

Watergebiedstudie Noordwest Schokland

Hydrologische berekeningen

Definitief

Waterschap Zuiderzeeland

Grontmij Nederland B.V.
Houten, 19 juli 2010

13/99099456/MKr, revisie D1

Verantwoording

Titel : Watergebiedstudie Noordwest Schokland
Subtitel : Hydrologische berekeningen
Projectnummer : 292834
Referentienummer : 13/99099456/MKr
Revisie : D1
Datum : 19 juli 2010

Auteur(s) : de heer drs. M. Kramer, de heer drs. ing. L. Borst
E-mail adres : mark.kramer@grontmij.nl
Gecontroleerd door : de heer ir. M.J. de Jonge
Paraaf gecontroleerd : 
Goedgekeurd door : de heer drs. M. Kramer
Paraaf goedgekeurd : 
Contact : De Molen 48
3994 DB Houten
Postbus 119
3990 DC Houten
T +31 30 634 47 00
F +31 30 637 94 15
www.grontmij.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	5
1.3	Aanpak	5
1.4	Leeswijzer	6
2	Maaiveldhoogte	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Vergelijking bestanden	7
3	SIMGRO-model	9
3.1	Inleiding	9
3.2	Aanpassingen model	9
3.3	Resultaten	11
3.3.1	Kalibratieresultaat	11
3.3.2	Berekende GxG's	14
4	Methode Hooghoudt / peilbuizen	17
4.1	Inleiding	17
4.2	Gebruikte gegevens	17
4.2.1	Bodemopbouw	17
4.2.2	Stationaire afvoer	17
4.2.3	Drainageafstand	17
4.3	Resultaten	18
5	Neerschalingmethode	21
5.1	Inleiding	21
5.2	Werkwijze	21
5.3	Resultaten	21
6	Waternoodberekeningen	24
6.1	Inleiding	24
6.2	Vergelijking resultaten	24
6.2.1	Betrouwbaarheid	24
6.2.2	Onderlinge vergelijking resultaten	25
6.2.3	Conclusie	26
6.3	Waternoodberekeningen	26
6.4	Doelrealisaties AGOR	27
6.4.1	Op basis van AHN1	27
6.4.2	Op basis van door Zuiderzeeland aangepast hoogtebestand	29
6.5	Doelrealisaties aanvullende berekeningen	31
6.5.1	Gras	31
6.5.2	Aardappelen	32
6.5.3	Bollen	34
6.5.4	Analyse uitkomsten	35
6.6	Effecten vasthouden afvoer Schokland	39
6.7	Mogelijke maatregelen	40

7	Conclusies.....	44
---	-----------------	----

Literatuur	45
------------	----

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het gebied Noordwest Schokland is een gebiedsproces opgestart waarin de afnemende drooglegging en de verhoogde kans op wateroverlast, integraal en met het gebied uitgewerkt worden. In december '09 is een gebiedsavond geweest die gericht was op probleemherkenning en -onderkenning van aangelanden en belanghebbenden. Ook is in december '09 een Water + Ruimte atelier gehouden waarin is nagedacht over de lange(re) termijn gerelateerd aan de wateropgaven. Op dit moment is het waterschap bezig met een uitgebreide situatie- en knelpuntenbeschrijving op relatief hoog detailniveau. Hierin wordt het potentiële probleem van beperkte drooglegging via de GGOR-systematiek onderzocht.

De AV heeft in februari 2010 de 'Handleiding GGOR' vastgesteld. Hierin zijn verschillende methoden omschreven om te komen tot een AGOR (Actueel Grond- en Oppervlaktewater Regime; de huidige situatie). Om gevoel te krijgen bij de toepasbaarheid en de onderlinge verschillen (en oorzaken) is het gewenst de methoden naast elkaar te leggen.

1.2 Doel

Doel van voorliggende studie is om de resultaten van verschillende methodes voor het bepalen van het AGOR met elkaar te vergelijken. Tevens wordt de gevoeligheid van de resultaten voor verschillende maaiveldhoogtegegevens inzichtelijk gemaakt.

Op basis van de best bruikbare methode zijn de knelpunten ten aanzien van het grondwatersysteem inzichtelijk gemaakt.

1.3 Aanpak

De huidige situatie (AGOR) is op basis van drie verschillende methoden inzichtelijk gemaakt:

- SIMGRO-model: van de Noordoostpolder is een SIMGRO-model beschikbaar. Met relatief kleine aanpassingen (verfijning modelnetwerk, controle invoergegevens topsysteem) is dit model bruikbaar voor het gebied van NW Schokland;
- Hooghoudt methode en peilbuisgegevens: analytische berekeningen worden gekoppeld aan veldmetingen en vervolgens gebiedsdekkend vertaald;
- Neerschalingmethode: op basis van de maaiveldhoogte en een actualisatie van de grondwatertrappenkaart is door Alterra op relatief eenvoudige wijze de huidige situatie in beeld gebracht.

Voor elke methode wordt het AGOR bepaald met twee verschillende maaiveldhoogtebestanden.

De huidige situatie wordt aan de hand van de GHG en de GLG beschreven. Met drie verschillende methodes en twee verschillende maaiveldhoogtebestanden zijn dus zes sets van GHG/GLG gegenereerd. Deze resultaten zijn onderling vergeleken en besproken met het Waterschap. Hieruit is de best bruikbare methode gekozen.

Voor deze best bruikbare methode zijn knelpunten ten aanzien van het grondwatersysteem inzichtelijk gemaakt. Daarbij is het waternoodinstrumentarium gebruikt om de landbouwkundige doelrealisaties te bepalen. Deze doelrealisaties zijn dus voor één berekeningsmethode, maar wel uitgaande van twee verschillende maaiveldhoogtebestanden, bepaald.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de verschillende hoogtebestanden beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de werkzaamheden die met het SIMGRO-model zijn uitgevoerd. Hoofdstuk 4 beschrijft de berekening en resultaten op basis van de methode Hooghoudt / peilbuizen. Hoofdstuk 5 beschrijft de neerschalingmethode. In hoofdstuk 6 worden de resultaten van de verschillende technieken met elkaar vergeleken en zijn de waternoodberekeningen beschreven. De conclusies van de studie staan in hoofdstuk 7.

2 Maaiveldhoogte

2.1 Inleiding

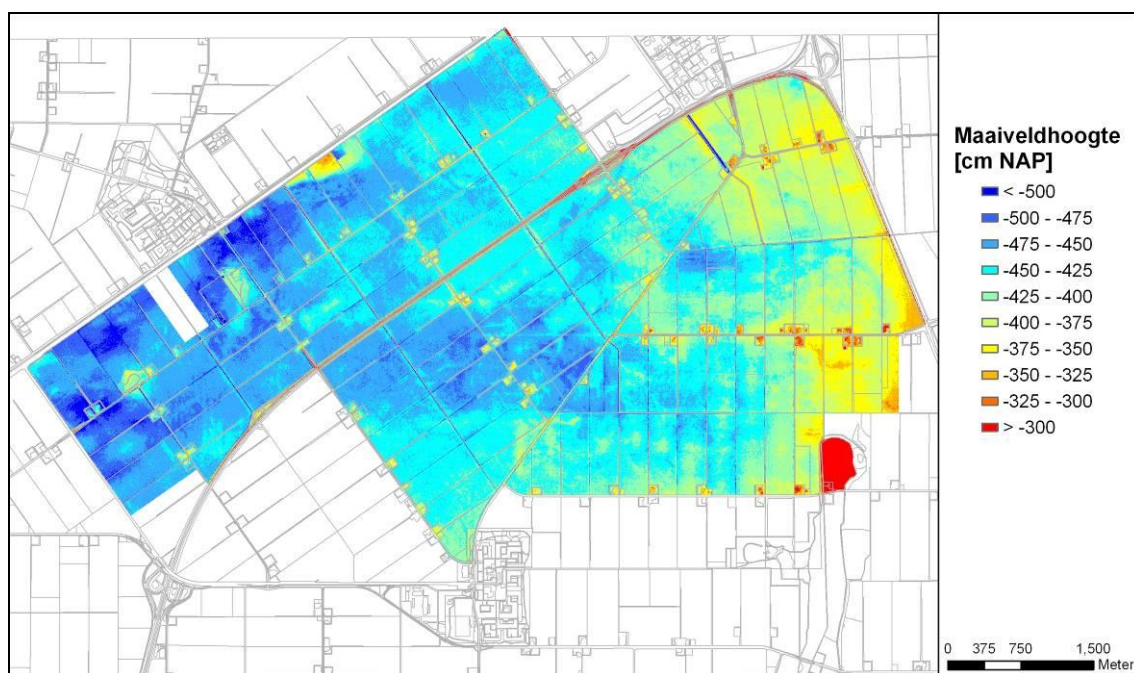
Voor deze studie is een tweetal maaiveldhoogtebestanden voorhanden:

- AHN1: met laseraltimetrie ingevlogen maaiveldhoogtegegevens uit 1998.
- Aangepast AHN1: zeer recent zijn door het Waterschap metingen op twaalf proefvlakken uitgevoerd. Op basis van deze metingen is door medewerkers van het Waterschap de AHN voor het plangebied aangepast. Dit bestand geeft feitelijk de maaiveldhoogte van 2009 weer.

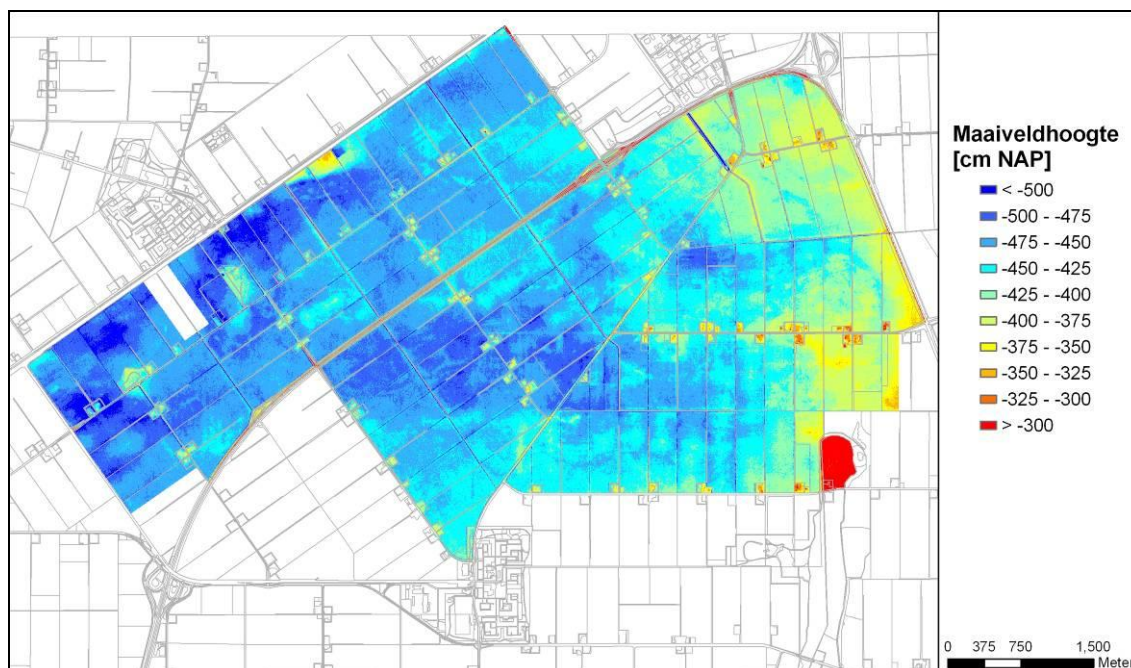
In onderstaande paragraaf worden beide bestanden gepresenteerd en worden de verschillen aangegeven.

2.2 Vergelijking bestanden

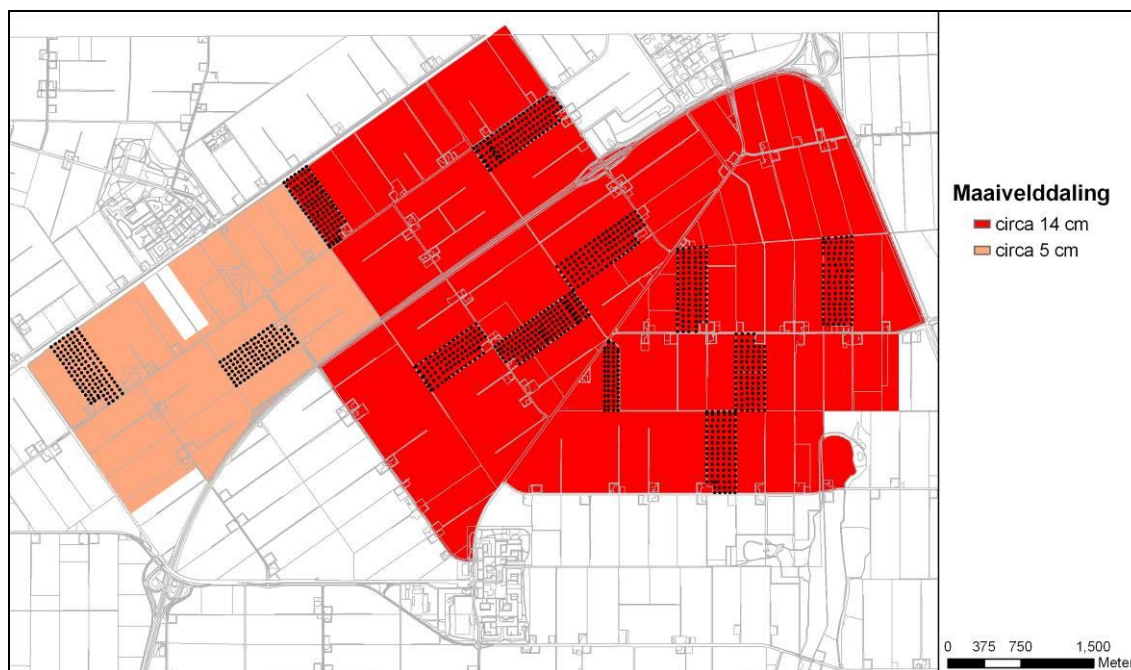
In figuur 2.1 is de maaiveldhoogte in het studiegebied volgens het AHN1-bestand weergegeven. In figuur 2.2 is de door Zuiderzeeland aangepaste maaiveldhoogtekaart weergegeven. In figuur 2.3 is het verschil tussen beide bestanden weergegeven, dit betreft dus de maaiveldddaling tussen 1998 en 2009.



Figuur 2.1 Maaiveldhoogte op basis van AHN1 (1998)



Figuur 2.2 Maaiveldhoogte na correctie door Zuiderzeeland (situatie 2009)



Figuur 2.3 Maaiveldddaling periode 1998 – 2009 (aanpassing AHN1), inclusief ligging proefvlakken

Het verloop van de maaiveldhoogte wordt beschreven aan de hand van kaart 2.2. De maaiveldhoogte in het studiegebied neemt af in westelijke richting. Aan de oostzijde van het plangebied bevindt de maaiveldhoogte zich op circa NAP -3,50 á -4,00 m. Ter hoogte van de Nagelerweg bedraagt de maaiveldhoogte circa NAP -4,00 á -4,50 m en ter hoogte van de A6 circa NAP -4,50 m (de A6 zelf ligt hoger, op circa NAP -3,00 m). Ten westen van de A6 bevinden de laagste delen van het studiegebied. De maaiveldhoogte bedraagt hier lokaal circa NAP -5,00 m.

Uit figuur 2.3 blijkt dat in de periode 1998 - 2009 circa 0,05 tot 0,14 m bodemdaling is opgetreden. Dit komt overeen met een daling van circa 0,5 – 1,2 cm/jaar.

3 SIMGRO-model

3.1 Inleiding

Van de hele Noordoostpolder is een SIMGRO-model beschikbaar. Het model is opgezet voor een studie op en rond Schokland (Grontmij, 2005). De situatie op en rond Schokland is gedetailleerd in het model ingevoerd. Uit praktische overwegingen zijn de andere delen van de Noordoostpolder minder gedetailleerd in het model opgenomen.

Na een eerste analyse is gebleken dat het model in het gebied Noordwest Schokland te grof is om voldoende gedetailleerde uitspraken over het grondwatersysteem te kunnen doen. Daarnaast moet gecontroleerd worden of alle actuele gegevens in en rond het studiegebied in het model aanwezig zijn.

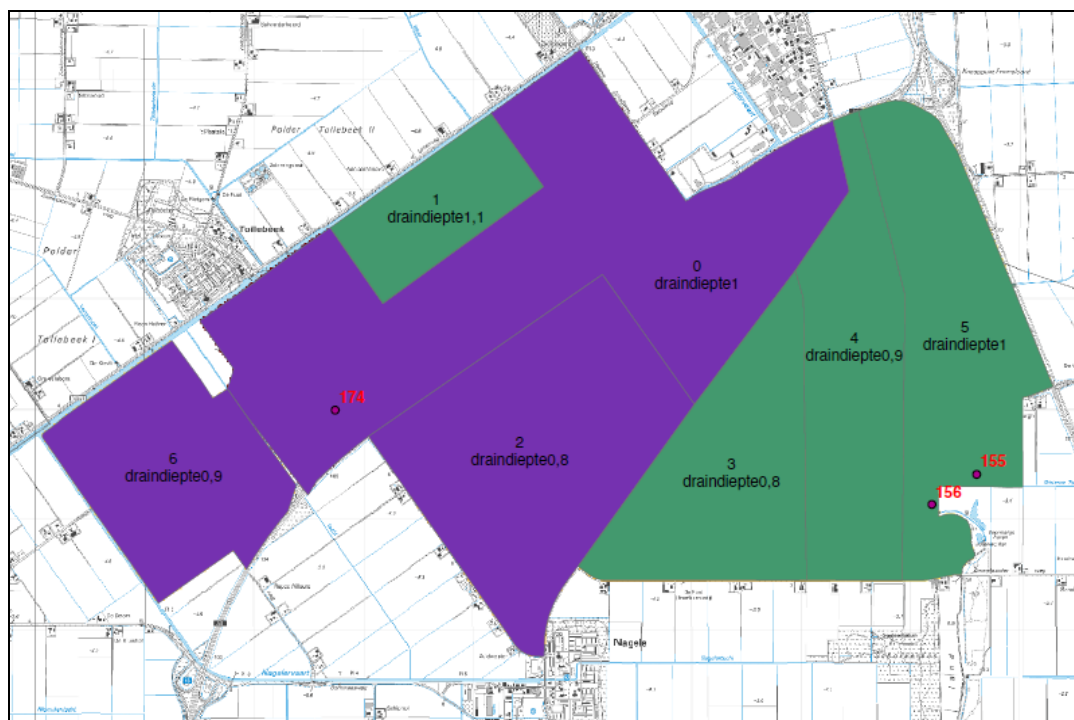
In paragraaf 3.2 staat beschreven welke aanpassingen aan het model uit 2005 zijn gedaan. Paragraaf 3.3 beschrijft de resultaten van het aangepaste SIMGRO-model.

3.2 Aanpassingen model

Voor het actueel en voldoende gedetailleerd maken van het SIMGRO-model zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Controle uitgangspunten ontwatering

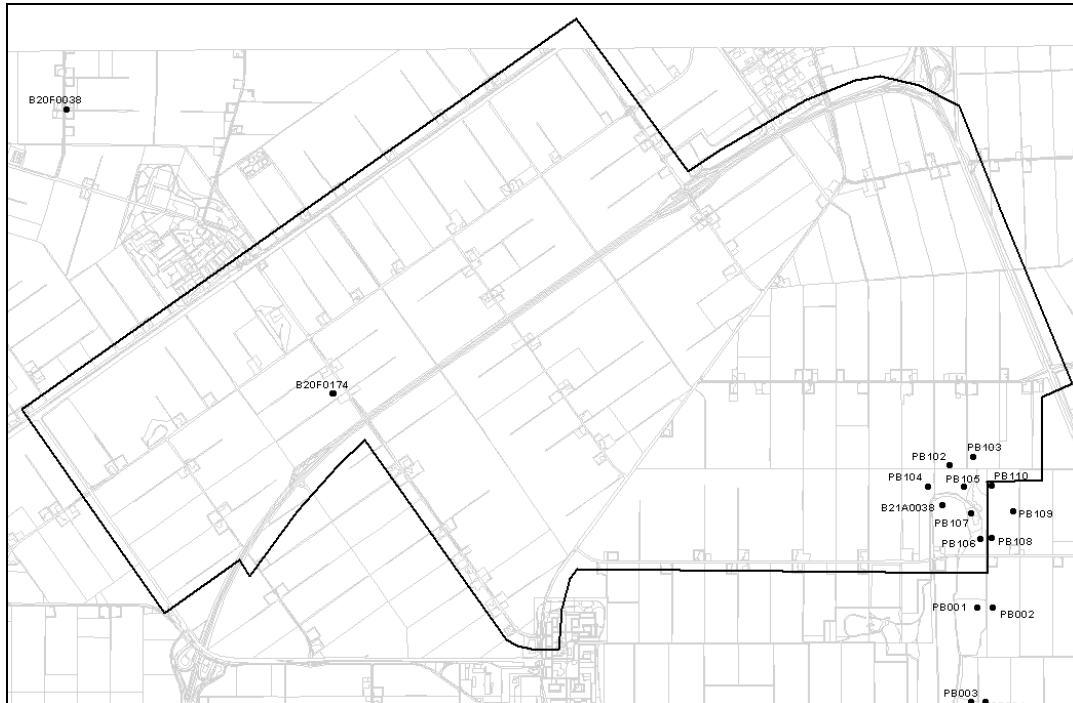
In het oorspronkelijke model is in het hele studiegebied uitgegaan van buisdrainage op een diepte van 0,90 m -mv. Tevens is uitgegaan van een onderlinge drainafstand van 12 m. Door het Waterschap zijn gedetailleerde gegevens aangeleverd met betrekking tot de aanwezige drainage in het gebied (zie figuur 3.1). Deze gegevens zijn in het model ingevoerd.



Figuur 3.1 Aanwezige drainage studiegebied (groene vlakken: drainageafstand = 12 m, paarse vlakken: drainageafstand = 8 m)

- Controle peilbuisgegevens

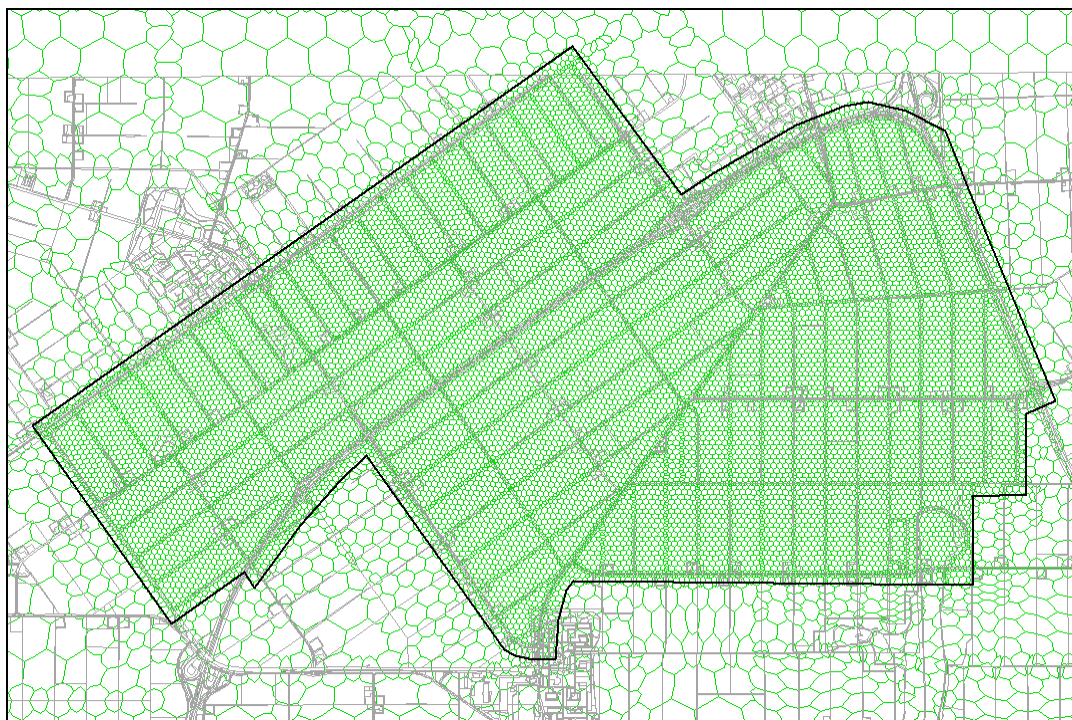
Gebleken is dat alle beschikbare peilbuisgegevens in en rond het studiegebied, in het model aanwezig zijn. In figuur 3.2 zijn de in en rond het studiegebied aanwezige peilbuizen weergegeven die in het model zijn opgenomen (Nb.: er staan nog enkele peilbuizen ten zuiden van het studiegebied (DINOloket) maar daarvan zijn geen meetgegevens uit de kalibratieperiode voorhanden)



Figuur 3.2 Aanwezige peilbuizen in en rond het studiegebied (peilbuizen met meetgegevens in de modelperiode)

- Verfijnen modelnetwerk

Er is een nieuw modelnetwerk gemaakt met een verfijning in het studiegebied. Voor het studiegebied is een knooppuntafstand van 50 m aangehouden (ter plaatse van de hoofd- en TOP10-watgangen is deze afstand gehalveerd). Buiten het studiegebied neemt de knooppuntafstand toe tot circa 350 á 500 m. In figuur 3.3 is een uitsnede van het nieuwe modelnetwerk weergegeven.



Figuur 3.3 Weergave nieuw modelnetwerk (invloedsgebieden)

- **Aanpassen afwateringsstructuur:** Na bovenstaande wijzigingen is het model doorgerekend en zijn de resultaten geanalyseerd. Uit de resultaten bleek een zeer natte situatie ter plaatse van de percelen ten noorden van de Vliegtuigweg. Deze natte situatie werd niet herkend en daarom is hier nader gekeken naar de modelinvoer. Gebleken is dat de lokale afwateringsstructuur niet goed gemodelleerd is. Het gebied ten noorden van de Vliegtuigweg watert in het model af in zuidelijke richting, naar de wegsloten van de Vliegtuigweg. In werkelijkheid vindt afwatering in noordelijke richting, naar de Bomentocht. Dit is in het model aangepast en het model is opnieuw doorgerekend.

Uit praktische overwegingen is in het Simgro-model uitgegaan van alleen de maaiveldhoogte van 1998 (AHN-1). Als nabewerking op de resultaten van Simgro wordt de GHG en de GLG berekend (ten opzichte van maaiveld). Voor deze nabewerking is wel uitgegaan van verschillen in de hoogtebestanden (zie hoofdstuk 2). Er heeft een GxG berekening plaatsgevonden op basis van AHN-1 en op basis van het aangepaste maaiveldhoogtebestand. Hierbij wordt opgemerkt dat de drainage in het Simgro-model aan het maaiveld 'hangt'. Door de hier gehanteerde werkwijze wordt er dus vanuit gegaan dat alle zetting *boven* het drainageniveau optreedt en dat de drainage niet mee zakt. In werkelijkheid zal de drainage wel deels meezakken. Gevolg is dat de resultaten op basis van het aangepaste AHN een worst-case situatie weergeven.

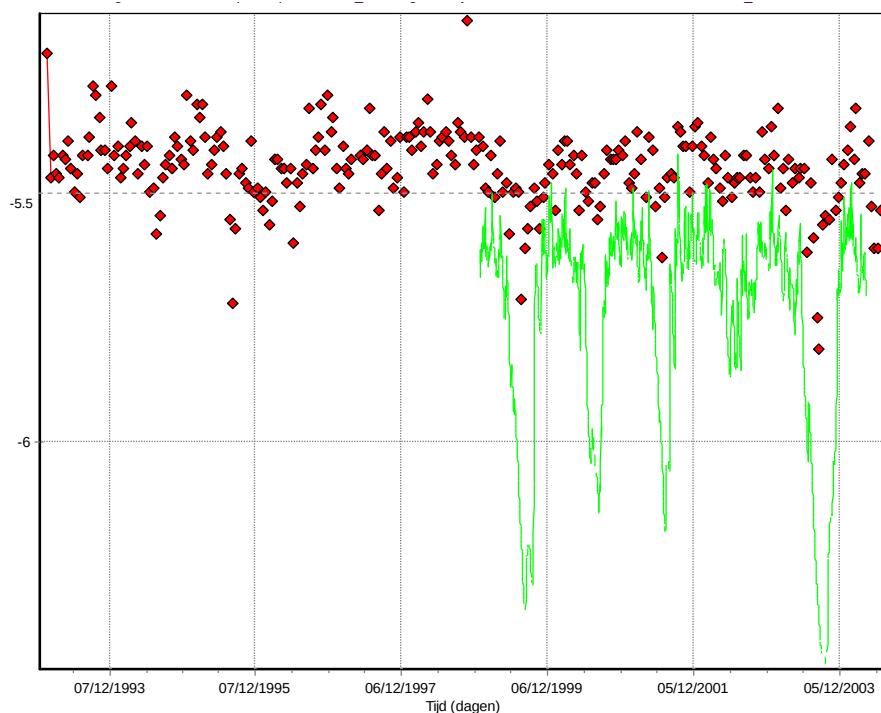
3.3 Resultaten

3.3.1 Kalibratieresultaat

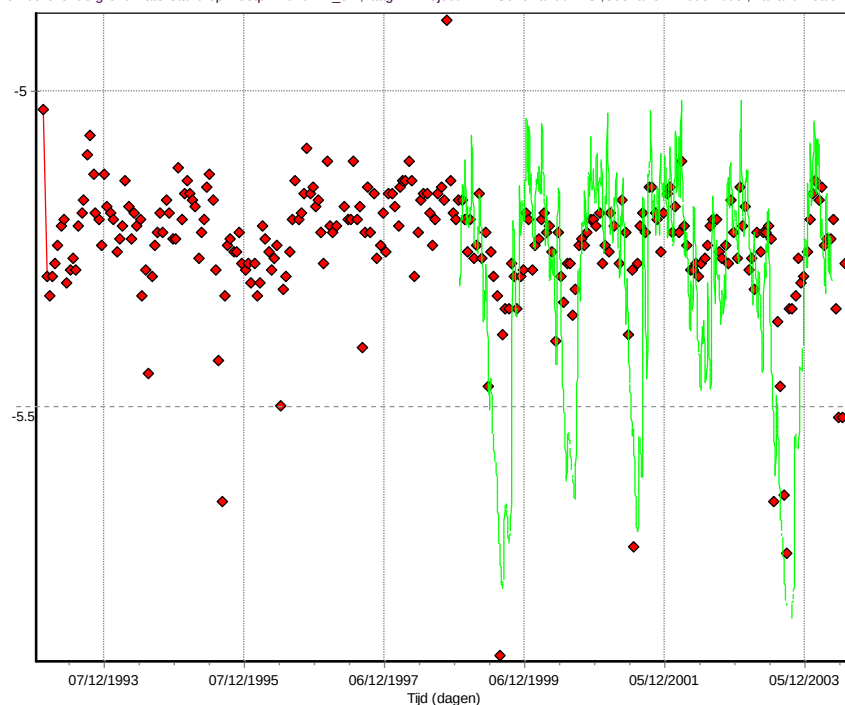
In Grontmij (2005) is het kalibratieresultaat van het grondwatermodel specifiek weergegeven voor de situatie op en rond Schokland. Uit de rapportage van het model blijkt niet hoe goed het model in het gebied ten noordwesten van Schokland presteert. Om daar nu wel inzicht in te krijgen is het model opnieuw doorgerekend en zijn de verschillen tussen de gemeten en berekende grondwaterstanden bepaald (het betreft hier de resultaten van het model, nadat de wijzigingen uit paragraaf 3.2 zijn doorgevoerd).

In figuur 3.4 zijn de gemeten en berekende grondwaterstanden weergegeven voor een drietal peilbuizen in het studiegebied. Het betreft de volgende peilbuizen:

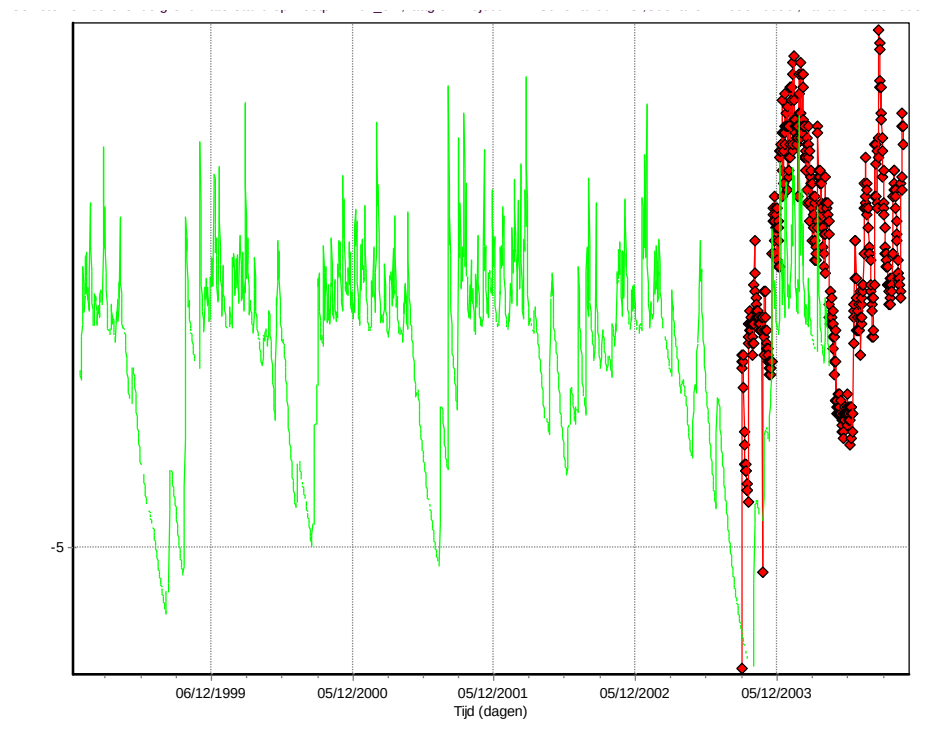
- B20F0174: met filters in het eerste en tweede watervoerende pakket;
- PB102 en PB103: met filters in het freatische grondwater.



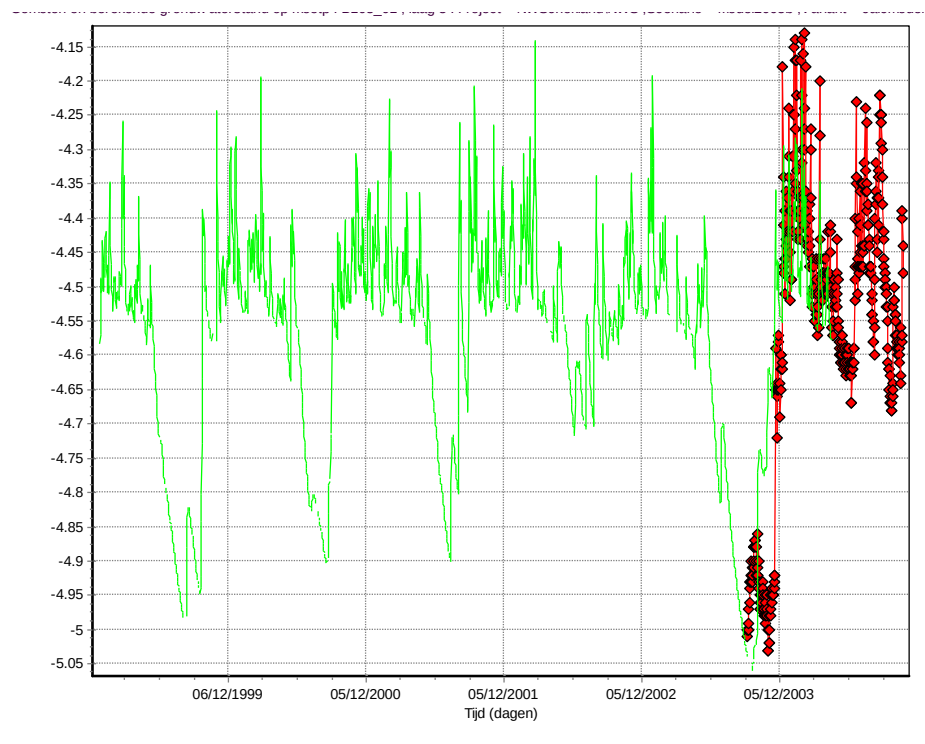
Figuur 3.4a Gemeten en berekende grondwaterstand peilbuis B20F0174 (WVP1)



Figuur 3.4b Gemeten en berekende grondwaterstand peilbuis B20F0174 (WVP2)



Figuur 3.4c Gemeten en berekende grondwaterstand peilbuis PB102 (freatisch grondwater)



Figuur 3.4d Gemeten en berekende grondwaterstand peilbuis PB103 (freatisch grondwater)

Uit figuur 3.4 blijkt dat de freatische grondwaterstand in het zuidoostelijk deel van het studiegebied (peilbuizen PB102 en PB103) goed berekend wordt, zowel wat betreft gemiddeld niveau als wat betreft dynamiek. Hier zijn geen meetgegevens uit het eerste watervoerende pakket beschikbaar. Nabij de A6 zijn wel meetgegevens uit het eerste (en tweede) watervoerende pakket beschikbaar (maar hier weer geen gegevens van het freatisch grondwater). De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket wordt te laag berekend. Met name in de droge perioden zakt de berekende grondwaterstijghoogte verder uit dan de gemeten grondwaterstijghoogte.

Mede op basis van de verschillen tussen gemeten en berekende grondwaterstanden en -stijghoogten wordt verwacht dat het model het regionale grondwatersysteem goed beschrijft. Lokaal wordt mogelijk een te lage GLG berekend.

In het voorjaar van 2010 zijn door waterschap Zuiderzeeland in het studiegebied een aantal peilbuizen geplaatst. Op 6 april 2010 (circa twee weken na het plaatsen van de peilbuizen) is de grondwaterstand handmatig in deze peilbuizen opgenomen. De handgemeten grondwaterstanden zijn vergeleken met de met het model berekende grondwaterstanden (tabel 3.1).

Tabel 3.1 *Vergelijking gemeten en berekende grondwaterstand aanvullende peilbuizen*

Meetpunt	Gemeten grondwaterstand*	Berekende grondwaterstand	
		GHG	GLG
	[cm -mv]	[cm -mv]	[cm -mv]
474	110	60	130
475	60	70	150
476	60	80	130
477	90	70	150
478	45	40	110
479	45	40	100
480	40	50	100

* op 6 april 2010

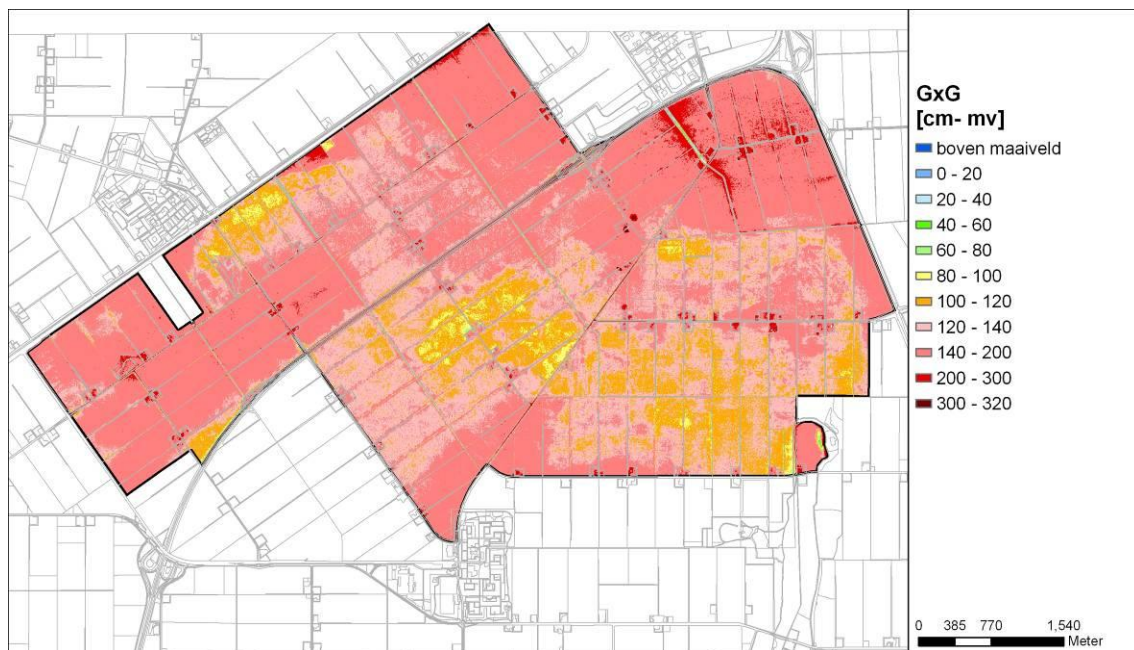
Gezien de datum van opname van de grondwaterstand, wordt een grondwaterstand rond de GVG verwacht. De GVG zit tussen de GHG en GLG in, maar in de meeste gevallen dichtbij de GHG. Uit tabel 3.1 blijkt dat de handgemeten grondwaterstand inderdaad rond de berekende GHG zit. Ook uit de handmetingen blijkt dus dat met het model in ieder geval de natte omstandigheden goed in beeld worden gebracht (er zijn nog geen handmetingen beschikbaar van een droge periode).

3.3.2 Berekende GxG's

In figuur 3.5 (op basis van AHN1) en in figuur 3.6 (op basis van het aangepaste AHN) zijn de berekende GxG's van het aangepaste SIMGRO-model weergegeven.



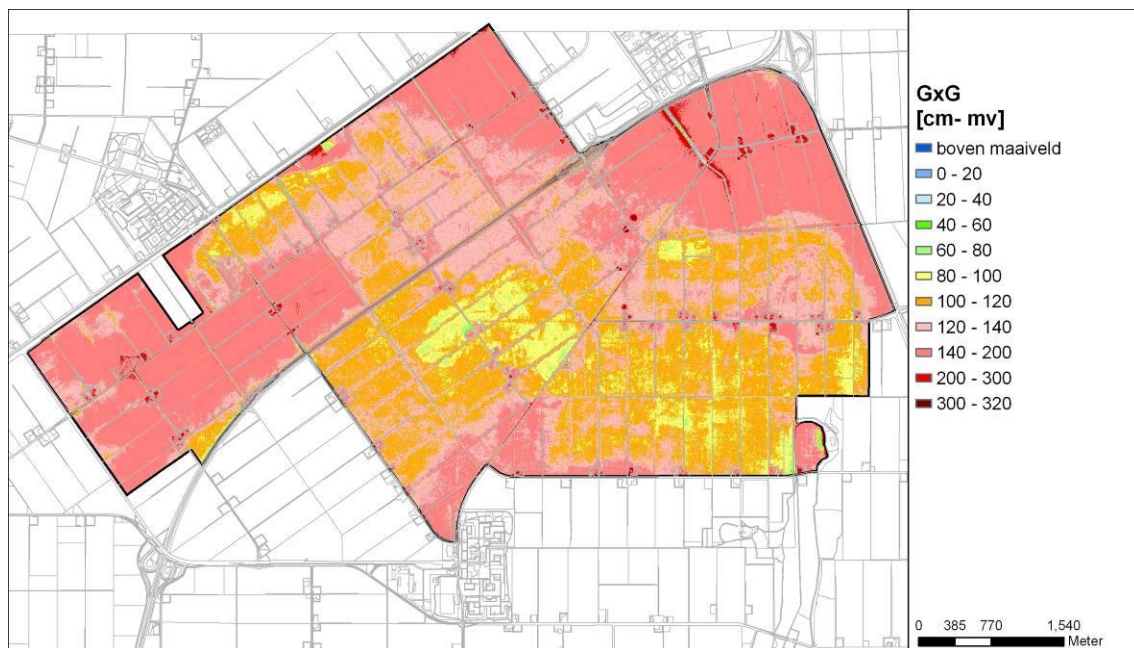
Figuur 3.5a Berekende GHG op basis van AHN1



Figuur 3.5b Berekende GLG op basis van AHN1



Figuur 3.6a Berekende GHG op basis van aangepaste AHN



Figuur 3.6b Berekende GLG op basis van aangepaste AHN

De patronen in de berekende GHG (figuur 3.6a) komen grotendeels overeen met de patronen in de drainage (zie figuur 3.1). In de gebieden ten westen en ten oosten van de Nagelerweg (drainagediepte 0,8 m) bevindt de GHG zich in het midden van de percelen op circa 0,40 tot 0,60 m -mv. Op de percelen aan de oostzijde van het plangebied bevindt de GHG zich op circa 0,60 á 0,80 m -mv. Dit geldt ook voor de percelen ten westen van de A6. Lokaal bevindt de GHG zich hier nog dieper, op circa 0,90 m -mv.

Door het studiegebied bevindt zich een oost-west strook met relatief ondiepe GLG's (figuur 3.6b). In het gebied tussen de A6 en de Nagelerweg bevindt de GLG zich lokaal op circa 0,80 m -mv. De GLG neemt naar de randen van het studiegebied toe tot een diepte van circa 1,60 á 1,80 m -mv.

4 Methode Hooghoudt / peilbuizen

4.1 Inleiding

In veel gevallen is geen grondwatermodel beschikbaar. Om een inschatting te maken van de grondwaterstanden kan gebruik worden gemaakt van de methode Hooghoudt. Deze methode wordt uitgevoerd aan de hand van eenvoudige, beschikbare gegevens.

De grondwaterstanden worden berekend aan de hand van de formule van Hooghoudt:

$$L^2 = \frac{8k_o \cdot d \cdot h + 4k_b \cdot h^2}{N}$$

Waarin:

L	afstand tussen de drains [m]
k_o	doorlatendheid van de grond onder het drainniveau [m/d]
k_b	doorlatendheid van de grond boven het drainniveau [m/d]
d	equivalente dikte van de doorstroomde laag [m]
h	maximale opbolling tussen de drains [m]
N	stationaire afvoer [m/d]

Met deze formule is de opbolling boven het drainageniveau te berekenen. Aangezien weinig gegevens exact bekend zijn, worden aannames gedaan voor de parameters.

4.2 Gebruikte gegevens

4.2.1 Bodemopbouw

In het DINO-loket zijn enkele boringen opgevraagd. Hieruit blijkt dat de toplaag bestaat uit klei en veen, met wat zandlaagjes. Deze laag is enkele meters dik. Voor het gehele onderzoeksgebied wordt gesteld dat de doorlatendheid van de deklaag 0,25 m/d bedraagt, zowel boven als onder het drainniveau (k_o en k_b). De dikte van de laag bedraagt circa 4 m.

4.2.2 Stationaire afvoer

De maatgevende neerslag voor het bepalen van de GHG is door het Waterschap gesteld op 13 mm/d. Daarbovenop moet nog rekening worden gehouden met afvoer van kwel. In onze berekeningen zijn wij uitgegaan van een gebiedsgemiddelde kwelflux 1 mm/d. Waarschijnlijk varieert deze in werkelijkheid wel ruimtelijk. Indien een kwelkaart aanwezig is, kan deze hiervoor worden gebruikt. De totale stationaire afvoer voor de GHG bedraagt dan 14 mm/d.

In de droge tijd wordt ervan uitgegaan dat er geen neerslag is. Wel is er kwel aanwezig. Voor de GLG wordt gerekend met een stationaire afvoer van 1 mm/d.

4.2.3 Drainageafstand

Het gebied is onder te verdelen in twee deelgebieden: één met een drainafstand van 8 m en één met een drainafstand van 12 m.

Bij het bepalen van de GLG zakt de grondwaterstand uit. Hierbij zou dan het oppervlaktewater-peil gebruikt kunnen worden als drainageniveau en de slootafstand (circa 300 m) als drainafstand. De berekende opbolling wordt dan echter zo hoog, dat de drains weer het water gaan afvoeren. Hierdoor wordt voor het bepalen van de opbolling bij GHG en GLG-omstandigheden de drainafstand gebruikt.

4.3 Resultaten

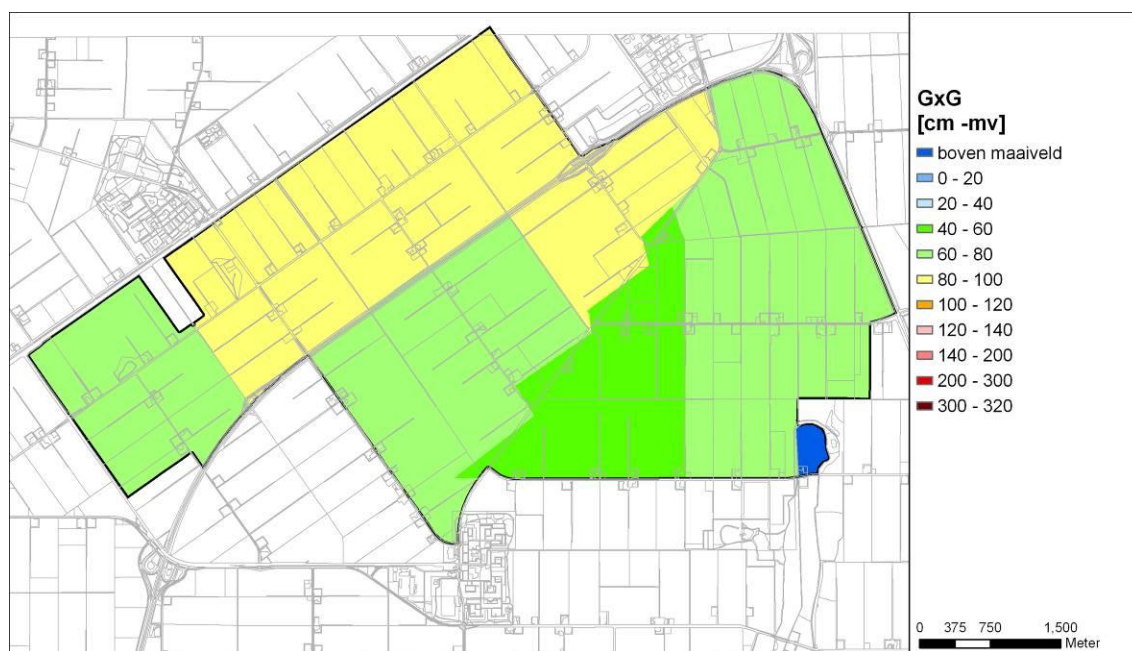
Aan de hand van bovenstaande gegevens is de opbolling van de grondwaterstand ten opzichte van het drainageniveau berekend (zie tabel 4.1).

Tabel 4.1 Berekende opbolling grondwaterstand

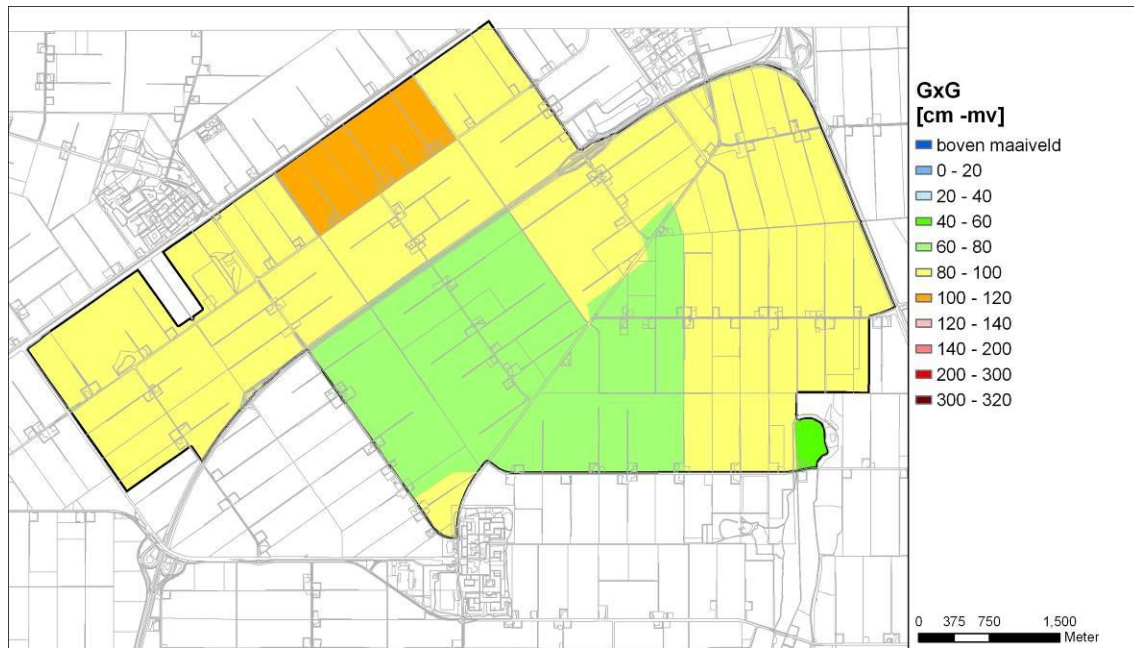
Parameter	Omschrijving	GLG	GLG	GHG	GHG
K	Doorlatendheid	0,25 m/d	0,25 m/d	0,25 m/d	0,25 m/d
D	Dikte	4 m	4 m	4 m	4 m
N	Afvoer	1 mm/d	1 mm/d	14 mm/d	14 mm/d
L	Drainageafstand	8 m	12 m	8 m	12 m
H	Opbolling	0,01 m	0,02 m	0,11 m	0,24 m

De drainagediepte is gebiedsdekkend bekend (varieert ruimtelijk tussen 0,8 en 1,1 m -mv). Door de berekende opbolling (tabel 4.1) van deze drainagediepte af te trekken, zijn gebiedsdekkend de GHG en GLG ten opzichte van het maaiveld bekend.

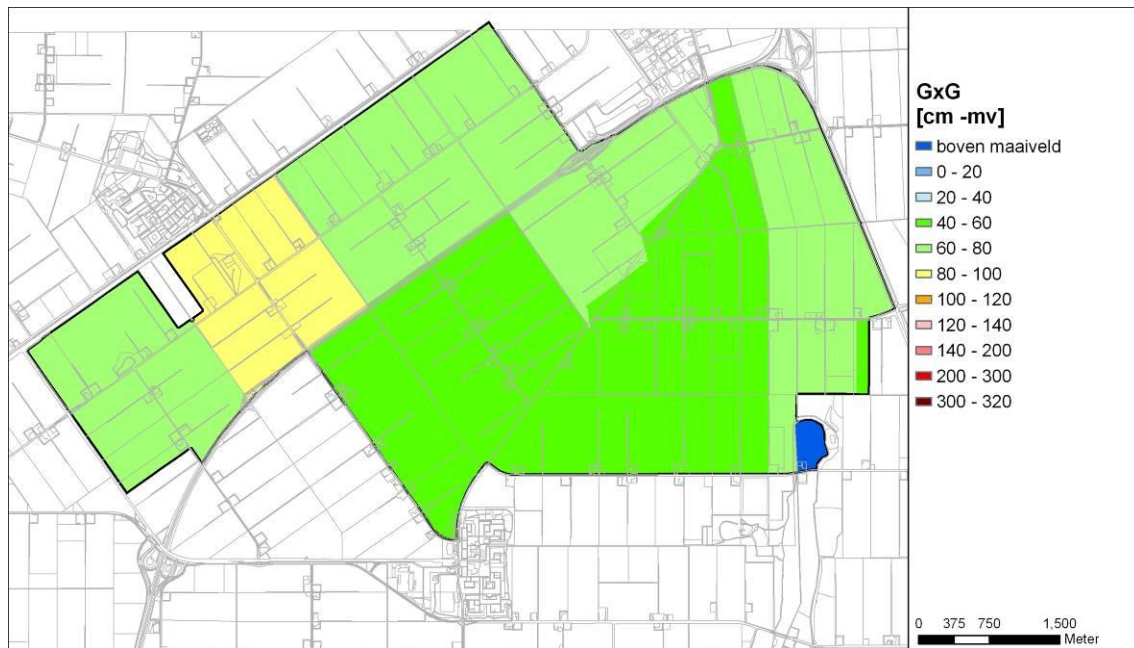
In figuur 4.1 (op basis van AHN1) en in figuur 4.2 (op basis van het aangepaste AHN) zijn de berekende GxG's op basis van de Hooghoudt berekening weergegeven.



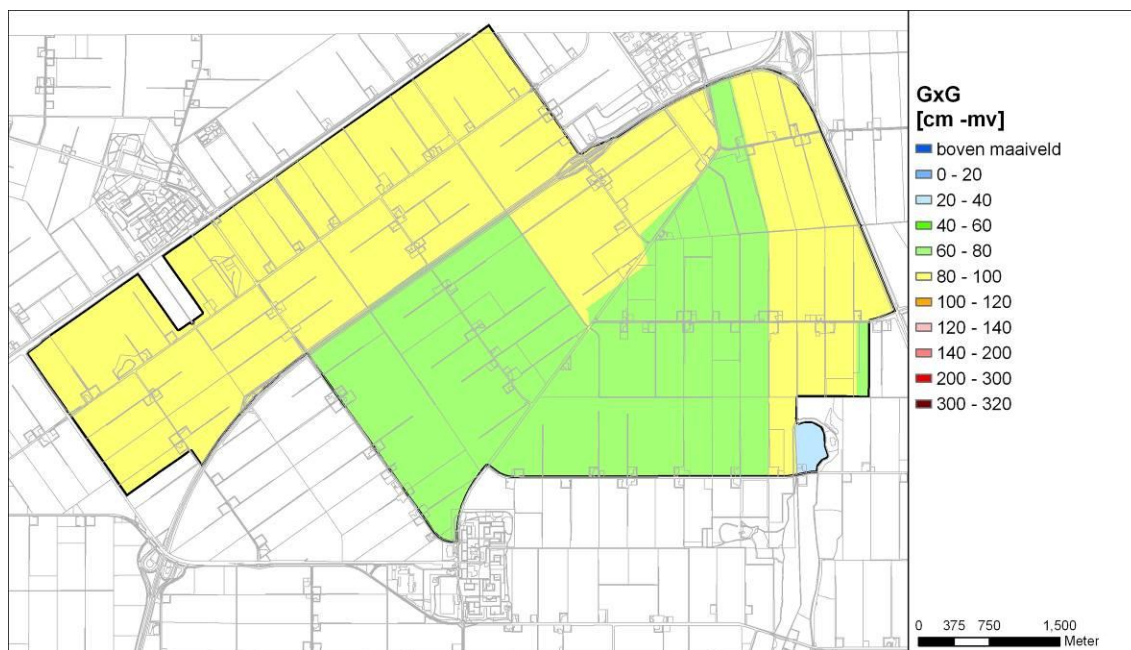
Figuur 4.1a GHG methode Hooghoudt, op basis van AHN1



Figuur 4.1b GLG methode Hooghoudt, op basis van AHN1



Figuur 4.2a GHG methode Hooghoudt, op basis van aangepaste AHN



Figuur 4.2b GLG methode Hooghoudt, op basis van aangepaste AHN

De met de Hooghoudt-methode berekende GHG en GLG vertonen een sterke overeenkomst met de drainagediepte.

De GHG (figuur 4.2a) bevindt zich in het centrale deel van het studiegebied (aan weerszijden van de Nagelerweg) op circa 0,40 tot 0,60 m -mv. In de rest van het studiegebied bevindt de GHG zich tussen 0,60 en 0,80 m -mv. Op de percelen aan weerszijden van de Zuidwesterringweg (ten noorden van de A6) bevindt de GHG zich tussen 0,80 en 1,00 m -mv.

De GLG (figuur 4.2b) bevindt zich in het centrale deel van het studiegebied tussen 0,60 en 0,80 m -mv. In de rest van het studiegebied bevindt de GLG zich op 0,80 tot 1,00 m -mv.

5 Neerschalingmethode

5.1 Inleiding

Door Alterra is een landsdekkende kaart met grondwatertrappen (Gt-kaart) op basis van een eenvoudige neerschalingmethode gemaakt. Een uitgebreide beschrijving van de methode is opgenomen in twee rapporten (Van der Gaast et al, 2006 2x)). In opdracht van STOWA werkt Alterra nu aan een onderzoek om de Gt-kaart te vergelijken met detailkarteringen. Op basis van deze vergelijking kan een inschatting worden gemaakt van de nauwkeurigheid van de Gt-kaart.

Onderstaand (paragraaf 5.2) is een korte beschrijving van de neerschalingmethode gegeven (voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen naar de genoemde Alterra-rapporten). In paragraaf 5.3 worden de resultaten van de methode, in de vorm van een GHG- en GLG-kaart beschreven.

5.2 Werkwijze

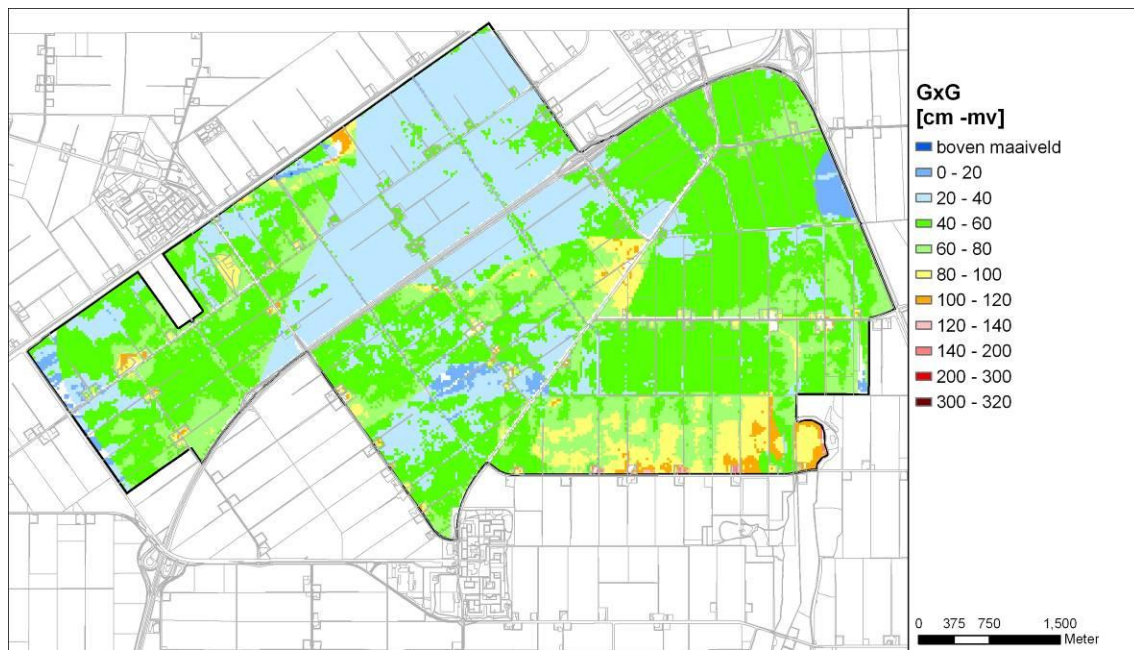
Op basis van een uitgebreide dataset, bestaande uit 3117 peilbuislocaties, is onderzoek uitgevoerd naar de karakterisering van de freatische grondwaterstand. Hiervoor is de fluctuatie van de grondwaterstand op peilbuislocatie onderzocht (Van der Gaast en Massop, 2005). De analyse heeft plaatsgevonden op basis van tijdreeksanalyse, waardoor de berekende GxG betrekking heeft op een klimaatrepresentatieve reeks (30 jaar). Resultaat van het onderzoek is een tabel die de relatie weergeeft tussen de Gt en de GxG (bestaande uit de GHG, GVG en GLG). Voor elke Gt wordt in deze tabel een gemiddelde waarde en de standaarddeviatie ervan voor de GHG, GVG en GLG gegeven.

De gegevens uit bovengenoemde tabel kunnen worden vertaald in een kansverdeling. De informatie uit deze kansverdeling kan gebruikt worden om de Gt-vlakken in de bestaande bodem- en Gt-kaart nader in te delen. Door gebruik te maken van het AHN (25 x 25 m) kan ook voor het maaiveld een kansverdeling worden gemaakt. Door de kansverdeling voor het maaiveld binnen een Gt-vlak op de bodem- en Gt-kaart te transformeren naar een kansverdeling voor de GxG, is een kaart te maken van de GxG.

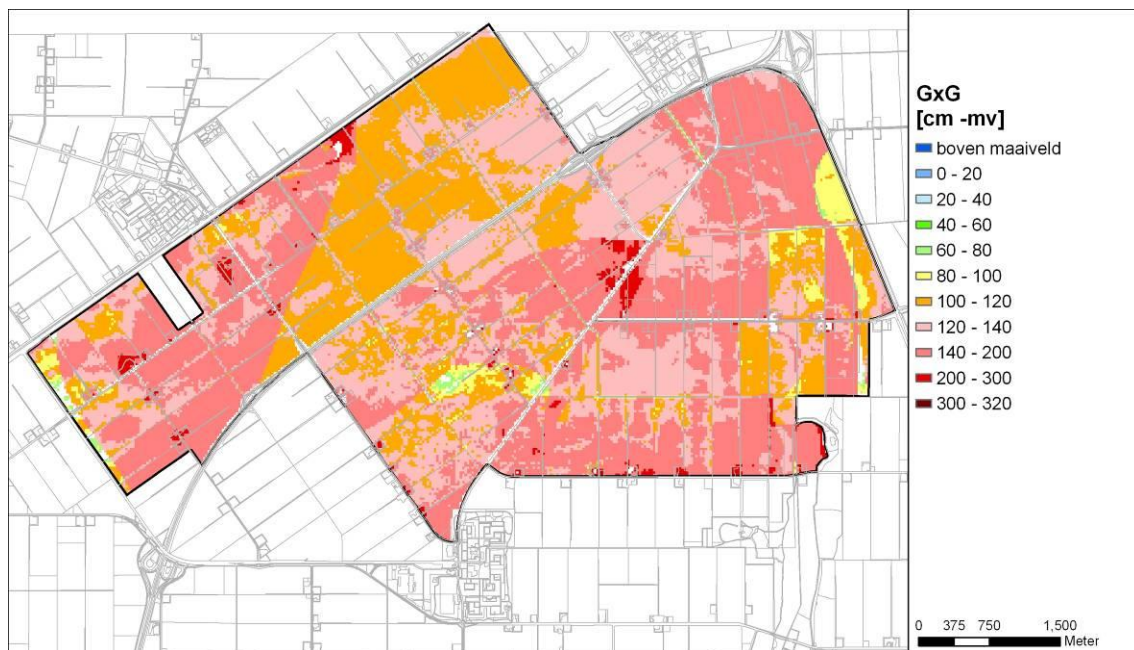
Met deze werkwijze worden kaartbeelden van de GHG en GLG gegenereerd die representatief zijn voor het watersysteem in de periode 1960 - 1980, de periode waarin het merendeel van de bodem- en Gt-karteringen is uitgevoerd.

5.3 Resultaten

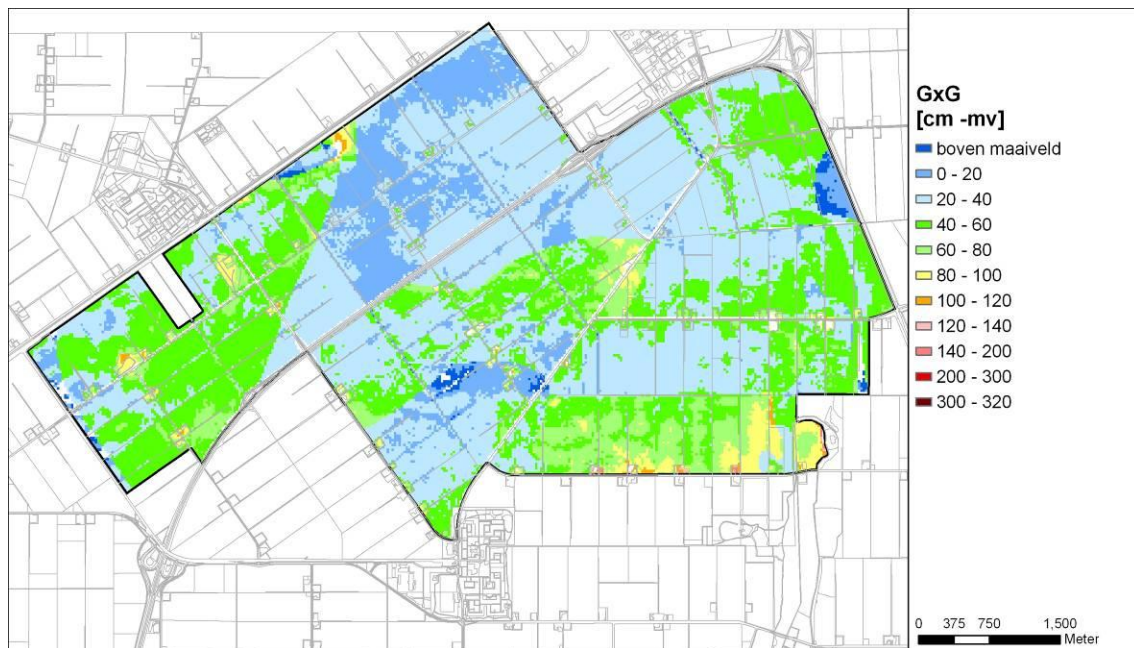
In figuur 5.1 (op basis van AHN1) en in figuur 5.2 (op basis van het aangepaste AHN) zijn de berekende GxG's op basis van de neerschalingmethode weergegeven.



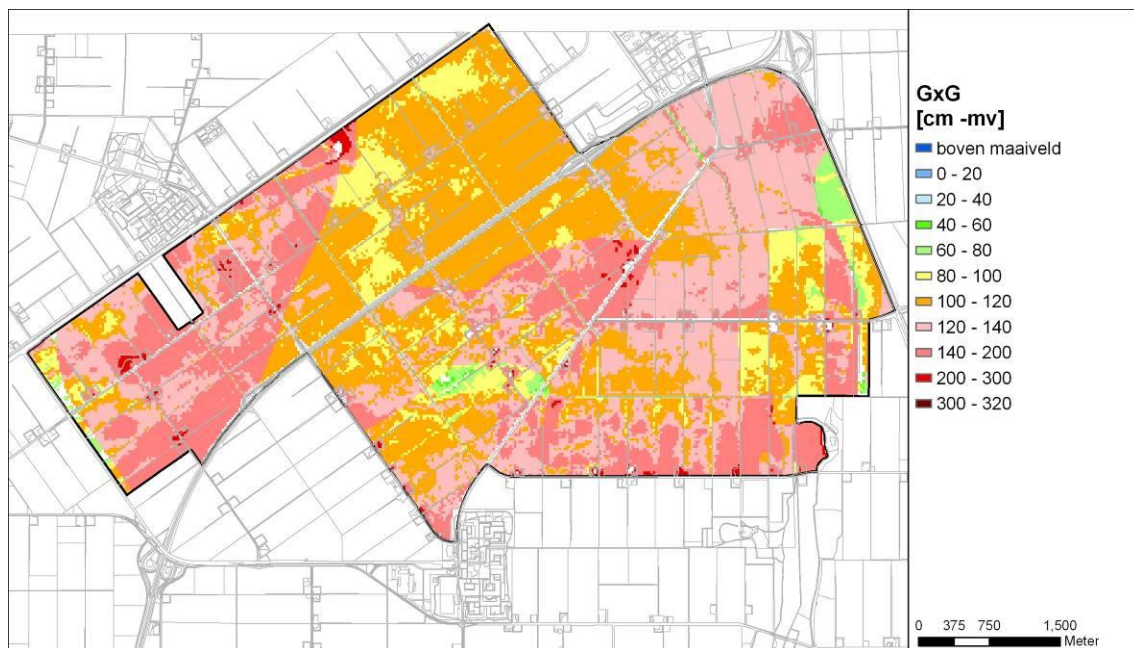
Figuur 5.1a GHG neerschalingmethode, op basis van AHN1



Figuur 5.1b GLG neerschalingmethode, op basis van AHN1



Figuur 5.2a GHG neerschalingmethode, op basis van aangepaste AHN



Figuur 5.2b GLG neerschalingmethode, op basis van aangepaste AHN

Op basis van de neerschalingmethode (en de aangepaste AHN) wordt in een groot deel van het studiegebied een GHG nabij maaiveld berekend (figuur 5.2a). In het westelijk en zuidelijk deel en lokaal aan de oostzijde van het studiegebied bevindt de GHG zich dieper, op circa 0,40 tot 0,80 m -mv.

Met de neerschalingmethode wordt een GLG berekend op circa 0,80 tot 1,40 m -mv. Ook hier geldt dat het westelijk, zuidelijk en oostelijk deel relatief droog zijn.

Opvallend aan de kaarten van de neerschalingmethode is de harde overgangen op de begrenzing van de eenheden van de bodemkaart. In de berekende GxG kunnen op deze grenzen sprongen van 3 á 4 legenda-eenheden (circa 0,60 tot 0,80 m) voorkomen.

6 Waternoodberekeningen

6.1 Inleiding

In voorgaande hoofdstukken zijn de resultaten van drie verschillende methoden om de GxG's te berekenen, gepresenteerd. Tevens zijn twee verschillende maaiveldhoogtebestanden besproken. In totaal leidt dit tot zes verschillende combinaties van GxG-kaarten.

In paragraaf 6.2 worden de verschillende resultaten onderling vergeleken. Het gaat hierbij met name om een kwalitatieve afweging. Eerst wordt ingegaan op de betrouwbaarheid van de verschillende methoden, vervolgens worden de resultaten onderling vergeleken en met ervaringen uit de praktijk. Op basis van deze afweging is één methode als beste gekozen en op basis van de resultaten van deze methode zijn Waternoodberekeningen uitgevoerd (paragraaf 6.3). Voor de Waternoodberekeningen is voor de gekozen methode wel uitgegaan van twee verschillende maaiveldbestanden.

In paragraaf 6.4 worden de resultaten van de Waternoodberekeningen besproken in de vorm van knelpunten in de landbouw (nat- en droogschade).

6.2 Vergelijking resultaten

6.2.1 Betrouwbaarheid

Ten aanzien van de betrouwbaarheid, in relatie tot het vaststellen van de AGOR, van de verschillende methoden kan het volgende gezegd worden:

- **SIMGRO-model:** Er is gebruik gemaakt van een grondwatermodel dat de hele Noordoostpolder beslaat. Het betreft dus een regionaal model, waar de nadruk is gelegd op Schokland en omgeving (Grontmij, 2005). Voor voorliggende studie is onder andere het modelnetwerk verfijnd. Er heeft geen aanvullende lokale kalibratie plaatsgevonden. De berekende grondwaterstanden kunnen maar op één locatie in het studiegebied met gemeten grondwaterstijghoogten vergeleken worden. Het betreft metingen in het eerste en tweede watervoerende pakket. Het model berekent te lage grondwaterstijghoogten in het eerste watervoerende pakket. Onduidelijk is hoe goed de berekende freatische grondwaterstand aansluit bij de werkelijkheid.

=> Regionaal gezien is het model een betrouwbare informatiebron. Lokaal gezien en dan met name ten aanzien van de freatische grondwaterstand is de betrouwbaarheid onduidelijk.

- **Hooghoudt methode:** De Hooghoudt methode gaat uit van een stationaire berekening terwijl de GHG en GLG dynamische situaties zijn. Cruciale vraag daarbij is welke flux hoort bij GHG- en GLG-omstandigheden. Voor de GHG wordt door Zuiderzeeland uitgegaan van 13 mm/dag. Dit is gebaseerd op de landbouwkundige afvoernorm van 1,5 l/s/ha. Deze norm wordt gehanteerd voor de dimensionering van waterlopen en kunstwerken. Vanuit het grondwater bestaat er geen enkele onderbouwing voor deze norm. Voor dimensionering van drainage wordt veelal uitgegaan van een afvoer van 7 mm/dag (waar, indien van toepassing nog een kwelflux bij opgeteld wordt). In vergelijking hiermee is een afvoer van 13 mm/dag wel veel.

Het resultaat van de Hooghoudt methode is een opbolling van de grondwaterstand boven de ontwateringsbasis. Deze wordt vergeleken met (een) enkele veldmeting(en). Onduidelijk is hoe deze veldmetingen zich verhouden tot de GHG en GLG. Kalibratie van de berekening is dan ook niet goed mogelijk.

=> De Hooghoudt methode is een stationaire berekening van een dynamisch proces. Als gevolg van de hiermee samenhangende onzekerheden in de invoerparameters, wordt deze methode als weinig betrouwbaar geacht voor het bepalen van het AGOR.

- **Neerschalingmethode:** Deze methode is volledig door Alterra uitgewerkt. Precieze aannames en uitgangspunten zijn niet bekend. Belangrijkste aandachtspunt is dat de methode uitgaat van klimaatrepresentatieve reeksen (30 jaar) en dat de methode hiermee uitgaat van het watersysteem van tijdens de bodemkartering (periode 1960-1980). Dit nadeel kan worden ondervangen door een actualisatie van de Gt's te laten uitvoeren.
=> *Afhankelijk van de ingrepen in het watersysteem wordt verwacht dat deze methode bruikbare resultaten op regionale schaal oplevert. Lokaal, op de grenzen van de bodem- en Gt-kartering, treden grote en onnatuurlijke sprongen in de GxG op. De AGOR is daardoor op lokale schaal niet betrouwbaar.*

6.2.2 Onderlinge vergelijking resultaten

Wanneer de resultaten van de drie methoden onderling vergeleken worden, blijkt het volgende:

- De GHG met de neerschalingmethode is hoger (natter) dan de GHG uit het Simgro-model. In het gebied rond en ten noorden van de A6 bedraagt het verschil circa 0,6 m. In de rest van het studiegebied bedraagt het verschil circa 0,20 m.
- De GLG van de neerschalingmethode en het Simgro-model komen gemiddeld gezien over het hele studiegebied ongeveer met elkaar overeen. De ruimtelijke patronen zijn echter totaal verschillend, waardoor lokaal verschillen tot circa 0,4 m bestaan.
- De GHG van de Hooghoudt-methode komt in orde grootte en patronen op hoofdlijnen overeen met het Simgro-model. Lokale patronen en variaties binnen de percelen ontbreken in de Hooghoudt methode. De goede overeenkomst voor de GHG tussen de Hooghoudt-methode en het Simgro-model is goed verklaarbaar. De Hooghoudt-methode is sterk afhankelijk van de ontwateringsdiepte en bij GHG-omstandigheden is ook de met het Simgro-model berekend egrondwaterstand sterk afhankelijk van de aanwezige buisdrainage.
- De GLG van de Hooghoudt-methode is veel hoger (natter) dan de GLG op basis van het Simgro-model. Het verschil bedraagt gemiddeld circa 0,40 m. Daarmee is de GLG van de Hooghoudt-methode ook veel hoger dan de GLG van de neerschalingmethode.

Eén en ander is samengevat in tabel 6.1 (Nb: de tabel moet per regel gelezen worden).

Tabel 6.1 Onderlinge vergelijking methoden

	Simgro	Hooghoudt	Neerschaling
GHG			
Simgro		.. komt in orde grootte overeen met..	.. is circa 0,20 tot 0,60 m droger dan..
Hooghoudt	.. komt in orde grootte overeen met..		.. is circa 0,20 tot 0,60 m droger dan..
Neerschaling	.. is circa 0,20 tot 0,60 m natter dan..	.. is circa 0,20 tot 0,60 m natter dan..	
Algemeen	vergelijkbaar	vergelijkbaar	het natst
GLG			
Simgro		.. is circa 0,40 m droger dan..	.. komt in orde grootte overeen met, patronen verschillend..
Hooghoudt	.. is circa 0,40 m natter dan..		.. is circa 0,40 m natter dan..
Neerschaling	.. komt in orde grootte overeen met, patronen verschillend..	.. is circa 0,40 m droger dan..	
Algemeen	vergelijkbaar	het natst	vergelijkbaar
Dynamiek			
Algemeen	gemiddeld	kleinst	grootst

6.2.3 Conclusie

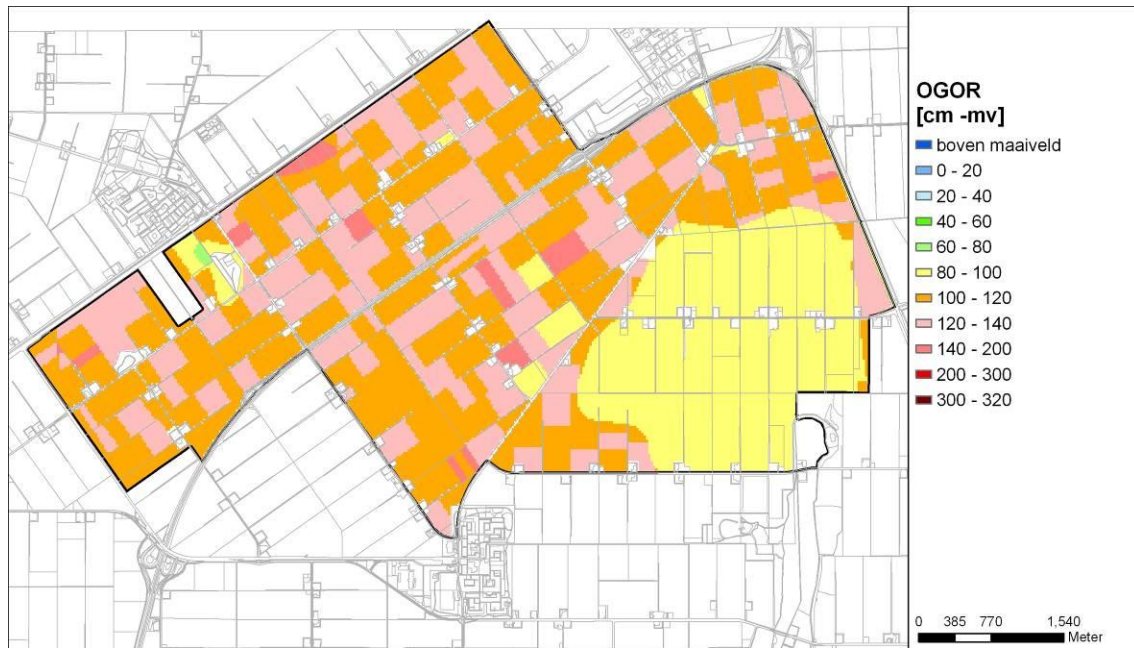
In overleg met Waterschap Zuiderzeeland is besloten dat het resultaat van het Simgro-model de best beschikbare informatie met betrekking tot het AGOR is en dat hiermee de hoogste betrouwbaarheid wordt verkregen. Aandachtspunt hierbij is wel dat in droge periode mogelijk te lage grondwaterstanden (en dus een te lage GLG) wordt berekend.

6.3 Waternoodberekeningen

Voor de landbouw zijn vooral de grondwaterstand aan het eind van de winter en de grondwaterstand in de zomer van belang. Deze grondwaterstanden worden aangeduid met respectievelijk de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). De GHG mag niet te hoog zijn, want dit leidt tot natschade. De GLG mag niet te laag zijn, want dit leidt tot droogschade. De optimale waarden voor de GHG en GLG zijn de waarden waarbij de natschade en de droogschade minimaal zijn. Deze waarden zijn afhankelijk van het landgebruik (gewas) en het bodemtype. De optimale waarden voor GHG en GLG zijn gebiedsdekkend afgeleid op basis van de landgebruikskaat (LGN5), de bodemkaart 1:50.000 en de geactualiseerde HELP-tabellen (STOWA 2005). Hiervoor is gebruik gemaakt van het waternoodinstrumentarium (STOWA, 2002a en 2002c). In figuur 6.1 en 6.2 zijn de optimale GHG en GLG voor de landbouwkundige functie weergegeven.



Figuur 6.1 OGOR GHG landbouw



Figuur 6.2 OGOR GLG landbouw

In landbouwgebieden wordt gestreefd naar een doelrealisatie groter dan 90% door het beperken van droog- en natschade. Bij een doelrealisatie groter dan 90% is de situatie optimaal. Lokaal mogen doelrealisaties tussen de 75% en 90% voorkomen. In dat geval 'voldoet' de situatie van de waterhuishouding voor de landbouw (de totale schade is aanvaardbaar). Een doelrealisatie lager dan 75% voldoet niet. De doelrealisaties voor landbouw worden berekend met het Watnoodinstrumentarium.

Uitgangspunten Watnood-berekeningen

- Bij de Watnoodberekeningen is géén rekening gehouden met berekening. In de praktijk vindt in het studiegebied wel berekening plaats in droge perioden. De berekende droogschade zal dus in de praktijk niet altijd als zodanig ervaren worden.
- In het gebied tussen Schokland en de Nagelerweg bevinden zich Waardveengronden (code kVc). Dit zijn veengronden met een klei- of zanddek. Op deze gronden bevindt zich grasland, aardappelen, suikerbieten of granen. Deze combinaties van bodemtype en landgebruik komen niet in de HELP-tabellen voor. Daarom is de bodemcode aangepast in Madeveengronden (code aVc), waarbij het veen aan of nabij maaiveld voorkomt.
- In het westelijk deel van het studiegebied (ten oosten van Tollebeek) komen kalkrijke poldervaaggronden voor. Op deze gronden bevindt zich maïs, aardappelen of granen. Deze combinaties van bodemtype en landgebruik komen voor in de HELP-tabellen en er kan dus een OGOR voor bepaald worden. Uit de berekeningen voor de actuele situatie blijkt dat de combinatie van GHG en GLG op deze gronden buiten het bereik van de HELP-tabellen valt (de bandbreedte van grondwaterstanden voor de genoemde gewassen op deze gronden is klein). Deze gebieden zijn op de kaarten 6.3 tot en met 6.8 grijs gekleurd. Voor deze gebieden geldt feitelijk een zeer lage doelrealisatie (dit is ook nog handmatig getest met behulp van de HELP 200x-applicatie van Alterra (<http://help200x.alterra.nl/>)).

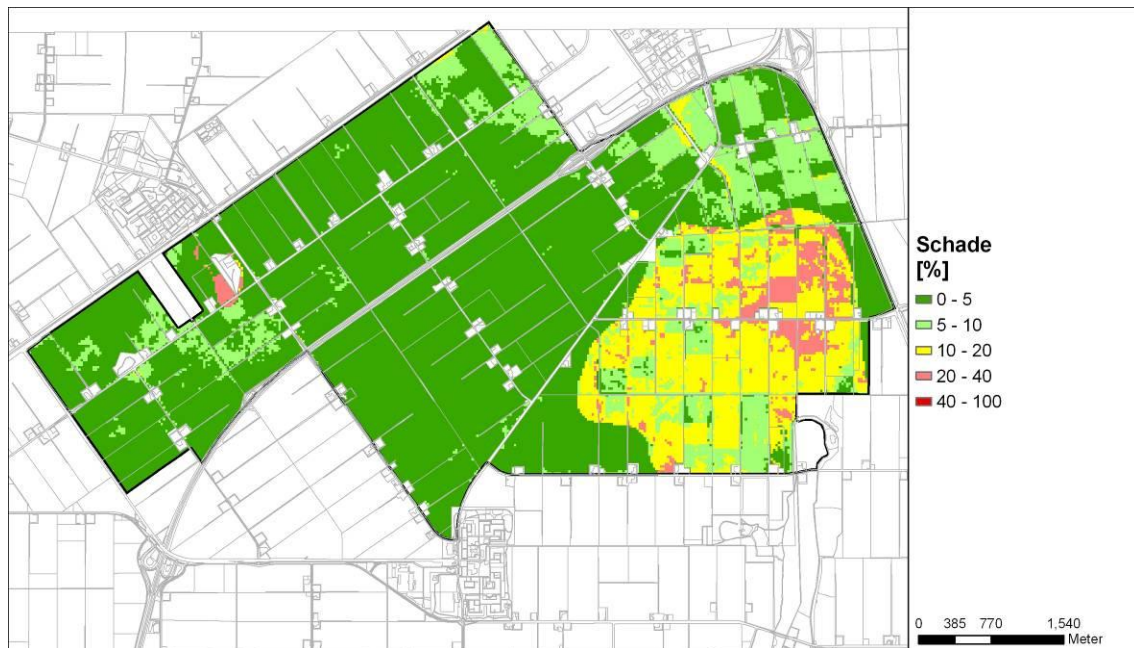
6.4 Doelrealisaties AGOR

6.4.1 Op basis van AHN1

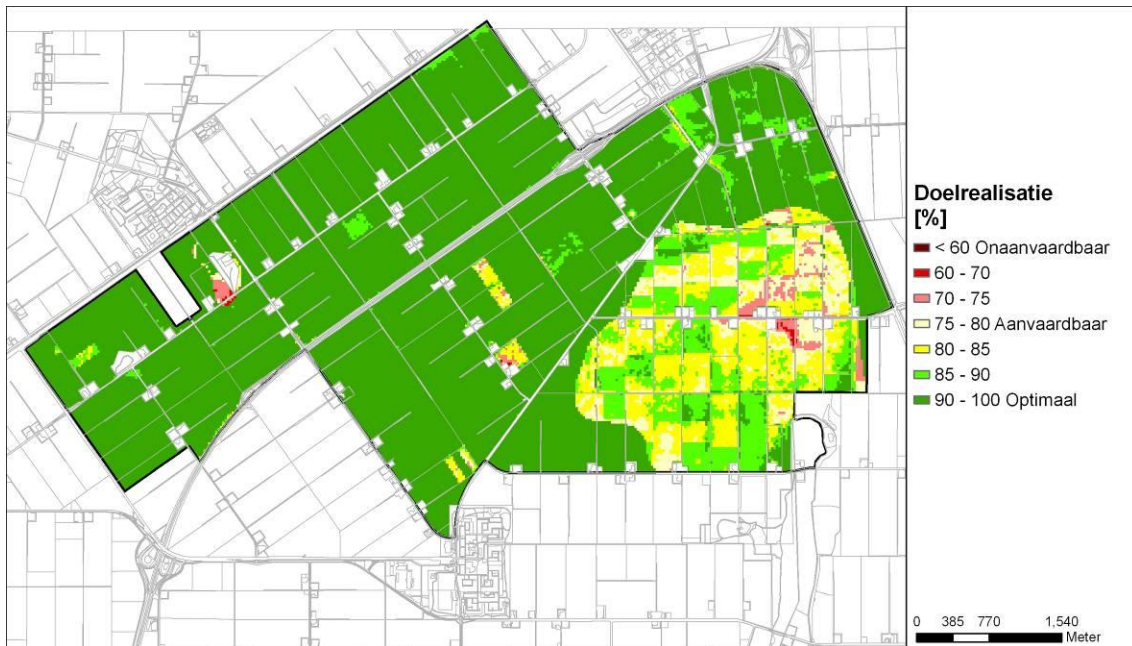
In de figuren 6.3, 6.4 en 6.5 zijn achtereenvolgens de natschade, droogschade en de doelrealisatie voor de landbouw weergegeven, uitgaande van het AHN1-hoogtebestand.



Figuur 6.3 Natschade landbouw op basis van AHN1



Figuur 6.4 Droogschade landbouw op basis van AHN1



Figuur 6.5 Doelrealisatie landbouw op basis van AHN1

Uit figuur 6.3 blijkt dat de natschade in het studiegebied relatief beperkt is. In het grootste deel van het studiegebied is de natschade kleiner dan 5%. Lokaal komen percelen voor met een natschade oplopend tot circa 10 á 20%. Het betreft hier enkele percelen met bloembollen. Van droogschade is met name in het gebied met een veenbodem, tussen de Nagelerweg en Schokland sprake. Het betreft hier een theoretische droogschade. In de praktijk wordt in het studiegebied, indien nodig, berekend vanuit oppervlaktewater.

De doelrealisatie is in vrijwel het gehele studiegebied aanvaardbaar (>75%). In het gebied direct ten noordwesten van Schokland is de doelrealisatie lokaal onaanvaardbaar. Dit wordt vooral veroorzaakt door de berekende droogschade. In de praktijk zal hier echter, indien nodig, berekend worden.

6.4.2 Op basis van door Zuiderzeeland aangepast hoogtebestand

In de figuren 6.6, 6.7 en 6.8 zijn achtereenvolgens de natschade, droogschade en de doelrealisatie voor de landbouw weergegeven, uitgaande van het aangepaste hoogtebestand.

Als gevolg van bodemdaling, bevindt de grondwaterstand zich dicht bij maaiveld. Dit blijkt ook uit de berekende nat- en droogschades op basis van het aangepaste hoogtebestand (figuren 6.6 en 6.7). In vrijwel het gehele gebied ten zuidoosten van de A6 bedraagt de natschade 5 á 10%. Lokaal bedraagt de natschade 10 á 20% en op de percelen met bloembollen neemt de natschade zelfs toe tot circa 20 á 40%.

De berekende droogschade neemt af.

Uitgaande van de bodemdaling die is opgetreden in de periode 1998-2009 is de doelrealisatie ter plaatse van de gronden met bloembollen afgenomen tot onaanvaardbare percentages (<75%). De doelrealisatie ter plaatse van de veengronden ten noordwesten van Schokland is toegenomen, maar dit komt door een afname in de berekende droogschade. In de praktijk zal deze droogschade (vrijwel niet) eravereen worden, omdat er wordt berekend.



Figuur 6.6 Natschade landbouw op basis van het aangepaste AHN



Figuur 6.7 Droogschade landbouw op basis van het aangepaste AHN



Figuur 6.8 Doelrealisatie landbouw op basis van het aangepaste AHN

6.5 Doelrealisaties aanvullende berekeningen

Aanvullend op bovenstaande berekeningen uitgaande van het huidige landgebruik in het studiegebied (uitgaande van het LGN5-bestand) zijn Waternood-berekeningen uitgevoerd met gebiedsdekkend één gewas. Achtereenvolgens zijn berekeningen uitgevoerd voor gras (paragraaf 6.5.1), voor aardappelen (paragraaf 6.5.2) en bloembollen (paragraaf 6.5.3). In paragraaf 6.5.4 worden de verschillen in uitkomsten nader geanalyseerd.

6.5.1 Gras

In de figuren 6.9, 6.10 en 6.11 zijn achtereenvolgens de natschade, droogschade en de doelrealisatie voor de landbouw gebruikstype gras weergegeven, uitgaande van het aangepaste hoogtebestand.



Figuur 6.9 Natschade landbouw gebruikstype gras op basis van aangepaste AHN



Figuur 6.10 Droogschade landbouw gebruikstype gras op basis van aangepaste AHN



Figuur 6.11 Doelrealisatie landbouw gebruikstype gras op basis van aangepaste AHN

6.5.2 Aardappelen

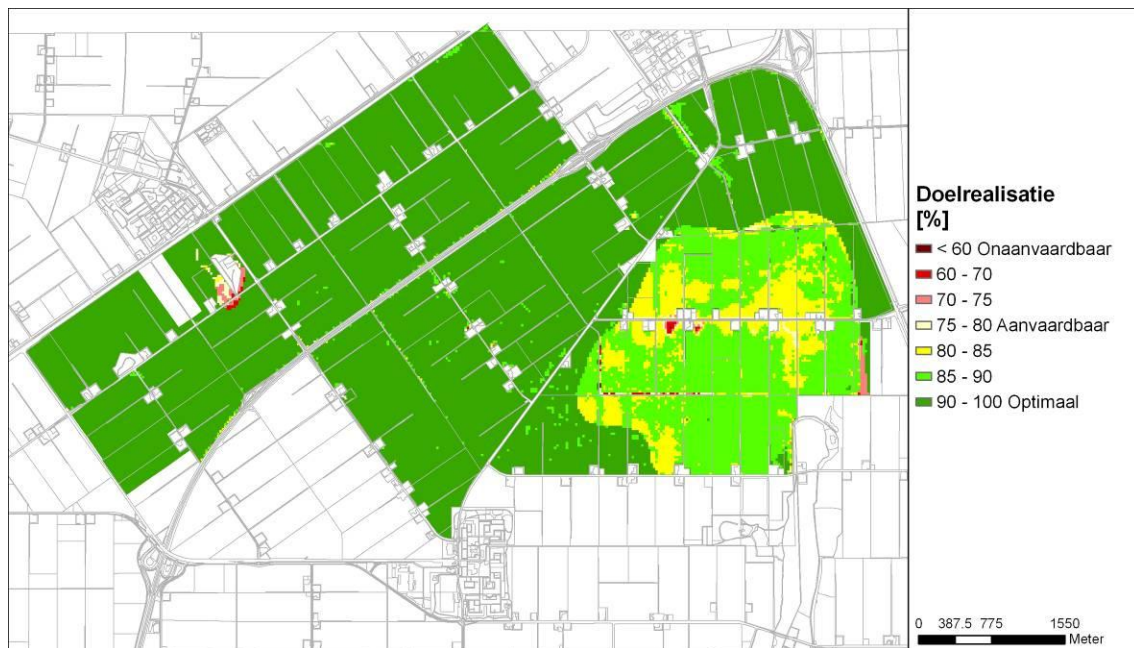
In de figuren 6.12, 6.13 en 6.14 zijn achtereenvolgens de natschade, droogschade en de doelrealisatie voor de landbouw gebruikstype aardappelen weergegeven, uitgaande van het aangepaste hoogtebestand.



Figuur 6.12 Natschade landbouw gebruikstype aardappelen op basis van aangepaste AHN



Figuur 6.13 Droogschade landbouw gebruikstype aardappelen op basis van aangepaste AHN



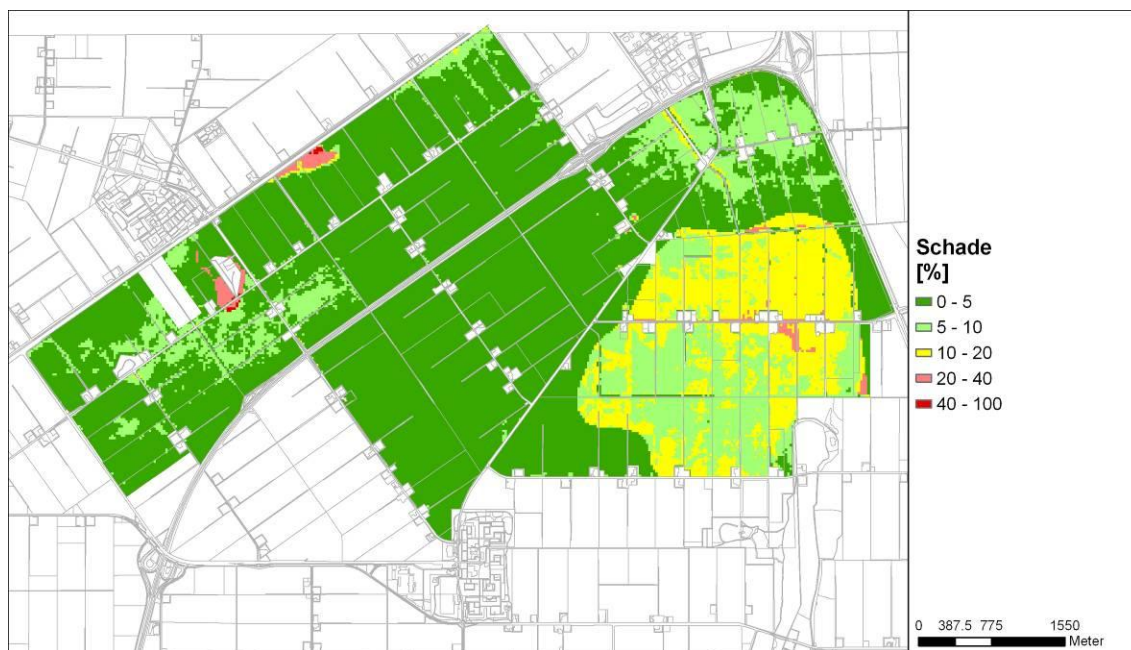
Figuur 6.14 Doelrealisatie landbouw gebruikstype aardappelen op basis van aangepaste AHN

6.5.3 Bollen

In de figuren 6.15, 6.16 en 6.17 zijn achtereenvolgens de natschade, droogschade en de doelrealisatie voor de landbouw gebruikstype bollen weergegeven, uitgaande van het aangepaste hoogtebestand.



Figuur 6.15 Natschade landbouw gebruikstype bollen op basis van aangepaste AHN



Figuur 6.16 Droogschade landbouw gebruikstype bollen op basis van aangepaste AHN



Figuur 6.17 Doelrealisatie landbouw gebruikstype bollen op basis van aangepaste AHN

6.5.4 Analyse uitkomsten

Voor de verschillen tussen de drie gewassoorten (gras, aardappelen en bollen) zijn vooral de verschillen in natschades interessant (door berekening wordt droogschade in het gebied niet echt als knelpunt ervaren). Daarbij is van belang wat de actuele grondwaterstand is en wat voor elk gewas de optimale grondwaterstand is.

In figuur 3.6a en 3.6b zijn de actuele GHG en GLG weergegeven (op basis van het aangepaste maaiveldhoogtebestand). De GHG bevindt zich in het centrale deel van het studiegebied op circa 0,40 á 0,60 m -mv en aan de west- en oostzijde van het gebied iets dieper, circa 0,60 á 0,80 m -mv. De GLG bevindt zich op circa 0,80 m -mv of dieper.

In het Waternood-instrumentarium wordt gebruikt gemaakt van HELP-tabellen. Deze tabellen geven bij een bepaalde combinatie van GHG, GLG, landgebruik en bodemtype inzicht in de nat- en droogschade (en, indien er sprake is van geen schade: de optimale situatie (OGOR)). In figuur 6.18 is de natschade van de drie gewassen als functie van de GHG en GLG weergegeven (hierbij is uitgegaan van één bodemtype, namelijk MN25A (kalkrijke poldervaaggrond)).

Uit figuur 6.18 wordt duidelijk dat natschade vooral bepaald wordt door de GHG. De natschade is vrijwel onafhankelijk van de GLG. Verder blijkt dat gras (van de drie onderzochte gewassen) het best tegen natte omstandigheden kan. Bij een GHG van dieper dan circa 0,30 m -mv is er vrijwel geen natschade meer. Voor aardappelen is dit bij een GHG dieper dan circa 0,50 m -mv het geval en bij bloembollen bij een GHG dieper dan circa 0,90 m. Voor bloembollen is de natschade onaanvaardbaar hoog (>40%) tot een GHG van circa 0,50 m -mv.

Door de actuele GHG en GLG te vergelijken met de relaties in de HELP-tabellen ontstaat onder andere ruimtelijk inzicht in de natschade. Dit is weergegeven in de figuren 6.9, 6.12 en 6.15. Daarin is ook een toename van de natschade zichtbaar van gras en aardappelen naar bloembollen. Uitgaande van een actuele GHG in het studiegebied van circa 0,40 tot 0,60 m -mv, blijkt dat er voor grasland vrijwel geen natschade optreedt. Voor aardappelen is de GHG lokaal circa 0,20 m te hoog en is er sprake van een maximale natschade van circa 10%. Voor bloembollen is de GHG in een groot deel van het studiegebied circa 0,50 m te hoog en dat resulteert in een natschade van circa 35 á 40%.

Opgemerkt wordt dat bovenstaande gebaseerd is op de maaiveldhoogte in de huidige situatie (jaar 2010, uitgaande van het AHN en de door Zuiderzeeland uitgevoerde correctie). Naar de toekomst toe moet rekening worden gehouden met een verslechtering van de situatie als gevolg van de autonome bodemdaling. De bodemdaling bedraagt circa 1 cm/jaar (zie figuur 2.3). Voor een periode van tien jaar betekent dit een totale maaiveldddaling van circa 0,1 m. Hiermee rekening houdend, in combinatie met de gegevens uit figuur 6.18, blijkt dat voor grasland de situatie in de meeste gevallen optimaal blijft (<10% natschade). Voor aardappelen loopt de natschade lokaal op tot maximaal circa 15%. Rekening houdend met de maaiveldddaling treedt een verdere verslechtering op van de situatie ten opzichte van bloembollen.

Uit de figuren 6.9, 6.12, 6.15 en 6.18 blijkt dus dat bloembollen het meest gevoelige gewas is. Dit is, zoals hierboven uitgelegd, gebaseerd op informatie uit de HELP-tabellen die in het Waternood-instrumentarium zijn opgenomen. De HELP-tabellen zijn op hun beurt weer gebaseerd op door PPO (praktijonderzoek plant & omgeving), sector bloembollen, uitgevoerd onderzoek. De voornaamste bevindingen zijn:

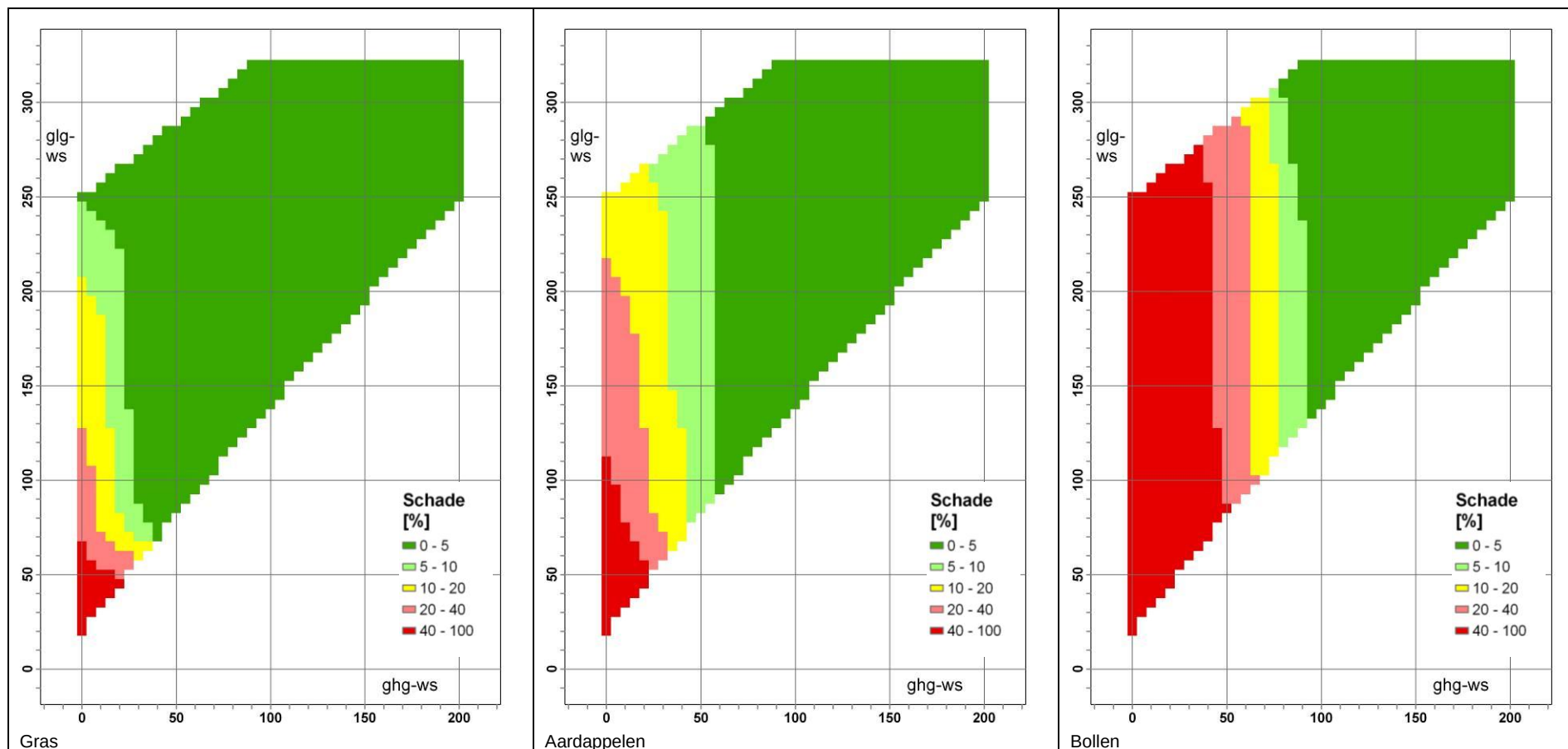
- de optimale grondwaterstanden voor hyacint liggen tussen 50 en 60 cm-mv; voor tulp tussen 40 en 50 cm-mv en voor narcis 45 cm-mv;
- in de eerste maanden na het planten is het maximum aantal dagen zonder lucht in de bouwvoor waarbij nog net geen schade optreedt sterk afhankelijk van de temperatuur: bij 2 graden Celsius 14 dagen, bij 6 graden 8 dagen en bij 10 graden 2 dagen;
- uit het aanvullend onderzoek kwam naar voren dat bij tulp alleen schade optreedt als in dezelfde week van planten de bollen 14 dagen onder water zijn gezet;
- voor berijden en grondbewerking moet de grondwaterstand minimaal 55 cm onder maaiveld staan. Uitvoering van veldwerkzaamheden onder te natte omstandigheden leidt tot bodemverdichting en aanzienlijke opbrengstreducties;
- verlating van het plantijdstip met 1 maand kost bij tulpen gemiddeld minimaal 3,5% opbrengst; bij hyacinten in de orde van 10%;
- onderzoek naar de effecten op de bedrijfsvoering leverde als resultaat dat een verlaging van de drooglegging van 55 naar 65 cm-mv een 5% hoger saldo oplevert;
- de gevoeligheid van inundatie is afhankelijk van het tijdstip in het groeiseizoen: vooral vroeg in het seizoen is de schade hoog.

Door het Louis Bolk Instituut is onderzoek gedaan naar bodemkwaliteit en bemesting in de bol-lenteelt. Het onderzoek is gefinancierd door de provincie Noord-Holland en DLG en het is uitgevoerd op de proeftuin Zwaagdijk. Er is onder andere onderzoek gedaan naar optimale grondwaterstanden voor verschillende bodemtypen. De volgende conclusies worden onder andere gemeld:

- op zandgronden moet de grondwaterstand in het groeiseizoen 0,5 tot 0,6 m -mv zijn. In de winter is 0,6 m -mv een gebruikelijke grondwaterstand;
- op zavel- en kleigronden treedt bij hoge grondwaterstanden luchtgebrek op en ook berijden geeft dan problemen. De grondwaterstand moet tenminste circa 0,7 m -mv zijn. Op gevoelige gronden met hogere lutum- en organische stofgehalten tenminste 0,9 m -mv. Ook wanneer er fijn zand aanwezig is die interne slemp kan veroorzaken, is een goede ontwatering tot 0,9 m -mv belangrijk.

De verschillen op basis van het bodemtype zijn gecontroleerd door ook voor een kalkhoudende zandgrond het verband tussen natschade en GHG/GLG voor bloembollen te bekijken. Daaruit blijkt voor bloembollen op een zandgrond inderdaad een optimale GHG van circa 0,5 á 0,6 m -mv.

Gezien het bovenstaande lijkt in het studiegebied, gegeven de bodemopbouw, sprake te zijn van een situatie met permanent te hoge grondwaterstanden voor bloembollen. De GLG bevindt zich in een groot deel van het studiegebied op circa 1,0 m -mv. Dit komt ongeveer overeen met de optimale GHG voor bloembollen op zavelgronden.



Figuur 6.18 Natschade gras, aardappelen en bloembollen als functie van GHG en GLG [cm -mv]

6.6 Effecten vasthouden afvoer Schokland

Op en om Schokland breiden natuurgebieden zich uit. Voor deze gebieden zou een verdere vernatting ten opzichte van de huidige situatie wenselijk zijn. Het vasthouden van water op Schokland zou hier één van de mogelijkheden kunnen zijn. Op basis van eerder onderzoek (Grontmij, 2005) worden onderstaand, kwalitatief, de verwachte effecten op de ontwateringssituatie in het studiegebied beschreven.

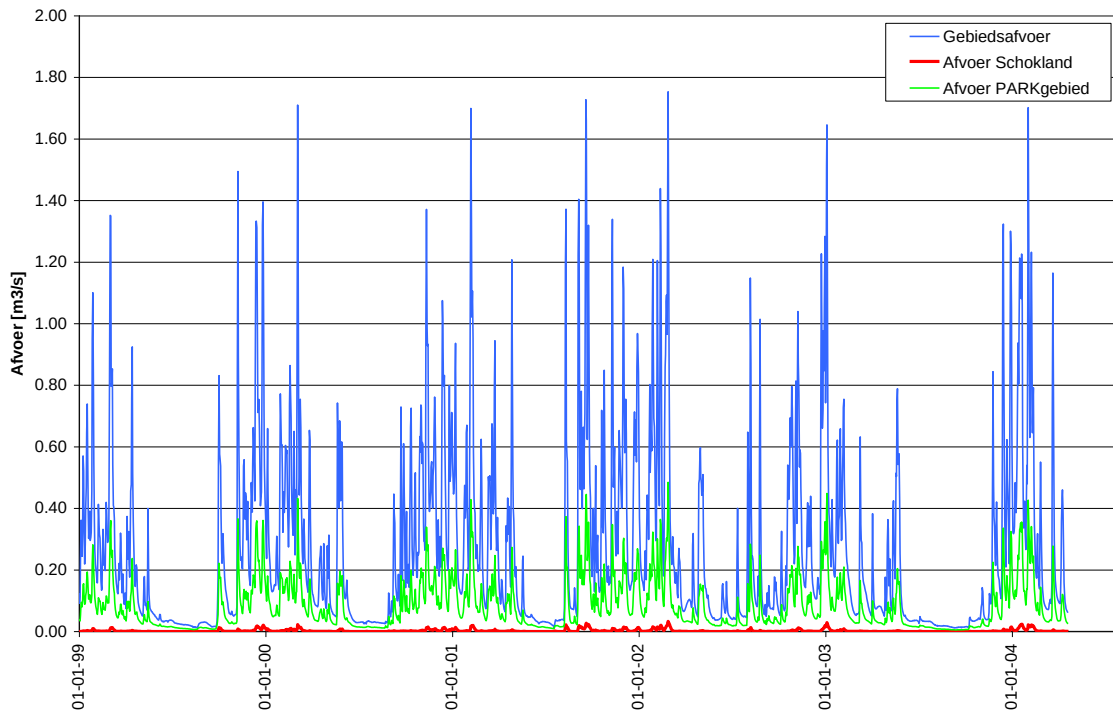
In 2005 zijn door Grontmij berekeningen uitgevoerd voor de effecten van het inrichten van de hydrologische zone aan de oostzijde van Schokland. Ter plaatse van de hydrologische zone zijn, in vergelijking met de situatie rond 1998, de waterpeilen verhoogd met circa 1,10 tot 1,85 m. Als gevolg van de maatregelen in de hydrologische zone bedraagt de verhoging van de grondwaterstand in de deklaag circa 0,7 tot 1,3 m. Het uitstralingseffect naar de omliggende landbouwgronden bedraagt gemiddeld 0 tot 0,06 m en maximaal circa 0,13 m. De grondwaterstandstijgingen in de deklaag ter plaatse van de hydrologische zone hebben een beperkt effect op de grondwaterstand in de omliggende landbouwgronden. Dit wordt veroorzaakt door de hydraulische weerstand van de deklaag en de intensieve drainage van het gebied. De maximale stijging van de stijghoogte in het Pleistocene zandpakket bedraagt 1,0 m. Het effect in het Pleistocene zandpakket strekt zich verder uit dan het effect in de deklaag. Dit komt omdat het doorlaatvermogen van het Pleistocene zandpakket veel groter is dan die van de deklaag. Door de weerstand van de deklaag leidt de stijging in het Pleistocene zandpakket op veel plaatsen niet of nauwelijks tot een stijging van de freatische grondwaterstand. In de berekeningen (Grontmij, 2005) is ook rekening gehouden met bodemdaling. Gebleken is dat, buiten de hydrologische zone, het effect van de bodemdaling op de ontwateringsdiepte vele malen groter is dan het uitstralingseffect van de hydrologische zone.

Op basis van bovenstaande modelresultaten wordt verwacht dat een verdere vernatting op en rond Schokland een vrijwel verwaarloosbaar effect heeft op de ontwateringssituatie van de landbouwpercelen in de omgeving. Dit omdat ook in gebied ten noordwesten van Schokland intensieve drainage aanwezig is. Mogelijk dat op delen van enkele aanliggende percelen direct naast vernattingsmaatregelen de ontwateringsdiepte met maximaal circa 0,10 m afneemt. Verder wordt verwacht dat afname van de ontwateringsdiepte als gevolg van bodemdaling een groter probleem in het studiegebied zal vormen dan eventuele vernattingsmaatregelen op en rond Schokland.

Als de exacte maatregelen bekend zijn kan nader ingeschat worden wat de effecten zijn en of eventueel compenserende maatregelen (bijvoorbeeld aanleg buffersloot) noodzakelijk zijn.

Naast de bovengenoemde uitstralingseffecten is ook gekeken naar de reductie in de gebiedsafvoer als water op en rond Schokland worden vastgehouden. In figuur 6.19 zijn de met het SIM-GRO-model berekende afvoeren weergegeven. Het water dat op en rond Schokland valt, watert door het studiegebied af op de Hannie Schafttocht. De afvoer door de Hannie Schafttocht is in figuur 6.19 als 'gebiedsafvoer' weergegeven. Daarnaast zijn in figuur 6.19 de oppervlakkige afvoer vanaf Schokland en vanuit het "PARK"-gebied weergegeven. Het PARK-gebied bevindt zich direct ten noordwesten van Schokland. In dit gebied is aandacht voor de omvorming naar een natuurlijke inrichting (zie Provinciale natuurdoelen en archeologie).

Uit figuur 6.19 blijkt dat de bijdrage van de afvoer vanaf Schokland aan de gebiedsafvoer zeer beperkt is. Gemiddeld is de bijdrage circa 1%. De bijdrage van de afvoer uit het PARK-gebied (inclusief Schokland) bedraagt circa 30% van de totale gebiedsafvoer.



Figuur 6.19 Berekende afvoeren SIMGRO-model

6.7 Mogelijke maatregelen

Uit de Waternood-berekeningen blijkt dat in het studiegebied sprake is van natschade en droogschade. Door berekening wordt de droogschade in de praktijk niet als knelpunt ervaren. Het waterschap heeft diverse mogelijkheden om knelpunten in het gebied aan te pakken. De mogelijke maatregelen zijn in te delen in categorieën:

- Ingrepen in peilbeheer (aanpassen begrenzing peilvakken, peilverlaging);
- Beleidsmaatregelen (functieverandering (ander gewastype) of acceptatie van het knelpunt);
- Technische maatregelen (aanleg van drainage/watergangen of ophogen/verbeteren grondslag).

Voor welke maatregel uiteindelijk wordt gekozen is afhankelijk de aard en ernst van het knelpunt, de lokale hydrologische situatie, eventuele negatieve (uitstralings)effecten van maatregelen, de kosten en baten van een maatregel en het draagvlak.

Peilverlaging is niet wenselijk in relatie tot bodemdaling. Aanvullende drainage is een mogelijke oplossing voor gebieden waar gewassen als aardappel, graan en bieten worden verbouwd. Voor bloembollen is het intensiveren van de drainage niet voldoende. Hier zou ook het ontwateringsniveau verlaagd moeten worden. Mogelijk is de lokale toepassing van samengestelde peilgestuurde drainage een oplossing voor knelpunten. Nader onderzoek naar de haalbaarheid van samengestelde peilgestuurde drainage in het studiegebied is gewenst.

Gezien de aanwezige intensieve drainage is het effect van aanleg van watergangen waarschijnlijk beperkt. Aanleg van watergangen legt daarnaast ook nog een beslag op het ruimtegebruik. Ophogen / verbeteren grondslag is in verband met de kosten gebiedsdekkend geen optie. Lokaal kan ophogen of het verbeteren van de grondslag wel uitkomst bieden. Functieverandering, of eigenlijk een verandering van gewastype, kan een oplossing zijn indien een meer tolerant gewas gekozen kan worden (geldt dus eigenlijk alleen voor de bollengronden). Maar dit is wel een bedrijfseconomische keuze. Als geen van bovenstaande maatregelen mogelijk blijkt, of dat de kosten van een maatregel te hoog zijn kan er ook voor worden gekozen het knelpunt te accepteren.

In figuur 6.20 zijn de knelpunten ten aanzien van de natschade weergegeven. In tabel 6.2 zijn de knelpunten opgenomen en is voor elk knelpunt aangegeven welke voorkeursoplossing bestaat.

Met nadruk wordt vermeld dat de berekende knelpunten gebaseerd zijn op het landgebruik conform het LGN5-bestand. Dit bestand is een momentopname en houdt geen rekening met wisselende teelten. Om hier toch rekening mee te houden is ook een aantal gebiedsdekkende knelpunten (knelpunten 13, A, B en C) benoemd die optreden bij andere teelten dan in het LGN5-bestand zijn opgenomen.



Figuur 6.20 Knelpunten natschade landbouw (inzet: knelpunten bollen)

Tabel 6.2 Knelpunten en voorkeursoplossingen

Knelpunt	Landgebruik*	Voorkeursoplossing	Beschrijving
1	Aardappelen	Intensiveren drainage	Perceel is iets natter dan omliggende grasland-percelen (figuur 3.6a). Bij overgang naar grasland is situatie ook niet optimaal (hoewel een minder groot knelpunt). Dus of intensiveren drainage of accepteren knelpunt.
2	Granen	Geen	Deze knelpunten hangen samen met de modelmatige schematisatie. Hier is geen sprake van daadwerkelijke knelpunten.
3	Bieten	Geen	
4	Bieten	Intensiveren drainage / ander gewastype	Schade is relatief beperkt (10-20%). Bij een ander gewastype (gras) vervalt knelpunt in zijn geheel. Ten opzichte van de omgeving ligt drainage ondiep. Dus ook intensiveren van drainage is een oplossing om voldoende ontwateringsdiepte te verkrijgen.
5	Bollen	Ander gewastype / ophogen / verbeteren grondslag / intensiveren drainage	In omliggende aardappel-percelen is geen sprake van natschade. Lijkt dus niet zo zeer een hydrologisch knelpunt. Bij een ander gewastype (aardappelen, maar vermoedelijk ook granen/bieten) vervalt knelpunt. De lokale situatie kan ook verbeterd worden door ophogen of verbeteren van de grondslag (bezanden). Dat laatste moet wel tot een diepte van circa 1 á 1,5 m plaatsvinden om een daadwerkelijke verbetering van de situatie te leiden.
6	Bollen	Ander gewastype / ophogen / verbeteren grondslag / intensiveren drainage	
7	Bollen	Ander gewastype / ophogen / verbeteren grondslag / intensiveren drainage	Bij keuze voor een ander gewastype neemt het knelpunt sterk af, maar verdwijnt niet helemaal (bij aardappelen is sprake van maximaal 10% natschade).
8	Bollen	Intensiveren drainage / ander gewastype / ophogen / verbeteren grondslag	
9	Bollen	Intensiveren drainage / ander gewastype / ophogen / verbeteren grondslag	De gemiddelde drainagediepte op dit perceel bedraagt circa 0,8 m –mv. Dit komt ongeveer overeen met de benodigde ontwateringsdiepte. Om de gewenste ontwateringsdiepte te bereiken kan intensiever gedraineerd worden, maar dan moet ook worden overwogen om de drainage dieper te leggen (op circa 1,0 m –mv). Een andere mogelijkheid is om de percelen op te hogen of de grondslag te verbeteren.
10	Bollen	Intensiveren drainage / ander gewastype / ophogen / verbeteren grondslag	
11	Bollen	Ander gewastype / ophogen / verbeteren grondslag / intensiveren drainage	Zie 5, 6 en 7
12	Aardappelen + bieten + granen	Intensiveren drainage / ander gewastype	Op verschillende percelen is hier sprake van enige natschade (circa 10 á 20%). Het betreft hier vooral percelen met bieten en granen. Hier is relatief ondiep drainage aanwezig en de situatie kan verbeterd worden met intensievere drainage. Bij overgang naar een ander gewastype (gras) vervalt het knelpunt in zijn geheel.
13	Diversen	Ander gewastype / intensiveren (verdiepen) drainage	In het gebied ten oosten van de Nagelerweg en ten zuiden van de Vliegtuigweg is in de huidige situatie deels sprake van grasland. In dit gebied moet bij de verbouw van gewassen als granen, aardappelen, maïs of bieten rekening worden gehouden met natschade oplopend tot circa 10 á 20%.

Ten aanzien van bloembollen

A	Diversen	Gebied is grotendeels geschikt voor bloembollen. Verwachte natschade bedraagt lokaal maximaal circa 10%.
B	Diversen	Gebied is minder geschikt voor verbouw van bloembollen. De berekende natschade bedraagt circa 10 á 20%. Voor bloembollen is de situatie te verbeteren door intensiveren of verdiepen van drainage, het verbeteren van de grondslag of het ophogen van percelen (maar dat zou hier wel op grote schaal moeten plaatsvinden).
C	Diversen	Gebied is vrijwel ongeschikt voor grootschalige verbouw van bloembollen. Natschade bedraagt lokaal meer dan 40%. Aanpassingen in het watersysteem (verlagen waterpeil) zijn geen optie. Door de geringe drooglegging is ook het verdiepen van drainage geen oplossing. Verbetering van de situatie is alleen mogelijk door lokale ophoging/grondverbetering.

* op basis van LGN5

7 Conclusies

Voor het vaststellen van de actuele hydrologische situatie (AGOR) in het studiegebied is gebruik gemaakt van een aantal verschillende methodes. Het resultaat van het Simgro-model is de best beschikbare informatie met betrekking tot het AGOR en hiermee wordt de hoogste betrouwbaarheid verkregen. Aandachtspunt bij de modelresultaten is wel dat in droge perioden mogelijk te lage grondwaterstanden (en dus een te lage GLG) wordt berekend.

Op basis van landgebruik en bodemtype is de optimale hydrologische situatie (OGOR) bepaald. Door het OGOR met het AGOR te vergelijken worden knelpunten inzichtelijk gemaakt in de vorm van nat- en droogschades.

De natschade in het studiegebied is beperkt. Dit omdat in het studiegebied intensieve drainage aanwezig is en in de natste perioden grondwater door de drainage wordt afgevoerd. Alleen ter plaatse van percelen met bloembollen wordt lokaal natschade berekend van 10 á 20% (op basis van AHN1). Rekening houdend met de opgetreden maaiveldddaling in de afgelopen tien jaar is de doelrealisatie voor deze bollen percelen onaanvaardbaar laag.

In het studiegebied is wel sprake van (theoretische) droogschade. In de praktijk vindt, indien nodig, beregening plaats. De droogschade zal dus niet als een probleem ervaren worden.

Uit modelberekeningen is gebleken dat het hele gebied geschikt is voor grasland. Ook is vrijwel het hele gebied geschikt voor de verbouw van aardappelen, granen en bieten. Lokaal wordt voor deze gewassen een maximale natschade verwacht van circa 10%. Voor bloembollen is het gebied vrijwel in zijn geheel niet geschikt. Dit komt door de combinatie van hoge grondwaterstanden en het zavelige / kleiige bodemtype. De huidige situatie voldoet dus in de meeste gevallen aan de gestelde randvoorwaarden voor de gemiddelde situatie (GGOR). Door autonome bodemdaling zal de situatie wel verslechteren. Voor grasland levert dit niet direct problemen op. Voor aardappelen, granen en bieten kan in een periode van 10 jaar de natschade oplopen tot lokaal circa 15%.

Het waterschap heeft diverse mogelijkheden om knelpunten in het gebied aan te pakken. Afhankelijk van de lokale situatie kan gekozen worden uit:

- Ingrepen in peilbeheer (aanpassen begrenzing peilvakken, peilverlaging). Peilverlaging versterkt echter de bodemdaling en is om die reden niet wenselijk en niet duurzaam;
- Beleidsmaatregelen (functieverandering (ander gewastype) of acceptatie van het knelpunt);
- Technische maatregelen (aanleg van drainage/watergangen of ophogen/verbeteren grondslag)

Het beperken van de afvoer vanaf Schokland, of het bergen van water nabij Schokland is als één van de mogelijke maatregelen, op hoofdlijnen, onderzocht. Op basis van eerdere modelresultaten wordt verwacht dat een verdere vernatting op en rond Schokland een vrijwel verwaarloosbaar effect heeft op de ontwateringssituatie van de landbouwpercelen in de omgeving. Verwacht wordt dat afname van de ontwateringsdiepte als gevolg van bodemdaling een groter probleem in het studiegebied zal vormen. Het vasthouden van water op Schokland heeft ook een zeer beperkt effect op de gebiedsafvoer. De gebiedsafvoer neemt wel sterk af (circa 30%) als water in het tegen Schokland liggende PARK-gebied wordt vastgehouden.

Literatuur

- Gaast, J.W.J. van der en Massop, H.Th.L., 2005. De verdroging in beeld met historische en actuele grondwatertrappen op basis van karteerbare kenmerken. In H2O 14/15 jaargang 2005.
- Gaast, J.W.J. van der, Vroon, H.R.J. en Pleijter, M., 2006. De grondwaterdynamiek in het waterschap Regge en Dinkel. Alterra-rapport 1335.
- Gaast, J.W.J. van der, Massop, H.Th.L., Vroon, H.R.J. en Staritsky, I.G., 2006. Hydrologie op basis van karteerbare kenmerken. Alterra-rapport 1339.
- Grontmij, 2005. Hydrogeologisch onderzoek Schokland.

Bijlage 1

Logboek modelaanpassingen

Uitgangspunten (Model_2005)

Als basismodel is uitgegaan van het scenario "Toekomstige situatie (2)" zoals dat door Grontmij in 2005 is doorgerekend. Het betreft de situatie met daarin de streefpeilen. In het scenario is rekening gehouden met de maaiveldddaling tot 2015. Dit laatste is weer uit het model verwijderd, dat wil zeggen de "frsw_nod.inp" en de "node_sim.inp" uit het scenario "Referentie situatie" van Grontmij (2005) zijn gebruikt.

Het model met bovengenoemde uitgangspunten is opnieuw doorgerekend en de resultaten komen overeen met die van Grontmij (2005). Dus hiermee zijn in ieder geval de juiste invoerbestanden gevonden.

Het komt er feitelijk op neer dat deze situatie nog een keer moet worden doorgerekend met een verfijnd netwerk. Om achteraf de juistheid van de berekeningen te controleren is eerst deze situatie opnieuw met het grove model doorgerekend.

Berekening 2005 met nieuw netwerk (Model_2005b)

De basis van de nieuwe berekening vormt een nieuw netwerk. Met behulp van de (top10)waterlopen en nieuwe verdichtingspolygonen is een nieuw netwerk in Triwaco gemaakt. Vervolgens zijn aan het netwerk alle benodigde gegevens opnieuw toegekend.

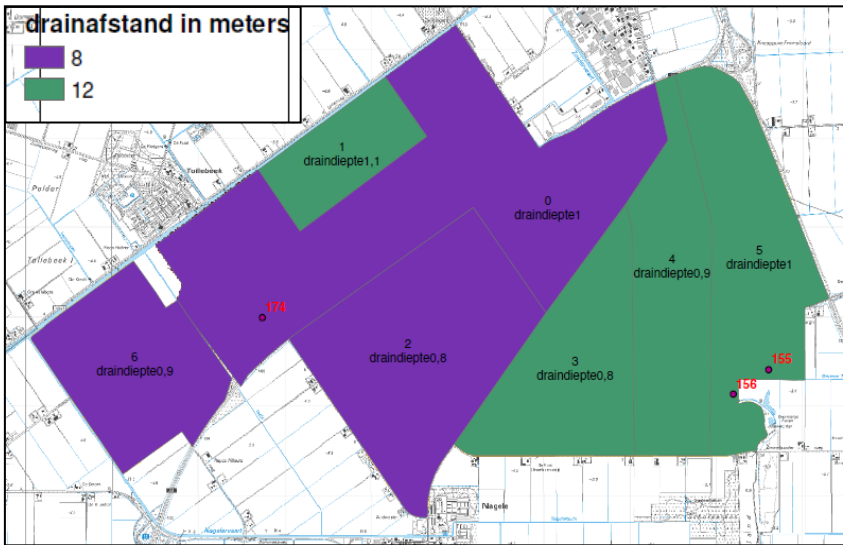
Aan het model zijn de volgende gegevens toegekend:

Item	Locatie	Bestand
Maaiveldhoogte	\\Schokland\\cov\\Scenario\\Oorspronkelijk\\invoer	maaiveld_oors
Afwateringseenheden	C:\\projecten\\Schokland\\cov\\Scenario\\Huidig\\hydra	Afwateringseenheden.shp Waterlopen.shp
Afwateringspatroon	C:\\projecten\\Schokland\\cov\\Scenario\\Toekomstig\\hydra	Duikers.shp Gemalen.shp Stuwen.shp
Qh-relaties	-	
Geohydrologie	C:\\projecten\\Schokland\\cov\\geo	
Drainage	C:\\projecten\\Schokland\\cov\\Scenario\\Toekomstig\\drainage	Drainagevlakken.shp Top10_sloten.shp
Landgebruik	C:\\projecten\\Schokland\\cov\\Scenario\\Oorspronkelijk\\invoer	Landgebruik_oors
Bewortelingsdiepte	C:\\projecten\\Schokland\\cov\\Basis\\bodemkaart	bodemkaart_aangepast.shp
Bodemfysica	-	
Meteostations	C:\\projecten\\Schokland\\inp	Mete_sim.inp
Inlaat oppervlaktewater	C:\\projecten\\Schokland\\cov\\Scenario\\Toekomstig\\hydra	Wateraanvoer.shp

Na het doorlopen van alle routines bleken er nog verschillen te bestaan tussen de invoerbestanden van het oppervlaktewater (mana_sim.inp) van Grontmij (2005) en het Model_2005b. Verschillen zitten in de wateraanvoer (hoewel de bestanden resv_sim.inp gelijk aan elkaar zijn). Omdat de oppervlakte-waterstructuur niet is veranderd is voor de berekening uiteindelijk gebruik gemaakt van mana, goto en dish van Grontmij (2005).

Aanpassingen 2010 (AGOR_NWS)

Ten opzichte van bovenstaande berekening is een check voor het studiegebied uitgevoerd met betrekking tot de volgende onderdelen:

Onderdeel	Aanpassingen
Peilbuizen kalibratie	Na controle van de gegevens is gebleken dat alle gegevens in het model uit 2005 zijn opgenomen. In het studiegebied bevindt zich buiten Schokland nog één peilbuis met metingen in de modelperiode (peilbuis B20F0174, nabij de Zuidwesterringweg)
Controle TOP10-waterlopen	Geen aanpassingen in het model
Controle drainage	De modelinvoer is aangepast naar onderstaande kaart (aangeleverd door ZZL):  The map displays a drainage network with several labeled areas. A legend in the top left corner indicates 'drainafstand in meters' with two categories: 8 (represented by a purple square) and 12 (represented by a green square). The map shows various drain depths labeled as 'draindiepte' followed by a number and a decimal. Specific labels include: 'draindiepte1,1' (green), 'draindiepte1' (purple), 'draindiepte0,9' (purple), 'draindiepte0,8' (purple), 'draindiepte0,9' (green), 'draindiepte0,8' (green), and 'draindiepte1' (green). There are also red dots with numbers 174, 156, and 155 on the map.