

Relatie Diep – Ondiep

De Groote Meer en omgeving

1	Inleiding	1
2	Opzet model.....	2
2.1	Berekende grondwaterstand / stijghoogte .	4
2.2	Waterbalans	8
3	Invloed onttrekking uit diepe pakket	9
4	Conclusie.....	11

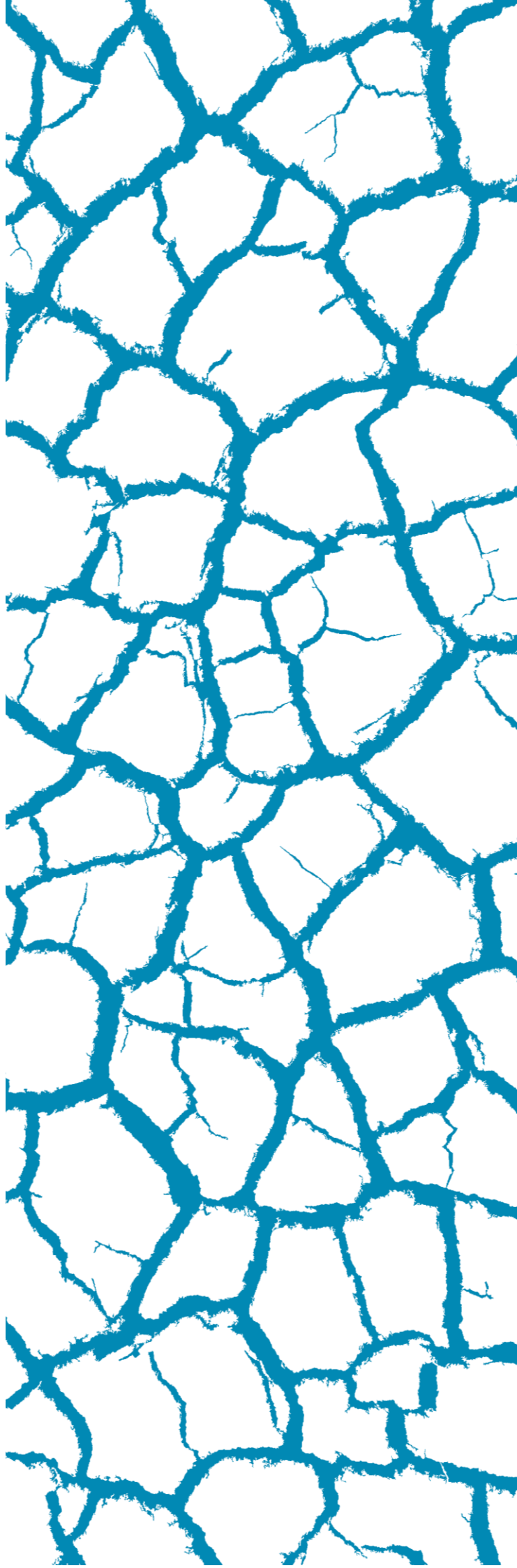
Opdrachtgever: provincie Noord-
Brabant

Projectnummer: 15.37.13

Datum: 1-7-2016

Auteur(s): Ruben Caljé

Borging: Wouter Beekman



1 Inleiding

Rondom De Groote Meer is discussie over de mate waarin verlagingen vanuit de diepe stijghoogte doorwerken op de watervoerendheid van De Groote Meer. De verlagingen in de diepe stijghoogte worden voor een belangrijk deel veroorzaakt door de grondwateronttrekkingen in de omgeving, maar ook polderpeilverlagingen aan de voet van de Brabantse Wal of toegenomen ontwatering ten oosten van de Brabantse Wal kunnen doorwerken in de diepe stijghoogte. Door het schijnspiegel-systeem rond de Groote Meer wordt de invloed van de diepe stijghoogte op de ondiepe grondwaterstanden getemperd of raakt losgekoppeld. In voorliggende rapportage wordt getracht de hydrologische samenhang tussen diep en ondiepe grondwaterstanden te verkennen met een 3D-principemodel. Op voorhand is duidelijk dat een exacte kwantificering niet haalbaar is door de zeer grote heterogeniteit van de ondergrond, doel van de studie vormt het aantonen van de mogelijke invloed van diepe stijghoogten op de grondwaterstanden en daarvan afgeleide oppervlakkige afstroming, waarbij op een fysisch correcte wijze rekening wordt gehouden met schijnspiegelsystemen, in relatie tot de diepte van de stijghoogte onder de schijnspiegel. Aangezien de grondwateronttrekkingen de grootste invloed hebben op de diepe stijghoogten, focust dit onderzoek zich op deze grondwateronttrekkingen.

2 Opzet model

De doorwerking van de grondwaterwinning op de watervoerendheid van De Groote Meer vergt een concept van de mechanismen die deze grootheid kunnen beïnvloeden. Deze omvatten de standaard eigenschappen van een grondwatermodel, zoals een sluitende waterbalans, met de volgende specifieke kenmerken:

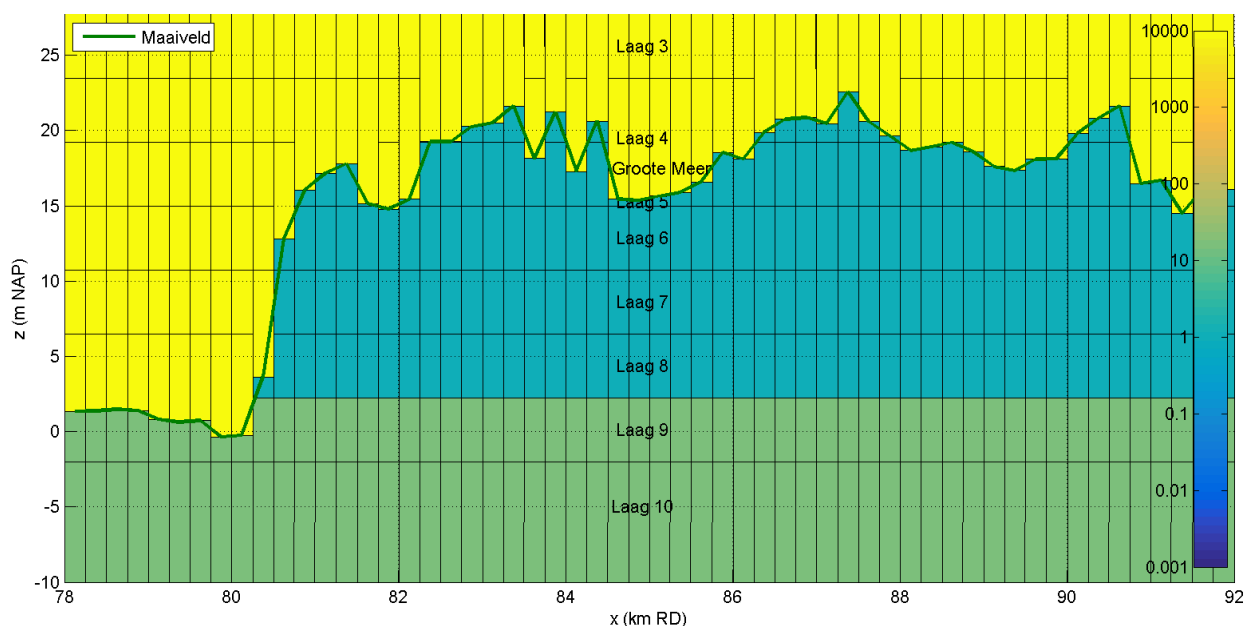
- Een hoge grondwaterstand, boven een relatief lage diepe stijghoogte
- Een drainerende basis aan de westzijde van de Brabantse Wal
- Een schijnspiegelsysteem, waarbij meerdere grondwaterspiegels kunnen optreden
- Toestroming oppervlaktewater richting de Groote Meer vanuit het oosten

Het laatste aspect wordt in het grondwatermodel gemodelleerd door een zeer doorlatende laag bovenop het grondwatermodel te plaatsen. Wanneer het grondwater boven het maaiveld komt te staan, kan het door deze doorlatende laag makkelijk richting de Groote Meer stromen. In droge perioden valt deze oppervlaktewater-laag droog. Om dit op een juiste wijze mee te nemen, is gebruik gemaakt van een gewijzigde versie van de modelcode MODFLOW: MODFLOW-SSPA (S.S. Papadopoulos & Associates, 2015). Dit is de MODFLOW-versie van het Amerikaanse bedrijf S. S. Papadopoulos & Associates. Deze versie kan beter overweg met droge cellen, op een vergelijkbare wijze als MODFLOW-NWT, de zogenaamde Newton-fomulatie van MODFLOW (USGS, 2011). MODFLOW-SSPA kan echter ook goed overweg met schijnspiegels, iets dat in MODFLOW-NWT minder goed lukt.

De bovenzijde van het maaiveld is in deze schematisatie een belangrijke grootheid. Deze is afgeleid uit het AHN in Nederland en het DHM-Vlaanderen in België, beide beschikbaar als grid van 5 x 5 m. Voor elke modelcel is hiermee de maaiveldhoogte bepaald (figuur 2). Het modeldomein is zo gekozen, dat de polders ten westen van de Groote Meer (rond 0 m NAP) en het wat lagere maaiveld (10–12 m NAP) ten noordoosten van de Groote Meer in het model zijn opgenomen. Door de lage ligging van deze locaties vormen ze de randvoorwaarden van de diepe stijghoogte.

De ondergrond wordt gesimuleerd door één diepe doorlatende laag, van –80 tot –2 m NAP, waarboven meerdere dunne lagen worden opgenomen. Deze lagen representeren de ondergrond of het oppervlaktewater, afhankelijk van de maaiveldhoogte op die locatie. Wanneer de grondwaterstand boven het maaiveld staat, en dus in een oppervlaktewater-cel staat, kan het water snel richting andere cellen stromen door middel van de geschematiseerde grote doorlatendheid. Zo zal water vanuit het westen en vooral het oosten richting de Groote Meer toestromen. Bij voldoende oppervlakkige toestroming naar de Groote Meer kan dit water vanuit de Groote Meer richting het zuiden afstromen. Aan de rand van het model en in de polder aan de westkant van de Brabantse Wal stroomt het water vervolgens uit het model.

De eigenschappen van de verschillende lagen kunnen uit figuur 1 en de tabel daaronder worden afgelezen. Deze eigenschappen zijn deels gebaseerd op de verwachte werking van het systeem (bijvoorbeeld de verdeling van de horizontale doorlatendheid), en zijn deels via een handmatige beoordeling van tussenresultaten waarbij berekende peil van de Groote Meer is vergeleken met het gemeten peil (bijvoorbeeld de verticale weerstand van de ondiepere lagen).



figuur 1: De doorlatendheid van het model, in een doorsnede van west naar oost. Het diepe pakket loopt door tot -80 m NAP. De precieze waarden kunnen in onderstaande tabel worden afgelezen.

Laag	Beschrijving	Van	Tot	Horizontale doorlatendheid	Verticale doorlatendheid	Gespannen bergingscoëfficiënt	Freatische berging
		m NAP	m NAP	m/d	m/d	m ⁻¹	–
4		19,25	25,50	1 ¹ / 9999 ²	0,0045 ¹ / 9999 ²	10 ⁻⁴	0,2 ¹ / 1 ²
5		15,00	19,25	1 ¹ / 9999 ²	0,0045 ¹ / 9999 ²	10 ⁻⁴	0,2 ¹ / 1 ²
6		10,75	15,00	1 ¹ / 9999 ²	0,0045 ¹ / 9999 ²	10 ⁻⁴	0,2 ¹ / 1 ²
7		6,50	10,75	1 ¹ / 9999 ²	0,0045 ¹ / 9999 ²	10 ⁻⁴	0,2 ¹ / 1 ²
8		2,25	6,50	1 ¹ / 9999 ²	0,0045 ¹ / 9999 ²	10 ⁻⁴	0,2 ¹ / 1 ²
9	Diepe pakket	-2,00	2,25	15	3	10 ⁻⁴	0,2
10	Diepe pakket	-80,00	-2,00	15	3	10 ⁻⁴	0,2

¹ Wanneer de laag zich onder maaiveld bevindt; ² Wanneer de laag zich boven maaiveld bevindt

De bovenste lagen hebben een relatief lage verticale doorlatendheid van 0,0045 m/d. Hierdoor kan zich in elk van de lagen een grondwaterspiegel vormen, en kunnen schijnspiegels optreden. De wegzijging naar diepere lagen wordt bepaald door de verticale doorlatendheid en de verticale gradiënt. Wanneer een schijnspiegel optreedt wordt in de rekencode de gradiënt tussen twee lagen niet langer bepaald door het verschil in grondwaterstand tussen de bovenste en de onderste laag. De gradiënt is dan het verschil tussen de grondwaterstand in een laag en de bodem van die laag. De wegzijging is dan dus niet meer afhankelijk van de stijghoogte in de onderliggende laag.

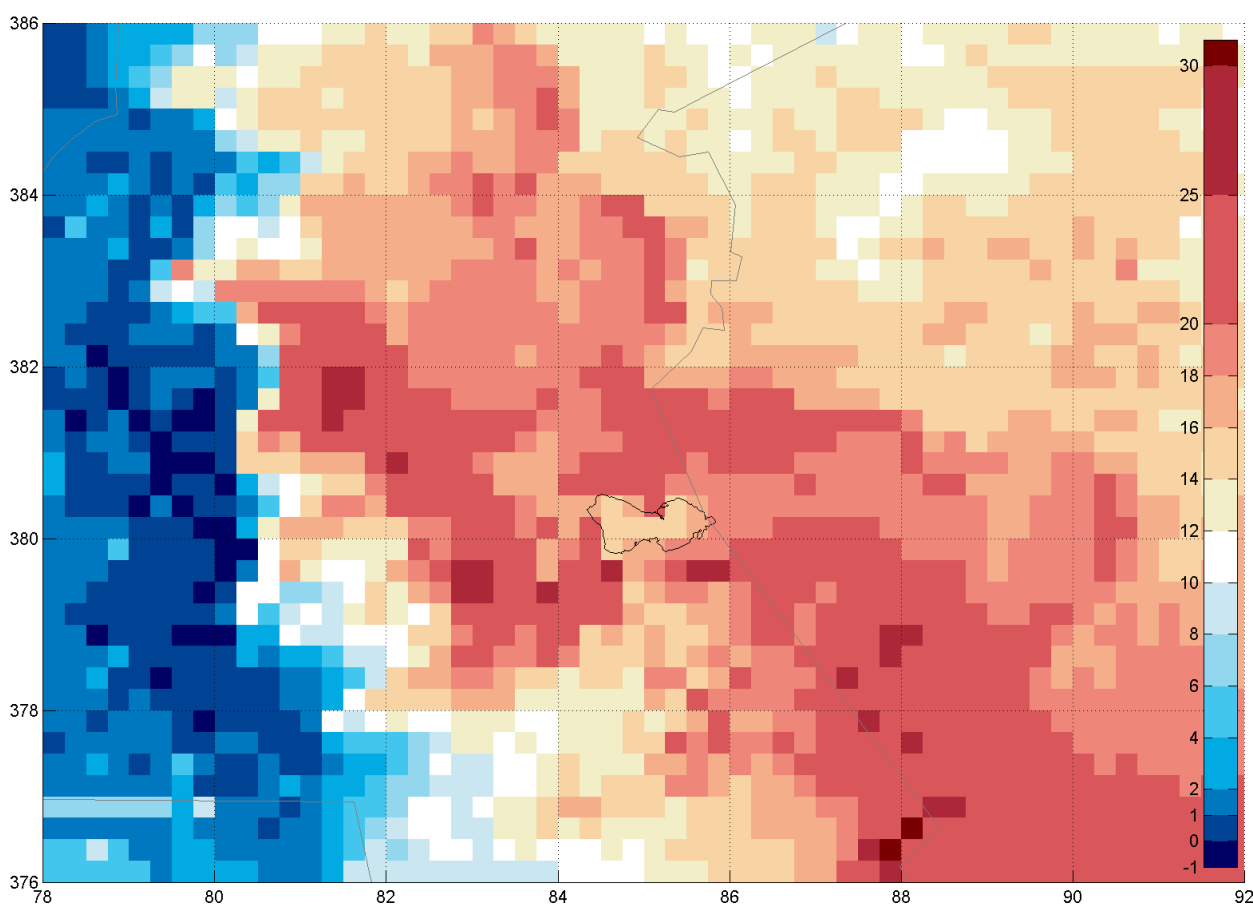
De gebruikte schematisatie van de ondergrond zorgt ervoor dat onder hoge terreindelen het grondwater door meer lagen met een relatief lage doorlatendheid moet stromen om het diepe watervoerende pakket te bereiken. Dit resulteert in een grote totale verticale weerstand op deze locaties.

Het model wordt tijdsafhankelijk doorgerekend, voor de periode 2006 t/m 2015, met tweewekelijkse tijdstappen, waarbij de eerste 5 jaar worden gebruikt om het model in evenwicht te laten komen. Aan het model wordt een tijdsafhankelijk, maar ruimtelijk uniform neerslagoverschot opgelegd, bepaald door de neerslag (gemeten in neerslagstation Hoogerheide van het KNMI) te verminderen met de verdamping (bepaald in meteorologisch station Gilze-Rijen van het KNMI).

In het model zijn de onttrekkingen van Huijbergen, Ossendrecht en Essen aangebracht, volgens de gemeten onttrekkingsreeksen. Voor de eenvoud zijn de onttrekkingen in het model ter hoogte van het

zuiveringsgebouw aangebracht. De precieze putlocaties zijn voor de situatie rond De Groote Meer voor deze principeberekening van ondergeschikt belang.

Ondanks het 3d-karakter van het model, betreft het nog steeds een principe-berekening, met horizontaal constante eigenschappen. De herverdeling van oppervlaktewater naar preferente verzamelpunten (zoals de Groote Meer) maakt gebruik van de variatie in maaiveld. Zo is geen variatie aangebracht in doorlatendheid of weerstanden, zijn geen individuele slootjes in het model opgenomen en is geen poging gedaan het model te kalibreren aan de hand van metingen. Het model geeft ondanks deze sterke vereenvoudigingen een goed beeld van de grondwaterstromingsprocessen rond de Groote Meer, en kan daarmee kwalitatieve vragen beantwoorden. Voor een precieze kwantificering van de uitkomsten is het model onvoldoende specifiek.



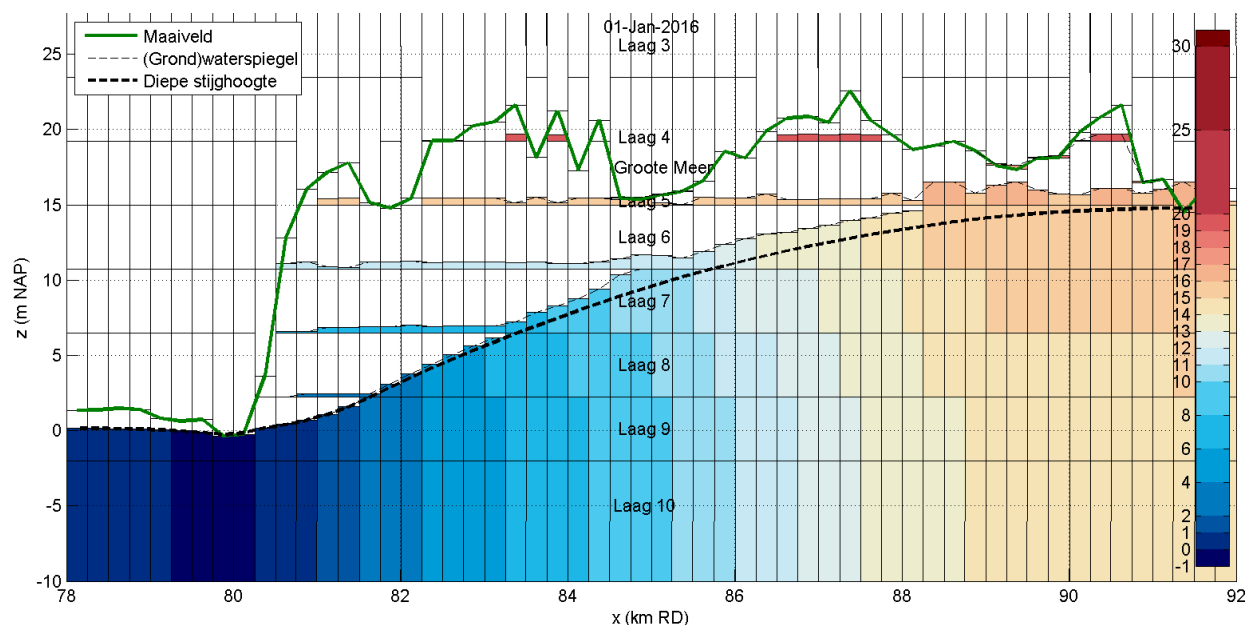
figuur 2: De bovenzijde van het fysieke deel van het model (het maaiveld), afgeleid uit het AHN in Nederland en het DHM-Vlaanderen, uitgedrukt in m NAP. De Groote meer (zwart) en de landsgrens (grijs) zijn tevens aangegeven.

2.1 Berekende grondwaterstand / stijghoogte

In figuur 3 is een doorsnede van het model van west naar oost, door de Groote Meer, weergegeven, waarbij de kleur in elke rekencel de berekende stijghoogte op 1 januari 2015 voorstelt. Het verzadigde gedeelte van elke cel is ingekleurd en visualiseert daarmee de grondwaterstand. Het onverzadigde deel van het profiel blijft dus ongekleurd. In de doorsnede zijn enkele grondwaterspiegels te zien, vaak ook boven elkaar. Hier is dan sprake van schijnspiegels. De diepe stijghoogte (laag 10) is met een dikke gestreepte lijn weergegeven. In de Groote Meer bevindt de waterstand (ook een gestreepte lijn) zich boven de maaiveldhoogte (groene lijn).

De diepe stijghoogte bevindt zich rond 0 m NAP in de polder ten westen van de Brabantse Wal, en loopt op richting het oosten. Ook onder de Groote Meer is nog sprake van een naar het oosten toe oplopende

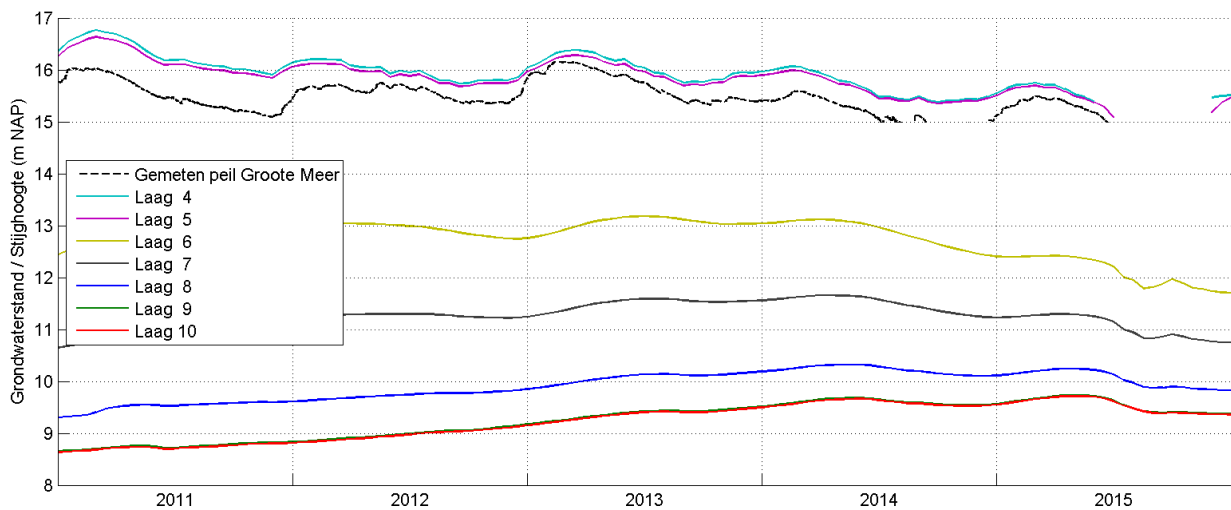
diepe stijghoogte. Op enkele kilometers ten oosten van de Groote Meer komt de diepe stijghoogte dichterbij de freatische grondwaterstand aan te liggen. Hier ligt ook ongeveer de waterscheiding, waardoor de stijghoogte niet verder toeneemt.



figuur 3: Een modeldoorsnede van west naar oost, door de Groote Meer. De kleur geeft de stijghoogte weer, terwijl witte vlakken onder de groene lijn (het maaiveld) de onverzadigde zone weergeven.

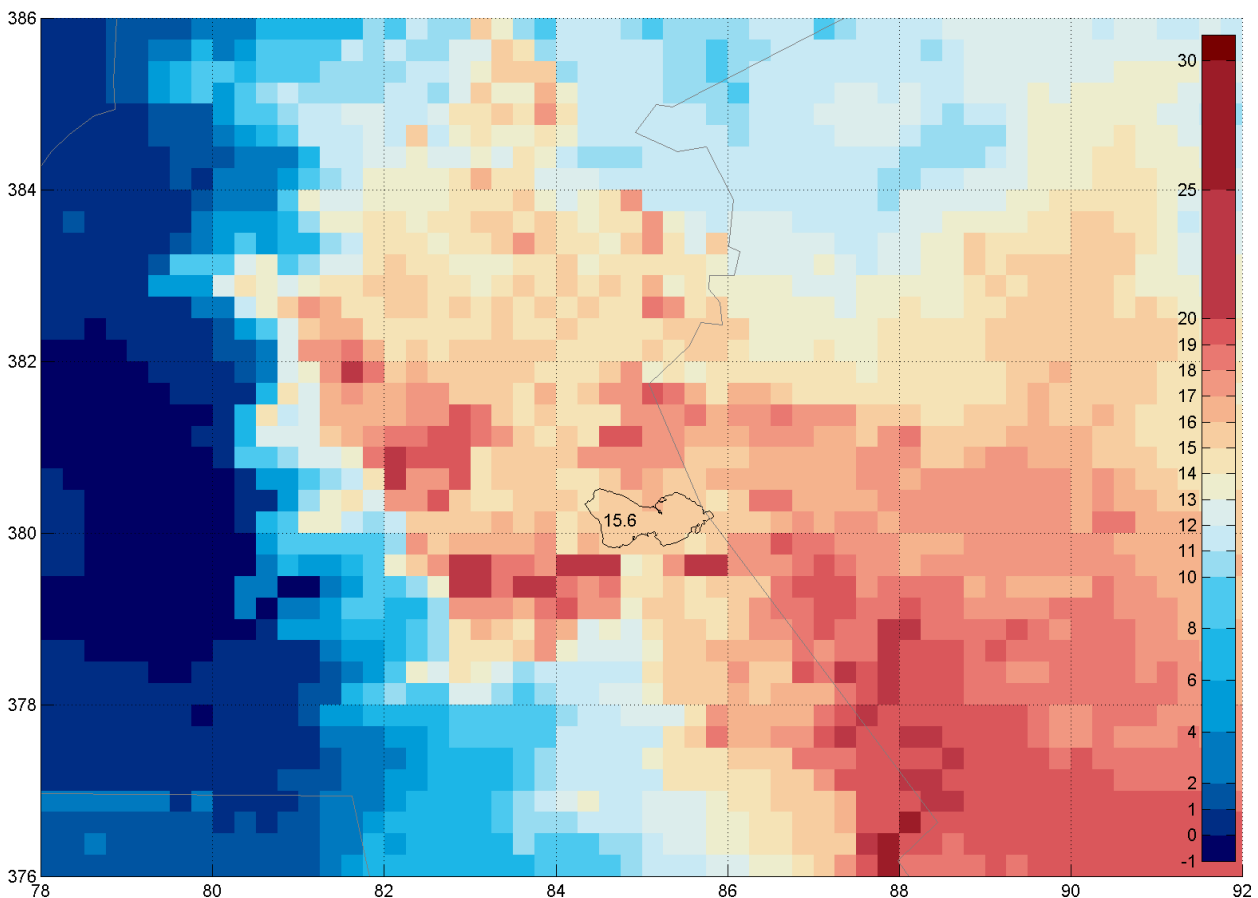
De reeksen van de waterstand in de Groote Meer en de grondwaterstand/stijghoogte eronder zijn weergegeven in figuur 4. De diepe stijghoogte (laag 10, rood) volgt de ontwikkeling van de grondwateronttrekking. Deze neemt immers vanaf 2010 af als gevolg van de reductie van de onttrekking in de winningen Huijbergen, Ossendrecht en Essen. De berekende waterstand in de Groote Meer (laag 4, cyan) en de grondwaterstand vlak daaronder (laag 5, paars) worden in het model vooral beïnvloedt door neerslag en verdamping. De Groote Meer valt in het rekenmodel soms ook droog (gaten in het paarse lijntje).

Het berekende peilverloop van De Groote Meer lijkt nog onvoldoende op het werkelijke peilverloop. Het model berekent een iets te hoog peil voor het Groote Meer. Bovendien is de dynamiek van het werkelijk opgetreden peil sterker, vooral bij stijgende peilen. Hier ontbreekt in het model nog aan het benodigde detail-niveau, zoals de schematisatie van het oppervlaktewatersysteem. Toch is de meerjarige afhankelijkheid van neerslag, zoals ook in de systeemanalyse van TNO is vastgesteld, zichtbaar. Het cumulatieve stijghoogte-effect, gedreven door het doorlopende neerslagoverschot, is behalve in De Groote Meer ook zichtbaar in de geschematiseerde schijnspiegelsystemen onder De Groote Meer.



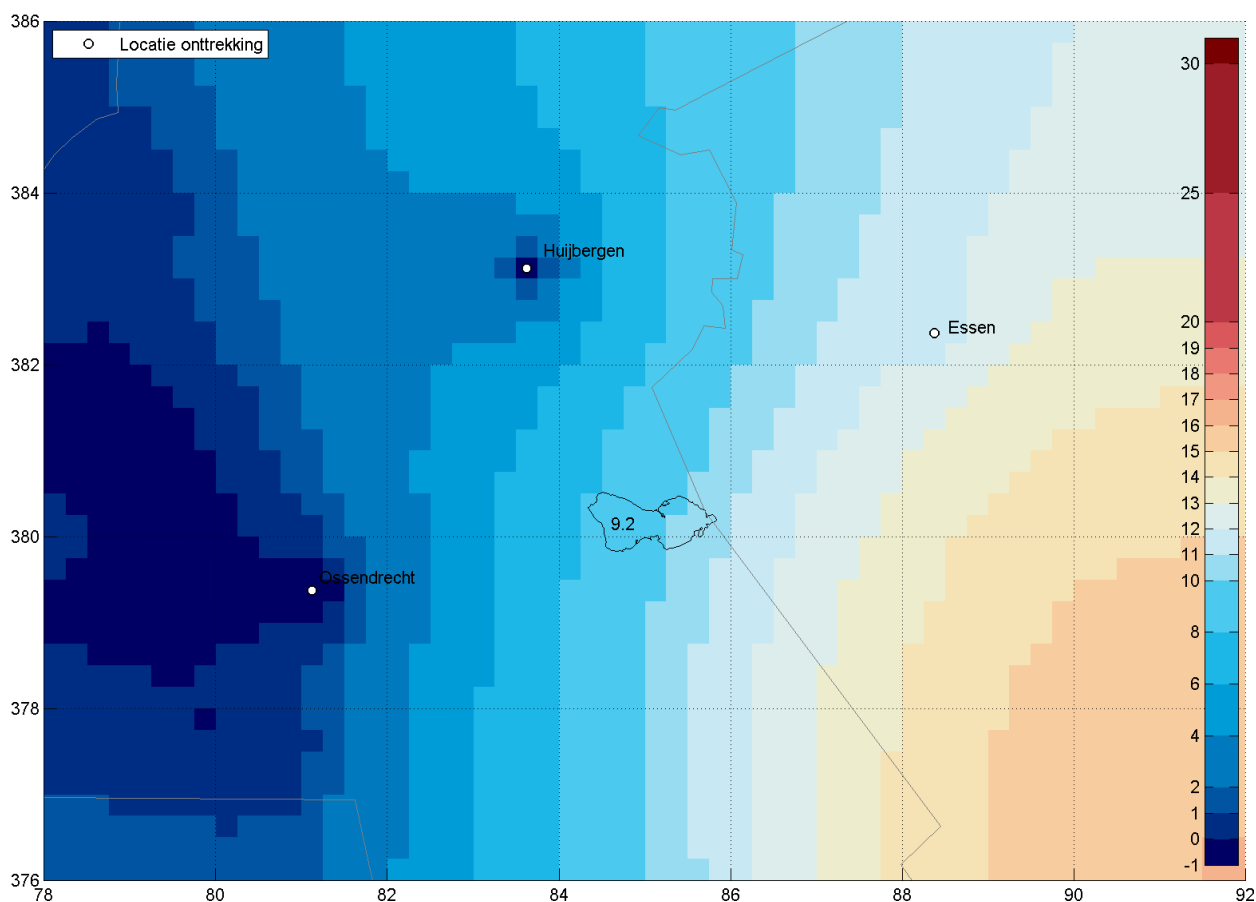
figuur 4: De berekende waterstand in de Grootte Meer (laag 4) en de grondwaterstand/stijghoogten in de lagen daaronder.

De gemiddelde berekende grondwaterstand is weergegeven in figuur 5. De grondwaterstand is in hoge mate afhankelijk van de hoogte en weerstand van de ondiepe weerstandbiedende lagen. Wanneer de onderzijde van de hoogste fysieke model-laag zich bijvoorbeeld rond 15 m NAP bevindt, zal de grondwaterstand zich vaak net boven deze 15 m bevinden. Veel van de bovenste model-cellen zijn in de zomer droog. De hier weergegeven grondwaterstand bevindt zich dan in de laag eronder. Omdat er een weerstand zit tussen de lagen, zal de grondwaterstand een sprong maken, wanneer de bovenste laag droog wordt.



figuur 5: De gemiddelde grondwaterstand tijdens de simulatie. De grondwaterstand treedt in verschillende lagen op, afhankelijk van de locatie en de periode in het jaar.

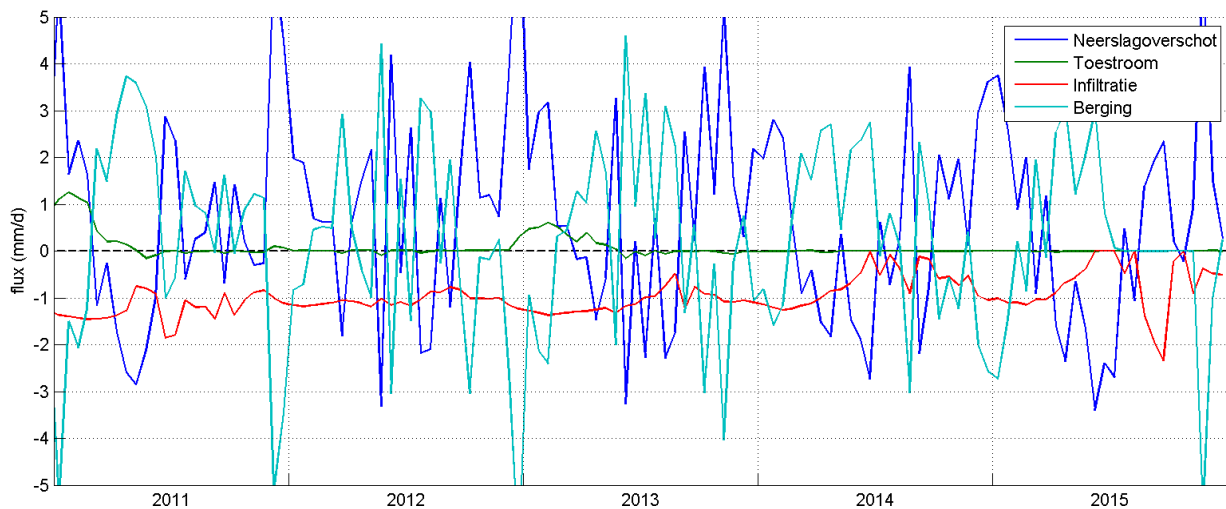
De diepe stijghoogte is weergegeven in figuur 6. De onttrekkingen zijn de drie grondwaterwinningen herkenbaar. Rond de Groote Meer bedraagt de berekende stijghoogte 9.2 m.



figuur 6: De gemiddelde stijghoogte in het diepe watervoerende pakket (laag 10) tijdens de simulatie.

2.2 Waterbalans

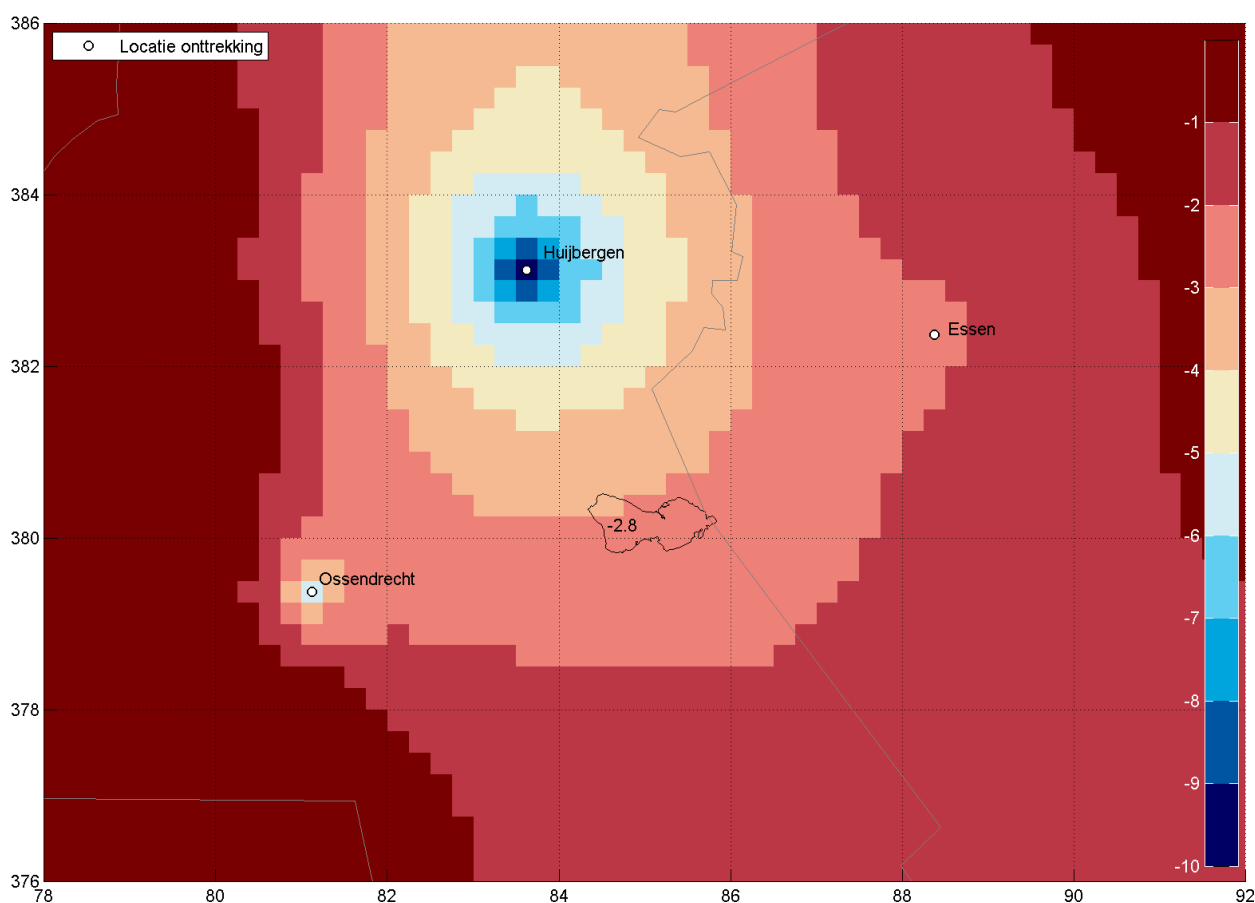
Één van de eigenschappen van een grondwatermodel is dat de waterbalans sluitend is, wat de mogelijkheid biedt om de fluxen in en uit de Groote Meer in kaart te brengen. Deze fluxen zijn weergegeven in figuur 7. De drijvende kracht achter alle fluxen is het neerslagoverschot. Dit neerslagoverschot zorgt voor een directe flux op de Groote Meer (blauw), maar ook voor een toestroom van water vanuit het noordwesten en het oosten (groen). Deze fluxen resulteren in een verandering van het peil in de Groote Meer, en daarmee van de berging (cyaan). Omdat onder de Groote Meer de stijghoogte/grondwaterstand lager is, verlaat het water de Groote Meer weer via infiltratie naar dieper gelegen lagen (rood).



figuur 7: De waterbalans voor de Groote Meer gedurende de simulatie. Positieve fluxen zijn het meer in en negatieve fluxen zijn het meer uit. Een negatieve berging betekent dat de berging toeneemt en een positieve berging betekent dat de berging afneemt. Op deze wijze tellen de fluxen gezamenlijk op tot 0 mm/d.

3 Invloed onttrekking uit diepe pakket

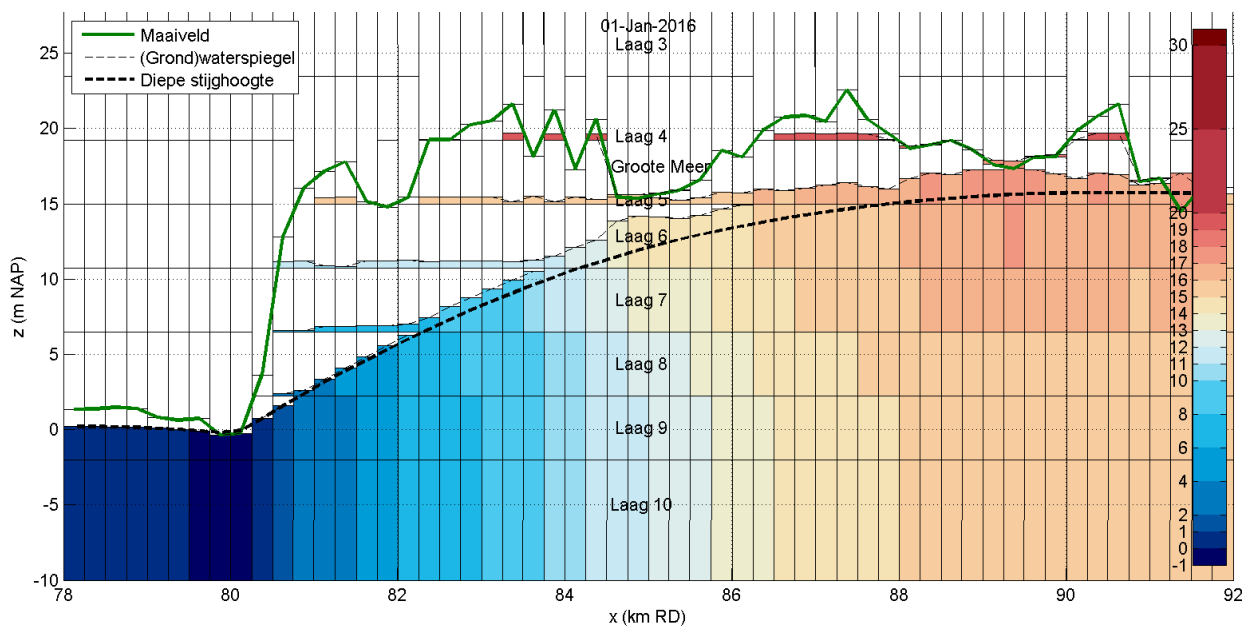
Met het model kan nu ook een simulatie worden uitgevoerd zonder aanwezigheid van de grondwaterwinningen. Allereerst zal dit een effect hebben op de diepe stijghoogte, zie figuur 8. Aangezien in Huijbergen het meeste water wordt onttrokken, treedt hier ook de grootste verlaging op. Omdat het model aan de randen dicht is, bevindt de oorsprong van al het onttrokken water zich in de neerslag binnen het modeldomein. Dit zal een versterkend effect hebben op het berekende effect van de winningen. Bij de winning in Huijbergen bijvoorbeeld zal in werkelijkheid een groter debiet vanuit het noorden toestromen. Het model laat dat niet toe omdat de modelrand dicht is. De berekende verlaging is dus een overschatting van de werkelijk optredende verlaging. Voor het karakter van de berekening (principe-berekening) vormt dit verder geen belemmering



figuur 8: Het berekende effect op de diepe stijghoogte van de onttrekking in Ossendrecht, Huijbergen en Essen, gemiddeld over 2011 t/m 2015.

In figuur 9 is dezelfde doorsnede weergegeven als eerder in deze rapportage (figuur 3), alleen dan zonder invloed van de winning. De diepe stijghoogte (gestreepte zwarte lijn) bevindt zich nu hoger. Nog steeds bevindt zich een onverzadigde zone tussen de Groote Meer en de diepe stijghoogte. Er is in het model dus nog steeds sprake van een schijnspiegel.

Ten oosten van de Groote Meer staat één van de voormalige schijnspiegels nu in volledig contact met de diepe grondwaterstand, en is er in het model dus geen sprake meer van een schijnspiegel. Dit zorgt op deze locatie voor een steundruk voor deze grondwaterstand, waardoor deze hoger komt te liggen. Dit resulteert in het model uiteindelijk ook in een toename van de laterale toestroom van oppervlaktewater richting de Groote Meer en een iets hoger berekend peil geeft.



figuur 9: Een modeldoorsnede van west naar oost, door de Groote Meer, zonder aanwezigheid van de winning (ter vergelijking van figuur 3). De kleur geeft de stijghoogte weer, terwijl witte vlakken onder de groene lijn (het maaiveld) de onverzadigde zone weergeven.

4 Conclusie

Om de invloed van de diepe stijghoogte op de waterstand in De Groote Meer te onderzoeken is een 3d-principemodel opgesteld. Dit model kan overweg met schijnspiegels-systemen, oppervlaktewater-berging en herverdeling van water via het maaiveld. De berekening is schematisch van opzet, met een horizontale gelaagdheid, constante eigenschappen per laag, terwijl de maaiveldhoogte het aantal betrokken lagen bepaalt. De eigenschappen zijn zodanig gekozen dat een redelijke overeenstemming met de werkelijke stijghoogte en stijghoogteresponses wordt verkregen.

Met het model kunnen kwalitatieve uitspraken worden gedaan over de invloed van de diepe stijghoogte op de watervoerendheid van De Groote Meer. De diepe stijghoogte beïnvloedt de grondwaterstand, wanneer er geen schijnspiegel optreedt. Het optreden van deze schijnspiegels is in hoge mate afhankelijk van de weerstandsverdeling: een schijnspiegel bevindt zich altijd boven een weerstandbiedende laag.

In de gepresenteerde berekening is een homogene weerstandverdeling gekozen voor het ondiepe systeem. Deze horizontale gelaagdheid in combinatie met het relatief grillige maaiveld levert een zeer heterogeen stijghoogtepatroon voor de ondiepe schijnspiegelsystemen. Deze grilligheid past bij het kenmerkende schijnspiegelsysteem van de Brabantse Wal. De Groote Meer is volgens het model volledig gevormd op een schijnspiegel. De principeberekening laat de volgende relaties zien:

- de overgang van een schijnspiegelgedomineerd systeem naar een regulier grondwatersysteem op de Brabantse Wal verschuift naar het westen bij het verminderen of staken van de grondwaterwinning.
- In de voorbeeldberekening ontstaat er bij het staken van de grondwaterwinning een verbinding tussen het diepe en ondiepe grondwater in de buurt van De Groote Meer.
- De peilstijging in De Groote Meer die in het principemodel wordt berekend bij het reduceren of staken van de winning, wordt veroorzaakt doordat er in het model in de winterperiode meer oppervlaktewater toestroomt vanuit het oosten.
- In de zone oostelijk van De Groote Meer ligt de diepe stijghoogte dicht tegen het maaiveld aan. Daar treden geen schijnspiegels op en beïnvloedt de diepe stijghoogte het ondiepe grondwater altijd. Een stijging van de diepe stijghoogte veroorzaakt hier een stijging van de grondwaterstand en een toename van de afstromingsflux

De principeberekeningen tonen het principe van de werking van het hydrologische systeem aan, maar op basis van het principemodel kan de toestroming naar de Groote Meer niet goed worden gekwantificeerd. Daarnaast kan de waterhuishoudkundige inrichting van het terrein (drainage, afwatering) zorgen voor afwijkende verbanden. De onzekerheden ten aanzien van de dynamische verbreiding van schijnspiegelsystemen en de gevoeligheid ten aanzien van de oppervlakkige afstroming in relatie tot vegetatie en afwateringswerken zijn daarvoor te groot en worden onvoldoende gemonitord.