmetingen van November – December. De gracht naar de Nieuwe Watergang Dievangat is matig zout. De gracht nabij de Internationale Dijk vertoont een hoger zoutgehalte in mei (matig zout) dan in maart (zeer brak). Langs de zeedijkader werd in maart van noord naar zuid de overgang zwak zoet – matig brak – brak – zeer brak waargenomen. In mei gaat deze overgang van matig brak – brak – matig zout – zeer brak.

Door de aanvullende modelleringen met het 'groot' model waarbij de drempelhoogte van de aanvoergeul naar het uitgebreide Zwin 0.5 m verlaagd werd t.o.v. de vorige grondwaterstudie (Lebbe et al, 2009) blijkt dat deze vooral een invloed heeft op de stijghoogte aan de oostelijke en de zuidelijke buitendijkse rand van het Zwinuitbreidingsgebied. De watertafel is er circa 0.5 m lager dan bij de vorige studie waardoor de grondwaterstroming onder de dijk naar het omringende gebied kleiner is dan in de vorige studie. De Zwinuitbreiding veroorzaakt een toename van de stijghoogte van 0.6 m in het onderste gedeelte van de freatische aquifer aan de binnendijkse rand die dan geleidelijk afneemt naarmate men zich verder beweegt van deze binnendijkse rand in het aangrenzende polders. Deze toename veroorzaakt een opwaartse stroming van zout water onder de aangrenzende polders. Hierdoor zal het gebied waar het water een hoog zoutgehalte rond de watertafel heeft, sterk in oppervlakte toenemen. Tijdens periodes met relatief geringe heropvulling zal het zoutgehalte van het water in de drainagesloten groter worden en dit over een toenemende

oppervlakte. Momenteel stroomt dit gedraineerde water af in de richting van het Leopoldkanaal. Door deze toename in oppervlakte en in zoutgehalte zal de zoutvracht stijgen in alle poldersloten gelegen tussen het Uitgebreide Zwin en het Leopoldkanaal. Met het 'groot' model wordt net als in de vorige grondwaterstudie aangetoond dat dit verziltingsgevaar kan gekeerd worden door toepassing van diepe drainage.

Steunend op de resultaten bekomen met het 'groot' model worden twee deelgebieden uitgekozen voor detailmodellering. Het eerste deelgebied is gelegen aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding. Bij dit deel werden twee alternatieven van drainage bestudeerd die beide het verziltingsgevaar kunnen stoppen. Alternatief 1 omvat een extra 'oppervlakte drainage' naast de bestaande oppervlakte drainage (deel 6.1.1) waarbij een 15 m brede drainagesloot aan de binnendijkse rand aangelegd wordt en waarin de drainagestand 1 meter lager is dan in het omringende poldergebied. Bij dit alternatief zal een extra sloot vereist zijn die het zoete oppervlakte water die afvloeit vanuit Knokke en de Kleyne Vlakte, kan afvoeren op een voldoende afstand van de binnendijkse rand in de richting van het Leopoldkanaal. Bij dit alternatief zal de watertafelstand in het omringende poldergebied weinig beïnvloed worden met uitzondering van een smalle zone in de omgeving van de brede drainagesloot die 1 meter lager gehouden wordt. Bij dit alternatief zal het zout water dat in het Zwingebied infiltreert, door de brede drainagesloot kunnen gedraineerd worden. Het zoutgehalte van dit gedraineerde water is zo hoog zodat het eveneens door middel van pompen in het Zwinuitbreidingsgebied moet geloosd worden. Bij dit alternatief zal in het omringende poldergebied de dunne laag zoet grondwater onder de watertafel nagenoeg niet wijzigen en zullen de drainagesloten in het omringende poldergebied sterke schommelingen in zoutgehalte vertonen zoals nu waargenomen in het omringende poldergebied van het Zwin. In periodes van geringe heropvulling kan dit zoutgehalte hoge waarden bereiken. Dit zout beïnvloedt het zoutgehalte van alle poldersloten gelegen tussen het Uitgebreide Zwin en het Leopoldkanaal.

Het tweede alternatief dat in detail gemodelleerd wordt aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding is de extra 'diepe drainage met pompen' naast de bestaande oppervlakte drainage (Alternatief 2). Bij dit alternatief wordt langs de binnendijkse rand een reeks van putten aangelegd met filter in het onderste gedeelte van de freatische aquifer. Uit deze putten wordt zout water onttrokken en geloosd in het Zwinuitbreidingsgebied. Bij dit alternatief zal de dikte van de laag zoet grondwater onder de watertafel toenemen. Het zoutgehalte van de poldersloten in het omringende poldergebied zal drastisch afnemen en dit vooral in de periodes van geringe heropvulling. Dit lagere zoutgehalte zal eveneens zijn invloed hebben op het zoutgehalte van alle poldersloten gelegen tussen het uitgebreide Zwin en het Leopoldkanaal. Bij dit alternatief zal de gemiddelde waterstand dalen in de omgeving van de aangelegde puttenbatterij. Met de detailmodellering wordt echter aangetoond dat door te pompen in de periode van grote heropvulling (winter) en in de periodes van zaaien en maaien deze watertafeldaling kan realiseren terwijl men in periodes van geringe heropvulling en droogte men juist een extra hoge watertafel kan realiseren waardoor de planten van extra zoet water voorzien worden door capillaire opstijging van de ondiepe watertafel naar de wortelzone in deze droge periodes. In tabel 7.1 worden de voor- en de nadelen van de extra 'oppervlakte drainage' en de extra 'diepe drainage' aan de westelijke en zuidwestelijke grens van het uitbreidingsgebied samengevat.

Het tweede deelgebied met detailmodellering is gelegen aan de zuidoostelijk hoek van de Zwinuitbreiding. In dit gebied was het niet mogelijk een extra 'oppervlakte drainage' aan te leggen met een brede drainagesloot omwille van de beschikbare ruimte. Dit alternatief zou enkel kunnen toegepast worden als de dijk in de richting van het Zwin opgeschoven wordt waardoor de uitbreiding van het natuurgebied aan de Nederlandse zijde drastisch zou inkrimpen. Bij deze detailmodellering worden dan ook twee typen van extra 'diepe drainage' beschouwd. Bij het eerste type van extra 'diepe drainage' laat men het zoute water uit de aangelegde putten vrij stromen in het Uitwateringskanaal. Bij dit type is het onttrokken debiet uit de onderste deel van de freatische

aquifer bepaald door de heersende zoetwaterstijghoogte omheen de filters van de pompputten, de waterstand in het Uitwateringskanaal en de hydraulische weerstand tussen de twee voornoemde plaatsten. Deze hydraulische weerstand wordt eerst en vooral bepaald door de evolutie van het putverlies. Door natuurlijke schommelingen in de twee voornoemde waterstanden zal er een beperkte schommeling zijn in het uitstromende debiet. Bij het tweede type van 'diepe drainage' kan op de putten gepompt worden. Hierdoor is het mogelijk het opgepompte zout water te lozen in het Zwin. Het onttrokken debiet kan op ieder ogenblik ingesteld worden. Bij beide methodes verandert de verdeling van zoet en zout water in de freatische aquifer nagenoeg niet in het omringende poldergebied. Met beide types van extra 'diepe drainage' is er een geringe daling van de watertafel die voornamelijk optreedt in de nabijheid de puttenbatterij. Bij type 2 kan door extra pompen deze daling gedurende de periodes met grote heropvulling hoofdzakelijk gerealiseerd worden. Over een langere periode (bijvoorbeeld 1 jaar) moet de onttrokken hoeveelheid water nagenoeg gelijk zijn aan de hoeveelheid geïnfilteerd in de Zwinuitbreiding. Dit geldt voor beide types van extra 'diepe drainage'. Bij extra 'diepe drainage met vrije uitstroming' is de debietschommeling eerder beperkt. Als tijdens droge periodes de vrije uitstroming gestopt wordt, zal het niet mogelijk zijn om de achterstand op te halen met de extra 'diepe drainage met vrije uitstroming'. Met het laatstgenoemde type van extra 'diepe drainage' zal het zoutgehalte van het water in de Uitwateringskanaal zeer sterk schommelen met grote pieken tijdens de droge periodes. Als het onttrokken zoute water door pompen in de Zwinuitbreiding kan verwijderd worden, zal het schommelingen in het zoutgehalte van het water in de Uitwateringskanaal nagenoeg identiek zijn als vandaag. In tabel 7.2 worden de voor- en de nadelen van de twee types van de extra 'diepe drainage' kort samengevat.

Een ruwe kostenraming van de verschillende alternatieven van drainage en van de twee types van diepe drainage zal uitgevoerd worden door TRITEL – TECHNUM/ TRACTEBEL. Hierdoor zal het mogelijk worden om een voorstel te formuleren van de best passende 'extra drainage' rondom het uitbreidingsgebied van het Zwin waarbij het verziltingsgevaar gekeerd wordt; het verdrogingsgevaar geminimaliseerd wordt en waarbij het zoutgehalte van het oppervlakte water (drainagesloten en –kanalen) in het poldergebied daalt of minstens ongewijzigd blijft.

Tabel 7.1 Voor- en nadelen van de extra ‘oppervlakte drainage’ en de extra ‘diepe drainage met pompen’ aan de westelijke en zuidwestelijk grens

Alternatief 1 – Extra ‘oppervlakte drainage’		Alternatief 2 - Extra ‘diepe drainage’	
Voordeel	Nadeel	Voordeel	Nadeel
- Het verbrede drainage kanaal vangt het zout water op dat infiltreert in het uitgebreide Zwingebied en in het omringen poldergebied is geen extra zoute kwel. - Minder afvoer nodig (circa 10% minder dan in alternatief 2)	- Het verbrede drainagekanaal neemt extra ruimte in beslag en vereist extra grondverzet. - Het op te pompen water in het verbrede en verdiepte drainagekanaal is zout en de temperatuur ervan varieert sterk (tussen 0 en 20°C). - <i>Dit zout water moet opgepompt worden van een peil 1.3 m TAW naar 3.05 m TAW(- waar het in het uitgebreide Zwin geloosd wordt.</i> - Onder drainage kanaal is de stijghoogteverlaging slechts in de grootte orde van 10 cm in het onderste gedeelte van de freatische aquifer. - Bij tijdelijk stopzetten van pompen op verbreed drainagekanaal zal het zoutgehalte van water rond de watertafel en kanaal toenemen (door de aanwezige zoute kwel). - Er is een extra drainagesloot vereist om het zoete water van de gemeente Knokke af te voeren via het bestaande drainagesysteem naar het Leopoldkanaal. - In de omringende polders is er slechts een dun laagje zoet water boven brak en zout water en het zoutgehalte van het gedraineerde water in de omringende polders blijft hoog, zeker tijdens droge periode en zo ook het zoutgehalte van het bestaande drainagesysteem tot aan het Leopoldkanaal. - Er is een sterke opwaartse grondwaterstroming onder het drainagekanaal. Dit vermindert de stabiliteit van de voet van de dijk. - De waterpoelen aan de voet van de dijk zijn brak tot zout	- Dit alternatief neemt geen extra ruimte in beslag. - Alles is ondergronds aangelegd (pompputten, hevelleiding, afvoerleiding en zelf de pomphuisjes kunnen in de dijk ingewerkt worden). - Het diepe drainage systeem doet de diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water toenemen in een gebied tot circa 700 m vanaf de voet van de dijk. - Hierdoor wordt niet alleen de zoute kwel gekeerd; het volume aan zoet grondwater neemt er toe en het zoutgehalte van het gedraineerde water in het beïnvloede poldergebied zal er drastisch afnemen wat zijn gevolg zal hebben op het zoutgehalte van het water in het volledige drainagesysteem tot aan het Leopoldkanaal. - Het opgepompte water heeft nagenoeg een constante temperatuur (11 °C). - In het onderste gedeelte van de freatische aquifer is de stijghoogteverlaging in dezelfde orde van grootte als de stijghoogteverhoging t.g.v. de uitbreiding van het Zwin. - Aan de voet van de dijk is er een sterke neerwaartse grondwaterstroming wat de stabiliteit van de dijkvoet verhoogd. - De variatie van het opgepompte debiet kan zeer gemakkelijk afgesteld worden op de variatie van de heropvulling. Grotere variatie op opgepompte debiet mogelijk dan bij alternatief 1. - De waterpoelen aan de voet van de dijk zijn zoet zoals gewenst bij de natuurontwikkeling	- Het opgepompte debiet aan zout water zal circa 10% groter zijn dan in het geval van alternatief 1 - Dit zout water moet opgepompt worden van een peil 1.70 mTAW naar 3.05 mTAW waar het in het uitgebreide Zwin geloosd wordt. Bijkomende opmerkingen Alternatief 1 heeft een opvoerhoogte die ongeveer 10% groter is dan de opvoerhoogte bij alternatief 2 maar bij alternatief 1 moet 10% minder water verpompt worden. Hieruit volgt dat ongeveer evenveel energie vereist is voor het pompen in beide alternatieven. Bij beide alternatieven zal zout water geloosd worden in het Zwin die reeds gevuld is met zout water. De samenstelling van het zoute grondwater (alternatief 2) en van het zout water gedraineerd bij oppervlakkige drainage zal telkens verschillend zijn van het zoute oppervlaktewater in de Zwingewul. (Drie verschillende soorten zout water)

Tabel 7.2 Voor- en nadelen van de extra ‘diepe drainage met vrije uitstroming’ en de extra ‘diepe drainage met pompen’ aan de zuidoostelijke hoek

Type 1 – Extra ‘diepe drainage met vrije uitstroming’		Type 2 - Extra ‘diepe drainage met pompen’	
Voordeel	Nadeel	Voordeel	Nadeel
Het water stroomt door de hoge zoetwaterstijghoogte in het onderste gedeelte van de freatisch aquifer via de verticale putten (en de hevelleiding) in het Uitwateringskanaal zonder de bijkomende vereiste dat op deze putten gepompt wordt. ➔ Er is geen pomp vereist. ➔ Er is geen energie vereist om de diepe drainage te laten werken. Bijkomende opmerking ➔ Het uitstromend debiet zou enkel kunnen geregeld worden door één klep op één uitlaat of meerdere kleppen op meerdere uitlaten (maximum debiet is functie van stijghoogte rond putten, waterstand in Uitwateringskanaal en hydraulische weerstand van systeem tussen put en kanaal)	Het water dat uit de diepe drainageputten stroomt, heeft een totaal zoutgehalte (TDS) van circa 24.000 mg/l (of een Cl--gehalte van circa 13.200 mg/l). Dit water stroomt in het Uitwateringskanaal met een zomergemiddelde Cl--gehalte van 1.800-2.400 mg/l (dit is vijf tot zeven maal kleiner) Tijdens de diepe drainage zal het putverlies van de putten toenemen. Hoe groot het putverlies zal zijn voor iedere put en hoe dit putverlies zal toenemen in de tijd is moeilijk in te schatten. Door deze toename van dit putverlies zal het drainagedebiet per put gaan afnemen (zoals gesimuleerd met een aangenomen toename van het putverlies).	Het systeem is meer beheersbaar of anders gezegd op ieder moment kan het gewenste debiet ingesteld worden. Het water kan op een hoger gewenst peil afgevoerd worden (van 1.65 mTAW of lager in het onderste gedeelte van freatische aquifer naar 3.05mTAW in Zwin) waar het zout water in zout water geloosd wordt. Tijdens natte periodes kan door een groter debiet een grotere verlaging in onderste gedeelte van de freatische aquifer bekomen worden waardoor men extra zoet water naar beneden trekt.	Bovenop de verticale putten en de afvoerleiding (zelfde als bij type 1) is er een pomp vereist. Met pompen zijn er energie- en onderhoudskosten verbonden.

Tabel 7.3 Objectieve vergelijking van alternatief 1 ‘extra oppervlakte drainage’ met alternatief 2 ‘extra diepe drainage met pompen’ aan de westelijke en zuidwestelijke grens.

Effect	Beoordeling Alternatief 1	Beoordeling alternatief 2
Opvang zout water dat infiltreert in het uitgebreide Zwingebied ???	++	++
Geen extra zoute kwel in omringen poldergebied.???	++	++
Vereist extra onteigende oppervlakte	++ (geen)	-- (wel)
Opgepompte volume aan zout water te lozen in het uitgebreide Zwingebied	+ (10% lager dan in alternatief 1)	- (10% lager dan in alternatief 2)
Opvoerhoogte van opgepompte water	1.75 m -	1.35m +
Temperatuur van opgepompt water	T fluctueert sterk - voor duurzaamheid van de pompinstallatie + voor lozing in het uitgebreide Zwin	T nagenoeg constant + voor duurzaamheid van de pompinstallatie - voor lozing in het uitgebreide Zwin
Visueel effect in landschap	- extra drainagekanalen nodig	+ alles kan ondergronds aangelegd worden
Extra grondverzet	- noodzakelijk	+ geen
Toename van zoet grondwater in freatische aquifer	0 (geen toe- of afname)	+ gevoelige toename
Zoutgehalte van het gedraineerde water in het beïnvloede poldergebied zal er drastisch afnemen wat zijn gevolg zal hebben op het zoutgehalte van het water in het volledige drainagesysteem tot aan het Leopoldkanaal.	0 (geen toe- of afname)	+ + gevoelige afname
Stabiliteit van binnendijkse duinvoet	- - stabiliteit verminderd	++ stabiliteit verbeterd
Variatie van het opgepompte debiet Instelling van de gewenste stijghoogte in omringende poldergebied	- (minder mogelijk)	+ (meer mogelijk)
Waterkwaliteit van de aangelegde poelen aan de binnendijkse voet	- brak	+ zoet zoals gewenst door natuurontwikkeling
Aanlegkosten		
Onderhoudskosten		

++ zeer positief

+ positief

0 noch positief, noch negatief

- negatief

-- zeer negatief

n.r. niet relevant

8. Aanbevelingen tot monitoring

De eerste aanbeveling betreft de voorzetting van de reeds uitgevoerde veldwaarnemingen. De zoetwaterstijghoogten en het zoutgehalte van het oppervlaktewater in het omringende poldergebied wordt om de drie maand gemeten. Daar de verdeling evolutie in de zoet-zoutwaterverdeling in de freatische aquifer zeer langzaam verloopt, is het niet nodig om deze metingen om de drie maand uit te voeren. Daarom wordt voorgesteld deze EM39-metingen uit te voeren juist voor de uitbreiding van het Zwin en met een frequentie van een half jaar na de uitbreiding van het Zwin. Na twee jaar worden de eerste vijf metingen geëvalueerd. Mogelijk kan deze frequentie van metingen op de bestaande putten gereduceerd worden tot eens per jaar.

Verder wordt aanbevolen om in vier doorsneden loodrecht op de dijk gedetailleerde metingen uit te voeren. De eerste doorsnede is gesitueerd loodrecht op de westelijke dijk, de tweede doorsnede loodrecht op de zuidelijke dijk nabij de zuidwestelijke hoek, de derde doorsnede is eveneens loodrecht op de zuidelijke dijk maar gelokaliseerd nabij de zuidoostelijke hoek van de Zwinuitbreiding en de vierde doorsnede loodrecht op de oostelijke grens van de Zwinuitbreiding. Iedere doorsnede omvat vijf waarnemingspunten. Bij ieder waarnemingspunt worden twee peilputten geplaatst. De eerste peilput heeft een filter nabij de basis van de freatische aquifer. De filter en de volle buizen van deze peilbuis heeft een binnendiameter van minimum 58 mm zodat hierin EM39-metingen kunnen uitgevoerd worden. De tweede peilput is aangebracht in het bovenste gedeelte van de freatische aquifer en heeft een filter van 1 meter lengte tussen 1 en 2 meter onder de watertafel en met een filterdiameter van 40 mm. Het eerste waarnemingspunt is gelokaliseerd op nabij de buitendijkse dijkvoet. De vier andere waarnemingspunten zijn gelokaliseerd in de omringende polders. Het eerste waarnemingspunt op 5 m, het tweede op 50 m, het derde op 100 m en het vierde op 300 m van de binnendijkse voet. Ter hoogte van de waarnemingspunten in de polders wordt tevens een bemonstering uitgevoerd van het bodemvocht in de onverzadigde zone, op twee verschillende dieptes, namelijk op 80 cm diepte (het onderste gedeelte van de wortelzone) en op 60 cm diepte (het middelste gedeelte van de wortelzone). Van het bodemvocht worden de belangrijkste kationen (Na^+ , K^+ , Mg^{++} en Ca^{++}) en anionen bepaald (Cl^- , SO_4^{--} en HCO_3^-).

De nultoestand wat betreft de zoetwaterstijghoogte en wat betreft de zoet-zoutwaterverdeling (EM39-metingen) moet er opgemeten worden gedurende twee periode met een tijdsinterval van ongeveer 3 maand. Vanaf de uitbreiding van het Zwin met de uitgevoerde milderende maatregelen moet zowel de zoet-zoutwaterverdeling als de zoetwaterstijghoogte opgemeten worden. De evolutie van de zoet-zoutwaterverdeling moet in het begin opgemeten worden om de zes maanden. Ook hier zal na de eerste twee jaar van meting de resultaten geëvalueerd moeten worden om te beoordelen of de frequentie van deze metingen kunnen gereduceerd worden. De zoetwaterstijghoogte wordt er gevolgd door metingen om de 3 maanden. Naast deze manuele metingen worden ook automatische metingen uitgevoerd. Ongeveer drie maand voor de uitbreiding van het Zwin en de eerste twee jaar na de uitbreiding van het Zwin wordt de stijghoogte ook continue gevolgd door middel van een automatisch drukopnametoestel (b.v. Divers) op minimum vier waarnemingsputten per doorsnede. Drie automatische drukopnametoestel worden gehangen met filters in het onderste gedeelte van de freatische aquifer waarvan de eerste in de put gelegen is aan de buitendijkse voet van de dijk, de tweede op 5 meter van de binnendijkse voet (op de dijk) en de derde op 50 m van de binnendijkse voet in de omringende polders. De schommeling van de zoetwaterstijghoogte in het bovenste gedeelte van de freatische watervoerende laag wordt er gevolgd in de ondiepe peilput op 50 m van de binnendijkse voet in de omringende polders. Het tijdsinterval van het automatische drukopnametoestel kan ingesteld worden op 10 minuten. Om de drie maand worden de opgeslagen data van het veld gehaald en worden de gegevens in een klein rapport verwerkt.

9. Referenties

De Breuck , W., De Moor, G., Maréchal R. & Tavernier R. (1975). Diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water in de freatische laag van het Belgische kustgebied (1963-1973). Bijlage 1 van de Proceedings of the 4th Salt Water Intrusion Meeting, Gent, Oktober 1974.

De Moor, G. & De Breuck, W. (1969). De Freatische waterlaag in het Oostelijke Kustgebied en in de Vlaamse Vallei. Natuurwetenschappelijk Tijdschrift, 51, 3-68.

Konikow, L.F., Goode, D.J. & Hornberger, G.Z. (1996). A three-dimensional method of characteristics solute transport model (MOC3D). U.S. Geological Survey. Water-Resources investigations Report, 96-4267.

Lebbe, L. (1978). Hydrogeologie van het duingebied ten westen van De Panne. 164 p. Rijksuniversiteit Gent : Geologisch Instituut (Doctoratsverhandeling).

Lebbe, L, Lermytte, J., Vandeveld, D. Vandenbohede, A., D'hondt, D. & Thomas, P. (2008). Salt Water Intrusion Modelling in the Flemish Coastal Plain Based on a Hydrogeological Database. Proceedings of 20th Salt water Intrusion Meeting, Florida, USA, p.286-289.

Lebbe, L & Oude Essink, G.P. (1999). MOC DENSITY/ MOC3D-code (Section 12.11). p.434-439, in Chapter 12. Survey of Computer codes and Case Histories. Eds. Sorek,S. & Pinder,G.F. in Seawater Intrusion in Coastal Aquifers, Concepts, Methods and Practices. Eds. Bear, J., Cheng, H.-D., Herrera,I. Sorek, S. and Ouazar D. Kluwer, Academic Publishers.

Lebbe, L., Vandenbohede, A. & Waeyaert, P. (2006) - Verfining van de HCOV-indeling van het Kust- en Poldersysteem en de toepassing ervan in een lokaal axi-symmetrisch model en in een 3D model voor de simulatie van de dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming ter ondersteuning van de adviesverlening voor grondwaterwinningen in de verzilte freatische aquifer, Wetenschappelijk rapport, 30 pp. Universiteit Gent i.o.v. VMM, afdeling water.

Lebbe, L., Vandenbohede, A, Courtens, C. & Cosyn, E. (2009) – Grondwaterstudie in het kader van de uitbreiding van het Zwin. 35pp. Universiteit Gent i.o.v. Uitvoerend Secretariaat Technische Scheldec commissie.

McDonald, M.G. & Harbaugh, A.W. (1988). A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model. USGS, Techniques of Water-Resources Investigations 06-A1, 576p.

McNeill, J.D. (1986). Geonics EM39 Borehole conductivity meter – Theory of operation. Geonics Limited technical Note TN-20.

Risch, M. & Robinson, B. (2000). Use of borehole and surface geophysics to investigate ground water quality near a road deicing salt storage facility, Valparaiso, Indiana, Water Resources Investigations Report 00-4070 USGS.

Vandenbohede, A. (2007). Visual MOC3D: visualisation and processing software for MOC3D, a 3D density dependent groundwater flow and solute transport model. User Manual. Research Unit Groundwater Modelling, Ghent University.

Van Meir, N. & Lebbe, L. (2002). Deriving TDS values in coarse sediments from Long Normal and electromagnetic logs. Groundwater, 41(1), 33-40.

9. Samenvatting

Uit de lithostratigrafische en de hydrogeologische gegevens leiden we af dat de freatische aquifer opgebouwd is uit zeer heterogene afzettingen. Deze afzettingen vormen een opeenvolging van discontinue doorlatende en slecht doorlatende lagen. De freatische aquifer is onderaan begrensd door de Bartoonklei. Aan de westelijke grens van de Willem-Leopoldpolder bestaan de quartaire afzettingen bovenaan uit een dunne kleilaag (slappe laag). Dit kleilaagje wordt niet aangetroffen aan de oostelijke grens van de Willem-Leopoldpolder. De geotechnische sonderingen geven ook weer dat aan de noordwestelijke grens van de Willem-Leopoldpolder de intercalaties van siltige/kleiige sedimenten minder frequent aanwezig zijn dan bij de overige sonderingen gelegen op de grens van het uitbreidingsgebied van het Zwin.

Ter bepaling van de doorlatendheid van de afzettingen in de freatische aquifer werd een dubbele pompproef uitgevoerd aan de noordwestelijke grens van de Willem-Leopoldpolder. Uit de resultaten van deze proef blijkt dat het bovenste en onderste helft van de freatische aquifer nagenoeg dezelfde gemiddelde horizontale doorlatendheid (30 m/d) hebben. De harmonische gemiddelde verticale doorlatendheid is ca 7 maal kleiner dan de gemiddelde horizontale doorlatendheid. De doorlatendheid van de afzettingen die zich anderhalve meter onder de watertafel voorkomen, zijn beduid kleiner. De specifieke elastische bergingen van de freatische aquifer zijn 1.8 maal groter dan de specifieke elastische bergingen die men uit hun diepte-interval kan afleiden met de Van der Gun-formule.

Door middel van EM39-metingen werd de zoet-zoutwaterverdeling rond 11 waarnemingen driemaal opgemeten met een tijdsinterval van ca 3 maand (november - december 2010, maart 2011 en eind mei 2011). Uit deze metingen bleek dat onder de duinen een dikke zoetwaterlens voorkomt boven zout water. In de polders daarentegen is er brak of zoet water aanwezig onder de watertafel. De verdeling van zoet, brak en zout water in het grondwaterreservoir is nagenoeg ongewijzigd bij de drie verschillende metingen. Door middel van een CTD-diver werd de geleidbaarheid van het water in de poldersloten ook drie maal opgemeten eveneens met een tijdsinterval van circa 3 maand. De metingen van de tweede en derde meetcampagne geven een hoger zoutgehalte in de grachten weer in vergelijking met de eerste meetcampagne. In het Uitwateringskanaal van de Wielingen werd in maart en mei brak water opgemeten in plaats van zwak zoet tot matig brak in vergelijking met opmetingen van November – December. De gracht naar de Nieuwe Watergang Dievangat is matig zout. De gracht nabij de Internationale Dijk vertoont een hoger zoutgehalte in mei (matig zout) dan in maart (zeer brak). Langs de zeedijkader werd in maart van noord naar zuid de overgang zwak zoet – matig brak – brak – zeer brak waargenomen. In mei gaat deze overgang van matig brak – brak – matig zout – zeer brak.

Door de aanvullende modelleringen met het 'groot' model waarbij de drempelhoogte van de aanvoergeul naar het uitgebreide Zwin 0.5 m verlaagd werd t.o.v. de vorige grondwaterstudie (Lebbe et al, 2009) blijkt dat deze vooral een invloed heeft op de stijghoogte aan de oostelijke en de zuidelijke buitendijkse rand van het Zwinuitbreidingsgebied. De watertafel is er circa 0.5 m lager dan bij de vorige studie waardoor de grondwaterstroming onder de dijk naar het omringende gebied kleiner is dan in de vorige studie. De Zwinuitbreiding veroorzaakt een toename van de stijghoogte van 0.6 m in het onderste gedeelte van de freatische aquifer aan de binnendijkse rand die dan geleidelijk afneemt naarmate men zich verder beweegt van deze binnendijkse rand in het aangrenzende polders. Deze toename veroorzaakt een opwaartse stroming van zout water onder de aangrenzende polders. Hierdoor zal het gebied waar het water een hoog zoutgehalte rond de watertafel heeft, sterk in oppervlakte toenemen. Tijdens periodes met relatief geringe heropvulling zal het zoutgehalte van het water in de drainagesloten groter worden en dit over een toenemende oppervlakte. Momenteel stroomt dit gedraineerde water af in Vlaanderen in de richting van het

Leopoldkanaal. Door deze toename in oppervlakte en in zoutgehalte zal de zoutvracht stijgen in alle poldersloten gelegen tussen het Uitgebreide Zwin en het Leopoldkanaal. Met het 'groot' model wordt net als in de vorige grondwaterstudie aangetoond dat dit verziltingsgevaar kan gekeerd worden door toepassing van diepe drainage.

Steunend op de resultaten bekomen met het 'groot' model worden twee deelgebieden uitgekozen voor detailmodellering. Het eerste deelgebied is gelegen aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding. Bij dit deel werden twee alternatieven van drainage bestudeerd die beide het verziltingsgevaar kunnen stoppen. Alternatief 1 omvat een extra 'oppervlakte drainage' naast de bestaande oppervlakte drainage (deel 6.1.1) waarbij een 15 m brede drainagesloot aan de binnendijkse rand aangelegd wordt en waarin de drainagestand 1 meter lager is dan in het omringende poldergebied. Bij dit alternatief zal een extra sloot vereist zijn die het zoete oppervlakte water die afvloeit vanuit Knokke en de Kleyne Vlakte, kan afvoeren op een voldoende afstand van de binnendijkse rand in de richting van het Leopoldkanaal. Bij dit alternatief zal de watertafelstand in het omringende poldergebied weinig beïnvloed worden met uitzondering van een smalle zone in de omgeving van de brede drainagesloot die 1 meter lager gehouden wordt. Bij dit alternatief zal het zout water dat in het Zwingebied infiltreert, door de brede drainagesloot kunnen gedraineerd worden. Het zoutgehalte van dit gedraineerde water is zo hoog zodat het eveneens door middel van pompen in het Zwinuitbreidingsgebied moet geloosd worden. Bij dit alternatief zal in het omringende poldergebied de dunne laag zoet grondwater onder de watertafel nagenoeg niet wijzigen en zullen de drainagesloten in het omringende poldergebied sterke schommelingen in zoutgehalte vertonen zoals nu waargenomen in het omringende poldergebied van het Zwin. In periodes van geringe heropvulling kan dit zoutgehalte hoge waarden bereiken. In Vlaanderen beïnvloedt dit zout het zoutgehalte van alle poldersloten gelegen tussen het Uitgebreide Zwin en het Leopoldkanaal.

Het tweede alternatief dat in detail gemodelleerd wordt aan de westelijke grens van de Zwinuitbreiding is de extra 'diepe drainage met pompen' naast de bestaande oppervlakte drainage (Alternatief 2). Bij dit alternatief wordt langs de binnendijkse rand een reeks van putten aangelegd met filter in het onderste gedeelte van de freatische aquifer. Uit deze putten wordt zout water onttrokken en geloosd in het Zwinuitbreidingsgebied. Bij dit alternatief zal de dikte van de laag zoet grondwater onder de watertafel toenemen. Het zoutgehalte van de poldersloten in het omringende poldergebied zal drastisch afnemen en dit vooral in de periodes van geringe heropvulling. Dit lagere zoutgehalte zal eveneens zijn invloed hebben op het zoutgehalte van alle poldersloten gelegen tussen het uitgebreide Zwin en het Leopoldkanaal. Bij dit alternatief zal de gemiddelde waterstand dalen in de omgeving van de aangelegde puttenbatterij. Met de detailmodellering wordt echter aangetoond dat door te pompen in de periode van grote heropvulling (winter) en in de periodes van zaaien en maaien deze watertafeldaling kan gerealiseerd worden terwijl in periodes van geringe heropvulling en droogte men juist een extra hoge watertafel kan realiseren waardoor de planten van extra zoet water voorzien worden door capillaire opstijging van de ondiepe watertafel naar de wortelzone in deze droge periodes.

Het tweede deelgebied met detailmodellering is gelegen aan de zuidoostelijk hoek van de Zwinuitbreiding. In dit gebied was het niet mogelijk een extra 'oppervlakte drainage' aan te leggen met een brede drainagesloot omwille van de beschikbare ruimte. Dit alternatief zou enkel kunnen toegepast worden als de dijk in de richting van het Zwin opgeschoven wordt waardoor de uitbreiding van het natuurgebied aan de Nederlandse zijde drastisch zou inkrimpen. Bij deze detailmodellering worden dan ook twee typen van extra 'diepe drainage' beschouwd. Bij het eerste type van extra 'diepe drainage' laat men het zoute water uit de aangelegde putten vrij stromen in het Uitwateringskanaal. Bij dit type is het onttrokken debiet uit de onderste deel van de freatische aquifer bepaald door de heersende zoetwaterstijghoogte omheen de filters van de pompputten, de waterstand in het Uitwateringskanaal en de hydraulische weerstand tussen de twee voornoemde plaatsten. Deze hydraulische weerstand wordt eerst en vooral bepaald door de evolutie van het

putverlies. Door natuurlijke schommelingen in de twee voornoemde waterstanden zal er een beperkte schommeling zijn in het uitstromende debiet. Bij het tweede type van 'diepe drainage' kan op de putten gepompt worden. Hierdoor is het mogelijk het opgepompte zout water te lozen in het Zwin. Het onttrokken debiet kan op ieder ogenblik ingesteld worden. Bij beide methodes verandert de verdeling van zoet en zout water in de freatische aquifer nagenoeg niet in het omringende poldergebied. Met beide types van extra 'diepe drainage' is er een geringe daling van de watertafel die voornamelijk optreedt in de nabijheid van de puttenbatterij. Bij type 2 kan door extra pompen deze daling gedurende de periodes met grote heropvulling hoofdzakelijk gerealiseerd worden. Over een langere periode (bijvoorbeeld 1 jaar) moet de onttrokken hoeveelheid water nagenoeg gelijk zijn aan de hoeveelheid geïnfiltreerd in de Zwinuitbreiding. Dit geldt voor beide types van extra 'diepe drainage'. Bij extra 'diepe drainage met vrije uitstroming' is de debietschommeling eerder beperkt. Als tijdens droge periodes de vrije uitstroming gestopt wordt, zal het niet mogelijk zijn om de achterstand op te halen met de extra 'diepe drainage met vrije uitstroming'. Met het laatstgenoemde type van extra 'diepe drainage' zal het zoutgehalte van het water in de Uitwateringskanaal zeer sterk schommelen met grote pieken tijdens de droge periodes. Als het onttrokken zoute water door pompen in de Zwinuitbreiding kan verwijderd worden, zal het schommelingen in het zoutgehalte van het water in de Uitwateringskanaal nagenoeg identiek zijn als vandaag.

Een ruwe kostenraming van de verschillende alternatieven van drainage en van de twee types van diepe drainage zal uitgevoerd worden door TRITEL – TECHNUM / TRACTEBEL. Hierdoor zal het mogelijk worden om een voorstel te formuleren van de best passende 'extra drainage' rondom het uitbreidingsgebied van het Zwin waarbij het verziltingsgevaar gekeerd wordt; het verdrogingsgevaar geminimaliseerd wordt en waarbij het zoutgehalte van het oppervlakte water (drainagesloten en – kanalen) in het poldergebied daalt of minstens ongewijzigd blijft.

11. Bijlagen

Bijlage 1 – Aangewende modelparameters en optimale waarden van de hydraulische parameters, waargenomen verlagingen en de vergelijking tussen de logaritmes van de waargenomen en de gesimuleerde verlagingen aan de hand van de afgeleide optimale waarden van de hydraulische parameters bij de gezamenlijke interpretatie van de dubbele pompproef (deel bij pumping op PP1)

Model parameters

INITIAL RADIUS OF AXI-SYMMETRIC GRID, R, IN M,-----	0.020
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN M ³ /DAY,-----	283.000
INITIAL TIME, T1, IN MIN,-----	0.100
LOGARITHMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS	
LOGA,-----	0.100
LATEST CALCULATED TIME, T2, IN MIN,-----	2010.
NUMBER OF LAYERS, N,-----	14
NUMBER OF RINGS, M,-----	51
THE WELLSCREEN IS SITUATED IN LAYER-----	3

THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN M NUMBERED FROM LOWER TO UPPER

THICKNESS OF LAYER 1, IN M,-----	3.000
THICKNESS OF LAYER 2, IN M,-----	3.000
THICKNESS OF LAYER 3, IN M,-----	3.000
THICKNESS OF LAYER 4, IN M,-----	1.500
THICKNESS OF LAYER 5, IN M,-----	1.500
THICKNESS OF LAYER 6, IN M,-----	1.500
THICKNESS OF LAYER 7, IN M,-----	1.500
THICKNESS OF LAYER 8, IN M,-----	1.500
THICKNESS OF LAYER 9, IN M,-----	2.000
THICKNESS OF LAYER 10, IN M,-----	0.750
THICKNESS OF LAYER 11, IN M,-----	0.750
THICKNESS OF LAYER 12, IN M,-----	0.750
THICKNESS OF LAYER 13, IN M,-----	0.750
THICKNESS OF LAYER 14, IN M,-----	1.500

Bijlage 1 – vervolg 1

OPTIMAL PARMETER VALUES OF DOUBLE PUMPING TEST

-----	NUMBER OF HYDRAULIC PARAMETER	---/NR./-----	
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(1),IN M/DAY,-----/	1/--		30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(2),IN M/DAY,-----/	2/--		30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(3),IN M/DAY,-----/	3/--		30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(4),IN M/DAY,-----/	4/--		30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(5),IN M/DAY,-----/	5/--		30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(6),IN M/DAY,-----/	6/--		30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(7),IN M/DAY,-----/	7/--		29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(8),IN M/DAY,-----/	8/--		29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(9),IN M/DAY,-----/	9/--		29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(10),IN M/DAY,-----/	10/--		29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(11),IN M/DAY,-----/	11/--		29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(12),IN M/DAY,-----/	12/--		29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(13),IN M/DAY,-----/	13/--		29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(14),IN M/DAY,-----/	14/--		2.535
HYDRAULIC RESISTANCE,C(1),IN DAY,-----/	15/--		0.705
HYDRAULIC RESISTANCE,C(2),IN DAY,-----/	16/--		0.352
HYDRAULIC RESISTANCE,C(3),IN DAY,-----/	17/--		0.176
HYDRAULIC RESISTANCE,C(4),IN DAY,-----/	18/--		0.352
HYDRAULIC RESISTANCE,C(5),IN DAY,-----/	19/--		0.352
HYDRAULIC RESISTANCE,C(6),IN DAY,-----/	20/--		0.352
HYDRAULIC RESISTANCE,C(7),IN DAY,-----/	21/--		0.352
HYDRAULIC RESISTANCE,C(8),IN DAY,-----/	22/--		0.176
HYDRAULIC RESISTANCE,C(9),IN DAY,-----/	23/--		0.088
HYDRAULIC RESISTANCE,C(10),IN DAY,-----/	24/--		0.176
HYDRAULIC RESISTANCE,C(11),IN DAY,-----/	25/--		0.176
HYDRAULIC RESISTANCE,C(12),IN DAY,-----/	26/--		0.176
HYDRAULIC RESISTANCE,C(13),IN DAY,-----/	27/--		6.160
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(1),IN M-1,-----/	28/--		0.553E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(2),IN M-1,-----/	29/--		0.607E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(3),IN M-1,-----/	30/--		0.675E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(4),IN M-1,-----/	31/--		0.739E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(5),IN M-1,-----/	32/--		0.793E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(6),IN M-1,-----/	33/--		0.859E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(7),IN M-1,-----/	34/--		0.939E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(8),IN M-1,-----/	35/--		0.104E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(9),IN M-1,-----/	36/--		0.121E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(10),IN M-1,-----/	37/--		0.139E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(11),IN M-1,-----/	38/--		0.152E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(12),IN M-1,-----/	39/--		0.170E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(13),IN M-1,-----/	40/--		0.193E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(14),IN M-1,-----/	41/--		0.257E-03
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE,S0,----/	42/--		0.0074260

THE TOTAL DRAWDOWN IN THE PUMPED WELL IS THE SUM OF THE FORMATION LOSS AND THE WELL LOSS.

THE FORMATION LOSS DEPENDS OF THE GIVEN HYDRAULIC PARAMETERS AND IS CALCULATED BY THE NUMERICAL MODEL.

THE WELL LOSS EQUALS $C*Q**N$ (P.153 OF TODD,1980)

C-VALUE OF WELL LOSS IN $M**(1-3N)D**N$,----- 0.0000323

N-POWER OF WELL LOSS ----- 2.0000

Bijlage 1 – vervolg 2

Observed drawdowns of first part of double pumping

PUMPED WELL (PP1) IN LAYER 3 WITH 0.1 M DIAMETER (OBS. WELL 1)

TIME (MIN)	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	8.5	10.5	12.5	16.5
DRAWDOWN (M)	4.565	4.610	4.170	4.636	4.656	4.629	4.628	4.648	4.653	4.670
TIME (MIN)	20.5	25.5	32.5	40.5	50.5	63.5	80.5	100.5	125.5	160.5
DRAWDOWN (M)	4.693	4.698	4.713	4.724	4.704	4.720	4.717	4.706	4.737	4.733
TIME (MIN)	200.5	250.5	320.5	400.5	500.5	630.5	800.5	1000.5	1250.5	1519.5
DRAWDOWN (M)	4.721	4.738	4.731	4.759	4.761	4.758	4.786	4.797	4.772	4.819

OBS. WELL 2 (PB1) IN LAYER 3 AT 6.25 M OF PUMPED WELL

TIME (MIN)	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	8.5	10.5	12.5	16.5
DRAWDOWN (M)	0.232	0.253	0.264	0.268	0.272	0.279	0.285	0.288	0.292	0.296
TIME (MIN)	20.5	25.5	32.5	40.5	50.5	63.5	80.5	100.5	125.5	160.5
DRAWDOWN (M)	0.304	0.308	0.309	0.316	0.321	0.328	0.319	0.331	0.336	0.335
TIME (MIN)	200.5	250.5	320.5	400.5	500.5	630.5	800.5	1000.5	1250.5	1519.5
DRAWDOWN (M)	0.329	0.336	0.332	0.336	0.342	0.347	0.349	0.360	0.367	0.384

OBS. WELL 3 (PB2) IN LAYER 3 AT 25.0 M OF PUMPED WELL

TIME (MIN)	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	8.5	10.5	12.5	16.5
DRAWDOWN (M)	0.026	0.042	0.046	0.054	0.059	0.057	0.066	0.071	0.073	0.084
TIME (MIN)	20.5	25.5	32.5	40.5	50.5	63.5	80.5	100.5	125.5	160.5
DRAWDOWN (M)	0.089	0.090	0.094	0.096	0.099	0.101	0.106	0.109	0.111	0.105
TIME (MIN)	200.5	250.5	320.5	400.5	500.5	630.5	800.5	1000.5	1250.5	1519.5
DRAWDOWN (M)	0.120	0.119	0.122	0.126	0.127	0.125	0.130	0.136	0.142	0.157

OBS. WELL 4 (PB3) IN LAYER 9 AT 9.3 M OF PUMPED

TIME (MIN)	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	8.5	10.5	12.5	16.5	20.5
DRAWDOWN (M)	0.041	0.047	0.050	0.056	0.058	0.068	0.071	0.076	0.085	0.088
TIME (MIN)	25.5	32.5	40.5	50.5	63.5	80.5	100.5	125.5	160.5	200.5
DRAWDOWN (M)	0.093	0.099	0.103	0.105	0.108	0.114	0.114	0.120	0.125	0.124
TIME (MIN)	250.5	320.5	400.5	500.5	630.5	800.5	1000.5	1250.5	1519.5	
DRAWDOWN (M)	0.125	0.129	0.129	0.129	0.129	0.132	0.134	0.160	0.175	

OBS. WELL 5 (PB4) IN LAYER 9 AT 19.0 M OF PUMPED WELL

TIME (MIN)	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	8.5	10.5	12.5	16.5	20.5
DRAWDOWN (M)	0.030	0.035	0.046	0.044	0.049	0.054	0.058	0.063	0.071	0.076
TIME (MIN)	25.5	32.5	40.5	50.5	63.5	80.5	100.5	125.5	160.5	200.5
DRAWDOWN (M)	0.080	0.084	0.086	0.091	0.097	0.099	0.105	0.104	0.108	0.112
TIME (MIN)	250.5	320.5	400.5	500.5	630.5	800.5	1000.5	1250.5	1519.5	
DRAWDOWN (M)	0.112	0.114	0.118	0.120	0.121	0.120	0.127	0.131	0.139	

OBS. WELL 6 (P2) IN LAYER 2 AT 35.5 M OF PUMPED WELL

TIME (MIN)	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	8.5	10.5	12.5	16.5
DRAWDOWN (M)	0.009	0.023	0.031	0.037	0.041	0.045	0.051	0.054	0.059	0.066
TIME (MIN)	20.5	25.5	32.5	40.5	50.5	63.5	80.5	100.5	125.5	160.5
DRAWDOWN (M)	0.071	0.078	0.078	0.082	0.086	0.091	0.093	0.093	0.098	0.101
TIME (MIN)	200.5	250.5	320.5	400.5	500.5	630.5	800.5	1000.5	1250.5	1519.5
DRAWDOWN (M)	0.103	0.102	0.103	0.110	0.111	0.111	0.111	0.112	0.122	0.131

Bijlage 1 – vervolg 3

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 1 (PP1) IN LAYER 3 AT 0.05M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	1.50	0.6796	0.6594	0.0202
2	2.50	0.6442	0.6637	-0.0195
3	3.50	0.6564	0.6201	0.0362
4	4.50	0.6704	0.6661	0.0043
5	5.50	0.6717	0.6680	0.0037
6	6.50	0.6646	0.6655	-0.0009
7	8.50	0.6791	0.6654	0.0137
8	10.50	0.6612	0.6673	-0.0060
9	12.50	0.6806	0.6677	0.0128
10	16.50	0.6613	0.6693	-0.0081
11	20.50	0.6834	0.6715	0.0119
12	25.50	0.6625	0.6719	-0.0094
13	32.50	0.6837	0.6733	0.0104
14	40.50	0.6640	0.6743	-0.0103
15	50.50	0.6832	0.6725	0.0108
16	63.50	0.6656	0.6739	-0.0083
17	80.50	0.6828	0.6737	0.0092
18	100.50	0.6674	0.6727	-0.0053
19	125.50	0.6823	0.6755	0.0068
20	160.50	0.6695	0.6751	-0.0057
21	200.50	0.6824	0.6740	0.0084
22	250.50	0.6711	0.6756	-0.0045
23	320.50	0.6822	0.6750	0.0072
24	400.50	0.6730	0.6775	-0.0045
25	500.50	0.6829	0.6777	0.0052
26	630.50	0.6746	0.6774	-0.0028
27	800.50	0.6832	0.6800	0.0033
28	1000.50	0.6764	0.6810	-0.0046
29	1250.50	0.6838	0.6787	0.0051
30	1519.50	0.6792	0.6830	-0.0038
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF				
12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0049
STANDARD DEVIATION -----				0.0152
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0009
STANDARD DEVIATION -----				0.0070
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 1 -----				0.0025
STANDARD DEVIATION -----				0.0110

Bijlage 1 – vervolg 4

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 2 (PB1) IN LAYER 3 AT 6.3M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	1.50	-0.7005	-0.6345	-0.0660
2	2.50	-0.6357	-0.5969	-0.0388
3	3.50	-0.6116	-0.5784	-0.0332
4	4.50	-0.5974	-0.5719	-0.0256
5	5.50	-0.5878	-0.5654	-0.0223
6	6.50	-0.5806	-0.5544	-0.0262
7	8.50	-0.5688	-0.5452	-0.0237
8	10.50	-0.5613	-0.5406	-0.0207
9	12.50	-0.5550	-0.5346	-0.0204
10	16.50	-0.5472	-0.5287	-0.0185
11	20.50	-0.5410	-0.5171	-0.0239
12	25.50	-0.5357	-0.5114	-0.0243
13	32.50	-0.5298	-0.5100	-0.0198
14	40.50	-0.5258	-0.5003	-0.0254
15	50.50	-0.5212	-0.4935	-0.0277
16	63.50	-0.5172	-0.4841	-0.0331
17	80.50	-0.5117	-0.4962	-0.0155
18	100.50	-0.5070	-0.4802	-0.0269
19	125.50	-0.5016	-0.4737	-0.0279
20	160.50	-0.4956	-0.4750	-0.0206
21	200.50	-0.4893	-0.4828	-0.0065
22	250.50	-0.4824	-0.4737	-0.0087
23	320.50	-0.4742	-0.4789	0.0046
24	400.50	-0.4673	-0.4737	0.0064
25	500.50	-0.4599	-0.4660	0.0061
26	630.50	-0.4527	-0.4597	0.0070
27	800.50	-0.4441	-0.4572	0.0130
28	1000.50	-0.4367	-0.4437	0.0069
29	1250.50	-0.4295	-0.4353	0.0058
30	1519.50	-0.4234	-0.4157	-0.0077
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0286
STANDARD DEVIATION -----				0.0131
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0094
STANDARD DEVIATION -----				0.0154
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 2 -----				-0.0171
STANDARD DEVIATION -----				0.0172

Bijlage 1 – vervolg 5

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 3 (PB2) IN LAYER 3 AT 25.0M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	1.50	-1.6950	-1.5850	-0.1100
2	2.50	-1.4077	-1.3768	-0.0310
3	3.50	-1.3062	-1.3372	0.0311
4	4.50	-1.2500	-1.2676	0.0176
5	5.50	-1.2126	-1.2291	0.0166
6	6.50	-1.1850	-1.2441	0.0591
7	8.50	-1.1450	-1.1805	0.0355
8	10.50	-1.1181	-1.1487	0.0307
9	12.50	-1.0985	-1.1367	0.0381
10	16.50	-1.0720	-1.0757	0.0037
11	20.50	-1.0542	-1.0506	-0.0036
12	25.50	-1.0371	-1.0458	0.0087
13	32.50	-1.0210	-1.0269	0.0059
14	40.50	-1.0079	-1.0177	0.0098
15	50.50	-0.9958	-1.0044	0.0086
16	63.50	-0.9834	-0.9957	0.0123
17	80.50	-0.9688	-0.9747	0.0059
18	100.50	-0.9551	-0.9626	0.0074
19	125.50	-0.9408	-0.9547	0.0139
20	160.50	-0.9240	-0.9788	0.0548
21	200.50	-0.9081	-0.9208	0.0128
22	250.50	-0.8897	-0.9245	0.0348
23	320.50	-0.8700	-0.9136	0.0437
24	400.50	-0.8525	-0.8996	0.0471
25	500.50	-0.8353	-0.8962	0.0609
26	630.50	-0.8181	-0.9031	0.0850
27	800.50	-0.7990	-0.8861	0.0870
28	1000.50	-0.7825	-0.8665	0.0840
29	1250.50	-0.7668	-0.8477	0.0809
30	1519.50	-0.7536	-0.8041	0.0505
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF				
12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0080
STANDARD DEVIATION -----				0.0438
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0392
STANDARD DEVIATION -----				0.0308
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 3 -----				0.0267
STANDARD DEVIATION -----				0.0391

Bijlage 1 – vervolg 6

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 4 (PB3) IN LAYER 9 AT 9.3M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	2.50	-1.5567	-1.3872	-0.1695
2	3.50	-1.4167	-1.3279	-0.0888
3	4.50	-1.3393	-1.3010	-0.0383
4	5.50	-1.2894	-1.2518	-0.0376
5	6.50	-1.2536	-1.2366	-0.0170
6	8.50	-1.2015	-1.1675	-0.0340
7	10.50	-1.1679	-1.1487	-0.0191
8	12.50	-1.1444	-1.1192	-0.0252
9	16.50	-1.1127	-1.0706	-0.0421
10	20.50	-1.0915	-1.0555	-0.0360
11	25.50	-1.0703	-1.0315	-0.0388
12	32.50	-1.0501	-1.0044	-0.0457
13	40.50	-1.0338	-0.9872	-0.0467
14	50.50	-1.0184	-0.9788	-0.0396
15	63.50	-1.0028	-0.9666	-0.0362
16	80.50	-0.9844	-0.9431	-0.0413
17	100.50	-0.9675	-0.9431	-0.0244
18	125.50	-0.9502	-0.9208	-0.0294
19	160.50	-0.9306	-0.9031	-0.0276
20	200.50	-0.9125	-0.9066	-0.0059
21	250.50	-0.8921	-0.9031	0.0110
22	320.50	-0.8704	-0.8894	0.0190
23	400.50	-0.8518	-0.8894	0.0376
24	500.50	-0.8339	-0.8894	0.0556
25	630.50	-0.8160	-0.8894	0.0734
26	800.50	-0.7966	-0.8794	0.0829
27	1000.50	-0.7794	-0.8729	0.0935
28	1250.50	-0.7634	-0.7959	0.0324
29	1519.50	-0.7502	-0.7570	0.0068
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF				
11 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0497
STANDARD DEVIATION -----				0.0440
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0064
STANDARD DEVIATION -----				0.0469
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 4 -----				-0.0149
STANDARD DEVIATION -----				0.0529

Bijlage 1 – vervolg 7

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 5 (PB4) IN LAYER 9 AT 19.0M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	2.50	-1.7161	-1.5229	-0.1933
2	3.50	-1.5448	-1.4559	-0.0888
3	4.50	-1.4507	-1.3372	-0.1135
4	5.50	-1.3908	-1.3565	-0.0342
5	6.50	-1.3483	-1.3098	-0.0385
6	8.50	-1.2889	-1.2676	-0.0213
7	10.50	-1.2505	-1.2366	-0.0139
8	12.50	-1.2237	-1.2007	-0.0230
9	16.50	-1.1878	-1.1487	-0.0390
10	20.50	-1.1638	-1.1192	-0.0447
11	25.50	-1.1404	-1.0969	-0.0435
12	32.50	-1.1180	-1.0757	-0.0423
13	40.50	-1.0998	-1.0655	-0.0343
14	50.50	-1.0825	-1.0410	-0.0415
15	63.50	-1.0647	-1.0132	-0.0515
16	80.50	-1.0440	-1.0044	-0.0397
17	100.50	-1.0249	-0.9788	-0.0461
18	125.50	-1.0053	-0.9830	-0.0224
19	160.50	-0.9832	-0.9666	-0.0166
20	200.50	-0.9627	-0.9508	-0.0119
21	250.50	-0.9400	-0.9508	0.0108
22	320.50	-0.9161	-0.9431	0.0270
23	400.50	-0.8955	-0.9281	0.0326
24	500.50	-0.8758	-0.9208	0.0450
25	630.50	-0.8563	-0.9172	0.0610
26	800.50	-0.8350	-0.9208	0.0858
27	1000.50	-0.8166	-0.8962	0.0796
28	1250.50	-0.7993	-0.8827	0.0834
29	1519.50	-0.7850	-0.8570	0.0720
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF				
11 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0594
STANDARD DEVIATION -----				0.0534
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0106
STANDARD DEVIATION -----				0.0505
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 5 -----				-0.0160
STANDARD DEVIATION -----				0.0614

Bijlage 1 – vervolg 8

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 6 (P2) IN LAYER 2 AT 35.5M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	1.50	-2.1056	-2.0458	-0.0599
2	2.50	-1.7097	-1.6383	-0.0714
3	3.50	-1.5571	-1.5086	-0.0485
4	4.50	-1.4744	-1.4318	-0.0426
5	5.50	-1.4199	-1.3872	-0.0327
6	6.50	-1.3803	-1.3468	-0.0335
7	8.50	-1.3246	-1.2924	-0.0321
8	10.50	-1.2870	-1.2676	-0.0194
9	12.50	-1.2602	-1.2291	-0.0310
10	16.50	-1.2240	-1.1805	-0.0435
11	20.50	-1.2002	-1.1487	-0.0515
12	25.50	-1.1780	-1.1079	-0.0701
13	32.50	-1.1570	-1.1079	-0.0491
14	40.50	-1.1401	-1.0862	-0.0539
15	50.50	-1.1244	-1.0655	-0.0589
16	63.50	-1.1085	-1.0410	-0.0675
17	80.50	-1.0900	-1.0315	-0.0585
18	100.50	-1.0726	-1.0315	-0.0411
19	125.50	-1.0543	-1.0088	-0.0455
20	160.50	-1.0331	-0.9957	-0.0374
21	200.50	-1.0130	-0.9872	-0.0258
22	250.50	-0.9902	-0.9914	0.0012
23	320.50	-0.9660	-0.9872	0.0212
24	400.50	-0.9445	-0.9586	0.0141
25	500.50	-0.9236	-0.9547	0.0311
26	630.50	-0.9027	-0.9547	0.0520
27	800.50	-0.8798	-0.9547	0.0749
28	1000.50	-0.8602	-0.9508	0.0906
29	1250.50	-0.8416	-0.9136	0.0720
30	1519.50	-0.8261	-0.8827	0.0566
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 6 OF				
12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0447
STANDARD DEVIATION				0.0163
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 6 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0013
STANDARD DEVIATION				0.0537
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 6				-0.0187
STANDARD DEVIATION				0.0475
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS				-0.0061
STANDARD DEVIATION				0.0447
MEAN OF DEVIATIONS OF 30 OBSERVATIONS IN LAYER 2				-0.0187
STANDARD DEVIATION				0.0475
MEAN OF DEVIATIONS OF 90 OBSERVATIONS IN LAYER 3				0.0040
STANDARD DEVIATION				0.0309
MEAN OF DEVIATIONS OF 58 OBSERVATIONS IN LAYER 9				-0.0154
STANDARD DEVIATION				0.0568

Bijlage 2 – Aangewende modelparameters en optimale waarden van de hydraulische parameters, waargenomen verlagingen en de vergelijking tussen de logaritmes van de waargenomen en de gesimuleerde verlagingen aan de hand van de afgeleide optimale waarden van de hydraulische parameters bij de gezamenlijke interpretatie van de dubbele pompproef (deel bij pumping op PP2)

Model parameters

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN M, -----	0.020
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN M ³ /DAY, -----	269.441
INITIAL TIME, T1, IN MIN, -----	0.100
LOGARTHMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS	
LOGA, -----	0.100
LATEST CALCULATED TIME, T2, IN MIN, -----	3210.
NUMBER OF LAYERS, N, -----	14
NUMBER OF RINGS, M, -----	51
THE WELLSCREEN IS SITUATED IN LAYER-----	9

**THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN M
NUMBERED FROM LOWER TO UPPER**

THICKNESS OF LAYER 1, IN M, -----	3.000
THICKNESS OF LAYER 2, IN M, -----	3.000
THICKNESS OF LAYER 3, IN M, -----	3.000
THICKNESS OF LAYER 4, IN M, -----	1.500
THICKNESS OF LAYER 5, IN M, -----	1.500
THICKNESS OF LAYER 6, IN M, -----	1.500
THICKNESS OF LAYER 7, IN M, -----	1.500
THICKNESS OF LAYER 8, IN M, -----	1.500
THICKNESS OF LAYER 9, IN M, -----	2.000
THICKNESS OF LAYER 10, IN M, -----	0.750
THICKNESS OF LAYER 11, IN M, -----	0.750
THICKNESS OF LAYER 12, IN M, -----	0.750
THICKNESS OF LAYER 13, IN M, -----	0.750
THICKNESS OF LAYER 14, IN M, -----	1.500

Bijlage 2 – vervolg 1

OPTIMAL PARMETER VALUES OF DOUBLE PUMPING TEST

```

----- NUMBER OF HYDRAULIC PARAMETER ---/NR./-----
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K( 1),IN M/DAY,-----/ 1/--      30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K( 2),IN M/DAY,-----/ 2/--      30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K( 3),IN M/DAY,-----/ 3/--      30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K( 4),IN M/DAY,-----/ 4/--      30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K( 5),IN M/DAY,-----/ 5/--      30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K( 6),IN M/DAY,-----/ 6/--      30.358
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K( 7),IN M/DAY,-----/ 7/--      29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K( 8),IN M/DAY,-----/ 8/--      29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K( 9),IN M/DAY,-----/ 9/--      29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(10),IN M/DAY,-----/ 10/--     29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(11),IN M/DAY,-----/ 11/--     29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(12),IN M/DAY,-----/ 12/--     29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(13),IN M/DAY,-----/ 13/--     29.468
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(14),IN M/DAY,-----/ 14/--       2.535
HYDRAULIC RESISTANCE,C( 1),IN DAY,-----/ 15/--       0.705
HYDRAULIC RESISTANCE,C( 2),IN DAY,-----/ 16/--       0.352
HYDRAULIC RESISTANCE,C( 3),IN DAY,-----/ 17/--       0.176
HYDRAULIC RESISTANCE,C( 4),IN DAY,-----/ 18/--       0.352
HYDRAULIC RESISTANCE,C( 5),IN DAY,-----/ 19/--       0.352
HYDRAULIC RESISTANCE,C( 6),IN DAY,-----/ 20/--       0.352
HYDRAULIC RESISTANCE,C( 7),IN DAY,-----/ 21/--       0.352
HYDRAULIC RESISTANCE,C( 8),IN DAY,-----/ 22/--       0.176
HYDRAULIC RESISTANCE,C( 9),IN DAY,-----/ 23/--       0.088
HYDRAULIC RESISTANCE,C(10),IN DAY,-----/ 24/--       0.176
HYDRAULIC RESISTANCE,C(11),IN DAY,-----/ 25/--       0.176
HYDRAULIC RESISTANCE,C(12),IN DAY,-----/ 26/--       0.176
HYDRAULIC RESISTANCE,C(13),IN DAY,-----/ 27/--       6.160
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA( 1),IN M-1,-----/ 28/--  0.553E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA( 2),IN M-1,-----/ 29/--  0.607E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA( 3),IN M-1,-----/ 30/--  0.675E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA( 4),IN M-1,-----/ 31/--  0.739E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA( 5),IN M-1,-----/ 32/--  0.793E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA( 6),IN M-1,-----/ 33/--  0.859E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA( 7),IN M-1,-----/ 34/--  0.939E-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA( 8),IN M-1,-----/ 35/--  0.104E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA( 9),IN M-1,-----/ 36/--  0.121E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(10),IN M-1,-----/ 37/--  0.139E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(11),IN M-1,-----/ 38/--  0.152E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(12),IN M-1,-----/ 39/--  0.170E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(13),IN M-1,-----/ 40/--  0.193E-03
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(14),IN M-1,-----/ 41/--  0.257E-03
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE,S0,----/ 42/--  0.0074260
THE TOTAL DRAWDOWN IN THE PUMPED WELL IS
    THE SUM OF THE FORMATION LOSS AND THE WELL LOSS.
THE FORMATION LOSS DEPENDS OF THE GIVEN HYDRAULIC PARAMETERS
    AND IS CALCULATED BY THE NUMERICAL MODEL.
THE WELL LOSS EQUALS      C*Q**N ( P.153 OF TODD,1980)
C-VALUE OF WELL LOSS IN M**(1-3N)D**N,-----  0.0000072
N-POWER OF WELL LOSS -----  2.0000

```

Bijlage 2 – vervolg 2

Observed drawdowns of second part of double pumping test

PUMPED WELL PP2 IN LAYER 9 WITH A WELL DIAMETER OF 0.1M (OBS. WELL 1)

```
-----  
TIME (MIN)      2.0    3.0    4.0    5.0    6.0    8.0   10.0   12.0   16.0   20.0  
DRAWDOWN(M) 3.151 3.140 3.155 3.168 3.170 3.178 3.202 3.212 3.224 3.236  
TIME (MIN)      25.0   32.0   40.0   63.0   80.0  100.0  125.0  160.0  200.0  250.0  
DRAWDOWN(M) 3.238 3.243 3.244 3.252 3.260 3.264 3.276 3.283 3.279 3.290  
TIME (MIN)     320.0  400.0  500.0  630.0  800.0 1000.0 1250.0 1600.0 2000.0 2500.0  
DRAWDOWN(M) 3.288 3.307 3.319 3.321 3.344 3.344 3.366 3.389 3.431 3.462  
TIME (MIN) 2826.0  
DRAWDOWN(M) 3.470  
-----
```

OBS.WELL 2 (PB3) IN LAYER 9 AT 6.3M OF PUMPED WELL

```
-----  
TIME (MIN)      2.0    3.0    4.0    5.0    6.0    8.0   10.0   12.0   16.0   20.0  
DRAWDOWN(M) 0.222 0.238 0.250 0.259 0.266 0.281 0.291 0.298 0.309 0.318  
TIME (MIN)      25.0   32.0   40.0   63.0   80.0  100.0  125.0  160.0  200.0  250.0  
DRAWDOWN(M) 0.327 0.332 0.337 0.350 0.355 0.361 0.368 0.376 0.378 0.384  
TIME (MIN)     320.0  400.0  500.0  630.0  800.0 1000.0 1250.0 1600.0 2000.0 2500.0  
DRAWDOWN(M) 0.390 0.396 0.404 0.413 0.416 0.424 0.431 0.443 0.455 0.467  
TIME (MIN) 2826.0  
DRAWDOWN(M) 0.474  
-----
```

OBS.WELL 3 (PB4) IN LAYER 9 AT 16.0M OF PUMPED WELL

```
-----  
TIME (MIN)      2.0    3.0    4.0    5.0    6.0    8.0   10.0   12.0   16.0   20.0  
DRAWDOWN(M) 0.050 0.056 0.065 0.072 0.075 0.087 0.092 0.098 0.108 0.114  
TIME (MIN)      25.0   32.0   40.0   63.0   80.0  100.0  125.0  160.0  200.0  250.0  
DRAWDOWN(M) 0.122 0.125 0.133 0.141 0.147 0.150 0.158 0.162 0.163 0.168  
TIME (MIN)     320.0  400.0  500.0  630.0  800.0 1000.0 1250.0 1600.0 2000.0 2500.0  
DRAWDOWN(M) 0.178 0.181 0.187 0.195 0.200 0.210 0.211 0.220 0.235 0.247  
TIME (MIN) 2826.0  
DRAWDOWN(M) 0.253  
-----
```

OBS.WELL 4 (PB1) IN LAYER 3 AT 3.3M OF PUMPED WELL

```
-----  
TIME (MIN)      2.0    3.0    4.0    5.0    6.0    8.0   10.0   12.0   16.0   20.0  
DRAWDOWN(M) 0.027 0.035 0.040 0.050 0.051 0.060 0.063 0.068 0.076 0.080  
TIME (MIN)      25.0   32.0   40.0   63.0   80.0  100.0  125.0  160.0  200.0  250.0  
DRAWDOWN(M) 0.087 0.095 0.098 0.106 0.108 0.114 0.120 0.126 0.130 0.135  
TIME (MIN)     320.0  400.0  500.0  630.0  800.0 1000.0 1250.0 1600.0 2000.0 2500.0  
DRAWDOWN(M) 0.136 0.148 0.150 0.157 0.166 0.167 0.176 0.186 0.197 0.214  
TIME (MIN) 2826.0  
DRAWDOWN(M) 0.218  
-----
```

OBS.WELL 5 (PB2) IN LAYER 3 AT 22.0M OF PUMPED WELL

```
-----  
TIME (MIN)      2.0    3.0    4.0    5.0    6.0    8.0   10.0   12.0   16.0   20.0  
DRAWDOWN(M) 0.009 0.014 0.023 0.028 0.026 0.031 0.035 0.041 0.046 0.054  
TIME (MIN)      25.0   32.0   40.0   63.0   80.0  100.0  125.0  160.0  200.0  250.0  
DRAWDOWN(M) 0.057 0.066 0.065 0.077 0.080 0.083 0.087 0.091 0.097 0.102  
TIME (MIN)     320.0  400.0  500.0  630.0  800.0 1000.0 1250.0 1600.0 2000.0 2500.0  
DRAWDOWN(M) 0.107 0.116 0.122 0.131 0.137 0.138 0.143 0.154 0.164 0.189  
TIME (MIN) 2826.0  
DRAWDOWN(M) 0.187  
-----
```

Bijlage 2 – vervolg 3

Observed drawdowns of second part of double pumping

OBS.WELL 6 (PB3) IN LAYER 2 AT 38.5M OF PUMPED WELL

```

-----
TIME (MIN)    2.0   3.0   4.0   5.0   6.0   8.0  10.0  12.0  16.0  20.0
DRAWDOWN(M)  0.004 0.008 0.012 0.017 0.021 0.027 0.025 0.027 0.037 0.043
TIME (MIN)   25.0  32.0  40.0  63.0  80.0 100.0 125.0 160.0 200.0 250.0
DRAWDOWN(M)  0.049 0.050 0.055 0.062 0.070 0.070 0.070 0.081 0.081 0.086
TIME (MIN)   320.0 400.0 500.0 630.0 800.0 1000.0 1250.0 1600.0 2000.0 2500.0
DRAWDOWN(M)  0.093 0.098 0.102 0.113 0.113 0.126 0.124 0.141 0.148 0.161
TIME (MIN)  2826.0
DRAWDOWN(M)  0.170
-----

```

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 1 (PB3) IN LAYER 9 AT 0.05 M OF PUMPED WELL

OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF.
1	2.00	0.5159	0.4984	0.0175
2	3.00	0.5417	0.4969	0.0448
3	4.00	0.4930	0.4990	-0.0060
4	5.00	0.5226	0.5008	0.0218
5	6.00	0.5138	0.5011	0.0127
6	8.00	0.5319	0.5022	0.0298
7	10.00	0.4942	0.5054	-0.0112
8	12.00	0.5230	0.5068	0.0162
9	16.00	0.4957	0.5084	-0.0127
10	20.00	0.5367	0.5100	0.0266
11	25.00	0.4988	0.5103	-0.0115
12	32.00	0.5360	0.5109	0.0251
13	40.00	0.5012	0.5111	-0.0099
14	63.00	0.5045	0.5122	-0.0077
15	80.00	0.5349	0.5132	0.0216
16	100.00	0.5077	0.5138	-0.0060
17	125.00	0.5338	0.5153	0.0184
18	160.00	0.5116	0.5163	-0.0047
19	200.00	0.5345	0.5157	0.0187
20	250.00	0.5149	0.5172	-0.0023
21	320.00	0.5341	0.5169	0.0172
22	400.00	0.5179	0.5194	-0.0016
23	500.00	0.5350	0.5210	0.0140
24	630.00	0.5206	0.5213	-0.0006
25	800.00	0.5354	0.5243	0.0111
26	1000.00	0.5233	0.5243	-0.0009
27	1250.00	0.5360	0.5271	0.0089
28	1600.00	0.5263	0.5301	-0.0037
29	2000.00	0.5371	0.5354	0.0016
30	2500.00	0.5285	0.5393	-0.0108
31	2826.00	0.5333	0.5403	-0.0070

MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF

11 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE 0.0116

STANDARD DEVIATION ----- 0.0194

MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF

20 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE 0.0041

STANDARD DEVIATION ----- 0.0116

MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 1 ----- 0.0068

STANDARD DEVIATION ----- 0.0150

Bijlage 2 – vervolg 4

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 2 (PB4) IN LAYER 9 AT 6.3M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	2.00	-0.6581	-0.6536	-0.0045
2	3.00	-0.6150	-0.6234	0.0085
3	4.00	-0.5939	-0.6021	0.0082
4	5.00	-0.5815	-0.5867	0.0052
5	6.00	-0.5728	-0.5751	0.0023
6	8.00	-0.5601	-0.5513	-0.0088
7	10.00	-0.5513	-0.5361	-0.0152
8	12.00	-0.5453	-0.5258	-0.0195
9	16.00	-0.5364	-0.5100	-0.0264
10	20.00	-0.5304	-0.4976	-0.0328
11	25.00	-0.5238	-0.4855	-0.0383
12	32.00	-0.5173	-0.4789	-0.0384
13	40.00	-0.5115	-0.4724	-0.0391
14	63.00	-0.4998	-0.4559	-0.0439
15	80.00	-0.4926	-0.4498	-0.0429
16	100.00	-0.4856	-0.4425	-0.0432
17	125.00	-0.4787	-0.4342	-0.0445
18	160.00	-0.4706	-0.4248	-0.0457
19	200.00	-0.4632	-0.4225	-0.0407
20	250.00	-0.4548	-0.4157	-0.0392
21	320.00	-0.4461	-0.4089	-0.0372
22	400.00	-0.4385	-0.4023	-0.0362
23	500.00	-0.4312	-0.3936	-0.0376
24	630.00	-0.4239	-0.3840	-0.0398
25	800.00	-0.4159	-0.3809	-0.0350
26	1000.00	-0.4086	-0.3726	-0.0360
27	1250.00	-0.4019	-0.3655	-0.0364
28	1600.00	-0.3946	-0.3536	-0.0410
29	2000.00	-0.3883	-0.3420	-0.0463
30	2500.00	-0.3816	-0.3307	-0.0509
31	2826.00	-0.3780	-0.3242	-0.0538
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
11 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0110
STANDARD DEVIATION -----				0.0167
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
20 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0414
STANDARD DEVIATION -----				0.0051
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 2 -----				-0.0306
STANDARD DEVIATION -----				0.0181

Bijlage 2 – vervolg 5

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 3 (PB1) IN LAYER 9 AT 16.0M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	2.00	-1.2143	-1.3010	0.0867
2	3.00	-1.1002	-1.2518	0.1516
3	4.00	-1.0470	-1.1871	0.1401
4	5.00	-1.0155	-1.1427	0.1272
5	6.00	-0.9944	-1.1249	0.1306
6	8.00	-0.9641	-1.0605	0.0963
7	10.00	-0.9441	-1.0362	0.0921
8	12.00	-0.9300	-1.0088	0.0787
9	16.00	-0.9104	-0.9666	0.0562
10	20.00	-0.8969	-0.9431	0.0462
11	25.00	-0.8830	-0.9136	0.0306
12	32.00	-0.8691	-0.9031	0.0340
13	40.00	-0.8573	-0.8761	0.0189
14	63.00	-0.8332	-0.8508	0.0176
15	80.00	-0.8184	-0.8327	0.0143
16	100.00	-0.8047	-0.8239	0.0193
17	125.00	-0.7905	-0.8013	0.0108
18	160.00	-0.7746	-0.7905	0.0159
19	200.00	-0.7601	-0.7878	0.0277
20	250.00	-0.7441	-0.7747	0.0306
21	320.00	-0.7275	-0.7496	0.0220
22	400.00	-0.7134	-0.7423	0.0289
23	500.00	-0.6999	-0.7282	0.0283
24	630.00	-0.6865	-0.7100	0.0234
25	800.00	-0.6720	-0.6990	0.0269
26	1000.00	-0.6593	-0.6778	0.0185
27	1250.00	-0.6474	-0.6757	0.0283
28	1600.00	-0.6348	-0.6576	0.0228
29	2000.00	-0.6239	-0.6289	0.0050
30	2500.00	-0.6124	-0.6073	-0.0051
31	2826.00	-0.6064	-0.5969	-0.0095
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF				
11 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0942
STANDARD DEVIATION -----				0.0399
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF				
20 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0189
STANDARD DEVIATION -----				0.0115
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 3 -----				0.0456
STANDARD DEVIATION -----				0.0442

Bijlage 2 – vervolg 6

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 4 (PB2) IN LAYER 3 AT 3.3M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	2.00	-1.5831	-1.5686	-0.0144
2	3.00	-1.4149	-1.4559	0.0410
3	4.00	-1.3275	-1.3979	0.0705
4	5.00	-1.2741	-1.3010	0.0270
5	6.00	-1.2379	-1.2924	0.0545
6	8.00	-1.1865	-1.2218	0.0354
7	10.00	-1.1539	-1.2007	0.0467
8	12.00	-1.1315	-1.1675	0.0360
9	16.00	-1.1013	-1.1192	0.0179
10	20.00	-1.0815	-1.0969	0.0155
11	25.00	-1.0620	-1.0605	-0.0015
12	32.00	-1.0435	-1.0223	-0.0213
13	40.00	-1.0286	-1.0088	-0.0198
14	63.00	-1.0001	-0.9747	-0.0254
15	80.00	-0.9829	-0.9666	-0.0163
16	100.00	-0.9668	-0.9431	-0.0237
17	125.00	-0.9504	-0.9208	-0.0295
18	160.00	-0.9314	-0.8996	-0.0317
19	200.00	-0.9137	-0.8861	-0.0277
20	250.00	-0.8936	-0.8697	-0.0239
21	320.00	-0.8723	-0.8665	-0.0058
22	400.00	-0.8540	-0.8297	-0.0243
23	500.00	-0.8362	-0.8239	-0.0123
24	630.00	-0.8187	-0.8041	-0.0146
25	800.00	-0.7995	-0.7799	-0.0196
26	1000.00	-0.7829	-0.7773	-0.0056
27	1250.00	-0.7674	-0.7545	-0.0129
28	1600.00	-0.7510	-0.7305	-0.0205
29	2000.00	-0.7370	-0.7055	-0.0315
30	2500.00	-0.7222	-0.6696	-0.0527
31	2826.00	-0.7146	-0.6615	-0.0530
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF				
11 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0299
STANDARD DEVIATION -----				0.0246
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF				
20 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0236
STANDARD DEVIATION -----				0.0125
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 4 -----				-0.0046
STANDARD DEVIATION -----				0.0312

Bijlage 2 – vervolg 7

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 5 (PB2) IN LAYER 3 AT 22.0M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	2.00	-1.9116	-2.0458	0.1341
2	3.00	-1.6702	-1.8539	0.1837
3	4.00	-1.5457	-1.6383	0.0926
4	5.00	-1.4702	-1.5528	0.0827
5	6.00	-1.4199	-1.5850	0.1651
6	8.00	-1.3511	-1.5086	0.1575
7	10.00	-1.3078	-1.4559	0.1482
8	12.00	-1.2782	-1.3872	0.1090
9	16.00	-1.2388	-1.3372	0.0985
10	20.00	-1.2133	-1.2676	0.0543
11	25.00	-1.1889	-1.2441	0.0552
12	32.00	-1.1659	-1.1805	0.0145
13	40.00	-1.1472	-1.1871	0.0399
14	63.00	-1.1117	-1.1135	0.0018
15	80.00	-1.0905	-1.0969	0.0064
16	100.00	-1.0708	-1.0809	0.0101
17	125.00	-1.0505	-1.0605	0.0100
18	160.00	-1.0272	-1.0410	0.0138
19	200.00	-1.0056	-1.0132	0.0076
20	250.00	-0.9814	-0.9914	0.0100
21	320.00	-0.9560	-0.9706	0.0146
22	400.00	-0.9342	-0.9355	0.0014
23	500.00	-0.9131	-0.9136	0.0005
24	630.00	-0.8925	-0.8827	-0.0097
25	800.00	-0.8700	-0.8633	-0.0067
26	1000.00	-0.8508	-0.8601	0.0094
27	1250.00	-0.8328	-0.8447	0.0119
28	1600.00	-0.8139	-0.8125	-0.0015
29	2000.00	-0.7978	-0.7852	-0.0127
30	2500.00	-0.7810	-0.7235	-0.0574
31	2826.00	-0.7723	-0.7282	-0.0442
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF				
11 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.1164
STANDARD DEVIATION -----				0.0443
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF				
20 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0010
STANDARD DEVIATION -----				0.0210
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 5 -----				0.0419
STANDARD DEVIATION -----				0.0639

Bijlage 2 – vervolg 8

Comparison between logarithms of observed and calculated drawdowns with optimal values of the hydraulic parameters obtained from the joint interpretation of the double pumping test

OBSERVATION WELL 6 (P2) IN LAYER 2 AT 38.5M OF PUMPED WELL

OBSERVATION NUMBER	TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	2.00	-2.4422	-2.3979	-0.0442
2	3.00	-2.0747	-2.0969	0.0222
3	4.00	-1.8804	-1.9208	0.0404
4	5.00	-1.7634	-1.7696	0.0062
5	6.00	-1.6866	-1.6778	-0.0088
6	8.00	-1.5859	-1.5686	-0.0173
7	10.00	-1.5230	-1.6021	0.0791
8	12.00	-1.4808	-1.5686	0.0879
9	16.00	-1.4252	-1.4318	0.0066
10	20.00	-1.3902	-1.3665	-0.0237
11	25.00	-1.3582	-1.3098	-0.0484
12	32.00	-1.3279	-1.3010	-0.0269
13	40.00	-1.3036	-1.2596	-0.0440
14	63.00	-1.2579	-1.2076	-0.0503
15	80.00	-1.2312	-1.1549	-0.0763
16	100.00	-1.2063	-1.1549	-0.0514
17	125.00	-1.1805	-1.1549	-0.0256
18	160.00	-1.1511	-1.0915	-0.0596
19	200.00	-1.1240	-1.0915	-0.0325
20	250.00	-1.0939	-1.0655	-0.0284
21	320.00	-1.0628	-1.0315	-0.0313
22	400.00	-1.0357	-1.0088	-0.0269
23	500.00	-1.0100	-0.9914	-0.0186
24	630.00	-0.9847	-0.9469	-0.0378
25	800.00	-0.9576	-0.9469	-0.0107
26	1000.00	-0.9347	-0.8996	-0.0351
27	1250.00	-0.9132	-0.9066	-0.0067
28	1600.00	-0.8909	-0.8508	-0.0401
29	2000.00	-0.8719	-0.8297	-0.0421
30	2500.00	-0.8521	-0.7932	-0.0590
31	2826.00	-0.8421	-0.7696	-0.0726

MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 6 OF

11 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE 0.0091
STANDARD DEVIATION ----- 0.0453

MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 6 OF

20 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE -0.0388
STANDARD DEVIATION ----- 0.0187

MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 6 ----- -0.0218
STANDARD DEVIATION ----- 0.0380

MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS ----- 0.0062
STANDARD DEVIATION ----- 0.0481

MEAN OF DEVIATIONS OF 31 OBSERVATIONS IN LAYER 2 ----- -0.0218
STANDARD DEVIATION ----- 0.0380

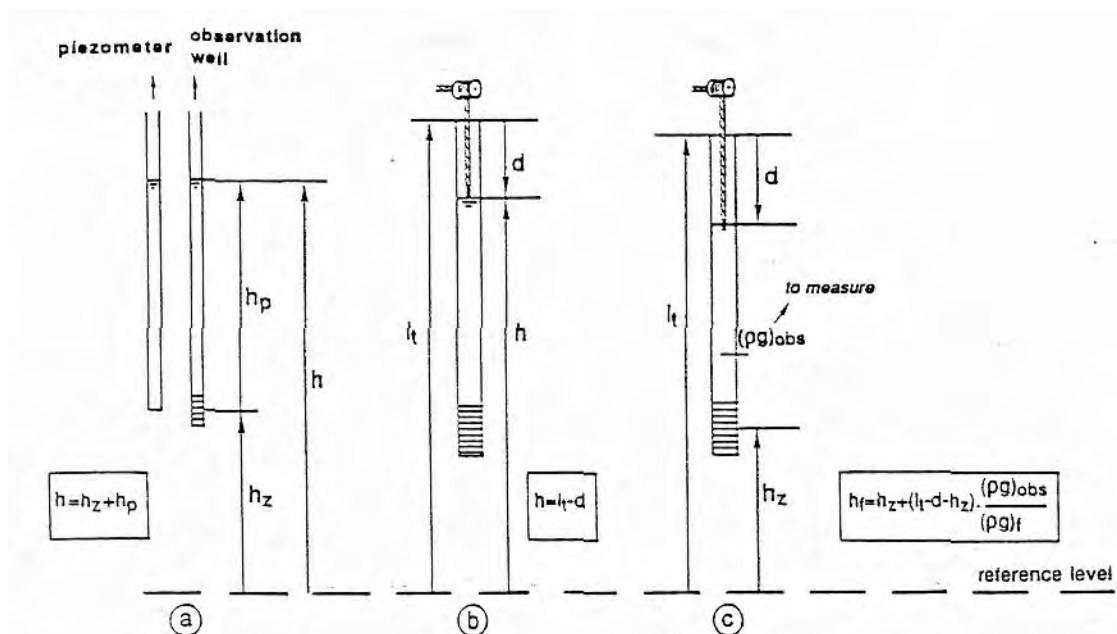
MEAN OF DEVIATIONS OF 62 OBSERVATIONS IN LAYER 3 ----- 0.0187
STANDARD DEVIATION ----- 0.0551

MEAN OF DEVIATIONS OF 93 OBSERVATIONS IN LAYER 9 ----- 0.0073
STANDARD DEVIATION ----- 0.0424

Bijlage 3 - Methode omrekening stijghoogten naar zoetwaterstijghoogten

Een stijghoogte h die in een observatieput opgemeten wordt is de som van de plaatshoogte h_z (of de hoogte van de filter t.o.v. de referentie 0 m TAW) en de drukhoogte h_p . Deze drukhoogte is de hoogte van de waterkolom in de observatieput. Dit is echter afhankelijk van de waterkwaliteit daar zout water een grotere densiteit heeft dan zoet water. Als het water op de plaats van de filter aan een druk P onderhevig is en het water in de observatieput is zoet dan zal dit een drukhoogte h_p veroorzaken. Als het water in de observatieput zout water is, zal de hoogte van de waterkolom en dus ook de waargenomen stijghoogte h kleiner zijn. De grotere densiteit zorgt er immers voor dat er een kleinere kolom water nodig is om in evenwicht te komen met een druk P .

In de praktijk wordt de diepte d gemeten en moet dit herrekend worden naar een stijghoogte gebruikmakend van de hoogte l_t van de top van de observatieput t.o.v. 0 mTAW. In gebieden waar er zout en zoet water voorkomen, is het daarbij dus noodzakelijk om rekening te houden met de waterkwaliteit in de put. Daarbij worden alle metingen herrekend naar een gezamenlijke referentie, namelijk de zoetwaterstijghoogte h_f . Dit is de stijghoogte die in de observatieput opgemeten zou worden, mocht er enkel zoet water in aanwezig zijn. Door dit te doen, kunnen de stijghoogtes in de verschillende putten met elkaar vergeleken worden. Stel bijvoorbeeld dat je een zoutwaterkolom in de put hebt van 10 m hoogte en een densiteit van 1.025 kg/m^3 . De filter bevindt zich op een plaatshoogte van 0 mTAW. De zoetwaterstijghoogte is dan 10.25 m TAW i.p.v. 10 m TAW.



Figuur 1 De stijghoogte h is de som van de plaatshoogte h_z en de drukhoogte h_p . Veldwaarnemingen bestaan uit het opmeten van de diepte van het waterniveau d in de observatieput tov het niveau van de top van de filter l_t . Op basis daarvan en de densiteit van het water in de observatieput kan dan de zoetwaterstijghoogte berekend worden (Lebbe, 1999).

Om die correctie uit te voeren moeten de densiteit van het water in de observatieput gekend zijn. Daartoe wordt de elektrische geleidbaarheid van de waterkolom opgemeten. Deze geleidbaarheid kan omgezet worden naar het totale gehalte aan opgeloste stoffen (TDS) (Lebbe & Pede, 1986):

$$\text{TDS(mg/l)} = 1000 \text{ geleidbaarheid } (\mu\text{S/cm}) \text{ bij } 11^\circ\text{C}$$

Uit deze TDS kan dan de densiteit ρ (kg/m³) berekend worden (Van Dam, 1977):

$$\rho = 1000 + 0.8054 \cdot 10^{-3} * \text{TDS} - 0.0065 * (T - 4 + 0.2214 \cdot 10^{-3} * \text{TDS})^2$$

T (°C) is de temperatuur wat in dit geval de gemiddelde grondwatertemperatuur van 11°C is.

Deze densiteit wordt dan gebruikt om de gemeten stijghoogte in een observatieput om te rekenen naar zoetwaterstijghoogtes.

Tabel 1 van bijlage 3: De Lambertcoördinaten van de peilbuizen in het onderzoeksgebied, de top van de peilbuis, de lengte van de filter van de peilput en het peil van het midden van de filter (m TAW, in m TAW, x m TAW = (x - 2.30) m NAP)

		X (Lambert72)	Y(Lambert72)	Z (mTAW)	filter- lengte (m)	diepte top filter (m)	midden filter (mTAW)
P1	diep	79617,91	227224,70	4,112	2	23	-19,888
	ondiep	79617,91	227224,70	4,112	1	5	-1,388
P2	diep	79828,01	227571,93	4,973	2	23	-19,027
	ondiep	79828,01	227571,93	4,973	1	5	-0,527
P4	diep	80183,93	226599,40	4,412	2	23	-19,588
	ondiep	80183,93	226599,40	4,397	1	4	-0,103
P5	diep	80895,13	227221,87	4,585	2	23	-19,415
	ondiep	80895,13	227221,87	4,612	1	5	-0,888
P6	diep	80866,37	227738,26	4,477	2	23	-19,523
	ondiep	80866,37	227738,26	4,494	1	4	-0,006
B6	ondiep	79621,50	227713,50	4,40	2	7	-3,60
B19	diep	79973,80	227252,00	4,44	2	5,5	-2,06
B60	ondiep	80769,00	227379,00	2,86	2	4,5	-2,64
B67	ondiep	80849,00	227708,00	4,08	2	3,5	-0,42
SB1	ondiep	78610,12	227379,32	5,06	1,5	4	0,31
SB2	diep	78980,04	228087,43	5,99	1,5	27	-21,76
SB3	diep	78191,34	228362,11	4,91	1,5	27	-22,84