

**Hemelwaterinfiltratie met het Gaasboxx  
systeem voor gietwateropslag en piekberging  
in het Westlandse kassengebied:  
een haalbaarheidsstudie**

Jarno Verkaik  
Otto Levelt  
Hans van Meerten

**Titel**

Hemelwaterinfiltratie met het Gaasboxx systeem voor gietwateropslag en piekberging in het Westlandse kassengebied: een haalbaarheidsstudie

**Opdrachtgever**

Gemeente Westland  
Hoogheemraadschap van  
Delfland

**Kenmerk**

0906-0232

**Pagina's**

50

Provincie Zuid Holland


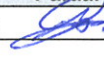
JES Product Development

**Projectnummer**

092.96004/01.01

**Trefwoorden**

Hemelwaterinfiltratie.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	2009-06-25	Jarno Verkaik				Bennie Minnema	

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Probleemstelling en werkwijze</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Systeembeschrijving, aannamen en randvoorwaarden</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Beschikbare basisgegevens</b>	<b>5</b>
3.1	Ondergrond	5
3.2	Overige bestanden	7
<b>4</b>	<b>Gevoeligheidsanalyse</b>	<b>8</b>
4.1	Vaste parameters	8
4.2	Gevarieerde parameters	9
4.3	Gevoeligheidsanalyse piekberging	12
4.4	Modelresultaten	14
4.4.1	Resultaten gietwateropslag	14
4.4.2	Resultaten piekberging	16
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Referenties</b>	<b>20</b>
	<b>Bijlage(n)</b>	
<b>A</b>	<b>Figuren basisdata ondergrond</b>	<b>21</b>
<b>B</b>	<b>Figuren overige basisdata en modelinvoer</b>	<b>26</b>
<b>C</b>	<b>Modelparameters</b>	<b>30</b>
<b>D</b>	<b>Figuren modelresultaten</b>	<b>34</b>

## 1 Probleemstelling en werkwijze

De gemeente Westland heeft samen met een consortium een onderzoeksplan laten ontwikkelen voor het toepassen van het Gaasboxx systeem in het kassengebied voor gietwateropslag en piekberging in het ondiepe grondwater. Het consortium bestaat uit JES Products (producent Gaasboxx), het Hoogheemraadschap van Delfland en de Provincie Zuid-Holland.

De eerste fase van het project betreft een zogenaamde pre-pilot fase waarin de haalbaarheid van het Gaasboxx systeem in het kassengebied van de gemeente Westland wordt onderzocht. Dit zal leiden tot een “go” of “no-go”. Indien een “go”, dan zal er in de tweede fase van het project een pilot worden gestart.

In de eerste fase staat de volgende vraag met randvoorwaarden centraal:

*Kan hemelwater via een Gaasboxx systeem in de ondiepe ondergrond infiltreren onder een kas, zodanig dat:*

- a) *Er voldoende (zoet) gietwater in de ondiepe ondergrond kan worden geborgen om hiermee in de waterbehoefte van de kweker te kunnen voorzien;*
- b) *Er voldoende piekberging kan plaatsvinden om wateroverlast in het waterschap te beperken.*

Om deze vraag te kunnen beantwoorden is er in deze studie gekozen voor een aanpak waarin de kwalitatieve benadering centraal staat en waarbij er gebruik wordt gemaakt van eenvoudige rekenmodellen. Voor een meer kwantitatieve aanpak is een geavanceerdere modellering vereist, zoals bijv. 3D modellering van grondwater gekoppeld met oppervlaktewater en een statistische methode voor piekberging. Om in deze studie uitspraken te kunnen doen over de haalbaarheid van het Gaasboxx-systeem voor het kassengebied in het Westland, is er eerst een uitvoerige inventarisatie gedaan van beschikbare (ondergrond)data. Daarna is er gebruik makend van 2D profielmodellen een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de meest gevoelige parameters te identificeren en te kwantificeren. Voor gietwater is er gekeken welke parameters het meest gevoelig zijn voor de vorming van het zoet-water volume. Voor piekberging zijn er twee methoden gehanteerd (op basis van duurlijnen en leeglooptijd) om een eerste inschatting te geven van de piekberging. Vervolgens zijn de resultaten voor de profielmodellen vertaald naar een ruimtelijk beeld voor het Westland gebied.

In Hoofdstuk 2 wordt eerst een systeembeschrijving en daarbij gedane aannamen besproken. In Hoofdstuk 3 worden de beschikbare basisdata beschreven, met de nadruk op de ondergrondgegevens. In Hoofdstuk 4 wordt de gevoeligheidsanalyse besproken met de daarbij behorende aannamen en parametrisaties, gevolgd door scenarioberekeningen in Hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 besluit deze rapportage met conclusies en aanbevelingen.

## 2 Systeembeschrijving, aannamen en randvoorwaarden



Figuur 1: Links: schema van de huidige toepassing van het Gaasboxx systeem; rechts: gekoppelde Gaasboxx elementen. Bron: [www.gaasboxx.nl](http://www.gaasboxx.nl).

### Huidige toepassing Gaasboxx

Door schaalvergroting gaan tuinbouwbedrijven steeds meer water opslaan. De conventionele opslagmethoden zoals waterbassins en silo's nemen veel kostbare ruimte in beslag en kunnen veel onderhoud vergen. Het Gaasboxx systeem is een innovatieve, ruimtebesparende manier om grote hoeveelheden water op te slaan. Een Gaasboxx systeem bestaat uit losse, gekoppelde, kratten/blokken, zie Figuur 1. De blokken hebben de volgende eigenschappen:

- Afmeting: 90 × 60 × 45 [cm];
- Kunststof polypropyleen;
- Door honingraatstructuur: hoge porositeit, 94%, en zeer sterk.

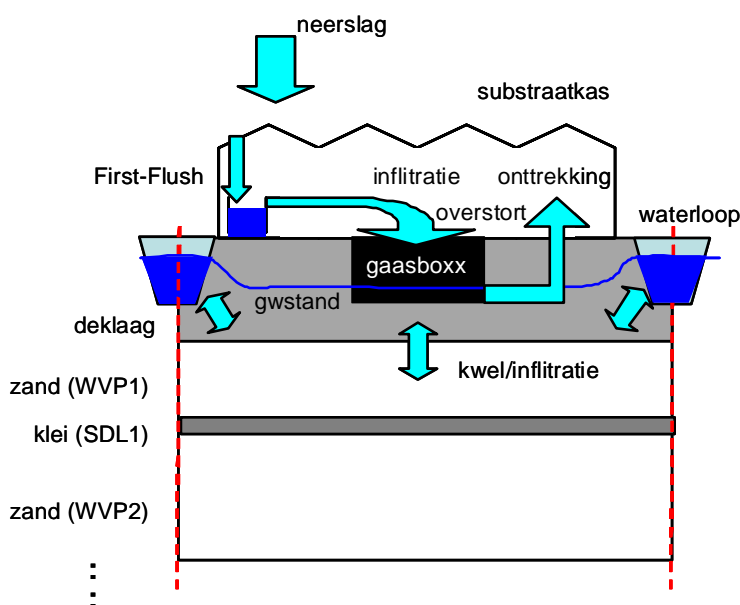
Zoals het Gaasboxx systeem nu wordt toegepast wordt er een deel van de ondergrond afgegraven, bijvoorbeeld onder het gangpad van een kas. Vervolgens wordt er op de bodem een waterdichte folie aangebracht, daarna de kratten geplaatst en hierover een afdekking aangebracht (bijvoorbeeld bestrating). Bij deze toepassing is er geen enkele interactie van het Gaasboxx systeem met het grondwater.

### Gewenste toepassing Gaasboxx

De beperking van de huidige toepassing is dat het volume van de kratten de opslag limiteert. Echter, door interactie met de ondergrond toe te staan (middels filterdoek), zou er mogelijk een grotere opslag plaats kunnen vinden. Het idee dat JES products voor ogen heeft wordt geschetst aan de hand van Figuur 2. In de kas wordt een smalle strook Gaasboxx-elementen ingegraven tot onder de grondwaterstand, met hiertussen een filterdoek om dichtslibben te voorkomen. Vervolgens wordt het opgevangen hemelwater, middels een first-flush voorzuivering, op een natuurlijke wijze rechtstreeks de Gaasboxx ingeleid. Vervolgens wordt er onder het Gaasboxx systeem een pompinstallatie geplaatst ten behoeve van de beregening. Doel van het systeem waarop in deze studie wordt gericht is tweeledig: enerzijds dat het hemelwater de ondergrond infiltreert zodanig dat er een "zoetwater bel" ontstaat die in de gietwateropslag voorziet, en anderzijds dat het systeem voldoende water kan bergen na een hevige regenbui om wateroverlast in het waterschap te voorkomen. Een ander doel van

het Gaasboxx-systeem is het aanvullen van de zoetwatervoorraad in gebieden met verziltingsproblematiek.

NB. de getekende stromen zijn slechts een grove vereenvoudiging van de werkelijkheid. In een echt poldersysteem hangen waterstromen die gezamenlijk de totale waterhuishouding bepalen, nauw met elkaar samen. De complexiteit van oppervlaktewaterstromen, grondwaterstromen en waterstromen die gerelateerd zijn aan de bedrijfsvoering in de kassen kan zeer groot zijn en verschillend per polder. Voor details hierover zie bijvoorbeeld de rapportage van de Waalblok studie (Gehrels *et al*, 2007).



Figuur 2: Schematische weergave van het beoogde Gaasboxx systeem.

### Algemene aannamen bedrijfsvoering

Voor de modellering zijn de volgende aannamen gemaakt over de bedrijfsvoering van de kassen:

- Volledig substraatteelt;
- Er is recirculatie;
- Geen diepe onttekening uit het grondwater, geen onttekening uit oppervlaktewater;
- Geen brijnlozing;
- Geen first-flush zuivering;
- Geen verdamping op het kasoppervlak;
- Gaasboxx tot onder de grondwaterstand ingegraven;
- De zijkanten van het Gaasboxx systeem laten geen water door;
- Hemelwater kan volledig in het Gaasboxx systeem worden geleid, ongeacht de neerslagintensiteit;
- Pomsysteem onder Gaasboxx kan het volledige beregeningsdebiet leveren;
- Overtollig water in de Gaasboxx kan via een overstortstelsel naar het oppervlaktewater worden geloosd.

### **Beleidsmatige randvoorwaarden**

De voor de modellering relevante beleidsmatige randvoorwaarden voor het Gaasboxx systeem zijn:

- Besluit glastuinbouw, p.51: er is minimaal een gietwateropslag vereist van 500 [m<sup>3</sup>/ha] teeltoppervlakte, waarbij het gietwater een natriumgehalte moet hebben gelijkwaardig aan hemelwater.
- Voor innovatieve waterberging heeft het Hoogheemraadschap van Delfland een aantal voorwaarden opgesteld, zie sectie 4.2.3 van de beleidsnota. Een daarvan is dat de vultijd 4 tot 6 uur moet bedragen en na afloop van de bui moet de berging binnen 2 tot 3 dagen weer beschikbaar zijn. Een andere norm, welke in deze studie buiten beschouwing is gelaten, is de ABC-normering die uitgaat van een maximale peilstijging van het oppervlaktewater voor de specifieke watersystemen in Delfland, gegeven het grondgebruik en beschikbare bergingsvoorzieningen, zie bijlage IV. Voor glastuinbouw wordt de ABC-bergingsnorm van 325 [m<sup>3</sup>/ha] gehanteerd.

### **Operationele randvoorwaarde**

JES Products heeft de wens dat het systeem circa 1 jaar na installatie operationeel is. Dan moet het systeem rendabel zijn en minimaal voldoen aan de noodzakelijke beleidsmatige randvoorwaarden. Gezien de relatief korte levensduur van een kas (orde 15 jaar) is een systeem gewenst met een relatief korte instelperiode.

## 3 Beschikbare basisgegevens

### 3.1 Ondergrond

#### Geologie

Om een beeld te verkrijgen van de samenstelling van de ondergrond zijn een aantal gegevens beschikbaar. Deze gegevens hebben verschillende nauwkeurigheden en zijn met verschillende oogmerken vervaardigd. Geen van de direct beschikbare gegevens geeft een exact beeld van de ondergrond, ze kunnen dan ook slechts een beeld geven van de omstandigheden in de ondergrond. Hieronder volgt een korte beschrijving van de gebruikte gegevens voor de haalbaarheidsstudie.

#### Kartering Rijksgeologische dienst

Op basis van de geologische kaarten vervaardigd door de Rijks Geologische Dienst kan een globaal inzicht verkregen worden in de afzettingen die in de ondergrond te vinden zijn. Op de kaarten worden de verschillende stratigrafische eenheden onderscheiden. Deze eenheden verschillen in samenstelling, gelaagdheid, verbreiding, structuur, ontstaanswijze en tal van andere kenmerken. In deze inventarisatie is vooral gekeken naar het Holoceen. Dit is het bovenste deel van de ondergrond en wordt wel de deklaag genoemd. Deze laag bestaat in dit gebied uit een complexe opbouw van kleiige tot zandige afzettingen van mariene (kustnabije) of fluviatiele (door rivieren afgezette) oorsprong.

In het Westland liggen een aantal betrekkelijk zandige afzettingen in de ondergrond. Relatief het meeste zand wordt verwacht in de jonge en oude duinafzettingen en geulafzettingen. In figuur 3 is weergegeven waar deze afzettingen te vinden zijn.

#### Delfstoffen online

Een tweede bron, die inzicht kan geven in de aanwezigheid van zand in de ondergrond, is Delfstoffen online van het TNO DINOLoket. Op deze website is een beeld te krijgen van de hoeveelheid zand in de ondergrond. De gegevens die ten grondslag liggen aan de kaarten op deze site zijn gebaseerd op 3D opbrengstmodellen. Hiervoor zijn gegevens gehaald uit DINO TNO's digitale archief van geo-informatie met ondermeer ca. 380.000 gestandaardiseerde boorstaten.

Relevante parameters, zoals de grondsoort, korrelgrootte, bijmengingen etc., zijn geïnterpoleerd, binnen de begrenzingen van de eenheden die in de ondiepe Nederlandse ondergrond onderscheiden worden.

Met behulp van de site is in het gebied op een aantal locaties een diagram van de bodemsamenstelling bepaald. In figuur 4 is aangegeven op welke locaties dit gedaan is en in figuur 5 zijn de bijbehorende diagrammen weergegeven.

Ook op basis van de bovengenoemde figuren is te zien dat de zandigste ondergrond te vinden is in het westelijk deel van het interessegebied en dat de samenstelling een grote ruimtelijke variabiliteit vertoont. Vooral de samenstelling van de bovenste 20 meter van de bodem verschilt binnen het interessegebied.

#### Deklaagmodel DSM Delft model

Een derde bron van informatie omtrent de samenstelling van de ondergrond wordt gevormd door een regionaal deklaagmodel. Dit model beschrijft de ruimtelijke samenstelling (3D) van de Holocene afzettingen in het gebied. De deklaag is in het gebied tussen de 20 en 25 meter



dik. Slechts in de duinen kan de deklaag tot 10 meter dikker zijn. Het deklaag model geeft de verbreiding van de belangrijkste lithologische klassen (grondsoorten), die is bepaald op basis van boorbeschrijvingen uit de DINO databank. Het model is opgedeeld in een vijftal lagen, waarvan de samenstelling gegeven is in grondsoorten. De volgende grondsoorten zijn onderscheiden:

- Grof zand
- Matig fijn zand
- Fijn zand
- Zandige klei
- Klei
- Veen

In Tabel 2 staan voor de verschillende typen sediment de doorlatendheden vermeld. Hierbij dient opgemerkt te worden dat er ordes spreiding zit in de parameters. De bovenste -en dus bestaande uit de jongste afzettingen - van de vijf lagen is beschreven als kleilig tot zandig en ligt bovenop het Hollandveen laagpakket (de tweede modellaag). In figuur 3b is de ruimtelijke spreiding van de dikte van deze laag weergegeven. Te zien is dat deze een grote variabiliteit vertoont. Hoewel de laag niet uniform van samenstelling is, liggen de dikste delen in gebieden waar op figuur 3 de jonge duinen en de geulafzettingen worden aangegeven.

Voor de berekeningen om het toepassingsbereik van het Gaasboxx-systeem vast te stellen is de gehele bovenste laag van belang. Om een beeld te krijgen van de spreiding van de verschillende grondsoorten is daarom geen onderscheid gemaakt tussen de lagen maar zijn deze als één laag beschouwd. In eerste instantie is de ruimtelijke verspreiding van de gehalten van de verschillende grondsoorten bepaald. Door deze te combineren is een kaart met de verhoudingen tussen de verschillende grondsoorten verkregen. Deze is weergegeven in figuur 6. Ook hierin is te zien dan de relatief zandigste ondergrond in het westelijk deel van het interessegebied te verwachten is. Gebieden met een holocene deklaag die geheel uit zand bestaat zijn slechts in de duingebieden te vinden.

### **DINO archief**

De kaarten voor zowel delfstoffen online als de deklaag zijn afspiegelingen van modellen gebaseerd op gegevens uit het DINO archief. Om voor een aantal locaties de exacte samenstelling van de ondergrond te bepalen, zou deze bron direct geraadpleegd kunnen worden. De berekeningen in deze studie zijn uitgevoerd op theoretische omstandigheden, waarvan het voorkomen vervolgens met de ondergrondmodellen is getoetst. Om deze reden zijn er geen locatiespecifieke gegevens gebruikt. Bijgevolg zijn uit het DINO archief dan ook geen gegevens voor exacte locaties geraadpleegd.

### **REGIS**

Ter identificatie van de geohydrologische eenheden is REGIS gebruikt. Op basis van REGIS II.0 (Vernes *et al.*, 2005) is er naar de ondergrond van het Westland gekeken, zie Figuur 7 en Figuur 8 voor twee typische profielen. De voorkomende diepere kleien in het Westland zijn: de Stramproy, de Waalre kleien, de Maassluis en de Breda. In dit onderzoek is de ondiepe ondergrond, het holoceen complex met hierin klei/veen/zand, het meest belangrijk.

### **Freatische berging**

Tabel 3 is een werktabel met freatische bergingscoëfficiënten voor het modelleren van de tijdsafhankelijke freatische grondwaterstand.

## 3.2 Overige bestanden

### Maaiveld

In Figuur 9 is het maaiveld (gefilterd AHN) voor het Westland weergegeven in meters NAP. Te zien is dat het maaiveld in hoogte naar het oosten afloopt en daar circa 3 meter lager ligt dan in het westen van het interessegebied.

### Grondwaterstanden

Helaas zijn er geen gegevens beschikbaar over de grondwatersituatie, die onder de kassen heerst. Alle DINO-peilbuizen voor het Westland zijn handmatig afgelopen, maar geen enkele lijkt dergelijke informatie te kunnen verstrekken. Er zijn echter wel modelresultaten beschikbaar van het DSM Delft model (Roelofsen *et al*, 2008), zie bijvoorbeeld Figuur 11 voor een berekende stationaire grondwaterstand. Echter, de bruikbaarheid van deze gegevens moet zeer in twijfel worden getrokken aangezien de resultaten voor het kassengebied niet gefundeerd (gekalibreerd) zijn op metingen. Tevens behoorde het Westland bij de modellering niet tot het interessegebied rondom Delft, maar slechts tot het randgebied.

Op aanraden van Joost de Jong van JES Products is er telefonisch informatie over de grondwaterstand in kassen opgevraagd bij een tweetal grondverwerkingsbedrijven:

- Baatje BV Grondbewerkingsbedrijf: grondwaterstand varieert van 50 - 100 cm onder maaiveld.
- Kraan J.J. vd. Grondwerken: 60 cm onder maaiveld.

Deze grondwaterstanden lijken ondieper te zijn dan dat het DSM Delft model simuleert.

Naast het kennen van de grondwaterstand in een kas is het ook belangrijk om te weten of en waar gedraineerd wordt (buisdrainage). Dit kan mogelijk nadelige effecten hebben op de infiltratie van het hemelwater en dus de werking van het Gaasboxx-systeem. In deze studie is dit buiten beschouwing gelaten.

### Kwel/infiltratie

In Figuur 10 is de kwel/infiltratie naar de deklaag weergegeven, berekend met het meest recente Provincie Zuid-Holland grondwatermodel, Minnema *et al.*, 2004. Deze kaart lijkt betrouwbaarder dan de kwel/infiltratie kaart van het DSM-Delft model. Duidelijk is te zien dat er voornamelijk lichte infiltratie optreedt in het westen en lichte kwel in het oosten. Dit komt overeen met de geringe daling van het maaiveld.

### (Initiële) chloride verdeling grondwater

Figuur 13 laat een aantal doorsneden zien van een 3-D chloride veld waarbij de metingen (o.a. 'Verticale Elektrische Sonderingen'-metingen) zijn geïnterpoleerd. Dit bestand wordt beheerd door zoet/zout REGIS en wordt regelmatig verbeterd en uitgebreid.

### Neerslag- en verdampingsreeks

Voor de hoofdstations zijn er KNMI reeksen beschikbaar op dagbasis, zie bijvoorbeeld Figuur 12 voor een neerslagreeks van 1990 t/m 1995 te Rotterdam.

## 4 Gevoelighedsanalyse

Om een gevoel te krijgen voor de belangrijkste parameters die de werking van het systeem bepalen (Figuur 2) is er een gevoelighedsanalyse uitgevoerd. Hiertoe zijn een aantal eenvoudige 2-D profielmodellen gemaakt voor een aantal geïdentificeerde relevante parameters. Met deze modellen zijn scenario's doorgerekend die begrensd zijn door:

- De beschikbaarheid van invoer data;
- De beperking van een 2D profielmodel;
- De vereiste reken capaciteit.

Dit heeft geresulteerd in totaal 48 scenario's rekenend op dagbasis, en 6 hiervan afgeleide scenario's rekenend op kwartierbasis. In dit hoofdstuk zullen de gedane aannames worden toegelicht.

### 4.1 Vaste parameters

De volgende parameters zijn voor alle scenario's hetzelfde gekozen:

- *Schematisatie ondergrond.* Op basis van Figuur 7 en Figuur 8 is er een schematisatie gemaakt zoals in Figuur 14, in een holocene deklaag (20 [m] dik), watervoerend pakket 1 (WVP1), scheidende laag (SDL1) en watervoerend pakket 2 (WVP2). Hierbij wordt de Stramproy klei verwaarloosd en slechts één Waalre klei wordt meegenomen. De geohydrologische ondoorlatende basis wordt op de Maassluis klei gelegd (-100 [mNAP]). Aangezien de hydrologische processen van het Gaasboxx systeem voornamelijk in de ondiepe ondergrond afspelen lijkt dit een voldoende diepte.
- *Lithologie diepe ondergrond.* De doorlatendheden zijn voor alle scenario gelijk gehouden: 8 [m/d] voor WVP1 (zand middel), 0.003 [m/d] voor SDL1 (klei) en 8 [m/d] voor WVP2 (zand middel). Deze waarden corresponderen met de gemiddelde waarden uit Tabel 2. Verder is een verticale anisotropie verondersteld waarbij de verticale doorlatendheid 1/3 is genomen van de horizontale doorlatendheid.
- *Kasbreedte.* Voor de breedte van het profiel (kasbreedte) wordt 100 [m] aangehouden. Op basis van Google Maps lijkt dit een redelijke schatting te zijn voor de breedte van een kas in het Westland.
- *Waterlopen.* Voor de waterlopen zoals in Figuur 2 zijn in overleg met het Hoogheemraadschap Delfland de waterlopen van het boezemland gekozen, welke representatief zijn voor de modellering van het Delfland gebied. Het waterpeil is gekozen op -0.40 [mNAP]. Op basis van beschikbare kaarten van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium is een representatieve bodemdiepte gekozen van -0.80 [mNAP] en een slootbreedte van 5 [m]. Voor de intreeweerstand is 1 [d] gekozen.
- *Zijranden holocene deklaag en SDL1.* Er wordt verondersteld dat er geen stroming is door de zijranden van het model.
- *Zijranden WVP2.* De stijghoogte is hier gekozen op 0.1 [mNAP] en volgt uit een schatting van het DSM model (modellaag 16).
- *Maaiveld hoogte.* Er wordt een maaiveld hoogte aangehouden van +0.5 [mNAP].
- *Initiële chloride verdeling (zoet/zout).* Op basis van het 3-D initiële chloride veld (Figuur 13), is een verticaal lineair verloop geschat van 150 [mg/l] op 0.5 [mNAP] tot 8000 [mg/l] op -100 [mNAP]. Aangezien het Gaasboxx systeem bovenin aangrijpt zullen hier de effecten van dichtheidgedreven stroming verwaarloosbaar zijn.

- **Neerslagreeks:** Er is een KNMI neerslagreeks gekozen voor 1989 t/m 1994, met 1994 een uitzonderlijk nat jaar. Dit is voor hoofdstation Rotterdam (ID 344) en deze reeks is op dagbasis. Voor het chloride gehalte van de neerslag wordt 5 [mg/l] aangenomen, conform de studie Roelofsen *et al.*, 2005.

## 4.2 Gevarieerde parameters

De onderstaande vijf relevante parameters zijn gekozen in overleg met de projectgroep:

1. Grondwaterstanden (kwel/infiltratie)
2. Lithologie holocene deklaag
3. Gaasboxx afmeting
4. Gewasverbruik
5. Instelperiode

### Grondwaterstand (kwel/infiltratie): 2 varianten

Voor het simuleren van gietwateropslag en piekberging is het zeer belangrijk om te weten wat de voorkomende grondwaterstand in het kassengebied is. Immers, deze waarde zal de maximale overdruk bepalen voor de gietwateropslag en het maximale bergingsvolume voor piekberging. De grondwaterstand hangt sterk af of dit gebied kwellend of infiltrerend is. Dit onderscheid is in de scenario's meegenomen door een stijghoogte op de zijranden van WVP1 op te leggen:

1. Stijghoogte 0 [mNAP]: de grondwaterstand bolt op tot maximaal  $\pm 0$  [mNAP] waarbij de sloten draineren. Representatief gekozen voor sterk kwellende gebieden.
2. Stijghoogte -0.4 [mNAP]: grondwaterstand is ongeveer gelijk aan het boezempeil en de sloten draineren praktisch niet (neutrale stand). Representatief gekozen voor infiltrerende (of licht kwellende) gebieden. Hierbij is aangenomen dat een neerbolling van de grondwaterstand niet voor zal komen.

Voor de zijranden is het horizontale verhang tussen de stijghoogten verwaarloosd, en hiermee dus de regionale achtergrondstroming van het grondwater.

### Lithologie deklaag: 3 varianten

Aangezien het Gaasboxx systeem het grootste effect zal hebben op de ondiepe ondergrond, is het logisch om de doorlatendheden van de deklaag te laten variëren. In het model is de deklaag geschematiseerd als een pakket van 20 [m] dik met slechts één lithologie. Echter, in de praktijk is de deklaag een sterk heterogeen complex van zand/klei/veen en hierdoor zeer lastig te karteren. Dit gegeven moet men bij de scenario berekeningen sterk bij de beoordeling mee laten wegen. De gekozen grondsoorten, en de daarbij gekozen gemiddelde horizontale doorlatendheden, zijn:

1. 50% zand fijn + 50% klei ( $\pm 0.5$  [m/d]);
2. Zand fijn ( $\pm 1$  [m/d]);
3. Zand middel ( $\pm 8$  [m/d]).

De doorlatendheden zijn rechtstreeks verkregen door de lithologie te vertalen naar gemiddelde doorlatendheden middels Tabel 3. Hierbij moet rekening worden gehouden dat hiermee lokaal voorkomende veen/klei lagen niet worden meegenomen. De infiltrerende werking van het Gaasboxx systeem kan hierdoor in de werkelijkheid lokaal aanzienlijk slechter zijn dan uit de berekeningen volgt.

NB. De variant 100% klei is bewust buiten beschouwing gelaten aangezien de werking van het Gaasboxx-systeem voor klei gebieden bij voorbaat als zeer ongunstig kunnen worden beoordeeld.

#### **Gaasboxx afmeting: 4 varianten**

De volgende Gaasboxx afmetingen zijn gekozen:

1. Breedte 5 [m] en diepte 1.0 [m]: 500 [m<sup>3</sup>/ha];
2. Breedte 5 [m] en diepte 1.5 [m]: 750 [m<sup>3</sup>/ha];
3. Breedte 3 [m] en diepte 1.0 [m]: 300 [m<sup>3</sup>/ha];
4. Breedte 3 [m] en diepte 1.5 [m]: 450 [m<sup>3</sup>/ha]

Uit navraag bij Nico de Jong van JES Products blijkt dat volumes van 500 [m<sup>3</sup>/ha] of meer tot de praktijk behoren. Kwekers beschikken doorgaans over waterbassins/silo's die een veelvoud groter zijn om in hun waterbehoefte te voorzien. De gekozen volumes van het Gaasboxx systeem kunnen niet rechtstreeks met die van gietwaterbassins in relatie worden gebracht doordat er door infiltratie berging in de ondergrond optreedt. De afmetingen zijn slechts gekozen om kwalitatief inzicht te krijgen in de effecten van de breedte/diepte op de werking van het systeem.

In de scenarioberekeningen is de Gaasboxx diepte samenhangend gekozen met de grondwaterstand. Het idee is dat de onderste krat zich altijd (min of meer) volledig onder de grondwaterstand bevindt en hieruit onttrokken wordt. Zodoende is er voor gekozen om bij een Gaasboxx diepte van 1.0 [m] de kwel grondwaterstand te kiezen (WVP1 zijrand stijghoogte van 0 [mNAP]), en voor een Gaasboxx diepte van 1.5 [m] de infiltratie/(lichte kwel) grondwaterstand (WVP1 zijrand stijghoogte van -0.4 [mNAP]).

#### **Gewasverbruik: 2 varianten**

Voor het gewasgebruik zijn de waarden gebruikt die als uitgangspunt hebben gediend voor de TNO studie 'Haalbaarheid naar Gietwater in de Ondergrond', Roelofsen *et.al.*, 2005, Tabel 2.3 p. 11. Hierin worden drie klassen onderscheiden: laag verbruik (1.5 [mm/d] of 555 [mm/j]), gemiddeld verbruik (2.3 [mm/d] of 836 [mm/j]) en hoog verbruik (2.9 [mm/d] of 1055 [mm/j]). Deze waarden betreffen gemiddelden over 1995 t/m 2004. De gewassen die representerend zijn voor deze klassen zijn, respectievelijk: cymbidium, chrysant en tomaat.

Op verzoek van Nico de Jong, JES Products, is er over deze gegevens telefonisch contact geweest met Erik van Os, onderzoeker bij Wageningen UR Glastuinbouw. Erik van Os is een collega van Wim Voogt, een voormalig medewerker van PPO Naaldwijk, die de gegevens over gewasverbruik toendertijd had aangeleverd. Het gesprek leverde de volgende informatie op:

- De gehanteerde verbruikgegevens zijn nog meest recent;
- Deze gegevens betreffen modelberekeningen met hun model voor kassen (balansbenadering);
- Uitgaande van een gemiddelde neerslag van 800 [mm/j], heeft gewas van hoog verbruik een tekort van circa 250 [mm/j]. In de praktijk lijkt dit probleem te worden opgelost door leidingwater bij te mengen. Hierover zijn geen kwantitatieve gegevens bekend.

Op basis van het laatste punt is er voor de scenario berekeningen gekozen:

1. Laag verbruik (548 [mm/j]);
2. Gemiddeld verbruik (840 [mm/j]);

Hierbij is aangenomen dat er gedurende het jaar een constant, gemiddeld, verbruik is. In de praktijk is het gewasverbruik complex en afhankelijk van tal van factoren, zoals de lichtdoorlatendheid van de kas, zonnescherm, assimilatiebelichting, teelperiode, hoe jong het gewas is, etc. Voor deze haalbaarheidsstudie is dit verwaarloosd en het gewasverbruik als constant verondersteld wat dus een lichte overschatting van de onttrekking geeft. Ook zal er in de praktijk niet meer onttrokken worden als het Gaasboxx-systeem leeg is. Dit wordt in de modellering niet meegenomen en dit geeft dus eveneens een lichte overschatting van de onttrekking.

### Instelperiode: 2 varianten

De instelperiode is de periode waarin hemelwater via het Gaasboxx systeem de ondergrond infiltreert, maar waarbij er geen gietwater voor de gewassen wordt onttrokken. Hoe langer de instelperiode, hoe langer er een zoetwater voorraad kan vormen. Rekening houdend met de door JES Products gewenste operationalisering van het systeem, in relatie met de levensduur van een kas, zijn de gevarieerde instelperiodes:

1. 1 jaar (1990);
2. 2 jaar (1990 en 1991).

De parameter instelperiode zal nagenoeg geen effect hebben op de berekende piekberging.

### Vastgestelde scenario's

In Tabel 1 staan de scenario's behorende bij de 5 gevarieerde parameters. Dit levert in totaal:  $3 \times 4 \times 2 \times 2 = 48$  scenario's (parameter grondwaterstand en Gaasboxx afmeting geven samen de factor 4). Deze zijn doorgerekend op dagbasis voor de periode 1989 t/m 1994, waarbij:

- 1989: slechts een numerieke inslingerperiode is;
- 1990 of 1990+1991: de instelperiode is om het systeem op te laden;
- 1991 t/m 1994 of 1992 t/m 1994: de periode is waarin het Gaasboxx systeem operationeel is.

Voor meer details over de gekozen numerieke parameters voor deze scenario's, zie Bijlage C.

Scenario	St. hoogte WVP [MNA]	Lithologie holoceen [-]	Gaasb. breedte [m]	Gaasboxx diepte [m]	Gewas verbruik [mm]	Instelperiode [jaar]
1	0	zand fijn - klei	3	1	1,5	1
2	0	zand fijn - klei	3	1	2,3	1
3	0	zand fijn - klei	3	1	1,5	2
4	0	zand fijn - klei	3	1	2,3	2
5	0	zand fijn - klei	5	1	1,5	1
6	0	zand fijn - klei	5	1	2,3	1
7	0	zand fijn - klei	5	1	1,5	2
8	0	zand fijn - klei	5	1	2,3	2
9	-0,4	zand fijn - klei	3	1,5	1,5	1
10	-0,4	zand fijn - klei	3	1,5	2,3	1
11	-0,4	zand fijn - klei	3	1,5	1,5	2
12	-0,4	zand fijn - klei	3	1,5	2,3	2
13	-0,4	zand fijn - klei	5	1,5	1,5	1
14	-0,4	zand fijn - klei	5	1,5	2,3	1
15	-0,4	zand fijn - klei	5	1,5	1,5	2
16	-0,4	zand fijn - klei	5	1,5	2,3	2

Scenario	St. hoogte WVP [MNA]	Lithologie holoceen [-]	Gaasb. breedte [m]	Gaasboxx diepte [m]	Gewas verbruik [mm]	Instelperiode [jaar]
17	0	zand fijn	3	1	1,5	1
18	0	zand fijn	3	1	2,3	1
19	0	zand fijn	3	1	1,5	2
20	0	zand fijn	3	1	2,3	2
21	0	zand fijn	5	1	1,5	1
22	0	zand fijn	5	1	2,3	1
23	0	zand fijn	5	1	1,5	2
24	0	zand fijn	5	1	2,3	2
25	-0,4	zand fijn	3	1,5	1,5	1
26	-0,4	zand fijn	3	1,5	2,3	1
27	-0,4	zand fijn	3	1,5	1,5	2
28	-0,4	zand fijn	3	1,5	2,3	2
29	-0,4	zand fijn	5	1,5	1,5	1
30	-0,4	zand fijn	5	1,5	2,3	1
31	-0,4	zand fijn	5	1,5	1,5	2
32	-0,4	zand fijn	5	1,5	2,3	2

Scenario	St. hoogte WVP [MNA]	Lithologie holoceen [-]	Gaasb. breedte [m]	Gaasboxx diepte [m]	Gewas verbruik [mm]	Instelperiode [jaar]
33	0	zand middel	3	1	1,5	1
34	0	zand middel	3	1	2,3	1
35	0	zand middel	3	1	1,5	2
36	0	zand middel	3	1	2,3	2
37	0	zand middel	5	1	1,5	1
38	0	zand middel	5	1	2,3	1
39	0	zand middel	5	1	1,5	2
40	0	zand middel	5	1	2,3	2
41	-0,4	zand middel	3	1,5	1,5	1
42	-0,4	zand middel	3	1,5	2,3	1
43	-0,4	zand middel	3	1,5	1,5	2
44	-0,4	zand middel	3	1,5	2,3	2
45	-0,4	zand middel	5	1,5	1,5	1
46	-0,4	zand middel	5	1,5	2,3	1
47	-0,4	zand middel	5	1,5	1,5	2
48	-0,4	zand middel	5	1,5	2,3	2

Tabel 1: Samengestelde scenario's voor de gevoeligheidsanalyse.

### 4.3 Gevoeligheidsanalyse piekberging

De berging die op een gegeven moment beschikbaar is in de Gaasboxx wordt bepaald door de actuele (grond)waterstand in de Gaasboxx. De vraag is in welke mate de effectiviteit voor piekberging wordt beïnvloed door de variatie in de grondwaterstand, en welke parameters hiervoor het meest gevoelig zijn. Om inzicht te krijgen in de effectiviteit van het Gaasboxx systeem ten behoeve van piekberging zijn in overleg met het Hoogheemraadschap van Delfland twee methoden bekeken. Soortgelijke methoden worden door het Hoogheemraadschap gebruikt om een eerste schatting te geven of innovatieve systemen geschikt zijn voor piekberging. In deze studie zijn de volgende twee methoden gebruikt, die hierna kort worden beschreven:

1. Effectiviteiten op basis van bovenstaande 48 scenarioberekeningen met de neerslagreeks op dagbasis, zoals beschreven in de notitie Fritz, 2009.
2. Effectiviteit op basis van leeglooptijd. Hiervoor zijn er 6 meest kansrijke scenario's geselecteerd: matig gewasverbruik 1.5 [mm] en Gaasbox breedte 5 [m] (scenario's 5, 13, 21, 29, 37 en 45). Hierbij wordt het "leeglopen" van een eenmalig volledig gevuld systeem gesimuleerd. Deze zes scenario's zijn gesimuleerd voor 3 weken (504 uur) met de neerslagpiek na 1 week die het volledige systeem vult. NB. De term leeglooptijd is niet geheel juist gekozen aangezien de Gaasboxx nooit volledig leeg kan lopen doordat er aangenomen is dat de Gaasboxx tot onder de grondwaterstand is ingegraven.

Naast bovenstaande scenario's is er ook geprobeerd inzicht te geven in de volgende vragen:

- Wat is het effect van het gewasverbruik (constante onttrekking) op de piekberging?
- Hoeveel extra berging levert infiltratie in de ondiepe ondergrond op?
- Wat is de extra berging ten opzichte van een gietwaterbassin?

#### Methode 1: Effectiviteit op basis van overschrijdingsduurlijn

Het idee is om van de waterstanden in de Gaasboxx een overschrijdingsduurlijn te construeren. Een overschrijdingsduurlijn is niet meer dan een frequentieverdeling waarbij de waterstanden worden gesorteerd van laag naar hoog. Vervolgens wordt de overschrijdingsduur onderverdeeld in 3 klassen met de waterstanden in het midden van deze klassen als representanten:

1. 0 - 1/3 representant 1/6 = 17% percentiel  $H_{17}$
2. 1/3 - 2/3; representant 3/6 = 50% percentiel  $H_{50}$  (mediaan)
3. 2/3 - 1; representant 5/6 = 83% percentiel  $H_{83}$

Vervolgens is er voor gekozen om klasse 1 kans 0 te geven; klasse 2 kans 1/3 en klasse 3 kans 2/3. Hierbij tellen hogere grondwaterstanden dus zwaarder mee. Voor de effectiviteit van de piekberging is dan waterstand

$$H_{pb} = 1/3 H_{50} + 2/3 H_{83} .$$

De effectiviteit van het Gaasboxx systeem wordt dan:

$$E_{gb,1} = (H_{mv} - H_{pb})/dH_{gb} = (H_{mv} - 1/3 H_{50} - 2/3 H_{83})/dH_{gb} , \quad (1)$$

waarbij

$H_{mv}$	= hoogte maaiveld	[mNAP]
$H_{50}$	= 50% percentiel onderschrijdingsduur waterstand	[mNAP]
$H_{83}$	= 83% percentiel onderschrijdingsduur waterstand	[mNAP]
$dH_{gb}$	= diepte Gaasboxx systeem	[m]

Hierbij zijn de volgende aannamen en randvoorwaarden relevant:

- Het Gaasboxx systeem is aanwezig over de volledige hoogte van het fluctuatietraject;
- Berging treedt alleen maar op in het Gaasboxx systeem; berging in de onverzadigde zone wordt verwaarloosd.
- Er wordt voldaan aan de eis dat de berging altijd binnen 2 dagen “leeg” is. Deze ledigingstijd geldt namelijk voor een snel reagerend systeem waarvan mag worden verwacht dat de kans op een hoge grondwaterstand aan het begin van een bui gering is.

Merk op dat de keuze van de Gaasboxx diepte als vast referentie niveau, gegeven dat de Gaasboxx onder de grondwaterstand wordt ingegraven, een reductie in bergingscapaciteit impliceert. Echter, deze keuze is consistentere dan de (onbekende) grondwaterstand aan te nemen als referentie niveau.

Om inzicht te krijgen in het effect van het gewasverbruik op de berging is formule (1) berekend voor zowel de instelperiode (geen onttrekking voor gewas) als de operationele periode. Verder is de lokale balans opgesteld rond de Gaasboxx om inzicht te krijgen in de infiltratie ( $Q_{\text{hemelwater}} - Q_{\text{gewas}} - Q_{\text{overstort}}$ ).

### **Methode 2: Effectiviteit op basis van leeglooptijd**

Een belangrijke voorwaarde van het Hoogheemraadschap van Delfland voor innovatieve piekberging is dat de berging na 2 dagen weer beschikbaar moet zijn. Voor de berekening van de piekberging wordt de waterstand in de Gaasboxx na 2 dagen genomen,

$$H_{pb} = H_{2d}$$

na een vol Gaasboxx systeem. De effectiviteit van de piekberging wordt dan berekend door

$$E_{gb,2} = (H_{mv} - H_{pb})/dH_{gb} = (H_{mv} - H_{2d})/dH_{gb}, \quad (2)$$

waarbij

$H_{mv}$	= hoogte maaiveld	[mNAP]
$H_{2d}$	= de waterstand na 2 dagen	[mNAP]
$dH_{gb}$	= diepte Gaasboxx systeem	[m]

Voor deze berekening zijn 6 scenario's op kwartierbasis (3 weken = 504 uur) gedraaid (5, 13, 21, 29, 37 en 45) waarbij een matig gewas verbruik is verondersteld en een Gaasboxx breedte van 5 [m]. Gedurende 2 uur is een neerslagpiek van in totaal 49 [mm] op het systeem gezet om het systeem vol te laten lopen, waarna de waterstand in de Gaasboxx langzaam afneemt door infiltratie.

Om inzicht te krijgen in het effect van het gewasverbruik op de berging is formule (2) berekend voor 6 scenario's met gewasverbruik en 6 scenario's zonder gewasverbruik. In totaal zijn er dus 12 scenario's doorgerekend.



De extra piekberging ten gevolge van de infiltratie wordt als volgt berekend:

$$B_{\text{extra}} = (H_{\text{mv}} - H_{2\text{d}} - dH_{\text{bassin}}) / dH_{\text{bassin}}$$

Met  $dH_{\text{bassin}}$  de daling van het water is van een Gaasboxx systeem zonder interactie met de ondergrond. Voor 1.5 [mm] onttrekking gedurende 2 dagen en 5 [m] Gaasboxx breedte is dit:

$$dH_{\text{bassin}} = (100 \cdot 2 \cdot 1.5 / 1000) / 5 = 6 \text{ [cm]}$$

## 4.4 Modelresultaten

### 4.4.1 Resultaten gietwateropslag

Figuur 16 t/m Figuur 19 in Bijlage D tonen voor 48 scenario's de verschillende parameters de berekende zoetwater volumes op 31-12-92, dus na 1 jaar dat het Gaasboxx operationeel is voor een instelperiode van 2 jaar, of na 2 jaar operationeel en een instelperiode van 1 jaar. Figuur 20 t/m Figuur 23 geven de volumes op 31-12-94. De volumes (zowel maximaal als het eind) zijn berekend door de oppervlakten van de rekencellen te tellen tot 50 [mg/l] chloride. Deze chloride concentratie is gekozen omdat er tot 50 [mg/l] geen schade optreedt bij gewassen. Verder geven de doorgetrokken lijnen de volumes weer aan het eind van de periode, en de stippellijnen de maximale volumes over de gehele periode.

Voor de effectiviteit van de gietwateropslag zijn de volgende drie klassen gekozen:

1. ongunstig;
2. minder gunstig;
3. mogelijk gunstig.

Uit de scenario berekeningen is de volgende klasse indeling geschat:

- “ongunstig” voor:
  - sterk kwellende gebieden
  - fijn zand met een 50% klei/veen of hoger
  - een instelperiode van 1 jaar of korter
- “minder gunstig” voor:
  - infiltrerende (of licht kwellende) gebieden
  - met een ondergrond bestaande uit zand middel of grover materiaal
  - een instel periode van 2 jaar of langer
  - gemiddeld gewasverbruik
- “mogelijk gunstig” voor:
  - infiltrerende (of licht kwellende) gebieden
  - met een ondergrond bestaande uit fijn zand of grover materiaal
  - een instelperiode van 2 jaar of langer
  - matig gewasverbruik

Figuur 24 toont de chloride verdelingen na 5 jaar (eind 1994) voor een aantal gunstige scenario's (13, 29 en 45). In deze scenario's is de Gaasboxx breedte 5 [m] en is het gewasverbruik matig. Figuur 25 laat de chloride verdelingen zien voor minder gunstige scenario's (5, 21 en 37), voor een Gaasboxx breedte 3 [m] en een gemiddeld gewasverbruik. Wat opvalt, is dat er bij de modelranden randeffecten optreden door de gekozen zijrandvoorwaarden en deze dienen dan ook buiten beschouwing te worden gelaten.

Wat verder uit deze figuren opvalt, is de upconing van zout water voor een gemiddeld gewas verbruik. Dit komt hoogstwaarschijnlijk doordat er op jaarbasis een tekort is van circa 40 [mm]. Dit is ook duidelijk terug te zien aan figuren met gietwater volumes, bijvoorbeeld Figuur 20 rechts onderin, waar de doorgetrokken en gestippelde lijnen uit elkaar gaan lopen bij een toename in gewasverbruik van matig verbruik naar gemiddeld verbruik. Dit betekent dat het gietwatervolume afneemt door een watertekort. Echter, de reden dat dit toch als “minder gunstig” wordt geclassificeerd en niet als “ongunstig” is door de lange oplaadtijd. Als deze parameters buiten beschouwing zou worden gelaten en puur naar het criterium zou worden gekeken dat er niet meer verbruikt mag worden dan dat er aan hemelwater beschikbaar is, dan zouden alle scenario's met een gemiddeld gewasverbruik ook als “ongunstig” geclassificeerd kunnen worden.

Een andere observatie is dat de Gaasboxx breedte de effectiviteit van het systeem vergroot in kleiige gebieden. Dit is bijvoorbeeld duidelijk te zien in Figuur 20. Hoe zandiger, hoe minder de Gaasboxx-breedte van belang lijkt.

### Ruimtelijke vertaling

Om de modelresultaten op een eenvoudige wijze te vertalen naar een ruimtelijk beeld is uitgegaan van het eerder beschreven DSM deklaagmodel en de voor provincie Zuid-Holland vervaardigde kwel-infiltratie model. Ten eerste is een kaart van de ondergrond gemaakt waarin een drietal klassen onderscheiden is op basis van de volgende criteria (zie Figuur 29):

- “ongunstig”: ondergrond voor > 50% bestaande uit klei en/of veen (dus < 50% zand)
- “minder gunstig”: ondergrond tot 50% bestaande uit klei en/of veen (dus 50% - 100% bestaande uit zand)
- “mogelijk gunstig”: ondergrond voor 100% bestaande uit zand

Vervolgens is op basis van de kwel/infiltratie kaart (Figuur 10) de volgende klassering gemaakt (zie Figuur 31):

- “ongunstig”: sterke kwel (> 0,04mm)
- “gunstig”: lichte kwel of infiltratie (< 0,04 mm)

Door de bovengenoemde kaarten over elkaar heen te leggen ontstaat een kanskaart (Figuur 31) op waarvoor geldt:

- “ongunstig”: ondergrond en kwel zijn ongunstig ( > 50% klei en/of veen & kwel > 0,04mm)
- “minder gunstig”: ondergrond is minder gunstig en kwel mogelijk gunstig (tot 50% klei en/of veen & kwel < 0,04mm)
- “mogelijk gunstig”: ondergrond en kwel zijn mogelijk gunstig (100% zand & kwel < 0,04mm)

Wat hierin opvalt, is dat praktisch nergens in het kassengebied van het Westland gietwateropslag mogelijk gunstig is. Overwegend is het beeld ongunstig en gaat richting minder gunstig naarmate men meer naar het Noorden of Westen van het kassengebied gaat. In absolute oppervlaktes komt dit overeen met een oppervlak van 50,2 km<sup>2</sup>, dat ongunstig is voor gietwateropslag. 29,1 km<sup>2</sup> valt van de gemeente valt als minder gunstig te kenmerken. Hiervan valt 16,5 km<sup>2</sup> in het kassengebied. Tot slot is 1,8 km<sup>2</sup> van het oppervlak van de gemeente mogelijk gunstig voor gietwateropslag, echter slechts een verwaarloosbaar oppervlak valt ook in een kassengebied (< 0,1 km<sup>2</sup>).

#### 4.4.2 Resultaten piekberging

Ter beoordeling van de effectiviteit van het Gaasboxx systeem voor piekberging zijn de volgende vier klassen genomen:

1. 0 – 25%: niet effectief ;
2. 25 – 50%: matig effectief;
3. 50 – 75%: redelijk effectief;
4. 75 – 100%: meest effectief;

Uit de berekeningen valt voor de verschillende ondergrond typen het volgende af te leiden:

##### Methode 1 (duurlijnen):

- *50% zand fijn + 50% klei:*
  - “niet effectief”: geen of matig gewasverbruik
  - “matig effectief”: gemiddeld gewasverbruik én infiltrerend gebied
  - “redelijk effectief”: geen enkel scenario
  - “meest effectief”: geen enkel scenario
- *zand fijn:*
  - “niet effectief”:
    - geen gewasverbruik
    - matig gewasverbruik én kwellend gebied
  - “matig effectief”:
    - gemiddeld gewasverbruik én kwellend gebied
    - matig gewasverbruik én infiltrerend gebied
  - “redelijk effectief”: geen enkel scenario
  - “meest effectief”: geen enkel scenario
- *zand middel:*
  - “niet effectief”: geen enkel scenario
  - “matig effectief”: geen gewasverbruik én kwellend gebied
  - “redelijk effectief”:
    - geen gewasverbruik én infiltrerend gebied
    - matig of gemiddeld gewasverbruik
  - “meest effectief”: geen enkel scenario

##### Methode 2 (waterstand na 2 dagen)

- *50% zand fijn + 50% klei:* “niet effectief”
- *zand fijn:* “niet effectief”
- *zand middel:* “matig effectief”

Wat opvalt, is dat geen enkel scenario tot de klasse “meest effectief” behoort. De conclusie is dat zand middel redelijk effectief kan zijn en zand fijn – klei en zand fijn matig/niet effectief zijn. Eigenlijk neigen beiden naar niet effectief, aangezien er een grote afhankelijkheid in de beschikbare berging is met het gewasverbruik. Dit kan oplopen tot bijna een factor 10 meer berging ten gevolge van de onttrekking voor zand fijn + klei. Dit maakt het Gaasboxx systeem minder robuust voor piekberging, aangezien er periodes zijn waarin de kweker niet zal onttrekken.

Op basis van de berekende onderschrijdingsduurlijnen (zie Figuur 26 t/m Figuur 28) kan men afleiden dat voor zand fijn + klei de Gaasboxx in circa 15% van de gevallen helemaal gevuld

is; voor zand fijn circa 10% en zand middel praktisch nooit. Hierdoor moet voor zand fijn + klei en zand fijn de tweede methode, op basis van leeglooptijd, zwaarder meetellen dan de eerste methode.

Ook de modelresultaten voor de piekberging zijn ruimtelijk vertaald op basis van dezelfde gegevens als voor de gietwateropslag. Op basis van de modelresultaten blijkt echter dat een kleiner deel van het oppervlak kansen zou kunnen bieden. In Figuur 32 is te zien dat in de gemeente Westland vrijwel geen gebied anders dan "niet effectief" voor piekberging te kenschetsen is. Slechts 1,8 km<sup>2</sup> zou matig effectief kunnen zijn. Van dit deel valt 0,1 km<sup>2</sup> in het kassengebied.

Andere observaties zijn:

- Het Gaasboxx systeem is in het algemeen een traag reagerend systeem, waarbij de leeglooptijd verkort naarmate de deklaag zandiger wordt.
- Hoe kleiiger de deklaag, hoe meer de breedte van de Gaasboxx de piekberging vergroot. Vergroten van het Gaasboxx systeem lijkt de pieken van de stijghoogten meer te dempen.
- Hoe kleiiger de deklaag, hoe meer de onttrekking de piekberging lijkt te vergroten. Dit komt doordat de drukopbouw ten gevolge van de onttrekking toeneemt.
- Hoe kleiiger de deklaag, hoe meer een diepe grondwaterstand de piekberging vergroot. Bij een slecht infiltrerende ondergrond is er een groter stijghoogte verschil nodig om te kunnen infiltreren.
- Infiltratie in de ondiepe ondergrond kan in het meest gunstige geval aanzienlijk meer piekberging opleveren vergeleken met gietwaterbassins.
- Gemiddeld gewas verbruik van 2.3 mm reduceert de gemiddelde infiltratie tot praktisch 0 of negatief.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### Conclusies op basis van beschikbare data

Een algemene conclusie met betrekking tot de beschikbare data is dat er een zeer groot gebrek is aan actuele stijghoogten en chloride metingen in het Westland. Hierdoor kon de werkelijke kwel/infiltratie in het Westland gebied niet goed worden geschat en moest er worden teruggegrepen op resultaten van regionale computermodellen die voor het Westland gebied een beperkte nauwkeurigheid hebben. Zodoende was in deze studie validatie van de gebruikte 2D profielmodellen niet mogelijk.

Op basis van bestudering van ondergrondgegevens kan geconcludeerd worden dat de samenstelling van de ondergrond zeer variabel is. Daarmee wordt het noodzakelijk nader onderzoek te doen om op gewenste locaties zekerheid te krijgen over de exacte samenstelling van de ondergrond. De in deze rapportage gepresenteerde gegevens zijn weliswaar gebaseerd op boorgegevens, maar zijn daar slechts een afgeleide van. Hiermee is dus slechts een goed beeld van de verwachte samenstelling te verkrijgen, echter niet van de exacte samenstelling.

Op basis van de kaarten is af te leiden dat de ondergrond steeds zandiger wordt, naarmate men dichter bij zee komt. De verhouding zand-klei is in grote delen van het gebied evenwel zodanig dat deze niet als uitgesproken zandig kan worden beschreven en daarmee veelal niet geschikt lijkt te zijn voor de opslag van gietwater noch de berging van piekwater.

### Conclusies op basis van modelresultaten

- In het Westland lijkt het Gaasboxx systeem voor gietwateropslag mogelijk gunstig voor kleine, zandige, gedeelten van het kassengebied, richting kust, waar gewassen worden geteeld met een betrekkelijk laag waterverbruik. Gezien de heterogeniteit van de deklaag is de werking van het systeem sterk afhankelijk van de lokaal geldende omstandigheden.
- In het Westland lijkt het Gaasboxx systeem slecht tot niet geschikt te zijn voor piekberging. De trage infiltratie van hemelwater in de deklaag lijkt hiervan de grootste oorzaak te zijn. Alleen voor kleine, zandige gedeelten van het kassengebied, richting kust, kan piekberging redelijk effectief zijn. Echter, dat het Gaasboxx systeem niet of matig effectief is voor piekberging kan enigszins worden genuanceerd. Het systeem levert weldegelijk een bijdrage aan de piekberging. Afhankelijk van de ondergrond, de geohydrologische situatie (kwel/infiltratie) en de uitvoeringswijze (ingegraven onder de grondwaterspiegel of geheel daarboven) is die bijdrage groter of kleiner. In Delfland zijn de omstandigheden zodanig dat de bijdrage aan piekberging van een systeem waarmee ook gietwater wordt opgeslagen naar verwachting gering is.
- Gegeven bovenstaande conclusies valt te concluderen dat de toepassingsmogelijkheden van het Gaasboxx-systeem in het Westland vrijwel nihil zijn, behoudens enkele zeer lokale plekken en dan alleen nog maar voor gietwateropslag. Het behalen van beide doelstellingen tegelijkertijd blijkt in het Westland op basis van voorliggende resultaten niet mogelijk. Eisen als 'voldoende water voor de tuinder' versus 'de bergingsruimte moet beschikbaar zijn' blijken in het Westland niet voldoende verenigbaar.
- In zandige gebieden buiten het Westland waar zich wel gunstige omstandigheden voordoen (denk met name aan de zuidelijke en oostelijke provincies) zou de methode mogelijk wel toepasbaar kunnen zijn.

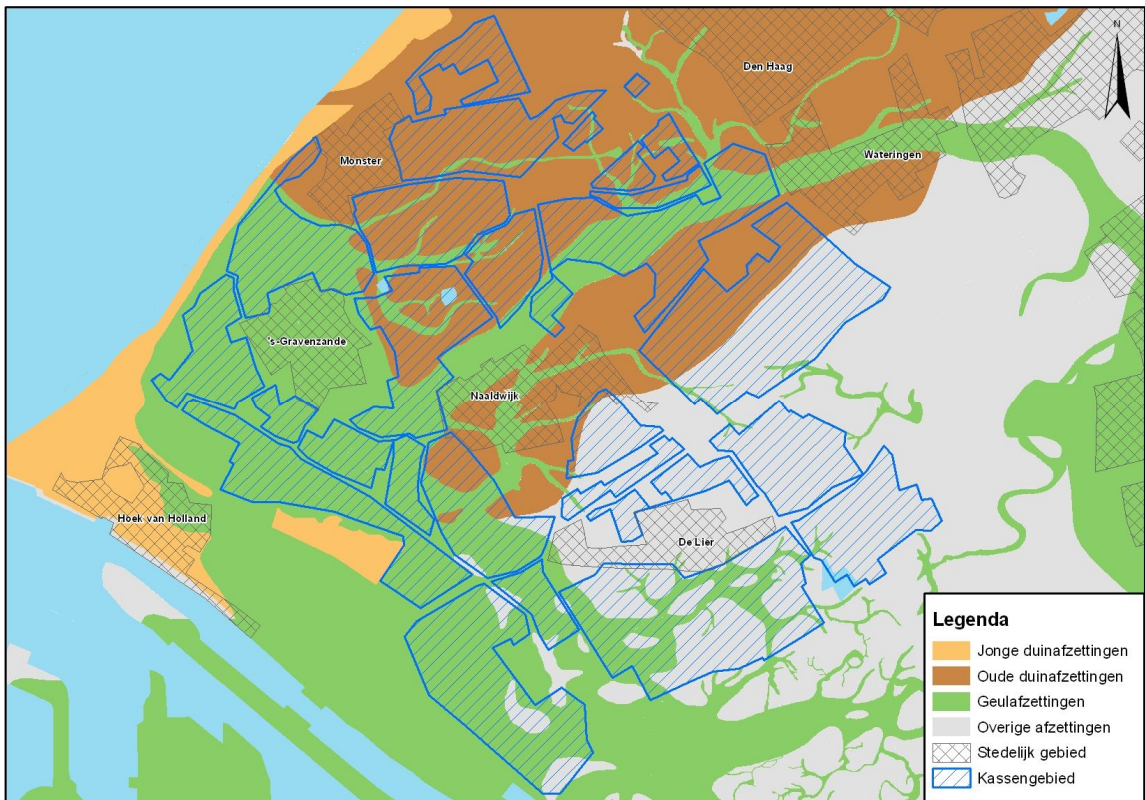
### Aanbevelingen

- Bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op de gehanteerde methode in dit onderzoek. Enkele belangrijke aannames die hierin zijn genomen zijn constante onttrekking van de tuinder en een inschatting van de effectiviteit voor piekberging op basis van de voorkomende waterstanden in de Gaasboxx. In een vervolgetraject verdient het aanbeveling om deze aspecten nader uit te werken door de effectiviteit voor piekberging door middel van een modelstudie meer kwantitatief te onderbouwen.
- Doordat uit bovenstaande conclusies volgt dat het Gaasboxx systeem het meest gunstig lijkt voor zandige gebieden richting kust, is het aan te bevelen om in een vervolgetraject meer te richten op dit specifieke gebied van het Westland. Hierbij dienen zoet-zout effecten beter meegenomen te worden.
- Indien lokaal tot implementatie wordt overgegaan verdient het aanbeveling een aantal aspecten die in deze verkenning nog niet zijn meegenomen alsnog te onderzoeken. Dit betreft onder meer: het effect van de aanwezigheid van buisdrainage en het creëren van overdruk om de infiltratie te versnellen. Daarnaast kunnen aspecten als waterkwaliteit in relatie tot snelheid en effectiviteit van een voorzuivering nader worden uitgewerkt in een nadere verkenning.
- Uit het onderzoek komt wel naar voren dat piekberging in de ondergrond onder specifieke omstandigheden mogelijkheden biedt. Hiernaar kan nader onderzoek worden gedaan.
- Onderzoeken van de mogelijkheden voor het doen van technische aanpassing aan ondergrond (infiltratie buizen die het systeem met (diepere) zandlagen verbinden)
- Kleinschalige praktijktest om onderzoeksresultaten te verifiëren.
- Naast voorliggende onderzoeksvragen in dit rapport zijn nog enkele andere vragen van belang, die niet in dit onderzoek zijn uitgezet. Voor een totaalbeeld moet ook inzicht worden gekregen in waterkwaliteitsaspecten, financiële haalbaarheid, etc.
- Aanbevolen wordt de resultaten van deze studie te publiceren zodat de ontwikkelde kennis gedeeld kan worden met andere overheden buiten het Westlandse.

## 6 Referenties

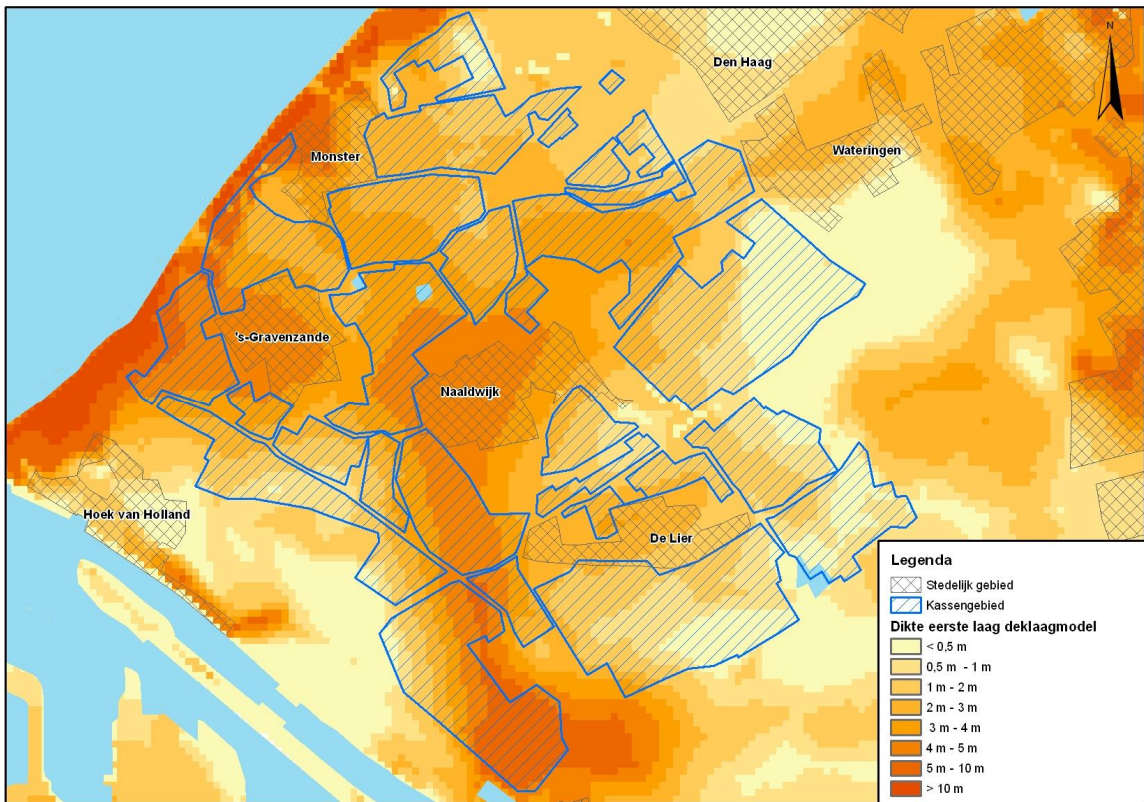
- **Bakker, M., G.H.P. Oude Essink en C. Langevin (2004).** The rotating movement of three immiscible fluids, *J. of Hydrology* 287, 270-278.
- **Besluit Glastuinbouw (2002).** Besluit van 21 februari 2002, houdende regels voor glastuinbouwbedrijven en voor bepaalde akkerbouwbedrijven (Besluit glastuinbouw).
- **Fritz, J.B. (2009).** Voorstel beoordeling effectiviteit Gaasboxx. Hoogheemraadschap van Delfland, notitie, 30 maart 2009.
- **Gehrels, H. en anderen (2007).** Kansrijke scenario's Waalblok. TNO-rapport 2007-U-R1090/B.
- **Hoogheemraadschap van Delfland (2005).** Beleidsnota normering wateroverlast: Resultaten NBW wateroverlast en uitgangspunten ABC-bergingsnormen.
- **Konikow, L.F., D.J. Goode en G.Z. Hornberger (1996).** A three-dimensional method-of-characteristics solute-transport model (MOC3D); U.S.G.S. Water-Resources Investigations Report 96-4267, 87 pp.
- **McDonald, M.G. en A.W. Harbaugh (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., M.J.M. Kuiper, G.H.P. Oude Essink, C. Maas (2004).** Bepaling 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. (2000).** Zoutwaterintrusie in het grondwatersysteem van de Kop van Noord-Holland, Een toepassing van de driedimensionale computer code MOCDENS3D, *Stromingen*, 6(3), 9-21.
- **Roelofsen, F.J., G.H.P. Oude Essink en R.J. Stuurman (2005).** Haalbaarheidstudie naar gietwateropslag in de ondergrond: een studie op basis van systeemrendementen. TNO-rapport NITG 05-168-A.
- **Roelofsen, F.J., N. Goorden en anderen (2008).** Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht): Onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft – Technisch rapport. Deltares rapport 2008-U-R1084/A.
- **Santing, G. (1980).** Een probleem bij de stroming van zoet en zout grondwater: de correcties op de stijghoogten, *H<sub>2</sub>O* 13(22): 544-548.
- **Vernes, R.W. en Th.H.M. van Doorn (2005).** Van Gidslaag naar Hydrogeologische Eenheid Toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. TNO rapport NITG 05-038-B. TNO, Utrecht, 69 pagina's + bijlagen.
- **Vugt, A, van, G.H.P. Oude Essink en A. Biesheuvel (2003).** Modelleren van het zoet-zout grondwatersysteem op Texel, *Stromingen*, 9(1), 33-46.

## A Figuren basisdata ondergrond

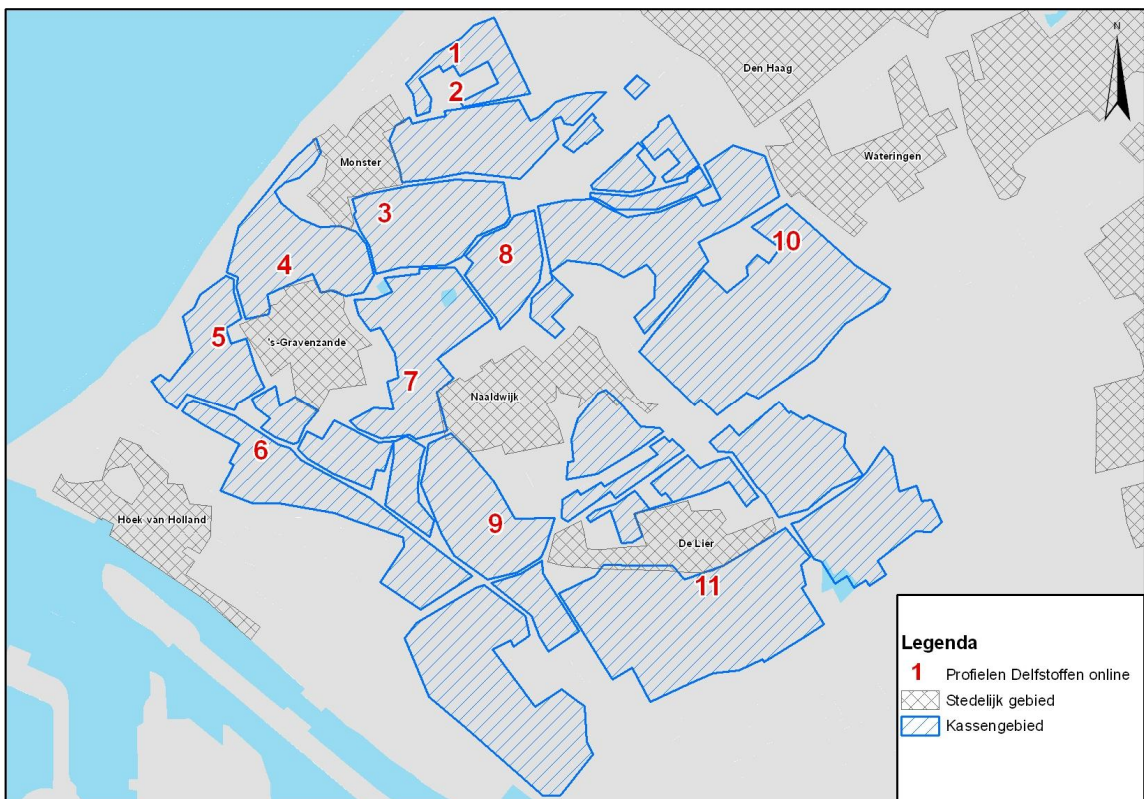


Figuur 3: Verbreiding van relatief zandige afzettingen in de ondergrond.

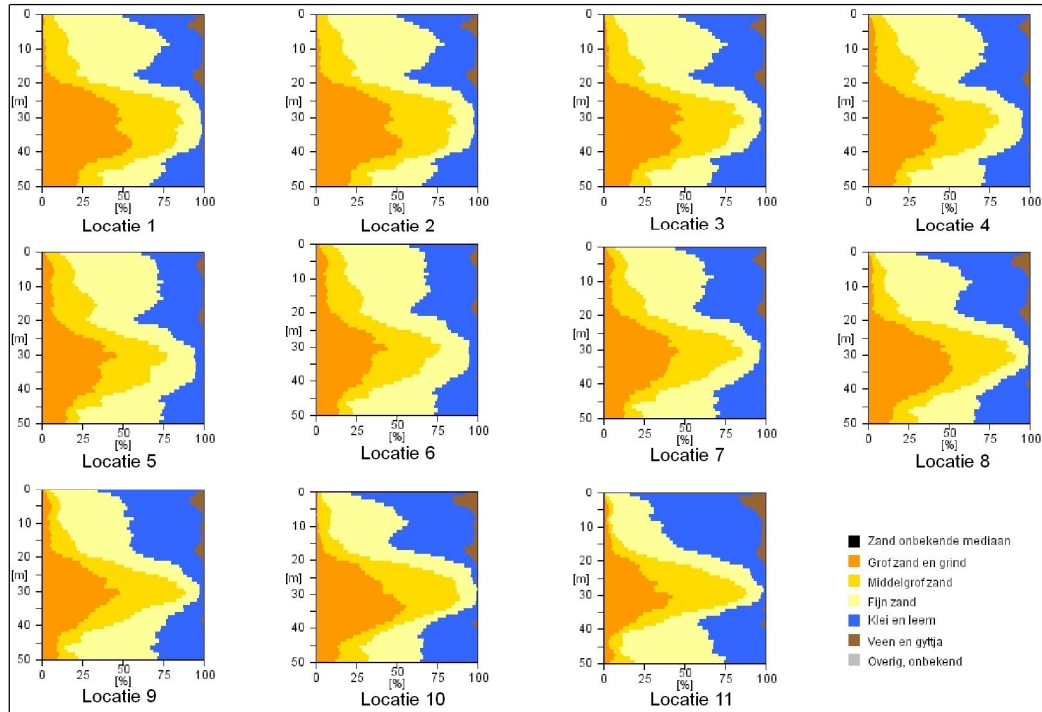




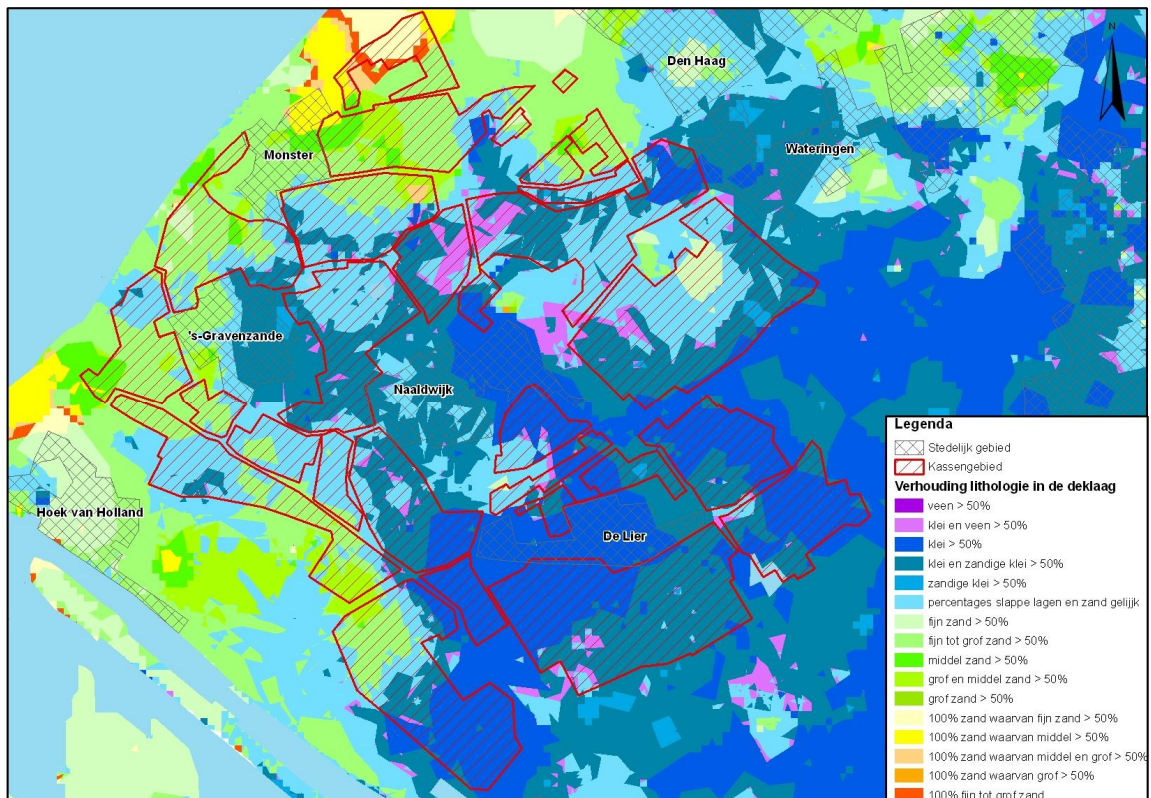
Figuur 3b: Dikte van de bovenste kleiige tot zandige laag uit het deklaagmodel.



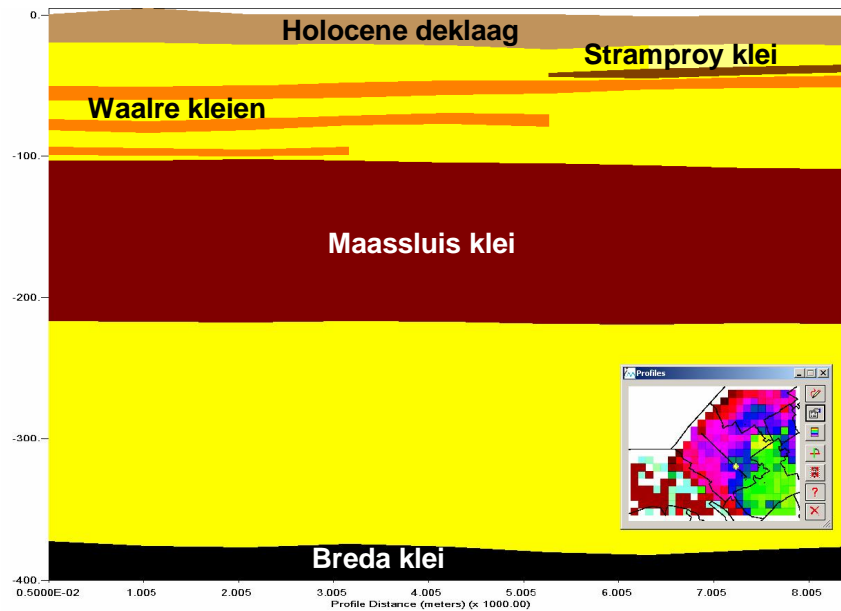
Figuur 4: Locaties waarop bodemsamenstellingen zijn bepaald.



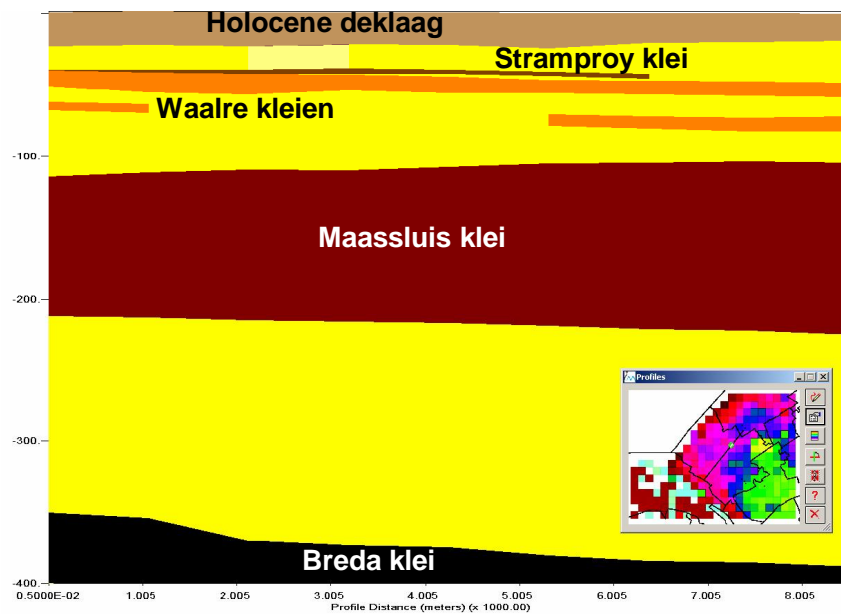
Figuur 5: Diagrammen met de bodemsamenstelling.



Figuur 6: Ruimtelijke verspreiding van verhoudingen tussen grondsoorten in deklaag.



Figuur 7: Bodemopbouw in een NW-ZO profiel voor het Westland, met de belangrijkste kleilagen aangegeven.  
Bron: REGIS II.0.



Figuur 8: Bodemopbouw in een ZW-NO profiel voor het Westland, met de belangrijkste kleilagen aangegeven.  
Bron: REGIS II.0.

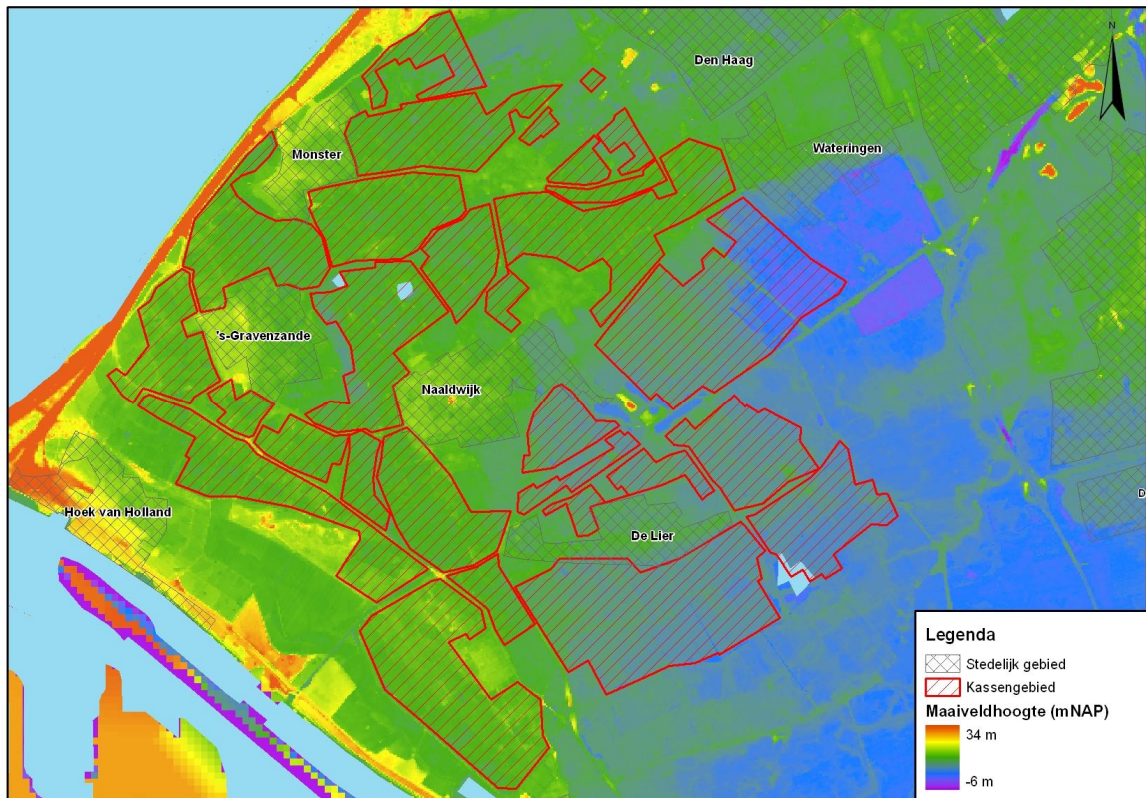
Sediment	C_min	c_avg	c_max	kh_min	kh_avg	kh_max
Klei	45.66	294.12	15220.7	0.000066	0.0034	0.0219
Veen	3.13	20.41	1562.5	0.00064	0.049	0.32
Anders	0.03	0.18	1883.24	0.0007	8.1	45.1
Zandige klei	3.32	24.39	15220.7	0.000066	0.041	0.301
Zand fijn	0.27	1.54	13698.63	0.0001	0.9	5.4
Zand middel	0.03	0.18	1883.24	0.0007	8.1	45.1
Zand grof	0.03	0.06	0.14	10	24.2	50

Tabel 2: Ondergrond doorlatendheden en spreiding (weerstand c in [d/m], doorlatendheid  $k_h$  in [m/d]) voor verschillende sediment types. Bron: REGIS en ontleend aan het technisch rapport voor het DSM Delft model, (Roelofsen *et al*, 2005, Tabel 3.3 pagina 33).

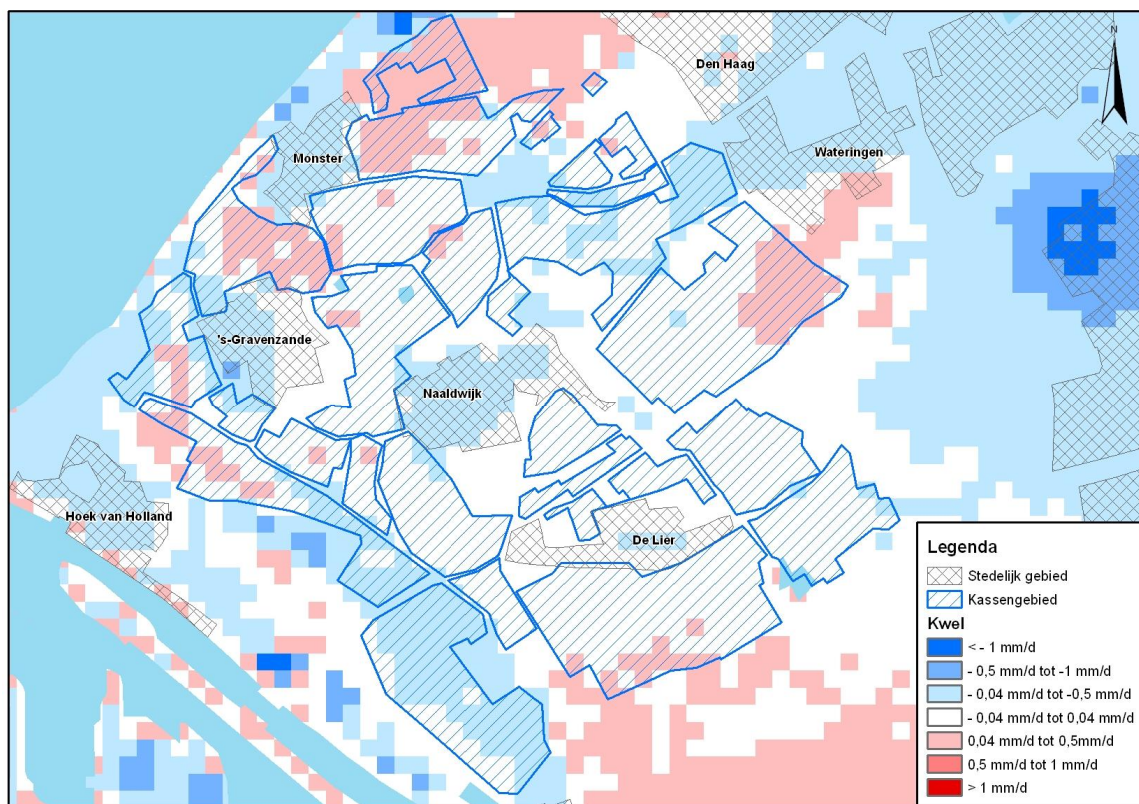
Ervarings-tabel Grondsoort versus Doorlaatfactor/Bergingscoëfficiënt												
	Bodemtype	K-hor	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-80	80-100	100-120	120-150	>150
1	veen, moerige grond	0.50	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0400	0.0500	0.0700	0.0900	0.1000	0.1300
2	grind	150.00	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1300	0.1600	0.1800	0.1900	0.2100	0.2200
3	grof zand	50.00	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1300	0.1600	0.1800	0.1900	0.2100	0.2200
4	leemarm/zwak lemig fijn zand	8.00	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400	0.0500	0.0800	0.1000	0.1200	0.1400	0.1700
5	lemig fijn zand	4.00	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0400	0.0500	0.0700	0.0800	0.0900	0.1100
6	lemig zand	4.00	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0400	0.0500	0.0700	0.0800	0.0900	0.1100
7	lichte zandleem (België)	2.00	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0400	0.0500	0.0700	0.0800	0.0900	0.1100
8	leem	0.80	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
9	klei	0.20	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0300	0.0400	0.0400	0.0500
10	kalksteen	2.50	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
11	grof zand,oud bouwland	35.00	0.1200	0.1200	0.1200	0.1200	0.1300	0.1600	0.1800	0.1900	0.2100	0.2200
12	leemarm fijn zand,oud bouwland	5.00	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400	0.0500	0.0800	0.1000	0.1200	0.1400	0.1700
13	lemig fijn zand,oud bouwland	3.00	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0400	0.0500	0.0700	0.0800	0.0900	0.1100

Tabel 3: Interne werktabel van Deltares Bodem- en Grondwatersystemen met schatting van freatische bergingscoëfficiënten voor verschillende sediment typen (verticaal) en grondwaterstanden (horizontaal; [cm-mv]).

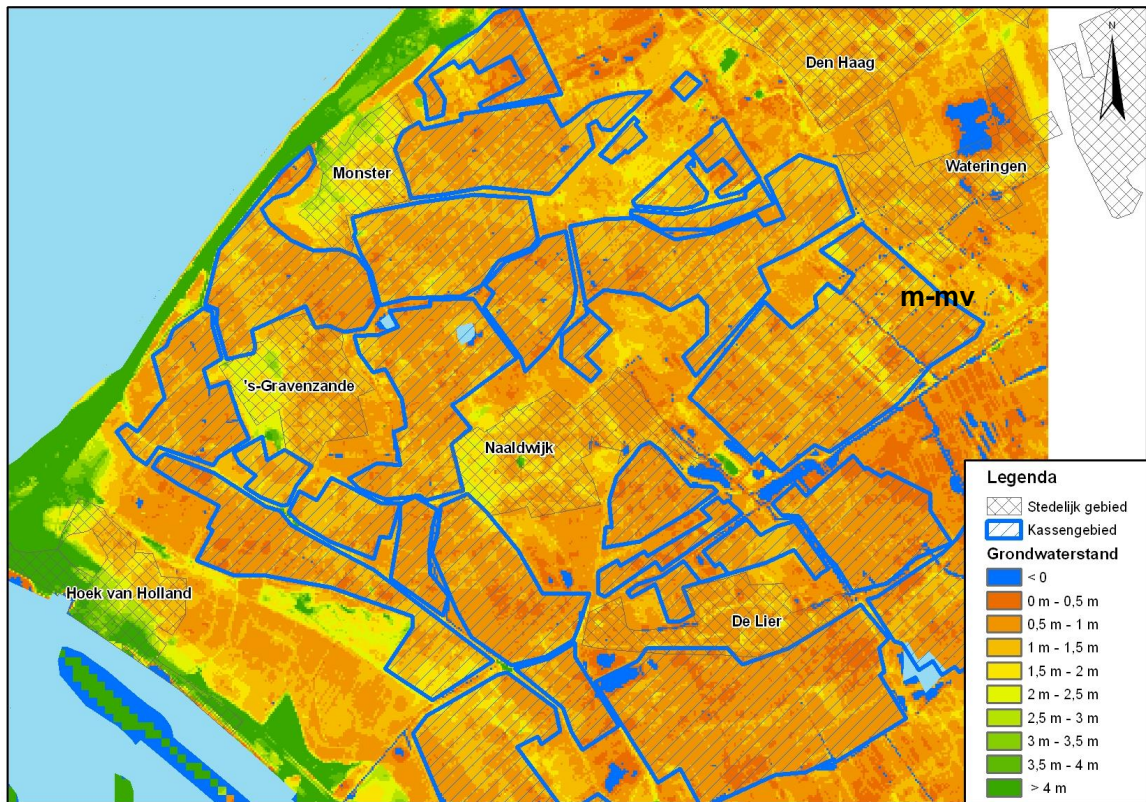
## B Figuren overige basisdata en modelinvoer



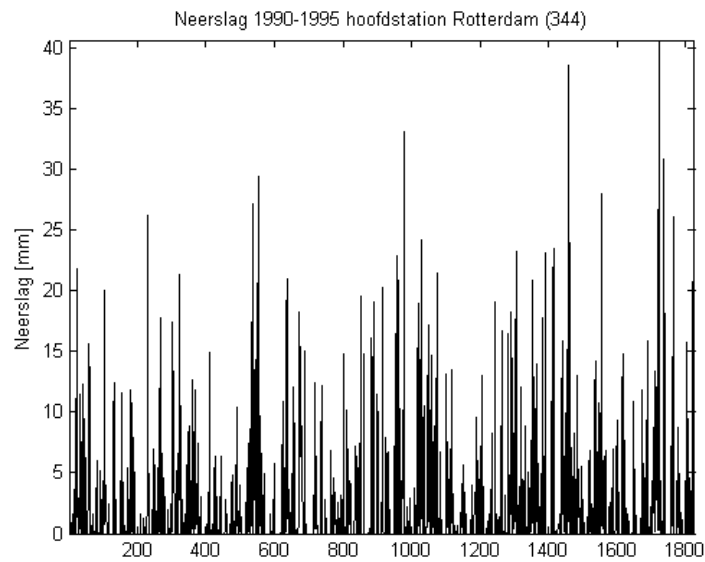
Figuur 9: (Gefilterd) maaiveld in [mNAP]. Bron: Algemeen Hoogtebestand Nederland.



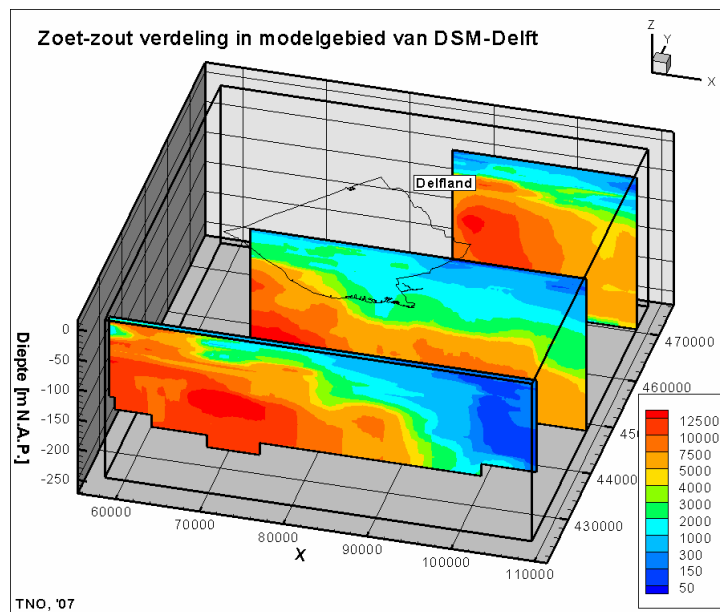
Figuur 10: Kwel en infiltratie naar de deklaag. Blauw: infiltratie; rood: kwel; wit: lichte kwel en infiltratie. Bron: Provincie Zuid-Holland model (interne Deltares run 22).



Figuur 11: Grondwaterstand in [m-mv]. Bron: DSM Delft model, berekening stationair model, run 25\_t096.



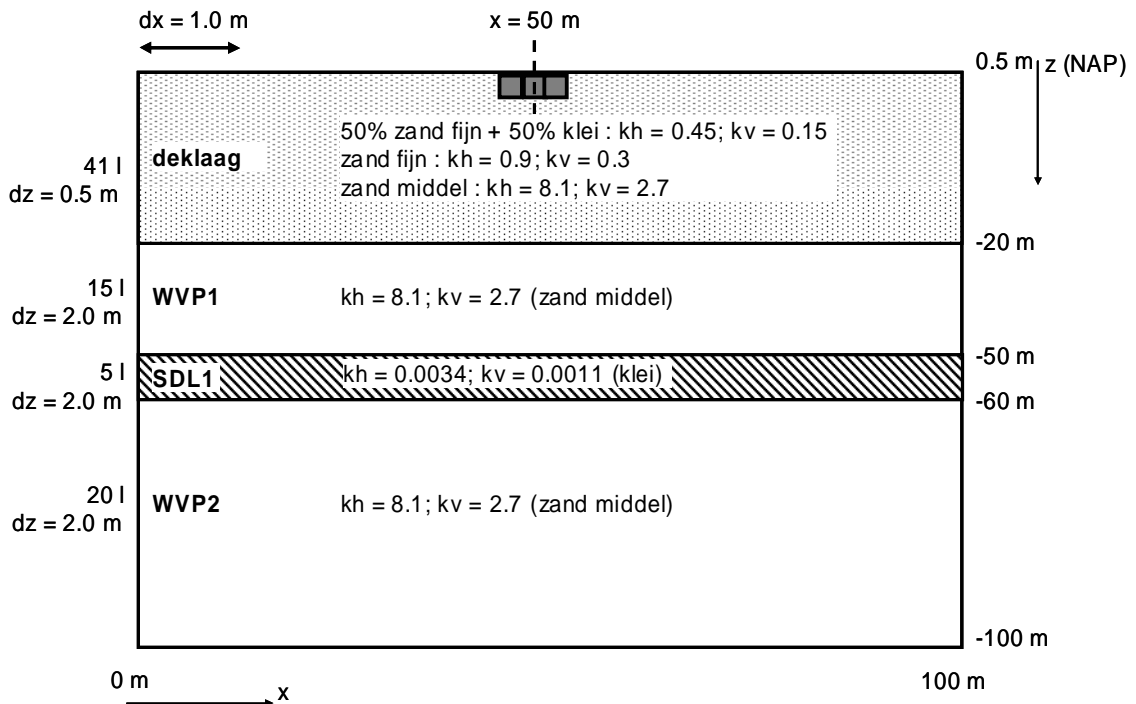
Figuur 12: Neerslagreeks KNMI meteorostation Rotterdam (344) voor 1990-1995.



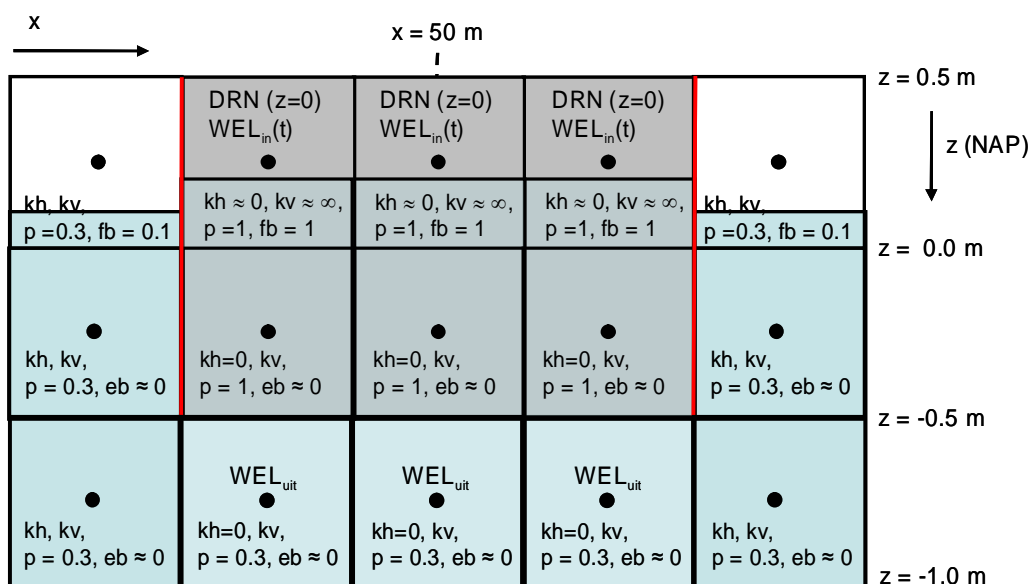
Figuur 13: Chloride verdeling van het grondwater in [mg/l] voor het Delfland gebied.



### C Modelparameters



Figuur 14: Schematisatie en parametrisatie van de ondergrond. Genoemde doorlatendheden  $k_h$  en  $k_v$  zijn in [m/d].



Figuur 15: Implementatie Gaasboxx systeem als randvoorwaarde in MOCDENS3D voor een Gaasboxx systeem van 3 [m] breed en 1 [m] diep.  $k_h$  en  $k_v$  zijn respectievelijk horizontale en verticale doorlatendheden [m/d].  $p$  = porositeit [-],  $p_b$  = freatische bergingscoëfficiënt [-],  $p_e$  = elastische bergingscoëfficiënt, DRN(z=0): drains op z=0; WEL<sub>in</sub>(t): infiltrerend hemelwater; WEL<sub>out</sub>: constante onttrekking.

### Gebruikte modelcode

De chloride gehalten van het grondwater zijn dusdanig hoog dat de significante verschillen in dichtheid effect hebben op de stroming van het grondwater. Om de grondwaterstroming juist te simuleren is daarom rekening gehouden met deze dichtheidsverschillen. In elke cel wordt een chloridengehalte ingevoerd. De dichtheid is berekend uit het chloridengehalte met behulp van de volgende formule:

$$\rho(C) = \rho_f \left( 1 + \alpha \frac{C}{C_s} \right)$$

waarin:

- $\rho(C)$  = dichtheid van het grondwater (kg/m<sup>3</sup>);
- $\rho_f$  = referentiedichtheid, hier gesteld op 1000 kg/m<sup>3</sup>;
- $\rho_s$  = dichtheid van zout water (kg / m<sup>3</sup>), hier gesteld op 1025 kg/m<sup>3</sup>;
- $\alpha$  =  $(\rho_s - \rho_f) / \rho_f$  = relatieve dichtheidverschil (-);
- $C$  = chloride concentratie van het water (mg Cl<sup>-</sup> / l);
- $C_s$  = referentie chloride concentratie water (mg Cl<sup>-</sup>/l), gesteld op 18630 mg Cl<sup>-</sup>/l.

De softwarecode die gebruikt is voor dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming is MOCDENS3D (Oude Essink, 1998, 2000; Vugt *et al.*, 2003, Bakker *et al.*, 2004). MOCDENS3D is gebaseerd op de volgende twee codes, die volledig zijn geïntegreerd: 1. MODFLOW (McDonald en Harbaugh, 1988) voor dichtheidafhankelijke grondwaterstroming, en 2. MOC3D (Konikow *et al.*, 1996) voor de verplaatsing van zoet, brak en zout grondwater.

Met het berekende zoetwaterstijghoogte-patroon (zie kader 'Zoetwaterstijghoogte') wordt de snelheidsverdeling berekend, die vervolgens wordt gebruikt in de MOC3D-module om de verandering in de dichtheid (en daarmee het chloride concentratie) te simuleren. De twee modules zijn aan elkaar 'gekoppeld' met behulp van een evenwichtsvergelijking die de relatie legt tussen stofconcentratie en dichtheid. Met MOCDENS3D wordt de verplaatsing van zoet, brak en zout grondwater in het poreuze medium berekend.

De gebruikte rekencode MOCDENS3D is voornamelijk geschikt om chloride transport van verzadigd grondwater te simuleren over langere periodes (grote tijdschalen). De onverzadigde zone en het oppervlaktewater kunnen met deze code (nog) niet gedetailleerd worden meegenomen. Hiervoor dienen aparte codes zoals Capsim/MetaSWAP (onverzadigde zone, Alterra) en SOBEK (oppervlaktewater, Deltares) aangewend te worden.

#### **Zoetwaterstijghoogte**

*De zogenaamde equivalente zoetwaterstijghoogte is eigenlijk een fictieve parameter zonder fysische betekenis. Om te kunnen rekenen met grondwater met verschillende dichtheden, zoals dat voorkomt in het Nederlandse kustgebied, moet je eigenlijk alles omrekenen naar drukken. De meeste hydro(geo)logen vinden het werken met stijghoogte echter prettiger. Daarom worden alle gemeten stijghoogten gecorrigeerd voor de dichtheid. Opgeloste stoffen in het grondwater verhogen de druk. Dit resulteert in een omrekening naar fictieve zoetwaterstijghoogten. De correcties kunnen significant zijn: een filterbuis gevuld met 20 m zout grondwater heeft een equivalente zoetwaterstijghoogte van 20.5 m: een verschil van 0.5m (bijv. Santing, 1980.)*

### Discretisatie

Voor de horizontaal zijn cellen genomen van 1 m breed; voor de verticaal de eerste 20.5 m cellen van 0.5 m hoog en de laatste 80 m cellen van 2 m hoog. In totaal heeft het profiel een afmeting van 100.5 x 100 m (81 lagen en 100 kolommen).

### Porositeit en berging

Voor de effectieve porositeit wordt voor de ondergrond een uniforme waarde van 0.3 genomen. Ter plekke van Gaasboxx is een porositeit van 1 genomen. De freatische bergingscoëfficiënt wordt voor de eerste modellaag geschat op 0.1, aan de hand van werktabel Tabel 3. Voor de overige modellagen wordt een te verwaarlozen elastische bergingscoëfficiënt verondersteld.

### Zoet/zout

Voor het chloride transport zijn de volgende modelparameters gehanteerd:

- longitudinale dispersiviteit:  $\alpha_L=1m$ ;  $\alpha_{TH}=\alpha_{TV}=\text{transversale disp.}=1/10*\alpha_L$ ;
- moleculaire diffusie:  $D_{mol}=8.64*10^{-5} m^2/\text{dag}$ ;
- 36 deeltjes per cel om advectief transport te berekenen.

Tevens zijn de stijghoogten op de modelzijranden gecorrigeerd naar zoetwater stijghoogten, rekening houdend met het verhang van de scheidende laag.

### Modelleringsconcept Gaasboxx systeem

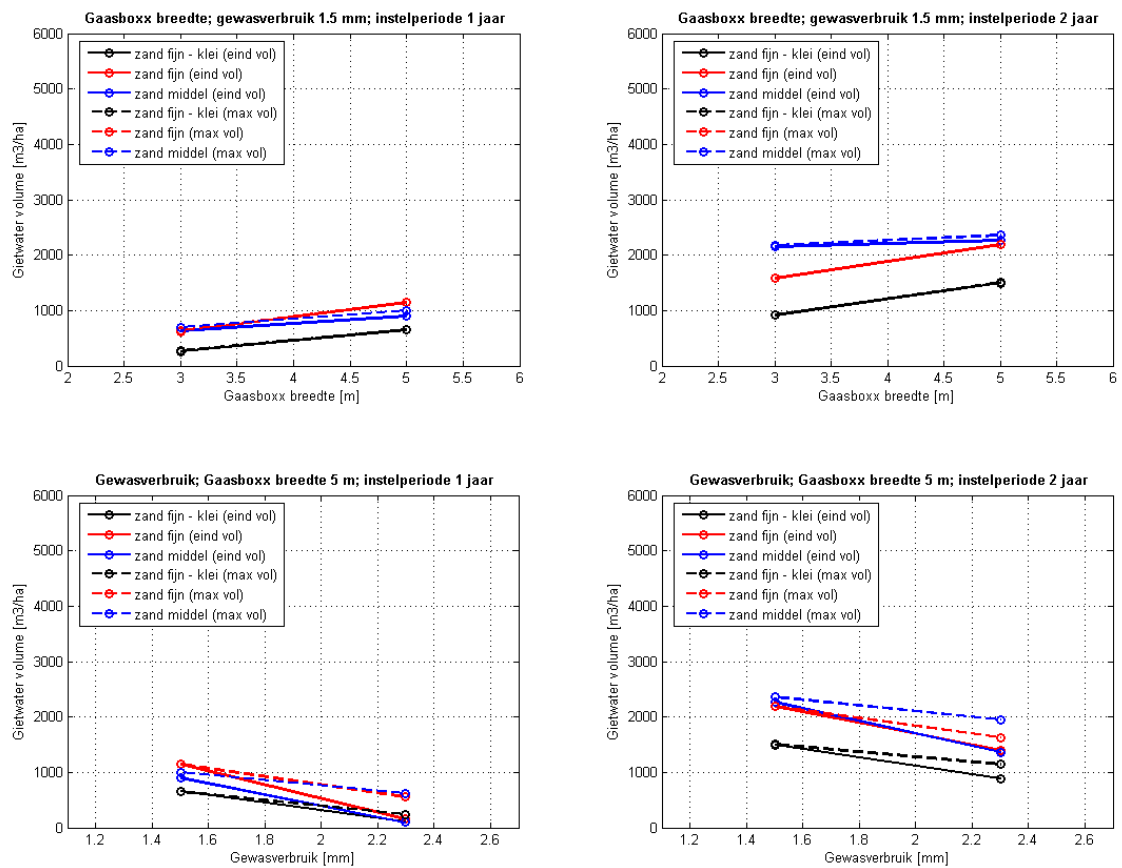
Bij de modellering van het Gaasboxx systeem wordt het principe van rechtstreekse grondwateraanvulling gehanteerd, zie Figuur 15. Voor de 2-D simulaties wordt een Gaasboxx krat voor het gemak verondersteld een hoogte-breedte afmeting te hebben van 0.50 m x 1.00 m. In de rekencode MOCDENS3D wordt het Gaasboxx systeem opgelegd als twee typen randvoorwaarden:

1. WEL-package (opgelegde flux), onderverdeeld in:
  - a. WEL's die hemelwater infiltreren en qua debiet variëren in de tijd,  $WEL_{in}(t)$ . Voor de simulaties op dagbasis wordt de KNMI neerslag reeks [ $m^2$ ] te Rotterdam (ID 344) genomen voor de periode 1989 t/m 1995, waarbij 1994 een uitzonderlijk nat jaar was. De neerslag wordt omgerekend naar strekkende meters door te vermenigvuldigen met de kasbreedte (100 [m]) en te delen door het aantal Gaasboxx kratten in de horizontaal (3 of 5):
 
$$Q = (p/1000)*100/3, \text{ met } p \text{ de neerslag in mm}$$
  - b. WEL's die beregenen en een constant debiet hebben,  $WEL_{uit}$ . Constant verbruik van 1.5 [mm/d] voor matig verbruik of 2.3 [mm/d] voor gemiddeld verbruik zoals beschreven staat in het rapport (Roelofsen *et al.* 2005, p. 11), een studie naar haalbaarheid van gietwateropslag. Het gewasverbruik wordt omgerekend naar strekkende meters door te vermenigvuldigen met de kasbreedte (100 [m]) en te delen door het aantal Gaasboxx kratten in de horizontaal (3 of 5):
 
$$Q = (2.9/1000)*100/3 = 0.09667 [m^2] \text{ per Gaasboxx krat.}$$
 De onttrekking is altijd 1 cel onder de diepste Gaasboxx geplaatst, zodanig dat deze zich altijd onder de laagste grondwaterstand bevindt (trial and error).
2. DRN-package (drainage) waarmee de eventuele overstort in de Gaasboxx wordt gemodelleerd indien de grondwater stand boven 0.5 [mNAP] (maaiveld) uitkomt.

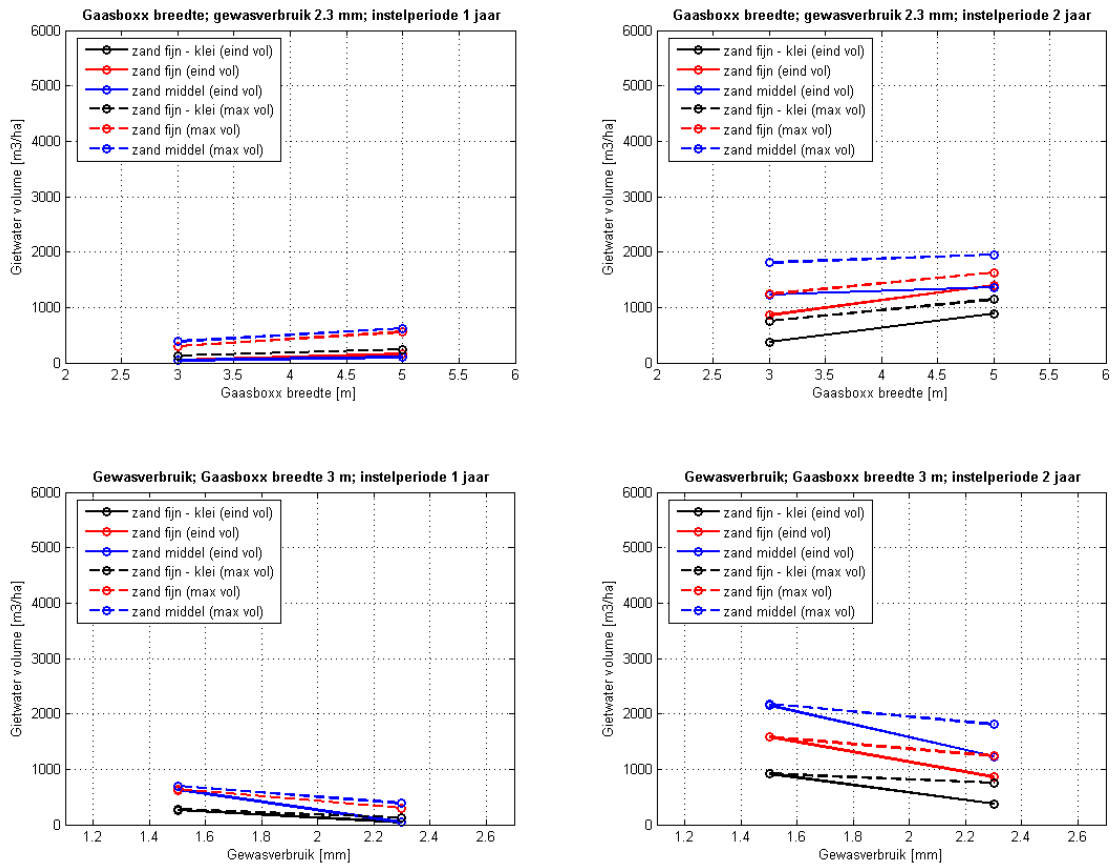
Verder is er aangenomen dat er geen horizontale stroming binnen de Gaasboxx plaatsvindt en de zijwanden dicht zijn (bekleed met waterondoorlatende folie). Dit is gemodelleerd door de horizontale doorlatendheid in de Gaasboxx te verwaarlozen. Naar verwachting heeft het open of dicht laten van de zijwanden van de Gaasboxx geen of nauwelijks effect op de modelresultaten. Verder wordt er maximale verticale stroming tussen de Gaasboxx

verondersteld en gerealiseerd door de verticale doorlatendheid zeer groot te kiezen. Tevens is er in de Gaasboxx een freatische bergingscoëfficiënt van 1 gekozen en een effectieve porositeit van 1 (dit is mogelijkwijs een kleine overschatting).

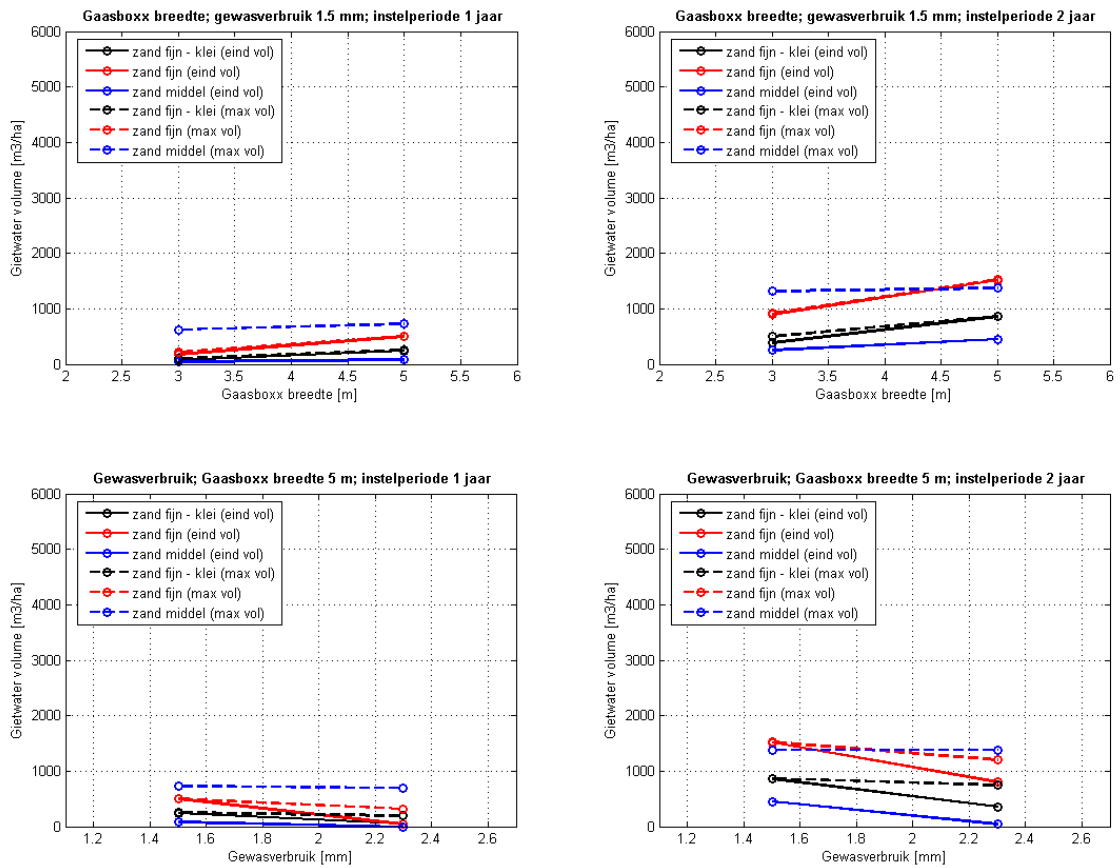
## D Figuren modelresultaten



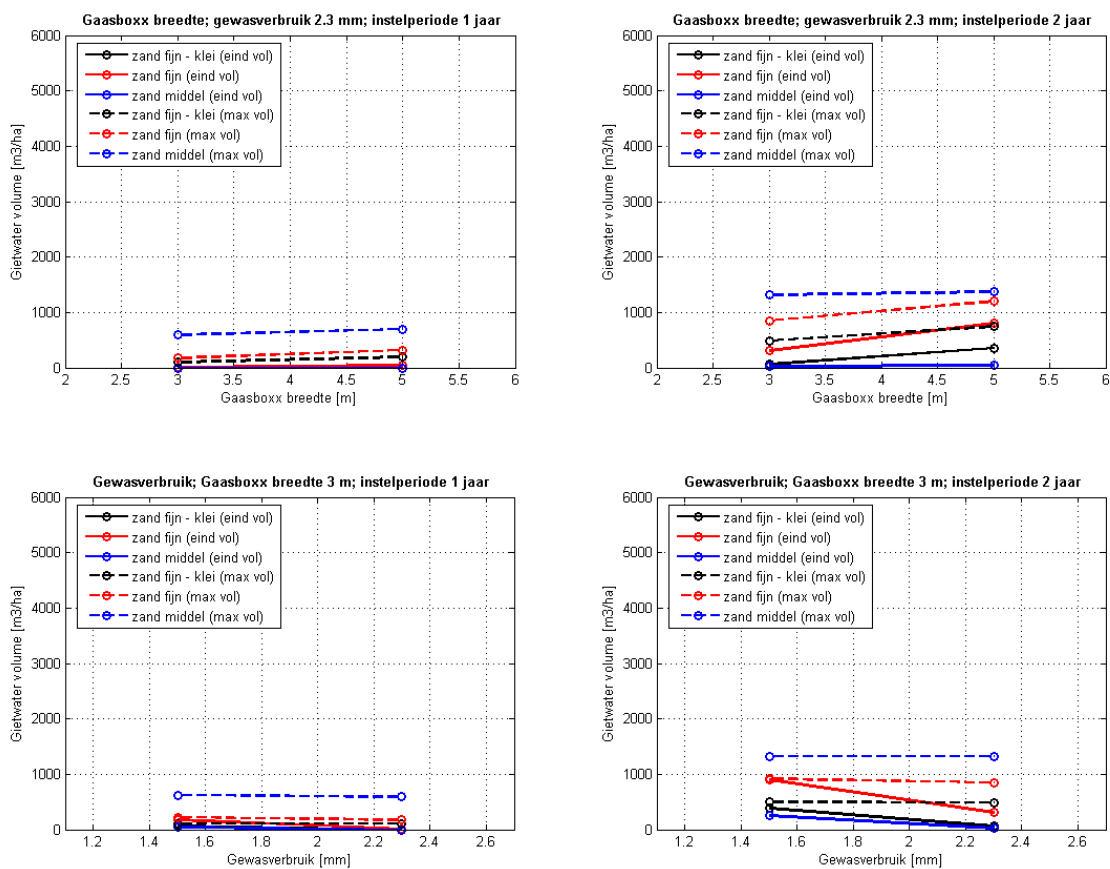
Figuur 16: maximaal volume en volume op 31-12-92 van gietwater tot 50 [mg/l], voor grondwaterstand "infiltratie/licht kwellend". Bovenste figuren: matig gewasverbruik; onderste figuren: Gaasboxx breedte 5 [m].



Figuur 17: maximaal volume en volume op 31-12-92 van gietwater tot 50 [mg/l], voor grondwaterstand "infiltratie/licht kwellend". Bovenste figuren: gemiddeld gewasverbruik; onderste figuren: Gaasboxx breedte 3 [m].

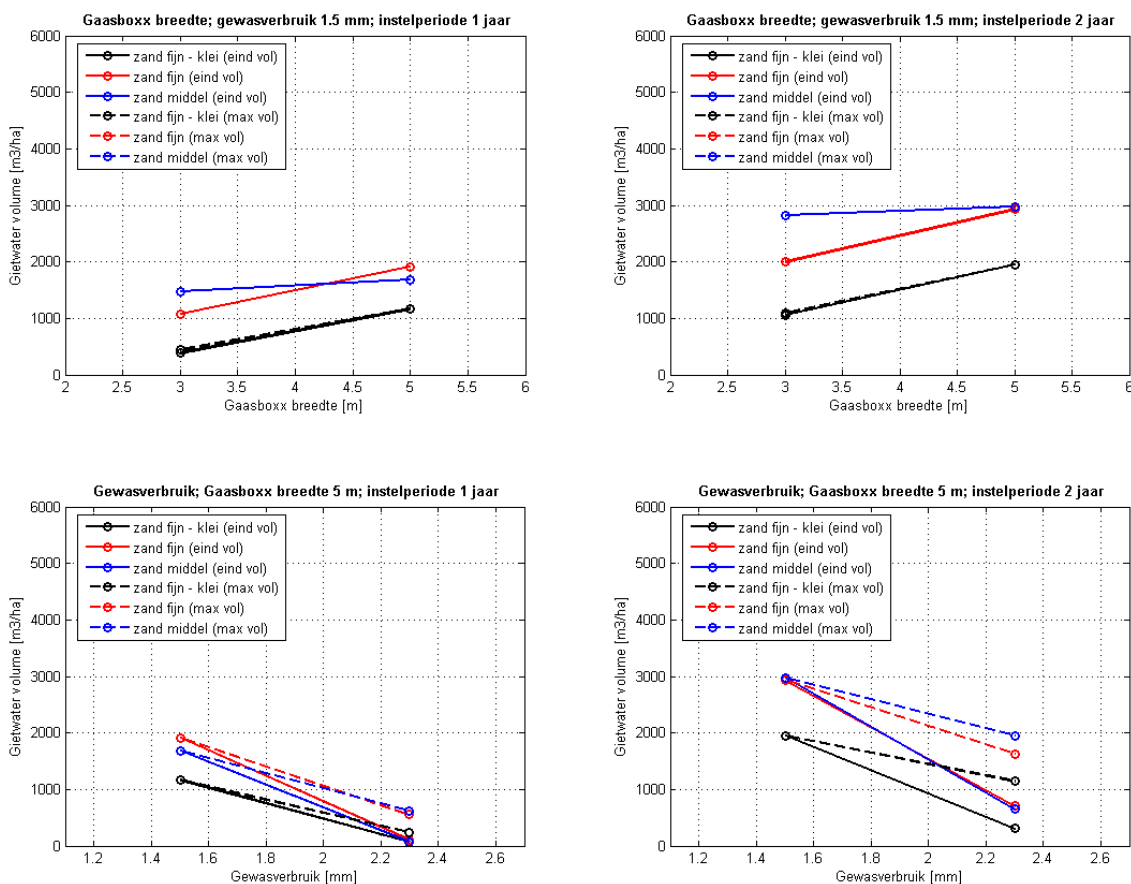


Figuur 18: maximaal volume en volume op 31-12-92 van gietwater tot 50 [mg/l], voor grondwaterstand "kwellend". Bovenste figuren: matig gewasverbruik; onderste figuren: Gaasboxx breedte 5 [m].

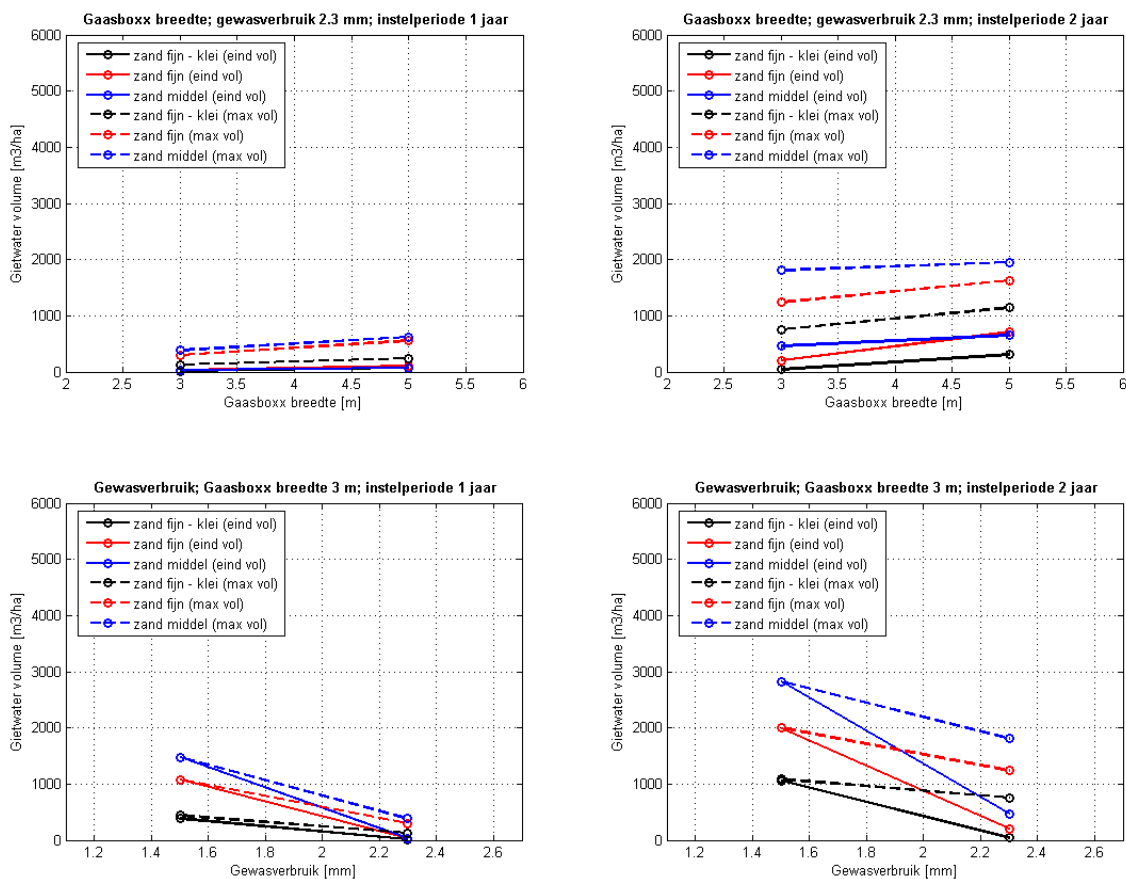


Figuur 19: maximaal volume en volume op 31-12-92 van gietwater tot 50 [mg/l], voor grondwaterstand "kwellend". Bovenste figuren: gemiddeld gewasverbruik; onderste figuren: Gaasboxx breedte 3 [m].

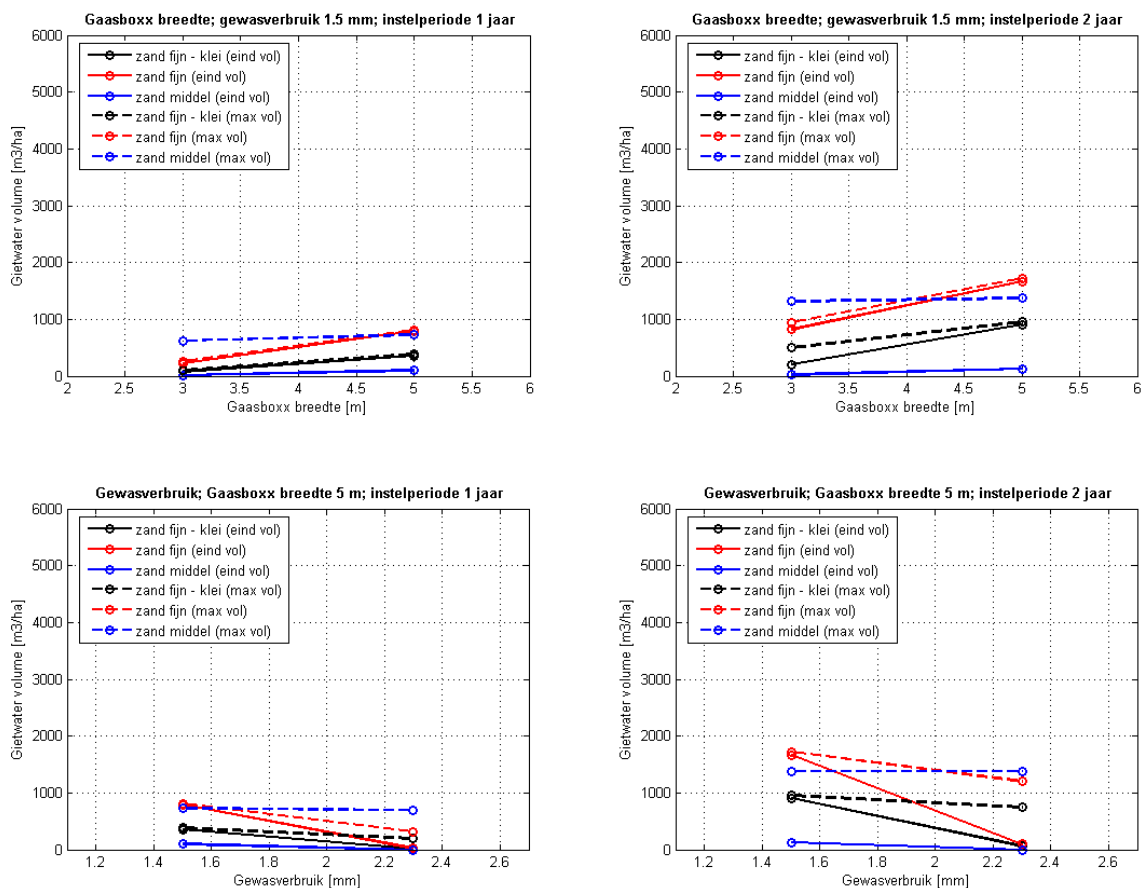




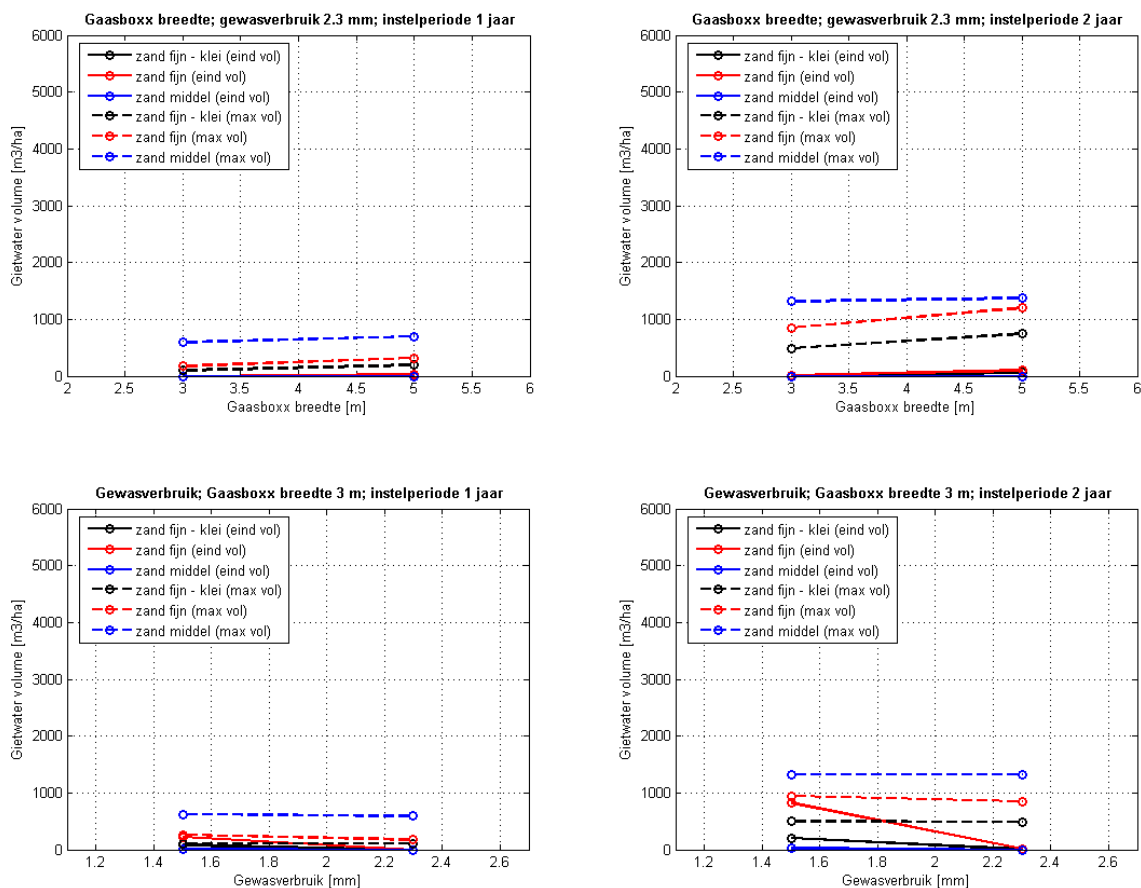
Figuur 20: maximaal volume en volume op 31-12-94 van gietwater tot 50 [mg/l], voor grondwaterstand "infiltratie/licht kwellend". Bovenste figuren: matig gewasverbruik; onderste figuren: Gaasboxx breedte 5 [m].



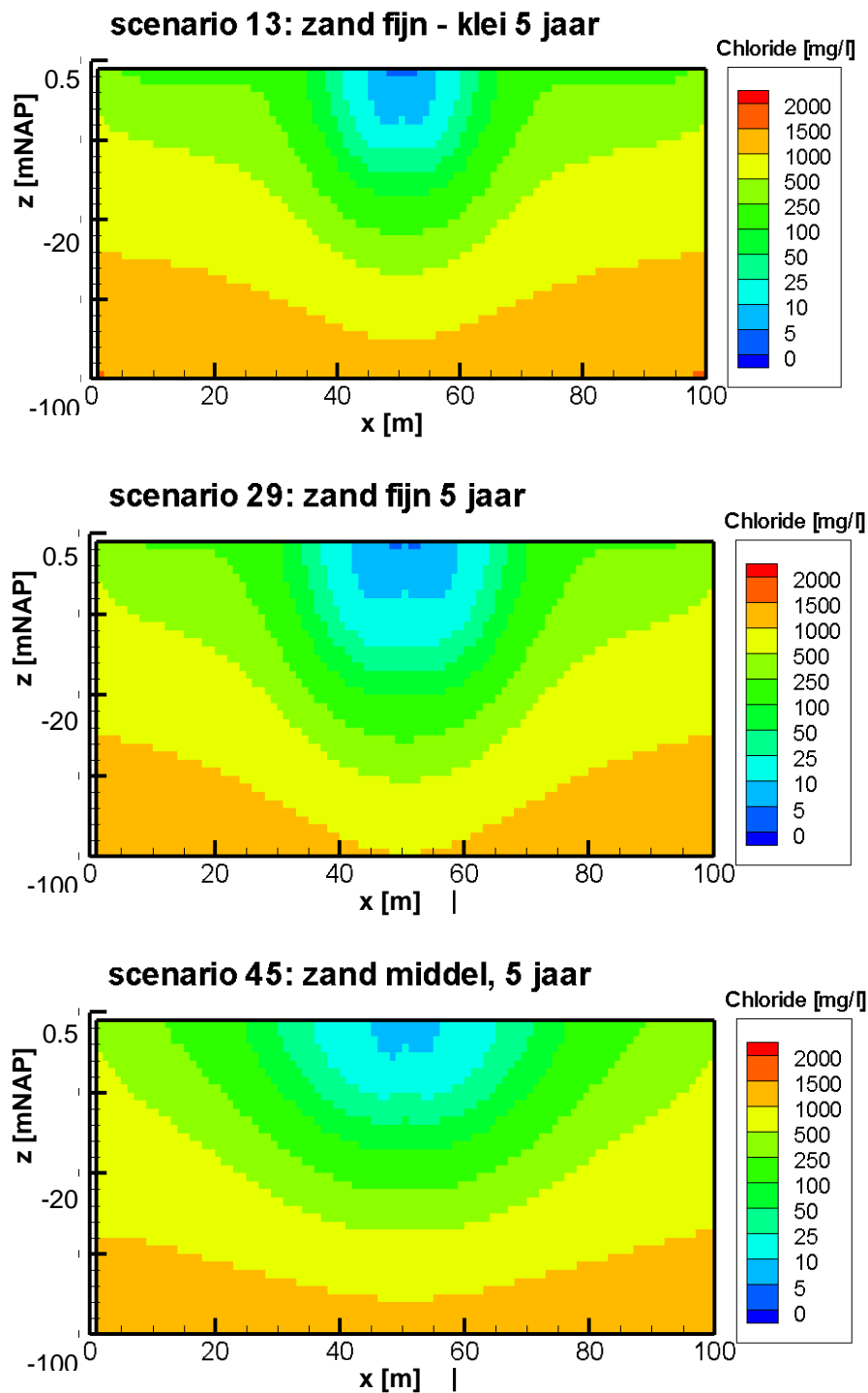
Figuur 21: maximaal volume en volume op 31-12-94 van gietwater tot 50 [mg/l], voor grondwaterstand "infiltratie/licht kwellend". Bovenste figuren: gemiddeld gewasverbruik; onderste figuren: Gaasboxx breedte 3 [m].



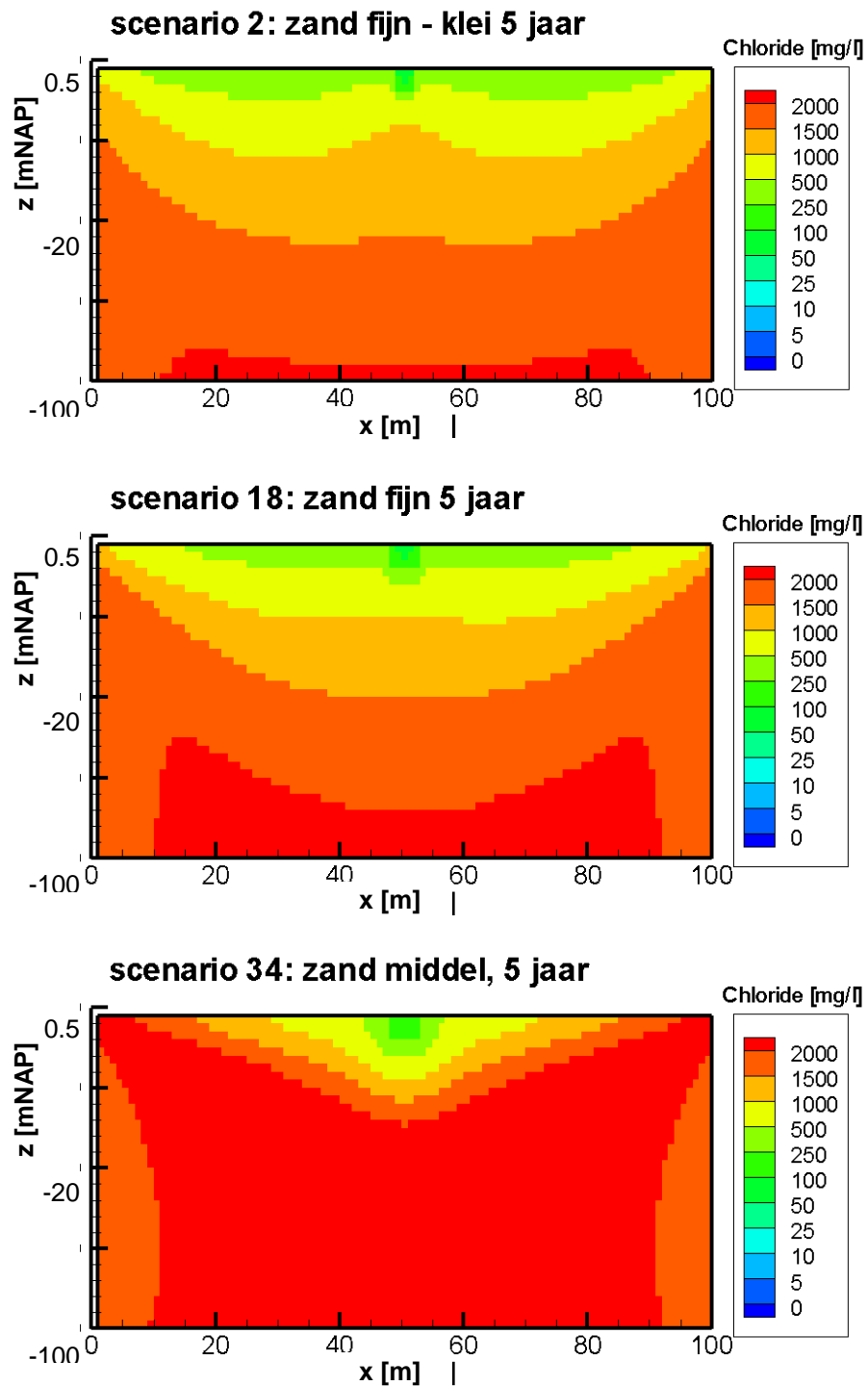
Figuur 22: maximaal volume en volume op 31-12-94 van gietwater tot 50 [mg/l], voor grondwaterstand "kwellend". Bovenste figuren: matig gewasverbruik; onderste figuren: Gaasboxx breedte 5 [m].



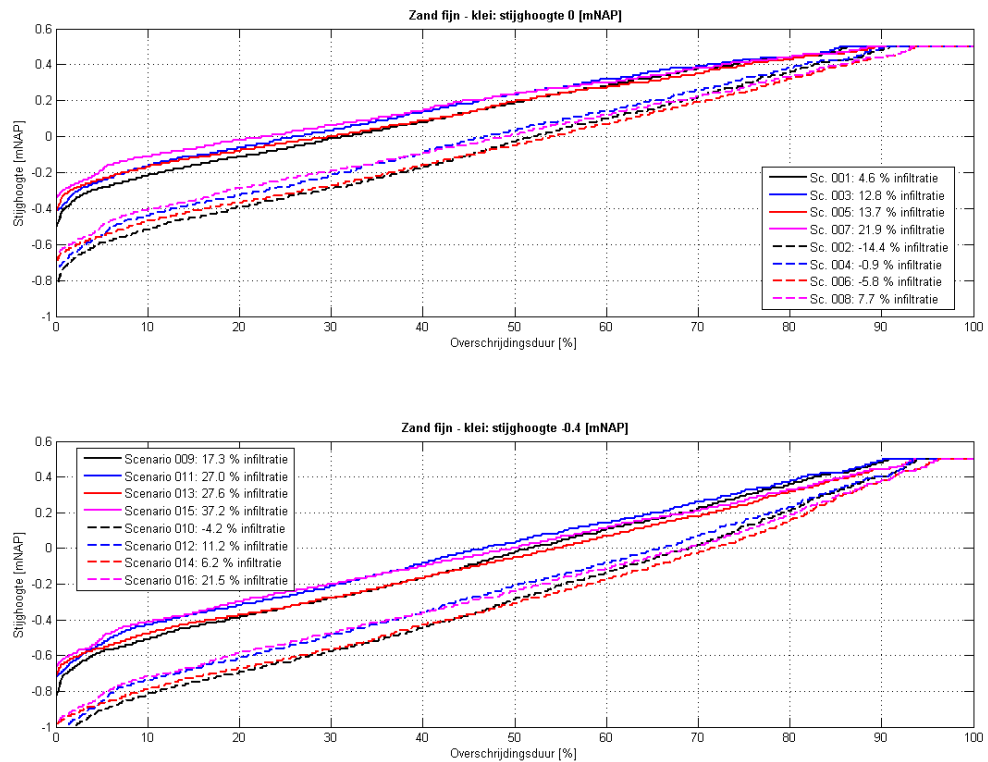
Figuur 23: maximaal volume en volume op 31-12-94 van gietwater tot 50 [mg/l], voor grondwaterstand "kwellend". Bovenste figuren: gemiddeld gewasverbruik; onderste figuren: Gaasboxx breedte 3 [m].



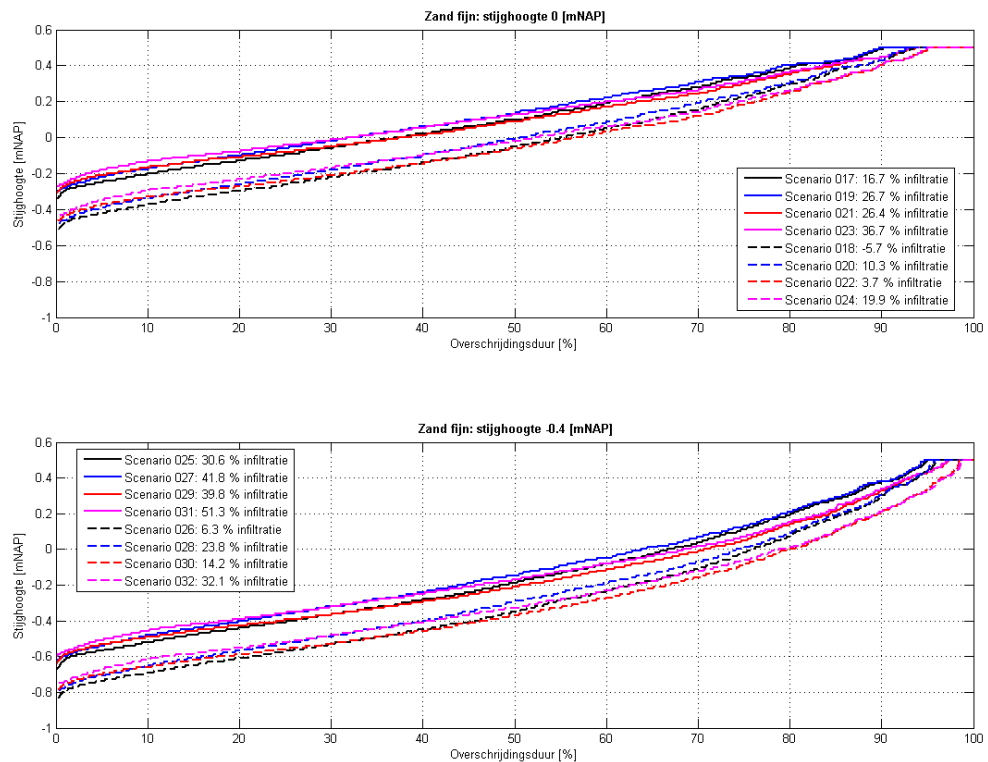
Figuur 24: enkele "best case" chloride verdelingen na 5 jaar.



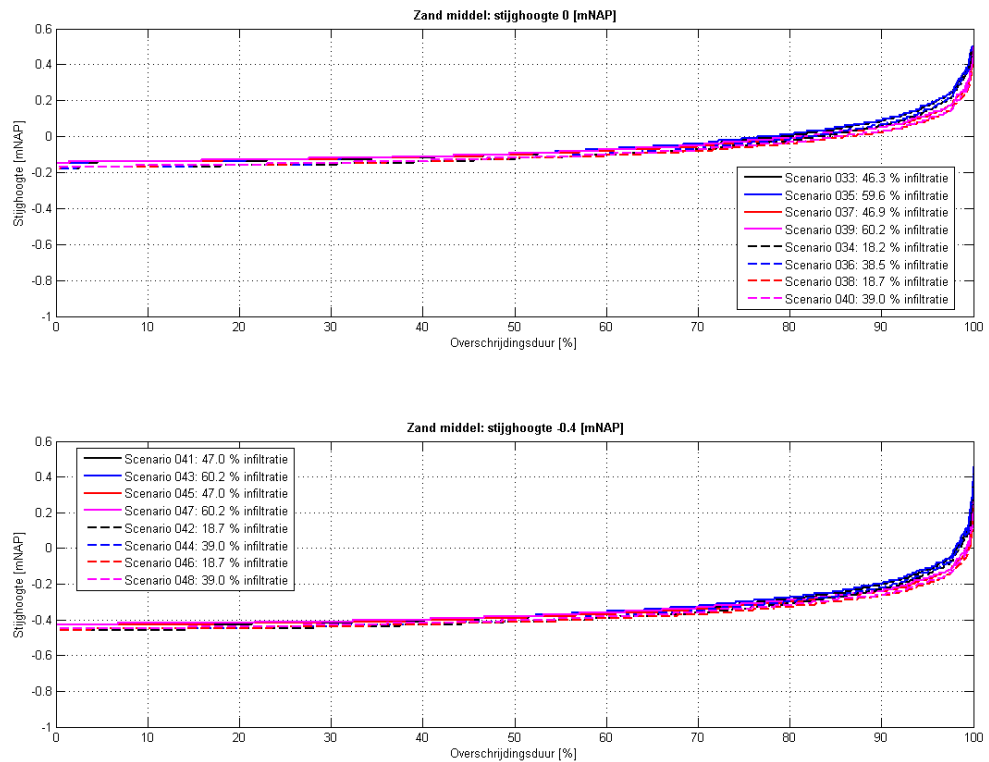
Figuur 25: enkele "worst case" chloride verdelingen na 5 jaar.



Figuur 26: Overschrijdingsduurlijnen van grondwaterstanden in de middelste Gaasboxx voor scenario's zand fijn – klei.

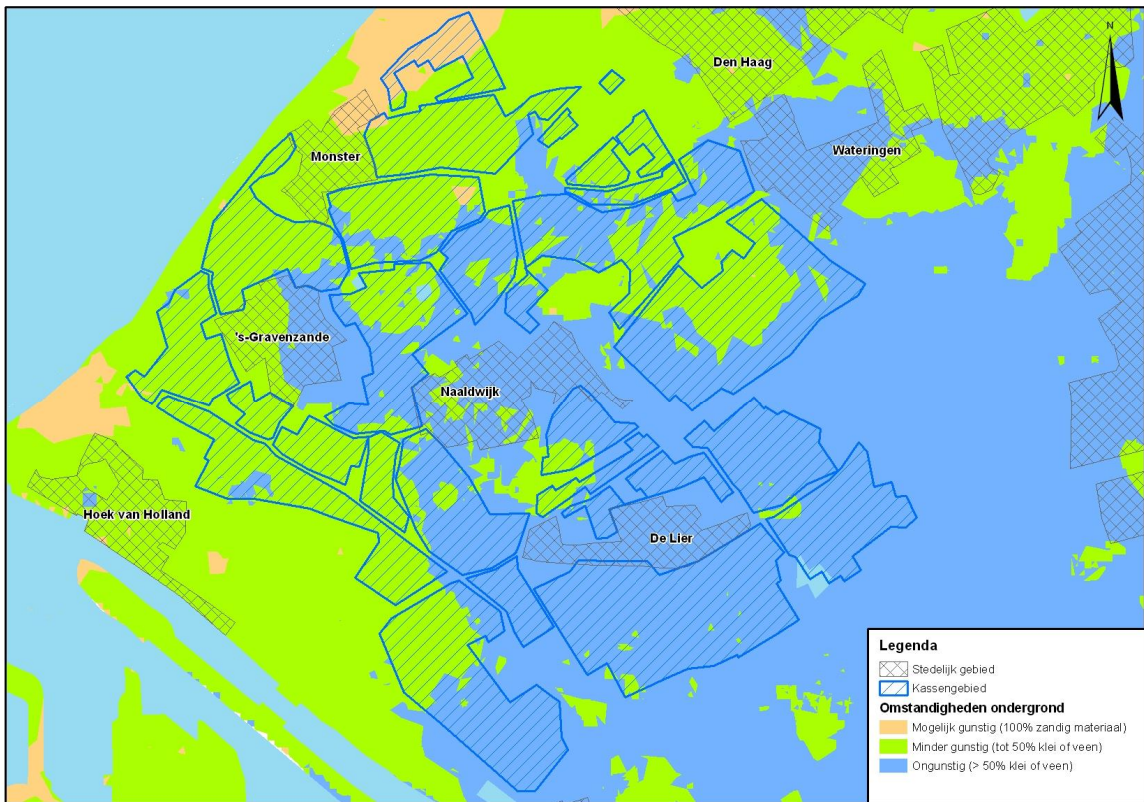


Figuur 27: Overschrijdingsduurlijnen van grondwaterstanden in de middelste Gaasboxx voor scenario's zand fijn.

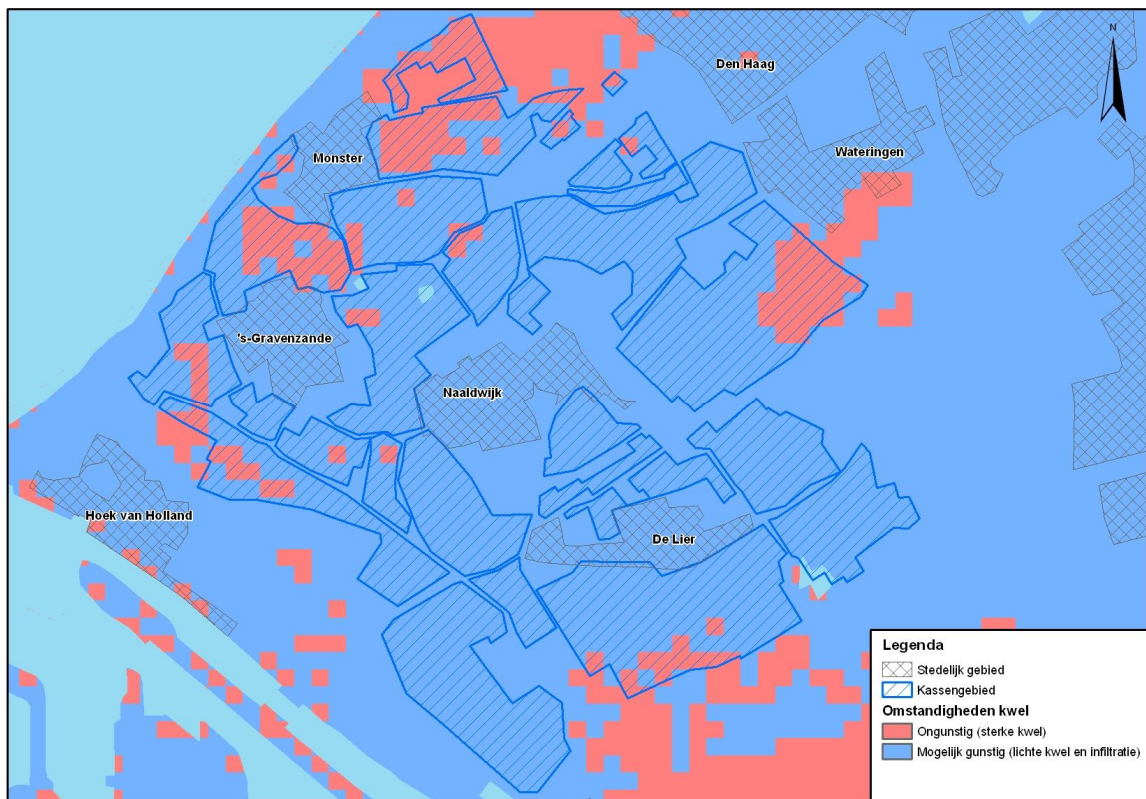


Figuur 28: Overschrijdingsduurlijnen van grondwaterstanden in de middelste Gaasboxx voor scenario's zand middel.

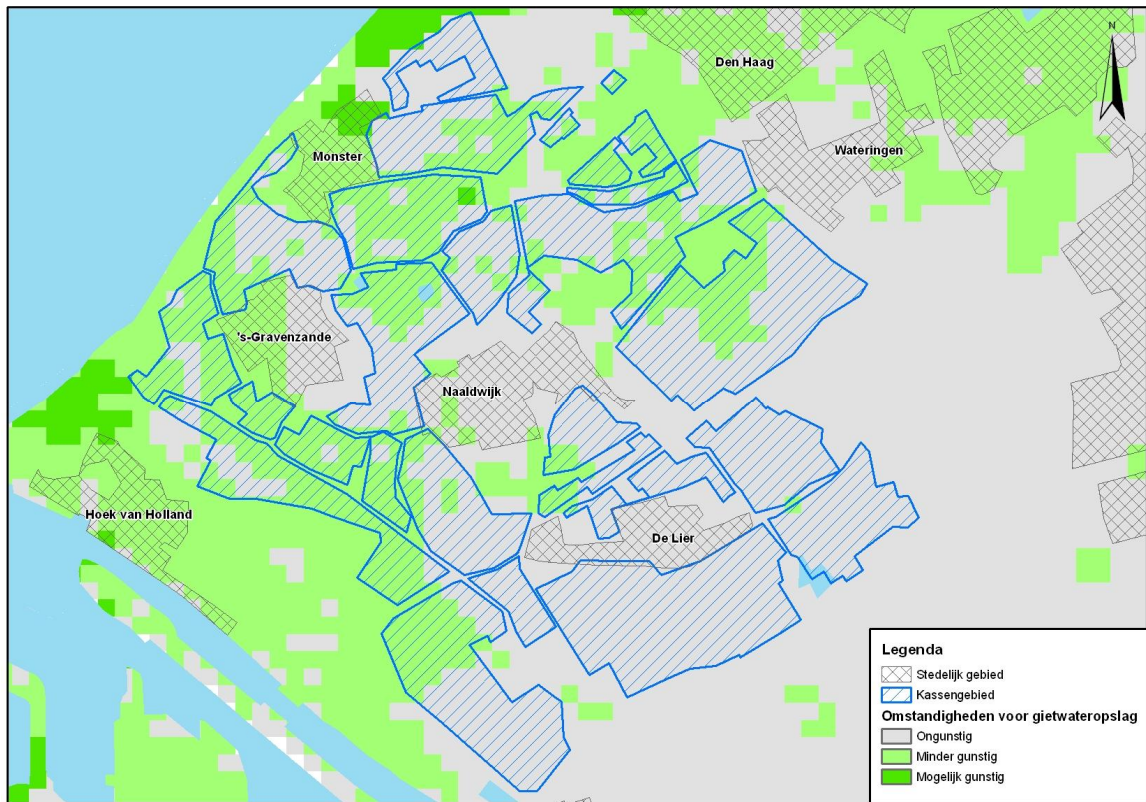




Figuur 29: Mogelijkheden van ondergrond voor gietwateropslag.



Figuur 30: Omstandigheden kwel.



Figuur 31: Gecombineerde kwel en ondergrond voor gietwateropslag.



Figuur 32: Gecombineerde kwel en ondergrondkaart voor piekberging