

**Systeemkennis ondergrond  
Westland ten behoeve van  
gietwatervoorziening glastuinbouw**

Janneke Klein  
Marta Faneca Sánchez  
Esther van Baaren

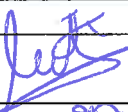
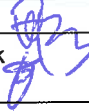




1205189-000



**Titel**

Systeemkennis ondergrond Westland ten behoeve van gietwatervoorziening glastuinbouw

<b>Opdrachtgever</b> Provincie Zuid-Holland	<b>Project</b> 1205189-000	<b>Kenmerk</b> 1205189-000-BGS-0005	<b>Pagina's</b> 69
--	-------------------------------	--	-----------------------

Versie Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
okt. 2011	Janneke Klein		Hans Peter Broers		Hilde Passier	
	Marta Faneca Sanchez		Gualbert Oude Essink			
	Esther van Baaren					

**Status**

definitief



## Samenvatting

### ***Aanleiding***

In glastuinbouwgebied het Westland is veel gietwater nodig voor de beregening van gewassen. Hiervoor vangen tuinbouwbedrijven regenwater op in een bovengronds bassin, gebruiken ze oppervlaktewater en/of (verzoet) grondwater.

Als er niet voldoende regenwater en oppervlaktewater beschikbaar is, wordt er, met name tijdens de zomerperiode, gebruik gemaakt van brak of zout grondwater dat onttrokken wordt uit het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket. Dit water wordt via omgekeerde osmose door een aantal semi-permeabele membranen geperst. De zouten en andere stoffen blijven op het membraan achter. Dit zoute(re) water (brijn) wordt geloosd in het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket. Dergelijke brijnlozingen in de bodem kunnen nadelige effecten hebben op de kwaliteit van het daar aanwezige grondwater.

In glastuinbouwgebied het Westland verwacht de provincie dat er op korte termijn onvoldoende mogelijkheden zullen zijn om te voorzien in de gietwaterbehoefte van de bedrijven. Dat betekent dat er voorlopig nog gebruik gemaakt zou moeten worden van brak grondwater, dat na omgekeerde osmose geschikt is als gietwater.

Een tot nu toe in het Westland niet gebruikte mogelijkheid voor betere benutting van zoet water is ondergrondse opslag van gietwater (daarvoor kan ook ander water dan hemelwater in aanmerking komen). Deze mogelijkheid wordt tot nu toe niet toegepast omdat de gedachte heerst dat opslag daarvan in het brakke grondwater niet mogelijk zou zijn of de kwaliteit daarvan te veel zou aantasten.

In glastuinbouwgebied het Westland wil de provincie weten of en zo ja, op welke wijze er ondergrondse opslag van hemelwater mogelijk is. Daarbij dient met name gekeken te worden naar de hoge chlorideconcentraties in de ondergrond en de relatief hoge stroomsnelheid in de buurt van de grondwateronttrekking op de voormalige DSM-fabriek in Delft-Noord.

### ***Probleem- en doelstellingstelling***

Voor deze studie heeft Deltares over een tweetal onderwerpen onderzoek voor de provincie Zuid-Holland uitgevoerd:

1. Weergave van de huidige systeemkennis van de ondergrond in relatie tot de mogelijke beperkingen van het lozen van brijnwater in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket.

Lozing van brijnwater in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket heeft mogelijk een negatieve invloed op de grondwaterkwaliteit in dit pakket en kan mogelijk weer vanuit het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket terecht komen. De provincie vraagt specifiek meer informatie over de opbouw van de ondergrond en van de weerstand van de 1<sup>e</sup> scheidende laag om een beter beeld te krijgen van de verwachte scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag.

De provincie wil daarbij weten of er beperkingen zijn voor het lozen van brijn in het gehele of in delen van het gebied, met name vanuit milieuhygiënisch oogpunt. Deze kennis is noodzakelijk voor de eventuele afweging van lozing van brijn ten opzichte van andere mogelijke lozingsbronnen.

Deze probleemstelling kan vertaald worden in de volgende hoofdvraagstelling:

**Wat zijn - op basis van de geologische systeemkennis - de beperkingen van het lozen van brijnwater in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket?**

2. Een eerste verkenning van de mogelijkheden van ondergrondse opslag van gietwater ten behoeve van glastuinbouwgebied het Westland.

De provincie wil met name weten of ondergrondse opslag van zoet water in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket een effectieve oplossing is als bron voor gietwater.

Deze probleemstelling kan vertaald worden in de volgende hoofdvraagstelling:

**Wat is de eerste indicatie voor de haalbaarheid van de mogelijkheden van ondergrondse opslag van gietwater ten behoeve van glastuinbouwgebied het Westland?**

**Aanpak en resultaten**

*Lozing van brijn in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket*

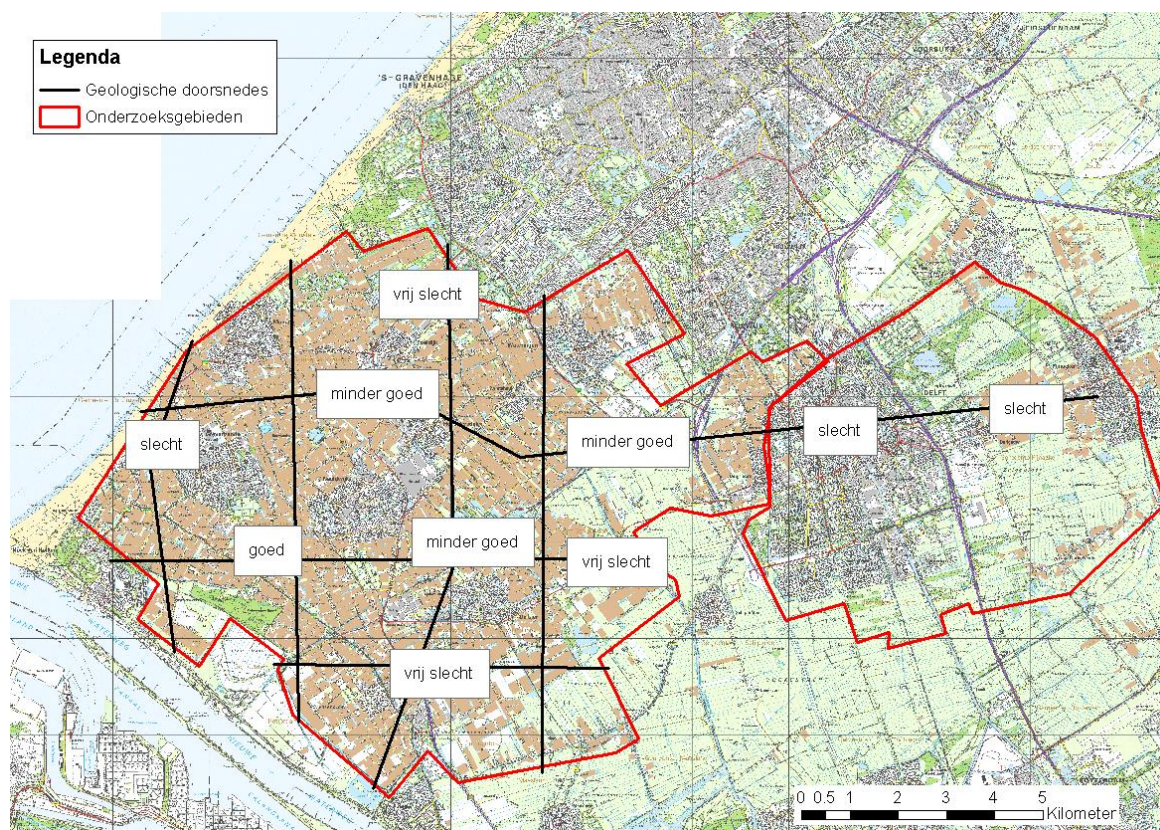
Om systeemkennis van de ondergrond in relatie tot de mogelijke beperkingen van het lozen van brijnwater in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket te verkrijgen, is gebruik gemaakt van het recent ontwikkelde GeoTOP-model van TNO voor Zuid-Holland en informatie uit het minder gedetailleerde REGIS-model van TNO. Het GeoTOP-model is een 3D-ondergrondmodel en geeft een gedetailleerde visualisatie van de ondergrond tot 50 m-NAP in de provincie Zuid-Holland op basis van alle bestaande informatie over deze ondergrond. Voor de ondergrond dieper dan 50 m-NAP is gebruik gemaakt van REGIS, een hydrogeologisch ondergrondmodel. In zowel het GeoTOP-model als in REGIS worden verschillende geohydrologische lagen onderscheiden met verschillende doorlatendheid.

De opbouw van de ondergrond is gevisualiseerd in een aantal doorsnedes met de voorkomende lithologieklassen en in een aantal kaarten met dikte en weerstand/doorlaatvermogen van de verschillende geohydrologische lagen.

Op basis van de in deze studie uitgevoerde geologische systeemkarakterisatie kan de verwachte scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag kwalitatief aangegeven worden. De conclusies zijn getrokken op basis van de voorkomende lithologieklassen. Als er veel zand in de doorsnedes te zien is en er in ieder geval geen dikke kleilaag aanwezig is, is de verwachting dat de scheidende laag maar beperkt scheidend werkt. Aangezien het gebied qua geologie zeer heterogeen is, kan er niet één kwalificatie aan het hele gebied gegeven worden.

In deze studie is het onderzoeksgebied wat geologie betreft in relatief homogene deelgebieden verdeeld. Per deelgebied is aangegeven of verwacht wordt dat de scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag goed of slecht is of daar tussen in ligt (zie Figuur S1):

- In het westen van glastuinbouwgebied Westland, de strook langs de kust, en in de gemeente Delft wordt verwacht dat de 1<sup>e</sup> scheidende laag een slechte scheidende werking heeft.
- Langs de randen van het glastuinbouwgebied Westland (het noorden, zuiden en zuidoosten) lijkt de scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag ook vrij slecht te zijn.
- Ten westen en zuidwesten van Naaldwijk wordt verwacht dat, op basis van de geologische systeemkennis, de scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag goed is.
- In het midden van het gebied wordt verwacht dat de scheidende werking minder goed is.



Figuur S1 Verwachte scheidende werking 1<sup>e</sup> scheidende laag per deelgebied.

Gerealiseerd moet worden dat het GeoTOP-model nog in ontwikkeling is en dat de resultaten slechts een indicatie van de opbouw van de ondergrond weergeven. Het model is voor Zuid-Holland gebaseerd op 50.000 boringen. De meeste boringen zijn niet tot grote diepte doorgezet. Dat betekent dat de informatie ondieper in het bodemprofiel betrouwbaarder is dan informatie dieper in het bodemprofiel. Het GeoTOP-model gaat ook niet dieper dan 50 m-NAP.

Beneden de 50 m-NAP is de lithologie gebaseerd op het REGIS-model, dat minder gedetailleerd is.

De 1<sup>e</sup> scheidende laag ligt in het onderzoeksgebied deels boven en deels beneden deze grens van 50 m-NAP. Voor sommige gebieden is de informatie dus minder betrouwbaar dan voor andere gebieden in het Westland.

Over het werkelijke risico op het terugstromen van water uit het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket, waarin brijn geloosd wordt, naar het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket op een bepaalde locatie in het gebied zijn binnen deze studie geen kwantitatieve uitspraken gedaan. Terugstroming is ook mede afhankelijk van andere factoren zoals de achtergrondstroming en de natuurlijke verticale flux.

### Ondergrondse opslag gietwater

Voor de eerste verkenning van de mogelijkheden van het injecteren van zoet water in een zout watervoerend pakket in glastuinbouwgebied het Westland is een conceptueel model gebruikt. Er zijn drie basisscenario's doorgerekend met verschillende gebiedseigenschappen zoals ze in het Westland voorkomen.

De belangrijkste gebiedskenmerken waarin de drie scenario's van elkaar verschillen zijn: geologie, achtergrondstroming en achtergrondconcentratie aan chloride.

Om het effect van de verschillende gebiedseigenschappen te bekijken zijn er verschillende gevoeligheidsscenario's doorgerekend. Daarnaast is een aantal oplossingsscenario's doorgerekend om te kijken wat het effect van maatregelen is op het rendement.

Het rendement is een belangrijke parameter waarmee een uitspraak kan worden gedaan of ondergrondse opslag van gietwater een reële optie is. Het rendement wordt gedefinieerd als de hoeveelheid van het geïnjecteerde zoete water dat teruggewonnen kan worden in een vastgestelde tijdsperiode van 1 jaar.

Uit de resultaten van het conceptuele model blijkt dat ondergrondse opslag van gietwater in het Westland mogelijk goed haalbaar is. Het rendement wordt echter alleen hoog als injectie gedurende een langere periode dan één seizoen plaats vindt voorafgaand aan de onttrekking.

Uit de drie basisscenario's blijkt Scenario Zuid het meest geschikt te zijn voor verdere studies naar de ondergrondse opslag van gietwater (zie Tabel S1). Bepalende factoren voor een hoger rendement van het systeem in vergelijking met de andere basisscenario's zijn:

- een lage achtergrondconcentratie aan chloride;
- een lage achtergrondstroming;
- een dun 1<sup>e</sup> watervoerend pakket;
- een slechtdoorlatende deklaag.

Het maximale rendement van basisscenario Zuid bij een normaal injectie/onttrekkingsregime (5 maanden injectie, 5 maanden onttrekking en 2 maanden niets) is 40%.

Tabel S1 Rendement van het systeem na één jaar voor de drie basisscenario's.

Scenario	Beschrijving	Rendement
West	2500 mg/l Cl, lage achtergrondstroming, geologie profiel west	32%
Zuid	500 mg/l Cl, lage achtergrondstroming, geologie profiel zuid	40%
Noord-oost	1000 mg/l Cl, hoge achtergrondstroming, geologie profiel noord-oost	18%

Toepassing van gerichte maatregelen, zoals ondieper onttrekken, een extra injectieperiode voorafgaand aan het reguliere regime van onttrekking/injectie, het plaatsen van hulpputten, of een combinatie van de genoemde maatregelen, biedt kansen om het rendement van het systeem te verhogen.

De resultaten van de gevoeligheidsscenario's en oplossingsscenario's staan weergegeven in Tabel S2.



Tabel S2 Rendement van het systeem na één jaar voor de verschillende gevoeligheids- en oplossingsscenario's.

Scenario	Beschrijving	Rendement
Gevoeligheidsscenario's		
W_G1	West met een chloride achtergrondconcentratie van 500mg/l	54%
W_G2	West met een hoge achtergrondstroming	23%
W_G3	West met de geologie van profiel Noord-oost	24%
Oplossingsscenario's		
W_S1	West met 2 jaar injectie en de onttrekkingsput ondieper dan de injectieput	100%
W_S2	West met 2 jaar injectie en de onttrekkingput 200 m van de injectieput en ondieper dan injectieput	0%
W_S3	West met hulpputten	23%
W_S4	West met 2 jaar injectie en hulpputten	78%

Het gedrag van het systeem wordt beïnvloed door de verschillende parameters. Het rendement van het systeem is hoger bij een lage achtergrondconcentratie aan chloride en bij een lage achtergrondstroming, wat intuïtief te verwachten was.

In het Scenario W\_S1, waarin zoet water gedurende twee jaar is geïnjecteerd voor het reguliere regime van onttrekking/injectie en waarbij op een ondiep niveau wordt onttrokken, blijkt het rendement van het eerste jaar 100% te zijn.

In het tweede jaar neemt het rendement met ca. 10% af. De verwachting is echter dat het in de jaren erna niet veel verder zal zakken. De andere toegepaste maatregelen hebben ook een verhoging van het rendement van het systeem tot effect, maar het rendement blijft beneden de 80%.

## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Aanleiding onderzoek	9
1.2 Kader	9
1.3 Probleemstelling	10
1.4 Voorgaand onderzoek Deltares	11
1.5 Aanpak	11
1.5.1 Opbouw rapportage	12
<b>2 Geologische informatie voor systeemkarakterisatie ondergrond</b>	<b>13</b>
2.1 Gebiedsbeschrijving	13
2.2 Geologische informatie	13
2.3 Geproduceerde geologische informatie	15
<b>3 Geohydrologische systeemkennis ondergrond in relatie tot brijnlozingen</b>	<b>19</b>
3.1 Beschrijving verschillende geohydrologische lagen	19
3.1.1 Deklaag	19
3.1.2 1 <sup>e</sup> Watervoerend pakket	19
3.1.3 1 <sup>e</sup> Scheidende laag	20
3.2 Verwachte scheidende werking 1 <sup>e</sup> scheidende laag	26
3.3 Andere factoren met invloed op het terugstromen van brijn	27
3.3.1 Verticale flux	28
3.3.2 Achtergrondstroming	28
3.3.3 Niet afdoende afdichting van putten	28
3.4 Aandachtspunten bij het lozen van brijn	28
3.4.1 Grondwaterkwaliteit	28
3.4.2 Grondwaterkwantiteit	29
<b>4 Beschrijving conceptueel model voor ondergrondse opslag gietwater</b>	<b>31</b>
4.1 Modelopzet en modelinstrumentarium	31
4.2 Modelafmetingen	31
4.3 Randvoorwaarden	31
4.3.1 Chlorideconcentratie van het gebied	31
4.3.2 Achtergrondstroming	32
4.3.3 Geologie	33
4.3.4 Topsysteem en kwel/infiltratie	34
4.3.5 Injectie: debiet en samenstelling	34
4.4 Scenario's	35
4.4.1 Basisscenario's	35
4.4.2 Gevoeligheidsscenario's	35
4.4.3 Oplossingsscenario's	36
4.5 Beperkingen conceptueel model	38
<b>5 Resultaten ondergrondse opslag gietwater op basis van conceptueel model</b>	<b>39</b>
5.1 Resultaten basisscenario's	39
5.2 Resultaten scenario's met maatregelen	43
5.2.1 Scenario W_S1	43
5.2.2 Scenario W_S2	43

5.2.3	Scenario W_S3 en W_S4	44
5.3	Mogelijkheden injecteren DSM water of afvalwater uit RWZI Harnaschpolder	46
5.3.1	Scenario NO_S1	47
5.3.2	Scenario NO_S2	47
5.3.3	Scenario NO_S3	48
5.3.4	Effect lagere onttrekking DSM op de snelheid van de achtergrondstroming	48
5.4	Overzicht resultaten ondergrondse opslag gietwater	49
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>51</b>
6.1	Lozing brijn in het 2 <sup>e</sup> watervoerend pakket	51
6.1.1	Aanbevelingen m.b.t. lozing brijn in het 2 <sup>e</sup> watervoerend pakket	51
6.2	Ondergrondse opslag gietwater	52
6.2.1	Aanbevelingen m.b.t. ondergrondse opslag gietwater	53
<b>7</b>	<b>Referenties</b>	<b>55</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A</b>	<b>Geologische doorsnedes</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>3D doorsnedes 1<sup>e</sup> scheidende laag</b>	<b>B-1</b>
<b>C</b>	<b>Geologische kaarten</b>	<b>C-1</b>
<b>D</b>	<b>Berekening effect onttrekking en injectie op de freatische grondwaterstand</b>	<b>D-1</b>
<b>E</b>	<b>Berekening achtergrondsnelheid o.b.v. de wet van Darcy</b>	<b>E-1</b>



## 1 Inleiding

### 1.1 Aanleiding onderzoek

Eind juni 2011 heeft Deltares van de provincie Zuid-Holland het verzoek gekregen systeemkennis over de ondergrond in glastuinbouwgebied het Westland te leveren ten behoeve van de gietwatervoorziening. Met behulp van de systeemkennis moet een beter beeld gekregen worden over de mogelijke beperkingen van het lozen van brijnwater in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket en een eerste verkenning van de mogelijkheden van ondergrondse opslag van gietwater ten behoeve van het glastuinbouwgebied Westland.

### 1.2 Kader

In glastuinbouwgebied het Westland is veel gietwater nodig voor de beregening van gewassen. Dat water moet schoon zijn en dus niet te veel zouten bevatten. Voor gietwater vangen tuinbouw- en boomteeltbedrijven regenwater op en gebruiken ze oppervlaktewater. Als er niet voldoende regenwater aanwezig is op het bedrijf, wordt er - met name tijdens de zomerperiode - gebruik gemaakt van brak of zout grondwater, dat onttrokken wordt uit het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket. Dit water wordt via omgekeerde osmose door een aantal semi-permeabele membranen geperst. Deze membranen laten het zuivere H<sub>2</sub>O (water) wel door. De zouten en andere stoffen zijn te groot en blijven in het zoute water achter. Dit water (brijn) wordt afgevoerd naar het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket. Brijnlozingen in de bodem kunnen nadelige effecten hebben op de kwaliteit van het grondwater.

Glastuinbouw (en boomteelt-)bedrijven kunnen een – tijdelijke – ontheffing voor lozing van brijn aanvragen bij het voor dit onderwerp bevoegde gezag. Dat bevoegde gezag is, overeenkomstig het gehele Activiteitenbesluit, vermoedelijk in de toekomst de gemeente en dus niet langer de provincie.

Om in aanmerking te komen voor een dergelijke ontheffing moet er aan twee voorwaarden zijn voldaan, te weten:

1. Tuinbouwbedrijven moeten aantonen dat zij alle mogelijkheden om te komen tot een duurzame voorziening in de gietwaterbehoefte hebben doorlopen, maar daarna nog onvoldoende in hun gietwaterbehoefte kunnen voorzien.
2. Er een afweging op milieuhygiënische gronden is gemaakt om te bepalen of en zo ja in welk 'medium' lozing van brijn plaats kan vinden. Eventuele lozing van brijn zal alleen onder zeer strikte voorwaarden plaats kunnen vinden. Deze afweging dient door de hierbij betrokken bevoegde gezagen (te weten de waterschappen en gemeenten) in onderling overleg afgestemd te worden. Hiervoor dient een afwegingskader opgesteld te worden.

In glastuinbouwgebied het Westland verwacht de provincie dat er op korte termijn onvoldoende mogelijkheden zullen zijn om te voorzien in de gietwaterbehoefte van de bedrijven. Dat betekent dat er voorlopig nog gebruik gemaakt zou moeten worden van brak grondwater, dat na omgekeerde osmose geschikt is als gietwater.

Een tot nu toe in het Westland niet gebruikte mogelijkheid voor betere benutting van zoet water is ondergrondse opslag van gietwater (daarvoor kan ook ander water dan hemelwater in aanmerking komen). Deze mogelijkheid wordt tot nu toe niet toegepast omdat de gedachte heerst dat opslag daarvan in het brakke grondwater niet mogelijk zou zijn of de kwaliteit daarvan te veel zou aantasten.

In glastuinbouwgebied het Westland wil de provincie weten of en zo ja, op welke wijze er ondergrondse opslag van hemelwater mogelijk is. Daarbij dient met name gekeken te worden

naar de hoge chlorideconcentraties in de ondergrond en de relatief hoge stroomsnelheid in de buurt van de grondwateronttrekking op de voormalige DSM-fabriek in Delft-Noord. Mogelijk kan brak grondwater dat wordt onttrokken op het terrein van de voormalige DSM-fabriek centraal ontzilt worden en, al dan niet na omgekeerde osmose, ondergronds worden opgeslagen.

### 1.3 Probleemstelling

Eind juni 2011 heeft de provincie Zuid-Holland Deltares verzocht (mail d.d. 29 juni 2011) om op betrekkelijk korte termijn op twee punten nader inzicht te verschaffen:

Onderwerp 1: systeemkennis van de ondergrond in relatie tot de mogelijke beperkingen van het lozen van brijnwater in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket.

Lozing van brijnwater in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket heeft mogelijk een negatieve invloed op de grondwaterkwaliteit in dit pakket en kan mogelijk weer vanuit het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket terecht komen. De provincie vraagt specifiek meer informatie over de opbouw van de ondergrond en van de weerstand van de 1<sup>e</sup> scheidende laag om een beter beeld te krijgen van de verwachte scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag. De provincie wil weten of er beperkingen zijn voor het lozen van brijn in het gehele of in delen van het gebied, met name vanuit milieuhygiënisch oogpunt. Deze kennis is noodzakelijk voor de eventuele afweging van lozing van brijn ten opzichte van andere mogelijke lozingsbronnen. In overleg hebben we de probleemstelling vertaald in de volgende specifieke vraagstelling:

- Wat zijn op basis van de geologische systeemkennis de beperkingen van het lozen van brijnwater in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket? Daarbij spelen vragen als:
  - Wat is de opbouw van de ondergrond (deklaag, 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> watervoerende pakket en 1<sup>e</sup> scheidende laag), de weerstand van de scheidende lagen en de capaciteit van de watervoerende pakketten in het Westland?
  - Is er een onderscheid te maken in de verwachte scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag tussen verschillende gebieden binnen het Westland?
  - Wat is effect van het onttrekken van water uit het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket op de freatische grondwaterstand?
  - Is er nog andere relevante informatie die op de hoofdvraag een antwoord kan geven?

Onderwerp 2: eerste verkenning van de mogelijkheden van ondergrondse opslag van gietwater ten behoeve van glastuinbouwgebied het Westland. De provincie wil weten of ondergrondse opslag van zoet water in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket een effectieve oplossing is als bron voor gietwater. In overleg hebben we de probleemstelling vertaald in de volgende specifieke vraagstelling:

- Wat zijn de mogelijkheden van ondergrondse opslag van gietwater ten behoeve van glastuinbouwgebied Westland? Daarbij spelen vragen als:
  - Onder welke condities kun je het geïnfiltreerde zoete water weer onttrekken met een voldoende lage chlorideconcentratie om te voldoen aan de eisen voor gietwater?
  - Wat is het rendement voor het terug te winnen geïnfiltreerde zoete water onder verschillende omstandigheden?
  - Wat is het effect van verschillende parameters (geologische opbouw, achtergrondstroming, chlorideconcentratie, topsysteem) op het te behalen rendement?
  - Wat is het effect van verschillende maatregelen op het rendement?
  - Hoe verspreid het zoete water zich na injectie in een zout pakket?

- Is het injecteren van verzoet DSM water of gezuiverd water vanuit de RWZI Harnaschpolder een reële optie in verband met de grote hoeveelheden water en de grote stroomsnelheid in de buurt van de DSM?

#### 1.4 Voorgaand onderzoek Deltares

In 2009 en 2010 heeft Deltares twee onderzoeken uitgevoerd voor de provincie Zuid-Holland (Klein & Passier, 2009; Klein & Passier, 2010).

In het onderzoek uit 2009, getiteld “Ondergrond en grondwaterkwaliteit in relatie tot brijnlozingen in de provincie Zuid-Holland” is informatie verzameld over de systeemeigenschappen van vijf gebieden in de provincie Zuid-Holland waar veel glastuinbouw en/of boomkwekerijbedrijven aanwezig zijn. De geohydrologie, de weerstand en de verticale flux zijn de belangrijkste parameters die beschouwd zijn. Geconcludeerd werd dat de geohydrologische opbouw van de vijf gebieden zodanig is dat er kans bestaat dat bij de onttrekking antropogeen beïnvloed grondwater wordt aangetrokken en dat bij de lozing grondwater uit het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket, tezamen met het brijn, zich naar het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket kan verspreiden.

In aanvulling op bovenstaand rapport is een aanvullende beoordeling van de uitkomsten van achttien bemonsteringen van brijn- en bronwater in vergelijking met de uitkomsten van analyses van het grondwater uit het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket en de landelijke streefwaarde voor diep grondwater uitgevoerd. De resultaten van dit onderzoek staan gerapporteerd in het rapport getiteld “Aanvullende beoordeling milieu-eigen stoffen brijn en grondwaterkwaliteit Provincie Zuid-Holland” (Klein & Passier, 2010). Er is een interpretatie van de geanalyseerde milieu-eigen stoffen in bron- en brijnwater op een 18-tal bedrijven in concentratiegebieden van glastuinbouw en boomteelt in de provincie Zuid-Holland uitgevoerd om een uitspraak te kunnen doen over de invloed van brijnlozing op de grondwaterkwaliteit in het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket.

De belangrijkste conclusies wat betreft de grondwaterkwaliteit waren:

- Voor de gevaarlijke stoffen cadmium, lood, arseen en antimoon geldt dat brijnlozing in het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket strijdig is met het uitgangspunt van de KRW dat alle nodige maatregelen zijn genomen met de bedoeling om te voorkomen dat deze gevaarlijke stoffen in het grondwater ingebracht worden (Prevent principe uit het Prevent and Limit artikel uit de Grondwaterrichtlijn).
- Voor de niet-gevaarlijke stoffen kobalt, vanadium, barium, chloride, sulfaat en ammonium geldt dat de concentraties in het brijn zodanig zijn dat een verhoging van de concentraties in het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket niet is uit te sluiten dan wel dat de concentraties van het brijn boven de landelijke streefwaarde liggen. Lozing voldoet vanuit de overwegingen die zijn gekozen voor de toetsing niet aan het Limit principe uit het Prevent and Limit artikel van de Grondwaterrichtlijn. De bariumconcentratie overschrijdt in 12 brijnmonsters, en de vanadiumconcentratie in 2 brijnmonsters, zelfs de interventiewaarde (uit de circulaire van VROM (2000)).

#### 1.5 Aanpak

Dit project is uitgevoerd in de periode juli-augustus 2011.

Voor dit project zijn de geologische modellen van TNO geraadpleegd en is er een conceptueel model gebouwd. TNO heeft geologische doorsnedes en kaarten geproduceerd die nodig zijn voor het beantwoorden van vraag 1 (de beperkingen van het lozen van brijnwater op basis van geologische systeemkennis). Het conceptuele model is gebouwd voor het beantwoorden van vraag 2 (mogelijkheden van ondergrondse opslag van gietwater).

Voor dit project is gecommuniceerd met personen van verschillende instellingen ten behoeve van de afstemming en voor het opdoen van kennis:

- Met Koen Zuurbier en Marcel Paalman van KWR is overleg geweest over de afstemming en hetgeen reeds door KWR is onderzocht. Met Koen Zuurbier is nog een 2<sup>e</sup> overleg geweest over het model. We zijn Koen erkentelijk voor zijn constructieve bijdrage aan de discussie over de modelopzet en -resultaten.
- Wim de Lange (Deltares) hebben we geraadpleegd voor zijn kennis over de grondwaterdynamiek en analytische formules.
- Met Albert Koffeman (Xplorelab) is kortgesloten of hij nog relevante informatie voor Deltares heeft voor het onderzoek. Dit werd negatief beantwoord. Wel heeft hij het concept rapport van de workshop toegestuurd als achtergrondinformatie.
- Met Pepijn Spaik Abbink (vanuit het Hoogheemraadschap van Delfland projectleider van de Gemeenschappelijke Regeling Beheer onttrekking Delft-Noord) is telefonisch contact geweest.
- Met Oscar Helsen (vanuit Hoogheemraadschap van Delfland projectleider van de Harnaschpolder) is contact via de mail geweest.
- Rein Lantman, Rik Noorlandt en Marco de Kleine (allen Deltares) zijn geraadpleegd voor hun kennis over de opbouw van de ondergrond en de bestaande meetsystemen.
- Jan Stafleu en Denise Maljers (TNO) hebben input geleverd voor de geologie.

## 1.5.1 Opbouw rapportage

In dit rapport wordt eerst beschreven welke geologische informatie is geraadpleegd en welke geologische informatie er geproduceerd is (hoofdstuk 2). In hoofdstuk 3 is een interpretatie gegeven van de geologische informatie en worden er op basis van geologische systeemkennis uitspraken gedaan over de verwachte scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag. De opzet en de uitgangspunten van het conceptuele model worden in hoofdstuk 4 beschreven. Hoofdstuk 5 beschrijft de resultaten van het conceptuele model met betrekking op de ondergrondse opslag van gietwater. Hoofdstuk 6 sluit af met de conclusies en aanbevelingen.

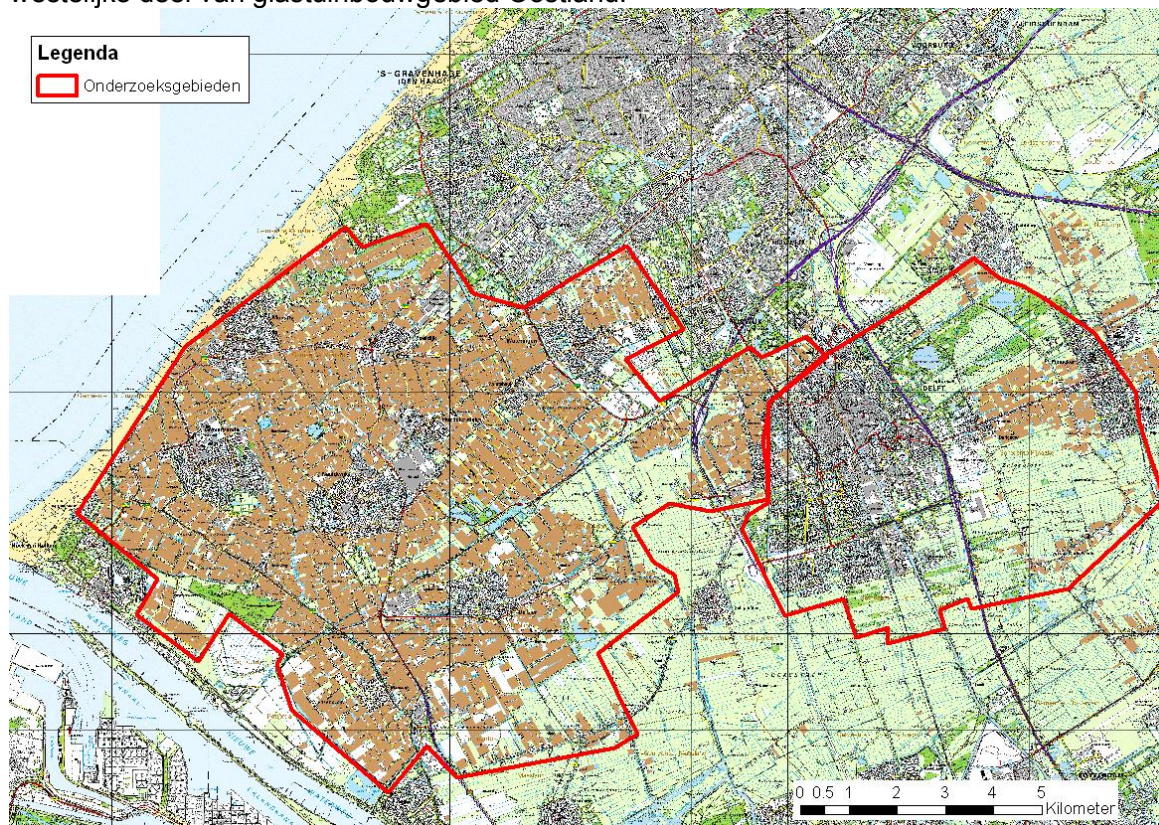


## 2 Geologische informatie voor systeemkarakterisatie ondergrond

In dit hoofdstuk wordt een korte gebiedsbeschrijving van het onderzoeksgebied gegeven en wordt de gebruikte geologische informatie beschreven.

### 2.1 Gebiedsbeschrijving

Deze studie richt zich op een tweetal gebieden: glastuinbouwgebied Westland en gemeente Delft. In Figuur 2.1 zijn op een topografische kaart de twee gebieden aangegeven. Het westelijke gebied is glastuinbouwgebied Westland. Hier bevindt zich het grootste aantal glastuinbouwbedrijven die brijn lozen. De focus in dit onderzoek ligt op dit gebied. Het oostelijke gebied wordt in dit onderzoek gemeente Delft genoemd. Het betreft het westelijke deel van glastuinbouwgebied Oostland.



Figuur 2.1 Topografische kaart met de twee onderzoeksgebieden.

### 2.2 Geologische informatie

Om inzicht te krijgen in de opbouw van de bodem en ondergrond (deklaag, 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> watervoerende pakket en 1<sup>e</sup> scheidende laag), de weerstand van de scheidende lagen en de capaciteit van de watervoerende pakketten is gebruik gemaakt van het GeoTOP-model en REGIS II.1.

## GeoTOP-model

Het GeoTOP-model is een gedetailleerd landelijk 3D-ondergrondmodel (zie [www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl); Stafleu et al., 2009). De grootte van de cellen is 100x100x0,5 meter. Iedere cel bevat gegevens over de lithostratigrafie + onzekerheid, lithologie en zandmediaanklasse + onzekerheid en hydrologische, fysische en chemische eigenschappen.

Voor de interpretatie van Zuid-Holland zijn 50.000 boringen gebruikt. Dit zijn boringen die vroeger in het kader van de geologische kartering zijn uitgevoerd. Het GeoTOP-model geeft een gedetailleerde visualisatie van de ondergrond tot 50 m-NAP in de provincie Zuid-Holland.

Ten opzichte van eerdere studies ten behoeve van de brijproblematiek (Klein & Passier, 2009; Klein & Passier, 2010) biedt het gebruik van de recent gereed gekomen GeoTOP kartering een duidelijke meerwaarde. Er ontstaat namelijk veel meer inzicht in de interne heterogeniteit van slecht doorlatende lagen en watervoerende pakketten, wat op kwalitatieve manier helpt om een inschatting te maken van de connectie tussen de watervoerende pakketten onderling. De meerwaarde blijkt bijvoorbeeld uit de in dit rapport opgenomen dwarsdoorsneden (zie Bijlage A).

## REGIS (Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem)

Voor de ondergrond onder 50 m-NAP is REGIS gebruikt. REGIS is een hydrogeologisch ondergrondmodel (zie [www.dinoloket.nl](http://www.dinoloket.nl); Vernes & Van Doorn, 2005). Dit model verschaft informatie over de hydrogeologische opbouw van de ondergrond. Het model is bedoeld voor regionale schaal, niet om op een lokale schaal een lokale uitspraak te doen.

Het hydrogeologische model, dat gebaseerd is op de nieuwe lithostratigrafische indeling van het Digitaal Geologisch Model van Nederland, onderscheidt 46 kleiige, venige en complexe hydrogeologische eenheden en 60 zandige hydrogeologische eenheden. Het model is gebaseerd op 16.000 boringen voor heel Nederland.

Voor Zuid-Holland is het Geohydrologisch model gebaseerd op REGIS II.1.

In zowel de GeoTOP als in REGIS worden verschillende geohydrologische lagen onderscheiden met verschillende doorlatendheid. In grote lijnen komt dit neer op het onderscheid in minder doorlatende lagen en in meer doorlatende lagen, in de gebruikte modellen watervoerende pakketten genoemd. Tussen de watervoerende pakketten komen scheidende lagen voor. Een scheidende laag hoeft niet altijd te betekenen dat deze laag in werkelijkheid slecht doorlatend is en goed scheidend werkt. Dit is namelijk sterk afhankelijk van de uitgestrektheid en aaneengeslotenheid van klei-, veen- en leemlagen.

De lithologie van de ondergrond is belangrijk omdat de verschillende lithologische klassen, zoals zand, veen en klei, verschillen qua eigenschappen, bijvoorbeeld qua doorlatendheid.

Voor scheidende lagen, waaronder ook de deklaag, is de weerstand (c-waarde) bekend. De weerstand wordt weergegeven in dagen en wordt berekend door de dikte van de laag te delen door de verticale doorlatendheid ( $K_v$ ). De weerstand is dus omgekeerd evenredig met de doorlatendheid en evenredig met de dikte. De weerstand geeft een indicatie hoe gemakkelijk uitwisseling plaats kan vinden tussen twee watervoerende pakketten, maar is afhankelijk van de stijghoogteverschillen die door hydrologische randvoorwaarden worden opgelegd. De verticale flux wordt berekend door het stijghoogteverschil te delen door de weerstand. Er kan pas over een redelijke slechtdoorlatendheid van een scheidende laag worden gesproken, als de weerstand meer dan 1000 dagen bedraagt. De weerstand is belangrijk voor de brijproblematiek omdat de weerstand iets zegt over hoe gemakkelijk water uit de watervoerende laag waarin het brijn geloosd is de watervoerende laag die daarboven ligt, afgescheiden door de scheidende laag, kan bereiken. Belangrijk bij de



weerstand is dat dit een interpretatie van de gegevens is en te onderkennen dat er bij de uitkomsten daarvan een bepaalde onzekerheidsmarge in acht genomen dient te worden.

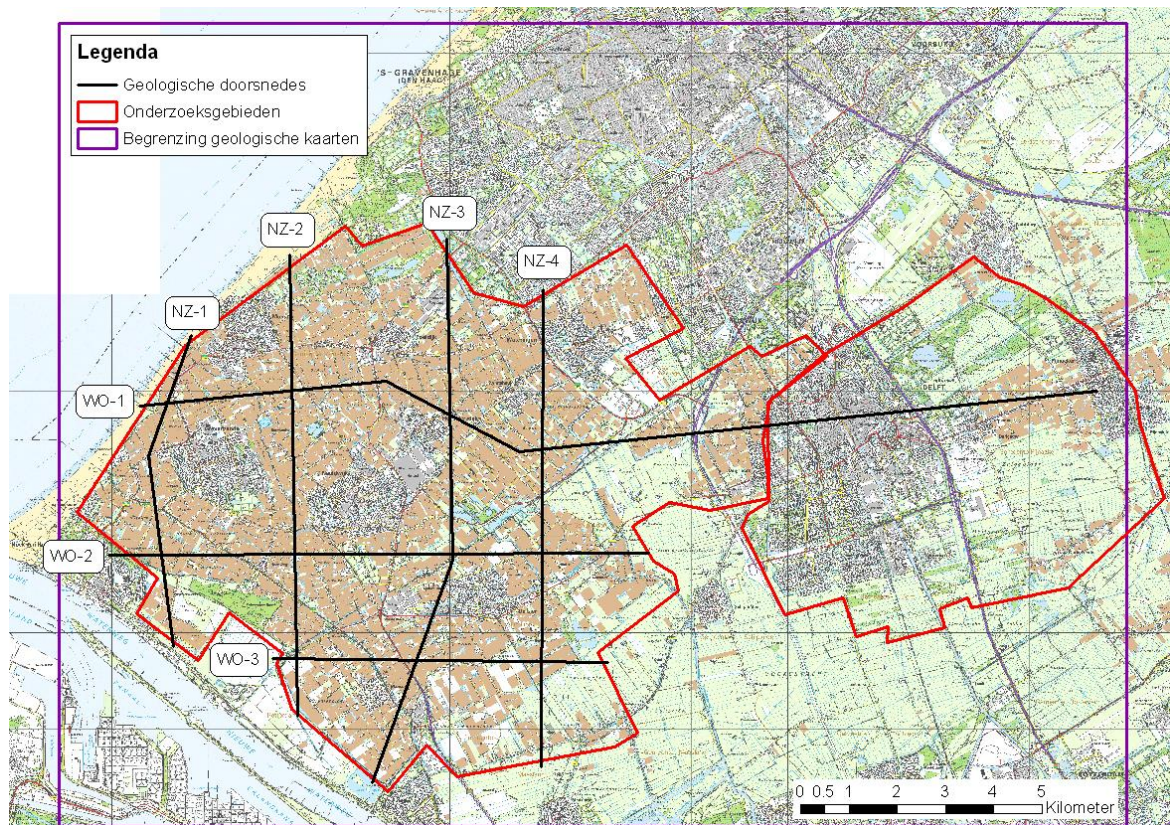
Voor watervoerende pakketten is het doorlaatvermogen ( $k_h D$ -waarde), het product van horizontale doorlatendheid en dikte, van belang. Het doorlaatvermogen is een maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om water door te laten.

### 2.3 Geproduceerde geologische informatie

#### Geologische doorsnedes

Er zijn zeven geologische doorsnedes door het Westland en gemeente Delft gemaakt waarin de lithologische klasse is weergegeven. In deze doorsnedes is tot 50 m-NAP het GeoTOP-model gebruikt en dieper dan 50 m-NAP is REGIS gehanteerd. De locatie en naamgeving van de doorsnedes is weergegeven in Figuur 2.2 en de doorsnedes zelf zijn in Bijlage A opgenomen.

In de doorsnedes is met een zwarte lijn de scheiding tussen de deklaag, het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket, de 1<sup>e</sup> scheidende laag en het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket aangegeven. Ondiepere dan 50 meter is die begrenzing afgeleid uit het GeoTOP-model, dieper dan 50 meter uit het minder gedetailleerde REGIS. In het GeoTOP-model (tot 50 m-NAP) is per voxel de desbetreffende lithoklasse te zien. In het deel van de doorsnede wat door REGIS is geproduceerd (vanaf 50 m-NAP) is de lithologie van een scheidende laag altijd geclassificeerd als klei en een watervoerend pakket altijd als zand. De overgang tussen het GeoTOP-model en REGIS is in de doorsnedes weergegeven met een grijze gestippelde lijn.



Figuur 2.2 Locatie en naamgeving doorsnedes.

### Ruimtelijke kaarten

Van het onderzoeksgebied zijn kaarten gemaakt van de dikte, de weerstand en de doorlatendheid van de verschillende geohydrologische lagen. Hieronder staat vermeld welke kaarten er precies zijn geproduceerd en op welke manier ze gemaakt zijn.

Er zijn diktekaarten gemaakt van:

- Deklaag (alle Holocene eenheden plus Formatie van Kreftenheye, laag van Wijchen)
- 1<sup>e</sup> Watervoerend pakket (eenheden Formaties van Kreftenheye, Urk, Sterksel, Boxtel en Boxtel, laagpakket van Wierden)
- 1<sup>e</sup> Scheidende laag, voor zover deze laag op of boven de -50m NAP ligt
- Klei in de 1<sup>e</sup> scheidende laag (Formatie van Waalre, kleilaag 1) op basis van informatie uit REGIS
- Totale dikte veen, klei, kleilig zand en zandige klei (de niet-zanden) in de 1<sup>e</sup> scheidende laag. Deze kaart is tot stand gekomen met de volgende methode:
  - o Tot 50 m-NAP vanuit het GeoTOP-model de cumulatieve dikte van alle voxels met één van de lithoklassen veen, klei, kleilig zand of zandige klei. Er gelden twee extra restricties: de voxel moet in de GeoTOP formatie van Waalre liggen, en volgens REGIS moet de voxel niet dieper liggen dan WAK1-basis.
  - o Dieper dan 50 m-NAP de dikte van kleilaag 1 in de Formatie van Waalre uit REGIS.

Daarnaast is een kaart gemaakt van de hydraulische weerstand van de Holocene deklaag op basis van het GeoTOP-model. De kaart is als volgt berekend:

- elke voxel heeft een stratigrafie en een lithoklasse
- voor de combinatie van stratigrafie en lithoklasse is de  $k_v$ -waarde opgezocht
- de c-waarde van de voxel is berekend als  $(1 / k_v\text{-waarde}) \cdot \text{dikte van de voxel}$
- de c-waarden zijn verticaal gesommeerd, d.w.z. over één voxel van 100x100 m zijn de c-waarden gesommeerd over de verticaal.

Hierbij moet wel worden aangetekend dat het sommeren van de hydraulische weerstand over één verticaal geen recht doet aan de stromingspatronen die worden veroorzaakt op de schaal van onttrekkingen en injecties bij brijnlozingen. Immers, water stroomt niet zuiver verticaal maar zoekt zich een kronkelige weg als er zandige, goed doorlatende kortsluitingen bestaan in een deklaag of scheidende laag. Uit de dwarsdoorsnedes (Bijlage A) blijkt dat dergelijke kortsluitingen wel degelijk bestaan op een voor brijnlozingen en ondergrondse opslag relevante schaal. Het verticaal sommeren leidt dus vermoedelijk tot een overschatting van de hydraulische weerstand van de deklaag. Voor eventuele toekomstige kwantitatieve, modelmatige analyses zijn de kaarten op dit moment nog niet geschikt en is een aanvullende interpretatieslag nodig die de ruimtelijke dimensie in de weerstand beter meeneemt. Desalniettemin zijn de geproduceerde kaarten voor dit rapport nuttig om verschillen in de hydraulische weerstand over het studiegebied zichtbaar te maken.

Tenslotte is er een kaart gemaakt van het doorlaatvermogen ( $k_h D$ -waarde) van het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket.

Omdat de 1<sup>e</sup> scheidende laag (Formatie van Waalre) ongelukkigerwijs voor een deel in de GeoTop en voor een deel in REGIS ligt, was het binnen de beschikbare doorlooptijd en het beschikbare budget niet mogelijk om een bevredigende kaart te maken van de hydraulische weerstand van de 1<sup>e</sup> scheidende laag. Om die reden worden de interpretaties in dit rapport gedaan op basis van de diktekaarten waarin de totale dikte van alle niet-zand lagen is gesommeerd over de verticaal van de slecht doorlatende laag. Ook hier komen duidelijke

ruimtelijke verschillen aan het licht die gebruikt kunnen worden om de mogelijke connecties tussen de twee watervoerende pakketten kwalitatief te beschrijven.

Voor een meer kwantitatieve benadering is het overigens zeker mogelijk geschikte en voor deze schaal relevante kaarten en 3D ondergrondmodellen te maken voor eventuele vervolgstudies.

Een 3D doorsnede en een fence diagram van de 1<sup>e</sup> scheidende laag zijn weergegeven in Bijlage B. In deze 3D doorsnedes is een beter ruimtelijk beeld te krijgen van de voorkomende lithologieklassen in de 1<sup>e</sup> scheidende laag dan in de doorsnedes apart. Aandachtspunt hierbij is weer dat de 1<sup>e</sup> scheidende laag beneden de 50 m-NAP als klei is weergegeven ondanks het feit dat dit mogelijk geen klei is. Om een duidelijker onderscheid te zien tussen de twee modellen is de klei uit REGIS in een lichtere groentint weergegeven.



### 3 Geohydrologische systeemkennis ondergrond in relatie tot brijnlozingen

In dit hoofdstuk wordt per geohydrologische laag een beschrijving gegeven. Voor de 1<sup>e</sup> scheidende laag is een uitgebreide karakterisatie gemaakt van de verwachte scheidende werking op basis van de geologische kennis in verschillende deelgebieden.

#### 3.1 Beschrijving verschillende geohydrologische lagen

##### 3.1.1 Deklaag

Uit de geologische doorsnedes (Bijlage A) en in de kaart van de dikte van de deklaag in Bijlage C (Figuur C.1) blijkt dat de deklaag met een dikte van ongeveer 20 meter vrij constant in het onderzoeksgebied is. Wel is er een afnemende dikte van het westen naar het oosten te zien met een dikte van ca. 22 meter in het westen en een dikte van ca. 15 meter ten oosten van Delft.

In Bijlage C (Figuur C.2) is ook een kaart van de hydraulische weerstand<sup>1</sup> van de deklaag opgenomen. De weerstand van deklaag kan sterk variëren in het gebied met waardes tussen de ca. 400 en ca. 10.000 dagen. Deze weerstand is afhankelijk van de dikte van de deklaag, en van de doorlatendheid van de voorkomende lithoklassen in de deklaag. In de doorsnedes is te zien dat er op sommige plaatsen vrij veel zand in de deklaag aanwezig is, dit kunnen bijvoorbeeld oude strandwallen of stroomgeulen zijn. Op deze plaatsen is de weerstand van de deklaag kleiner.

De weerstand van de deklaag kan effect hebben op de risico's van onttrekking van water uit het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket maar ook op de ondergrondse opslag van gietwater. Bij een lagere weerstand is het risico groter dat er een effect aan het maaiveld ten gevolge van de onttrekking of injectie op kan treden, zoals een verhoging of verlaging van de grondwaterstand of wateroverlast. Tevens is er bij een deklaag met lage weerstand in een infiltratiesituatie een verhoogde kans op het verplaatsen van antropogeen beïnvloed water vanaf het maaiveld naar het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket. Dit water wordt na onttrekking ingedikt tijdens het omgekeerde osmoseproces, waarna het in verhoogde concentraties wordt geïntroduceerd in het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket. Hierdoor zou je milieuvreemde stoffen in kunnen brengen, wat zich niet goed verhoudt met de prevent and limit bepalingen in de Grondwaterrichtlijn.

##### 3.1.2 1<sup>e</sup> Watervoerend pakket

De dikte van het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket is het grootste in het noorden van het gebied met een dikte tussen de 25 en 30 meter (zie Bijlage C, Figuur C.3). Ten noorden van Delft is het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket echter dunner met een dikte van rond de 20 meter. In het westen en het midden van het gebied is het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket dunner met een dikte tussen de 17 en 23 meter. In het zuiden is het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket het dunste met diktes tussen de 12 en 15 meter.

De dikte geeft per oppervlakte-eenheid meteen de capaciteit/volume weer: in het noorden is het volume van het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket groter dan in het zuiden van het onderzoeksgebied.

---

1. Waar in dit hoofdstuk over de weerstand wordt gesproken bedoelen we de hydraulische weerstand die berekend wordt door over één voxel van 100x100 m de weerstand over de verticaal te sommeren. Zoals in hoofdstuk 2 besproken, levert dit een overschatting op van de werkelijke hydraulische weerstand.

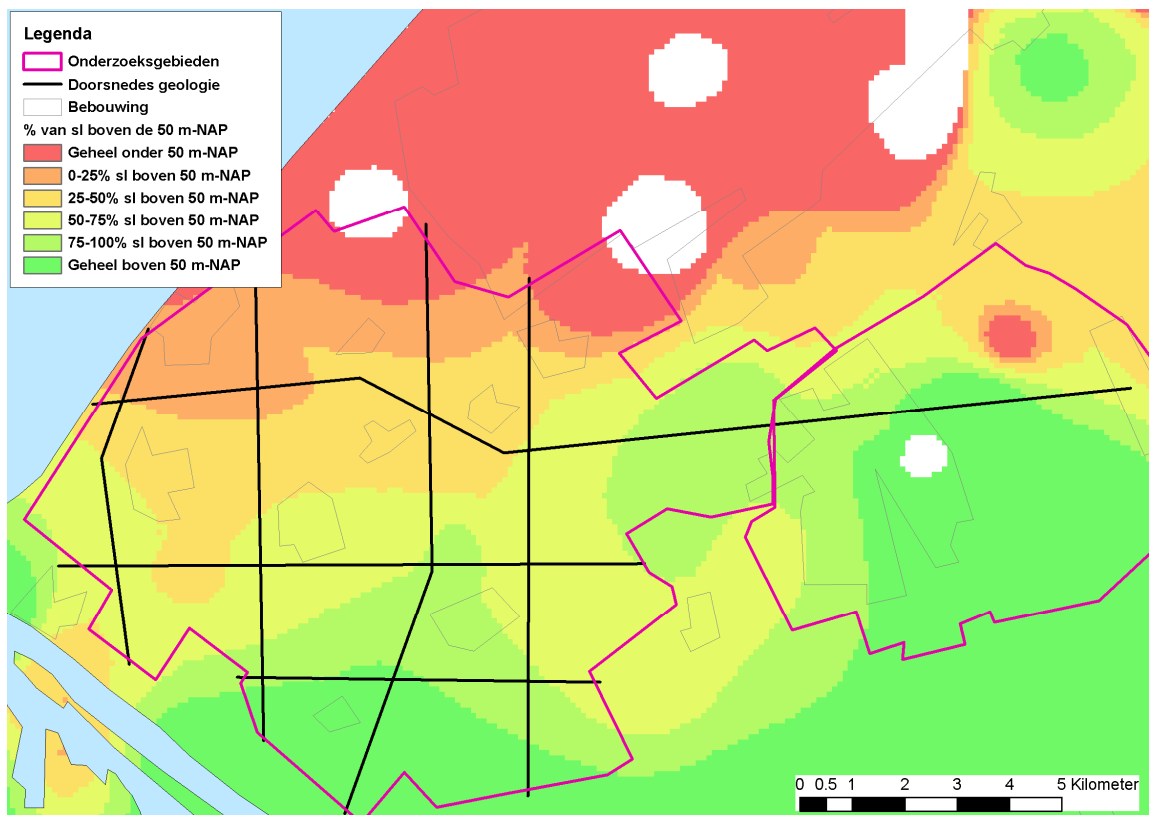
Het doorlaatvermogen van het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket is sterk wisselend in het gebied (zie Bijlage C, Figuur C.4). Er zijn enkele gebiedjes, in het westen, midden en ten noorden van Delft met een laag doorlaatvermogen variërend tussen de 50 en 200 m<sup>2</sup>/dag. In het noorden varieert de doorlatendheid tussen de 800 en 1400 m<sup>2</sup>/dag. In het zuiden zit er een grotere variatie in de doorlatendheid, er is variatie tussen 200 en 1000 m<sup>2</sup>/dag. In de doorsnedes is te zien dat het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket voor het grootste deel uit zand bestaat en dat er op enkele plekken wat klei of veen aanwezig kan zijn.

### 3.1.3 1<sup>e</sup> Scheidende laag

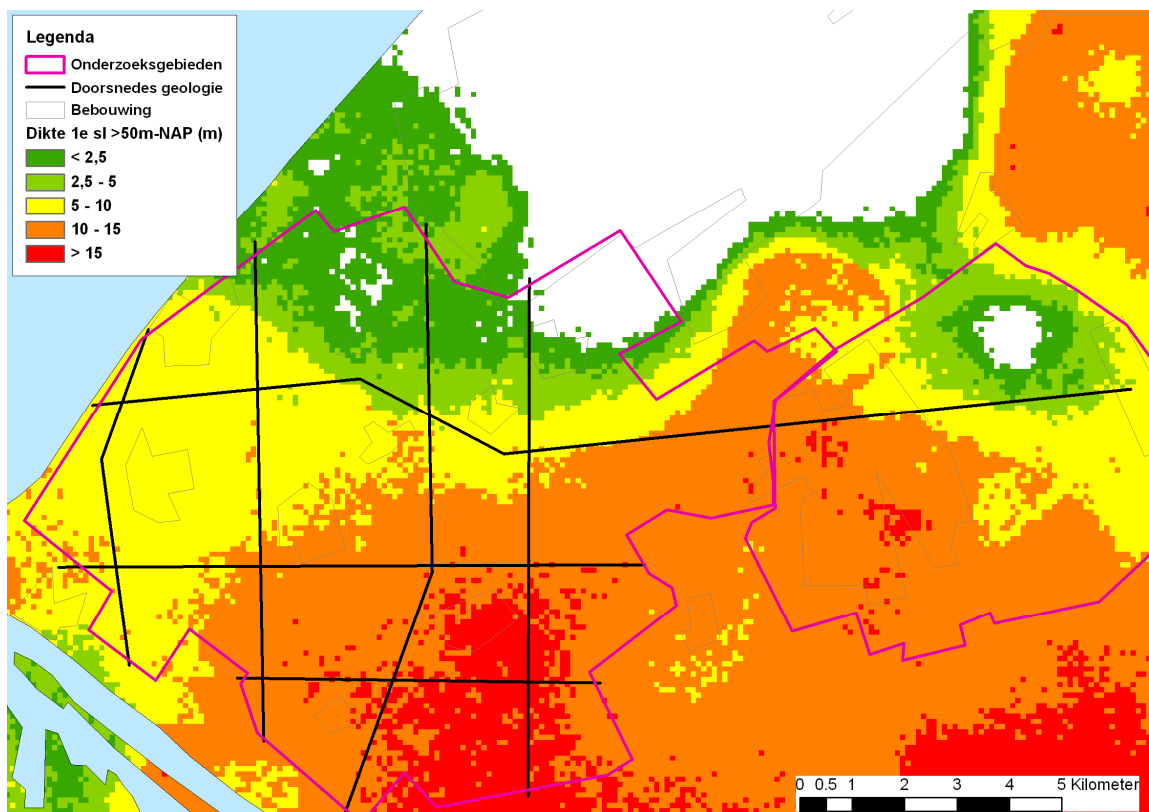
Aangezien de 1<sup>e</sup> scheidende laag rond de 50 m-NAP ligt, zijn het GeoTOP-model en REGIS gecombineerd om uitspraken te kunnen doen over de geohydrologie van de 1<sup>e</sup> scheidende laag. Boven de 50 m-NAP is gebruik gemaakt van het gedetailleerdere GeoTOP-model en onder de 50 m-NAP is gebruik gemaakt van REGIS. Op plaatsen waar de 1<sup>e</sup> scheidende laag voor een groter deel boven de 50 m-NAP ligt, is het mogelijk om met een grotere betrouwbaarheid uitspraken te doen. Hiertoe is in Figuur 3.1 voor het onderzoeksgebied weergegeven welk percentage van de 1<sup>e</sup> scheidende laag boven de 50 m-NAP ligt. In de figuur is te zien dat de 1<sup>e</sup> scheidende laag in het noorden geheel onder de 50 m-NAP ligt. Hier moeten we ons dus baseren op informatie van het REGIS-model. Hoe zuidelijker, hoe ondieper de 1<sup>e</sup> scheidende laag begint. In het zuiden ligt de 1<sup>e</sup> scheidende laag geheel boven de 50 m-NAP. Hier kunnen dus geheel op basis van het GeoTOP-model uitspraken gedaan worden. In het middengedeelte is de informatie deels gebaseerd op het GeoTOP-model en deels op het REGIS-model. Met het REGIS-model wordt een overschatting gemaakt van de hoeveelheid klei in de 1<sup>e</sup> scheidende laag, omdat de gehele 1<sup>e</sup> scheidende laag als klei is geclassificeerd. In de doorsnedes is te zien dat dit op basis van het GeoTOP-model geen juiste aanname is.

In Figuur 3.2 is de dikte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag weergegeven voor zover deze boven de 50 m-NAP ligt. Er is een oplopende dikte te zien, van 0 meter in het noorden tot meer dan 15 meter in het zuiden.



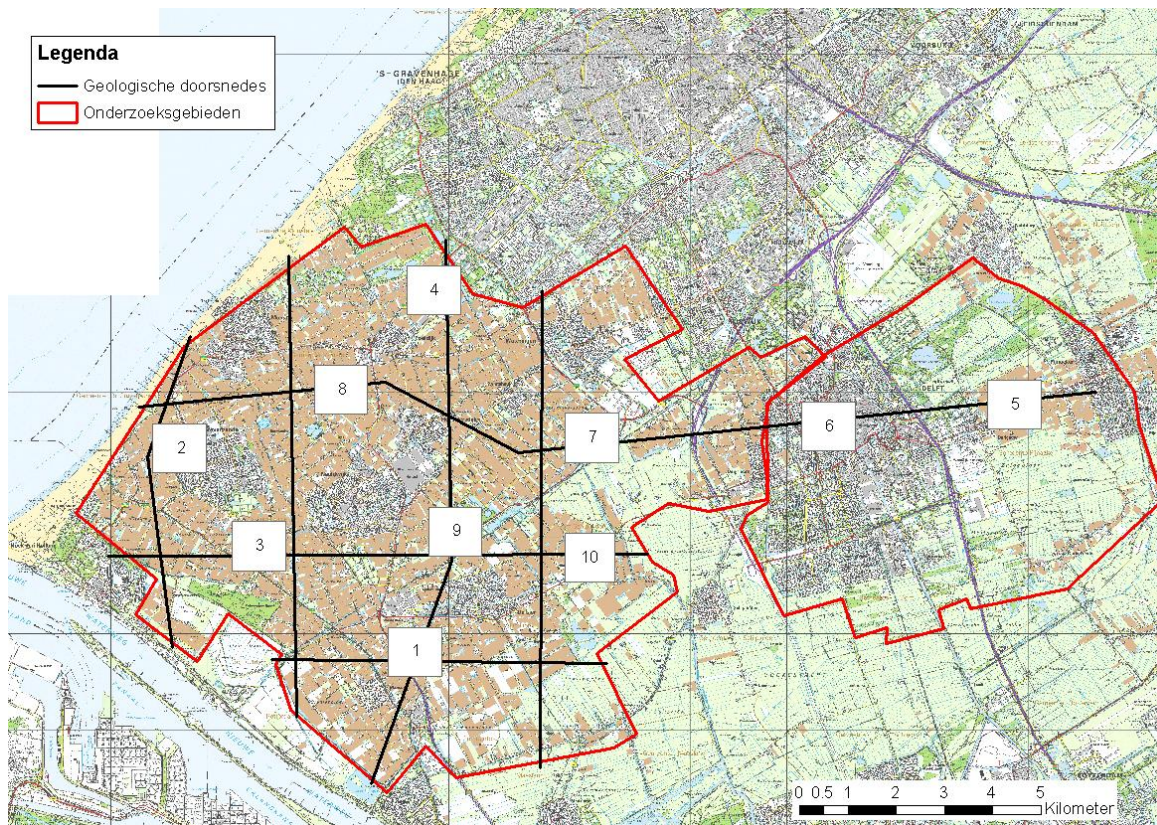


Figuur 3.1 Percentage van de 1<sup>e</sup> scheidende laag boven de 50 m-NAP (gebaseerd op het GeoTOP-model).



Figuur 3.2 Dikte 1<sup>e</sup> scheidende laag voor zover deze laag op of boven de 50 m-NAP ligt (gebaseerd op het GeoTOP-model).

Voor de beschrijving van de geohydrologie van de 1<sup>e</sup> scheidende laag en de verwachte scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag op basis van de geo(hydro)logische systeemkennis is het onderzoeksgebied opgedeeld in redelijk homogene gebieden die achtereenvolgens besproken worden. De deelgebieden zijn weergegeven in Figuur 3.3.



Figuur 3.3 Indeling onderzoeksgebied in verschillende redelijk homogene deelgebieden.

In Figuur 3.4, Figuur 3.5 en Figuur 3.6 is de cumulatieve dikte van de niet-zanden (klei, veen, kleiig zand en zandige klei) in de 1<sup>e</sup> scheidende laag weergegeven voor respectievelijk het deel van het onderzoeksgebied waarbij de 1<sup>e</sup> scheidende laag voor meer dan 75% onder de 50 m-NAP ligt, tussen de 25 en 75% van de dikte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag boven de 50 m-NAP ligt en de 1<sup>e</sup> scheidende laag voor meer dan 75% van de dikte boven de 50 m-NAP ligt. De resultaten van de cumulatieve dikte zijn betrouwbaarder als een groter deel van de 1<sup>e</sup> scheidende laag boven de 50 m-NAP ligt en dus beschreven kan worden met het GeoTOP-model. Voor de volledigheid is de gehele kaart van de cumulatieve dikte van de niet-zanden in Bijlage C (Figuur C.5) opgenomen.

Deze gegevens zijn gevalideerd met de stijghoogte. In Dinoloket zijn de peilbuizen opgezocht die zowel een filter boven als onder de 1<sup>e</sup> scheidende laag hebben. Door de stijghoogte van beide peilbuizen te vergelijken kan bekeken worden of de scheidende laag goed scheidend werkt; als er een verschil in het stijghoogtepatroon van beide filters zit kan geconcludeerd worden dat de scheidende laag scheidend werkt. Als het stijghoogtepatroon van beide peilbuizen gelijk is, is de kans groot dat het 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> watervoerend pakket met elkaar in verbinding staan en dat de scheidende laag niet goed scheidend werkt. In Dinoloket zijn vier peilbuizen in het Westland gevonden met zowel een filter boven als beneden de 1<sup>e</sup> scheidende laag. Deze peilbuizen laten zien dat op plaatsen waar een aanzienlijke dikte aan niet-zanden aanwezig is, beide filters niet hetzelfde patroon volgen. De aanwezige peilbuizen liggen echter paarsgewijs op dezelfde plaats en laten op een bepaalde plaats geen eenduidig

patroon zien. In het Westland zijn nog veel meer stijghoogtebuizen aanwezig, deze hebben echter maar één filter of alleen filters boven de 1<sup>e</sup> scheidende laag.

#### Deelgebied 1

In de doorsnedes (NZ3 en WO3) en in Figuur 3.1 is te zien dat in het zuiden vrijwel de gehele 1<sup>e</sup> scheidende laag boven de 50 m-NAP ligt. Hier kan dus op basis van het GEOTOP-model iets over gezegd worden. Rond deelgebied 1 is de dikte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag tussen de 13 en 17 meter. In de doorsnedes is te zien dat er vrij veel zand in kan zitten en dat de totale dikte van de niet-zanden altijd een paar meter dunner is dan de totale dikte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag met een dikte tussen de 4 (dichter bij de Nieuwe Waterweg) en 15 meter (noordelijker). Mogelijk is er in dit deelgebied een risico dat de 1<sup>e</sup> scheidende laag niet goed scheidend werkt.

#### Deelgebied 2

Deelgebied 2 is het westen van het onderzoeksgebied, langs de kust. In het duingebied vindt waterinfiltratie en -onttrekking t.b.v. drinkwater plaats door Dunea.

Ongeveer de helft van de 1<sup>e</sup> scheidende laag ligt boven de 50 m-NAP en de helft eronder. De dikte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag is ongeveer 13 tot 18 meter. In doorsnede NZ-1 (Bijlage A) is te zien dat in het gedeelte boven de 50 m-NAP veel zand in de 1<sup>e</sup> scheidende laag voorkomt. Het voorkomen van klei beneden de 50 m-NAP (op basis van REGIS) geeft een vertekend beeld: dit is waarschijnlijk ook veelal zand. De cumulatieve dikte van de niet-zanden varieert nu van ca. 13 meter (het noordelijk deel van het onderzoeksgebied aan de kust) tot ca. 5 meter (het zuidelijk deel van het onderzoeksgebied aan de kust). Dit is zeer waarschijnlijk een overschatting. Waarschijnlijk bestaat de 1<sup>e</sup> scheidende laag in het westen van het onderzoeksgebied uit veel zand en is de weerstand van deze laag niet hoog. Dit gebied kan aangemerkt worden als gebied met een relatief groot risico dat de 1<sup>e</sup> scheidende laag niet goed scheidend werkt.

#### Deelgebied 3

Het gebied ten westen tot zuidwesten van Naaldwijk bevat veel klei in het gedeelte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag dat boven de 50 m-NAP ligt. De dikte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag is hier ongeveer tussen de 16 en 20 meter. De weerstand van de 1<sup>e</sup> scheidende laag is waarschijnlijk hoog in vergelijking met de rest van het gebied doordat de 1<sup>e</sup> scheidende laag ook werkelijk veelal uit klei bestaat. Dit is ook te zien in de verschillende figuren: de cumulatieve dikte van de niet-zanden ligt tussen de 15 en 20 meter (Figuur 3.5). In dit gebied werkt de scheidende laag waarschijnlijk goed scheidend en is het risico dat de geïnfiltreerde brijn vanuit het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket terug kan stromen naar het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket kleiner dan elders.

#### Deelgebied 4

In het noorden van het onderzoeksgebied ligt de 1<sup>e</sup> scheidende laag bijna geheel dieper dan 50 m-NAP. De kaart van de cumulatieve dikte van de niet-zanden (Figuur 3.4) maakt hier dus waarschijnlijk een overschatting. De dikte is in het noordoosten het dunst met een dikte van ongeveer 5 meter. In de rest van het noorden is de dikte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag tussen de 7 en 10 meter. De kleine stukjes die boven de 50 m-NAP liggen lijken aan te geven dat er hier veel zand in de 1<sup>e</sup> scheidende laag zit, maar dat is niet met zekerheid te zeggen. Dit gebied kan aangemerkt worden als gebied met een relatief groot risico dat de 1<sup>e</sup> scheidende laag niet goed scheidend werkt.

#### Deelgebied 5 en 6

In doorsnede WO-1 (zie Bijlage A) is te zien dat in het oosten van het onderzoeksgebied (ten oosten van Delft) een hele dunne 1<sup>e</sup> scheidende laag voorkomt met een dikte variërend tussen de 2 en 8 meter. Tevens bevat deze laag relatief veel zand. Onder Delft zelf is de 1<sup>e</sup> scheidende laag wat dikker met een dikte van ongeveer 10 meter,

maar de scheidende laag bestaat hoofdzakelijk uit zand. De cumulatieve dikte van de niet-zanden is dan ook zeer klein, van alleen zand tot maximaal enkele meters niet-zanden (Figuur 3.6). De verwachting is dat in dit gebied de 1<sup>e</sup> scheidende laag niet goed scheidend werkt.

## Deelgebied 7

Ten westen van Delft is de 1<sup>e</sup> scheidende laag ongeveer 13 meter dik en bestaat grotendeels uit niet-zanden (totale dikte van ongeveer 10 meter), waardoor de weerstand hoger is dan onder Delft. Weer iets westelijker langs doorsnede WO-1, op de overgang tussen gemeente Westland en Midden-Delfland bevat de scheidende laag weer meer zand (dikte niet-zanden rond de 7 à 8 meter). In dit gebied vormt de scheidende laag relatief niet zo een groot risico dat de geïnfiltreerde brijn vanuit het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket terug kan stromen naar het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket.

## Deelgebied 8

Deelgebied 8, een stuk naar het westen vanaf Delft langs doorsnede WO-1, lijkt een 1<sup>e</sup> scheidende laag te hebben die redelijk veel klei of kleig zand bevat. De dikte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag varieert hier tussen 13 tot 17 meter en de dikte van de niet-zanden ligt ongeveer tussen de 10 en 14 meter. Meer dan de helft van de scheidende laag ligt echter onder de 50 m-NAP, dus waarschijnlijk is de dikte van de niet-zanden overschat. Aangezien in doorsnede WO-1 in het gedeelte boven de 50 m-NAP wel relatief veel klei in de 1<sup>e</sup> scheidende laag te zien is, wordt verwacht dat de 1<sup>e</sup> scheidende laag dieper ook redelijk veel niet-zanden bevat. Dit gebied wordt niet direct als risicogebied voor het niet scheidend werken van de 1<sup>e</sup> scheidende laag aangemerkt.

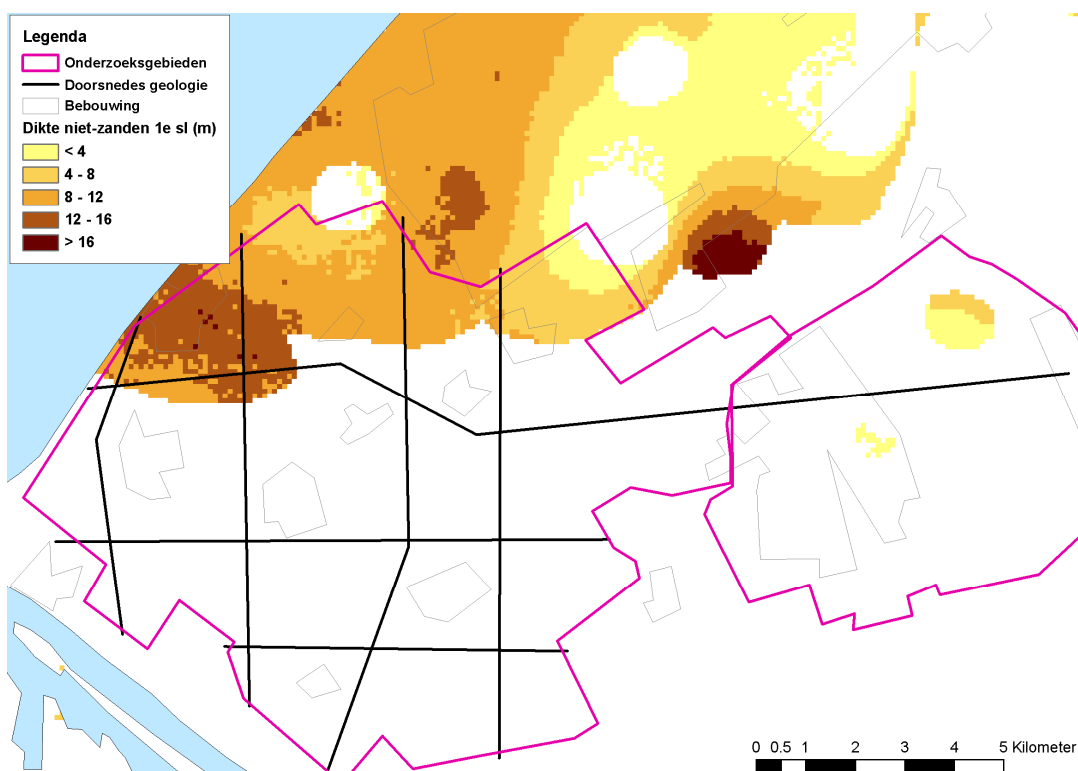
## Deelgebied 9

In het midden van het onderzoeksgebied rond het middelste gedeelte van doorsnede WO-2 is de dikte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag rond de 15 meter en de cumulatieve dikte van de niet-zanden tussen de 10 en 14 meter (zie Figuur 3.5 en Figuur 3.6). Het grootste deel van de scheidende laag ligt boven de 50 m-NAP. In de doorsnede WO-2 (zie Bijlage A) is te zien dat de scheidende laag in dit deelgebied voor een groot deel uit klei bestaat en dat er relatief weinig zand in voorkomt. In dit deelgebied is het risico dat de scheidende laag niet goed scheidend werkt relatief klein.

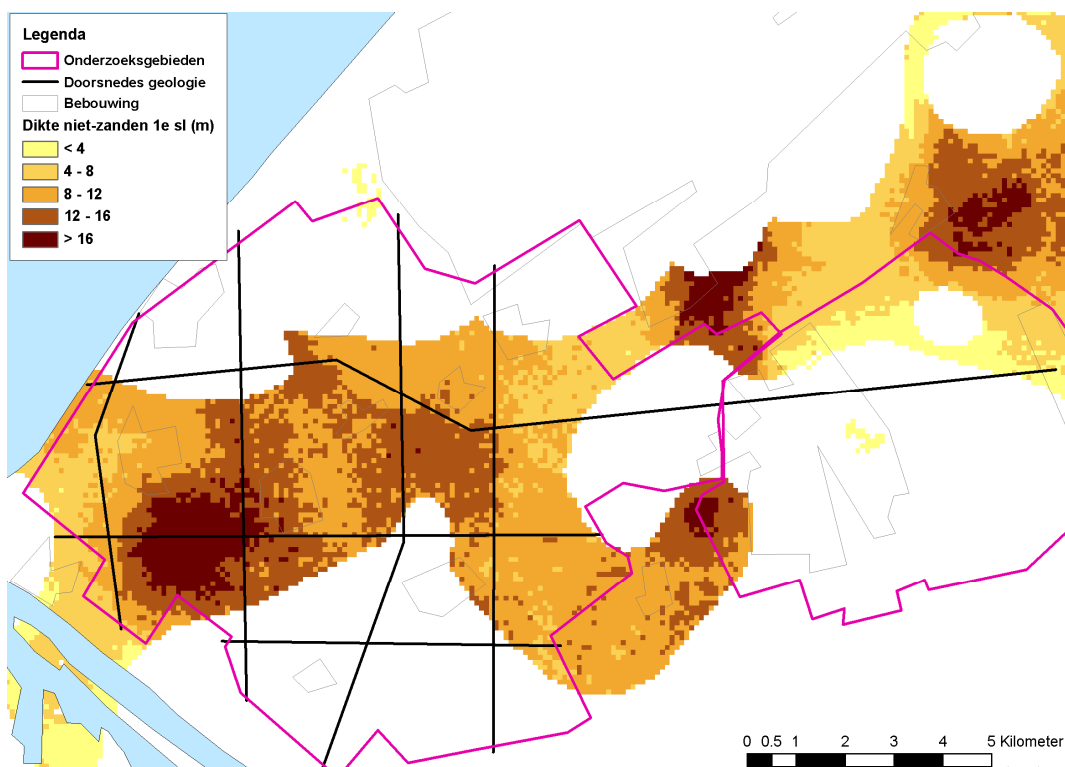
## Deelgebied 10

In deelgebied 10, het oostelijkste gedeelte van doorsnede WO-2, is de dikte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag rond de 18 meter en de cumulatieve dikte van de niet-zanden rond de 9 à 10 meter (zie Figuur 3.5). In de doorsnede is te zien dat er veel zand in de 1<sup>e</sup> scheidende laag voorkomt in dit deelgebied. De cumulatieve dikte geeft waarschijnlijk een overschatting van de dikte van de niet-zanden. Mogelijk is er in dit deelgebied een risico dat de 1<sup>e</sup> scheidende laag niet goed scheidend werkt.

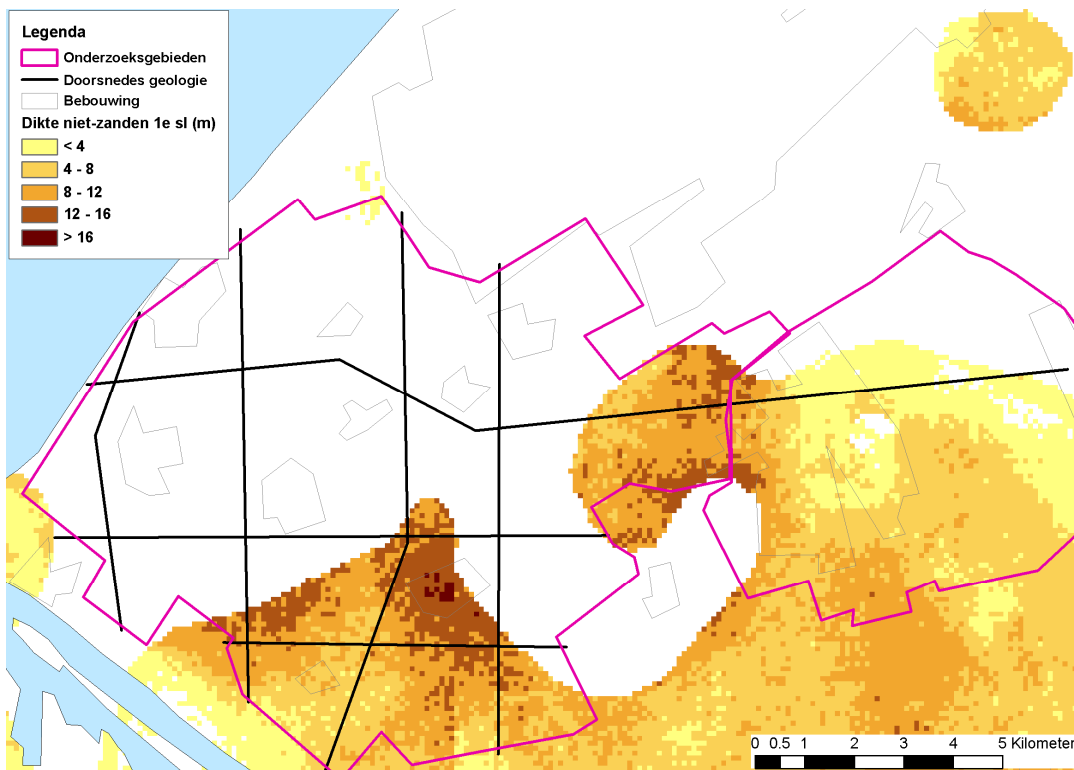




*Figuur 3.4 Cumulatieve dikte niet-zanden (klei, veen, kleig zand en zandige klei) in de 1<sup>e</sup> scheidende laag in het deel van het onderzoeksgebied waarbij de 1<sup>e</sup> scheidende laag voor meer dan 75% onder de 50 m-NAP ligt en de diktes dus relatief onbetrouwbaar en waarschijnlijk overschat zijn.*



*Figuur 3.5 Cumulatieve dikte niet-zanden (klei, veen, kleig zand en zandige klei) in de 1<sup>e</sup> scheidende laag in het deel van het onderzoeksgebied waarbij de 1<sup>e</sup> scheidende laag tussen de 25 en 75% boven de 50 m-NAP ligt en de diktes dus relatief redelijk onbetrouwbaar en mogelijk overschat zijn.*

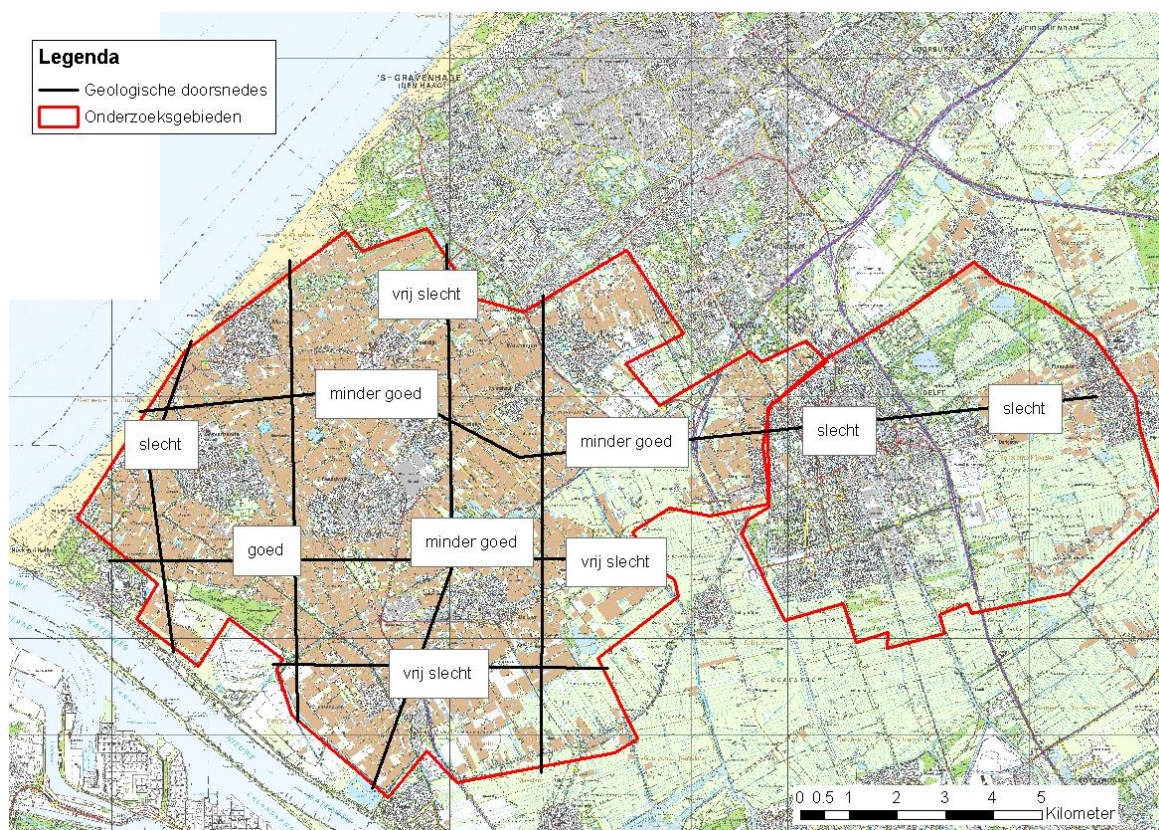


Figuur 3.6 Cumulatieve dikte niet-zanden (klei, veen, kleig zand en zandige klei) in de 1<sup>e</sup> scheidende laag in het deel van het onderzoeksgebied waarbij de 1<sup>e</sup> scheidende laag voor meer dan 75% boven de 50 m-NAP ligt en de diktes dus relatief betrouwbaar zijn.

### 3.2 Verwachte scheidende werking 1<sup>e</sup> scheidende laag

Deze paragraaf geeft een overzicht van de verwachte scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag op basis van de informatie vanuit de geologische systeemkennis (andere factoren zijn bij deze inschatting dus niet meegenomen). Dit is als het ware een overzicht van de waarnemingen die in de voorgaande paragraaf zijn gedaan.

De 10 deelgebieden zijn wat betreft de scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag als volgt geclassificeerd: goed, minder goed, vrij slecht en slecht (zie Figuur 3.7).



Figuur 3.7 Verwachte scheidende werking 1<sup>e</sup> scheidende laag per deelgebied.

In Figuur 3.7 is te zien dat verwacht wordt dat in het westen van glastuinbouwgebied Westland, de strook langs de kust, en in de gemeente Delft de 1<sup>e</sup> scheidende laag een slechte scheidende werking heeft. De verwachte scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag langs de randen van het glastuinbouwgebied Westland (het noorden, zuiden en zuidoosten) lijkt ook vrij slecht te zijn. Ten westen en zuidwesten van Naaldwijk wordt verwacht dat, op basis van de geologische systeemkennis, de scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag goed is. In het midden van het gebied wordt verwacht dat de scheidende werking minder goed is.

Op basis van de geologische systeemkennis kan geconcludeerd worden dat op sommige plaatsen het risico groter is dat grondwater uit het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket, met het brijn erin, weer in het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket terecht kan komen.

Vanzelfsprekend is het in een vervolgproject mogelijk om de huidige kwalitatieve analyse nader te kwantificeren. Daarvoor zou een verantwoorde extrapolatie van de klei- en zandvoorkomens in het 'REGIS-deel' van de 1<sup>e</sup> slecht doorlatende laag moeten worden gemaakt, en zou de hydraulische weerstand van de heterogene laag met een eenvoudig model kunnen worden gekwantificeerd. Vervolgens zouden scenario's met realistische onttrekkings- en injectieputten kunnen worden doorgerekend waarmee de kans op 'brijndoorbraak' voor elk deelgebied kan worden weergegeven, desgewenst met een betrouwbaarheidsinterval.

### 3.3 Andere factoren met invloed op het terugstromen van brijn

In dit onderzoek is alleen naar de geologie gekeken om een uitspraak te doen over de scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag. Daarbij is kwalitatief ingeschat of er ten gevolge van het stijghoogteverschil over de scheidende laag, dat ontstaat door onttrekking in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket en injectie in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket, al of niet sprake zou

kunnen zijn van terugstromen van brijn vanuit het 2<sup>e</sup> naar het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket. Als het risico op het terugstromen van brijn uit het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket naar het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket wordt beschouwd, zijn er echter meer factoren die hier invloed op hebben. Deze worden hieronder kort benoemd, maar zijn allen niet onderzocht in huidig onderzoek.

### 3.3.1 Verticale flux

Als sprake is van een infiltratiesituatie is de kans kleiner dat water vanuit het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket kan bereiken dan in een kwelsituatie. Een kwelsituatie in het gebied rond de 1<sup>e</sup> scheidende laag zou mogelijk stroming vanuit het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket naar het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket kunnen veroorzaken. Of deze stromingen werkelijk optreden en er werkelijk problemen kunnen ontstaan met de verplaatsing van ongewenste stoffen hangt echter ook sterk af van de grootte van deze flux. Deze is in dit onderzoek niet uitgezocht en vereist een gedetailleerd model.

### 3.3.2 Achtergrondstroming

Op een bepaalde plek kan de scheidende laag wel voldoende scheidend zijn, maar bij een hoge achtergrondstroming kan het brijn alsnog verplaatst worden naar een plek met een slechtere scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag, waardoor het brijn alsnog op een andere plaats omhoog zou kunnen komen. Dit risico is groter op plaatsen met een hoge achtergrondstroming dan op plaatsen met een lagere achtergrondstroming.

### 3.3.3 Niet afdoende afdichting van putten

Als er injectieputten, WKO-putten, peilbuizen of boringen door de 1<sup>e</sup> scheidende laag heen zijn gezet die niet goed zijn afgedicht, bestaat alsnog de kans dat water zich langs deze putten omhoog kan verplaatsen. Aanbevolen wordt goed te controleren of putten, peilbuizen en boringen goed zijn afgedicht.

## 3.4 Aandachtspunten bij het lozen van brijn

### 3.4.1 Grondwaterkwaliteit

In het voorafgaande is met name aandacht besteed aan de vraag of geïnjecteerde brijn mogelijkterug kan stromen naar het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket. Los daarvan moet ook rekening worden gehouden met een verslechtering van de grondwaterkwaliteit in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket als de scheidende laag wel goed scheidend werkt.

In het onderzoek van Klein & Passier (2010) werden brijnanalyses op 18 bedrijven in het Westland, Oostland, de Zuidplaspolder en Brielle vergeleken met concentraties in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket (analyseresultaten op 16 locaties vanuit DINO). Geconcludeerd werd dat voor de gevaarlijke stoffen cadmium, lood, arseen en antimoon geldt dat brijnlozing in het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket strijdig is met het uitgangspunt van de KRW dat alle nodige maatregelen zijn genomen met de bedoeling om te voorkomen dat deze gevaarlijke stoffen in het grondwater ingebracht worden (Prevent principe uit het Prevent and Limit artikel uit de Grondwaterrichtlijn). Voor de niet-gevaarlijke stoffen kobalt, vanadium, barium, chloride, sulfaat en ammonium geldt dat de concentraties in het brijn zodanig zijn dat een verhoging van de concentraties in het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket niet is uit te sluiten dan wel dat de concentraties van het brijn boven de landelijke streefwaarde liggen. Lozing voldoet vanuit de overwegingen die zijn gekozen voor de toetsing niet aan het Limit principe uit het Prevent and Limit artikel van de Grondwaterrichtlijn. De bariumconcentratie overschrijdt in 12 brijnmonsters, en de vanadiumconcentratie in 2 brijnmonsters, zelfs de interventiewaarde (uit de circulaire van VROM (2000)).

In de hier genoemde studie is niet gekeken naar de milieuvreemde stoffen. Aanbevolen wordt om ook milieuvreemde stoffen in het brijnwater regelmatig te analyseren met een lage



rapportagegrens om een eventueel signaal vroegtijdig te kunnen oppikken. Daarnaast zouden er ook ongewenste microbiële en biochemische veranderingen in het 2<sup>e</sup> watervoerende pakket op kunnen treden door het toepassen van onttrekking, osmose en uiteindelijke brijnlozing.

Aanbevolen wordt de grondwaterkwaliteit te betrekken bij de overwegingen over het te volgen brijnbeleid en daarbij ook de milieuvreemde stoffen en microbiologische en biochemische veranderingen te onderzoeken.

### 3.4.2 Grondwaterkwantiteit

In deze paragraaf wordt beschreven wat het effect is van het onttrekken van water uit het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket en het injecteren van water in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket op de freatische grondwaterstand.

Jaarlijks wordt er in het Westland 4,6 miljoen m<sup>3</sup> uit het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket onttrokken en 2,3 miljoen m<sup>3</sup> in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket geïnjecteerd.

De effecten op de freatische grondwaterstand zijn ingeschat met behulp van een berekening met een analytische formule. Dit als eerste indicatie op basis van de regionale parameters. De berekening is aangevuld met een gevoeligheidsanalyse voor het mogelijk niet sluitend zijn van de deklaag.

#### Uitgangspunten

Voor de berekening zijn een aantal uitgangspunten gehanteerd en aannames gedaan:

- De onttrekking en injectie van respectievelijk 4,6 miljoen en 2,3 miljoen m<sup>3</sup> per jaar vindt plaats in 200 putten in het Westland.
- In de berekening wordt er vanuit gegaan dat alle 200 putten evenveel water onttrekken.
- Alleen in het 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> kwartaal wordt water onttrokken en in beide kwartalen even veel.
- De aanname wordt gedaan dat de putten homogeen gedistribueerd zijn in het gebied. Dit leidt tot een gemiddelde afstand van 500 meter tussen de werkende putten. In de berekeningen wordt gekeken of er interferentie van de putten onderling optreedt, of dat ze als onafhankelijke putten kunnen worden behandeld.

Voor de gebruikte formules en de uitgevoerde berekening wordt verwezen naar Bijlage D.

Het resultaat van de berekening laat zien dat de verlaging van de grondwaterstand in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket rond de 37 cm is. De verlaging van de freatische grondwaterstand is echter vrijwel verwaarloosbaar omdat de deklaag direct daaronder een hoge weerstand heeft. In het geval dat de deklaag een lage weerstand heeft, als hij bijvoorbeeld geheel uit zand bestaat, wordt een verlaging van de freatische grondwaterstand tot 20 cm berekend. De invloed van de injectie in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket is verwaarloosbaar omdat uit de berekening blijkt dat er hoegenaamd geen effect is op de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket en door de demping van de deklaag nog minder effect heeft op de freatische grondwaterstand.



## 4 Beschrijving conceptueel model voor ondergrondse opslag gietwater

Er is een conceptueel model gebruikt voor de verkenning van de mogelijkheden van het injecteren van zoet water in een zout watervoerend pakket onder verschillende omstandigheden. Het rendement is een belangrijke parameter waarmee een uitspraak kan worden gedaan of ondergrondse opslag van gietwater een reële optie is. Het rendement wordt gedefinieerd als de hoeveelheid van het geïnjecteerde zoete water dat teruggewonnen kan worden in een vastgestelde tijdsperiode.

In dit hoofdstuk wordt een toelichting gegeven op het conceptuele model. Tevens komen de uitgangspunten en de aannames die gedaan zijn aan de orde.

### 4.1 Modelopzet en modelinstrumentarium

Het conceptuele model dat voor het modelleren van de ondergrondse opslag van gietwater is gebruikt is een 3D niet-stationair grondwatermodel dat met de softwarecode MOCDENS3D (Oude Essink, 1998) wordt gedraaid. MOCDENS3D kan dichtheidafhankelijk grondwaterstroming en de verplaatsing van zoet, zout en brak water in het poreuze medium simuleren. MOCDENS3D is gebaseerd op MODFLOW (McDonald en Harbaugh, 1988) voor (dichtheidafhankelijke) grondwaterstroming, en MOC3D (Konikow et al., 1996) voor de verplaatsing van zoet, brak en zout grondwater om de ontwikkeling van de zoete regenwaterbel te modelleren. Deze twee codes zijn volledig geïntegreerd in de MOCDENS3D code. De code is een samenvoeging van state-of-the-art software op het gebied van zowel grondwaterstroming als stoftransportmodellering. De code is eerder voor een aantal ander studies in de Provincie Zuid-Holland gebruikt (Minnema et al., 2004; Kuijper et al., 2005; Oude Essink et al., 2008; Oude Essink et al., 2010).

### 4.2 Modelafmetingen

De afmetingen van het model zijn gekozen op basis van de grootte van de percelen, de afstanden tussen de sloten, de dikte en doorlatendheid van de verschillende geologische lagen, de eisen van de gewenste output en de eisen van het software pakket.

Het conceptuele model simuleert een gebied van 960 bij 960 meter met modelementen van 8 bij 8 bij 1 meter. Het model bestaat uit totaal 120 rijen, 120 kolommen en 40 lagen. De totale dikte van het model is 40 meter om de deklaag en het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket goed te kunnen simuleren.

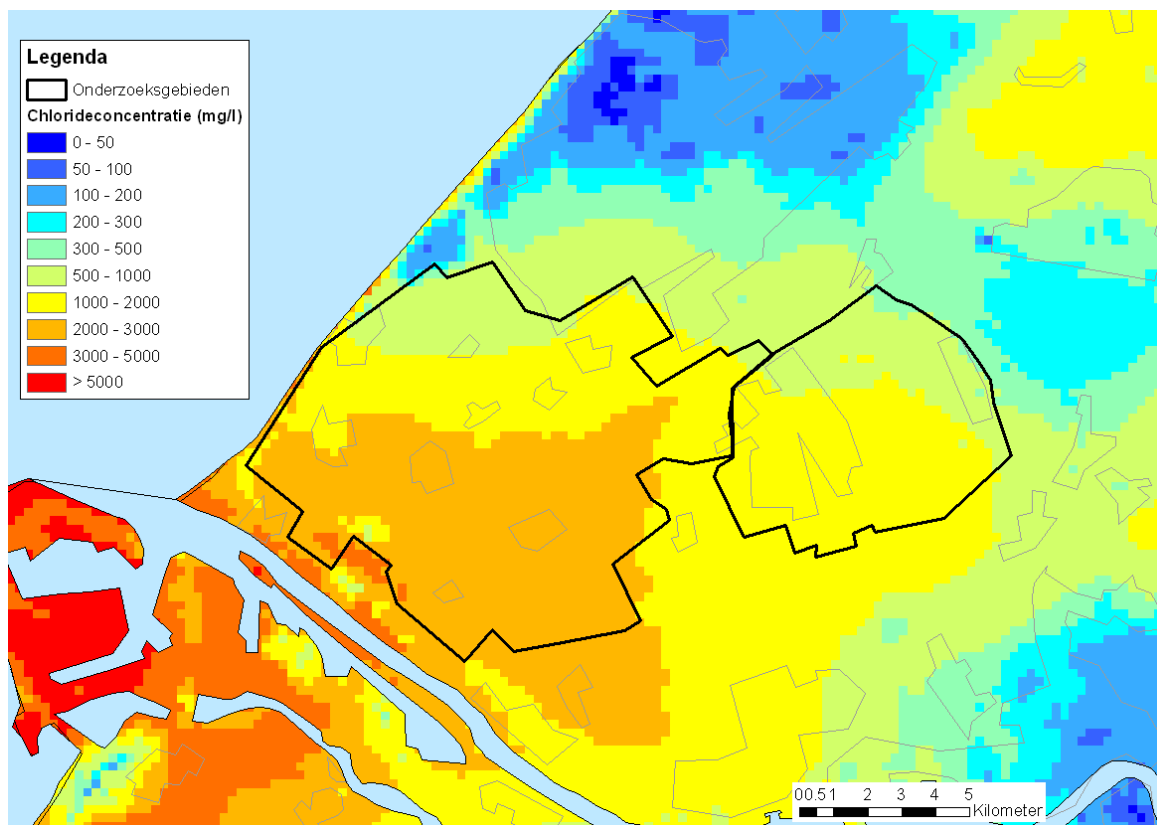
### 4.3 Randvoorwaarden

De bovenrand van het model ligt op maaiveldniveau en is óf ondoorlatend verondersteld óf met topsysteem (waterlopen, drainage, grondwateraanvulling). De onderrand is een ondoorlatende laag: de 1<sup>e</sup> scheidende laag wordt ondoorlatend verondersteld. In werkelijkheid zal dit niet het geval zijn, maar de geïnjecteerde zoetwaterbel zal in gebieden zonder grote injectie niet snel 'zakken'. De zijranden zijn 'General Head Boundary' randen met een conductance van 100 dagen. Deze conductance is redelijk groot en zorgt voor een bijna constant peil op de randen. Dat betekent dat de laterale achtergrondstroming in het grondwater door de randen wordt opgelegd.

#### 4.3.1 Chlorideconcentratie van het gebied

De verdeling van de chlorideconcentratie van het grondwater in het gebied is afkomstig uit het Zuid-Holland model (zie Figuur 4.1). De chlorideconcentratie van het grondwater in het

midden van het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket varieert tussen de 500 en 3000 mg Cl/l in het Westland. Daarom is er voor gekozen om drie verschillende chloridescenario's mee te nemen in het model: 500, 1000 en 2500 mg/l chloride. Binnen één conceptueel model is de chlorideconcentratie constant.



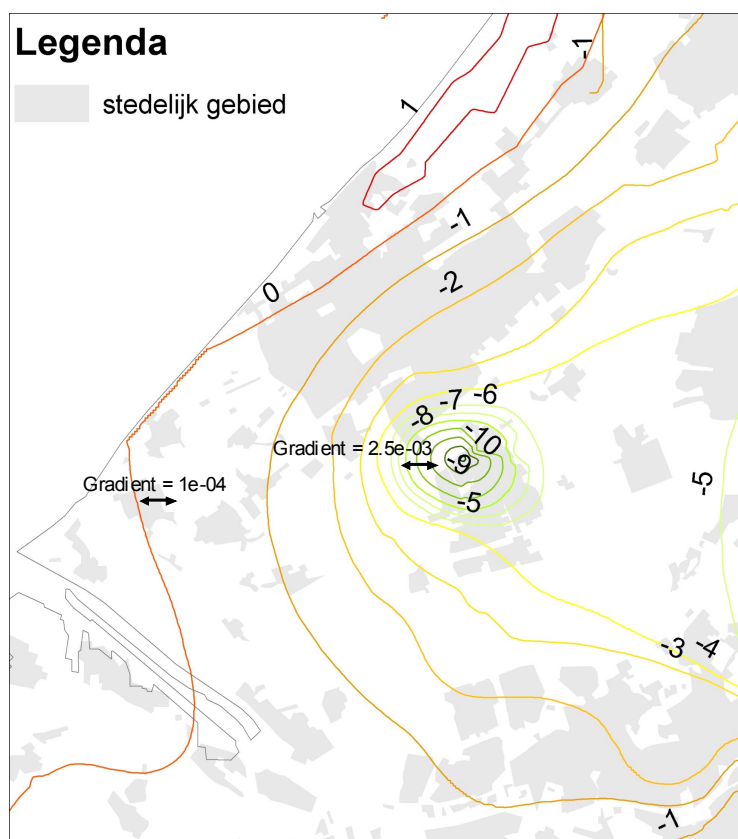
Figuur 4.1 Chlorideconcentratie op een diepte van 27,5 m-NAP in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket (Oude Essink et al., 2008).

#### 4.3.2 Achtergrondstroming

Door de aanwezigheid van de DSM onttrekking zijn de stijghoogteverschillen in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket in het horizontale vlak groot in het Westland (zie Figuur 4.2). Omdat de stijghoogtegradiënt van het studiegebied sterk varieert in de ruimte (kleiner in het westen en groter in het oosten), is besloten om verschillende scenario's te maken met verschillende stijghoogtegradiënten. Deze gradiënten zorgen voor een groot verschil in de achtergrondstroming, en dit is waarschijnlijk een belangrijke factor voor het rendement van het geïnjecteerde zoete water. Gebaseerd op de isohypsenkaart van de resultaten van het Zuid-Holland model<sup>2</sup> (Minnema et al., 2004; Kuijper et al., 2005) zijn twee scenario's voor de stijghoogtegradiënt geselecteerd (zie Figuur 4.2):

- 1E-04 ( $\Delta h = 0,1$  meter over een afstand van 1 kilometer)
- 2,5E-03 ( $\Delta h = 2,5$  meter over een afstand van 1 kilometer)

2. Het Zuid-Holland Model is door TNO (met de huidige Deltares-medewerkers) in 2004 ontwikkeld voor de Provincie Zuid-Holland. Het is een 3D regionaal niet-stationair dichtheidsafhankelijk grondwatermodel (100x92,5 km<sup>2</sup> bij 300 m diep) waarmee de toekomstige verzilting van het grondwatersysteem is ingeschat. Grootte van de modelementen is 250x250 m<sup>2</sup>.



Figuur 4.2 Isophytenkaart Westland waarin de twee scenario's voor de stijghoogtegradiënt zijn weergegeven.

#### 4.3.3 Geologie

De opbouw van de ondergrond is gebaseerd op het geologische GeoTOP-model van TNO. In Hoofdstuk 3 is een uitgebreide beschrijving van de geologie in het gebied gegeven.

Vanwege de sterk wisselende geologie zijn drie verschillende geologische scenario's gedefinieerd die van elkaar verschillen in de dikte en weerstand van de deklaag en de dikte en het doorlaatvermogen van de 1<sup>e</sup> scheidende laag. De drie scenario's zijn gebaseerd op de doorsnedes in Bijlage A en de kaarten in Bijlage C en staan weergegeven in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Gehanteerde parameters voor de drie voorkomende geologische gebiedskenmerken in het Westland.

Parameters	Profiel Zuid	Profiel Noord-oost	Profiel West
Dikte deklaag (m)	20	15	20
Weerstand deklaag (dagen)	6000	2000	4000
Dikte 1 <sup>e</sup> wvp (m)	12	25	20
Doorlaatvermogen 1 <sup>e</sup> wvp (m <sup>2</sup> /dag)	600	900	400

**Geldigheid scenario's**

Er is in dit onderzoek met een drietal basisscenario's gewerkt. Voor de geologie is van drie voorkomende profielen in het Westland uitgegaan. De naam van de profielen suggereert dat de desbetreffende geologische profielen representatief zijn voor het desbetreffende deel van het onderzoeksgebied. Door de grote heterogeniteit is dit in werkelijkheid echter niet zo. Deze drie voorkomende geologische gebiedskenmerken zijn ook niet dekkend voor het hele Westland maar beslaan wel de geologische kenmerken die veel voorkomen. Voor een gebiedsdekkend beeld zal uitgebreider onderzoek nodig zijn.

**4.3.4 Topsyteem en kwel/infiltratie**

Het topsysteem (drainage, waterlopen, grondwateraanvulling) heeft waarschijnlijk nauwelijks invloed op de stroming van de zoetwaterbel indien de deklaag voldoende weerstand heeft en de periode van injectie en onttrekking kort is.

Kwel en infiltratie van en naar het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket kunnen invloed op het systeem hebben, maar ter plaatse van de putten is de kwel- of infiltratiesnelheid verwaarloosbaar klein in vergelijking met het water dat geïnjecteerd en onttrokken wordt; hierdoor is de invloed van deze fluxen waarschijnlijk beperkt. Er is daarom gekozen om kwel en infiltratie niet mee te nemen in het model.

**4.3.5 Injectie: debiet en samenstelling**

Er wordt in het model gerekend met een injectiedebiet in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket van 70 m<sup>3</sup>/uur. Dit is het gesommeerde debiet van tien tuinders in het Westland (Roelofsen et al., 2005; Zuurbier, 2011). Dit debiet is een schatting voor een benodigde hoeveelheid water van 50.000 m<sup>3</sup> per maand (70 m<sup>3</sup>/uur). In het model wordt er vanuit gegaan dat deze hoeveelheid water altijd beschikbaar is en dat dit technisch mogelijk is.

Er wordt ook een scenario doorgerekend met een injectiedebiet van 800 m<sup>3</sup>/uur (zie paragraaf 4.4.3), ongeacht of dit technisch mogelijk is. De hoeveelheid te injecteren water per put hangt o.a. af van diameter van de put, de lengte waarover geïnfilterd wordt, de mate van verstopping en de (weerstand in de) geologische formatie. Om de hoeveelheid te infiltreren water te verhogen kunnen meerdere putten gebruikt worden en kan het gebied, waarbinnen geïnjecteerd mag worden, vergroot worden.

Het te injecteren water zou kunnen bestaan uit regenwater, ontzilt water vanuit de DSM onttrekking of gezuiverd afvalwater van de RWZI Harnaschpolder:

- De gemiddelde chlorideconcentratie in het regenwater over de jaren 1995 t/m 2004 (geen recentere meetgegevens gerapporteerd) bij meetstation Rotterdam van het Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling is 3,9 mg/l (gegevens uit: Stolk (2001) en ouder).
- Om gebruikt te kunnen worden als gietwater zal het DSM water ontzilt moeten worden, nu is het water brak (ca. 2000 mg/l Cl). De DSM kan de ontzilter instellen tot de gewenste kwaliteit. Voor gietwater hanteren ze een standaard van 18 mg/l chloride.
- De testresultaten voor het produceren van gietwater uit gezuiverd afvalwater laten voor de chlorideconcentratie een gemiddelde waarde zien van 2,1 mg/l bij een Reversed Osmosis installatie en 1,0 mg/l bij Vertical Reversed Osmosis with air flush.

In het model is gerekend met één injectiescenario voor de chlorideconcentratie, met een concentratie van 6 mg/l chloride.

#### 4.4 Scenario's

De verschillen tussen de parameters in het studiegebied vragen om verschillende scenario's. Er zijn drie verschillende basisscenario's doorgerekend met het conceptuele model. In deze scenario's is de variatie van de parameters meegenomen die in de voorgaande paragraaf besproken is. Om het effect van de parameterkeuze te kunnen bekijken zijn er drie gevoeligheidsscenario's doorgerekend. Daarnaast zijn er een aantal oplossingscenario's doorgerekend waarbij gekeken is wat het effect van maatregelen is op het rendement.

##### 4.4.1 Basisscenario's

Om de verschillende regio's van het studiegebied te representeren, zijn scenario's van drie voorbeeldgebieden van het Westland gemaakt (genaamd Zuid, Noord-oost en West) die de verschillende parameters, die in voorgaande paragrafen zijn besproken, combineren. In Tabel 4.2 staat een samenvatting van de basisscenario's.

Tabel 4.2 Samenvatting parameters zoals gebruikt in de drie basisscenario's.

Parameter		Scenario Zuid (Z)	Scenario Noord-oost (NO)	Scenario West (W)
Achtergrondconcentratie chloride	500mg/l Cl	x		
	1000mg/l Cl		x	
	2500mg/l Cl			x
Achtergrondstroming	Gradient = 1E-04	x		x
	Gradient = 2.5E-03		x	
Geologie (voor de profielbeschrijvingen zie Tabel 4.1)	Profiel Zuid	x		
	Profiel Noord-oost		x	
	Profiel West			x
Chlorideconcentratie injectiewater	6 mg/l Cl	x	x	x
Drempelwaarde chlorideconcentratie gietwater	40 mg/l	x	x	x

##### 4.4.2 Gevoeligheidsscenario's

Het rendement van het systeem is afhankelijk van de karakteristieken van het geohydrologische systeem, zoals de chlorideconcentratie, de achtergrondsnelheid en de geologie. Om het effect van deze drie parameters te onderzoeken zijn drie extra scenario's gedraaid. Deze scenario's zijn in Tabel 4.3 weergegeven.

Tabel 4.3 Samenvatting parameters gevoeligheidsscenario's.

Gebruikte naam		W_G1	W_G2	W_G3
Achtergrondconcentratie chloride	500mg/l Cl	x		
	2500mg/l Cl		x	x
Achtergrondstroming	Gradient = 1E-04	x		x
	Gradient = 5E-03		x	
Geologie (voor de profielbeschrijvingen zie Tabel 4.1)	Profiel Noord-oost			x
	Profiel West	x	x	

#### 4.4.3 Oplossingsscenario's

Om mogelijkheden te onderzoeken om het rendement van het geïnjecteerde water te vergroten, zijn oplossingsscenario's gemaakt. Met deze scenario's kunnen we concrete antwoorden geven op vragen als:

- Wanneer is het rendement van het systeem het hoogst?
- Kan de efficiëntie van het systeem worden vergroot door extra onttrekkings- of injectieputten te plaatsen (hulpputten)?
- Wat is de invloed van het plaatsen van een onttrekkingsput op een bepaalde afstand van de injectieput?
- Kan het rendement vergroot worden door de eerste injectieperiode langer (bijv. twee jaar) te laten duren voordat begonnen wordt met onttrekken?

#### **Effect maatregelen doorgerekend voor basisscenario West**

Om antwoord te krijgen op bovenstaande vragen is een combinatie van nieuwe oplossingsscenario's gemaakt met als uitgangspunt basisscenario West. De keuze voor basisscenario West als uitgangspunt voor de oplossingsscenario's is dat het een hoge chlorideconcentratie heeft, een middelmatige weerstand van de deklaag en een 1<sup>e</sup> watervoerend pakket met een laag doorlaagvermogen. Deze combinatie van parameters maakt Scenario West een relatief worst-case scenario voor gietwateropslag en daarom een interessant scenario om te testen of verschillende mogelijke maatregelen om het rendement van het systeem te vergroten effect hebben. In de beschikbare tijd en budget was het niet mogelijk de maatregelen ook voor de basisscenario's West en Noord-oost door te rekenen. Dit betekent echter niet dat deze oplossingsrichtingen niet kansrijk zijn in deze twee scenario's.

De doorgerekende oplossingsscenario's staan weergegeven in Tabel 4.4 en Tabel 4.5 en worden toegelicht in de tekst onder de tabel.

Tabel 4.4 Doorgerekende oplossingsscenario's.

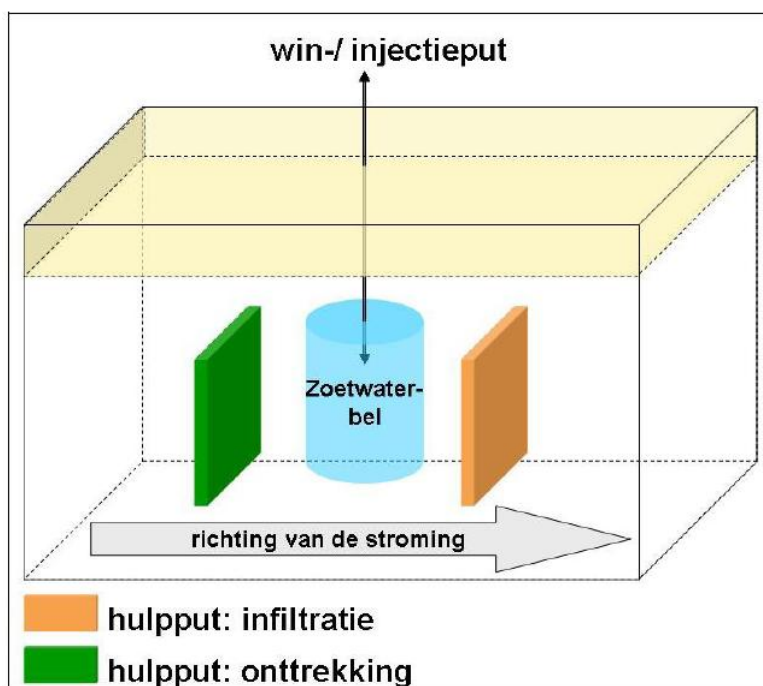
Naam scenario	Scenario
W_S1	West met 2 jaar injectie en onttrekkingsput ondieper dan injectieput
W_S2	West met 2 jaar injectie en onttrekkingsput 200 m van injectieput en ondieper dan injectieput
W_S3	West met hoge achtergrondstroming en hulpputten
W_S4	West met hoge achtergrondstroming met 2 jaar injectie en hulpputten
NO_S1	NO met een groot onttrekkings- en injectiedebiet (800 m <sup>3</sup> /uur)
NO_S2	NO met een groot onttrekkings- en injectiedebiet met de onttrekkingsput 200 m van injectieput (800 m <sup>3</sup> /uur)
NO_S3	NO met een klein onttrekkingsdebet (70 m <sup>3</sup> /uur) en een groot injectiedebiet (800 m <sup>3</sup> /uur)



Tabel 4.5 Samenvatting parameters zoals gebruikt in de oplossingsscenario's.

Parameter		W_S1	W_S2	W_S3	W_S4	NO_S1	NO_S2	NO_S3
Achtergrond-concentratie chloride	1000mg/l Cl					x	x	x
	2500mg/l Cl	x	x	x	x			
Achtergrond-stroming	Gradiënt = 1E-04	x	x					
	Gradiënt = 2.5E-03					x	x	x
	Gradiënt = 5E-03			x	x			
Geologie (voor de profielbeschrijvingen zie Tabel 4.1)	Profiel West	x	x	x	x			
	Profiel Noord-oost					x	x	x

- **Scenario W\_S1:** in dit scenario is het regime van injectie/onttrekking veranderd. De eerste twee jaar wordt gedurende 5 maanden water geïnjecteerd en wordt er geen water onttrokken. Pas in het derde jaar, na een injectieperiode van 5 maanden, wordt water onttrokken. Bovendien is de filter van de onttrekkingsput zeven meter korter dan de filter van de injectieput in verband met de opdrijving van zoet water op zout water.
- **Scenario W\_S2:** dit scenario is gelijk aan W\_S1 maar in dit scenario is de onttrekkingsput op een afstand van 200 meter ten oosten van de injectieput gezet. De reden hiervoor is dat als er achtergrondstroming aanwezig is het zoete water zich verplaatst kan hebben. Als de onttrekkingsput verder van de injectieput geplaatst wordt, is de kans groter dat de onttrekkingsput zoet water op kan vangen.
- **Scenario W\_S3:** in dit scenario wordt het effect van het verlies van zoet water door een hoge achtergrondstroming beperkt met hulpputten. De zogenaamde hulpputten zijn twee rijen van putten die de snelheid van de natuurlijke achtergrondstroming rond de injectie-/onttrekkingsput reduceren (zie Figuur 4.3).



Figuur 4.3 Schematische weergave van de locatie van de hulpputten (Baaren &amp; Stuurman, 2010).

- **Scenario W\_S4:** dit scenario is gelijk aan W\_S3 maar het injectie/onttrekkingregime is gelijk aan W\_S1, dus de eerste twee jaar vindt alleen injectie plaats en in het derde jaar vindt, na de injectieperiode, pas onttrekking plaats.
- **Scenario NO\_S1:** dit scenario is op zich geen oplossingsscenario maar wordt meegenomen omdat het op een conceptuele manier de situatie rond Delft en de DSM onttrekking reproduceert. Een van de mogelijke zoetwaterbronnen voor de injectie is onttrekt water van de DSM onttrekking of gezuiverd afvalwater van de RWZI Harnaschpolder. In dit scenario wordt een grote injectie- en onttrekkingsnelheid (800 m<sup>3</sup>/uur) gemodelleerd in het Noord-oost basisscenario met een grote achtergrondstroming. Door een grote hoeveelheid water te onttrekken wordt een 'worst case' gemodelleerd. Deze case wordt hier als scenario gemodelleerd binnen het voor dit onderzoek ontwikkelde conceptuele model terwijl er eigenlijk een nieuw model voor gebouwd zou moeten worden met grotere dimensies. De resultaten zijn dus een eerste indicatie van het rendement.
- **Scenario NO\_S2:** Dit scenario is hetzelfde als Scenario NO\_S1, met het verschil dat de onttrekkingsput op 200 meter van de injectieput is geplaatst.
- **Scenario NO\_S3:** Dit scenario is hetzelfde als Scenario NO\_S1, maar in dit geval is het onttrekkingsdebiet is veel kleiner dan het injectiedebiet. Er wordt 800 m<sup>3</sup>/uur geïnjecteerd en 70 m<sup>3</sup>/uur onttrokken.

#### 4.5 Beperkingen conceptueel model

Het conceptuele model dat hierboven beschreven is, is een vereenvoudiging van de werkelijkheid en is alleen representatief voor een lokaal proces welke in werkelijkheid (veel) ingewikkelder is. Het werkelijke geohydrologische systeem met bijvoorbeeld zandbanen en complexe heterogene afzettingen is met het conceptuele model niet meegenomen. Er zijn dus geen regionale processen, zoals een topsysteem met gedifferentieerde polderpeilen die in de toekomst meebewegen met de bodemdaling, meegenomen die in werkelijkheid invloed op het systeem zullen hebben. Bovendien bestaat het conceptuele model uit de deklaag en het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket. De 1<sup>e</sup> scheidende laag, die onder het 1<sup>e</sup> watervoerende pakket ligt en die een belangrijke rol zou kunnen hebben in het vasthouden van de zoetwaterbel, is verondersteld ondoorlatend te zijn. Als echter de 1<sup>e</sup> scheidende laag een lage weerstand heeft (en dat komt vóór in bepaalde gebieden in het Westland, zie Hoofdstuk 3), kan de zoetwaterbel een andere vorm krijgen waardoor de resultaten van het model en het rendement van het systeem anders kunnen zijn.

Bepaalde variabelen in het model zijn gekozen op basis van "expert judgement". Numerieke modellen zijn gebaseerd op massabalansvergelijkingen waarvan de oplossing afhankelijk is van variabelen zoals modelafmetingen, lengte van tijdstappen, oplossingschema, etc. De keuze van deze variabelen beïnvloedt het resultaat van het model en is daarom belangrijk.

Vanwege de tijdbepanking en de korte doorlooptijd in het project zijn de modellen niet gekalibreerd en ook niet gevalideerd met veldmetingen.

De in dit rapport gepresenteerde resultaten zijn een eerste verkenning van de mogelijkheden van de ondergrondse opslag van gietwater. Op basis van de hierboven beschreven beperkingen van het model, is het belangrijk om te realiseren dat de resultaten die in dit rapport gepresenteerd worden bij een conceptueel model behoren en niet bij een allesomvattend model dat de werkelijkheid reproduceert.

## 5 Resultaten ondergrondse opslag gietwater op basis van conceptueel model

Met behulp van het conceptuele model is een eerste verkenning gemaakt van het rendement van het ondergronds opslaan van gietwater. Het rendement wordt gedefinieerd als de hoeveelheid van het geïnjecteerde zoete water dat teruggewonnen kan worden in een vastgestelde tijdsperiode van 1 jaar. Als drempelwaarde is een chlorideconcentratie van 40 mg/l gehanteerd.

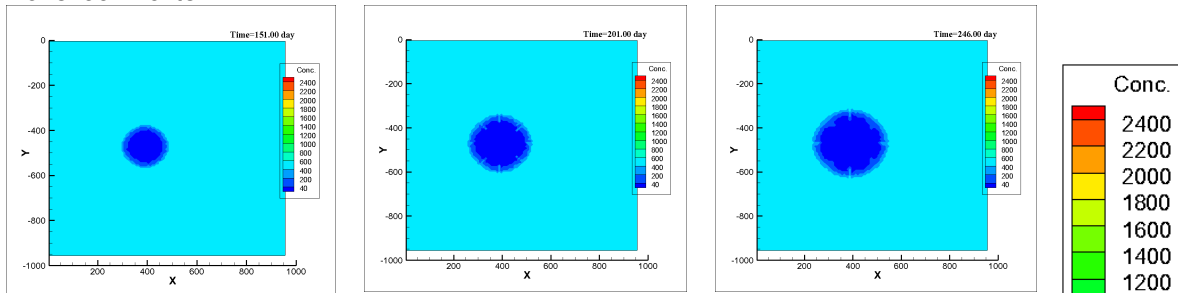
In het in dit onderzoek gebruikte conceptuele model wordt gedurende 5 maanden water onttrokken, zelfs als de drempelwaarde van 40 mg/l chloride wordt bereikt. Dit geeft in het tweede jaar een lager rendement van het systeem dan wanneer de onttrekking zou worden afgekapt op het moment dat de chlorideconcentratie van het onttrokken water hoger is dan de drempelwaarde. De rendementen van het tweede jaar zijn daarom niet in dit rapport gepresenteerd.

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de verschillende scenario's gepresenteerd. In de figuren die in dit hoofdstuk te zien zijn is telkens de chlorideconcentratie in een 2D vlak weergegeven waarin dan de ontwikkeling van de zoetwaterbel te zien is (zoetwaterbel heeft lagere chlorideconcentratie dan omringende water). In alle figuren zijn de drie bovenste plaatjes bovenaanzichten en de drie onderste plaatjes zijaanzichten. Van links naar rechts zijn verschillen in de tijd weergegeven, zodat de ontwikkeling van de zoetwaterbel in de tijd kan worden gevolgd.

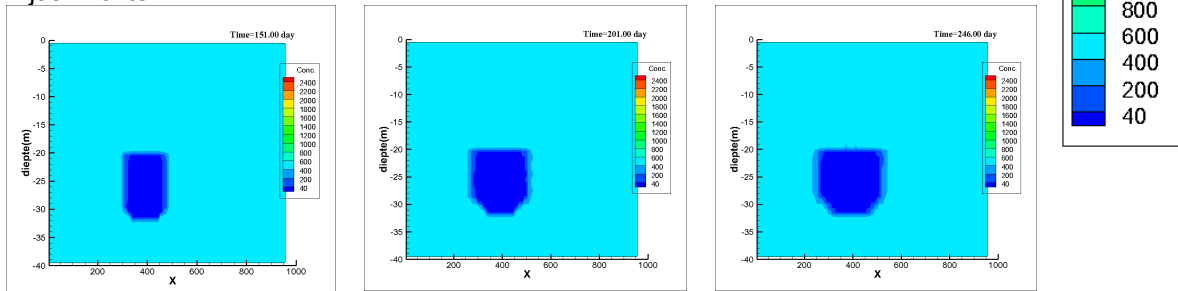
### 5.1 Resultaten basisscenario's

De basisscenario's zijn gedraaid voor de eerste twee jaar en ze geven, zoals verwacht, voor de verschillende scenario's verschillende resultaten. De zoetwaterbel ontwikkelt zich tijdens de eerste injectieperiode zoals weergegeven in Figuur 5.1, Figuur 5.2 en Figuur 5.3 voor respectievelijk basisscenario Zuid, Noord-oost en West. Aan de randen van de zoetwaterbel mengt het zoete water met het brakke water, terwijl in het centrum van de zoetwaterbel de chlorideconcentratie gelijk blijft aan de concentratie van het geïnjecteerde water (6 mg/l).

## Bovenaanzichten

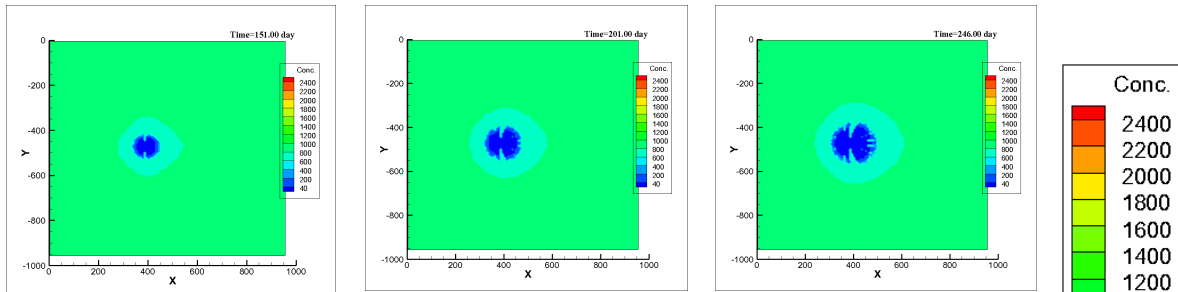


## Zijaanzichten

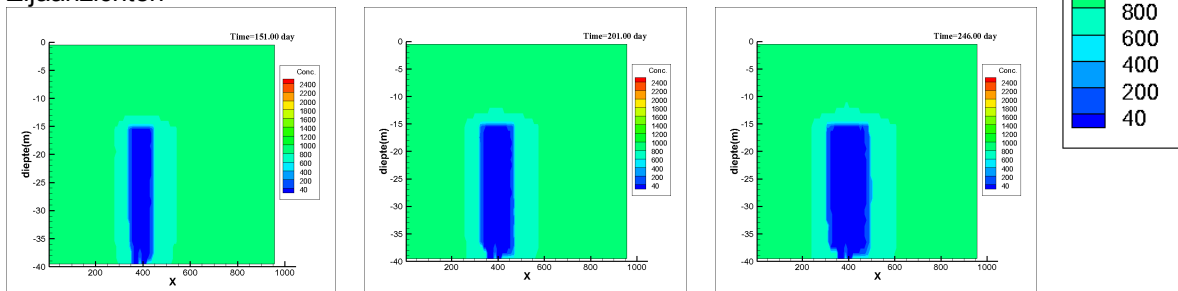


Figuur 5.1 Ontwikkeling zoetwaterbel Scenario Zuid tijdens de eerste injectieperiode (begin, halverwege en eind van injectieperiode).

## Bovenaanzichten

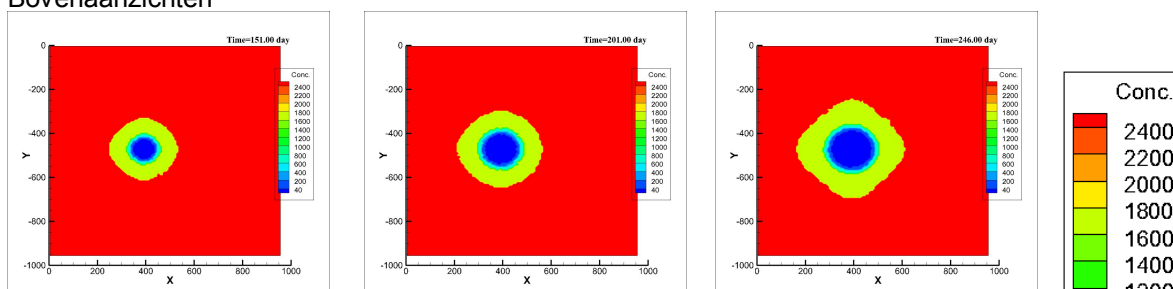


## Zijaanzichten

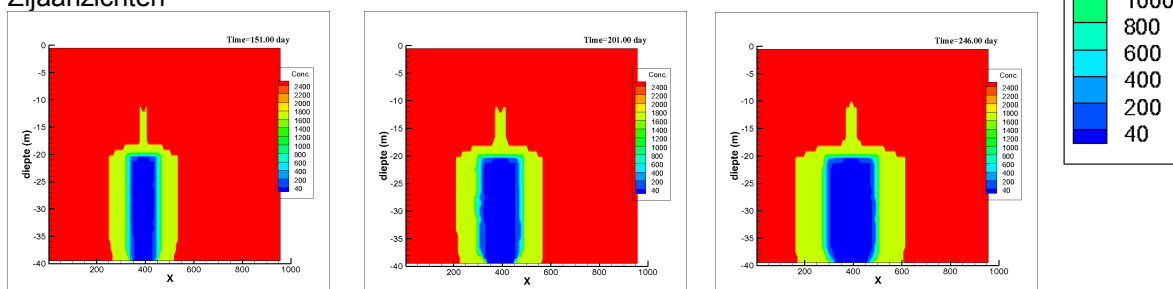


Figuur 5.2 Ontwikkeling zoetwaterbel Scenario Noord-oost tijdens de eerste injectieperiode (begin, halverwege en eind van injectieperiode).

## Bovenaanzichten



## Zijaanzichten



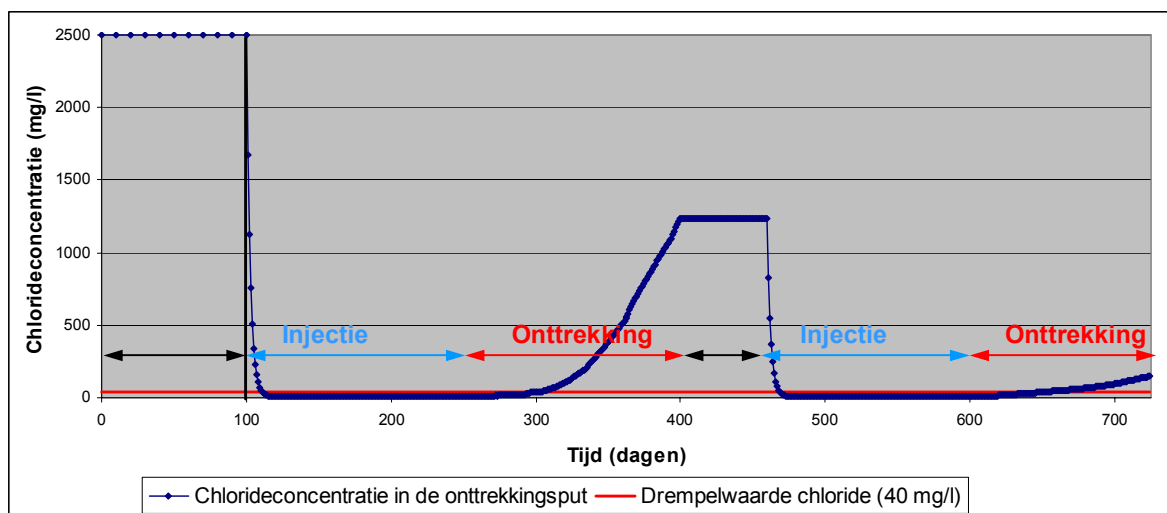
Figuur 5.3 Ontwikkeling zoetwaterbel Scenario West tijdens de eerste injectie periode (begin, halverwege en eind van injectieperiode). Merk het verschil in achtergrondconcentratie op met de Scenario's Zuid en Noord-oost.

In Scenario Zuid wordt de zoetwaterbel breder vanwege het dunne 1<sup>e</sup> watervoerende pakket met een hoog doorlaatvermogen, en de deklaag met een hoge weerstand, terwijl in de West en Noord-oost scenario's de zoetwaterbel smal en lang blijft en het zoete water de deklaag binnendringt.

In Scenario Noord-oost is het effect van een hogere achtergrondstroming terug te zien in de vorm van de zoetwaterbel. Deze heeft niet meer een circulaire vorm, maar een ovale vorm in de richting van de stroming (van links naar rechts).

Het effect van de weerstand van de deklaag (waarvan de dikte varieert van 15 tot 20 m) is duidelijk te zien voor alle drie de scenario's: de weerstand van de deklaag is het hoogste in Scenario Zuid en in dit scenario is er minder menging in de deklaag te zien (Figuur 5.1). Het betreft hier hydrodynamische dispersie; het effect van moleculaire diffusie is op deze tijdschaal te verwaarlozen.

In de drie basisscenario's wordt de drempelwaarde van 40 mg/l chloride al na 20 tot 50 dagen na het begin van de onttrekkingsperiode bereikt. De grafiek in Figuur 5.4 laat zien hoe de concentratie varieert in de onttrekkingsput van basisscenario West tijdens de injectie- en onttrekkingsperioden en in de perioden daartussen.



Figuur 5.4 Chlorideconcentratie in de onttrekkingsput in Scenario West tijdens de eerste twee jaar.

Het rendement van het systeem voor het eerste jaar, zoals berekend met het conceptuele model, is weergegeven in Tabel 5.1. Het rendement is het hoogste in Scenario Zuid, dit is het scenario met de laagste chlorideachtergrondconcentratie, een lage achtergrondstroming en een hoog doorlaatvermogen van het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket.

Tabel 5.1 Rendement van het systeem na één jaar voor de drie basisscenario's.

Basisscenario	Rendement
Zuid	40%
Noord-oost	20%
West	30%

Met behulp van de gevoeligheidsscenario's is voor basisscenario West getest wat het effect is als de chlorideconcentratie, de achtergrondsnelheid en de geologie aangepast worden.

Om het effect van de chlorideachtergrondconcentratie te testen is basisscenario West (2500 mg/l chloride) vergeleken met Scenario W\_G1 (500 mg/l chloride). Scenario W\_G1 levert een hoger rendement dan basisscenario West (55% versus 30%). Dit toont aan dat de achtergrondconcentratie aan chloride een bepalende parameter voor het rendement van het systeem is.

Om het effect van de achtergrondstroomsnelheid op het rendement van het systeem te testen is basisscenario West (gradiënt 1E-04) vergeleken met Scenario W\_G2 (gradiënt 5E-03). Scenario W\_G2 levert een lager rendement (25%) van het systeem op dan basisscenario West (30%). Ook de achtergrondsnelheid is dus een bepalende parameter voor het rendement van het systeem.

Het effect van de geologie op het rendement van het systeem is getest door basisscenario West (dikte deklaag 20 m, weerstand 4000 dagen, dikte 1<sup>e</sup> watervoerend pakket 20 m en doorlaatvermogen 400 m<sup>2</sup>/d) te vergelijken met Scenario W\_G3 (dikte deklaag 20 m, weerstand 6000 dagen, dikte 1<sup>e</sup> watervoerend pakket 12 m en doorlaatvermogen 600 m<sup>2</sup>/d). Scenario W\_G3 heeft een lager rendement (25%) dan basisscenario West. De geologie heeft dus ook effect op het rendement van het systeem.

## 5.2 Resultaten scenario's met maatregelen

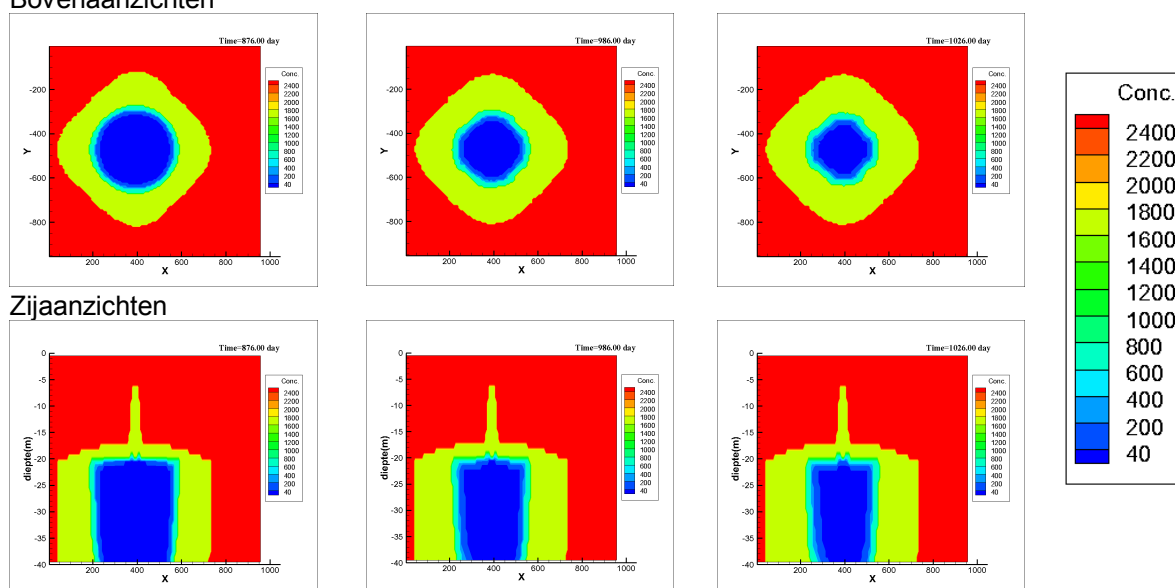
In deze paragraaf worden de resultaten van de verschillende oplossingsscenario's gepresenteerd.

### 5.2.1 Scenario W\_S1

In dit scenario wordt de eerste twee jaar alleen water geïnjecteerd en niet onttrokken. Pas in het derde jaar, na een injectieperiode van 5 maanden, wordt water onttrokken. Bovendien is de filter van de onttrekkingsput zeven meter korter dan de filter van de injectieput in verband met de oprijving van zoet water op zout water.

In Figuur 5.5 zijn de resultaten van dit oplossingsscenario weergegeven.

#### Bovenaanzichten



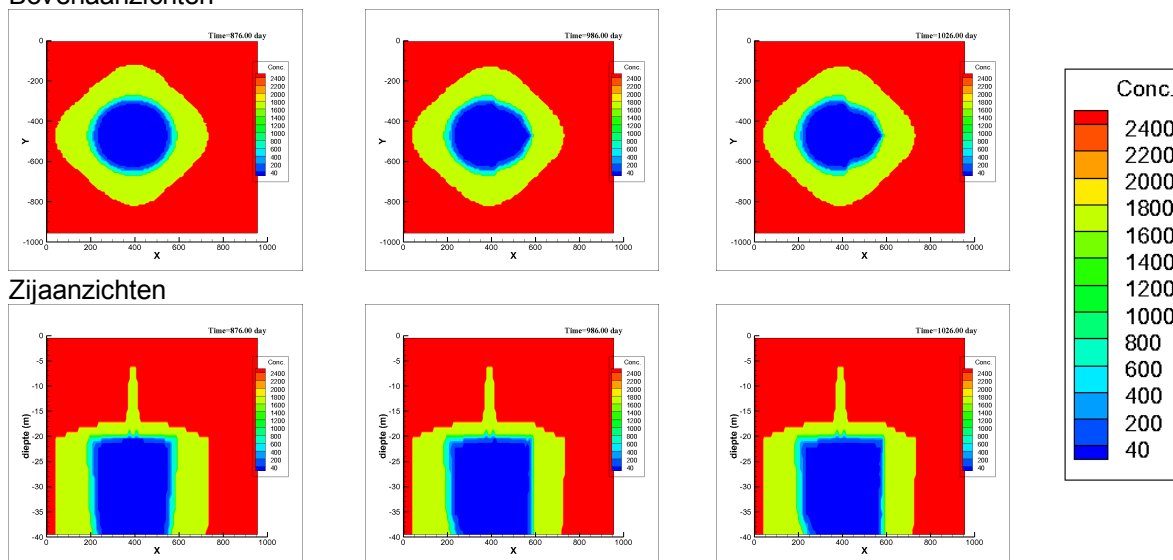
*Figuur 5.5 Ontwikkeling van de zoetwaterbel in Scenario W\_S1. De twee linker plaatjes tonen de situatie aan het eind van de derde injectieperiode, de twee middelste plaatjes tonen de situatie halverwege de eerste onttrekkingsperiode en de rechter twee plaatjes tonen de situatie aan het eind van de onttrekkingsperiode.*

Figuur 5.5 laat zien dat er aan het eind van de eerste onttrekkingsperiode nog steeds een grote zoetwaterbel is. Dit was niet het geval bij basisscenario West, waarbij na de eerste injectieperiode meteen water werd onttrokken en het zoete water na ongeveer 24 dagen op was. In dit scenario is het rendement van het systeem na één jaar onttrekken dus 100%.

### 5.2.2 Scenario W\_S2

Bij Scenario W\_S2 wordt de eerste twee jaar alleen water geïnjecteerd en niet onttrokken. Pas in het derde jaar, na een injectieperiode van 5 maanden, wordt er water onttrokken. Bovendien is de onttrekkingsput op een afstand van 200 meter van de injectieput gezet. De resultaten van dit scenario zijn weergegeven in Figuur 5.6.

## Bovenaanzichten



Figuur 5.6 Ontwikkeling van de zoetwaterbel in Scenario W\_S2. De twee linker plaatjes tonen de situatie aan het eind van de derde injectieperiode, de twee middelste plaatjes tonen de situatie halverwege de eerste onttrekkingsperiode en de rechter twee plaatjes tonen de situatie aan het eind van de onttrekkingsperiode.

In dit scenario wordt water onttrokken op 200 meter ten oosten van de injectieput. In Figuur 5.6 ligt de injectieput op de x-as op 400 meter en de onttrekkingsput op 600 meter. Omdat de achtergrondstroming klein is trekt de onttrekkingsput brak grondwater aan en daarom is het rendement 0% in het eerste jaar. Dit betekent dat deze maatregel voor dit scenario niet werkt en dus niet interessant is. Echter, indien de achtergrondstroming groter is, kan een horizontale afstand tussen de injectie- en onttrekkingsput wel interessant zijn.

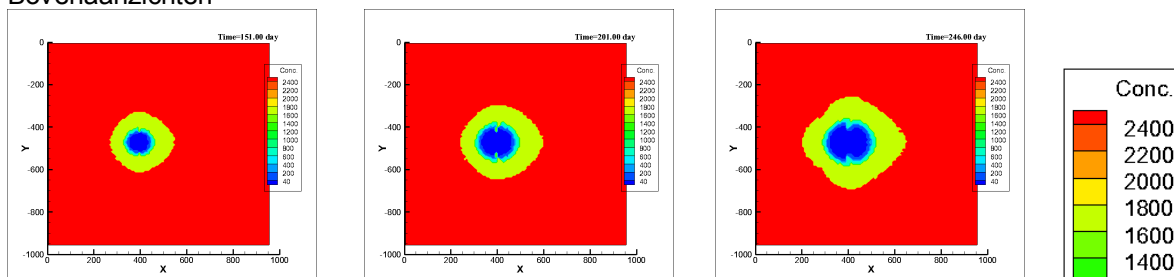
### 5.2.3 Scenario W\_S3 en W\_S4

In Scenario W\_S3 zijn hulpputten geplaatst, en in Scenario W\_S4 zijn meer hulpputten en op grote afstand van de injectieput geplaatst. Daarnaast vindt er in Scenario W\_S4 in de eerste twee jaar alleen injectie plaats en in het derde jaar vindt er, na de injectieperiode, pas onttrekking plaats. Daarnaast is Scenario W\_S3 zonder hulpputten gemodelleerd (dit is dus Scenario W\_G2) met als doel de twee scenario's te kunnen vergelijken om het effect van de hulpputten te zien.

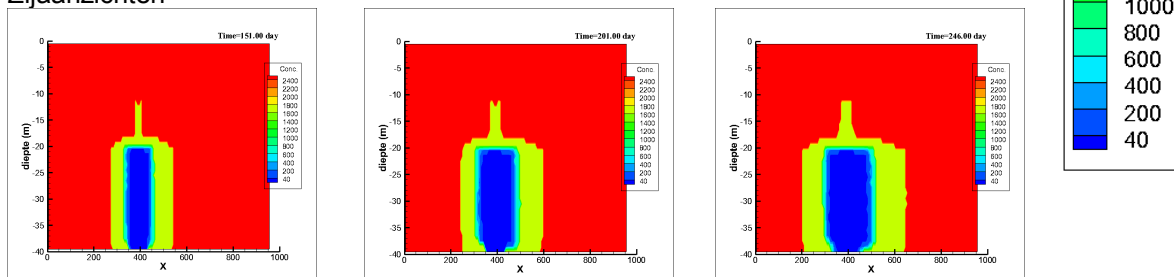
Figuren 5.7, 5.8 en 5.9 laten de resultaten van deze scenario's zien.



Bovenaanzichten

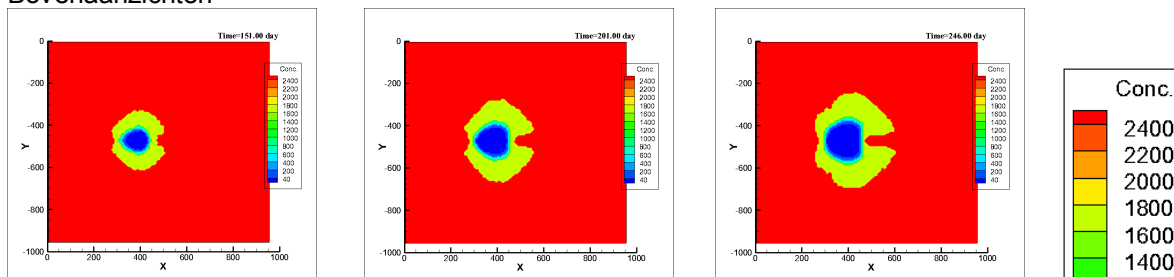


Zijaanzichten

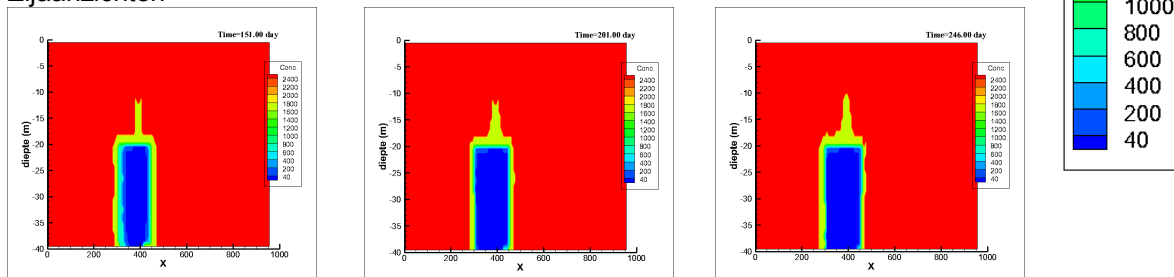


Figuur 5.7 Ontwikking van de zoetwaterbel in Scenario W\_G2 (zonder hulpputten) tijdens de eerste injectieperiode (van links naar rechts: aan het begin, halverwege en aan het eind van de injectieperiode).

Bovenaanzichten

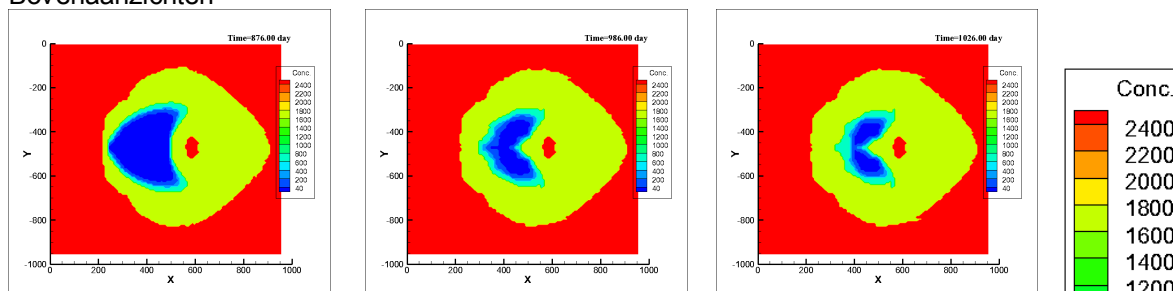


Zijaanzichten

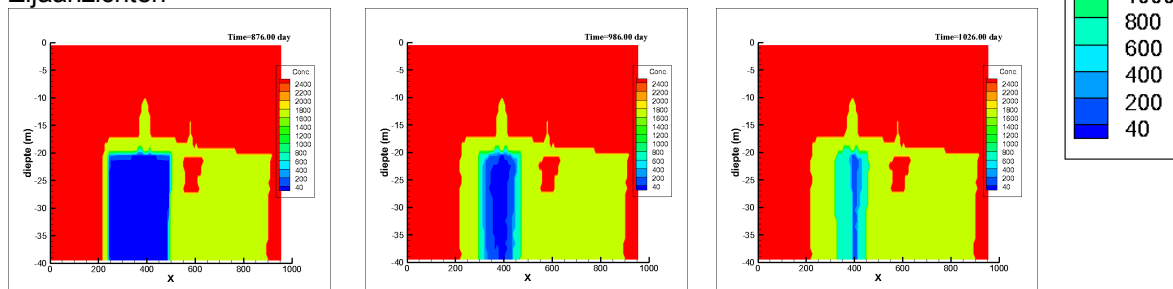


Figuur 5.8 Ontwikking van de zoetwaterbel in Scenario W\_S3 mét hulpputten tijdens de eerste injectieperiode (van links naar rechts: aan het begin, halverwege en aan het eind van de injectieperiode).

## Bovenaanzichten



## Zijaanzichten



*Figuur 5.9 Ontwikkeling van de zoetwaterbel in Scenario W\_S4. De twee linker plaatjes tonen de situatie aan het eind van de derde injectieperiode, de twee middelste plaatjes tonen de situatie halverwege de eerste onttrekkingsperiode en de rechter twee plaatjes tonen de situatie aan het eind van de onttrekkingsperiode.*

Figures 5.7, 5.8 en 5.9 laten hetzelfde systeem zien (hetzelfde basisscenario) met en zonder hulpputten en met en zonder een extra injectieperiode voordat water onttrokken wordt. In de drie scenario's is de achtergrondstroming groot met een gradiënt van  $5E-03$  ( $\Delta h = 5$  meter over een afstand van 1 kilometer), en de hulpputten zouden moeten helpen om de zoetwaterbel ter plekke te houden. In Figuur 5.8 doen de hulpputten hun werk, maar ze veranderen slechts de vorm van de zoetwaterbel en het rendement van het systeem blijft hetzelfde. Figuur 5.9 toont aan dat de hulpputten goed werken en voorkomen dat het geïnjecteerde water in grote hoeveelheden verloren gaat. In dit geval zijn niet genoeg hulpputten gezet en daarom stroomt er wat zoet grondwater weg. Hoewel zoet water verloren gaat, wordt het rendement hoger dan in Scenario W\_S3 dankzij de twee jaar extra injectie voordat er onttrokken wordt.

De rendementen van de verschillende scenario's zijn 25%, 25% en 80% voor respectievelijk Scenario W\_S3, Scenario W\_G2, en Scenario W\_S4. Als in Scenario W\_S4 meer hulpputten worden gezet, kan het rendement van het systeem nog meer worden vergroot.

### 5.3 Mogelijkheden injecteren DSM water of afvalwater uit RWZI Harnaspolder

Vanaf 1916 pompt de DSM te Delft koelwater op. Sinds enkele jaren is de waterbehoefte van de DSM afgenomen. Deze grondwateronttrekking wordt niet gestopt omdat in de omgeving alles is ingesteld op de lage grondwaterstand die de onttrekking met zich mee brengt (Roelofsen et al, 2008). De Gemeenschappelijke Regeling Beheer onttrekking Delft-Noord (GR) is een nuttige toepassing aan het zoeken voor het nu doelloos opgepompte brakke grondwater. Momenteel onderzoekt de GR de optie om het water te zuiveren en er vervolgens afzet voor te vinden. Het zuiveren kan tot verschillende kwaliteiten, naar gelang de behoefte van de afnemer. Mogelijk kan dit water geïnjecteerd worden voor de ondergrondse opslag van zoet water. Tevens is gezuiverd afvalwater van de RWZI Harnaspolder een mogelijke bron van zoet water om ondergronds te worden opgeslagen.

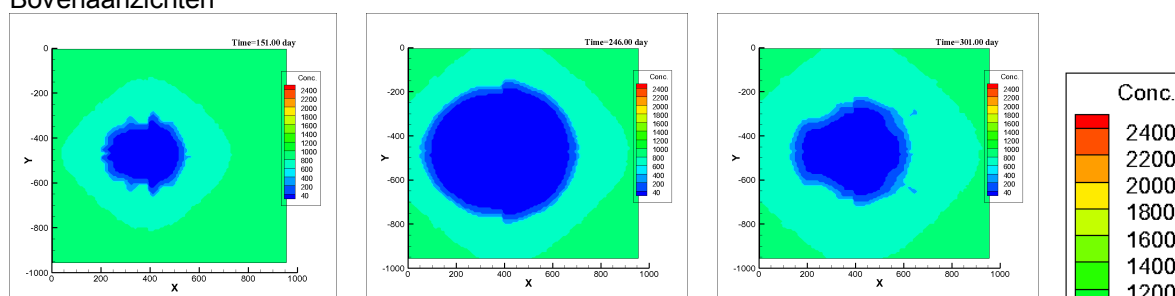
In paragraaf 5.3.1, 5.3.2 en 5.3.3 worden de resultaten gepresenteerd van een doorgerekend scenario met hoge injectie- en onttrekkingsdebieten.

De onttrekking van de DSM zal in de toekomst met 30-40% afnemen, dit zal ook invloed hebben op de stroomsnelheid rond de DSM en in de omgeving. Een berekening van het mogelijke effect staat weergegeven in paragraaf 5.3.4.

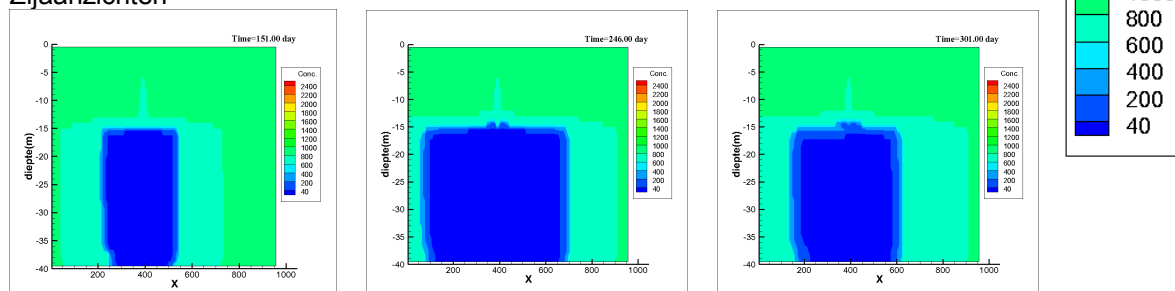
### 5.3.1 Scenario NO\_S1

Dit scenario reproduceert op een conceptuele manier de situatie rond Delft en de DSM. In dit scenario wordt een grote injectie- en onttrekkingsnelheid (800 m<sup>3</sup>/uur) gemodelleerd in het Noord-oost basisscenario met een grote achtergrondstroming.

#### Bovenaanzichten



#### Zijaanzichten



Figuur 5.10 Ontwikkeling van de zoetwaterbel in Scenario NO\_S1. De linker plaatjes geven de situatie aan het begin van de eerste injectie periode (na 50 dagen), de middelste plaatjes geven een beeld van het eind van de eerste injectieperiode en de rechter plaatjes van halverwege de onttrekkingsperiode

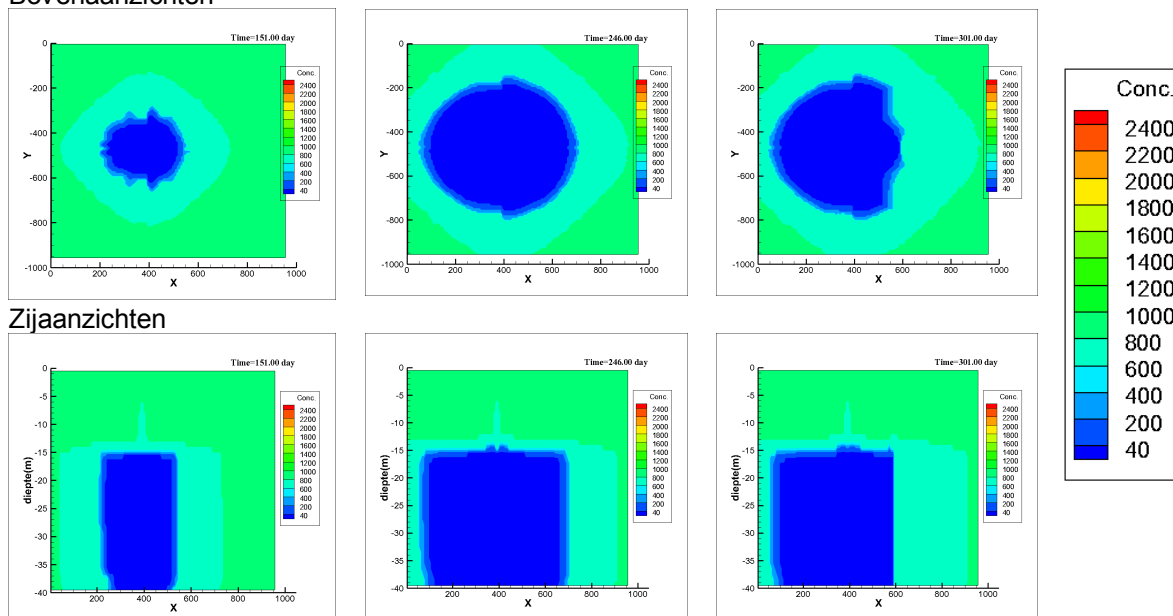
Door de grote hoeveelheid water die geïnjecteerd wordt, wordt er een grote zoetwaterbel gecreëerd. In dit scenario is echter gerekend met een onttrekkingsdebiet gelijk aan het injectiedebiet, waardoor het rendement in het eerste jaar toch maar 30% is, maar wel toeneemt naar 40% in het tweede jaar. Bij onttrekkings- en injectiedebieten die meer op elkaar zijn afgesteld, kunnen over langjarige periodes hogere rendementen worden bereikt.

De grote hoeveelheid geïnjecteerd en onttrokken water zorgt voor een verhoging van de stijghoogte op het moment van injecteren (gemiddeld -6 meter direct naast de put) en een verlaging van de stijghoogte op het moment van onttrekking (gemiddeld -8 meter direct naast de put) die problemen aan het maaiveld kunnen veroorzaken zoals wateroverlast rond de put. Dit alles hangt vanzelfsprekend af van de weerstand van de deklaag.

### 5.3.2 Scenario NO\_S2

Dit scenario is hetzelfde als Scenario NO\_S1, met het verschil dat de onttrekkingsput op 200 meter van de injectieput is geplaatst.

## Bovenaanzichten



Figuur 5.11 Ontwikkeling van de zoetwaterbel in Scenario NO\_S2. De linker plaatjes geven de situatie aan het begin van de eerste injectie periode (na 50 dagen), de middelste plaatjes geven een beeld van het eind van de eerste injectieperiode en de rechter plaatjes van halverwege de onttrekkingsperiode.

In vergelijking met Scenario NO\_S1, wordt in Scenario NO\_S2 het systeem minder efficiënt omdat de onttrekkingsput verder ligt en er ook brak grondwater wordt onttrokken. Het rendement is klein in het eerste jaar (15%), maar wordt verdubbeld in het tweede jaar omdat de mengingszone steeds zoeter wordt. Ook hier geldt: een langere periode kan een ander rendement opleveren.

### 5.3.3 Scenario NO\_S3

Dit scenario is hetzelfde als Scenario NO\_S1, met het verschil dat het onttrekkingsdebiet veel kleiner is. Dit zorgt voor een rendement van 100% voor ieder jaar, maar het zorg ook voor een verhoging van de stijghoogte in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket van gemiddeld 6 meter gedurende de injectieperiode.

### 5.3.4 Effect lagere onttrekking DSM op de snelheid van de achtergrondstroming

In de huidige situatie onttrekt de DSM 1200 m<sup>3</sup>/uur. In de toekomst wordt dit mogelijk teruggeschroefd naar 800 m<sup>3</sup>/uur. Dit zal ook een effect hebben op de snelheid van de achtergrondstroming.

De berekening van de achtergrondsnelheid is als eerste benadering gedaan op basis van de wet van Darcy. In Bijlage E zijn de gebruikte formules weergegeven.

Door het PZH-model is ooit berekend dat dicht bij de DSM onttrekking ( $Q = -1200 \text{ m}^3/\text{uur}$ ) het stijghoogteverschil ( $\Delta h$ ) 2,5 meter is over een lengte ( $L$ ) van 1 kilometer. De hydraulische conductiviteit ( $k$ ) van het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket (waar het water onttrokken wordt) is 20 m/d. Van de Darcy snelheid  $q$  naar de effectieve snelheid  $v$  (c.q. achtergrondsnelheid) waarmee conservatieve stoffen door de ondergrond verplaatsen moet je delen door de effectieve porositeit (stel 30%). Daardoor is de achtergrondsnelheid ( $v$ ) 60 m/jaar.

Als de onttrekking wordt verminderd naar 800 m<sup>3</sup>/uur, is het resulterende stijghoogteverschil 1,67 meter en de achtergrondsnelheid 40 m/jaar.

#### 5.4 Overzicht resultaten ondergrondse opslag gietwater

In Tabel 5.2 wordt een overzicht van de resultaten van de basisscenario's gepresenteerd, per scenario staat het rendement van het systeem na één jaar weergegeven. In de tabel is te zien dat bij alle drie de basisscenario's het rendement van het systeem na één jaar laag is (maximaal 40%). Basisscenario Zuid, met de laagste achtergrondconcentratie aan chloride en een lage achtergrondstroming, heeft het hoogste rendement van de drie basisscenario's.

Tabel 5.2 Rendement van het systeem na één jaar voor de verschillende basisscenario's.

Scenario	Beschrijving	Rendement
West	2500 mg/l Cl, lage achtergrondstroming, geologie profiel west	30%
Zuid	500 mg/l Cl, lage achtergrondstroming, geologie profiel zuid	40%
Noord-oost	1000 mg/l Cl, hoge achtergrondstroming, geologie profiel noord-oost	20%

Let op: het betreft hier slechts drie representatieve scenario's. De ondergrond is echter erg heterogeen en grondwaterstromingen en chlorideconcentraties kunnen sterk variëren. Er wordt in deze studie geen regionaal beeld geschetst.

De met het conceptuele model berekende rendementen in de gevoeligheidsscenario's, de oplossingsscenario's en het injecteren van grote hoeveelheden water staan weergegeven in Tabel 5.3.

Door het nemen van maatregelen kan het rendement aanzienlijk vergroot worden. Het 2 jaar injecteren voordat het reguliere regime van 5 maanden injecteren en 5 maanden onttrekken begint, lijkt van de maatregelen het meest effectief. In Scenario W\_S1, waarin deze maatregel is genomen en waarbij op een ondiep niveau wordt onttrokken, blijkt het rendement van het eerste jaar 100% te zijn. In het tweede jaar neemt het rendement met ca. 10% af. De verwachting is echter dat het in de jaren erna niet veel verder zal zakken. De andere toegepaste maatregelen hebben ook een verhoging van het rendement van het systeem tot effect, maar het rendement blijft onder de 80%.

De oplossingsscenario's zijn alleen voor basisscenario West doorgerekend. In de beschikbare tijd en budget was het niet mogelijk de maatregelen ook voor de andere twee basisscenario's door te rekenen. Dit betekent echter niet dat deze oplossingsrichtingen niet kansrijk zijn in deze andere twee scenario's.

Uit de gepresenteerde resultaten blijkt dat ondergrondse opslag van gietwater in het Westland mogelijk haalbaar is.

Tabel 5.3 Rendement van het systeem na één jaar voor de verschillende scenario's.

Scenario	Beschrijving	Rendement
Gevoeligheidsscenario's		
W_G1	West met een chloride achtergrondconcentratie van 500mg/l	55%
W_G2	West met een hoge achtergrondstroming	25%
W_G3	West met de geologie van profiel Noord-oost	25%
Oplossingsscenario's		
W_S1	West met 2 jaar injectie en de onttrekkingsput ondieper dan de injectieput	100%
W_S2	West met 2 jaar injectie en de onttrekkingsput 200 m van de injectieput en ondieper dan injectieput	0%
W_S3	West met hulpputten	25%
W_S4	West met 2 jaar injectie en hulpputten	80%
Injecteren grote hoeveelheden water		
NO_S1	NO met een groot onttrekkings- en injectiedebiet (800 m <sup>3</sup> /uur)	30%
NO_S2	NO met een groot onttrekkings- en injectiedebiet met de onttrekkingsput 200 m van injectieput (800 m <sup>3</sup> /uur)	15%
NO_S3	NO met een klein onttrekkingsdebet (70 m <sup>3</sup> /uur) en een groot injectiedebiet (800 m <sup>3</sup> /uur)	100%

In dit onderzoek is met de conceptuele modellen alleen naar de chlorideconcentratie gekeken. In een vervolgstudie wordt aangeraden ook naar chemische neveneffecten te kijken. Als bijvoorbeeld calcium-rijk zoet water wordt geïnjecteerd is er kans dat door uitwisseling de natriumconcentratie in het zoete water stijgt. Bij de terugwinning is het rendement voor natrium dan lager dan voor chloride.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Lozing brijn in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket

Op basis van de in deze studie uitgevoerde geologische systeemkarakterisatie kan de verwachte scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag kwalitatief aangegeven worden. De conclusies zijn getrokken op basis van de voorkomende lithologieklassen. Als er veel zand in de doorsnedes te zien is en er in ieder geval geen dikke kleilaag aanwezig is, is de verwachting dat de scheidende laag maar beperkt scheidend werkt. Aangezien het gebied qua geologie zeer heterogeen is, kan er niet één kwalificatie aan het hele gebied gegeven worden.

In deze studie is het onderzoeksgebied wat geologie betreft in relatief homogene deelgebieden verdeeld. Per deelgebied is aangegeven of verwacht wordt dat de scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag goed of slecht is of daar tussen in ligt (zie Figuur 3.7):

- In het westen van glastuinbouwgebied Westland, de strook langs de kust, en in de gemeente Delft wordt verwacht dat de 1<sup>e</sup> scheidende laag een slechte scheidende werking heeft.
- Langs de randen van het glastuinbouwgebied Westland (het noorden, zuiden en zuidoosten) lijkt de scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag ook vrij slecht te zijn.
- Ten westen en zuidwesten van Naaldwijk wordt verwacht dat, op basis van de geologische systeemkennis, de scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag goed is.
- In het midden van het gebied wordt verwacht dat de scheidende werking minder goed is.

Gerealiseerd moet worden dat het GeoTOP-model nog in ontwikkeling is en dat de resultaten slechts een indicatie van de opbouw van de ondergrond weergeven. Het model is voor Zuid-Holland gebaseerd op 50.000 boringen. De meeste boringen zijn niet tot grote diepte doorgezet. Dat betekent dat de informatie ondieper in het bodemprofiel betrouwbaarder is dan informatie dieper in het bodemprofiel. Het GeoTOP-model gaat ook niet dieper dan 50 m-NAP. Beneden de 50 m-NAP is de lithologie gebaseerd op het REGIS-model, dat minder gedetailleerd is.

De 1<sup>e</sup> scheidende laag ligt in het onderzoeksgebied deels boven en deels beneden deze grens van 50 m-NAP. Voor sommige gebieden is de informatie dus minder betrouwbaar dan voor andere gebieden in het Westland.

Over het werkelijke risico op het terugstromen van water uit het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket, waarin brijn geloosd wordt, naar het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket op een bepaalde locatie in het gebied konden binnen de beschikbare tijd en budget geen kwantitatieve uitspraken gedaan worden. Terugstroming is ook mede afhankelijk van andere factoren zoals de achtergrondstroming en de natuurlijke verticale flux.

#### 6.1.1 Aanbevelingen m.b.t. lozing brijn in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket

Om meer kwantitatief inzicht te krijgen in de risico's op het terugstromen van water uit het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket, met brijn erin, naar het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket op een bepaalde plaats kunnen meerdere aanbevelingen gedaan worden.



### Verder kwantificeren van de lekkage

Er kan in meerdere tussenstappen een relatief simpele rekentool worden opgezet. Elke tussenstap levert al een resultaat op welke gebruikt kan worden om de risico's van brijnlozingen beter in te schatten. Deze tool is meteen ook geschikt om de ondergrondse opslag van gietwater te modelleren (zie paragraaf 6.2). Hieronder worden de verschillende uit te voeren stappen achtereenvolgens besproken:

1. Op basis van de lithologische informatie uit het GeoTOP-model kan de hydraulische weerstand worden gekwantificeerd op een voor het systeem van onttrekking/injectie van brijn relevante schaal. Dit komt voor het Westland waarschijnlijk neer op blokken van 500x500 of 1000x1000 meter. Hiervoor is het nodig om de informatie uit het GeoTOP-model door te vertalen naar het gedeelte van de 1<sup>e</sup> scheidende laag onder de 50 m-NAP, die nu nog alleen in REGIS zit.
2. Met de opgeschaalde blokweerstanden en een relatief eenvoudig 'wandeland' grondwatermodel met onttrekking in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket en injectie in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket kunnen de fluxen over de 1<sup>e</sup> scheidende laag worden gekwantificeerd, ruimtelijk gedifferentieerd over het gehele Westland. Vervolgens kan de lekkage van brijn van het 2<sup>e</sup> naar het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket kwantitatief worden benaderd.

### Opzet meetnet

Gebleken is dat er weinig peilbuizen in het Westland aanwezig zijn en dat dit een gebrek aan informatie oplevert om:

- Een beeld te krijgen van de scheidende werking van de 1<sup>e</sup> scheidende laag (zeer weinig stijghoogtebuizen aanwezig, zie paragraaf 3.1.3);
- De grondwaterkwaliteit in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket te karakteriseren;
- Het model te ijken.

Het geringe aantal peilbuizen heeft te maken met het brakke water in het gebied. Gezien het economische belang en het intensieve gebruik dat nu reeds van de ondergrond wordt gemaakt is uitbreiding van het stijghoogtemeetnet zeer aan te bevelen. Het meetnet is vervolgens geschikt om de grondwatermodellen te ijken die nodig zijn om bijvoorbeeld opslagsystemen goed te ontwerpen.

Het meest effectief is om een goed ontwerp te maken voor een dergelijk meetnet waarin doelen, dieptes, frequenties en data-analyse methoden goed op elkaar zijn afgestemd.

De putten van het stijghoogtemeetnet kunnen vervolgens ook voor de monitoring van de grondwaterkwaliteit worden gebruikt. Door middel van monitoring van de grondwaterkwaliteit kan het risico op ongewenste beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit verkleind worden. Als de grondwaterkwaliteit in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket gevolgd wordt in de tijd kunnen conclusies getrokken worden over het effect van de lozing van brijn in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket. Als het effect ongewenst is, kan ingegrepen worden in de lozing. Daarnaast moet het grondwater in de richting van de grondwaterstroming gemonitord worden.

## **6.2 Ondergrondse opslag gietwater**

Uit de resultaten van het conceptuele model, zoals in hoofdstuk 5 beschreven, blijkt dat ondergrondse opslag van gietwater in het Westland mogelijk goed haalbaar is. Het rendement wordt echter alleen hoog als injectie gedurende een langere periode dan één seizoen plaats vindt voorafgaand aan de onttrekking.

Uit de drie basisscenario's blijkt Scenario Zuid het meest geschikt te zijn voor verdere studies naar de ondergrondse opslag van gietwater. Een lage chlorideconcentratie, gecombineerd met een lage achtergrondstroming, een dun 1<sup>e</sup> watervoerend pakket en een slechtdoorlatende deklaag, zorgen voor een hoger rendement van het systeem in vergelijking met de andere basisscenario's. Niettemin blijft het rendement bij een normaal

injectie/onttrekkingsregime (5 maanden injectie, 5 maanden onttrekking en 2 maanden niets) in de vastgestelde tijdsperiode van één jaar 40%.

Het gedrag van het systeem wordt beïnvloed door de verschillende parameters. Het rendement van het systeem is hoger bij een lage achtergrondconcentratie aan chloride en bij een lage achtergrondstroming, wat intuïtief te verwachten was.

Toepassing van gerichte maatregelen, zoals ondieper onttrekken, een extra injectieperiode voorafgaand aan het reguliere regime van onttrekking/injectie, het plaatsen van hulpputten, of een combinatie van de genoemde maatregelen, biedt kansen om het rendement van het systeem te verhogen.

In het scenario waarin zoet water gedurende twee jaar is geïnjecteerd voor het reguliere regime van onttrekking/injectie en waarbij op een ondiep niveau wordt onttrokken, blijkt het rendement van het eerste jaar 100% te zijn. In het tweede jaar neemt het rendement met ca. 10% af. De verwachting is echter dat het in de jaren erna niet veel verder zal zakken. De andere toegepaste maatregelen hebben ook een verhoging van het rendement van het systeem tot effect, maar het rendement blijft onder de 80%.

#### 6.2.1 Aanbevelingen m.b.t. ondergrondse opslag gietwater

Een vervolgstap in de richting van een ruimtelijk gedifferentieerde uitspraak over de effectiviteit/rendement van gietwateropslag in de ondergrond kan worden gezet met dezelfde eenvoudige rekentool waarmee ook de wandelende brijnlozing kan worden gekwantificeerd. In feite dus een 'wandelende' gietwateropslag. Ten opzichte van de brijnlozing berekeningen moet de rekentool dan op simpele wijze extra informatie bevatten over natuurlijke chlorideconcentraties in het gebied.

Het is gebleken dat een langere injectieperiode voordat water onttrokken wordt een significant effect op het rendement van het systeem kan hebben. In dit project zijn er drie periodes van injectie toegepast voordat water onttrokken wordt. In een vervolgstudie is het nodig om de optimale injectieperiode per deelgebied te bepalen.

In dit onderzoek is met de conceptuele modellen alleen naar de chlorideconcentratie gekeken. In een vervolgstudie wordt aangeraden ook naar chemische neveneffecten te kijken. Als bijvoorbeeld calcium-rijk zoet water wordt geïnjecteerd bestaat de kans dat door uitwisseling de natriumconcentratie in het zoete water stijgt. Bij de terugwinning is het rendement voor natrium dan lager dan voor chloride.



## 7 Referenties

- Baaren, E. van & Stuurman, R.J., 2010. De Deltares Zoetblijver. Deltares rapport, concept.
- Huisman, L. & Kemperman, J., 1951. Bemaling van spanningsgrondwater. De Ingenieur 62, pag, 13, 29-35.
- Huisman, L., 1972. Groundwater recovery.
- Klein, J. & Passier, H.F., 2009. Ondergrond en grondwaterkwaliteit in relatie tot brijnlozingen in de provincie Zuid-Holland. Deltares-rapport 0912-0124.
- Klein, J. & Passier, H.F., 2010. Aanvullende beoordeling milieu-eigen stoffen brijn en grondwaterkwaliteit Provincie Zuid-Holland. Deltares-rapport 1202192-000-BGS-0004.
- Konikow, L.F., Goode, D.J., Hornberger, G.Z., 1996. A three-dimensional method-of-characteristics solute-transport model (MOC3D); U.S.G.S. Water-Resources Investigations Report 96-4267, 87 pp.
- Kuijper, M.J.M., Oude Essink, G.H.P., Binsbergen, R. van, Minnema, B.N., 2005. Klimaatverandering en verzilting in Zuid-Holland in beeld gebracht. H20 nr. 8, p.33-37.
- McDonald, M.G. & Harbaugh, A.W., 1988. A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. U.S.G.S. Techniques of Water-Resources Investigations, Book 6, Chapter A1, 586 pp.
- Minnema, B., Kuijper, B., Oude Essink, G.H.P. 2004. Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland. TNO-rapport NITG 04-189-B.
- Oude Essink, G.H.P., 1998. Simuleren van 3D dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming: MOCDENS3D. Stromingen 4(1): 5-23.
- Oude Essink, G.H.P., Baaren, E.S., van, Vliet, M. van, 2008. Verkennende studie klimaatverandering en verzilting grondwater in Zuid-Holland. Deltares-rapport 2008-U-R0322/A, 60 p.
- Oude Essink, G.H.P., Baaren E.S. van, Louw, P.G.B. de, 2010. Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands. Water Resour. Res., 46, W00F04, doi:10.1029/2009WR008719.
- Roelofsen, F.J., Oude Essink, G.H.P., Stuurman, R.J., 2005. Haalbaarheidstudie naar Gietwateropslag in de ondergrond. Een studie op basis van systeemrendementen. TNO rapport 05-168-A.
- Roelofsen, F., Goorden, N., Buma, J., Gessel, S. van, Goes, B., Lange, G. de, Meerten, H. van, Oostrom, N. van, Oude Essink, G., Sperna Weiland, F., Veldkamp, H., Vergoesen, T., Verkaik, J., Gehrels, H., 2008. Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht), Onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft - Technisch rapport. Deltares rapport 2008-U-R1084/A.

Stafleu, J., Busschers, F.S., Maljers, D., Gunnink, J.L., 2009. Three-dimensional property modeling of a complex fluvio-deltaic environment: Rhine-Meuse Delta, The Netherlands. In: Berg, R.C., Russell, H.A.J. & Thorleifson, L.H. (eds.): Workshop Extended Abstracts of the 2009 Annual Meeting, Geological Society of America, October 17 2009, Portland, Oregon, USA, p.47-50.

Stolk, A.P., 2001. Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling. Meetresultaten 1999. RIVM Rapport 723101 056.

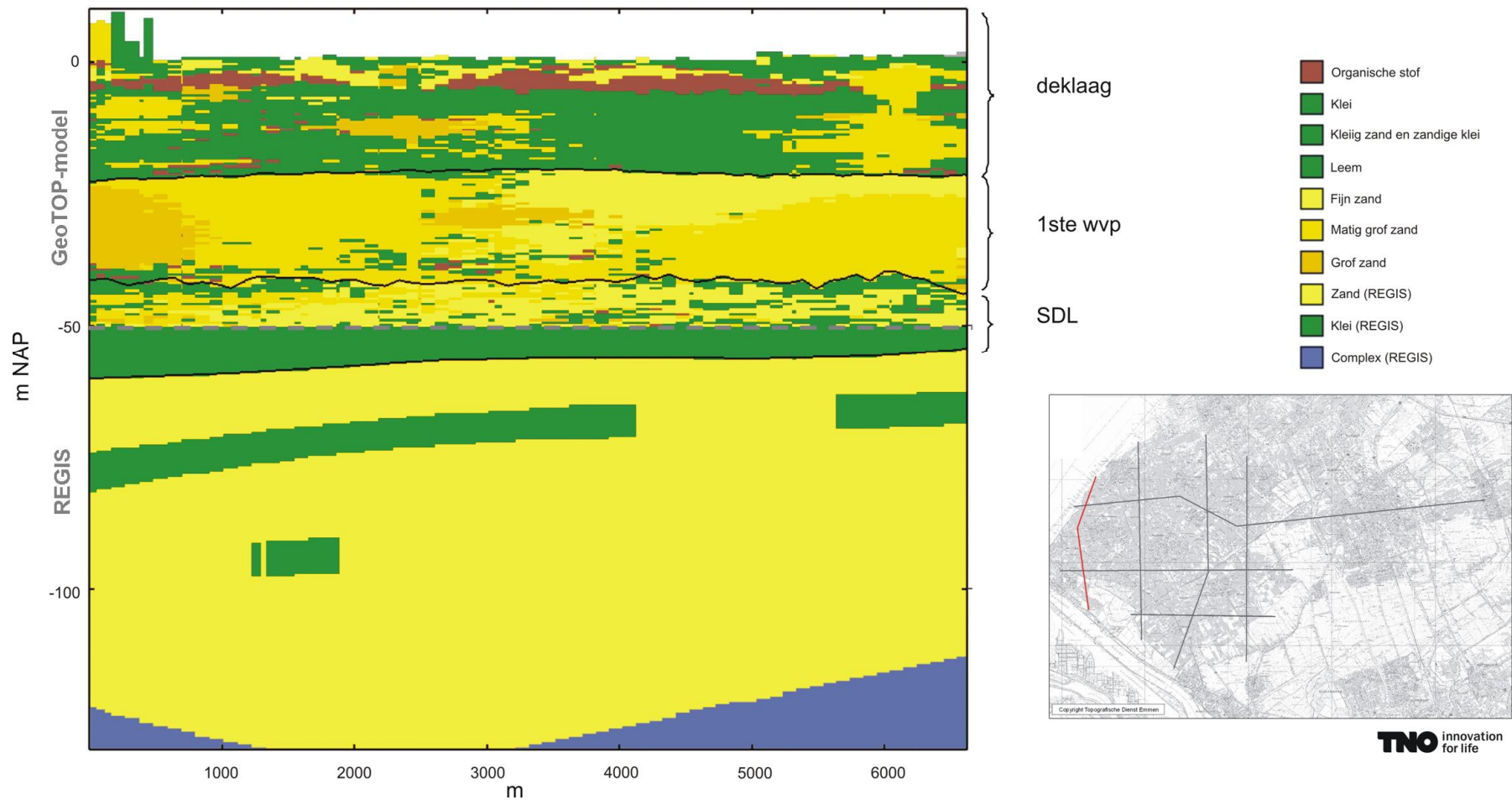
Stolk, A.P., 2001. Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling. Meetresultaten 2000. RIVM Rapport 723101 057 / 2001.

Vernes, R.W. & Doorn, Th. H. M. van, 2005. Van Gidslaag naar Hydrogeologische Eenheid – Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. TNO-NITG, TNO-rapport 05-038-B.

Zuurbier K., 2011. Predicted ASR Performance in the Hotspot Haaglanden. KvK rapport, concept.

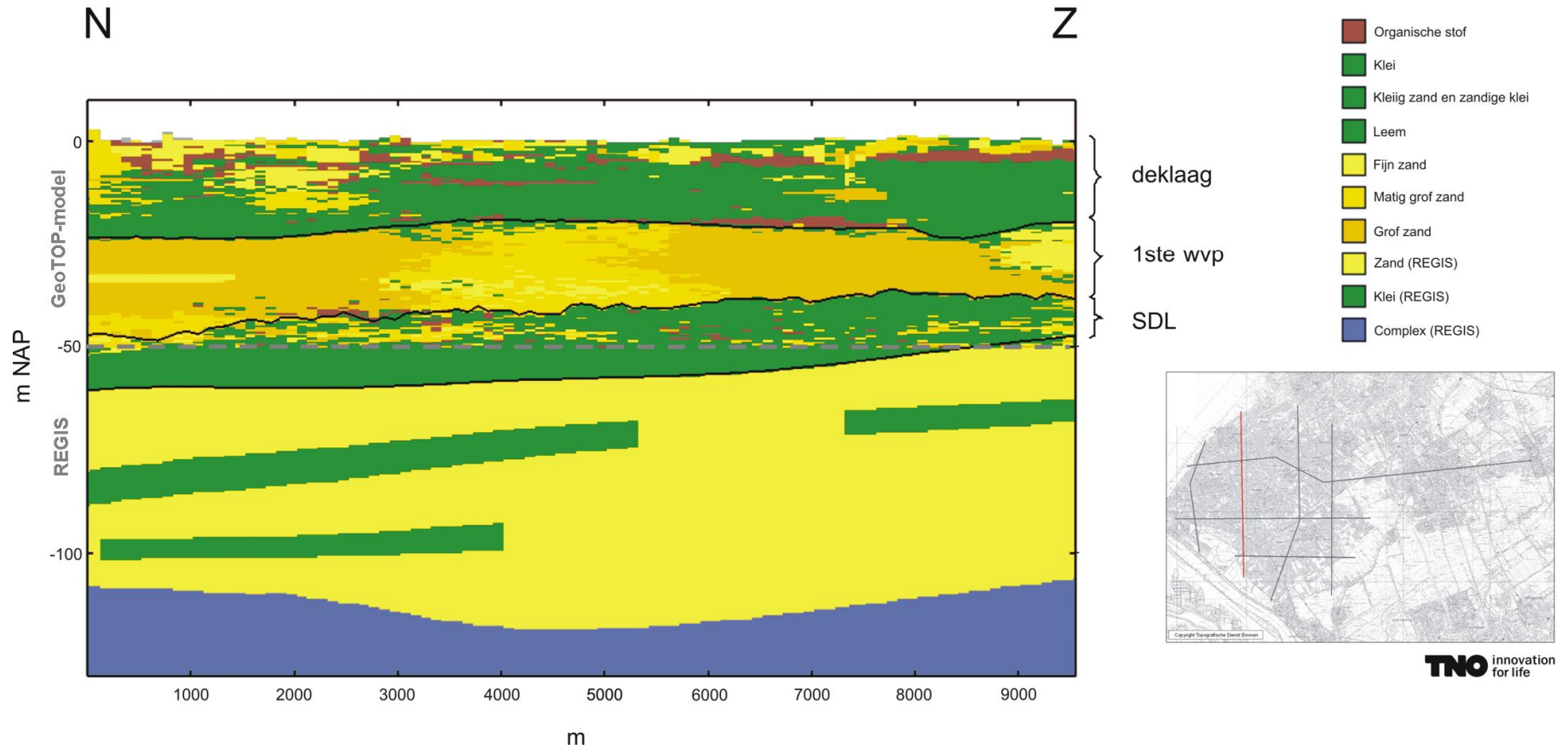
## **A Geologische doorsnedes**

Noord-zuiddoorsnede 1  
N Z



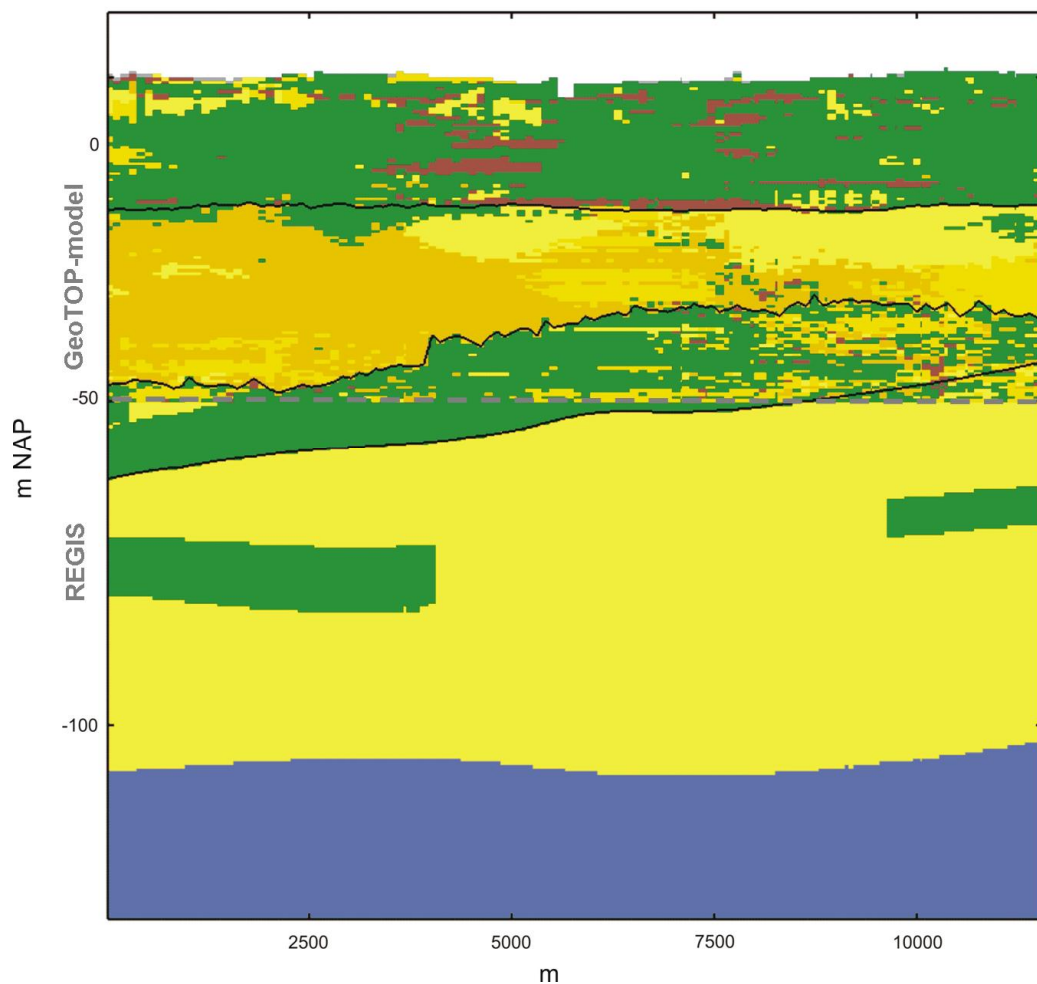


Noord-zuiddoorsnede 2



Noord-zuiddoorsnede 3  
N

Z

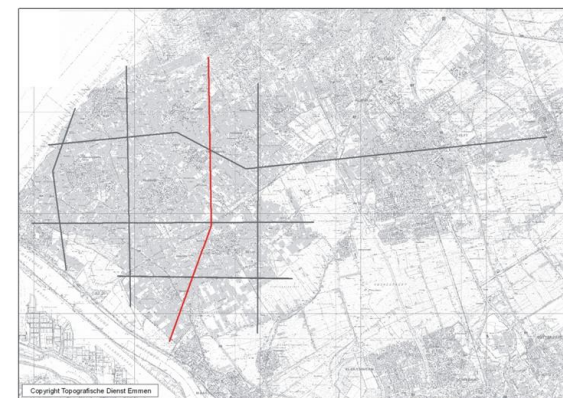


deklaag

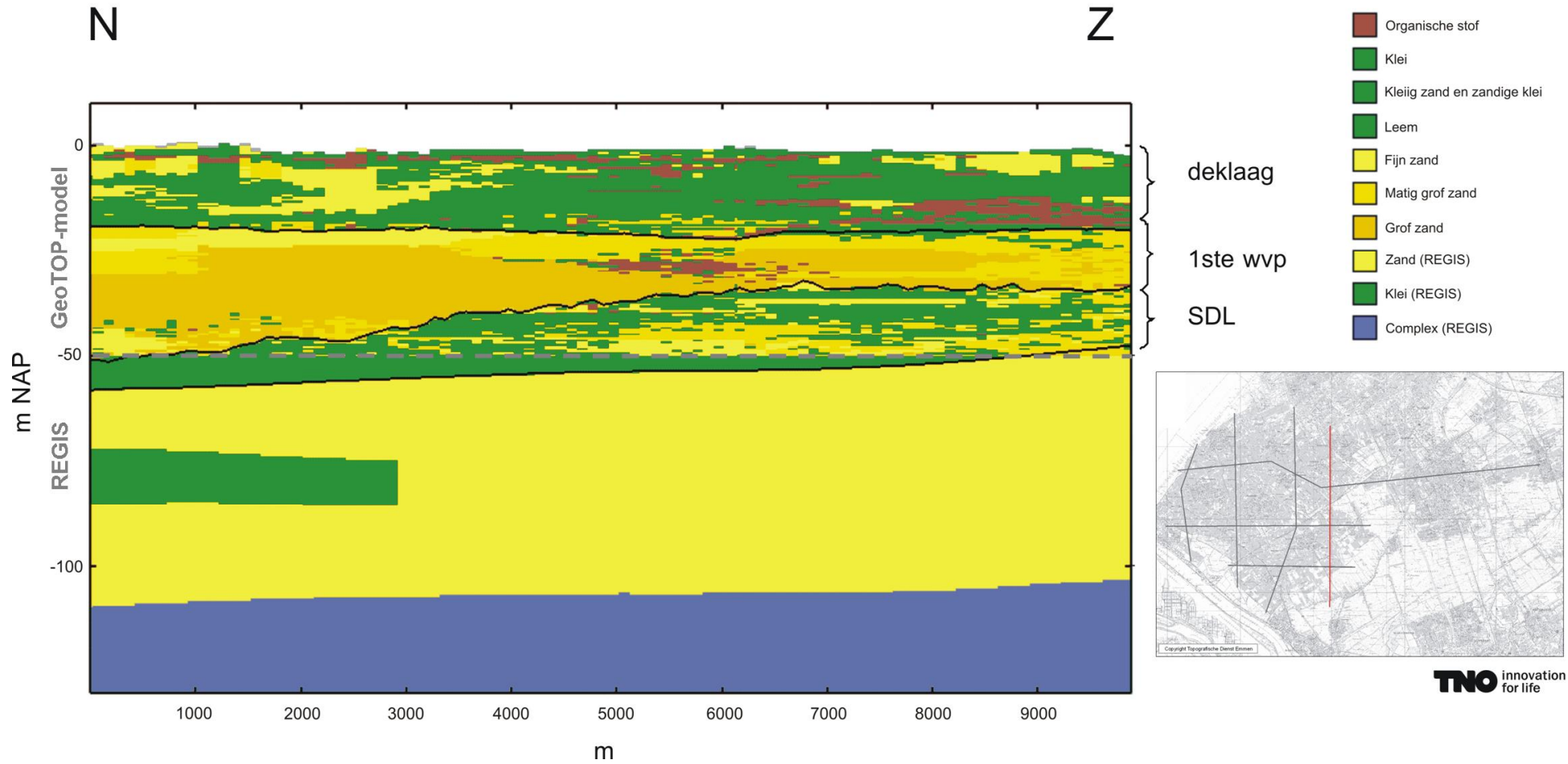
1ste wvp

SDL

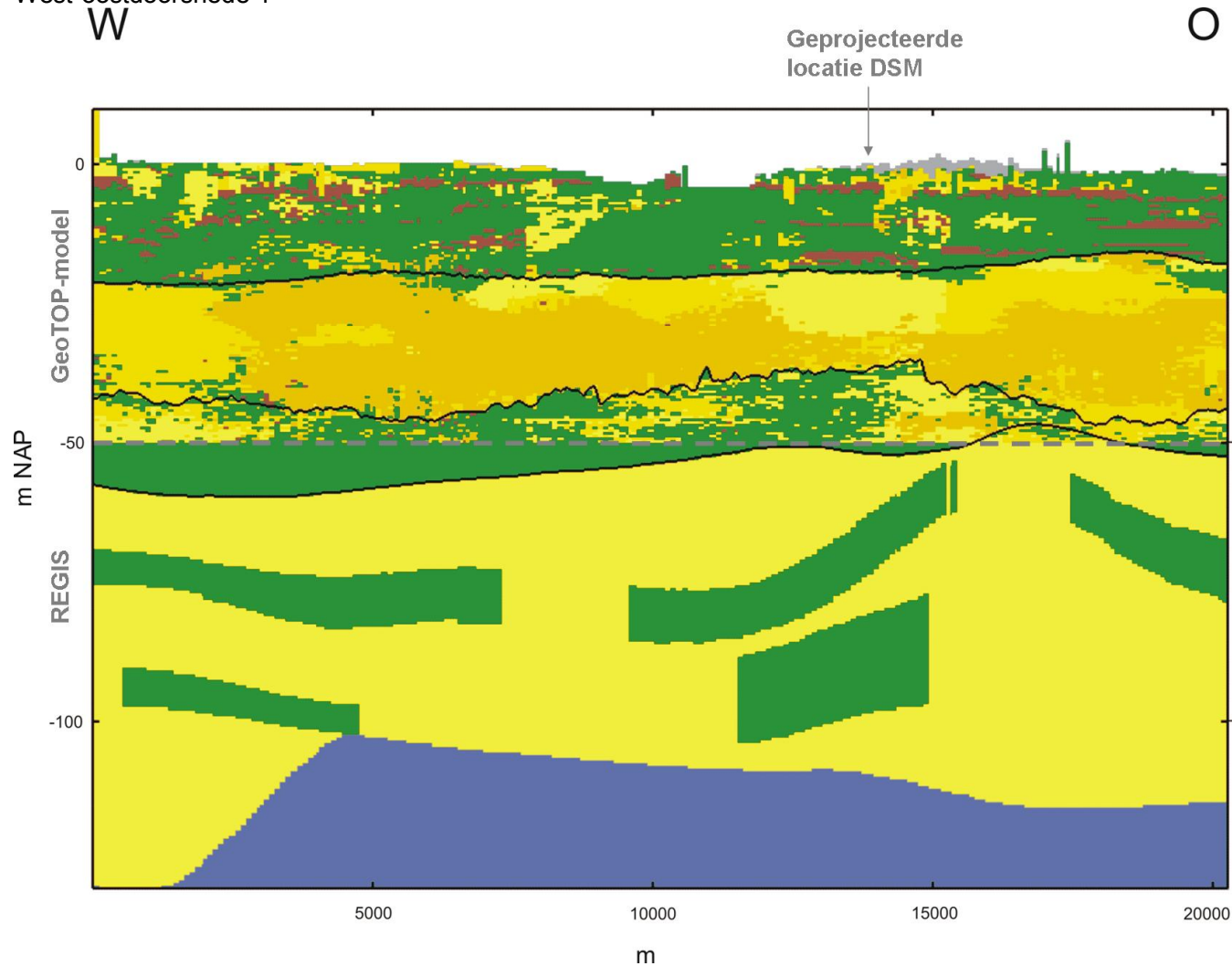
- Organische stof
- Klei
- Kleilig zand en zandige klei
- Leem
- Fijn zand
- Matig grof zand
- Grof zand
- Zand (REGIS)
- Klei (REGIS)
- Complex (REGIS)



Noord-zuiddoorsnede 4



West-oostdoorsnede 1

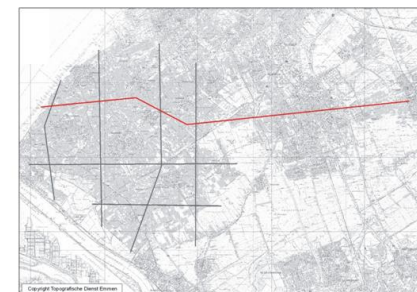


deklaag

1ste wvp

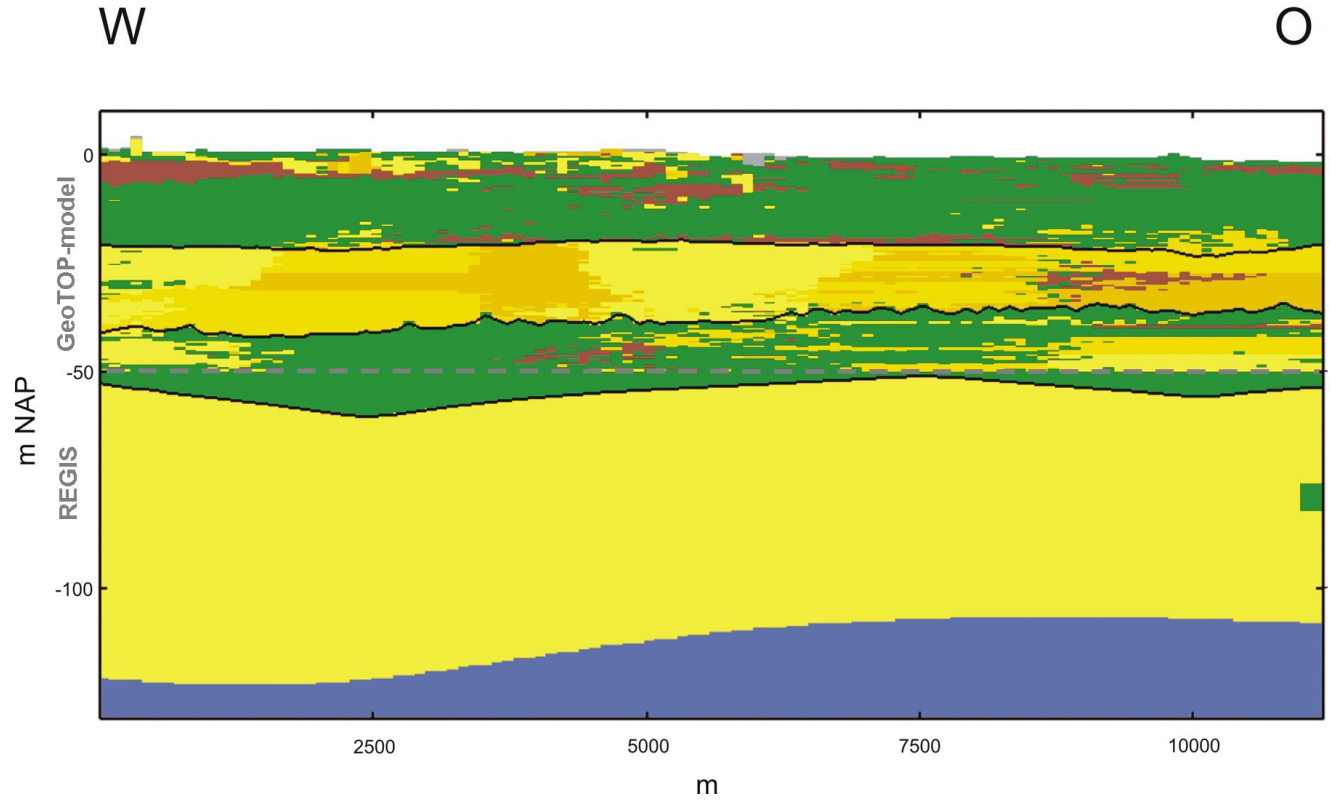
SDL

- Organische stof
- Klei
- Kleilig zand en zandige klei
- Leem
- Fijn zand
- Matig grof zand
- Grof zand
- Zand (REGIS)
- Klei (REGIS)
- Complex (REGIS)

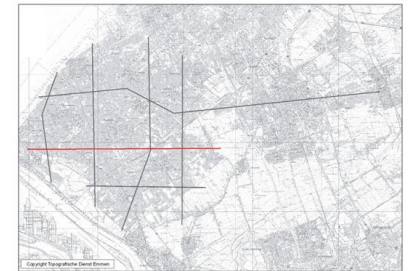




West-oostdoorsnede 2

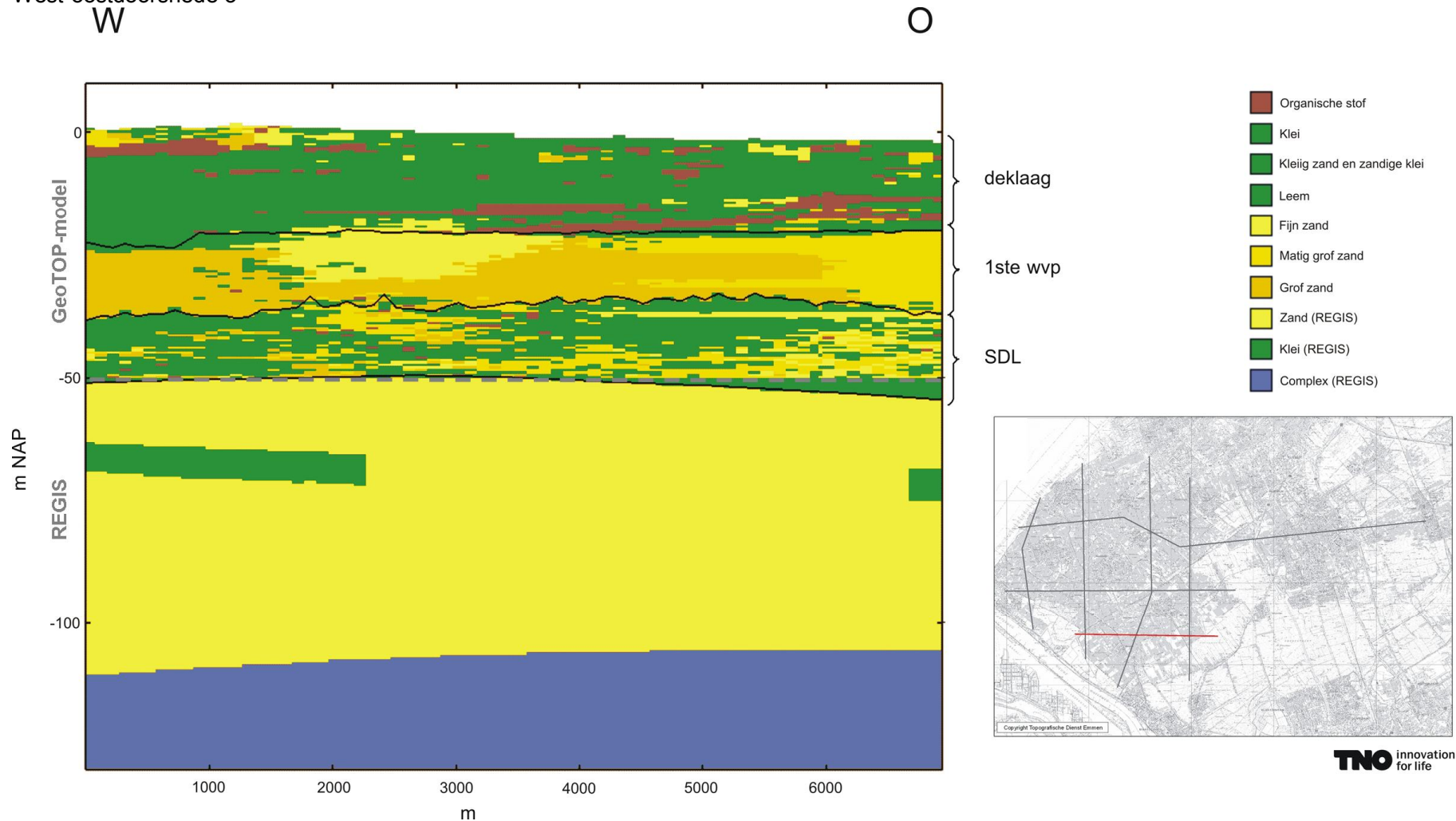


- Organische stof
  - Klei
  - Kleiig zand en zandige klei
  - Leem
  - Fijn zand
  - Matig grof zand
  - Grof zand
  - Zand (REGIS)
  - Klei (REGIS)
  - Complex (REGIS)
- deklaag
- 1ste wvp
- SDL



TNO innovation for life

West-oostdoorsnede 3



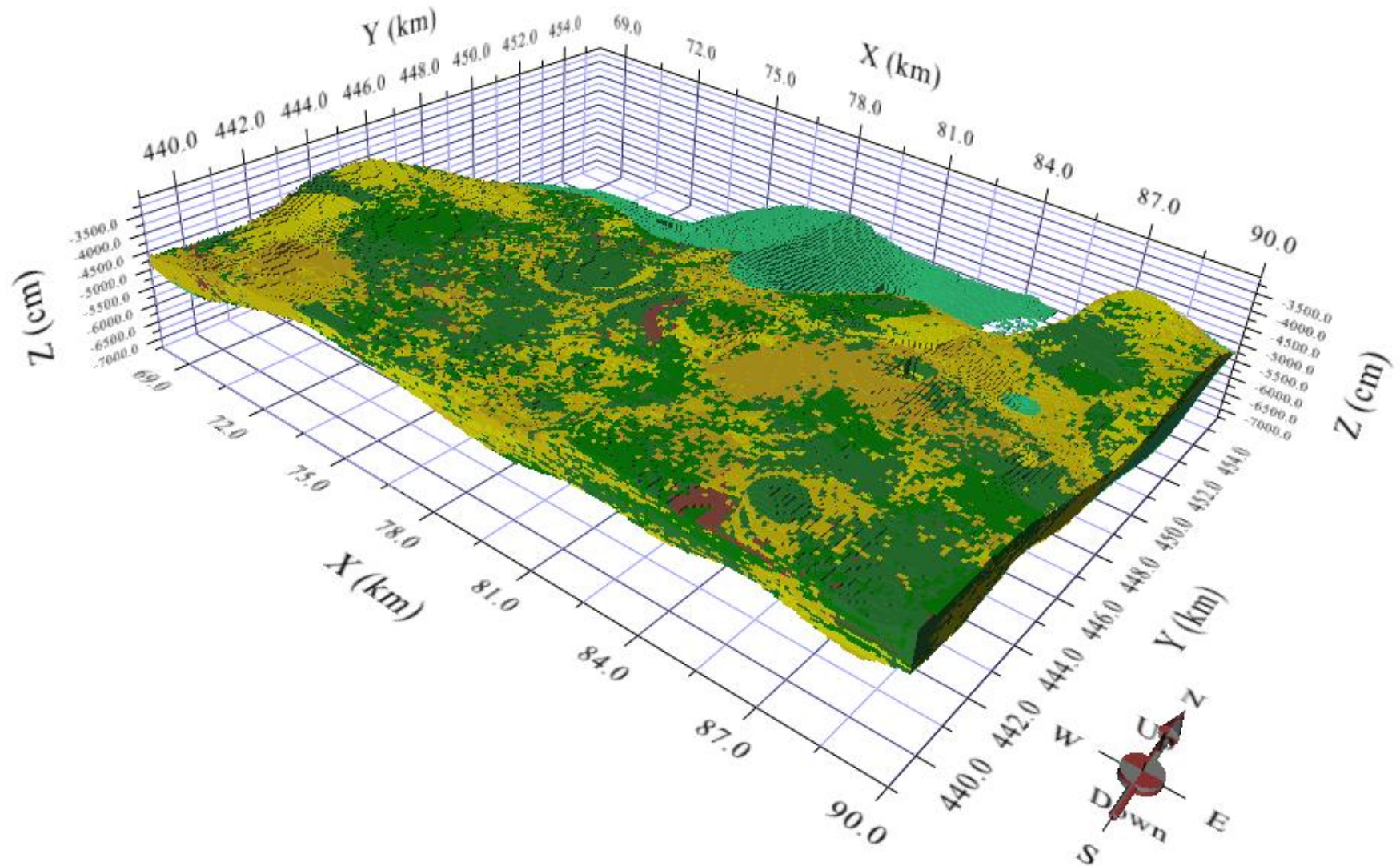
## **B 3D doorsnedes 1<sup>e</sup> scheidende laag**

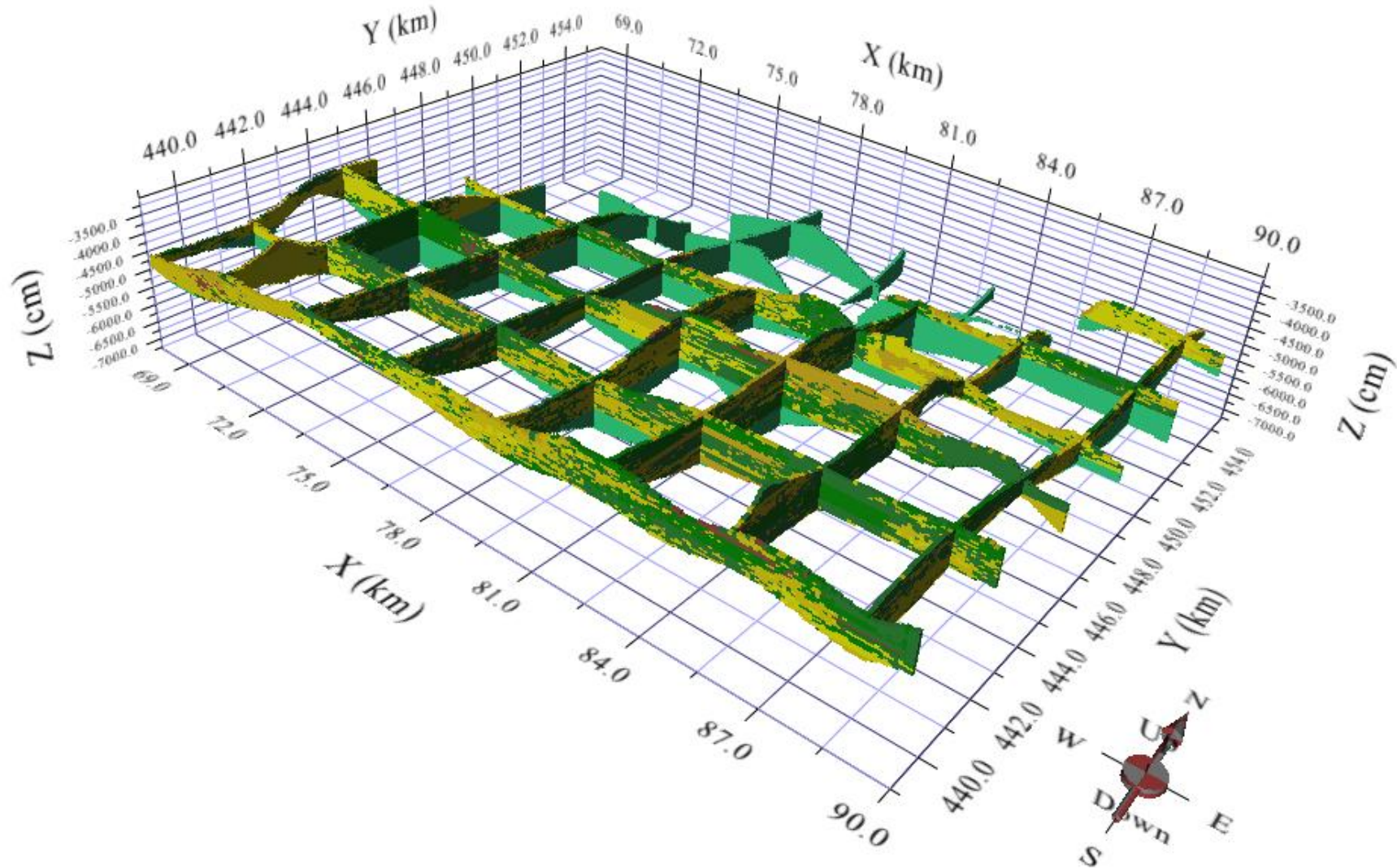
In deze bijlage zijn een 3D doorsnede en een fence diagram van de 1<sup>e</sup> scheidende laag weergegeven. Dezelfde kleuren zijn gehanteerd als in de doorsnedes in Bijlage A. De informatie boven de 50 m-NAP is gebaseerd op het GeoTOP-model en de informatie onder de 50 m-NAP op REGIS. Aandachtspunt is dat in REGIS de gehele 1<sup>e</sup> scheidende laag als klei is weergegeven (groen), ondanks het feit dat dit mogelijk geen klei is. Om een duidelijker onderscheid te zien tussen de twee geologische modellen (boven en beneden 50 m-NAP) is de klei uit REGIS in een lichtere groentint weergegeven.



# Deltares

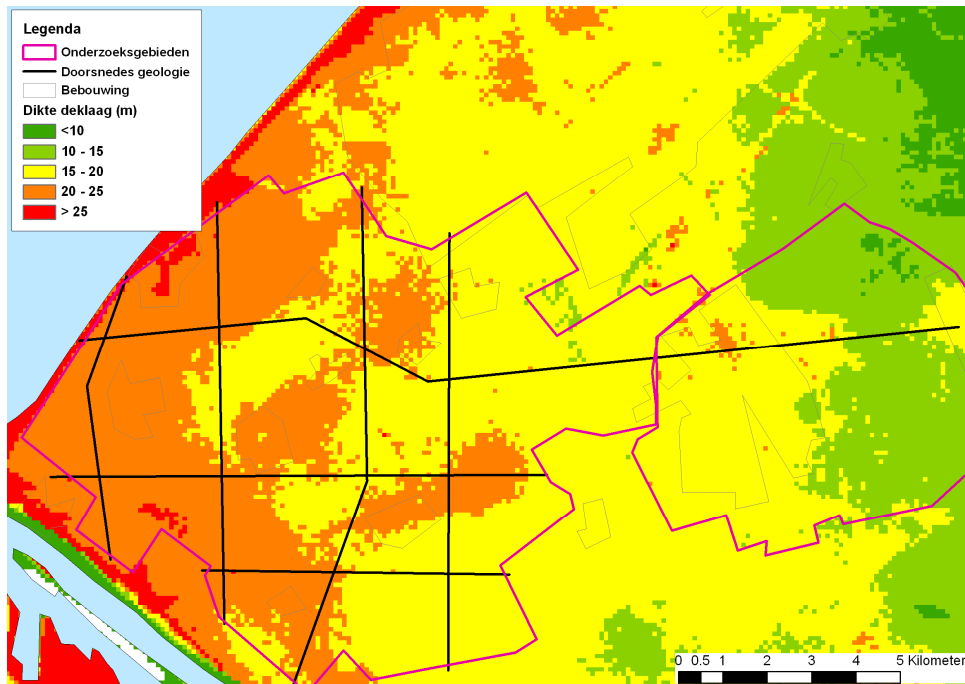
1205189-000-BGS-0005, 31 oktober 2011, definitief



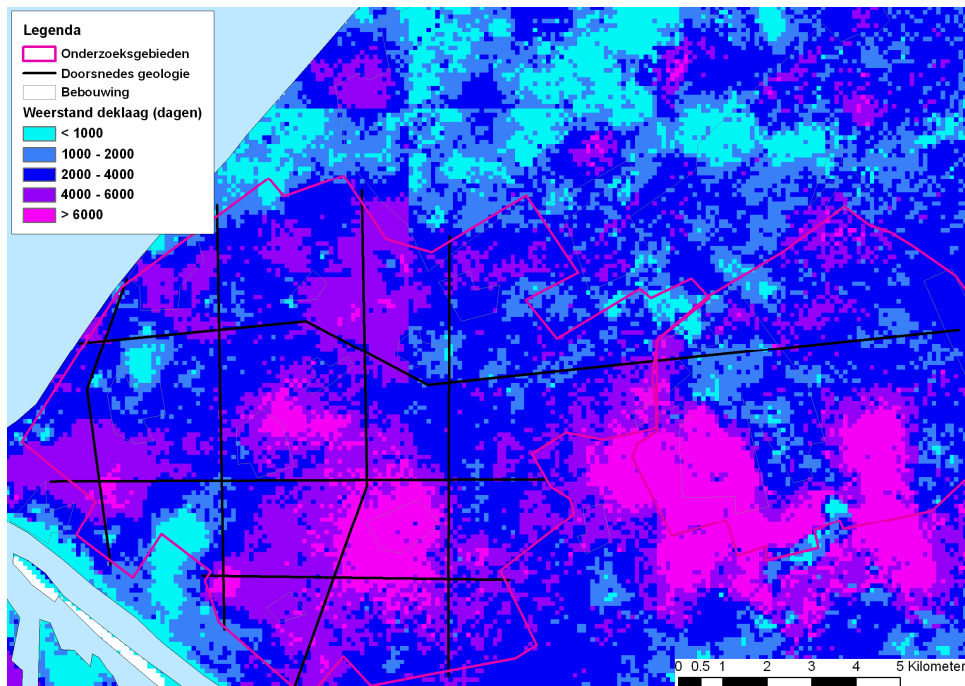




## C Geologische kaarten

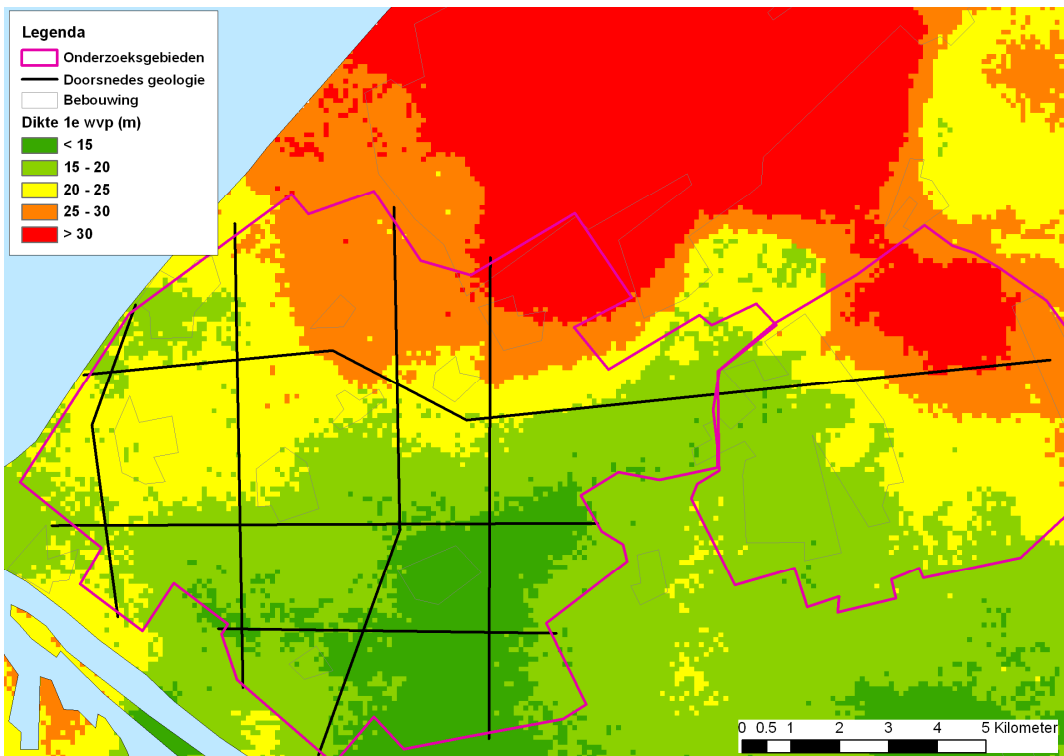


Figuur C.1 Dikte van de deklaag.

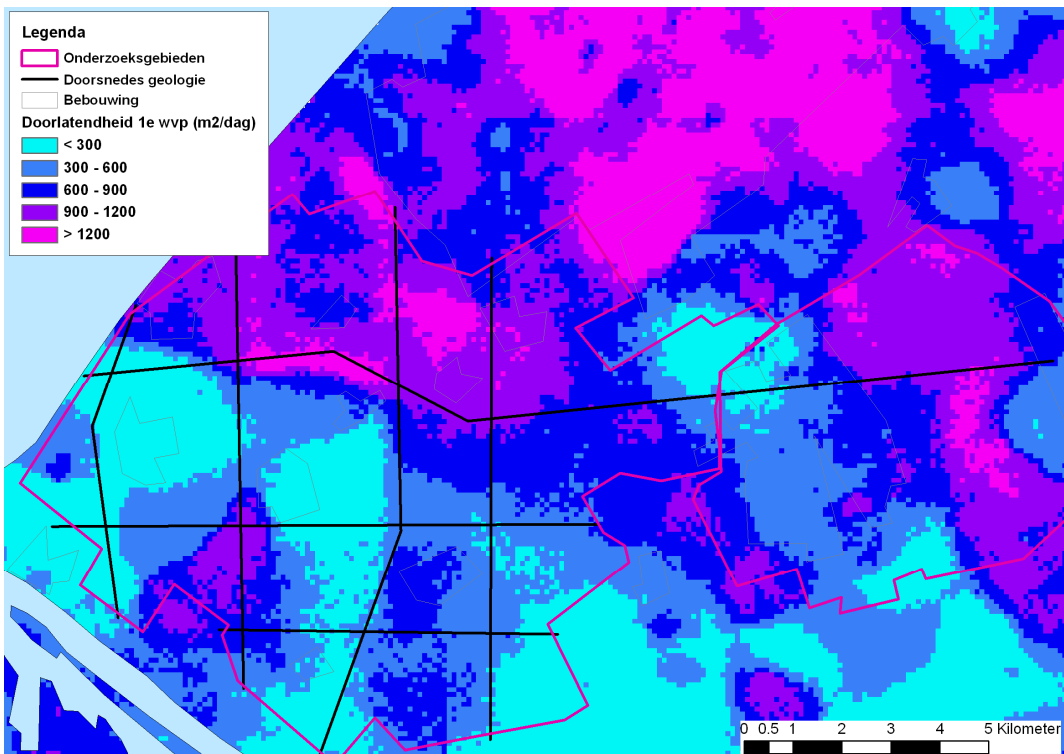


Figuur C.2 Weerstand van de deklaag.

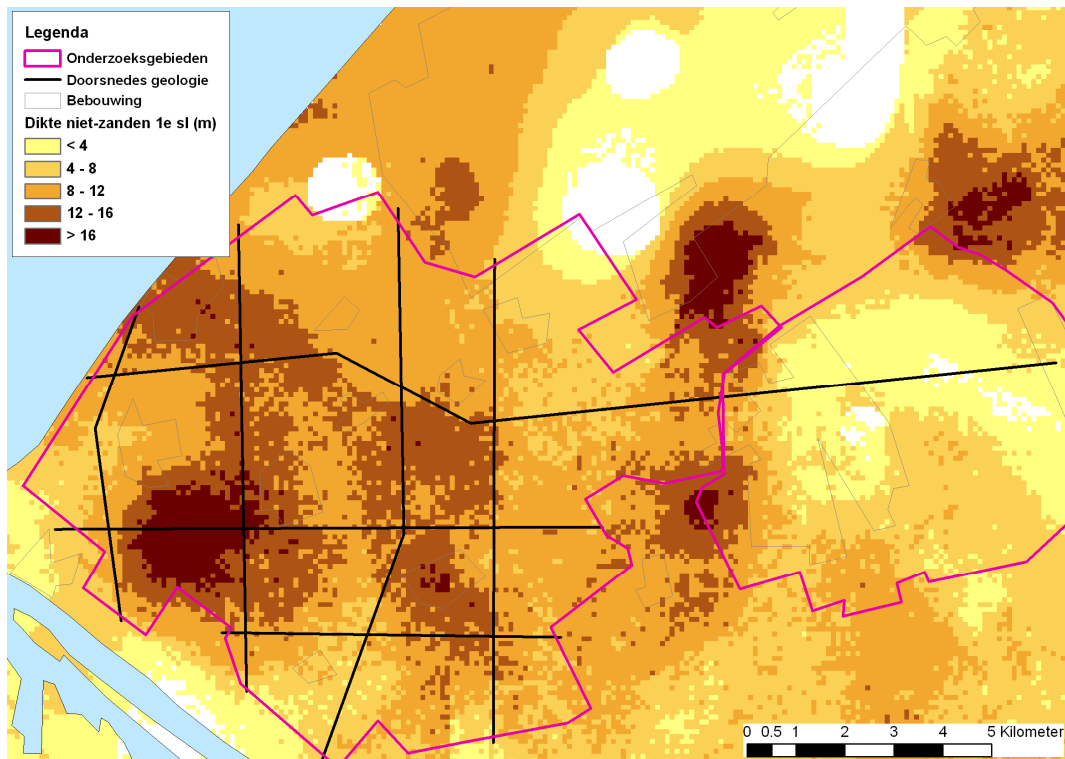




Figuur C.3 Dikte 1<sup>e</sup> watervoerend pakket.



Figuur C.4 Doorlaatvermogen 1<sup>e</sup> watervoerend pakket.

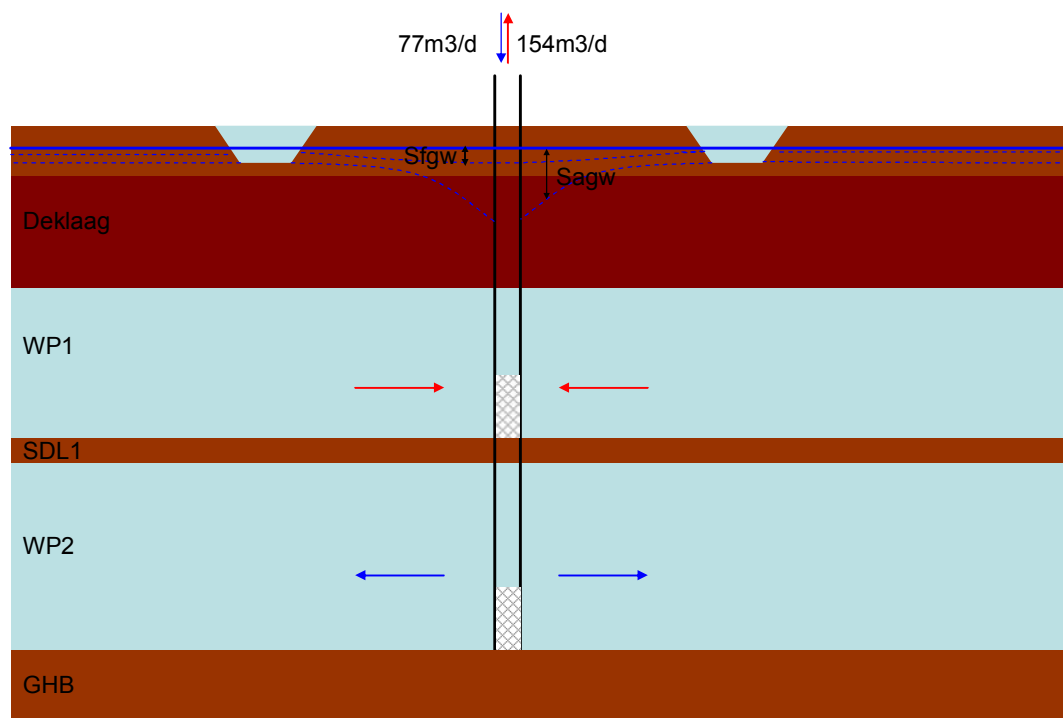


Figuur C.5 Cumulatieve dikte niet-zanden in de 1<sup>e</sup> scheidende laag.



## D Berekening effect onttrekking en injectie op de freatische grondwaterstand

De verlaging van de grondwaterstand wordt berekend op basis van het schema wat is weergegeven in Figuur D.1.



Figuur D.1 Bij de berekening gehanteerde bodemopbouw en parameters.

Waarbij:

Sfgw: verlaging van de freatische grondwaterstand

Sagw: verlaging van de stijghoogte van het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket

Voor deze situatie en met de onttrekking in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket, kan de verlaging van de stijghoogte in het 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> watervoerend pakket berekend worden met de volgende vergelijkingen (Huisman en Kemperman, de Ingenieur, 1951):

$$s_1 = \frac{q_0}{2\pi D_1 k_1} \left\{ \ln \frac{1.123}{r} - \frac{(\lambda_1 - \alpha_2) \ln \sqrt{\lambda_1} + (\alpha_2 - \lambda_2) \ln \sqrt{\lambda_2}}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \right\}$$

Equation 1



$$s_2 = \frac{q_0}{2\pi D_1 k_1} \frac{\alpha_2}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \ln \frac{\sqrt{\lambda_1}}{\sqrt{\lambda_2}}$$

Equation 2

$$\alpha_1 = \frac{1}{c_1 k_1 D_1}$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{c_2 k_2 D_2}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{k_1 D_1 c_2}$$

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} \left( \alpha_1 + \alpha_2 + \beta_1 + \sqrt{(\alpha_1 + \alpha_2 + \beta_1)^2 - 4\alpha_1 \alpha_2} \right)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} \left( \alpha_1 + \alpha_2 + \beta_1 - \sqrt{(\alpha_1 + \alpha_2 + \beta_1)^2 - 4\alpha_1 \alpha_2} \right)$$

Equation 3

Waarbij:

$s_1$ : verlaging in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket

$s_2$ : verlaging in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket

$q_0$ : onttrekkingsdebiet 1<sup>e</sup> watervoerend pakket

De betekenis van de overige symbolen en de toegekende waarden aan de parameters staan weergegeven in Tabel D.1.

Voor water dat in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket geïnjecteerd wordt, kunnen de volgende formules gebruikt worden om de verlaging van de stijghoogte in het 1<sup>e</sup> en 2<sup>e</sup> watervoerend pakket te berekenen:

$$s_1 = \frac{q_0}{2\pi D_2 k_2} \frac{\beta_1}{(\lambda_1 - \lambda_2)} \ln \frac{\sqrt{\lambda_1}}{\sqrt{\lambda_2}}$$

Equation 4

$$s_2 = \frac{q_0}{2\pi D_2 k_2} \left\{ \ln \frac{1.123}{r} - \frac{(\alpha_2 - \lambda_2) \ln \sqrt{\lambda_1} + (\lambda_1 - \alpha_2) \ln \sqrt{\lambda_2}}{\lambda_1 - \lambda_2} \right\}$$

Equation 5

Waarbij

$s_1$ : verlaging van de stijghoogte in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket

$s_2$ : verlaging van de stijghoogte in het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket

$q_0$ : injectiedebiet 2<sup>e</sup> watervoerend pakket

De betekenis van de overige symbolen en de toegekende waarden aan de parameters staan weergegeven in Tabel D.1.

Tabel D.1 Waarde van gebruikte parameters.

Parameter	Gebruikte waarde
$q_0$ : onttrekkingsdebiet 1 <sup>e</sup> wvp ( $m^3/d$ )	154
$q_0$ : injectiedebiet 2 <sup>e</sup> wvp ( $m^3/d$ )	77
$D_1$ : dikte 1 <sup>e</sup> wvp (m)	20
$k_1$ : hydraulische conductiviteit 1 <sup>e</sup> wvp (m/d)	25
$c_1$ : weerstand deklaag + 1 <sup>e</sup> wvp (d)	2000
$D_2$ : dikte 2 <sup>e</sup> wvp (m)	40
$K_2$ : hydraulische conductiviteit 2 <sup>e</sup> wvp (m/d)	20
$c_2$ : weerstand 1 <sup>e</sup> scheidende laag (d)	500
r: afstand naar de put (m)	0,3

In dit systeem kunnen de vergelijkingen 4 en 5 ook worden gebruikt om de verlaging van de freatische grondwaterstand te berekenen. Er wordt een aanname gedaan dat er onder en tussen de sloten een fijne kleilaag met hoge weerstand aanwezig is. Dan zijn de uitgerekenende parameters als volgt gedefinieerd:

- $s_1$ : verlaging van de freatisch grondwaterstand
- $s_2$ : verlaging van de stijghoogte in het 1<sup>e</sup> watervoerend pakket

De betekenis van de overige symbolen en de toegekende waardes aan deze parameters staan weergegeven in Tabel D.2.

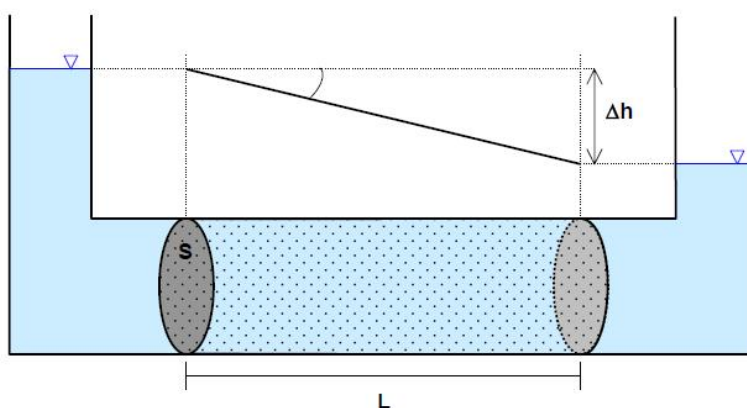
Tabel D.2 Waarde van gebruikte parameters.

Parameter	Gebruikte waarde
$q_0$ : onttrekkingsdebiet 1 <sup>e</sup> wvp ( $m^3/d$ )	154
$D_1$ : dikte weerstandlaag tussen de sloten (m)	2
$k_1$ : hydraulische conductiviteit weerstandlaag tussen de sloten (m/d)	1
$c_1$ : weerstand laag tussen de sloten (d)	30
$D_2$ : dikte 1 <sup>e</sup> wvp + deklaag (m)	20
$K_2$ : hydraulische conductiviteit 1 <sup>e</sup> wvp + deklaag (m/d)	25
$c_2$ : weerstand deklaag en 1 <sup>e</sup> wvp (d)	2000 (hoge weerstand) of 30 (lage weerstand)
r: afstand naar de put (m)	0.3



## E Berekening achtergrondsnelheid o.b.v. de wet van Darcy

De berekening van de achtergrondsnelheid is als eerste benadering gedaan op basis van de wet van Darcy:



$$Q = -k \frac{\Delta h}{L} S$$

en

$$q = k \frac{\Delta h}{L}$$

waarbij:  $Q$  = debiet dat door het oppervlak  $S$  stroomt;  $k$  = hydraulische conductiviteit;  $\Delta h$  = stijghoogteverschil en  $q$  = snelheid van Darcy