

Ontwikkeling HDSR hydrologisch modelinstrumentarium – HYDROMEDAH

Deelrapport 1: Beschrijving MODFLOW-model 20080924

Wiebe Borren
Wilbert Berendrecht
Joost Heijkers (HDSR)
Judith Snepvangers
Ab Veldhuizen (Alterra)

Titel

Ontwikkeling HDSR hydrologisch modelinstrumentarium – HYDROMEDAH

Opdrachtgever

Hoogheemraadschap De
Stichtse Rijnlanden

Kenmerk

0912-0231

Pagina's

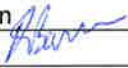
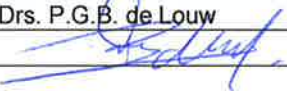

145

Trefwoorden

grondwater, model, modflow

Projectnummer

092.81250

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	dec. 2009	Dr. W. Borren		Drs. P.G.B. de Louw		Ir. B. Minnema	

Status

definitief

Titel

Ontwikkeling HDSR hydrologisch modelinstrumentarium – HYDROMEDAH

Opdrachtgever

Hoogheemraadschap De
Stichtse Rijnlanden

Kenmerk

0912-0231

Pagina's

145

Inhoud

1	Inleiding	3
1.1	Achtergrond	3
1.2	Doelstelling MODFLOW-model	3
1.3	Leeswijzer	4
2	Ontwikkeling MODFLOW-model	5
2.1	Modelconcepten	5
2.1.1	Modelcode	5
2.1.2	Modelgebied en modelranden	5
2.1.3	Tijdsdiscretisatie	8
2.1.4	Processen	9
2.2	Ondergrondparametrisatie	10
2.2.1	Geologie	10
2.2.2	Verticale schematisatie	11
2.2.3	Breuken	15
2.2.4	Initiële schatting transmissiviteiten (kD) watervoerende lagen	17
2.2.5	Initiële schatting weerstanden (c) scheidende lagen	18
2.2.6	Anisotropie	20
2.2.7	Initiële schatting bergingscoëfficiënten watervoerende lagen	22
2.2.8	Startstijghoogten	23
2.3	Parametrisatie Oppervlaktewater	23
2.3.1	Waterlopen en sloten	23
2.3.2	Buisdrainage	25
2.4	Parametrisatie Grondwateraanvulling	25
2.5	Parametrisatie Onttrekkingen	26
3	Kalibratie MODFLOW-model	29
3.1	Kalibratieprocedure	29
3.1.1	Opschaling	29
3.1.2	Modelanalyse	30
3.2	Gevoeligheidsanalyse	30
3.2.1	Gevoeligheidsanalyse kD-waarden	31
3.2.2	Gevoeligheidsanalyse c-waarden	32
3.2.3	Gevoeligheidsanalyse doorlaatvermogen en infiltratiefactor van de waterlopen en drainage	32
3.2.4	Gevoeligheidsanalyse gedrag van breuken	32
3.2.5	Gevoeligheidsanalyse anisotropiefactor	33
3.2.6	Gevoeligheidsanalyse grondwateraanvulling	33
3.2.7	Conclusies gevoeligheidsanalyse	33
3.3	Meetset	33
3.3.1	Metingen grondwaterstanden en stijghoogten	34
3.3.2	Bepalingen kD- en c-waarden	35
3.3.3	Aanmaak zachte kalibratieset freatische grondwaterstand	37
3.4	Stationaire kalibratie	40
3.4.1	Methode	40
3.4.2	Te kalibreren parameters en instelling kalibratie	42
3.4.3	Resultaten	43

3.5	Niet-stationaire kalibratie	45
3.5.1	Methode	45
3.5.2	Resultaten niet-stationaire kalibratie	47
4	Conclusies en aanbevelingen	51
4.1	Conclusies	51
4.1.1	Opzet van het MODFLOW-model	51
4.1.2	Kalibratie	52
4.1.3	Gebruik harde en zachte informatie	52
4.2	Aanbevelingen	53
4.2.1	Peilinformatie	53
4.2.2	Niet-vergunningsplichtige onttrekkingen	53
4.2.3	Betrouwbaarheid en meetnetoptimalisatie	53
4.2.4	Gestuwd complex, anisotropie en breuken	53
4.2.5	iMOD en scenarioberekeningen	53
4.3	Scenarioberekeningen, beheer en onderhoud	54
4.3.1	Modellaagindeling	54
4.3.2	kD- en c-waarden	54
4.3.3	Anisotropie, startstijghoogtes en oppervlakkige afstroming	54
4.3.4	Onttrekkingen	55
4.3.5	Metingen	55
4.3.6	Waterlopen en drainage	55
4.3.7	Grondwateraanvulling	56
4.3.8	Bergingscoëfficiënten	56
5	Referenties	57

Bijlagen

A	Verbreiding weerstandbiedende hydrogeologische eenheden (REGIS II)	61
B	Modelparametrisatie vóór kalibratie	65
C	Puttenvelden pompstations en onttrekkingen op de modelrand	85
D	Opschaling zonder verlies van kwaliteit	91
E	Overzicht gebruikte meetreeksen bij de kalibratie	93
F	Resultaten gevoeligheidsanalyse	103
G	Aanpassingsfactoren stationaire kalibratie	115
H	Residuen	117

Samenvatting

In opdracht van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) is een MODFLOW-grondwatermodel voor het beheersgebied van HDSR ontwikkeld. Dit model, dat in samenspraak met Provincie Utrecht en Vitens tot stand is gekomen, maakt onderdeel uit van het hydrologisch model- en data-instrumentarium HYDROMEDAH van HDSR. Dit instrumentarium is ontwikkeld onder projectleiding van Alterra. Het voorliggende rapport beschrijft de bouw van het MODFLOW-model door Deltares.

Het grondwatermodel is een state-of-the-art MODFLOW-metaSWAP-model, dat voldoet aan de eisen die aan een grondwatermodel voor HDSR gesteld mogen worden:

- Beheersgebiedsdekkend, waarbij de keuze van het modelgebied randeffecten binnen het beheersgebied minimaliseert.
- Hoog detailniveau: het basismodel heeft een resolutie van 25x25 m, waarmee het model geschikt is om grondwaterstanden op perceelsschaal regionaal in beeld te brengen.
- Er is gebruik gemaakt van de meest recente deklaagkartering (Gunnink e.a., 2004).
- Er is gebruik gemaakt van de meest recente ondergrondkartering (REGIS II), alsmede lokale geohydrologische kennis zoals die aanwezig is bij de drinkwaterleidingbedrijven (VITENS en OASEN) en detailinformatie rond grondwateronttrekkingen.
- State-of-the-art optimalisatietechnieken zijn gebruikt voor de kalibratie van het model: representermethode en Parallel PEST met 'super-parameters'.
- State-of-the-art opschalingsmethoden zijn toegepast om modelvarianten voor kalibratie en gevoeligheidsanalyse af te leiden.

Modelschematisatie

- De modelranden zijn zo gekozen dat er geen randvoorwaarde-effecten binnen het HDSR-beheersgebied te verwachten zijn. Het modelgebied beslaat ca. 68 km in west-oost richting en ca. 40 km in noord-zuid richting. De gridcelgrootte is 25x25 meter.
- Het model is geschematiseerd in 8 lagen. Met deze 8 lagen kunnen de voorkomende weerstandbiedende lagen goed gealloceerd worden en is voor het samenvoegen van horizontaal overlappende lagen slechts een geringe verticale verschuiving noodzakelijk.
- Het niet-stationaire model heeft een tijdstapgrootte van 1 dag, omdat gebruik gemaakt wordt van dagelijkse meteo-data. Het stationaire model is gebaseerd op de periode 1989-2000. De kalibratie van het niet-stationaire model is voor dezelfde periode gedaan, waarbij de eerste 3 jaar gebruikt zijn om de startcondities te berekenen.

Initiële modelparametrisatie

De initiële modelparametrisatie is een afspiegeling van de kennis die opdrachtgevers en opdrachtnemers op dit moment gezamenlijk hebben over het grondwatersysteem.

- Initiële kD- en c-waarden zijn in eerste instantie overgenomen uit REGIS II en de deklaagkartering van HDSR. Binnen het gestuwde complex (Utrechtse Heuvelrug) worden in REGIS II echter geen weerstandbiedende lagen onderscheiden, wat geen recht doet aan de in werkelijkheid voorkomende kleilagen. Informatie over de weerstand van deze lokaal voorkomende kleilagen is verkregen uit studies van drinkwaterleidingbedrijven. Binnen de Utrechtse Heuvelrug is de c-waarde van het model rond enkele winningen hierop aangepast. Verder is de c-waarde aangepast op basis van het voorkomen van wellen in diepe polders (lage effectieve c-waarde) en het voorkomen van 'open' breuken. Deze aanpassingen hebben tot verbetering van het

initiële model geleid. In het gestuwde complex (heuvelrug) is anisotropie toegepast, waardoor de kD-waarde richtingsafhankelijk is.

- Informatie over waterlopen (ligging en parametrisatie) is afgeleid uit diverse literatuurbronnen en expert kennis van opdrachtgevers en –nemers. Drainagegegevens zijn betrokken uit de buisdrainagekaart van HDSR; deze gegevens hebben betrekking op bebouwde gebieden en een deel van het landelijk gebied (Kromme Rijn, Langbroekerwetering, Honswijk).
- Grondwateronttrekkingen zijn afgeleid uit provinciale registers. Daarnaast zijn onttrekkingen van pompstations uitgesplitst in puttenvelden, wat tot een verbeterde verticale en horizontale allocatie van de onttrekkingen heeft geleid.
- De grondwateraanvulling in het stationaire model is berekend door een niet-stationaire modelrun met metaSWAP.

Gebruik van harde en zachte informatie

Zowel in de stationaire als de niet-stationaire kalibratie is voor het topsysteem gebruik gemaakt van ‘zachte’ meetinformatie. De aanleiding hiervoor was de geringe beschikbaarheid van freatische ‘harde’ meetdata. De zachte informatie is betrokken uit drie vlakdekkende bronnen: Gt-actualisaties, GD-kartering en GxG-schatting. Voor zowel de stationaire als de niet-stationaire kalibratie is hieruit een zachte freatische dataset gedestilleerd die in aanvulling op de harde dataset is gebruikt. In beide kalibraties bleek de zachte dataset een waardevolle aanvulling.

Kalibratie

In twee kalibratiestappen (stationair en niet-stationair) zijn enkele modelparameters geoptimaliseerd:

- Stationair met representermethode: kD- en c-waarden op gridbasis;
- Niet-stationair met Parallel PEST: doorlaatvermogens en infiltratiefactoren van waterlopen binnen 24 zones.

In beide stappen is de modeluitkomst in termen van grondwaterstanden en stijghoogtes verbeterd. Het grootste deel van de residuen van het eindresultaat ligt in een range van -0.3 tot +0.3 m.

In de niet-stationaire kalibratie is een verbetering bereikt van zowel de stijghoogte in de watervoerende pakketten als de GLG en GxG-dynamiek in de toplaag. Dit is echter wel gepaard gegaan van enkele cm's achteruitgang van de grondwaterstand en de GHG in de toplaag.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) en de provincie Utrecht hebben in 2004 het besluit genomen om samen een Hydrologisch Model Instrumentarium voor het beheersgebied van HDSR te ontwikkelen. Aan Alterra is gevraagd dit instrumentarium te ontwikkelen, waarbij Deltares als onderaannemer is ingehuurd om het onderdeel *Bouw MODFLOW-model* primair uit te voeren.

Het totale project bestaat uit de volgende onderdelen:

- Bouw MODFLOW-model;
- Bouw SIMGRO-deelmodellen Oost & West;
- Ontwikkeling van de op ArcGIS gebaseerde User Interface AlterraAqua 2;
- Ontwikkeling van een methodiek om modelgebaseerde GxG-waarden vlakdekkend van een nauwkeurighedsmaat te voorzien.

Deze onderdelen zijn ieder beschreven in een eigen rapport, welke gebundeld uitgebracht zijn. Deze rapportage beschrijft Onderdeel 1: Bouw MODFLOW-model.

1.2 Doelstelling MODFLOW-model

Sinds 2006 maakt SIMGRO gebruik van MODFLOW als module voor de berekening van de verzadigde grondwaterstroming (Van Walsum e.a., 2006). Deltares heeft als instituut veel ervaring met de bouw van MODFLOW-modellen. Tevens heeft Deltares enkele jaren geleden de zgn. Representermethode geïmplementeerd in de MODFLOW-code (Valstar, 2001; Valstar e.a., 2004). Deze methode is uitstekend geschikt voor de kalibratie van stationaire MODFLOW-modellen, en wordt door de opdrachtgevers gezien als de meest optimale methodiek om de kalibratie van het MODFLOW-model uit te voeren.

De belangrijkste eisen die gesteld worden aan het MODFLOW-model zijn:

- Beheersgebiedsdekkend, met randen die zodanig zijn gekozen dat binnen dit beheersgebied geen randvoorwaarde-effecten meer zijn te bemerken¹.
- Maximaal detail:
 - Het basismodel kent een resolutie van 25x25m. Vanuit dit basismodel worden modellen met een lagere resolutie afgeleid via opschalingsmethoden.
 - Gebruikmakend van detailinformatie rond pompstations.
- State of the art:
 - Gebruikmakend van meest recente deklaagkartering (Gunnink e.a., 2004).
 - Gebruikmakend van meest recente ondergrondkartering (REGIS II), alsmede lokale geohydrologische kennis zoals die aanwezig is bij de drinkwaterleidingbedrijven (VITENS en OASEN).
 - Gebruikmakend van state-of-the-art optimalisatiemethoden.
 - Gebruikmakend van state-of-the-art opschalingsmethoden.

¹ Of er randvoorwaarde-effecten optreden, hangt af van de specifieke scenario's/ingrepen die met het model doorgerekend worden. Hier is uitgegaan van ingrepen in het topsysteem. Zie Paragraaf 2.1.2.

Daarnaast wordt van het MODFLOW-model verwacht dat het geactualiseerd kan worden met iMOD.

1.3 Leeswijzer

Bij de bouw van het MODFLOW-model zijn twee belangrijke fases te onderscheiden: de opzet van het model en de kalibratie van het model. In Hoofdstuk 2 wordt de opzet van het model beschreven. In dit hoofdstuk is aandacht voor de modelconcepten, de modelschematisatie en de initiële parametrisatie. Hoofdstuk 3 behandelt het kalibratieproces. Dat proces omvat o.a. opschaling, gevoeligheidsanalyse, meetset, en stationaire en niet-stationaire kalibratie.

Het rapport wordt afgesloten met een Hoofdstuk 4, waarin kort de conclusies zijn vermeld en waarin een aantal aanbevelingen voor verbetering en gebruik van het model wordt gedaan.

2 Ontwikkeling MODFLOW-model

2.1 Modelconcepten

2.1.1 Modelcode

Het HDSR-MODFLOW-model is een MODFLOW-grondwaterstromingsmodel (MacDonald & Harbaugh, 1988; USGS, 2009). Grondwateraanvulling en bodemvochtstroming worden gemodelleerd met behulp van metaSWAP, een onderdeel van SIMGRO (Van Walsum e.a., 2007; Alterra, 2009). Sinds 2006 bestaat een 'online' koppeling tussen MODFLOW en SIMGRO (Van Walsum, 2006).

TNO/Deltares heeft enkele toevoegingen aan de standaard MODFLOW-code gedaan, waaronder een package voor anisotropie (ANI-package), een package voor oppervlakkige afstroming (SOF-package) en de mogelijkheid om onderscheid te maken tussen intree- en uittreeweerstand van waterlopen (infiltratiefactor in RIV-package).

2.1.2 Modelgebied en modelranden

De ligging en de omvang van het modelnetwerk is zodanig gekozen, dat eventuele effectberekeningen van ingrepen in het topsysteem binnen het beheersgebied van HDSR zo min mogelijk door de ligging van de randen van het model worden beïnvloed. Het modelnetwerk bestaat uit een rechthoek van 68 kilometer in oost-west richting en 40 kilometer in noord-zuid richting, met als hoekcoördinaten:

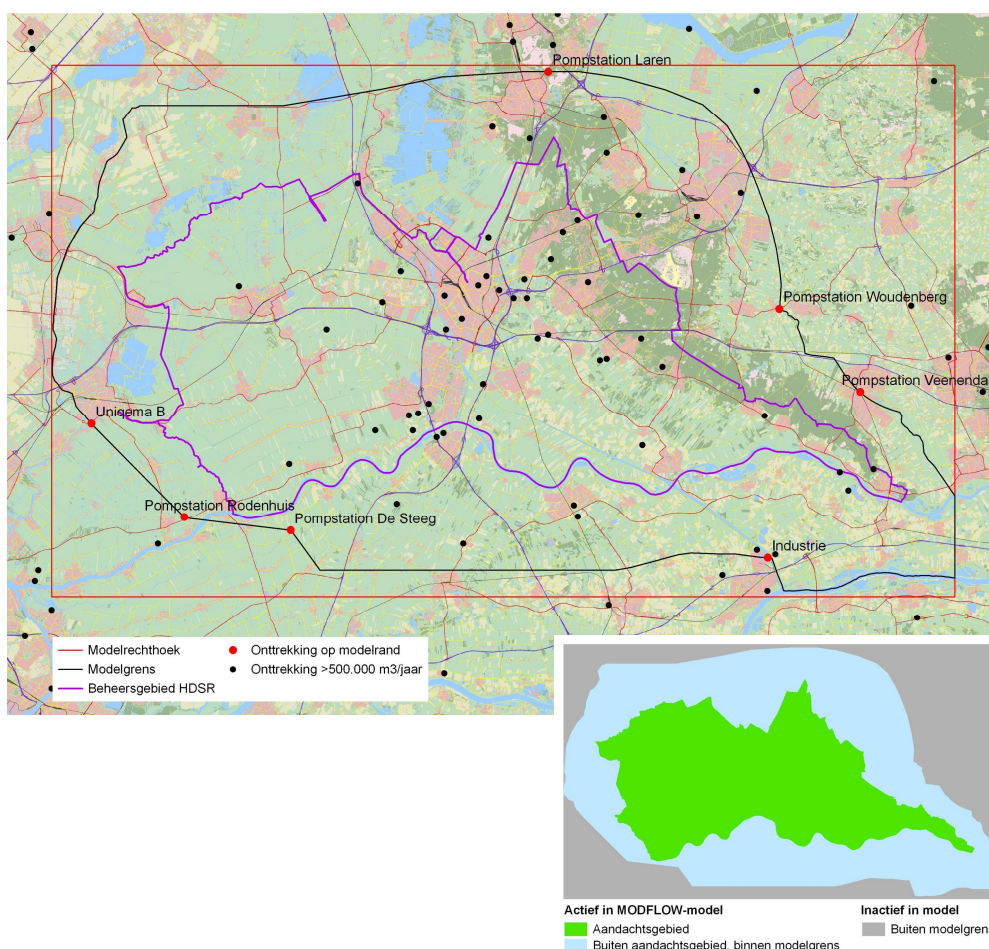
- $x_{\text{minimum}} = 105000$ m en $x_{\text{maximum}} = 173000$ m;
- $y_{\text{minimum}} = 433000$ m en $y_{\text{maximum}} = 473000$ m.

Doordat de randen van het modelnetwerk ver van de randen van het beheersgebied van het hoogheemraadschap zijn gekozen, valt een deel van de modelgrenzen buiten de provincie Utrecht. Het totale modelgebied bestrijkt zodoende een groot deel van de provincie Utrecht en kleine delen van de omliggende provincies Gelderland, Zuid-Holland en Noord-Holland.

Het gebied tussen de beheersgrens (paars in Figuur 2.1) en de modelgrens (zwart) wordt alleen berekend om de juiste randvoorwaarden voor het interessegebied te creëren en mag alleen als zodanig worden gebruikt in verdere analyses met het HDSR-MODFLOW-model.

Het basis modelnetwerk bestaat uit cellen van 25x25 m, waardoor het modelnetwerk 2720 kolommen en 1600 rijen bevat. Gevoeligheidsanalyse en kalibratie zijn vanwege de rekentijden uitgevoerd met cellen van 250x250 m (272 kolommen, 160 rijen); zie Paragraaf 3.1.1. Niet alle cellen in het rechthoekige modelnetwerk doen mee aan de MODFLOW-berekening; cellen buiten de modelgrens zijn op inactief gezet.

Verticaal is het model opgebouwd uit 8 lagen (zie Paragraaf 2.2.2). Het aantal rekennodes komt daarmee op $8 \times 2720 \times 1600 = 34.816.000$ (waarvan 24.972.544 actieve nodes).



Figuur 2.1 HDSR-beheersgebied, modelgrens en modelrechthoek in combinatie met de ligging van de grote grondwateronttrekkingen in en rond het beheersgebied. Klein kaartje: weergave van actief en inactief gebied in het MODFLOW-model.

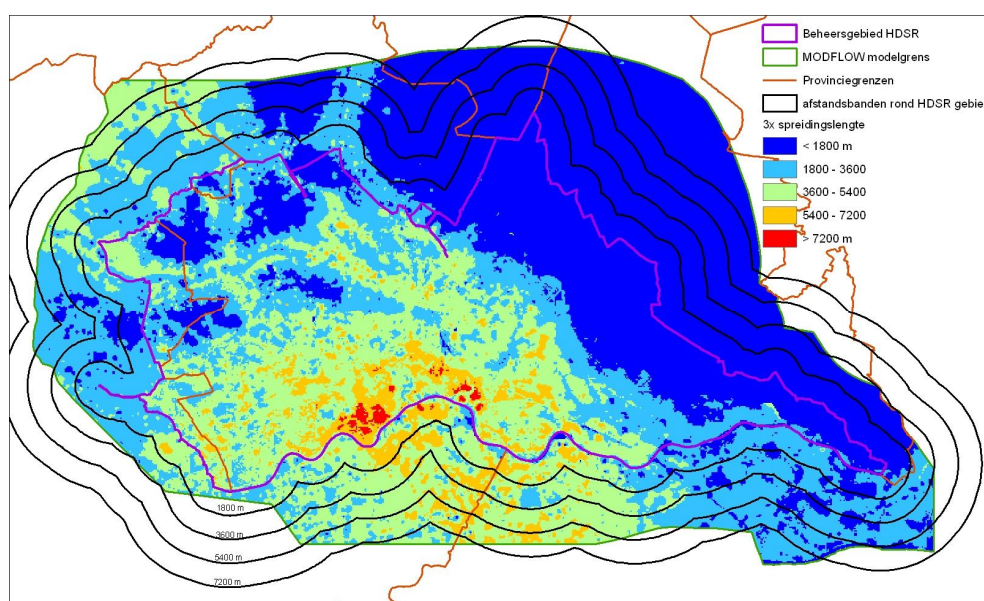
De modelranden zijn zo gekozen dat de randvoorwaarden van minimale invloed zijn op effectberekeningen van ingrepen in het topsysteem binnen het beheersgebied van HDSR. Hierbij is rekening gehouden met:

- De ligging van rivieren en hoofdwatgangen:
 - Rivieren en hoofdwatgangen kunnen natuurlijke hydrologische grenzen vormen;
 - Binnen het HDSR gebied was het maar beperkt mogelijk deze natuurlijke grenzen te kiezen, enerzijds doordat onttrekkingen het natuurlijke systeem sterk beïnvloeden, anderzijds doordat de diepe grondwaterpakketten hydrologisch sterk gescheiden zijn van het oppervlaktewatersysteem.
 - Onderdelen van de MODFLOW-modelgrens welke gevormd zijn door rivieren en hoofdwatgangen zijn:
 - Grens via de Gouwe, Aar, Amstel in het Westen van het modelgebied van Gouda tot Kudelstaart.
 - Grens via de Eem in het oosten van het modelgebied, gedeelten van de Eem nabij Veenendaal en Wouderberg.
 - Grens via de Waal in het zuidoosten van het modelgebied (oostelijk van Tiel).
- De ligging van grondwateronttrekkingen:
 - Voor grondwateronttrekkingen binnen het beheergebied is de modelrand buiten het op voorhand ingeschatte verlagingengebied van de onttrekking gelegd.

- Voor grondwateronttrekkingen buiten het beheergebied, maar met effect op het beheergebied, is zo veel mogelijk het volledige verlagingsgebied binnen het modelgebied gebracht. Wanneer het modelgebied hierdoor te ver uitgebreid werd, is er bij enkele onttrekkingen voor gekozen de modelrand juist midden op de onttrekking te leggen. Dit betreft de volgende onttrekkingen (zie Figuur 2.1 en Bijlage C.2):
 - Uniqema en pompstations De Steeg en Rodenhuis aan de westkant van het modelgebied.
 - Pompstation Laren aan de noordkant van het modelgebied.
 - Pompstations Woudenberg en Veenendaal aan de oostkant van het modelgebied, hierbij is rekening gehouden met de nieuwe locatie van pompstation Woudenberg, deze valt net als het huidige pompstation op de modelrand.
 - Een grote industriële grondwateronttrekking nabij Tiel.
- In Paragraaf 2.5 is beschreven hoe met het onttrekkingsdebiet van deze onttrekkingen is omgegaan.
- De spreidingslengte:
 - De spreidingslengte is een maat voor de afstand waarover effecten in het topsysteem (bovenste deel van het watersysteem) doorwerken in het grondwater. De spreidingslengte wordt in deze modelstudie bepaald uit de wortel van het quotiënt van de kD -waarde van het ondiepe watervoerend pakket (modellaag 1) en de c -waarde van de onderliggende scheidende laag:

$$\lambda = \sqrt{kD \cdot c} \quad [\text{L}]$$

- De spreidingslengte is voor elke modelcel berekend op basis van de ongekalibreerde kD - en c -waarden.
- Een afstand van 3λ is gebruikt als minimale afstand tussen de modelrand en het beheergebied (in Figuur 2.2 is dit gevisualiseerd). Alleen in het zuidwesten van het modelgebied is de modelrand dichterbij gelegd dan deze minimale afstand i.v.m. de aanwezigheid van vele grote grondwateronttrekkingen aldaar. De modelgrens had anders veel verder weg gelegd moeten worden. Uiteindelijk is de grens getrokken door de onttrekkingen van Uniqema, De Steeg en Rodenhuis, om te voorkomen dat diverse onttrekkingen die verder gelegen zijn langs de Lek richting Ridderkerk ook opgenomen moesten worden binnen het modelgebied.



Figuur 2.2 Weergave van drie maal de spreidingslengte (3λ) voor het HDSR gebied (kleur) in combinatie met de afstand tot het beheersgebied (isolijnen). Leesondersteuning: de afstand tussen beheersgebiedsgrens en modelgrens moet minimaal de 3λ -waarde ter hoogte van de beheersgebiedsgrens zijn. Dat wil zeggen dat wanneer de kleur bijvoorbeeld groen is, de isolijn van 5400 m binnen de modelgrens moet liggen, etc.

2.1.3 Tijdsdiscretisatie

Keuze periode ten behoeve van gemiddelde stationaire situatie

Aan het stationaire model dienen voor de tijdsafhankelijke variabelen gemiddelde waarden te worden toegekend. De periode op basis waarvan deze gemiddelden berekend worden, is vastgesteld aan de hand van de belangrijkste tijdsafhankelijke modelvariabelen. Dit zijn de grondwateronttrekkingen en de meteorologische condities.

Wat betreft de meteorologische condities is door Alterra een onderzoek gedaan naar een representatieve periode voor het klimaat van de afgelopen 30 jaar (Hermans e.a., 2004). Uit dit onderzoek kwam naar voren dat dit de periode 1989 t/m 2000 was.

Binnen het modelgebied komen veel grondwateronttrekkingen voor met elk variërende onttrekkingsdebieten over de jaren. Het is niet mogelijk op basis van deze diverse onttrekkingsdebieten één beste gemiddelde periode te kiezen. In overleg met de opdrachtgevers is ervoor gekozen om, aansluitend bij de hierboven beschreven representatieve klimaatperiode, voor het stationaire model gemiddelde invoerwaarden te berekenen over de periode van 1989 t/m 2000.

Deze periode is ook gebruikt om voor het stationaire HDSR-model een gemiddelde grondwateraanvulling te bepalen (zie Paragraaf 2.4).

Keuze periode en tijdstapgrootte niet-stationaire simulatie

Ook voor de niet-stationaire kalibratie is de periode 1989 t/m 2000 gekozen. Omdat de waarden van de toestandsvariabelen (zoals grondwaterstanden, stijghoogtes en bodemvochtcondities) aan het begin van de modelrun niet bekend zijn, zal het model de eerste jaren nog geen betrouwbare resultaten geven. Op basis van eerdere modelstudies is aangenomen dat de eerste 3 jaren (1989 t/m 1991) nodig zijn om het model een juiste uitgangssituatie voor verdere berekeningen vast te laten stellen.

Voor het bepalen van GxG-waarden binnen de niet-stationaire kalibratie (zie Paragraaf 3.5) zijn alleen de gehele hydrologische jaren in de periode 1992 t/m 2000 meegenomen, dus de jaren van 1 april t/m 31 maart.

Voor het berekenen van de grondwateraanvulling hanteert metaSWAP tijdstappen van 1 dag. Hiermee wordt het effect van verschillende seizoenen en de reactie op neerslaggebeurtenissen nauwkeurig gesimuleerd. Het niet-stationaire model heeft daarmee 4108 tijdstappen. MODFLOW hanteert 'stress-periodes', die langer mogen zijn dan de metaSWAP-tijdstappen². In het HDSR-model is gekozen voor stress-periodes van een kwartaal. De data van grondwateronttrekkingen zijn hierbij maatgevend: deze zijn per kwartaal beschikbaar, hetgeen frequenter is dan de data van de overige tijdsafhankelijke stressen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat MODFLOW wel op dagbasis gekoppeld is met metaSWAP en er daarmee een dagelijkse grondwateraanvulling plaatsvindt.

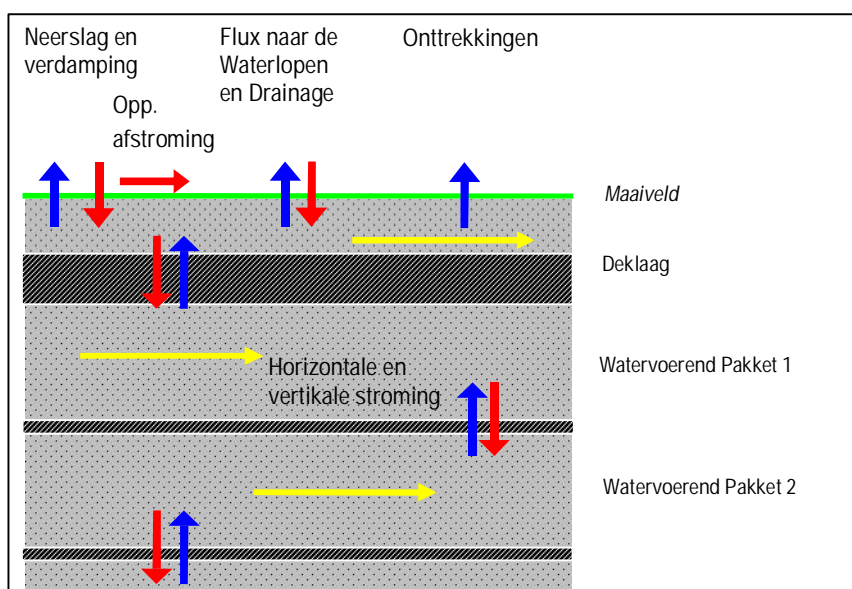
2.1.4 Processen

In het MODFLOW-model worden de volgende processen gemodelleerd met gebruikmaking van de betreffende MODFLOW-packages (tussen haakjes):

- Quasi-3D stroming door de ondergrond (BCF-package):
 - Horizontaal: watervoerende lagen;
 - Vertikaal: scheidende lagen.
- Horizontale anisotropie in de watervoerende lagen (ANI-package):
 - Anisotropie richtingen en factoren.
- Neerslag en verdamping (SIMGRO-metaSWAP-package):
 - Stationair: gemiddelde uit metaSWAP-modellering 1989-2000 op dagbasis (RCH-package);
 - Niet-stationair: MODFLOW-metaSWAP koppeling op dagbasis.
- Fluxen van/naar de waterlopen (RIV-package):
 - Infiltratie en drainage voor primaire + secundaire watergangen;
 - Alleen drainage voor tertiaire watergangen.
- Fluxen naar buisdrainage (DRN-package):
 - Alleen drainage.
- Onttrekkingen (WEL-package):
 - Onttrekkingen en infiltrerende putten.
- Oppervlakkige afstroming:
 - Stationair in MODFLOW (SOF-package);
 - Niet-stationair in metaSWAP.
- Flux over de modelgrens in horizontale richting:
 - Modellaag 1: 'constant head' rand (BAS-package);
 - Overige modellagen: 'general head' rand (GHB-package).

In Figuur 2.3 zijn de processen schematisch weergegeven.

² Binnen een stress-periode houdt MODFLOW de waarde van tijdsafhankelijke stressen (in dit geval de DRN-, GHB-, RIV- en WEL-package) constant. Hiermee wordt een aanzienlijke winst in de rekentijd geboekt en wordt de modelopzet overzichtelijker. Voor een beter rekenresultaat kan een stress-periode opgedeeld worden in tijdstappen. In het HDSR-model zijn de stress-periodes onderverdeeld in tijdstappen van 1 dag, hetgeen aansluit bij de tijdsdiscretisatie van metaSWAP.



Figuur 2.3 Hydrologische processen in het HDSR-MODFLOW-model.

2.2 Ondergrondparametrisatie

2.2.1 Geologie

Voor de onderstaande geologische beschrijving van het gebied is gebruik gemaakt van de volgende bronnen: Berendsen (2004, 2005) en Bakker (2004).

Diepe ondergrond (voor stuwing van de Utrechtse Heuvelrug)

De voor de hydrologie relevante geologie begon aan het einde van het Tertiair (ca. 2.3 miljoen jaar geleden). De regio lag toen onder de zeespiegel en er werden mariene kleien afgezet. Deze kleien van de formatie van Oosterhout vormen de hydrologische basis in het gebied. In het vroege Pleistoceen (ca. 2 miljoen jaar geleden) bevond Nederland zich nog steeds onder zeeniveau, echter de kust was dichterbij en er werden afwisselend zanden en kleien afgezet (formatie van Maassluis). Gedurende het Pleistoceen trok de zee zich verder terug en werden in het onderzoeksgebied riviersedimenten afgezet. Zandige en kleiige afzettingen wisselden elkaar af. Ook varieerde de aanvoerrichting: dan weer zijn de afzettingen afkomstig van de oostelijke rivieren (formatie van Harderwijk, Enschede, Peize, Urk), dan weer afkomstig van zuidelijke rivieren (formatie van Waalre, Stramproy en Sterksel). De Saale ijstijd (0.3-0.2 miljoen jaar geleden) zorgde voor een omslag. De rivieren droogden in deze periode op en gletsjers drongen in het gebied door en vormden de Utrechtse Heuvelrug. In de heuvelrug werd met name zandig materiaal gestuwd met hier en daar dunne klei- en leemlagen.

Ondiepe ondergrond (na stuwing van de Utrechtse Heuvelrug)

De Utrechtse Heuvelrug vormt een duidelijke scheiding in de opbouw van de ondiepe ondergrond. Ten westen van de Utrechtse Heuvelrug zijn in het Pleistoceen fluviaatiele zanden afgezet van de Formatie van Kreftenheye. Deze afzettingen bevatten matig grof tot matig fijne zanden die tijdens de laatste ijstijd zijn afgezet door de voorlopers van de Rijn en de Maas. Deze zanden zijn door vlechtende en meanderende rivieren afgezet, en vormen het belangrijkste deel van het eerste watervoerende pakket in het gebied. Bovenop de Formatie

van Kreftenheye zijn in het Holoceen met name venige en kleiige pakketten afgezet: hetgeen een vrijwel afsluitende deklaag vormt ten westen van de Heuvelrug.

Het gebied ten oosten van de Utrechtse Heuvelrug kent de Kreftenheye afzettingen niet. Hier zijn mariene afzettingen uit de Eemformatie uit min of meer dezelfde tijdsperiode aanwezig, welke juist ontbreken in het westen. Het eerste watervoerende pakket is hier veel diverser: opgebouwd uit zanden uit de Boxtel- en Eemformatie, met diverse dunnere klei- en veenlagen. Een echte deklaag ontbreekt hier. Dekzanden uit de Formatie van Boxtel vormen de top van het systeem hier.

De Utrechtse Heuvelrug zelf steekt boven het landschap uit. Laat-pleistocene en holocene afzettingen zijn hier dan ook minder sterk afgezet. Alleen hellingafzettingen en dekzanden uit de Boxtel formatie komen her en der voor.

2.2.2 Verticale schematisatie

De geologische ontwikkeling, in het bijzonder het voorkomen van weerstandbiedende (venige/kleiige) lagen, vormt de basis voor de ondergrondschematisatie voor het MODFLOW-model. Naast rekening te houden met de geologische ontwikkeling dient men zich echter bij een ondergrondschematisatie van een MODFLOW-model ook bewust te zijn van de technische consequenties van een lagenindeling. Het HDSR-model kent een zeer gedetailleerde resolutie met cellen van 25x25 m. Hoe meer modellagen, des te langer de rekentijd wordt en des te minder flexibel de uiteindelijke scenarioberekeningen zullen worden. Het is bij het schematiseren van de ondergrond dan ook essentieel een juiste afweging te maken tussen het aantal lagen dat nodig is voor een goede beschrijving van het hydrologische systeem en de te verwachten rekentijd.

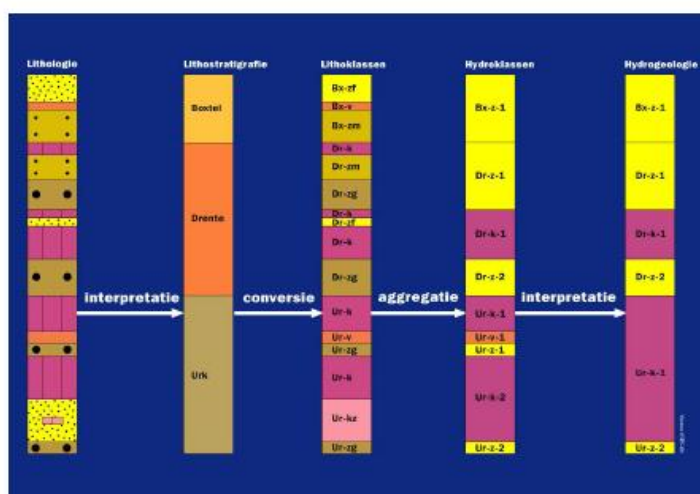
Hydrogeologisch model REGIS II

De basis van de ondergrondschematisatie wordt gevormd door REGIS II (Vernes & Van Doorn, 2005; TNO, 2009b) en het deklaagmodel voor het beheersgebied van HDSR (Gunnink e.a., 2004).

Het hydrogeologische model REGIS II heeft als geologisch uitgangspunt het LKN (Landelijke geologische Kartering van Nederland). Het gebruik van dit model heeft als voordeel dat er wordt uitgegaan van een consistent model voor geheel Nederland. De matig diepe boringen uit de databank van DINO (TNO, 2009a) vormen de belangrijkste basisdata van zowel het hydrogeologisch als het lithologische model. In tegenstelling tot REGIS I is uitgegaan van een selectieset van boringen om zo enkel gebruik te maken van betrouwbare boringen. Tevens is er een inventarisatie gemaakt in samenwerking met de Provincies en de waterleidingbedrijven van put- en pompproeven.

De basis van het karterproces wordt gevormd door de lithologische laagbeschrijvingen en de lithostratigrafische interpretaties van de boringen. Op grond van deze gegevens is elke boring vertaald naar een lithoklassenkolom. Deze vormen de basis voor de parametrisatie van hydrogeologische eenheden.

De stappen om naar hydrogeologische eenheden te komen zijn in Figuur 2.4 beschreven. Voor meer informatie over REGIS II: zie TNO (2009b).



Figuur 2.4 Verwerking van boorinformatie tot 3D geologisch model van Nederland.

Hydrogeologische eenheden vormen de basiseenheden binnen REGIS II. Deze hydrogeologische eenheden kunnen watervoerend (zandlagen) of weerstandbiedend zijn (klei- en veenlagen). Daarnaast bestaan er ook complexe eenheden. Deze eenheden worden gevormd door afwisseling van klei en/of veen en zand. Ook ruimtelijk zijn deze complexe eenheden vaak sterk variabel. Zowel de klei- en veenlagen als de complexe eenheden zijn in het model gebruikt als weerstandbiedende lagen, waaraan de modellaagindeling is opgehangen. Dit is conform de REGIS II hydrogeologische indeling van de provincie Utrecht. De verbreiding van de weerstandbiedende hydrogeologische eenheden binnen het modelgebied is weergegeven in Bijlage A.

MODFLOW-modelschematisatie

In Tabel 2.1 is de verticale modelschematisatie weergegeven. Bij het benoemen van de formaties in deze tabel is in de ondiepe ondergrond onderscheid gemaakt tussen het westen en de Utrechtse Heuvelrug + oosten van het modelgebied. Dit om de verschillen tussen deze twee regio's duidelijk naar voren te laten komen.

Toplaag

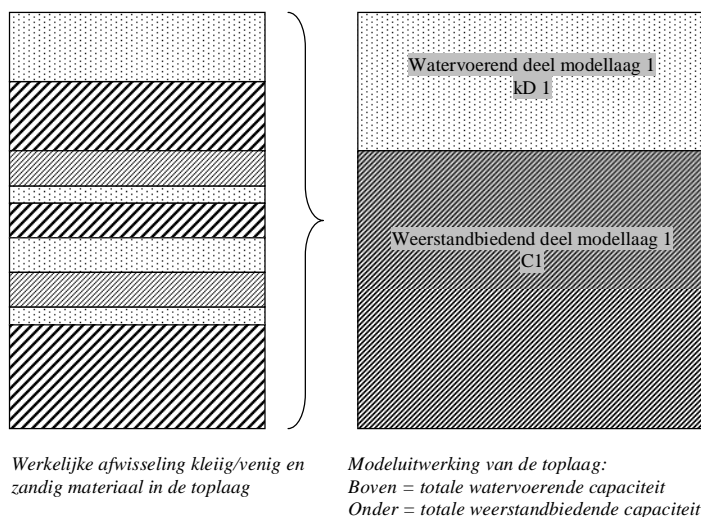
De toplaag heeft in het model een dubbelfunctie: als freatisch pakket en als scheidende laag. De transmissiviteit wordt in modellaag 1 geplaatst ($kD-1$), de weerstand wordt tussen modellaag 1 en 2 ($c-1$) geplaatst. De afwisseling tussen kleiig/venig materiaal en zandig materiaal in de toplaag wordt gemodelleerd als een watervoerende laag op een scheidende laag (Figuur 2.5).

De toplaag wordt in het westen gevormd door het Holocene pakket. De interne structuur en daarmee samenhangende hydrologische parametrisatie worden direct afgeleid uit de deklaag parametrisatie van Gunnink e.a. (2004). Bij het verdelen van de weerstandbiedende en watervoerende capaciteit van de deklaag naar modellaag 1 (zoals geschematiseerd in Figuur 2.5) zou het detail van de deklaagstudie verloren kunnen gaan. Door bij het opschalen gebruik te maken van opgeschaalde doorlatendheidswaarden ($k_{\text{horizontaal}}$ en $k_{\text{verticaal}}$) en gebruik te maken van een stromingsmodel, wordt de detailinformatie zo goed mogelijk gebruikt (Gunnink e.a., 2004).

In de Holocene deklaag is het voorkomen van zand mogelijk, gerelateerd aan zandbanen van Holocene stroomgordels. Op sommige plaatsen staan deze zandbanen in contact met het Pleistocene pakket onder de deklaag. In die gevallen is het Holocene zand niet bij de deklaag

in modellaag 1 opgenomen, maar gevoegd bij het eerste watervoerende pakket (modellaag 2 en 3).

In het oosten wordt de toplaag met name gevormd door de Formatie van Boxtel. Op de plaatsen waar deze formatie niet voorkomt, b.v. op de Utrechtse Heuvelrug, is de dikte van de toplaag op 0 m gezet.



Figuur 2.5 Modellerings toplaag in modellaag 1 en weerstand tussen modellaag 1 en 2.

Eerste en tweede watervoerend pakket

In het oosten zijn de veen- en klei-afzettingen uit de Formaties van Woudenberg en Eem als een aparte scheidende laag tussen twee watervoerende pakketten gemodelleerd. In het westen van het gebied komen deze afzettingen niet voor en is er geen onderscheid tussen deze watervoerende pakketten. Het betreffende grensvlak heeft in dit deel van het gebied hydrologisch geen betekenis. Hoewel de veen- en klei-afzettingen van Woudenberg en Eem alleen buiten het interessegebied voorkomen, is om twee redenen toch besloten deze als afzonderlijke scheidende laag op te nemen in het model: 1) aansluiting bij (toekomstige modellen) van midden Nederland en 2) het feit dat er extra resolutie is in de ondiepe ondergrond, biedt de mogelijkheid om middels stroombanen beter te kunnen onderscheiden waar water vandaan komt (o.a. in verband met kwaliteitsvragen).

Gestuwde afzettingen

Ter plaatse van de Utrechtse Heuvelrug komen tot in de Peize-Waalre zanden gestuwde afzettingen voor. Deze worden in REGIS II aangeduid als 'gestuwd complex', zonder onderscheid tussen zandige watervoerende lagen en kleiige/venige scheidende lagen. In de modelschematisatie reikt dit gestuwde complex op sommige plaatsen tot in modellaag 5.

Samenvoegen weerstandbiedende lagen

Er is in de modelschematisatie voor gekozen om sommige klei-/veenlagen als één laag te modelleren, omdat het afzonderlijk modelleren van ieder laagje de rekentijd van het model te veel doet toenemen. Het samenvoegen van individuele voorkomens van kleilagen is alleen gedaan als deze lagen dicht bij elkaar liggen. Hierbij zijn de volgende criteria gebruikt:

- Als de kleilagen meer dan 90% in de ruimte overlappen (dus qua verbreiding sterk op elkaar lijken) dan mag de afstand tussen de kleilagen binnen 1 gemodelleerde kleilaag oplopen tot maximaal 10 m.

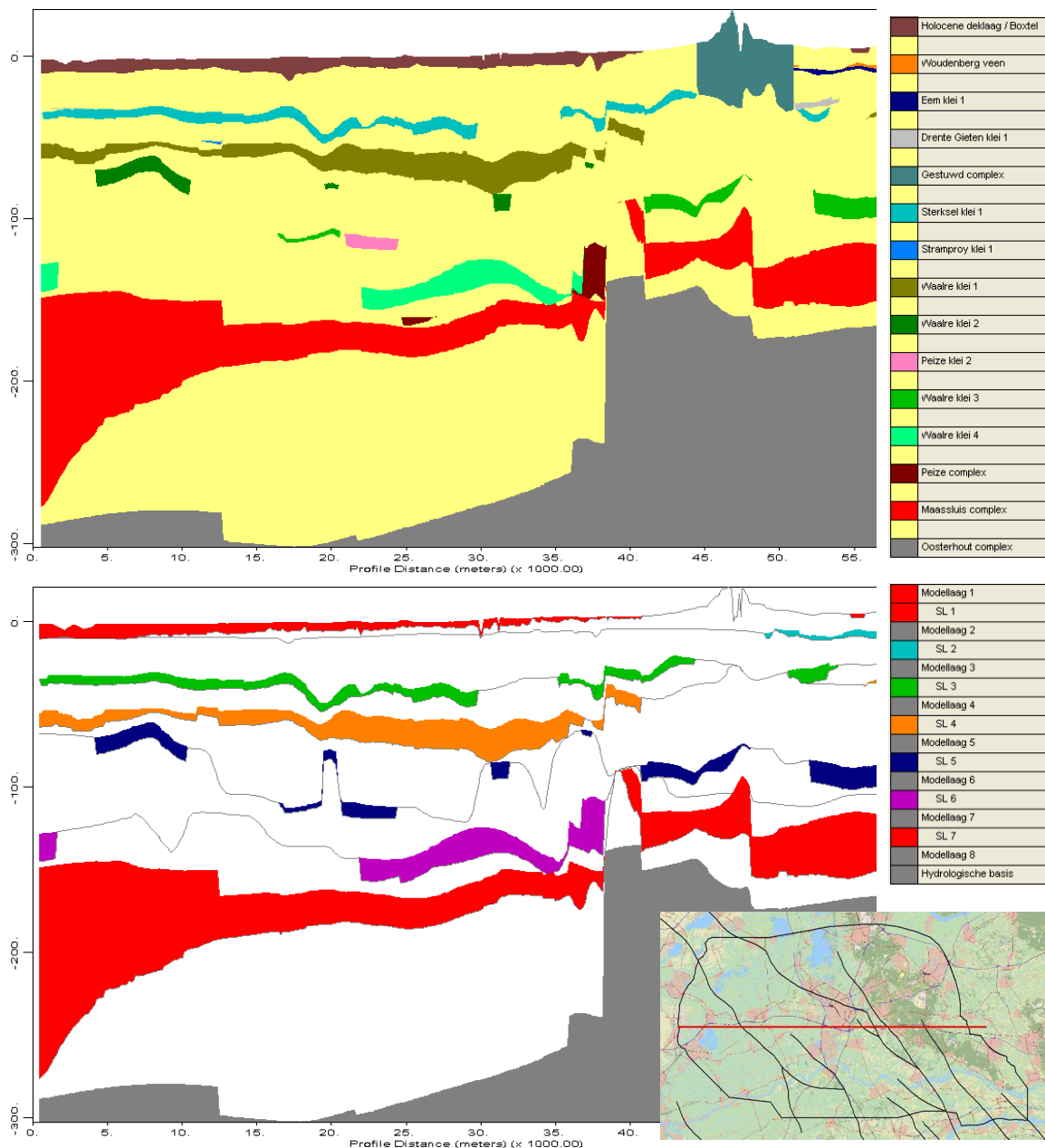
- Als de kleilagen minder dan 90% ruimtelijke overlap vertonen, dan mag de afstand tussen twee kleilagen binnen 1 gemodelleerde kleilaag oplopen tot maximaal 5 m. De reden om met twee klassen van overlap te werken is dat klei- of veenpakketten die qua ruimtelijke verbreiding sterk gecorreleerd zijn, vaak als één dikke weerstandbiedende laag werken, bijvoorbeeld twee kleilagen binnen een enkele geologische formatie.

Tabel 2.1 Overzicht geohydrologische schematisatie. In de rechter twee kolommen de gemiddelde diepte en dikte van deklaag, WVP's en scheidende lagen.

Hydrogeologische eenheden *		Geohydrologische modelindeling	Modellaag	Gem. diepte (m +NAP)	Gem. dikte (m)
West	Heuvelrug + oost				
Holoceen (Gunnink e.a., 2004)	Boxtel	Toplaag = deklaag + freatisch pakket	1	0.4	5.7
Holoceen (Gunnink e.a., 2004)	Boxtel	Verticale weerstand toplaag			
Kreftenheye	Eem zanden Deels gestuwd complex	Eerste watervoerend pakket	2	-4.8	7.1
Niet voorkomend	Woudenberg veen Eem klei 1	Eerste scheidende laag		-8.1	5.5
Urk zanden Sterksel zanden	Eem zanden Urk zanden Sterksel zanden Deels gestuwd complex	Tweede watervoerend pakket	3	-20.6	24.5
Sterksel klei 1	Drente Uitdam klei 1 Drente Gieten klei 1 Urk klei 1 Sterksel	Tweede scheidende laag	4	-33.8	5.3
Peize Waalre zanden	Peize Waalre zanden Deels gestuwd complex	Derde watervoerend pakket		-41.6	13.8
Waalre klei 1 Stramproy klei 1		Derde scheidende laag		-52.1	10.1
Peize Waalre zanden Deels gestuwd complex		Vierde watervoerend pakket	5	-68.5	26.1
Waalre klei 2 en 3 Peize klei 1		Vierde scheidende laag		-83.6	11.5
Peize Waalre zanden Maassluis zand 1		Vijfde watervoerend pakket	6	-104.8	38.6
Waalre klei 4 Peize complex		Vijfde scheidende laag		-125.8	12.9
Peize Waalre zanden Maassluis zand 1		Zesde watervoerend pakket	7	-135.7	16.9
Maassluis complex		Zesde scheidende laag		-156.8	28.3
Maassluis zand 2 en 3		Zevende watervoerend pakket	8	-198.5	58.6
Oosterhout		Hydrologische basis			

* formatienamen volgens nieuwe geologische indeling van Nederland (TNO, 2009a).

Ter illustratie van de modelschematisatie is in Figuur 2.6 in een doorsnede weergegeven: 1) de weerstandbiedende hydrogeologische eenheden (boven) en 2) de bijbehorende MODFLOW-modellaagindeling (onder). In deze figuur zijn in de MODFLOW-modellaagindeling de hierboven genoemde aanpassingen (deklaagschematisatie, zandbanen) verwerkt. De laagdiktes zijn in kaartvorm weergegeven in Bijlage B.2.



Figuur 2.6 Oost-west doorsnede ($y=453000$ m) door het modelgebied op basis van de hydrogeologische eenheden (boven) en modellagen (onder). Y-as: hoogte in m+NAP; x-as: afstand op profiellijn.

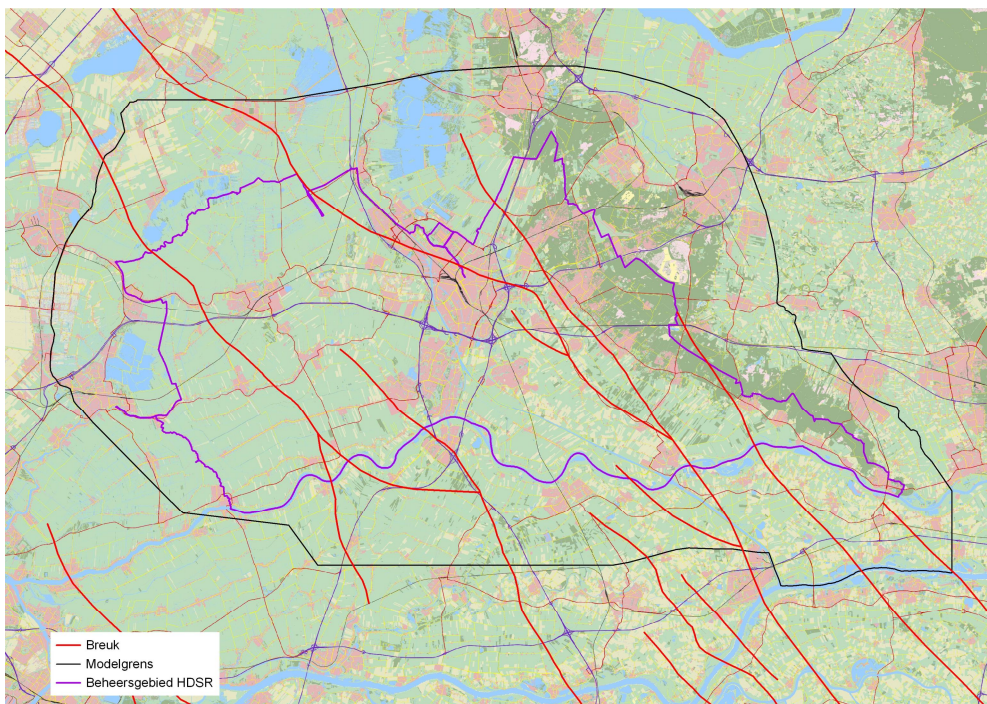
2.2.3 Breuken

In de diepe ondergrond van Utrecht bevinden zich de uitlopers van de slenken en horsten van zuid-oost Nederland, waarvan de Roerdalslenk de bekendste is (Figuur 2.7).

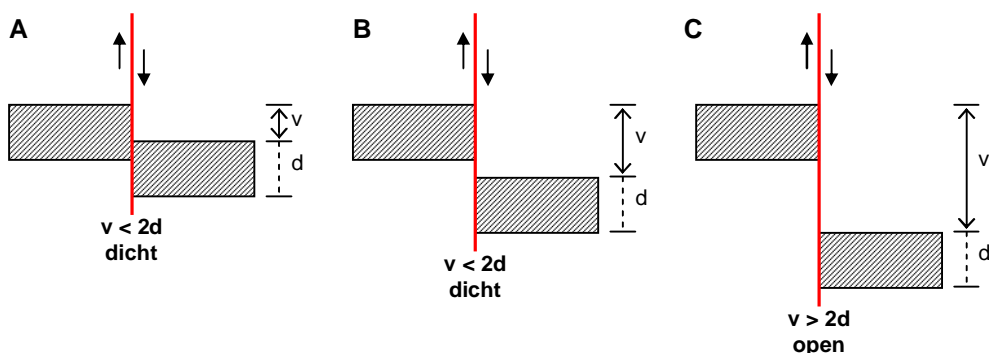
Langs een breuk kan een scheidende laag verschoven zijn en wanneer deze verschuiving groot is, kunnen de watervoerende pakketten onder en boven de scheidende laag contact met elkaar maken ('open' breuk). In het model is hiermee rekening gehouden door de volgende vuistregel te gebruiken:

- Wanneer de verplaatsing langs een breuk kleiner is dan 2 maal de dikte van de verplaatste kleilaag ter plaatse van de breuk, dan zal deze breuk waarschijnlijk dicht zijn voor grondwaterstroming (zie Figuur 2.8). In de situatie van Figuur 2.8B is aangenomen dat de breuk door versmering als dicht beschouwd kan worden.
- Is de verplaatsing groter dan kunnen pakketten over een breuk in open contact met elkaar staan (zie Figuur 2.8A).

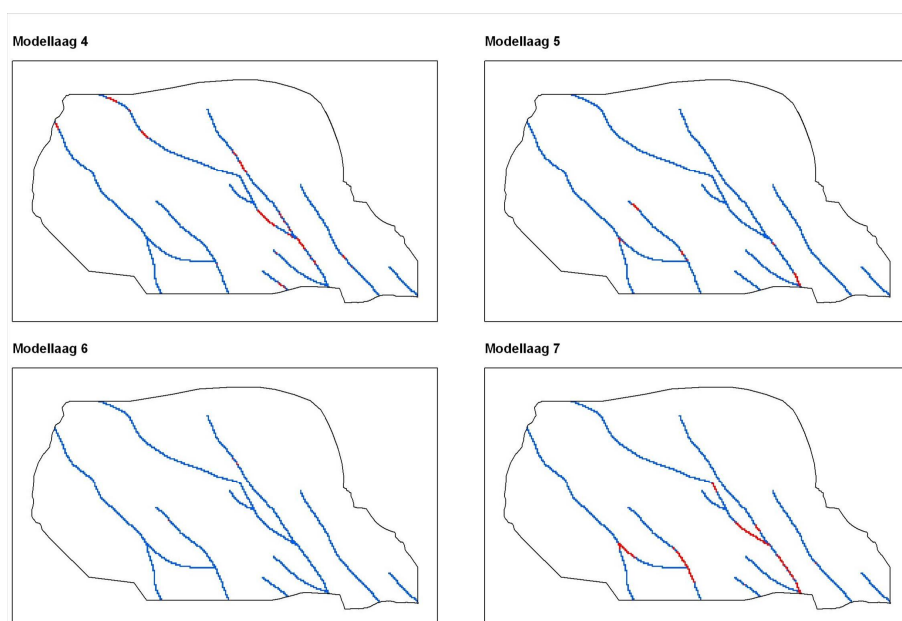
Op basis van deze regel komen op enkele plaatsen open breuken voor (zie Figuur 2.9). Open breuken zijn gemodelleerd door de weerstand van de scheidende laag te minimaliseren (zie Paragraaf 2.2.5). Met de huidige monitoringsinformatie is het niet mogelijk gebruik te maken van aanvullend stijghoogte-onderzoek om het dicht zijn van individuele breuken te controleren.



Figuur 2.7 Breuken in de diepe ondergrond (vierde watervoerend pakket en dieper).



Figuur 2.8 Verschuiving van een scheidende laag (gearceerd) langs een breuk (rode lijn). A en B: een breuk is dicht als de verschuiving (v) kleiner is dan $2x$ de dikte van de laag (d). C: een breuk is open als de verschuiving groter is dan $2x$ de dikte van de laag.



Figuur 2.9 Voorkomen van open (rood) en dichte (blauw) breuken in modellagen 4 t/m 7. In modellaag 1 t/m 3 komen geen breuken voor. Modellaag 8 heeft geen scheidende laag, waardoor de breuken hier geen effect hebben.

2.2.4 Initiële schatting transmissiviteiten (kD) watervoerende lagen

De initiële waarden voor de transmissiviteiten (kD in m^2/dag) van de watervoerende lagen zijn afkomstig uit REGIS II. Op basis van de in de watervoerende lagen voorkomende hydrogeologische eenheden is een gemiddelde horizontale doorlatendheid ($k_{\text{horizontaal}}$) bepaald. Dit is een ruimtelijk gedifferentieerd gemiddelde omdat $k_{\text{horizontaal}}$ ruimtelijk kan verschillen, bijvoorbeeld doordat zand binnen een hydrogeologische eenheid geleidelijk grover of fijner wordt, of omdat de verhouding tussen verschillende hydrogeologische eenheden binnen een watervoerende laag kan veranderen over het modelgebied.

Binnen het HDSR-beheersgebied zijn voor de deklaag (modellaag 1) de kD-waarden van Gunnink e.a. (2004) gebruikt.

Als minimale kD-waarde in MODFLOW is $10 \text{ m}^2/\text{dag}$ aangehouden³. Dit is bijvoorbeeld het geval op de Utrechtse Heuvelrug, waar de dikte van modellaag 1 op 0 m gezet is. In bebouwd gebied is voor de bovenste modellaag een minimale kD van $50 \text{ m}^2/\text{dag}$ gehanteerd. Lagere waarden worden daar, gezien het intensieve menselijke gebruik van de bodem, onrealistisch geacht.

De initiële kD-waarden zijn weergegeven in Bijlage B.3. Tijdens de stationaire kalibratie zijn deze initiële kD-waarden aangepast (zie Paragraaf 3.4). Waar de hierboven beschreven minimale kD-waarde is gebruikt, is geen aanpassing tijdens de kalibratie toegestaan.

³ De kD-waarde moet altijd groter dan $0 \text{ m}^2/\text{dag}$ zijn, ook als een modellaag een dikte van 0 m heeft. De keuze voor $10 \text{ m}^2/\text{dag}$ als minimale waarde is enigszins arbitrair, maar wel gebaseerd op ervaring met andere MODFLOW-modellen

2.2.5 Initiële schatting weerstanden (c) scheidende lagen

De initiële weerstanden (c in dagen) van de scheidende lagen zijn afkomstig uit REGIS II. Voor scheidende lagen welke bestaan uit meer dan een hydrogeologische eenheid, zijn de c-waarden van de hydrogeologische eenheden volgens REGIS II simpelweg gesommeerd. Dit geldt ook voor lagen welke heel dicht bij elkaar gelegen zijn en volgens de criteria van Paragraaf 2.2.2 zijn samengevoegd. Nabij breuken is op dezelfde manier gewerkt, vaak zijn de c-waarde van een hydrogeologische eenheid aan de ene zijde van de breuk verschillend van de c-waarde van de aan de andere zijde, echter onderbreking van de c-waarde door de breuk vindt dan niet plaats. Bijvoorbeeld rond de breukzone ten zuidwesten van Nieuwegein in scheidende laag 4 kent het gebied noordelijk van de breuk hogere c-waarden dan zuidelijk van de breuk, echter er is geen onderbreking in de c-waarde.

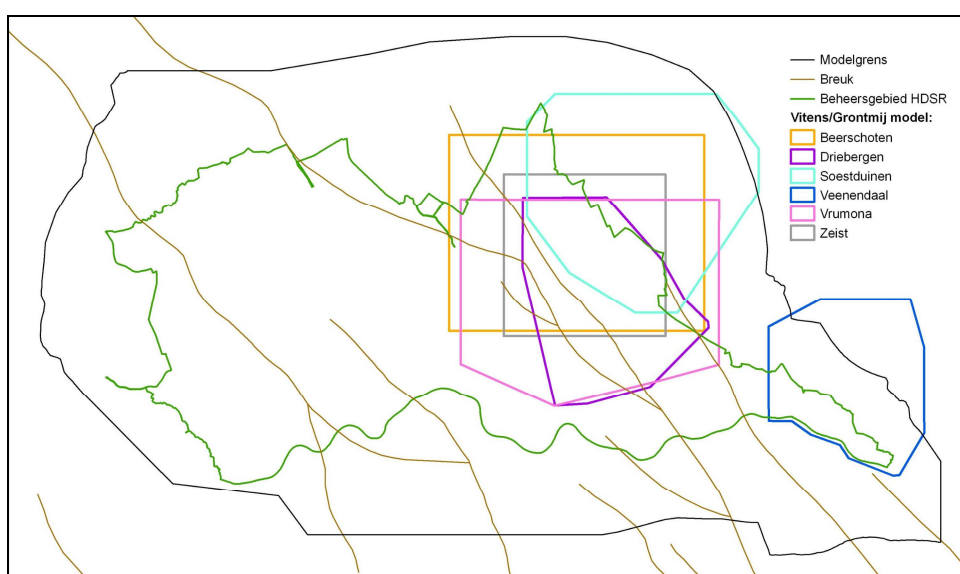
Binnen het HDSR-beheersgebied zijn voor de deklaag (modellaag 1) de c-waarden van Gunnink e.a. (2004) gebruikt.

Daarna zijn achtereenvolgens de volgende aanpassingen aan de c-waarde gedaan:

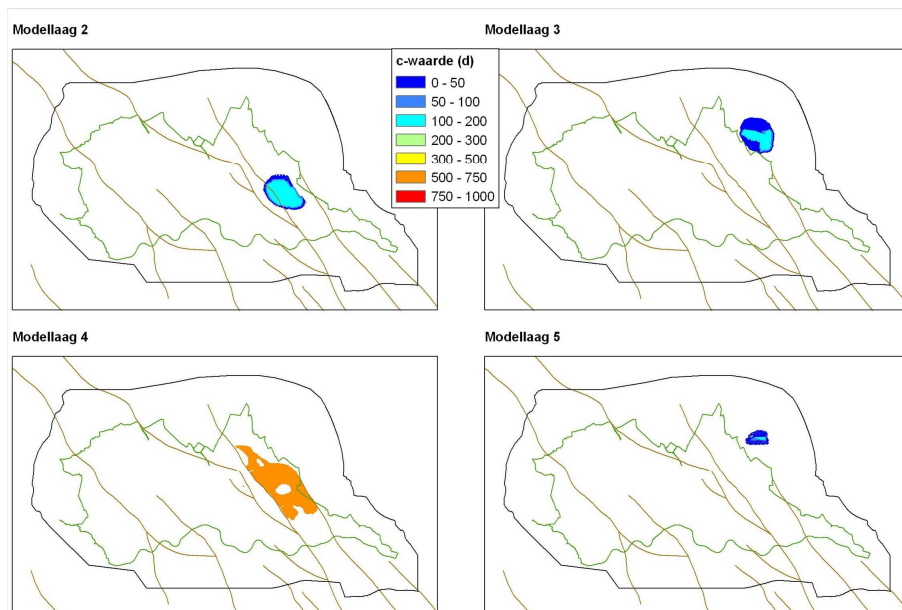
- Binnen het gestuwde complex worden in REGIS II geen aparte weerstandbiedende lagen onderscheiden. Er wordt gebruik gemaakt van een homogene c-waarde, wat geen recht doet aan de in werkelijkheid voorkomende (deels scheefgestelde en versmeerde) kleilagen. Dit heeft tot gevolg dat het effect van onttrekkingen op de Utrechtse Heuvelrug (met name rond grote pompstations) niet goed gemodelleerd kan worden. Drinkwaterbedrijven beschikken echter over detailinformatie (o.a. kartering van kleilagen) rond winningen. Deze informatie is gebruikt om de parametrisatie binnen de Utrechtse Heuvelrug te verbeteren. Op basis van werksessies met Vitens en Grontmij is op een aantal plaatsen rond enkele grondwateronttrekkingen een aanpassing van de c-waarde gedaan. De data hiervoor zijn verkregen uit modelstudies die eerder door Grontmij in opdracht van Vitens waren gemaakt (Grontmij, 2001-2003). De modelgrenzen van deze studies zijn weergegeven in Figuur 2.10. In het algemeen kan hierover opgemerkt worden dat de modelstudies een beperkte ruimtelijke omvang hebben en dat de betrouwbaarheid van de parametrisatie naar de randen toe afneemt. De belangrijkste voorkomens van scheidende lagen zijn op basis van diepteligging aan bepaalde modellagen van het HDSR-model toegevoegd. Steeds is de hoogste van de al voorkomende c-waarde en de nieuwe c-waarde gekozen. De volgende aanpassingen zijn gedaan (zie Figuur 2.11):
 - Rond pompstation Soestduinen zijn in de modellagen 3 en 5 weerstanden tot 200 dagen toegevoegd. In de nabijheid van de grondwateronttrekking mag verwacht worden dat de scheidende lagen met voldoende betrouwbaarheid zijn uitgekarteerd en geparametriseerd. Uit de modellen van Grontmij kon echter geen eenduidig beeld verkregen worden over de horizontale verbreiding van de scheidende laag in modellaag 3 op enige afstand van de onttrekkingen: waar de verschillende modellen elkaar overlappen, vertonen ze grote verschillen in c-waarde. Daarom is ervoor gekozen om alleen in de nabijheid van het pompstation een scheidende laag toe te voegen en deze op basis van het grondwaterbeschermingsgebied 'uit te knippen'. Dit is een subjectieve keuze, waarbij aangenomen is dat binnen dit gebied de c-waarde voldoende betrouwbaar is geparametriseerd en dat dit het belangrijkste invloedsgebied van de onttrekking is.
 - Rond pompstation Driebergen is in modellaag 2 een goed afgebakende kleilaag toegevoegd met weerstanden tot 130 dagen.
 - Rond pompstations Driebergen en Zeist is in modellaag 4 een goed afgebakend voorkomen van een scheidende laag toegevoegd met weerstanden van 600 tot 920 dagen.

- In de omgeving van Leersum (Leersumse Veld) komen relatief hoge grondwaterstanden voor. Hoewel dit gebied gelegen is op de oostflank van de Utrechtse Heuvelrug zijn de grondwaterstanden hier hoger dan de grondwaterstanden onder het centrale deel van de heuvelrug. Uit de militaire kaart van 1860 blijkt dat op de oostelijke flank natte gebieden met veenvorming en vennen voorkomen. Dit wijst op het voorkomen van weerstandbiedende lagen in de ondiepe ondergrond. Op basis van boringen is in REGIS II hier een klein oppervlak aan weerstandbiedend gestuwd materiaal gekarteerd. Deze kartering is verder uitgebreid op basis van de ligging van de historisch natte gebieden en de peilbuizen met hoge grondwaterstanden.
- Op de plaatsen van open breuken en waar de Lek en het Amsterdam-Rijnkanaal door de deklaag zijn gesneden, is de c-waarde geminimaliseerd (minimale waarde is hieronder toegelicht).
- In het westelijk deel van het modelgebied komen enkele diepe polders voor: Polder Groot-Mijdrecht, Polder Nieuwkoop en Middelburg-Tempelpolder (zie Figuur 2.12). In deze polders is de deklaag relatief dun en de kans op opbarsting en het voorkomen van wellen groot. Hierdoor is de *effectieve* c-waarde binnen een cel-oppervlak waarschijnlijk veel lager dan op basis van de voorkomende afzettingen verwacht wordt. Een te hoge c-waarde zal zich in de diepe, peilbeheerste polders vooral uiten in een te hoge berekende stijghoogte van het eerste watervoerende pakket. Immers, in de diepe polders vindt kwel plaats en hoe hoger de weerstand tegen de opwaartse stroming, des te meer druk en dus hogere stijghoogte. Tijdens de bouw van het HDSR-model bleek dan ook de gemodelleerde stijghoogte van het eerste watervoerende pakket onder de diepe polders hoger dan de gemeten stijghoogte. Het verlagen van de c-waarde tot 200 dagen (een waarde die beter past bij de effectieve c-waarde) bleek een gunstig effect te hebben.

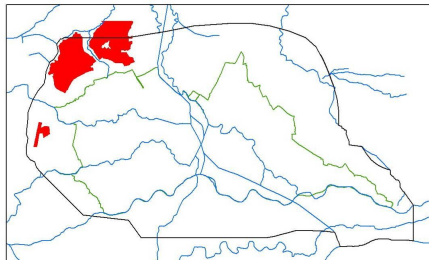
Als minimale c-waarde voor de MODFLOW-berekeningen is 0.1 dag aangehouden (een waarde van 0 is niet mogelijk). De initiële c-waarden zijn weergegeven in Bijlage B.3. Tijdens de stationaire kalibratie zijn deze initiële c-waarden (behalve de minimale waarde) aangepast (zie Paragraaf 3.4).



Figuur 2.10 Modelgrenzen van de Vitsen/Grontmij-modellen die gebruikt zijn voor verbetering van de c-waarde.



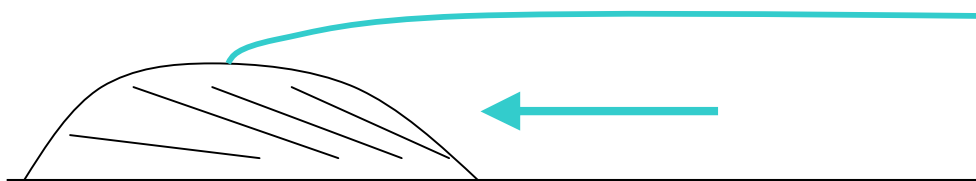
Figuur 2.11 Weerstanden van scheidende lagen die op basis van detailinformatie rond pompstations zijn toegevoegd in aanvulling op REGIS II. Ter oriëntatie zijn de ligging van breuken (bruin) en de HDSR-beheersgebiedsgrens (groen) weergegeven.



Figuur 2.12 Ligging van diepe polders (rood) in het noordwesten van het modelgebied. Ter oriëntatie zijn de ligging van grote waterlopen (blauw) en de HDSR-beheersgebiedsgrens (groen) weergegeven.

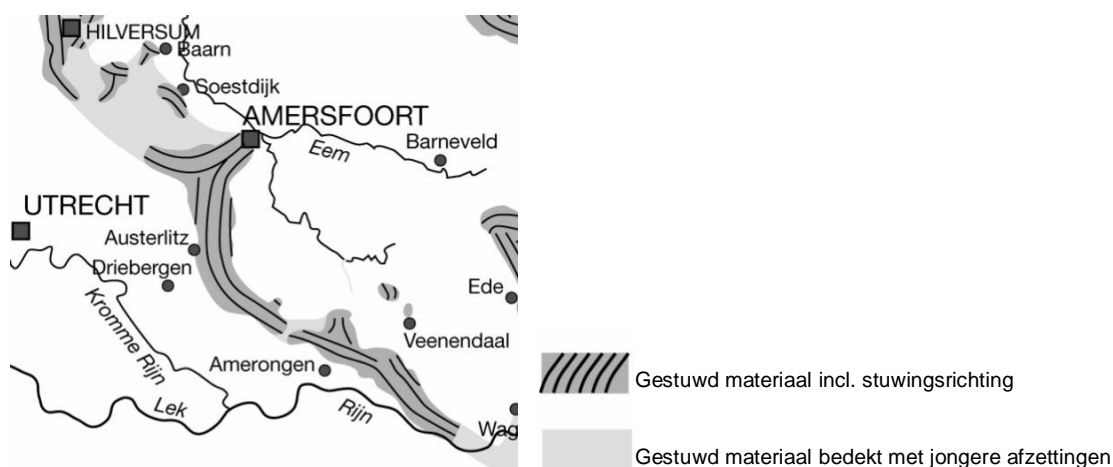
2.2.6 Anisotropie

Tijdens de stuwning van de Utrechtse Heuvelrug zijn horizontaal gesedimenteerde pakketten over elkaar geschoven (Figuur 2.13). Dunne, oorspronkelijk horizontale leemlagen in de sedimentaire pakketten zullen in gestuwde toestand weerstand bieden aan de horizontale stroming in de stuwingsrichting. Horizontale stroming loodrecht op de stuwingsrichting zal hier geen last van hebben. Een zo goed mogelijke weergave van de anisotropie in de Utrechtse Heuvelrug in het model is belangrijk om de grondwaterstanden en stijghoogten in de heuvelrug en de aangrenzende lage gebieden als bijvoorbeeld de Langbroekerwetering naar tevredenheid te kunnen modelleren.



Figuur 2.13 Schematische weergave van de vorming van een stuwwal: het ijs (blauwe pijl) schuift als het ware de horizontale sedimenten voor zich uit en zorgt voor min of meer gestapelde schollen in de stuwwal.

De anisotropie in de stromingsrichting is in het model gemodelleerd met de zogenaamde MODFLOW-anisotropiepackage. Voor het berekenen van de anisotropie zijn twee parameters van belang: de richting van de anisotropie en de maximale anisotropiefactor. De richting van de anisotropie wordt bepaald uit kaartbeelden van de stuwingsrichting (zie Figuur 2.14). In deze figuur geven de lijnen de richting aan van de maximale transmissiviteit. Dit is de anisotropierichting welke ingevoerd wordt in het model. In het modelconcept is de transmissiviteit in de richting loodrecht op deze lijnen minimaal. De verhouding tussen de maximale en minimale transmissiviteit wordt aangegeven met de anisotropiefactor (factor = $kD_{\text{minimaal}} / kD_{\text{maximaal}}$ en is een getal tussen 0 en 1). Een lage factor betekent dat er sterke anisotropie is; een factor van 1 betekent dat er geen anisotropie voorkomt.

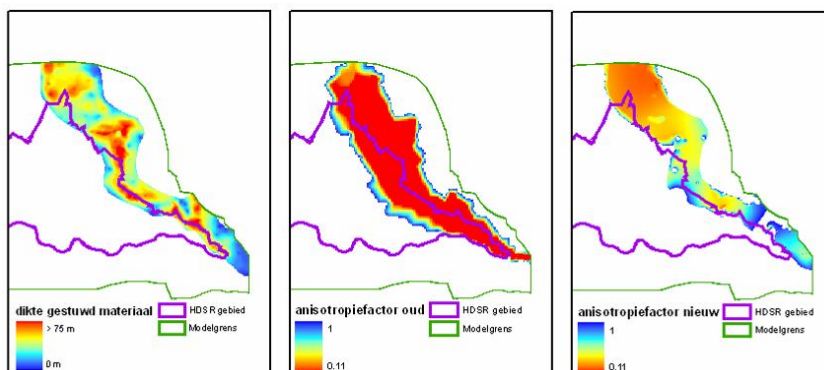


Figuur 2.14 Overzichtskaart van de stuwing in de Utrechtse Heuvelrug. Bron: Bakker, 2004.

Startwaarden voor de anisotropiefactor zijn overgenomen uit het Veluwe model (Minnema, 2002). Op basis van de recentere REGIS II schematisatie van de gestuwde massa zijn deze factoren handmatig aangepast, zodat deze passend werden met de ruimtelijke verbreiding van gestuwde massa.

De initiële anisotropieparametrisatie uit het Veluwe model, bleek nogal grof en de factoren bleken tijdens de modelanalyse voor de Utrechtse Heuvelrug te groot te zijn. Hierbij moet worden aangetekend dat de Utrechtse Heuvelrug in het Veluwe model slechts een randzone was en niet uitgebreid geanalyseerd is in de Veluwestudie. Door de anisotropiefactoren te relateren aan de dikte van het gestuwde pakket (REGIS II) is een betere benadering van de anisotropie verkregen, welke beter past bij de geologische situering van de heuvelrug (Figuur 2.15).

De in het model aangebrachte waarden zijn weergegeven in Bijlage B.4.

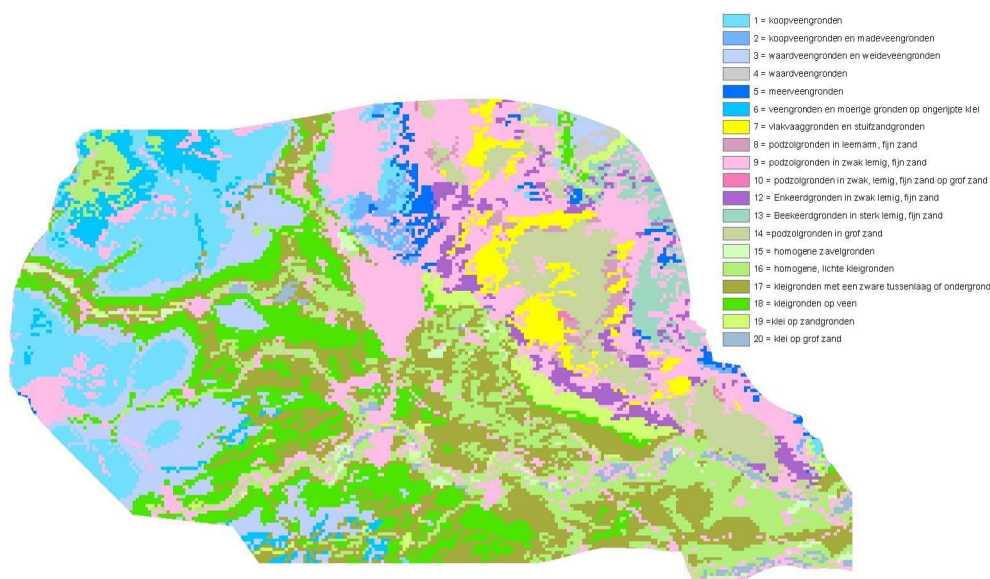


Figuur 2.15 Dikte van het gestuwde materiaal volgens REGIS II (links), anisotropiefactor van laag 4 volgens Veluwe model (midden) en nieuw ingeschatte anisotropiefactor van laag 4 (rechts).

2.2.7 Initiële schatting bergingscoëfficiënten watervoerende lagen

De initiële freatische bergingscoëfficiënt is gebaseerd op de bodemfysische eenheid (zie Figuur 2.16). Binnen het MODFLOW-metaSWAP-rekenschema worden de bergingscoëfficiënten steeds aan de actuele grondwaterstand aangepast (Van Walsum e.a., 2007). In Tabel 2.2 is voor een beperkt aantal grondwaterstandwaarden de initiële bergingscoëfficiënten weergegeven. Bij grondwaterstanden boven maaiveld wordt gerekend met een bergingscoëfficiënt van 1.00 (100%).

De elastische bergingscoëfficiënten van de diepere lagen (laag 2 t/m 8) zijn uniform vastgesteld op 0.0001.



Figuur 2.16 Bodemfysische eenheden binnen het modelgebied.

Tabel 2.2 Bergingscoëfficiënt [-] per bodemfysische eenheid voor een beperkt aantal grondwaterstandwaarden (bron: SIMGRO-parametrisatie).

		Grondwaterstand t.o.v. maaiveld ►								
		0.1	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	10.0
▼ Bodemfysische eenheid	1	0.010	0.024	0.057	0.095	0.126	0.190	0.231	0.260	0.335
	2	0.010	0.026	0.070	0.140	0.179	0.242	0.263	0.272	0.285
	3	0.010	0.021	0.055	0.094	0.125	0.189	0.231	0.260	0.335
	4	0.010	0.021	0.064	0.136	0.176	0.240	0.262	0.271	0.285
	5	0.010	0.027	0.074	0.145	0.183	0.244	0.265	0.273	0.286
	6	0.010	0.018	0.025	0.036	0.046	0.067	0.084	0.096	0.131
	7	0.010	0.035	0.092	0.144	0.175	0.236	0.258	0.268	0.283
	8	0.010	0.030	0.088	0.143	0.175	0.236	0.258	0.268	0.283
	9	0.010	0.032	0.083	0.140	0.175	0.236	0.259	0.269	0.284
	10	0.010	0.032	0.081	0.200	0.192	0.231	0.234	0.237	0.242
	11	0.010	0.022	0.078	0.079	0.074	0.086	0.096	0.104	0.126
	12	0.010	0.033	0.072	0.132	0.173	0.238	0.260	0.270	0.284
	13	0.010	0.030	0.090	0.143	0.175	0.236	0.258	0.268	0.283
	14	0.010	0.062	0.120	0.165	0.175	0.223	0.230	0.234	0.241
	15	0.010	0.015	0.032	0.054	0.073	0.112	0.140	0.160	0.209
	16	0.010	0.015	0.031	0.050	0.066	0.100	0.123	0.140	0.183
	17	0.010	0.016	0.026	0.038	0.048	0.068	0.082	0.091	0.118
	18	0.010	0.015	0.042	0.085	0.118	0.185	0.228	0.257	0.334
	19	0.010	0.015	0.060	0.133	0.172	0.236	0.259	0.269	0.284
	20	0.010	0.015	0.103	0.167	0.179	0.226	0.233	0.236	0.242
	21	0.010	0.011	0.020	0.032	0.043	0.067	0.086	0.100	0.140

2.2.8 Startstijghoogten

De startstijghoogten voor het stationaire model zijn bepaald door interpolatie van mediane waarden van grondwaterstand- en stijghoogtetijdreeksen voor de periode 1989 tot en met 2000.

Voor het niet-stationaire model wordt de stationaire situatie gebruikt als startstijghoogten in het model.

2.3 Parametrisatie Oppervlaktewater

2.3.1 Waterlopen en sloten

Alterra heeft op basis van het beheersregister van HDSR, beschikbare informatie van de omliggende waterschappen en STONE (Wolf e.a., 2003), AHN-filtering van TNO (Van der Velde, 2004) en Rijkswaterstaat-informatie winterpeilen en zomerpeilen bepaald.

Op basis van de bodemhoogte zijn de waterlopen in de modellen gealloceerd en is de weerstand evenredig verdeeld over de modellen. In die gevallen waarin een waterloop een modellaag met weerstandbiedende laag doorsnijdt, is ter plaatse de weerstand tussen de doorsneden modellen geminimaliseerd tot 0.1 dag.

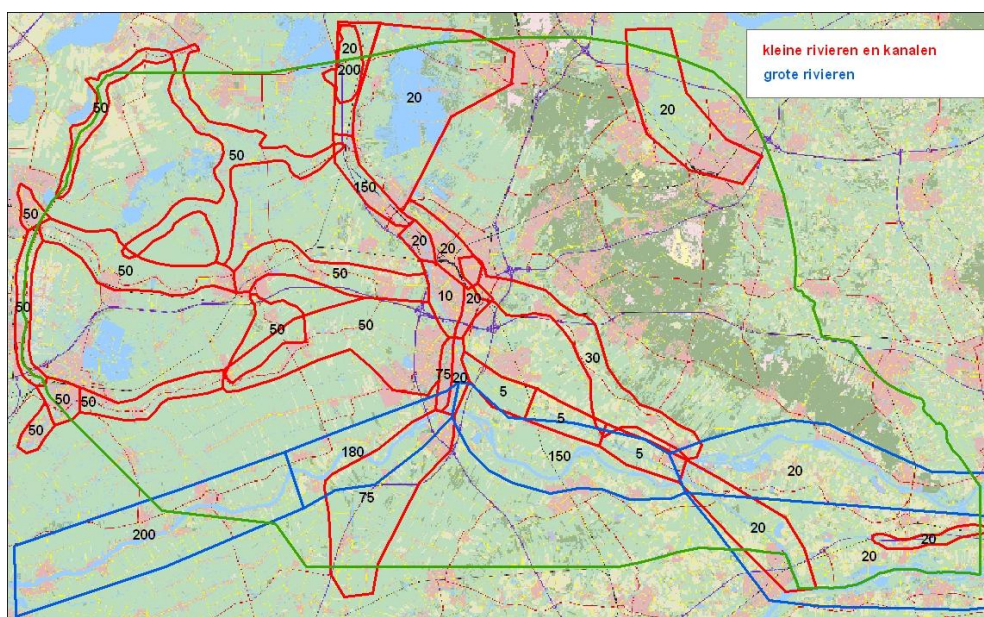
De waterbodemweerstand zijn bepaald op basis van diverse literatuurbronnen en expertkennis vanuit de opdrachtgevers, Alterra en TNO/Deltares:

- Intreewestanden waterlopen: inventarisatie en analyse (Jousma & Massop, 1996);

- Hydrologisch onderzoek Kromme Rijn, Deelrapporten I t/m IV (Gerretsen, 1993-1996; De Boer, 1994);
- Een overzicht van de toepassing van intreeweestanden in modelstudies (Stoppelenburg, 1999);
- Bepaling van de intreeweestand van de Lek en de verticale weerstanden van de uiterwaarden en polders nabij Langerak (Alblasserwaard) (Timmerman & Hemker, 1993);
- Grondwaterplan Provincie Utrecht (1987);
- Waterwinplaats Vleuten (Hydron);
- De hydrologische interactie tussen de grotere waterlopen en het grondwater in West-Utrecht (Hey & Kester, 1980).

De intreeweestanden (bodemweerstand van de waterlopen in een drainerende situatie) zijn op basis van de literatuurbronnen gedifferentieerd naar type waterloop en regio. In Figuur 2.17 zijn de gehanteerde intreeweestanden per waterloop weergegeven. Deze intreeweestanden gelden alleen voor de in deze regio's gelegen rivieren of kanalen. Alle plassen, waaronder ook de Loosdrechtse plassen, Nieuwkoopse plassen en Reeuwijkse plassen, hebben een intreeweestand van 20 dagen gekregen. Voor alle overige waterlopen geldt dat de intreeweestand 2-4 dagen is afhankelijk van de orde van de waterloop. Hierbij is niet overal vastgehouden aan de exacte literatuurwaarden; de infiltratieweerstanden van de Lek en het Amsterdam Rijnkanaal moesten kleiner zijn dan de literatuurwaarden om te veel infiltratie en daarmee te hoge grondwaterstanden en stijghoogten rond Nieuwegein en Vianen te voorkomen.

De uitteeweestanden (de bodemweerstand van waterlopen in een infiltrerende situatie) zijn een factor 2 tot 4 hoger ingeschat dan de intreeweestanden. De in- en uitteeweestanden zijn in de niet-stationaire kalibratie aangepast (zie Paragraaf 3.5).



Figuur 2.17 Intreeweestanden rivieren en kanalen.

2.3.2 Buisdrainage

De buisdrainage kaart (Figuur 2.18) is in essentie een ensemble kaart. Dat wil zeggen: deze is samengesteld uit een groot aantal deelkaarten van diverse origine:

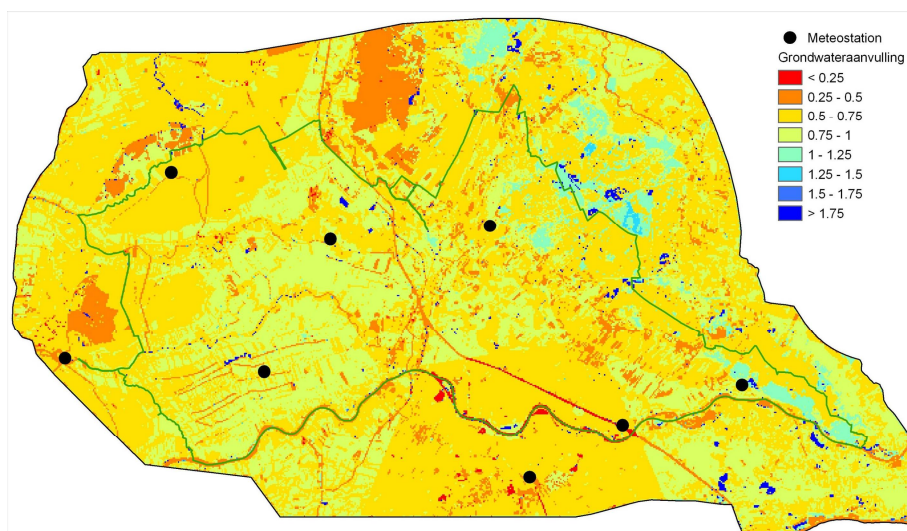
- Voor de bebouwde gebieden is gebruik gemaakt van informatie van de diverse gemeenten. Specifiek in de stad Utrecht is door de Grontmij (2005) onderzoek gedaan naar de drainerende werking van rioleringsystemen. Voor zover verwacht werd dat de riolering draineert is deze opgenomen in de buisdrainage kaart.
- Voor het Kromme Rijn gebied (inclusief Polder Honswijk en het Langbroekerwetering gebied) is gebruik gemaakt van de Verwachte Drainagekaart van Alterra (2008). Middels een veldtoets is nagegaan of het correct is te veronderstellen dat een groot deel van dit gebied gedraineerd werd middels buisdrainage. Dat bleek zo te zijn, en aldus is de Verwachte Drainagekaart gebruikt voor de aanmaak van de buisdrainage kaart.



Figuur 2.18 Buisdrainagekaart HDSR-beheersgebied.

2.4 Parametrisatie Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling voor het stationaire model is door Alterra afgeleid met behulp van een niet-stationaire run met het ongekalibreerde MODFLOW-metaSWAP-model. Hierbij zijn alle neerslagstations in de regio gebruikt (Figuur 2.19). De gemiddelde grondwateraanvulling binnen het modelgebied is 0.75 mm/dag.



Figuur 2.19 Ligging van de KNMI-neerslagstations en stationaire grondwateraanvulling in mm/dag op basis van de periode van 1989 tot en met 2000.

2.5 Parametrisatie Onttrekkingen

Het modelgebied bestaat uit de provincie Utrecht en gedeelten van de provincies Noord-Holland, Zuid-Holland en Gelderland. Dit geldt ook voor de onttrekkingen. Er is daarom voor de invoer van de onttrekkingen gebruik gemaakt van vier provinciale databases van onttrekkingsgegevens. Onttrekkingen welke niet vergunningsplichtig zijn, zijn zodoende niet opgenomen in het MODFLOW-model. Het gaat daarbij om:

- Algemeen: <math> < 10 \text{ m}^3/\text{uur}</math> en <math> < 12.000 \text{ m}^3/\text{kwartaal}</math>;
- Bouwputbemaling: <math> < 100 \text{ m}^3/\text{uur}</math>, <math> < 6</math> maanden;
- Sleufbemaling: <math> < 50.000 \text{ m}^3/\text{maand}</math>, <math> < 6</math> maanden;
- Grondwatersanering: <math> < 25 \text{ m}^3/\text{uur}</math>, <math> < 5</math> jaar;
- Proefonttrekking: <math> < 100.000 \text{ m}^3/\text{maand}</math>, <math> < 6</math> maanden;
- Beregening/bevloeiing: <math> < 60 \text{ m}^3/\text{uur}</math>.

Naast deze provinciale databestanden is gebruikt gemaakt van onttrekkingsgegevens van Vitens voor de pompstations in het modelgebied. Deze gegevens betreffen de filterdiepte en de actieve periode van individuele putten binnen het puttenveld van elke pompstation (zie Bijlage A). Het totale onttrekkingsdebiet van een pompstation uit de provinciale databases is evenredig verdeeld over de actieve putten.

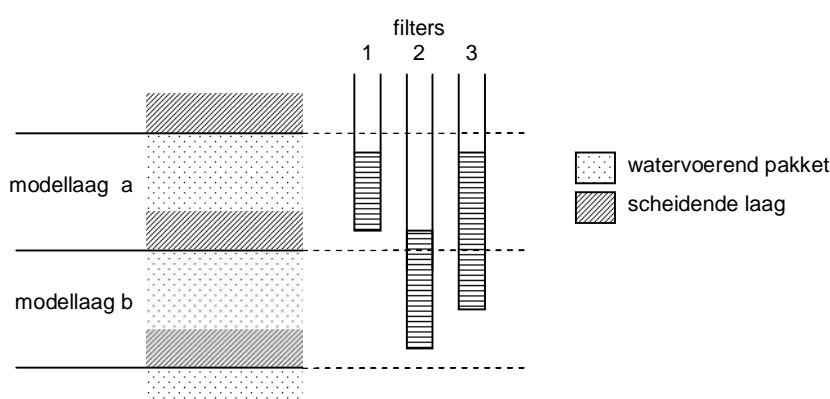
Voor de provincies Utrecht, Noord-Holland en Gelderland waren kwartaalsommen van de onttrekkingsdebieten beschikbaar. De gegevens van de provincie Zuid-Holland betreffen jaarsommen. Deze zijn evenredig verdeeld over de kwartalen.

De onttrekkingen zijn toegekend aan modelcellen op basis van hun x- en y-coördinaten en diepteligging ten opzichte van NAP. Voor de onttrekkingen van de provincie Zuid-Holland is geen diepteligging bekend, maar alleen het watervoerende pakket waaruit wordt onttrokken. Er is daarom een vertaalslag gemaakt van de watervoerende pakketten, zoals gehanteerd door de Provincie Zuid-Holland, naar de modellen van het HDSR-model (Tabel 2.3). Indien een filter zich verticaal uitstrekt over meer dan 1 watervoerend pakket (eventueel met doorsnijding/aantapping van scheidende lagen), is de onttrekking verdeeld over deze watervoerende pakketten (Figuur 2.20). Voor de verdeling over de lagen is aangenomen dat

het aandeel in het onttrekkingsdebiet groter is naarmate: 1) het deel van het filter in de laag groter is, en 2) de kD -waarde van de laag groter is. Beide aannames zijn even zwaar gewogen. Voor de onttrekking per filterdeel i geldt dan:

$$Q_i = \frac{L_i \cdot kD_i}{\sum_{i=1}^n (L_i \cdot kD_i)} \cdot Q$$

met: Q = onttrekkingsdebiet filter totaal; Q_i = onttrekkingsdebiet filterdeel; L_i = fractie van de totale filterlengte; kD_i = kD -waarde van modellaag waarin het filterdeel zich bevindt



Figuur 2.20 Toekenning van filters aan modellagen: filter 1 aan modellaag a, filter 2 aan modellaag b en filter 3 aan beide modellagen.

Tabel 2.3 Vertaling watervoerende pakketindeling van de Provincie Zuid-Holland naar modellagen.

Indeling Provincie Zuid-Holland	HDSR-model
1	Modellaag 1
2	Modellaag 4
3	Modellaag 6
4	Modellaag 7
5	Modellaag 8
6	Modellaag 1
7	Modellaag 1
8	Modellaag 1
9	Modellaag 6
D	Modellaag 2

Voor het stationaire model zijn de onttrekkingshoeveelheden gemiddeld over de volledige periode 1989 tot en met 2000. Voor het niet-stationaire model zijn de onttrekkingen voor alle kwartalen bepaald. Niet alle onttrekkingen zijn meegenomen: er is een grens aangehouden van minimaal gemiddeld $1 \text{ m}^3/\text{dag}$ ($=365 \text{ m}^3/\text{jaar}$).

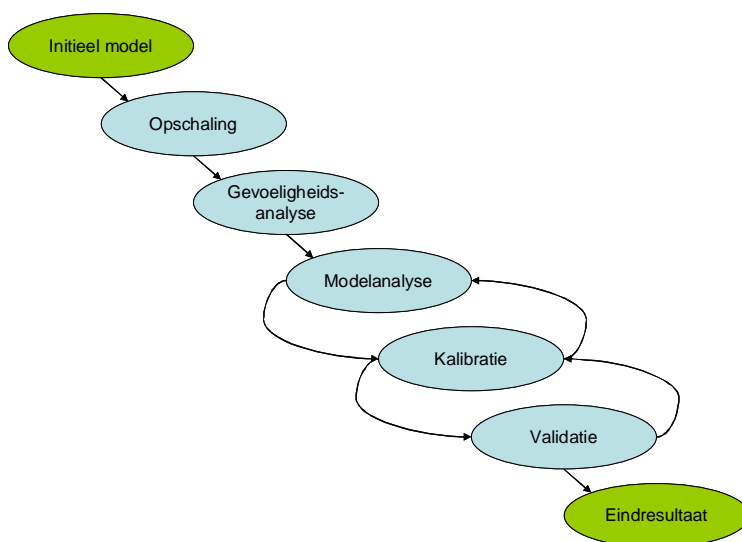
Een aantal grondwateronttrekkingen ligt precies op de modelrand. Voor deze onttrekkingen is een deel van het debiet ingevoerd, afhankelijk van de ligging op de rand van het model (zie Figuur 2.1 en Bijlage C.2). De aanname daarbij is dat hiermee gecorrigeerd wordt voor het deel van het onttrekkingsdebiet dat van buiten het modelgebied komt en dus door het model niet gesimuleerd kan worden. Het effect van de onttrekkingen op de modelrand wordt tevens weerspiegelt door de stijghoogte op de modelrand (GHB-package).

3 Kalibratie MODFLOW-model

3.1 Kalibratieprocedure

De kalibratie van het MODFLOW-model is onder te verdelen in vijf fasen, welke gedeeltelijk iteratief doorlopen worden (Figuur 3.1):

- Opschaling;
- Gevoeligheidsanalyse (Paragraaf 3.2);
- Modelanalyse;
- Kalibratie:
 - Stationaire kalibratie (Paragraaf 3.4);
 - Niet-stationaire kalibratie (Paragraaf 3.5);
- Validatie.



Figuur 3.1 Schematische voorstelling kalibratieproces.

De cyclus die in Figuur 3.1 beschreven is, wordt vele malen doorlopen. In dit rapport is wat betreft de gevoeligheidsanalyse en de kalibratie alleen het eindresultaat gepresenteerd. Alvorens hierop in te gaan wordt in Paragrafen 3.1.1 en 3.1.2 een toelichting op de opschaling en de modelanalyse gegeven.

3.1.1 Opschaling

Voor de gevoeligheidsanalyse en de kalibratie wordt het model omgezet naar een grover schaalniveau, omdat kalibratie van het model op de gridcel-schaal van 25x25 m praktisch gezien niet werkbaar is.

Het model is t.b.v. de kalibratie tijdelijk opgeschaald naar 250x250 m cellen. Dit betekent voor de kalibratie van de parameters van het model een minimaal verlies aan kwaliteit, omdat deze primair afhankelijk is van de dichtheid van de aanwezige informatie (zie Bijlage D).

3.1.2 Modelanalyse

In de modelanalyse, voorafgaand aan iedere kalibratieronde, wordt het modelgedrag getoetst aan diverse metingen van het grondwatersysteem. Dit betreft kwalitatieve en kwantitatieve 'metingen':

- Kwalitatief: analyse grondwatersysteem op basis van hydrologische expertkennis en op basis van gebiedskennis opdrachtgevers.
- Kwantitatief: vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde grondwaterstanden en stijghoogten.

Tijdens iedere cyclus zijn de volgende stappen doorlopen:

- Gemeten grondwaterstanden en stijghoogten versus gemodelleerde grondwaterstanden en stijghoogten ('ballenkaarten' en residuenhistogrammen).
- Kaartbeelden van:
 - Grondwaterstanden en stijghoogten.
 - Uitwisselingsfluxen tussen de modellagen.

Gezien het grote aantal iteraties van modelanalyse en kalibratie welke in de loop van het project zijn doorlopen, zijn de bijbehorende tussenresultaten niet in figuurvorm in dit rapport opgenomen. De belangrijkste aanpassingen van het uitgangsmodel op basis van de modelanalyse zijn:

- Verwerking detailinformatie rond pompstations: Paragraaf 2.2.5;
- Uitsplitsing puttenvelden: Paragraaf 2.5;
- Aanpassing deklaagweerstand in diepe polder: Paragraaf 2.2.5;
- Aanpassing anisotropie in de Utrechtse Heuvelrug: Paragraaf 2.2.6;
- Toevoeging drainage in stedelijk gebied: Paragraaf 2.3.2;
- Aanpassen intreeweerstand grote waterlopen: Paragraaf 2.3.1;
- Verbetering grondwateraanvulling: Paragraaf 2.4;
- Aanpassing verbreiding Holocene deklaag Leersumse Veld: Paragraaf 2.2.5;
- Toetsing meetpunten: Paragraaf 3.3.1.

3.2 Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse⁴ wordt uitgevoerd om, ter voorbereiding van het kalibratieproces, onderscheid te kunnen maken tussen gevoelige en niet-gevoelige modelparameters. Ongevoelige modelparameters kunnen niet zinvol worden gekalibreerd, omdat een aanpassing van deze parameters niet of nauwelijks effect heeft op de berekende grondwaterstijghoogte. Met andere woorden, in het kalibratieproces kan geen unieke oplossing gevonden worden voor deze parameters.

Het heeft alleen zin om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren voor parameters die onzeker zijn en waarvan op voorhand redelijkerwijs ingeschat kan worden wat de onzekerheid is en hoe deze parameters gekalibreerd kunnen worden. Modelparameters die om deze redenen niet onderzocht zijn, zijn:

- Stijghoogte op de modelrand ('contant head' en 'general head');
- Peilen en bodemhoogtes van waterlopen en drainage;
- Onttrekkingen;

⁴ 'Gevoeligheid' betekent hier de gevoeligheid die voortkomt uit enerzijds het hydrologisch systeem en anderzijds het model zelf (door keuzes in de modelconcepten, modelaannames, a priori parameterschattingen etc.). Beide gevoeligheden kunnen niet direct onderscheiden worden en moeten in de interpretatie van de uitkomsten beide beschouwd worden.

- Anisotropierichting;
- Bergingscoëfficiënten.

Enkele parameters die niet voor kalibratie in aanmerking komen (op basis van bovengenoemde criteria), zijn toch in de gevoeligheidsanalyse meegenomen:

- Gedrag breuken (open of dicht): dit is onderzocht om te zien of het nuttig is om het al of niet open zijn van breuken mee te nemen in de modellering.
- Anisotropiefactor in de Utrechtse Heuvelrug: dit is onderzocht om het nut van de aanpassing die beschreven is in Paragraaf 2.2.6 te toetsen.
- Grondwateraanvulling: wordt in deze studie niet gekalibreerd, maar wordt berekend met niet-stationaire metaSWAP-modelruns en omgezet naar een stationaire waarde; de gevoeligheidsanalyse kan wel een indicatie geven over het nut van nader onderzoek naar de metaSWAP-modelparameters.

De gevoeligheidsanalyse, in termen van verandering van grondwaterstanden en stijghoogten, is stationair en niet-stationair uitgevoerd:

- Stationair:
 - kD-waarde;
 - c-waarde⁵;
 - Doorlaatvermogen⁶ van de waterlopen en drainage;
 - Gedrag breuken (open of dicht);
 - Anisotropiefactor in de Utrechtse Heuvelrug;
 - Grondwateraanvulling.
- Niet-stationair:
 - Doorlaatvermogen en infiltratie-factor⁷ waterlopen.

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn afgebeeld in Bijlage F. In de getoonde kaarten is steeds het verschil in grondwaterstand/stijghoogte tussen het 'scenario' (het aangepaste model) en het initiële model weergegeven. Per kolom is slechts één parameter/laag gewijzigd, maar de effecten in de stijghoogte zijn voor alle modellagen afgebeeld.

3.2.1 Gevoeligheidsanalyse kD-waarden

Bijlage A.1 toont de invloed van een fractionele verhoging (+25%) van de kD-waarden van de watervoerende lagen. Uit de figuur blijkt:

- In het westen is de grondwaterstand (laag 1) met name gevoelig voor de kD van laag 1 en, in mindere mate, de kD van laag 3. De gevoeligheid voor de kD van laag 2 is in het westen gering omdat hier laag 2 vrijwel afwezig is: laag 2 en 3 samen vormen het eerste watervoerende pakket.
- Verder zien we in het westen een grote gevoeligheid van de stijghoogte in alle lagen voor de kD van laag 3. Het effect hiervan werkt door tot in de onderste laag. Rond grondwateronttrekkingen zien we ook in de diepere lagen een grote gevoeligheid.

⁵ Binnen MODFLOW wordt niet gewerkt met weerstandswaarden (c-waarden) voor de scheidende lagen, maar met de reciproke van de weerstand ($VC=1/c$). De gevoeligheidsanalyse en de kalibratie zijn uitgevoerd op deze VC-waarden. Alle instellingen en resultaten worden echter gepresenteerd voor de c-waarden.

⁶ Binnen MODFLOW wordt niet gewerkt met intree- en uittreeweerstanden van waterlopen en drainage, maar met het doorlaatvermogen ('conductance'). Het doorlaatvermogen is recht evenredig met de reciproke van de weerstand. De gevoeligheidsanalyse en de kalibratie zijn uitgevoerd op deze doorlaatvermogens.

⁷ $Infiltratiefactor = \text{intreeweerstand} / \text{uittreeweerstand} = \text{uittree-doorlaatvermogen} / \text{intree-doorlaatvermogen}$

- Op de Utrechtse Heuvelrug en omgeving zien we een gevoeligheid van de stijghoogte van alle lagen (behalve laag 1 die hier een dikte van 0 m heeft) voor vrijwel alle kD's. Het sterkst is deze voor de kD van laag 2 en laag 5. Deze gevoeligheid van het ondiepe grondwater voor de diepe kD's is opvallend in dit systeem. Deze wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de afwezigheid van individuele voorkomens van slechtdoorlatend materiaal. De versimpelde hydrogeologische indeling als 'gestuwd complex' (REGIS II) met relatief weinig boringinformatie heeft waarschijnlijk grote invloed op het ondiepe systeem.

3.2.2 Gevoeligheidsanalyse c-waarden

Bijlagen F.2 en F.3 tonen de invloed van een verhoging of verlaging van de c-waarden met een factor 2:

- We zien dat de modeluitkomsten vooral gevoelig zijn voor verandering van de weerstanden tussen modellaag 1 en 2 en tussen modellaag 4 en 5. Beide hebben effect op de grondwaterstand/stijghoogte van alle lagen.
- Ook zien we een duidelijk verschil in reactie boven en onder de betreffende scheidende laag. Wanneer bijvoorbeeld de c-waarde tussen laag 4 en 5 wordt verhoogd, neemt de stijghoogte in laag 5 t/m 8 af, terwijl de stijghoogte in laag 1 t/m 4 juist toeneemt.
- De sterkste effecten treden op beneden de scheidende laag waarin de aanpassing plaatsvindt en in de omgeving van grondwateronttrekkingen.
- De effecten van een verhoging van de c-waarde zijn grofweg omgekeerd aan de effecten van een verlaging.

3.2.3 Gevoeligheidsanalyse doorlaatvermogen en infiltratiefactor van de waterlopen en drainage

De gevoeligheid voor het doorlaatvermogen van de waterlopen en drainage (RIV- en DRN-conductance) in het stationaire model is weergegeven in Bijlage F.4, waarin de invloed van een verhoging en verlaging van beide afzonderlijk en tezamen is afgebeeld. We zien:

- Waar drainage voorkomt is de grondwaterstand gevoelig voor het doorlaatvermogen. De gevoeligheid van de stijghoogte van diepere lagen neemt snel af.
- Tot in de onderste lagen is een grote gevoeligheid van de stijghoogte voor veranderingen in het doorlaatvermogen van waterlopen zichtbaar, terwijl deze waterlopen zich boven in het systeem bevinden.
- Rond de Lek en tussen de Amsterdam-Rijnkanaal en de Utrechtse Heuvelrug leidt een verlaging van het doorlaatvermogen tot een daling in de stijghoogte, terwijl dit in de rest van het gebied meestal tot een hogere stijghoogte leidt. Dit betreft de waterlopen die door de deklaag heen ingesneden zijn in het eerste watervoerende pakket. Deze waterlopen zijn altijd drainerend.
- De effecten van een verhoging of verlaging van het doorlaatvermogen zijn grofweg tegengesteld aan elkaar.

Met het ongekalibreerde niet-stationaire model is de gevoeligheid van de GLG en GHG voor het doorlaatvermogen en de infiltratiefactor onderzocht. Dit met het oog op het gebruik van GLG en GHG in de niet-stationaire kalibratie.

3.2.4 Gevoeligheidsanalyse gedrag van breuken

Sommige breuken in het modelgebied zijn open, andere dicht (zie Paragraaf 2.2.2). De gevoeligheid voor 'alle breuken open' en 'alle breuken dicht' is weergegeven in Bijlage F.5. Wat opvalt is:

- Als alle breuken open gezet worden, is over een groot gebied een groot effect op de stijghoogte van lagen 2 t/m 8 zichtbaar.
- Als alle breuken dicht gezet worden, is er vooral effect rond de grote pompstations.

3.2.5 Gevoeligheidsanalyse anisotropiefactor

Naast de gevoeligheid voor de kD -waarden, is ook gekeken naar de gevoeligheid voor de ingevoerde anisotropiefactor. Een halvering levert het volgende op (zie Bijlage F.5):

- In het grootste deel van de Utrechtse Heuvelrug vindt een verhoging van de stijghoogte plaats in alle modellagen. Hoewel anisotropie tot in modellaag 5 voorkomt, is het effect tot in modellaag 8 merkbaar.
- Rond het pompstation van Soestduinen vindt juist een verlaging van de stijghoogte plaats.

3.2.6 Gevoeligheidsanalyse grondwateraanvulling

De gevoeligheid voor de grondwateraanvulling (Bijlage F.5) is groot, met name in de Utrecht Heuvelrug. In grote infiltratiegebieden zorgt iedere mm aanvulling direct voor een toename van de stijghoogte.

3.2.7 Conclusies gevoeligheidsanalyse

Uit de vergelijking van de figuren in Bijlage F valt op dat de onderzochte parameters ieder een eigen gevoeligheid laten zien. Zonder dit formeel-statistisch te toetsen kan gezegd worden dat de parameters niet sterk gecorreleerd zijn. De parameters sluiten elkaar dus niet op voorhand uit in het kalibratieproces. Geconcludeerd worden:

- De gemodelleerde grondwaterstand/stijghoogte is gevoelig voor veranderingen in de kD - en c -waarden van alle modellagen. Het is zinvol deze in de stationaire kalibratie op te nemen.
- Gezien de beperkte ruimtelijke verbreiding van drainage in het model, is het niet zinvol deze mee te nemen in de stationaire of niet-stationaire kalibratie.
- Gezien het effect op de GxG is het zinvol het doorlaatvermogen van waterlopen en de infiltratiefactor niet-stationair te kalibreren. Dit is mogelijk omdat GxG 's in de doelfunctie van de niet-stationaire kalibratie gebruikt worden.
- Het onderscheid tussen open en dichte breuken is zinvol. Hoewel de precieze aard van elke breuk niet onderzocht kan worden (slechts een inschatting op basis van de vuistregel in Paragraaf 2.2.2 is haalbaar), kan het al dan niet onderscheiden van deze breuken grote verschillen met zich meebrengen.
- In gebieden met anisotropie is het zinvol een zo goed mogelijk schatting van de anisotropiefactor te doen.
- In infiltratiegebieden, met name de Utrechtse Heuvelrug, is in het stationaire model nog winst te behalen door een nauwkeurigere schatting van de grondwateraanvulling. Met de gekozen kalibratiestrategie is het niet mogelijk deze parameter te kalibreren.

3.3 Meetset

Tijdens de modelanalyse en de kalibratie (Paragrafen 3.1, 3.4 en 3.5) worden diverse metingen gebruikt om het modelgedrag te toetsen en te kalibreren:

- Metingen grondwaterstanden en stijghoogten;
- Bepalingen kD - en c -waarde uit pompproeven;
- Schattingen van de gemiddelde grondwaterstand (GG-schattingen);

- Schattingen van de gemiddeld hoogste en laagste grondwaterstand (GHG en GLG, tezamen als GxG's aangeduid).

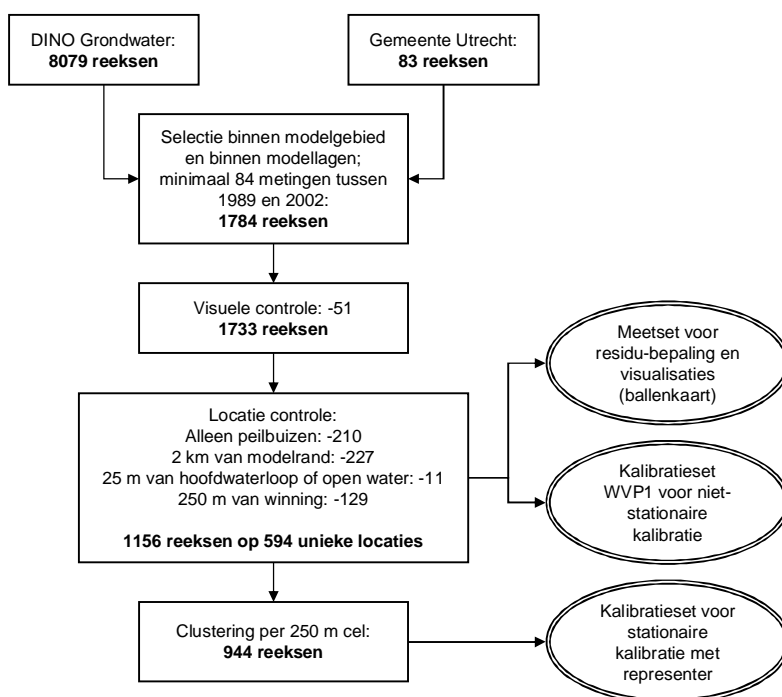
3.3.1 Metingen grondwaterstanden en stijghoogten

De meetset van grondwaterstanden en stijghoogten, die gebruikt is voor de kalibratie, is afkomstig uit DINO (TNO, 2009a). Voor de stad Utrecht zijn aanvullende metingen aangeleverd door HDSR, afkomstig van de gemeente Utrecht.

De metingen zijn toegekend aan modelnodes op basis van hun x- en y-coördinaten en de diepteligging van het midden van het filter ten opzichte van NAP. Vervolgens is een aantal stappen doorlopen, waarin de relevante metingen zijn geselecteerd, gescreend op betrouwbaarheid en geclusterd. In Bijlage E is een overzicht van de geselecteerde meetlocaties opgenomen. De volgende stappen zijn doorlopen in dit proces (Figuur 3.2):

1. Voor een representatieve gemiddelde waarde is als criterium vastgesteld dat er minimaal 84 metingen in de reeks voor moeten komen over de stationaire periode van 1989 – 2000 (~ 7 metingen per jaar);
2. De reeksen mogen geen vreemde sprongen en onverklaarbare vormen vertonen; dit is visueel gecontroleerd;
3. Landbouwbuizen worden liever niet meegenomen, omdat deze vaak verplaatst zijn over de tijd en minder betrouwbaar zijn, alleen in lege regio's worden landbouwbuizen toegevoegd;
4. De modelranden zijn dusdanig gekozen dat deze geen effect hebben op het centrale interessegebied. Metingen nabij de modelrand (<2 km) mogen niet gebruikt worden voor de kalibratie, omdat het model in deze regio te onzeker is;
5. Grondwaterstandmetingen in de cel (op 25 m schaal) van een grote waterloop of open water (boezemwater, rivier, plas of kanaal), zullen vrijwel ongevoelig zijn voor parameterwaarden, maar worden volledig gedomineerd door het waterloopeil. Deze kunnen daarom niet gebruikt worden voor de kalibratie (geldt alleen voor modellaag 1);
6. Verlagsingskegels bij grondwateronttrekkingen kunnen op gridbasis slechts beperkt gemodelleerd worden, daarom mogen metingen binnen 250 m van een grondwateronttrekking niet gebruikt worden tijdens de stationaire kalibratie (dit geldt voor de laag waarin de betreffende onttrekking ligt en de bovenliggende en onderliggende laag);
7. Tijdens de kalibratie en modelanalyse zijn nog enkele metingen ontdekt waarbij twijfel is aan de meetwaarde door onzekere filterdiepte, niet-representativiteit voor de regio (b.v. te sterke beïnvloeding door boezemwateren of niet te verklaren gemeten gedragingen) of andere oorzaken.

Uiteindelijk wordt er stationair gekalibreerd op 944 meetlocaties. De visualisatie en statistiekenbepaling wordt echter uitgevoerd met een set van 1156 locaties, dus zonder clustering van meerdere tijdreeksen tot 1 meetpunt.



Figuur 3.2 Selectie, controle en clustering van meetreeksen.

In het westelijk deel van het modelgebied komt geen scheidende laag voor tussen modellagen 2 en 3. Daarom behoren de metingen in deze twee lagen in dit deel tot hetzelfde watervoerende pakket. In de meetset voor residu-bepaling en in de kalibratieset voor de niet-stationaire kalibratie zijn daarom de metingen van modellaag 3 verplaatst naar modellaag 2 (eerste watervoerende pakket) op plaatsen waar de scheidende laag afwezig is. Voor de stationaire kalibratie is dit niet gedaan, omdat anders modellaag 3 nauwelijks gewicht zou krijgen in de kalibratie.

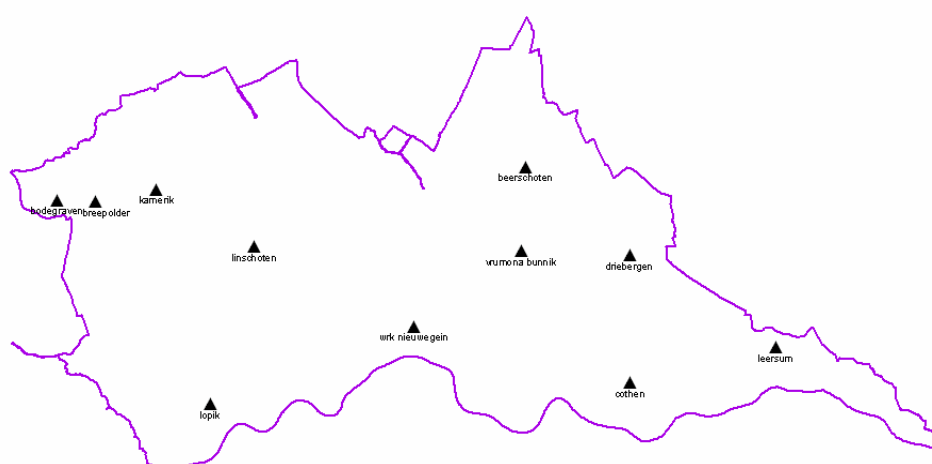
3.3.2 Bepalingen kD- en c-waarden

Pompproefgegevens zijn aangeleverd door Hydron Advies en Diensten (nu Vitens en Oasen). In overleg en na uitvoerige analyse van de kwaliteit van de pompproeven zijn 17 pompproeven op 11 locaties geselecteerd voor de kalibratie (Tabel 3.1; Figuur 3.3). De straal waarbinnen de kD- en c-waarden van deze pompproeven representatief zijn, is bepaald op basis van de rapporten van de pompproeven en de REGIS II ondergrondschematisatie (m.n. met betrekking tot de locatie van breuken).

Tabel 3.1 Overzicht pompproefmetingen gebruikt tijdens stationaire kalibratie (L=watervoerende laag; S=scheidende laag).

Pompproef	Ruimtelijke afbakening			Parameters	
	Horizontaal	Vertikaal (kD)	Vertikaal (c)	kD (m ² /dag)	c (dagen)
Cothen	1000 m	L 5,6	-	1900-2100	-
Beerschoten	6000 m (tot breuk)	L 7	-	550-650	-
Breepolder	2000 m (geen invloed breuk)	L 3	-	(1600-1900) L2: 800-950 L3: 800-950	-

Pompproef	Ruimtelijke afbakening			Parameters	
	Horizontaal	Vertikaal (kD)	Vertikaal (c)	kD (m2/dag)	c (dagen)
Lopik Diep	2500 m	L 5	S5	1150-1250	4000
Lopik Ondiep	4500 m	L 3,4	S3	(2650-2850) L2:900-1000 L3:900-1000 L4:750-850	
Kamerik	2000 m	L 3,4	-	(1600-2000) L2:550-700 L3:550-700 L4:500-600	-
Driebergen Diep	1500 m	L 6	S5	500-525	225-1000
Driebergen Ondiep	700 m	L 5	-	1880-2220	-
WRK Nieuwegein	2500 m	-	S4	-	5000-10000
WRK Nieuwegein	8000 m	L5,7	-	(2100-2300) L5: 1950-2100 L7: 150-200	-
WRK Nieuwegein	1000 m	-	S7	-	7000-17000
Vrumona Bunnik	1500	-	S4	-	150-400
Vrumona Bunnik	1500	-	S6	-	300-600
Vrumona Bunnik	1500	L 5,6	-	1250-1600	-
Linschoten	2000 m	L 3,4	-	(2240-2300) L2:900-925 L3:900-925 L4:440-450	-
Leersum	1000 m	L 2,3,4,5,6,7	-	(1500-2000) L2:115-155 L3:115-155 L4:115-155 L5:460-615 L6:235-305 L7:460-615	-
Bodegraven	2000 m	L 3	-	1650-2050	-



Figuur 3.3 Locatie van de pompproeven.

3.3.3 Aanmaak zachte kalibratieset freatische grondwaterstand

Tijdens de analyse van de meetgegevens is gebleken dat er zich binnen het modelgebied slechts een zeer beperkte hoeveelheid freatische buizen (65) bevindt. Er is besloten deze niet te gebruiken voor de kalibratie, maar voor de validatie⁸.

Daar het berekenen van de freatische grondwaterstandsdynamiek, uitgedrukt in termen van GHG, GLG en GVG (= GxG), een van de belangrijkste toepassingsgebieden is van HYDROMEDAH is er in het kader van het project gekeken naar een oplossing van dit probleem.

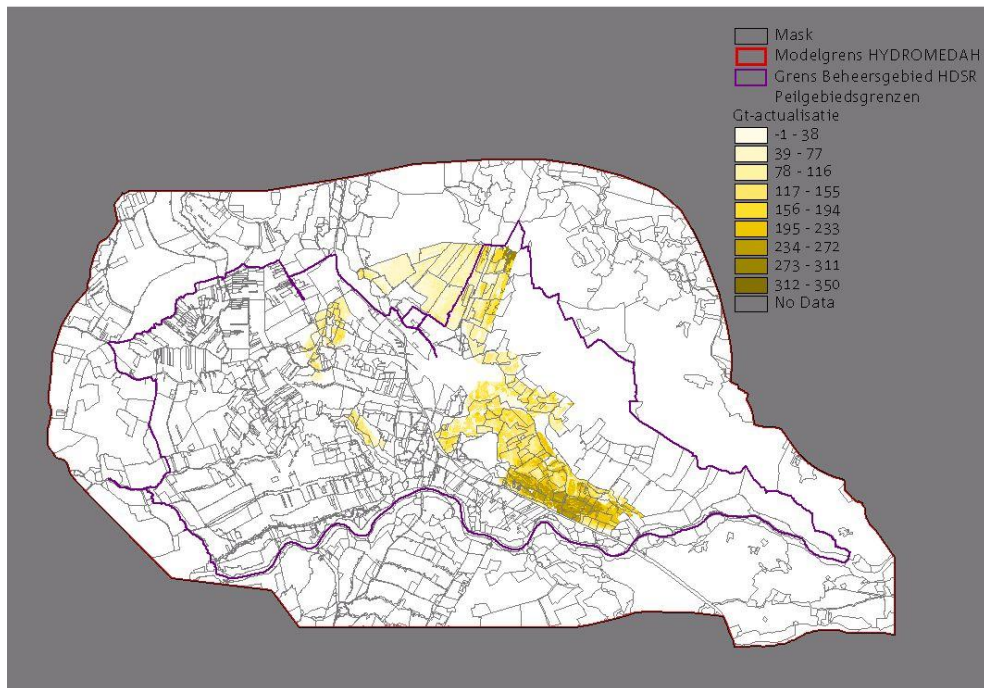
De oplossing diende zich al snel aan. Binnen het beheersgebied van HDSR zijn in het (recente) verleden relatief veel Gt-actualisaties (schaal 1:10.000; vier actualisaties) uitgevoerd; e.e.a. in het kader van ruilverkavelingen etc. Figuur 3.4 toont het gebied waarvoor deze kaarten beschikbaar zijn.

Recent is tevens voor de zandgebieden een GD-kartering uitgevoerd (zie Figuur 3.5). Voor die delen van het modelgebied waarvoor geen Gt-actualisatie ter beschikking stond is deze kaart gebruikt. De methodiek staat o.a. beschreven in Finke e.a. (2005).

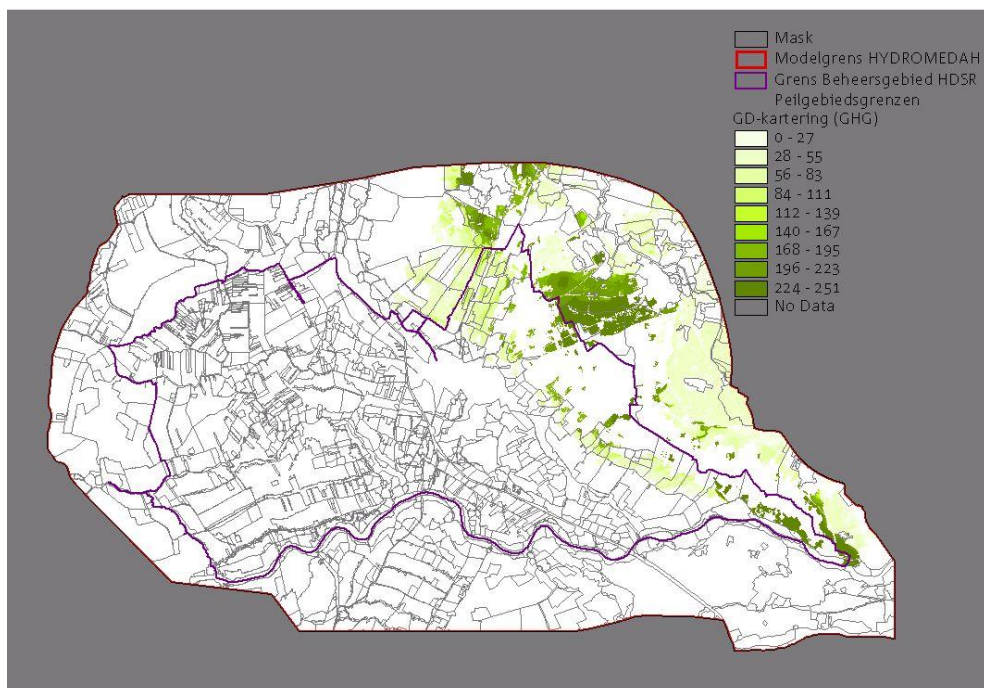
Er blijft dan vervolgens nog een groot gebied over waar op basis van de Gt-kaarten en GD-kaarten geen informatie over de fluctuatie van het freatisch vlak is af te leiden.

Deze hiaat is opgelost door gebruik te maken van de zogenaamde Van der Gaast-kaarten. Dit zijn kaarten met per 25x25 m pixel de geschatte GxG (zie Figuur 3.6). De gehanteerde methodiek staat beschreven in Van der Gaast (2009). In dit rapport staat ook een beschrijving van de nauwkeurigheid van de kaarten. Binnen dit project zijn de kaarten getoetst aan de beschikbare Gt-actualisatie. De kaarten zijn voldoende nauwkeurig bevonden voor modelkalibratie.

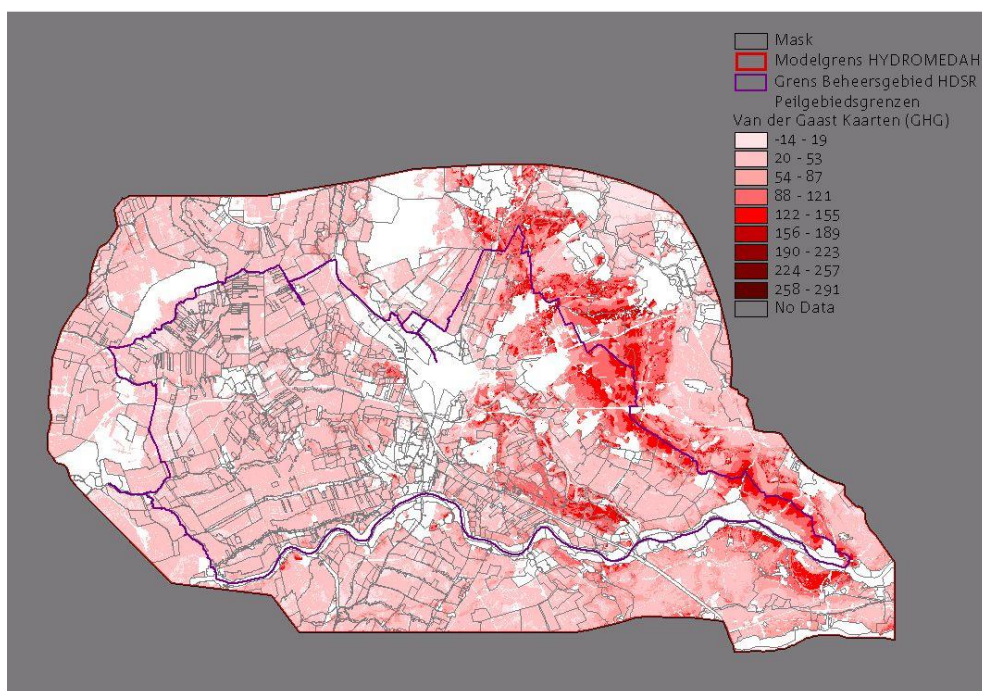
⁸ De term 'validatie' wordt als volgt gedefinieerd binnen de kaders van dit project: het kwantificeren van de modelperformance, in termen van nauwkeurigheid, met een meetdataset die niet is gebruikt voor de kalibratie.



Figuur 3.4 Gt-actualisatie binnen het HDSR-modelgebied.



Figuur 3.5 GD-kartering binnen het HDSR-modelgebied.

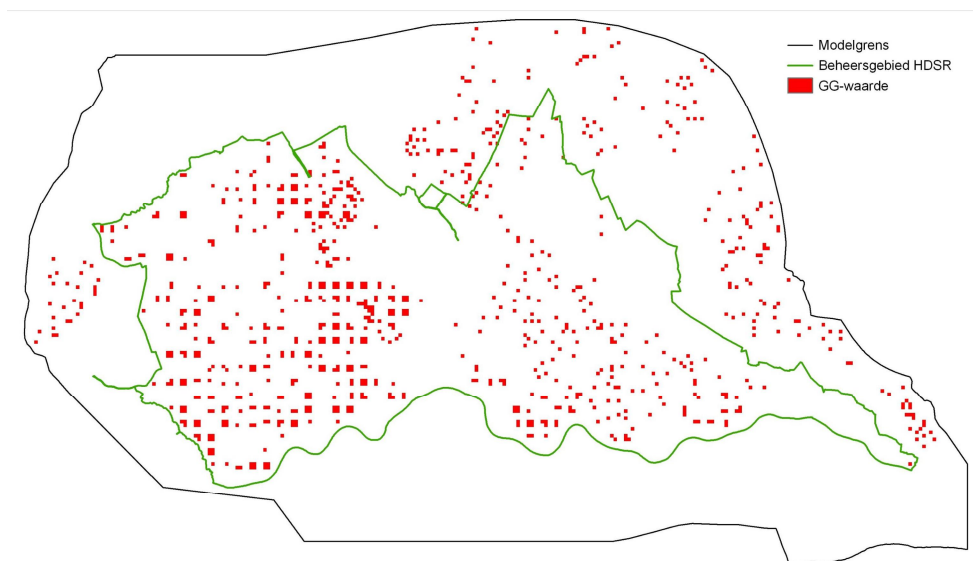


Figuur 3.6 GxG-schatting binnen het HDSR-modelgebied, volgens Van der Gaast (2009).

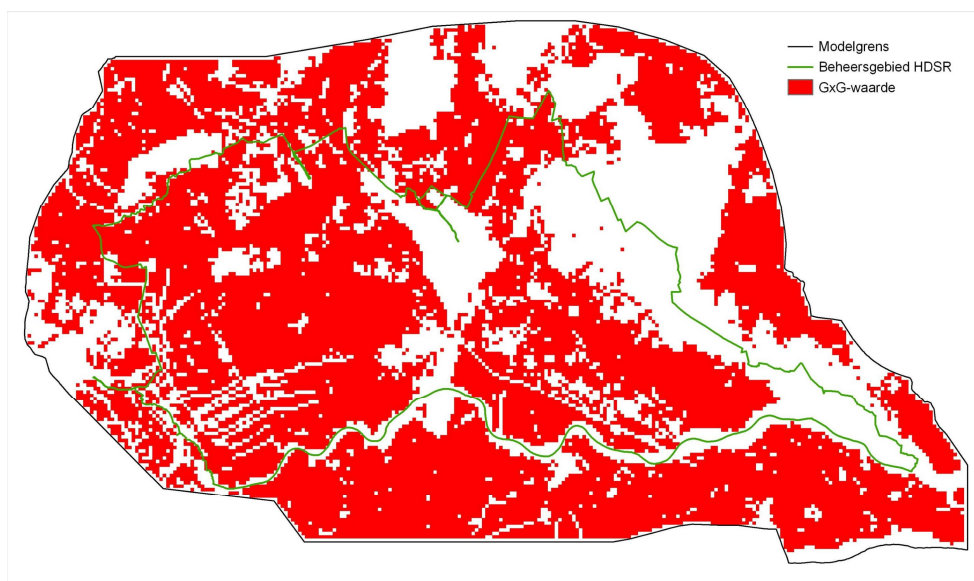
De uiteindelijke 'meetset' ziet er vervolgens als volgt uit:

- GG-schattingen t.b.v. de stationaire kalibratie: 903 cellen van 250x250 m (zie Figuur 3.7)
- GxG-dataset (GLG en GHG) t.b.v. de niet-stationaire kalibratie: vlakdekkend 250x250 m grid in het niet-stedelijke gebied (zie Figuur 3.8).

Voor de stedelijke gebieden waren deze kaarten helaas niet beschikbaar. De spaarzame data die er is op dit vlak (met name voor de gemeentes Utrecht, Nieuwegein en Woerden) zal worden gebruikt voor de validatie van HYDROMEDAH. Zie daarvoor deelrapport 5.



Figuur 3.7 Dekking van de GG-schattingen t.b.v. de stationaire kalibratie (250x250 m grid).



Figuur 3.8 Dekking van de GxG-dataset t.b.v. de niet-stationaire kalibratie (250x250 m grid).

3.4 Stationaire kalibratie

3.4.1 Methode

Representers

De kalibratie van het uitgangsmodel is uitgevoerd met een methode gebaseerd op representers (Valstar, 2001; Valstar e.a., 2004). Deze methode levert (wiskundig aantoonbaar) een optimaal model gegeven een bepaalde meetset. De representermethode minimaliseert namelijk een doelfunctie die zowel verschillen tussen meetwaarden en modelvoorspelling als ook verschillen tussen parameterschattingen en de a priori waarde van de parameters afstraft. De verschillen worden gewogen met behulp van de inverse van respectievelijk de meetfoutvariantiematrix en de parametercovariantiematrix. Het minimum van deze doelfunctie valt samen met het maximum van de (op de metingen) geconditioneerde kansdichtheidsfunctie en de bijbehorende parameterschatting en wordt ook wel de maximum a posteriori schatting genoemd.

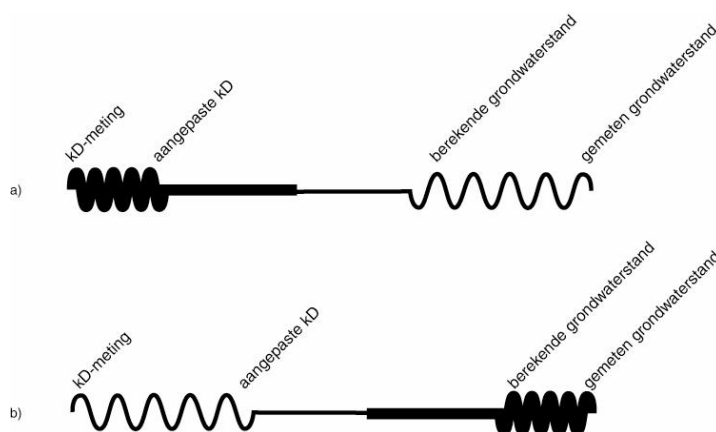
Representers zijn functies die de relatie tussen de ruimtelijke variatie van modelparameters en individuele metingen beschrijven (Valstar, 2001). Het voordeel van deze methode is dat geen zones met een constante parameterwaarde meer hoeven te worden gedefinieerd en dat de in de stijghoogtemetingen aanwezige informatie over parameterwaarden optimaal benut wordt. Er dient te worden benadrukt dat dit het enige is dat de representermethode (automatisch) voor de modelleur doet: op een zeer slimme manier de gevoeligheid tussen parameters en metingen vertalen in een optimale 'zonering' en de waarden hiervan aanpassen. De mate van aanpassing hangt namelijk nog steeds af van keuzen van de modelleur en de kwaliteit van het gekalibreerde model hangt net als bij willekeurige andere methoden af van de kwaliteit van het uitgangsmodel en de hoeveelheid en de kwaliteit van de metingen.

Concurrentie tussen twee soorten metingen

Voorafgaand aan de parameteroptimalisatie moet een keuze worden gemaakt hoeveel er mag worden afgeweken van de aanvankelijk gekozen parameterwaarden. In het algemeen geldt dat hoe strakker hieraan wordt vastgehouden, hoe groter de residuen na kalibratie zullen zijn. Het vinden van de gewenste balans tussen residuen en aanpassingen van parameterwaarden is een keuze van de modelleur (in samenspraak met de opdrachtgevers). In Figuur 3.9 wordt deze balans schematisch weergegeven.

Wanneer de initiële informatie van een kD -waarde, bijvoorbeeld dankzij pompproeven, betrouwbaar geacht wordt, krijgt deze kD -waarde een relatief groot gewicht (in Figuur 3.9a: 'treksterkte' van linker veer is groter dan van rechter veer). Het model krijgt tijdens de parameteroptimalisatie weinig ruimte om veel van de initiële kD -schatting af te wijken; mogelijk heeft dat een relatief grote afwijking tussen gemeten en berekende grondwaterstanden tot gevolg. Met andere woorden de aanpassingsruimte van de parameter is klein, maar de afwijkingsruimte van de meting is groot.

Het kan ook zijn dat om bepaalde redenen minder waarde wordt gehecht aan de initiële schatting van de kD -waarde, maar dat de grondwaterstanden erg goed in beeld zijn. In dit geval zal een grote veersterkte aan de gemeten grondwaterstand worden toegekend (in Figuur 3.9b: 'treksterkte' van rechter veer is groter dan van de linker veer). Het model zal deze grondwaterstand mogelijk alleen goed kunnen nabootsten als tegelijkertijd een kleinere veersterkte aan de kD -meting wordt toegekend. Met andere woorden de aanpassingsruimte van de parameter is groot, maar de afwijkingsruimte van de meting is klein.



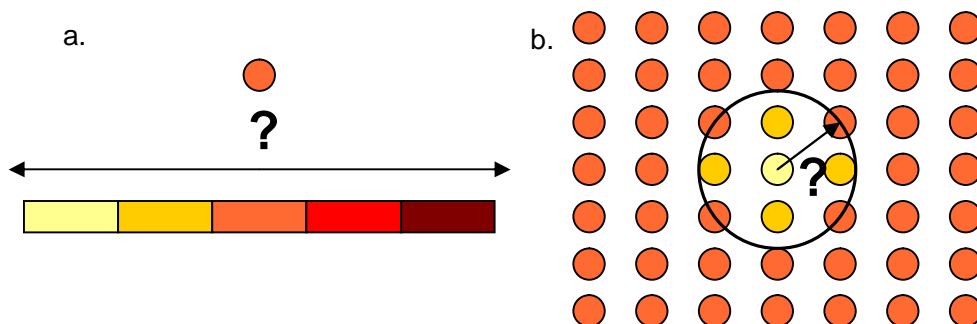
Figuur 3.9 Concurrentie tussen een kD -meting en een meting van een grondwaterstand.

Essentieel hierbij is zich te realiseren dat de toekenning van de 'treksterkten' volledig bepaald wordt door de modelleur en dat de kalibratieprocedure dit op geen enkele manier automatisch optimaliseert dan wel aanpast. Juist bij deze toekenning speelt de open discussie met alle partijen over de toe te kennen 'treksterkten' een belangrijke rol in het modelleerproces.

De aanpassingsruimte van de te kalibreren parameterwaarden wordt ingesteld met behulp van twee parameters:

- De 'Sill' (Figuur 3.10a) bepaalt hoe ver een parameterwaarde mag afwijken van zijn initiële waarde. In principe geeft de sill aan hoe veel geloof er aan de initiële waarde wordt gehecht;

- De 'Range' (Figuur 3.10b) bepaalt over welke afstand de parameters in nabij gelegen gridcellen mee moeten veranderen met een aanpassing. De range bepaalt hoeveel ruimtelijke samenhang er is in het parameterveld: uniforme pakketten hebben een veel grotere ruimtelijke samenhang dan rommelig afgezette (b.v. gestuwde) pakketten.



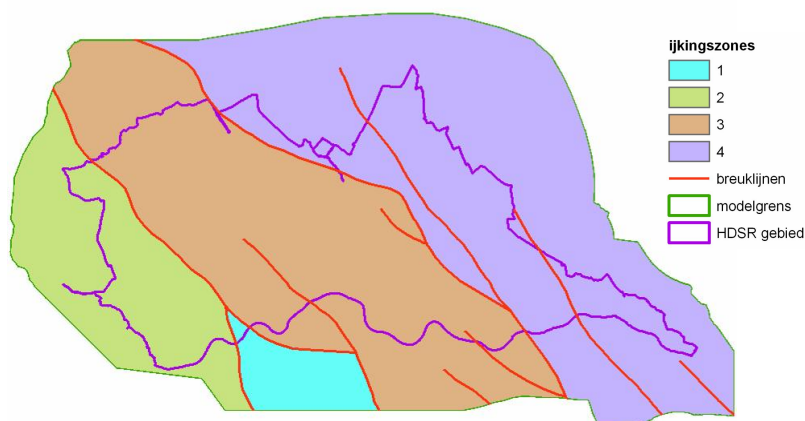
Figuur 3.10 Schematische weergave van parameters van de aanpassingsruimte; a: sill; b: range.

3.4.2 Te kalibreren parameters en instelling kalibratie

Tijdens de stationaire kalibratie worden de kD - en c -waarden van de ondergrond geoptimaliseerd. De aanpassingsruimte (sill en range) van de kD - en c -waarden is ingesteld op basis van geologisch-sedimentologische kenmerken, boringsdichtheid van de formatie en onderlinge correlaties en uitwisselbaarheid (zie Tabel 3.2). Daarnaast is een range opgelegd waarbinnen de resulterende aanpassingsfactor zich mag bevinden:

- kD -waarde: 0.666 – 1.5;
- c -waarde: 0.5 – 2.

Er is een zonering toegepast om te voorkomen dat parameters worden aangepast aan weerszijden van de hoofdbreuklijnen in de diepere ondergrond (Figuur 3.11). Per modellaag zijn de instellingen van de aanpassingsruimte gelijk, echter door een zonering op te nemen heeft een meting aan een zijde van een breuk geen invloed op de parameters aan de andere kant van de breuk.



Figuur 3.11 Gebruikte zonering tijdens de representerkalibratie.

Tabel 3.2 Instellingen aanpassingsruimte voor representerkalibratie van de kD- en c-waarden van de watervoerende lagen (modellagen 1-8) of scheidende lagen (1-7).

	sill [-]	range [m]
kD 1	0,05	5000
kD 2	0,05	6500
kD 3	0,05	6500
kD 4	0,05	5000
kD 5	0,05	5000
kD 6	0,05	6000
kD 7	0,05	6000
kD 8	0,05	6000
c 1	0,15	5000
c 2	0,15	4000
c 3	0,15	3500
c 4	0,15	2500
c 5	0,15	2500
c 6	0,15	2000
c 7	0,15	2000

In de kalibratie is zowel gebruik gemaakt van de 'harde' meetwaarden als de 'zachte' GG-schattingen. Dit bleek na een aantal kalibratierondes het beste resultaat op te leveren. Het gewicht dat tijdens de kalibratie is toegekend aan iedere meetwaarde is gelijk aan de reciproke van de variantie van de meetwaarde: hoe hoger de variantie, desto minder gewicht. In Tabel 3.3 is per modellaag aangegeven wat het totaal aantal meetwaarden, het totale gewicht en de gemiddelde variantie van de meetwaarden is. Voor de GG-schattingen is een variantie van 0.01 m² ingeschat (standaard deviatie van 10 cm). Dit is wat hoger dan het gemiddelde van de harde metingen, echter niet zo hoog dat het gewicht van de GG-schattingen verwaarloosbaar wordt.

Tabel 3.3 Metingen per modellaag voor de stationaire kalibratie: aantal, gewicht en variantie in [m²] (gemiddelde, minimum en maximum).

Laag	Aantal	% gewicht	Gem. var.	Min. var.	Max. var.
1 – hard	65	10.2	0.004183	0.000061	0.062395
1 – zacht	903	6.5	0.01	0.01	0.01
2	223	10.4	0.001546	0.000075	0.179199
3	327	48	0.00049	0.00002	0.041296
4	93	8.3	0.000808	0.000091	0.034865
5	127	8.2	0.001116	0.00014	0.096467
6	66	5.8	0.000815	0.000117	0.050064
7	14	0.8	0.001254	0.000362	0.029456
8	29	1.8	0.001149	0.000232	0.030427

3.4.3 Resultaten

Aanpassingsfactoren

De aanpassingsfactoren van de kD- en c-waarden zijn weergegeven in Bijlage G. Zowel de kD- als de c-waarde wordt op veel plaatsen maximaal aangepast, d.w.z. dat de aanpassingsfactor de minimaal of maximaal toegestane waarde heeft.

Afwijkingen tussen gemeten en gemodelleerde grondwaterstanden en stijghoogten

De ruimtelijke verspreiding van de residuen (model - meting) vóór en na kalibratie is weergegeven in Bijlage H.1. Deze kaarten geven per meetpunt de afwijking tussen de gemodelleerde stijghoogte en de meetwaarde. Rode ballen geven aan dat het model een hogere stijghoogte berekent dan de meetwaarde; blauwe ballen dat het model een lagere stijghoogte berekent. Let er op dat de meetpunten uit modellaag 3, die door een afwezigheid van een scheidende laag tot hetzelfde watervoerende pakket als modellaag 2 behoren, in de visualisatie verplaatst zijn naar modellaag 2.

In modellaag 2 zien we vooral verbeteringen in de diepe polders, rond de grondwateronttrekkingen van de heuvelrug en rond Vianen, Montfoort en Woerden. Een vergelijkbaar beeld zien we in de diepere lagen. Op veel plaatsen zien we slechts kleine veranderingen, maar over het algemeen vindt verbetering van enkele cm's tot dm's plaats.

De residuen kunnen ook uitgezet worden in histogrammen. Dit is gedaan in Bijlagen H.3.1 en H.3.3, waarin in ook het gemiddelde, minimum, maximum en enkele percentielen zijn weergegeven.

Wat opvalt, is dat na kalibratie de residuen van de lagen 1 t/m 4 beter rond 0 verdeeld zijn; zie hiervoor de 50-percentiel (p50). Ook zijn de verdelingen in deze lagen minder gespreid: een kleiner verschil tussen de 75- en 25-percentiel (p75-p25). In de diepere lagen is de p50 van de verdeling juist wat verder van de 0-lijn af komen te liggen. De verbetering die in de bovenste 4 lagen bereikt is, gaat blijkbaar gepaard met een lichte verslechtering in de onderste 4 lagen. Het totale gewicht van de bovenste lagen is dan ook aanzienlijk groter dan dat van de onderste lagen: 83% vs. 17% (zie Tabel 3.3). Wel is de spreiding van de verdeling ook in de onderste lagen (behalve laag 7) minder groot geworden.

Puntmetingen van kD- en c-waarden zijn in de kalibratie gebruikt om deze te sturen in de buurt van bestaande pompproeven. Ter controle is binnen het bereik van de pompproeven het gemiddelde van kD- en c-waarden bepaald. In Tabel 3.4 zijn de gemeten en gemodelleerde parameterwaarden van de pompproeflocaties weergegeven. Ter illustratie zijn bij de gemodelleerde waarden ook de 10- en 90-percentiel (p10 en p90) gegeven. Voor het grootste deel van de pompproeven passen de modelwaarden voldoende goed bij de pompproefwaarden: het gemiddelde wijkt niet al te zeer af en de gemeten waarde valt in de range tussen de p10 en p90 van de gemodelleerde waarden. De grootste afwijkingen zijn te vinden bij WRK Nieuwegein (zowel kD- als c-waarde), Cothen en Bodegraven.

Tabel 3.4 *Controletabel pompproeven – per pompproef parameter is aangegeven wat de reikwijdte is van de pompproef (straal), voor welke parameter de waarde geldt (laag), wat de minimum, maximum en gemiddelde parameterwaarde is volgens de pompproef en uit het HDSR model en de afwijking tussen het gemiddelde uit de pompproef en het gemiddelde uit het model.*

c-waarden

Naam	X	Y	Straal	Laag	Volgens pompproef			HDSR-model			Afwijking
					Gemiddelde	Minimum	Maximum	Gemiddelde	p10	p90	Gemiddelde
Lopik diep	122749	443068	2500	5	4000	4000	4000	4779	3112	7211	779
Lopik ondiep	122749	443068	4500	3	480	480	480	52	0	334	-428
Driebergen diep	149436	452487	1500	5	613	225	1000	869	620	1104	256
WRK Nieuwegein	135700	448000	8000	4	7500	5000	10000	6469	2535	10266	-1031
WRK Nieuwegein	135700	448000	8000	7	12000	7000	17000	1378	436	2497	-10622
Vrumona Bunnik	142563	452778	1500	4	275	150	400	916	695	1232	641
Vrumona Bunnik	142563	452778	1500	6	450	300	600	403	0	691	-47

kD-waarden

Naam	X	Y	Straal	Laag	Volgens pompproef			HDSR-model			Afwijking
					Gemiddelde	Minimum	Maximum	Gemiddelde	p10	p90	Gemiddelde

Cothen	149463	444424	1000	5	2000	1900	2100	691	596	789	-1309
Cothen	149463	444424	1000	6	2000	1900	2100	241	178	318	-1759
Beerschoten	142784	458090	6000	7	600	550	650	346	31	622	-254
Breepolder	115410	455910	2000	3	875	800	950	708	620	783	-167
Lopik diep	122749	443068	2500	5	1200	1150	1250	522	436	590	-678
Lopik ondiep	122749	443068	4500	3	950	900	1000	906	623	1323	-44
Lopik ondiep	122749	443068	4500	4	800	750	850	374	222	538	-426
Kamerik	119277	456668	2000	3	625	550	700	725	627	833	100
Kamerik	119277	456668	2000	4	550	550	700	207	77	321	-343
Driebergen diep	149436	452487	1500	6	512	500	525	271	176	391	-241
Driebergen ondiep	149436	452487	700	5	2050	1880	2220	1294	1139	1415	-756
WRK Nieuwegein	135700	448000	8000	5	2025	1950	2100	535	103	937	-1490
WRK Nieuwegein	135700	448000	8000	7	175	150	200	184	25	384	9
Vrumona Bunnik	142563	452778	1500	5	1425	1250	1600	524	56	1014	-901
Vrumona Bunnik	142563	452778	1500	6	1425	1250	1600	436	15	1000	-989
Linschoten	125481	453054	2000	3	912	900	925	1022	843	1235	110
Linschoten	125481	453054	2000	4	445	440	450	250	146	370	-195
Leersum	158728	446651	1000	2	135	115	155	212	48	494	77
Leersum	158728	446651	1000	3	135	115	155	247	143	306	112
Leersum	158728	446651	1000	4	135	115	155	179	83	366	44
Leersum	158728	446651	1000	5	538	460	615	548	486	636	10
Leersum	158728	446651	1000	6	270	235	305	197	44	267	-73
Leersum	158728	446651	1000	7	538	460	615	27	15	66	-511
Bodegraven	112950	456010	2000	3	1850	1650	2050	568	463	648	-1282

3.5 Niet-stationaire kalibratie

3.5.1 Methode

De niet-stationaire kalibratie is uitgevoerd voor de periode 1989 t/m 2000, waarbij de eerste 3 jaren niet gebruikt zijn in de doelfunctie (zie Paragraaf 2.1.3). Voor deze periode is gerekend met een gekoppeld MODFLOW-metaSWAP-model op dagbasis. De resolutie van het model tijdens de niet-stationaire kalibratie was 250x250 m.

In de kalibratie is het doorlaatvermogen van de waterlopen en de infiltratiefactor geoptimaliseerd. Als range voor de aanpassingsfactoren is gekozen voor:

- doorlaatvermogen: 0.25 – 4;
- infiltratiefactor: 0.5 – 2.

De optimalisatie heeft plaatsgevonden met parallel PEST (Doherty, 1994, 2008). PEST is een niet-lineair parameterschattingsalgoritme. PEST draait het benodigde aantal runs met MODFLOW om tot een aanpassing van de parameters te komen totdat de verschillen tussen geselecteerde output en bijbehorende metingen verlaagd is tot een minimum. De bepaling van de optimale parameterwaarde is dus een iteratief proces. Hiervoor moet een doelfunctie samengesteld worden die geminimaliseerd moet worden. In PEST wordt gebruik gemaakt van een doelfunctie gebaseerd op gewogen kleinste kwadraten methode:

$$\mathcal{G} = \sum_{i=1}^m w_i (h_{m_dyn} - h_{b_dyn})^2$$

\mathcal{G} = doelfunctiewaarde

w_i = (kwadratische) gewichten voor de restfouten

h_{m_dyn} = gemeten waarde van variabelen

h_{b_dyn} = berekende waarde van variabelen

In dit project is gebruikt gemaakt van Parallel PEST zodat MODFLOW-modellen met verschillende aanpassingen aan de parameters parallel gedraaid kunnen worden, om de rekentijd voor de optimalisatie te verkleinen.

De representermethode wordt niet gebruikt voor de niet-stationaire kalibratie vanwege de te kleine reken capaciteit die beschikbaar is om een dergelijk groot model te kalibreren met behulp van de representers.

Ook met Parallel PEST kan de rekentijd onacceptabel hoog oplopen als teveel parameters worden gekalibreerd, b.v. als een parameterwaarde per gridcel wordt geoptimaliseerd. Daarom is een zonering van het gebied gemaakt en zijn de twee parameters (doorlaatvermogen en infiltratiefactor) per zone gekalibreerd. De zonering is gebaseerd op enerzijds lithologie en anderzijds geografische eenheden. In Figuur 3.12 is de indeling in 24 zones weergegeven. In enkele zones is alleen het doorlaatvermogen geoptimaliseerd, omdat infiltratie hier niet voorkomt. Het betreft hier LBWGROM-Zand, het Amsterdam-Rijnkanaal en de Lek. Het totaal aantal te optimaliseren parameters bedroeg 45.

Met PEST is het mogelijk om het aantal parameters terug te brengen door gebruik te maken van zogenaamde 'super-parameters'. Deze super-parameters worden elk gevormd uit een lineaire combinatie van de oorspronkelijke parameters. Bijvoorbeeld: super-parameters s_1 en s_2 worden als volgt berekend uit de parameters p_1 t/m p_{45} :

$$s_1 = a_1 p_1 + a_2 p_2 + \dots + a_{45} p_{45}$$

$$s_2 = b_1 p_1 + b_2 p_2 + \dots + b_{45} p_{45}$$

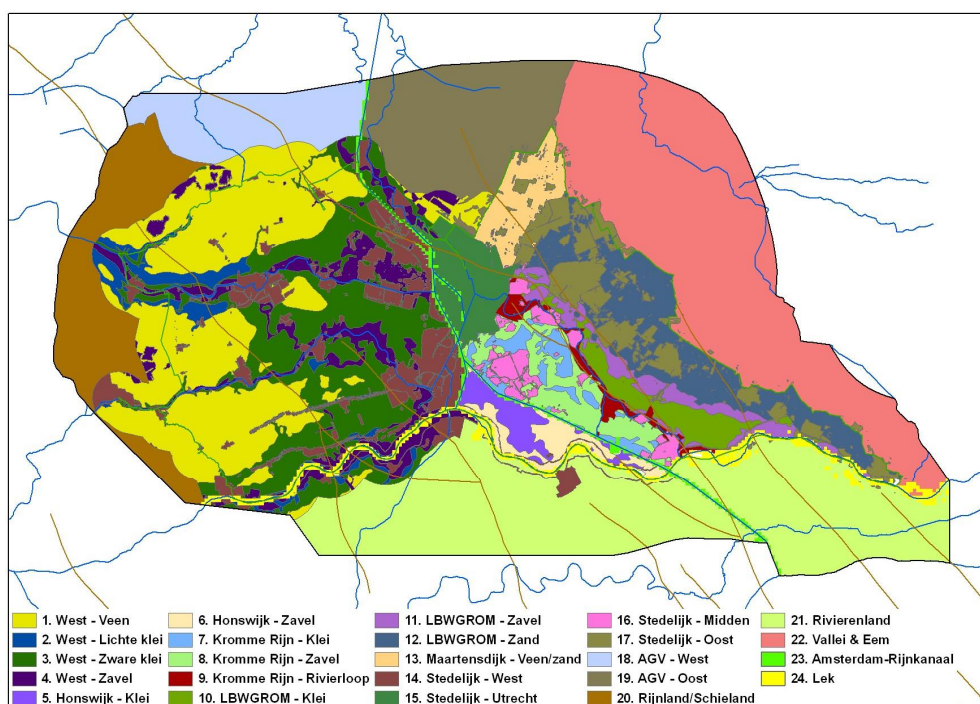
De vermenigvuldigingsfactoren a_x en b_x moeten zo gekozen worden dat ongecorrleerde super-parameters ontstaan. Door singuliere eigenwaardedecompositie kunnen deze ongecorrleerde super-parameters bepaald worden. Het aantal super-parameters moet zo gekozen worden dat nog voldoende (b.v. >95%) van de variantie van de oorspronkelijke parameter ruimte wordt beschreven. Hoe sterker de onderlinge correlaties tussen de oorspronkelijke parameters, desto lager het aantal benodigde super-parameters. Stel bijvoorbeeld dat twee parameters voor 100% gecorrleerd zijn. Met 1 super-parameter kan dan evenveel verklaard worden als met 2 oorspronkelijke parameters. Omdat 100% correlatie niet voorkomt in onze parameter ruimte, zullen we bij een beperkter aantal super-parameters altijd iets van de informatie kwijtraken.

Om twee redenen is besloten om PEST met super-parameters te laten rekenen:

- Het aantal oorspronkelijke parameters was voor de rekenfaciliteiten van Deltares te hoog. Een kleiner aantal parameters zou de rekentijd aanzienlijk versnellen.
- Door een goed gekozen, maar kleiner aantal super-parameters te gebruiken zullen kleine, niet-relevante hobbeltjes in de doelfunctie gladgestreken worden. Dat maakt de oplossing voor PEST makkelijker en maakt de kans om in een lokaal minimum van de doelfunctie te belanden kleiner.

Uiteindelijk is gekozen voor de volgende aanpak:

- Stap 1: Uitvoeren van een singuliere eigenwaardedecompositie om het aantal super-parameters te bepalen.
- Stap 2: Kalibratie van de modelparameters op basis van de super-parameters.
- Stap 3: Opnieuw opstarten van kalibratie vanuit gevonden optimum.
- Stap 4: Evaluatie van kalibratieresultaat.



Figuur 3.12 Zone-indeling t.b.v. de niet-stationaire kalibratie.

In de optimalisatie van PEST zijn zowel de stijghoogtereeksen van het eerste watervoerende pakket als de GxG-schattingen gebruikt. De volgende weging is gemaakt tussen de datasets:

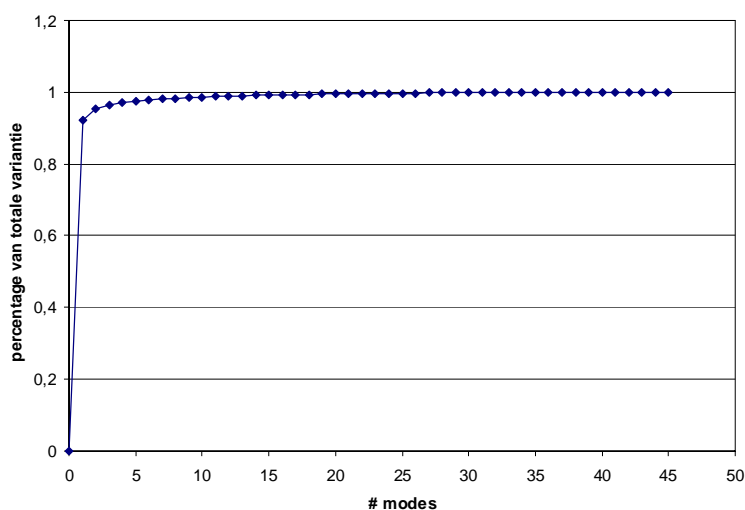
- GHG 12.5% gewicht;
- GLG 12.5% gewicht;
- GxG-dynamiek (GHG-GLG) 25% gewicht;
- Stijghoogte WVP150% gewicht.

De stijghoogte-dataset heeft dus evenveel gewicht als de totale GxG-dataset. Binnen de GxG-dataset is evenveel gewicht toegekend aan de GxG-dynamiek als aan de GHG en GLG tezamen. Van elke stijghoogtereeks zijn alle meetwaarden binnen de modelperiode gebruikt. Alle reeksen hebben evenveel gewicht gekregen, onafhankelijk van het aantal meetwaarden.

3.5.2 Resultaten niet-stationaire kalibratie

Super-parameters en doelfunctiewaarde

Met een singuliere eigenwaardedecompositie, die met een uitgangsmoedelrun is uitgevoerd, is het aantal super-parameters vastgesteld op 20 (zie Figuur 3.13). Deze 20 super-parameters verklaren >99% van de totale oorspronkelijke parameter ruimte.



Figuur 3.13 Cumulatief percentage van de totale variantie dat met de super-parameters ('modes' na singuliere eigenwaardedecompositie) verklaard wordt.

In de tweede optimalisatieronde (stap 3) kon geen verbetering meer worden bereikt, wat aangeeft dat het aantal van 20 super-parameters goed gekozen is en PEST tot een goede (niet-lokale) oplossing gekomen is. De doelfunctiewaarde na kalibratie is 89.6% van de oorspronkelijke doelfunctiewaarde. Daarmee is dus een verbetering van ruim 10% bereikt (Tabel 3.5). Met name de GxG-dynamiek en de stijghoogte zijn verbeterd. Dit is ten koste gegaan van de GHG, die een lichte verslechtering laat zien.

Tabel 3.5 Doelfunctiewaarde voor en na niet-stationaire kalibratie.

Dataset	Voor kalibratie	Na kalibratie	Verandering door kalibratie
GHG	395	422	6.8%
GLG	449	443	-1.3%
GxG-dynamiek	887	659	-25.7%
Stijghoogte WVP1	2557	2320	-9.3%
Totaal	4288	3844	-10.4%

Aanpassingsfactoren

De aanpassingsfactoren per zone zijn vermeld in Tabel 3.6. Te zien is dat geen van de aanpassingsfactoren tegen de vooraf gestelde grenzen is aangelopen.

Tabel 3.6 Aanpassingsfactoren niet-stationaire kalibratie per zone.

Zone	Aanpassingsfactor	
	Doorlaatvermogen	Infiltratiefactor
1. West - Veen	0.62	0.86
2. West - Lichte klei	0.67	1.03
3. West - Zware klei	0.45	1.00
4. West - Zavel	0.61	1.02
5. Honswijk - Klei	0.54	1.03
6. Honswijk - Zavel	0.73	1.03
7. Kromme Rijn - Klei	2.03	0.99
8. Kromme Rijn - Zavel	3.02	1.03
9. Kromme Rijn - Rivierloop	1.66	1.01
10. LBWGROM * - Klei	0.77	1.02
11. LBWGROM - Zavel	0.42	1.02
12. LBWGROM - Zand	3.24	
13. Maartensdijk - Veen en zand	0.74	0.99
14. Stedelijk - West	0.34	1.03
15. Stedelijk - Utrecht	3.12	1.03
16. Stedelijk - Midden	1.02	1.01
17. Stedelijk - Oost	3.03	1.01
18. Amstel, Gooi en Vecht - West	0.87	0.98
19. Amstel, Gooi en Vecht - Oost	1.76	1.01
20. Rijnland, Schieland	0.80	1.00
21. Rivierenland	0.75	0.97
22. Vallei & Eem	0.68	1.00
23. Amsterdam-Rijnkanaal	3.14	
24. Lek	3.49	

* LBWGROM = Langbroekerwetering, Groenraven Oost en Maartensdijk

Afwijkingen tussen gemeten en gemodelleerde GxG's

Om het resultaat te analyseren zijn histogrammen gemaakt van de residuen voor en na kalibratie, voor de datasets van GHG, GLG en GxG-dynamiek (Bijlage H.5). De histogrammen laten zien dat alle drie de datasets redelijk normaal verdeeld zijn. De volgende opmerkingen kunnen geplaatst worden:

- Bij de GHG-residuen valt op dat het histogram naar rechts verschuift. De mediaan (p50) gaat van 1.3 cm naar 11.4 cm. Wel wordt de verdeling smaller.
- In tegenstelling tot bij de GHG-residuen wordt de p50 van de GLG-residuen wel kleiner: van 14.8 cm naar 12 cm.
- De residuen van de GxG-dynamiek verbeteren aanzienlijk. De p50 gaat van -15 cm naar -3.9 cm.

In Bijlage H.4 is de ruimtelijke verdeling van de residuen van de GHG, GLG en GxG-dynamiek weergegeven, voor en na de kalibratie. Alle kaartjes geven het residu als 'model - meting'. Een positief residu (rode kleuren) betekent dat het model een hogere stand berekend dan de GxG-schatting.

Bij de GHG zien we grosso modo een verschuiving richting gele kleuren (positieve residuen), wat ook in de histogrammen zichtbaar was. Opvallend is de verbetering in het gebied van de Kromme Rijn en de Langbroekerwetering en ten noorden van de stad Utrecht (gebied rond Maartensdijk).

Bij de GLG en de GxG-dynamiek zien we een duidelijke verbetering optreden. Bij de GLG treedt op enkele plekken wel een lichte verslechtering op, bijvoorbeeld in een smalle strook tussen Amsterdam-Rijnkanaal en Kromme Rijn en langs de Lek.

Afwijkingen tussen gemeten en gemodelleerde stationaire stijghoogten

Net als bij de stationaire kalibratie zijn na de niet-stationaire kalibratie residuenkaarten (ballenkaarten) en histogrammen gemaakt van de stationaire grondwaterstanden en stijghoogten. Deze zijn weergegeven in de Bijlagen H.1 (onderste kaart bij iedere modellaag) en H.3.4.

Na de niet-stationaire kalibratie zijn de stationaire residuen over het algemeen kleiner geworden. Zowel de p50 van de verdelingen als de spreiding (verschil tussen p75 en p25) zijn verbeterd. Opvallend is dat ook een aantal verslechtingen uit de stationaire kalibratie in de diepere lagen (zie Paragraaf 3.4.3) deels weer teniet zijn gedaan. Wel zien we dat in de lagen 6 t/m 8 weliswaar de p50 dichterbij 0 komt te liggen, maar de verdeling van de residuen iets breder wordt.

In laag 1 vindt gemiddeld een lichte verslechting (1-2 cm) van de grondwaterstand plaats. Dit lijkt overeen te komen met de geconstateerde verslechting van de GHG.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

In dit rapport is de ontwikkeling van het MODFLOW-model van het HDSR Hydrologisch Modelinstrumentarium beschreven.

Dit model is een state-of-the-art MODFLOW-metaSWAP-model, dat voldoet aan de eisen die aan een grondwatermodel voor HDSR gesteld mogen worden:

- Beheersgebiedsdekkend, waarbij de keuze van het modelgebied randeffecten binnen het beheersgebied minimaliseert.
- Hoog detailniveau: het basismodel heeft een resolutie van 25x25 m, waarmee het model geschikt is om grondwaterstanden op perceelsschaal regionaal in beeld te brengen.
- Er is gebruik gemaakt van de meest recente deklaagkartering (Gunnink e.a., 2004).
- Er is gebruik gemaakt van de meest recente ondergrondkartering (REGIS II), alsmede lokale geohydrologische kennis zoals die aanwezig is bij de drinkwaterleidingbedrijven (VITENS en OASEN) en detailinformatie rond grondwateronttrekkingen.
- State-of-the-art optimalisatietechnieken zijn gebruikt voor de kalibratie van het model: representermethode en Parallel PEST met 'super-parameters'.
- State-of-the-art opschalingsmethoden zijn toegepast om modelvarianten voor kalibratie en gevoeligheidsanalyse af te leiden.

De volgende processen worden in het HDSR grondwatermodel meegenomen:

- Quasi-3D stroming door de ondergrond, inclusief anisotropie in de horizontale stroming door stuwingsstructuren in de Utrechtse Heuvelrug;
- Neerslag en verdamping;
- Fluxen van en naar de waterlopen;
- Fluxen naar buisdrainage en (lekke) riolering;
- Onttrekkingen en infiltraties door industrie en agrarische sector;
- Oppervlakkige afstroming.

4.1.1 Opzet van het MODFLOW-model

Tijdens de ontwikkeling van het MODFLOW-model is regelmatig een modelanalyse uitgevoerd. Verschillen tussen de werkelijkheid en het model hebben steeds aanleiding gegeven het model conceptueel en wat betreft initiële parametrisatie te verbeteren. Dit is veelal tot stand gekomen door intensief overleg tussen de opdrachtgevers, Alterra en TNO/Deltares. De belangrijkste conclusies hieruit zijn:

- In het gestuwd complex van REGIS II zijn geen scheidende lagen onderscheiden, die in werkelijkheid wel voorkomen. Met name rond grondwateronttrekkingen kan dit tot grote afwijkingen leiden. Detailinformatie (o.a. kartering van kleilagen) is veelal wel beschikbaar in studies rond grondwaterwinningen. Op basis van werksessies met Vitens en Grontmij is deze detailinformatie ingezet om te komen tot een nieuwe c-waarde parametrisatie rond enkele grondwateronttrekkingen op de Utrechtse Heuvelrug. Dit heeft tot aanzienlijke verbeteringen rond deze onttrekkingen geleid.
- Het uitsplitsen van puttenvelden van pompstations heeft ertoe geleid dat onttrekkingen nauwkeurigere gealloceerd konden worden (zowel in de horizontale als in de verticale richting). Ook is na overleg met Vitens besloten om het aantal modellagen uit te breiden van 7 naar 8, om een belangrijke grondwateronttrekking bij Bunnik beter te kunnen

alloceren. Samen met het hiervoor genoemde punt heeft de detailinformatie die op deze manier is ingebracht, tot verbetering geleid.

- De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket binnen diepe polders in het westelijk deel van het HDSR-beheersgebied bleek te hoog. Het veelvuldig voorkomen van wellen leidt hier tot een aanzienlijk lagere weerstand. Nadat de c-waarde in deze polders verlaagd was naar een waarde die beter past bij de geschatte *effectieve* c-waarde, bleek de stijghoogte aanzienlijk verlaagd. Toch zijn er, vooral op de randen van de polders, nog steeds grote afwijkingen.
- Het toepassen van open en dichte breuken heeft significante effecten op de stijghoogtes rond grote onttrekkingen.

4.1.2 Kalibratie

In twee kalibratiestappen (stationair en niet-stationair) zijn enkele modelparameters geoptimaliseerd:

- Stationair met representermethode: kD- en c-waarden op gridbasis;
- Niet-stationair met Parallel PEST: doorlaatvermogens van waterlopen en infiltratiefactoren binnen 24 zones.

In beide stappen is de modeluitkomst in termen van grondwaterstanden en stijghoogtes verbeterd: zie hiervoor de residuenkaarten, histogrammen en statistiekenoverzicht in Bijlage H. Het grootste deel van de residuen van het eindresultaat ligt in een range van -0.3 tot +0.3 m.

Opvallend is dat tijdens de niet-stationaire kalibratie de stijghoogtes van alle lagen verbeterd zijn, terwijl alleen datasets van modellagen 1 en 2 zijn gebruikt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat verbeteringen in het topsysteem een positief effect hebben op het diepere systeem. Dit sluit ook aan bij de resultaten van de gevoeligheidsanalyse, die laten zien dat het doorlaatvermogen van de waterlopen grote invloed op de onderliggende pakketten heeft.

4.1.3 Gebruik harde en zachte informatie

Tijdens de ontwikkeling van het MODFLOW-model is gebruik gemaakt van zowel 'harde' als 'zachte' meetdata. In de stationaire kalibratie is de freatische meetset uitgebreid met schattingen van de gemiddelde grondwaterstand (GG-schattingen). Tijdens de niet-stationaire kalibratie zijn vlakdekkende kaarten van de GHG en GLG gebruikt.

In beide kalibraties heeft het gebruik van zachte informatie geleid tot verbetering van het model:

- Hoewel in dit rapport niet alle tussenresultaten zijn gepresenteerd, bleek het gebruik van GG-schattingen een positief effect op het kalibratieresultaat te hebben. Het verschil met gebruik van alleen harde metingen, was niet groot, maar voldoende om in samenspraak met de opdrachtgevers door te gaan met dit resultaat.
- De niet-stationaire kalibratie is alleen uitgevoerd met gebruik van de GxG-datasets. Een vergelijking met een kalibratieresultaat zonder gebruik van GxG's is daarom niet mogelijk. Toch schatten we in dat het gebruik van GxG's tot een beter kalibratieresultaat heeft geleid: GLG en GxG-dynamiek zijn verbeterd, wat niet te verwachten is indien alleen de metingen van WVP1 waren gebruikt en het gewicht van de kalibratie dus eenzijdig in modellaag 2 was komen te liggen.

4.2 Aanbevelingen

4.2.1 Peilinformatie

In het MODFLOW-model wordt gebruik gemaakt van vaste zomer- en winterpeilen. Meebewegende werkelijke peilen zal de voorspelling van de grondwaterstanden met name in het westelijk deel van het beheersgebied kunnen verbeteren. Ook het toepassen van dynamische peilen in de Lek zal hoogstwaarschijnlijk tot verbetering leiden.

4.2.2 Niet-vergunningsplichtige onttrekkingen

Niet-vergunningsplichtige onttrekkingen zijn in het huidige model niet meegenomen, omdat deze niet in de provinciale onttrekkingsregisters voorkomen. Het opnemen van vele kleine, ondiepe beregeningsonttrekkingen heeft mogelijk een groot effect.

4.2.3 Betrouwbaarheid en meetnetoptimalisatie

De representertechniek is in het HDSR grondwatermodel voor de stationaire kalibratie van de ondergrondparameters. Met behulp van deze techniek kunnen ruimtelijke betrouwbaarheden worden berekend, welke gebruikt kunnen worden voor het optimaliseren van het bestaande meetnet of het bepalen van optimale locaties voor nieuwe grondwaterstand- en stijghoogteteelpunten.

4.2.4 Gestuwd complex, anisotropie en breuken

De versimpelde hydrogeologische indeling als 'gestuwd complex' (REGIS II) met relatief weinig boringinformatie heeft waarschijnlijk grote invloed op het ondiepe systeem van de Utrechtse Heuvelrug. Het verdient aanbeveling om bij de opdrachtgevers van REGIS aan te dringen op een detaillering van de ondergrondinformatie in gestuwde gebieden. Ook anisotropie zou hierbij betrokken moeten worden. Zodra deze informatie beschikbaar is, zou het model hierop aangepast kunnen worden.

Uit de gevoeligheidsanalyse kwam naar voren dat de aard van de breuken (open of dicht) van invloed is op de stijghoogte, vooral als er onttrekkingen rond de breuken aanwezig zijn. De breuken konden in deze studie niet nader onderzocht worden. Zodra er vanuit andere studies meer informatie beschikbaar is, kan het model op dit punt verbeterd worden.

4.2.5 iMOD en scenarioberekeningen

Er zijn diverse grafische interfaces voor MODFLOW op de markt. Het huidige model heeft echter enkele specifieke aanpassingen aan de standaard MODFLOW-code (o.a. ANI, SOF en infiltratiefactor). In de nieuwste versies van MODFLOW zijn deze afwijkingen waarschijnlijk goeddeels te ondervangen in andere packages. Zaken als de representerkalibratie zijn tot nog toe alleen in de TNO/Deltares MODFLOW-code beschikbaar.

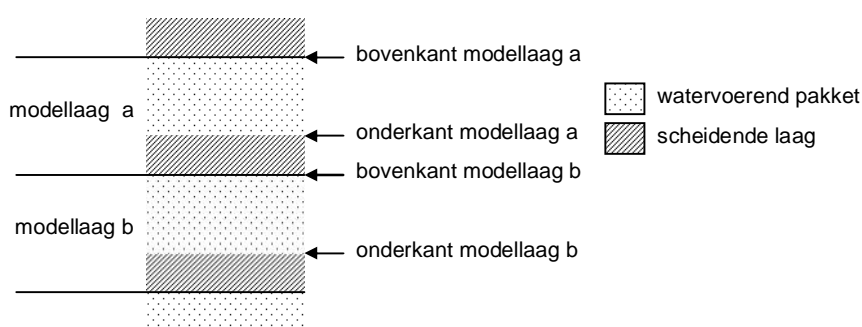
TNO/Deltares heeft voor MODFLOW-modellen een grafische interface ontwikkeld, iMOD. Hierin is de volledige functionaliteit van het HDSR-MODFLOW-model beschikbaar en kunnen eenvoudig allerlei scenario's gedraaid worden.

4.3 Scenarioberekeningen, beheer en onderhoud

Voor scenarioberekeningen, maar ook voor het reguliere beheer en onderhoud van het model, is het noodzakelijk om de invoergegevens van het MODFLOW aan te passen. Omdat de totstandkoming van de modelinvoer op sommige punten complex is, wordt hieronder een aantal punten beschreven waaraan aandacht gegeven dient te worden.

4.3.1 Modellaagindeling

Bij het aanpassen van de schematisatie of voor het toekennen van filters aan modellen, is het noodzakelijk om de boven- en onderkant van de modellen te kennen. In Figuur 4.1 is aangegeven hoe de boven- en onderkant van de modellen, zoals opgeleverd bij het model, gedefinieerd zijn. Hieruit volgt dat de dikte van het watervoerend pakket het verschil tussen de boven- en onderkant van de modellaag is; de dikte van de scheidende laag is het verschil tussen de onderkant van de modellaag en de bovenkant van de volgende modellaag.



Figuur 4.1 Wijze waarop de boven- en onderkant van de modellen gedefinieerd is.

4.3.2 kD- en c-waarden

De kD- en c-waarden (BCF-package) zijn eenvoudig te raadplegen en aan te passen. Deze parameters zijn per modellaag in een gridbestand opgeleverd. Celwaarden kunnen met ieder GIS-pakket veranderd worden. Aandachtspunten hierbij zijn:

- MODFLOW gebruikt geen c-waarden, maar de reciproke hiervan (vc-waarden). De minimale waarden die in het MODFLOW-model zijn gebruikt voor kD en c zijn respectievelijk $10 \text{ m}^2/\text{dag}$ en 0.1 dag (zie Paragrafen 2.2.4 en 2.2.5).
- In Paragraaf 2.2.5 staat beschreven hoe met breuken en diepe polders is omgegaan.

4.3.3 Anisotropie, startstijghoogtes en oppervlakkige afstroming

Ook de anisotropiewaarden (ANI-package), startstijghoogtes (BAS-package) en oppervlakkige afstroming (SOF-package) zijn met een GIS-pakket makkelijk aan te passen, hoewel dat in de praktijk niet snel nodig zal zijn.

4.3.4 Onttrekkingen

Bij het toevoegen van onttrekkingen aan het model (WEL-package) zijn een aantal zaken essentieel:

- Uitsplitsen van puttenvelden: van enkele pompstations zijn de posities (x,y,z) van de individuele onttrekkingsputten bekend. Het verdient aanbeveling om hiervan gebruik te maken, omdat een puttenveld zich over meer cellen kan uitstrekken en de onttrekking in de diepte beter gealloceerd kan worden.
- Toekenning aan de juiste modelcel: op basis van de x- en y-coördinaten kan de onttrekking eenvoudig aan de juiste modelcel worden toegekend. De benodigde informatie van het modelgrid kan verkregen worden uit de modelinvoergrids (b.v. de file 'ibound.asc').
- De toekenning aan de juiste modellaag: op basis van de boven- en onderkant van het filter en de modellagen kan berekend worden aan welke laag/lagen het onttrekkingsfilter toegekend moet worden. Zie hiervoor Paragraaf 2.5 en Figuur 2.20. Let daarbij op de boven- en onderkant van de modellagen, zoals beschreven in Figuur 4.1.
- Bepalen van het gemiddelde onttrekkingsdebiet voor het stationaire model: dit is het gemiddelde over de stationaire modelperiode, waarbij inactieve periodes ook meegewogen moeten worden.
- Het verdelen van het onttrekkingsdebiet over de juiste stress-periodes van het niet-stationaire model: dit zijn de kwartaalonttrekkingen. Let er bij de uitgesplitste puttenvelden op dat niet elke put de gehele onttrekkingsperiode actief is.
- Het vaststellen van het juiste onttrekkingsdebiet per filterdeel: zie hiervoor de beschrijving in Paragraaf 2.5.
- Indien een filter verdeeld wordt over meer lagen of een grondwateronttrekking wordt uitgesplitst in putten, is met de standaard WEL-package van MODFLOW niet meer te achterhalen wat de oorspronkelijke onttrekking en het oorspronkelijke totaaldebiet was. Het stationaire model is daarom opgeleverd met een uitgebreide versie van de WEL-package, waarin per onttrekkingsrecord is aangegeven: de oorspronkelijke onttrekking, het totaaldebiet van de oorspronkelijke onttrekking en het deel van het totale debiet dat bij deze onttrekkingsrecord hoort. Voor een gebruiker is het hiermee mogelijk om bij een scenarioberekening een gewijzigd debiet van een onttrekking op de juiste manier in de WEL-package door te voeren.

4.3.5 Metingen

Bij gebruik van nieuwe metingen, b.v. voor modelvalidatie of herkalibratie geldt voor de filtertoekenning aan de juiste modelcel hetzelfde als hierboven beschreven bij de onttrekkingen. De allocatie in de juiste modellaag wijkt hier wel vanaf, omdat hier gekozen wordt voor toekenning aan 1 laag, ook al strekt het filter zich over meer watervoerende pakket uit. Filter 3 in Figuur 2.20 wordt dan op basis van het midden van het filter alleen toegekend aan modellaag a. Uiteraard is het wel mogelijk om bij afwezigheid van scheidende lagen de meetpunten ook aan andere watervoerende pakketten toe te kennen. Zie hiervoor b.v. de laatste alinea van Paragraaf 3.3.1.

4.3.6 Waterlopen en drainage

Bij aanpassing van de waterlopen (RIV-package) moet rekening gehouden worden met het volgende:

- Het peil moet altijd groter dan of gelijk aan de bodemhoogte zijn.

- Indien een peil boven het maaiveld van de betreffende cel ligt, zal door oppervlakkige afstroming een onevenredig grote flux ontstaan. Dit geldt ook voor de hoogte van de drainage (DRN-package).
- De infiltratiefactor ligt in het huidige model tussen 0 en 1, omdat de intreeweerstand kleiner is dan uitreeweerstand. In MODFLOW wordt het doorlaatvermogen gebruikt.
- Indien een waterloop ingesneden is in diepere lagen, kan in de RIV-package voor elke modellaag een regel worden opgenomen. In het huidige model is daarbij steeds de helft van het doorlaatvermogen doorgegeven aan de volgende laag; de diepste laag krijgt het overgebleven doorlaatvermogen.

4.3.7 Grondwateraanvulling

Grondwateraanvulling voor het stationaire model (RCH-package) is gegeven in een makkelijk te bewerken gridbestand. De grondwateraanvulling is echter tot stand gekomen door niet-stationaire modelruns en voor een goede aanpassing verdient het derhalve aanbeveling om een dergelijke niet-stationaire exercitie uit te voeren.

4.3.8 Bergingscoëfficiënten

De freatische bergingscoëfficiënten worden in het SIMGRO-deel van de modelcode voor iedere tijdstap en voor iedere cel berekend. Daarvoor wordt een tabel gebruikt die is afgeleid met behulp van de procedure pre-metaSWAP. Deze procedure is vrij beschikbaar en voorzien van een gebruikershandleiding. Een gebruiker kan in de invoer van pre-metaSWAP de verzadigde bergingscoëfficiënt eenvoudig aanpassen en vervolgens nieuwe metaSWAP-tabellen afleiden.

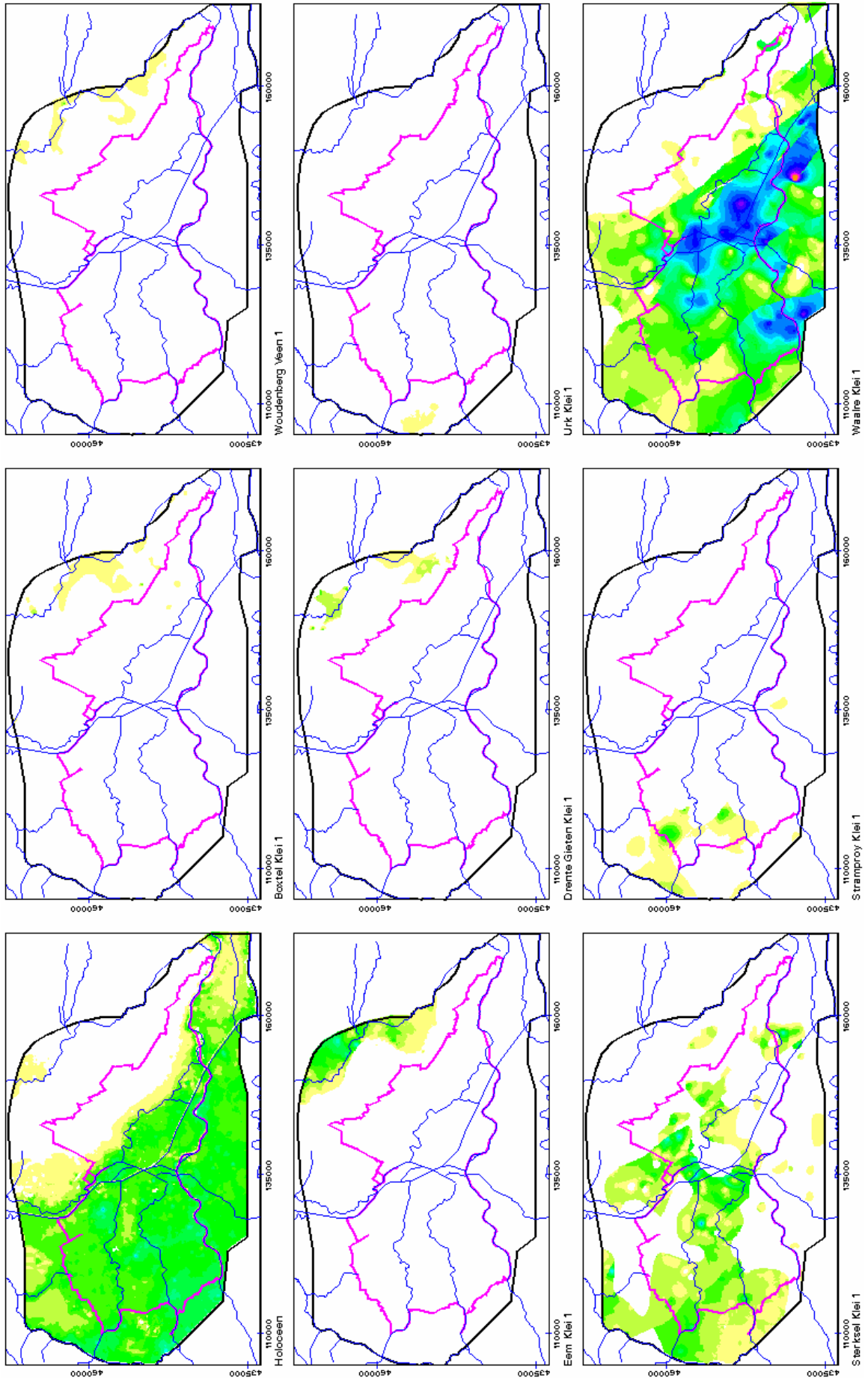
5 Referenties

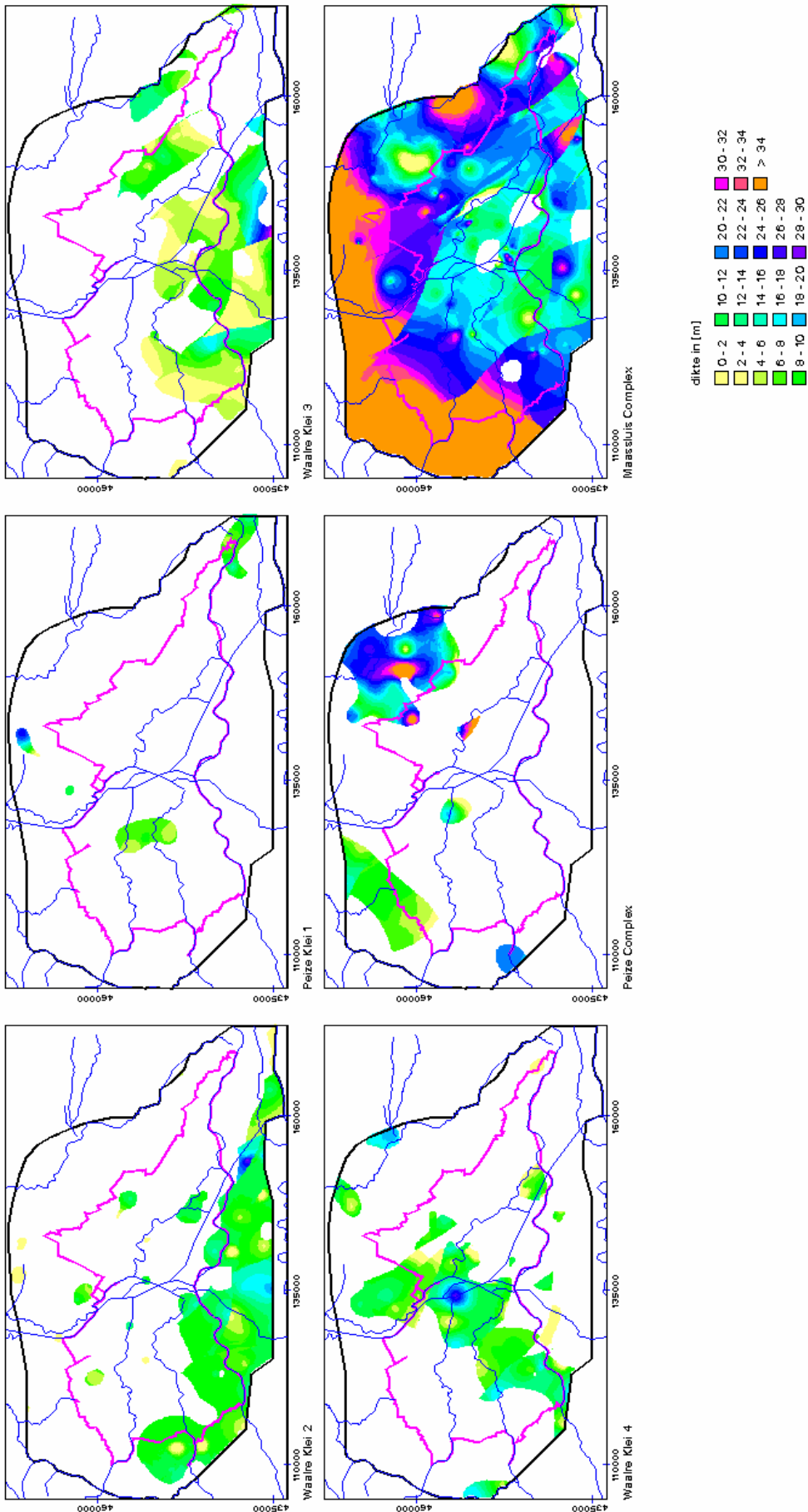
- Alterra (2009). Simgro. Na aanmelden bij Alterra beschikbaar via:
<http://workspace.office.live.com/?wa=wsignin1.0#paulvanwalsum/SIMGRO>
- Bakker, M.A.J. (2004). The internal structure of Pleistocene push moraines. Thesis, University of London.
- Berendsen, H.J.A. (2004). De vorming van het land: Inleiding in de geologie en de geomorfologie. Van Gorcum, Assen, 410 pp.
- Berendsen, H.J.A. (2005). Landschappelijk Nederland: De fysisch-geografische regio's. Van Gorcum, Assen, 249 pp.
- De Boer, A. (1994). Hydrologisch onderzoek Kromme Rijn, Deelrapport III Meetprogramma's ter ondersteuning van het onderzoek. Rapport Buro Kwantitatief Grondwaterbeheer nummer 6D, Provincie Utrecht, Dienst water en milieu.
- Doherty, J. (1994). PEST: model-independent parameter estimation. User manual: 5th edition. Watermark Numerical Computing.
- Doherty, J. (2008). PEST Version 11.5. Online beschikbaar:
<http://www.sspa.com/Pest/pest11.shtml>. Watermark Numerical Computing.
- Finke, P.A., Brus, D.J., Bierkens, M.F.P., Hoogland, T., Knotters, M. & De Vries, F. (2005). Kartering van de grondwaterdynamiek met behulp van geo-informatie van hoge resolutie. Stromingen 11-1.
- Gerretsen, M.L. (1993). Hydrologisch onderzoek Kromme Rijn, Deelrapport I FEMSATS. Rapport Buro Kwantitatief Grondwaterbeheer nummer 6A, Provincie Utrecht, Dienst water en milieu.
- Gerretsen, M.L. (1994a). Hydrologisch onderzoek Kromme Rijn, Deelrapport II SIMGRO. Rapport Buro Kwantitatief Grondwaterbeheer nummer 6B, Provincie Utrecht, Dienst water en milieu.
- Gerretsen, M.L. (1994b). Hydrologisch onderzoek Kromme Rijn, Deelrapport II SIMGRO. Bijlagen bij Rapport Buro Kwantitatief Grondwaterbeheer nummer 6B, Provincie Utrecht, Dienst water en milieu.
- Gerretsen, M.L. (1996). Hydrologisch onderzoek Kromme Rijn, Deelrapport IV Scenario's en conclusies. Rapport Bureau Kwantitatief Grondwaterbeheer nummer 6D, Provincie Utrecht, Dienst water en milieu.
- Gerretsen, M.L. (1996). Hydrologisch onderzoek Kromme Rijn, Deelrapport IV Scenario's en conclusies. Bijlagen bij Rapport Bureau Kwantitatief Grondwaterbeheer nummer 6D, Provincie Utrecht, Dienst water en milieu.
- Gunnink, J.L., Veldkamp, J.G., Dam, D., Weerts, H.J.T. & Van der Linden, W. (1994). Deklaagmodel en geohydrologische parametrisatie voor het beheersgebied van het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. TNO-rapport NITG 04-090-B0609, TNO, Utrecht.
- Grontmij (2001). Ontwerp grondwaterkwaliteitsmeetnet PS Zeist Deelrapport 2, Hydrologische systeemanalyse. Grontmij-rapport 13/99023682/PS.
- Grontmij (2002a). Ontwerp grondwaterkwaliteitsmeetnet PS Soestduinen Deelrapport 2, Hydrologische systeemanalyse. Grontmij-rapport 13/99026769/PS.
- Grontmij (2002b). Ontwerp grondwaterkwaliteitsmeetnet PS Beerschoten Deelrapport 2, Hydrologische systeemanalyse. Grontmij-rapport 13/99036020/PS.
- Grontmij (2003a). Ontwerp grondwaterkwaliteitsmeetnet PS Driebergen Deelrapport 2, Hydrologische systeemanalyse. Grontmij-rapport 13/99035676/PS.
- Grontmij (2003b). Ontwerp grondwaterkwaliteitsmeetnet PS Veenendaal Deelrapport 2: Hydrologische systeemanalyse. Grontmij-rapport 13/99035689/PS.

- Grontmij (2005). AGOR Stad Utrecht; Hydrologische modellering van de stad Utrecht en bepaling van het Actueel Grond- en Oppervlaktewater Regime.
- Hermans, A.G.M., Van Walsum, P.E.V., Runhaar, J. & Van Bakel, P.J.T. (2004). Duurzaam waterbeheer Langbroekerwetering, Fase 1: Modelbouw, calibratie en bepaling van het Actueel Grond- en Oppervlaktewaterregime. Alterra-rapport 914, ISSN 1566-7197. Alterra, Wageningen.
- Hey, G.J. & Kester, C.G.M. (1980). De hydrologische interactie tussen de grotere waterlopen en het grondwater in West-Utrecht. RID-mededeling 80-7.
- Hydron (199x). Waterwinplaats Vleuten.
- Jousma, G. en H.Th.L. Massop (1996) Intreeweerstanden waterlopen, inventarisatie en analyse. TNO-rapport GG-R-96-15A, Delft.
- Massop, H.Th.L. (2002). Landelijke karakterisering buisdrainage.
- McDonald, M.G. & Harbaugh, A.W. (1988). A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 6, chap. A1, 586 pp.
- Minnema, B. (2002). Modelleromgeving Veluwe. TNO-rapport NITG 02-073-B. TNO, Delft.
- Provincie Utrecht (1987). Grondwaterplan provincie Utrecht: ontwerp.
- Stoppelenburg, F.J. (1999) Een overzicht van de toepassing van intreeweerstanden in modelstudies, NOV-rapport 13.3.
- Timmerman, P.H.A. & Hemker, C.J. (1993). Bepaling van de intreeweerstand van de Lek en de verticale weerstanden van de uiterwaarden en polders nabij Langerak (Alblasserwaard). H2O 26-1.
- TNO (2009a). DINO Locket, Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond (DINO). Online beschikbaar: <http://dinolocket.nitg.tno.nl/dinoLks/DINOLocket.jsp>.
- TNO (2009b). DINO Locket, REGIS II. Online beschikbaar: <http://dinolocket.nitg.tno.nl/nl/download/maps/regis.html>.
- USGS (2009). Modflow and related programs. Online beschikbaar: <http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow.html>.
- Valstar, J. (2001). Inverse problem theory of coupled groundwater flow and mass transport. PhD thesis, Technical University of Delft, The Netherlands.
- Valstar, J. R., McLaughlin, D. B., Te Stroet, C. B. M. & Van Geer, F. C. (2004). A representer-based inverse method for groundwater flow and transport applications. Water Resources Research, 40. W05116, doi:10.1029/2003WR002922.
- Van der Velde (2004). AHN-filtering Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Data CD. TNO, Utrecht.
- Van Walsum, P.E.V., Lourens, A., Veldhuizen, A.A., Snepvangers, J.J.J.C., Dik, P.E., Minnema, B. & Groenendijk, P. (2006). Flexibel geïntegreerd systeem voor regionale hydrologische modellering: combinatie van MODFLOW en SIMGRO. Stromingen 12, nummer 2.
- Van Walsum, P.E.V., Veldhuizen, A.A., Van Bakel, P.J.T., Van der Bolt, F.J.E., Dik, P.E., Groenendijk, P., Querner, E.P. & Smit, M.F.R. (2007). SIMGRO 6.0.2, Theory and model implementation. Alterra, Wageningen.
- Vernes, R.W. & Van Doorn, Th.H.M. (2005). Van Gidslaag naar Hydrogeologische Eenheid: toelichting op de totstandkoming van de dataset REGIS II. TNO-rapport NITG 05-038-B, TNO, Utrecht.
- Wolf, J., Beusen, A. H. W., Groenendijk, P., Kroon, T., Rötter, R. & Van Zeijts, H. (2003). The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands. Environmental Modelling & Software 18-7, pp. 597-617, doi:10.1016/S1364-8152(03)00036-7.

Bijlagen

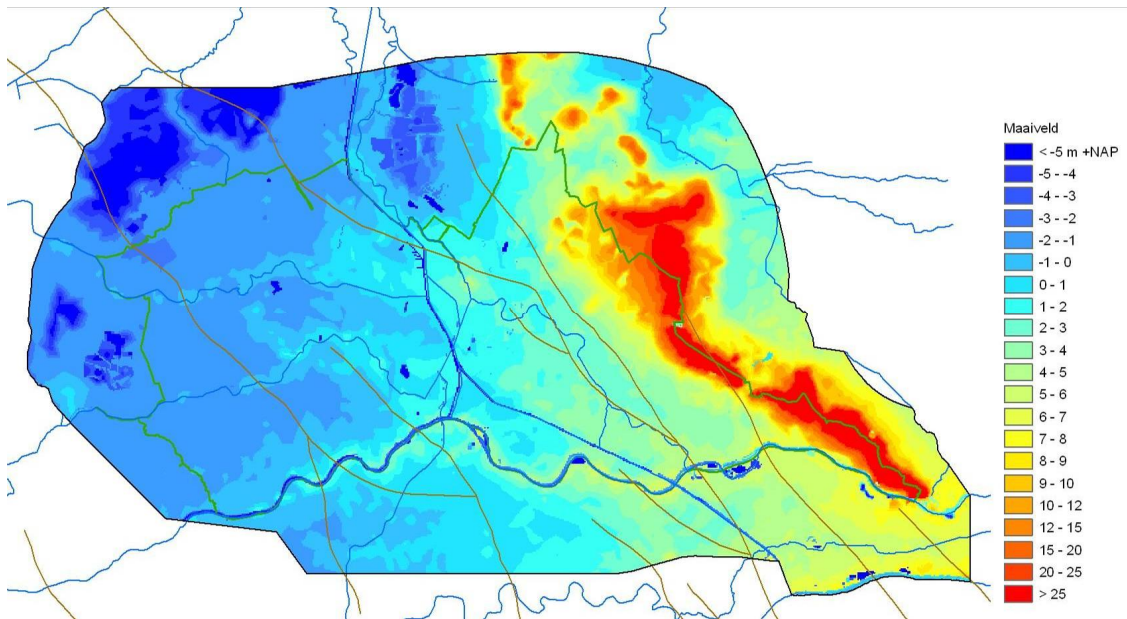
A Verbreiding weerstandbiedende hydrogeologische eenheden (REGIS II)





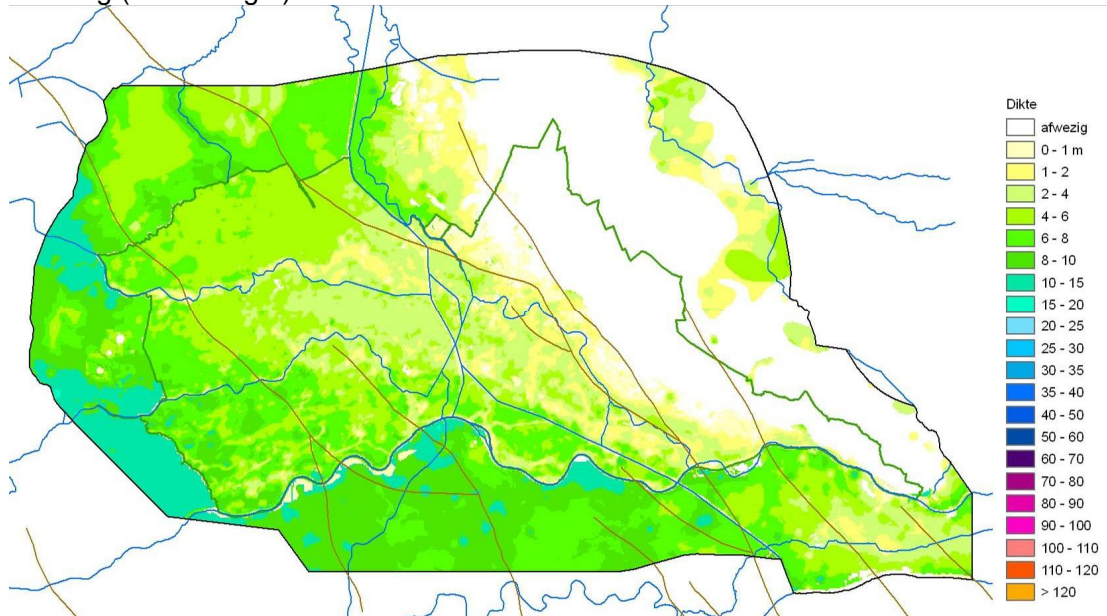
B Modelparametrisatie vóór kalibratie

B.1 Maaiveldhoogte



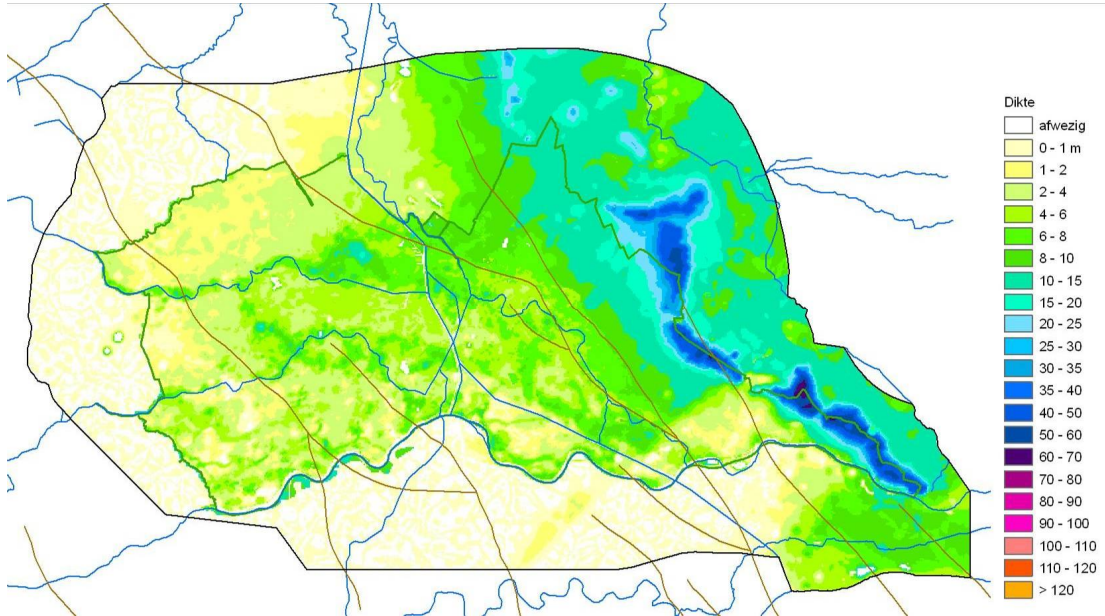
B.2 Laagdikte

B.2.1 Deklaag (modellaag 1)

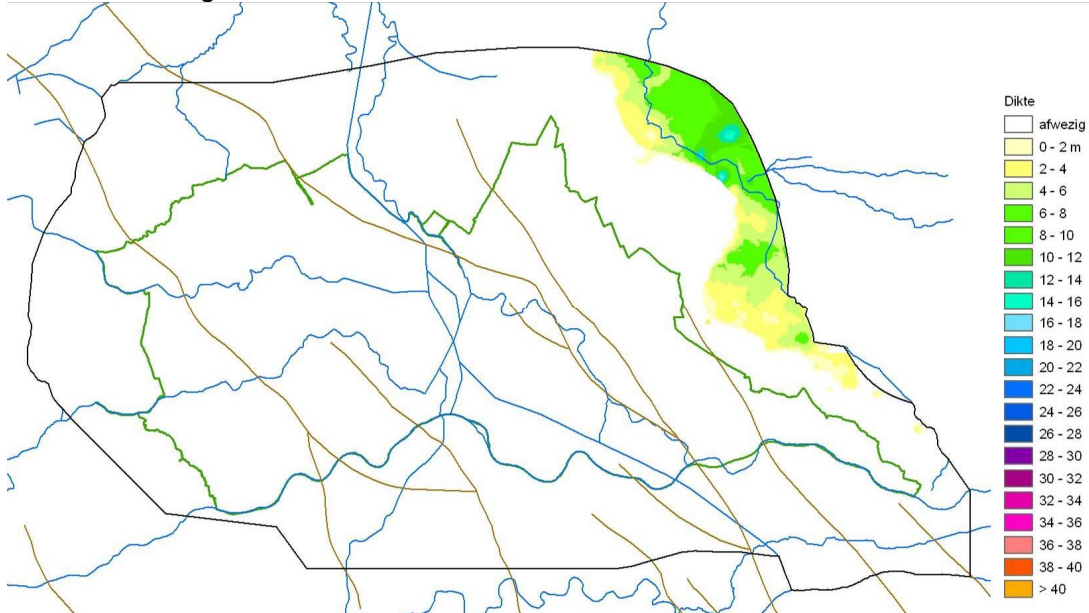


B.2.2 WVP1 en scheidende laag 2 (modellaag 2)

WVP

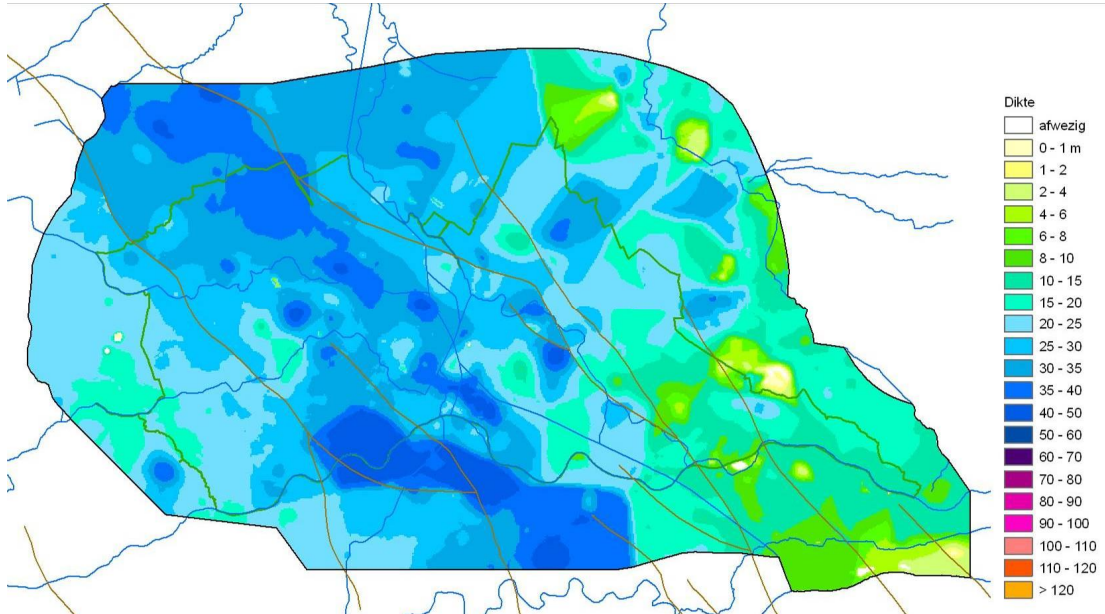


Scheidende laag

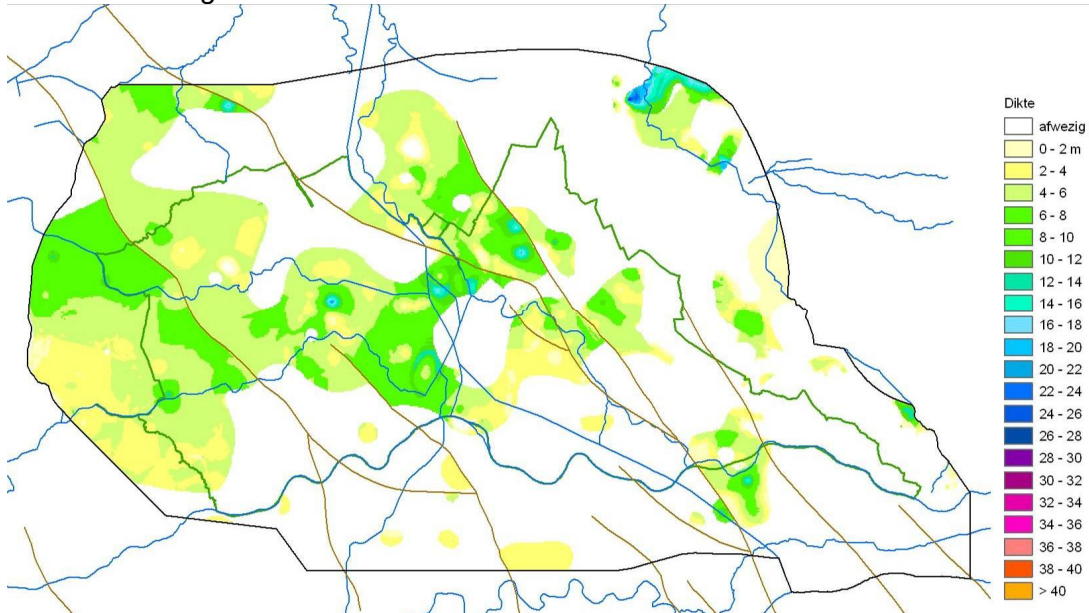


B.2.3 WVP2 en scheidende laag 3 (modellaag 3)

WVP

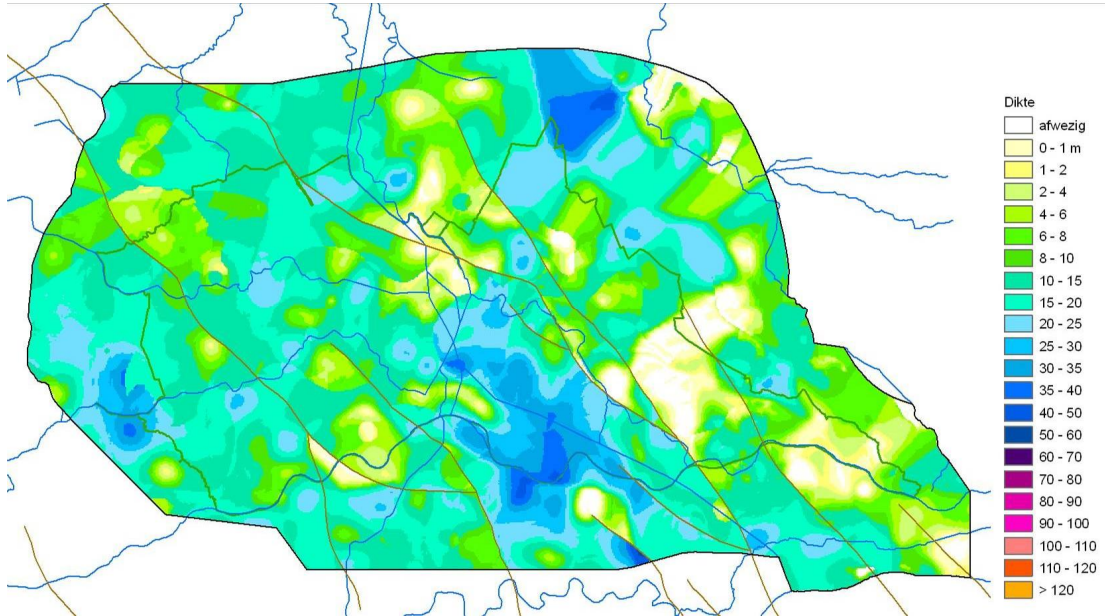


Scheidende laag

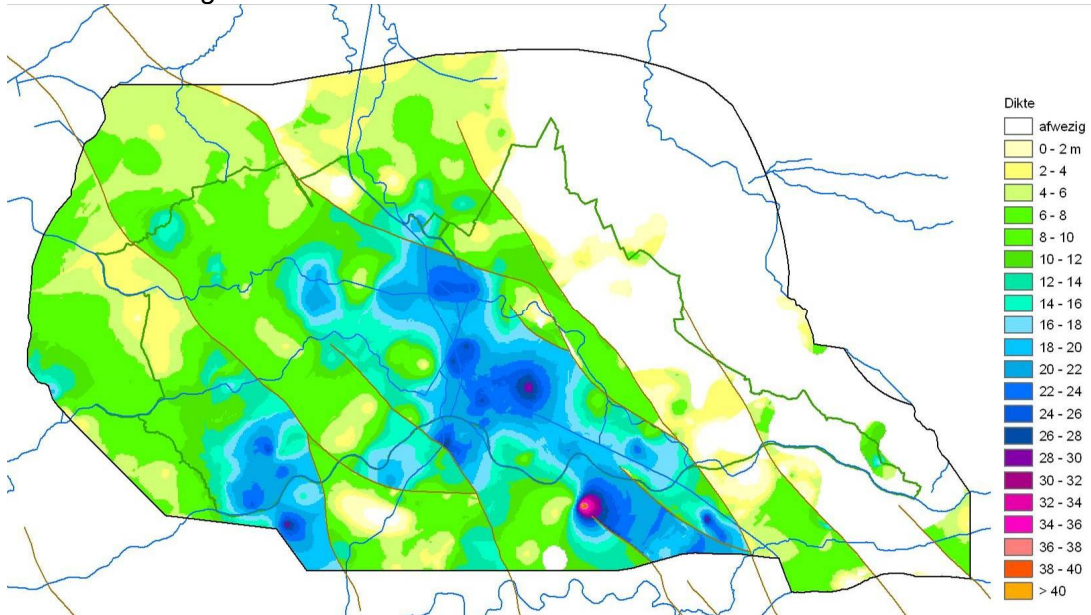


B.2.4 WVP3 en scheidende laag 4 (modellaag 4)

WVP

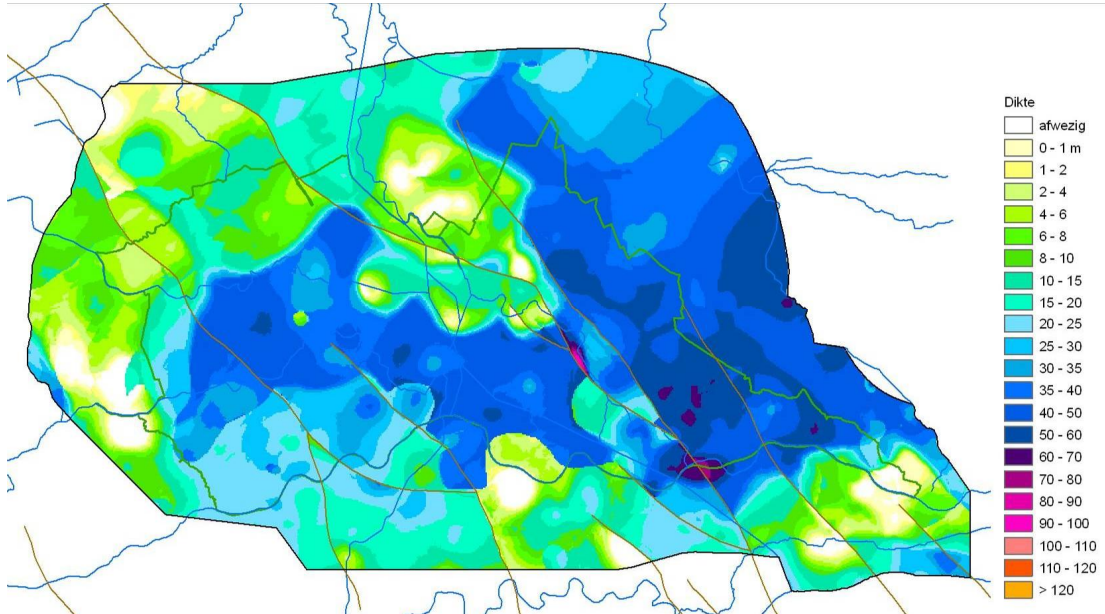


Scheidende laag

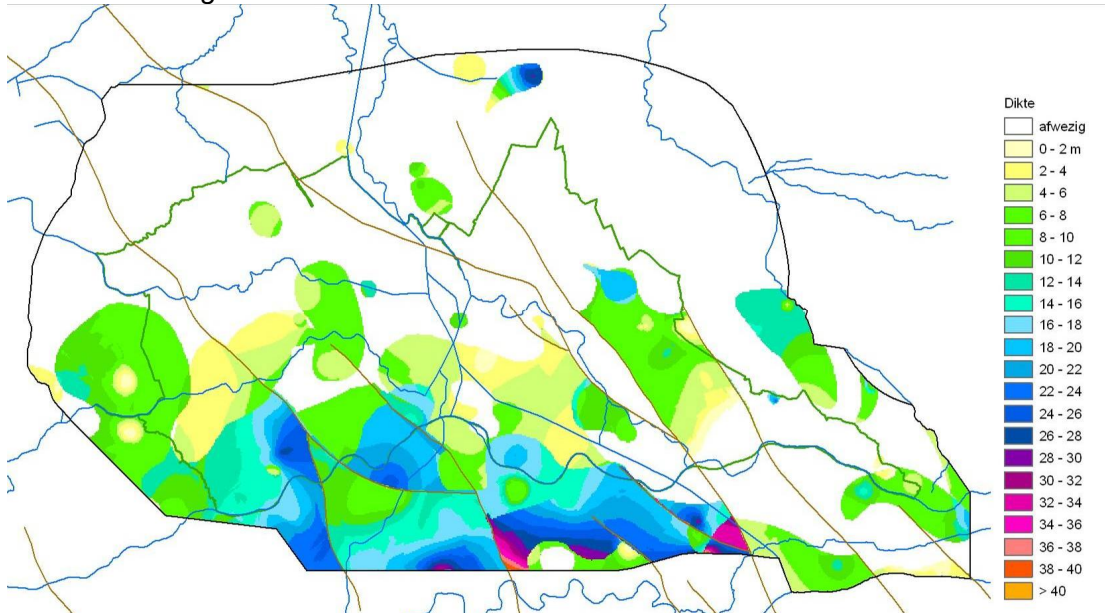


B.2.5 WVP4 en scheidende laag 5 (modellaag 5)

WVP

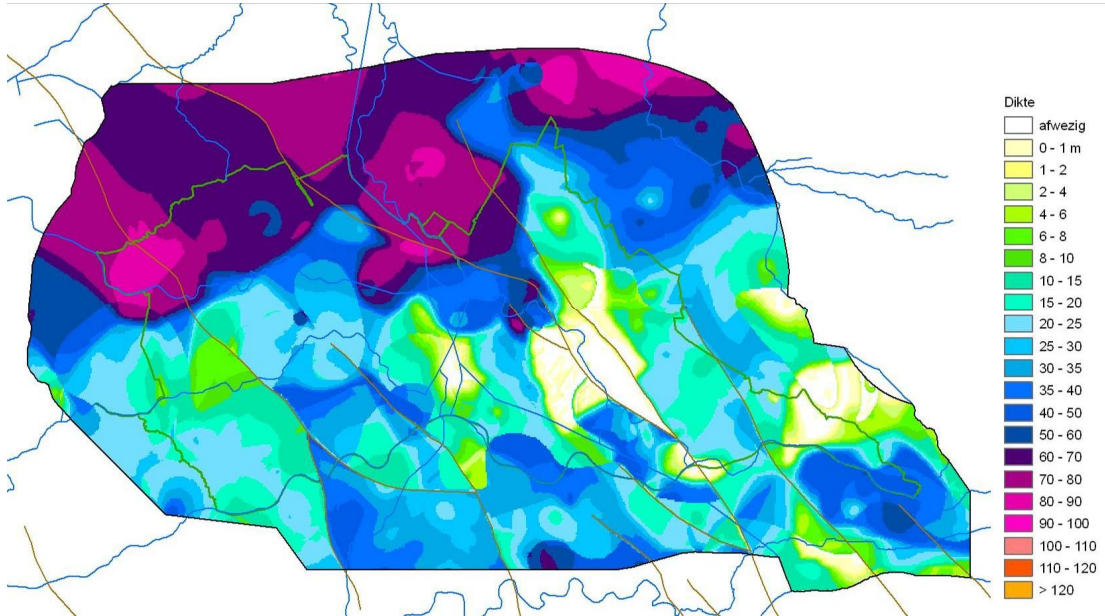


Scheidende laag

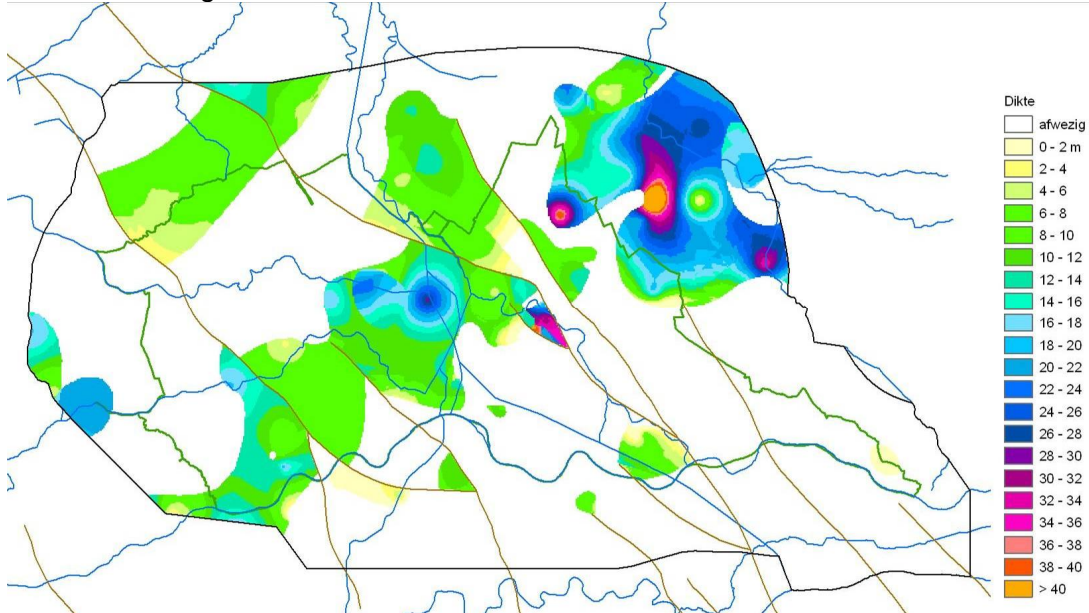


B.2.6 WVP5 en scheidende laag 6 (modellaag 6)

WVP

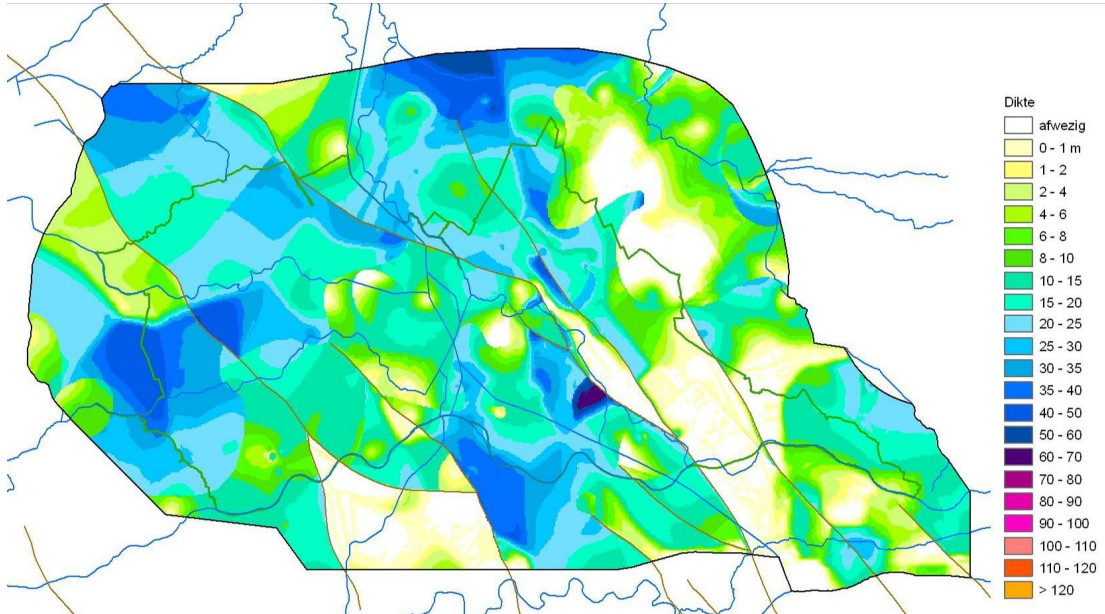


Scheidende laag

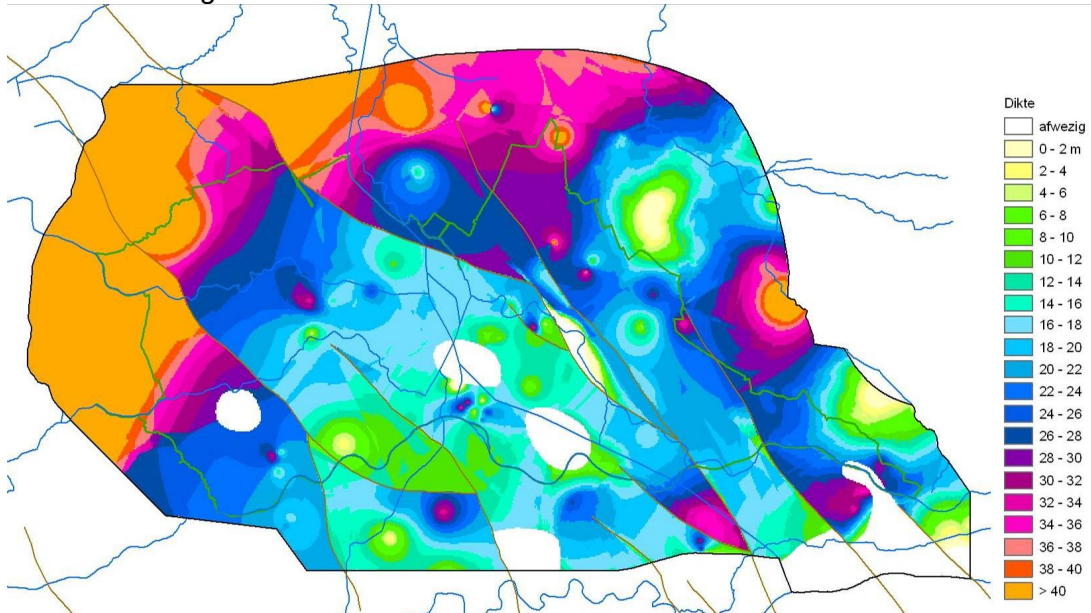


B.2.7 WVP6 en scheidende laag 7 (modellaag 7)

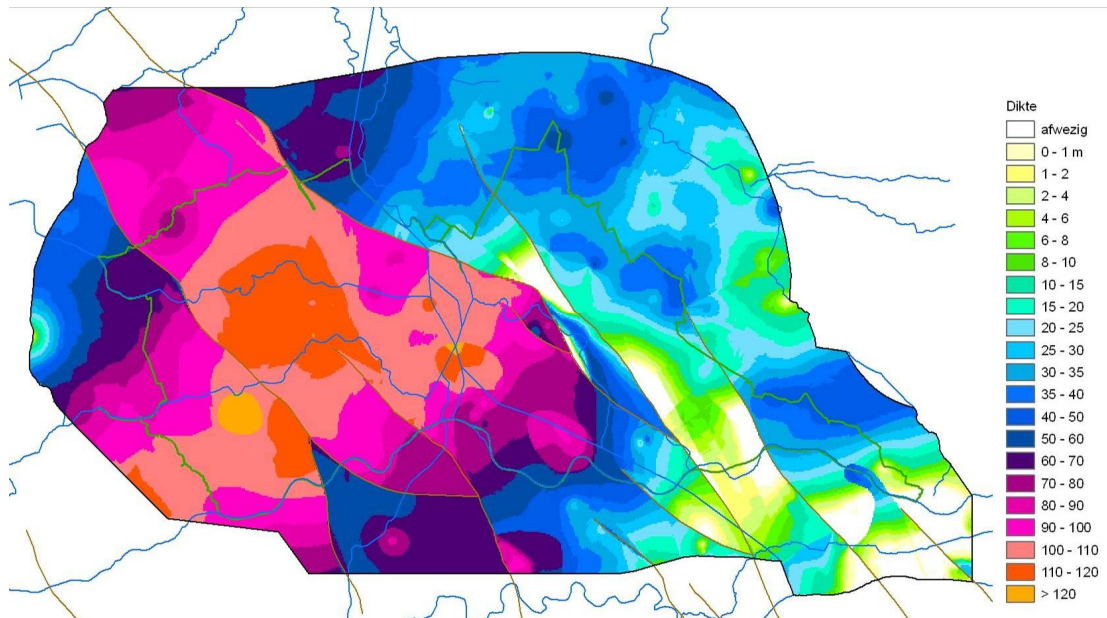
WVP



Scheidende laag



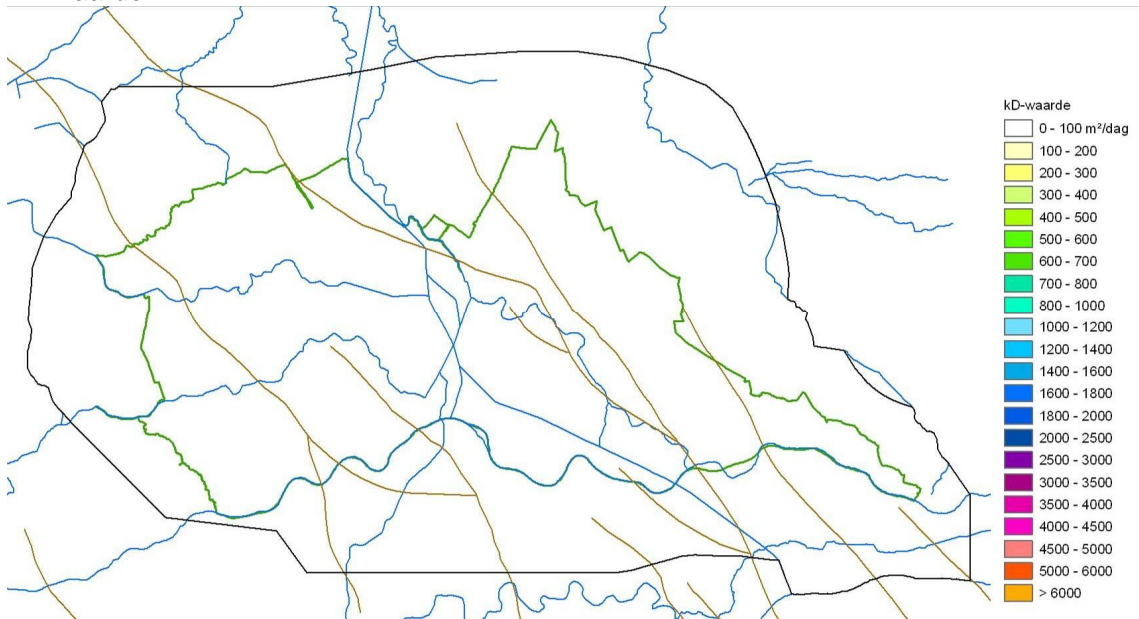
B.2.8 WVP7 (modellaag 8)



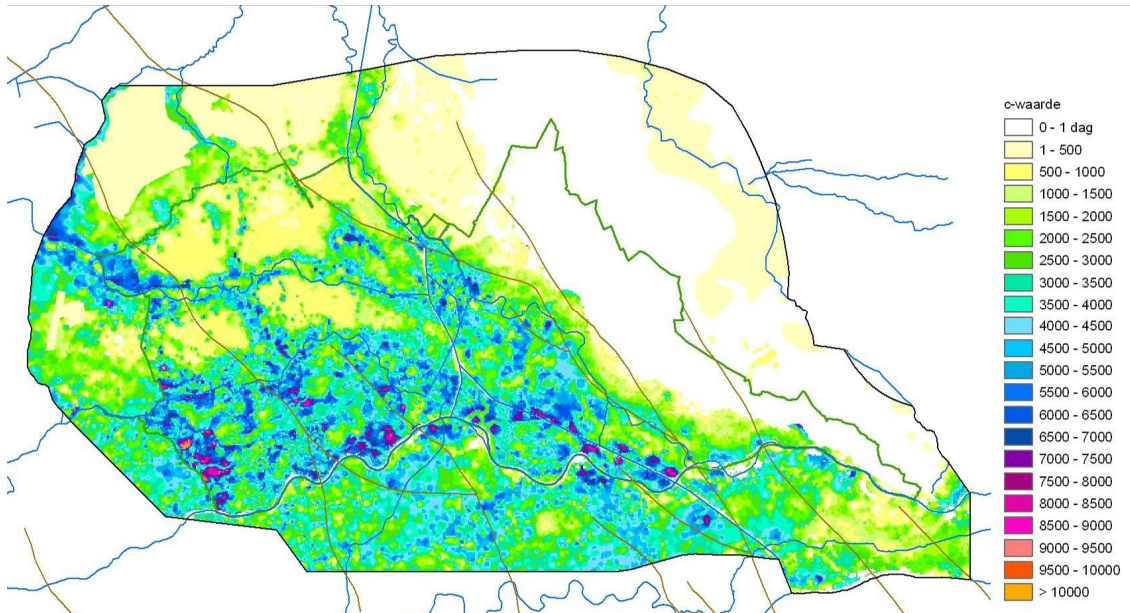
B.3 kD- en c-waarde

B.3.1 Deklaag (modellaag 1)

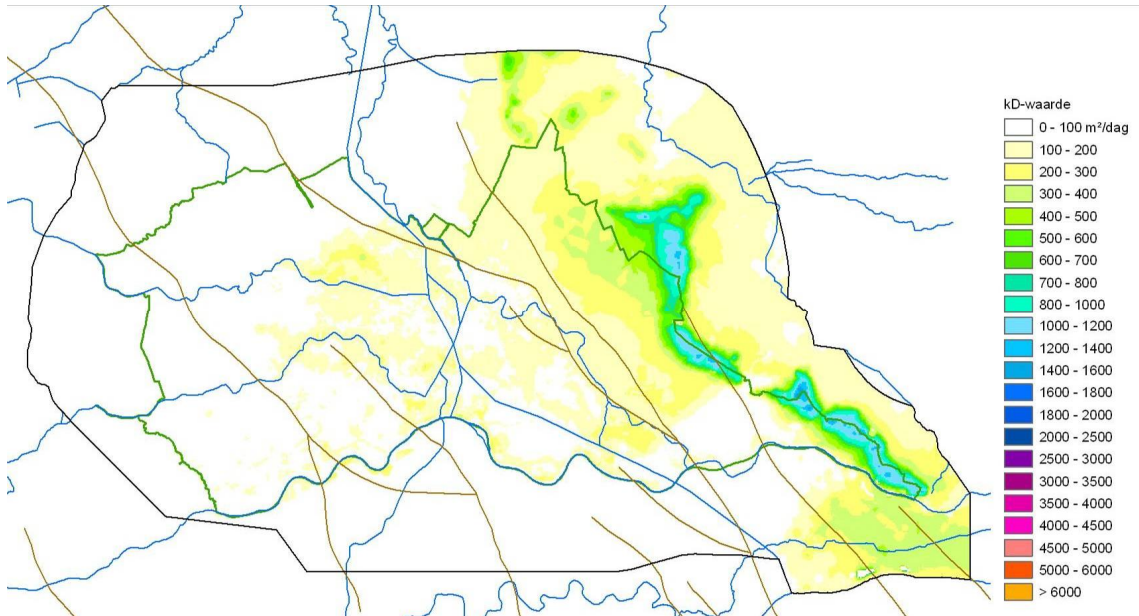
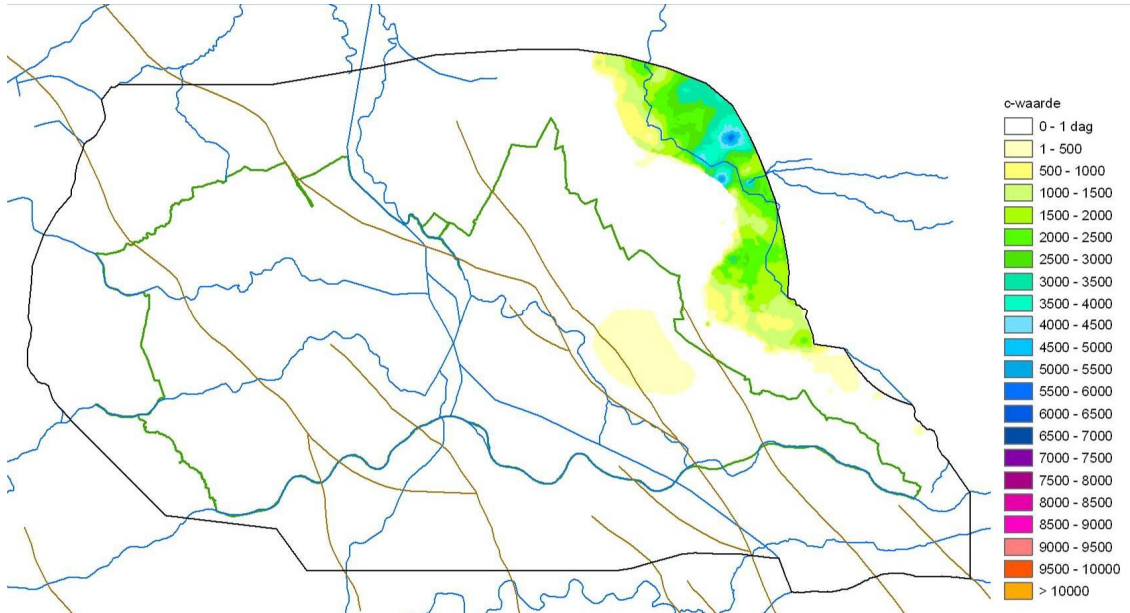
kD-waarde



c-waarde

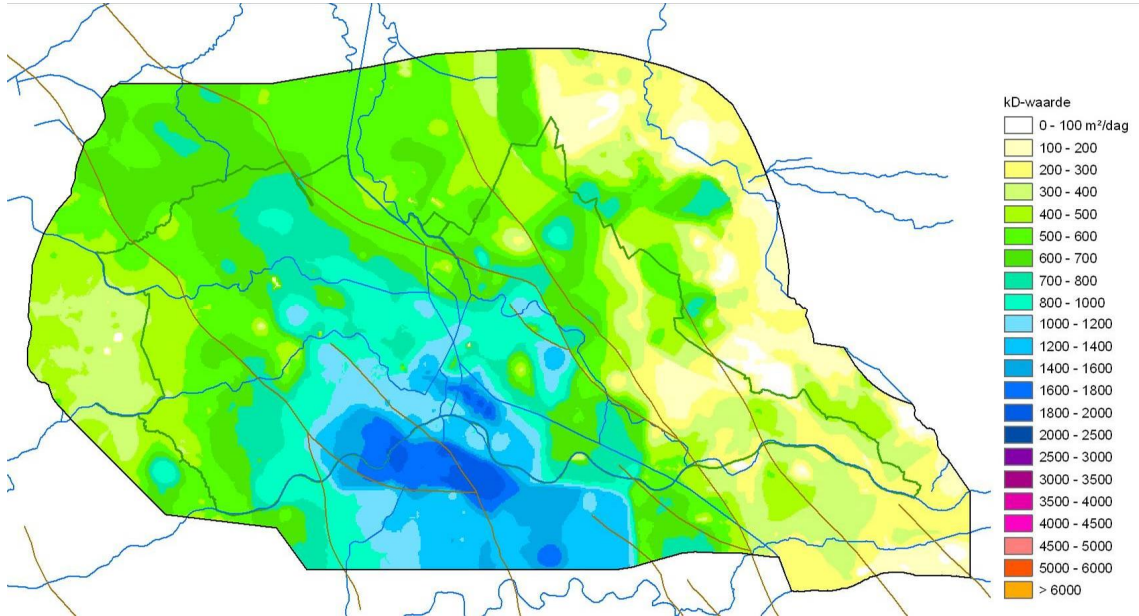


B.3.2 WVP1 en scheidende laag 2 (modellaag 2)

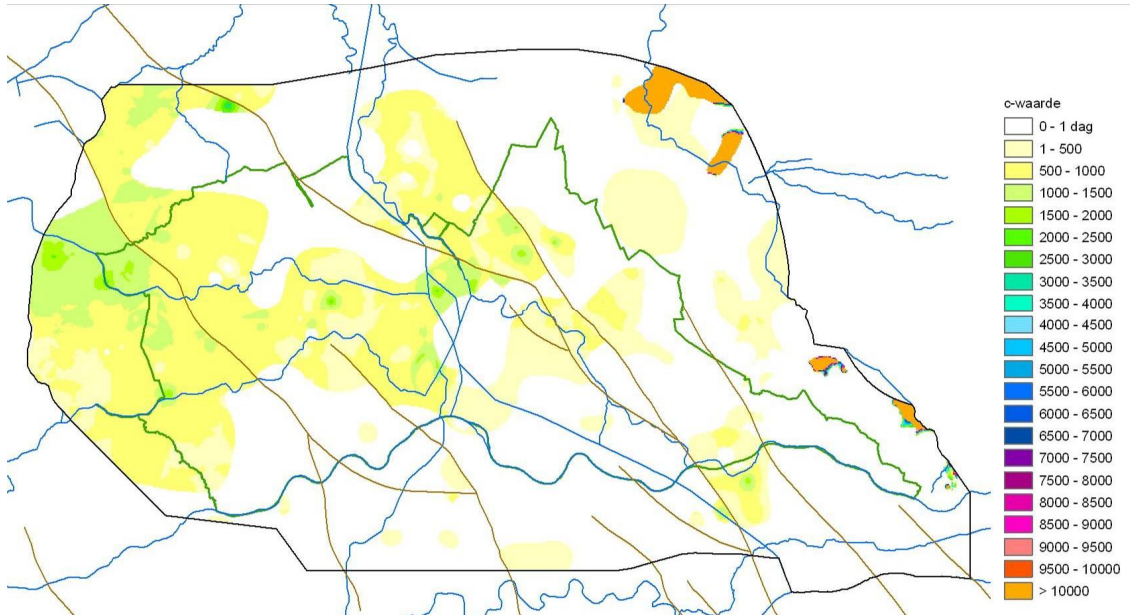
kD-waarde*c-waarde*

B.3.3 WVP2 en scheidende laag 3 (modellaag 3)

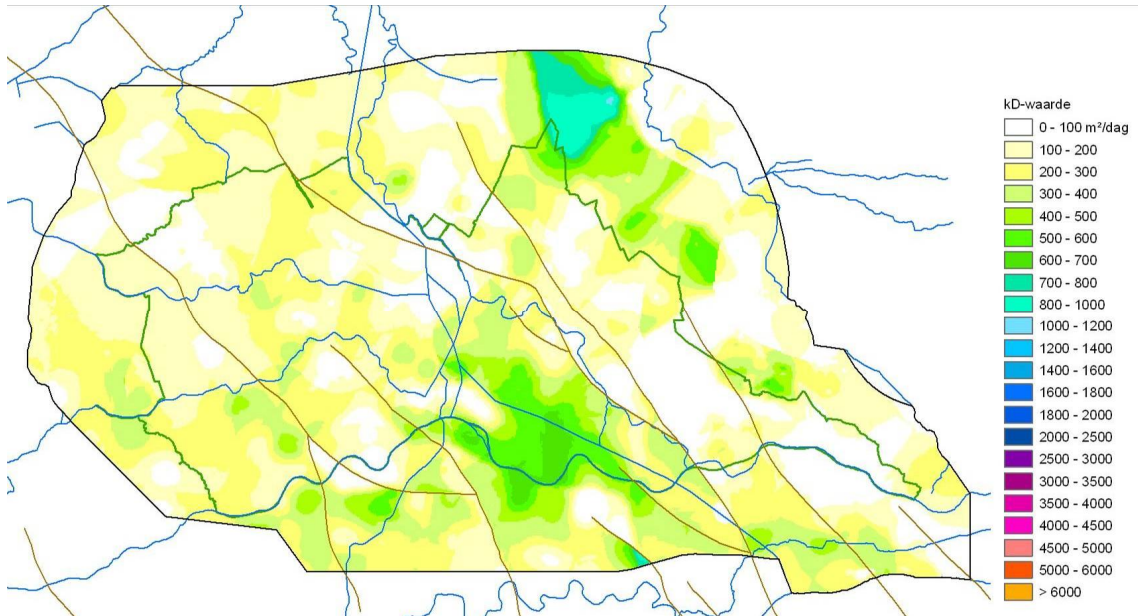
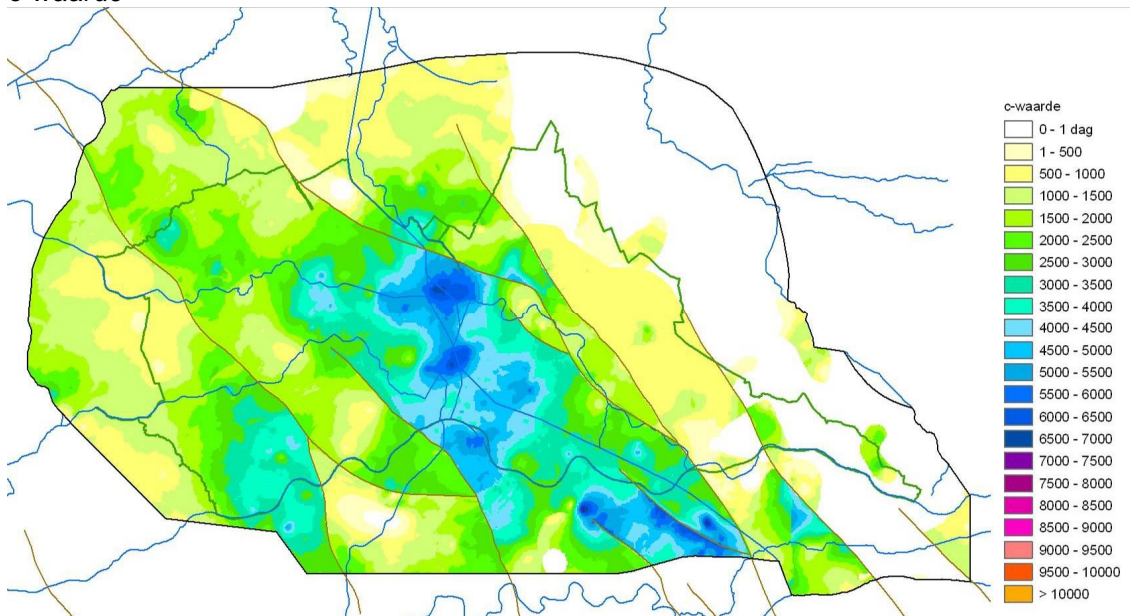
kD-waarde



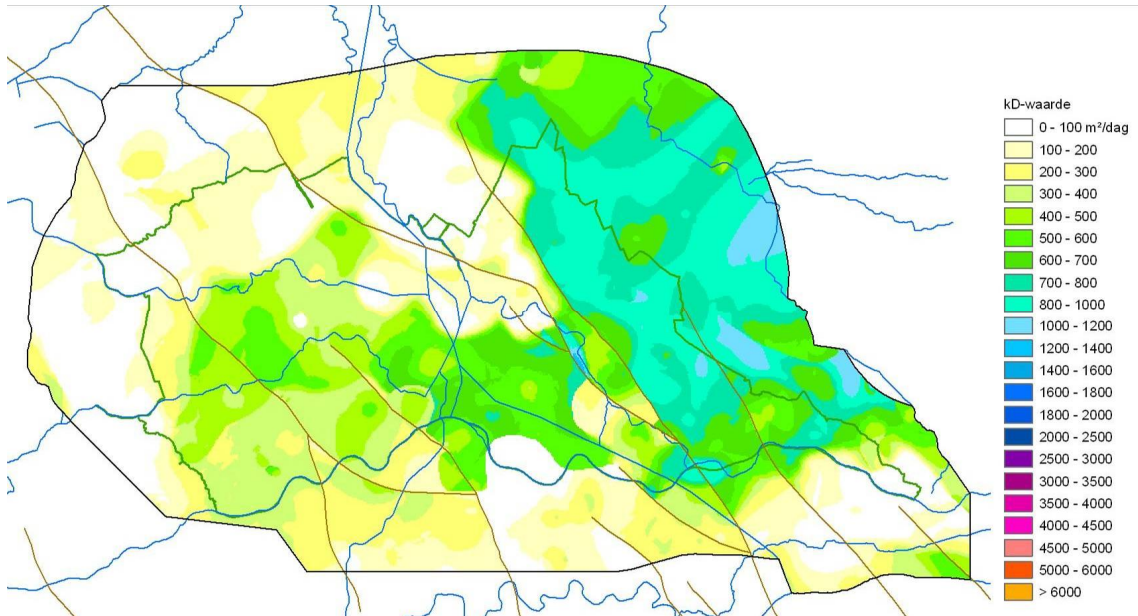
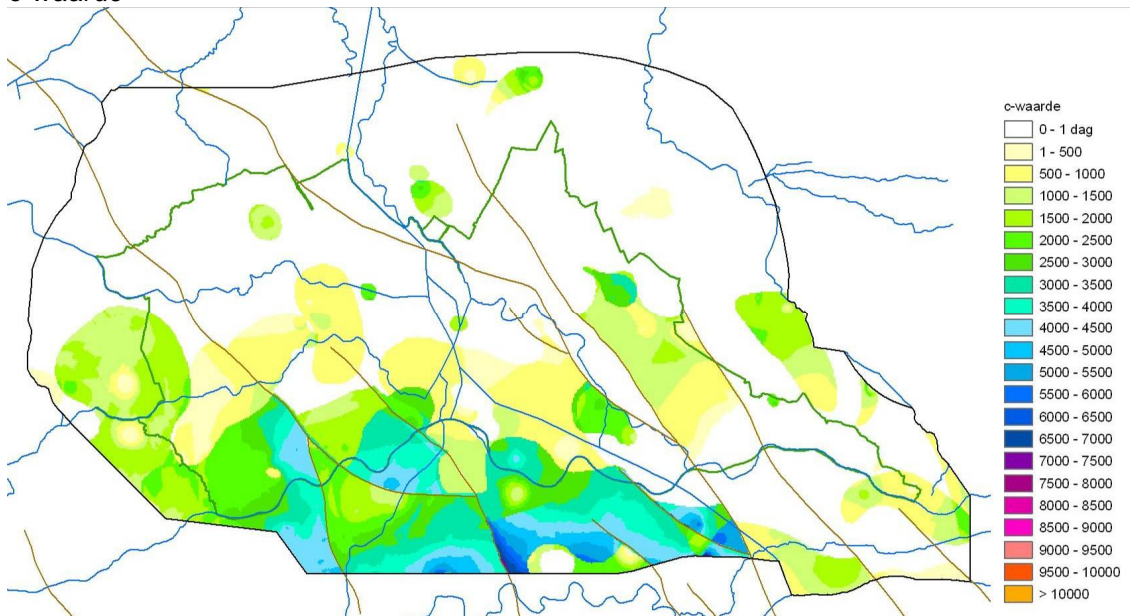
c-waarde



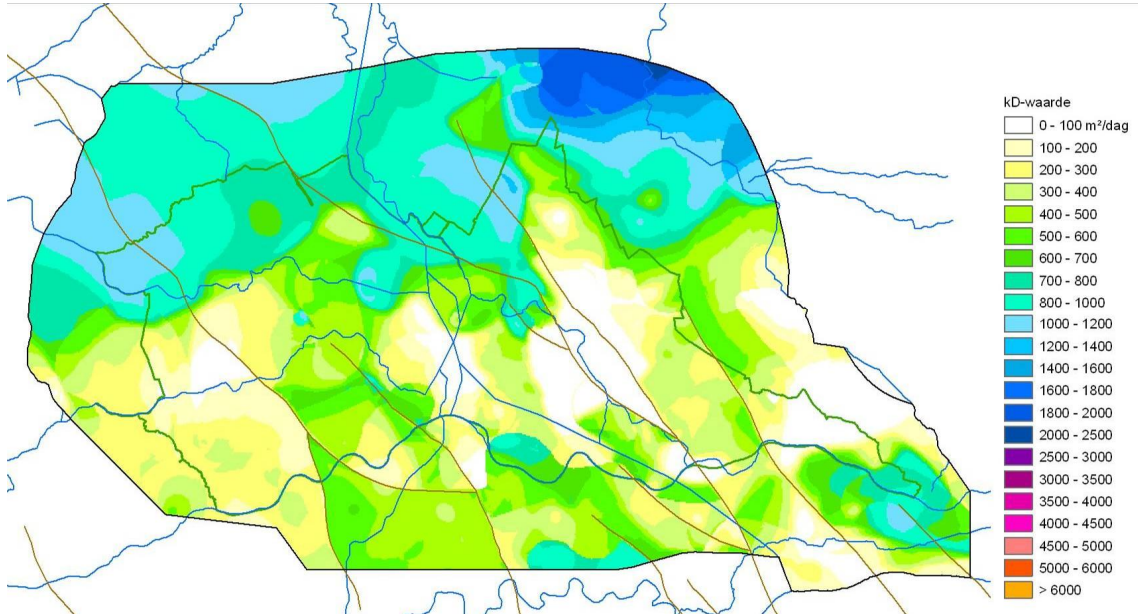
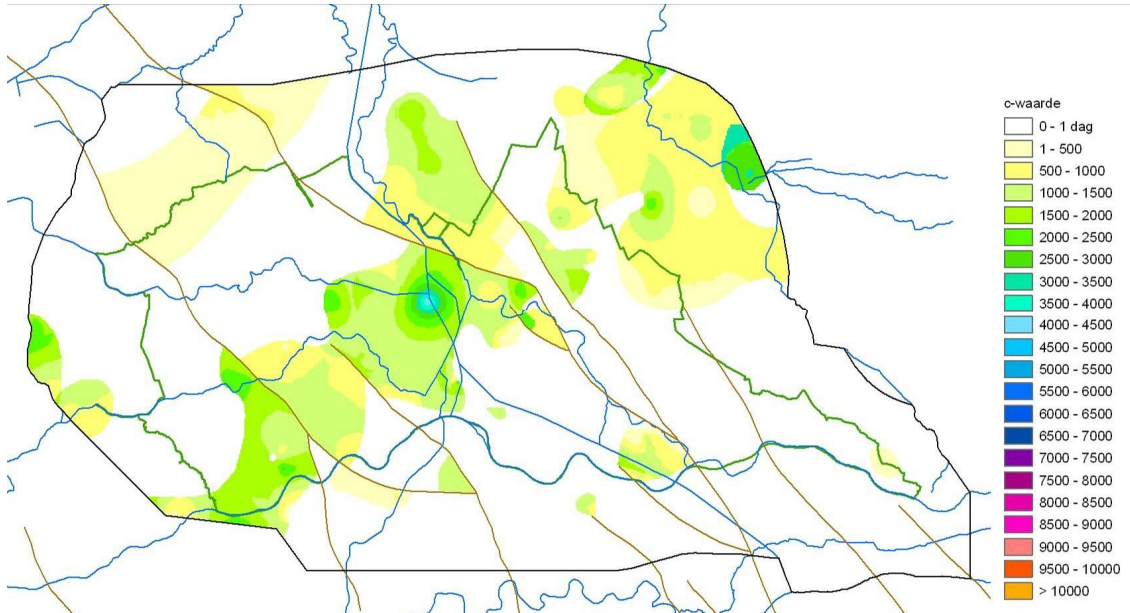
B.3.4 WVP3 en scheidende laag 4 (modellaag 4)

kD-waarde*c-waarde*

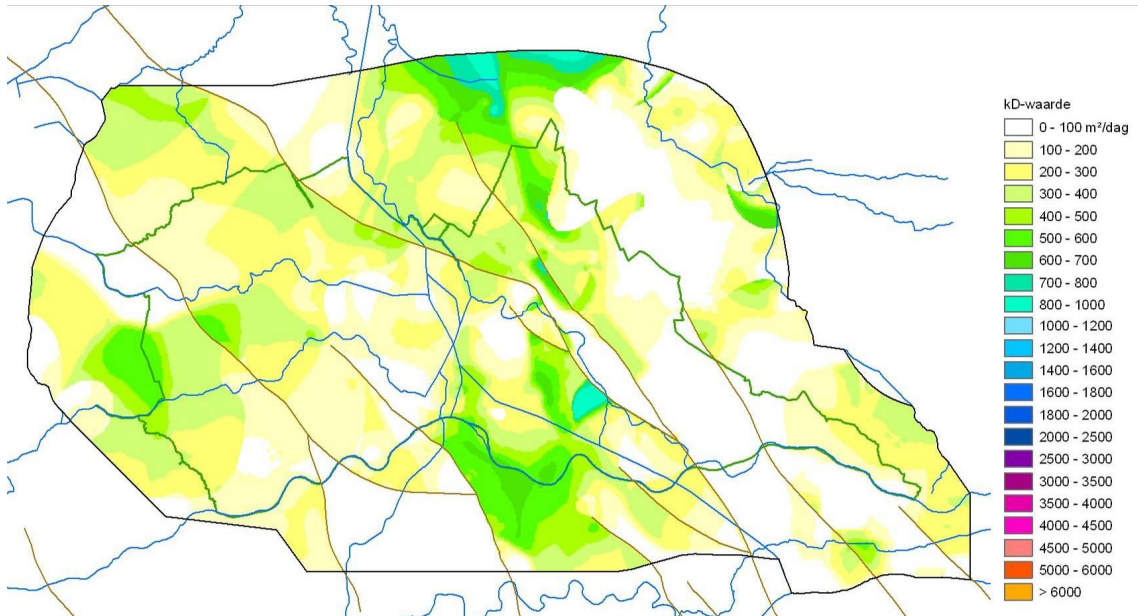
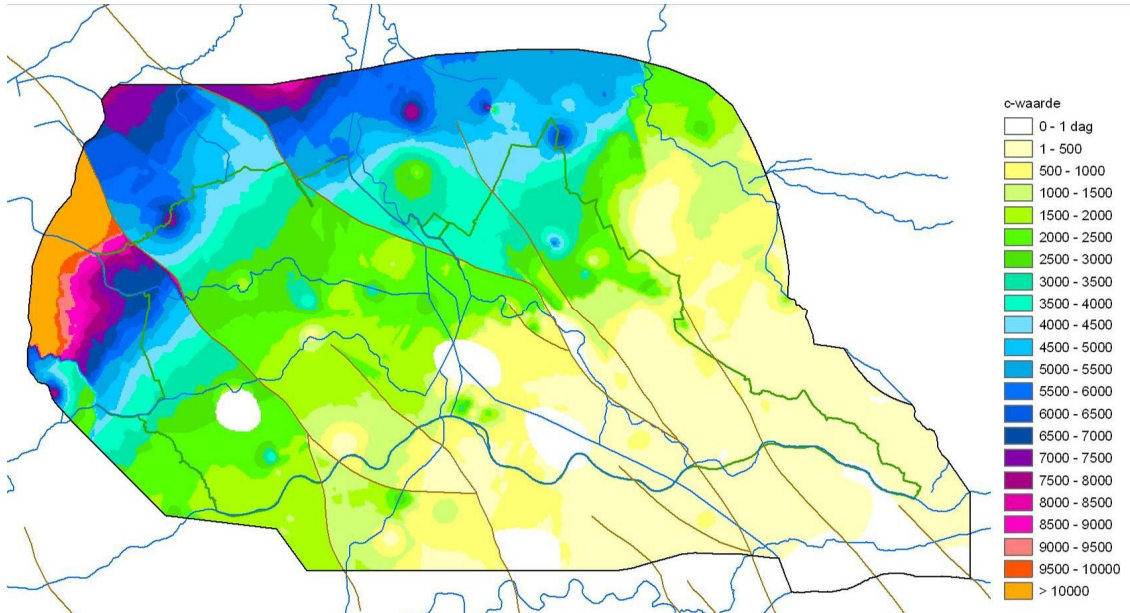
B.3.5 WVP4 en scheidende laag 5 (modellaag 5)

kD-waarde*c-waarde*

B.3.6 WVP5 en scheidende laag 6 (modellaag 6)

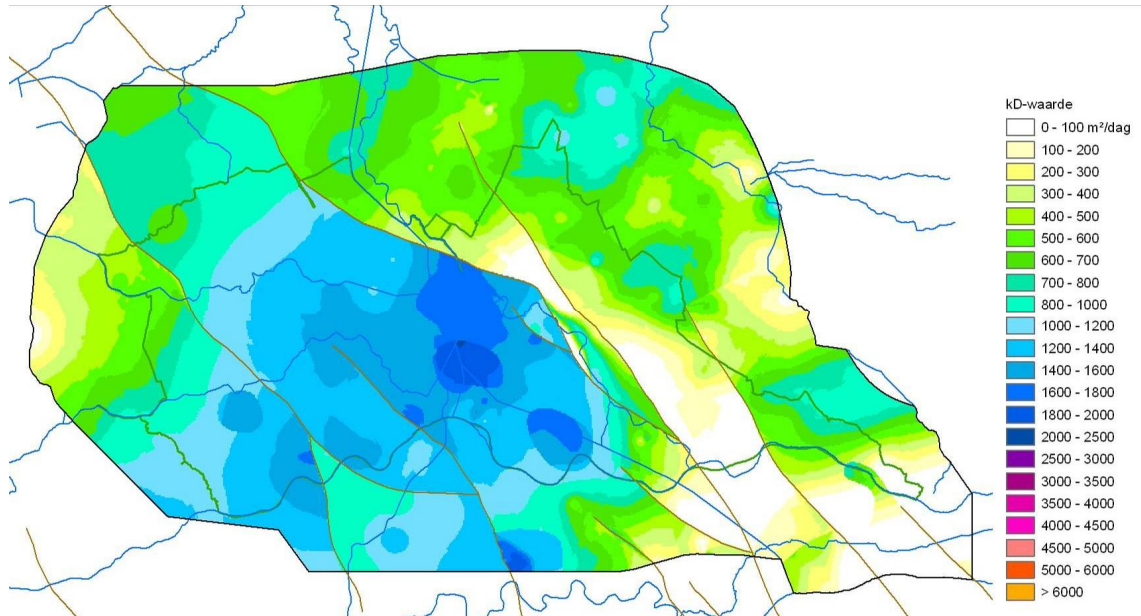
kD-waarde*c-waarde*

B.3.7 WVP6 en scheidende laag 7 (modellaag 7)

kD-waarde*c-waarde*

B.3.8 WVP7 (modellaag 8)

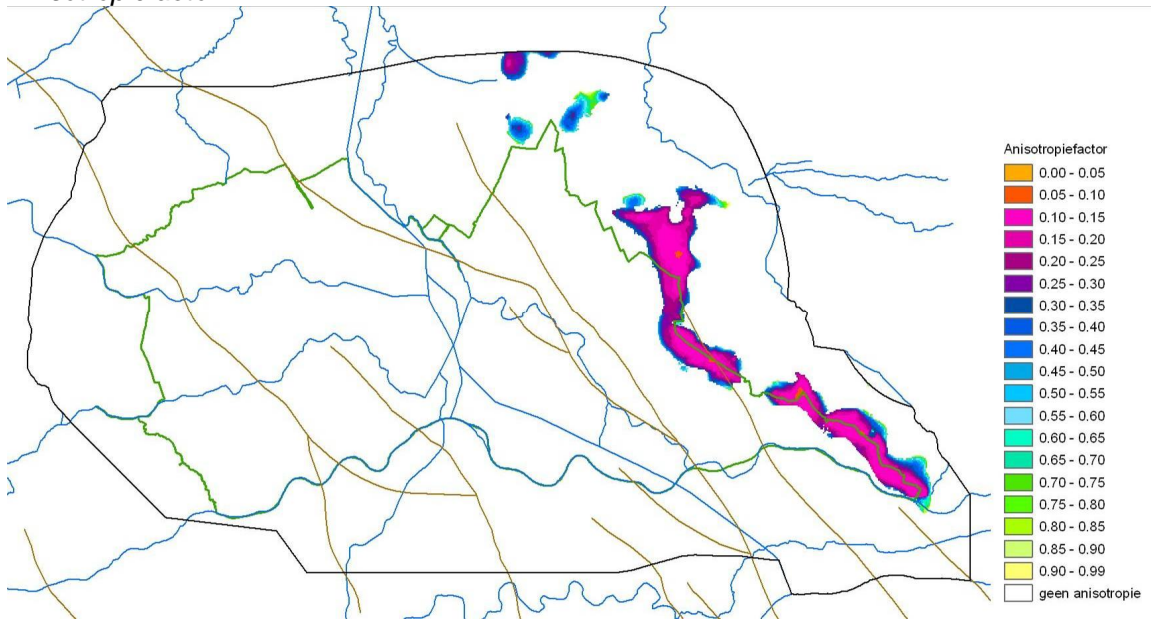
kD-waarde



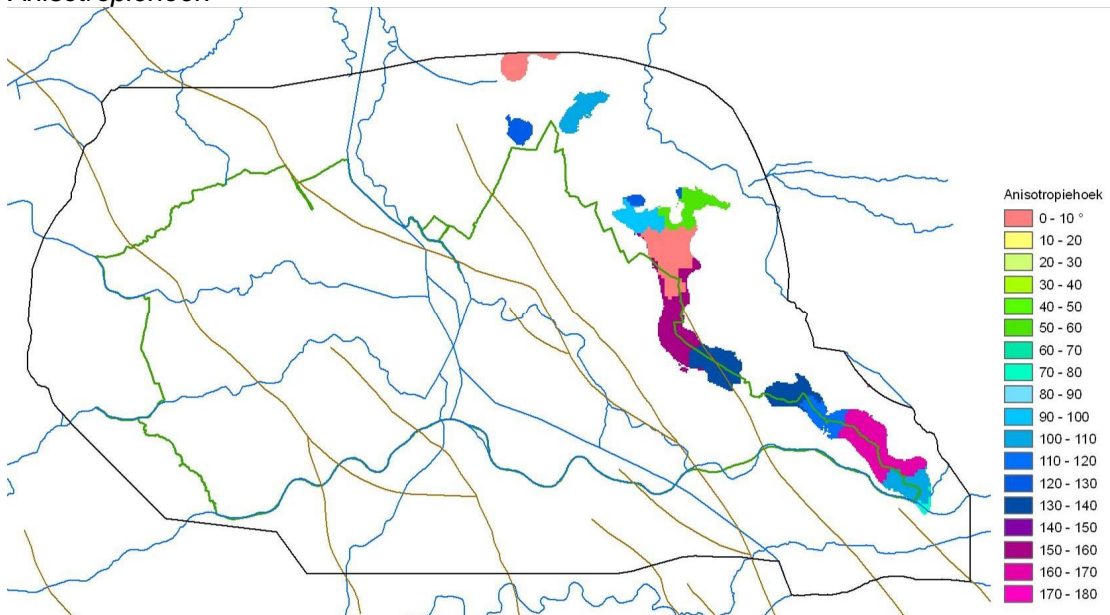
B.4 Anisotropiefactor en -richting

B.4.1 Modellaag 2

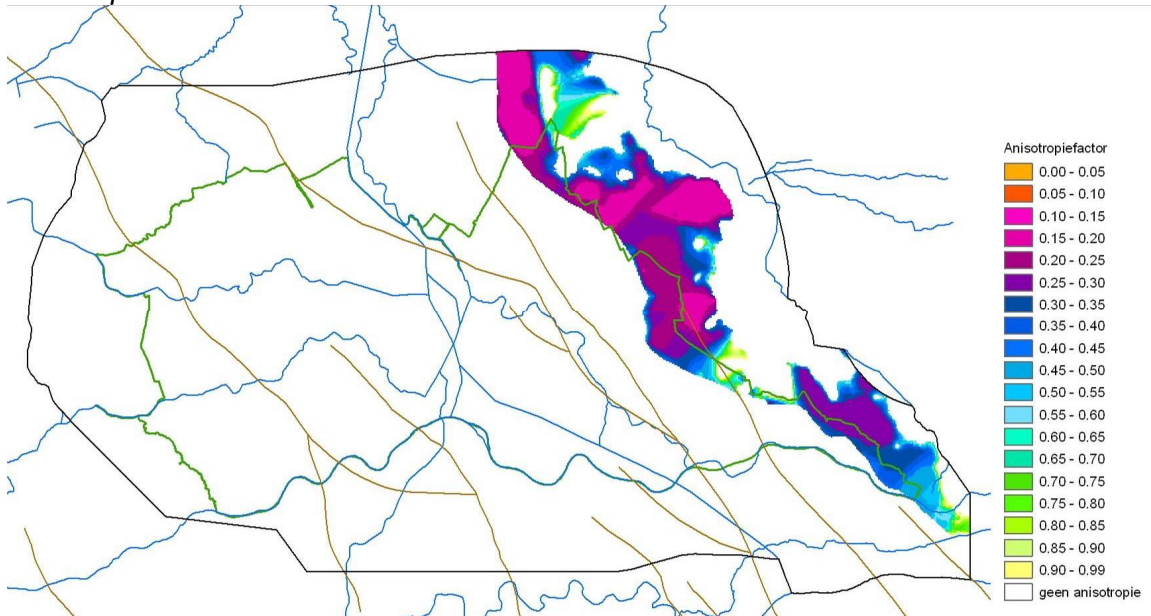
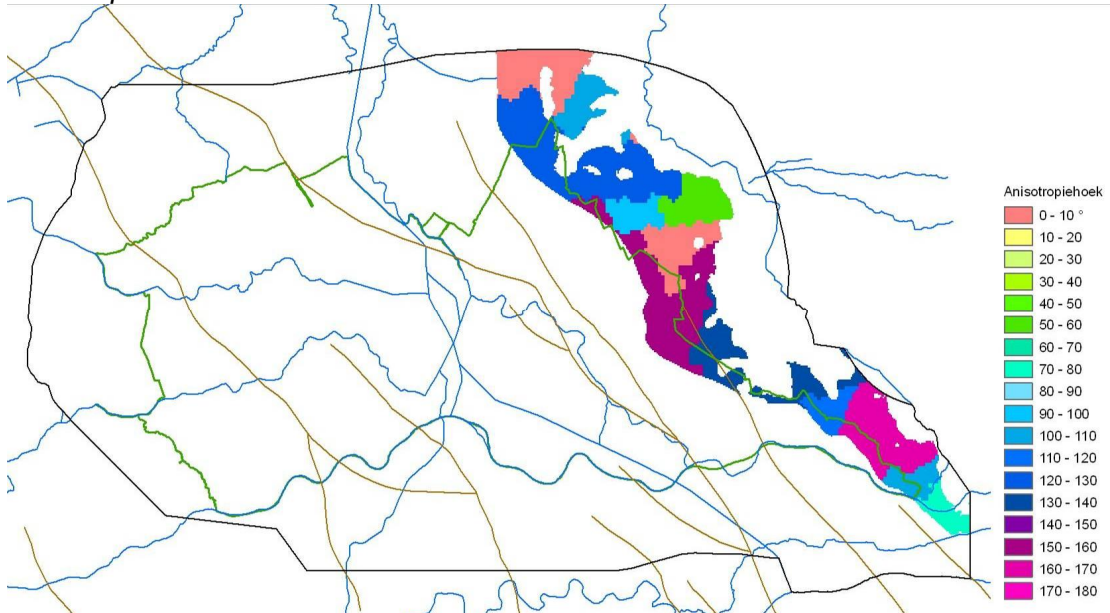
Anisotropiefactor



Anisotropiehoek

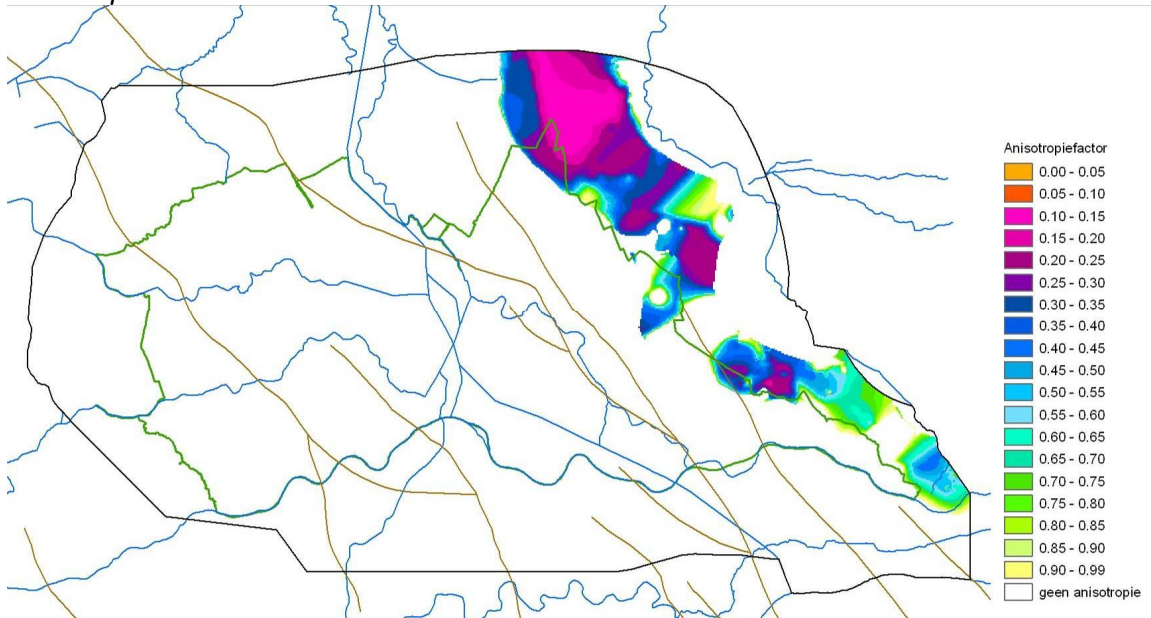


B.4.2 Modellaag 3

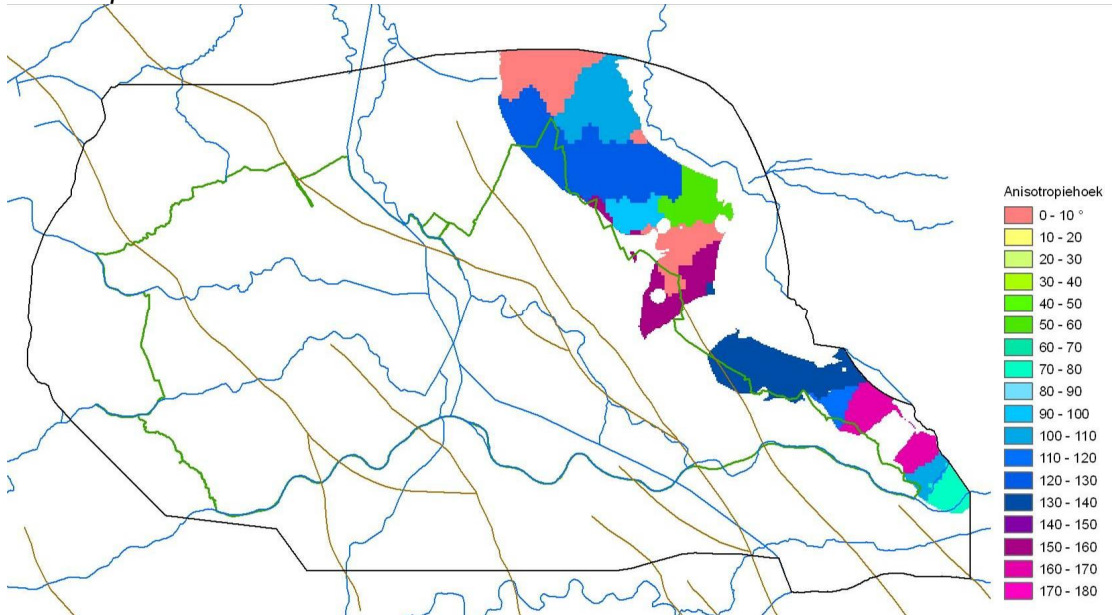
Anisotropiefactor*Anisotropiehoek*

B.4.3 Modellaag 4

Anisotropiefactor



Anisotropiehoek



C Puttenvelden pompstations en onttrekkingen op de modelrand

C.1 Puttenvelden pompstations (Vitens)

Pompstation	Put	X	Y	Bovenkant filter (m +NAP)	Onderkant filter (m +NAP)	Start	Eind
PS_Amersfoort_Berg	1	153848	461524	-3.93	-22.93	1986	heden
PS_Amersfoort_Berg	2	153841	461406	-7.37	-34.37	1966	heden
PS_Amersfoort_Berg	3	153699	461322	-8.41	-35.41	1966	heden
PS_Amersfoort_Berg	4	153599	461233	-8.91	-35.91	1966	heden
PS_Amersfoort_Berg	5	153474	461199	-13.23	-40.23	1966	heden
PS_Amersfoort_Berg	6	153343	461191	-9.78	-36.78	1966	heden
PS_Amersfoort_Berg	7	153207	461181	-8.74	-36.74	1958	heden
PS_Amersfoort_Berg	8	153636	461408	-9.02	-38.02	1966	heden
PS_Amersfoort_Berg	9	153553	461528	-14.86	-42.86	1966	heden
PS_Amersfoort_Berg	10	153698	461555	-10.83	-38.83	1966	heden
PS_Beerschoten	1	142600	458400	-48.87	-68.87	1957	heden
PS_Beerschoten	2	142600	458400	-51.87	-71.87	1961	heden
PS_Beerschoten	3	142600	458400	-51.87	-71.87	1961	heden
PS_Beerschoten	4	142600	458400	-51.87	-71.87	1961	heden
PS_Beerschoten	5	142600	458400	-54.87	-74.87	1961	heden
PS_Beerschoten	6	142600	458400	-56.87	-76.87	1961	heden
PS_Beerschoten	7	142600	458400	-150.87	-175.87	1966	heden
PS_Beerschoten	8	142600	458400	-156.87	-175.87	1973	heden
PS_Beerschoten	9	142600	458400	-157.87	-176.87	1973	heden
PS_Beerschoten	10	142600	458400	-158.87	-177.87	1973	heden
PS_Beerschoten	11	142600	458400	-156.87	-177.87	1973	heden
PS_Beerschoten	12	142600	458400	-155.87	-177.87	1973	heden
PS_Beerschoten	13	142600	458400	-153.87	-173.87	1973	heden
PS_Beerschoten	14	142600	458400	-157.87	-178.87	1974	heden
PS_Beerschoten	15	142600	458400	-50.87	-98.87	1974	heden
PS_Beerschoten	16	142600	458400	-154.87	-177.87	1974	heden
PS_Beerschoten	17	142600	458400	-85.37	-102.37	1987	heden
PS_Beerschoten	18	142600	458400	-84.37	-103.37	1987	heden
PS_Beerschoten	19	142600	458400	-81.87	-95.87	1992	heden
PS_Bilthoven	1	143534	460340	-20.01	-45.01	1962	heden
PS_Bilthoven	2	143582	460366	-18	-58	1967	heden
PS_Bilthoven	3	143456	460464	-80.52	-95.52	1971	heden
PS_Bilthoven	4	143610	460434	-26.02	-55.02	1974	heden
PS_Bilthoven	5	143655	460473	-25.91	-54.91	1974	heden
PS_Bunnik	1	141600	452400	-75.55	-99.55	1960	1975
PS_Bunnik	2	141535	452426	-82.28	-139.28	1962	1996
PS_Bunnik	3	141542	452383	-72.6	-139.6	1962	1997
PS_Bunnik	4	141551	452335	-79.75	-99.75	1970	1997
PS_Bunnik	5	141527	452450	-75.06	-100.06	1975	heden
PS_Bunnik	6	141579	452474	-81.41	-139.41	1995	heden
PS_Bunnik	7	141586	452429	-90.41	-139.41	1995	heden
PS_Bunnik	8	141590	452385	-89.44	-139.44	1996	heden
PS_Bunnik	9	141596	452340	-85.66	-139.66	1996	heden
PS_Bunnik	10	141601	452296	-90.94	-139.94	1996	heden
PS_Bunnik	11	141588	452255	-91.91	-139.91	1996	heden
PS_Cothen	1	149400	444315	-62.9	-72.9	1970	1994
PS_Cothen	2	149443	444403	-56.21	-74.21	1973	heden
PS_Cothen	3	149507	444479	-62.08	-87.08	1978	heden
PS_Cothen	4	149561	444555	-59.87	-84.87	1980	heden
PS_Cothen	5	149418	444318	-61.9	-98.9	1994	heden
PS_De_Meern	6	129878	455245	-94.32	-106.32	1969	1992
PS_De_Meern	7	129885	455300	-92.4	-110.4	1973	2000
PS_De_Meern	8	129818	455201	-97.26	-116.26	1973	heden
PS_De_Meern	9	129825	455260	-94.48	-114.48	1973	heden
PS_De_Meern	10	129804	455127	-99.25	-123.25	1991	2000

Pompstation	Put	X	Y	Bovenkant filter (m +NAP)	Onderkant filter (m +NAP)	Start	Eind
PS_De_Meern	11	129811	455142	-104.25	-123.25	1999	heden
PS_De_Meern	12	129932	455247	-94.73	-114.73	1999	heden
PS_Driebergen	1	149335	452450	-34.35	-54.35	1962	1992
PS_Driebergen	2	149439	452485	-39.03	-50.03	1972	heden
PS_Driebergen	3	149556	452479	-141.2	-165.2	1972	heden
PS_Driebergen	4	149538	452514	-57.01	-77.01	1972	heden
PS_Driebergen	5	149557	452489	-38.2	-49.2	1973	heden
PS_Driebergen	6	149334	452429	-46.43	-71.43	1992	heden
PS_Eemdijk	1	153064	475064	-104.77	-128.77	1998	heden
PS_Eemdijk	2	153007	475659	-114.55	-138.55	1998	heden
PS_Eemdijk	3	152944	475711	-115.48	-139.48	1998	heden
PS_Eemdijk	4	152816	475652	-115.45	-139.45	1998	heden
PS_Eemdijk	5	152902	475583	-115.4	-139.4	1998	heden
PS_Eemdijk	6	153128	475411	-114.92	-138.92	1998	heden
PS_Eemdijk	7	153186	475368	-110.84	-134.84	1998	heden
PS_Eemdijk	8	153231	475453	-107.71	-131.71	1998	heden
PS_Groenekan	1	137847	459991	-73.87	-114.87	1959	heden
PS_Groenekan	2	137886	460083	-71.25	-114.25	1962	heden
PS_Groenekan	3	137922	460176	-71.39	-114.39	1962	heden
PS_Groenekan	4	137966	460269	-64.6	-111.6	1967	heden
PS_Groenekan	5	138005	460361	-66.58	-111.58	1967	heden
PS_Groenekan	6	138037	460456	-60.53	-90.53	1968	heden
PS_Groenekan	7	138073	460546	-60.52	-87.52	1968	heden
PS_Groenekan	8	138114	460639	-61.44	-91.44	1968	1993
PS_Groenekan	9	138152	460733	-61.65	-91.65	1968	1993
PS_Groenekan	10	138058	460604	-59.52	-86.52	1972	heden
PS_Groenekan	11	138098	460695	-79.66	-109.66	1971	heden
PS_Groenekan	12	138139	460787	-91.55	-112.55	1971	heden
PS_Groenekan	13	137812	460065	-70.28	-107.28	1971	heden
PS_Groenekan	14	137854	460154	-74.61	-103.61	1972	heden
PS_Groenekan	15	137893	460239	-76.69	-110.69	1972	heden
PS_Groenekan	16	137933	460330	-69.54	-90.54	1971	heden
PS_Groenekan	17	137972	460409	-80.59	-101.59	1972	heden
PS_Groenekan	18	138005	460493	-56.59	-82.09	1971	heden
PS_Groenekan	19	138107	460670	-14.44	-27.44	1981	1981
PS_Leersum	1	158690	446596	-33.89	-53.89	1965	1993
PS_Leersum	2	158721	446634	-35.64	-53.64	1965	heden
PS_Leersum	3	158751	446676	-32.26	-55.26	1965	heden
PS_Leersum	4	158783	446706	-33.98	-56.98	1970	heden
PS_Leersum	5	159029	446953	-24.95	-48.45	1983	1988
PS_Leersum	6	158687	446589	-34.89	-53.89	1991	heden
PS_Linschoten	1	125700	453100	-71.79	-90.79	1961	1971
PS_Linschoten	2	125657	453142	-85.77	-133.77	1963	1971
PS_Linschoten	3	125547	452649	-12.36	-31.36	1973	1998
PS_Linschoten	4	125533	452631	-75.36	-98.36	1971	heden
PS_Linschoten	5	125528	452680	-77.65	-99.65	1971	heden
PS_Linschoten	6	125525	452718	-78.8	-98.8	1971	heden
PS_Linschoten	7	125519	452761	-77.76	-99.76	1971	1997
PS_Linschoten	8	125513	452818	-78.9	-100.9	1971	heden
PS_Linschoten	9	125507	452876	-80.88	-126.88	1971	heden
PS_Linschoten	10	125502	452915	-82.84	-124.84	1971	heden
PS_Linschoten	11	125496	452981	-85.92	-125.92	1971	1997
PS_Linschoten	12	125490	453030	-85.96	-106.96	1966	1991
PS_Linschoten	13	125486	453079	-82.99	-111.99	1967	1991
PS_Linschoten	14	125496	453169	-86.92	-129.92	1966	1991
PS_Linschoten	15	125500	453228	-94.1	-124.1	1971	1991
PS_Linschoten	16	125489	453256	-83.02	-126.02	1966	1992
PS_Linschoten	17	125487	453296	-82.98	-128.98	1966	1992
PS_Linschoten	18	125485	453339	-90.07	-133.07	1966	1992
PS_Linschoten	19	125479	453376	-88.11	-132.11	1967	1992
PS_Linschoten	20	125490	453038	-88.96	-132.96	1991	heden
PS_Linschoten	21	125482	453087	-91.99	-132.99	1991	heden
PS_Linschoten	22	125499	453176	-94.85	-132.85	1991	heden
PS_Linschoten	23	125496	453224	-114.98	-133.98	1991	heden
PS_Linschoten	24	125494	453285	-82.98	-130.98	1992	heden

Pompstation	Put	X	Y	Bovenkant filter (m +NAP)	Onderkant filter (m +NAP)	Start	Eind
PS_Linschoten	25	125492	453326	-83.07	-131.07	1992	heden
PS_Linschoten	26	125489	453366	-86.11	-136.11	1992	heden
PS_Linschoten	27	125487	453406	-85.12	-129.12	1992	heden
PS_Linschoten	31	125519	452761	-96.76	-132.76	1997	heden
PS_Linschoten	35	125496	452974	-90.87	-131.87	1997	heden
PS_Lopik	5	122754	443099	-74	-94	1994	heden
PS_Lopik	6	122738	443143	-76.99	-92.99	1994	heden
PS_Lopik	7	122785	443054	-75.95	-92.45	2000	heden
PS_Montfoort	5	124556	450695	-74.66	-89.16	1978	2001
PS_Montfoort	6	124597	450676	-70.48	-89.48	1978	2003
PS_Nieuwegein	5	135100	449800	-72.27	-103.27	1966	1994
PS_Nieuwegein	7	135100	449800	-62.27	-93.27	1960	1996
PS_Nieuwegein	10	135100	449800	-75.27	-105.27	1970	1994
PS_Nieuwegein	11	135100	449800	-66.27	-105.27	1963	1994
PS_Nieuwegein	14	135100	449800	-60.27	-105.27	1963	1994
PS_Nieuwegein	15	135100	449800	-77.27	-107.27	1963	1993
PS_Nieuwegein	16	133600	447434	-71.17	-107.17	1984	heden
PS_Nieuwegein	17	133650	447360	-76.43	-111.43	1980	heden
PS_Nieuwegein	18	133165	447772	-78.99	-102.99	1991	heden
PS_Nieuwegein	19	133234	447715	-84.8	-102.8	1993	heden
PS_Nieuwegein	20	133311	447665	-82.85	-101.85	1993	heden
PS_Nieuwegein	21	133395	447615	-82.66	-106.66	1993	heden
PS_Nieuwegein	22	133492	447502	-76.83	-100.83	1993	heden
PS_Rhenen	1	166934	442306	-35.88	-58.38	1953	2003
PS_Rhenen	2	166874	442385	-37.23	-58.73	1953	heden
PS_Rhenen	3	166808	442466	-33.49	-50.49	1953	heden
PS_Rhenen	4	166743	442542	-30.4	-45.4	1956	heden
PS_Rhenen	5	166683	442624	-23.7	-49.2	1969	heden
PS_Rhenen	6	166614	442700	-44.61	-70.11	1969	heden
PS_Rhenen	7	166628	442778	-42.04	-56.04	1977	heden
PS_Rhenen	8	166590	442874	-28.91	-48.91	1977	heden
PS_Rhenen	9	166553	442967	-25.58	-45.58	1977	heden
PS_Rhenen	10	166511	443076	-34.42	-49.42	1977	heden
PS_Soestduinen	1	149260	461819	-25.33	-45.33	1958	heden
PS_Soestduinen	2	149356	461815	-34.93	-54.93	1958	1981
PS_Soestduinen	3	149270	461740	-63.94	-83.44	1958	1981
PS_Soestduinen	4	149246	461444	-19.32	-39.32	1957	heden
PS_Soestduinen	5	149162	461433	-49.88	-69.88	1957	heden
PS_Soestduinen	6	149179	461548	-8.79	-18.79	1971	heden
PS_Soestduinen	7	149270	461270	-13.54	-23.54	1971	heden
PS_Soestduinen	8	149260	461559	-13.69	-23.69	1971	heden
PS_Soestduinen	9	149295	461559	-19.06	-29.06	1971	heden
PS_Soestduinen	10	149360	461563	-19.8	-29.8	1971	heden
PS_Soestduinen	11	149200	461700	-21.25	-31.25	1934	1981
PS_Soestduinen	12	148735	461700	-15.47	-30.97	1969	1992
PS_Soestduinen	13	149657	461763	-31.26	-53.26	1974	heden
PS_Soestduinen	14	149755	461757	-63.82	-83.82	1974	heden
PS_Soestduinen	15	149857	461751	-19.02	-38.02	1975	heden
PS_Soestduinen	16	149956	461748	-26.4	-46.4	1975	heden
PS_Soestduinen	17	150057	461742	-22.25	-46.25	1975	heden
PS_Soestduinen	18	150157	461739	-24.46	-39.46	1977	heden
PS_Soestduinen	19	149538	461772	-39.96	-59.96	1977	heden
PS_Soestduinen	20	148840	461695	-26.32	-30.32	1929	heden
PS_Soestduinen	21	149200	461700	-27.25	-35.25	1934	1969
PS_Soestduinen	22	148750	461715	-33.38	-41.38	1934	1969
PS_Soestduinen	23	148878	461454	1.54	-13.46	1976	heden
PS_Soestduinen	24	149226	461817	-12.22	-27.22	1978	heden
PS_Soestduinen	25	149255	461722	-12.28	-26.78	1978	heden
PS_Soestduinen	26	149309	461613	-12.46	-26.96	1978	heden
PS_Soestduinen	27	149365	461819	-26.93	-44.93	1981	heden
PS_Soestduinen	28	148975	461851	-11.15	-18.15	1989	1995
PS_Soestduinen	29	148910	461445	-12.34	-24.34	1934	1984
PS_Soestduinen	30	148730	461700	-23.97	-35.97	1934	1984
PS_Soestduinen	31	149275	461550	-24.06	-34.06	1932	1986
PS_Soestduinen	32	149571	461565	-26.19	-52.19	2001	heden

Pompstation	Put	X	Y	Bovenkant filter (m +NAP)	Onderkant filter (m +NAP)	Start	Eind
PS_Soestduinen	33	149674	461568	-13.72	-40.72	2001	heden
PS_Soestduinen	34	149768	461579	-16.16	-38.16	2001	heden
PS_Soestduinen	35	149872	461585	-15.33	-44.33	2001	heden
PS_Soestduinen	36	149963	461581	-14.79	-34.29	2001	heden
PS_Tull_en_t_Waal	1	137200	446400	-26.34	-34.84	1935	1977
PS_Tull_en_t_Waal	2	137200	446400	-26.34	-37.34	1935	1977
PS_Tull_en_t_Waal	3	137200	446400	-26.34	-34.34	1935	1977
PS_Tull_en_t_Waal	4	137200	446400	-25.84	-34.84	1935	1977
PS_Tull_en_t_Waal	5	137200	446400	-25.34	-37.34	1935	1977
PS_Tull_en_t_Waal	6	137200	446400	-22.84	-32.84	1946	1977
PS_Tull_en_t_Waal	7	137200	446400	-22.34	-34.34	1946	1977
PS_Tull_en_t_Waal	8	137200	446400	-25.34	-36.34	1946	1977
PS_Tull_en_t_Waal	9	137200	446400	-11.34	-38.34	1949	1977
PS_Tull_en_t_Waal	10	137200	446400	-13.34	-37.34	1949	1977
PS_Tull_en_t_Waal	11	137200	446400	-12.34	-38.34	1949	1977
PS_Tull_en_t_Waal	12	137200	446400	-9.34	-39.34	1949	1977
PS_Tull_en_t_Waal	13	137200	446400	-13.34	-34.34	1956	1977
PS_Tull_en_t_Waal	14	137200	446400	-12.84	-34.84	1956	1977
PS_Tull_en_t_Waal	15	137200	446400	-13.34	-34.84	1956	1977
PS_Tull_en_t_Waal	16	137200	446400	-95.34	-125.34	1960	1977
PS_Tull_en_t_Waal	17	137200	446400	-93.34	-119.34	1962	1977
PS_Tull_en_t_Waal	18	137279	446458	-98.66	-120.16	1962	1977
PS_Tull_en_t_Waal	19	137200	446400	-96.34	-122.34	1963	1977
PS_Tull_en_t_Waal	20	137163	446306	-120.28	-139.28	1972	heden
PS_Tull_en_t_Waal	21	137230	446325	-115.61	-139.61	1972	heden
PS_Tull_en_t_Waal	22	137264	446362	-127.65	-142.65	1972	heden
PS_Tull_en_t_Waal	23	137301	446402	-124.8	-141.8	1972	heden
PS_Tull_en_t_Waal	24	137244	446428	-127.4	-143.4	1977	heden
PS_Tull_en_t_Waal	25	137277	446465	-123.66	-142.66	1977	heden
PS_Tull_en_t_Waal	26	137311	446499	-88.84	-115.84	1977	heden
PS_Tull_en_t_Waal	27	137158	446264	-106.15	-164.15	1980	heden
PS_Tull_en_t_Waal	28	136997	446240	-133.19	-163.19	1980	heden
PS_Tull_en_t_Waal	29	137117	446227	-102.62	-141.12	1992	heden
PS_Tull_en_t_Waal	30	137036	446275	-100.35	-140.35	1993	heden
PS_Tull_en_t_Waal	31	136991	446179	-83.02	-142.02	1993	heden
PS_Tull_en_t_Waal	32	137200	446400	-15.34	-19.84	1998	heden
PS_Veenendaal	1	165900	448400	-64.22	-88.72	1937	1977
PS_Veenendaal	2	165900	448400	-82.22	-114.22	1964	1977
PS_Veenendaal	3	165900	448400	-83.22	-115.72	1964	1977
PS_Veenendaal	4	165900	448400	-88.72	-113.22	1968	1977
PS_Veenendaal	5	165900	448400	-106.22	-116.22	1948	1977
PS_Veenendaal	6	165900	448400	-85.22	-113.22	1957	1977
PS_Veenendaal	7	165900	448400	-85.22	-113.22	1957	heden
PS_Veenendaal	8	165900	448400	-37.22	-69.22	1971	1990
PS_Veenendaal	9	165900	448400	-44.22	-72.72	1971	1987
PS_Veenendaal	10	165900	448400	-41.72	-72.22	1971	1990
PS_Veenendaal	11	165900	448400	-39.22	-70.72	1971	1990
PS_Veenendaal	12	165900	448400	-41.22	-70.72	1971	heden
PS_Veenendaal	13	165900	448400	-86.22	-111.22	1977	heden
PS_Veenendaal	14	165900	448400	-86.22	-101.22	1977	heden
PS_Veenendaal	15	165900	448400	-89.22	-115.22	1987	heden
PS_Veenendaal	16	165900	448400	-90.22	-113.22	1987	heden
PS_Veenendaal	17	165900	448400	-91.72	-114.22	1990	heden
PS_Veenendaal	18	165900	448400	-90.22	-114.22	1990	heden
PS_Veenendaal	19	165900	448400	-91.22	-116.22	1990	heden
PS_Veenendaal	20	165900	448400	-7.72	-15.72	1930	1937
PS_Veenendaal	21	165900	448400	-7.72	-15.72	1930	1964
PS_Woudenberg	1	159797	454678	-50.83	-79.83	1968	1999
PS_Woudenberg	2	159857	454680	-57.39	-78.39	1971	1999
PS_Woudenberg	3	159891	454650	-60.34	-90.84	1972	heden
PS_Woudenberg	4	159937	454602	-62.36	-86.86	1972	heden
PS_Woudenberg	5	159750	454670	-59.11	-78.11	1989	heden
PS_Woudenberg	6	159702	454593	-52.75	-71.75	1998	heden
PS_Woudenberg	7	159672	454508	-58.85	-78.35	1998	heden
PS_Zeist	1	145434	456662	-53.79	-60.79	1964	1988

Pompstation	Put	X	Y	Bovenkant filter (m +NAP)	Onderkant filter (m +NAP)	Start	Eind
PS_Zeist	2	145367	456766	-53.85	-63.85	1964	1988
PS_Zeist	3	145429	456752	-57.6	-67.6	1964	heden
PS_Zeist	4	145462	456701	-58.72	-68.72	1970	heden
PS_Zeist	5	145396	456714	-58.73	-69.73	1970	heden
PS_Zeist	6	145382	456615	-56.74	-68.74	1968	heden
PS_Zeist	7	145325	456625	-56.86	-68.86	1969	heden
PS_Zeist	8	145332	456573	-56.73	-68.73	1968	heden
PS_Zeist	9	145285	456570	-55.89	-67.89	1968	heden
PS_Zeist	10	145257	456617	-57.26	-69.26	1968	heden
PS_Zeist	11	145270	456669	-56.43	-68.43	1969	heden
PS_Zeist	12	145315	456695	-57.21	-69.21	1969	heden
PS_Zeist	13	145355	456669	-57.82	-69.82	1969	heden
PS_Zeist	14	145372	456781	-51.83	-63.83	1988	heden
PS_Zeist	15	145419	456659	-53.78	-67.78	1988	heden

C.2 Onttrekkingen op de modelrand

Aanpassing debiet van onttrekkingen op de modelrand

Provincie	Onttrekking	Debiet [m3/jaar]	Aangepast debiet [m3/jaar]
Utrecht	Pompstation Veenendaal	3060482.25	0.5*Debiet
Noord-Holland	Pompstation Laren	5452441	0.5*Debiet
Noord-Holland	Waterleidingbedrijf Midden Nederland	773371	0.5*Debiet
Gelderland	38120071	311275.3	0.5*Debiet
Zuid-Holland	Uniqema B	227550.75	0.5*Debiet
Zuid-Holland	Uniqema B	359771.25	0.5*Debiet
Zuid-Holland	Uniqema B	359771.25	0.5*Debiet
Zuid-Holland	Uniqema B	120897.75	0.5*Debiet
Zuid-Holland	Uniqema B	120897.75	0.5*Debiet
Zuid-Holland	Pompstation Rodenhuis	15347.105	0.33*Debiet
Zuid-Holland	Pompstation Rodenhuis	15347.105	0.33*Debiet
Zuid-Holland	Pompstation De Steeg	-65.633	0.66*Debiet
Zuid-Holland	Pompstation De Steeg	-65.633	0.66*Debiet
Zuid-Holland	Pompstation De Steeg	-2264.34	0.66*Debiet
Zuid-Holland	Pompstation De Steeg	-2264.34	0.66*Debiet
Zuid-Holland	Pompstation De Steeg	-4972.135	0.66*Debiet
Utrecht	Pompstation Hogeweg	4007117.5	0.5*Debiet

D Opschaling zonder verlies van kwaliteit

Correct opschalen is niet eenvoudigweg het middelen van parameterwaarden. Iedere parametersoort vraagt zijn eigen opschalingsprocedure:

D.1 Ondergrondparameters (kD- en c-waarden)

Vanwege hun sterk scheve verdeling kunnen kD- en c-waarden niet simpelweg worden gemiddeld. Het is gebleken dat een log-transformatie een beter resultaat geeft: de log-getransformeerde waarden worden gemiddeld en het gevonden gemiddelde wordt teruggetransformeerd. Zo wordt het karakter van deze ondergrondparameters beter bewaard.

D.2 Peilen en stijghoogtemetingen

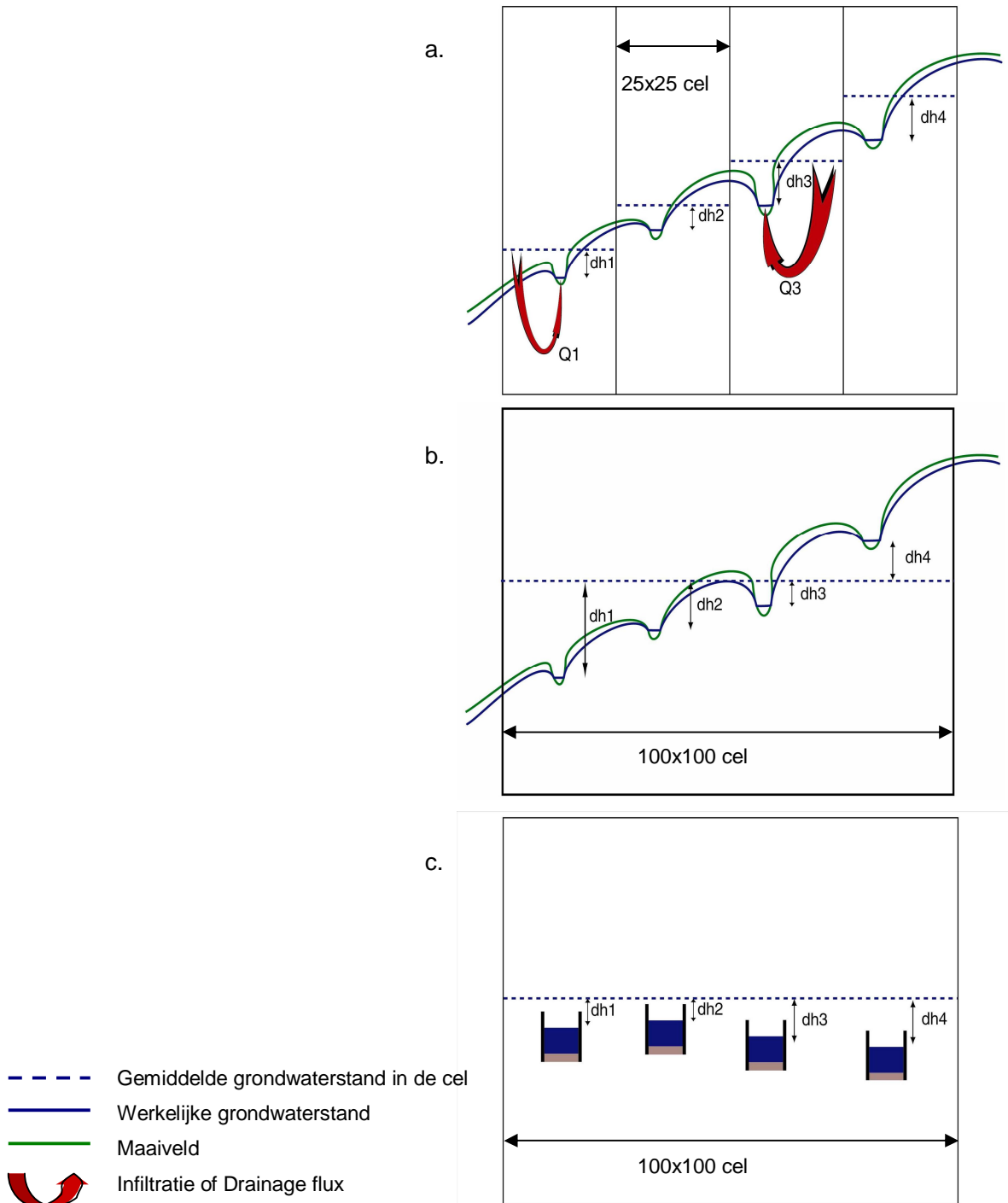
Peilen moeten zo opgeschaald worden dat het niet-lineaire karakter van het oppervlaktewatersysteem behouden blijft.

In een werkelijke situatie bepaalt het verschil tussen waterloopeil en de lokale grondwaterstand (dH) de richting en grootte van de waterlopenflux (Figuur D.1a).

In een grofschalig model waarbij geen rekening is gehouden met het niet-lineaire karakter zal de waterloopflux niet goed berekend worden, omdat dH bepaald wordt uit de gemiddelde berekende grondwaterstand in de cel en het betreffende ingebrachte waterloopeil. In de relatief laagliggende delen binnen de cel zal een te grote drainageflux worden berekend, terwijl voor de relatief hoogliggende delen van de cel juist een infiltratieflux zal worden berekend (Figuur D.1b).

Met niet-lineaire opschaling wordt in plaats van de absolute waterloopeilen, het verschil tussen grondwaterstand en waterloopeil gebruikt. Deze worden 'opgehangen' aan het gemiddelde grondwaterstand de grove cel om de peilen relatief op het goede niveau binnen de cel te krijgen. Hierdoor krijgen de waterloopfluxen eenzelfde grootte en richting voor en na opschaling (Figuur D.1c).

Voor grondwaterstand- en stijghoogtemetingen geldt dezelfde opschalingstechniek.



Figuur D.1 Opschaling van peilen van waterlopen in 25x25 m cellen naar 100x100 m cellen. dh: verschil tussen grondwaterstand en waterlooppeil.

E Overzicht gebruikte meetreeksen bij de kalibratie

In de tabel hieronder is naast de modellaag die gehanteerd is voor de kalibratie ook aangegeven (bij modellaag 2 en 3) of het meetpunt in WVP1 of WVP2 ligt. In de ballenkaarten in Bijlage H.2 is deze laatste indeling gebruikt.

Daarnaast is ook de modellaagindeling gegeven van het oorspronkelijke 7-laags model, dus vóór de uitbreiding van het aantal lagen van 7 naar 8 (zie Bijlage H.1).

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
31CP019001	106980	457550	-3.15	1		1
31DP006901	118994	456692	-4.04	1		1
31DP007101	118785	456587	-4.35	1		1
31DP007501	118847	456310	-4.1	1		1
31DP007701	116190	458048	-4.76	1		1
31DP011501	118414	456259	-2.97	1		1
31DP011601	117277	456150	-2.98	1		1
31DP011701	114859	456098	-3.29	1		1
31DP011801	118126	457377	-3.21	1		1
31DP012301	111470	462320	-7.72	1		1
31DP012501	110340	457935	-4.35	1		1
31DP700101	115560	460900	-3.1	1		1
31DP700301	115585	460930	-3.13	1		1
31DP700401	115610	460960	-3.19	1		1
31DP700501	115630	460975	-3.4	1		1
31EP016001	124380	468020	-4.35	1		1
31EP700401	124300	465630	-3.47	1		1
31GP012501	125620	454510	-2.55	1		1
31GP014001	127450	460520	-2.49	1		1
31GS002001	121470	452950	-999	1		1
31GS002201	121770	452050	-999	1		1
31HP060301	133500	460060	-2.96	1		1
32DP013701	156000	457360	-0.08	1		1
355_1_utr	133672	458080	-6.14	1		1
38AP025501	107950	449560	-4.75	1		1
38AP025701	109670	446110	-4.34	1		1
38AP025702	109670	446110	-9.46	1		1
38BP017001	115090	442080	-3.94	1		1
38BP017101	113270	449320	-3.83	1		1
38BP017201	113490	445190	-3.14	1		1
38BP017401	117660	441700	-3.26	1		1
38BP017402	117660	441700	-9.23	1		1
38BS700101	113210	448370	-999	1		1
38EP008901	129840	446690	-2.7	1		1
38EP012601	129838	439965	-0.85	1		1
38EP012701	127435	441171	-1.05	1		1
38FP004001	132790	447910	-3.16	1		1
38FP030101	137020	444410	-2.4	1		1
38FP030401	134854	442391	-8.6	1		1
38FP051001	133657	440771	-6.5	1		1
38FP053301	130581	441954	-0.5	1		1
38FP053401	130643	443331	0	1		1
38FP053501	133233	439867	-0.63	1		1
38FP053601	132584	441252	-1.2	1		1
38FP053801	130895	441034	-0.8	1		1
38FP053901	130708	441510	-0.65	1		1
38FP054001	130817	441003	-1.2	1		1
38FP054201	138000	440180	-8.11	1		1
38GP031901	129651	437210	-1.25	1		1
39AP003101	144580	442580	-4.02	1		1
39AP003901	144600	442260	-2.1	1		1
39AP004301	142080	441000	-6.43	1		1
39AP007501	144180	441600	1.63	1		1
39AP007502	144180	441600	-5.57	1		1
39AP018101	148110	442880	-3.91	1		1
39AP023601	144320	439900	-2.1	1		1
39AP025501	144190	439820	-1.58	1		1
39BP007301	159180	439660	2.21	1		1
39BP029901	159740	444040	-3.11	1		1
39BP033901	155630	440100	0.93	1		1
39BP700501	159377	444858	4.87	1		1
39BS700701	159297	445175	-999	1		1
39BS702601	159705	444894	-999	1		1
39EP001801	169880	439280	1.61	1		1
39EP760301	160780	445490	5.15	1		1
39EP760302	160780	445490	3.94	1		1
39EP760601	160490	444975	5.28	1		1

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
39FP760501	170585	440315	4	1		1
39FP760701	170110	439920	5.76	1		1
39FP760802	170420	439675	4.2	1		1
39FP760902	170690	440140	3.36	1		1
39FS761301	170520	440200	-999	1		1
39FS761401	170240	440690	-999	1		1
39FS761501	170260	440715	-999	1		1
39GP007301	161950	435720	2.87	1		1
203_1_utr	136381	456986	-4.61	2	WVP1	2
204_1_utr	136159	456640	-4.32	2	WVP1	2
212_1_utr	137429	455985	-4.16	2	WVP1	2
216_1_utr	137410	455574	-3.42	2	WVP1	2
220_1_utr	135689	454304	-4.77	2	WVP1	2
221_1_utr	135823	453255	-4.72	2	WVP1	2
243_1_utr	135066	455292	-4.91	2	WVP1	2
261_1_utr	139678	455087	-4.19	2	WVP1	2
262_1_utr	135458	459361	-4.94	2	WVP1	2
269_1_utr	139121	455383	-4.44	2	WVP1	2
279_1_utr	138377	455358	-4.34	2	WVP1	2
281_1_utr	139785	455627	-4.25	2	WVP1	2
302_1_utr	134365	456319	-4.75	2	WVP1	2
306_1_utr	135729	455497	-4.01	2	WVP1	2
312_1_utr	134435	456945	-4.98	2	WVP1	2
31FP006201	138810	469610	-8.63	2	WVP1	2
31FP006301	139570	468820	-6.2	2	WVP1	2
31FP006501	139915	469965	-8.43	2	WVP1	2
31FP006601	138915	466965	-8.87	2	WVP1	2
31FP028201	138920	468380	-8.64	2	WVP1	2
31FP028301	139240	468280	-5.56	2	WVP1	2
31FP031801	137620	467660	-7.14	2	WVP1	2
31FP032201	135530	469780	-4.75	2	WVP1	2
31FP032401	137980	467770	-1.52	2	WVP1	2
31FP032402	137980	467770	-8.02	2	WVP1	2
31GP013901	127630	456410	-1.89	2	WVP1	2
31GP020201	125610	451980	-4.08	2	WVP1	2
31GP020202	125610	451980	-9.33	2	WVP1	2
31HP002301	136360	456990	-2.69	2	WVP1	2
31HP004401	137410	455950	-2.83	2	WVP1	2
31HP005001	135530	454250	-2.95	2	WVP1	2
31HP005401	135780	453030	-4.19	2	WVP1	2
31HP006301	137440	454200	-6.25	2	WVP1	2
31HP007401	138180	460810	-1.74	2	WVP1	2
31HP007501	137990	460330	-1.53	2	WVP1	2
31HP008101	131060	459050	-2.96	2	WVP1	2
31HP008102	131060	459050	-8.86	2	WVP1	2
31HP056801	131400	457240	-8.09	2	WVP1	2
31HP057001	132380	456900	-7.84	2	WVP1	2
31HP058501	130700	451500	-11.22	2	WVP1	2
31HP058601	130200	451280	-8.39	2	WVP1	2
31HP059301	139150	462440	-6.12	2	WVP1	2
31HP064501	138080	460610	-1.99	2	WVP1	2
31HP066601	138920	457210	-0.5	2	WVP1	2
32AP007701	148200	463400	-1.31	2	WVP1	2
32AP008501	141240	470520	-5.76	2	WVP1	2
32AP008801	141880	469000	-8.32	2	WVP1	2
32AP009301	141406	469469	-8.34	2	WVP1	2
32AP009401	148490	468540	-1.42	2	WVP1	2
32AP010901	144620	468545	-3.37	2	WVP1	2
32AP012601	141107	467039	-2.6	2	WVP1	2
32AP038601	146670	469230	-5.43	2	WVP1	2
32AP041301	149300	464160	-1.5	2	WVP1	2
32AP041701	145815	467150	-3.59	2	WVP1	2
32AP041801	148230	465700	-1.55	2	WVP1	2
32AP043901	145480	463030	-5.05	2	WVP1	2
32AP044201	140150	464210	-3.28	2	WVP1	2
32AP700001	144860	465850	0.42	2	WVP1	2
32AP700301	145180	465850	1.33	2	WVP1	2

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
32AP700401	145050	465785	2.51	2	WVP1	2
32BP000401	150050	468450	-8.65	2	WVP1	2
32BP010601	153520	464260	-5.98	2	WVP1	2
32BP011001	153030	464620	-3.87	2	WVP1	2
32BP011801	152200	464340	-3.65	2	WVP1	2
32BP021301	151700	466680	-5.26	2	WVP1	2
32BP021302	151700	466680	-10.26	2	WVP1	2
32BP025401	153650	466750	-6.64	2	WVP1	2
32CP000901	147430	461180	1.31	2	WVP1	2
32CP002401	145990	458680	0.03	2	WVP1	2
32CP004801	149560	456380	2.64	2	WVP1	2
32CP005801	149640	460190	-5.67	2	WVP1	2
32CP006901	143080	457960	0	2	WVP1	2
32CP007101	143080	458060	0.5	2	WVP1	2
32CP007201	143090	458180	0.25	2	WVP1	2
32CP007301	143080	458310	-0.7	2	WVP1	2
32CP010901	142330	460930	-3.3	2	WVP1	2
32CP011101	144480	458410	-1.8	2	WVP1	2
32CP011701	141370	457690	-5.1	2	WVP1	2
32CP012001	142880	456950	-0.75	2	WVP1	2
32CP012101	145200	456780	-0.48	2	WVP1	2
32CP012201	145460	456540	-0.58	2	WVP1	2
32CP012301	145640	456410	-0.67	2	WVP1	2
32CP012401	145810	456170	-0.16	2	WVP1	2
32CP014901	149180	461080	-0.03	2	WVP1	2
32CP023001	149440	452470	-1.24	2	WVP1	2
32CP025301	144950	457020	-4.6	2	WVP1	2
32CP032601	149710	461550	-3.77	2	WVP1	2
32CP033001	146530	456030	-3.77	2	WVP1	2
32CP033201	146500	457130	-1.54	2	WVP1	2
32CP033301	147005	456690	-0.65	2	WVP1	2
32CP033401	145925	456740	-4	2	WVP1	2
32CP033501	146300	456550	-3.11	2	WVP1	2
32CP035301	145370	456820	-4.08	2	WVP1	2
32CP035401	145380	456450	-4.71	2	WVP1	2
32CP035701	149250	461830	-1.64	2	WVP1	2
32CP035801	149350	461830	-3.69	2	WVP1	2
32CP036401	149240	460005	-0.39	2	WVP1	2
32CP040501	145190	456380	-4.3	2	WVP1	2
32CP041602	145700	456850	-4.55	2	WVP1	2
32CP041702	145710	456850	-4.55	2	WVP1	2
32CP041801	145350	461340	-4.2	2	WVP1	2
32CP042701	145520	461500	2.18	2	WVP1	2
32CP042901	141200	452350	-3.17	2	WVP1	2
32CP048701	148960	462050	-2.01	2	WVP1	2
32CP050201	140100	453815	-1.65	2	WVP1	2
32DP001801	158020	450310	0.63	2	WVP1	2
32DP002001	158430	450120	-0.14	2	WVP1	2
32DP002201	158960	450530	-0.29	2	WVP1	2
32DP002801	156020	462250	-3.1	2	WVP1	2
32DP013601	153345	457120	0.24	2	WVP1	2
32DP013702	156000	457360	-10.59	2	WVP1	2
32DP013901	154060	455040	1.72	2	WVP1	2
32DP014101	154510	453290	-1.63	2	WVP1	2
32DP014201	157282	452558	-3.3	2	WVP1	2
32DP014401	158570	450820	-3.57	2	WVP1	2
32DP014501	156970	454750	-4.59	2	WVP1	2
32DP014801	155190	460020	-1.33	2	WVP1	2
32DP016401	152200	457970	2	2	WVP1	2
32DP016501	152560	451570	-3.8	2	WVP1	2
32DP016601	154930	456370	-2.5	2	WVP1	2
32DP017101	154942	450500	0.82	2	WVP1	2
32DP018501	157260	460000	-3.41	2	WVP1	2
32DP018901	150150	452660	4.87	2	WVP1	2
32DP019001	155966	462254	-1.57	2	WVP1	2
32DP019902	155966	462254	-1.64	2	WVP1	2
32DP700101	159050	450010	5.31	2	WVP1	2

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
32DP700201	158395	451200	4.84	2	WVP1	2
32DP700301	157750	450870	5.39	2	WVP1	2
333_1_utr	137144	452416	-5.08	2	WVP1	2
334_1_utr	136084	454968	-4.36	2	WVP1	2
335_1_utr	136427	454490	-4.41	2	WVP1	2
336_1_utr	134233	458729	-5.17	2	WVP1	2
337_1_utr	137975	458664	-4.88	2	WVP1	2
338_1_utr	133937	459707	-6.3	2	WVP1	2
339_1_utr	138535	457873	-4.98	2	WVP1	2
340_1_utr	138723	457017	-4.97	2	WVP1	2
341_1_utr	138121	456170	-4.68	2	WVP1	2
342_1_utr	138837	456235	-4.43	2	WVP1	2
343_1_utr	140572	454879	-4.4	2	WVP1	2
344_1_utr	141470	455186	-4.37	2	WVP1	2
345_1_utr	139123	454561	-4.34	2	WVP1	2
346_1_utr	138627	453875	-4.74	2	WVP1	2
347_1_utr	138235	453127	-4.61	2	WVP1	2
348_1_utr	137901	452342	-4.78	2	WVP1	2
349_1_utr	137555	454011	-4.07	2	WVP1	2
350_1_utr	135351	452566	-5.01	2	WVP1	2
352_1_utr	133900	456008	-4.8	2	WVP1	2
353_1_utr	131544	459062	-5.38	2	WVP1	2
354_1_utr	132684	459007	-4.76	2	WVP1	2
356_1_utr	132595	458299	-5.09	2	WVP1	2
358_1_utr	138155	454588	-4.5	2	WVP1	2
359_1_utr	137357	454477	-4.3	2	WVP1	2
361_1_utr	137259	457170	-4.6	2	WVP1	2
362_1_utr	135453	457658	-5.02	2	WVP1	2
38EP011301	123780	449720	-12.7	2	WVP1	2
38EP013401	124840	446100	-8.36	2	WVP1	2
38FP053101	136910	449230	-1.25	2	WVP1	2
38FP054901	137825	449780	-5.57	2	WVP1	2
39AP017801	146360	444680	-3.21	2	WVP1	2
39AP020801	141320	448130	-5.28	2	WVP1	2
39AP020901	144075	443590	-6.78	2	WVP1	2
39AP021401	149660	445470	-5.97	2	WVP1	2
39AP021601	146310	447090	-3.76	2	WVP1	2
39AP025701	147000	445500	-0.48	2	WVP1	2
39BP000401	157400	449510	0.3	2	WVP1	2
39BP000501	157990	449760	-0.24	2	WVP1	2
39BP002001	151570	448070	-6.23	2	WVP1	2
39BP006001	151870	448620	-0.98	2	WVP1	2
39BP006501	152430	448560	-0.28	2	WVP1	2
39BP007201	150180	444060	1.17	2	WVP1	2
39BP007202	150180	444060	-3.15	2	WVP1	2
39BP029702	155900	449950	2.94	2	WVP1	2
39BP700101	159302	445164	4.44	2	WVP1	2
39BP700301	159580	445214	3.58	2	WVP1	2
39BP700401	159705	444905	4.85	2	WVP1	2
39BP701001	156750	449580	5.24	2	WVP1	2
39BP760101	150478	449052	1.69	2	WVP1	2
39BP760201	150540	448910	2.41	2	WVP1	2
39BP760401	150337	448523	1.7	2	WVP1	2
39EP003301	169470	438600	3.12	2	WVP1	2
39EP003302	169470	438600	-2.88	2	WVP1	2
39EP009301	163000	438030	-0.79	2	WVP1	2
39EP011701	161490	447220	3.52	2	WVP1	2
39EP011801	162980	447830	4.07	2	WVP1	2
39EP013001	169680	441580	-3.21	2	WVP1	2
39EP013201	166480	445110	2.45	2	WVP1	2
39EP013301	164640	445570	-1.7	2	WVP1	2
39EP013401	166010	443160	-1.53	2	WVP1	2
39EP022901	165780	443120	-2.24	2	WVP1	2
39EP023001	165320	443500	-2.37	2	WVP1	2
39EP023201	163200	447400	0.96	2	WVP1	2
39EP024201	165955	442075	-0.49	2	WVP1	2
39EP024301	166040	442255	-0.14	2	WVP1	2

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
39EP024401	167740	443490	-2.49	2	WVP1	2
39EP024501	168190	443345	-2.94	2	WVP1	2
39EP024601	168450	442855	-3.36	2	WVP1	2
39EP024701	166380	442460	2.11	2	WVP1	2
39EP760602	160490	444975	3.16	2	WVP1	2
39EP760801	160950	445275	4.34	2	WVP1	2
39EP761001	161025	445240	5.05	2	WVP1	2
39EP761101	161050	445250	4.51	2	WVP1	2
39EP761701	169860	440305	4.87	2	WVP1	2
39GP000701	164370	435980	-0.16	2	WVP1	2
39GP007302	161950	435720	-4.13	2	WVP1	2
B001_1_utr	136851	455911	-0.93	2	WVP1	2
B002_1_utr	132901	457380	-5.17	2	WVP1	2
B004_1_utr	137027	455067	-3.48	2	WVP1	2
B006_1_utr	137036	453634	-4.78	2	WVP1	2
B008_1_utr	136634	453254	-4.93	2	WVP1	2
B010_1_utr	136449	452611	-5.24	2	WVP1	2
B016_1_utr	135136	455888	-4.57	2	WVP1	2
B017_1_utr	137784	457332	-4.92	2	WVP1	2
B018_1_utr	134389	455536	-4.39	2	WVP1	2
B020_1_utr	135411	456351	-4.59	2	WVP1	2
B026_1_utr	135064	457115	-4.92	2	WVP1	2
B029_1_utr	134762	457830	-4.98	2	WVP1	2
B031_1_utr	134085	457950	-5.17	2	WVP1	2
B035_1_utr	133532	458818	-5.32	2	WVP1	2
B040_1_utr	134608	458318	-5.01	2	WVP1	2
B048_1_utr	136671	456275	-3.65	2	WVP1	2
B051_1_utr	136625	457338	-5.13	2	WVP1	2
B052_1_utr	137070	457731	-5.74	2	WVP1	2
B054_1_utr	137527	458135	-5.55	2	WVP1	2
B056_1_utr	134725	454521	-4.74	2	WVP1	2
B057_1_utr	137327	456563	-4.17	2	WVP1	2
B069_1_utr	137592	455043	-4.06	2	WVP1	2
B070_1_utr	137293	452945	-4.95	2	WVP1	2
B082_1_utr	135032	453618	-4.78	2	WVP1	2
B084_1_utr	138609	452892	-4.71	2	WVP1	2
B093_1_utr	136451	459012	-4.82	2	WVP1	2
B095_1_utr	136730	458253	-4.82	2	WVP1	2
B096_1_utr	137401	458435	-4.96	2	WVP1	2
B097_1_utr	134695	459807	-4.9	2	WVP1	2
B103_1_utr	138155	456903	-4.92	2	WVP1	2
B104_1_utr	135078	458952	-4.87	2	WVP1	2
B110_1_utr	134399	460124	-4.86	2	WVP1	2
B130_1_utr	137611	452840	-5.01	2	WVP1	2
31BP004502	114500	466300	-33.7	3	WVP1	2
31BP010102	113400	464000	-31.75	3	WVP1	2
31BP011601	118600	466420	-24.06	3	WVP1	2
31CP002701	109830	452000	-16.01	3	WVP1	2
31CP016901	108930	452380	-19.25	3	WVP1	2
31CP019002	106980	457550	-12.32	3	WVP1	2
31CP019003	106980	457550	-26.28	3	WVP1	2
31DP000301	114930	460400	-20.34	3	WVP1	2
31DP001401	111680	453280	-20.18	3	WVP1	2
31DP002001	114310	451530	-17.45	3	WVP1	2
31DP002701	110320	461420	-24.16	3	WVP1	2
31DP006001	110430	452070	-20.24	3	WVP1	2
31DP006101	113120	451410	-20.05	3	WVP1	2
31DP006301	112640	454780	-19.28	3	WVP1	2
31DP006501	110100	454000	-19.52	3	WVP1	2
31DP007102	118785	456587	-31.75	3	WVP1	2
31DP007502	118847	456310	-39	3	WVP1	2
31DP007702	116190	458048	-32.01	3	WVP1	2
31DP011401	118285	455344	-19.25	3	WVP1	2
31DP011502	118414	456259	-20.96	3	WVP1	2
31DP011602	117277	456150	-20.99	3	WVP1	2
31DP011702	114859	456098	-21.31	3	WVP1	2
31DP011802	118126	457377	-21.21	3	WVP1	2

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
31DP012302	111470	462320	-12.72	3	WVP1	2
31DP012303	111470	462320	-19.72	3	WVP1	2
31DP012304	111470	462320	-29.72	3	WVP1	2
31DP012403	118300	462390	-18.01	3	WVP1	2
31DP012404	118300	462390	-27.01	3	WVP1	2
31DP012502	110340	457935	-12.35	3	WVP1	2
31DP012503	110340	457935	-26.35	3	WVP1	2
31EP003501	122550	463350	-14.9	3	WVP1	2
31EP014201	121800	465050	-29.9	3	WVP1	2
31EP016002	124380	468020	-25.83	3	WVP1	2
31EP016201	127785	462890	-23.88	3	WVP1	2
31EP016401	126450	466520	-12.45	3	WVP1	2
31EP016402	126450	466520	-28.85	3	WVP1	2
31EP019201	123200	465900	-12.44	3	WVP1	2
31EP019202	123200	465900	-33.49	3	WVP1	2
31EP019203	123200	465900	-41.54	3	WVP1	2
31FP006101	137760	470020	-10.83	3	WVP1	2
31FP012601	138300	465700	-26.3	3	WVP1	2
31FP013201	137150	470250	-29.72	3	WVP1	2
31FP023701	138620	468400	-28.17	3	WVP1	2
31FP023801	138790	467920	-28.87	3	WVP1	2
31FP028101	138820	468785	-9.81	3	WVP1	2
31FP028502	137900	467685	-10.02	3	WVP1	2
31FP028602	137825	467515	-10.08	3	WVP1	2
31FP031802	137620	467660	-35.14	3	WVP1	2
31FP032202	135530	469780	-27.75	3	WVP1	2
31FP032403	137980	467770	-21.02	3	WVP1	2
31FP032404	137980	467770	-31.02	3	WVP1	2
31GP000101	125160	461880	-20.57	3	WVP1	2
31GP000801	123200	452120	-20.64	3	WVP1	2
31GP010401	123720	451160	-18.39	3	WVP1	2
31GP010601	125600	451970	-27.42	3	WVP1	2
31GP012502	125620	454510	-14.36	3	WVP1	2
31GP012801	122360	455100	-23.08	3	WVP1	2
31GP012901	121960	452440	-29.2	3	WVP1	2
31GP013902	127630	456410	-28.64	3	WVP1	2
31GP014002	127450	460520	-29.99	3	WVP1	2
31GP014301	125200	458840	-13.29	3	WVP1	2
31GP014401	123450	456560	-11.68	3	WVP1	2
31GP014501	121660	453930	-12.32	3	WVP1	2
31GP014701	129900	455190	-22.33	3	WVP1	2
31GP015001	125540	452670	-9.56	3	WVP1	2
31GP015002	125540	452670	-21.58	3	WVP1	2
31GP015101	125530	452740	-9.52	3	WVP1	2
31GP015102	125530	452740	-21.54	3	WVP1	2
31GP016201	126960	450220	-31.41	3	WVP1	2
31GP016301	129780	451180	-8.8	3	WVP1	2
31GP016401	126420	455720	-11.29	3	WVP1	2
31GP016501	126280	455340	-9.94	3	WVP1	2
31GP016601	126180	454930	-11.74	3	WVP1	2
31GP016701	128120	462250	-11.4	3	WVP1	2
31GP017001	127050	454320	-24.67	3	WVP1	2
31GP019501	129870	455540	-22.86	3	WVP1	2
31GP019502	129870	455540	-45.86	3	WVP1	2
31GP019601	129935	455730	-18.56	3	WVP1	2
31GP020101	127530	452180	-9.72	3	WVP1	2
31GP020102	127530	452180	-25.72	3	WVP1	2
31GP020501	123620	452485	-12.18	3	WVP1	2
31GP020502	123620	452485	-40.18	3	WVP1	2
31GP021401	125520	453125	-10.95	3	WVP1	2
31GP021402	125520	453125	-38.95	3	WVP1	2
31HP007402	138180	460810	-10.25	3	WVP1	2
31HP007403	138180	460810	-19.28	3	WVP1	2
31HP007502	137990	460330	-10.06	3	WVP1	2
31HP007503	137990	460330	-18.09	3	WVP1	2
31HP041501	130750	461450	-18	3	WVP1	2
31HP053201	136440	461360	-10.77	3	WVP1	2

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
31HP053202	136440	461360	-29.25	3	WVP1	2
31HP053301	134750	461820	-29.7	3	WVP1	2
31HP055901	131550	457910	-12.16	3	WVP1	2
31HP056101	130420	452530	-9.25	3	WVP1	2
31HP056501	139110	460200	-7.88	3	WVP1	2
31HP056601	138940	454800	-13.38	3	WVP1	2
31HP057501	132570	450430	-10.39	3	WVP1	2
31HP057701	139262	456112	-12.43	3	WVP1	2
31HP058001	137400	458900	-22.78	3	WVP1	2
31HP058701	132520	454800	-8.04	3	WVP1	2
31HP058801	132370	454310	-10.11	3	WVP1	2
31HP058901	132200	453800	-10.5	3	WVP1	2
31HP060201	136740	451005	-22.9	3	WVP1	2
31HP060302	133500	460060	-27.91	3	WVP1	2
31HP060401	132200	453560	-15.62	3	WVP1	2
31HP064502	138080	460610	-10.49	3	WVP1	2
31HP064503	138080	460610	-18.49	3	WVP1	2
31HP066401	132600	450230	-12.7	3	WVP1	2
31HP066403	132600	450230	-32.8	3	WVP1	2
31HP066602	138920	457210	-18.5	3	WVP1	2
31HP067501	138425	451545	-13.99	3	WVP1	2
32AP004501	147670	469320	-10.98	3	WVP2	3
32AP009201	140775	469235	-14.33	3	WVP1	2
32AP033601	148200	463400	-24.8	3	WVP1	2
32AP033701	140540	466970	-10.28	3	WVP1	2
32AP033801	149580	466940	-10.58	3	WVP2	3
32AP033802	149580	466940	-27.59	3	WVP2	3
32AP037701	141670	463620	-22.08	3	WVP1	2
32AP037901	144580	463760	-26.98	3	WVP1	2
32AP041302	149300	464160	-18.5	3	WVP2	3
32AP044202	140150	464210	-28.32	3	WVP1	2
32BP000402	150050	468450	-36.65	3	WVP2	3
32BP021303	151700	466680	-26.26	3	WVP2	3
32BP025402	153650	466750	-22.64	3	WVP2	3
32CP000401	148300	450740	-15.74	3	WVP2	3
32CP000501	149260	462080	-14.35	3	WVP1	2
32CP001301	144240	459770	-6.28	3	WVP1	2
32CP001601	144140	451440	-12.19	3	WVP1	2
32CP001602	144140	451440	-31.5	3	WVP1	2
32CP002801	143560	457865	-6.48	3	WVP1	2
32CP002901	143980	457670	-6.3	3	WVP1	2
32CP003601	144770	456170	-18.65	3	WVP1	2
32CP003701	145120	456360	-17.87	3	WVP1	2
32CP004301	140340	457390	-9.11	3	WVP1	2
32CP005201	144860	455360	-19.73	3	WVP1	2
32CP006902	143080	457960	-22.5	3	WVP1	2
32CP007102	143080	458060	-22	3	WVP1	2
32CP007202	143090	458180	-19.75	3	WVP1	2
32CP007302	143080	458310	-23.3	3	WVP1	2
32CP008401	142450	458500	-7.52	3	WVP1	2
32CP008501	149970	457630	-18.89	3	WVP1	2
32CP008601	142650	458320	-7.24	3	WVP1	2
32CP008801	143680	458880	-5.87	3	WVP1	2
32CP008901	143400	458540	-6.94	3	WVP1	2
32CP009001	143170	458180	-6.15	3	WVP1	2
32CP009101	141790	457550	-6	3	WVP1	2
32CP009201	142500	457770	-7.86	3	WVP1	2
32CP009301	142870	457710	-6.9	3	WVP1	2
32CP009401	142580	457280	-7.24	3	WVP1	2
32CP009801	142160	456310	-4.59	3	WVP1	2
32CP009901	141420	452920	-6.74	3	WVP1	2
32CP010501	141200	451970	-7.64	3	WVP1	2
32CP011301	142300	456880	-4.9	3	WVP1	2
32CP011501	142560	458980	-8.05	3	WVP1	2
32CP011801	142040	457290	-5.6	3	WVP1	2
32CP012701	141700	458120	-7.8	3	WVP1	2
32CP012801	142912	455555	-8.71	3	WVP1	2

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
32CP015302	141790	452330	-28.15	3	WVP1	2
32CP018701	145820	457220	-9.23	3	WVP1	2
32CP018702	145820	457220	-29.26	3	WVP1	2
32CP018801	143535	453385	-8.56	3	WVP1	2
32CP023201	140370	459640	-7.96	3	WVP1	2
32CP024001	143060	455260	-16.31	3	WVP1	2
32CP024501	140180	460420	-16.05	3	WVP1	2
32CP029001	148549	461818	-11.88	3	WVP1	2
32CP029101	148616	461776	-14.19	3	WVP1	2
32CP032701	143030	458520	-14.07	3	WVP1	2
32CP033101	145850	455740	-4.72	3	WVP1	2
32CP033601	142970	457840	-13.96	3	WVP1	2
32CP034601	147410	459600	-5.89	3	WVP1	2
32CP035302	145370	456820	-29.1	3	WVP1	2
32CP035402	145380	456450	-26.72	3	WVP1	2
32CP035601	149180	461830	-4.95	3	WVP1	2
32CP035602	149180	461830	-16.98	3	WVP1	2
32CP035702	149250	461830	-10.67	3	WVP1	2
32CP035703	149250	461830	-25.69	3	WVP1	2
32CP035802	149350	461830	-12.31	3	WVP1	2
32CP036101	149130	461830	-7.94	3	WVP1	2
32CP036201	148490	461440	-14.93	3	WVP1	2
32CP036301	148300	460980	-6.37	3	WVP1	2
32CP036402	149240	460005	-18.41	3	WVP1	2
32CP036701	148460	461890	-15.87	3	WVP1	2
32CP036702	148460	461890	-23.88	3	WVP1	2
32CP036801	148690	461870	-8.62	3	WVP1	2
32CP036802	148690	461870	-18.65	3	WVP1	2
32CP036803	148690	461870	-28.66	3	WVP1	2
32CP037801	148950	461840	-8.73	3	WVP1	2
32CP037802	148950	461840	-17.74	3	WVP1	2
32CP037901	149750	461600	-7.92	3	WVP1	2
32CP038201	149480	461790	-24.9	3	WVP1	2
32CP038301	149070	461650	-13.13	3	WVP1	2
32CP038302	149070	461650	-23.15	3	WVP1	2
32CP038401	149030	461750	-10.71	3	WVP1	2
32CP038402	149030	461750	-21.73	3	WVP1	2
32CP038501	149150	461750	-13.52	3	WVP1	2
32CP038502	149150	461750	-23.54	3	WVP1	2
32CP038601	149550	461640	-5.93	3	WVP1	2
32CP038602	149550	461640	-15.95	3	WVP1	2
32CP038603	149550	461640	-25.99	3	WVP1	2
32CP039101	146600	454280	-15.5	3	WVP1	2
32CP039501	148810	461950	-8.87	3	WVP1	2
32CP039502	148810	461950	-18.9	3	WVP1	2
32CP039503	148810	461950	-25.91	3	WVP1	2
32CP039601	149110	461480	-8.21	3	WVP1	2
32CP039602	149110	461480	-17.72	3	WVP1	2
32CP039603	149110	461480	-28.25	3	WVP1	2
32CP039701	145590	453860	-6.67	3	WVP1	2
32CP039801	145280	453630	-7.78	3	WVP1	2
32CP039901	145080	453370	-8.17	3	WVP1	2
32CP040001	144770	453000	-7.54	3	WVP1	2
32CP040301	142850	455135	-8.38	3	WVP1	2
32CP040401	142865	454950	-8.57	3	WVP1	2
32CP040502	145190	456380	-25.4	3	WVP1	2
32CP042301	143380	459290	-6.49	3	WVP1	2
32CP042401	143600	459800	-7.08	3	WVP1	2
32CP046801	147310	457935	-15.57	3	WVP1	2
32CP047001	148710	457680	-6.87	3	WVP1	2
32CP047901	147800	453080	-15.76	3	WVP2	3
32CP048702	148960	462050	-10.01	3	WVP1	2
32CP048703	148960	462050	-15.01	3	WVP1	2
32CP048704	148960	462050	-21.01	3	WVP1	2
32CP048705	148960	462050	-28.01	3	WVP1	2
32CP049901	148900	461860	-11.06	3	WVP1	2
32CP049902	148900	461860	-22.06	3	WVP1	2

Code	X	Y	Filterdiepte (m+NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
32CP049903	148900	461860	-27.56	3	WVP1	2
32CP050001	148925	461960	-8.18	3	WVP1	2
32CP050002	148925	461960	-18.18	3	WVP1	2
32CP050003	148925	461960	-27.18	3	WVP1	2
32CP050101	148970	462100	-6.62	3	WVP1	2
32CP050102	148970	462100	-18.62	3	WVP1	2
32CP050103	148970	462100	-27.62	3	WVP1	2
32CP050202	140100	453815	-20.65	3	WVP1	2
32CP050203	140100	453815	-34.65	3	WVP1	2
32CP050301	145300	456720	-6.55	3	WVP1	2
32CP050401	145350	456620	-5.64	3	WVP1	2
32DP005601	153300	459510	-11.52	3	WVP1	2
32DP011401	150200	454840	-16.33	3	WVP1	2
32DP013801	151860	455330	-5.26	3	WVP1	2
32DP013902	154060	455040	-30.31	3	WVP2	3
32DP014001	151870	452970	-25.8	3	WVP1	2
32DP014102	154510	453290	-31.69	3	WVP2	5
32DP014202	157282	452558	-26.8	3	WVP2	3
32DP014301	154470	451430	-8.08	3	WVP1	2
32DP014502	156970	454750	-30.14	3	WVP2	3
32DP014802	155190	460020	-23.83	3	WVP2	3
32DP016301	151030	460170	-13.49	3	WVP1	2
32DP016502	152560	451570	-15.82	3	WVP1	2
32DP016602	154930	456370	-18.5	3	WVP2	3
32DP018502	157260	460000	-14.43	3	WVP2	3
32DP018902	150150	452660	-6.13	3	WVP2	3
38AP025502	107950	449560	-16.75	3	WVP1	2
38AP025503	107950	449560	-26.75	3	WVP1	2
38AP025703	109670	446110	-16.18	3	WVP1	2
38AP025704	109670	446110	-26.3	3	WVP1	2
38BP008201	119200	440220	-20.37	3	WVP1	2
38BP008301	118350	443400	-21.2	3	WVP1	2
38BP008401	118200	446350	-21.14	3	WVP1	2
38BP008501	116180	443160	-17.84	3	WVP1	2
38BP015401	116370	447630	-20.77	3	WVP1	2
38BP015402	116370	447630	-30.77	3	WVP1	2
38BP015501	111750	446050	-27.69	3	WVP1	2
38BP017002	115090	442080	-15.94	3	WVP1	2
38BP017003	115090	442080	-39.94	3	WVP1	2
38BP017102	113270	449320	-16.85	3	WVP1	2
38BP017103	113270	449320	-26.49	3	WVP1	2
38BP017202	113490	445190	-16.07	3	WVP1	2
38BP017203	113490	445190	-25.53	3	WVP1	2
38BP017403	117660	441700	-16.15	3	WVP1	2
38BP017404	117660	441700	-26.16	3	WVP1	2
38EP001302	124060	440720	-14.26	3	WVP1	2
38EP005901	120500	448300	-15.62	3	WVP1	2
38EP006101	122280	444140	-20.98	3	WVP1	2
38EP006301	125620	442830	-19.55	3	WVP1	2
38EP008902	129840	446690	-31.55	3	WVP1	2
38EP009801	123200	442060	-32.93	3	WVP1	2
38EP010001	127930	444060	-24.88	3	WVP1	2
38EP010201	122770	443050	-16.28	3	WVP1	2
38EP010301	122580	443080	-13.7	3	WVP1	2
38EP010401	122580	442880	-12.98	3	WVP1	2
38EP011401	123940	449600	-13.57	3	WVP1	2
38EP011501	124440	449250	-13.58	3	WVP1	2
38EP012001	128754	439346	-13.2	3	WVP1	2
38EP012602	129838	439965	-12.5	3	WVP1	2
38EP012702	127435	441171	-12.55	3	WVP1	2
38EP012802	129685	441575	-12.8	3	WVP1	2
38EP013402	124840	446100	-32.41	3	WVP1	2
38EP013501	127528	439833	-16.1	3	WVP1	2
38EP013601	124946	440254	-21.51	3	WVP1	2
38EP014301	126335	439084	-21.8	3	WVP1	2
38EP015201	126574	438262	-21.2	3	WVP1	2
38FP004002	132790	447910	-9.66	3	WVP1	2

Code	X	Y	Filterdiepte (m+NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
38FP016301	130783	441133	-17.9	3	WVP1	2
38FP016302	130783	441133	-38.3	3	WVP1	2
38FP030102	137020	444410	-7.9	3	WVP1	2
38FP030501	137280	442740	-8.55	3	WVP1	2
38FP036601	138475	447565	-10.24	3	WVP1	2
38FP036602	138475	447565	-27.09	3	WVP1	2
38FP037401	132020	445330	-18.48	3	WVP1	2
38FP040902	136787	448495	-16.3	3	WVP1	2
38FP040903	136787	448495	-27.4	3	WVP1	2
38FP041201	136800	447720	-9.4	3	WVP1	2
38FP041202	136800	447720	-19.1	3	WVP1	2
38FP041203	136800	447720	-26.3	3	WVP1	2
38FP041301	136335	447995	-18.8	3	WVP1	2
38FP041302	136335	447995	-27.4	3	WVP1	2
38FP041902	136135	448345	-37	3	WVP1	2
38FP044701	131740	445870	-28	3	WVP1	2
38FP046801	137500	445960	-13.19	3	WVP1	2
38FP046802	137500	445960	-35.22	3	WVP1	2
38FP046901	137930	445700	-8.74	3	WVP1	2
38FP046902	137930	445700	-37.79	3	WVP1	2
38FP049501	131396	440922	-20.15	3	WVP1	2
38FP050001	131503	441067	-18.15	3	WVP1	2
38FP050301	135088	439159	-9.65	3	WVP1	2
38FP050401	135820	442076	-10.4	3	WVP1	2
38FP050501	131931	440115	-18.35	3	WVP1	2
38FP050801	131593	441991	-33	3	WVP1	2
38FP050901	133287	442195	-12.65	3	WVP1	2
38FP051101	130402	441009	-19.8	3	WVP1	2
38FP051102	130402	441009	-40.8	3	WVP1	2
38FP053102	136910	449230	-18.25	3	WVP1	2
38FP053302	130581	441954	-13	3	WVP1	2
38FP053402	130643	443331	-11.5	3	WVP1	2
38FP053502	133233	439867	-13.1	3	WVP1	2
38FP053602	132584	441252	-12.7	3	WVP1	2
38FP053702	131236	440256	-12.6	3	WVP1	2
38FP053802	130895	441034	-12.3	3	WVP1	2
38FP053902	130708	441510	-13.15	3	WVP1	2
38FP054002	130817	441003	-13.67	3	WVP1	2
38FP054902	137825	449780	-11.57	3	WVP1	2
38GP031902	129651	437210	-13.25	3	WVP1	2
38HP017701	132388	437054	-10.4	3	WVP1	2
39AP002701	141320	448100	-7.3	3	WVP1	2
39AP002801	143086	448370	-4.84	3	WVP1	2
39AP003201	145160	448640	-11.03	3	WVP1	2
39AP003202	145160	448640	-22.59	3	WVP1	2
39AP003302	143380	446720	-11.9	3	WVP1	2
39AP003501	140150	441580	-10.51	3	WVP1	2
39AP007301	141070	449370	-15.4	3	WVP1	2
39AP017601	145000	445560	-6.1	3	WVP1	2
39AP017802	146360	444680	-15.36	3	WVP1	2
39AP017901	144970	444130	-23.84	3	WVP1	2
39AP018001	146680	443120	-14.01	3	WVP1	2
39AP018102	148110	442880	-11.71	3	WVP1	2
39AP018201	147640	441950	-12.31	3	WVP1	2
39AP018301	149650	441690	-6.59	3	WVP1	2
39AP018302	149650	441690	-16.57	3	WVP1	2
39AP018501	142220	444565	-10.7	3	WVP1	2
39AP018502	142220	444565	-22.65	3	WVP1	2
39AP018701	149150	444370	-30.16	3	WVP1	2
39AP020101	144485	444775	-7.77	3	WVP1	2
39AP020601	141300	439050	-12.4	3	WVP1	2
39AP021001	147680	448540	-5.58	3	WVP2	3
39AP021301	149040	443640	-9.77	3	WVP1	2
39AP021901	149730	444740	-12.21	3	WVP1	2
39AP022401	140722	446440	-10.57	3	WVP1	2
39AP022601	140650	445740	-8.82	3	WVP1	2
39AP022901	148930	443555	-7.76	3	WVP1	2

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
39AP023201	140590	442985	-8.71	3	WVP1	2
39AP023301	140160	444965	-9.15	3	WVP1	2
39AP023401	142260	445880	-26.87	3	WVP1	2
39AP023501	140300	443230	-16.55	3	WVP1	2
39AP025301	143250	438910	-29.49	3	WVP1	2
39AP025401	145080	439630	-27.84	3	WVP1	2
39AP025502	144190	439820	-7.56	3	WVP1	2
39AP025503	144190	439820	-32.57	3	WVP1	2
39AP025601	145080	438800	-27.74	3	WVP1	2
39AP025702	147000	445500	-18.52	3	WVP1	2
39BP000201	150370	446370	-10.76	3	WVP1	2
39BP001101	150360	443100	-12.32	3	WVP1	2
39BP001801	150990	447250	-9.99	3	WVP1	2
39BP001901	151930	448970	-10.19	3	WVP2	3
39BP002002	151570	448070	-15.06	3	WVP2	3
39BP002101	153300	446890	-9.26	3	WVP1	2
39BP007302	159180	439660	-2.98	3	WVP1	2
39BP008101	156900	443720	-2	3	WVP1	2
39BP008901	158630	441550	-6.99	3	WVP1	2
39BP009501	157460	440460	-8	3	WVP1	2
39BP013801	157530	445870	-5.94	3	WVP1	2
39BP014001	154545	445980	-3.15	3	WVP1	2
39BP014101	152610	445800	-6.01	3	WVP1	2
39BP014401	155230	444240	-6.13	3	WVP1	2
39BP025201	155600	449100	-5.9	3	WVP1	2
39BP025301	157210	447390	-9.49	3	WVP1	2
39BP025401	158230	447090	-13.57	3	WVP1	2
39BP025501	158390	446700	-9.08	3	WVP1	2
39BP025901	156280	444740	-2.66	3	WVP1	2
39BP026001	155290	443330	-5.34	3	WVP1	2
39BP028301	157030	448660	1.7	3	WVP1	2
39BP028302	157030	448660	-9.92	3	WVP1	2
39BP029001	151630	444890	-9.25	3	WVP1	2
39BP029401	159050	446970	-3.09	3	WVP1	2
39BP029501	159170	447380	-1.55	3	WVP1	2
39BP030501	155290	447450	-4	3	WVP1	2
39BP031201	154050	438640	-15.06	3	WVP1	2
39BP032801	158890	446850	-11.06	3	WVP1	2
39BP033401	159072	447016	3.24	3	WVP1	2
39BP033402	159072	447016	-9.76	3	WVP1	2
39BP033601	157587	446557	-0.36	3	WVP1	2
39BP033701	158723	446561	-11.78	3	WVP1	2
39BP033801	158608	445899	-2.94	3	WVP1	2
39BP033902	155630	440100	-12.07	3	WVP1	2
39BP034001	158360	445185	-4.33	3	WVP1	2
39BP700502	159377	444858	2.51	3	WVP1	2
39BP702201	158120	448610	5.17	3	WVP1	2
39CP003302	147120	436840	-6.62	3	WVP1	2
39EP000701	161400	443300	-3.32	3	WVP1	2
39EP001401	167430	440940	-8.8	3	WVP1	2
39EP009302	163000	438030	-13.79	3	WVP1	2
39EP011702	161490	447220	-3.5	3	WVP1	2
39EP013202	166480	445110	-3.53	3	WVP1	2
39EP013203	166480	445110	-17.54	3	WVP1	2
39EP022401	161960	445100	-4.39	3	WVP1	2
39EP023101	165320	443040	-4.82	3	WVP1	2
39EP023202	163200	447400	-16.04	3	WVP1	2
39EP024202	165955	442075	-11.49	3	WVP1	2
39EP024302	166040	442255	-11.14	3	WVP1	2
39EP024702	166380	442460	-10.89	3	WVP1	2
31BP004503	114500	466300	-59.7	4		4
31BP011602	118600	466420	-50.08	4		4
31CP019004	106980	457550	-51.26	4		4
31DP007601	118847	456173	-45.78	4		4
31EP014202	121800	465050	-54.9	4		4
31EP019204	123200	465900	-53.58	4		4
31FP032405	137980	467770	-42.02	4		4

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
31GP010301	123720	451060	-49.86	4		4
31GP010402	123720	451160	-45.46	4		4
31GP014702	129900	455190	-53.32	4		4
31GP019602	129935	455730	-51.56	4		4
31GP020503	123620	452485	-51.18	4		4
31HP056602	138940	454800	-45.39	4		4
31HP056802	131400	457240	-42.09	4		4
31HP057002	132380	456900	-41.87	4		4
31HP057502	132570	450430	-56.4	4		4
31HP059302	139150	462440	-45.16	4		4
31HP059303	139150	462440	-51.22	4		4
31HP060202	136740	451005	-45.92	4		4
31HP060402	132200	453560	-44.62	4		4
31HP066406	132600	450230	-54.9	4		4
31HP066603	138920	457210	-36.5	4		4
31HP067502	138425	451545	-45.99	4		4
32AP010101	142520	467840	-23.52	4		4
32AP010301	142790	468340	-23.5	4		4
32AP010401	142800	466950	-23.47	4		4
32AP010501	143020	465850	-22.24	4		4
32AP014801	146750	464950	-28.6	4		4
32AP033501	143500	466160	-16.98	4		4
32AP037902	144580	463760	-47.51	4		5
32AP041303	149300	464160	-43.5	4		4
32AP041703	145815	467150	-25.59	4		4
32AP041706	145815	467150	-44.59	4		4
32AP041805	148230	465700	-34.55	4		4
32AP043802	141125	467400	-49.7	4		4
32AP044006	147751	469905	-52.33	4		5
32AP044203	140150	464210	-43.36	4		4
32BP021304	151700	466680	-35.26	4		4
32CP018802	143535	453385	-31.59	4		4
32CP023203	140370	459640	-49.03	4		4
32CP034602	147410	459600	-45.81	4		5
32CP035603	149180	461830	-30	4		4
32CP035604	149180	461830	-39.03	4		4
32CP035704	149250	461830	-36.72	4		4
32CP035803	149350	461830	-31.34	4		4
32CP036102	149130	461830	-29.95	4		4
32CP036103	149130	461830	-42.98	4		4
32CP036403	149240	460005	-32.43	4		4
32CP036901	149770	461550	-39.17	4		4
32CP037803	148950	461840	-32.77	4		4
32CP038202	149480	461790	-34.91	4		4
32CP038203	149480	461790	-44.93	4		5
32CP038303	149070	461650	-30.16	4		4
32CP038403	149030	461750	-30.25	4		4
32CP038503	149150	461750	-32.55	4		4
32CP038604	149550	461640	-36.01	4		4
32CP038605	149550	461640	-45.04	4		5
32CP039504	148810	461950	-32.43	4		4
32CP042706	145520	461500	-44.07	4		4
32CP042902	141200	452350	-29.33	4		4
32CP047902	147800	453080	-32.76	4		4
32CP048706	148960	462050	-39.01	4		4
32CP049904	148900	461860	-31.56	4		4
32CP050104	148970	462100	-38.12	4		4
32CP050204	140100	453815	-44.65	4		4
32DP011402	150200	454840	-29.35	4		4
32DP013602	153345	457120	-29.82	4		4
32DP014402	158570	450820	-29.6	4		5
32DP016302	151030	460170	-41.04	4		4
32DP017104	154942	450500	-21.18	4		4
32DP018903	150150	452660	-34.13	4		5
38AP025504	107950	449560	-45.75	4		4
38BP008502	116180	443160	-46.84	4		4
38BP014201	119840	447640	-38.6	4		4

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
38BP015403	116370	447630	-50.77	4		4
38EP010402	122580	442880	-45.01	4		4
38EP012002	128754	439346	-36.2	4		4
38EP013602	124946	440254	-44.01	4		4
38FP046803	137500	445960	-58.37	4		4
38FP046903	137930	445700	-58.89	4		4
38FP050402	135820	442076	-61.9	4		4
38FP050902	133287	442195	-55.65	4		4
38FP054903	137825	449780	-53.57	4		4
39AP007302	141070	449370	-27.5	4		4
39AP017602	145000	445560	-28.36	4		4
39AP018202	147640	441950	-33.91	4		4
39AP018503	142220	444565	-31.64	4		4
39AP020802	141320	448130	-45.32	4		4
39AP020902	144075	443590	-45.82	4		4
39AP021902	149730	444740	-39.22	4		4
39AP023502	140300	443230	-46.63	4		4
39AP023602	144320	439900	-56.63	4		4
39AP025302	143250	438910	-69.53	4		4
39AP025504	144190	439820	-58.58	4		4
39AP025703	147000	445500	-42.56	4		4
39BP001102	150360	443100	-31.25	4		4
39BP013802	157530	445870	-21.1	4		4
39BP027501	159720	447390	-21.65	4		4
39BP029201	153690	449220	-18.68	4		4
39BP029601	159400	447270	-6.29	4		4
39BP029703	155900	449950	-19.06	4		4
39BP033001	159002	446930	-15.58	4		4
39BP034002	158360	445185	-23.33	4		4
39BP702301	158680	448550	3.57	4		4
39BP702401	158130	448150	4.34	4		4
39EP012701	162680	448980	-26.42	4		5
39EP013002	169680	441580	-27.17	4		5
39EP023203	163200	447400	-24.54	4		5
31DP007103	118785	456587	-71.75	5		5
31EP016003	124380	468020	-69.33	5		5
31EP019205	123200	465900	-70.63	5		5
31FP012602	138300	465700	-54.3	5		5
31FP013203	137150	470250	-60.72	5		5
31FP023501	138620	468195	-93.57	5		6
31FP023702	138620	468400	-58.23	5		5
31FP023703	138620	468400	-93.27	5		5
31FP023802	138790	467920	-58.93	5		5
31FP023803	138790	467920	-93.96	5		6
31FP031803	137620	467660	-55.14	5		5
31FP032406	137980	467770	-54.02	5		5
31FP032407	137980	467770	-69.02	5		5
31FP032408	137980	467770	-79.02	5		5
31FP032409	137980	467770	-95.02	5		6
31GP010302	123720	451060	-69.89	5		5
31GP010303	123720	451060	-87.92	5		5
31GP010403	123720	451160	-70.52	5		5
31GP010404	123720	451160	-90.54	5		5
31GP010602	125600	451970	-80.43	5		5
31GP012802	122360	455100	-91.13	5		5
31GP012902	121960	452440	-91.18	5		5
31GP013903	127630	456410	-80.59	5		5
31GP014003	127450	460520	-75.19	5		5
31GP016202	126960	450220	-82.42	5		5
31GP017003	127050	454320	-76.73	5		5
31GP017004	127050	454320	-106.75	5		5
31GP020504	123620	452485	-80.18	5		5
31HP041502	130750	461450	-59	5		5
31HP056503	139110	460200	-46.91	5		5
31HP057503	132570	450430	-76.42	5		5
31HP057504	132570	450430	-112.83	5		5
31HP058002	137400	458900	-54.31	5		5

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
31HP060203	136740	451005	-97.04	5		5
31HP060403	132200	453560	-100.62	5		5
31HP066604	138920	457210	-58.5	5		5
31HP067504	138425	451545	-85.99	5		5
31HP067505	138425	451545	-112.99	5		5
32AP014802	146750	464950	-49.7	5		5
32AP033502	143500	466160	-55.01	5		5
32AP033503	143500	466160	-84.04	5		5
32AP033702	140540	466970	-60.33	5		5
32AP033803	149580	466940	-57.62	5		5
32AP037903	144580	463760	-55.63	5		5
32AP041304	149300	464160	-73.5	5		5
32AP044204	140150	464210	-70.43	5		5
32BP000403	150050	468450	-53.65	5		5
32BP025403	153650	466750	-54.64	5		5
32CP006903	143080	457960	-52.5	5		5
32CP006904	143080	457960	-82.5	5		5
32CP007103	143080	458060	-52	5		5
32CP007104	143080	458060	-82	5		5
32CP007203	143090	458180	-51	5		5
32CP007204	143090	458180	-75	5		5
32CP007303	143080	458310	-50.3	5		5
32CP007304	143080	458310	-80.3	5		5
32CP018703	145820	457220	-51.27	5		5
32CP018704	145820	457220	-71.29	5		5
32CP023401	149830	452720	-43.8	5		5
32CP023402	149830	452720	-73.84	5		5
32CP024002	143060	455260	-56.35	5		5
32CP026701	143600	460390	-54.21	5		5
32CP032602	149710	461550	-75.8	5		5
32CP036404	149240	460005	-55.47	5		5
32CP036405	149240	460005	-76.49	5		5
32CP036902	149770	461550	-64.26	5		5
32CP038204	149480	461790	-54.96	5		5
32CP038205	149480	461790	-59.97	5		5
32CP038206	149480	461790	-64.99	5		5
32CP038207	149480	461790	-70	5		5
32CP038208	149480	461790	-75.01	5		5
32CP038209	149480	461790	-80.03	5		5
32CP038606	149550	461640	-60.09	5		5
32CP038607	149550	461640	-74.12	5		5
32CP039102	146600	454280	-45.5	5		5
32CP040503	145190	456380	-68.4	5		5
32CP040504	145190	456380	-72.4	5		5
32CP046805	147310	457935	-54.57	5		5
32CP047005	148710	457680	-74.87	5		5
32CP050205	140100	453815	-60.65	5		5
32DP013703	156000	457360	-43.11	5		5
32DP014203	157282	452558	-42.15	5		5
32DP014302	154470	451430	-40.62	5		5
32DP017105	154942	450500	-31.18	5		5
32DP018503	157260	460000	-41.46	5		5
32DP018504	157260	460000	-69.47	5		5
38BP008503	116180	443160	-84.84	5		5
38BP014202	119840	447640	-79.63	5		5
38BP017004	115090	442080	-68.94	5		5
38EP009802	123200	442060	-80.96	5		5
38EP010303	122580	443080	-81.2	5		5
38EP010403	122580	442880	-74.02	5		5
38EP012003	128754	439346	-66.2	5		5
38EP012603	129838	439965	-68.5	5		5
38EP012703	127435	441171	-72.55	5		5
38EP013404	124840	446100	-72.49	5		5
38EP013603	124946	440254	-74.51	5		5
38EP014302	126335	439084	-75.8	5		5
38EP015203	126574	438262	-80.2	5		5
38FP002202	131492	438806	-57.48	5		5

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
38FP016303	130783	441133	-75.2	5		5
38FP041903	136135	448345	-87	5		5
38FP041904	136135	448345	-119	5		5
38FP042401	137025	445950	-98.2	5		5
38FP042601	130949	440934	-83.85	5		5
38FP046804	137500	445960	-94.41	5		5
38FP046904	137930	445700	-91.99	5		5
38FP050302	135088	439159	-69.65	5		5
38FP050403	135820	442076	-98.4	5		5
38FP050502	131931	440115	-73.35	5		5
38FP050903	133287	442195	-85.65	5		5
38FP051003	133657	440771	-77.5	5		5
38FP051103	130402	441009	-76.8	5		5
38FP053303	130581	441954	-73	5		5
38FP053403	130643	443331	-74.5	5		5
38FP054904	137825	449780	-86.57	5		5
38FP054905	137825	449780	-119.57	5		5
38GP031903	129651	437210	-63.25	5		5
38HP017702	132388	437054	-55.4	5		5
39AP018702	149150	444370	-68.38	5		5
39AP020803	141320	448130	-95.35	5		5
39AP020903	144075	443590	-97.84	5		5
39AP021002	147680	448540	-35.71	5		5
39AP021602	146310	447090	-58.76	5		5
39AP021603	146310	447090	-71.26	5		5
39AP021903	149730	444740	-65.23	5		5
39AP021904	149730	444740	-92.24	5		6
39AP023402	142260	445880	-106.74	5		5
39AP025303	143250	438910	-84.5	5		5
39AP025304	143250	438910	-101.63	5		5
39AP025403	145080	439630	-90.73	5		5
39AP025603	145080	438800	-83.94	5		5
39AP025704	147000	445500	-67.6	5		5
39BP001802	150990	447250	-25.76	5		5
39BP001902	151930	448970	-28.68	5		5
39BP014102	152610	445800	-21.73	5		5
39BP014402	155230	444240	-34.51	5		5
39BP025302	157210	447390	-28.99	5		5
39BP025402	158230	447090	-34.57	5		5
39BP025502	158390	446700	-36.08	5		5
39BP025902	156280	444740	-33.01	5		5
39BP026002	155290	443330	-33.14	5		5
39BP027502	159720	447390	-28.42	5		5
39BP028001	151380	444190	-62.15	5		5
39BP028303	157030	448660	-28.43	5		5
39BP029002	151630	444890	-50.33	5		5
39BP029202	153690	449220	-58.48	5		5
39BP029402	159050	446970	-27.1	5		5
39BP029403	159050	446970	-55.13	5		5
39BP029902	159740	444040	-22.13	5		5
39BP029903	159740	444040	-42.2	5		5
39BP030502	155290	447450	-24	5		5
39BP031202	154050	438640	-68.39	5		5
39BP032901	159140	446700	-28.49	5		5
39BP032902	159140	446700	-51.49	5		5
39BP033002	159002	446930	-24.58	5		5
39BP033003	159002	446930	-35.58	5		5
39BP033004	159002	446930	-44.58	5		5
39BP033005	159002	446930	-62.58	5		5
39BP033403	159072	447016	-28.76	5		5
39BP033404	159072	447016	-40.76	5		5
39BP033405	159072	447016	-60.76	5		5
39BP034003	158360	445185	-35.33	5		5
39EP010602	167200	443240	-43.76	5		6
39EP011802	162980	447830	-36.44	5		5
39EP012702	162680	448980	-70.92	5		5
39EP013204	166480	445110	-38.53	5		5

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
39EP022402	161960	445100	-42.39	5		5
39EP022403	161960	445100	-67.39	5		6
39EP024303	166040	442255	-34.14	5		5
39EP024304	166040	442255	-43.14	5		6
39EP024704	166380	442460	-43.89	5		5
31BP011603	118600	466420	-82.1	6		6
31BP011604	118600	466420	-107.13	6		6
31CP019005	106980	457550	-70.13	6		5
31DP007703	116190	458048	-84.56	6		6
31DP012305	111470	462320	-74.72	6		5
31DP012405	118300	462390	-80.01	6		6
31EP016202	127785	462890	-98.53	6		6
31EP016403	126450	466520	-78.45	6		6
31FP023502	138620	468195	-98.35	6		6
31FP023704	138620	468400	-126.32	6		6
31FP023804	138790	467920	-126.99	6		6
31FP032410	137980	467770	-106.02	6		6
31FP032411	137980	467770	-118.02	6		6
31FP032412	137980	467770	-129.02	6		6
31GP010304	123720	451060	-128.94	6		6
31GP010603	125600	451970	-130.44	6		6
31GP016203	126960	450220	-104.44	6		6
31GP017005	127050	454320	-135.8	6		6
31GP019503	129870	455540	-99.86	6		6
31GP019504	129870	455540	-138.86	6		6
31GP019603	129935	455730	-102.56	6		6
31GP019604	129935	455730	-133.56	6		6
31GP020505	123620	452485	-112.18	6		6
31HP053203	136440	461360	-69.26	6		6
31HP053302	134750	461820	-69.77	6		6
31HP055805	131440	457090	-145.7	6		6
31HP056603	138940	454800	-93.42	6		5
31HP056803	131400	457240	-88.12	6		5
31HP057003	132380	456900	-87.89	6		5
31HP058003	137400	458900	-65.85	6		5
31HP060303	133500	460060	-68.96	6		5
31HP067506	138425	451545	-126.49	6		6
32AP014803	146750	464950	-96.3	6		6
32AP033504	143500	466160	-117.09	6		6
32AP038606	146670	469230	-112.5	6		6
32AP038607	146670	469230	-130.51	6		6
32AP038608	146670	469230	-149.53	6		6
32BP025404	153650	466750	-93.64	6		6
32BP025405	153650	466750	-142.64	6		6
32CP018705	145820	457220	-91.32	6		6
32CP024502	140180	460420	-72.3	6		5
32CP024503	140180	460420	-117.4	6		6
32CP032603	149710	461550	-110.84	6		6
32CP032702	143030	458520	-91.1	6		6
32CP034603	147410	459600	-88.08	6		6
32CP036406	149240	460005	-98.52	6		6
32CP036407	149240	460005	-127.53	6		6
32CP036903	149770	461550	-87.2	6		6
32CP038210	149480	461790	-85.06	6		5
32CP038211	149480	461790	-90.09	6		6
32CP038212	149480	461790	-94.12	6		6
32CP038608	149550	461640	-88.16	6		6
32CP038609	149550	461640	-103.2	6		6
32CP038610	149550	461640	-114.23	6		6
32CP046807	147310	457935	-88.57	6		6
32CP050206	140100	453815	-91.65	6		5
32DP017109	154942	450500	-97.18	6		6
32DP017110	154942	450500	-108.18	6		6
32DP018505	157260	460000	-104.5	6		6
38BP014203	119840	447640	-111.66	6		6
38EP009803	123200	442060	-110.98	6		6
38EP014605	124460	448105	-100.12	6		6

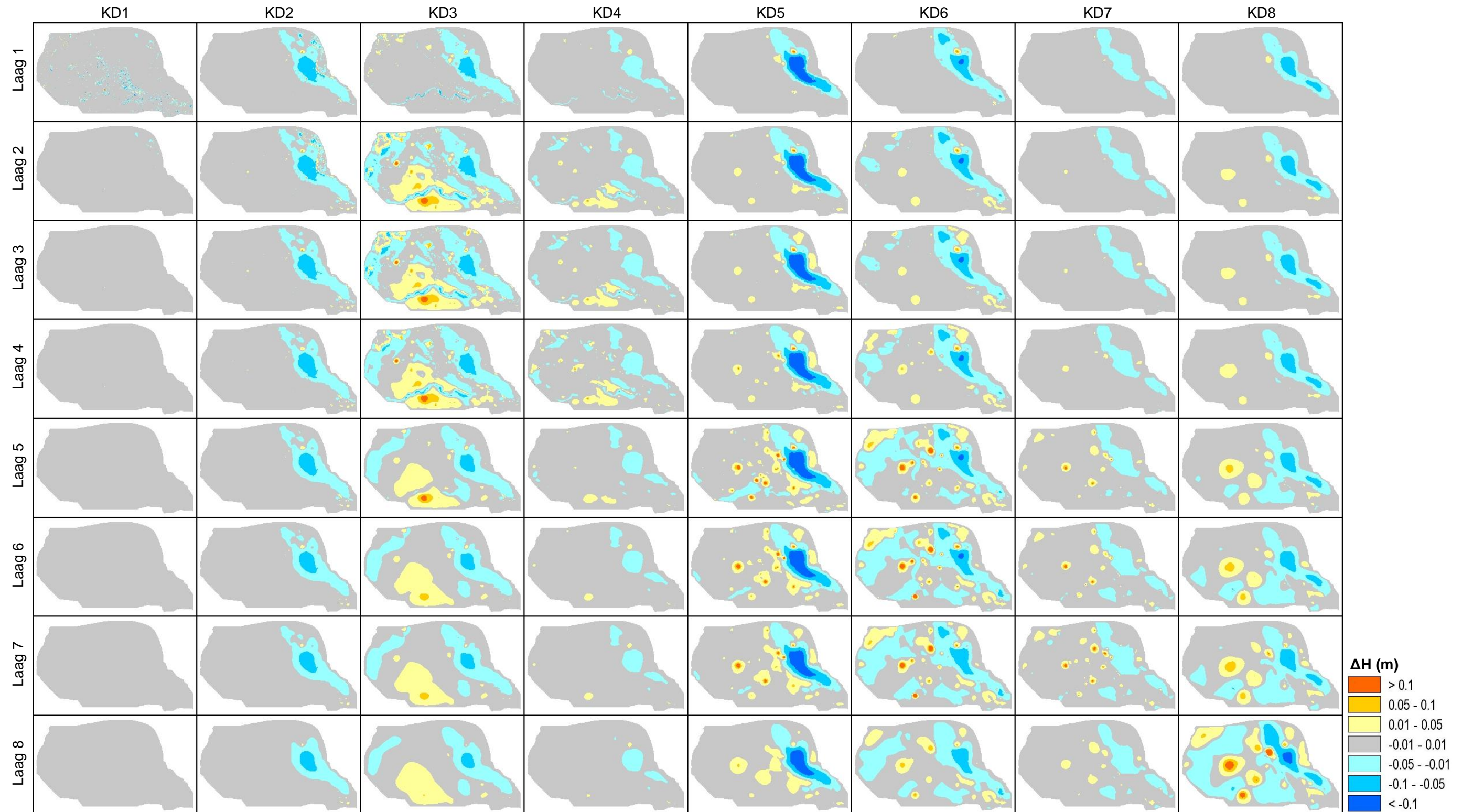
Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
38EP014606	124460	448105	-121.12	6		6
38FP042101	130889	441005	-107	6		6
38FP042402	137025	445950	-132.2	6		6
38FP042602	130949	440934	-106.85	6		6
38FP050303	135088	439159	-109.65	6		6
38FP054906	137825	449780	-131.57	6		6
38FP055808	133937	447067	-114.59	6		6
38FP055809	133937	447067	-134.59	6		6
38FP055908	133221	446081	-111.53	6		6
38FP057006	131711	440437	-121.62	6		6
38HP017703	132388	437054	-90.4	6		6
38HP017704	132388	437054	-117.4	6		6
39AP020804	141320	448130	-131.39	6		6
39AP020904	144075	443590	-137.86	6		6
39AP023403	142260	445880	-140.82	6		6
39AP025404	145080	439630	-125.69	6		6
39AP025605	145080	438800	-119.13	6		6
39AP025606	145080	438800	-132.13	6		6
39BP029203	153690	449220	-86.98	6		6
39BP031203	154050	438640	-97.5	6		6
39BP032903	159140	446700	-65.49	6		5
39BP033406	159072	447016	-84.76	6		6
39EP010603	167200	443240	-64.28	6		6
39EP024203	165955	442075	-34.49	6		5
39EP024204	165955	442075	-53.49	6		6
39EP024205	165955	442075	-69.49	6		6
39EP024305	166040	442255	-58.14	6		6
39EP024705	166380	442460	-61.89	6		6
31FP032413	137980	467770	-140.02	7		6
31GP012803	122360	455100	-157.18	7		6
31GP020506	123620	452485	-137.18	7		6
31GP020507	123620	452485	-144.68	7		6
31GP020508	123620	452485	-158.68	7		6
31HP060405	132200	453560	-177.62	7		7
32CP034604	147410	459600	-124.25	7		6
32CP035409	145380	456450	-149.81	7		7
32DP011404	150200	454840	-148.85	7		7
38BP014204	119840	447640	-139.69	7		7
38EP014608	124460	448105	-162.12	7		7
38FP041906	136135	448345	-159	7		7
38FP056906	131211	441001	-129.61	7		6
39AP021906	149730	444740	-137.26	7		7
39AP025306	143250	438910	-141.72	7		6
39AP025607	145080	438800	-146.9	7		6
31FP023503	138620	468195	-221.69	8		7
31GP010604	125600	451970	-193.45	8		7
31GP016204	126960	450220	-193.49	8		7
31GP017006	127050	454320	-181.83	8		7
31GP020510	123620	452485	-183.68	8		7
31HP060406	132200	453560	-190.62	8		7
32AP033505	143500	466160	-209.12	8		7
32CP018707	145820	457220	-134.36	8		7
32CP023404	149830	452720	-139.76	8		7
32CP032704	143030	458520	-165.16	8		7
32CP032705	143030	458520	-180.2	8		7
32CP033604	142970	457840	-168.99	8		7
32CP035309	145370	456820	-167.31	8		7
32CP035410	145380	456450	-169.82	8		7
32CP036408	149240	460005	-164.55	8		7
32CP038612	149550	461640	-166.27	8		7
38BP014205	119840	447640	-196.72	8		7
38EP009805	123200	442060	-171.01	8		7
38EP009806	123200	442060	-189.04	8		7
38EP009807	123200	442060	-209.06	8		7
38EP014609	124460	448105	-181.12	8		7
38EP014610	124460	448105	-197.12	8		7
38FP044704	131740	445870	-172.11	8		7

Code	X	Y	Filterdiepte (m +NAP)	Modellaag	WVP1 en 2	Modellaag in 7-laags model
38FP050305	135088	439159	-161.65	8		7
38FP050306	135088	439159	-195.65	8		7
38FP050405	135820	442076	-165.4	8		7
38FP050406	135820	442076	-181.4	8		7
38FP050407	135820	442076	-203.4	8		7
38FP050505	131931	440115	-157.35	8		7
38HP017705	132388	437054	-140.4	8		7
38HP017706	132388	437054	-157.4	8		7
38HP017707	132388	437054	-179.4	8		7
39AP020805	141320	448130	-177.43	8		7
39AP020905	144075	443590	-193.89	8		7
39AP020906	144075	443590	-232.93	8		7
39AP021004	147680	448540	-115.76	8		7
39AP021907	149730	444740	-147.27	8		7
39AP021908	149730	444740	-170.3	8		7
39AP023404	142260	445880	-180.9	8		7
39EP009304	163000	438030	-76.79	8		7

F Resultaten gevoeligheidsanalyse

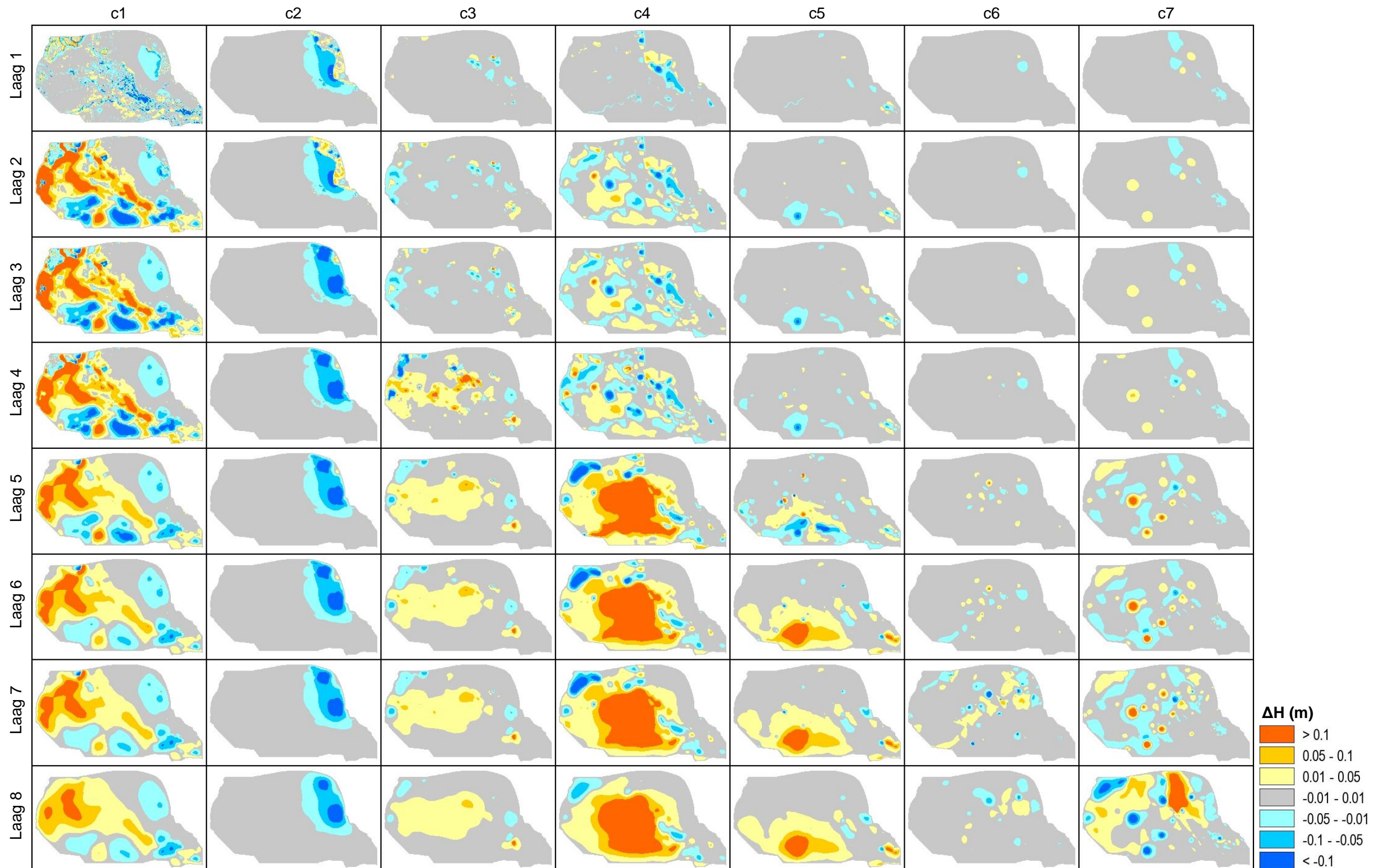
F.1 kD-waarde x 125%

$\Delta H = \text{scenario} - \text{initieel (m)}$



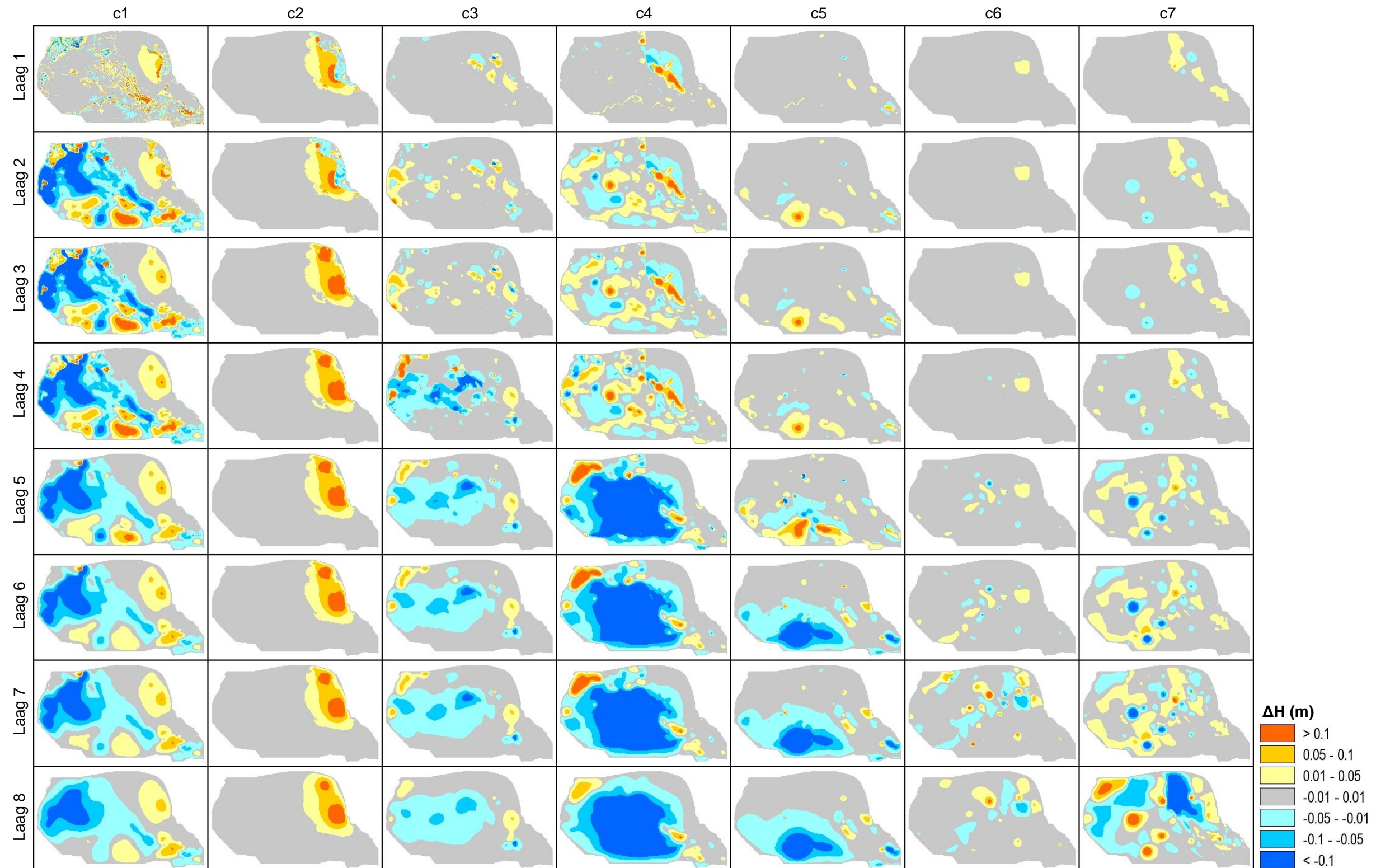
F.2 c-waarde x 200%

$\Delta H = \text{scenario} - \text{initieel (m)}$



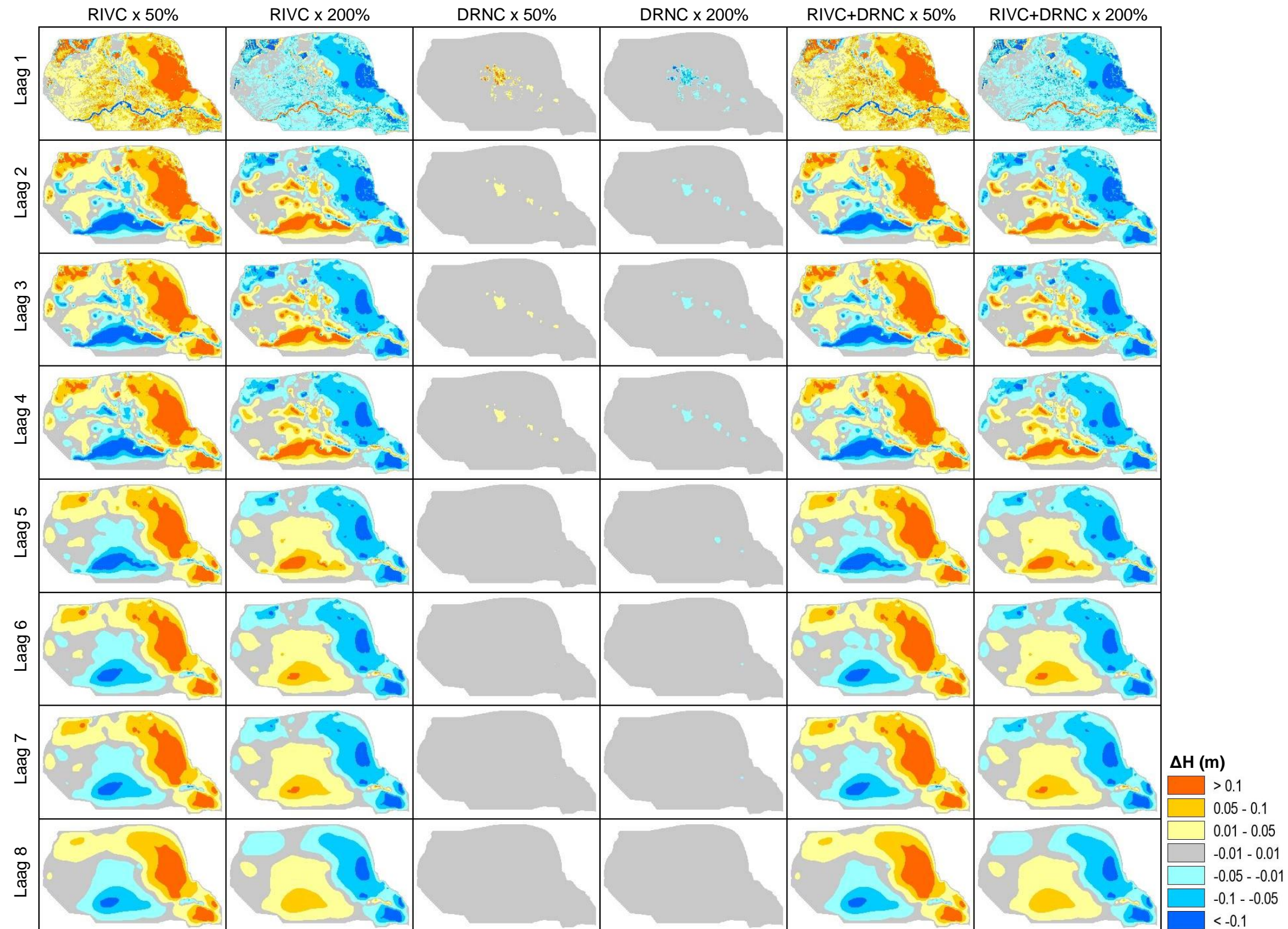
F.3 c-waarde x 50%

$\Delta H = \text{scenario} - \text{initieel (m)}$



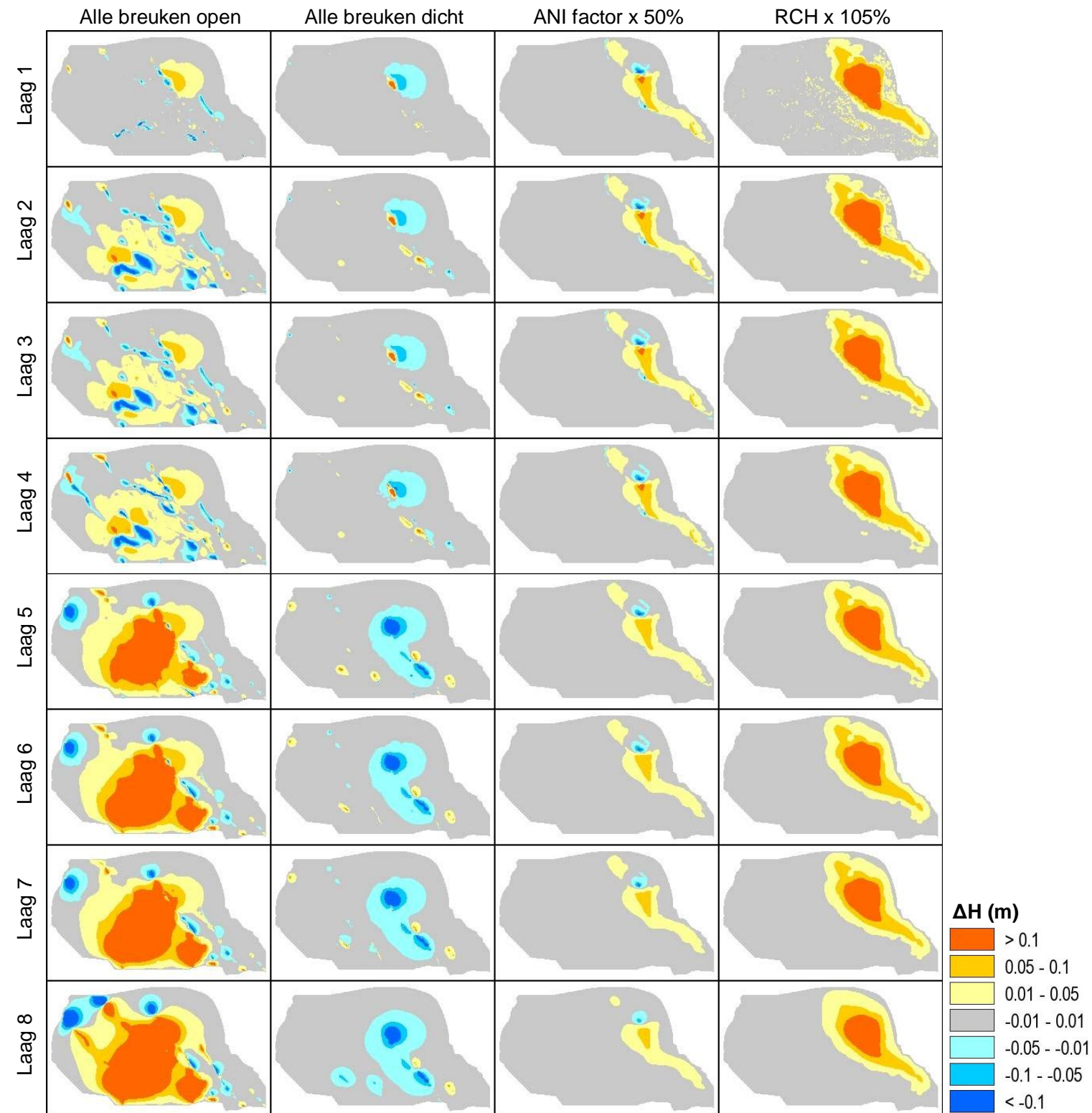
F.4 Conductance waterlopen en drainage x 50% en x 200%

$\Delta H = \text{scenario} - \text{initieel (m)}$

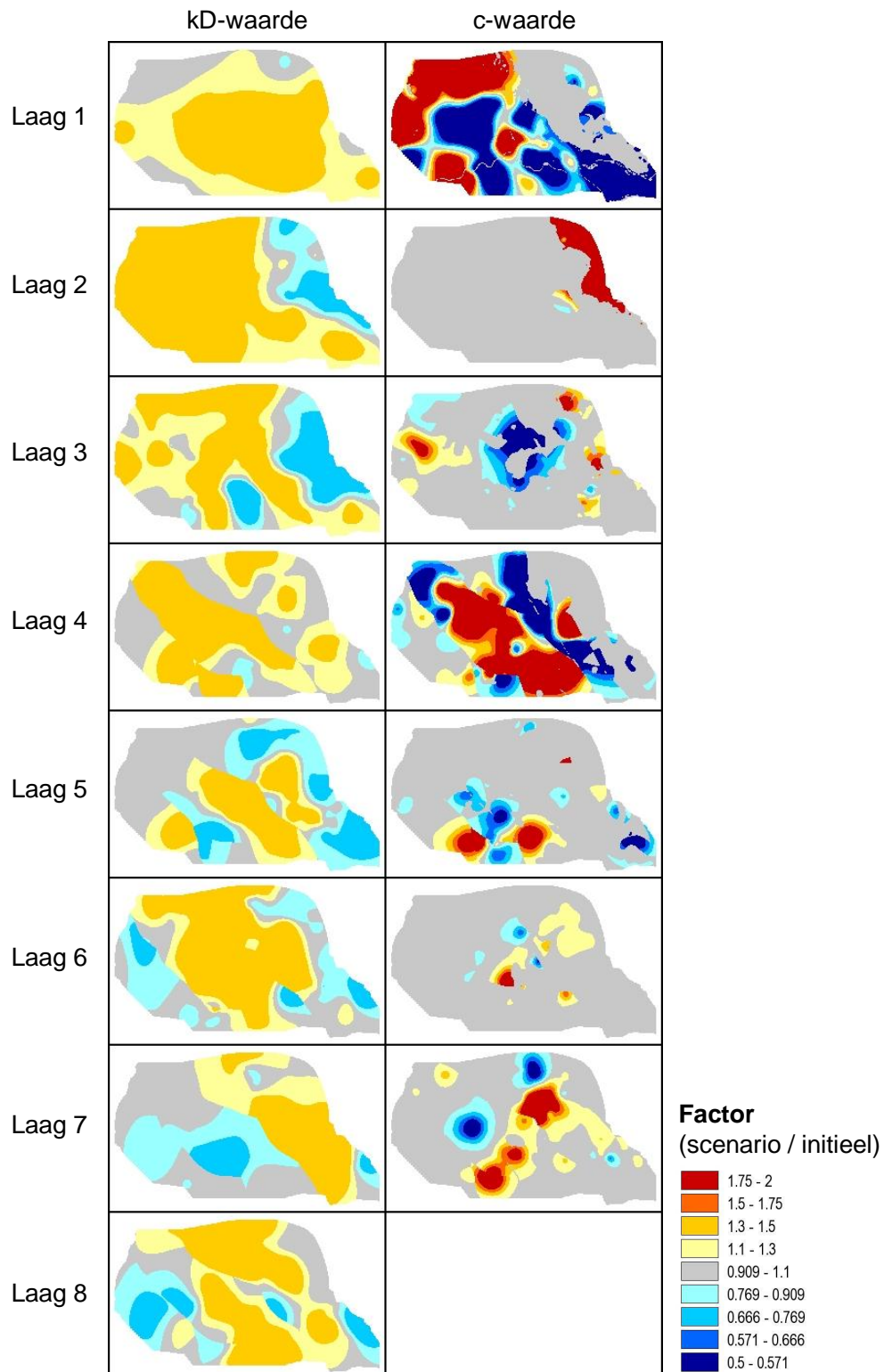


F.5 Breuken open/dicht, anisotropiefactor x 50% en grondwateraanvulling x 105%

$\Delta H = \text{scenario} - \text{initieel (m)}$



G Aanpassingsfactoren stationaire kalibratie

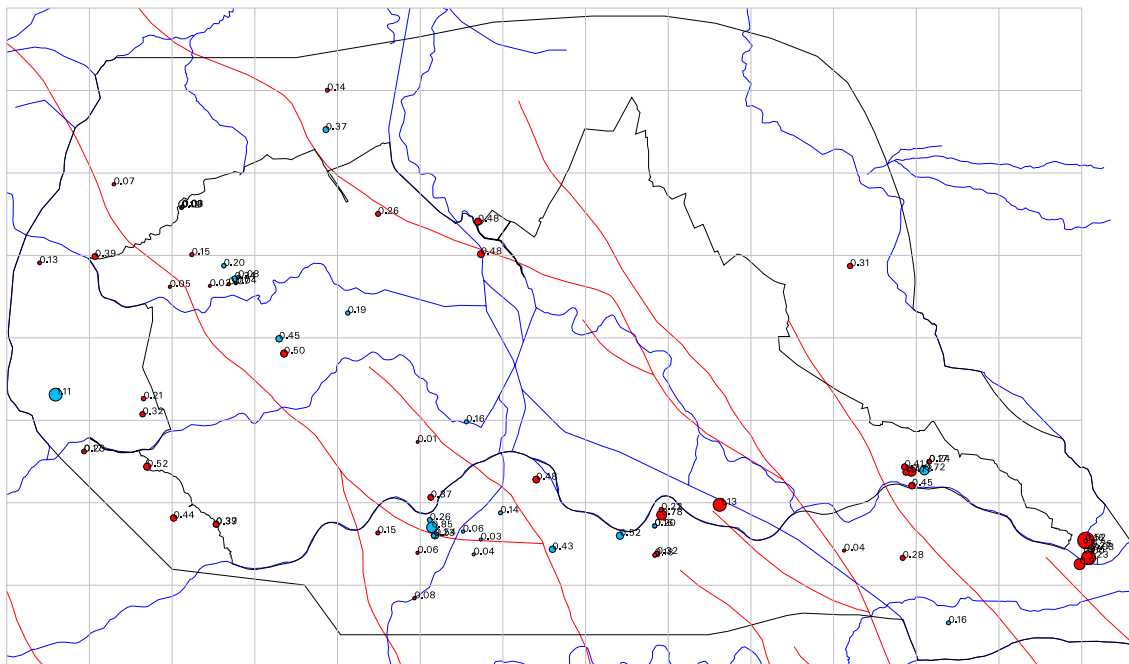


H Residuen

H.1 Ballenkaarten vóór aanpassingen o.b.v. Vitens/Grondmij data en diepe polders

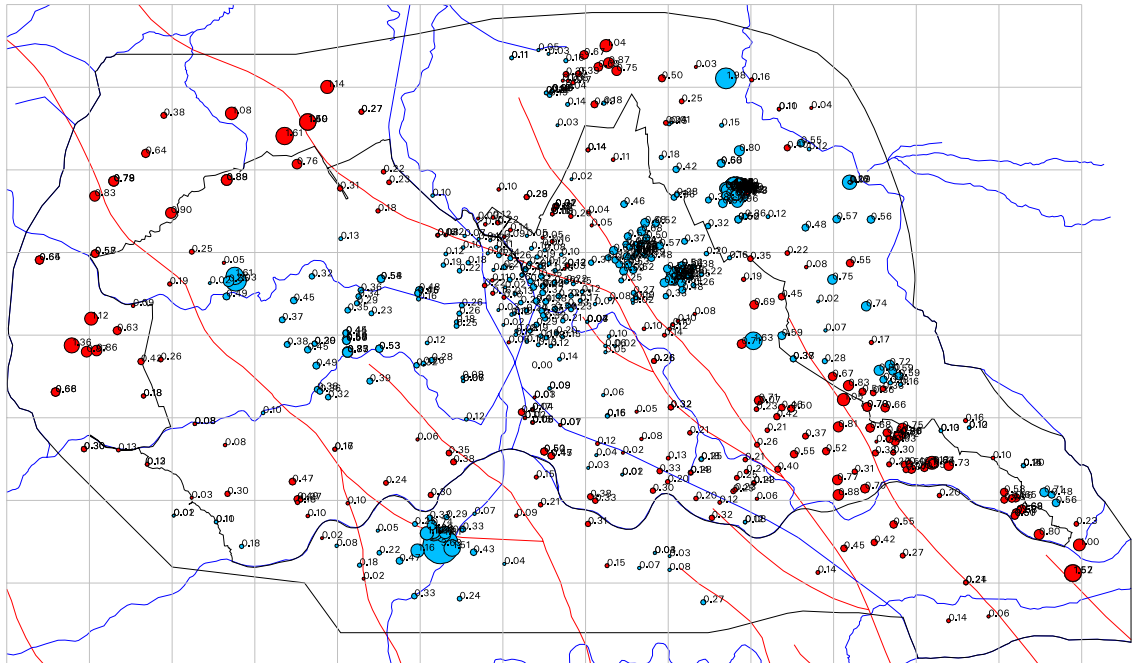
- NB: het aantal modellagen is later uitgebreid van 7 naar 8
- Zie voor de aanpassingen Paragrafen 2.2.5 en 2.5

H.1.1 Ballenkaart modellaag 1

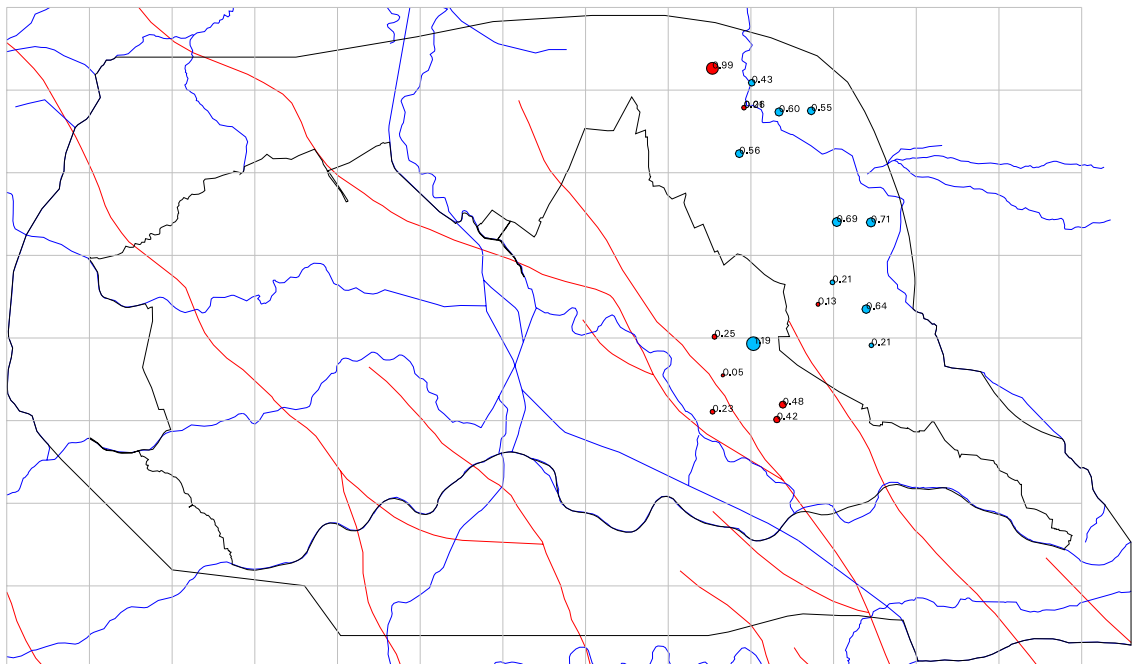


- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.1.2 Ballenkaart modellaag 2

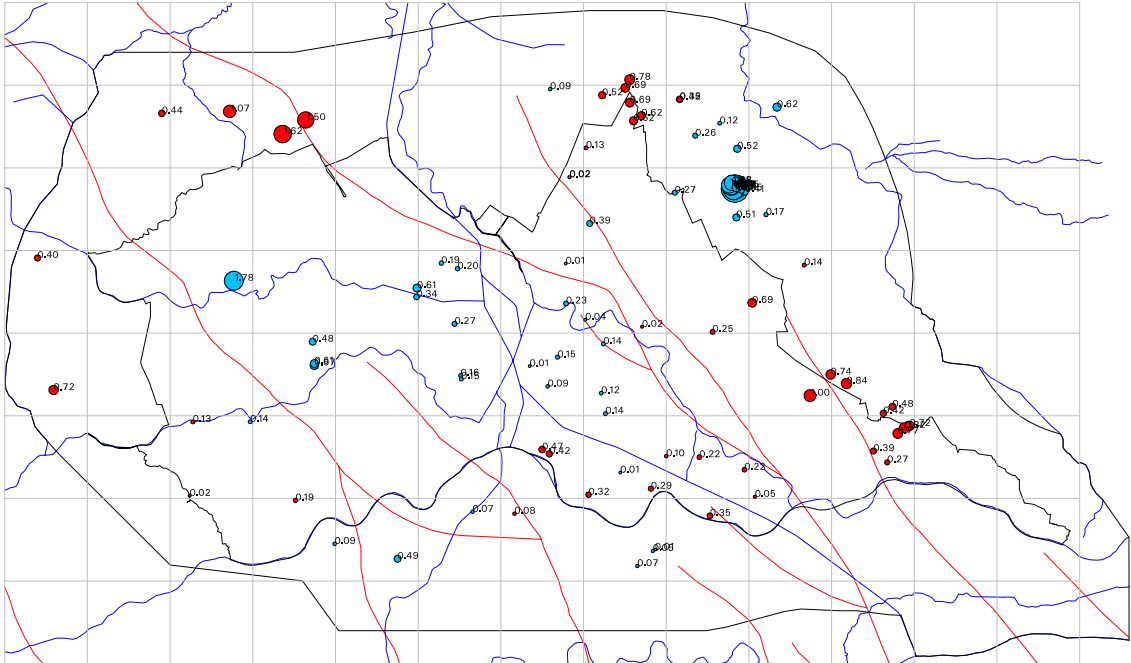


H.1.3 Ballenkaart modellaag 3

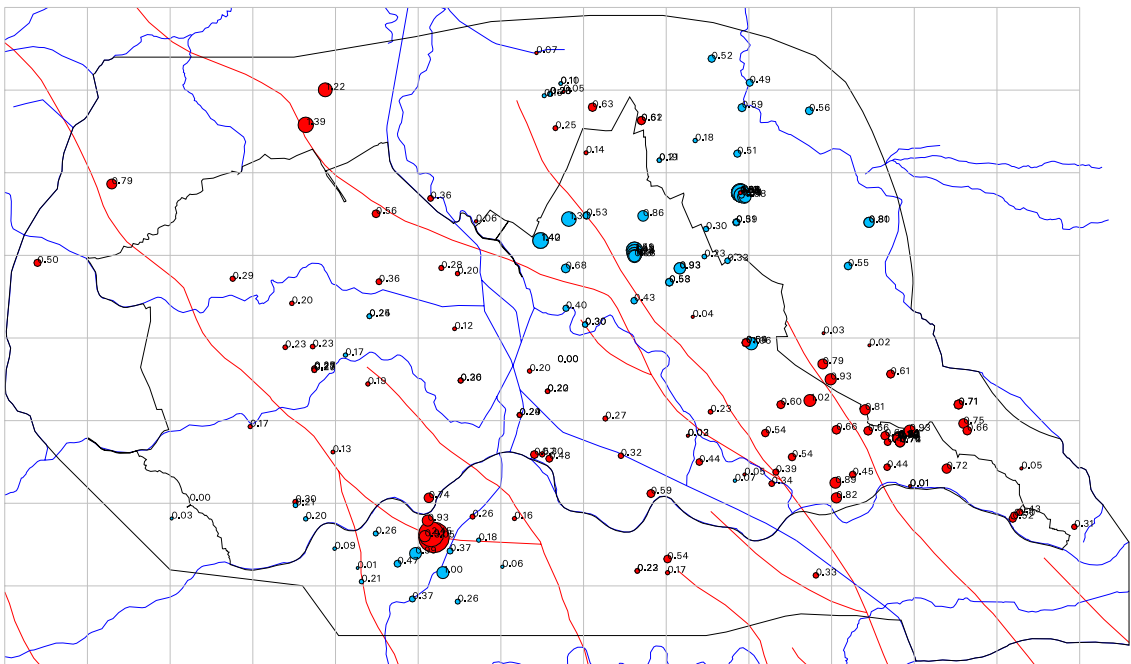


- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.1.4 Ballenkaart modellaag 4

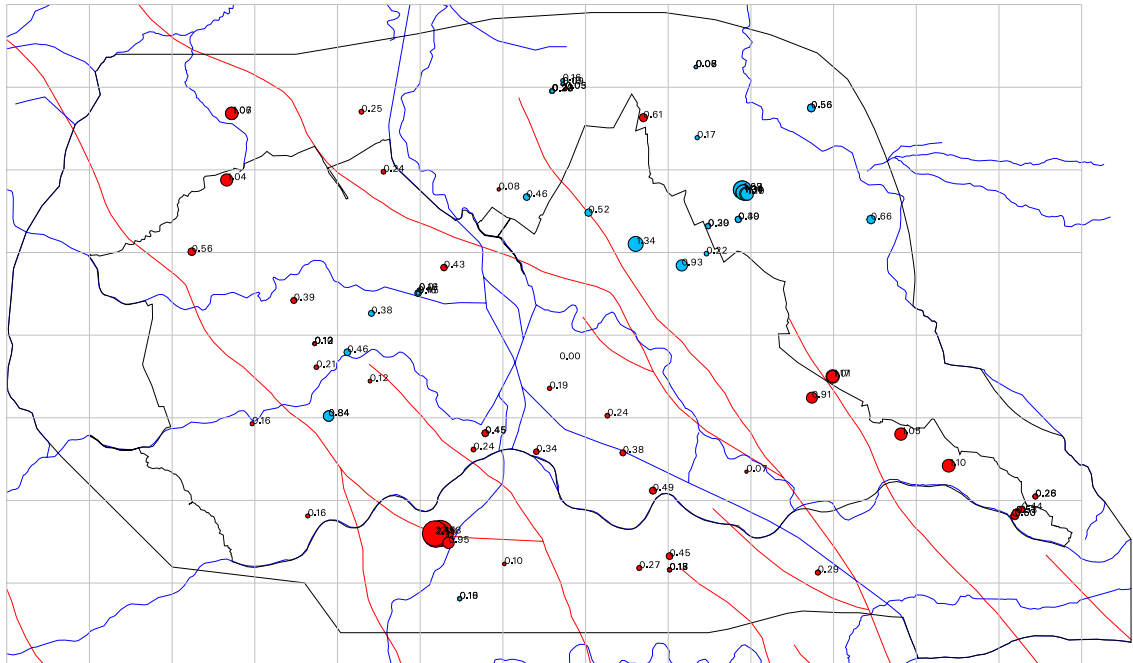


H.1.5 Ballenkaart modellaag 5

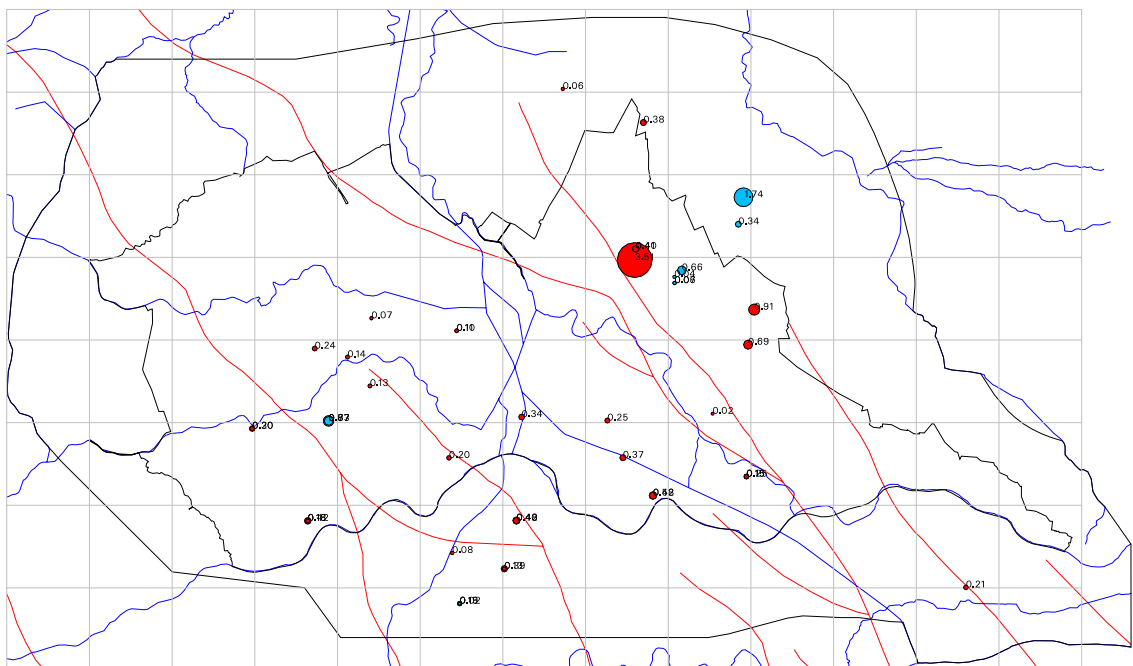


- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.1.6 Ballenkaart modellaag 6



H.1.7 Ballenkaart modellaag 7



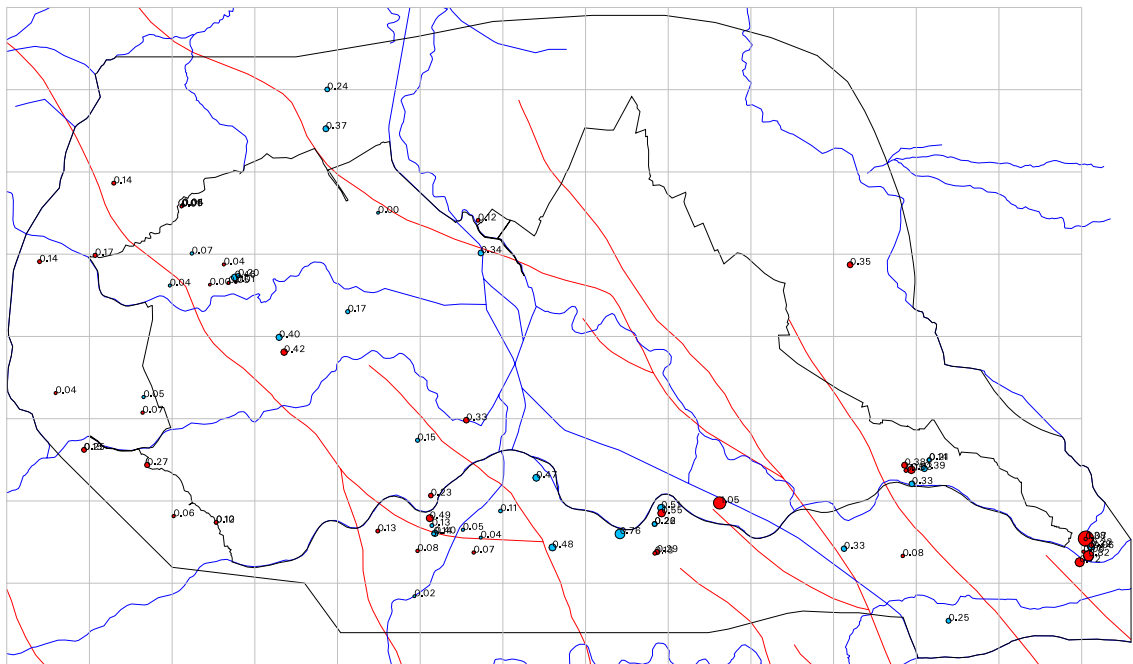
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.2 Ballenkaarten voor en na kalibratie

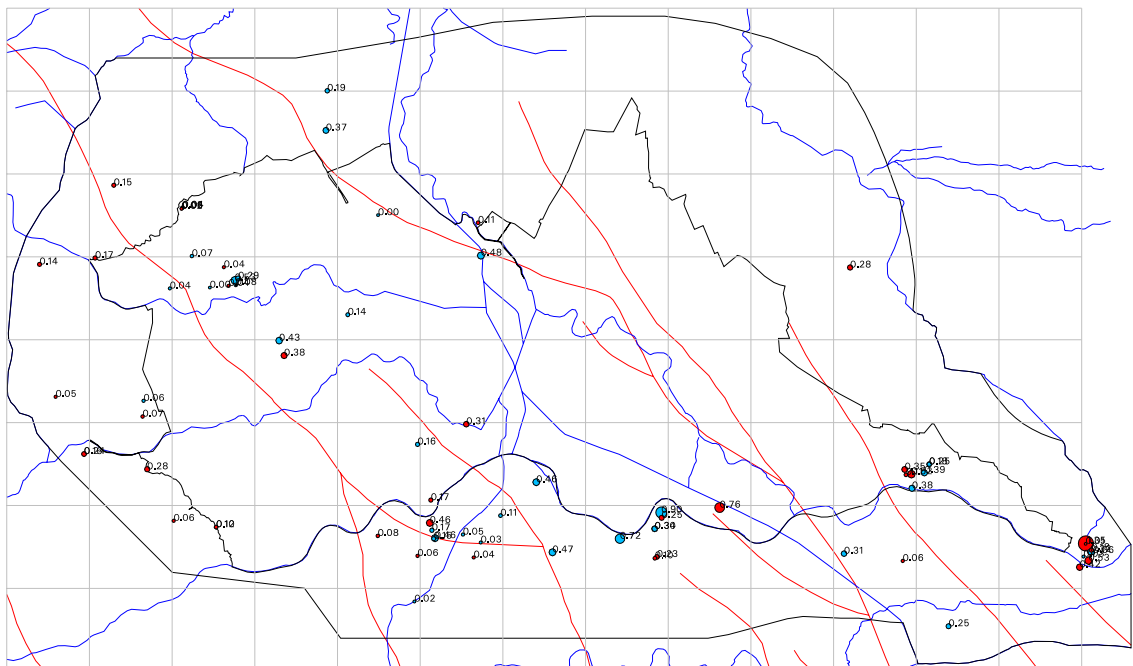
- Initieel (voor kalibratie)
- Na stationaire kalibratie
- Na niet-stationaire kalibratie

H.2.1 Ballenkaart modellaag 1

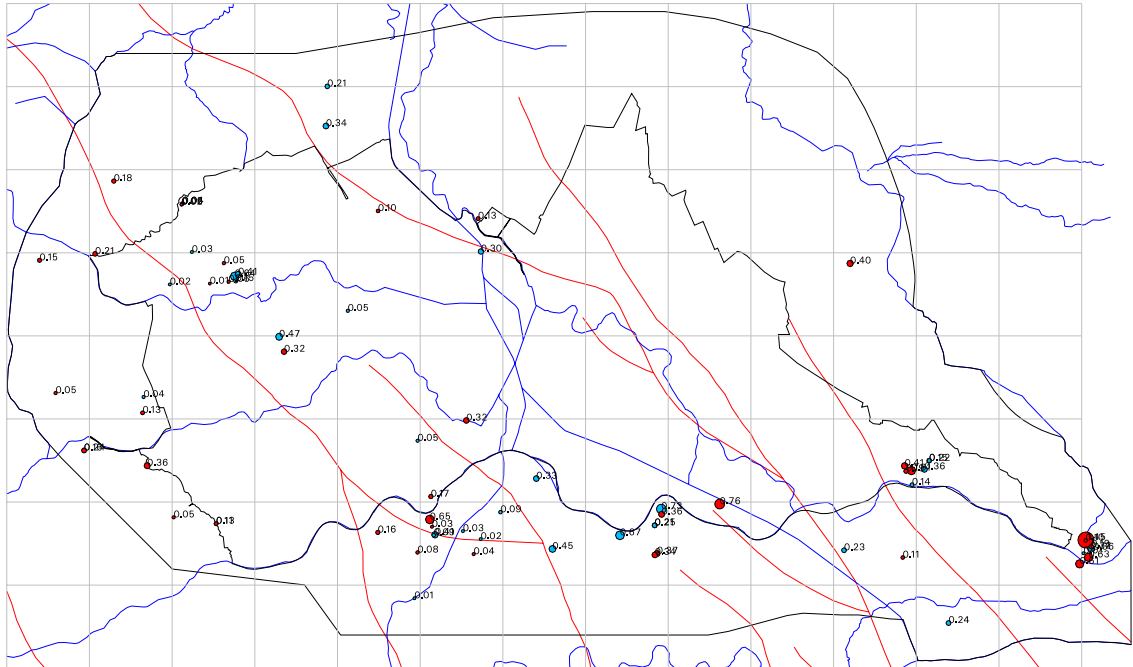
Initieel



Na stationaire kalibratie



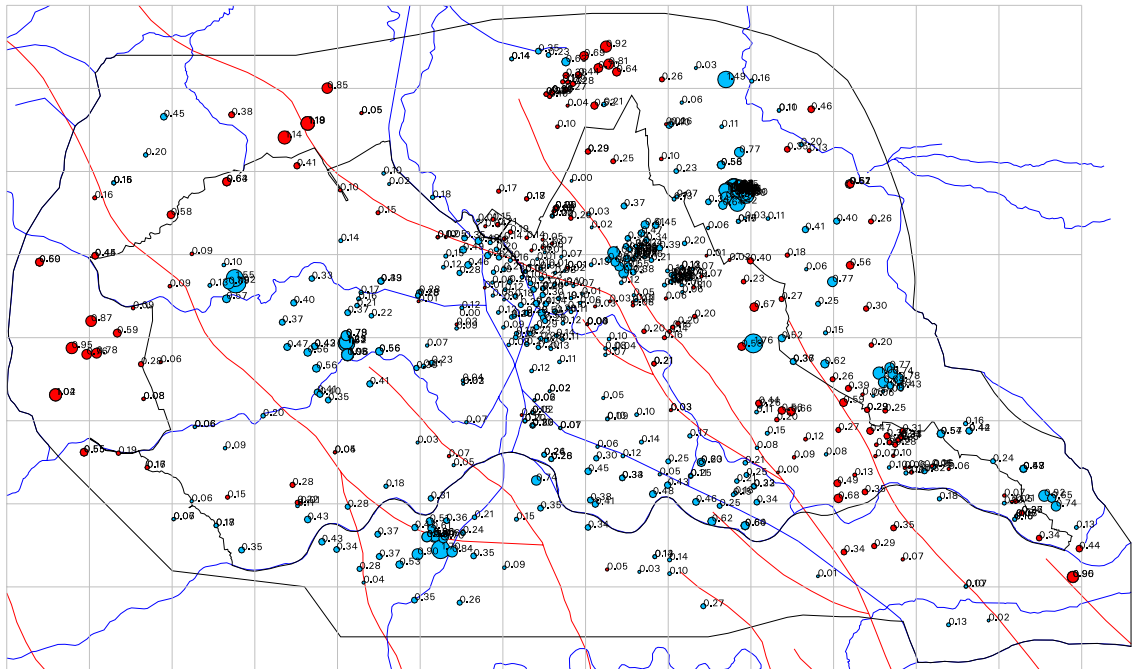
Na niet-stationaire kalibratie



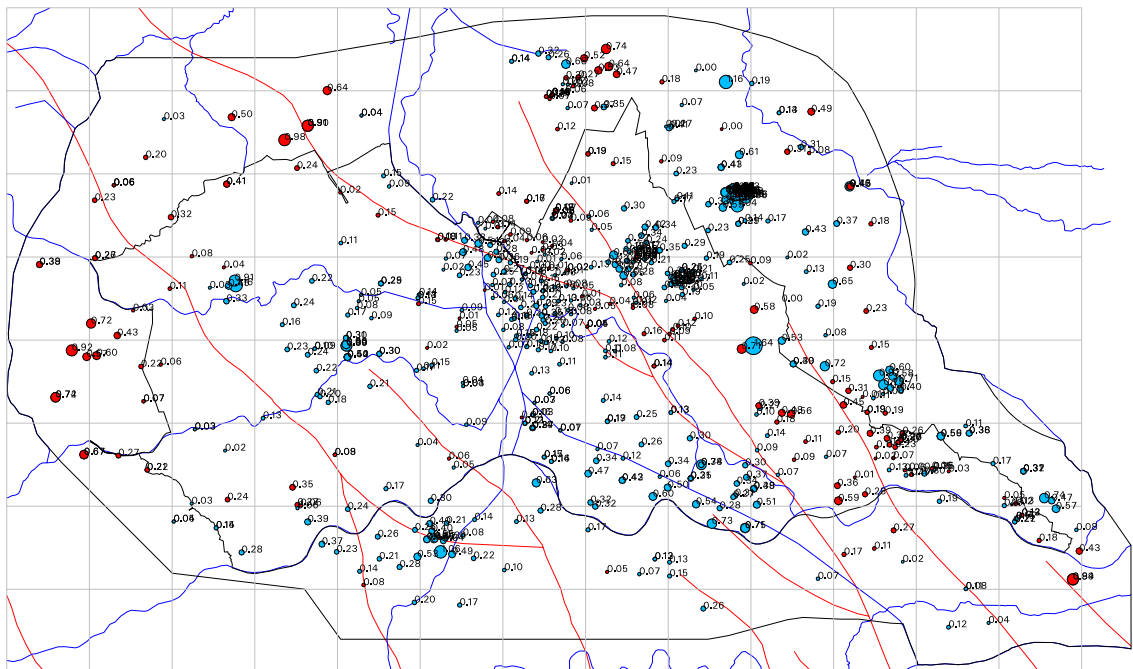
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.2.2 Ballenkaart modellaag 2

Initieel

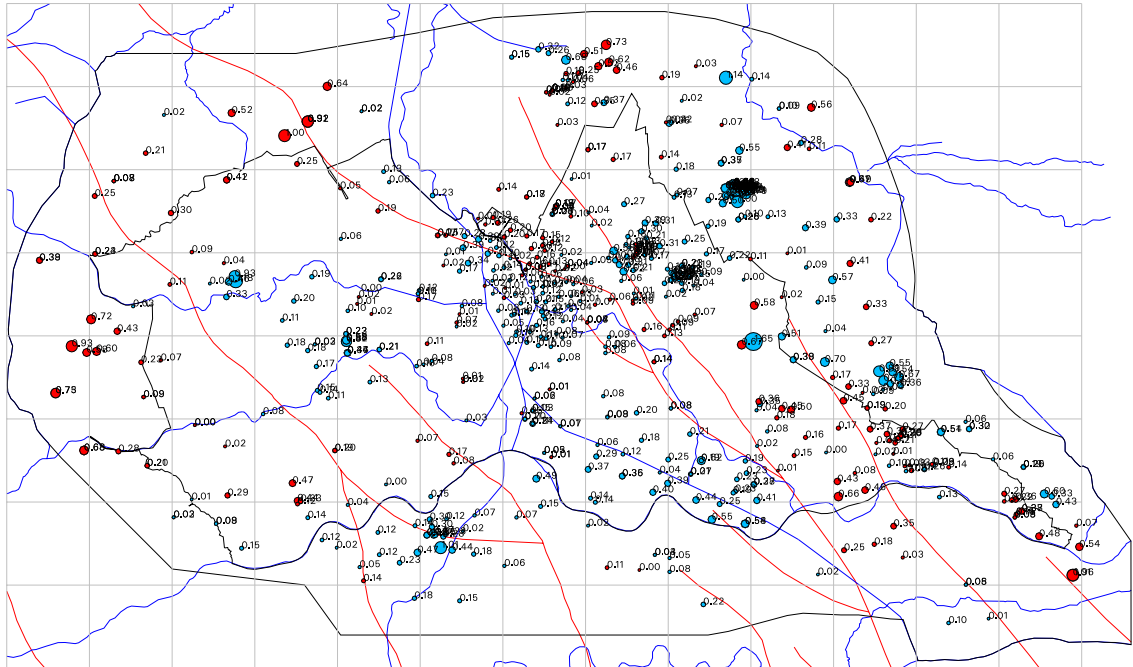


Na stationaire kalibratie



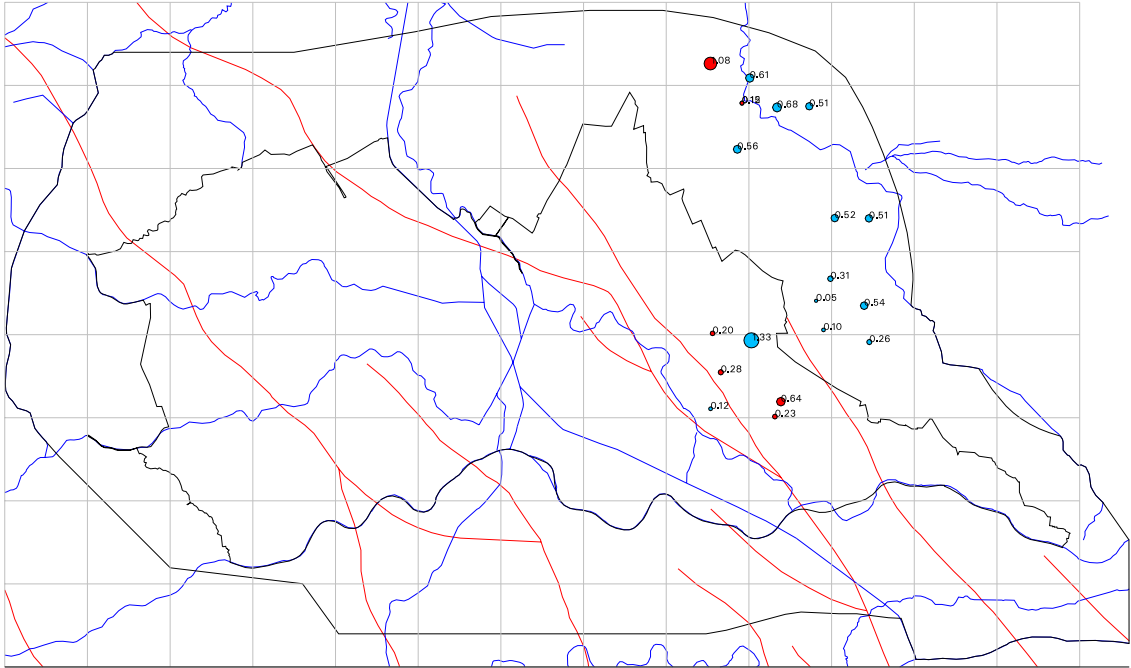
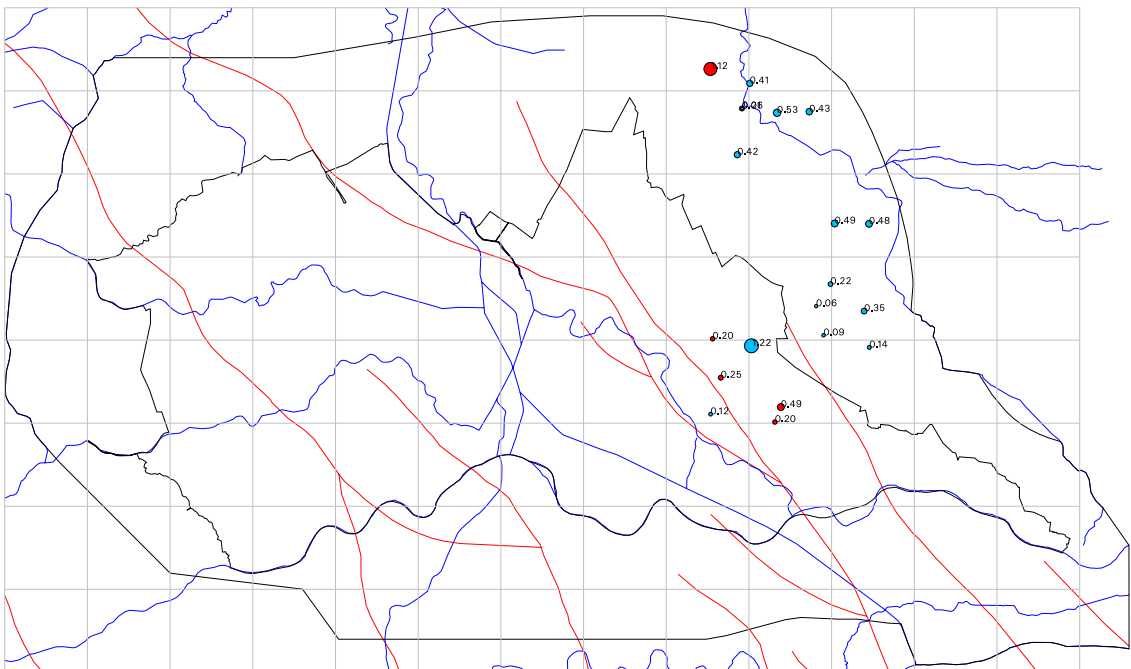
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

Na niet-stationaire kalibratie



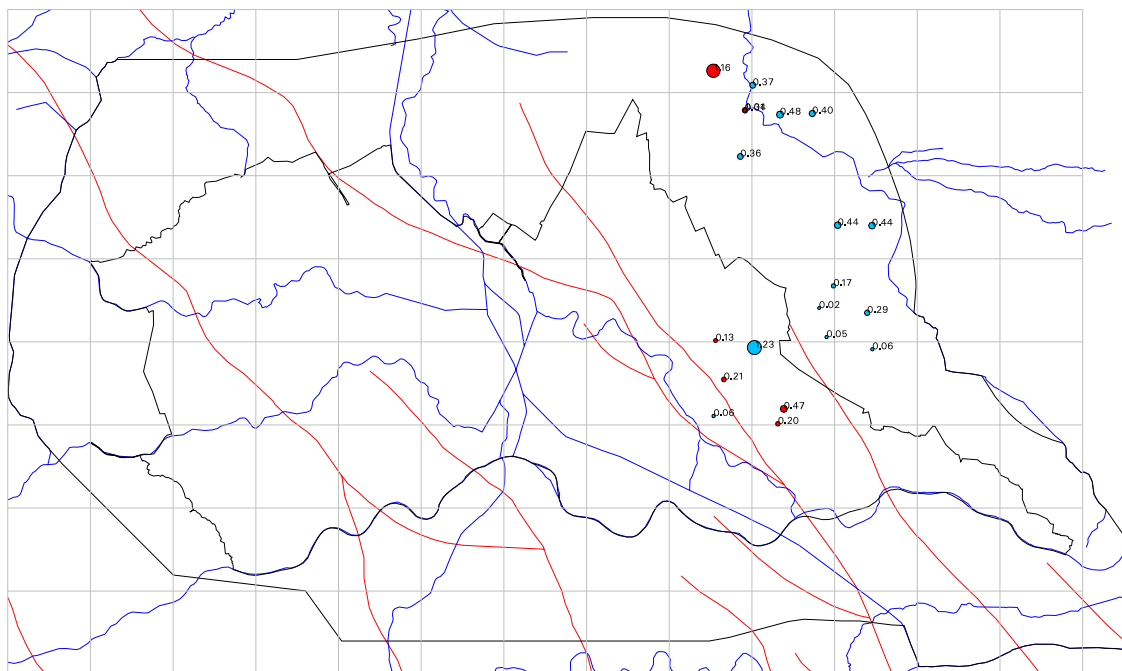
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.2.3 Ballenkaart modellaag 3

Initieel*Na stationaire kalibratie*

- rood = model > meting
- blauw = model < meting

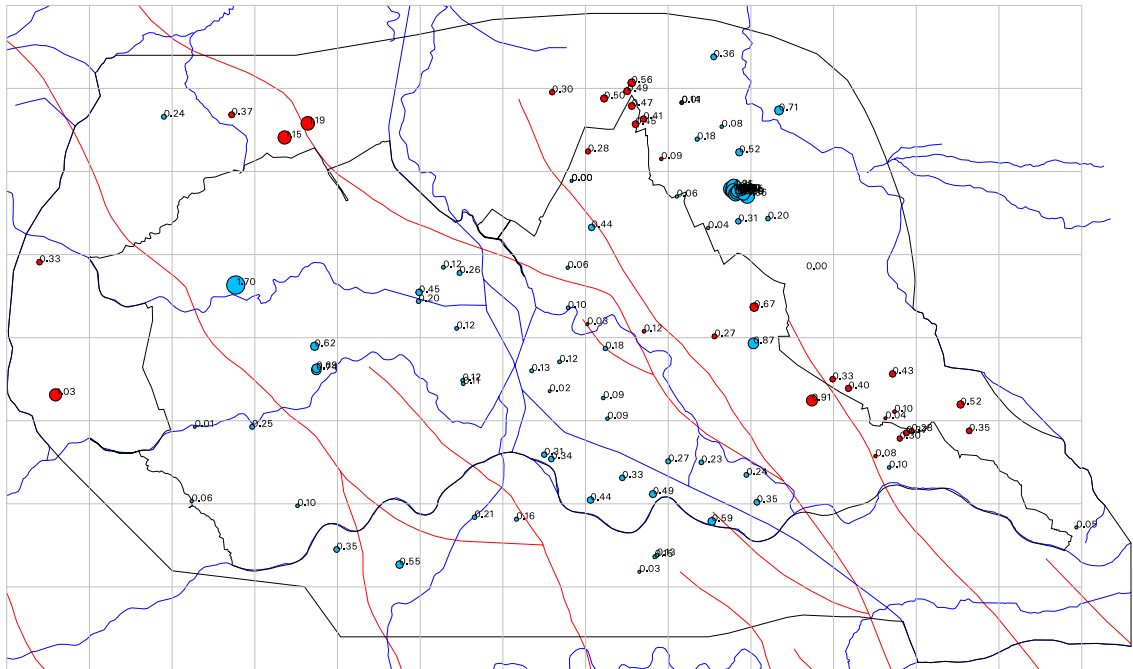
Na niet-stationaire kalibratie



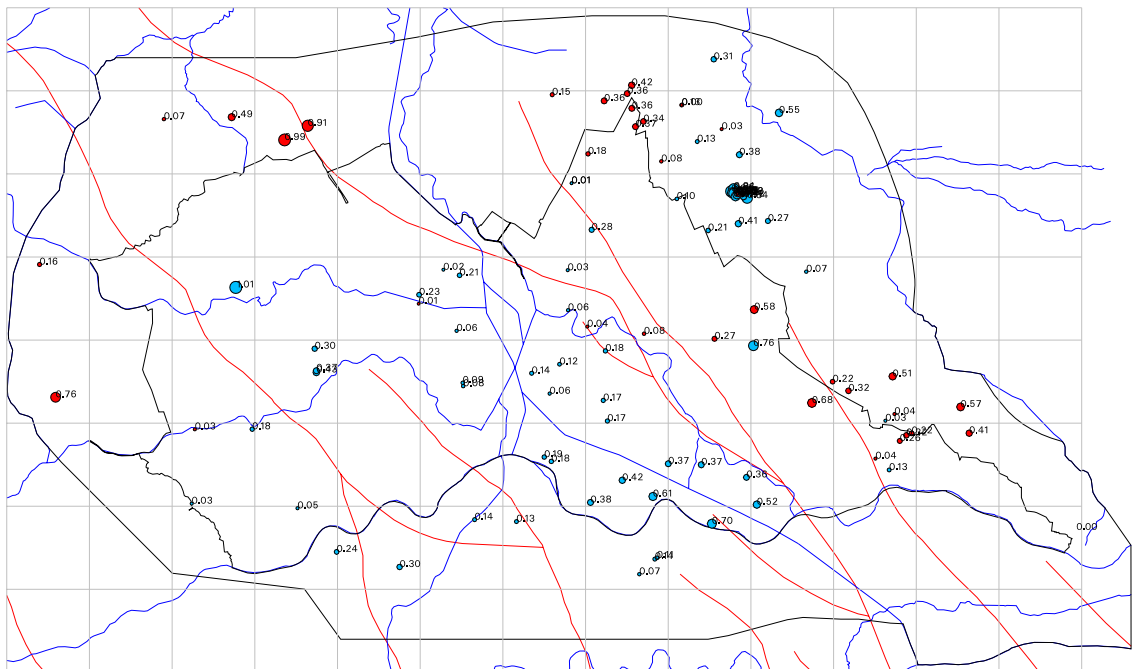
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.2.4 Ballenkaart modellaag 4

Initieel

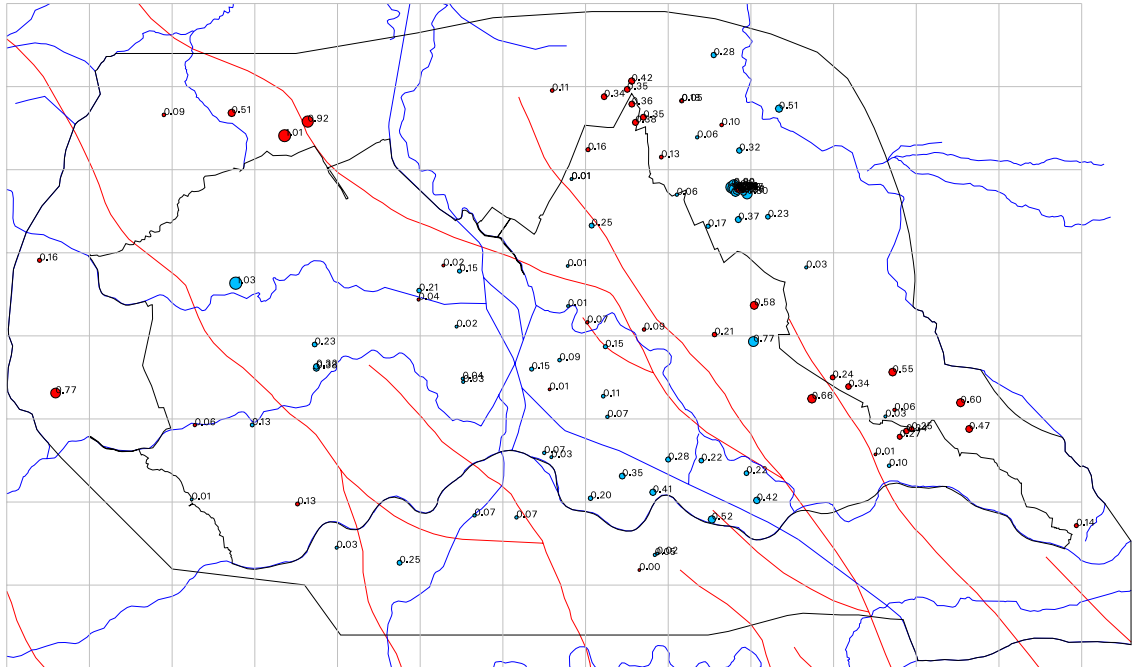


Na stationaire kalibratie



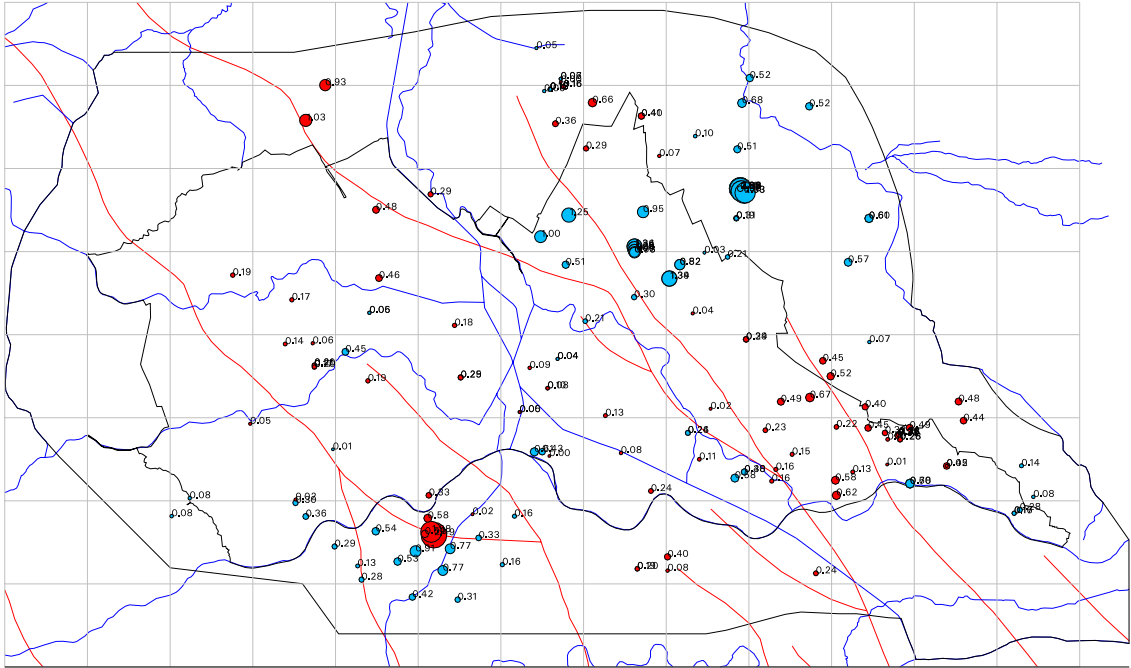
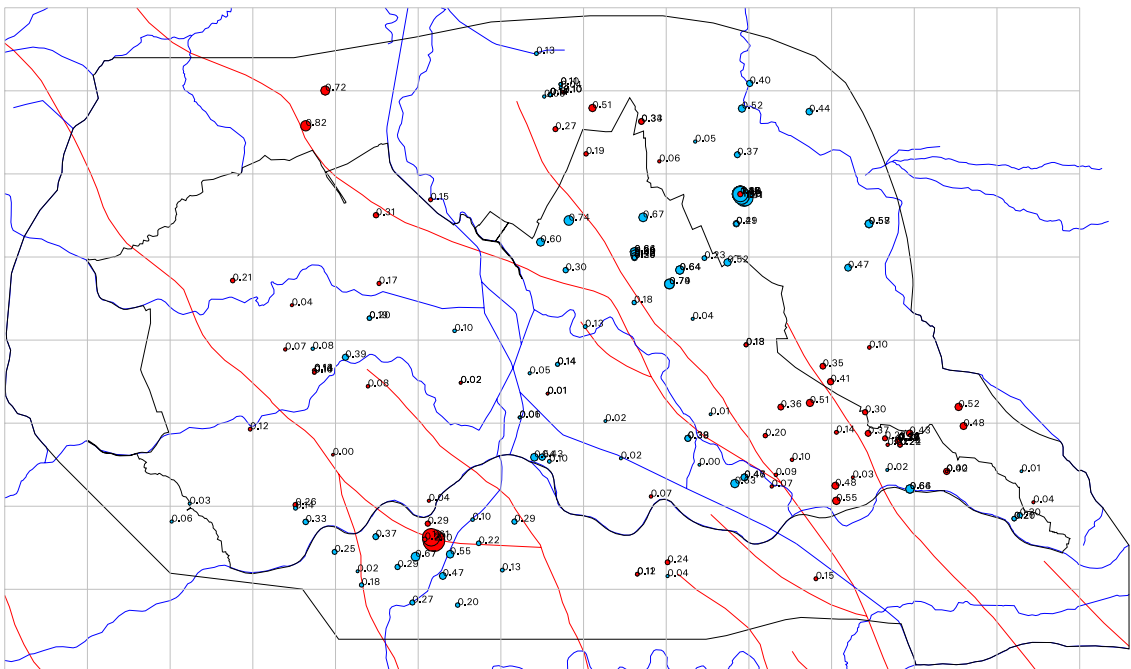
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

Na niet-stationaire kalibratie



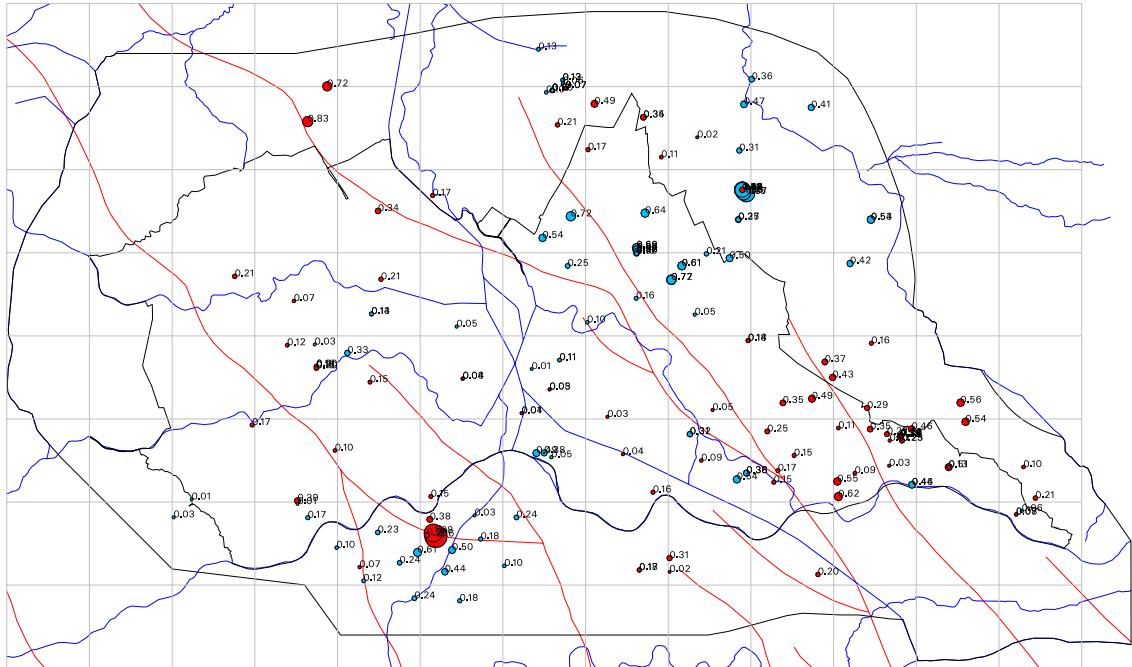
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.2.5 Ballenkaart modellaag 5

Initieel*Na stationaire kalibratie*

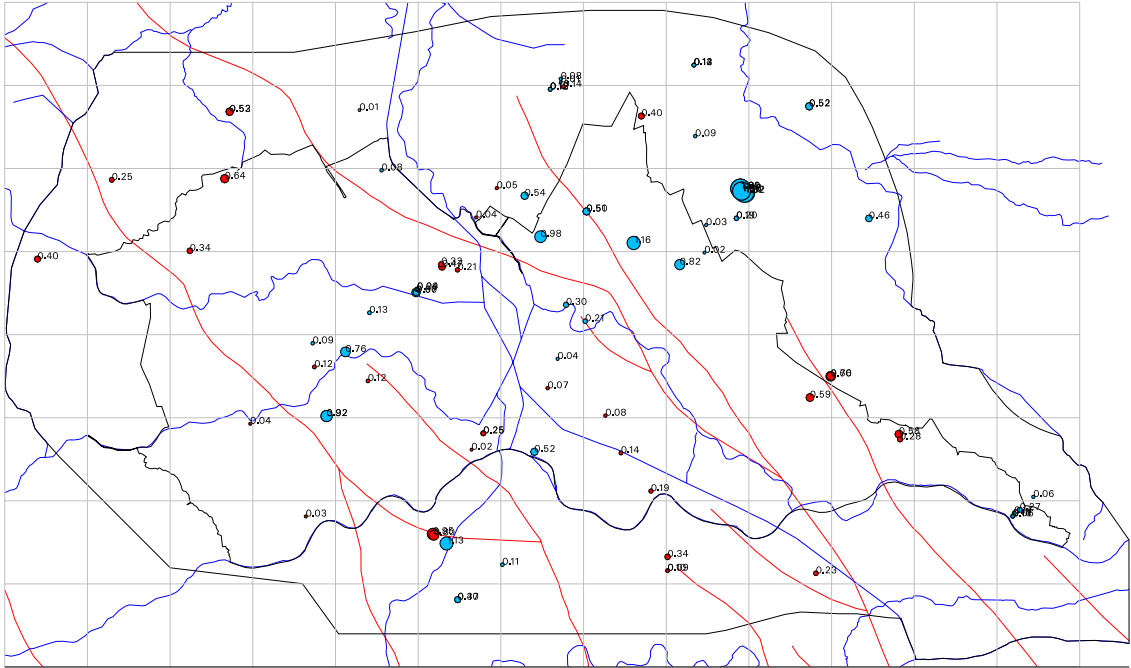
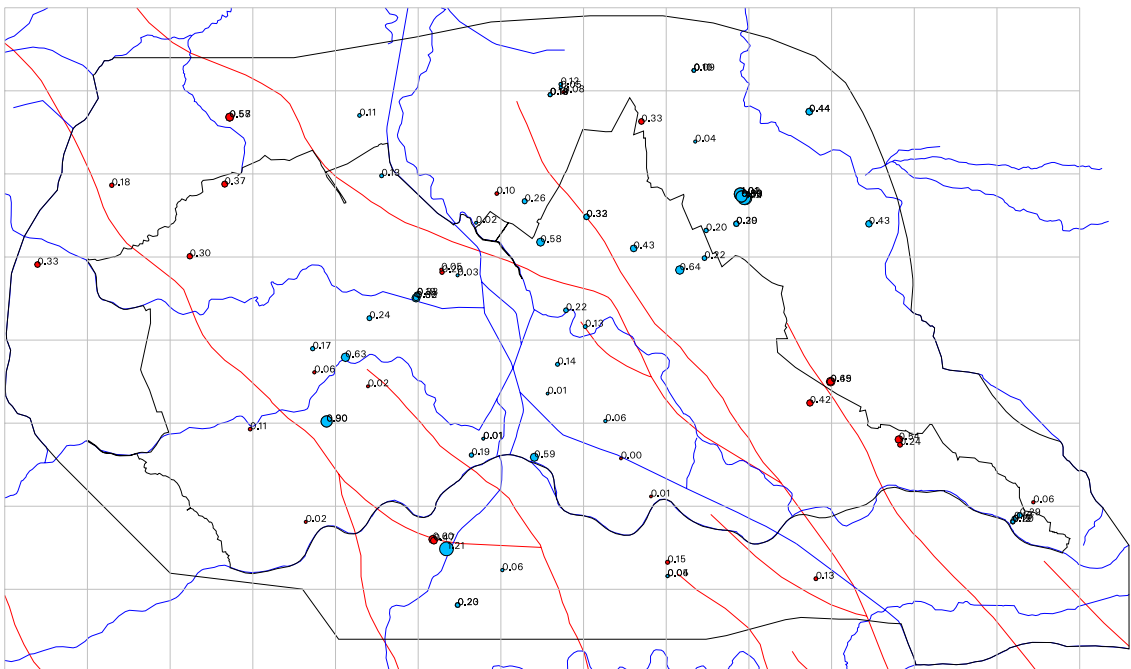
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

Na niet-stationaire kalibratie



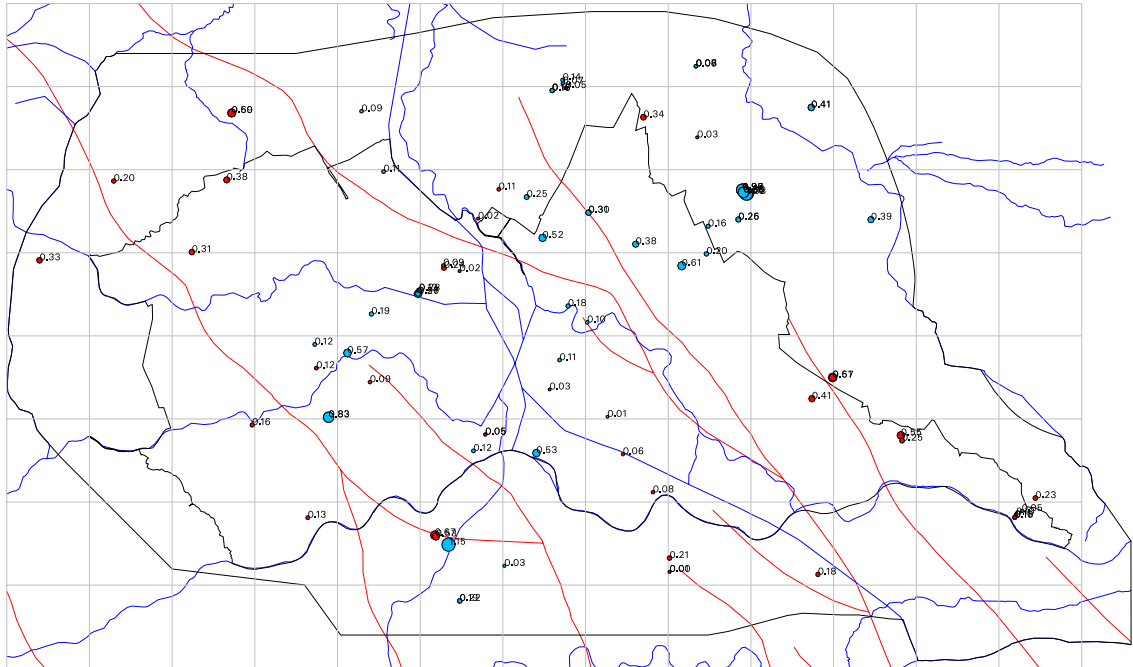
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.2.6 Ballenkaart modellaag 6

Initieel*Na stationaire kalibratie*

- rood = model > meting
- blauw = model < meting

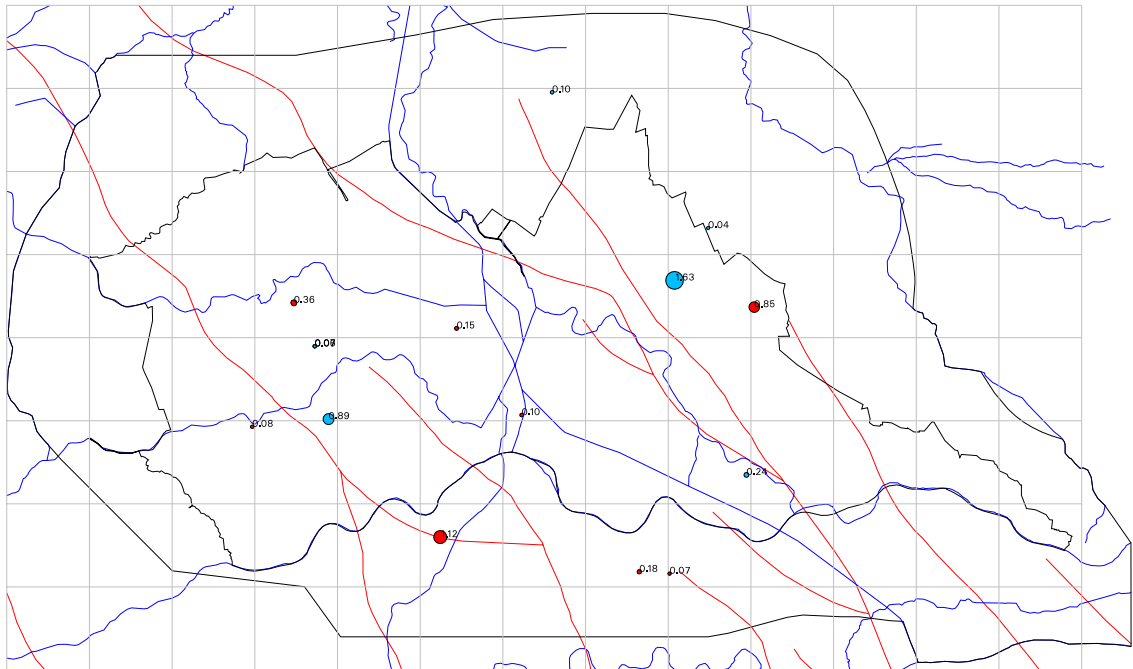
Na niet-stationaire kalibratie



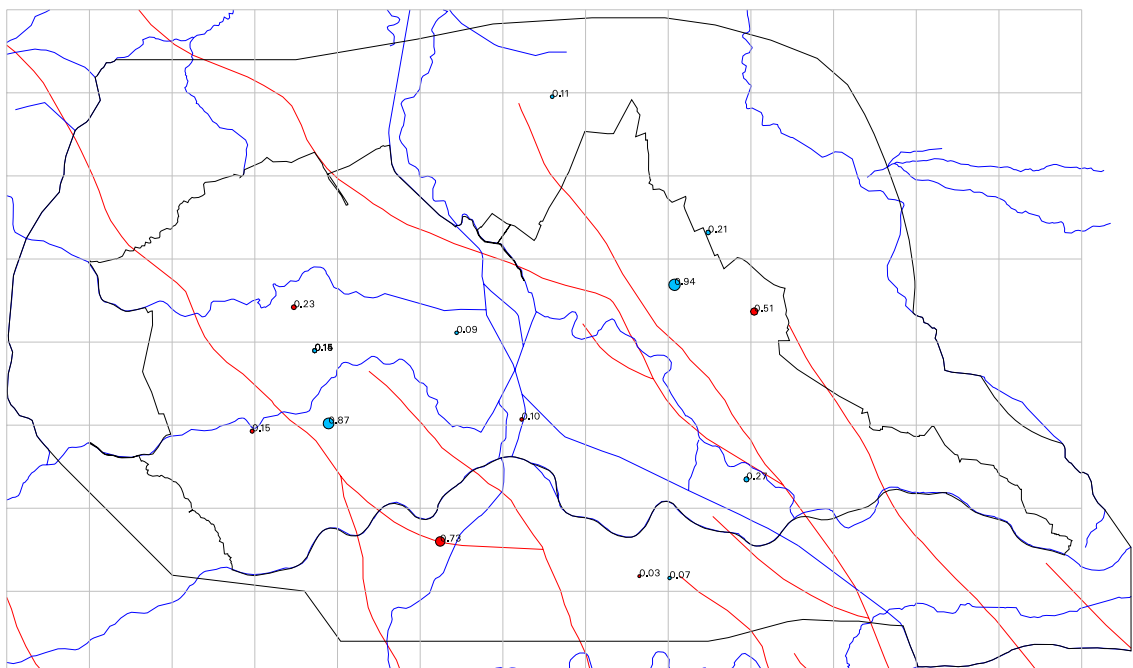
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.2.7 Ballenkaart modellaag 7

Initieel

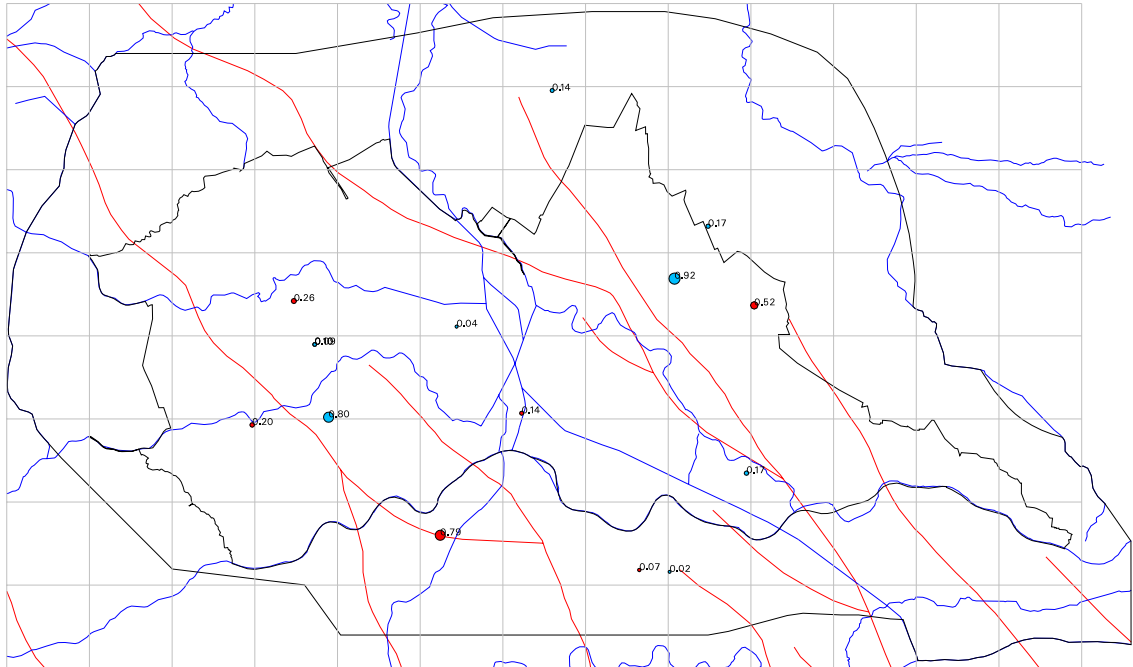


Na stationaire kalibratie



- rood = model > meting
- blauw = model < meting

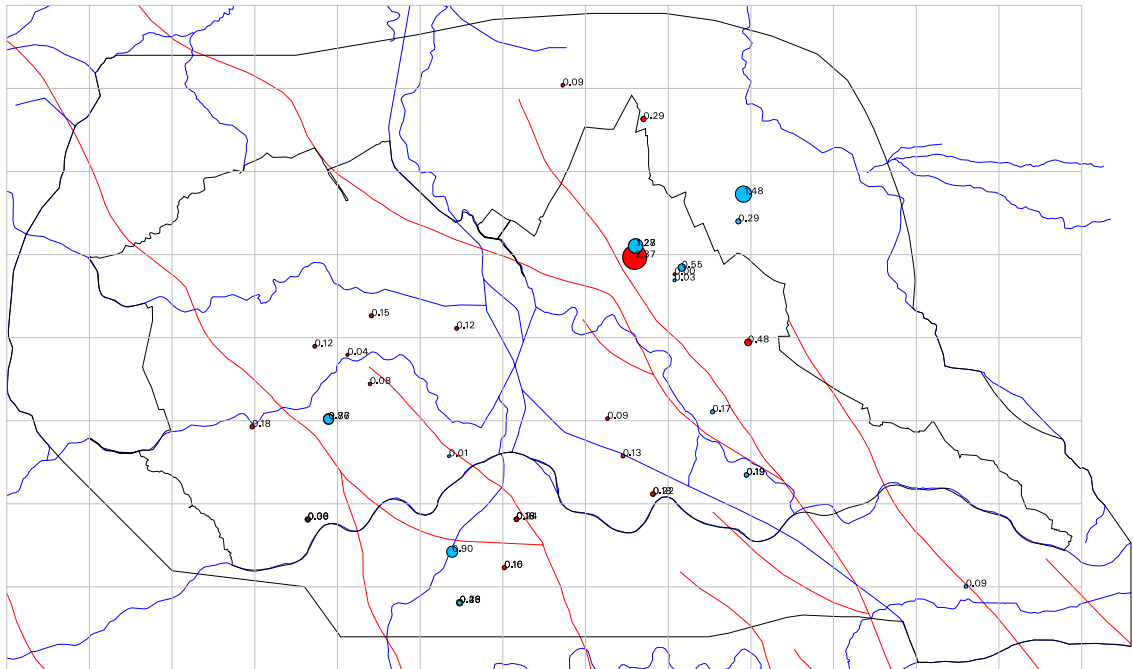
Na niet-stationaire kalibratie



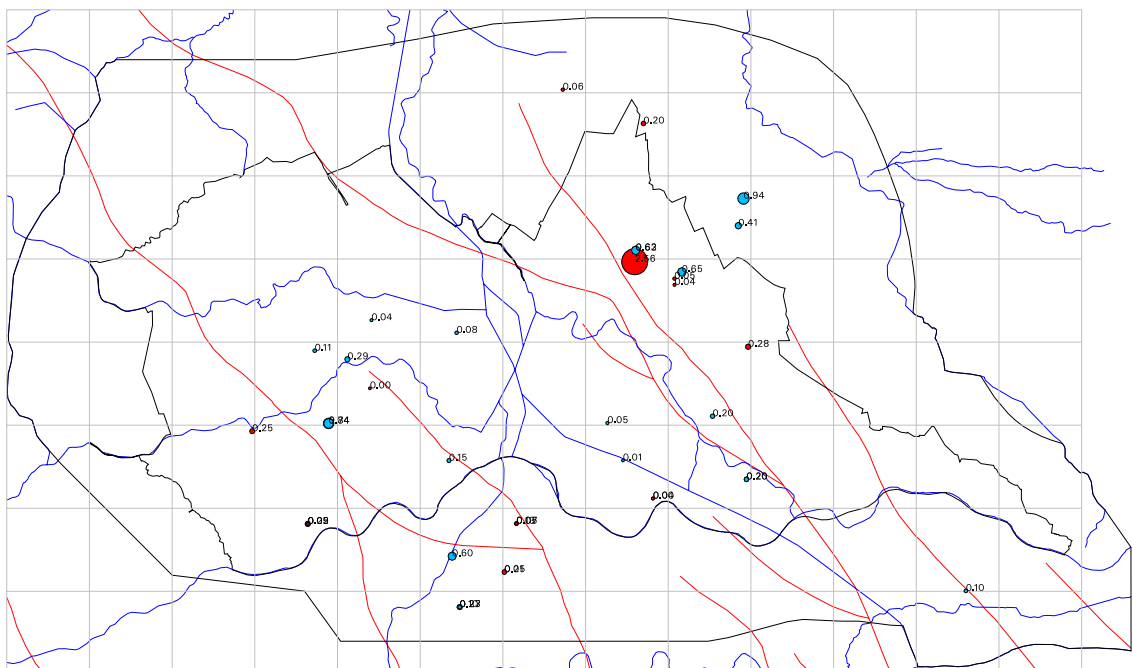
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.2.8 Ballenkaart modellaag 8

Initieel

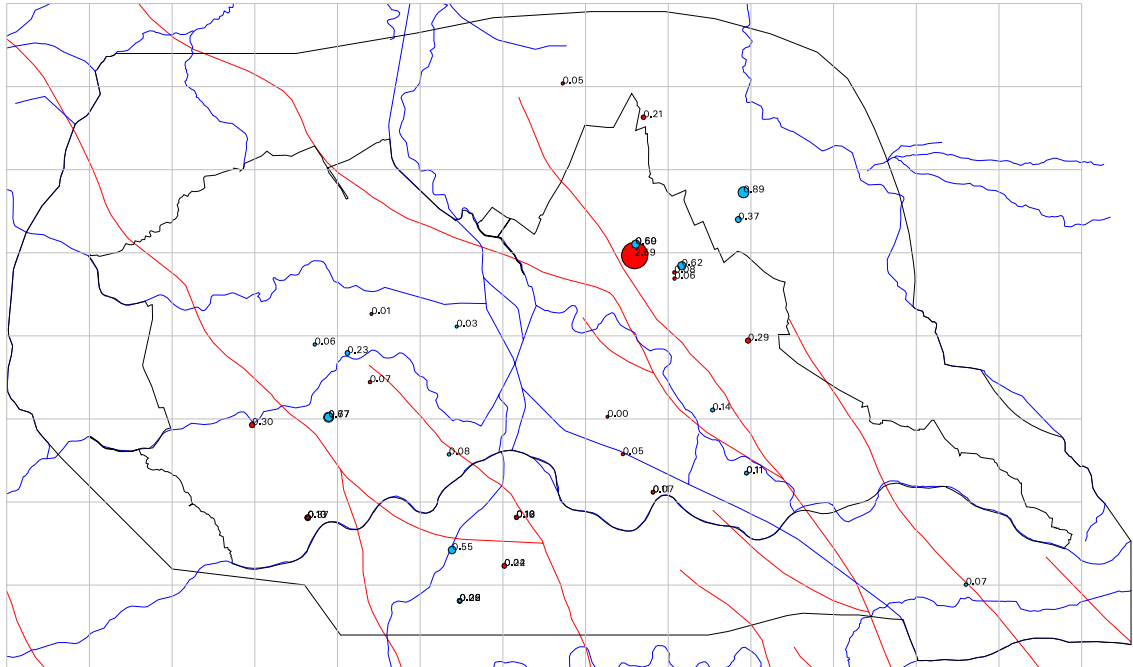


Na stationaire kalibratie



- rood = model > meting
- blauw = model < meting

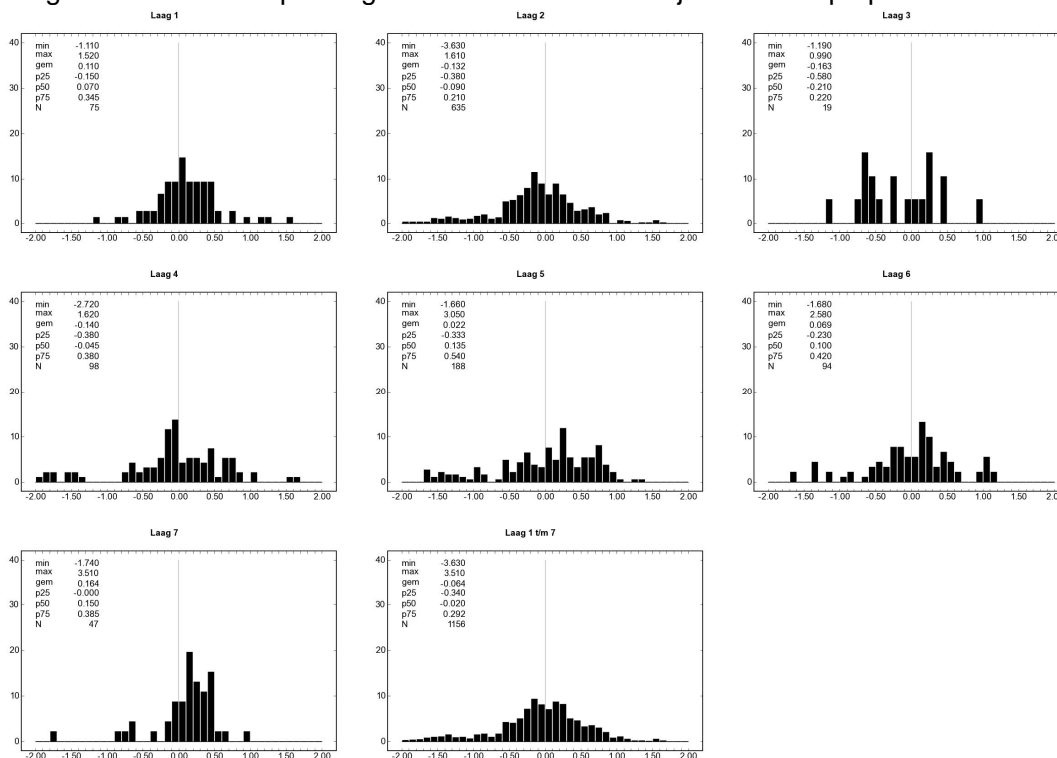
Na niet-stationaire kalibratie



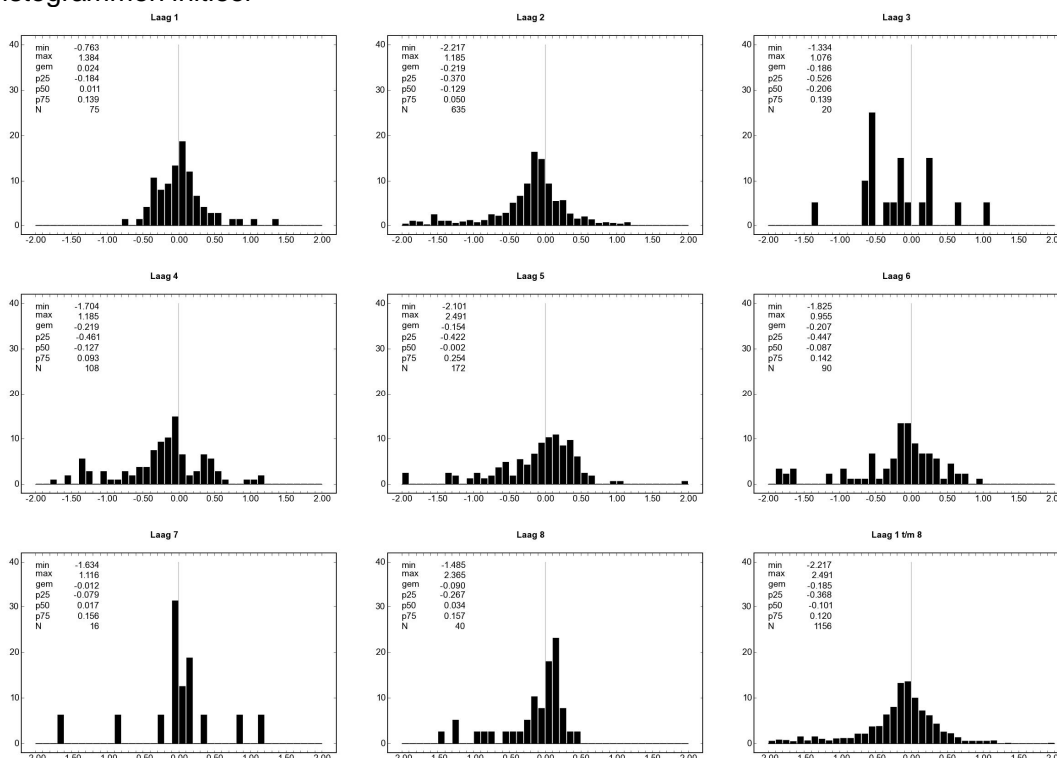
- rood = model > meting
- blauw = model < meting

H.3 Histogrammen residuen

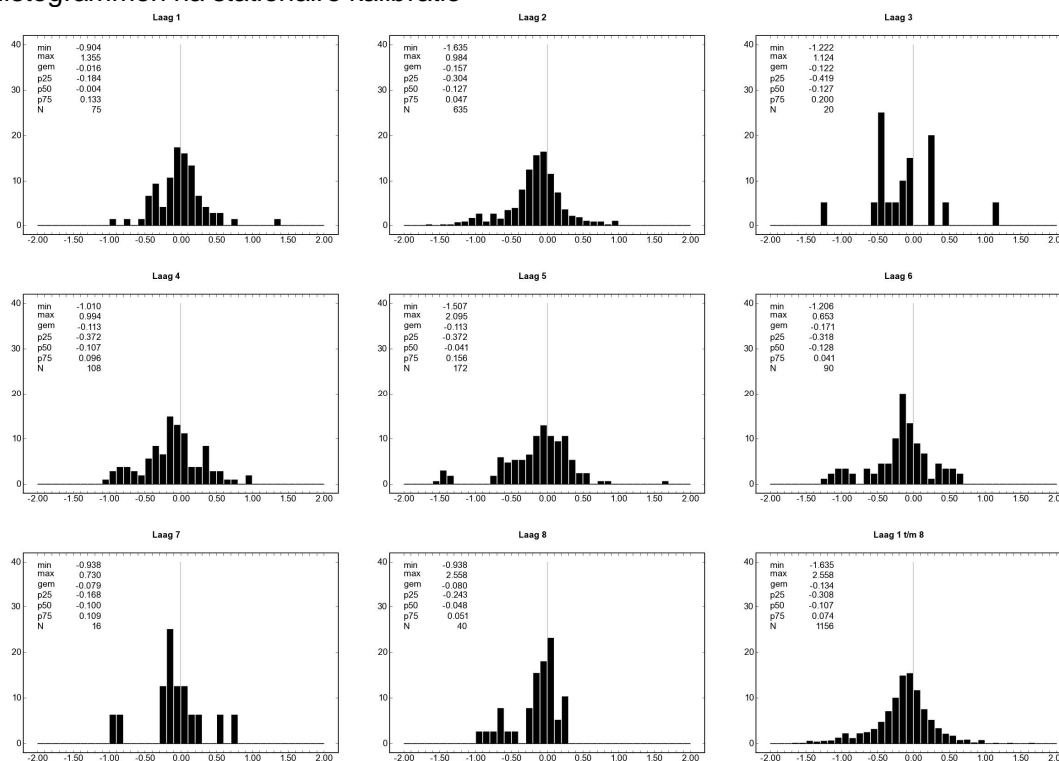
H.3.1 Histogrammen voor aanpassingen o.b.v. Vitens/Grontmij data en diepe polders



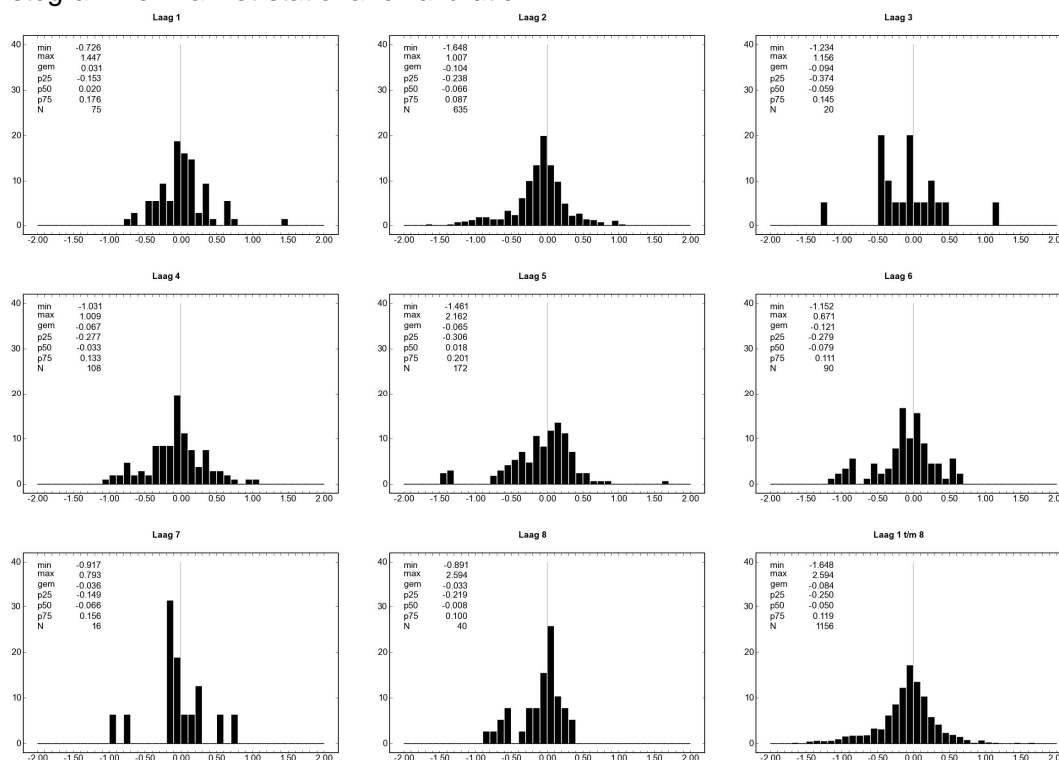
H.3.2 Histogrammen initieel



H.3.3 Histogrammen na stationaire kalibratie



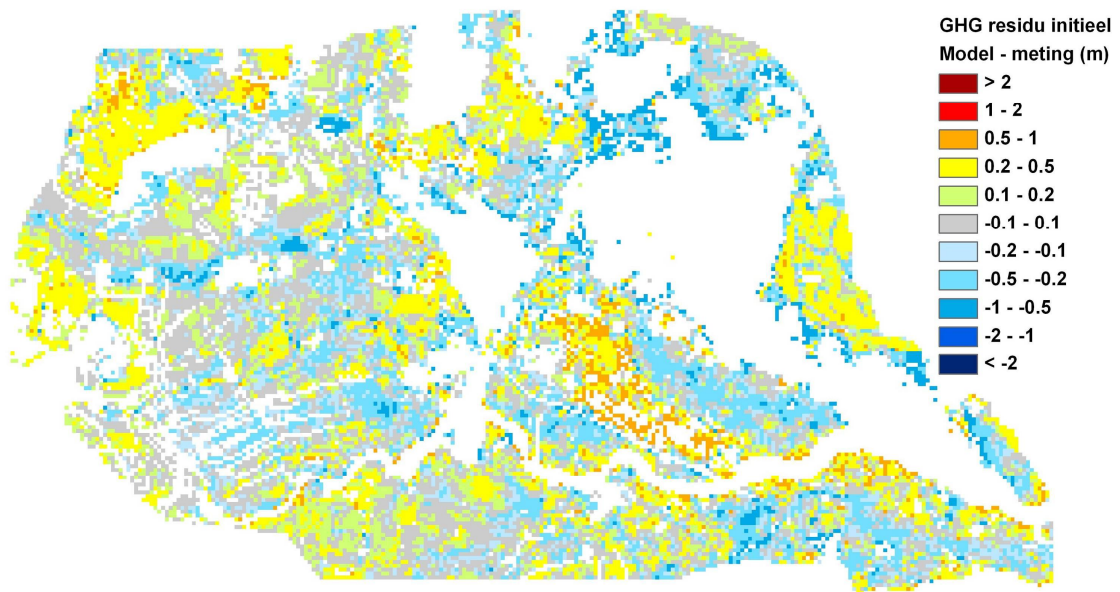
H.3.4 Histogrammen na niet-stationaire kalibratie



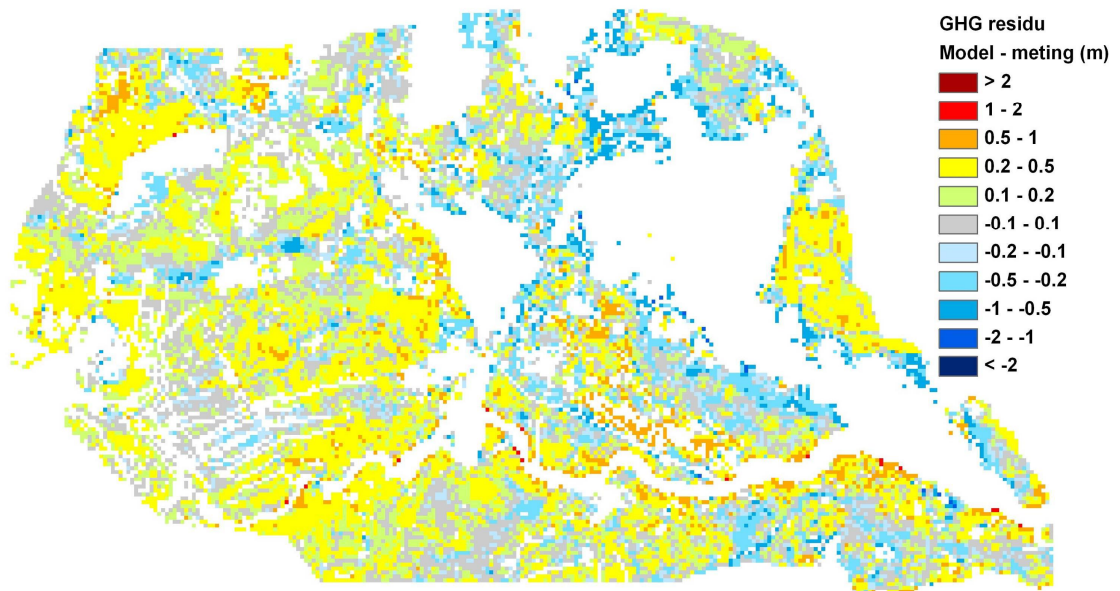
H.4 Ruimtelijke verdeling GxG-residuen

H.4.1 Ruimtelijke verdeling GHG-residuen

Voor niet-stationaire kalibratie

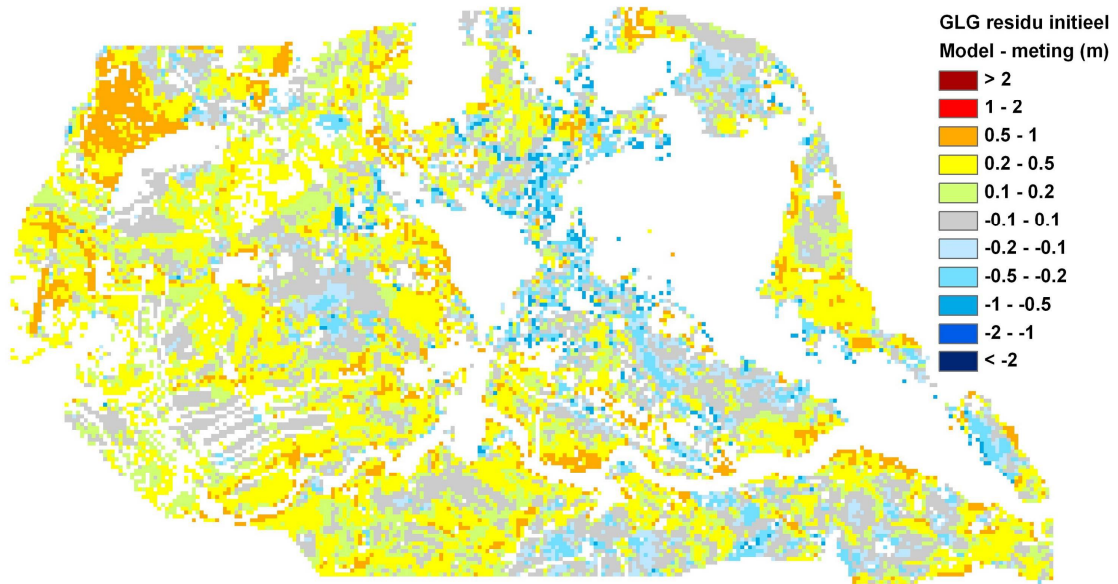


Na niet-stationaire kalibratie

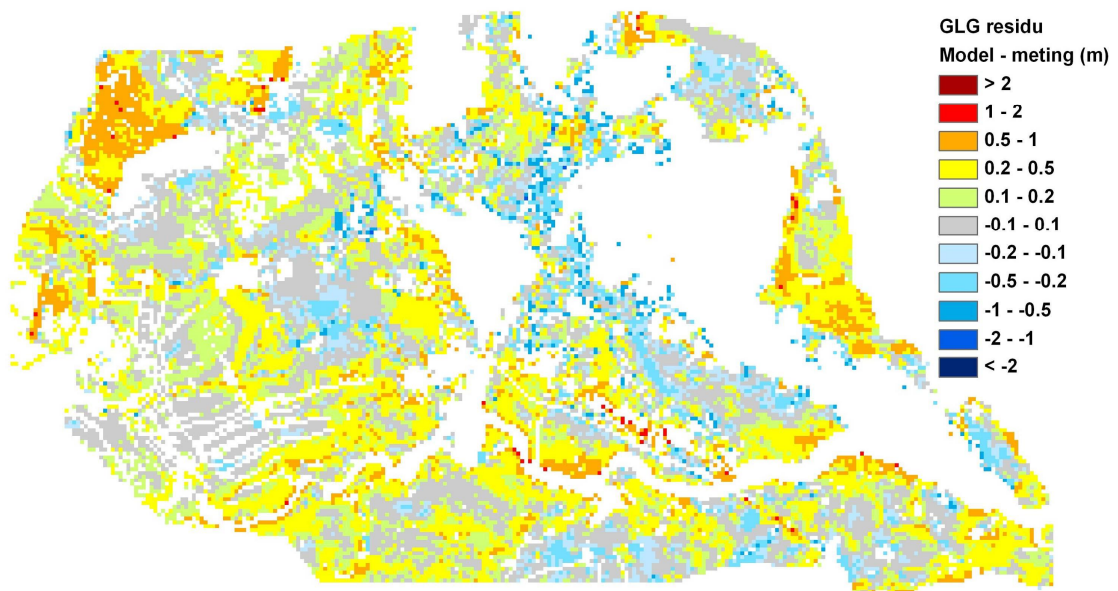


H.4.2 Ruimtelijke verdeling GLG-residuen

Voor niet-stationaire kalibratie

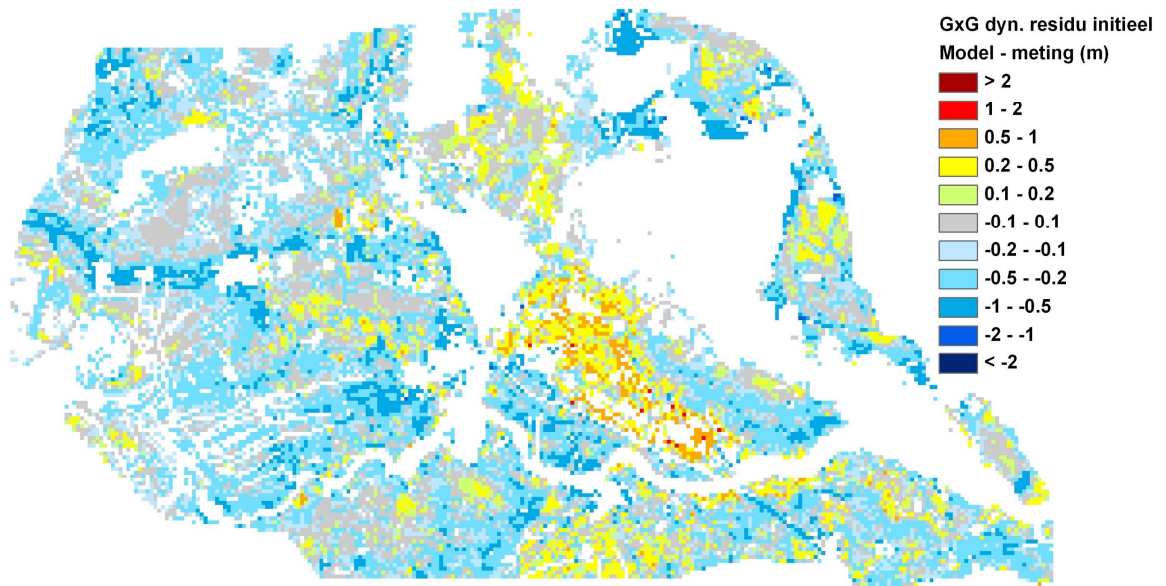


Na niet-stationaire kalibratie

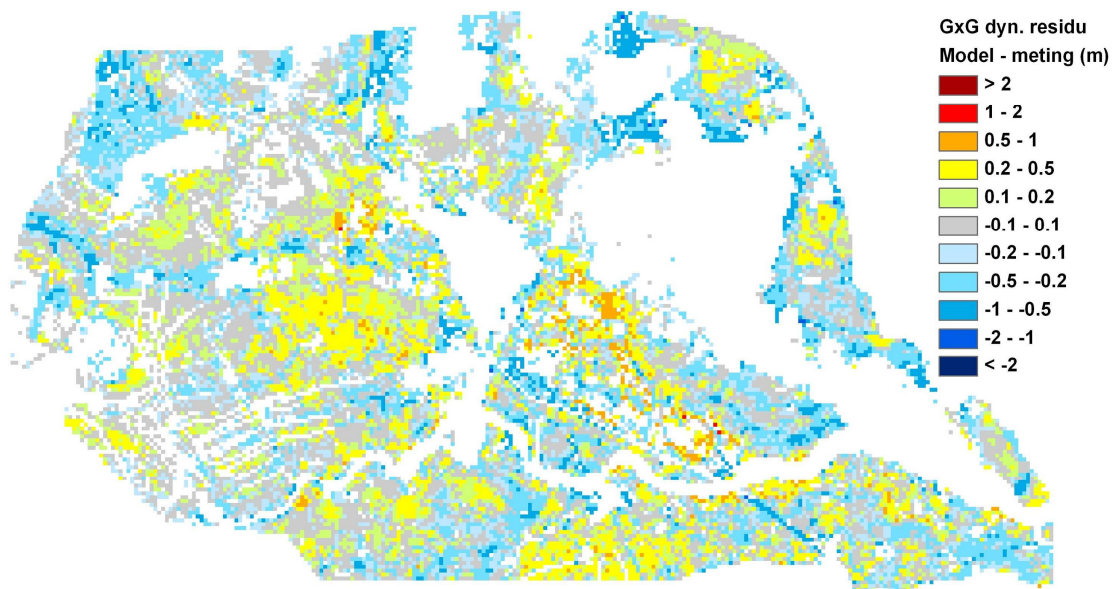


H.4.3 Ruimtelijke verdeling GxG-dynamiek-residuen

Voor niet-stationaire kalibratie



Na niet-stationaire kalibratie

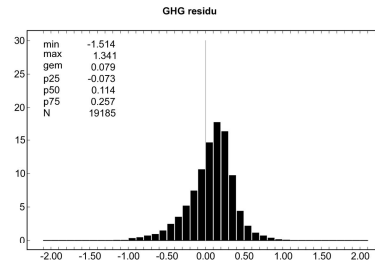
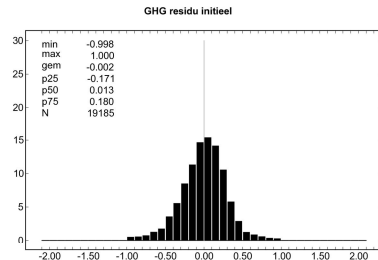


H.5 Histogrammen GxG-residuen

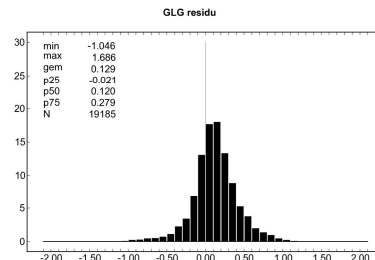
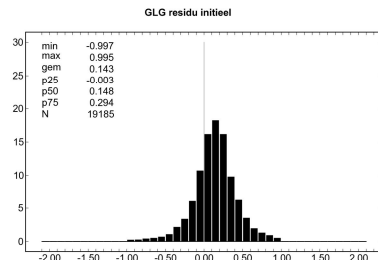
Voor niet-stationaire kalibratie

Na niet-stationaire kalibratie

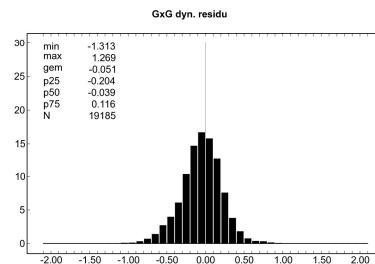
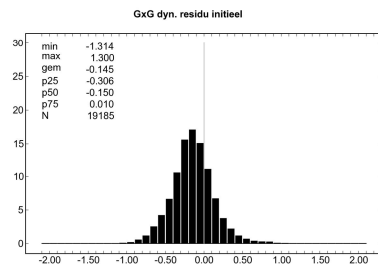
GHG-residuen



GLG-residuen



GxG-dynamiek-residuen



H.6 Statistiekoverzicht residuen

Laag	Aantal *	Gemiddeld	Gemiddeld absoluut	Minimum	25-percentiel	50-percentiel	75-percentiel	Maximum	Gemiddeld GHG-residu	Gemiddeld GLG-residu	Gemiddeld residu GxG-dynamiek
1	75	0.024	0.247	-0.763	-0.184	0.011	0.139	1.384			
		-0.016	0.237	-0.904	-0.184	-0.004	0.133	1.355	-0.002	0.143	-0.145
		0.031	0.244	-0.726	-0.153	0.02	0.176	1.447	0.079	0.129	-0.051
2	635	-0.219	0.389	-2.217	-0.37	-0.129	0.05	1.185			
		-0.157	0.29	-1.635	-0.304	-0.127	0.047	0.984			
		-0.104	0.264	-1.648	-0.238	-0.066	0.087	1.007			
3	20	-0.186	0.44	-1.334	-0.526	-0.206	0.139	1.076			
		-0.122	0.374	-1.222	-0.419	-0.127	0.2	1.124			
		-0.094	0.345	-1.234	-0.374	-0.059	0.145	1.156			
4	108	-0.219	0.459	-1.704	-0.461	-0.127	0.093	1.185			
		-0.113	0.327	-1.01	-0.372	-0.107	0.096	0.994			
		-0.067	0.297	-1.031	-0.277	-0.033	0.133	1.009			
5	172	-0.154	0.475	-2.101	-0.422	-0.002	0.254	2.491			
		-0.113	0.348	-1.507	-0.372	-0.041	0.156	2.095			
		-0.065	0.34	-1.461	-0.306	0.018	0.201	2.162			
6	90	-0.207	0.45	-1.825	-0.447	-0.087	0.142	0.955			
		-0.171	0.329	-1.206	-0.318	-0.128	0.041	0.653			
		-0.121	0.316	-1.152	-0.279	-0.079	0.111	0.671			
7	16	-0.012	0.377	-1.634	-0.079	0.017	0.156	1.116			
		-0.079	0.297	-0.938	-0.168	-0.1	0.109	0.73			
		-0.036	0.284	-0.917	-0.149	-0.066	0.156	0.793			
8	40	-0.09	0.374	-1.485	-0.267	0.034	0.157	2.365			
		-0.08	0.295	-0.938	-0.243	-0.048	0.051	2.558			
		-0.033	0.29	-0.891	-0.219	-0.008	0.1	2.594			
1 t/m 8	1156	-0.185	0.404	-2.217	-0.368	-0.101	0.12	2.491			
		-0.134	0.304	-1.635	-0.308	-0.107	0.074	2.558			
		-0.084	0.284	-1.648	-0.25	-0.05	0.119	2.594			

* Aantal meetwaarden; geldt niet voor de GxG-residuen