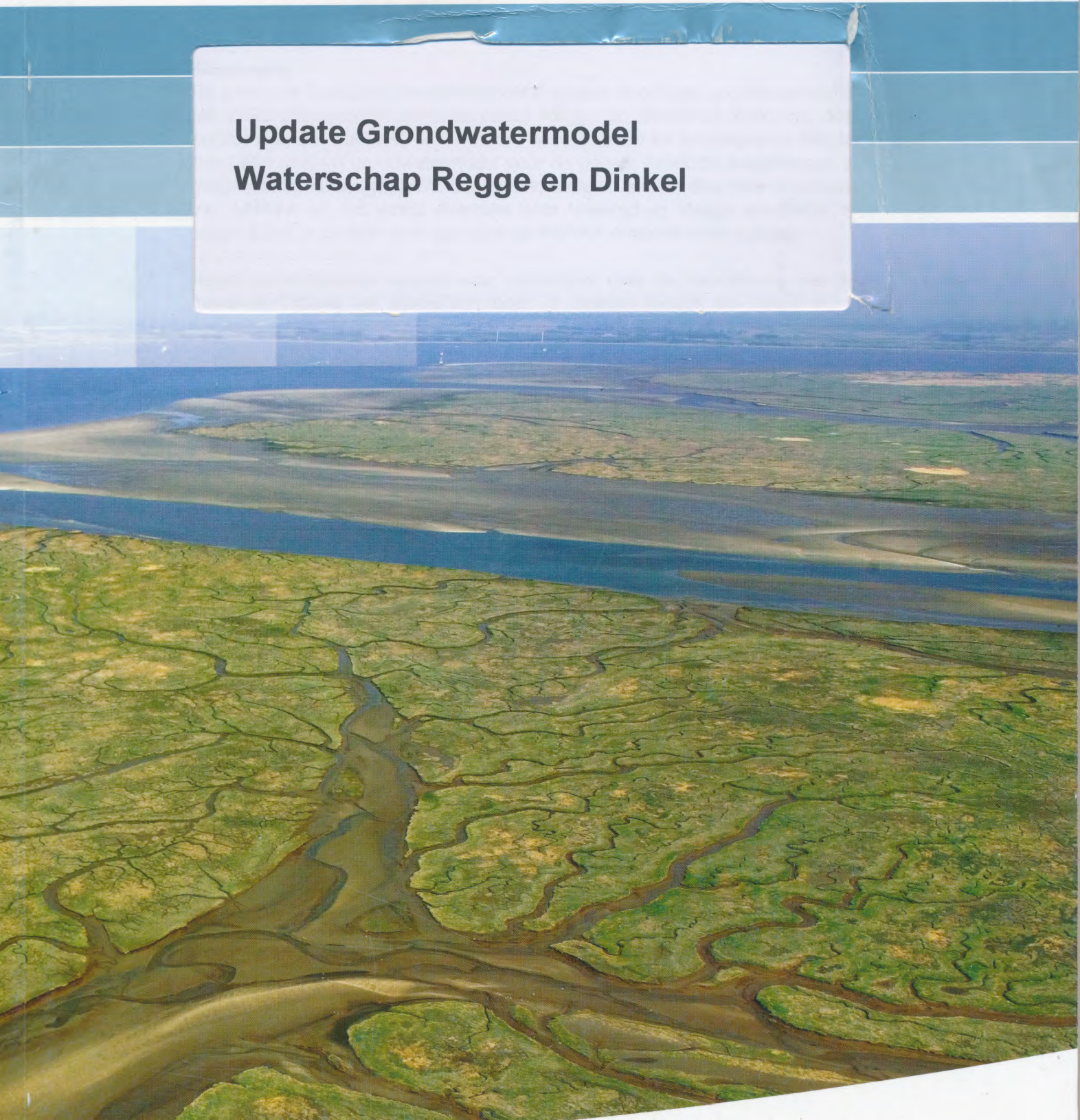


Deltares

Enabling Delta Life



Update Grondwatermodel Waterschap Regge en Dinkel



Update Grondwatermodel Waterschap Regge en Dinkel

M.J.M. Kuijper
N. Goorden
P.T.M. Vermeulen

1202490-000

Titel

Update Grondwatermodel Waterschap Regge en Dinkel

Project

1202490-000

Kenmerk

1202490-000-BGS-0008

Pagina's

86

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	maart 2012	M.J.M. Kuijper		B. Minnema		A.G. Segeren	
		N. Goorden					
		P.T.M. Vermeulen					

Status

definitief

Inhoud

Lijst van Figuren	v
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Probleemstelling	7
1.3 Doelstelling	7
1.4 Leeswijzer	7
2 Opzet van het grondwatermodel	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Horizontale modelschematisatie	9
2.2.1 Oostgrens	10
2.2.2 Zuidgrens	10
2.2.3 Noordgrens	10
2.2.4 Westgrens	11
2.3 Modelperiode	11
3 Topsysteem	13
3.1 Waterlopen	13
3.1.1 Aanpak sloten en greppels volgens de MIPWA AHN-filtering	13
3.1.2 Resultaat peilen met AHN-filtering	15
3.1.3 Aanpak peilen in stedelijke gebieden	15
3.1.4 Resultaat peilen in stedelijke gebieden	16
3.1.5 Aanpak insnijden van de waterlopen in modellaag 2	17
3.1.6 Resultaat insnijden van de waterlopen in modellaag 2	18
3.1.7 Totaalresultaat waterlopen: hogere grondwaterstand in stuwwallen door aanpassing waterlopen	19
3.2 Drainage	22
3.2.1 Aanpak drainage	22
3.2.2 Hogere grondwaterstand door nieuwe drainage	24
3.3 Maaiveld	25
3.3.1 Aanpak maaiveld	25
3.3.2 Resultaat maaiveld	27
3.4 SOF	27
3.4.1 Aanpak overlandflow	27
3.4.2 Resultaat overlandflow	27
3.5 Grondwateraanvulling	30
3.5.1 Stationaire grondwateraanvulling	30
3.6 Niet-stationaire grondwateraanvulling	31
3.7 Berekening (niet-stationair model)	32
3.7.1 Aanpak berekening	32
3.7.2 Resultaat berekening	32
4 Ondergrond	33
4.1 Ondergrond in de voorgaande modellen: WRD-2004 en MIPWA	33
4.2 Toplaag	38
4.2.1 WRD-2004	38
4.2.2 MIPWA	38

4.2.3	Weerstand en verbreiding van de formaties voor de toplaag	40
4.2.4	Aanvullende weerstanden deklaag op basis van de bodemkaart	41
4.2.5	KD waarden toplaag	42
4.3	Modellaag 2 tot en met 7	42
4.3.1	Aanpassingen in de stuwwallen	43
4.4	Resulterende kD- en c-waarden voorafgaand aan de ijking	47
4.5	Anisotropie	48
4.6	Schijngrondwaterspiegel	49
4.7	Onttrekkingen	49
4.7.1	Correctie onttrekkingen (stationair model)	49
4.7.2	Correctie onttrekkingen (niet-stationair model)	49
5	Ijking	51
5.1	Selectie van de meetset	51
5.2	Stationaire ijking	52
5.2.1	Methodiek stationaire ijking	52
5.2.2	Resultaat eerste stationaire ijking	54
5.2.3	Aanpassingen n.a.v. eerste stationaire ijking	54
5.2.4	Resultaat tweede stationaire ijking	62
5.3	Niet stationaire ijking	63
5.3.1	Weerstand van de waterlopen	63
5.3.2	C1-waarde	63
5.3.3	Onverzadigde zone	64
5.3.4	Resultaten niet-stationair ijking	66
6	Conclusies	69
6.1	Statistieken over de stationaire grondwaterstanden	69
6.2	Verbeteringen in het topsysteem	69
6.2.1	Waterlopen	69
6.2.2	Buisdrainage	70
6.2.3	Maaiveld	70
6.2.4	Saturated Overland Flow (SOF)	70
6.2.5	Grondwateraanvulling	70
6.2.6	Berekening	70
6.3	Verbetering in het ondergrondmodel	70
6.3.1	Ondergrondmodel is uitgebreid van 3 naar 7 lagen	70
6.3.2	REGIS II.0 gebruikt voor het ondergrondmodel	71
6.3.3	Bodemkaart gebruikt voor aanvulling weerstand van de deklaag	71
6.3.4	Extra aandacht aan de weerstand ter plaatse van de oostelijke stuwwallen.	71
6.3.5	Lagenmodel gecheckt en gecorrigeerd op onrealistische stroomsnelheden	71
6.3.6	Extra analyse van de weerstand van het Wierdense Veld en Huuner Veld	71
6.3.7	Anisotropie	71
6.3.8	Breuk tussen Slenk van Reutum en stuwwal van Ootmarsum	71
7	Literatuur	73

Bijlage(n)

A Aanpassingsfactoren KD en C	A-741
B Histogrammen van de residuen van de stijghoogten voor en na de ijking	B-771
C Afvoeren stroomgebieden	C-1
D Grondwatertrappen, GHG en GLG	D-1

Lijst van Figuren

Figuur 2.1	Spreidingslengte van WRD-2004-model	10
Figuur 3.1	Schematische weergave van de zoeklengte en buffer	13
Figuur 3.2	Keuze buffergrootte	14
Figuur 3.3	Schematische weergave van de werking van het AHN-peilenfilter	14
Figuur 3.4	Voorbeeld toevoegen van hulppunten	14
Figuur 3.5	Doorsnede waterloop met maaiveld, nieuwe peil, oude peil en minimale punten AHN5x5m	15
Figuur 3.6	Minimaal afwateringspeil [m NAP]	16
Figuur 3.7	Locaties (rood) waar de slootpeilen zijn aangepast aan het minimale afwateringspeil	17
Figuur 3.8	Waterlopen die doorsnijden in modellaag 2	18
Figuur 3.9	Waterlopen (zwart) die doorsnijden in modellaag 2 en de weerstand van modellaag	19
Figuur 3.10	Verskil in peil tussen WRD-2004-model en WRD-2012-model 25m-WRD-model door gebruik van het MIPW- peilenfilter	20
Figuur 3.11	Effect greppels en sloten op de grondwaterstand	21
Figuur 3.12	aannames bij aanmaak drainagevlak	22
Figuur 3.13	Verskil in drainage nieuwe en WRD-2004-model	23
Figuur 3.14	Effect drainage op grondwaterstand	24
Figuur 3.15	Verskil in maaiveld tussen MIPWA en AMIGO. Donkerblauwe hoek in zuidoosten: hier is het MIPWA-maaiveld te hoog en daarom overgenomen uit AMIGO	25
Figuur 3.16	Voorbeeld doorsnede maaiveld. MiPWA-maaiveld = rode lijn, AMIGO-maaiveld = groene lijn. Te zien is dat AMIGO neerwaartse spikes in maaiveld heeft ter plaatse van waterlopen, deze zijn in het MIPWA-maaiveld verwijderd door de nieuwe filtertechniek	26
Figuur 3.17	Doorsnede maaiveld in zuidoosten model waar MIPWA rare hoge waarden heeft	26
Figuur 3.18	Maaiveld na filtering AHN, conform MIPWA-methodiek	27
Figuur 3.19	Verskil in SOF nieuwe en WRD-2004-model	28
Figuur 3.20	Effect SOF op grondwaterstand	29
Figuur 3.21	Interpolatie door middel van Thiessenpolygonen rondom 14 neerslagstations, conform MIPWA. De zwarte punten geven de neerslagstations uit het WRD-2004-model aan	30
Figuur 3.22	Ter vergelijking: invoer neerslag in WRD-2004-model op basis van 6 neerslagstations (▲)	31

Figuur 3.23	Resultaat van de stationaire grondwateraanvulling	31
Figuur 3.24	Aanmaak van potentiële beregeningslocaties. Links: potentiële beregeningslocaties uit WRD-2004-model (groen), potentiële beregeningslocaties uit MIPWA (blauw) en vergunde beregeningslocaties(rood). Rechts: resulterende potentiële beregeningslocaties in het nieuwe WRD-2012-model 32	32
Figuur 4.1	Voorkomen en toekenning van klei- en veenlagen aan MIPWA-modellagen. Gekleurde arceringen geven aan wanneer een selectie van kleilagen tot een scheidende laag (cijfer) behoren (overgenomen uit MIPWA-rapportage)	38
Figuur 5.13:	Verticale k-waarde (kv) Boxtel k1 in het Dinkeldal en bekken van Hengelo	60

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Voor het WRD-gebied zijn twee grondwatermodellen beschikbaar, MIPWA (Waterschap Groot-Salland) en WRD (Waterschap Regge en Dinkel):

1. 'MIPWA-model' dat bestaat uit een verzadigde zone die gemodelleerd is met MODFLOW en een onverzadigde zone gemodelleerd met Capsim die gekoppeld zijn op dagbasis. Het heeft een resolutie van 25 meter en kan momenteel rekenen op dagbasis voor de periode 1989-2001. Hierbij is het Regge en Dinkel als randzone van het model meegenomen en daarom voor dit gebied niet volledig in alle stappen van de modelbouw is meegenomen.
2. Het WRD-2004-model waarvan de informatie dichtheid wat geringer is, omdat dit model is afgeleid van een 100 meter resolutie bestaat uit een verzadigde zone model (MODFLOW). Met behulp van een eenvoudig bakjesmodel wordt de input voor de recharge en evaporatie bepaald. De resultaten hiervan worden opgelegd als input aan MODFLOW.

De wens bestaat bij de provincie Overijssel, Waterschap Regge en Dinkel en Vitens om het WRD-model te updaten en te integreren met MIPWA. Dit zodat er één uniform grondwatermodel voor de gehele provincie beschikbaar komt.

1.2 Probleemstelling

Het WRD-2004-model heeft een geringere informatie dichtheid en is minder up to date dan het MIPWA instrumentarium waarin Regge en Dinkel als randzone is gemodelleerd. Tevens sluit het niet goed aan op MIPWA, omdat het model 3 lagen bevat en MIPWA uit 7 lagen bestaat.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van dit project is om 1 grondwatermodel voor zoektocht Twente te ontwikkelen dat gelijkwaardig is aan MIPWA om mogelijk deel van het MIPWA-consortium te kunnen worden. Het grondwatermodel dient door verbeterde concepten en fijnere dataresolutie een beter resultaat op te leveren dan het WRD-2004 model.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is de update van het WRD-topsysteem naar het MIPWA-concept beschreven alsmede de resultaten. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de update van de ondergrond van het WRD-2012 model. Hierna volgt hoofdstuk 4 waarin de ijking van het model wordt beschreven. Tenslotte zijn in hoofdstuk 5 de conclusies beschreven.

2 Opzet van het grondwatermodel

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de horizontale schematisatie alsmede de modelperiode van het 'WRD-2012-model' besproken. Het WRD-2012-model is gemaakt op basis van IMODFLOW, dat gebaseerd is op de rekencode MODFLOW (Harbaugh, 1988). MODFLOW is gebaseerd op de eindige differentie techniek en maakt hierdoor gebruik van rechthoekige cellen.

2.2 Horizontale modelschematisatie

- Begrenzing van het modelnetwerk

De ligging en de omvang van het modelnetwerk is zodanig gekozen, dat eventuele effectberekeningen niet door de ligging van de randen van het model worden beïnvloed. Het modelnetwerk bestaat uit een rechthoek van 58 kilometer breed en 45 kilometer hoog, met als hoekcoördinaten:

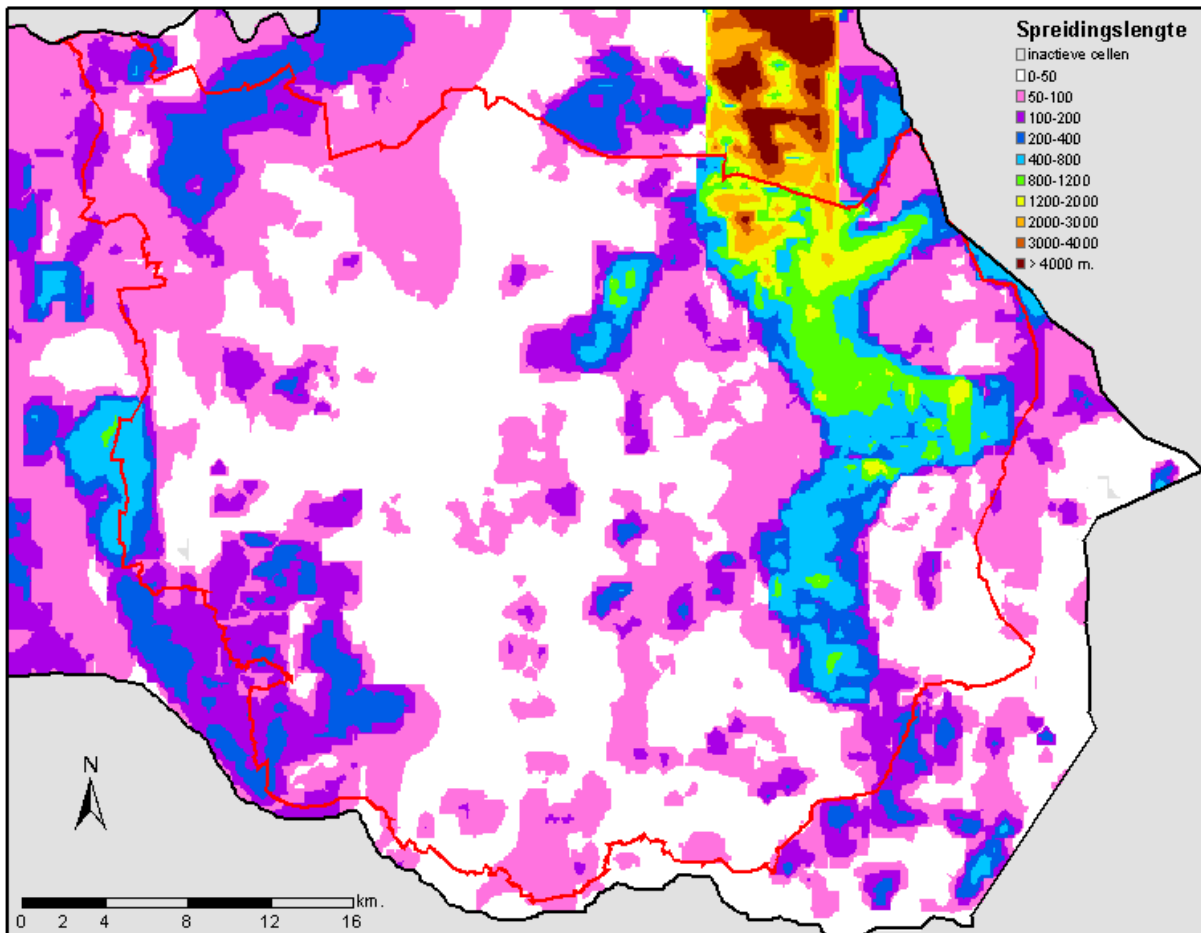
- $x_{\text{minimum}} = 220.000 \text{ m.}$ en $x_{\text{maximum}} = 278.000 \text{ m.}$
- $y_{\text{minimum}} = 460.000 \text{ m.}$ en $y_{\text{maximum}} = 505.000 \text{ m.}$

Het modelnetwerk bestaat uit cellen van 25 bij 25 meter, waardoor het modelnetwerk 2320 kolommen en 1800 rijen bevat.

De modelranden van het WRD-2012-model zijn gelijk aan het WRD-2004 model. De keuzes zijn in dit hoofdstuk beschreven.

Ondanks het feit dat het modelnetwerk rechthoekig van vorm is, kunnen de modelranden gekromde lijnelementen (b.v. rivieren) volgen; het deel van de modelcellen aan de buitenzijde van dergelijke hydrologische grenzen kunnen binnen MODFLOW geïnactiveerd worden.

Wanneer geen duidelijke hydrologische grens gevonden kan worden, dient een vaste stijghoogterand op een afstand van tenminste 3 maal de spreidingslengte van het interessegebied te liggen. De spreidingslengte wordt bepaald uit de wortel van het quotiënt van de kD -waarde van het ondiepe watervoerend pakket en de c -waarde van de onderliggende scheidende laag ($\lambda = \sqrt{(kD \cdot c)} [L]$). Voor het waterschap Regge en Dinkel gebied is de spreidingslengte bepaald uit de kD -waarde van laag 1 en 2 en de c -waarde van laag 1 en de scheidende laag, omdat vrijwel overal laag 1 en laag 2 gezamenlijk het ondiepe watervoerende pakket vormen, doordat de c -waarde van laag 1 zeer klein is. De spreidingslengte is voor het grootste deel van het gebied erg laag, namelijk minder dan 400 meter (zie Figuur 2.1). Voor alle grote onttrekkingen welke in de buurt van de modelrand liggen is gecontroleerd hoe groot de verlagingseegel van de onttrekking is (tot $dH < 0.05 \text{ m}$) en of deze al dan niet geheel binnen het modelgebied ligt.



Figuur 2.1 Spreidingslengte van WRD-2004-model

2.2.1 Oostgrens

Hier valt de rand samen met een waterscheiding (bepaald op basis van hoogtemodel en afwateringspatroon); dit gedeelte van het modelgebied zal daarom een dichte rand hebben (d.w.z. geen stroming door de rand mogelijk). Hierbij is verondersteld dat de drie in Duitsland gelegen pompstations uit diepere lagen winnen, die hydrologisch gezien verticaal gescheiden zijn (door vast gesteente) van de ondiepere (model)lagen.

2.2.2 Zuidgrens

De Buurserbeek is over grote delen geen sterke hydrologische grens, aangezien de beek bestaat uit een aaneenschakeling van zuidoost – noordwest gerichte beektrajecten (waaronder een aantal bovenlopen van het Reggesysteem) die door middel van gegraven delen aan elkaar verbonden zijn tot één waterloop. De ligging van de huidige Buurserbeek is deels natuurlijk en deels onnatuurlijk (gegraven). Van de gegraven delen is het niet duidelijk of deze als hydrologische grens kunnen dienen. Daarom is de zuidgrens van het model op een afstand van 1000 m ($> 3 \lambda$) ten zuiden van de Buurserbeek gelegd. Voor deze delen is een vaste stijghoogterand opgelegd voor de drie modellagen.

2.2.3 Noordgrens

Met behulp van resultaten van het Mander-model (DHV - Rogge&Co, 2000) is de stroming in het noorden van het gebied bestudeerd. Net over de grens vindt hier hoofdzakelijk stroming plaats van oost naar west. Een waterscheiding is hier niet aanwezig, tenzij de hele Vecht als

noordgrens wordt genomen, maar daardoor zou het modelgrid tot $y=516.000$ vergroot moeten worden. Daarom is de noordgrens voor het overgrote deel een vaste stijghoogte rand voor alle modellagen op $y=505.000$ m.

2.2.4 Westgrens

In de omgeving van de westgrens van het modelnetwerk liggen een aantal grote grondwateronttrekkingen. In 1 is de radius van de onttrekkingskegel (Tabel 2.1, volgens de Glee) weergegeven. Op basis hiervan en op basis van de 3 lambdakaart is een vaste stijghoogterand voor de drie lagen op $x=220.000$ meter gelegd. Deze vaste stijghoogtegrens ligt op basis van bovengenoemde variabelen ver genoeg van het interessegebied. Voor het gedeelte van de westrand waar het puttenveld Espelo/Espelosebroek ligt wordt een gedeelte dichte rand (geen stroming over de rand) gespecificeerd.

Met behulp van het fictief optillen van de vaste stijghoogte op de westelijke modelrand met 100 cm is de invloed van de vaste stijghoogte rand op het gebied getest. Uit het verschil tussen twee stationaire modelruns (met en zonder opgetilde rand) bleek dat de verhoging van de vaste stijghoogte met 100 cm tot op 4800 m. een verhoging van 1 cm veroorzaakt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de vaste stijghoogterand de berekeningen niet tot binnen de grens van het waterschap beïnvloed.

Tabel 2.1 Radius verlagingskegel (volgens De Glee) van enkele grote onttrekkingen nabij de westgrens van het modelnetwerk

Naam pompstation	Q in 1995 [m ³ / jaar]	KD [m ² /dag]	c-waarde [dagen]	Radius verlagingskegel (=afstand tot een verlaging van 5 cm.) [m]
Archemerberg	2.765.150	1200	< 250	1500
Nijverdal	5.215.740	1200	< 250	1800
Holten	2.179.890	1000	< 250	1400
Espelosebroek	4.385.800	1300	< 250	1800
Manderveen	3.800.000	600	< 250	1400

2.3 Modelperiode

Het WRD-2012-model is opgezet voor de periode 1989 – 2001. Uit onderzoek van Alterra in 2003 naar meteorologische condities is naar voren gekomen dat dit een representatieve periode voor het klimaat van de afgelopen 30 jaar is.

Met het WRD-2012-model zijn 2 modelvarianten doorgerekend:

- Stationaire variant:
Wanneer stationair wordt gerekend, wordt het systeem in evenwicht gemodelleerd. In werkelijkheid treedt deze situatie nooit op, maar wordt benaderd door het gemiddelde van grondwaterstanden en stijghoogten. Voordeel van deze variant is dat deze snel rekt. Deze variant is gebruikt voor de ijking op gemiddelde grondwaterstanden en stijghoogten (stationaire ijking);
- Niet-stationaire variant:
De niet-stationaire variant rekt het grondwatersysteem door voor de periode 1989-2001 op dagbasis. Deze variant rekt veel trager dan de stationaire variant; Deze variant is gebruikt voor de ijking op individuele grondwaterstanden in de tijd (niet-stationaire ijking).

3 Topsysteem

3.1 Waterlopen

Het oppervlaktewatersysteem in het grondwatermodel bestaat uit kanalen, leggerwaterlopen en top-10-waterlopen (sloten en greppels die niet in de legger zijn opgenomen).

De sloten en greppels zijn opnieuw aangemaakt voor het WRD-2012-model volgens de MIPWA AHN-filtering. Deze methode staat beschreven in onderstaande paragraaf. De overige waterlopen zijn rechtstreeks overgenomen uit het WRD-2004-model:

- Kanalen;
- Legger met wateraanvoer;
- Legger zonder wateraanvoer.

Het grondwater model wordt geijkt met behulp van de oude leggerbestanden, omdat deze de ijkperiode (1989-2001) het beste weergeven. Deze bestanden zijn opgebouwd volgens de WRD-methode (bijlage A).

Nieuwe leggerbestanden en de meest recente stuwpeilen zijn beschikbaar gesteld door het waterschap. Deze gegevens geven de meest recente situatie weer en worden daarom eveneens volgens de bovenstaande methode verwerkt en opgeleverd na ijking van het grondwatermodel.

Door toepassing van de MIPWA-AHN-filtering om nieuwe sloot/greppel peilen te berekenen ontstaan er in enkele stedelijke gebieden onrealistische lage peilen. Deze spikes zijn verwijderd met behulp van het berekenen van een minimaal afwateringspeil, beschreven in paragraaf 2.1.2. Verder staat in paragraaf 2.1.3 een beschrijving van het bepalen van de eventuele doorsnijding van de waterlopen in modellaag 2 van het grondwatermodel

3.1.1 Aanpak sloten en greppels volgens de MIPWA AHN-filtering

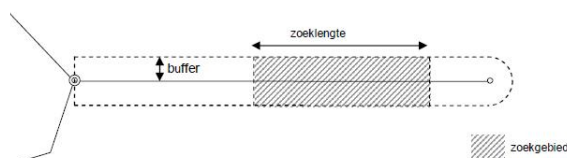
Uit een onderzoek van Deltares in de Drentsche Aa (Hoogewoud, 2009) is een nieuwe filtermethode ontwikkeld die met name in hellende gebieden de peilen beter inschat.

De aanpak van de filtermethode is als volgt:

1. Bepalen AHN-min

Het puntenbestand AHN-1.1 is geconverteerd naar 5x5m gridbestand met *minimale* waarden.

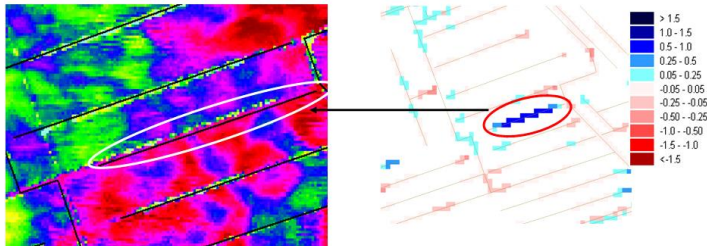
Bepalen peil met behulp van het AHN-min-bestand en de top10 vector. Alle sloten en greppels van het top 10-vectorbestand worden langsgelopen. Binnen een door de gebruiker ingestelde zoeklengte (= 200m.) en buffergrootte (= 15m.) wordt gezocht naar het AHN-niveau dat het peil representeert. Zie Figuur 3.1 tot en met Figuur 3.2 voor een schematische weergave van de buffer grootte en zoeklengte. Vervolgens wordt deze cel gelabeld als een representatieve cel: het AHN-niveau representeert hier het waterpeil. Op deze wijze worden er langs alle waterlopen representatieve cellen geselecteerd. Voor alle tussenliggende cellen wordt het peil geïnterpoleerd.



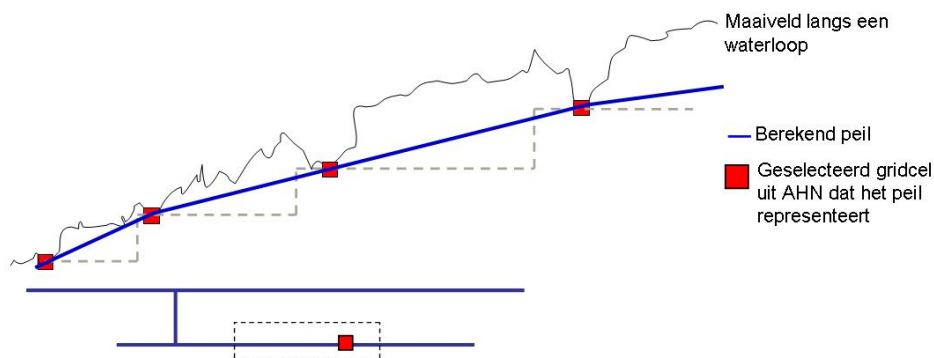
Figuur 3.1 Schematische weergave van de zoeklengte en buffer

Buffer grootte

Top 10 vector en AHN sluiten niet altijd goed aan, daarom een ruime buffer van 15 meter gehanteerd



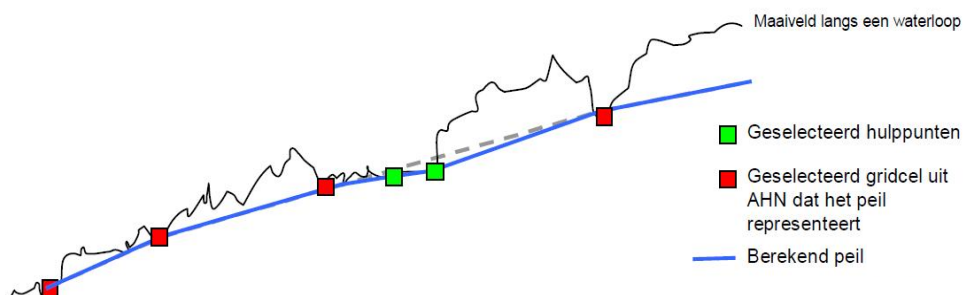
Figuur 3.2 Keuze buffergrootte



Figuur 3.3 Schematische weergave van de werking van het AHN-peilenfilter

2. Toevoegen hulppunten.

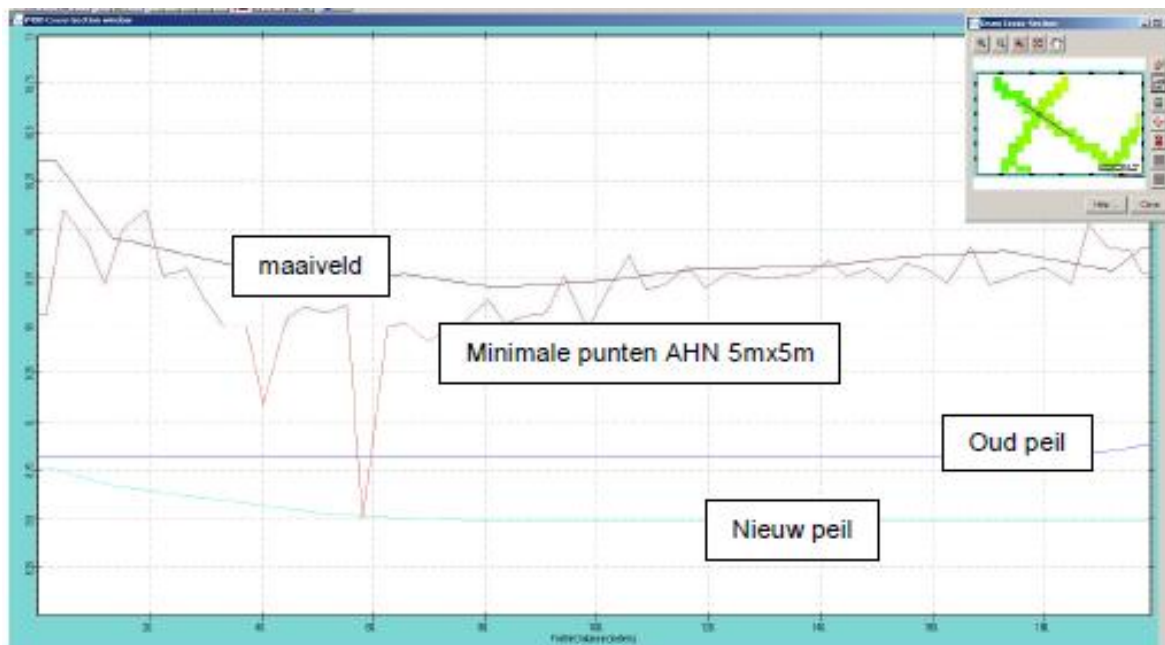
Wanneer blijkt dat het geïnterpoleerde peil hoger ligt dan het minimale AHN-5x5m grid ter plaatse van de waterloop worden hulppunten toegevoegd, zie groene hulppunten in Figuur 3.4.



Figuur 3.4 Voorbeeld toevoegen van hulppunten

3.1.2 Resultaat peilen met AHN-filtering

Het verschil tussen het nieuwe en oude waterlooppeil is inzichtelijk gemaakt door middel van de volgende figuren. In Figuur 3.5 is een doorsnede gemaakt van een waterloop waarbij het maaiveld, het minimum maaiveld, het oude en nieuwe peil zijn weergegeven. Het oude Regge en Dinkel greppel/sloot peil is gebaseerd op het gefilterde 25m-AHN. Terwijl het nieuwe peil duidelijk het minimale AHN-5x5m volgt.

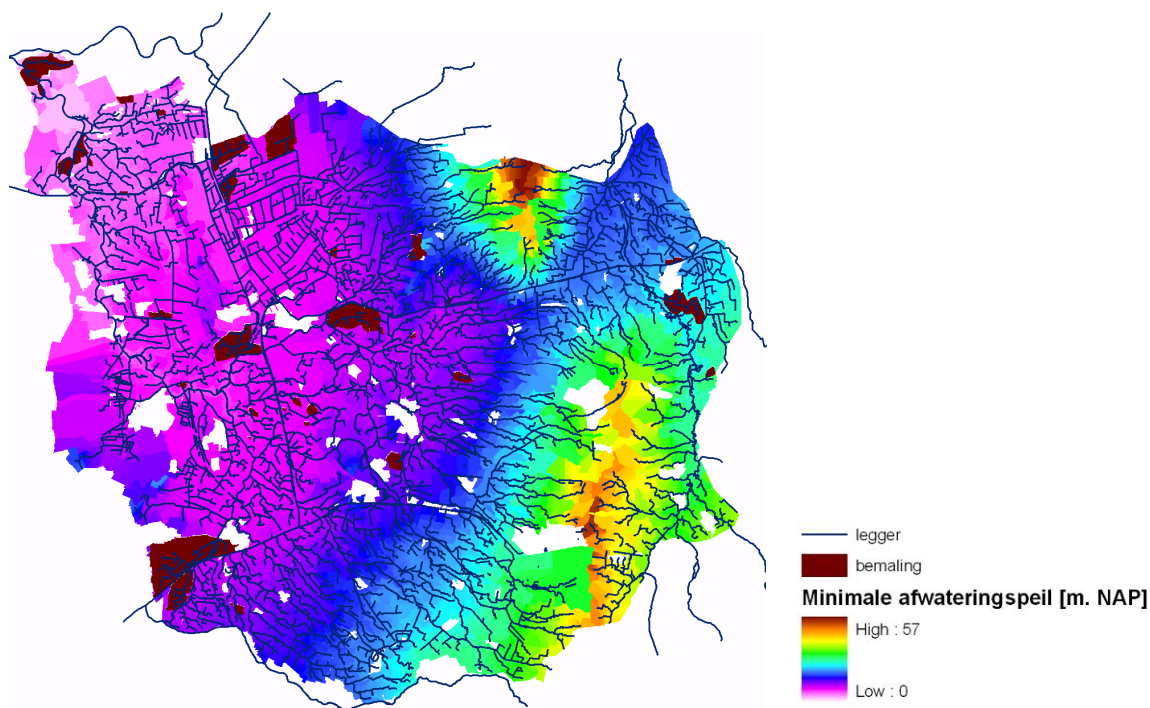


Figuur 3.5 Doorsnede waterloop met maaiveld, nieuwe peil, oude peil en minimale punten AHN5x5m

3.1.3 Aanpak peilen in stedelijke gebieden

De sloot- en greppelpeilen resulterend uit het AHN-peilenfilter (zie vorige paragraaf) bevatten in stedelijke gebieden een aantal onrealistisch lage waarden. Dit wordt veroorzaakt door uitschieters in het oorspronkelijke AHN-puntenbestand en is opgelost door een minimale peilenkaart voor de sloten en greppels te maken. Met behulp van deze kaart kunnen de onrealistische lage peilen worden opgehoogd. Deze minimale peilenkaart is gebaseerd op het principe dat een sloot of greppel moet kunnen afwateren op de benedenstrooms gelegen leggerwaterloop. Om af te kunnen wateren dient het slootpeil minimaal gelijk zijn aan het zomerpeil van de benedenstrooms gelegen leggerwaterloop. De aanpak voor het aanmaken van deze kaart is als volgt:

- 1 Bepaal voor iedere cel in een afwateringseenheid de kortste afstand naar de leggercel in deze afwateringseenheid.
- 2 Het peil van deze leggercel wordt toegekend aan de betreffende cel van de afwateringseenheid.
- 3 Het resultaat is een kaart met minimale afwateringspeilen waarbij de bemalingsgebieden eruit gefilterd zijn. Het resultaat van de minimale afwateringspeilen kaart is in Figuur 3.6 weergegeven.



Figuur 3.6 Minimaal afwateringspeil [m NAP]

De afwateringseenheden die in Figuur 3.6 wit zijn, hebben geen leggerwaterloop in hun afwateringsgebied dus kan hier ook geen minimaal peil voor de sloten en greppels worden bepaald. Tot slot is door middel van de kaart met minimale afwateringspeilen gecheckt of het peil van de sloten niet te laag ligt en is het peil indien nodig verhoogd naar het minimale afwateringspeil.

3.1.4 Resultaat peilen in stedelijke gebieden

De rode cellen in Figuur 3.7 geven de sloten aan die verhoogd zijn op basis van het minimale afwateringspeil.



Figuur 3.7 Locaties (rood) waar de slootpeilen zijn aangepast aan het minimale afwateringspeil

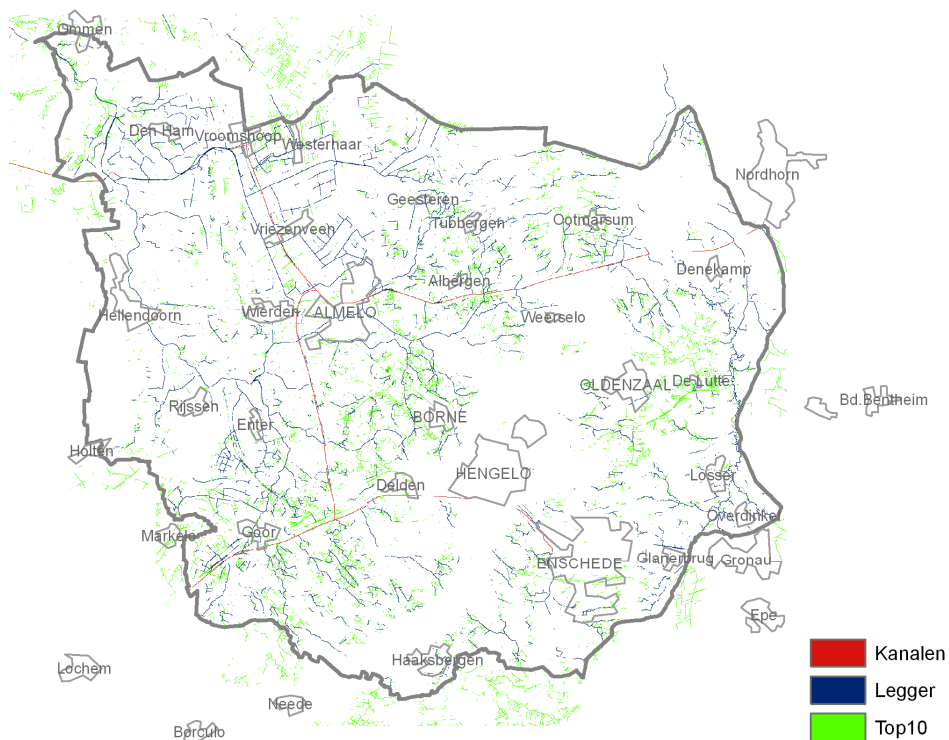
3.1.5 Aanpak insnijden van de waterlopen in modellaag 2

Het bepalen van de insnijding van de waterlopen in modellaag 2 van het grondwatermodel is gelijk aan de methode gebruikt in MIPWA 2.0 (Hoogewoud e.a., 2010). In het WRD-2004-model is insnijding niet meegenomen. De weerstand van de toplaag in het WRD-2004-model is echter ook meestal laag. Door toename van de weerstand van de toplaag (REGIS II en bodemkaart, zie paragraaf 4.2) is analyse van de doorsnijding van belang en is de mogelijkheid van doorsnijding van de toplaag een verbetering van het modelconcept. De MIPWA-methode is voortgekomen uit het onderzoek van Deltares in de Drentsche Aa (Hoogewoud, 2009). De methode is als volgt:

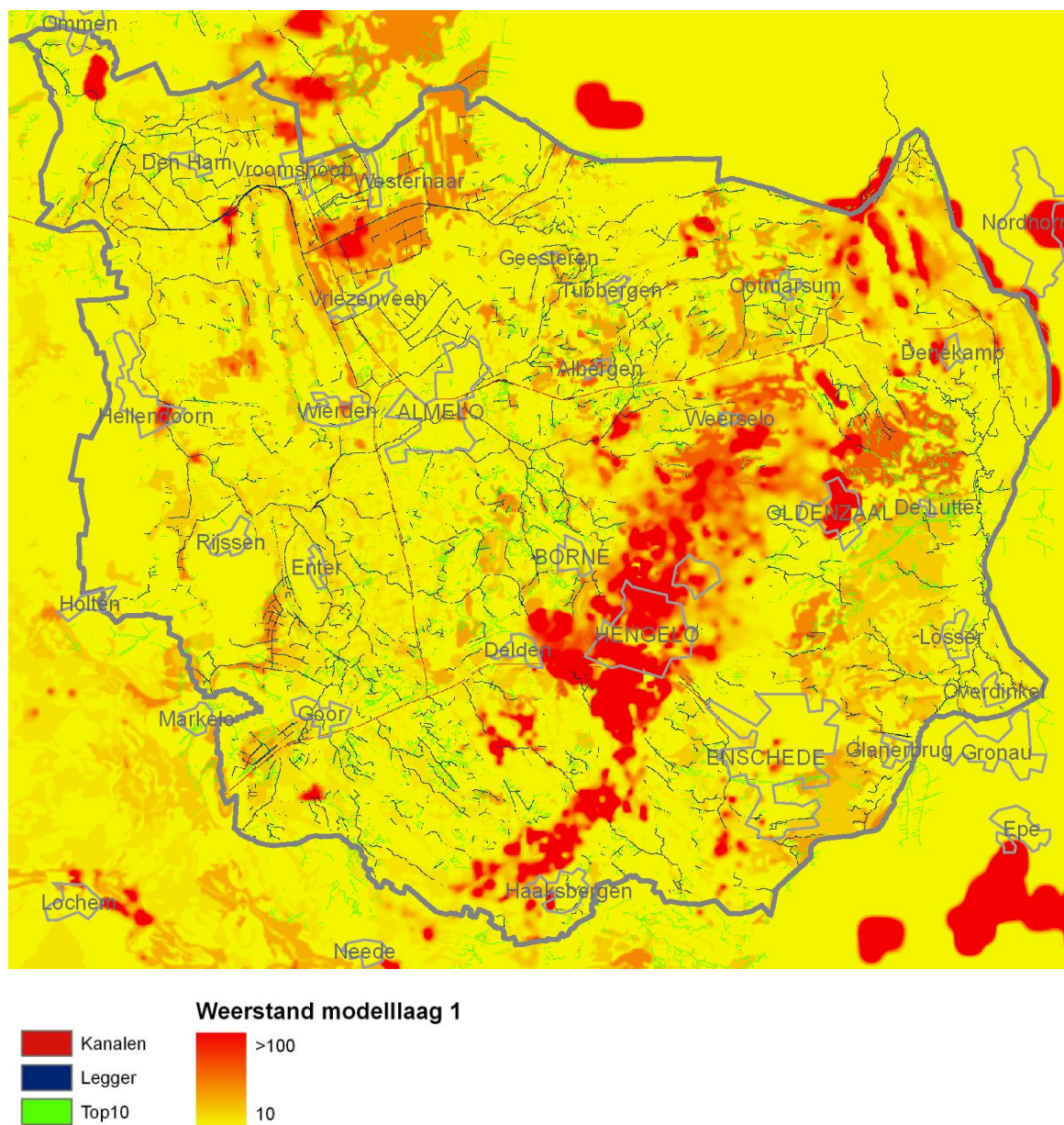
- Gekozen is voor een vaste dikte (1,5 m) van modellaag 1, tenzij REGIS-waarden groter zijn. Hiervoor is destijds ondermeer gekozen, omdat de informatiedichtheid van REGIS beperkt is. Zeker als het gaat om dunne scheidende lagen met een beperkt voorkomen, is de betrouwbaarheid beperkt. Voor het berekenen van de insnijding van waterlopen in modellaag 2 is daarom een virtuele modellaag 1 gehanteerd van minimaal 1,5 meter dik.
- De conductance van de waterlopen die insnijden in modellaag 2 is evenredig verdeeld in het grondwatermodel. Dit betekent dat 50% van de waterloopconductance toegekend is aan de waterloop die in modellaag 1 van het grondwatermodel zit en 50% van de conductance toegekend is aan het deel van de waterloop die in modellaag 2 van het grondwatermodel zit.

3.1.6 Resultaat insnijden van de waterlopen in modellaag 2

In Figuur 3.8 zijn de type waterlopen (legger, kanaal en top10) afgebeeld die modellaag 1 van het grondwatermodel doorsnijden (zwarte lijnen). Duidelijk is te zien dat de legger en kanalen modellaag 1 doorsnijden. Ook is in de figuur de weerstandswaarde van laag1 toegevoegd als achtergrond.



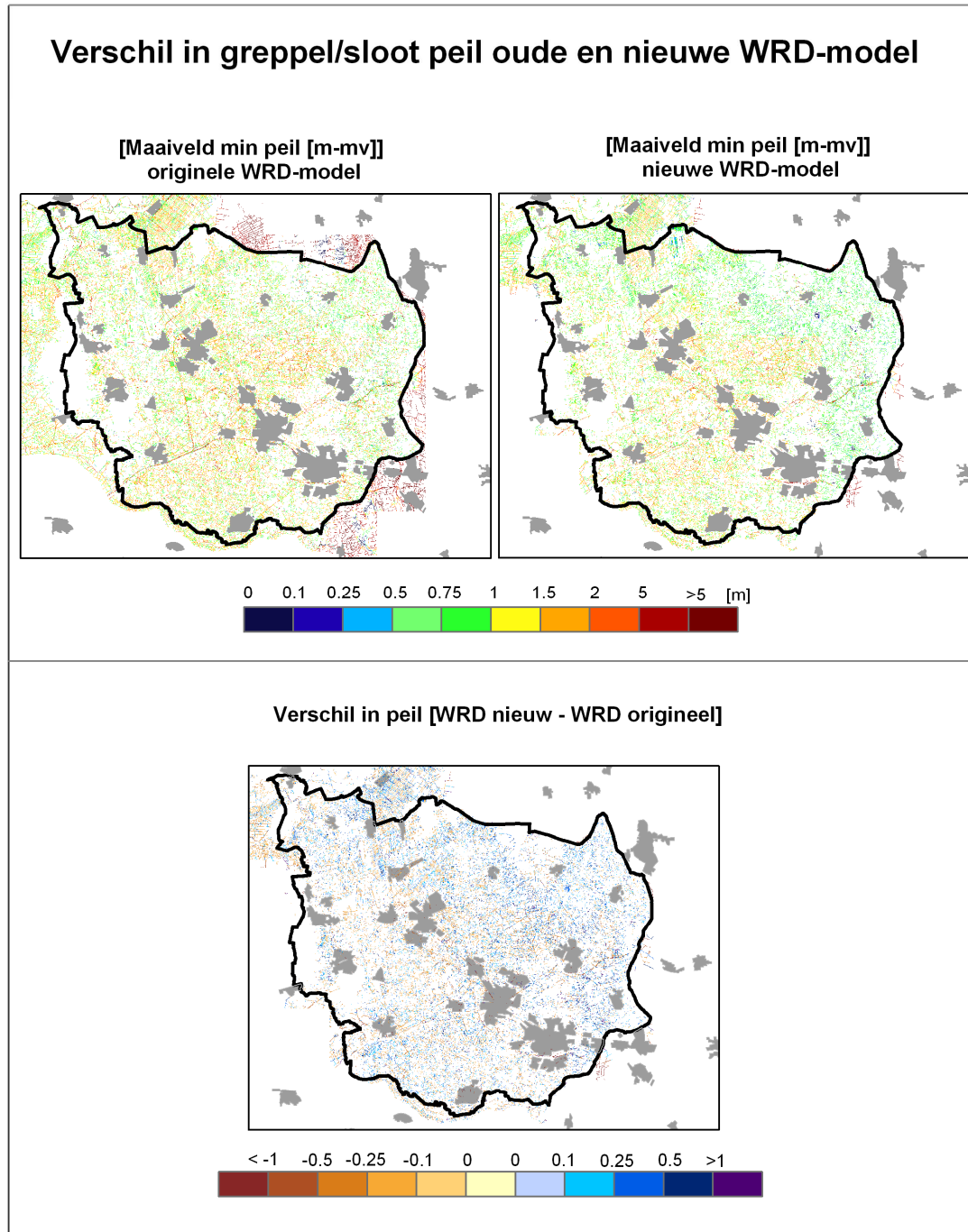
Figuur 3.8 Waterlopen die doorsnijden in modellaag 2



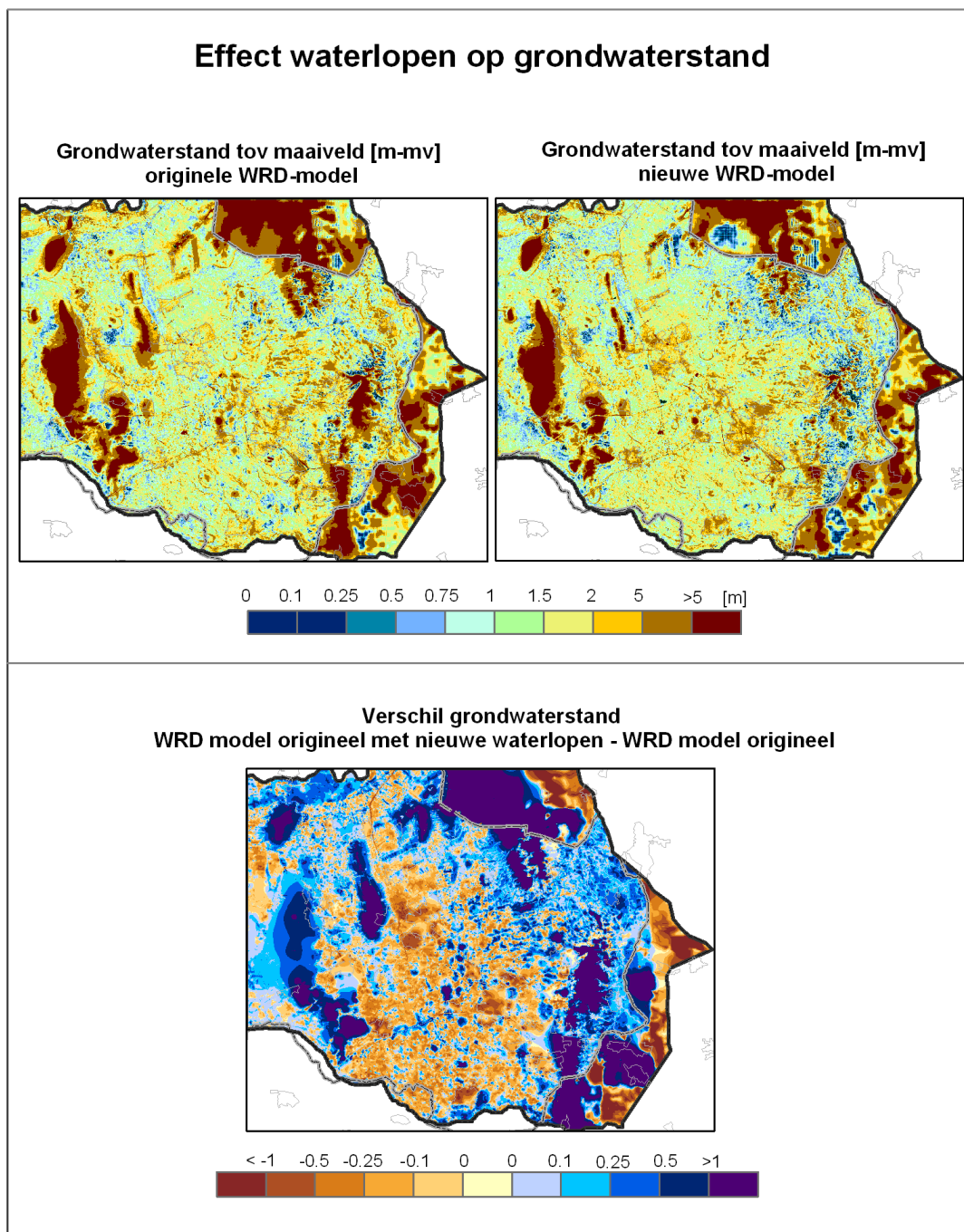
Figuur 3.9 Waterlopen (zwart) die doorsnijden in modellaag 2 en de weerstand van modellaag

3.1.7 Totaalresultaat waterlopen: hogere grondwaterstand in stuwwallen door aanpassing waterlopen

In Figuur 3.10 is het verschil in peil tussen het WRD-2004-model en het nieuwe model (= WRD-2012-model) weergegeven. Met name in het oosten en westen zijn de peilen in het nieuwe WRD-model hoger geworden. Het effect van de nieuwe waterloopepeilen op de grondwaterstand ten opzichte van het WRD-2004-model is weergegeven in Figuur 3.10. De grondwaterstand wordt in zowel het oosten en westen ter plaatse van de stuwwallen hoger, door de aanpassing van de peilen. In het overig gebied is het effect verdeeld.



Figuur 3.10 Vershil in peil tussen WRD-2004-model en WRD-2012-model 25m-WRD-model door gebruik van het MIPW- peilenfilter



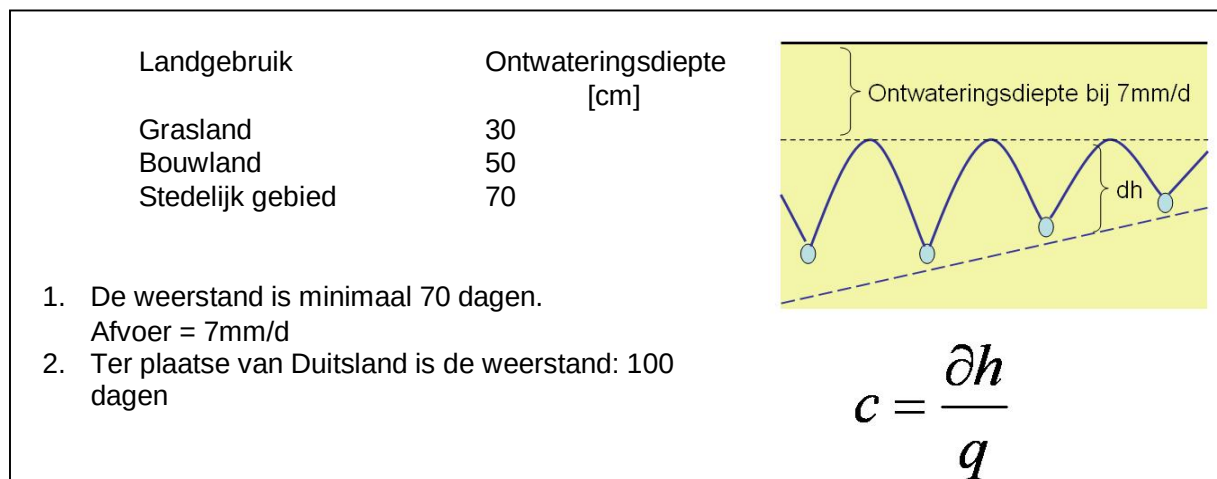
Figuur 3.11 Effect greppels en sloten op de grondwaterstand

3.2 Drainage

De drainage is bepaald op basis van de gehanteerde methode in MIPWA 2.0 (Hoogewoud e.a., 2010). De aanpak van deze methode is hieronder stapsgewijs weergegeven.

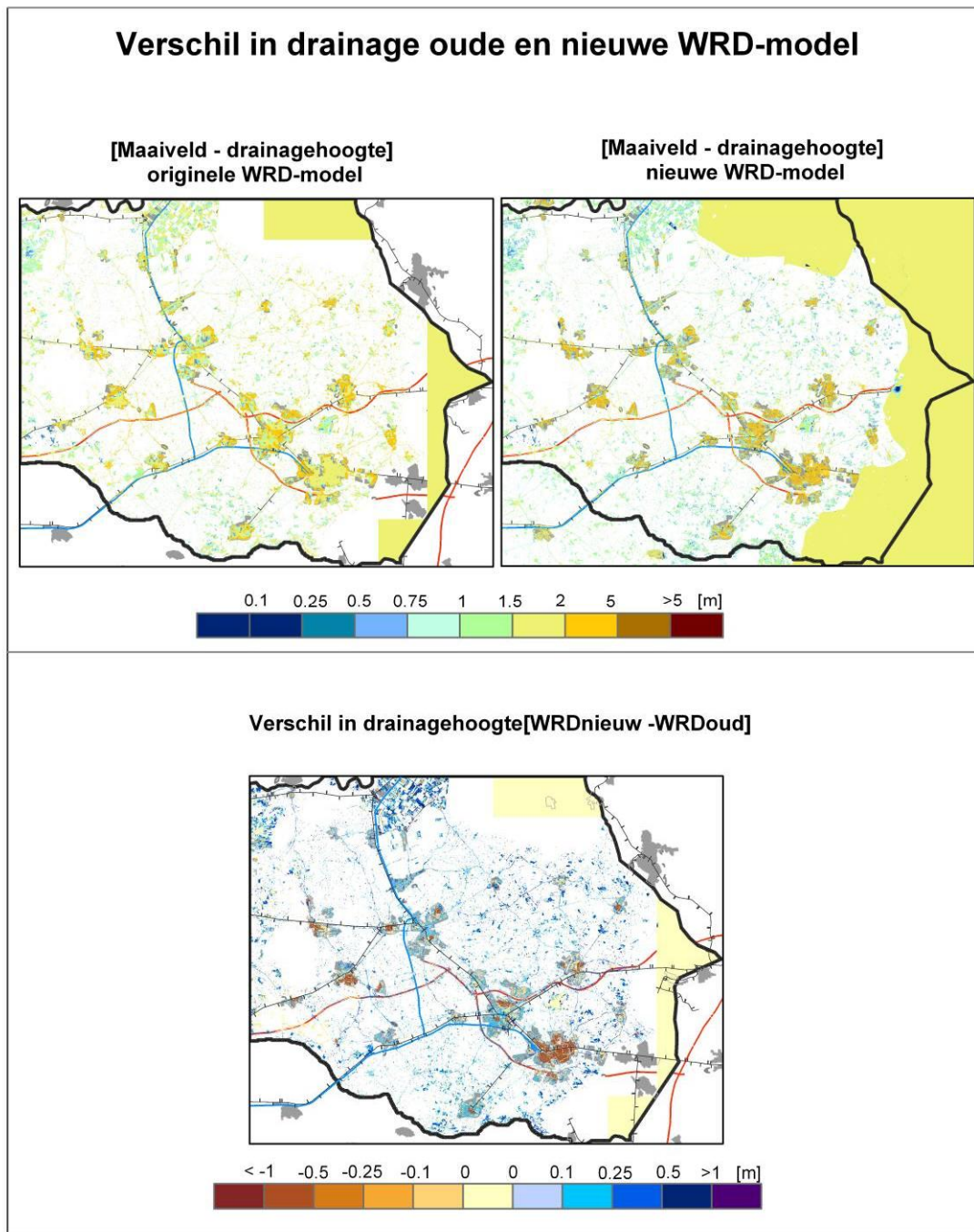
3.2.1 Aanpak drainage

1. Interpoleer drainagevlak op basis van alle oppervlaktewaterpeilen.
2. Bepaal buisdrainagediepte op basis van drainagevlak.
3. Controle of drainagebuizen boven dit vlak liggen, ophogen tot 10 cm boven drainagevlak als dit niet zo is.
4. De weerstand is gecorrigeerd voor gewenste ontwateringsdiepte op basis van landgebruik.



Figuur 3.12 aannames bij aanmaak drainagevlak

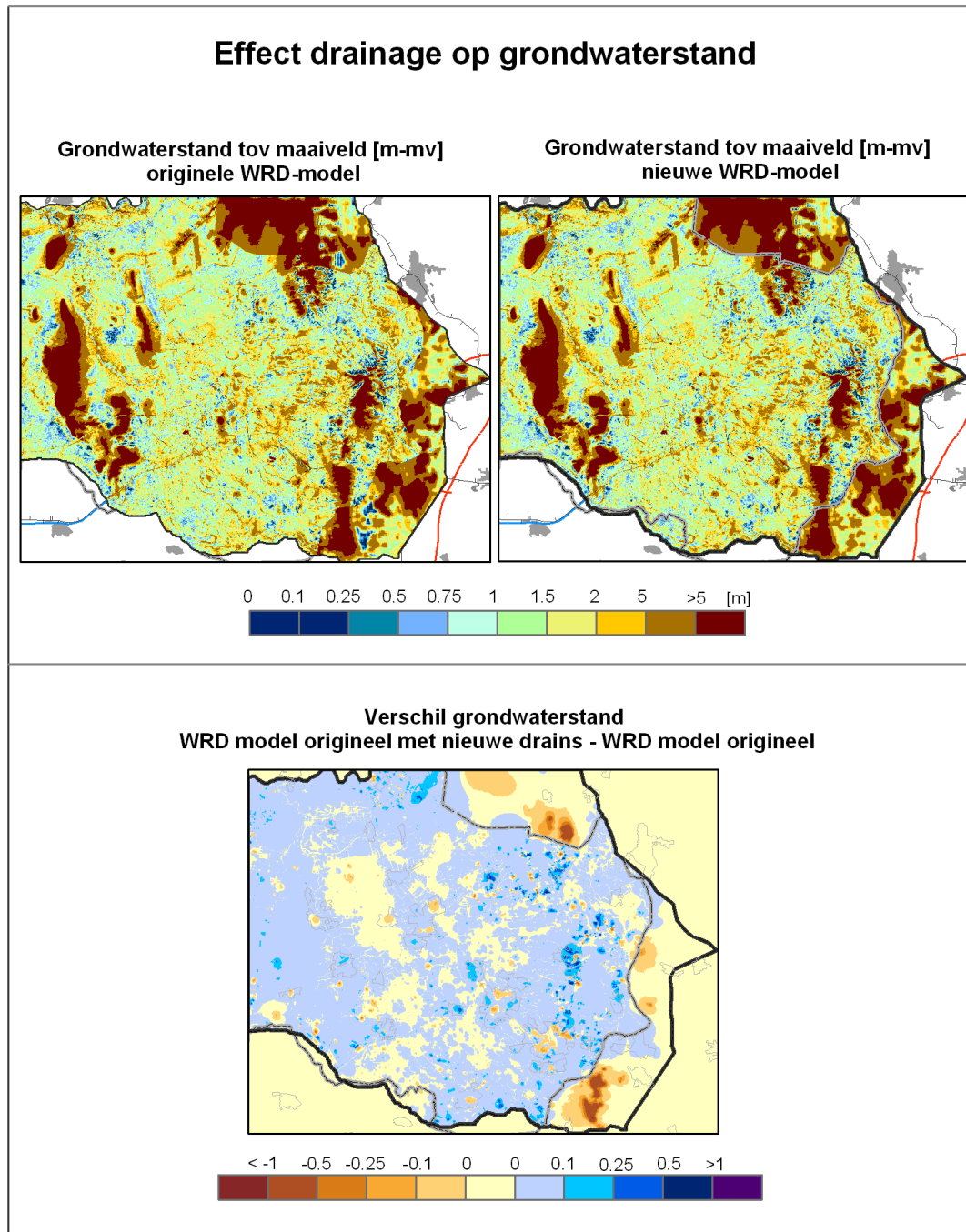
Het resultaat van de nieuwe aanpak is dat de buisdrainage in het landelijk gebied hoger komt te liggen, terwijl in steden de ligging ook lager kan zijn dan in het WRD-2004-model. In Figuur 3.13 is dit te zien.



Figuur 3.13 Verschil in drainage nieuwe en WRD-2004-model

3.2.2 Hogere grondwaterstand door nieuwe drainage

Doordat de drainage in het WRD-2012-model hoger komt te liggen treed er minder afvoer via drainage op, waardoor de grondwaterstand vrijwel overall hoger is dan in het WRD-2004-model. Zie Figuur 3.14.



Figuur 3.14 Effect drainage op grondwaterstand

3.3 Maaiveld

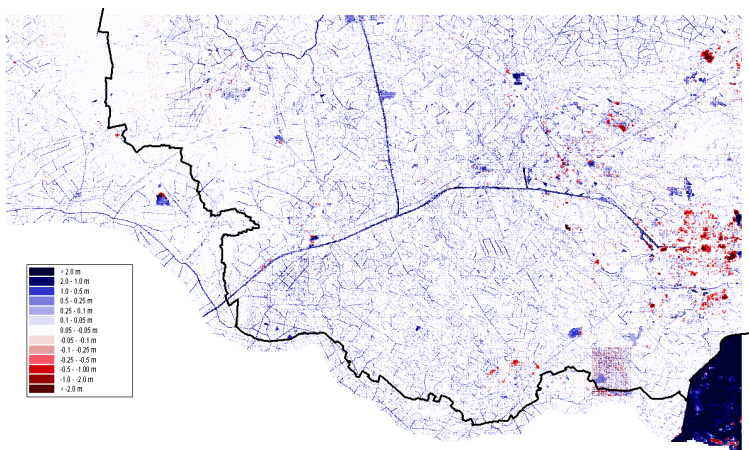
3.3.1 Aanpak maaiveld

Voor het maaiveld zijn de volgende keuzes gemaakt

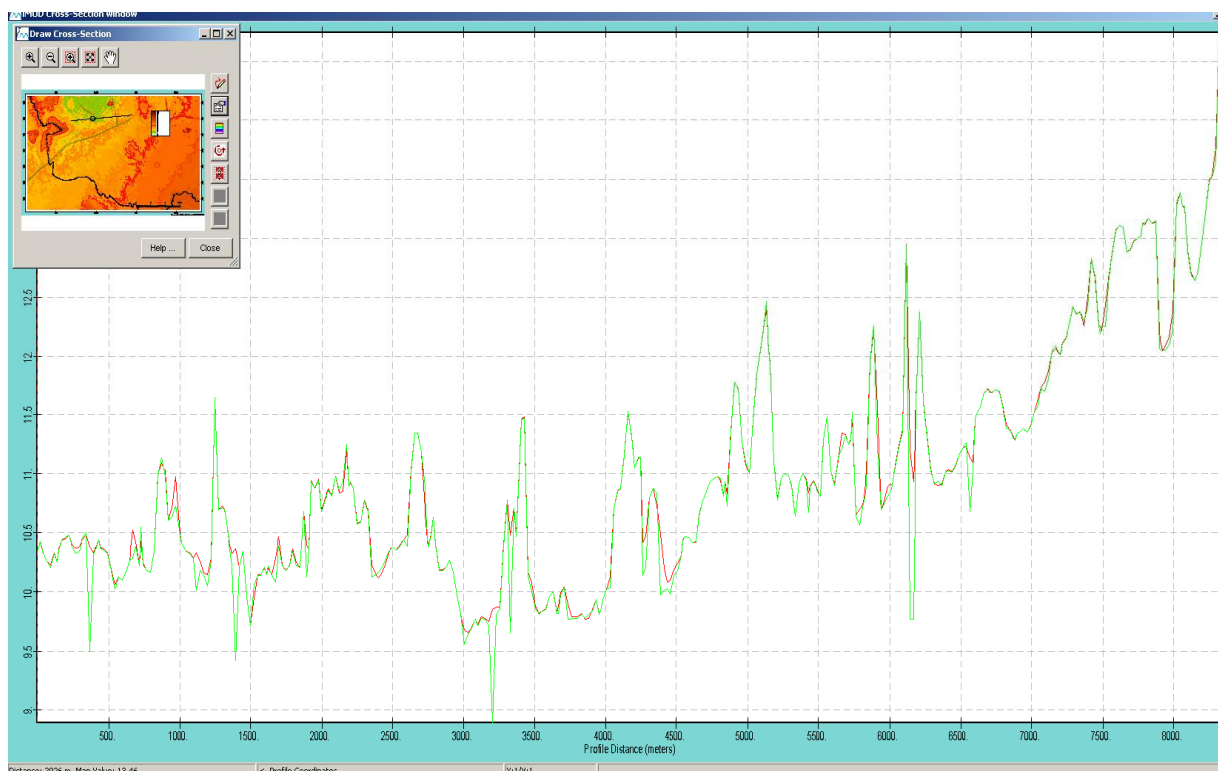
- Basis is AHN 1 (er is voor dit gebied geen AHN 2 beschikbaar).
- De filtertechniek is verbeterd (zie ook SOF en waterlopen), conform de aanpak van MIPWA.
- Duitsland: ASTER DEM satellietdata vertonen structurele, grote afwijkingen binnen het MIPWA-gebied t.o.v. de AHN-hoogte. We verwachten hiervan daarom geen verbetering. Er is daarom gebruik gemaakt van het huidige maaiveld uit MIPWA. Het grootste deel van Duitsland is in het grondwatermodel inactief. De maaiveldhoogte heeft hier daarom geen invloed.

Tevens is er als extra check een vergelijking gemaakt tussen het maaiveld in AMIGO en in MIPWA. Hieruit komen de volgende punten naar voren:

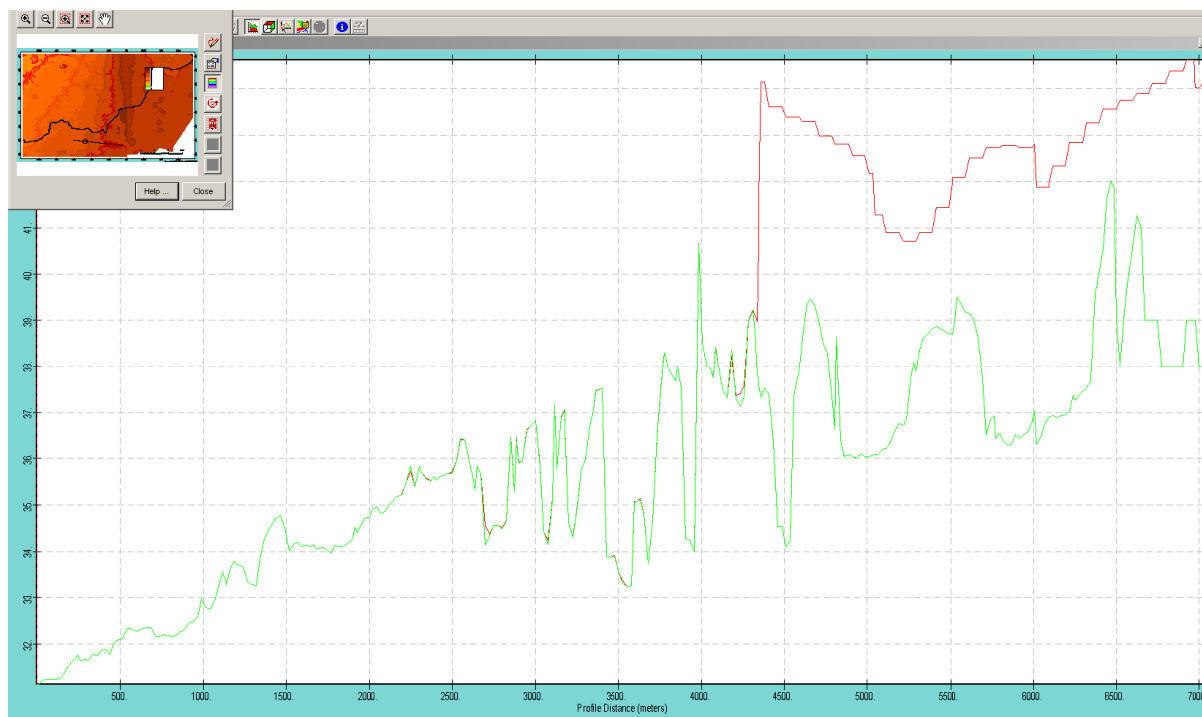
- Maaiveld ter plaatse van de waterlopen is in AMIGO hoger dan in MIPWA doordat de waterlopen uit het maaiveld van MIPWA zijn gefilterd volgens de nieuwste filtertechniek. Er is daarom ook meer vertrouwen in het MIPWA-maaiveld (Figuur 3.16).
- In het zuidoosten zit een rare plek in het MIPWA-maaiveld (buiten de WRD-grens). Het maaiveld lijkt hier veel te hoog. Hier is het MIPWA-maaiveld aangepast aan het AMIGO-maaiveld (Figuur 3.15 en Figuur 3.17).



Figuur 3.15 Verskil in maaiveld tussen MIPWA en AMIGO. Donkerblauwe hoek in zuidoosten: hier is het MIPWA-maaiveld te hoog en daarom overgenomen uit AMIGO



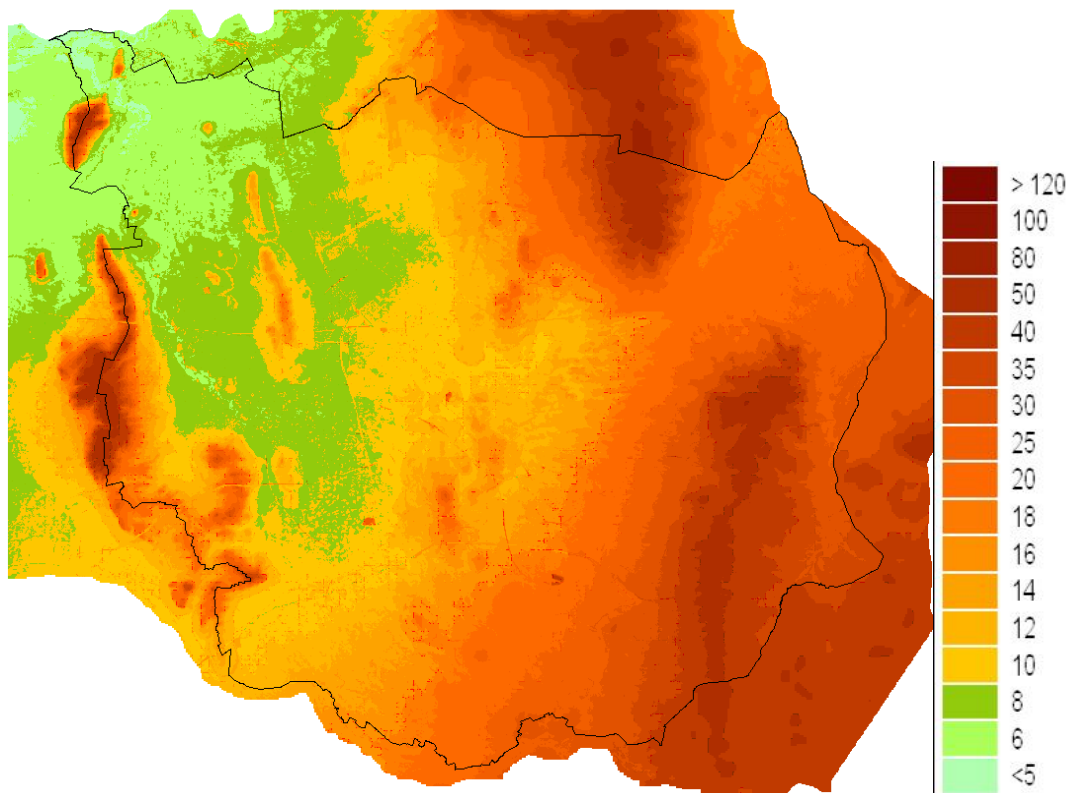
Figuur 3.16 Voorbeeld doorsnede maaiveld. MIPWA-maaiveld = rode lijn, AMIGO-maaiveld = groene lijn. Te zien is dat AMIGO neerwaartse spikes in maaiveld heeft ter plaatse van waterlopen, deze zijn in het MIPWA-maaiveld verwijderd door de nieuwe filtertechniek



Figuur 3.17 Doorsnede maaiveld in zuidoosten model waar MIPWA rare hoge waarden heeft

3.3.2 Resultaat maaiveld

Het resultaat van het maaiveld voor WRD is te zien in figuur 3.18.



Figuur 3.18 Maaiveld na filtering AHN, conform MIPWA-methodek

3.4 SOF

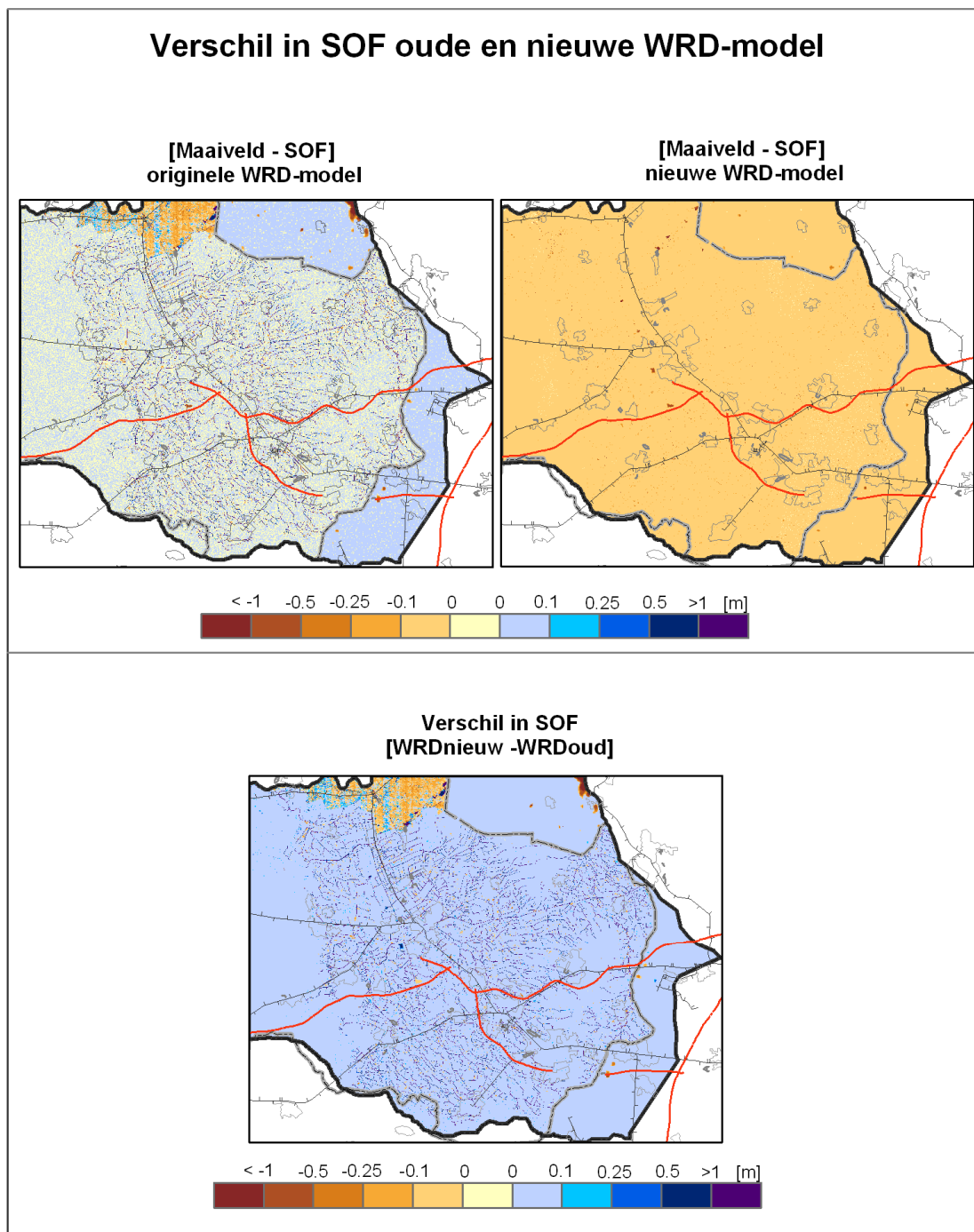
3.4.1 Aanpak overlandflow

De SOF (Saturated Overland Flow) is aangepast. In de SOF van MIPWA bleek dat de leggerwaterlopen verschoven waren. Daarom is er een nieuwe SOF-package gemaakt. De ligging van waterlopen is belangrijk om te bepalen waar depressies in het maaiveld voorkomen. Depressies worden op de volgende manier bepaald:

- 1 Lokaliseren depressies aan de hand van lage waarden in het maaiveld.
- 2 Wanneer deze lage waarden in dezelfde modelcel als een waterloop liggen is geen sprake van een depressie.
- 3 Wanneer de lage waarden niet in een waterloop liggen is sprake van een depressie zonder afvoer. Rondom de depressie is gezocht naar de laagste uitstroomopening. Wanneer het peil boven deze hoogte komt kan water over maaiveld afstromen naar een waterloop. De hoogte van deze opening bepaalt daarom de uitstroomdrempel en daarmee de hoogte van de SOF.

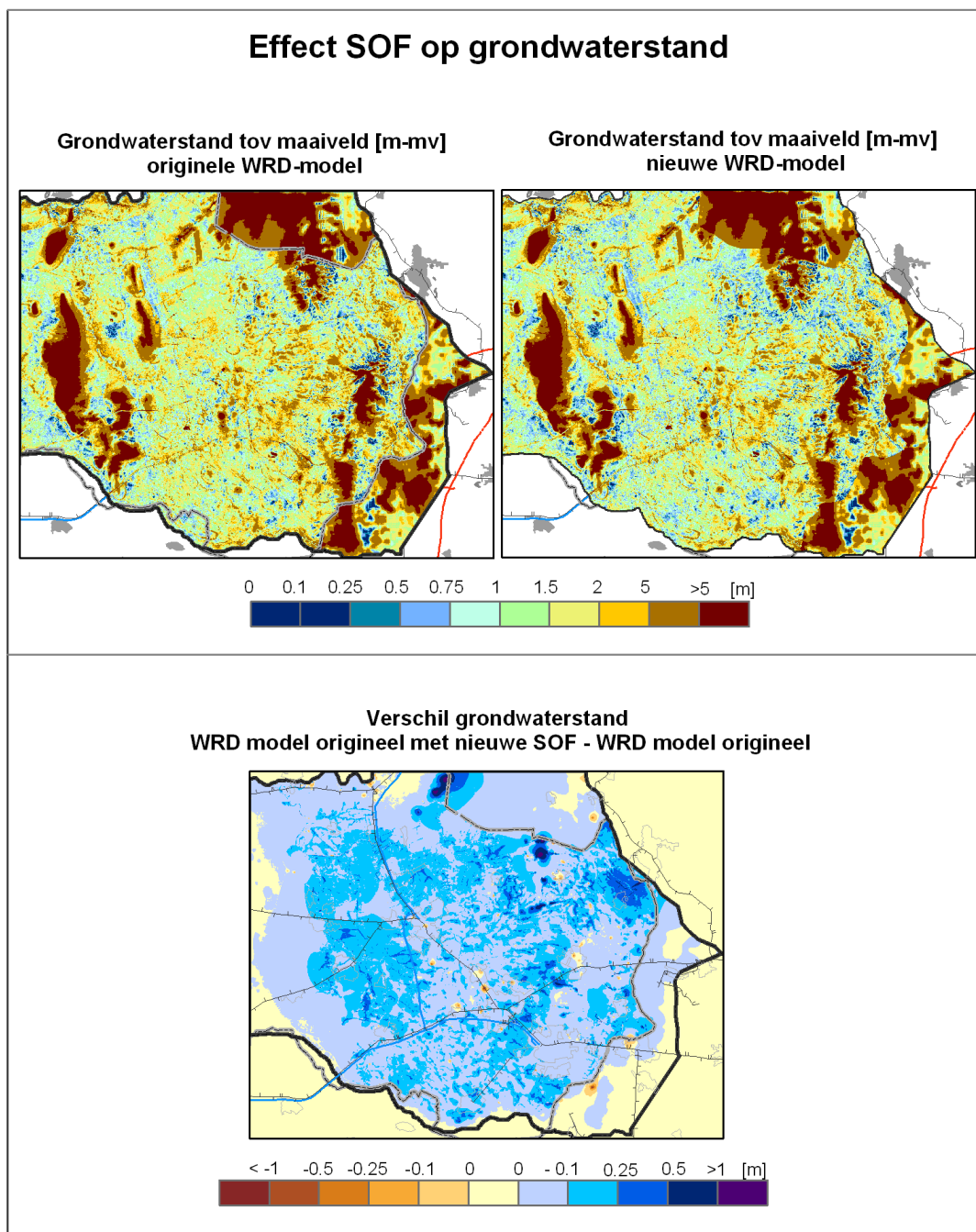
3.4.2 Resultaat overlandflow

De SOF ligt circa 20 cm hoger in het nieuwe model dan in het WRD-2004-model, zie Figuur 3.19.



Figuur 3.19 Vershil in SOF nieuwe en WRD-2004-model

De nieuwe SOF veroorzaakt hogere grondwaterstanden in het WRD-model. Het is logisch dat een hogere SOF een hogere grondwaterstand veroorzaakt, omdat pas bij een hogere grondwaterstand maaiveld drainage plaatsvindt.



Figuur 3.20 Effect SOF op grondwaterstand

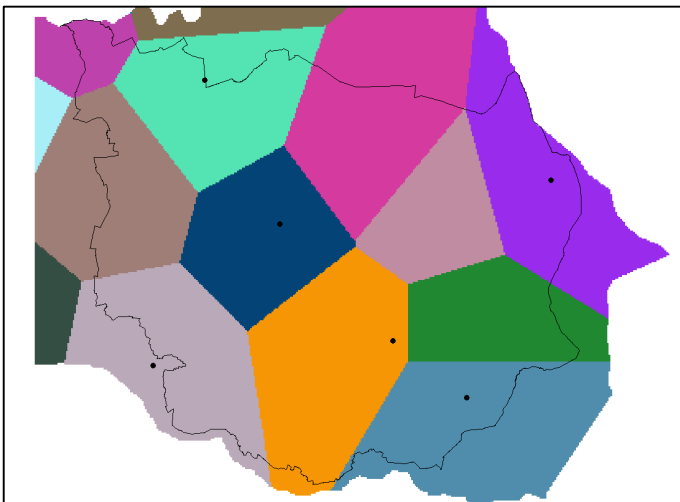
3.5 Grondwateraanvulling

CAPSIM vervangt het wortelzonereservoir uit het WRD-2004-model. De keuzes voor de CAPSIM-modelinvoer zijn gelijk aan die in MIPWA. Voor de werking van CAPSIM en de gemaakte keuzes wordt verwezen naar bijlage D van de MIPWA-rapportage op de MIPWA-server: d:\Centraledatabase\documenten\MIPWA 1.0\2007-U-R0972A-Snepvangers-LK-MIPWA.pdf.

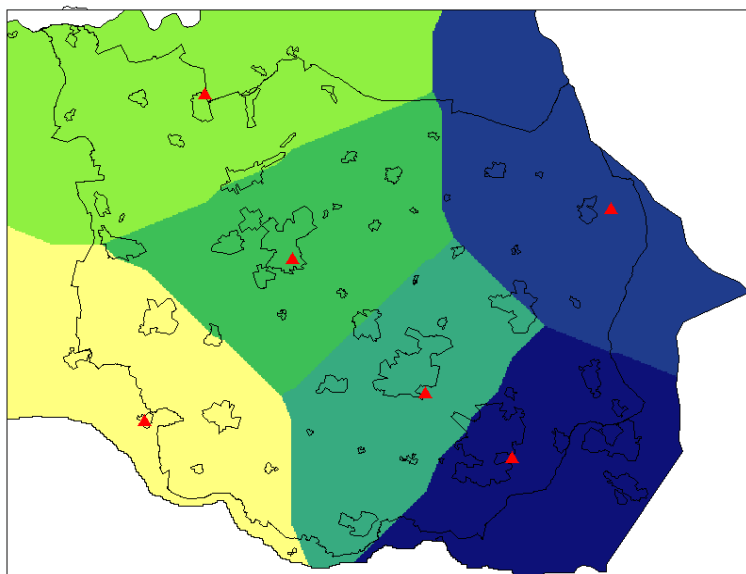
3.5.1 Stationaire grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling die berekend is voor MIPWA is gebruikt als invoer voor het stationaire grondwatermodel.

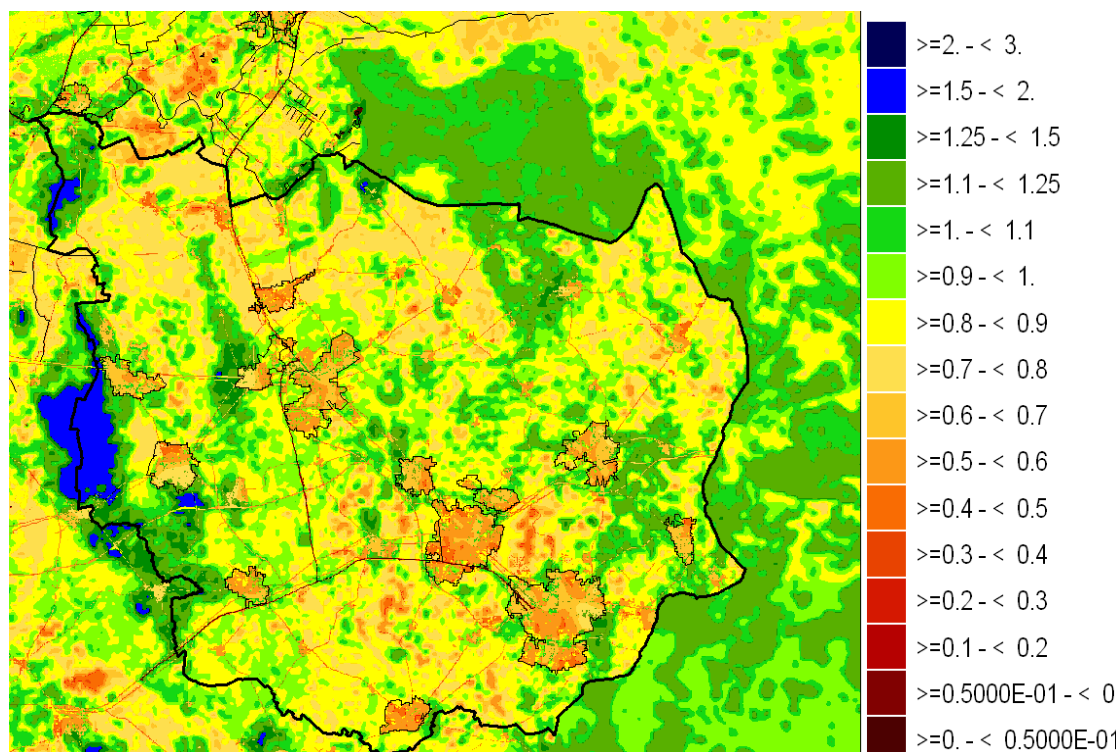
De interpolatie van de neerslaggegevens met Thiessenpolygonen rondom neerslagstations. De neerslagstations zijn overgenomen uit MIPWA. De verdamping is gebruikt van weerstation Twenthe. Een verbetering ten op zichten van het WRD-2004-model is dat er een toename van neerslagstations van 6 naar 14 is (Figuur 3.21 en Figuur 3.22). Het resultaat is weergegeven in Figuur 3.23



Figuur 3.21 Interpolatie door middel van Thiessenpolygonen rondom 14 neerslagstations, conform MIPWA. De zwarte punten geven de neerslagstations uit het WRD-2004-model aan



Figuur 3.22 Ter vergelijking: invoer neerslag in WRD-2004-model op basis van 6 neerslagstations (▲)



Figuur 3.23 Resultaat van de stationaire grondwateraanvulling

3.6 Niet-stationaire grondwateraanvulling

In de projectgroep is opgemerkt dat het mooi zou zijn om de neerslag in gridvorm in te voeren, zoals dit nu ook in NHI gebeurt, zodat er geen harde grenzen meer bestaan tussen de Thiessenpolygonen. Dit wordt beschouwd als aanbeveling voor een volgende MIPWA-update.

3.7 Berekening (niet-stationair model)

3.7.1 Aanpak berekening

CAPSIM berekent op iedere tijdstap of beregend gaat worden op basis van bodemvochtgehalte op potentiële beregeningslocaties, conform de MIPWA-methode. Beschrijving van de berekening van het vochttekort met CAPSIM is opgenomen in bijlage I van de MIPWA-rapportage op de MIPWA-server: d:\Centraledatabase\documenten\MIPWA 1.0\2007-U-R0972A-Snepvangers-LK-MIPWA.pdf. Potentiële beregeningslocaties worden hierbij vooraf opgeven.

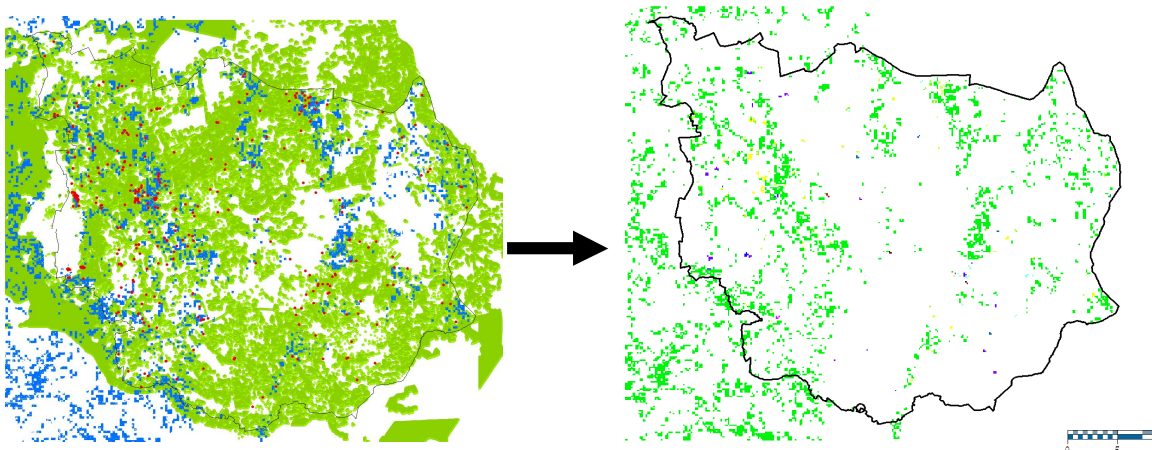
3.7.2 Resultaat berekening

Het WRD-2004-model bevat veel meer potentiële beregeningslocaties dan MIPWA. De keuze voor de potentiële beregeningslocaties is gemaakt in workshop 2 en is als volgt:

- We gaan uit van de potentiële beregeningslocaties uit MIPWA (blauw in Figuur 3.24), aangevuld met de vergunde beregeningslocaties (rood in Figuur 3.24). Rondom de rode locaties houden we een straal aan van 200 meter; alle groene percelen (uit de maximale beregeningskaart van het WRD-model) binnen deze straal kunnen ook beregend worden. In figuur 2.24 is het resultaat van de potentiële beregeningslocaties te zien in de rechterfiguur. De linkerfiguur geeft in groen de potentiële beregeningslocaties van WRD-2004-model weer, in blauw de potentiële beregeningslocaties van MIPWA en in rood de vergunde beregeningslocaties.

Verbeteringen ten opzichte van het WRD-2004-model

- Berekening vochttekort met CAPSIM in plaats van bakjesmodel uit het WRD-2004-model.
- Best mogelijke schatting van beregeningslocaties op basis van beregeningskaart Alterra (conform MIPWA), aangevuld met vergunningsgegevens.



Figuur 3.24 Aanmaak van potentiële beregeningslocaties. Links: potentiële beregeningslocaties uit WRD-2004-model (groen), potentiële beregeningslocaties uit MIPWA (blauw) en vergunde beregeningslocaties(rood). Rechts: resulterende potentiële beregeningslocaties in het nieuwe WRD-2012-model

4 Ondergrond

Dit hoofdstuk beschrijft de totstandkoming van het lagenmodel van het WRD-2012-model. De basis voor het lagenmodel vormt REGIS versie II.0. Hiervoor is gekozen omdat REGIS II.0 sterk verbeterd is ten opzichte van versie I.0. Sinds 2008 is er voor Overijssel een vernieuwde versie, REGIS II.1, beschikbaar. In MIPWA is de ondergrond echter geheel geschematiseerd aan hand van REGIS II.0. Er is dus voor hetzelfde lagenmodel gekozen, om een aansluiting bij de rest van het MIPWA-model te verkrijgen.

4.1 Ondergrond in de voorgaande modellen: WRD-2004 en MIPWA

Uitgangspunt bij de bouw van het WRD-2012-model was dat het 3-lagenmodel van WRD-2004 en het 7-lagenmodel van MIPWA zouden worden gebruikt om een 7-lagenmodel te construeren dat goed zou aansluiten bij MIPWA, maar ook gebruik te maken van de kennis uit WRD-2004. Dit bleek geen sinecure, vooral omdat de beide modellen gebaseerd waren op een ander hydrogeologisch model met andere formatienamen: REGIS I.0 versus REGIS II.0. Daarnaast verschillen de modellen sterk in detailniveau in de vertikaal: 3 versus 7 modellagen.

In de opgeleverde versie van het MIPWA-model (MIPWA 1.0) is destijds besloten om, binnen de grenzen van waterschap Regge en Dinkel, de ondergrond schematisatie uit REGIS II.0 te vervangen door de kD- en c-waarden uit het WRD-2004 model. Omdat dit gebied een van de modelranden van MIPWA was, is hieraan destijds weinig aandacht besteed. In MIPWA 1.0 en 2.0 bestond er daarom voor het WRD-gebied geen beschrijving van modellagen (tops en bottoms), die consistent was met de gehanteerde kD- en c-waarden. Deze was wel beschikbaar voor het WRD-2004-model, maar hierin waren de kD- en c-waarden gebaseerd waren op drie modellagen en deze komen niet overeen met de begrenzing van de zeven MIPWA-modellagen. Om tot een laagindeling te komen die consistent is met de gemodelleerde kD- en c-waarden en die tevens aansluit op de modellagen in de rest van het MIPWA-gebied zijn we voor het WRD-2012-model terug gegaan naar de basis (lagenindeling en kD- en c-waarden) van REGIS II.0.

Bij de bouw van het WRD-2004-model is extra aandacht besteed aan het voorkomen van kleilagen in de oostelijke stuwwallen van Twente. Tijdens het bepalen van de c-waarden van het WRD-2004-model is ondermeer extra informatie uit boringen meegenomen. Tevens zijn ter plaatse van de oostelijke stuwwallen belangrijke aanpassingen gedaan door met behulp van expert kennis de stuwwallen 3-dimensionaal in beeld te brengen. Om deze informatie niet verloren te laten gaan is deze verwerkt in het nieuwe lagenmodel WRD-2012 (paragraaf 4.3).

De gekarteerde zand- en kleivoorkomens in REGIS II.0 en de toekenning hiervan aan modellagen is uitgebreid beschreven in de rapportage van MIPWA 1.0 (Snepvangers e.a., 2007). Figuur 4.1 toont de ligging van kleivoorkomens en de indeling in scheidende lagen in het MIPWA-model. Tabel 4.1 vat de toekenning van verschillende kleivoorkomens aan de scheidende lagen in het WRD-2001-model samen. Afwijkingen ten opzichte van MIPWA betreffen:

- verhoging van de weerstand van de toplaag met behulp van de bodemkaart (paragraaf 4.2.4);
- toevoeging weerstandbiedende laag in de oostelijke stuwwallen op basis van WRD-2004 (paragraaf 4.3.1);

- gestuwde afzettingen in de westelijke stuwwallen opgenomen als watervoerend pakket (modellaag 2) in plaats van scheidende laag (paragraaf 4.3.1);
- toevoeging minimale kD- en c-waarden bij laagdiktes nul (paragraaf 4.4).

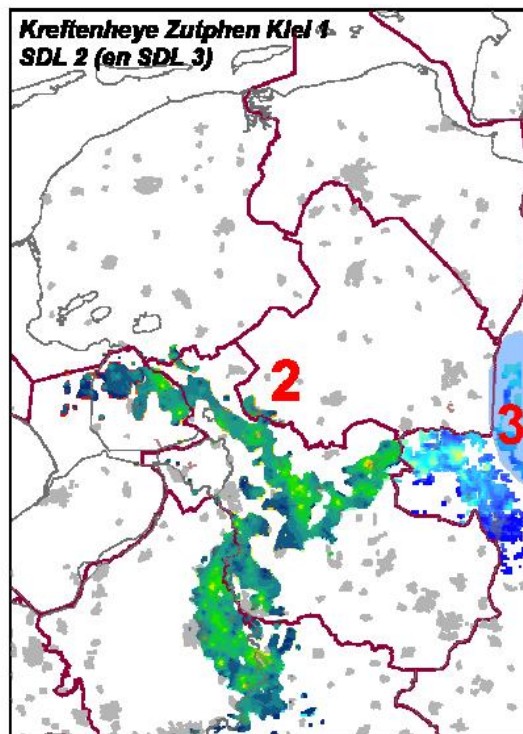
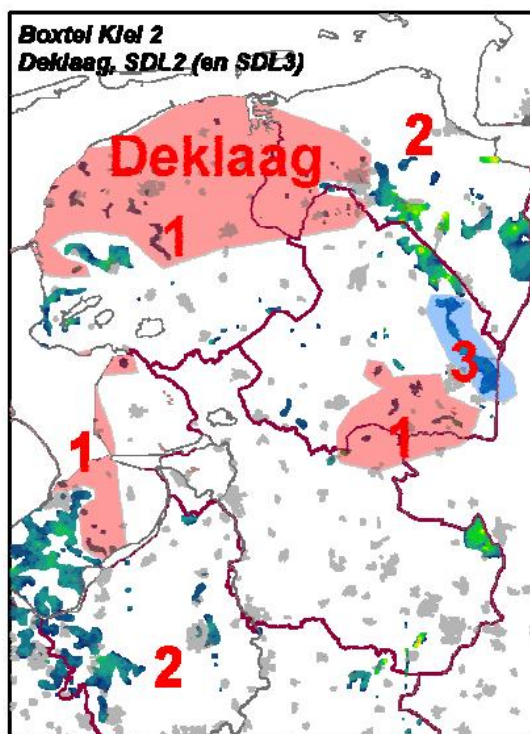
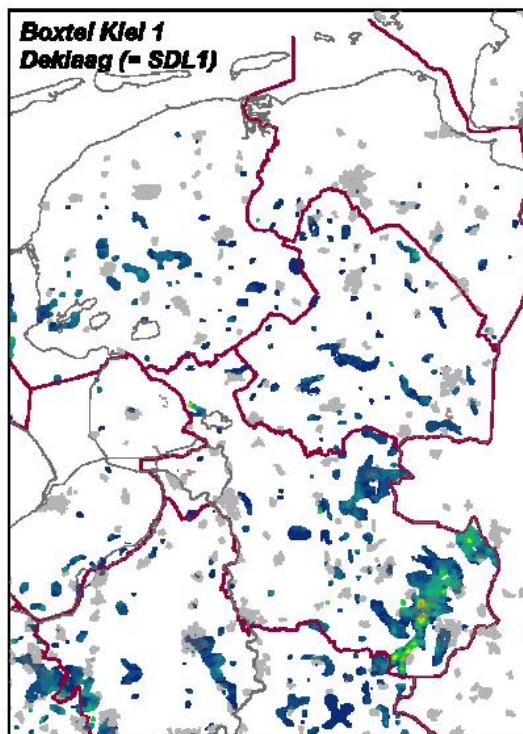
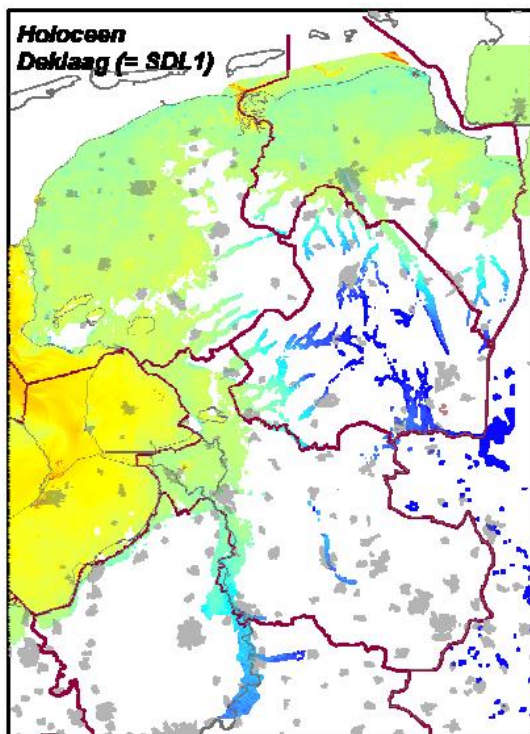
Tabel 4.1 Toekenning van klei- en veenvoorkomens uit REGIS II.0 (conform MIPWA) aan de scheidende modellagen in het WRD-2012-model

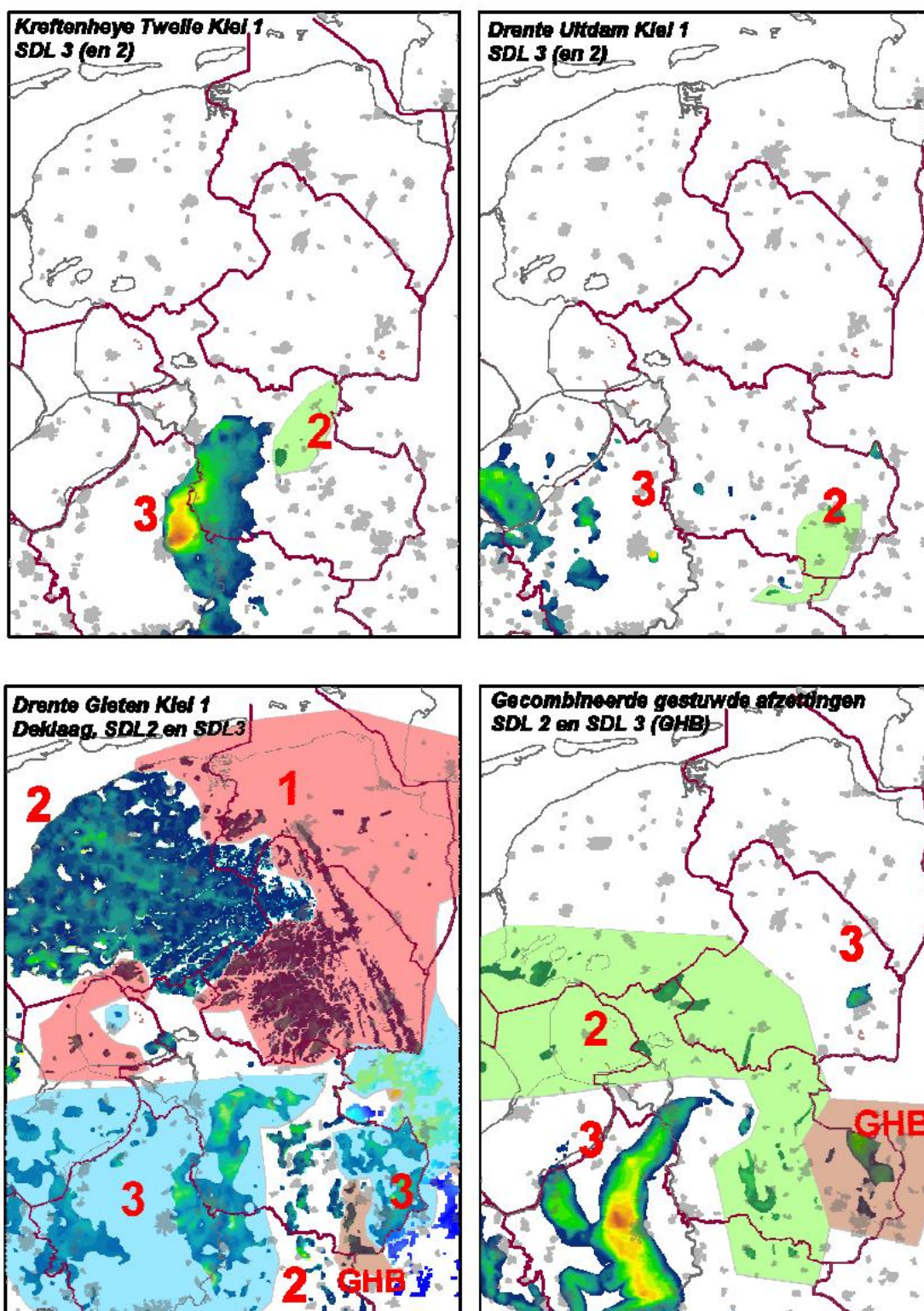
MIPWA	WRD-2012							
REGIS	Code	Toplaag	SDL2	SDL3	SDL4	SDL5	SDL6	GHB
kleiveenlaag								
Holoceen	HI-c	M+						
Boxtel klei 1	bx-k-1	M						
Boxtel klei 2	bx-k-2		M					
Kreftenheye klei1	KR-k-1	-	-	-	-	-	-	-
Woudenberg veen 1	WB-v-	-	-	-	-	-	-	-
Eem klei 1	EE-k-1	-	-	-	-	-	-	-
Eem klei 2	EE-k-2	-	-	-	-	-	-	-
Kreftenehye Zutphen klei 1	KRZU-		M	M				
Kreftenheye Twello klei 1	KRTW-		M	M				
Drenthe Uitdam klei 1	DRUI-		M	M				
Drenthe Gieten klei 1	DRGI-		M	M				M
Drenthe complex	DT-c		O	O	+			M
Urk klei 1	UR-k-1		M					
Urk klei 2	UR-k-2	-	-	-	-	-	-	-
Peelo klei 1	PE-k-1	-	-	-	-	-	-	-
Peelo klei 2	PE-k-2	-	-	-	-	-	-	-
Urk klei 3	UR-k-3	-	-	-	-	-	-	-
Sterksel klei 1	ST-k-1	-	-	-	-	-	-	-
Peize	PZ-k-1	-	-	-	-	-	-	-
Waalre klei 1								
Peize	PZ-c		M	M	M			
Waalre complex								
Oosterhout complex	OOC						M	

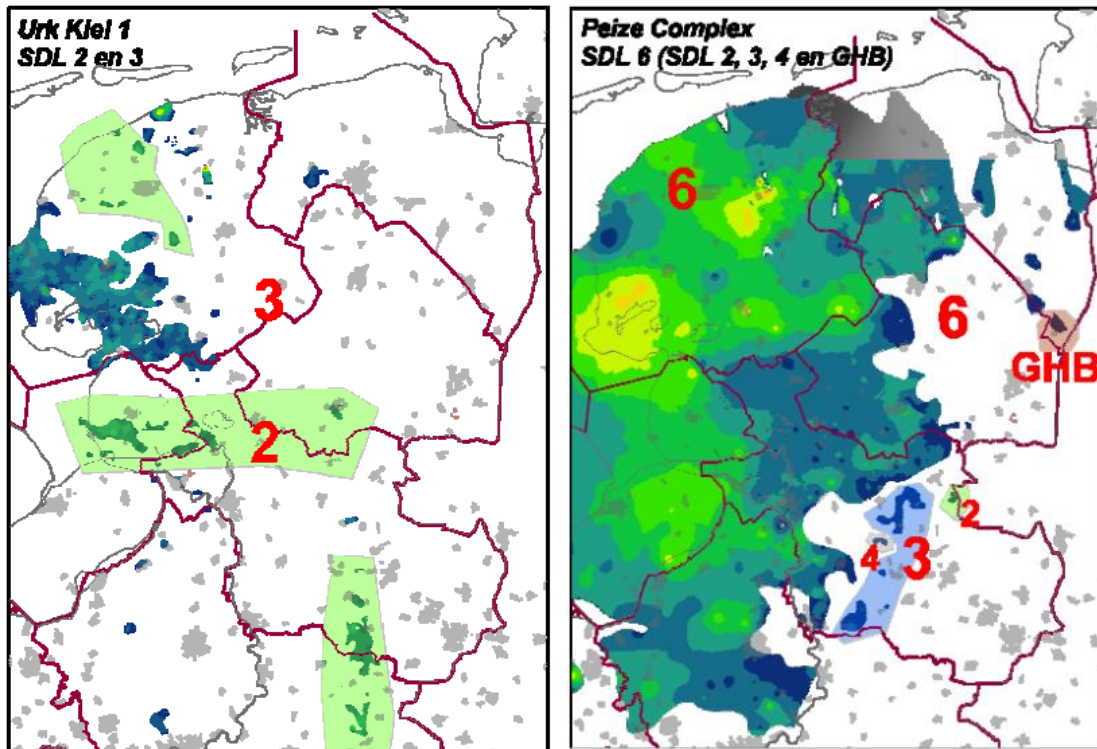
Maassluis complex	MSC	-	-	-	-	-	-	-	-
Breda klei 1	BR-k-1								M
Top Tertiair	TT								M

SDL = Slecht Doorlatende Laag, GHB = Geohydrologische Basis.

M = conform MIPWA, += aanvulling ten opzichte van MIPWA, O = SDL MIPWA en watervoerend pakket in WRD-2012, - = komt niet voor in het WRD-gebied.







Figuur 4.1 Voorkomen en toekenning van klei- en veenlagen aan MIPWA-modellagen. Gekleurde arceringen geven aan wanneer een selectie van kleilenzen tot een scheidende laag (cijfer) behoren (overgenomen uit MIPWA-rapportage)

4.2 Toplaag

Vrijwel het gehele gebied is aan het einde van het pleistoceen afgedekt met dekzanden uit de Formatie van Twente. Daarbovenop is tijdens het holoceen lokaal materiaal afgezet: lemig materiaal van de Formatie van Singraven, Hoogveen van de Formatie van Griendsvveen en Stuifzanden van de Formatie van Kootwijk. Deze 4 formaties vormen samen de toplaag. Door de veelal zandige ontwikkeling van de toplaag vormt deze geen afsluitende laag. Toch zitten er wel degelijk weerstandsbiedende facies in de deklaag, met name lemige kleiige laagjes in het dekzand van Twente.

4.2.1 WRD-2004

Voor de schematisatie van de toplaag zijn in het WRD-2004-model alleen gegevens uit de DINO-database gebruikt. Informatie van REGIS is niet toegevoegd door het hoge aantal ondiepe boringen in DINO. Er bleken 13880 ondiepe en middeldiepe boringen te zijn met de juiste kwaliteit (A-D) en de juiste boormethode (1) (Standaard Boor Beschrijvingsmethode, TNO-NITG, 1999).

4.2.2 MIPWA

In het MIPWA-model is de toplaag opnieuw geschematiseerd met behulp van REGIS II.0. Om een idee te krijgen van de belangrijkste wijzigingen in REGIS II.0 ten opzichte van REGIS I.0 is Tabel 4.2 toegevoegd. Voor de toplaag van WRD-2012 is een belangrijke wijziging dat de formatie van Boxtel is toegevoegd, welke voorheen met name werd weergegeven door de formatie Twente, Singraven en Kootwijk.

Tabel 4.2 *Formaties REGIS II.0 en veranderingen ten opzichte van REGIS I.0*

Formatie	Hydro-code, -eenheid	Formatie	Hydro-code, -eenheid	
Antropogeen + Hol. Formaties (Jaarswijk, Nieuwkoop, Eem)		HL-C		
Boxtel	BX-z-1			
	BX-k-1			
	BX-z-2			
	BX-k-2			
Kreftenheye	KR-z-1	Beegden	BE-z-1	
	KRWY-k-1		BE-k-1	
	KR-z-2		BERO-k-1	
	KR-k-1		BE-z-2	
	KR-z-3	gecombineerde Formatie Eem/Woudenberg in het geologisch model	WB-z-1	
	Afzettingen uit de Eem Formatie en de Formatie van Woudenberg kunnen ingeschakeld zijn		WB-v-1	
			EE-z-1	
			EE-k-1	
			EE-z-2	
			EE-k-2	
Drente	KR-z-4 #		EE-z-3	
	KRZU-k-1			
	KR-z-5			
	KRTW-k-1			
Drente	KR-z-6			
	DR-z-1			
	DRUI-k-1			
	DR-z-2			
Drente	DRGI-k-1			
Formatie-MG/WG		alle gestuwde afzettingen ouder dan DRGI		
Drente	DR-z-3	Urk laagpakket van Tynje	UR-z-1	
1	BXDN-z-1		UR-k-1	
Urk	UR-z-1		UR-z-2	
	UR-k-1		UR-k-2	
	UR-z-2		UR-z-3	
	UR-k-2		PE-z-1	
	UR-z-3	Peelo	PE-k-1	
Urk	Afzettingen uit de F.v. Peelo kunnen ingeschakeld zijn		PE-z-2	
			PE-k-2	
			PE-z-3	
	UR-z-4			
Urk	UR-k-3			
	UR-z-5			
Stensel	ST-z-1			
	ST-k-1			
2	ST-z-2			
	AP-z-1			
Stramproy	SY-z-1			
	SY-k-1			
	SY-z-2			
	SY-k-2			
	SY-z-3			
gecombineerde Formatie PZWA (Peize, Waalre) in het geologisch model	SY-k-3			
	SY-z-4			
	PZWA-z-1			
	WA-k-0			
	PZWA-z-2			
	WA-k-1			
	PZWA-z-3			
	WA-k-2			
	PZWA-z-4			
	PZ-k-1			
Waalre was voorheen Formatie van Tegelen & Formatie van Kedichem: fluviaatle afzettingen	PZWA-z-5			
	WA-k-3			
	PZWA-z-6			
	WA-k-4			
	PZWA-z-7			
Peize was voorheen Formatie van Harderwijk / Enschede / Scheemda	PZ-C			
	PZWA-z-8			
	MS-z-1			
	MS-C			
	MS-k-1			
Klazaboleet	MS-z-2			
	MS-k-2			
	MS-z-3			
	KI-z-1			
	KI-k-1			
Oosterhout	KI-z-2			
	KI-k-2			
	KI-z-3			
	KI-k-3			
	KI-z-4			
Breda	OO-z-1			
	OO-C			
	OO-k-1			
	OO-z-2			
	OO-k-2			
Rupel	OO-z-3			
	BR-z-1			
	BR-k-1			
Tongeren	BR-z-2			
	RU-z-1			
	RUBO-k-1			
Dongen	RU-z-2			
	TO-z-1			
	TOZEW-k-1			
Dongen	TO-z-2			
	DO-z-1			
	DO-k-1			
Dongen	DO-z-2			
	DOIE-k-1			

Boxtel was voorheen m.n. Twente Formatie / Singraven / Kootwijk (min of meer pleistoceen na grote glaciatie)

Woudenberg behoorde vroeger tot Eem formatie

1	Formatie van Boxtel, Laagpakket van Drachten
2	Formatie van Appelscha

Stramproy was voorheen Formatie van Kedichem; m.n. niet fluviaatle afzettingen

Waalre was voorheen Formatie van Tegelen & Formatie van Kedichem: fluviaatle afzettingen

Peize was voorheen Formatie van Harderwijk / Enschede / Scheemda

LEGENDA		
#	Hydrogeologische eenheid komt voort in boringen, maar wordt niet als eenheid gekarteerd in het hydrogeologische model	
Formatie	Hydro-code	Afzettingen uit een andere Formatie kunnen ingeschakeld zijn

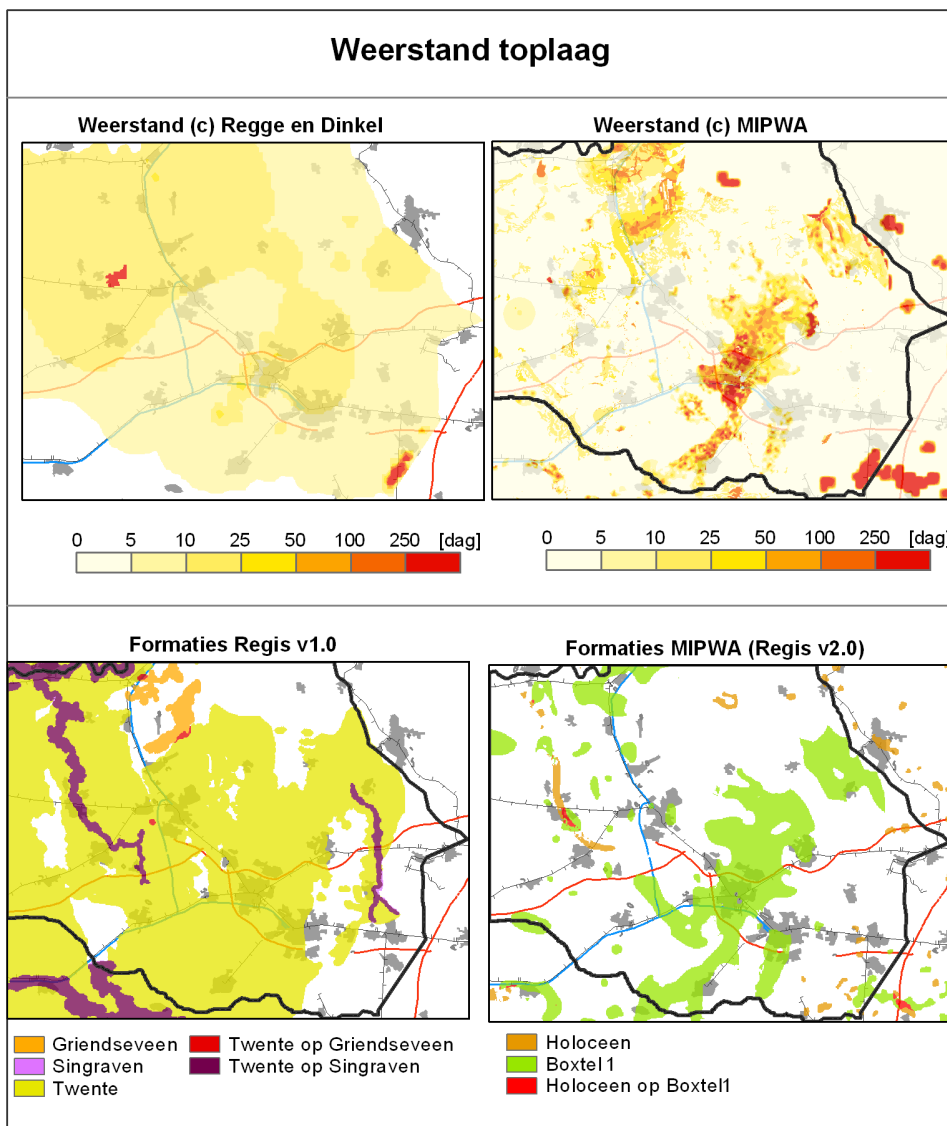
zie ook op www.nito.tno.nl onder DINO loket

4.2.3 Weerstand en verbreiding van de formaties voor de toplaag

Figuur 4.2 toont de verbreiding en weerstand van de toplaag voor zowel het WRD-2004-model als het MIPWA-model. In WRD-2004 is vrijwel geen weerstand toegekend aan de toplaag. In MIPWA is er een verbetering aangebracht door REGIS II.0 te gebruiken.

Verder is in onderstaande figuur de verbreiding van de formaties uit REGIS I.0 en REGIS II.0 weergegeven voor het Regge en Dinkel model. De patronen van de formaties zijn sterk veranderd. De verbreiding van de formatie van Boxtel komt duidelijk uit de weerstandswaarden van MIPWA naar voren. In Regge en Dinkel is zoals hierboven beschreven voor de toplaag geen REGIS I.0 gebruikt, maar boringen uit DINO. De weerstanden zijn in het WRD-2004-modellaag.

Gekozen is de weerstand van de toplaag uit de MIPWA-schematisatie over te nemen, omdat de verbreiding binnen REGIS II.0 sterk verbeterd is. Daarnaast is de weerstand van de toplaag aangevuld met gegevens uit de bodemkaart 1 : 50.000 (paragraaf 4.2.4).



Figuur 4.2 Weerstand en verbreiding formaties toplaag WRD-2004 en MIPWA

4.2.4 Aanvullende weerstanden deklaag op basis van de bodemkaart

In een aantal gebieden in pleistoceen Nederland is de weerstand van de deklaag te laag geschematiseerd, waardoor de opbolling cq fluctuatie in de grondwaterstanden te gering wordt berekend. De huidige schematisatie mist bijvoorbeeld in de beekdalen een weerstandbiedende veenlaag. Gevolg is dat de waterlopen te makkelijk draineren uit het eerste wvp.

Op basis van droogtegebieden (shape-file) zijn de pleistocene gebieden geselecteerd. Binnen deze gebieden zijn de bodems met ondiepe grondwaterstanden (GT I t/m VI) geselecteerd. In deze gebieden vind in de winterperiode namelijk (verzadigde) grondwaterstroming plaats in de bovenste 120 cm die van belang is voor het model en waar de bodemkaart iets over zegt. Daarom is de bodemkaart 1 : 50.000 geanalyseerd en zijn aan bepaalde bodemkundige kenmerken weerstanden toegekend.

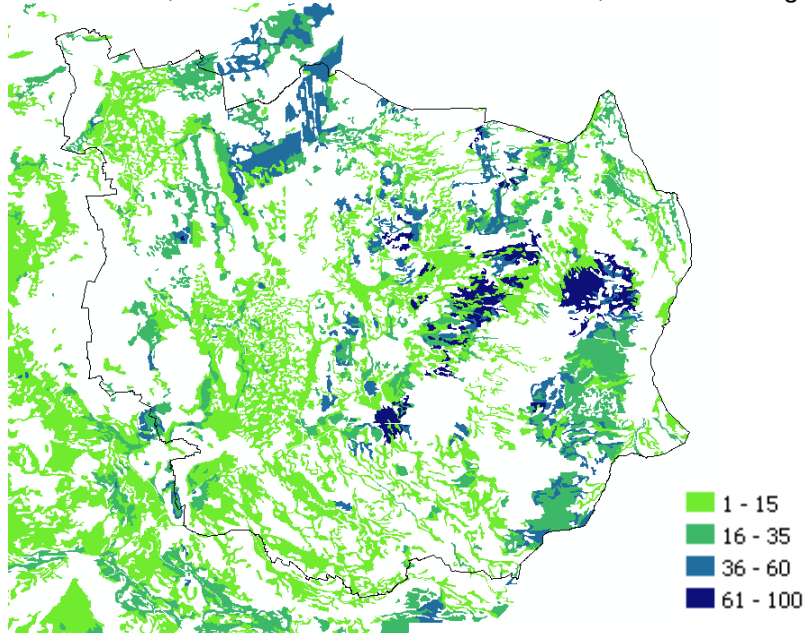
Tabel 4.3 Weerstanden afhankelijk van bodemkundige kenmerken

bodemtype	Code in bodemkaart	weerstand	opmerking
Veengrond	V	50 dagen	D= 1,00; k=0,02
Grond waarin Veen voorkomt	V	25 dagen	D= 0,50; k=0,02
keileem	Toevoeging 'x' hoofdsort KX	25 dagen	D=0,75; k=0,03
Gerijpte oude klei	Toevoeging 't'	50 dagen	D=0,50; k=0,01
Lemige inschakelingen in zand	Toevoeging '23'	15 dagen	
Rivierklei	R	35 dagen	D=1,00; k=0,03
Leem	L	75 dagen	D=0,75; k=0,01

In een beperkt aantal bodemtypen komen combinaties van in de tabel genoemde codes voor. In dat geval zijn de weerstanden bij elkaar opgeteld. Dus veen op keileem wordt 50 + 25 = 75d weerstand.

Gronden met een GT IV en VI hebben een kleine doorstroomde dikte van de 1,20 meter waar de bodemkaart uitspraak over doet. Voor deze gronden zijn de weerstandswaarden daarom gecorrigeerd met een factor van 0,6. De tabel moet worden gezien als vervanging van de weerstand voor de laag tussen mv en 1,2 m-mv. Vlakken krijgen een basisweerstand van 10 d, en ingeval ze aanvullend eigenschappen hebben, genoemd in bovenstaande tabel, dan wordt de waarde 10 vervangen door de waarde uit de tabel. Voor de bodemvlakken met GT IV en VI wordt de weerstand gehalveerd. De minimale weerstand (10 d.) kan voor deze gebieden dus groter zijn dan de weerstand die volgt uit de tabel. Deze weerstand uit de bodemkaart moet dus worden opgeteld bij de weerstand van direct onder de deklaag aanwezige weerstand, die niet in de bodemkaart zit.

Het resultaat, de kaart met minimale c-waarden, is te zien in Figuur 4.3.



Figuur 4.3 Minimale c-waarden deklaag afgeleid uit de bodemkaart

De bodemkaart geeft geen compleet beeld van de weerstand van de deklaag, maar alleen het deel tot 1,20 m-mv. De gemaakte kaart is dan ook bedoeld als *minimale weerstandswaarde* en moet worden gecombineerd met andere data. De kaart wordt dan ook als zodanig gebruikt en vult “gaten” in de deklaag op. In de update van het WRD-model is de weerstand uit de bodemkaart gebruikt als minimale waarde. Indien dus de weerstand uit REGIS II.0 kleiner is dan die uit de bodemkaart, dan wordt de weerstand uit de bodemkaart overgenomen. Indien de weerstand uit REGIS II.0 groter is dan die uit de bodemkaart dan blijft de REGIS II.0 weerstand behouden. De resulterende c-waarden zijn weergegeven in Figuur 4.12.

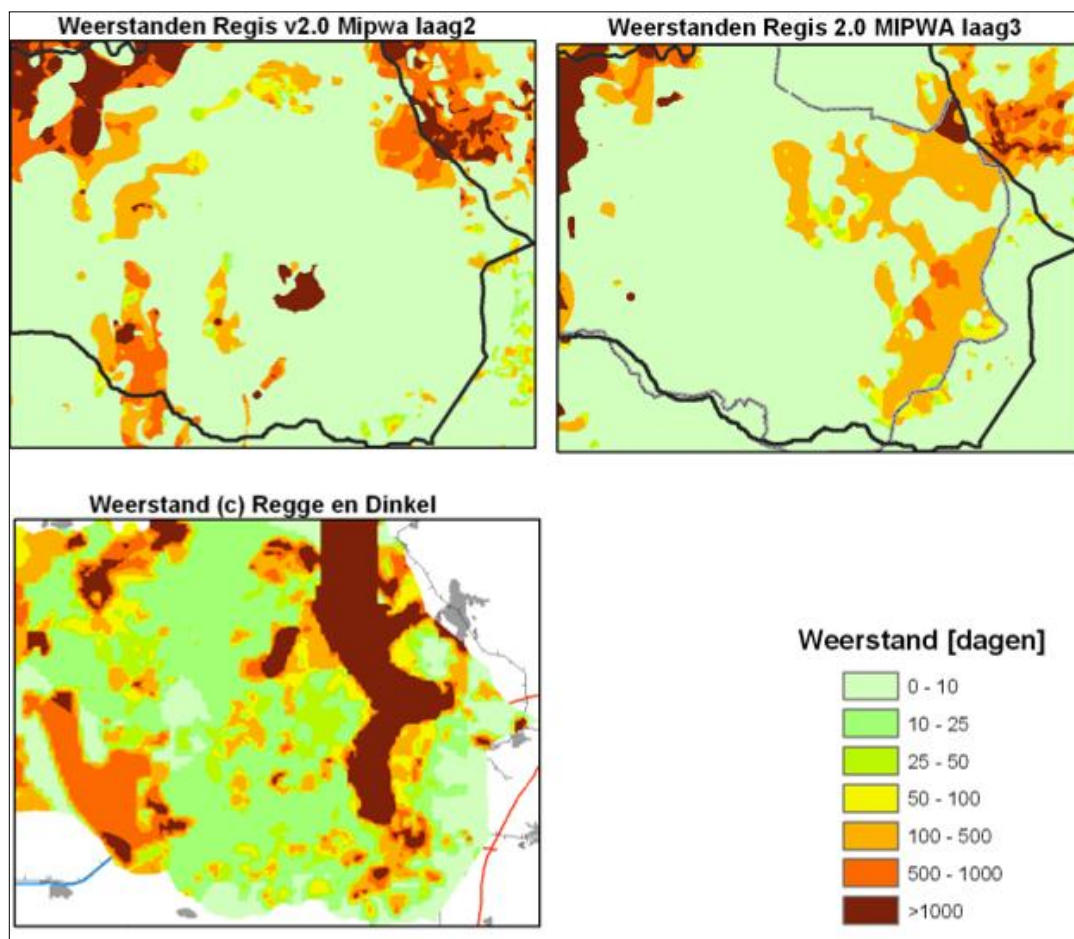
4.2.5 KD waarden toplaag

Gekozen is om de kD-waarden van voor de toplaag over te nemen uit MIPWA. Hiervoor zijn de laagdiktes en k-waarden uit REGIS II.0 gebruikt. De minimale kD1 is gesteld op 5 m²/dag. Op verschillende plaatsen kwam in de toplaag een laagdikte kleiner dan nul voor, doordat het AHN-maaiveld lager ligt dan het maaiveld zoals opgenomen in REGIS II.0. Deze negatieve laagdiktes zijn verholpen door de onderzijde van modellaag 1 ter plaatse gelijk te stellen aan het AHN-maaiveld. De resulterende kD-waarden zijn weergegeven in 11.

4.3 Modellaag 2 tot en met 7

Voor het WRD-2012-model is voor modellaag 2 tot en met 7 gekozen om de verbreiding en parametrisatie (kD- en c-waarden) uit REGIS II.0 als basis te nemen. REGIS II.0 geeft in het algemeen een betrouwbaarder beeld van de verbreiding van weerstandbiedende lagen dan het WRD-2004 model (REGIS 1.0). Daarbij heeft REGIS II.0 meer detail dan het WRD-2004-model, door de opsplitsing in 7 modellagen i.p.v. de oude 3 lagen. Hierdoor is het bijvoorbeeld mogelijk onderscheid te maken tussen het Kreftenheye Twello klei 1 en Drenthe Uitdan (modellaag 2) en Drenthe Gieten (modellaag 3). In het WRD-2004 model zijn al deze pakketten in modellaag 2 samengenomen.

Figuur 4.4 toont de verbreiding van weerstandbiedende lagen in REGIS II.0, ondergebracht in MIPWA-modellaag 2 en 3 en de verbreiding van weerstandbiedende lagen in modellaag 2 van het WRD-2004 model.



Figuur 4.4 Verbreiding en weerstand MIPWA-modellaag 2 +3 (REGIS II.0) en verbreiding en weerstand modellaag 2 in het WRD-2004-model

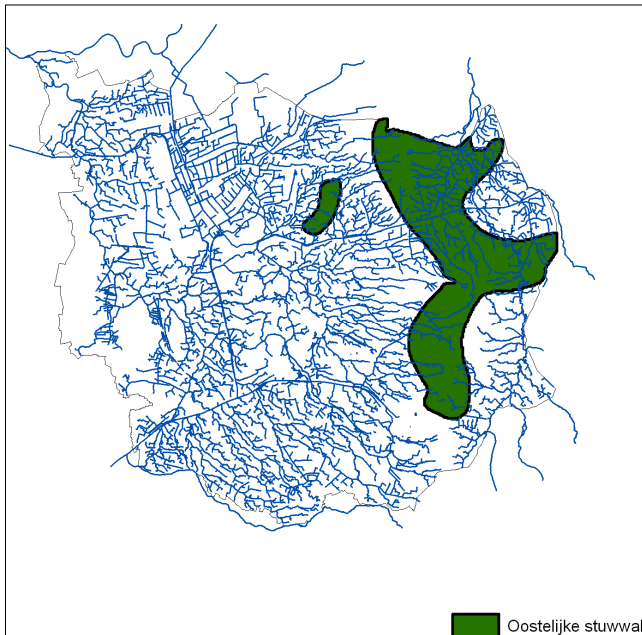
4.3.1 Aanpassingen in de stuwwallen

De ondergrond in het WRD-2012-model wijkt in twee gebieden af van de ondergrond in REGIS II.0: de oostelijke en de westelijke stuwwallen.

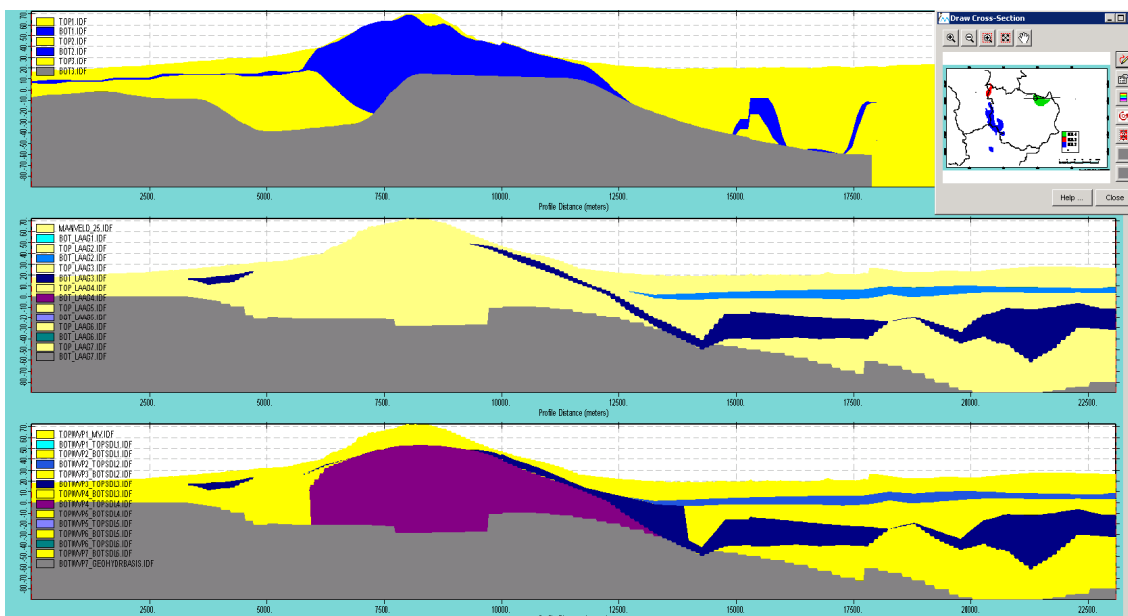
Oostelijke stuwwallen

In het WRD-2004-model is extra aandacht besteed aan het voorkomen van weerstandbiedende lagen in de oostelijke stuwwallen. De weerstand uit het WRD-2004-model wordt daarom in deze gebieden met dikke kleivoorkomens betrouwbaarder geacht dan de weerstand uit REGIS II.0. In het gebied, zoals aangegeven in Figuur 4.5, is de weerstand uit het WRD-2004-model toegevoegd in het WRD-2012-model. Afhankelijk van de ruimte die het lagenmodel biedt is soms toegevoegd in scheidende laag 3 en soms in scheidende laag 4. In eerste instantie is in het lagenmodel de top van scheidende laag 3 verhoogd om de extra weerstand toe te voegen. Wanneer hiervoor in watervoerend pakket 3 geen ruimte bleek te zijn, is de weerstand toegevoegd aan scheidende laag 4. In veel van deze gevallen bleken modellaag 3, 4, 5, en 6 geen dikte te hebben en zijn de hypothetische grenzen van al deze lagen omlaag verschoven zodat de ruimte in laag 7 benut kon worden voor scheidende laag 4. Figuur 4.6 toont een voorbeeld van het resulterende lagenmodel in de stuwwal van

Ootmarsum. De resulterende kD- en c-waarden zijn weergegeven in Figuur 4.11 en Figuur 4.12.

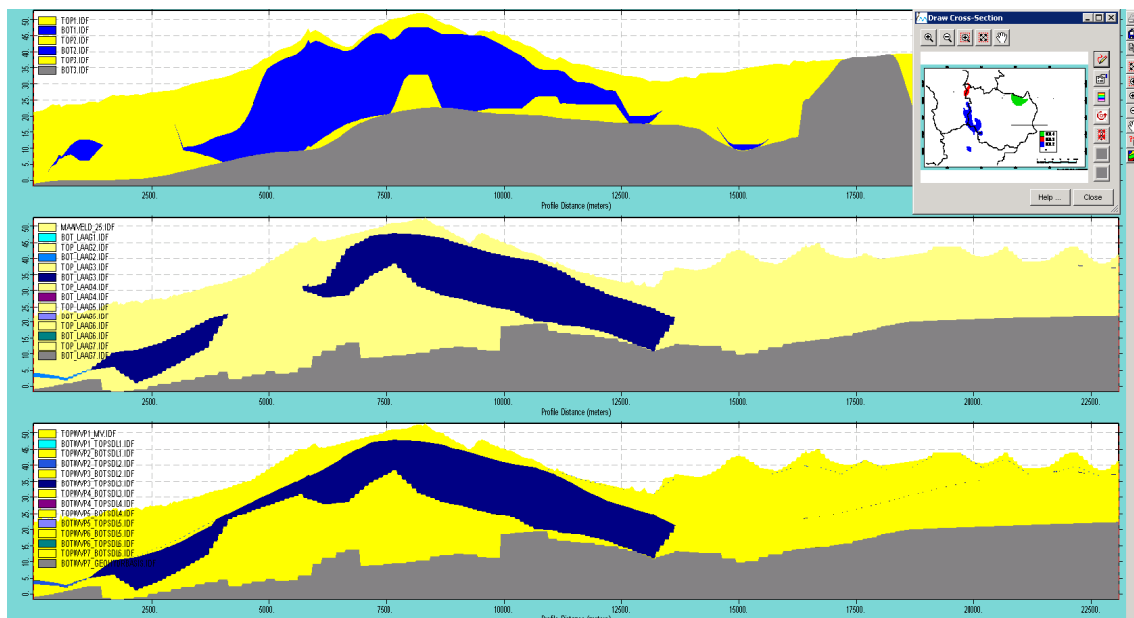


Figuur 4.5 In de oostelijke stuwwallen is de weerstand overgenomen uit het WRD-2004-model

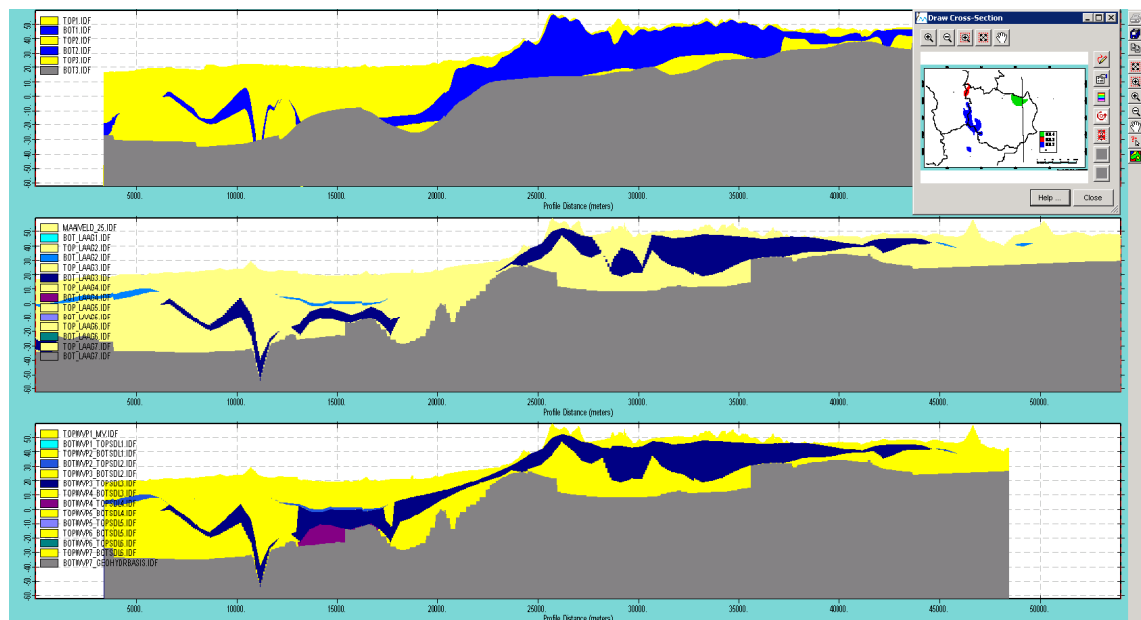


Figuur 4.6 West-oost doorsnede over de stuwwal van Ootmarsum door de drie lagenmodellen; boven: WRD-2004, midden: MIPWA, onder: toevoeging van weerstand en laagdikte aan SDL4 in WRD-2012

Ook in de rest van de oostelijke stuwwal is in eerste instantie ruimte gezocht voor de weerstand door de top van scheidende laag 3 omhoog te halen. Wanneer hiervoor in het lagenmodel geen ruimte bleek te zijn is de basis van scheidende laag 3 verlaagd tot aan de basis van watervoerend pakket 4. Figuur 4.7 toont een voorbeeld van de toevoeging van laagdikte (en weerstand) in scheidende laag 3 in de stuwwal van Oldenzaal.



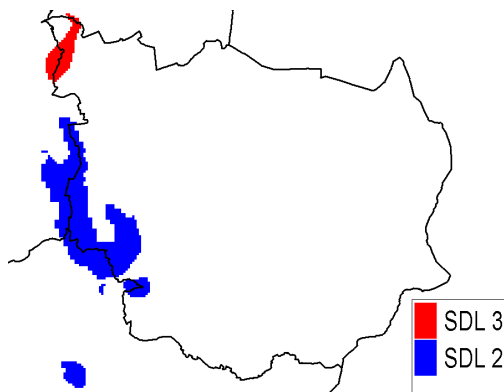
Figuur 4.7 West-oost doorsnede over de stuwwal van Oldenzaal door de drie lagenmodellen; boven: WRD-2004, midden: MIPWA, onder: toevoeging van weerstand en laagdikte aan bovenzijde SDL3 in WRD-2012



Figuur 4.8 Noord-zuid doorsnede over de stuwwallen van Ootmarsum en Oldenzaal door de drie lagenmodellen; boven: WRD-2004, midden: MIPWA, onder: toevoeging van weerstand en laagdikte in SDL 4 (noord) en aan bovenzijde van SDL3 (zuid) in WRD-2012

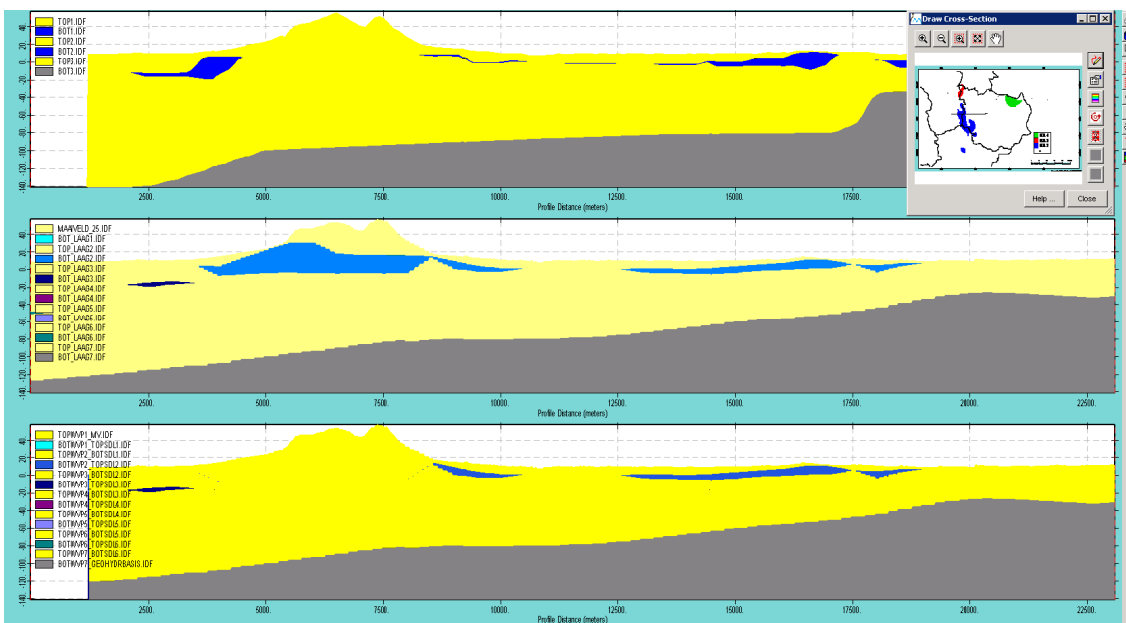
Westelijke stuwwallen

In de westelijke stuwwallen bestaat het gestuwde complex voornamelijk uit zandige afzettingen. In MIPWA is dit complex geheel aan scheidende laag 2 en 3 toegekend, terwijl dit gezien de samenstelling in een aantal stuwwallen eigenlijk beter bij de watervoerende pakketten zou passen (besproken in overleg met REGIS-team). In REGIS zijn aan het gestuwde complex geen k-waarden toegekend. Conform MIPWA is besloten deze zandige afzettingen een horizontale k-waarde van 10 m/d toe te kennen. De kD-waarde van de betreffende modellagen, zie Figuur 4., zijn hiermee ter plaatse van de stuwwal aangepast. De resulterende kD- en c-waarden zijn weergegeven in Figuur 4.11 en Figuur 4.12.



Figuur 4.9 Scheidende laag waarin het gestuwd complex was ingedeeld in MIPWA. In WRD-2012 wordt SDL 2 WVP 2 en SDL3 wordt WVP3

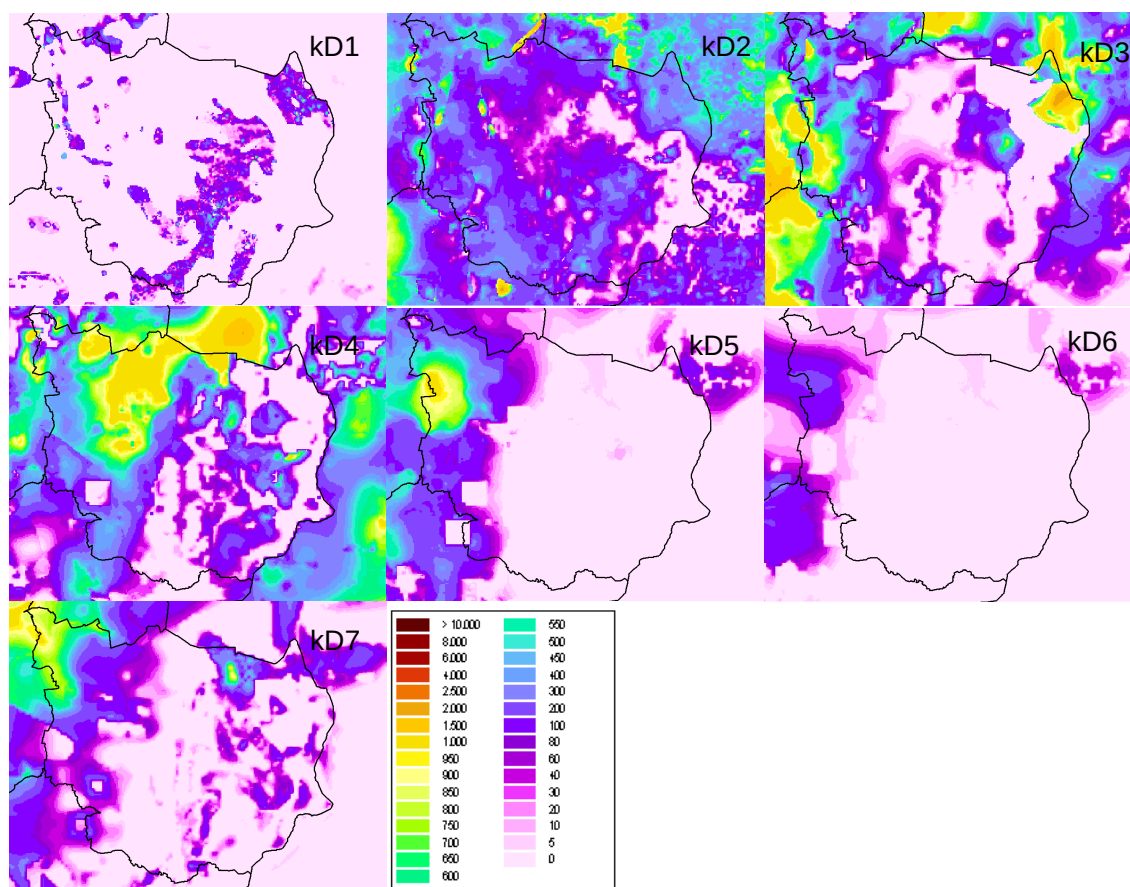
Figuur 4.10 toont het resultaat in een west-oost profiel over de Sallandse heuvelrug.



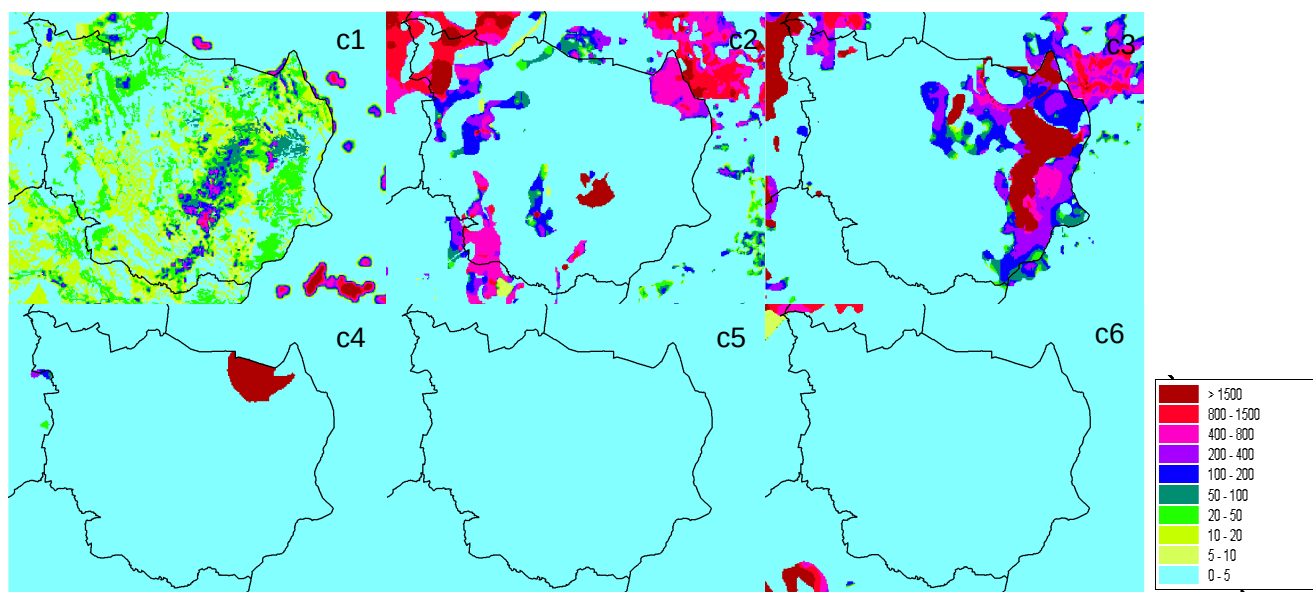
Figuur 4.10 West-oost doorsnede over de Sallandse heuvelrug door de drie lagenmodellen; boven: WRD-2004, midden: MIPWA, ondergestuwd complex wordt watervoerend pakket in WRD-2012

4.4 Resultierende kD- en c-waarden voorafgaand aan de ijking

Figuur 4.11 en Figuur 4.12 c-waarden WRD-2012-model voorafgaand aan de ijking tonen de nieuwe kD- en c-waarden van modellaag 1 tot en met 7 van het WRD-2012-model. Dit zijn de kD- en c-waarden waarmee de ijking zal worden gestart. Om rekenproblemen te voorkomen op grenzen van ontbrekende modellen is een minimale kD-waarde aangehouden van 5 m²/d voor modellaag 1, 1 m²/d voor modellaag 2 tot en met 7, en een minimale c-waarde van 10 dagen voor alle scheidende lagen. Deze minimale waarden zijn ingesteld in de IMODFLOW runfile.



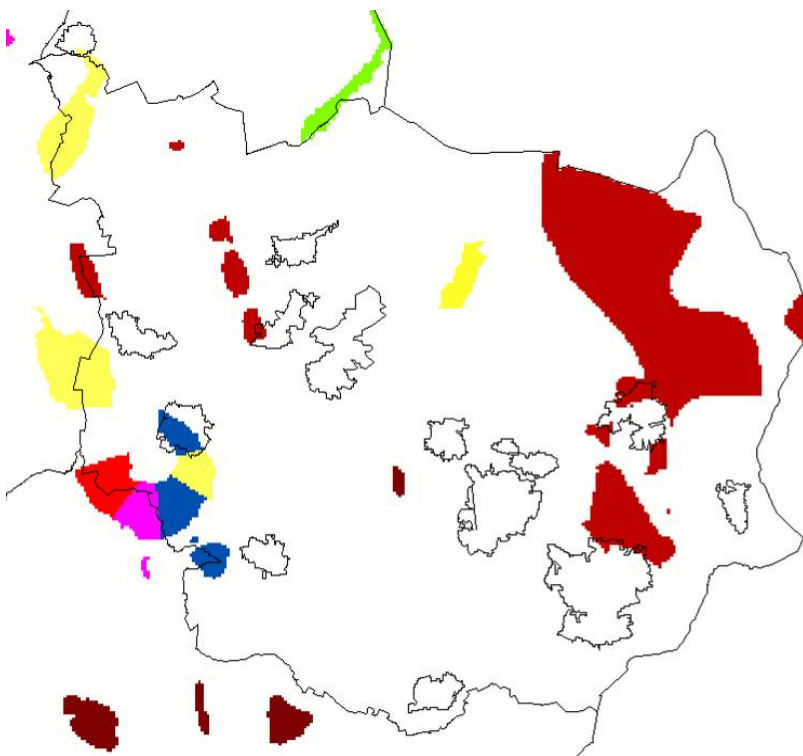
Figuur 4.11 kD-waarden WRD-2012-model voorafgaand aan de ijking



Figuur 4.12 c-waarden WRD-2012-model voorafgaand aan de ijking

4.5 Anisotropie

De anisotropie is rechtstreeks overgenomen uit MIPWA. De invoer voor de anisotropie bestaat voor elke modellaag waar anisotropie voorkomt uit een hoek en factor die je opgeeft per cel. Voor het Regge en Dinkel gebied komt voor in de lagen 2, 3 en 4. De locatie van de anisotropie is weergegeven in Figuur 4.13. Voor verdere documentatie over anisotropie wordt verwezen naar het MIPWA rapport.



Figuur 4.13 Locatie anisotropie toegewezen aan laag 2, 3 en 4 overgenomen uit MIPWA

4.6 Schijngrondwaterspiegel

In het WRD-2012-model worden schijnspiegels berekend. Met name op de keileem treden regelmatig schijngrondwaterspiegels op. Boven de keileem is het systeem dan verzadigd en vindt er mogelijk ook afvoer plaats naar waterlopen; onder de keileem is het systeem dan niet verzadigd. In IMODFLOW is een speciale package ontwikkeld waarmee de vorming van schijnspiegels kan worden gemodelleerd. De locatie van de keileem is conform MIPWA.

4.7 Onttrekkingen

4.7.1 Correctie onttrekkingen (stationair model)

De industriële winningen (gemiddeld over de periode 1989-2001) zijn rechtstreeks uit MIPWA overgenomen. Wat betreft de winningen van Vitens is er een extra verbetering doorgevoerd door Vitens. Dit is gedaan, om de winningen die in het MIPWA-model zitten te kunnen identificeren en te checken of de winningen aan de goede laag zijn toegekend. De winningen in MIPWA zijn destijds niet gelabeld, waardoor het lastig is de verschillende winningen te identificeren.

De volgende methode is gebruikt:

- 1 Alle winningen uit MIPWA die liggen op minder dan 100 meter afstand van een Vitenslocatie (uit Dawaco) zijn geïdentificeerd als Vitenswinning. Hieraan is vervolgens een filterstelling toegevoegd op basis van bij Vitens beschikbare informatie (Dawaco-database) en deze is vervolgens opnieuw aan lagen toegekend op basis van de laatste versie van het lagenmodel.
 - Op basis van de laagtoekenning valt de winning Losser buiten het lagenmodel deze winning wordt dan ook niet meegenomen.
 - Twee putten van Oldenzaal vallen buiten het lagenmodel. Deze zijn handmatig bij de overige putten van Oldenzaal in laag 4 gezet.
 - één put van Weerselo valt buiten het lagenmodel. Die is handmatig bij de overige putten van Weerselo in laag 7 geplaatst.
- 2 Voor de Vitenswinningen is ook het debiet aangepast op basis van informatie van Vitens. De gemiddelden over periode 1989-2001 zijn hierbij evenredig verdeeld over alle putten van een winveld. Uitzondering zijn twee winningen in Gelderland (Lochem en Noordijkerveld) die zijn gemiddeld over de periode 1990-2001.
 - Binnen de periode 1989-2001 was winning Kotmanlaan tot 1990 actief, maar hier zijn geen putlocaties en filterstelling bekend en vanwege de korte actieve periode binnen de modelperiode is besloten deze achterwege te laten.
 - De winning Hengelo is geheel nieuw toegevoegd omdat deze ontbrak in de MIMPWA -dataset maar wel binnen de modelperiode actief was. De winning is in oktober 2000 opgeheven, maar was dus wel in de ijkperiode actief.
 - De winning Espelose Broek behoeft mogelijk nog enige aandacht. Deze ligt precies op de rand van het modelgebied, waardoor enkele putten buiten en enkele putten binnen het model vallen. De totale gemiddelde onttrekking over de modelperiode is nu gelijk verdeeld over de putten binnen het model. Bij het samenvoegen van MIPWA en het nieuwe WRD-2012-model dient dit weer gecorrigeerd te worden.

4.7.2 Correctie onttrekkingen (niet-stationair model)

De industriële winningen over de periode 1989-2001 zijn net zoals in het stationaire model rechtstreeks uit MIPWA overgenomen.

De volgende stappen zijn toegepast om de Vitens winningen te verdelen over de juiste lagen met het correcte debiet.

Stap 1. Bereken de lengte van het filtersegment en de lengte van de doorsnijding van elke modellaag. Check hierna of de onttrekking niet boven het maaiveld of beneden de hydrologische basis ligt. Deze metingen worden afgeknipt.

Stap 2. Groepeer de filtersegmenten die tussen aquitards liggen met een weerstand van meer dan 50 dagen. Selecteer de filtersegmenten die tot de langste groep behoren en knip de andere af.

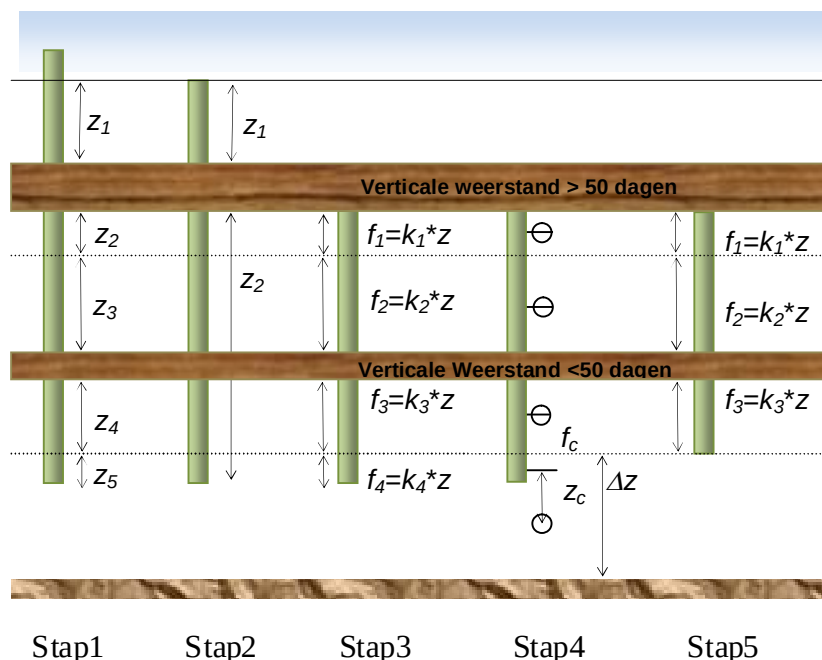
Stap 3. Bereken de horizontale conductiviteit (k-waarde) voor alle modellagen die worden doorsneden opnieuw voor de overgebleven filtersegmenten. Pas een ratio toe op het onttrekkingdebiet gebaseerd op de individuele lengte van het filtersegment, vermenigvuldigt met de k-waarden van de corresponderende modellaag gedeeld door de totale gesommeerde waarde.

Stap 4. Corrigeer de ratio voor een mismatch tussen het centrum van de doorgesneden modellaag en het verticale midden van het filtersegment f :

$$f = 1.0 - \frac{|z_c - f_d|}{0.5 \Delta z}, \Delta z \text{ is de dikte van de corresponderende aquifer.}$$

Stap 5. Verwijder ratio's met een waarde kleiner dan 5%.

Figuur 4.14 beschrijft de methode:



Figuur 4.14 Methode om de Vitens winningen te verdelen over de modellagen

5 IJking

De ijking bestaat uit twee onderdelen:

1. Stationaire ijking
Tijdens de stationaire ijking worden de ondergrondparameters (kD- en c-waarden) geoptimaliseerd met de Representer-methode.
2. Niet-stationaire ijking:
Om de dynamiek van het model te optimaliseren worden de weerstand van de waterlopen en de c-waarde van het topsysteem met IMOD-Pest niet-stationaire geijkt.

In dit hoofdstuk bespreken we achtereenvolgens de selectie van de meetset, de stationaire ijking en de niet-stationaire ijking.

5.1 Selectie van de meetset

De meetset bestaat uit de meetpunten uit de DINO-database en extra metingen verkregen van Vitens, gekozen volgens de volgende selectiecriteria:

- 1 Meetreeks bevat metingen in de ijkperiode: tussen 1-1-1989 en 31-12-2001.
- 2 Er zijn minimaal in 4 jaren metingen binnen deze periode.
- 3 Indien een meetlocatie meer dan 5 cm verlaging heeft ten gevolge van onttrekkingen dan moet de meetreeks voor 1992 beginnen, na 1998 eindigen en in minimaal 8 verschillende jaren metingen hebben.
- 4 Indien een meetlocatie minder dan 5 cm verlaging heeft ten gevolge van onttrekkingen, dan moet de meetreeks in minimaal 4 verschillende jaren metingen hebben.
- 5 Het meetfilter moet aan een modellaag toegekend kunnen worden.
- 6 De meetlocatie moet minimaal 250 m vanaf een onttrekking liggen.
- 7 De meetlocatie moet minimaal 25 m vanaf een waterloop liggen.
- 8 De meetreeks dient van goede kwaliteit te zijn.
- 9 Tevens is gecheckt of de metingen van Vitens al in DINO voorkomen.

Indien meetpunten te dicht bij een waterloop liggen, worden deze niet meegenomen in de ijking. In de validatieset kunnen deze wel worden meegenomen. Dit geldt ook met meetreeksen die te weinig metingen bevatten of metingen buiten de ijkperiode. Bij punt 8 zijn metingen verwijderd die tijdens een visuele inspectie van de meetreeks niet geschikt bleken te zijn. In totaal zijn er 976 stijghoogte metingen overgebleven die door de selectie zijn gekomen.

Van de beschikbare metingen van WRD zijn de freatische metingen geselecteerd met een diepte van maximaal 15 meter –maaiveld (Hendriks, e.a., 2010¹). In deze meetset is niet van alle metingen de filterstelling bekend. Waar de filterdiepte wel bekend is, blijkt het filter niet dieper dan 3 meter –mv te liggen. Geschikt bevonden metingen van WRD zijn daarom toegekend aan modellaag 1. De meeste meetpunten bevatten geen of te weinig metingen in de ijkperiode en zijn daarom niet geselecteerd. In totaal zijn 4 extra WRD-meetpunten toegevoegd aan de ijkset.

Van de goedgekeurde reeksen is vervolgens de mediaan en een wegingsfactor op basis van autocorrelatie bepaald. De wegingsfactor is een maat voor de mate van afwijking

51_____

¹ Hendriks, D., P. de Louw en W. Borren (2010) *Optimalisatie freatisch grondwatermeetnet beheergebied waterschap Regge en Dinkel*. Deltares-rapport 1202310-000-BGS-0005, Utrecht.

(gemodelleerde stijghoogte versus gemeten mediaan) welke tijdens het ijken wordt geaccepteerd. Reeksen met een grote autocorrelatie (lees: trage reeksen) kregen een lagere weging dan reeksen met een kleine autocorrelatie (lees: snelle reeksen). Dit omdat het gemiddelde van de snelle reeksen veel beter te bepalen is en dus zekerder is, dan het gemiddelde van de trage reeksen.

5.2 Stationaire ijking

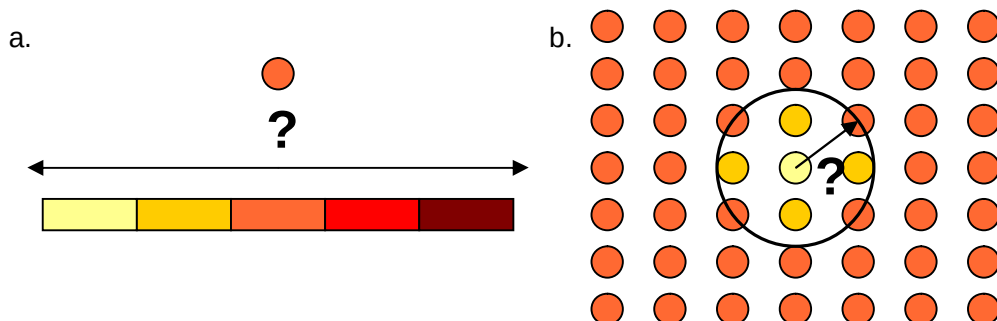
5.2.1 Methodiek stationaire ijking

Ten behoeve van het beperken van de rekentijd nodig voor de stationaire ijking is het model opgeschaald met een factor 10 van 25*25 naar 250*250 m. gridcellen. Dit betekent voor de ijking van de parameters geen verlies van kwaliteit, omdat deze primair afhankelijk zijn van de dichtheid van de meetpunten. De afstand tussen twee meetpunten is over het algemeen enkele kilometers.

De opschaling van peilafhankelijke informatie (waterlopen, drainagestelsel en overlandflow) is uitgevoerd met een speciaal daarvoor ontwikkelde opschalingsmethode (Snepvangers en Minnema, 2004). De overige modelinvoer is voor de opschaling rekenkundig, danwel geometrisch (voor de ondergrondparameters) gemiddeld.

Voor het WRD-model is de Representer methode gebruikt om te ijken. Representers zijn functies die de relatie tussen de ruimtelijke variatie van modelparameters en individuele metingen beschrijven (Valstar, 2001). Het voordeel van de Representer methode is dat geen zones voor gelijke parameterwaarde-aanpassingen meer hoeven te worden gedefinieerd en dat de in de stijghoogtemetingen aanwezige informatie over parameterwaarden optimaal benut wordt. Zie voor een uitgebreide beschrijving Snepvangers en Minnema (2004).

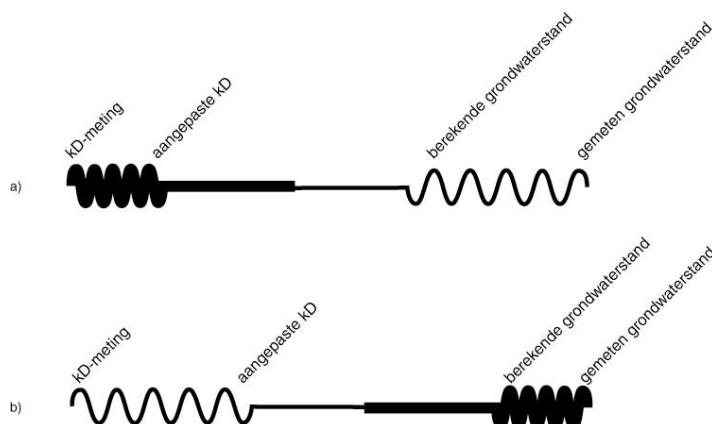
Bij de ijking met de Representer methode moeten vooraf parameterwaarden opgegeven worden om de aanpassingsruimte van de te ijken parameterwaarden te definiëren. De 'Sill' (Figuur 5.1a) bepaalt hoe ver een parameterwaarde mag afwijken van zijn initiële waarde. In principe geeft de sill aan hoe veel geloof er aan de initiële waarde wordt gehecht. De 'Range' (Figuur 5.1b) bepaalt over welke afstand de parameters in gridcellen mee moeten veranderen met een aanpassing in een nabij gelegen gridcel. De range bepaalt hoeveel ruimtelijke samenhang er is in het parameterveld: uniforme pakketten hebben een veel grotere ruimtelijke samenhang dan rommelig afgezette pakketten.



Figuur 5.1 Schematische weergave van parameters van de aanpassingsruimte a. sill en b. range

Naast de aanpassingsruimte van de te ijken parameters moet er voor de ijking ook een afwijkingsruimte bepaald worden voor de metingen. De afwijkingsruimte geeft aan hoe dicht een meting benaderd moet worden tijdens de ijking.

De afwijkingsruimte van de metingen en de aanpassingsruimte van de parameters zijn concurrerende krachten tijdens de ijking. Hele kleine residuen kun je bereiken door de toe te laten afwijkingsruimte heel klein te maken, maar dat betekent dat er mogelijk grote veranderingen van de parameters (grote aanpassingsruimte) nodig zijn. Dit geldt ook omgekeerd. In Figuur 5.2 is getracht de werking van de balans tussen afwijkingsruimte en aanpassingsruimte weer te geven in de vorm van twee concurrerende veren.



Figuur 5.2 Visualisatie van de balans tussen de aanpassingsruimte van een kD -waarde en de afwijkingsruimte van een grondwaterstandmeting; a. kleine aanpassingsruimte voor kD -waarde; b. kleine afwijkingsruimte voor grondwaterstandmeting

De afwijkingsruimte van de metingen wordt bepaald door de wegingsfactor (§ 5.1). Voor de aanpassingsruimte van de parameters is niet gekozen voor vergaande ruimtelijke differentiëring. De ijking is gestart met één waarde voor sill en range per parameter per modellaag. In Tabel 5.1 zijn de gekozen sill- en rangewaarden van de te ijken parameters weergegeven die gebruikt zijn voor de eerste ijking.

Tabel 5.1 Sill en range van te ijken parameters ($kD1$ t/m 7 en $Vc1$ t/m-6)

	Transmissiviteit		Vertical conductance	
	Sill [m]	Range [m]	Sill [m]	Range [m]
Modellaag1	0.078	5000	0.017	5000
Modellaag2	0.04	5000	0.017	5000
Modellaag3	0.04	10000	0.028	5000
Modellaag4	0.028	10000	0.008	5000
Modellaag5	0.017	10000	0.002	10000
Modellaag6	0.028	10000	0.008	10000
Modellaag7	0.028	10000		

5.2.2 Resultaat eerste stationaire ijking

Het resultaat voor de gemiddelde afwijking tussen gemodelleerde waarden en metingen bedraagt 0.073 m. en is erg goed voor een regionaal 250x250m grondwatermodel. Voor de modellagen 3 tot en met 7 zijn de gemiddelde afwijking klein en is er geen specifieke richting van de afwijking. Voor modellaag 1 en in mindere mate voor 2 is er een negatief residu wat weergeeft dat het model in deze lagen te lage stijghoogten berekent in vergelijking met de metingen.

Een mogelijke aanpassing in het modelconcept dat tot verbeteringen kan leiden is de drainageweerstand te verhogen. Deze parameter wordt in de niet-stationaire ijkronde nog geijkt. Tevens zijn naar aanleiding van de eerste ijking nog enkele belangrijke conceptverbeteringen in het model gedaan. Na deze conceptverbeteringen is de tweede stationaire ijking ingezet. De conceptverbeteringen worden in onderstaande paragrafen beschreven.

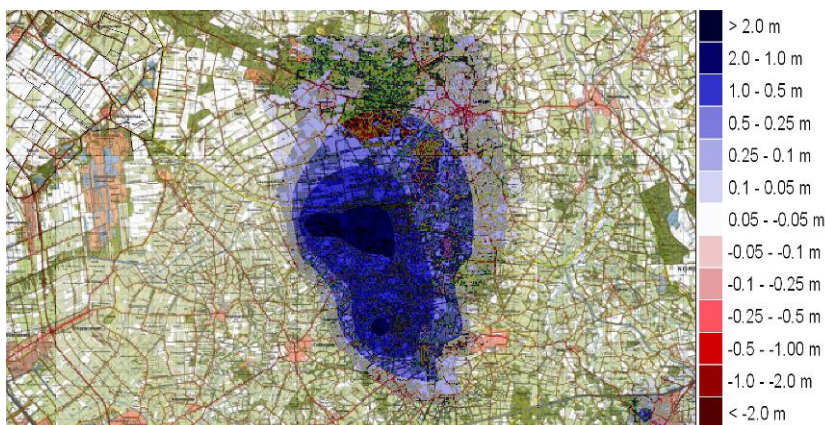
5.2.3 Aanpassingen n.a.v. eerste stationaire ijking

Doortrekken van de oostelijke stuwwal in Duitsland

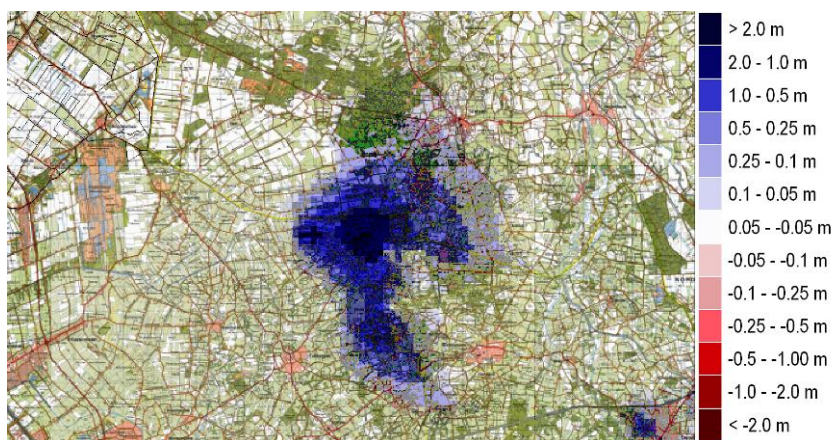
Na uitvoering van de eerste ijking is tevens een scenarioberekening gedraaid waarbij alle onttrekkingen zijn uitgezet. Het verschil in stijghoogte tussen het model met en zonder metingen zijn weergegeven in Figuur 5.3 en Figuur 5.4. Hierbij geeft Figuur 5.3 de toename in stijghoogte voor modellaag 4 van het ongeijkte model weer en Figuur 5.4 de toename van stijghoogte in modellaag 4 nadat de KD en C-waarden geijkt zijn.

Hierbij viel bij de Mander onttrekking bij Ootmarsum het volgende op:

Ten eerste zie je dat na de ijking de winning minder invloed naar het zuidoosten heeft dan voor de ijking doordat KD waarde verlaagd is tijdens de ijking. Wat echter vreemd is dat het invloedsgebied van de onttrekking in het noorden zich als het ware om de stuwwal heen krult. Dit vreemde effect is echter te verklaren door een fout in het modelconcept. De stuwwal van Ootmarsum is in MIPWA abrupt afgeknipt bij de grens (zie de anisotropie) terwijl deze in werkelijkheid doorloopt in Duitsland.

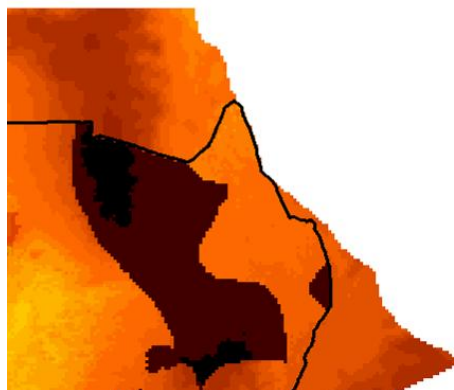


Figuur 5.3 Toename stijghoogte bij Ootmarsem van ongeijkt model wanneer onttrekkingen uitstaan

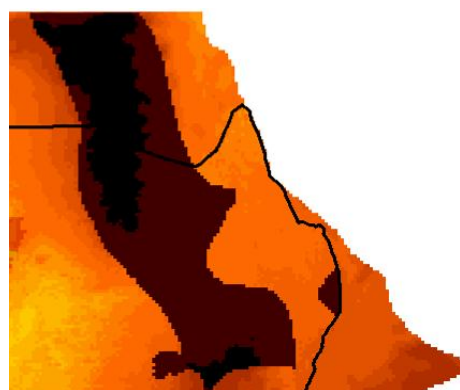


Figuur 5.4 Toename stijghoogte bij Ootmarsem van geijkt model wanneer onttrekkingen uitstaan

De situatie zoals de oostelijk stuwwal in het model zit is weergegeven in Figuur 5.5. Hierbij is goed te zien dat deze in het noorden bij de grens van Duitsland is geknipt. Om een gevoeligheidsberekening te kunnen doen is de oostelijk stuwwal in Duitsland doorgetrokken (op basis van het maaiveld) zoals in Figuur 5.6 is te zien waarbij de anisotropie hoek voor de lagen 2,3 en 4 een waarde van 160 graden hebben gekregen en de anisotropiefactor 0.1.

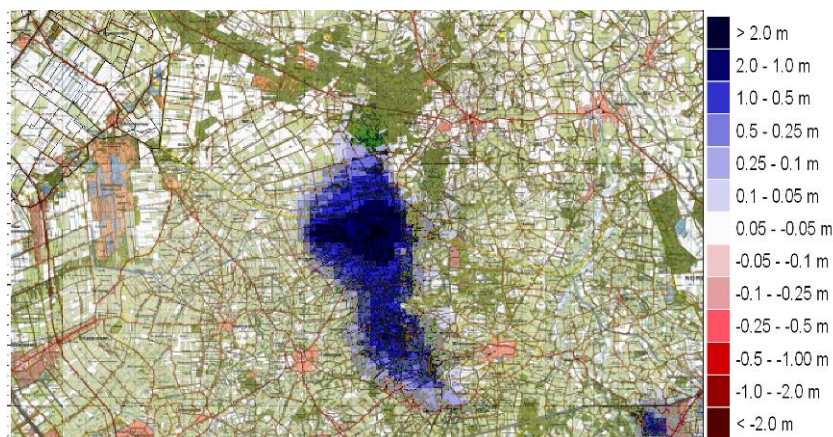


Figuur 5.5 Oostelijke stuwwal geknipt op modelrand



Figuur 5.6 Oostelijke stuwwal doorgetrokken

Met de nieuwe doorgetrokken stuwwal is opnieuw een toename in stijghoogte berekend wanneer alle onttrekking uitstaan. Het resultaat is in Figuur 5.7 te zien.



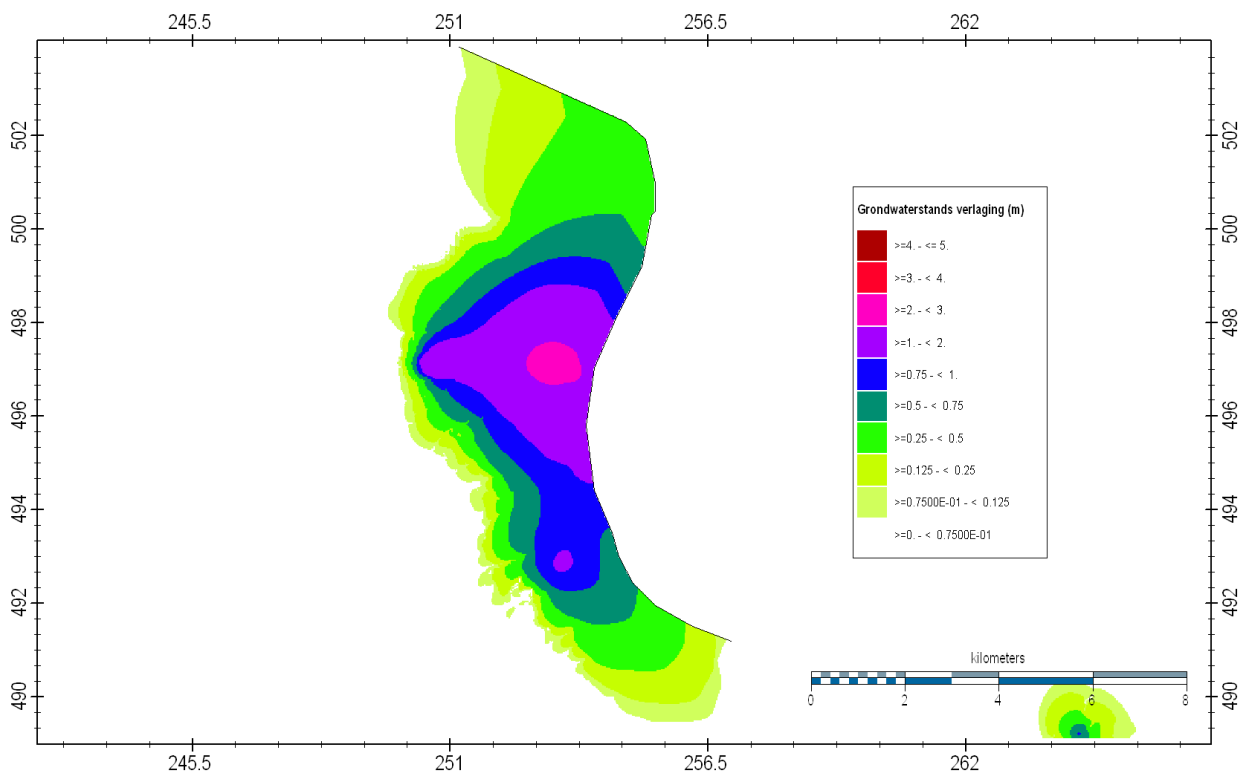
Figuur 5.7 Toename stijghoogte modellaag 4 wanneer de oostelijk stuwwal wordt doorgetrokken in Duitsland

Toevoegen no flow boundary

Na de eerste ijking blijkt dat de uitstraling van de onttrekking van Mander nog steeds te groot is in oostelijke richting. Daarom is een breuk toegevoegd (no-flow grens) tussen de stuwwal van Ootmarsum en de Slenk van Reutum, zodat verlaging niet uitstraalt voorbij deze grens (zie de hieronder bijgevoegde figuur met rode lijn = no-flow grens en de resulterende, berekende verlaging van de grondwaterstand als gevolg van de Vitens-winningen (ingezoomd op Mander).

Keuze voor het modelleren van de breuk bij Mander als no-flow grens is gebaseerd op informatie uit het rapport Geohydrologisch onderzoek Slenk van Reutum (DHV, 2004). Wens van de projectgroep is om hierbij aan te sluiten, omdat voor de bovengenoemde studie een uitgebreide discussie is gevoerd door betrokken partijen over de wijze waarop de slenk van Reutum het beste kan worden gemodelleerd.

Door in het WRD-2012-model dezelfde maximale uitstralingsgrens te hanteren, wordt gezorgd voor consistentie tussen beide studies. De enige manier waarop de uitstraling op de aangegeven lijn kan worden begrensd, is door het toevoegen van een no-flow boundary. Verlaging van de kD en aanpassing van de anisotropie bleken niet tot het gewenste resultaat te leiden.



Figuur 5.8 Grondwaterstandsverlaging bij Mander bij noflow boundary

Verbetering ondergrondmodel aan de hand van stroombaanberekeningen

Voor stroombaanberekeningen in de nabijheid van winlocaties is het van belang dat het grondwatermodel rekent met realistische stroomsnelheden en dat berekende stroombanen plausibele intrekgebieden vormen.

Om onrealistische stroomsnelheden en concentraties van stroombanen te voorkomen zijn diktes van aquifers gecontroleerd en gecorrigeerd met het programma CorrKD, zodat overall consistentie ontstaat tussen dikte en kD-waarde.

De procedure CorrKD is als volgt:

1 Dikte correctie

- Als de onderkant van een wvp hoger ligt dan de bovenkant van dat wvp, dan wordt de onderkant gelijk gezet aan de bovenkant.
- Als de bovenkant van het hieronder gelegen watervoerende pakket hoger ligt dan wordt deze gelijk gezet aan de onderkant van het bovengelegen pakket.

2 Pas minimale dikte wvp toe

Voor watervoerende pakketten geldt een minimale dikte dit om "ruis" te verwijderen. Aangezien de kd van deze pakketten uiteindelijk verdeeld wordt gaat de totale doorlatendheid van het gehele pakket niet verloren. De minimale dikte voor de wvp's zijn: 0.1,0.1,0.25,0.25,2.0,2.0,5.0, repsectievelijk voor de modellagen 1 t/m 7.

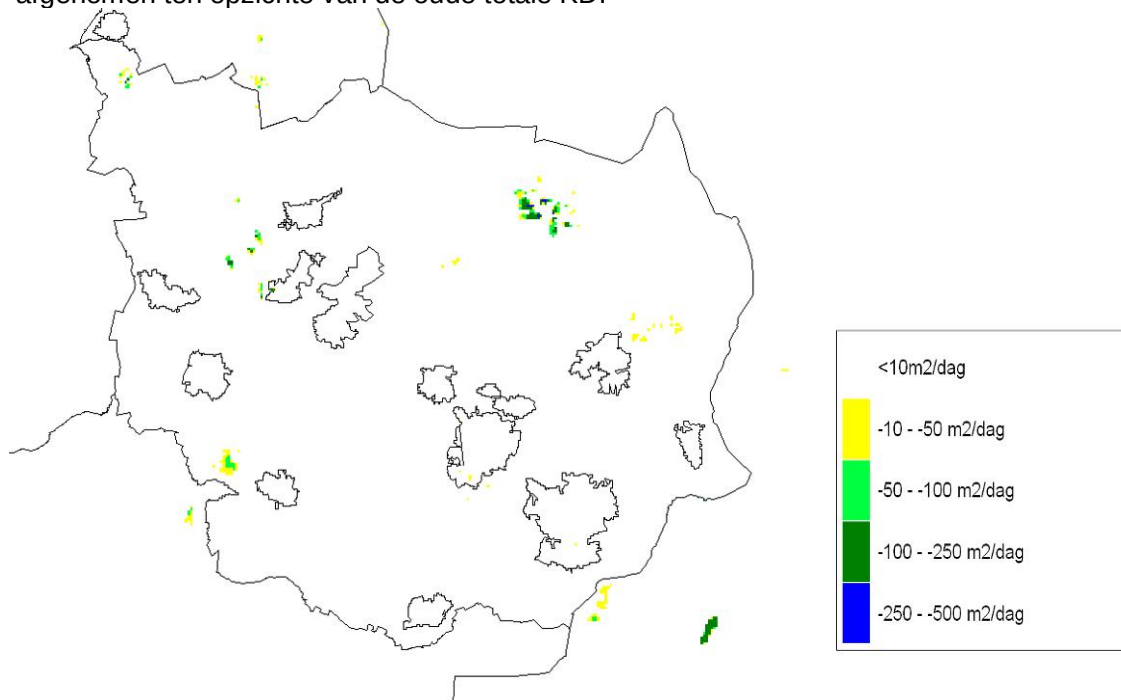
3 Verdeel de kd evenredig over de verschillende modellagen

Zolang er geen scheidende modellaag aangetroffen worden, tussen watervoerende pakketten, van meer dan 50 dagen weerstand, wordt de kd gesommeerd. Over het aantal gevonden pakketten wordt vervolgens de kd verdeeld, evenredig naar dikte van de afzonderlijke modellagen. De totale kd voor en na verdeling worden weggeschreven in sumkd_old.idf en sumkd_new.idf.

Hierna worden per modellaag (wvp), de kh bepaald, hierbij is kh maximaal 100m/d en wordt de kd hiervoor gecorrigeerd (indien nodig). De nieuwe c waarde wordt berekend op basis van de nieuwe diktes en kh waarde waarbij er vertical anisotropie in de wvp heerst van 0.3.

De verschillen in de nieuwe en oude kd komen vooral door modellagen waar oorspronkelijk een kd heerste maar geen dikte of kleine dikte waardoor de $kh > 100 \text{ m/d}$ werd, met hierboven een verticale weerstand van > 50 dagen. Dergelijke kd is niet te verdelen.

In Figuur 5.9 is het verschil weergegeven van de nieuwe totale KD (toepassing CorrKD) minus de totale oude KD. De totale KD is op enkele locaties (met name bij de stuwwallen) afgenomen ten opzichte van de oude totale KD.



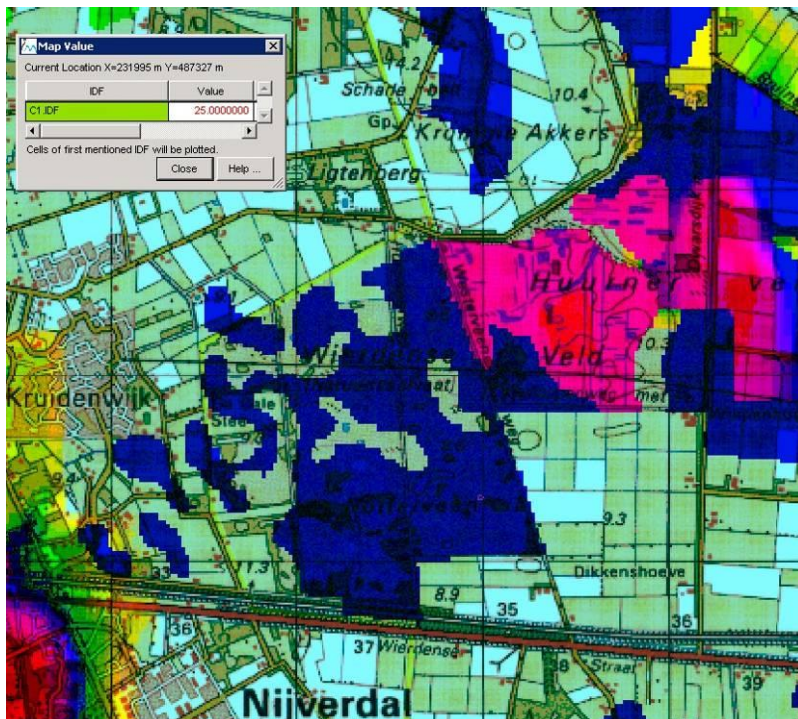
Figuur 5.9 Verschil in totale KD nieuw- KD oud

Stroombaanberekeningen zijn in iMOD uitgevoerd en door Vitens gecontroleerd aan de hand van te grote stroomsnelheden, vreemde stromingspatronen en uitstraling van het effect van de winning Mander in oostelijke richting. Ook zijn hypothetische grensvlakken van modellen gecorrigeerd, zodat deze vloeiender verlopen. Hiermee zijn onder andere afwijkingen in de ligging van de formatie van Oosterhout gecorrigeerd en zijn onregelmatige overgangen verwijderd. Dit is vooral van belang voor het berekenen van stroombanen zonder sprongen.

Extra analyse van Wierdense Veld en Huuner Veld

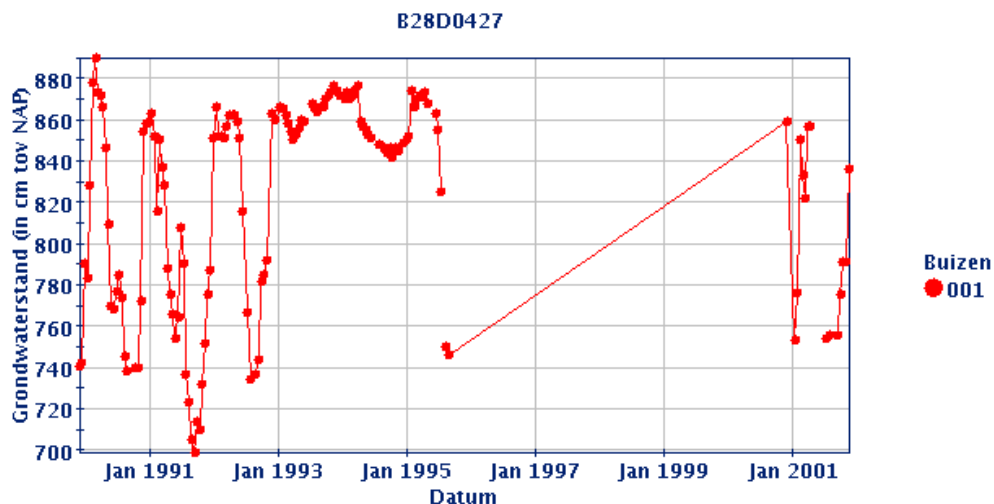
De meetpunten in het Wierdense Veld tonen voornamelijk grondwaterstanden die hoger berekend zijn dan de mediaan uit de meetreeksen. Allereerst is gecontroleerd of de veenresten, zoals beschreven in het OBN-rapport door Thomassen e.a. (2005), in het model zijn opgenomen. Dit blijkt het geval te zijn (Figuur 5.10). De weerstand van de veenresten bedraagt 25 (Wierdense Veld) en 50 - 100 dagen (Huuner Veld). De (rest)veenvoorkomens zitten dus wel in het model, gebaseerd op de bodemkaart, maar de weerstand is wat lager dan de waarden uit het OBN-rapport.

In de ijking wordt de c1 hier niet verhoogd, dit komt mogelijk deels door een gebrek aan metingen in modellaag 1. We hebben de weerstand van de blauwe en paars/rode veenresten hier handmatig verhoogd met een factor 20. Ook in het WRD-2004-model was extra weerstand toegevoegd in het Wierdense Veld. In dat model had het hele Wierdense Veld een c1 van 1000 dagen). De huidige aanpassingen sluiten beter aan bij het schaalniveau van 25x25 meter en bij de veldkennis, zoals beschreven door Thomassen e.a. (2005).

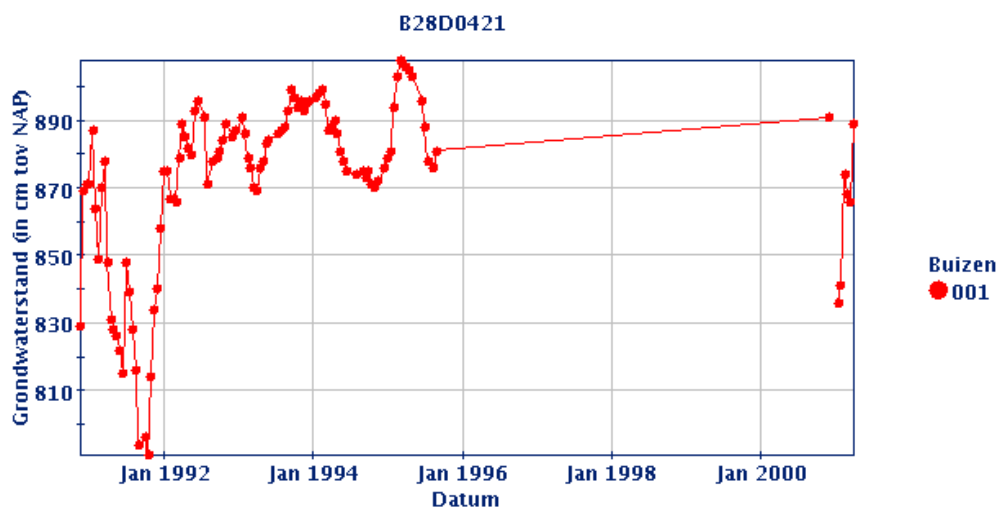


Figuur 5.10: verbreiding weerstand toplaag in het Wierdense Veld

De beschikbare metingen blijken voor verdere calibratie van de toplaagweerstand weinig betrouwbaar (Figuur 5.11 en Figuur 5.12).



Figuur 5.11: Meetpunt B28D0427: verandering gedrag meetreeks in periode 1993 t/m 1995 gevolgd door hiaat van 1996 t/m 1999



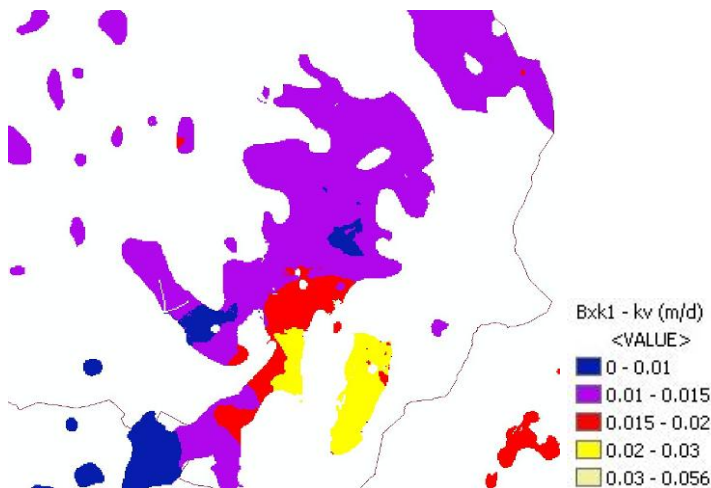
Figuur 5.12: Meetpunt B28D0421: na 1992 verandering gedrag tijdreeks

Formatie van Boxtel

In de projectgroep bestond twijfel over de gekozen weerstand van de afzettingen die zijn gedefinieerd als Boxtel klei1. Hierover heeft overleg plaatsgevonden met het REGIS-team van TNO.

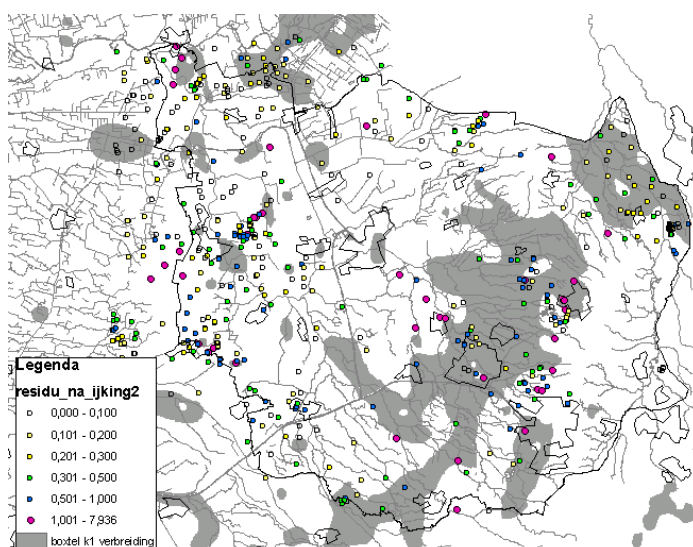
De Boxtel klei-1-afzettingen zijn gevormd in een lokaal afzettingssmilieu. In de oude nomenclator waren dit delen van de formaties van Twente, Asten en Eindhoven. De oudste afzettingen bestaande uit *zand* en *leem* zijn gevormd in een vlechtend riviersysteem (overgang interglaciaal Eemien naar Weichselien) en daarna bedekt met jongere fluvioperiglaciale afzettingen (Weichselien), in een hellend landschap met afwisselend kleine rivieren, beken, meren en moerassen. De afzettingen zijn daardoor niet duidelijk gelaagd, variëren sterk van plaats tot plaats en bestaan afhankelijk van de stroomsnelheid uit *grind*, *zand*, *leem* en *veen*. Door cryoturbatie (vorstwiggen) zijn de afzettingen bovendien verder verstoord.

In REGIS wordt voor de venige en lemige delen van deze afzettingen (Boxtel k1) een k_v van ca. 0.01-0.05 m/d aangehouden (Figuur 5.1). In combinatie met meestal geringe diktes, komt de c-waarde daarmee veelal op geringe groottes van ca. 150 dagen. Op enkele plaatsen in het bekken van Hengelo zijn de afzettingen dikker (> 10 meter) wat lokaal resulteert in hogere c-waarden tot ca. 1000 dagen.

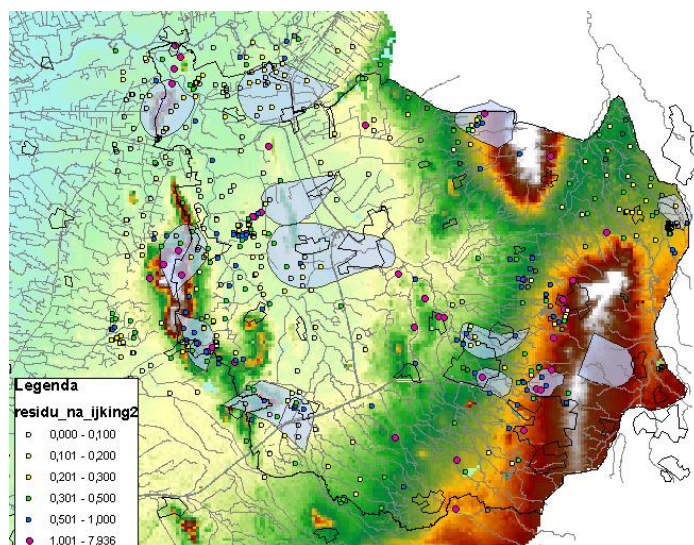


Figuur 5.13: Verticale k-waarde (k_v) Boxtel k1 in het Dinkeldal en bekken van Hengelo

Gezien de verstoringen en heterogeniteit in de afzettingen is het mogelijk dat de gekozen k_v wat aan de lage kant is en daarmee de initiële c-waarden wat hoog geschat. Modellaag 1 heeft echter nauwelijks metingen om dit te verifiëren en er lijkt geen direct verband te zijn tussen de residuen in modellaag 2 en de verbreiding van dit deel van de formatie van Boxtel (paarse meetpunten in Figuur 5.14). De grootste residuen komen voornamelijk voor op de flanken en aan de voet van de stuwwallen en nabij de grote winningen (Figuur 5.15). We stellen daarom voor de huidige weerstand als basis voor de representer-ijking te handhaven.



Figuur 5.14: Grootste residuen in modellaag 2 (paars) vertonen geen duidelijke relatie met de verbreiding van de Boxtel k1



Figuur 5.15: Grootste residuen op de flanken van de stuwwallen in de intrekgebieden van de grote winnigen

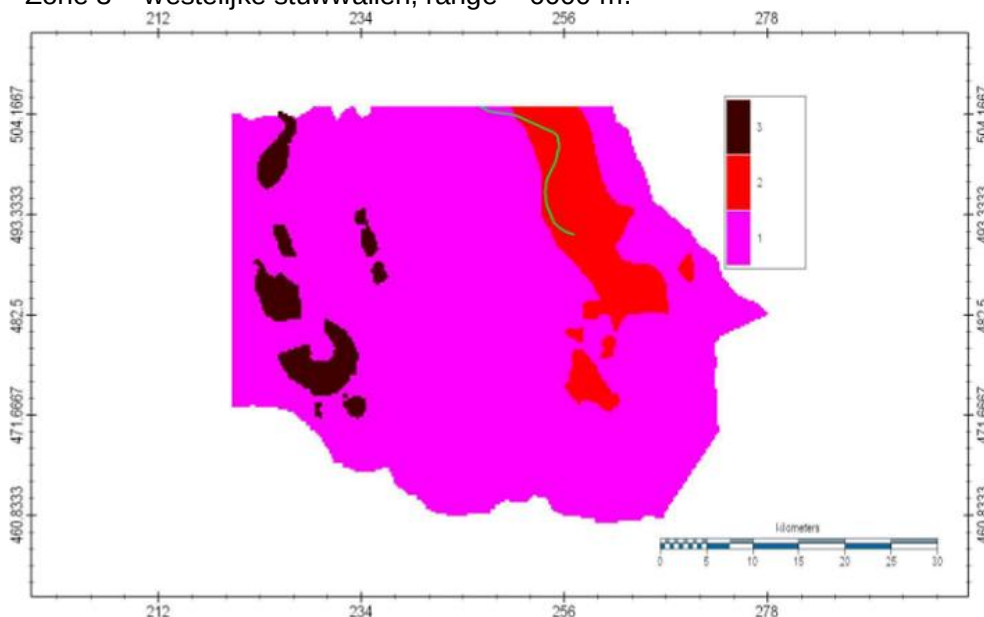
Extra zones aangemaakt voor het ijken van de transmissiviteit

Tijdens de eerste stationaire ijking, bleek dat aanpassingen van parameters, die nodig waren in de stuwwallen, een grote regionale uitstraling vertoonden tot ver buiten de stuwwallen. Om dit te voorkomen, zijn drie zones aangemaakt voor de representer-ijking van de transmissiviteit. Deze zones zijn gebaseerd op de ligging van de stuwwallen. De range (afstand waarover aanpassingen door de representer doorwerken) per zone is afgeleid uit correlatieafstanden, zoals bepaald in het project meetnetoptimalisatie (Hendriks e.a., 2011), zie Figuur 5.

Zone 1= overige gebied, range = 5000 m (laag 1 en 2) en 10.000 m (laag 3 t/m 6).

Zone 2 = oostelijke stuwwallen, range = 3500 m.

Zone 3 = westelijke stuwwallen, range = 6000 m.



Figuur 5.16 Zonering kD-waarden stationaire ijking (modellaag 1 t/m 7).

De sill en range voor de transmissiviteit (kD) en weerstand (c) zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 5.2 Sill en range van te ijken parameters (kD1 t/m 7 en Vc1 t/m-6)

Parameter	Zone	Sill	Range
KD-laag1	1	0.078	5000
KD-laag1	2	0.078	3500
KD-laag1	3	0.078	6000
KD-laag2	1	0.04	5000
KD-laag2	2	0.04	3500
KD-laag2	3	0.04	6000
KD-laag3	1	0.04	10000
KD-laag3	2	0.04	3500
KD-laag3	3	0.04	6000
KD-laag4	1	0.028	10000
KD-laag4	2	0.028	3500
KD-laag4	3	0.028	6000
KD-laag5	1	0.017	10000
KD-laag5	2	0.017	3500
KD-laag5	3	0.017	6000
KD-laag6	1	0.028	10000
KD-laag6	2	0.028	3500
KD-laag6	3	0.028	6000
KD-laag7	1	0.028	10000
KD-laag7	2	0.028	3500
KD-laag7	3	0.028	6000
Weerstand-laag1	-	0.017	5000
Weerstand-laag2	-	0.017	5000
Weerstand-laag3	-	0.028	5000
Weerstand-laag4	-	0.008	5000
Weerstand-laag5	-	0.002	10000
Weerstand-laag6	-	0.008	10000

5.2.4 Resultaat tweede stationaire ijking

De aanpassingsfactoren voor de transmissiviteit en verticale weerstand staan weergegeven in Bijlage B. De weerstand is nauwelijks aangepast in het model na de ijking. Echter de transmissiviteit is met name bij de onttrekking van Mander waar een no-flow grens is toegepast zie je grote aanpassingen in de transmissiviteit.

Het resultaat van de tweede ijking is voor een regionaal grondwatermodel erg goed. De gemiddelde afwijking tussen gemodelleerde waarden en metingen bedraagt 0.06 m, zie tabel 5.3. Het gemiddelde residu is dus erg klein en tevens is er geen specifieke richting meer van de afwijkingen in modellaag 1 en 2 zoals bij de eerste ijking wel het geval was. De modelconcept aanpassingen naar aanleiding van de eerste ijking hebben bijgedragen tot een

goed presterend stationair regionaal grondwatermodel. In bijlage 7B, Tabel B.1 worden tevens de histogrammen van de residuen van de stijghoogten voor en na de ijking gepresenteerd.

Tabel 5.4 Statistieken van de residuen na stationaire ijking 2

Tabel 6.7: Statistieken van de 7 modellen na stationaire toestand							
		Statistieken van residuen			Statistieken van residuen		
	Aantal	minimum	maximum	gemiddelde	25%	50%	75%
modellaag1	64	-2.20	0.80	-0.13	-0.25	-0.12	0.04
modellaag2	431	-4.90	3.04	0.004	-0.19	0.03	0.21
modellaag3	222	-2.26	1.98	0.18	-0.11	0.12	0.41
modellaag4	170	-6.96	5.31	0.03	-0.23	0.05	0.32
modellaag5	24	-0.50	1.30	0.36	0.03	0.28	0.64
modellaag6	5	-0.48	0.58	0.04	-0.19	0.11	0.19
modellaag7	60	-0.92	2.15	0.17	-0.10	0.06	0.46
Modellaag 1 t/m 7	976	-6.96	5.31	0.06	-0.17	0.05	0.31

De mediaan van de absolute afwijking in WRD-2012 gemiddeld over alle lagen samen is 22 cm. In WRD-2004 vertoonde, met de toenmalig gebruikte meetset, een mediaan van de absolute afwijking van 19cm. De afwijking van de modellen ligt in dezelfde ordegrootte.

5.3 Niet stationaire ijking

De niet stationaire ijking is in 3 fasen verlopen.

- Fase 1: Bijstellen modelinvoer op basis van gebiedsinformatie
 - Aanpassen van de well -file met nieuwste informatie Vitens (Bijvoorbeeld: Winning Weerseloseweg verwijderd).
 - Corrigeren afwijkingen met behulp van waterbalansinformatie
- Fase 2: IMOD geschikt maken voor PEST optimalisatie
De niet-stationaire ijking is gebaseerd op het Levenberg-Marquardt algoritme (LMA). Dit is hetzelfde algoritme dat in PEST is verwerkt. Recentelijk is dit algoritme ook geïmplementeerd in IMODFLOW, zie de IMODFLOW runfile documentatie.
- Fase 3: Automatische optimalisatie van de parameters C1 en Criv met IMODFLOW
De gekozen parameters om niet-stationair te ijken zijn de weerstand van de waterlopen en de weerstand van modellaag 1.
In de onderstaande paragrafen is de parameterkeuze (C1 en Criv) voor de niet-stationaire ijking beschreven.

5.3.1 Weerstand van de waterlopen

Tijdens de niet-stationaire ijking wordt de intree en uittree weerstand van de waterlopen gekalibreerd. Deze parameter geeft de weerstand weer die het grondwater ondervindt wanneer zij in of uit de waterloop stroomt. De optimalisatie van deze parameter vindt plaats door de totale absolute afwijking tussen meting en gemodelleerde grondwaterstand te minimaliseren. Deze absolute afwijking is voor iedere tijdstap berekend. De ijking is tevens gezoned uitgevoerd:

- Voor de drainageweerstand zijn de waterlopen opgedeeld in 3 zones: legger, kanalen en overige waterlopen.

5.3.2 C1-waarde

Tijdens de niet-stationaire ijking is de c-waarde van het topsysteem nogmaals meegenomen, omdat deze ondergrondparameter relatief veel effect kan hebben op de freatische grondwaterstanden. Tijdens de stationaire ijking zijn weinig aanpassingen doorgevoerd aan

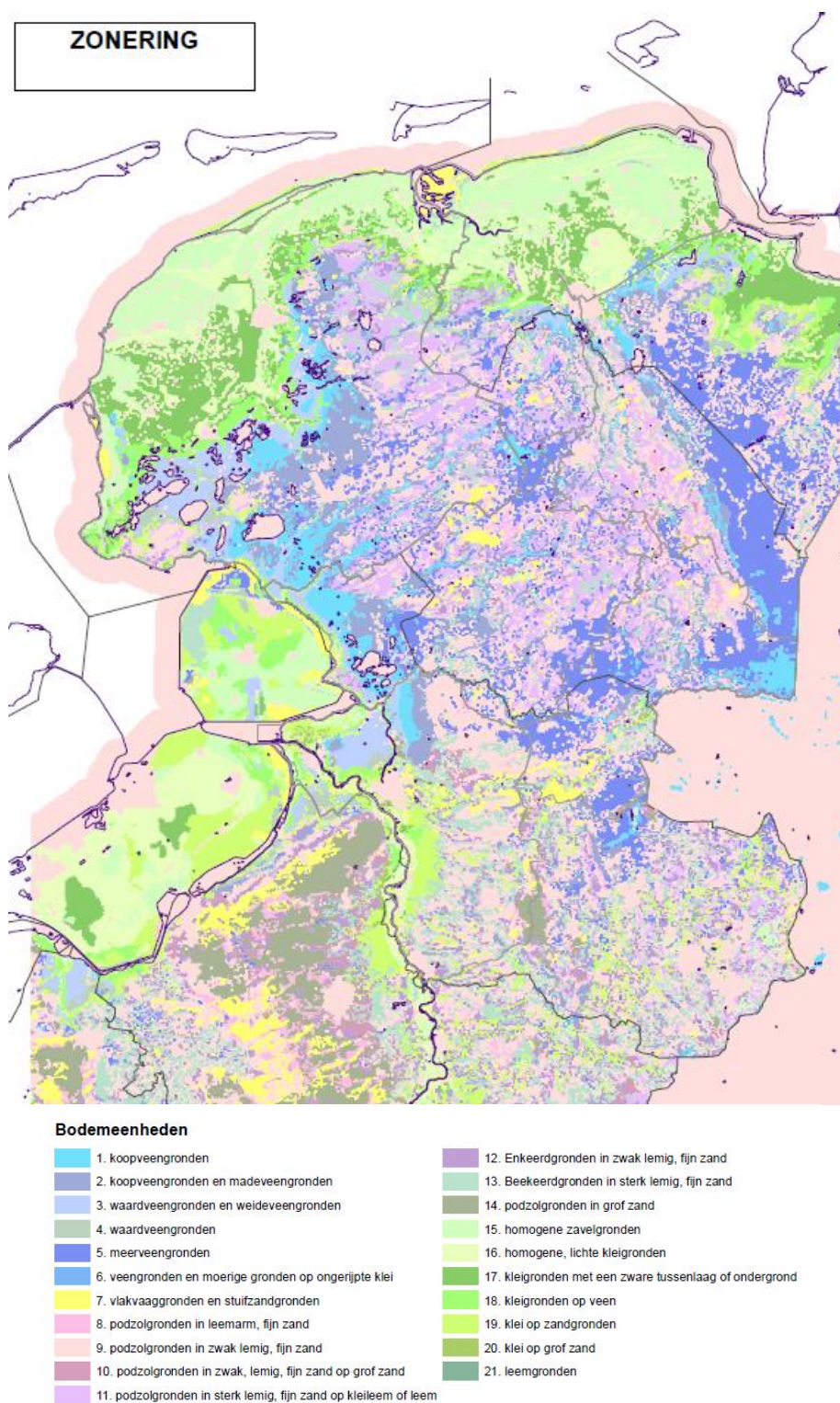
de c-waarden van de scheidende lagen. Deels omdat er weinig scheidende lagen in het gebied voorkomen en een deel van de scheidende lagen direct op de hydrologische basis aansluit. Een andere reden is dat er een relatief klein aantal metingen beschikbaar is in de eerste modellaag. In de niet-stationaire ijking vindt dus een fine-tuning plaats van de c1-waarde.

5.3.3 Onverzadigde zone

In Regge en Dinkel is het onverzadigde zone model (CAPSIM) met bijbehorende geijkte parameters (freatische bergingscoëfficiënt, bergingsvolume in de wortelzone en capillaire flux) uit MIPWA overgenomen. Dit is gedaan ten behoeve van een goede aansluiting en consistentie met het MIPWA-model. Bovendien bestaat bij de MIPWA-groep het plan om over te stappen naar MetaSWAP, waardoor is besloten geen extra energie meer in Capsim te investeren. In onderstaande tekst wordt de ijking van de onverzadigde zone die in MIPWA is toegepast uitgelegd. Hierdoor wordt de integrale aanpak voor de ijking van de onverzadigde zone op basis van indeling op bodemfysische eenheden duidelijk.

Het onverzadigde zone model CAPSIM maakt onderscheid tussen 21 verschillende bodemfysische eenheden voor het gehele MIPWA-gebied, inclusief Regge en Dinkel.

Deze eenheden zijn weergegeven in onderstaande Figuur 5.17. Deze figuur geeft een indruk kan worden gekregen welke bodemfysische eenheden in het beheergebied van Regge en Dinkel voorkomen.



Figuur 5.17 Bodemeenheden uit MIPWA

Iedere bodemfysische eenheid bevat een set parameters. Deze parameters zijn bepaald uit een uitgebreide set veldmetingen. De waarden in CAPSIM zijn een gemiddelde van deze metingen. Rond deze gemiddelde waarden zit echter ook een bandbreedte. De parameters met de grootste bandbreedte zijn:

1. **Freatische bergingscoëfficiënt.** Bepaalt hoe sterk de grondwaterstand reageert op stress-termen.
2. **Bergingsvolume in de wortelzone.** Heeft invloed op o.a. verdamping en de grondwateraanvulling.
3. **Capillaire flux.** Bepaalt de mate waarin capillaire opstijging kan plaatsvinden.

Deze 3 onverzadigde zone parameters zijn gekijkt in MIPWA. Tevens heeft er een clustering plaatsgevonden bij de bodemeenheden die op elkaar lijken. Let wel: CAPSIM blijft wel met 20 losse bodemfysische eenheden rekenen. De clustering betreft hier slechts de parameteraanpassing. Eenheden die in één cluster liggen krijgen dus een gelijke aanpassing van de betreffende modelparameter. Voor de exacte clustering wordt verwezen naar de MIPWA-rapportage.

5.3.4 Resultaten niet-stationair ijking

De aanpassingsfactoren voor de weerstand van de waterlopen zijn in onderstaande tabel weergegeven. De weerstand van de leggerwaterlopen zijn flink omhoog gegaan met een factor 2.5 tot 10 waardoor deze minder kunnen infiltreren/draineren. De weerstand van de top 10 waterlopen en kanalen zijn daarentegen omlaag gegaan. De weerstand van modellaag 1 is niet aangepast, omdat deze ondergrondparameter een verwaarloosbaar effect had in vergelijking met de weerstand van de waterlopen op de freatische grondwaterstanden.

Tabel 5.5 Aanpassingsfactoren van de weerstand van de waterlopen

Type waterloop	Aanpassingsfactor
Drainerende Legger modellaag1	3.33
Drainerende Legger modellaag2	3.33
Infiltrerende Legger modellaag1	2.50
Infiltrerende legger modellaag2	10.0
Kanaal modellaag1	0.55
Kanaal modellaag2	0.36
TOP10 modellaag1	0.83
TOP10 modellaag2	0.32

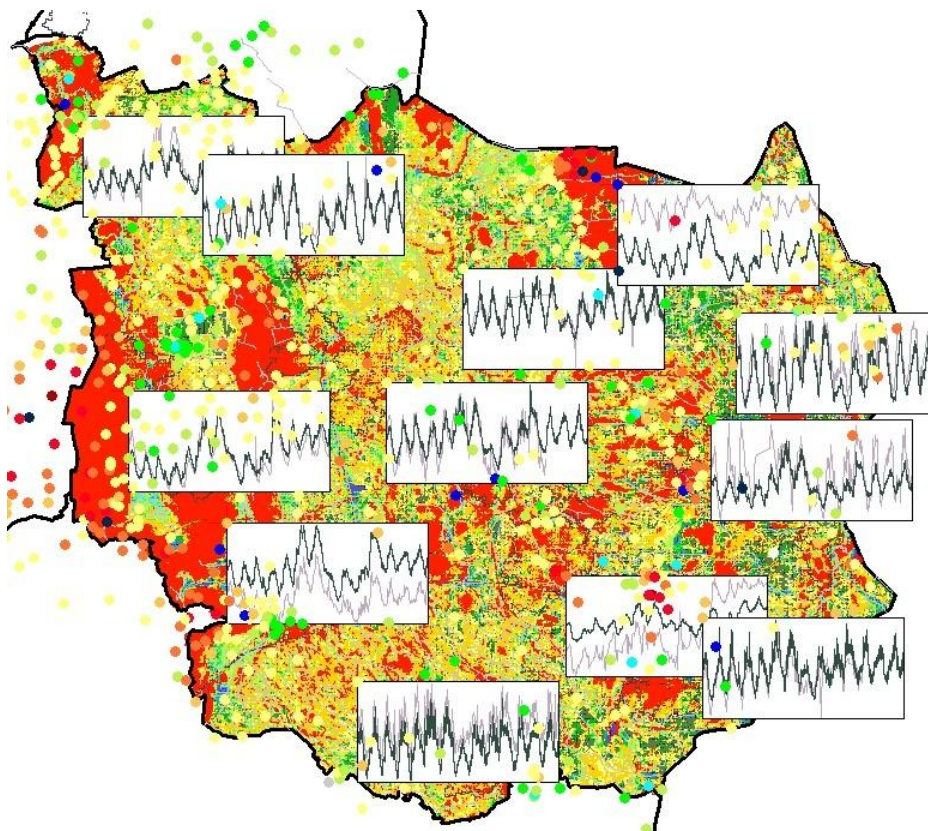
De statistieken van de afwijkingen van het model en de metingen zijn in Tabel 5.6 en in de bijlage Tabel B.2 gepresenteerd. De gemiddelde afwijking tussen alle gemodelleerde dagwaarden over alle modellen samen en alle metingen bedraagt 0.04 m. Het niet stationaire WRD-2012-model presteert voor een regionaal grondwatermodel zeer goed.

Tabel 5.7 Statistieken van de residuen na de niet-stationaire ijking

	Aantal dagmetingen	Statistieken van residuen			
		gemiddelde	25%	50%	75%
modellaag1	15843	-0.16	-0.37	-0.11	0.09
modellaag2	110612	-0.06	-0.29	-0.06	0.18
modellaag3	60690	0.14	-0.15	0.06	0.37
modellaag4	47341	0.03	-0.25	-0.02	0.35
modellaag5	6528	0.29	-0.08	0.18	0.61
modellaag6	1411	-0.03	-0.22	-0.06	0.12
modellaag7	16814	0.13	-0.19	0.00	0.30
Modellaag 1 t/m 7	259239	0.04	-0.24	-0.02	0.26

De resultaten voor de niet stationaire ijking zijn gevalideerd aan de hand van grondwaterstand en stijghoogte metingen en afvoeren van geselecteerde stroomgebieden. Deze resultaten staan beschreven in onderstaande paragrafen.

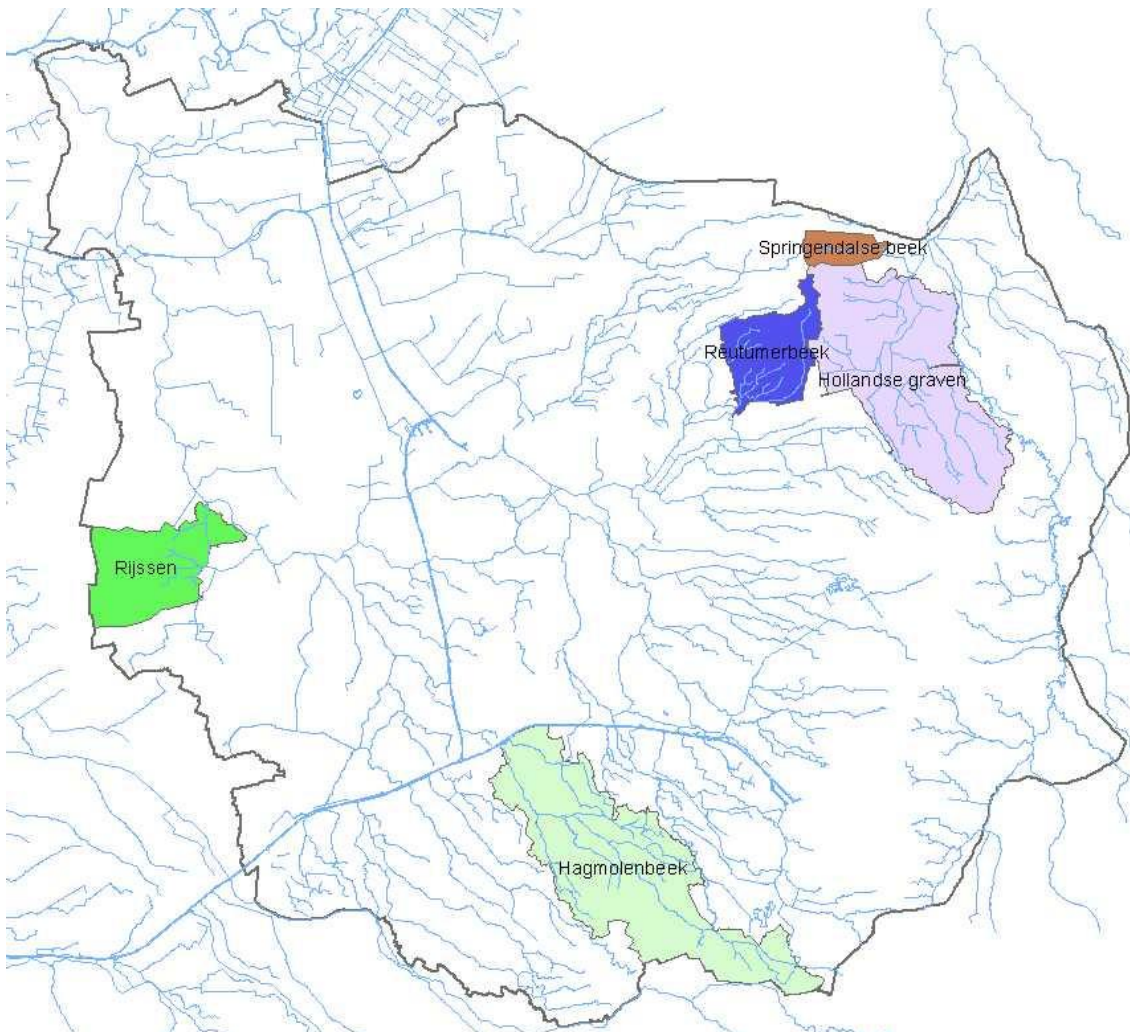
Voor elk van de 976 meetpunten zijn de meetresultaten en de berekende grondwaterstanden/stijghoogten te bekijken in IMOD, zoals in Figuur 5.18 is weergegeven.



Figuur 5.18 Berekende en gemeten stijghoogte tijdreeksen na de ijking

Afvoeren van stroomgebieden

De afvoeren zijn voor 5 stroomgebieden: Springendalsebeel, Reutumerbeek, Hollandse graven, Rijssen en Hagmolenbeek zijn berekend met behulp van het WRD-2012-model. In Figuur 5.18 zijn de stroomgebieden weergegeven.



Figuur 5.19 Afvoeren zijn berekend voor 5 stroomgebieden weergegeven in verschillende kleuren

Voor de 5 stroomgebieden zijn de gemeten afvoer en de gemeten afvoer grafieken gemaakt, zie Bijlage B. De afvoeren komen erg goed overeen met de metingen. Voor de Reutumerbeek zijn helaas geen afvoermetingen in de modelperiode, maar het afvoerpatroon tijdens de modelperiode lijkt goed overeen te komen met het afvoerpatroon van de metingen.

GHG en GLG en grondwatertrappen

De GHG en GLG van het niet stationaire WRD-2012-13-jaren model zijn afgebeeld in bijlage C (Figuur A.1). Op basis van de GHG en GLG zijn grondwatertrappen berekend, zie Bijlage C, (Figuur A.2) Voor een groot deel van het gebied zijn de berekende grondwatertrappen iets droger zijn dan in de bodemkaart. Dit effect wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de bodemkaart gebaseerd is op bodemkenmerken: deze bodemkenmerken zijn het resultaat van historische grondwatersituaties.

6 Conclusies

De doelstelling van dit project was om één grondwatermodel voor de zoektocht Twente te ontwikkelen dat in concepten gelijkwaardig is aan MIPWA. Hiermee sluiten de modelresultaten naadloos aan op de rest van MIPWA en wordt het voor het waterschap tevens technisch mogelijk om in de toekomst deel van het MIPWA-consortium te worden. Het grondwatermodel (aangeduid als WRD-2012) dient door verbeterde concepten en fijnere dataresolutie bovendien minstens zo goed en waar mogelijk beter te presteren dan het oude WRD-model (WRD-2004).

Een zuivere vergelijking tussen WRD-2004 en WRD-2012 is lastig. Ten eerste beslaan de twee modellen elk een andere periode. Daarnaast is het WRD-2012-model met een nieuwe ijksset gekalibreerd, waarin 976 meetreeksen zijn verwerkt. Het WRD-2004-model gebruikt een ijksset van 628 metingen. Bovendien werd het niet-stationaire WRD-2012-model *op dagbasis geijkt op een meetperiode van 13 jaar*, terwijl het WRD-2004 model geijkt is op basis van één representatief weerjaar. De resulterende statistieken zijn daardoor niet exact vergelijkbaar, maar geven wel een eerste indicatie van de prestaties van de beide modellen. Naast de residuen op de meetpunten zorgen ook de toegevoegde modelconcepten voor verbetering van de modelprestaties. Ook van deze verbeteringen geven we daarom in dit hoofdstuk een totaaloverzicht.

Paragraaf 6.1 gaat hierbij in op de statistieken van de modelresultaten, paragraaf 6.2 op de verbeteringen in het topsysteem en paragraaf 6.3 op de verbeteringen in het ondergrondmodel.

6.1 Statistieken over de stationaire grondwaterstanden

Gemiddeld over alle modellen samen bedraagt de afwijking tussen gemeten en gemodelleerde grondwaterstijghoogten in het stationaire WRD-2012-model 6 cm. Het gemiddelde residu is dus erg klein en er is geen specifieke richting van de afwijkingen.

De mediaan van de absolute afwijkingen tussen gemeten en gemodelleerde grondwaterstijghoogten bedraagt voor WRD-2012 22 cm. WRD-2004 vertoonde, met de toenmalig gebruikte meetset, een mediaan van de absolute afwijking van 19 cm.

Gemiddeld over alle modellen en alle tijdstappen bedragen de residuen van het niet-stationaire WRD-2012-model 4 cm. Voor modellaag 1 en 2 afzonderlijk bedragen de gemiddelde residuen het respectievelijk om -16 en -6 cm.

6.2 Verbeteringen in het topsysteem

6.2.1 Waterlopen

WRD-2012 bevat *nieuwe detailwaterlopen* (greppels en sloten). Voor de detailwaterlopen is een verbeterde AHN-fitertechniek gebruikt voor de afleiding van de bodemhoogte van de waterlopen. Deze verbeterde filtertechniek is conform de methode van MIPWA.

De leggerwaterlopen binnen de modelkalibratieperiode zijn overgenomen uit WRD-2004. Daarnaast is een *nieuwe versie opgeleverd van de leggerwaterlopen* op basis van de meest recente gegevens uit de legger van het waterschap. De afleiding van de leggerwaterpeilen is op vergelijkbare wijze uitgevoerd als in het oorspronkelijke

WRD-2004-model (TNO, 2004). Hierbij is rekening gehouden met het invloedgebied van de stuw, dat afhankelijk is van het verhang in de waterlopen.

Waterlopen kunnen in WRD-2012 ook insnijden in modellaag 2. In het WRD-2004-model is insnijding niet meegenomen. De weerstand van de toplaag in het WRD-2004-model is echter meestal ook laag. Door toename van de weerstand van de toplaag in WRD-2012 (uit REGIS II en de bodemkaart) is analyse van de doorsnijding van belang en vormt de mogelijkheid van doorsnijding van de toplaag een verbetering van het modelconcept.

6.2.2 Buisdrainage

De buisdrainage is overgenomen uit MIPWA en vergelijkbaar met de methode uit het WRD-2004-model. Een verbetering is echter de controle van de ligging ten opzichte van het slootpeil (drainagevlak). Hierdoor kan de *drainagebasis van de buizen niet lager liggen dan het slootpeil waarop wordt afgewaterd*.

6.2.3 Maaiveld

De maaiveldhoogte is afgeleid uit het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN1, versie 2004). Dit bestand is met een *verbeterde filtertechniek*, conform de MIPWA-methodiek, gefilterd om de afwijkende hoogten veroorzaakt door gebouwen, begroeiing en dergelijke te verwijderen. Bij deze filtering is informatie uit het TOP10-vectorbestand gebruikt om de ligging van het oppervlaktewater vast te stellen.

6.2.4 Saturated Overland Flow (SOF)

De SOF wordt gemodelleerd middels een SOF-vlak, waarboven grondwater oppervlakkig afstroomt. Dit vlak is op twee manieren verbeterd. Ten eerste is het in het WRD-2012-model *gebaseerd op het verbeterde maaiveld*, zoals hierboven beschreven. Daarnaast zijn de *insnijdingen van wateroverlopen eruit verwijderd*. Dit was in het WRD-2007-model (de verfijning van WRD-2004 naar 25 meter) niet gedaan.

6.2.5 Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling is op twee punten verbeterd. Ten eerste is in het WRD-2012-model *het aantal neerslagstations verhoogd* van 6 naar 14. Daarnaast wordt de grondwateraanvulling beter berekend, door gebruik te maken van het onverzadigde zone model *CAPSIM*. CAPSIM vervangt hiermee het eenvoudigere wortelzonereservoir dat werd toegepast in WRD-2004. Daarnaast zijn in WRD-2012 CAPSIM en MODFLOW op dagbasis gekoppeld, terwijl het wortelzonereservoir slechts een preprocessing stap was en niet interactief meedraaide met het MODFLOW-model.

6.2.6 Berekening

De berekening is op twee punten verbeterd. Het *vochttekort wordt nu berekend door CAPSIM* in plaats van het wortelzonereservoir, zoals gebruikt in WRD-2004. Daarnaast zijn de *beregeningslocaties in WRD-2012 opnieuw geschat*, door middel van de beregeningskaart van Alterra (conform MIPWA) en *aangevuld met vergunningsgegevens* zoals bekend bij het waterschap.

6.3 Verbetering in het ondergrondmodel

6.3.1 Ondergrondmodel is uitgebreid van 3 naar 7 lagen

Het WRD-2012-model heeft een *gedetailleerdere ondergrondschematisatie* dan het WRD-2004-model, door de opsplitsing in 7 in plaats van 3 modellagen. Hierdoor is het bijvoorbeeld mogelijk onderscheid te maken tussen het Kreftenheye, Twello klei 1 en Drenthe Uitdan (modellaag 2) en Drenthe Gieten (modellaag 3). In het WRD-2004-model zijn al deze pakketten in modellaag 2 samengenomen.

6.3.2 REGIS II.0 gebruikt voor het ondergrondmodel

Verbreidingen van formaties en verticale en horizontale doorlatendheden zijn gebaseerd op REGIS II.0, terwijl het WRD-2004-model gebaseerd was op REGIS I.0. REGIS II.0 geeft in het algemeen een *betrouwbaarder beeld van de verbreiding van weerstandbiedende lagen* dan het WRD-2004-model (REGIS I.0) bovendien sluit het nieuwe grondwatermodel hiermee aan op de formatie-indeling uit de nieuwe nomenclator. Het WRD-2012-model heeft, doordat het een 7-lagenmodel is en tevens gebaseerd is op REGIS II.0, op de randen een *naadloze aansluiting op het MIPWA-model*.

6.3.3 Bodemkaart gebruikt voor aanvulling weerstand van de deklaag

De bodemkaart 1: 50.000 bevat extra informatie over de aanwezigheid van weerstand in de deklaag. Deze extra informatie is in WRD-2012 in de weerstand voor de deklaag verwerkt. *Lokale veen- en leemvoorkomens, zoals afzettingen in beekdalen, zijn daardoor in meer detail opgenomen.*

6.3.4 Extra aandacht aan de weerstand ter plaatse van de oostelijke stuwwallen.

In het WRD-2004-model is extra aandacht besteed aan het voorkomen van weerstandbiedende lagen in de *oostelijke stuwwallen*. De weerstand uit het WRD-2004-model is gebaseerd op een groot aantal aanvullende boringen en wordt daarom in deze gebieden met dikke kleivoorkomens betrouwbaarder geacht dan de weerstand uit REGIS II.0. In de oostelijke stuwwallen is de weerstand uit het WRD-2012-model daarom verhoogd tot de weerstand uit het WRD-2004-model.

6.3.5 Lagenmodel gecheckt en gecorrigeerd op onrealistische stroomsnelheden

Voor stroombaanberekeningen in de nabijheid van winlocaties is het van belang dat het grondwatermodel rekent met *realistische stroomsnelheden* en dat berekende stroombanen plausibele intrekgebieden vormen. Om onrealistische stroomsnelheden en concentraties van stroombanen te voorkomen, zijn diktes van aquifers gecontroleerd en gecorrigeerd, zodat overal consistentie ontstaat tussen dikte en kD-waarde. Tevens is er een check gedaan op *geologisch onverklaarbare structuren en deze zijn verwijderd uit het model*.

6.3.6 Extra analyse van de weerstand van het Wierdense Veld en Huuner Veld

Op basis van gebiedskennis is de *weerstand van veenresten in het Wierdense Veld en Huuner Veld* met een factor 20 verhoogd ten opzichte van REGIS II.0. Ook in het WRD-2004-model was extra weerstand toegevoegd in het Wierdense Veld. In dat model had het hele Wierdense Veld een c1 van 1000 dagen. De huidige aanpassingen sluiten beter aan bij het schaalniveau van 25x25 meter en bij de veldkennis, zoals beschreven door Thomassen e.a. (2005).

6.3.7 Anisotropie

Een conceptverbetering in het WRD-2012-model is het gebruik van *anisotropie in de stuwwallen*. Deze anisotropie is rechtstreeks overgenomen uit het MIPWA-model. In het WRD-2004-model werd geen anisotropie gebruikt.

6.3.8 Breuk tussen Slenk van Reutum en stuwwal van Ootmarsum

Binnen WRD-2012 is een *breuk toegevoegd als no-flow grens tussen de stuwwal van Ootmarsum en de Slenk van Reutum*. Het gevolg is dat verlaging van de winning Mander niet uitstraalt voorbij deze grens. De keuze voor het modelleren van de breuk als no-flow-grens is gebaseerd op informatie uit het rapport Geohydrologisch onderzoek Slenk van Reutum (DHV, 2004). De wens van de projectgroep was om

hierbij aan te sluiten, omdat voor de bovengenoemde studie een uitgebreide discussie is gevoerd door betrokken partijen over de wijze waarop de slenk van Reutum het beste kan worden gemodelleerd. Door in het WRD-2012-model dezelfde maximale uitstralingsgrens te hanteren, wordt gezorgd voor consistentie tussen beide studies.

7 Literatuur

TNO – Minnema e.a. (2004) Waterschap Regge en Dinkel Grondwatermodel en IR-database ter ondersteuning van waterbeheer in Twente.

TNO - Snepvangers e.a. (2007) MIPWA Methodiekontwikkeling voor Interactieve Planvorming ten behoeve van Waterbeheer.

DHV - Rogge&Co (2000): Mander model - Stationair model 1983-1987. Grondwatermodel – versie 18 september 2000.

DHV – Rogge&co (2004): Slenk van Reutum.

Deltares - Hendriks, D., P. de Louw en W. Borren (2010) Optimalisatie freatisch grondwatermeetnet beheergebied waterschap Regge en Dinkel.

TNO-NITG (1999): Standaard Boor Beschrijvingsmethode – Versie 5. TNO-NITG, Zwolle, 88 pp.

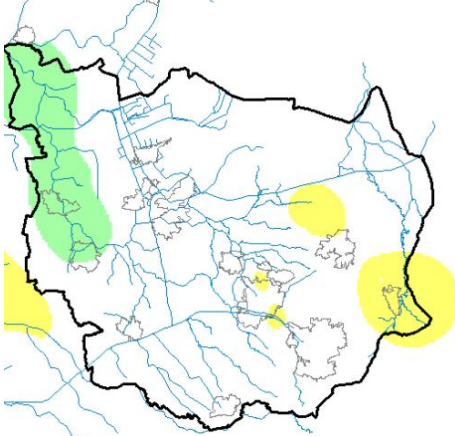
TNO-NITG (1998): REGIS, REgionaal Geohydrologisch Informatie Systeem, data-base TNO-NITG. Delft.

Valstar J.R. (2001): 'Inverse modeling of groundwater flow and transport', Academisch proefschrift, TU Delft. Delft.

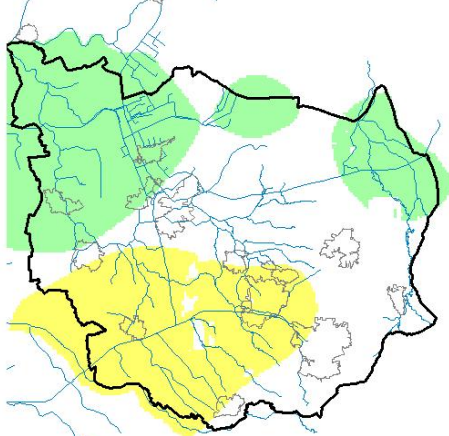
DLO-Staring Centrum, Wageningen, Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte (1994): waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994.

A Aanpassingsfactoren KD en C

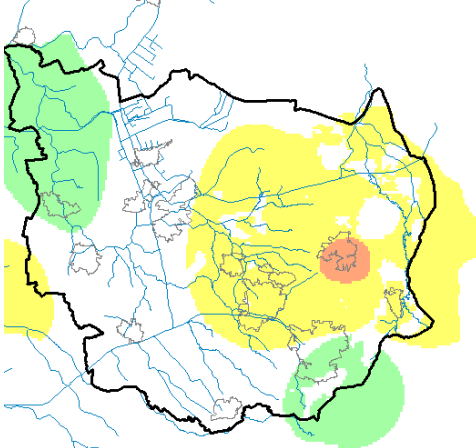
Modellaag 1



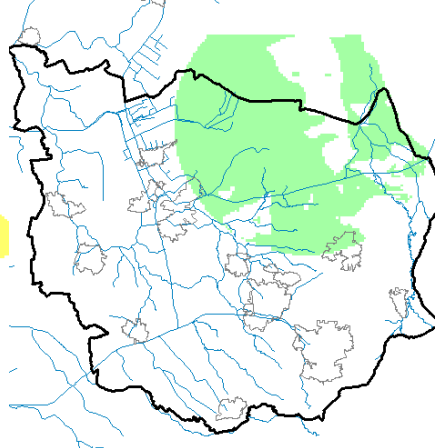
Modellaag 2



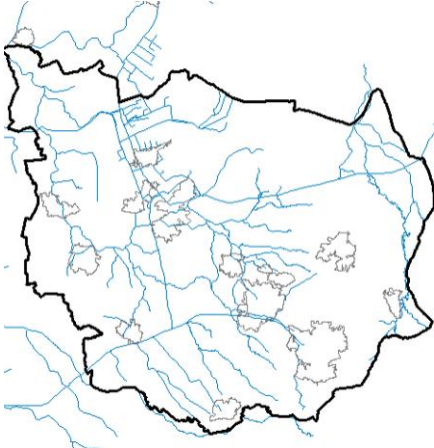
Modellaag 3



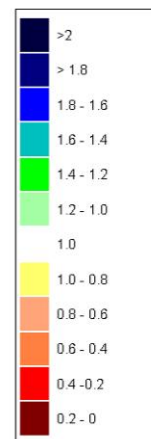
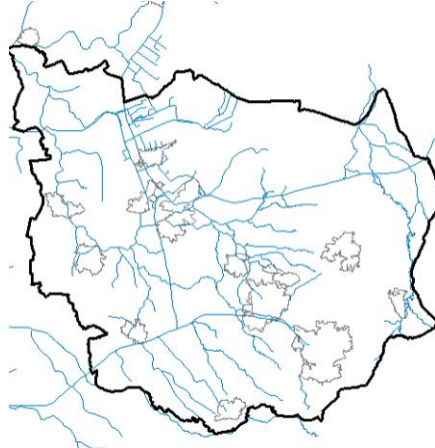
Modellaag 4



Modellaag 5

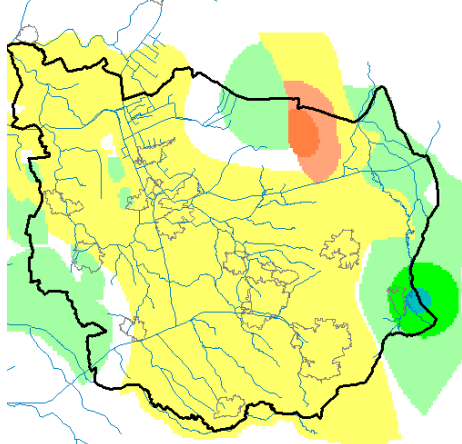


Modellaag 6

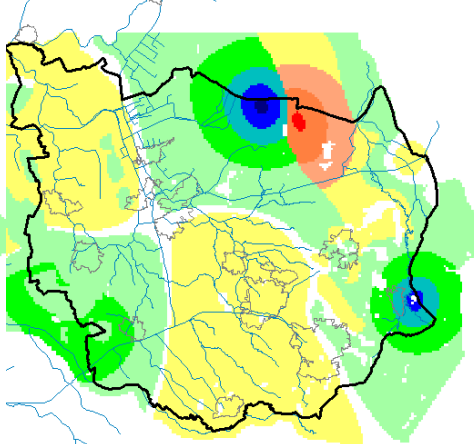


Figuur A.1 Aanpassingsfactoren verticale weerstand laag1 t/m 6

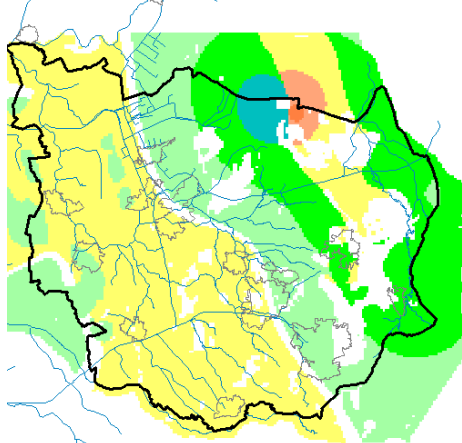
Modellaag 1



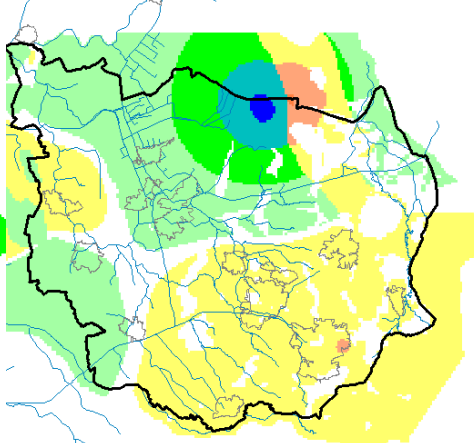
Modellaag 2



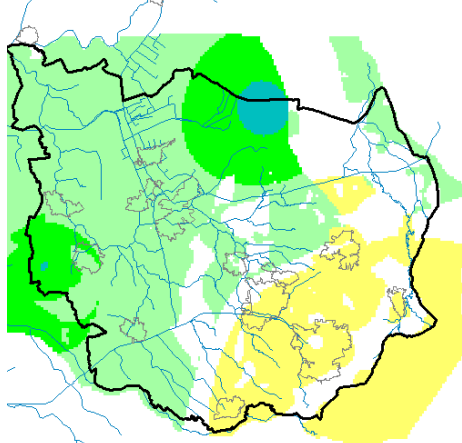
Modellaag 3



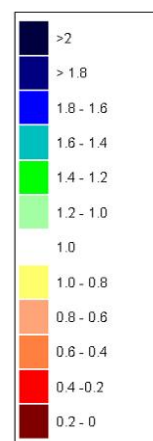
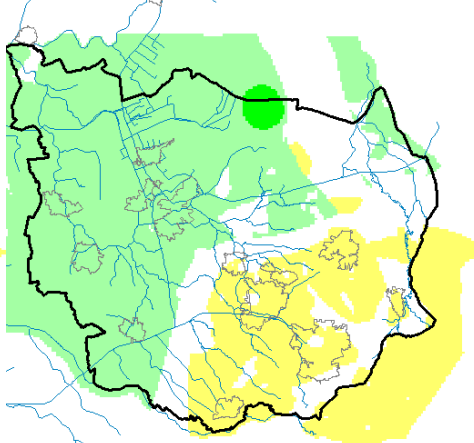
Modellaag 4



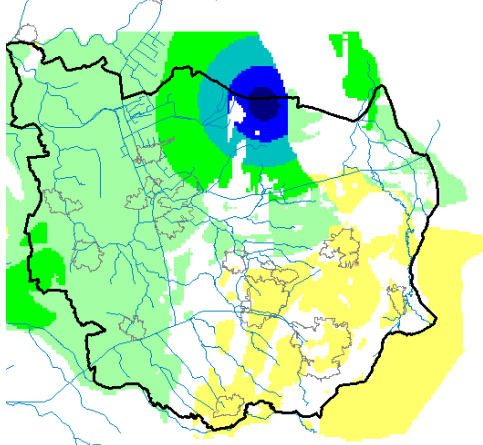
Modellaag 5



Modellaag 6

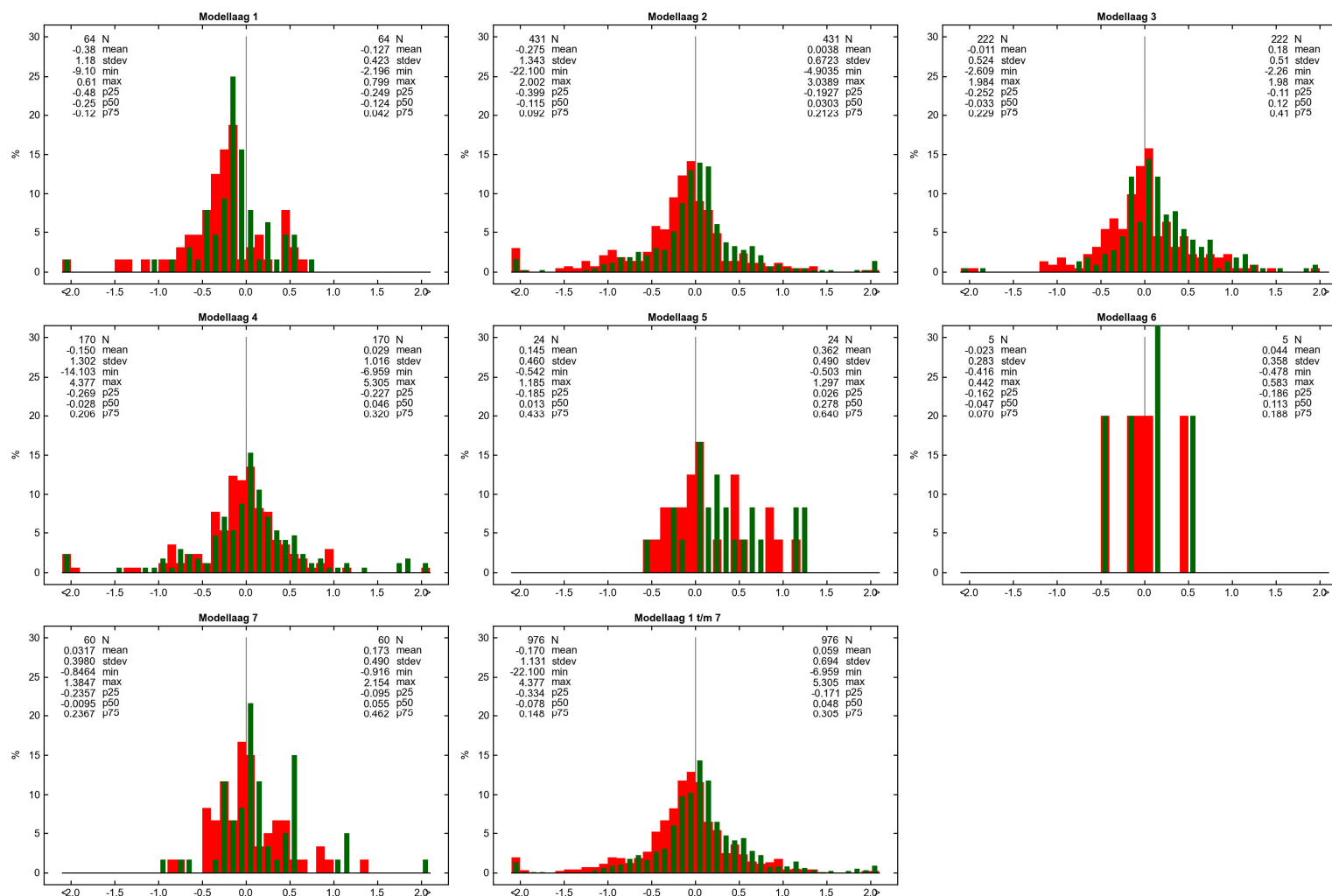


Modellaag 7

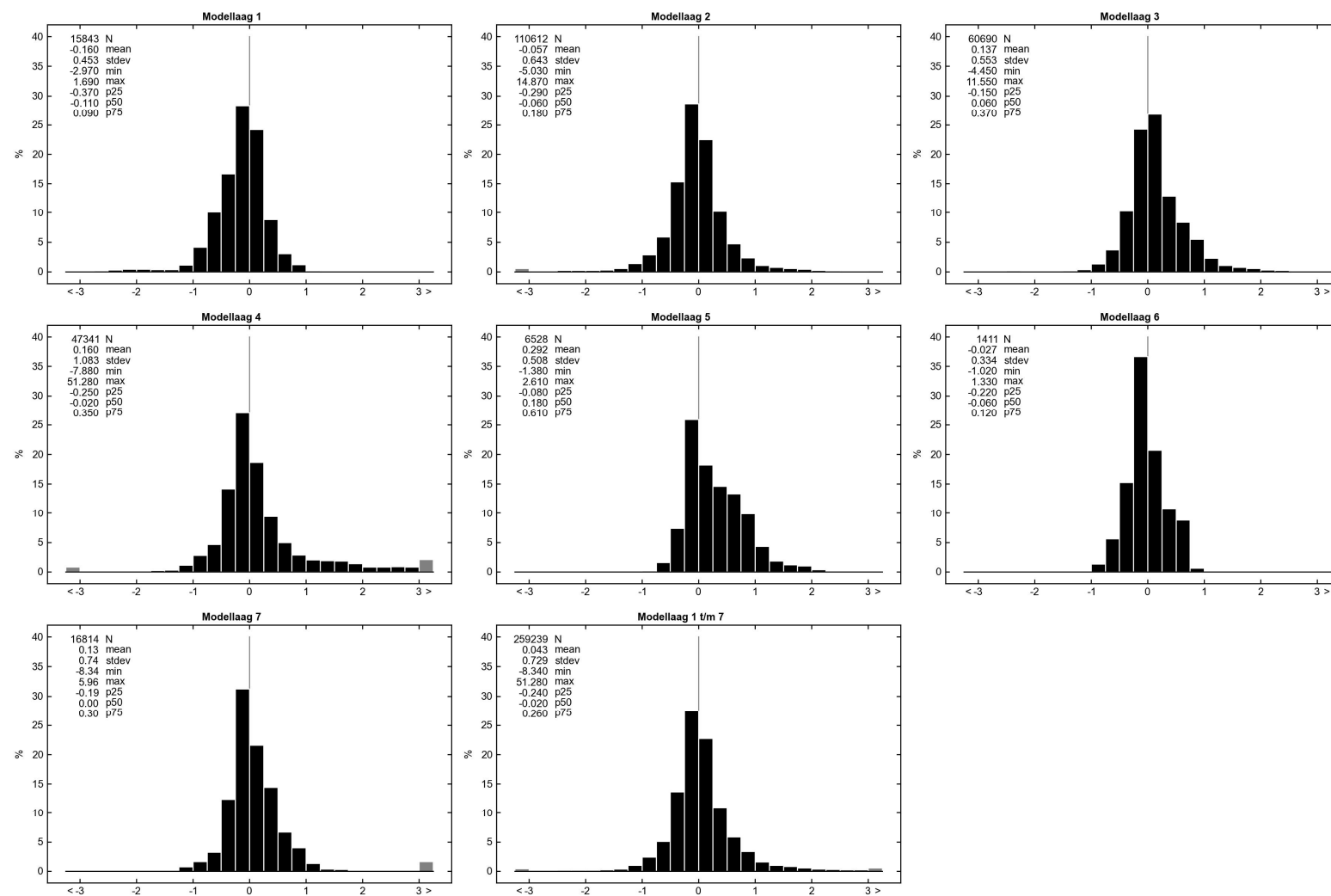


Figuur A.2 Aanpassingsfactoren transmissiviteiten laag1 t/m 7

B Histogrammen van de residuen van de stijghoogten voor en na de ijking

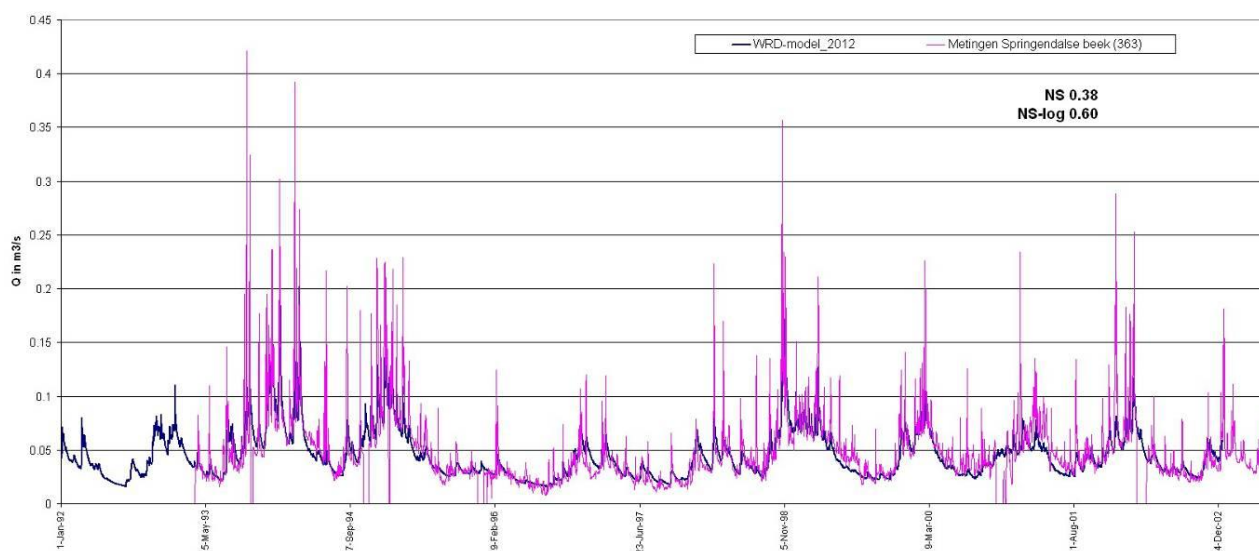


Tabel B.1 Histogrammen van de residuen van de stijghoogten voor de stationaire ijking (rood) en na de stationaire ijking (groen)

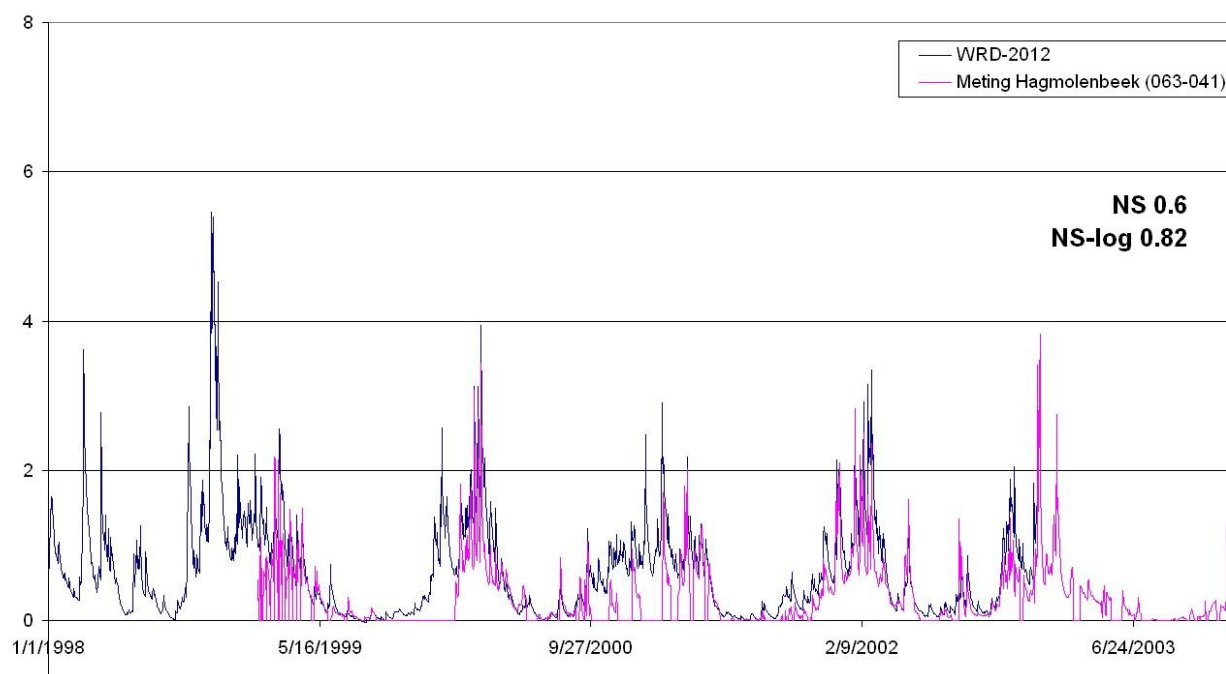


Tabel B.2 Histogrammen van de residuen van de stijghoogten na de niet stationaire ijking

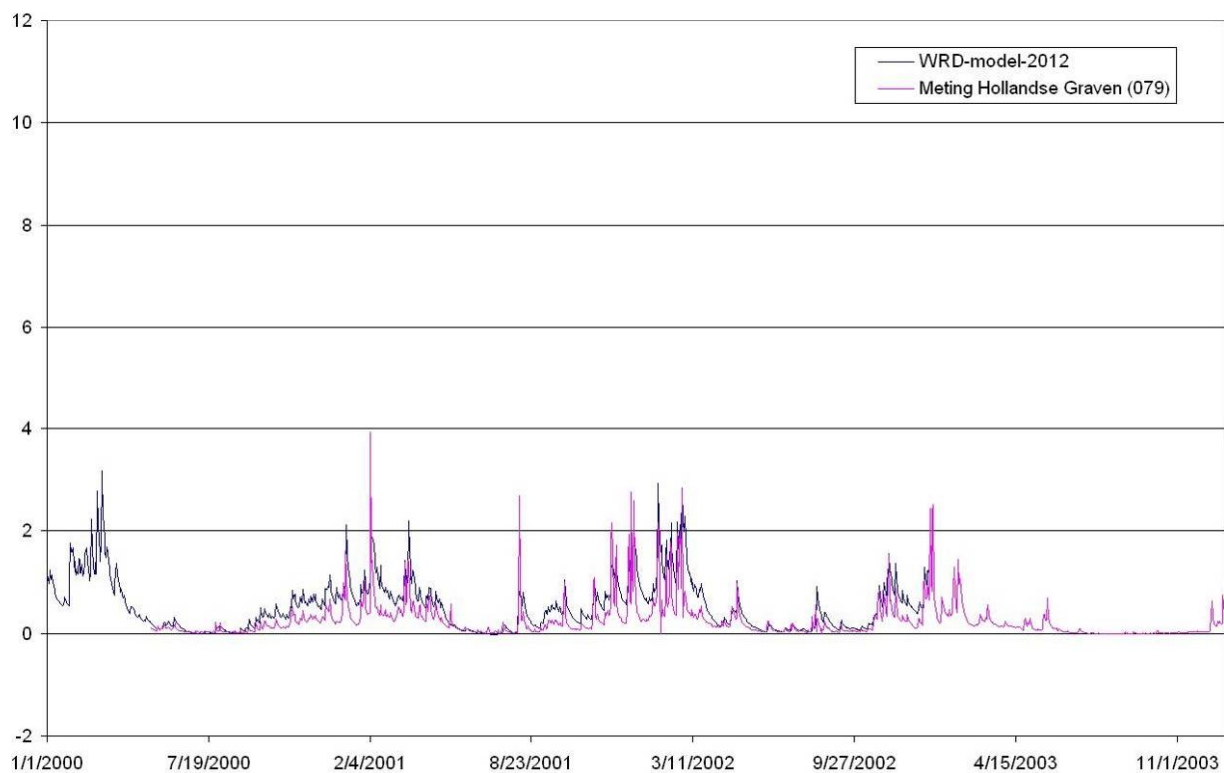
C Afvoeren stroomgebieden



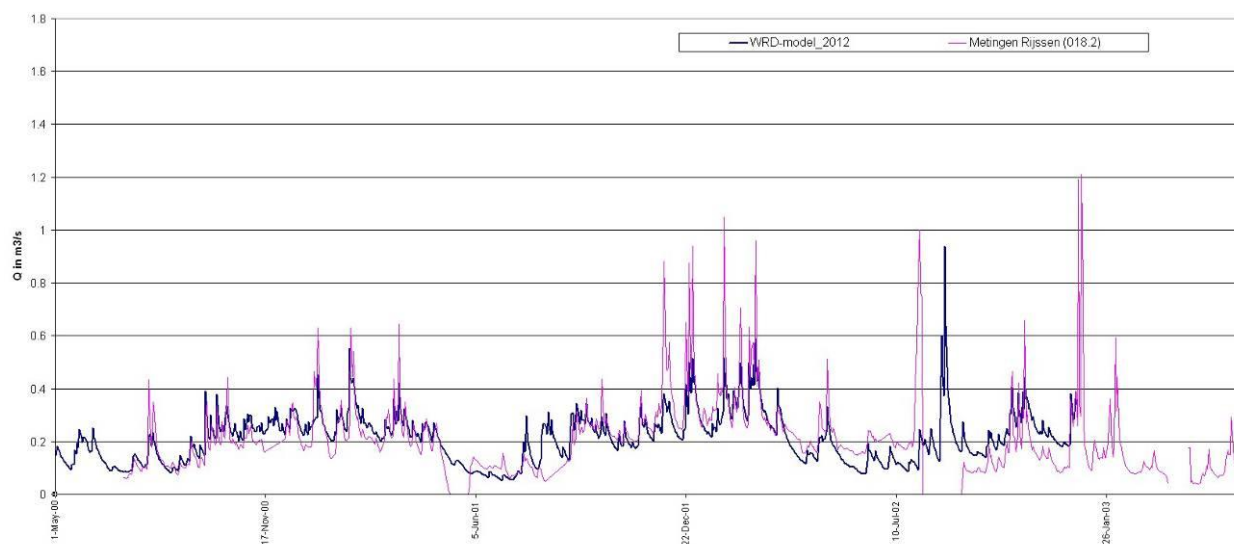
Figuur C.1 Afvoer Springendalsebeek



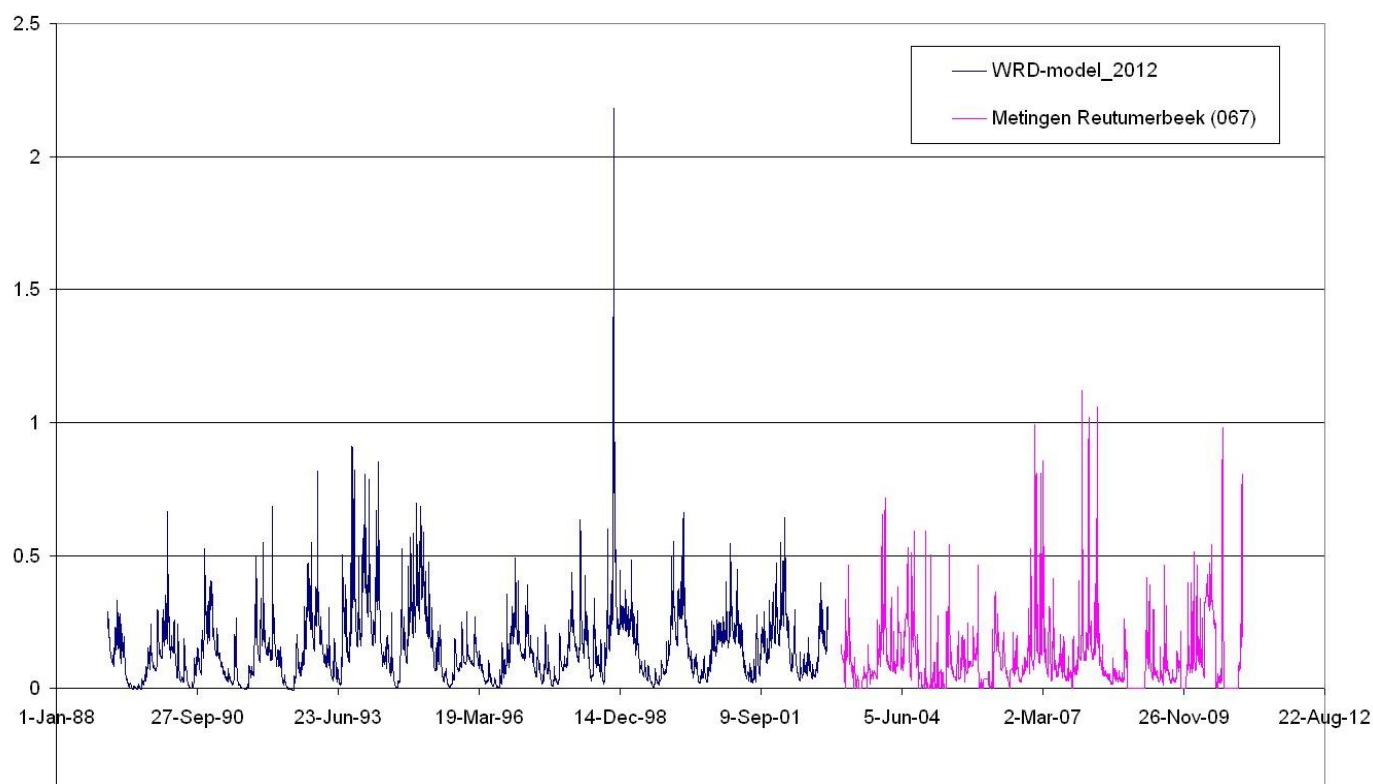
Figuur C.2 Afvoer Hagmolenbeek



Figuur C.3 Afvoer Hollandse Graven

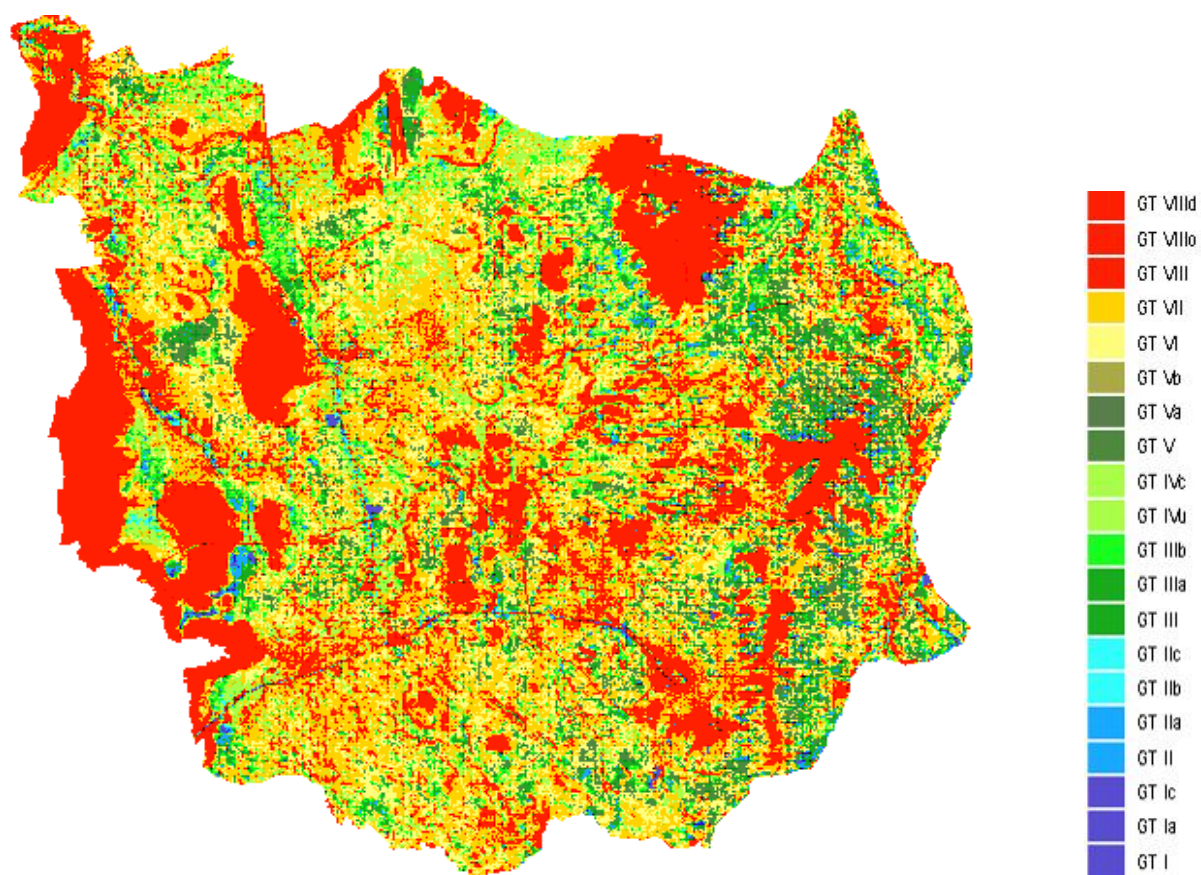


Figuur C.4 Afvoer Rijssen

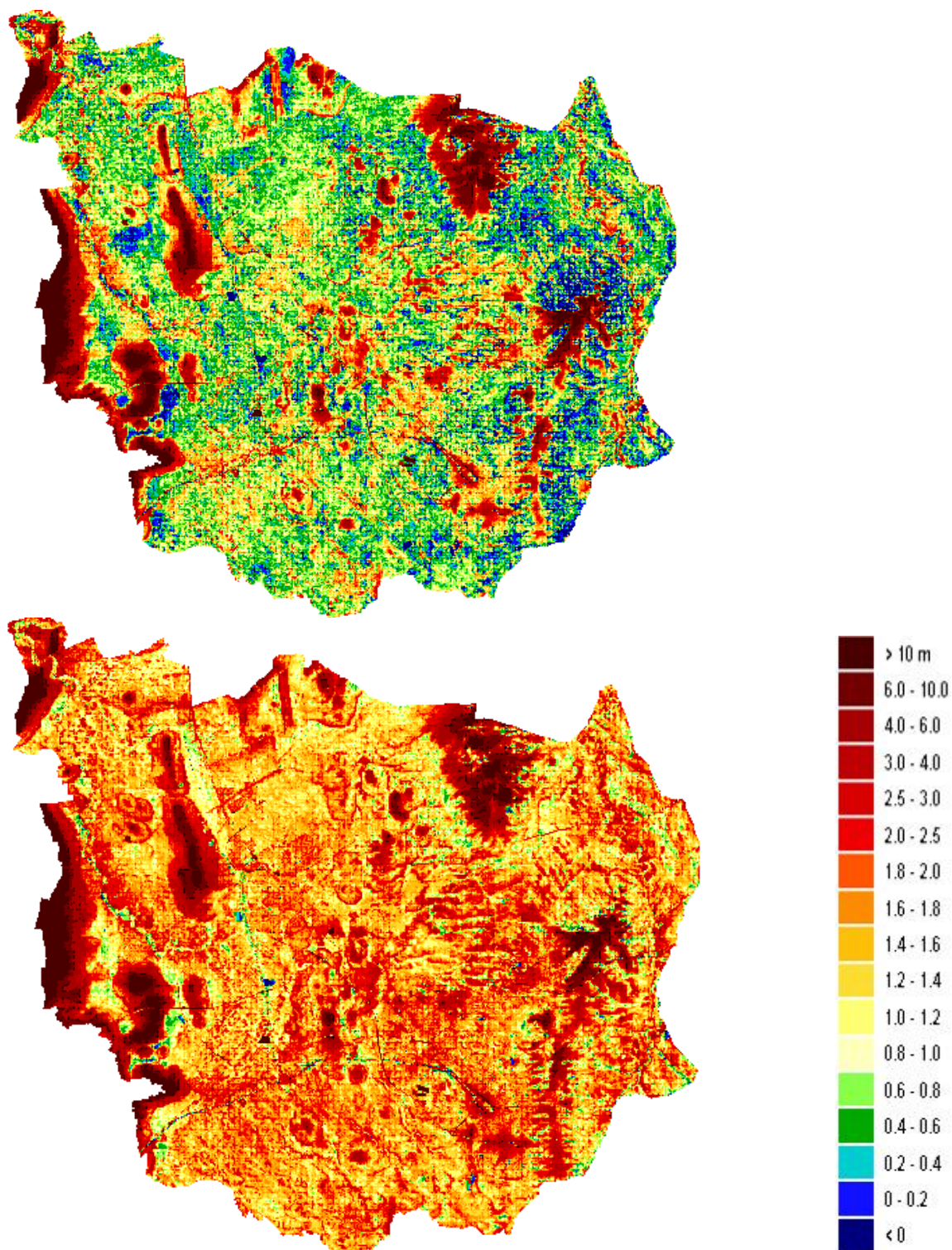


Figuur C.5 Afvoer Reutemerbeek

D Grondwatertrappen, GHG en GLG



Figuur D.1 Grondwatertrappen



Figuur D.2 GHG en GLG van WRD-2012-model van 1990-2002

