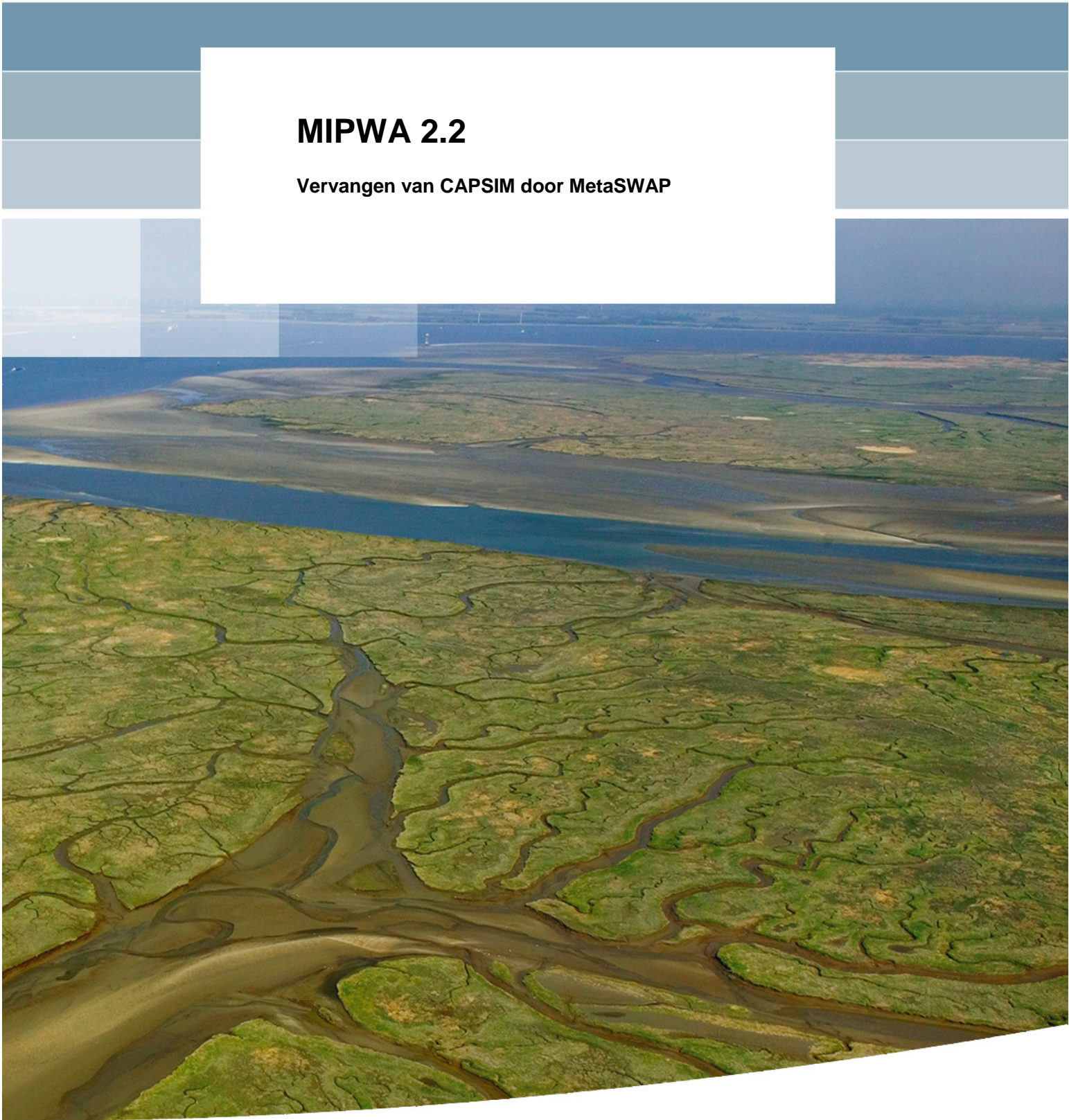


MIPWA 2.2

Vervangen van CAPSIM door MetaSWAP



MIPWA 2.2

Vervangen van CAPSIM door MetaSWAP

J.C. Hoogewoud
A.A. Veldhuizen
J.C. Hunink
P.E.V. van Walsum

1201867-001

Titel
MIPWA 2.2

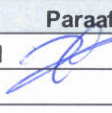
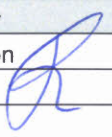

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
MIPWA consortium	1201867-001	1201867-001-BGS-0001	86

Trefwoorden

Grondwatermodel, schijnspiegel, MIPWA, model, MODFLOW, MetaSWAP, onverzadigde zone

Samenvatting

MIPWA 2.1 gebruikt het onverzadigde zone model CAPSIM van Alterra. Dit model wordt niet meer ondersteund. De opvolger is het model MetaSWAP. Dit model geeft een betere conceptuele beschrijving van de onverzadigde zone, een deel van de uitvoer is makkelijk te bekijken in iMOD en geïnterpoleerde meteorologische data van het KNMI is reeds geschikt als invoer. De MIPWA groep heeft Deltares en Alterra gevraagd CAPSIM te vervangen door MetaSWAP. Het bleek dat het schijnspiegel concept in CAPSIM (onverwacht) niet zonder meer overgenomen kon worden in MetaSWAP. Er is veel tijd en energie gaan zitten in het structureel oplossen van dit probleem. Tijdens het project is ook een groot deel van de schematisatie van de onverzadigde zone geactualiseerd. De implementatie van MetaSWAP, het aangepaste schijnspiegelconcept en de geactualiseerde schematisatie is in 5 deelmodellen getest. Uit de analyse blijkt dat MetaSWAP in MIPWA naar verwachting presteert. De berekende grondwateraanvulling en verdamping zijn plausibel en bijvoorbeeld voor diepe zandgronden realistischer dan CAPSIM. Verder wordt aanbevolen om de samenhang van de modellering van klein openwater in MetaSWAP en MODFLOW nader nader op elkaar af te stemmen, omdat met de huidige schematisatie kleine inconsistenties kunnen optreden. De algemene conclusie is dat in dit project CAPSIM succesvol vervangen is door MetaSWAP.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	juli. 2015	J.C. Hoogewoud		T. Kroon		H. Duel	
		A.A. Veldhuizen					
		J.C. Hunink					
		P.E.V. van Walsum					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Doel en afbakening	1
1.3 Leeswijzer	1
2 Beschrijving MetaSWAP	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Concepten	4
2.3 Parameters en waterbalansen	6
2.4 Schijnspiegels en MetaSWAP	12
2.4.1 Slecht doorlatende laag "diep" onder maaiveld	12
2.4.2 Slecht doorlatende laag "dicht" bij maaiveld.	12
2.5 Verschillen met CAPSIM	13
2.6 Conclusies	14
3 Schematisatie MetaSWAP	15
3.1 Inleiding	15
3.2 Schematisatie van MetaSWAP	15
3.3 Aanpassingen t.o.v. MIPWA 2.1	15
Hieronder zijn de aanpassingen in de schematisatie ten opzichte van MIPWA 2.1 weergegeven. De rest van de schematisatie is niet gewijzigd.	15
3.3.1 Bodemtypes	15
3.3.2 Landgebruik	16
3.3.3 Wortelzonedikte	19
3.3.4 Meteorologie	21
4 Inpassen Regge en Dinkel model	25
5 Testberekeningen	27
5.1 Inleiding	27
5.2 Analyse deelgebieden	27
5.2.1 Neerslag voor MetaSWAP	27
5.2.2 Actuele verdamping	28
5.2.3 Berekende grondwateraanvulling	29
5.2.4 Verdamping en grondwateraanvulling op de heuvelrug	30
5.2.5 GXG's	31
5.2.6 Grondwaterstand verloop in de tijd	32
5.2.7 Waterbalans MetaSWAP	33
5.3 Keileem en schijnspiegels	34
5.4 Conclusie	36
6 Test resultaten heel MIPWA	37
6.1 Inleiding	37
6.2 Grondwaterstanden	37
6.3 Verdamping	39
6.4 Grondwateraanvulling	40
6.5 Conclusie	41

7 Conclusies en aanbevelingen	43
7.1 Conclusies	43
7.2 Aanbevelingen	43
8 Literatuur	45

Bijlage(n)

A Achtergronden bij simulatie van ondiepe schijngrondwaterspiegels met MetaSWAP in MIPWA	A-1
B Figuren deelgebieden	B-1
B.1 Overzicht ligging testmodellen	B-1
B.2 Deelgebied 1	B-4
B.2.1 Figuren Soil Water Atmosphere Plant (SWAP)	B-4
B.2.2 Figuren grondwater	B-8
B.3 Deelgebied 2	B-11
B.3.1 Figuren Soil Water Atmosphere Plant (SWAP)	B-11
B.3.2 Figuren grondwater	B-16
B.4 Deelgebied 3	B-18
B.4.1 Figuren Soil Water Atmosphere Plant (SWAP)	B-18
B.4.2 Figuren grondwater	B-23
B.5 Testmodel 4	B-25
B.5.1 Figuren Soil Water Atmosphere Plant (SWAP)	B-25
B.5.2 Figuren Grondwater	B-30
C Veranderingen in de ondergrond	C-1
C.1 Veranderingen in het doorlaatvermogen	C-1
C.2 Veranderingen in de weerstand (C)	C-4

Lijst met Figuren

Figuur 2.1	Schematische weergave van de SVAT-processen in MetaSWAP (blok 1 t/m 4) en de koppeling met de verzadigde ondergrond (onderste blok).....	4
Figuur 2.2	De waterbalans van MetaSWAP in 4 componenten.....	7
Figuur 2.3	De waterbalans van een gecombineerde MODFLOW-MetaSWAP kolom voor de freatische laag	8
Figuur 2.4	Het grensvlak tussen MODFLOW en MetaSWAP	10
Figuur 2.5	Het grensvlak tussen verzadigd en onverzadigd	11
Figuur 2.6	Door MetaSWAP berekende grondwaterstand in de tijd met (Hgw_pwt) en zonder (Hgw) schijnspiegel	12
Figuur 2.7	Conceptuele voorstelling van de waterbalans van de wortelzone.....	14
Figuur 3.1	Verandering in landgebruik in MIPWA 2.2 (grijs = geen verandering, blauw= verandering)	19
Figuur 3.2	Vershil in dikte wortelzone (cm) tussen MIPWA 2.2 en MIPWA 2.1. Een positief getal (blauw) betekent dat de wortelzone in MIPWA 2,2 dikker is.....	21
Figuur 3.3	Gemiddelde jaarlijkse neerslagsom in CAPSIM voor de periode 1993-2001....	22
Figuur 3.4	Gemiddelde jaarlijkse neerslagsom in MetaSWAP voor de periode 1993-2001	22
Figuur 3.5	Gemiddelde jaarlijkse referentieverdamping, links MIPWA 2.1 (CAPSIM) en rechts MIPWA 2.2 (MetaSWAP)	23
Figuur 4.1	KD [m ² /d] van modellaag 2, links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2 met inpassing Regge en Dinkelmodel.....	25
Figuur 5.1	Overzicht deelgebieden.....	27
Figuur 5.2	Deelgebied 2: Neerslagterm voor het onverzadigde zonemodel in MIPWA 2.1 (links) en MIPWA 2.2 (rechts) en verschil in neerslag (onder)	28
Figuur 5.3	Deelgebied 2: Verschil (onder) in berekende actuele verdamping (ETact) tussen MIPWA 2.1 (links) en 2.2 (rechts)	29
Figuur 5.4	Deelgebied 2: Verschil (onder) in berekende grondwateraanvulling (1993-2001) tussen MIPWA 2.1 (links) en 2.2 (rechts)	30
Figuur 5.5	Deelgebied 4: Verandering in ETact (links, rood = toename) en verandering flux naar verzadigd grondwater (rechts, rood = afname).....	30
Figuur 5.6	Deelgebied 3: Verschil in neerslag (links, blauw = toename) en verschil in flux naar verzadigd grondwater (rechts, blauw = toename)	31
Figuur 5.7	GHG MIPWA 2.1 (links), MIPWA 2.2 (midden), verschil GHG (rechts, blauw MIPWA 2.2 is natter, geel MIPWA 2.2 is droger) voor deelgebied 2.....	31
Figuur 5.8	GLG MIPWA 2.1 (links), 2.2(midden), verschil (rechts) voor deelgebied 2.....	32
Figuur 5.9	Dynamiek MIPWA 2.1 (links), 2.2 (midden), verschil (rechts) voor deelgebied 2	32

Figuur 5.10	Overzicht van ligging gepresenteerde locaties berekende grondwaterstandsreeksen.	32
Figuur 5.11,	Drie tijdreeksen van berekende grondwaterstanden van MIPWA 2.1(CAPSIM - oranje) en 2.2 (MetaSWAP - blauw); in groen is het maaiveld weergegeven; Peilbuizenlocatie: linksboven locatie 1, rechtsboven locatie 2 en linksonder locatie 6 (zie Figuur 5.1 voor de locaties).....	33
Figuur 5.12	Eenvoudige waterbalans voor een onverzadigde zone plot van MetaSWAP ...	34
Figuur 5.13	Boven, top van de keileem [m+ NAP]. Linksonder, ligging van het testgebied. Rechtsonder, ligging van waterlopen (donkerblauw) en keileem (lichtblauw) ...	35
Figuur 5.14	GLG [m] ten opzichte van bovenkant keileem en drainagemiddelen (links) en GHG [m] ten opzichte van bovenkant keileem en drainagemiddelen (rechts)...	36
Figuur 6.1	GLG MIPWA 2.2	37
Figuur 6.2	GHG MIPWA 2.2.....	38
Figuur 6.3	Aantal dagen met een schijnspiegel (grondwaterstand boven de keileem).....	39
Figuur 6.4	Verdamping 2.2 (mm/jaar periode 1992-2001)	40
Figuur 6.5	Berekende grondwateraanvulling MIPWA 2.2 (mm/jaar, periode 1992-2001) ..	41

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In MIPWA 2.1 wordt gerekend met CAPSIM dat een deel van de onverzadigde zone beschrijft. Deze code wordt niet meer ondersteund door Alterra. In plaats van CAPSIM is MetaSWAP ontwikkeld. MetaSWAP heeft een aantal voordelen:

- Waar CAPSIM alleen de wortelzone modelleert, beschrijft MetaSWAP de volledige onverzadigde zone.
- De ontwikkelingen in NHI en bij Alterra op het gebied van de onverzadigde zone kunnen worden gevolgd (denk aan landgebruik, verdamping, beregening, bodemtypes)
- Er kan gebruik worden gemaakt van de datalogistiek rondom MetaSWAP, bijvoorbeeld de mogelijkheid uitvoer te visualiseren met iMOD.
- Griddata voor neerslag en verdamping kan eenvoudig worden gebruikt
- MetaSWAP wordt doorontwikkeld en ondersteund door Alterra, CAPSIM wordt niet meer ondersteund en ontwikkeld.

Er is ook een aantal nadelen bekend van MetaSWAP, waarvan hieronder twee belangrijke worden genoemd.

- In zware kleigronden wordt de verdamping te veel gereduceerd en in sommige zandgronden juist te weinig. Dit knelpunt is op te lossen door meer bodems te onderscheiden.
- In MetaSWAP is op het ogenblik geen preferente stroming mogelijk. Gronden waar dit wel duidelijk een rol speelt zullen (qua grondwaterstand) vertraagd reageren op neerslag.

De MIPWA groep heeft besloten over te stappen naar MetaSWAP. In deze rapportage is deze overstap beschreven.

1.2 Doel en afbakening

Het hoofddoel van deze studie is om CAPSIM te vervangen door MetaSWAP en daarmee MIPWA versie 2.2 op te leveren. De schematisatie van CAPSIM kan alleen met een aanzienlijke inspanning één op één over genomen worden in MetaSWAP. MetaSWAP heeft andere dataformats nodig dan CAPSIM. Daarom is een deel van de schematisatie vervangen, te weten: meteorologie, worteldieptes, landgebruik, bodemtype. Hiervoor is zoveel mogelijk aangesloten op de NHI 3.0 schematisatie van MetaSWAP, die bovendien meer up to date is dan de gebruikte schematisatie in CAPSIM van MIPWA 2.1.

Naast dit hoofddoel was een neven-doel om ook het in 2012 opgeleverde Regge en Dinkel model op te nemen in deze versie van MIPWA. Het MIPWA modelgebied wordt daarom uitgebreid en de schematisatie van Regge en Dinkel is overgenomen.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt uitleg gegeven over de achtergronden van MetaSWAP. Ook wordt ingegaan op de verschillen tussen MetaSWAP en CAPSIM. De veranderingen in de schematisatie worden beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 beschrijft kort de inpassing van het Regge en Dinkel model in MIPWA 2.2. Vervolgens wordt in hoofdstuk 5 voor vijf deelgebieden geanalyseerd en getest of verschillen tussen CAPSIM en MetaSWAP verklaarbaar zijn en de bestaande modelconcepten (specifiek de schijnspiegel module) blijven werken. In hoofdstuk 6 worden de berekeningsresultaten voor het hele MIPWA gebied

gepresenteerd. De rapportage wordt afgesloten met de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 7.

2 Beschrijving MetaSWAP

2.1 Inleiding

MetaSWAP is een modelcode voor de simulatie van processen in een SVAT-kolom, waarbij SVAT staat voor Soil Vegetation Atmosphere Transfer (Van Walsum en Groenendijk, 2008). Het model simuleert de processen vanaf de grondwaterspiegel tot en met de plant-atmosfeer interacties. Het is een zogenaamd „metamodel“ van SWAP (Kroes et al., 2008). De modelcode MetaSWAP is ontwikkeld om SWAP te vervangen bij het grootschalig doorrekenen van bodem-plant-atmosfeer kolommen die gekoppeld zijn aan geïntegreerde gebiedsmodellen van grondwater- en oppervlaktewater. Het vervangen van SWAP heeft de volgende redenen:

- het reduceren van de rekentijd;
- het beheersbaar maken van de gegevensstromen.

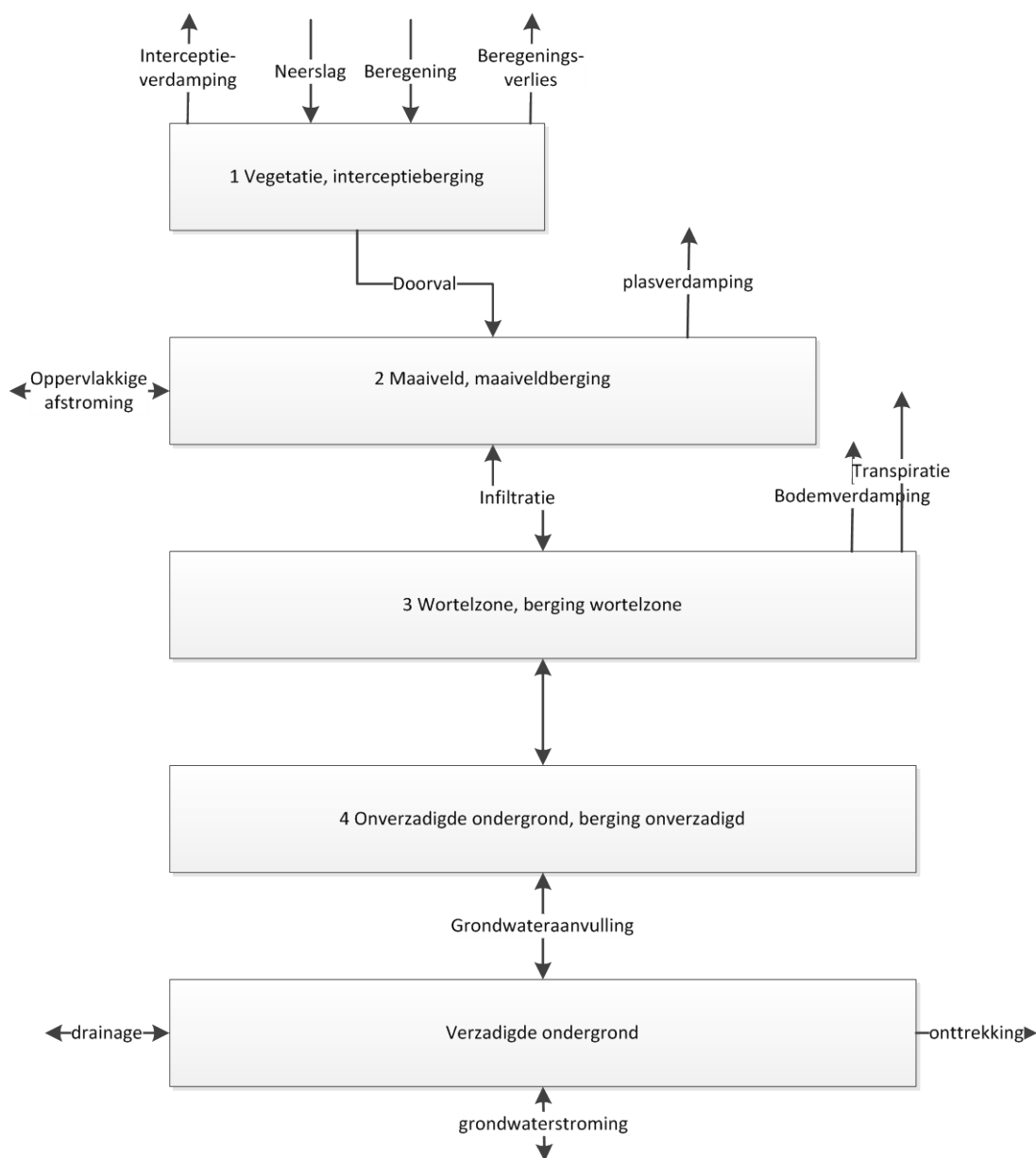
Het meta-concept is gebaseerd op een vereenvoudigde oplossing van de niet-lineaire partiële differentiaalvergelijking voor het beschrijven van bodemfysische processen, de zogenaamde Richards-vergelijking. Deze vergelijking wordt vervangen door twee „gewone“ differentiaalvergelijkingen; één voor de procesbeschrijving en één voor de waterbalans. Om het informatieverlies dat bij die vereenvoudiging optreedt te compenseren is het nodig om MetaSWAP te kalibreren en te valideren op SWAP (Van Walsum en Veldhuizen, 2011a).

MetaSWAP moet niet worden gezien als een totale vervanging van SWAP. Ten eerste is SWAP altijd nodig voor de kalibratie en toetsing van MetaSWAP. Ten tweede kan het gebruik van MetaSWAP een stap zijn in een analyse van „grof naar fijn“, waarbij de eerste verkenning van de gebiedsprocessen met MetaSWAP gebeurt. Door de rekenefficiëntie is het veel beter mogelijk om met MetaSWAP grootschalige gevoeligheidsanalyses van de bodemfysische parameters uit voeren dan met SWAP. In een vervolgstap kan SWAP desgewenst worden ingezet om de gebiedsprocessen meer gedetailleerd te modelleren (Van Walsum en Veldhuizen, 2011b).

Inmiddels wordt MetaSWAP al enige jaren in diverse modellen, waaronder het NHI, gebruikt. Het is in combinatie met grondwatermodellen de opvolger van CAPSIM.

In de onderstaande figuur is schematisch weergegeven welk domein MetaSWAP beschrijft. MetaSWAP legt de SVAT link vanuit het grondwater naar de atmosfeer, rekening houdend met de bodem en vegetatie. Binnen MetaSWAP houden we rekening met de verschillende subdomeinen die we expliciet in het model hebben verwerkt. Zo kunnen we regendruppels volgen vanuit de atmosfeer via de vegetatie en het maaiveld naar de wortelzone, de onverzadigde ondergrond en het grondwater (en vice-versa).

MetaSWAP is conceptueel een onderdeel van het grondwatersysteem, en beschrijft het onverzadigde deel. Het grensvlak tussen MODFLOW en MetaSWAP is de freatische grondwaterstand; als de freatische grondwaterstand van plaats verandert, verandert ook het domein van zowel MODFLOW als MetaSWAP,



Figuur 2.1 Schematische weergave van de SVAT-processen in MetaSWAP (blok 1 t/m 4) en de koppeling met de verzadigde ondergrond (onderste blok)

Een nadere toelichting van deze figuur en de relatie MODFLOW-MetaSWAP is te vinden in paragraaf 2.3. In paragraaf 2.2 worden de concepten van MetaSWAP toegelicht. In 2.4 wordt het schijnspiegelconcept toegelicht dat speciaal voor dit project is ontwikkeld. In 2.5 worden de verschillen tussen CAPSIM en MetaSWAP uiteengezet. Tenslotte volgen in 2.6 samenvattende conclusies.

2.2 Concepten

De theoretische onderbouwing van MetaSWAP (versie V7.2.0) wordt gegeven in twee aparte hoofdstukken van Alterra Rapport 913.1:

- paragraaf 2 over de simulatie van 'plant-atmosfeer interacties';

- paragraaf 3 over de simulatie van het bodemwater, inclusief de koppeling aan het grondwater.

De simulatie van het bodemwater is ook beschreven in Van Walsum en Groenendijk (2006, zie Bijlage 4). Dit betreft een korte beschrijving van het numerieke reken-schema en de koppeling aan MODFLOW. De wetenschappelijke onderbouwing is gegeven in Van Walsum en Groenendijk (2008). In een artikel over SIMGRO (Van Walsum en Veldhuizen, 2011a) wordt uiteengezet waarom de koppeling MODFLOW-MetaSWAP een 'semi-impliciete' rekenschema heeft en niet een 'expliciete'. In het onderstaande wordt met name stilgestaan bij de relatie met het 'moedermodel' SWAP. Voor een gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar het genoemde rapport.

Het conceptuele model van de bodemwatersimulatie in MetaSWAP wordt beschreven in paragraaf 3.3 van Alterra Rapport 913.1 (van Walsum et al, 2012). Zowel SWAP als MetaSWAP hebben als basis een oplossingschema voor de Richards-vergelijking, te weten een niet-lineaire partiële differentiaalvergelijking voor drukhoogte, vochtgehalte en fluxen. Het essentiële verschil met SWAP is dat in MetaSWAP de partiële differentiaalvergelijking van Richards niet in één enkel rekenschema opgelost, maar in twee deelstappen (Van Walsum en Veldhuizen, 2011b).

Ten behoeve van MetaSWAP wordt de Richards-vergelijking in SWAP eerst in stationaire vorm opgelost, als een 'gewone' differentiaalvergelijking. Dat wordt gedaan voor een groot aantal boven- en onderrandvoorwaarden: de neerslag/verdamping wordt gevarieerd aan de bovenrand, de grondwaterstand aan de onderrand. De resultaten worden opgeslagen in een database die tijdens een run door MetaSWAP wordt geconsulteerd en gebruikt bij het oplossen van een 'gewone' differentiaalvergelijking voor de verandering van het watergehalte in de tijd. Dit type model wordt ook wel quasi steady-state genoemd, omdat het stationaire profielen gebruikt voor dynamische simulaties (Van Walsum en Veldhuizen, 2011b).

Een splitsing van de partiële differentiaalvergelijking in twee gewone vergelijkingen is onmogelijk zonder het doen van speciale aannamen: het is namelijk onmogelijk om van de ene steady state naar de andere te gaan zonder dat er een verschil is tussen fluxen aan de boven- en aan de onderkant van de verticale kolom. Dit probleem is als volgt opgelost: voor iedere laag kan het model een ander stationair profiel kiezen; de profielsegmenten hoeven niet op elkaar aan te sluiten. Op een verfijndere schaal is dat ook in SWAP het geval tussen de compartimenten (Van Walsum en Veldhuizen, 2011b).

Laag 1 van MetaSWAP is de wortelzone, laag 2 is een laag waarvan wordt aangenomen dat de drukhoogte altijd wordt 'meegetrokken' door de wortelzone. Dit wordt ook wel de niet-stationaire capillaire zone genoemd. In deze laag treden opwaarts gerichte fluxen op die niet afhankelijk zijn van de diepte van de grondwaterstand. Het is nodig om de dikte van 'laag 2' te kijken op het SWAP model. De aanname in MetaSWAP ten aanzien van laag 2 maakt het mogelijk om ook niet-stationaire effecten in de capillaire opstijging te simuleren, waarbij waarden worden berekend die groter zijn dan de opstijging vanuit het grondwater in een puur stationaire situatie. Hierdoor is MetaSWAP in staat om de waterbalans van hangwaterprofielen met diepe grondwaterstanden adequaat te modelleren (Van Walsum en Veldhuizen, 2011b).

De modellering van de plant-atmosfeer interacties komt overeen met de modellering in SWAP (Kroes et al., 2009), met een aangepast concept voor de interceptieverdamping. In een onderlinge werkgroep SWAP-MetaSWAP is afgesproken om gebruik te maken van een methode waarbij een gesloten balans wordt gesimuleerd van het interceptiereservoir, en

waarbij niet op voorhand wordt aangenomen dat het reservoir weer geheel leeg wordt aan het einde van een dag (zoals in het oorspronkelijke SWAP-concept). Deze aan de literatuur ontleende methode is beschreven in Alterra Rapport 913.1. De in MetaSWAP gebruikte parametrisering is getoetst aan beschikbare kennis over de orde van grootte van de gesimuleerde interceptieverdamping.

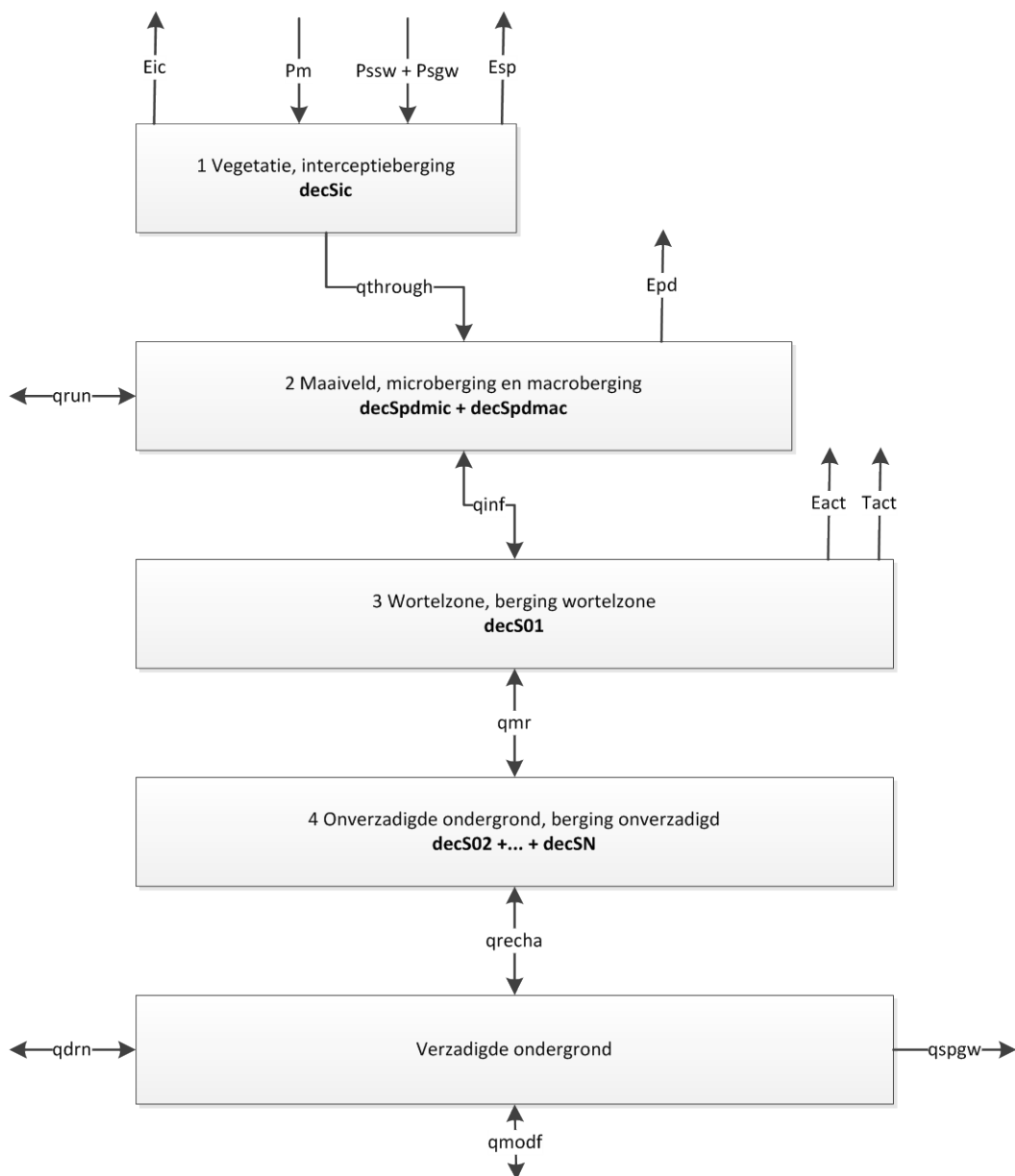
Voor de bodemverdamping wordt in MetaSWAP dezelfde methode gebruikt als in SWAP, de zogenaamde Boesten-methode (Boesten en Stroosnijder, 1986). Deze methode is ooit bedacht omdat de bodemverdamping en het vocht- en damptransport net onder het maaiveld zeer moeilijk te modelleren zijn. De methode bevat een parameter die op basis van kalibratie is bepaald. Een standaardwaarde wordt gebruikt voor alle bodemtypen. De oorspronkelijke rekenmethode staat helemaal los van de bodemvochtsimulatie in SWAP en MetaSWAP. Echter, in SWAP wordt een verdere reductie van de actuele verdamping toegepast indien de doorlatendheid van de toplaag zeer gering wordt. Omdat dit effect niet direct in MetaSWAP kan worden gesimuleerd is een extra kalibratieslag gemaakt, waarbij de Boesten parameter is verlaagd ten opzicht van de standaardwaarde die in SWAP wordt gebruikt (Van Walsum en Veldhuizen, 2011b).

2.3 Parameters en waterbalansen

De waterbalans van MetaSWAP kan worden onderverdeeld in 4 componenten (zie Figuur 2):

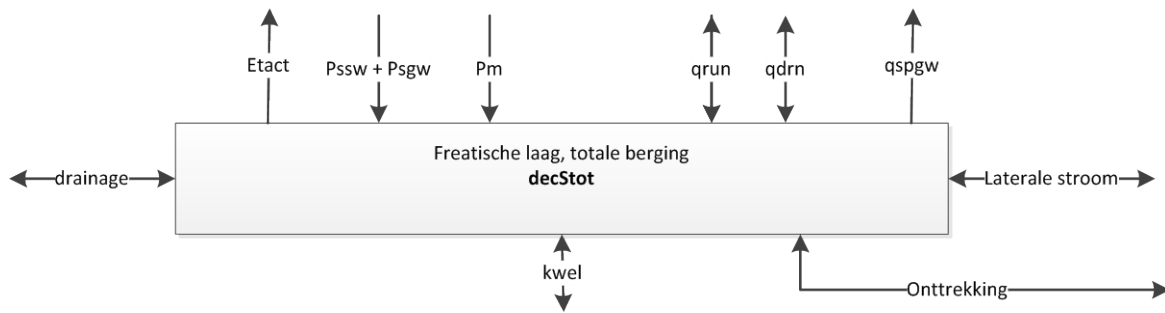
1. De vegetatie
2. Het maaiveld
3. De wortelzone
4. De ondergrond

Per compartiment kan een waterbalans worden opgesteld met de termen die in de figuur zijn weergegeven, waarbij voor ieder compartiment ook de verandering van de berging wordt bijgehouden.



Figuur 2.2 De waterbalans van MetaSWAP in 4 componenten

De waterbalans van de verzadigde ondergrond wordt, vanuit MetaSWAP perspectief gecombineerd door een MODFLOW-flux (q_{modf}). Deze flux is een optelling van de waterstromen die MODFLOW voor de eerste modellaag heeft berekend. De waterbalans kan ook worden samengevoegd tot 1 waterbalans (Figuur 3) van de freatische laag, waarin de MODFLOW-flux is onderverdeeld in de beschikbare termen: drainage, kwel, laterale stroming en onttrekking.



Figuur 2.3 De waterbalans van een gecombineerde MODFLOW-MetaSWAP kolom voor de freatische laag

De gebruikte symbolen zijn in de onderstaande tabel weergegeven:

Tabel 2.1 Symbolen/parameters die in MetaSWAP uitgevoerd kunnen worden, of uit de uitvoer kunnen worden afgeleid.

Key	unit	Item	sign
decSic	m3/m2	Afname van interceptiebergiging	+/-
decSpdmac	m3/m2	Afname van macro-bergiging op maaiveld	+/-
decSpdmic	m3/m2	Afname van micro-bergiging op maaiveld	+/-
decS1	m3/m2	Afname van bergiging in de wortelzone (box 1)	+/-
..	m3/m2	..	+/-
decSN	m3/m2	Afname van bergiging i/d ondergrond (box N)	+/-
Pm	m3/m2	Neerslag	≥0.
Psgw	m3/m2	Beregening uit groundwater	≥0.
Pssw	m3/m2	Beregening uit oppervlaktewater	≥0.
Esp	m3/m2	Verdampingsverlies bij beregening	≤0.
Eic	m3/m2	Interceptieverdamping	≤0.
Epd	m3/m2	Verdamping van water op maaiveld	≤0.
Ebs	m3/m2	Kalegrondverdamping	≤0.
Tact	m3/m2	Gewasverdamping	≤0.
Qrun	m3/m2	Runon (MetaSWAP)	+/-
Qdr	m3/m2	Infiltratie vanuit oppervlaktewater (MetaSWAP)	- =drn
Qspgw	m3/m2	Onttrekking van grondwater tbv beregening	≤0.
Qmodf	m3/m2	Som van de MODFLOW-balanstermen	+ =in
qunsa*	m3/m2	Som van de onverzadigde-balanstermen	+ =in
qsat*	m3/m2	Som van de verzadigde-balanstermen	+ =in
qrecha*	m3/m2	Recharge	+ =in
Vcr	m3/m2	Waterbalansfout	+/-
vcr_s*	m3/m2	Waterbalansfout boven maaiveld	+/-
vcr_r*	m3/m2	Waterbalansfout wortelzone	+/-
vcr_N*	m3/m2	Waterbalansfout ondergrond	+/-
Qsim	m3/m2	Som van de SIMGRO-balanstermen	+/-
qsimcorrmf	m3/m2	Correctieterm indien de grondwaterstand van MODFLOW afwijkt van die van MetaSWAP	+ /i
ETact	m3/m2	Evapotranspiratie	≤0.
qthrough*	m3/m2	Doorval van vegetatie naar bodem	+ =down
Qinf	m3/m2	Infiltratie in de bodem	+ =down
Qmr	m3/m2	Capillaire opstijging naar de wortelzone	+ =up
Sic	m3/m2	Interceptiebergiging	≥0.
Spdmac	m3/m2	'macro' bergiging op maaiveld	≥0.
Spdmic	m3/m2	'micro' bergiging op maaiveld	≥0.
S01	m3/m2	Bergiging in de wortelzone	≥0.
decStot	m3/m2	Afname van de bergiging in MetaSWAP	+/-
dHgw	m	Verandering van de grondwaterstand	+ =rise
sc1	-	Bergingscoefficient MetaSWAP	0.< ≤1
µsat*	-	Bergingscoefficient groundwater	0.< ≤1

* kan niet worden uitgevoerd door MetaSWAP

De waterbalans van het deelsysteem boven maaiveld (vegetatie+maaiveld) ziet er als volgt uit:

$$vcr_s = -[decSic + decSpdmac + decSpdmic + Pm + Psgw + Pssw + Eic + Epd + Esp + qrun - qinf]$$

De waterbalans van de wortelzone is:

$$vcr_r = -[qinf + decS1 + Ebs + Tact + qmr]$$

Als de grondwaterstand zich in box N bevindt, kan de waterbalans van de ondergrond worden weergegeven als:

$$vcr_N = -[qmr + (decS2 + \dots + decSN) + qdr + qspgw + qmodf]$$

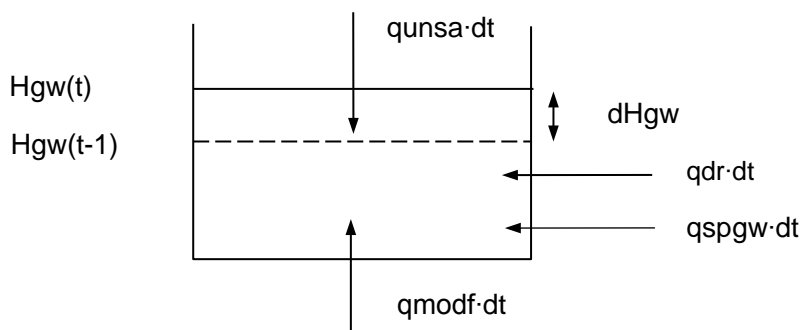
Samengesteld ziet de waterbalans er als volgt uit:

$$vcr = -[decSic + decSpdmac + decSpdmic + decS1 + decS2 + \dots + decSN + Pm + Ps + Eic + Epd + Ebs + Tact + Esp + qrun + qdr + qspgw + qmodf]$$

Als we de termen die staan voor bergingsverandering vervangen door $decStot$ en die voor de verdamping door $ETact$ dan ziet de vereenvoudigde balans er als volgt uit:

$$vcr = -[decStot + Pm + Psgw + Pssw + ETact + qrun + qdr + qspgw + qmodf]$$

Als we puur kijken naar de balans van het grondwater, dan moeten we ons realiseren dat de onverzadigde zone en de verzadigde zone een continuüm vormen. Een verhoging van de grondwaterstand heeft tot gevolg dat een deel van de onverzadigde zone wordt opgeslokt door de verzadigde zone (en andersom bij een verlaging). Daarbij is het zo dat de bergingscoëfficiënt niet constant is. Het is daarom noodzakelijk om de grondwateraanvulling te combineren met de gebruikte bergingscoëfficiënt. In onderstaande figuur is weergegeven hoe de waterbalanstermen hun invloed uitoefenen op de grondwaterstand.



Figuur 2.4 Het grensvlak tussen MODFLOW en MetaSWAP

In deze figuur is de term $qunsa$ een optelling van alle onverzadigde termen volgens:

$$qunsa = qinf + Ebs + Tact + decS1 + \dots + decSN$$

In veel gevallen is $qunsa$ gelijk aan de totale flux van MetaSWAP ($qsim$). Voor de volledigheid moeten we ook rekening houden met 3 additionele termen voor MetaSWAP-drainage (qdr), een onttrekkingsterm voor beregening ($qspgw$) en een correctieterm die nodig is om de

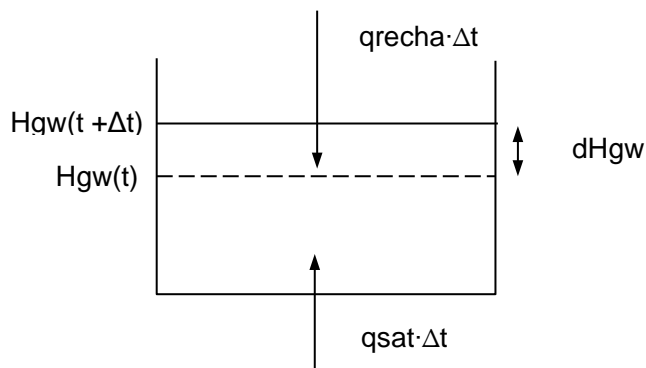
waterbalans te sluiten als MetaSWAP en MODFLOW een andere grondwaterstand berekenen ($q_{simcorr mf}$):

$$q_{sim} = q_{unsa} + q_{dr} + q_{spgw} + q_{simcorr mf}$$

De waterbalans van de combinatie MODFLOW-MetaSWAP kan dan als volgt worden weergegeven, waarbij de linkerterm staat voor de bergingsverandering:

$$sc1 \cdot dH_{gw} = (q_{modf} + q_{sim}) \cdot \Delta t$$

Beschouwen we de waterbalans vanuit het grondwater als systeemvolume dan introduceren we een zogenaamde grondwataanvullingsterm (q_{recha}) met als tegenhanger de totale verzadigde flux q_{sat} . Deze laatste is een optelling van de verzadigde termen van MODFLOW en MetaSWAP ($q_{sat} = q_{modf} + q_{dr} + q_{spgw}$). Dit kan als volgt worden gevisualiseerd:



Figuur 2.5 Het grensvlak tussen verzadigd en onverzadigd

Nu kunnen we de volgende waterbalans schrijven:

$$\mu_{sat} \cdot dH_{gw} = (q_{recha} + q_{sat}) \cdot \Delta t$$

Deze formule vertoont sterke gelijkenis met de voorlaatste formule. Het verschil is een andere verdeling van de fluxen en een andere term voor de bergingscoëfficiënt. De $sc1$ in de vorige formule is de bergingscoëfficiënt zoals die door MetaSWAP wordt berekend en aan MODFLOW wordt doorgegeven voor de betreffende tijdstap. De term μ_{sat} is een constante bergingscoëfficiënt waarmee in MODFLOW zou worden gerekend als MetaSWAP niet gekoppeld was. De term q_{recha} is hetzelfde als q_{unsa} (de optelling van de onverzadigde fluxen), maar dan gecorrigeerd voor het verschil in berging tussen $sc1 \cdot dH_{gw}$ en $\mu_{sat} \cdot dH_{gw}$ volgens:

$$q_{recha} \cdot \Delta t = q_{unsa} \cdot \Delta t + (\mu_{sat} - sc1) \cdot dH_{gw}$$

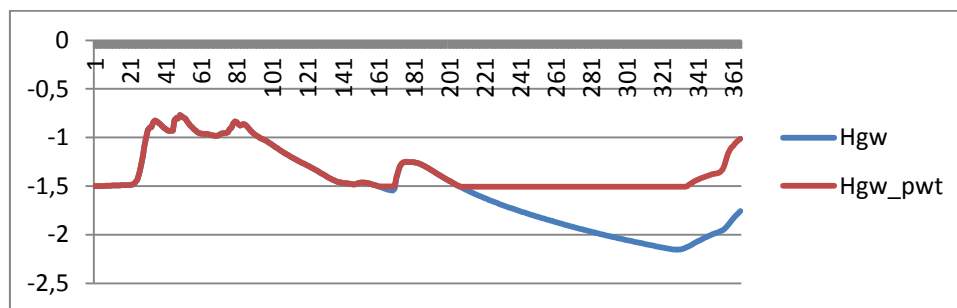
2.4 Schijnspiegels en MetaSWAP

Om modellering van schijnspiegels voor MIPWA mogelijk te houden is een schijnspiegelconcept in MetaSWAP geïntroduceerd dat vergelijkbaar is met het concept dat gebruikt werd voor de combinatie MODFLOW-CAPSIM. Dat houdt in dat de watervoerende laag boven de keileem “droog” kan vallen. Als de grondwaterstand onder de schijnspiegellaag zakt stopt de waterstroming en is er geen capillaire nalevering aan de onverzadigde zone.

2.4.1 Slecht doorlatende laag “diep” onder maaiveld

In het oplossingschema van MODFLOW wordt ervoor gezorgd dat, zodra de freatische grondwaterstand in de slecht-doorlatende laag komt, verdere wegzijging wordt verhinderd. In deze benadering is het tevens belangrijk dat, zodra de grondwaterstand daalt tot in de slecht-doorlatende laag de capillaire opstijging stagneert. Dit is gedaan door een programma aanpassing in MetaSWAP, waarbij de doorlatendheid voor opwaartse stroming nul wordt als de grondwaterstand uitzakt tot in de slecht-doorlatende laag. Dit zorgt ervoor dat de grondwaterstand niet verder wegzakt.

De aanpassing van MetaSWAP is getest door een som te draaien voor dezelfde situatie, met en zonder schijnspiegelmodule. In het voorbeeld ligt het drainageniveau op -1,0 meter en de slecht-doorlatende laag op -1,5 meter. In de zomerperiode (vanaf dag 200) is duidelijk zichtbaar dat conform verwachting de grondwaterstand niet verder wegzakt dan het niveau van de slecht-doorlatende laag (rode lijn). Rond dag 320 begint zich vervolgens weer een schijnspiegel op te bouwen. De grondwaterstand ligt dan boven de grondwaterstand van het model zonder schijnspiegel, wat bewijst dat er door de aanwezigheid van de slecht-doorlatende laag minder bergingsruimte is aan het eind van de zomer, doordat er minder water is verdampt.



Figuur 2.6 Door MetaSWAP berekende grondwaterstand in de tijd met (Hgw_pwt) en zonder (Hgw) schijnspiegel

2.4.2 Slecht doorlatende laag “dicht” bij maaiveld.

Het concept dat hierboven is beschreven werkt echter niet in alle gevallen. Als de slecht doorlatende laag erg ondiep zit, blijkt dat de capillaire opstijging niet voldoende wordt gereduceerd, waardoor de grondwaterstand tot in de slecht-doorlatende laag weg kan zakken.

Dit probleem is opgelost door bodems te definiëren met een ingebouwde slecht-doorlatende laag (zie 3.3.1), waardoor MetaSWAP automatisch het gewenste gedrag vertoont.

De grondwaterstand in een cel met een schijnspiegel kan door de volgende oorzaken alsnog onder de slecht doorlatende laag uitkomen:

- Er is een ontwateringsmiddel aanwezig dat reikt tot onder de schijnspiegellaag

- Er is laterale afstroming in de freatische laag
- Er is sprake van (een geringe) wegzijging
- Er is een plotselinge daling van de grondwaterstand als gevolg van zeer lage ontwateringsweerstand

2.5 Verschillen met CAPSIM

CAPSIM en MetaSWAP vervullen – vanuit een grondwatermodel geredeneerd - dezelfde rol. Er is een aantal verschillen, onder te verdelen naar conceptuele verschillen en logistieke verschillen.

Conceptueel verschilt MetaSWAP op een aantal punten van CAPSIM. De belangrijkste verschillen hebben betrekking op:

- het domein;
- de koppeling met MODFLOW;
- de oplossingsmethode.

Een belangrijk verschil tussen MetaSWAP en CAPSIM is dat MetaSWAP de volledige onverzadigde zone beschrijft, terwijl CAPSIM alleen een wortelzone kent. Dit betekent dat de grondwateraanvulling in CAPSIM gelijk is aan de flux aan de onderkant van de wortelzone, terwijl in MetaSWAP ook rekening gehouden wordt met stroming en berging in de onverzadigde zone onder de wortelzone.

Dit heeft ook gevolgen voor de koppeling met MODFLOW. De wortelzone van CAPSIM kan conceptueel gezien worden als een filter tussen het grondwatersysteem en de atmosfeer, dat ook tussen beide domeinen kan worden geplaatst. De relatie met MODFLOW vindt plaats via een flux (de grondwateraanvulling).

Zowel in CAPSIM als in MetaSWAP wordt gebruik gemaakt van tabellen die de relatie weergeven tussen grondwaterstand en berging. In beide gevallen zijn deze tabellen met een stationair model afgeleid, waarbij voor MetaSWAP een veel groter aantal situaties is doorgerekend: meer combinaties van wortelzonedikte, grondwaterstanden en bovenrandfluxen.

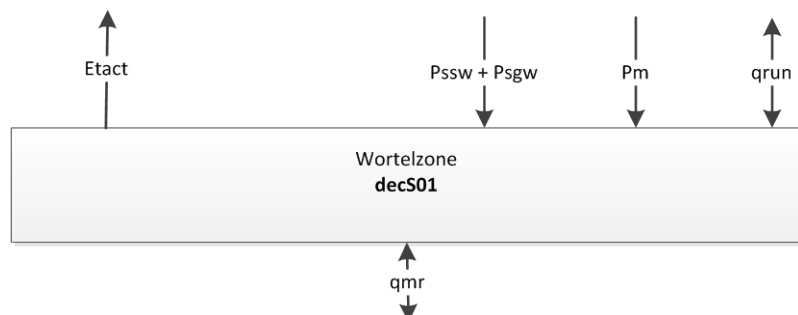
Behalve conceptuele verschillen, zijn er ook verschillen voor de gebruiker. Voor beide modellen is dezelfde ruimtelijk verdeelde invoer nodig (maaiveldhoogte, bodemtype, landgebruik, bewortelingsdiepte, beregening, neerslag en verdamping). Een belangrijk verschil is dat MetaSWAP de mogelijkheid biedt om neerslag en verdamping middels ascii grids in te voeren. Ook heeft MetaSWAP meer uitvoermogelijkheden, zowel wat betreft het aantal parameters als voor het type uitvoer: MetaSWAP genereert ook IDF's (zie voor een complete lijst met uitvoermogelijkheden de MetaSWAP-manual).

Vergelijking van MetaSWAP en CAPSIM

De waterbalansen van MetaSWAP en CAPSIM laten zich niet op alle punten eenduidig vergelijken. Vooral de wijze waarop de ondergrond wordt geschematiseerd is onvergelykbaar. We kunnen alleen de wortelzone beschouwen. De waterbalans voor de wortelzone ziet er als volgt uit:

$$vcr_r = -[Pm + Ps + decS1 + ETact + qmr + qrun]$$

In de onderstaande figuur is dit als volgt weergegeven:



Figuur 2.7 Conceptuele voorstelling van de waterbalans van de wortelzone

De term q_{mr} (capillaire opstijging of percolatie) is in het geval van CAPSIM tevens de grondwateraanvulling. In MetaSWAP is deze term de flux tussen de wortelzone en de onverzadigde ondergrond.

2.6 Conclusies

MetaSWAP en CAPSIM hebben voor grondwatermodellering dezelfde functie en gebruiken voor het grootste deel dezelfde basisbestanden. Bij de overgang van CAPSIM naar MetaSWAP verandert er voor de gebruiker dan ook niet veel.

Om functionaliteitsbehoud voor de MIPWA gebruikers te garanderen, is een schijngrondwaterspiegel-concept in MetaSWAP ontwikkeld, getest en geparаметriseerd.

Met MetaSWAP kan de gebruiker een volledig inzicht krijgen in de SVAT-processen (SVAT staat voor: Soil-Vegetation-Atmosphere-Transfer) en zijn alle parameters aanwezig om op verschillende onderdelen van de SVAT-kolom de waterbalans te bepalen (in bijvoorbeeld excel).

MetaSWAP en MODFLOW beschrijven samen de gehele bodemkolom en sluiten naadloos op elkaar aan. De freatische grondwaterstand is de natuurlijke scheidslijn. Er is geen overlap, en er is ook geen 'niemandslaan'.

MetaSWAP biedt de gebruiker de mogelijkheid om direct (run-time) IDF's uit te voeren voor waterbalansuitvoer en is daarmee gebruikersvriendelijker voor iMOD-gebruikers.

Neerslag en verdamping kunnen in MetaSWAP als grids met bijvoorbeeld dagsommen, of andere tijdseenheid, worden ingevoerd. Dit levert ten opzichte van de oorspronkelijke methode gebaseerd op Thiessenpolygonen ruimtelijk minder scherpe overgangen in vooral de neerslaginvoer.

3 Schematisatie MetaSWAP

3.1 Inleiding

In MIPWA 2.2 verzorgt MetaSWAP de afhandeling van de SVAT-processen voor onverharde en verharde oppervlakken. Dit gebeurt door voor iedere freatische MODFLOW-cel 0, 1 of 2 MetaSWAP-eenheden (SVATs) te schematiseren. Als een MODFLOW-cel aan de bovenkant volledig wordt bedekt door niet droogvallend oppervlaktewater, zoals bijvoorbeeld een Fries meer, is het niet zinvol om MetaSWAP in te zetten.

Als een deel van het oppervlak verhard is, wordt dit deel van het oppervlak met een aparte SVAT geschematiseerd. Het overige oppervlak wordt als onverhard geschematiseerd en geparametriseerd met kenmerken uit de beschikbare kaartlagen (zie 3.2).

3.2 Schematisatie van MetaSWAP

De invoer van MetaSWAP bestaat uit 3 delen:

- Modelonafhankelijke parameters
- Ruimte-afhankelijke parameters
- Ruimte- en tijdafhankelijke parameters

Een deel van de parameters is modelonafhankelijk, dat wil zeggen: ze zijn voor verschillende modellen in Nederland te gebruiken. Het betreft bodemparameters en gewasparameters. Deze parameters zijn voor MIPWA 2.2 gelijk aan die van NHI 3.0.

In MIPWA 2.2 worden de ruimte-afhankelijke parameters net als in MIPWA 2.1 in grid-vorm (25x25) opgeslagen. Het betreft hier kaarten voor: bodem, landgebruik, bewortelingsdiepte, beregening, maaiveld en oppervlakte-verdeling (onverhard, verhard, oppervlaktewater).

De parameters die in ruimte en tijd variëren betreffen de meteorologische parameters. Deze zijn in het kader van NHI ontwikkeld door het KNMI en in MIPWA 2.2 in GRID-formaat (1000x1000 meter) ingevoerd.

3.3 Aanpassingen t.o.v. MIPWA 2.1

Hieronder zijn de aanpassingen in de schematisatie ten opzichte van MIPWA 2.1 weergegeven. De rest van de schematisatie is niet gewijzigd.

3.3.1 Bodemtypes

In 2012 is ten behoeve van het NHI door Alterra een nieuwe bodemfysische kaart voor Nederland gemaakt: BOFEK2012 (Wösten et al, 2013). Deze nieuw ontwikkelde landelijke, fysische bodemschematisatie op basis van gemodelleerde, functionele kenmerken voor bodemprofielen heeft geleid tot 72 bodemfysische clusters voor heel Nederland op grond van relevante functionele kenmerken voor complete bodemprofielen. In MIPWA 2.1 werden nog de 21 bodems van de PAWN-schematisatie (Wösten, 1988) gebruikt.

Om keileem in de ondergrond adequaat te kunnen modelleren zijn extra bodemprofielen aangemaakt met een slecht doorlatende laag op de keileemdiepte. Om het aantal additionele bodems te beperken is ervoor gekozen 14 van de 72 bestaande bodemprofielen aan te passen. Voor al deze 14 bodemprofielen is de slecht doorlatende laag op 7 verschillende dieptes gelegd, waardoor het aantal bodemprofielen is uitgebreid met 98.

In de onderstaande tabel is aangegeven welke profielen zijn uitgekozen om als keileemprofiel te fungeren.

Bodemnummer	Omschrijving
1	Kleilig moerige bovengrond of kleidek op eutroof veen tot ten minste 120 cm-mv
2	Kleilig moerige bovengrond of kleidek op veen en zandondergrond binnen 120 cm-mv
5	Kleilig moerige bovengrond of kleidek op oligotroof veen veelal tot 120 cm-mv
12	Zavel of kleidek op moerige tussenlaag op zandondergrond
20	Zwak lemige (podzol) gronden
24	Zwak lemige zandgronden met een kleidek en keileem in de ondergrond
31	Lemige zandgronden met keileem in de ondergrond
35	Lemige zandgronden met cultuurdek en met keileem in de ondergrond
37	Grof zandige gronden met een kleidek
46	Zavel en lichte klei op veen
48	Zware klei op veen
51	Lichte zavel op zand
53	Zware zavel op zand
59	Lichte zavel (homogeen)

De gekozen discrete keileemdieptes zijn: 40, 50, 60, 80, 100, 120 en 150 cm-mv. Als de keileem zich dieper bevindt dan 150 cm-mv wordt het bodemprofiel niet aangepast.

3.3.2 Landgebruik

Landgebruik is zeer bepalend voor de grondwateraanvulling. Dit wordt niet alleen veroorzaakt door verschillende gewaseigenschappen, die de verdamping beïnvloeden, maar ook door het type landoppervlak: verhard, onverhard of oppervlaktewater. Dit onderscheid is dermate bepalend dat voor de schematisering van het landgebruik in MIPWA expliciet onderscheid wordt gemaakt in onverhard, verhard en oppervlaktewater. Per cel is daarom vastgelegd hoeveel m² verhard is, hoeveel m² onverhard en hoeveel m² oppervlaktewater is. Bij het oppervlak aan oppervlaktewater gaat het hier specifiek om het oppervlaktewater dat kunstmatig op peil wordt gehouden. Dit oppervlak wordt niet in MetaSWAP geschematiseerd. De overige oppervlaktewateren worden geschematiseerd als onverhard gebied, conform het LGN-landgebruik dat in de betreffende cel aanwezig is. Vele sloten en kleinere oppervlaktewateren worden dus niet expliciet als oppervlaktewater gemodelleerd. Alleen grotere oppervlaktewateren met landgebruik "water" zijn oppervlaktewater in MetaSWAP en zijn in feite zichtbaar grondwater. Afhankelijk van de gekozen maaiveldhoogte kan dit oppervlaktewater droogvallen en zich gaan gedragen als kale grond.

De basis voor de schematisering van het landgebruik in MIPWA 2.2 is LGN6 (Hazeu et al, 2010). Het LGN6 bestand onderscheidt 39 landgebruiktypen. Het is een grid bestand met een ruimtelijke resolutie van 25*25 meter met als referentiejaar 2007/ 2008. De kaart is voor het Nederlandse grondgebied overgenomen en vertaald naar de 19 NHI-klassen (Hoogewoud et al, 2013) volgens Tabel 3.1. In deze tabel is tevens aangegeven voor (deels) bebouwd gebied welke fractie als verhard wordt beschouwd. Het landgebruik in het Duitse deel is overgenomen van MIPWA 2.1 en dus niet aangepast.

Tabel 3.1 Vertaling van LGN-6 naar NHI-landgebruik en verhardingsfractie

LGN6	NHI	Beschrijving LGN6	Beschrijving NHI	Verhardingsfractie
1	1	Agrarische gras	Agrarische gras	0
2	2	Mais	Mais	0
3	3	Aardappelen	Aardappelen	0
4	4	Bieten	Bieten	0
5	5	Granen	Granen	0
6	6	Overige landbouwgewassen	Overige landbouwgewassen	0
8	8	Glastuinbouw	Glastuinbouw	0
9	9	Boomgaarden	Boomgaarden	0
10	10	Bloembollen	Bloembollen	0
11	11	Loofbos	Loofbos	0
12	12	Naaldbos	Naaldbos	0
16	16	Zoet water	Zoet water	0
17	17	Zout water	Zout water	0
18	18	Bebouwing in primair bebouwd gebied	Gras in bebouwd gebied	0.6
19	18	Bebouwing in secundair bebouwd gebied	Gras in bebouwd gebied	0.4
20	11	Bos in primair bebouwd gebied	Loofbos	0.4
22	11	Bos in secundair bebouwd gebied	Loofbos	0.2
23	18	Gras in primair bebouwd gebied	Gras in bebouwd gebied	0.4
24	15	Kale grond in bebouwd gebied	Kale grond	0.2
25	18	Hoofdwegen en spoorwegen	Gras in bebouwd gebied	0.8
26	18	Bebouwing in buitengebied	Gras in bebouwd gebied	0.4
28	18	Gras in secundair bebouwd gebied	Gras in bebouwd gebied	0.2
30	13	Kwelders	Natte natuur	0
31	15	Open zand in kustgebied	Kale grond	0
32	14	Duinen met een lage vegetatie	Droge natuur	0
33	14	Duinen met een hoge vegetatie	Droge natuur	0
34	14	Duinheide	Droge natuur	0
35	15	Open stuifzand en/of rivierzand	Kale grond	0
36	14	Heide	Droge natuur	0
37	14	Matig vergraste heide	Droge natuur	0
38	14	Sterk vergraste heide	Droge natuur	0
39	13	Hoogveen	Natte natuur	0
40	11	Bos in hoogveengebied	Loofbos	0
41	13	Overige moerasvegetatie	Natte natuur	0
42	13	Rietvegetatie	Natte natuur	0
43	13	Bos in moerasgebied	Natte natuur	0
45	13	Natuurgraslanden	Natte natuur	0
61	7	Boomkwekerijen	Boomkwekerijen	0
62	9	Fruitekwekerijen	Boomgaarden	0

Het landgebruik laat in MIPWA 2.2 op een aantal punten een relevante verschuiving zien t.o.v. MIPWA 2.1 gebaseerd op LGN4, zie Tabel 3.2. Er is minder agrarisch grasland, maar meer natte natuur en meer verstedelijkt gebied. Verder zijn er kleinere verschuivingen tussen loofbos en naaldbos, droge en natte natuur en de verschillende soorten akkerbouw.

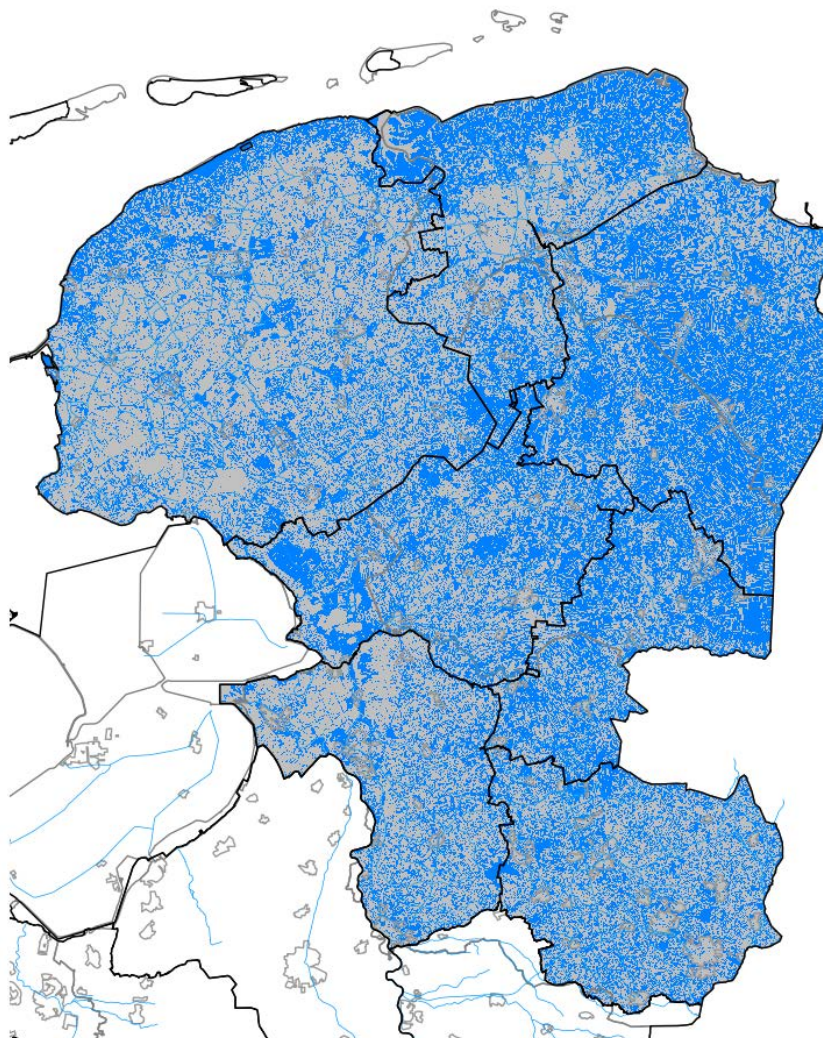
Tabel 3.2 Landgebruiksverdeling in MIPWA 2.1 en MIPWA 2.2 in het Nederlandse deel van het MIPWA-gebied

Nummer	Landgebruik	MIPWA	MIPWA
		2.1	2.2
1	gras	41.6	35.7
2	mais	7.5	8.3
3	aardappelen	6.8	6.6
4	bieten	3.5	2.5
5	granen	6.2	6.8
6	overige landbouwgew	3.5	3.1
7	boomteelt*	0.0	0.3
8	glastuinbouw	0.1	0.1
9	boomgaard	0.2	0.2
10	bollen	0.3	0.3
11	loofbos	5.9	7.7
12	naaldbos	6.6	5.7
13	natte natuur	1.4	4.9
14	droge natuur	3.7	2.0
15	kale grond	0.2	0.1
16	zoet water	2.4	2.8
17	zout water	0.0	0.0
18	stedelijk bebouwd	10.2	13.0

* boomteelt werd in LGN4 nog niet als aparte klasse onderscheiden

Uiteindelijk is c.a. 55% van het landgebruik in het MIPWA gebied gelijk gebleven. In Figuur 3.1 wordt aangegeven op welke plekken het landgebruik is veranderd.

Verandering landgebruik Mipwa 2.1 en 2.2



Figuur 3.1 Verandering in landgebruik in MIPWA 2.2 (grijs = geen verandering, blauw= verandering)

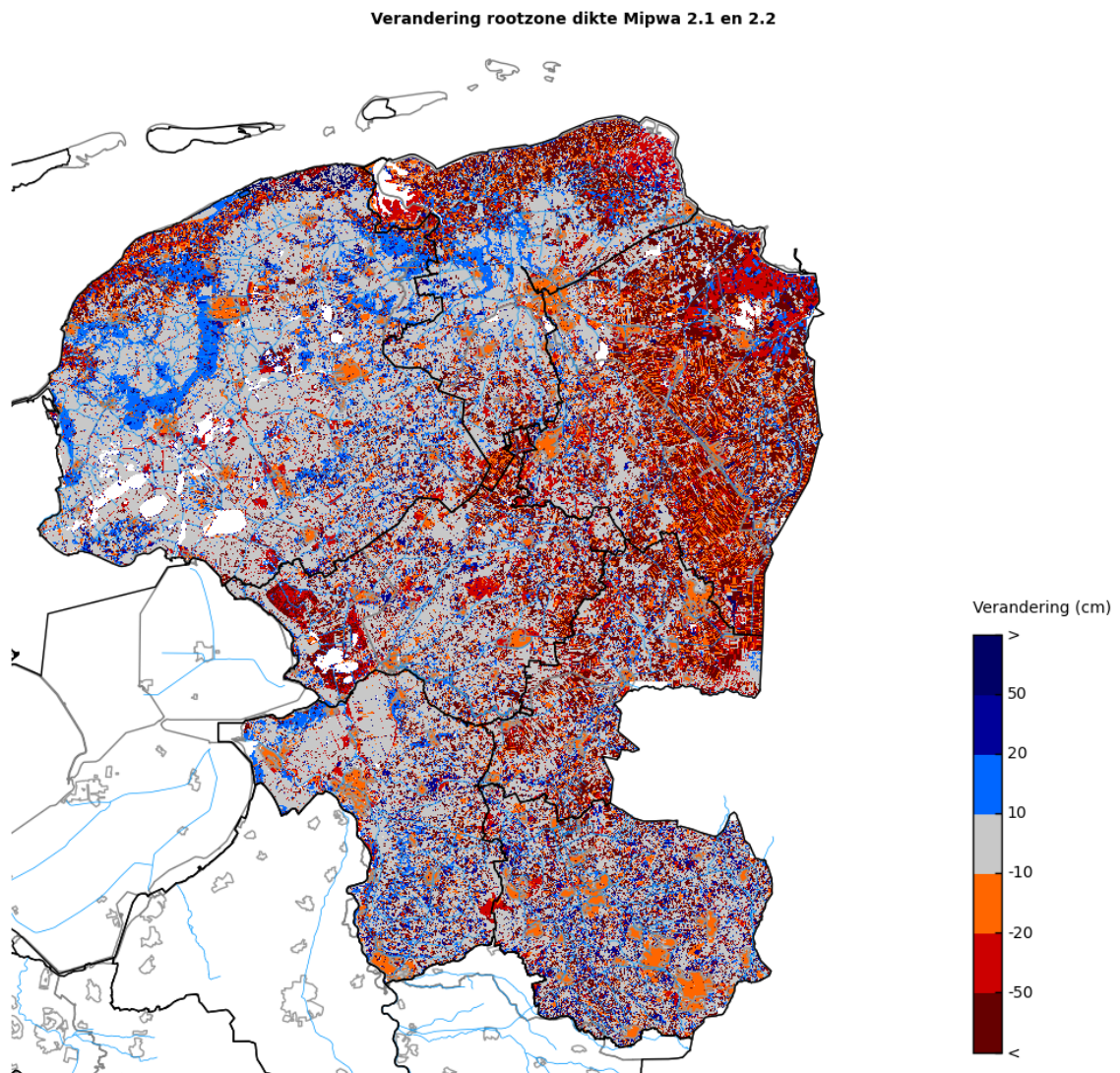
3.3.3 Wortelzonedikte

De wortelzonedikte is niet alleen afhankelijk van het landgebruik maar ook van het bodemtype (NHI 2008). In onderstaande tabel is voor zowel MIPWA 2.1 als MIPWA 2.2 per landgebruiksvorm aangegeven welke wortelzonediktes voorkomen in het MIPWA-gebied.

Tabel 3.3 Wortelzonediktes (cm) in MIPWA 2.1 en MIPWA 2.2

Landgebruik	MIPWA	MIPWA
	2.1	2.2
Gras	25-50	15-45
Mais	100	15-85
aardappelen	50	15-45
bieten	100	15-90
granen	100	15-90
overige landbouwgew	100	15-45
boomteelt*	100	20-100
boomgaard	100	100
bollen	50	15-45
loofbos	100	100
naaldbos	100	100
natte natuur	10-100	15-45
droge natuur	10-50	15-45

Daarnaast is in MIPWA 2.2 de wortelzonedikte 10 cm ondieper gesteld dan een eventueel voorkomende storende laag (schijnspiegellaag). In de onderstaande figuur is het uiteindelijke verschil tussen MIPWA 2.2 en MIPWA 2.1 weergegeven. Gemiddeld neemt de wortelzonedikte in het MIPWA-gebied af met 13 cm. In het ruimtelijk beeld valt vooral de afname van de wortelzonedikte op in het gebied dat door akkerbouw wordt gedomineerd. De verschillen hangen samen met de verschillen in de bovenstaande tabel en met veranderingen in landgebruik. De verschillen in wortelzonedikte zullen doorwerken in de berekende verdamping.

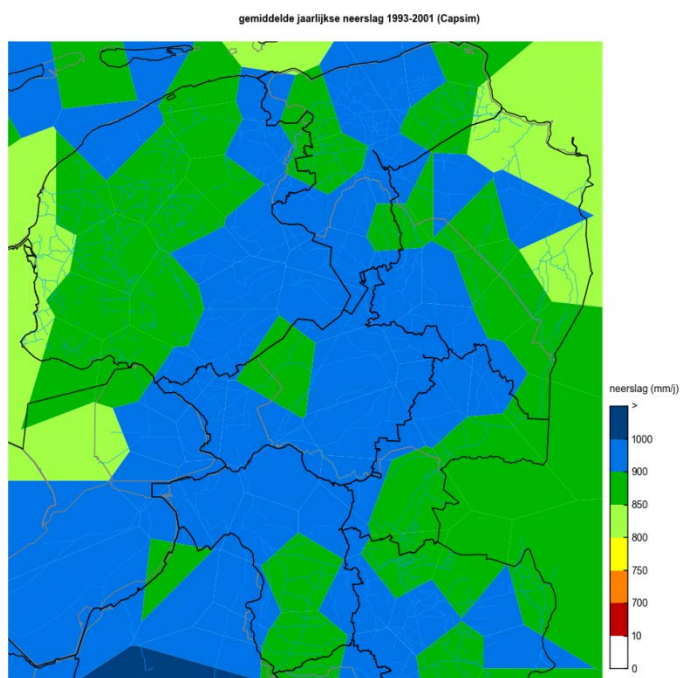


Figuur 3.2 Verschil in dikte wortelzone (cm) tussen MIPWA 2.2 en MIPWA 2.1. Een positief getal (blauw) betekent dat de wortelzone in MIPWA 2,2 dikker is.

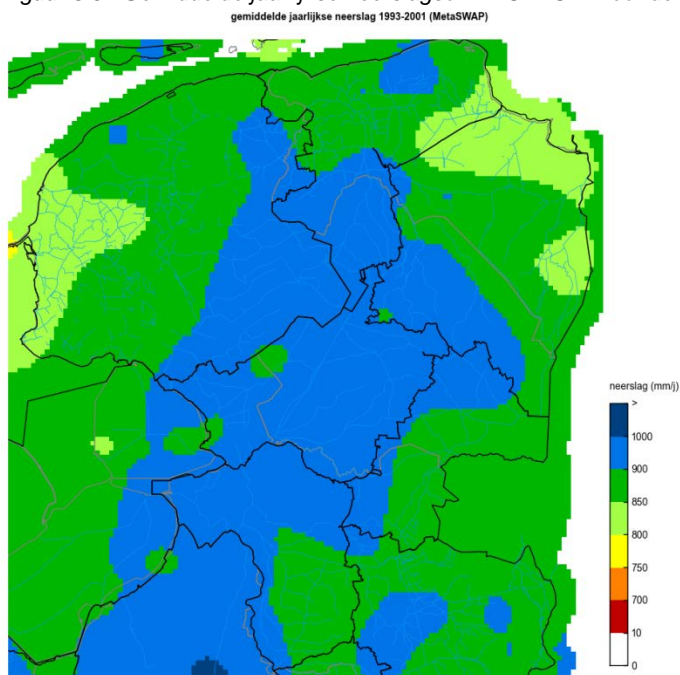
3.3.4 Meteorologie

Tijdsafhankelijke invoer

De neerslag en referentieverdamping wordt in MIPWA 2.2 net als in MIPWA 2.1 per dag (als etmaalsommen) ingevoerd. Voor het NHI zijn deze meteorologische invoerparameters door het KNMI ruimtelijk geïnterpoleerd naar grids van 1x1 km (zie ook www.nhi.nu voor meer informatie). Dit levert een veel natuurlijker beeld van de ruimtelijke verdeling van de neerslag en verdamping. In de onderstaande figuren is voor de periode 1993 tot 2001 de neerslagsom weergegeven. In MIPWA 2.1 zijn duidelijk grenzen van de Thiessen-polygoonen te zien (Figuur 3.3). In MIPWA 2.2 zijn de overgangen veel geleidelijker.

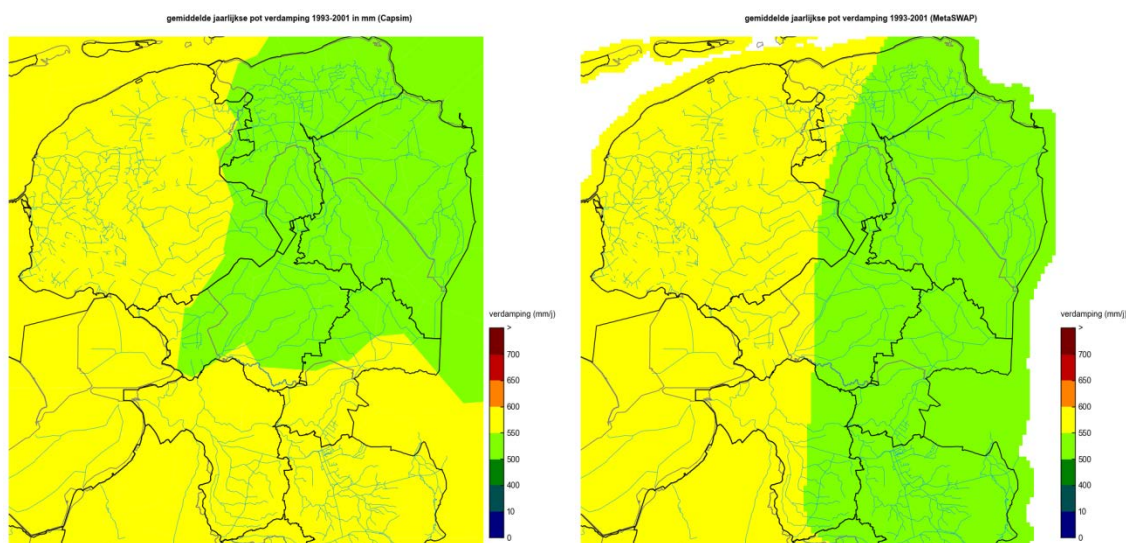


Figuur 3.3 Gemiddelde jaarlijkse neerslagsom in CAPSIM voor de periode 1993-2001



Figuur 3.4 Gemiddelde jaarlijkse neerslagsom in MetaSWAP voor de periode 1993-2001

Voor de verandering in gebruikte referentieverdamping geldt een vergelijkbaar verhaal als bij de neerslag. In MetaSWAP worden de door het KNMI geïnterpoleerde grids gebruikt en zijn de harde grenzen van de Thiessen-polygonen, van CAPSIM in MIPWA 2.1, verdwenen (Figuur 3.5). De ruimtelijke verschillen zijn minder groot dan bij de wijziging in neerslag en zullen beperkt invloed hebben op de modelresultaten.



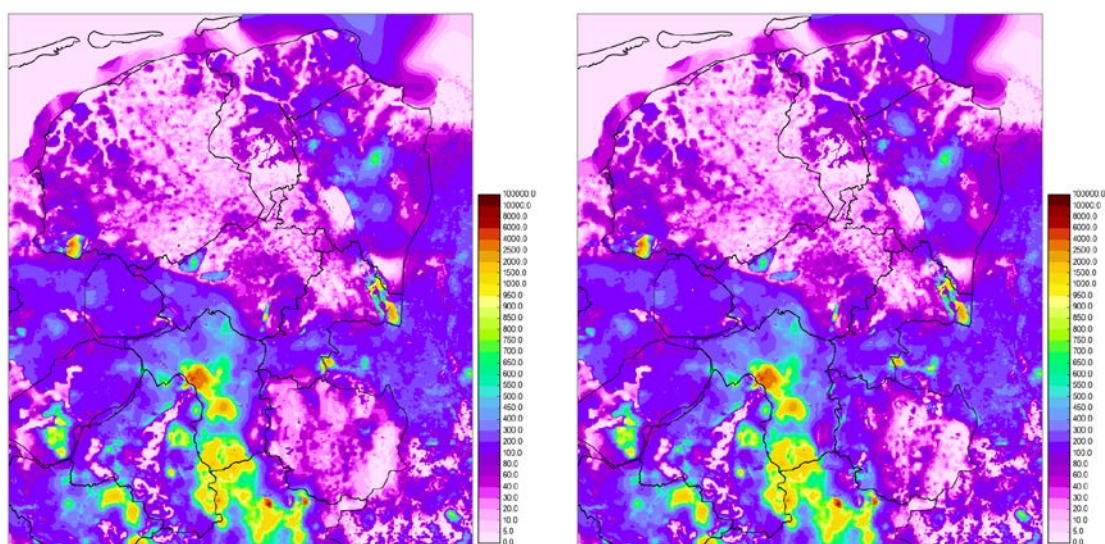
Figuur 3.5 Gemiddelde jaarlijkse referentieverdamping, links MIPWA 2.1 (CAPSIM) en rechts MIPWA 2.2 (MetaSWAP)

Initialisatie

MetaSWAP beschrijft het vochtprofiel in de gehele onverzadigde zone en niet zoals CAPSIM alleen in de wortelzone. Vooral in gebieden met een dikke onverzadigde zone, met name de heuvelruggen, is het van belang de onverzadigde zone een realistisch vochtprofiel te geven bij de start van de simulaties. MetaSWAP heeft een optie waarmee je een stationair profiel kunt bepalen waarna je je berekening kunt starten. Voor het begin van de stationaire run is het vochtprofiel berekend met een stationair neerslagoverschot van 0,8 mm per dag.

4 Inpassen Regge en Dinkel model

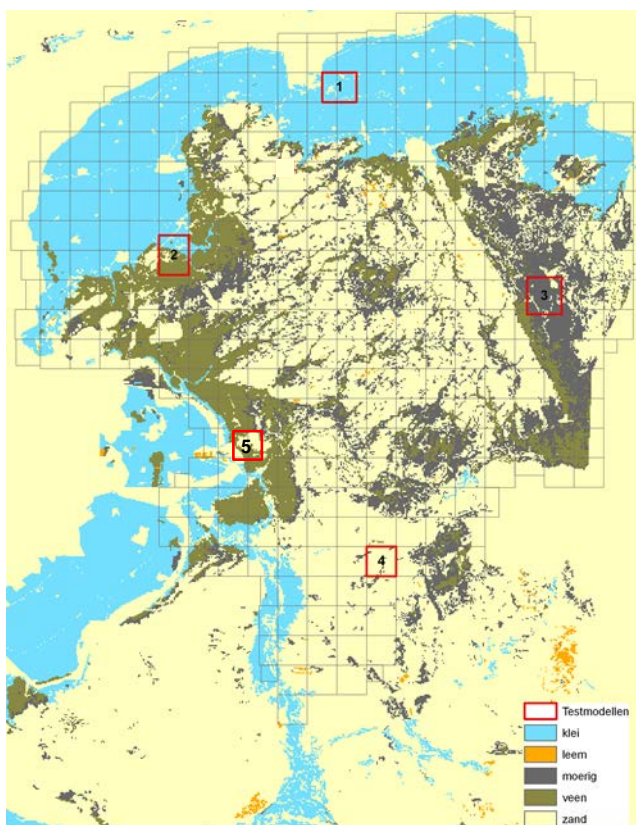
Voor het Regge en Dinkel model is een schematisatie gemaakt (M. Kuijper et al, 2012) die aansluit op het MIPWA model. Zo is er specifiek aandacht besteed aan het laten aansluiten van de ondergrond schematisatie. De schematisatie van het Regge en Dinkel model is overgenomen in MIPWA 2.2. Daarvoor zijn in de ondergrond aanpassingen gemaakt die ook betrekking hebben op WS-Groot Salland (Figuur 4.1 en Bijlage C). In overleg met Provincie Overijssel en Waterschap Groot Salland is besloten deze wijzigingen over te nemen. Dit heeft als gevolg dat er op de grens tussen (voormalig) Waterschap Regge en Dinkel en het MIPWA gebied effecten zullen optreden die niet te verklaren zijn door de overgang van CAPSIM naar MetaSWAP, maar door de nieuwe (ondergrond) schematisatie. In bijlage C zijn de verschillen uitgebreider gepresenteerd.



Figuur 4.1 KD [m²/d] van modellaag 2, links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2 met inpassing Regge en Dinkelmodel.

5 Testberekeningen

5.1 Inleiding



Figuur 5.1 Overzicht deelgebieden

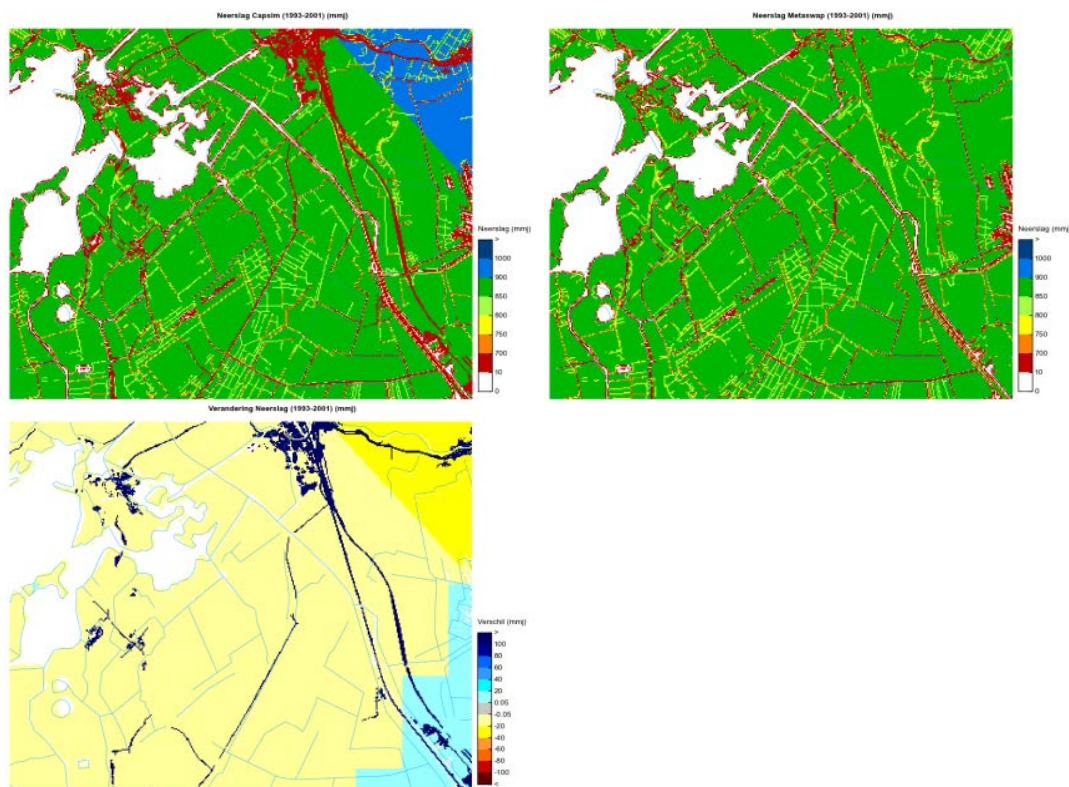
In vier deelgebieden zijn test berekeningen uitgevoerd met CAPSIM en MetaSWAP (zie figuur 5.1; deelgebied 1 t/m 4), om te controleren of de vervanging van CAPSIM door MetaSWAP succesvol is. Daarbij is gekeken naar neerslag, verdamping, grondwateraanvulling en de GXG's (alle bijbehorende figuren zijn te vinden in bijlage B). Bij het testen is geanalyseerd of de verschillen tussen MetaSWAP en CAPSIM verklaarbaar zijn uit de veranderingen in modelconcept en of schematisatie. Aanvullend is nog deelgebied 5 toegevoegd om de schijnspiegel-module te testen. In dit hoofdstuk wordt de analyse op hoofdlijnen toegelicht. Uitgebreidere resultaten van deze analyse staan beschreven in bijlage A.

5.2 Analyse deelgebieden

5.2.1 Neerslag voor MetaSWAP

De invoerbestanden met neerslag en potentiële verdamping zijn veranderd. Er zijn verschillen tussen MIPWA 2.2 en 2.1 ontstaan, zoals opgemerkt in 3.3.4. In onderstaande figuur is voor deelgebied 2 geïllustreerd hoeveel neerslag wordt toegekend aan CAPSIM en MetaSWAP. Naast de regionale verschillen, ontstaan door gebruik van nieuwe meteorologische data zijn er ook lokale verschillen zichtbaar die aan de onverzadigde modelcomponenten is toegekend. In MIPWA 2.1 is de neerslag voor de berekening met CAPSIM gecorrigeerd voor

verhard gebied, zodat alleen neerslag die de onverzadigde zone bereikt in CAPSIM wordt opgenomen. In MetaSWAP (MIPWA 2.2) wordt verhard gebied expliciet mee genomen. De neerslag wordt dus niet vooraf gecorrigeerd. Dit effect is geïllustreerd in onderstaande figuur. Voordeel van deze aanpak is deze balanstern nu wordt bijgehouden.

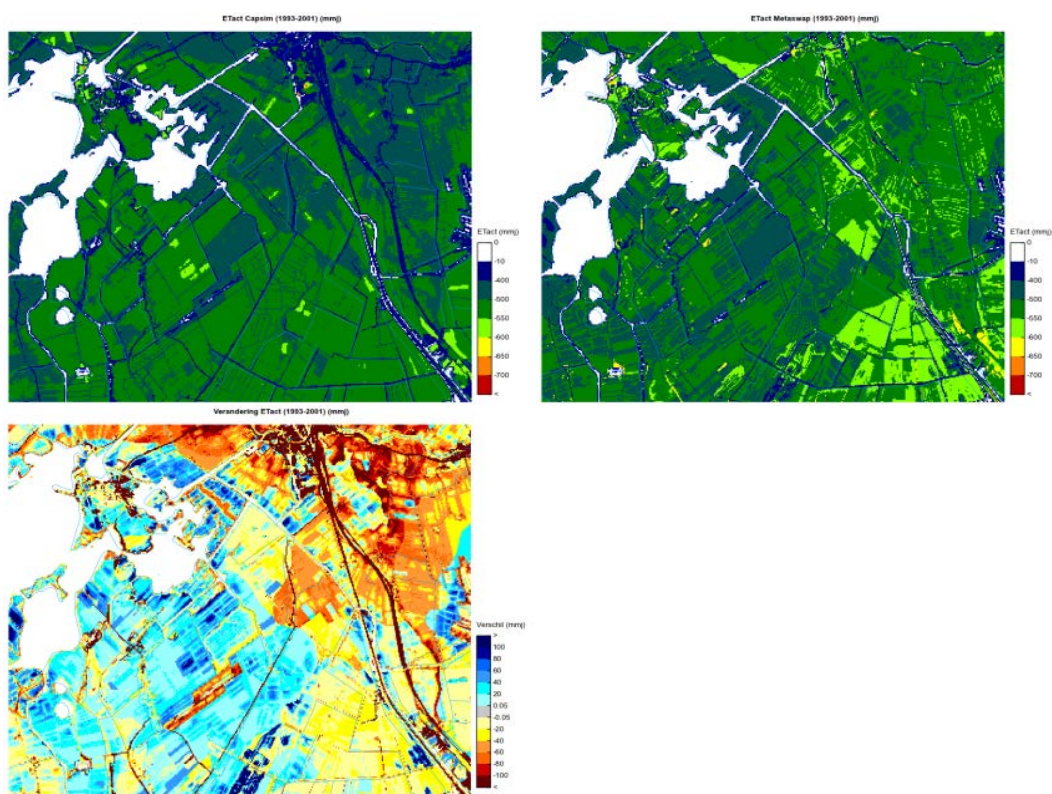


Figuur 5.2 Deelgebied 2: Neerslagterm voor het onverzadigde zonemodel in MIPWA 2.1 (links) en MIPWA 2.2 (rechts) en verschil in neerslag (onder)

5.2.2 Actuele verdamping

Als gevolg van de veranderde schematisatie en modelconcepten is de berekende actuele verdamping soms behoorlijk veranderd (zie ook 3.4.4). Grosso modo is deze in het kleigebied toegenomen en in het veengebied afgenomen als gevolg van de nieuwe bodemschematisatie. In MetaSWAP is de berekende verdamping aanzienlijk minder afhankelijk van het gekozen bodemtype dan in CAPSIM. Dat leidt ertoe dat kleigronden (in MetaSWAP) langer capillair kunnen naleveren en dat veengronden juist iets minder capillaire nalevering hebben dan geschematiseerd in CAPSIM. De verdampingsresultaten van MetaSWAP zijn getoetst aan die van SWAP en zijn vrijwel gelijk aan die van SWAP (Van Walsum en Veldhuizen, 2011b).

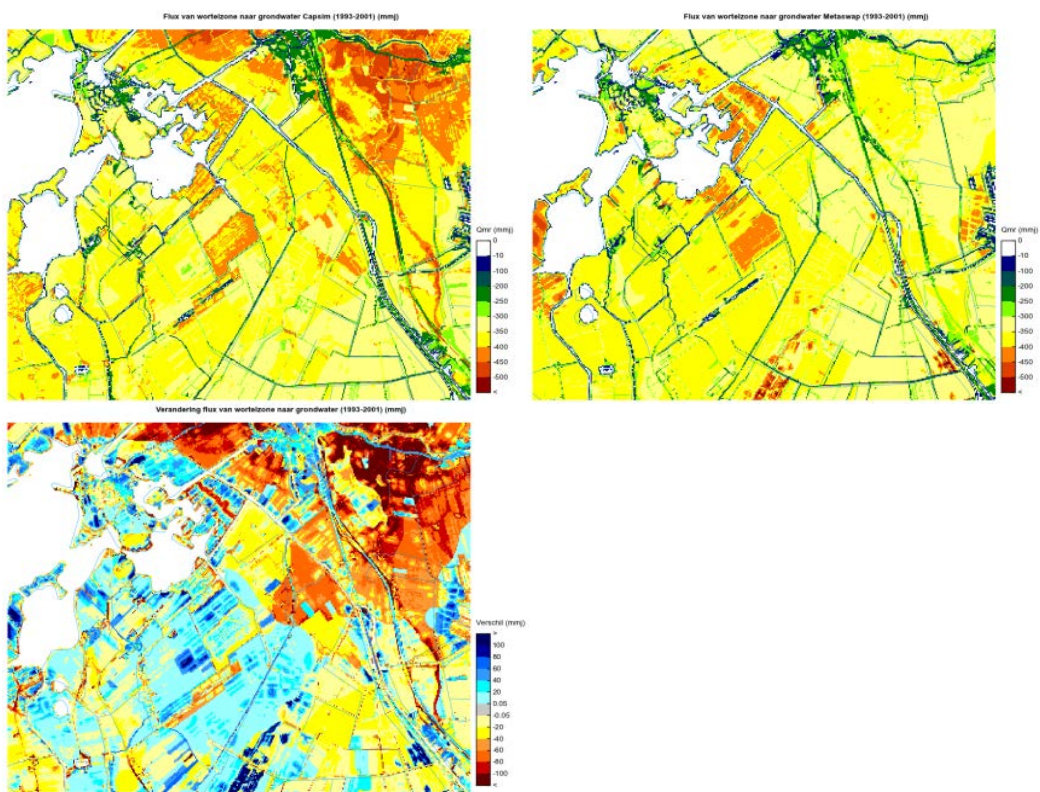
Op perceelschaal zijn er ook verschillen te zien, deze zijn te verklaren door de andere toekenning van het landgebruik.



Figuur 5.3 Deelgebied 2: Verschil (onder) in berekende actuele verdamping (ETact) tussen MIPWA 2.1 (links) en 2.2 (rechts)

5.2.3 Berekende grondwateraanvulling

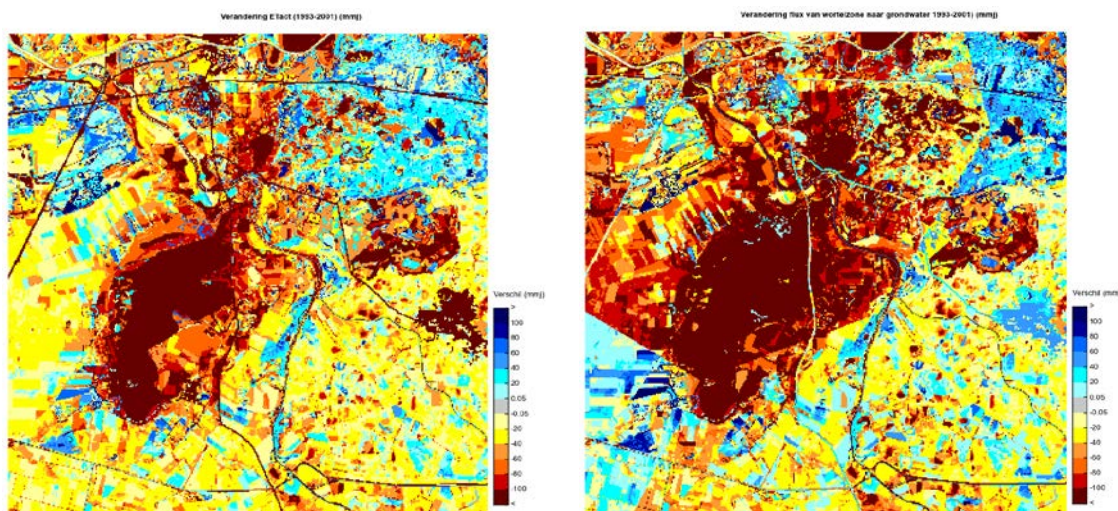
De grondwateraanvulling is hier gedefinieerd als de neerslag minus de berekende actuele verdamping (ETact) voor de periode 1993-2001. In onderstaande figuur is aangegeven wat de verschillen zijn tussen de grondwateraanvulling berekend met MetaSWAP en CAPSIM. Zoals te verwachten is de grondwateraanvulling in de kleigebieden afgenomen als gevolg van de toegenomen verdamping. Voor de veengebieden geldt het omgekeerde (zie 5.2.2). Op perceelsniveau speelt ook de toekenning van het landgebruik. Tenslotte is een deel van de verschillen toe te schrijven aan de verschillen in neerslag.



Figuur 5.4 Deelgebied 2: Verschil (onder) in berekende grondwateraanvulling (1993-2001) tussen MIPWA 2.1 (links) en 2.2 (rechts)

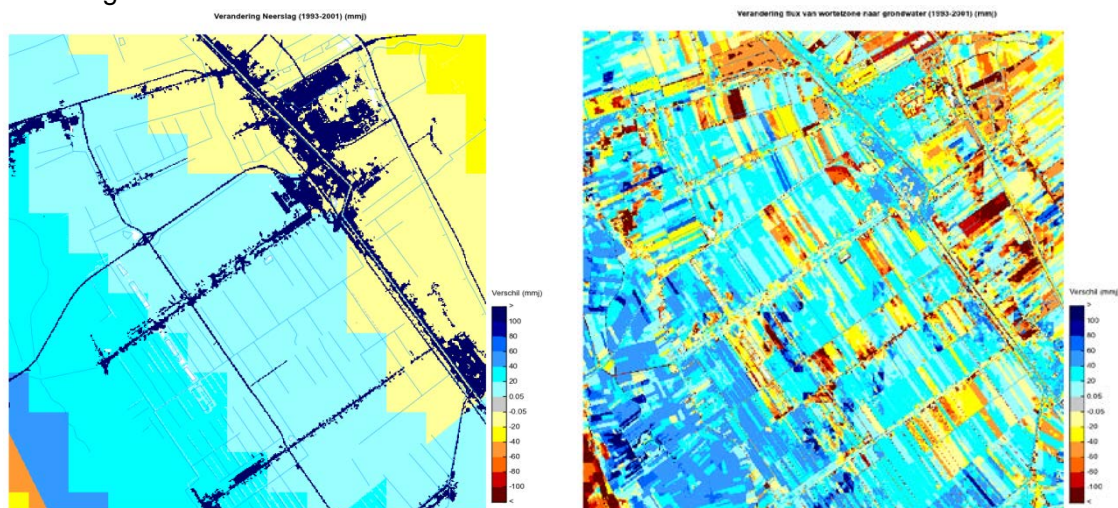
5.2.4 Verdamping en grondwateraanvulling op de heuvelrug

Deelgebied 4 bevat de Sallandse heuvelrug. Wat hier extra zichtbaar wordt is de toegenomen verdamping in gronden met een grote onverzadigde verdamping, zoals de heuvelrug. En mede als gevolg daarvan de afname van de flux uit de wortelzone naar het verzadigde grondwater. De toename van de verdamping wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van een capillaire zone in MetaSWAP, deze ontbreekt in CAPSIM.



Figuur 5.5 Deelgebied 4: Verandering in ETact (links, rood = toename) en verandering flux naar verzadigd grondwater (rechts, rood = afname)

In deelgebied 1, met veel klei, neemt de verdamping licht toe en de flux naar het verzadigd grondwater wat af. In deelgebied 3 wordt de toename van de flux naar het verzadigd grondwater vooral veroorzaakt door een wat grotere berekende neerslag in een groot deel van het gebied.



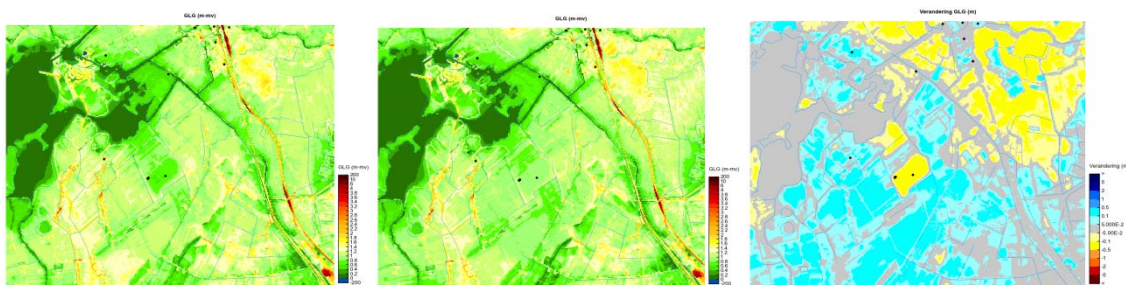
Figuur 5.6 Deelgebied 3: Verschil in neerslag (links, blauw = toename) en verschil in flux naar verzadigd grondwater (rechts, blauw = toename)

5.2.5 GXG's

In onderstaande figuren zijn de effecten van de modelaanpassing op de grondwaterstanden weergegeven voor deelgebied 2 (de grotere figuren staan in bijlage B). De GHG is vergelijkbaar. Aftopping van de grondwaterstand door drainage middelen zorgt er voor dat ondanks de verschillen in grondwateraanvulling de GHG's vergelijkbaar blijven. In de GLG's zijn de verschillen duidelijk zichtbaar. In het veen gebied is de GLG in MIPWA 2.2 ondieper komen te liggen en in het kleigebied is de GLG dieper komen te liggen. Deze trends zijn grotendeels verklaarbaar uit de veranderingen in de berekende grondwateraanvulling. Daardoor verandert de dynamiek dus per bodemtype.



Figuur 5.7 GHG MIPWA 2.1 (links), MIPWA 2.2 (midden), verschil GHG (rechts, blauw MIPWA 2.2 is natter, geel MIPWA 2.2 is droger) voor deelgebied 2



Figuur 5.8 GLG MIPWA 2.1 (links), 2.2(midden), verschil (rechts) voor deelgebied 2



Figuur 5.9 Dynamiek MIPWA 2.1 (links), 2.2 (midden), verschil (rechts) voor deelgebied 2

5.2.6 Grondwaterstand verloop in de tijd

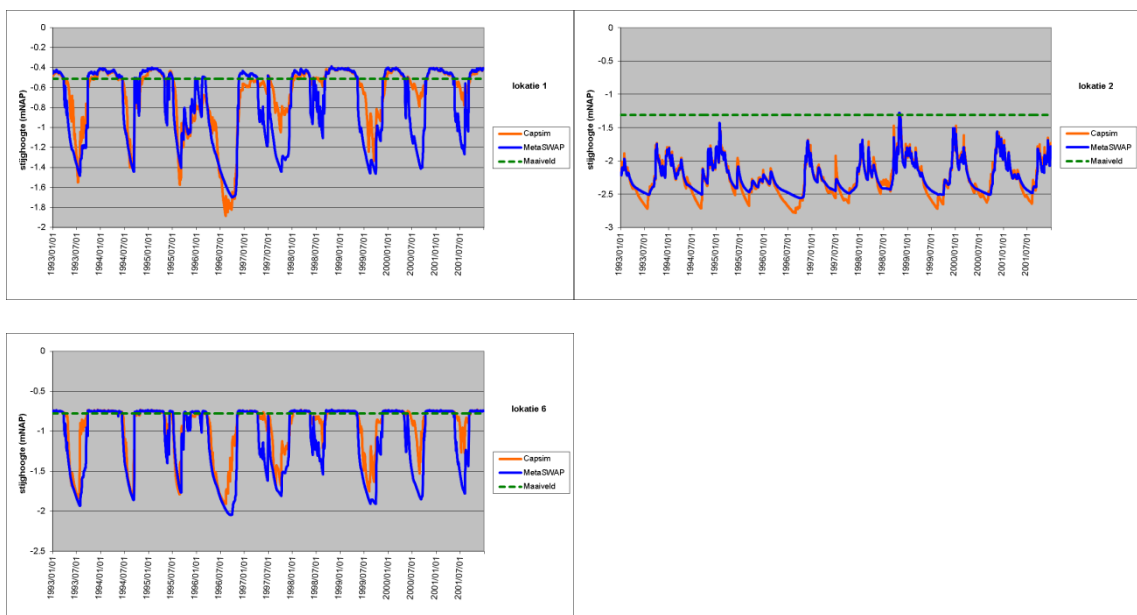
Voor deelgebied 3 zijn op een aantal locaties, met relatief grote verandering in GXG (ten opzicht van MIPWA 2.1), de grondwaterstanden van MIPWA 2.1 en 2.2 met elkaar vergeleken. Algemeen kan worden gesteld dat de snelle grondwaterdynamiek op grotere diepten beneden maaiveld is afgenomen. Dit is logisch te verklaren doordat de onverzadigde zone in MetaSWAP voor deze gevallen ook groter is dan die van CAPSIM, waardoor het langer duurt voordat neerslag het grondwater bereikt.



Figuur 5.10 Overzicht van ligging gepresenteerde locaties berekende grondwaterstandsreeksen.

Op locatie 1 is te zien dat in de zomer van 2000 en 2001 de grootste verschillen optreden. In MIPWA 2.2 (MetaSWAP) daalt de grondwaterstand in de zomer tot -1.3 M NAP, terwijl in MIPWA 2.1 het water met -0.8 m NAP bijna aan het maaiveld blijft staan in de laatste 2 zomers. Berekende verschillen in GLG ontstaan vaak in deze 2 zomers. De maximale (GHG) grondwaterstanden blijven nagenoeg gelijk en komen net iets boven het maaiveld uit.

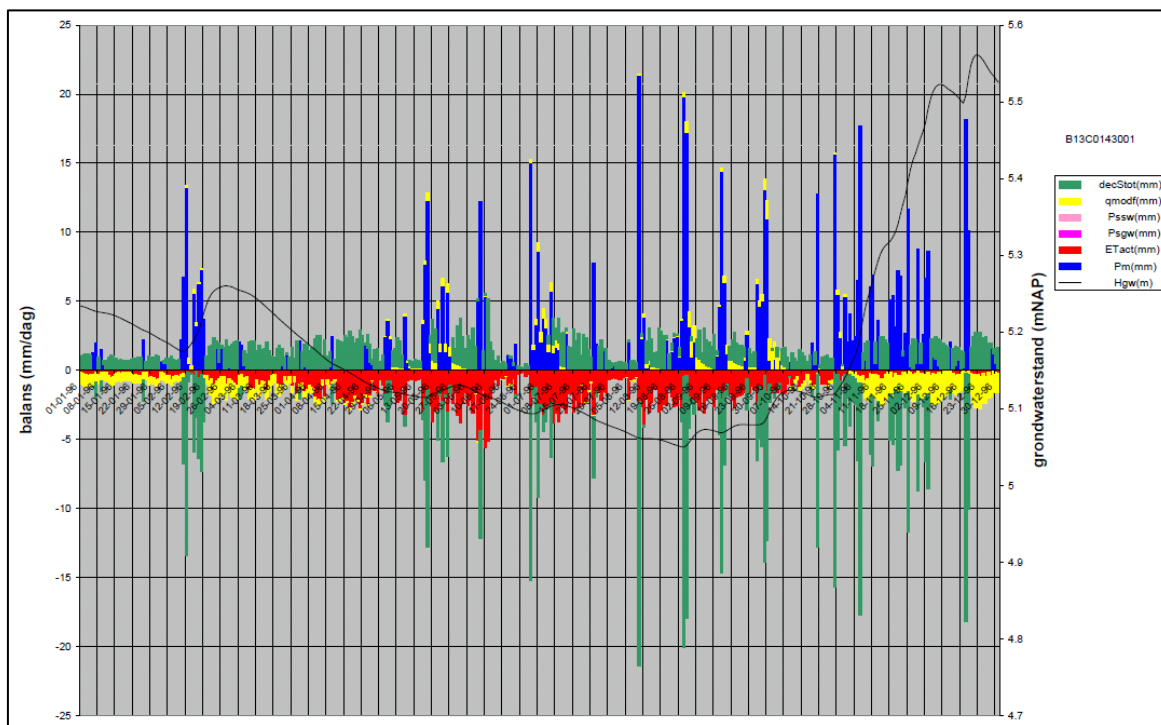
Voor locatie 6 gelden eigenlijk dezelfde observaties als voor locatie 1. Voor locatie 2 geldt dat beide tijdreeksen veel op elkaar lijken. Alleen de grondwaterstanden berekend met CAPSIM zakken in de zomer iets verder uit dan bij MetaSWAP.



Figuur 5.11, Drie tijdreeksen van berekende grondwaterstanden van MIPWA 2.1 (CAPSIM - oranje) en 2.2 (MetaSWAP - blauw); in groen is het maaiveld weergegeven; Peilbuisenlocatie: linksboven locatie 1, rechtsboven locatie 2 en linksonder locatie 6 (zie Figuur 5.1 voor de locaties)

5.2.7 Waterbalans MetaSWAP

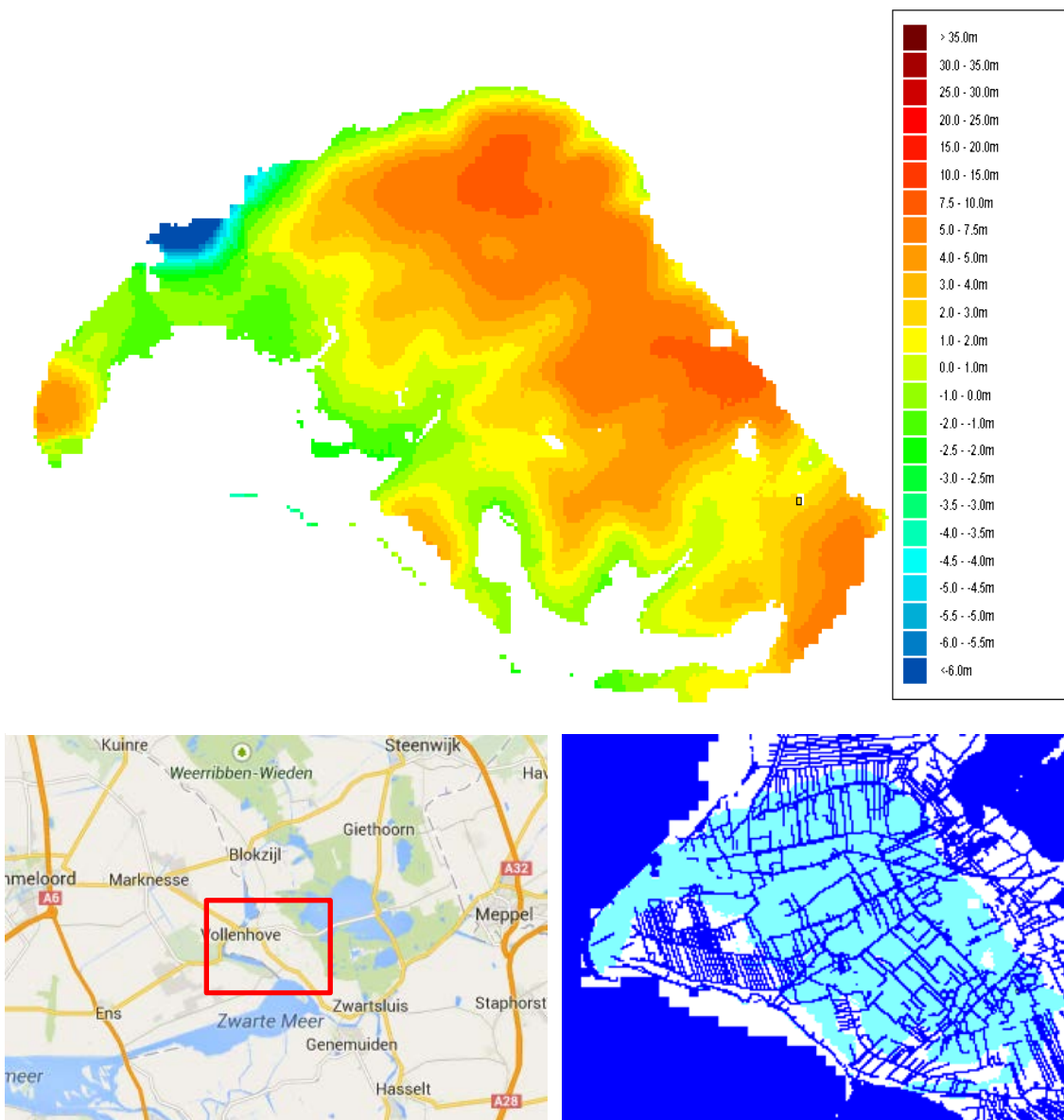
Voor MetaSWAP kan per cel/plot een balans worden opgesteld. In onderstaande figuur is deze balans ter illustratie voor een eenheid weergegeven per tijdstap. In de figuur is te zien dat een neerslag event (Pm) zorgt voor een toename in de berging van water in de onverzadigde zone (decStot). Op dagen zonder neerslag neemt deze berging weer af. Een deel van deze afname wordt veroorzaakt door verdamping (ETact) en een ander deel wordt veroorzaakt door stroming naar het verzadigde grondwater (qmodf). Deze stroming naar het verzadigde grondwater kan ook negatief worden. Dan is er sprake van capillaire nalevering. Met de zwarte lijn wordt de berekende grondwaterstand (Hgw) als gevolg van deze bergingsveranderingen weergegeven.



Figuur 5.12 Eenvoudige waterbalans voor een onverzadigde zone plot van MetaSWAP

5.3 Keileem en schijnspiegels

In deelgebied 5 is specifiek gekeken naar de berekening van de grondwaterstand voor de combinatie MODFLOW-MetaSWAP in gebieden met schijnspiegels. Hiervoor is een gebied rond Vollenhoven gekozen. In onderstaande figuur is op hoofdlijnen de schematisatie van de keileem en de sloten weergegeven.



Figuur 5.13 Boven, top van de keileem [m+ NAP]. Linksonder, ligging van het testgebied. Rechtsonder, ligging van waterlopen (donkerblauw) en keileem (lichtblauw).

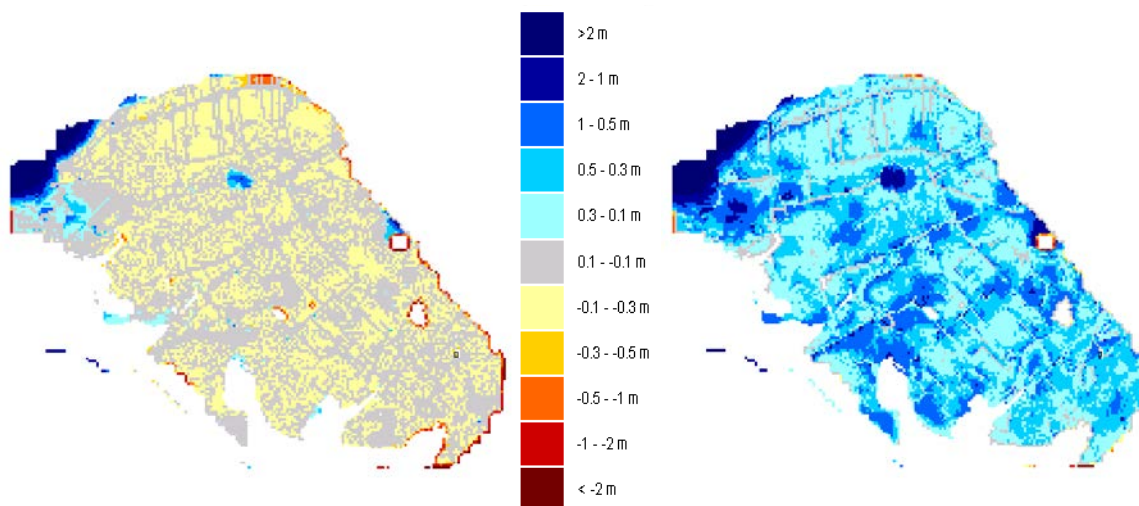
Er zijn 11 jaren doorgerekend (1989-2001) en hieruit zijn de GHG en GLG berekend in M+NAP. Vervolgens is vlak dekkend gecontroleerd of de grondwaterstanden niet (te diep) wegzakken in de keileem, op basis van een controle van de GLG ten opzichte van de top van de keileem (zie figuur 3). Uit de controle blijkt dat de laagste grondwaterstanden (GLG) niet diep in de keileem zakken. Hieruit wordt geconcludeerd dat het schijnspiegelconcept naar behoren grondwaterstanden simuleert.

Net als bij de schijnspiegel implementatie met CAPSIM in MIPWA:

- Zakt de grondwaterstand op de keileemrand soms diep weg. De verklaring hiervoor moet worden gezocht in het gekozen concept, waarbij horizontale stroming over de rand van een keileemschol beperkt wordt maar wel mogelijk blijft. Door de grote sprong in grondwaterstand op de grens van de keileem treden daar numerieke instabiliteiten op.

Dit effect is eerder gesignaleerd in vorige MIPWA versies en is ook beschreven in de rapportage van MIPWA 2.1 paragraaf 2.4.4. (Hoogewoud en Roelofsen, 2014)

- Kan de laagste grondwaterstand door numerieke effecten iets dieper liggen dan de bovenkant van de keileem.



Figuur 5.14 GLG [m] ten opzichte van bovenkant keileem en drainagemiddelen (links) en GHG [m] ten opzichte van bovenkant keileem en drainagemiddelen (rechts)

Uit de vergelijking van de bovenkant van de keileem met de GHG (figuur 5.14, rechts) is te zien dat in natte perioden een grondwaterstand boven de keileem wordt berekend. In cellen met slootpeilen op of in de keileem is de opbolling (ten opzichte van de top van de keileem) beperkt. Het effect van de aanwezigheid van sloten (zie figuur 5.14) is daardoor in dit studiegebied terug te zien in de GHG.

5.4 Conclusie

Op basis van de testen voor de deelgebieden wordt geconcludeerd dat de resultaten berekend met MIPWA 2.1 (CAPSIM) en MIPWA 2.2 (MetaSWAP) verschillen. De verschillen zijn op hoofdlijnen verklaarbaar wanneer rekening wordt gehouden met de volgende punten:

- De bodemschematisatie is veranderd, op perceelsniveau en regionaal niveau leidt dit tot significante verschillen. In bijvoorbeeld klei gebieden is als gevolg van de verandering in bodemschematisatie de verdamping toegenomen. In veengebieden is deze juist wat afgenomen.
- De schematisatie van het landgebruik is veranderd. Op perceelsniveau ontstaan daardoor verschillen in berekende verdamping en grondwateraanvulling.
- De onverzadigde zone in MetaSWAP kent een capillaire zone, gronden met een grote onverzadigde zone (heuvelruggen) verdampen daardoor (veel) meer in MIPWA 2.2.
- De grondwateraanvulling in gebieden met een grote onverzadigde zone is in MIPWA 2.2 trager. Dit komt doordat in de gehele onverzadigde zone in MetaSWAP wordt gemodelleerd, terwijl in CAPSIM alleen de wortelzone wordt gemodelleerd.
- Het berekende neerslagpatroon is veranderd, hetgeen voor regio's tot relevante veranderingen in grondwateraanvulling kan leiden.

Verder is aangetoond dat het schijnspiegelconcept in MetaSWAP werkt. De testen voor de interactie MODFLOW – MetaSWAP in MIPWA 2.2 zijn daarmee succesvol doorlopen.

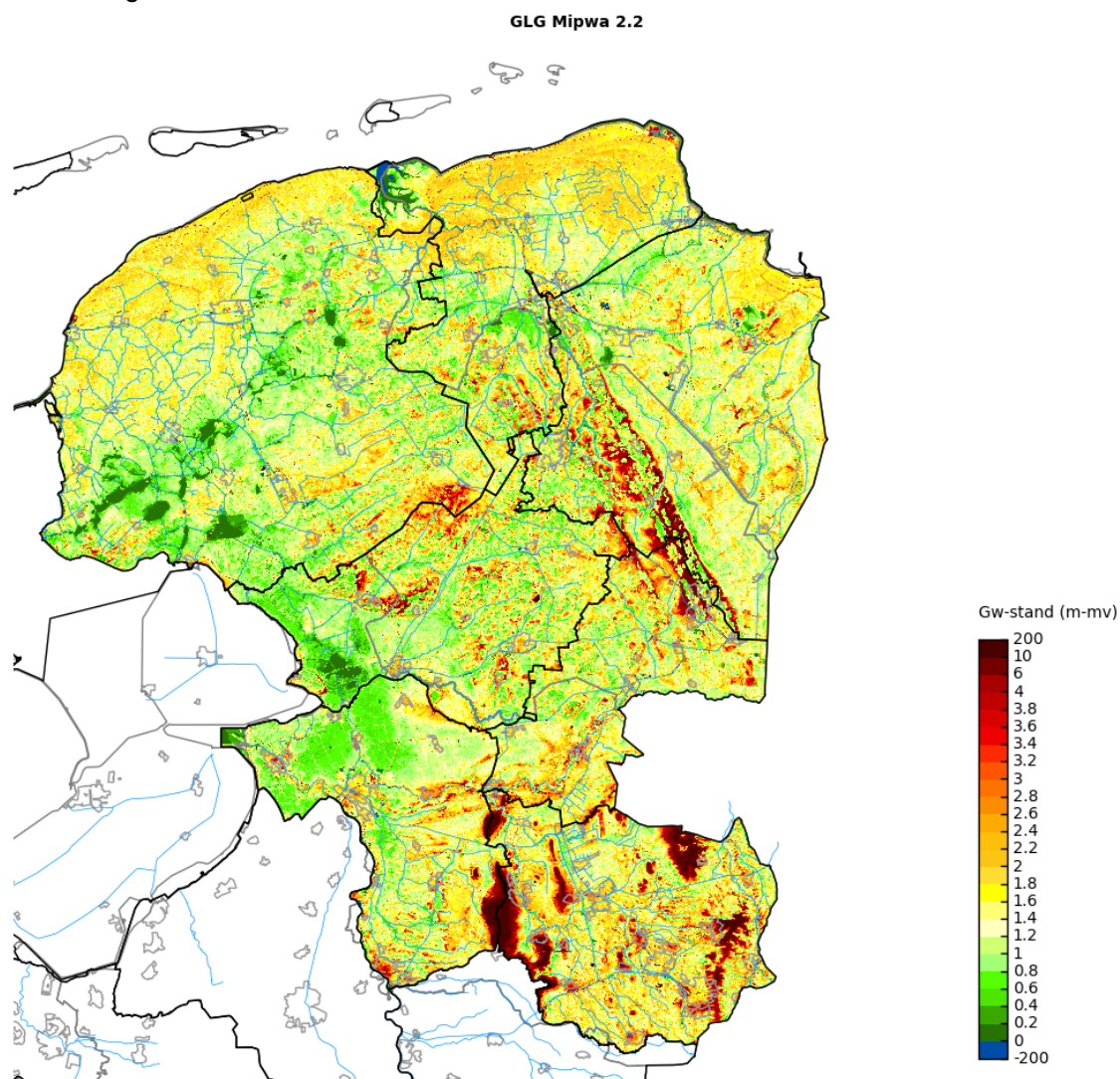
6 Test resultaten heel MIPWA

6.1 Inleiding

Na de test berekeningen in deelgebieden zijn berekeningen uitgevoerd voor het hele MIPWA gebied om het effect van de aanpassingen over een groter gebied te illustreren. Het MIPWA gebied is doorgerekend op 25 meter schaal. De berekening geeft inzicht in de belangrijkste effecten van de aanpassingen in MIPWA 2.2. In onderstaand hoofdstuk worden de resultaten van de berekeningen gepresenteerd.

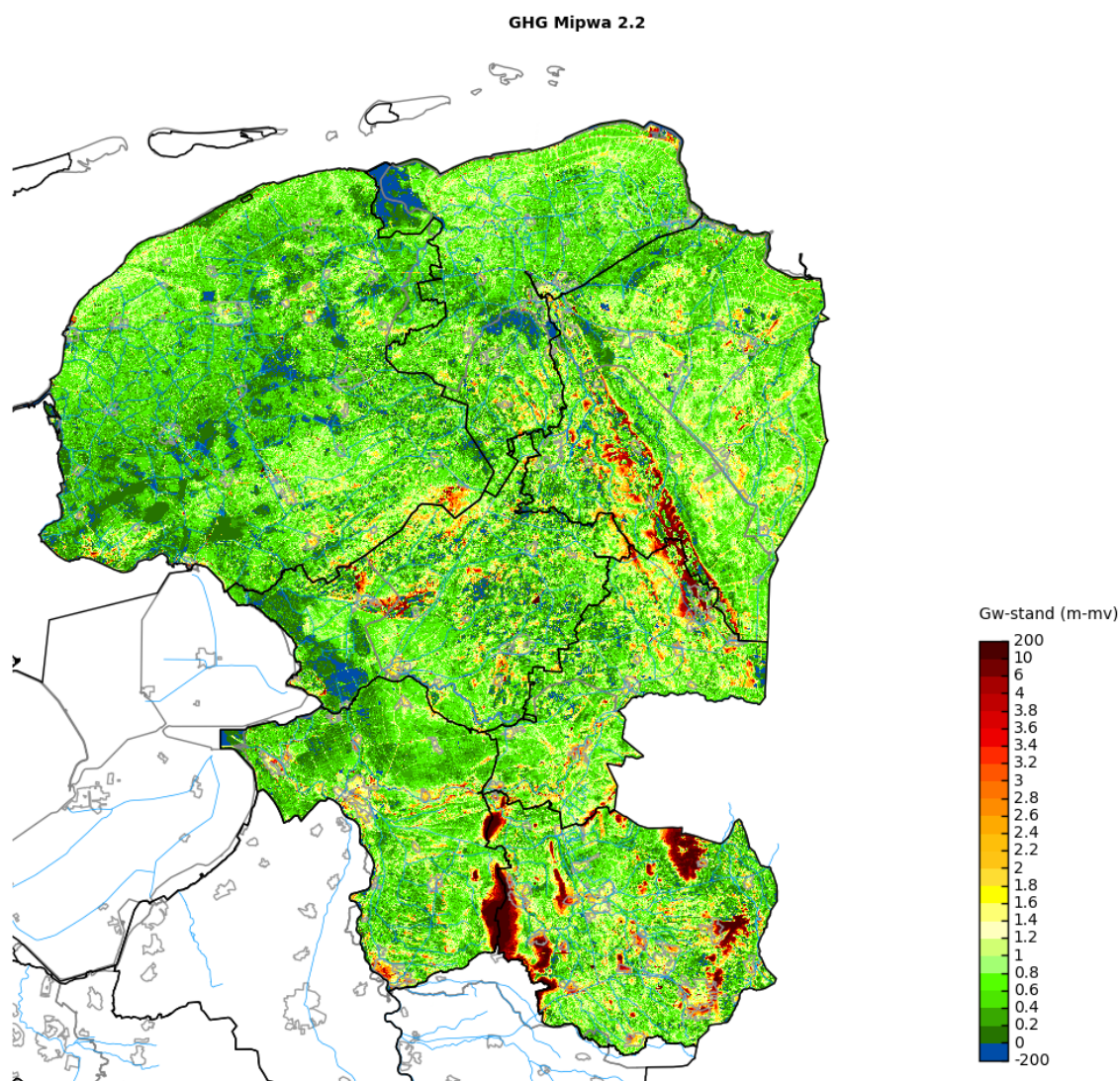
6.2 Grondwaterstanden

De berekende GLG is te zien in Figuur 6.1. Het Regge en Dinkel gebied is toegevoegd aan het modelgebied.



Figuur 6.1 GLG MIPWA 2.2

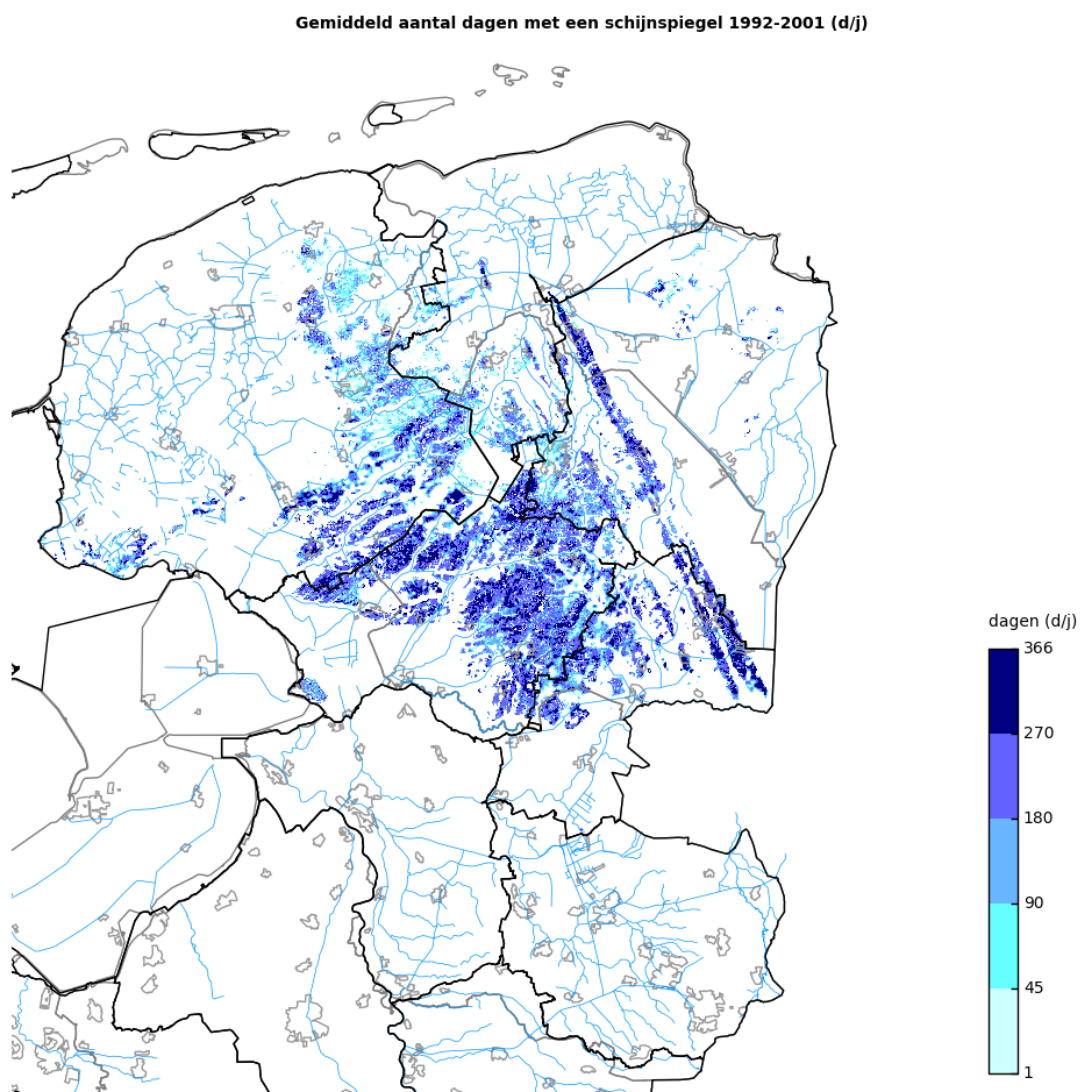
Op bijvoorbeeld de Hondsrug is te zien dat de grondwaterstanden diep onder het maaiveld liggen. De berekende GLG¹ voor de keileemschollen is, zoals verwacht, juist een stuk ondieper. Voor de GHG (zie Figuur 6.2) gelden vergelijkbare analyses



Figuur 6.2 GHG MIPWA 2.2

In Figuur 6.3 is aangegeven hoeveel dagen per jaar er een schijnspiegel berekend wordt in MIPWA 2.2. Voor de meeste plekken wordt een schijnspiegel berekend die tijdelijk is. Op het Drents plateau zijn schijnspiegels relatief vaak meer dan 180 dagen per jaar berekend.

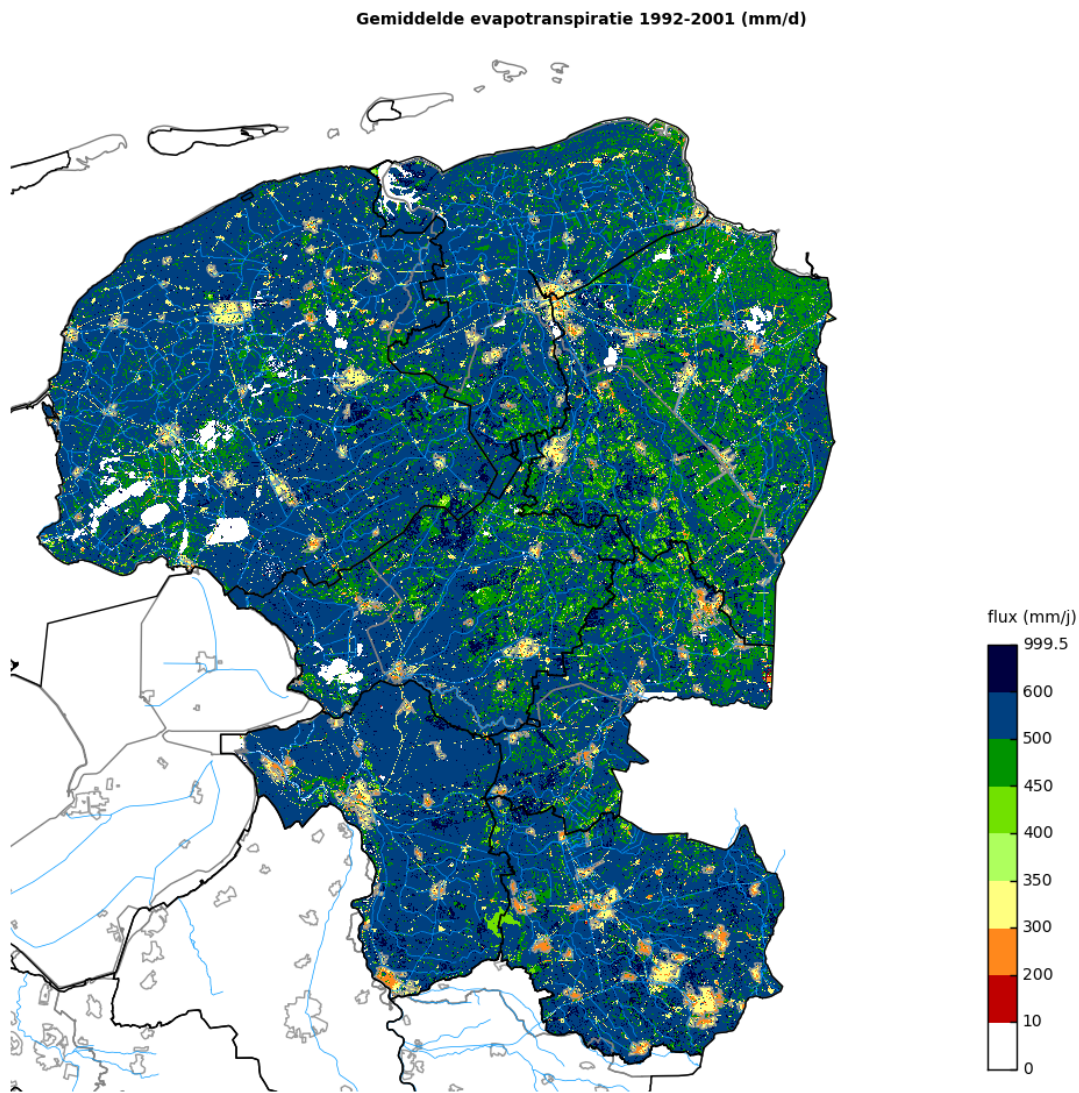
¹ In gebieden met schijnspiegels heeft de berekende GLG niet de normale betekenis. Het grondwater boven een schijnspiegel kan op raken, de GLG komt dan op de top van de keileem te liggen.



Figuur 6.3 Aantal dagen met een schijnspiegel (grondwaterstand boven de keileem)

6.3 Verdamping

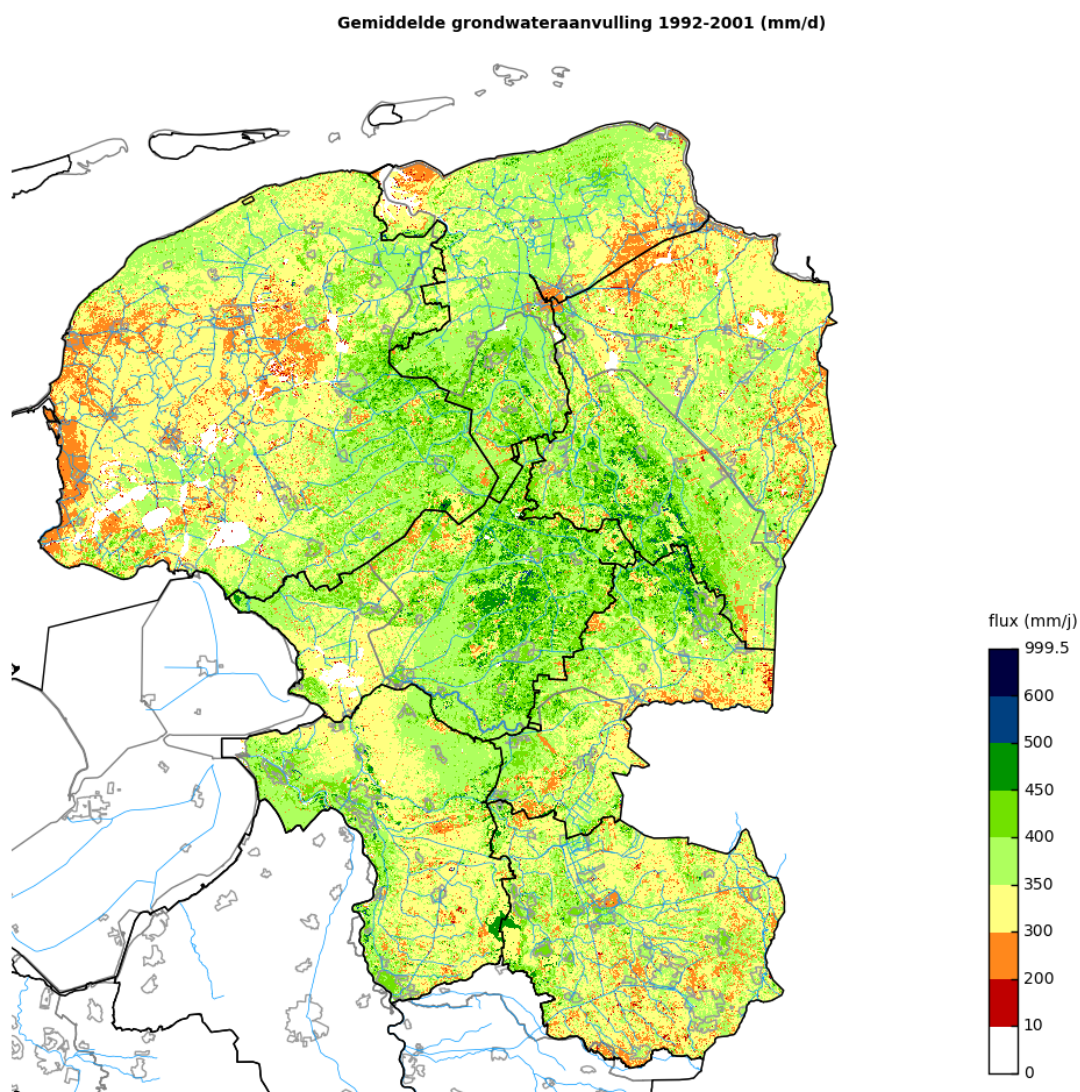
De berekende verdamping bedraagt gemiddeld zo'n 500 mm over de periode 1992-2001 (Figuur 6.4). De jaren 90 waren relatief natte jaren met daardoor geringe vochttekorten. Dit is een verklaring voor de wat grote verdamping. Landgebruik en bodemtype zijn soms ook op MIPWA schaal herkenbaar. Zo is bijvoorbeeld te zien dat de berekende verdamping van de veenkoloniën wat lager is dan gemiddeld. De verdamping van het heideveld op de Sallandse Heuvelrug illustreert dit ook. De verdamping is hier duidelijk minder dan in de directe omgeving. De stedelijke gebieden laten door de aanwezigheid van verhard oppervlak lagere verdamping zien. Op kleinere schaal zijn deze invloeden ook zichtbaar, zoals besproken in het voorgaande hoofdstuk.



Figuur 6.4 Verdamping 2.2 (mm/jaar periode 1992-2001)

6.4 Grondwateraanvulling

De gemiddelde jaarlijkse grondwateraanvulling in het landelijk gebied ligt op ongeveer 350mm. Dit is gezien de gemiddelde neerslag van 850 mm (in de jaren 90 viel relatief veel neerslag) een plausibele uitkomst. In stedelijk gebied is de aanvulling duidelijk minder groot.



Figuur 6.5 Berekende grondwateraanvulling MIPWA 2.2 (mm/jaar, periode 1992-2001)

6.5 Conclusie

CAPSIM in MIPWA 2.1 is vervangen door MetaSWAP. Als gevolg hiervan zijn veranderingen opgetreden in de berekende grondwateraanvulling en verdamping die, zoals verwacht, ook effect hebben op de berekende grondwaterstand. De veranderingen zijn goed verklaarbaar en zijn veelal ontstaan door het gebruik van betere basisdata en modelconcepten.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

In MIPWA 2.2 is CAPSIM vervangen door MetaSWAP. Daarmee is een uitgebreider en conceptueel beter modelconcept voor de onverzadigde zone geïntroduceerd. Tegelijkertijd is ook de schematisering van de onverzadigde zone geactualiseerd. Het ruimtelijke neerslag en verdampingsbeeld van de invoer is aanzienlijk realistischer. De resultaten voor de onverzadigde zone in MIPWA 2.2 zijn over het algemeen plausibeler dan in MIPWA 2.1. Dit geldt bijvoorbeeld voor de berekende verdamping die met name voor de hoge gronden realistischer is geworden. Als gevolg van de nieuwe modelconcepten en schematisering zijn neerslag, berekende verdamping en grondwateraanvulling in MIPWA 2.2 veranderd. Deze veranderingen hebben, zoals verwacht, ook effect op de berekende grondwaterstand. De veranderingen zijn goed verklaarbaar.

Het concept voor schijngrondwaterspiegels in CAPSIM bleek niet te direct te kunnen worden toegepast in MetaSWAP. Het concept is daarom vervangen en opnieuw getest en uiteindelijk succesvol toegepast in MIPWA 2.2.

7.2 Aanbevelingen

We bevelen aan om de schematisering van oppervlaktewater in MetaSWAP en MODFLOW beter op elkaar af te stemmen op de volgende punten:

- In MIPWA wordt neerslag op peilbeheerst openwater niet als aparte balanstern bijgehouden. Met een eenvoudige aanpassing van MetaSWAP zou deze balanstern wel bijgehouden kunnen worden. Dit maakt het vervolgens eenvoudiger een sluitende balans inclusief neerslag op openwater te kunnen opstellen.
- Een klein deel van het oppervlakte water is in MetaSWAP (en voorheen CAPSIM) gemodelleerd. Het zogenaamde “open” grondwater van bijvoorbeeld vennen. Aanbevolen wordt om bij de herziening van het topsysteem de schematisatie van dit oppervlaktewater in MetaSWAP en MODFLOW nader op elkaar af te stemmen. In het huidige maaiveldhoogtebestand komt de maaiveldhoogte soms overeen met een (gewenst) oppervlaktewaterpeil in plaats van een bodemhoogte. Dit leidt in MetaSWAP tot te snelle droogval en minder realistisch berekende grondwaterstanden. Aanbevolen wordt om het maaiveldhoogtebestand van MIPWA hiervoor aan te passen.

8 Literatuur

Boesten, J.J.T.I., and L. Stroosnijder (1986). Simple model for daily evaporation from fallow tilled soil under spring conditions in a temperate climate. *Neth. J. Agric. Sci.* 34:75–90.

Hazeu, G.W., Schuiling, C., Dorland, G.J., Oldengarm, J. & H.A. Gijsbertse (2010). Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 6 (LGN6). Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Wageningen, Alterra. Alterra-rapport 2012, 132p., 20 figs., 9 tables and 15 refs.

Hoogewoud, J.C., Prinsen, G.F., Hunink, J.C., Veldhuizen, A.A., Bolt, F.J.E. van der en Lange, W.J. de (2013). Toetsingsrapportage NHI 3.0. Delft, Deltares, - p. 124.

Hoogewoud, J.C en Roelofsen F. (2014). MIPWA 2.1, update keileem, toevoegen van een nieuwe keileemkartering aan MIPWA. Utrecht, Deltaresrapportage-1203634.

Kroes, J.G., Dam, J.C. van, Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A. en Jacobs, C.M.J. (2008) SWAP version 3.2; Theory description and user manual; Alterra-report 1649, Alterra, Wageningen

Kuijper, M.J.M., N. Goorden, P.T.M. Vermeulen (2012). Update grondwatermodel waterschap Regge en Dinkel. Delft, Deltares rapport 1202490.

NHI (2008). NHI modelrapportage, deelrapport gewassenmerken. NHI rapport. http://nhi.nu/documenten/DR12/NHI2008DR12_v2_Gewassenmerken.pdf, -p. 49.

Van Walsum, P. E. V., A.A. Veldhuizen (2011a). *Integration of models using shared state variables: Implementation : in the regional hydrologic modelling system SIMGRO* Journal of Hydrology, Volume 409, Issues 1–2, 28 October 2011, Pages 363–370.

Walsum, P.E.V. van; Veldhuizen, A.A. (2011b). MetaSWAP_V7_2_0. Rapportage van activiteiten ten behoeve van certificering met Status A. Wageningen : WUR, (WOt-werkdocument 276) - p. 116.

Van Walsum, P. E. V., A.A. Veldhuizen, P. Groenendijk (2010). SIMGRO 7.2.0, Theory and model implementation. Wageningen, Alterra-Report 913.1. 93 pp.

Van Walsum, P. E. V., and P. Groenendijk (2008), Quasi steady-state simulation of the unsaturated zone in groundwater modeling of lowland regions: *Vadose Zone Journal*, v. 7, p. 769.

Wosten, J.H.M.; Vries, F. de; Hoogland, T.; Massop, H.T.L.; Veldhuizen, A.A.; Vroon, H.R.J.; Wesseling, J.G.; Heijkers, J.; Bolman, A. (2013). BOFEK2012, de nieuwe bodemfysische schematisatie van Nederland. Wageningen : Alterra, (Alterra-rapport 2387) - p. 46.

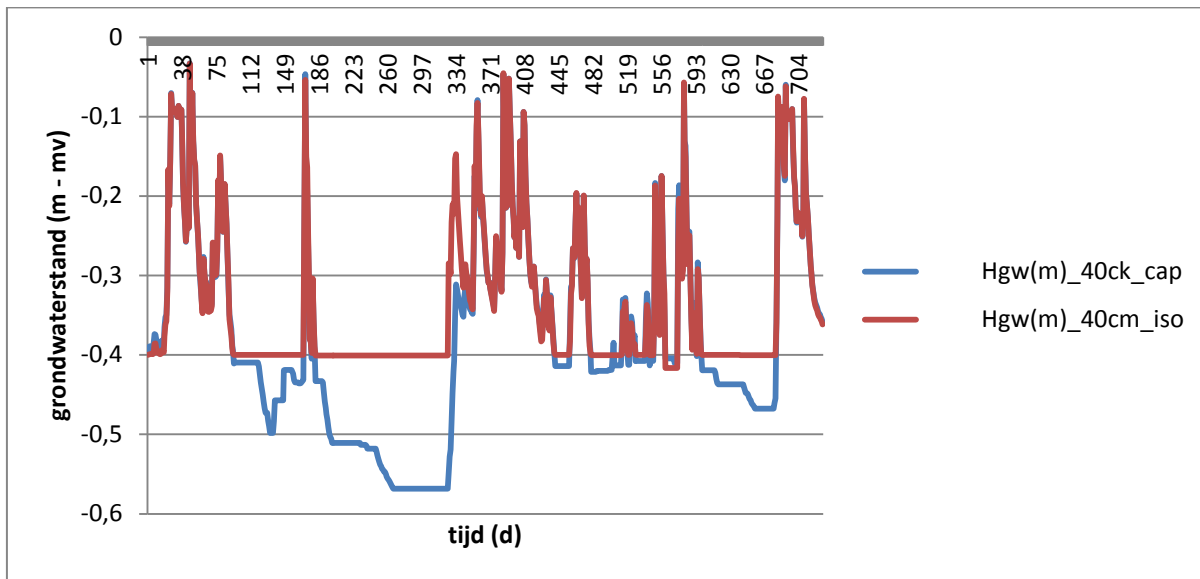
A Achtergronden bij simulatie van ondiepe schijngrondwaterspiegels met MetaSWAP in MIPWA

De aanwezigheid van een ondoorlatend keileem- of kleipakket binnen het dieptebereik van de freatische grondwaterstand leidt bij uitdroging van het profiel uiteindelijk tot situaties die tot op de kleilaag geheel onverzadigd zijn; de kleilaag zelf is wel verzadigd, maar door de zeer lage doorlatendheid is het capillaire transport te verwaarlozen. Het simuleren van dergelijke situaties is in het MIPWA model met MODFLOW-CAPSIM op een pragmatische manier uitgevoerd. Die werkwijze hield in dat bij het dalen van de grondwaterstand tot de diepte van de kleilaag de capillaire opstijging op nul werd gesteld. Bij de overgang naar MODFLOW-MetaSWAP is die methode aanvankelijk ook toegepast.

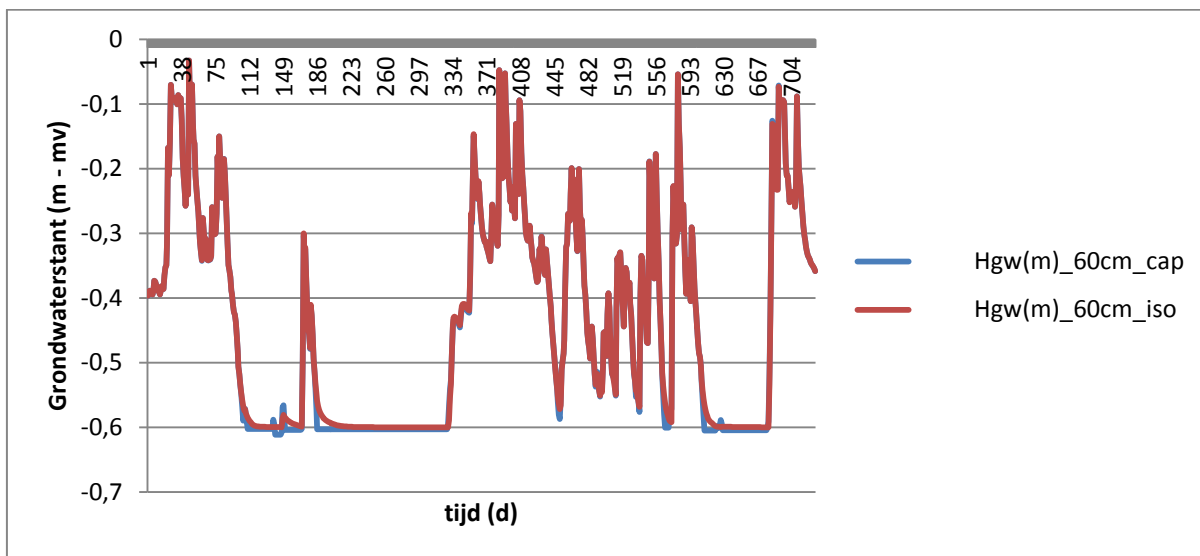
Op een goed moment is evenwel bedacht dat die pragmatische methode niet compatibel is met het meer geavanceerde MetaSWAP concept. Daarbij gaat het hier om de manier waarop de database van vochtprofielen wordt gevuld in de voorbereidingsfase. Bij CAPSIM wordt de wortelzone met een homogeen vochtgehalte gemodelleerd, dat tot het verwelkingspunt kan uitdrogen, ook bij een grondwaterstand vlak onder de wortelzone. In de voorbereidingsfase van MetaSWAP daarentegen, wordt het vochtprofiel in de voorbereidingsfase gesimuleerd met een stationaire versie van SWAP *die tot aan het maaiveld reikt*. Bij een grondwaterstand van net onder de wortelzone wordt in het onderste deel van de wortelzone in geen enkele simulatie het verwelkingspunt bereikt. Toepassing van de pragmatische methode zoals bij CAPSIM leidt er bij MetaSWAP toe dat het model de beschikbaarheid van vocht gaat onderschatten, want het profiel kan niet voldoende uitdrogen. In een poging om de pragmatische methode toch voor MetaSWAP geschikt te maken wordt de beschikbaarheid van vocht in de wortelzone niet bepaald aan de hand van de actuele grondwaterstand maar aan de hand van een zeer diepe (virtuele) grondwaterstand. Aanvankelijk leek dit succesvol, maar al gauw bleek dat het model hierdoor het benodigde water op een geforceerde manier beschikbaar maakte door de grondwaterstand alsnog te verlagen tot beneden de diepte van de ondoorlatende klei laag. Dit niet gewenste verschijnsel doet zich vooral voor wanneer de ondoorlatende kleilaag vlak onder de wortelzone begint.

Om ook situaties met ondiepe voorkomens van de kleilaag te kunnen simuleren zijn speciale profielen gedefinieerd die met de stationaire versie van SWAP zijn doorgerekend. Bij aanwezigheid van een kleilaag op 0.40 m-mv, bijvoorbeeld, is er tussen 0.30 en 0.35 m-mv een speciale laag geïntroduceerd die bij het ontstaan van onderdruk een doorlatendheid van vrijwel nul heeft. Met deze tussenlaag wordt bij uitdroging van de wortelzone een vochtprofiel gesimuleerd met een te verwaarlozen invloed van de grondwaterstand als die zich bevindt op 0.4 m-mv: de tussenlaag werkt als een hydrologische isolatielaag. Het verschil tussen de twee rekenwijzen is zichtbaar in de gesimuleerde grondwaterstanden van Fig. 1. Voor de kleilaag beginnend vanaf 0.6 m-mv blijken de beide rekenmethodes vrijwel hetzelfde verloop van de grondwaterstand te simuleren, zie Fig. 2.

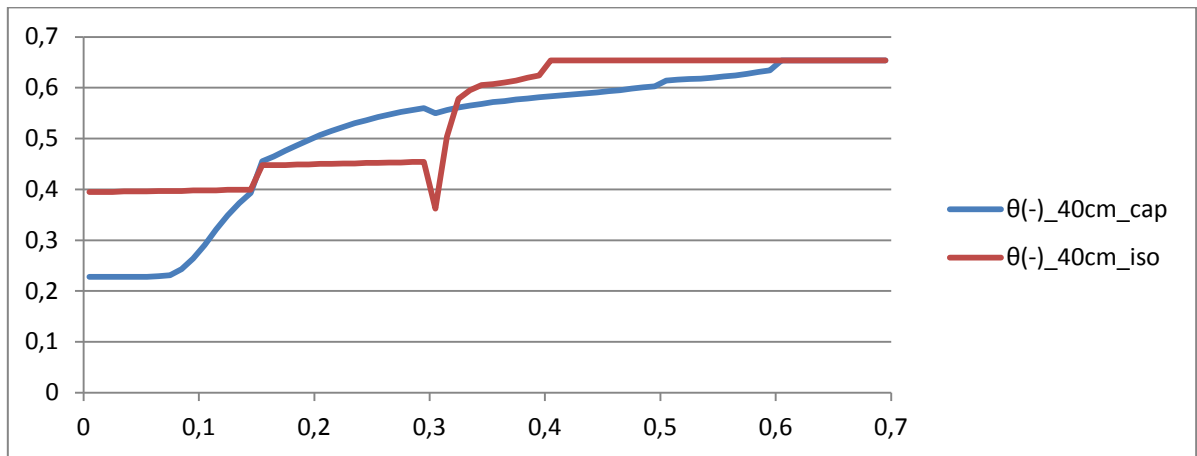
Het uiteenlopen van de uitkomsten voor de kleilaag op 0.4 m-mv wordt verder geïllustreerd aan de hand van het vochtprofiel op dag 271 van het eerste simulatiejaar, zie Fig. 3. De rekenwijze met de hydrologische isolatielaag geeft een blokvormig vochtprofiel dat het beste beantwoordt aan de verwachting voor een uitgedroogde situatie boven een ondoorlatende ondergrond; de sprong bij 0.15 m-mv wordt veroorzaakt door een overgang in de schematisering. De overgang naar de verzadigde ondergrond is geheel geconcentreerd in de hydrologische isolatielaag tussen 0.30 en 0.40 m-mv. Wel blijkt uit de figuur dat er een numeriek probleem is bij de scherpe overgang naar de speciale laag: voor het eerste compartiment net onder de wortelzone schiet het model door, met als resultaat een hydrologisch niet te verklaren dip in het vochtgehalte.



Figuur A.1 Gesimuleerde grondwaterstanden voor ondoorlatende kleilaag vanaf 0.40 m-mv. Verklaring van symbolen: Hgw(m)_40cm_cap – gesimuleerde grondwaterstand bij toepassing van de CAPSIM methode op MetaSWAP; Hgw(m)_40cm_iso - gesimuleerde grondwaterstand bij introductie van een speciale hydrologische isolatielaag tussen 0.30 en 0.35 m-mv.



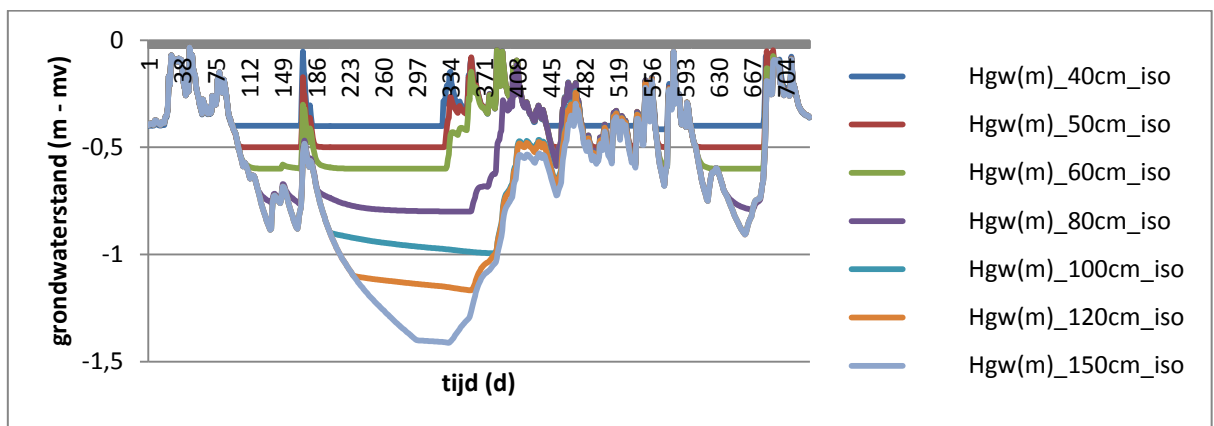
Figuur A.2 Gesimuleerde grondwaterstanden voor ondoorlatende kleilaag vanaf 0.60 m-mv. Verklaring van symbolen: Hgw(m)_60cm_cap – gesimuleerde grondwaterstand bij toepassing van de CAPSIM methode op MetaSWAP; Hgw(m)_60cm_iso - gesimuleerde grondwaterstand bij introductie van een speciale hydrologische isolatielaag tussen 0.50 en 0.55 m-mv.



Figuur A.3 Gesimuleerde vochtprofielen met twee methoden voor inbrengen van een ondoorlatende kleilaag.

Verklaring van symbolen: 40cm_cap – vochtprofiel bij toepassing van de CAPSIM methode op MetaSWAP;

40cm_iso – vochtprofiel bij introductie van een speciale hydrologische isolatielaag tussen 30 en 35 cm-mv.



Figuur A.4 Gesimuleerde grondwaterstanden – voor ondoorlatende kleilaag vanaf 40-150 cm-mv. De kleilaag is ingebracht via een aangepast bodemprofiel met een hydrologische isolatielaag

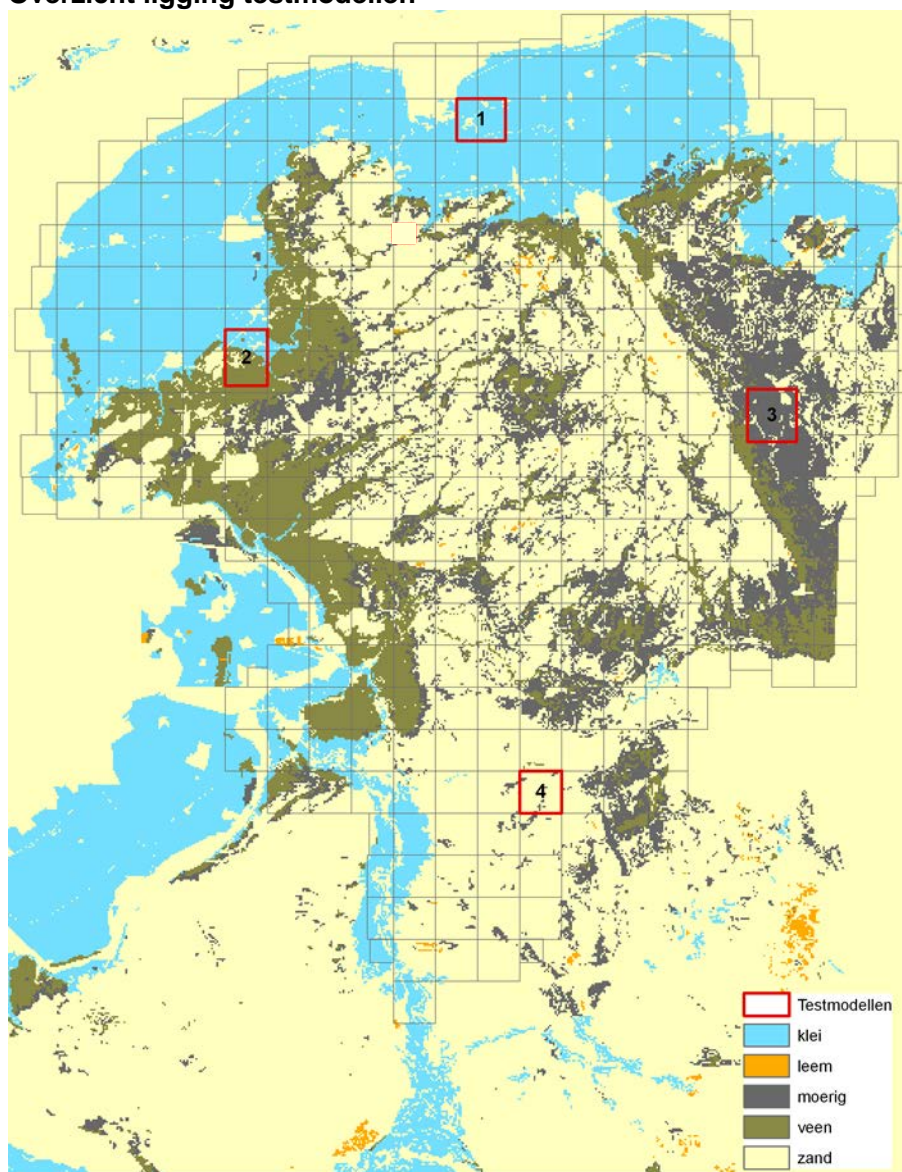
Voor een serie profielen met variërende diepte van de ondoorlatende kleilaag zijn de gesimuleerde grondwaterstanden uitgebeeld in Fig. 4. Bij de profielen met de kleilaag op 0.8 m-mv en dieper is een 'uitzaktraject' zichtbaar. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt doordat het model de capillaire flux interpoleert aan de hand van de grondwaterstandstabel die bij het aanmaken van de onverzadigde database is gebruikt. Die tabel maakt stapjes van 10 cm. Het bodemprofiel "120cm_iso", bijvoorbeeld, heeft een isolatielaag tussen 1.10 en 1.15 m-mv. In het uitzaktraject wordt er dan geïnterpoleerd tussen een capillaire flux nog niet wordt beïnvloed door de isolatielaag (waarde voor grondwaterstand van 1.1 m-mv) en een flux die vrijwel nul is als gevolg van de invloed van de isolatielaag (waarde voor grondwaterstand van 1.2 m-mv).

Uit het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat de nieuwe methode om schijnspiegels te simuleren goed in staat is om het verschijnsel te reproduceren dat de grondwaterstand niet verder moet zakken dan tot de keileemlaag. Het kunnen simuleren van dat verschijnsel was ook de vraag die bij de ontwikkelaar was neergelegd. Maar uit het vochtprofiel van Fig. 3 blijkt dat de methode nog altijd voor verbetering vatbaar is indien de focus wordt verlegd naar het correct simuleren van de vochthuishouding. Dat betreft vooral de overgangslaag tussen 0.30 en 0.40 m-mv in het voorbeeld. Een kwart van de 'goede grond' (0-0.4 m-mv) wordt nu gebruikt voor de overgang naar de keileem. Daarbij is er tevens een rekenkundig probleem

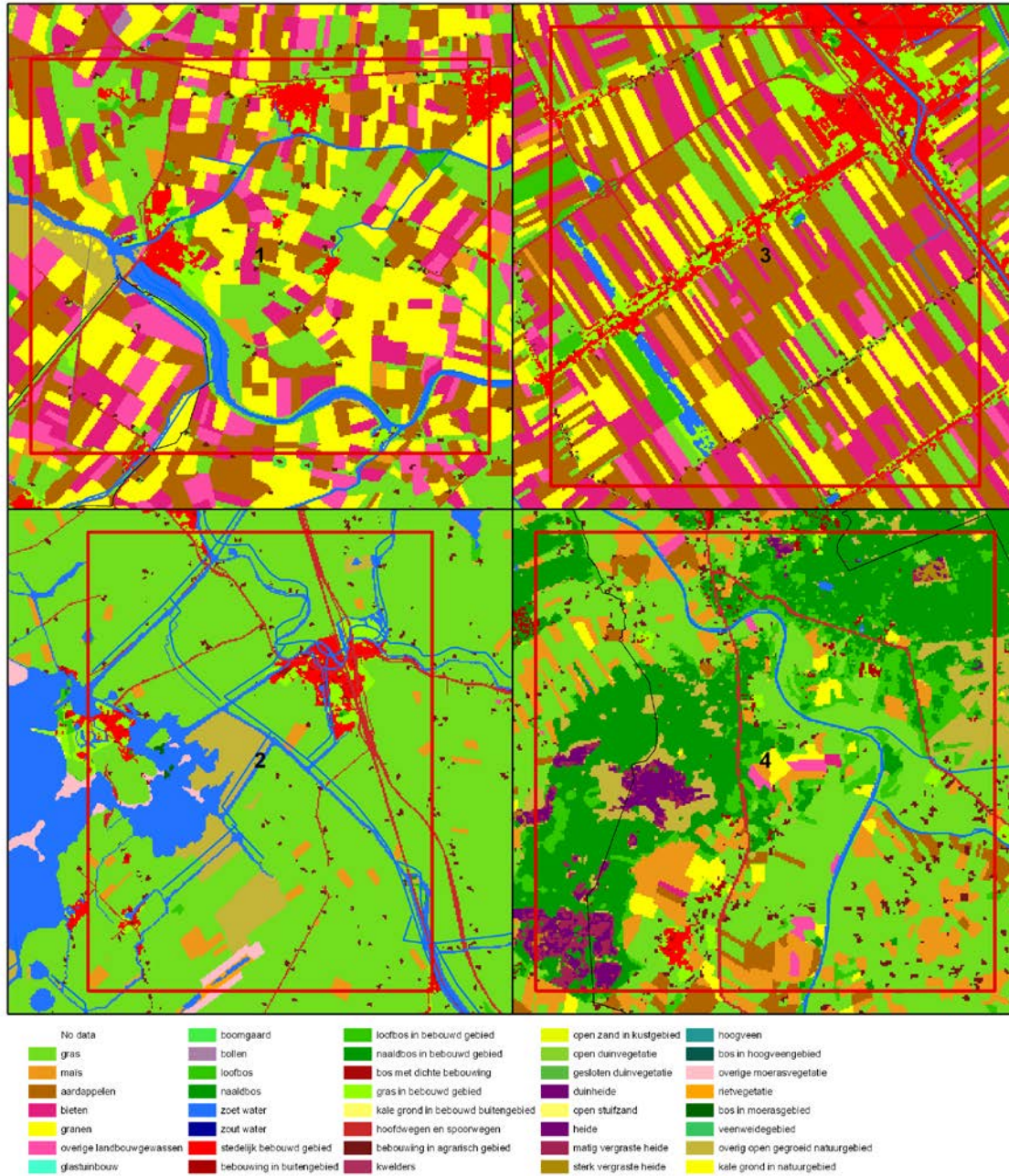
die de dip in het vochtgehalte veroorzaakt zoals zichtbaar in Fig. 3. Dit probleem verdwijnt vanzelf als voor een keileemlaag op 0.40 m-mv de isolatielaag niet tussen 0.3 en 0.4 m-mv wordt geplaatst, maar tussen 0.40 en 0.50 m-mv. Het grondwater-uitzaktraject komt dan tussen die dieptegrenzen te liggen. De overgangslaag moet in de verbeterde methode niet alleen een speciale doorlatendheidskarakteristiek hebben maar ook een aangepaste vochtkarakteristiek, waarbij het verzadigd vochtgehalte op een zeer lage waarde wordt gesteld, net als de doorlatendheid. Daarmee wordt bereikt dat tijdens het grondwater-uitzaktraject de hoeveelheid vocht die capillair opstijgt nog te verwaarlozen is.

B Figuren deelgebieden

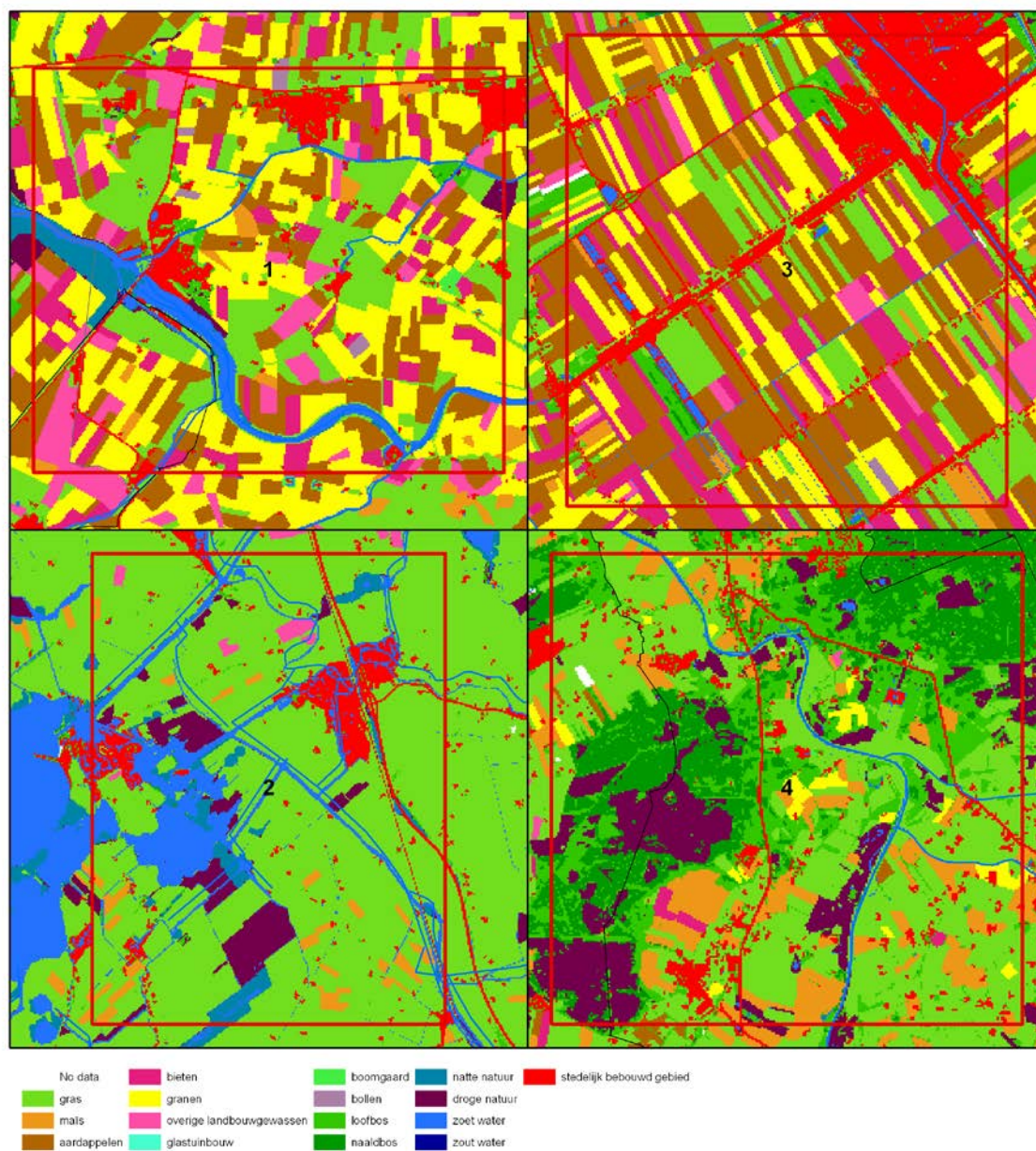
B.1 Overzicht ligging testmodellen



Figuur B.1 overzicht ligging deelgebieden



Figuur B.2 Landgebruik in CAPSIM voor de verschillende deelgebieden, MIPWA 2.1

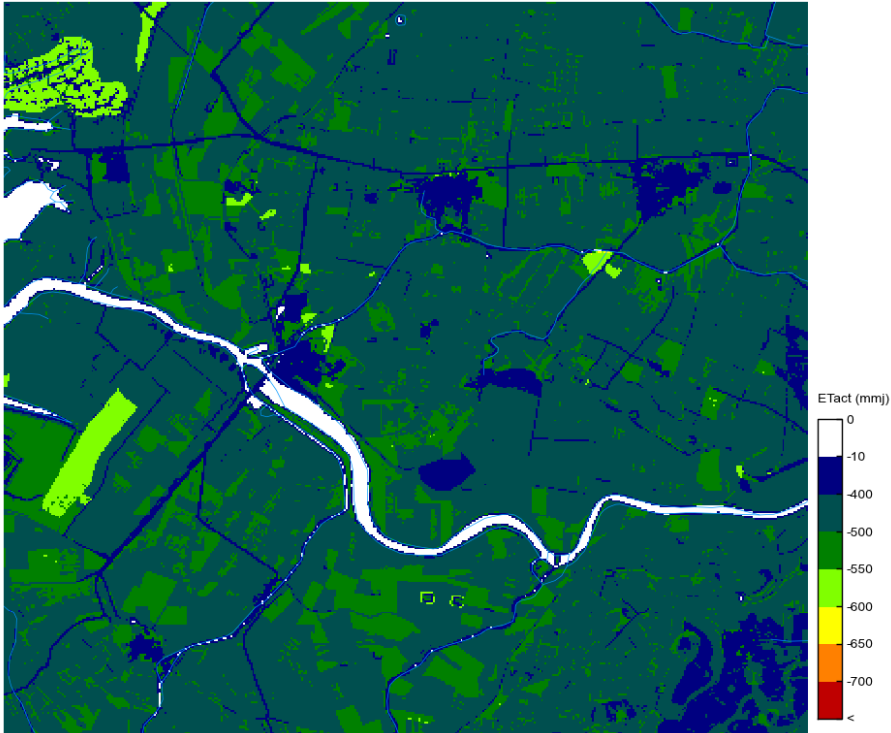


Figuur B.3 Landgebruik in MetaSWAP voor de verschillende deelgebieden, MIPWA 2.2

B.2 Deelgebied 1

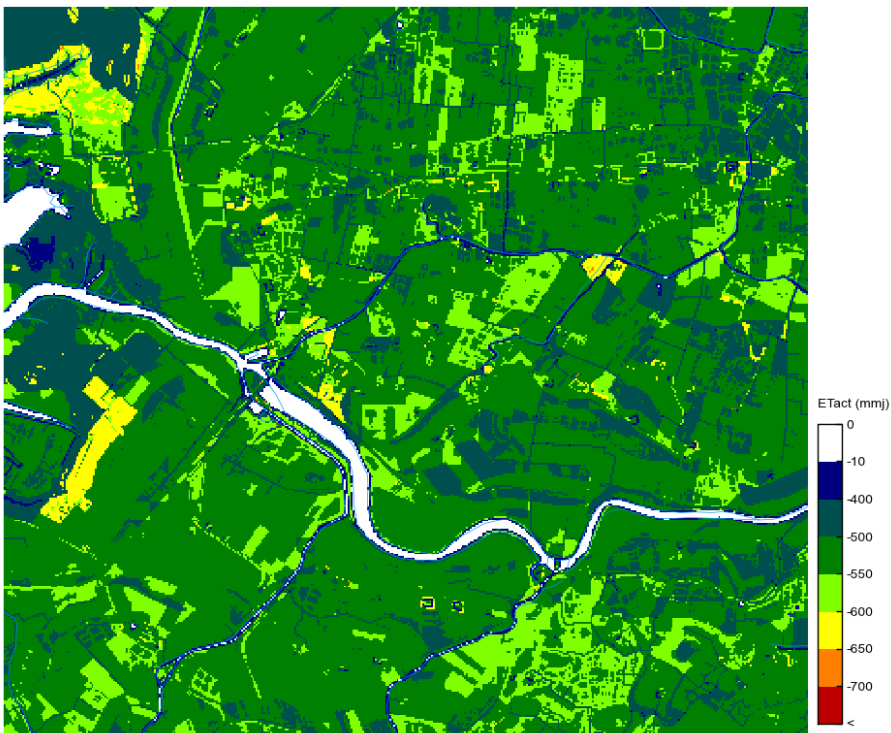
B.2.1 Figuren Soil Water Atmosphere Plant (SWAP)

ETact Capsim (1993-2001) (mmj)

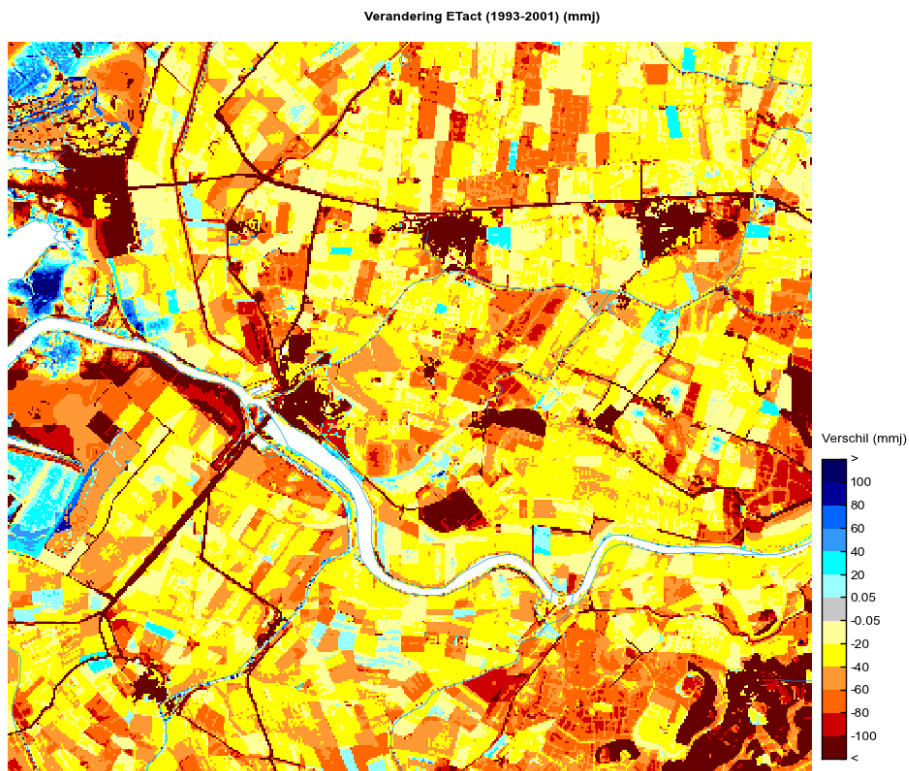


Figuur B.4 ETact CAPSIM (1993-2001)

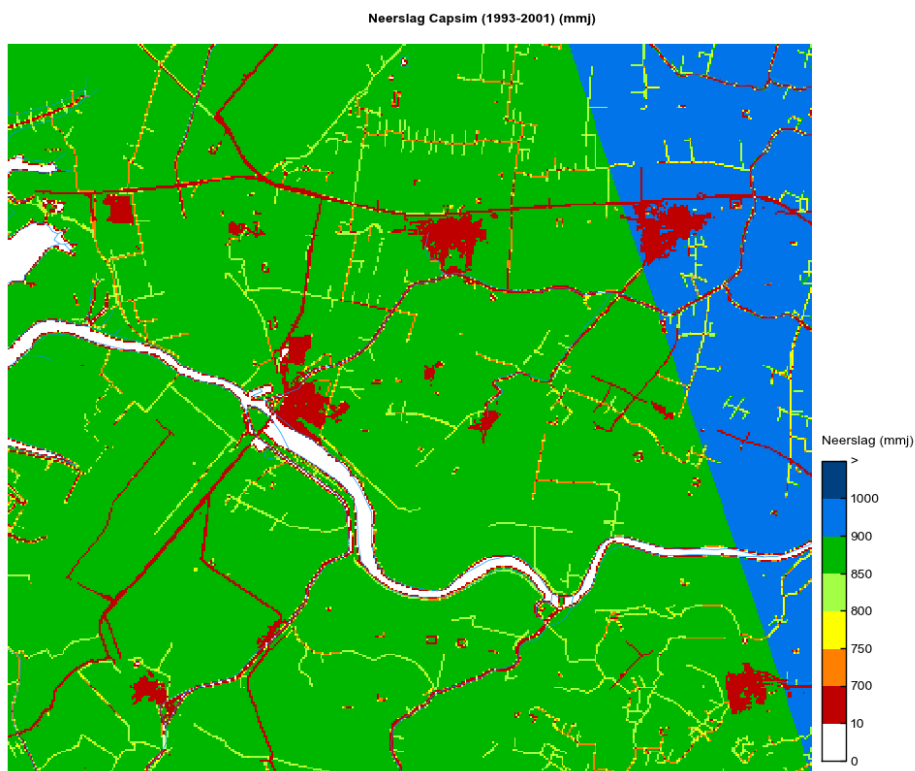
ETact Metaswap (1993-2001) (mmj)



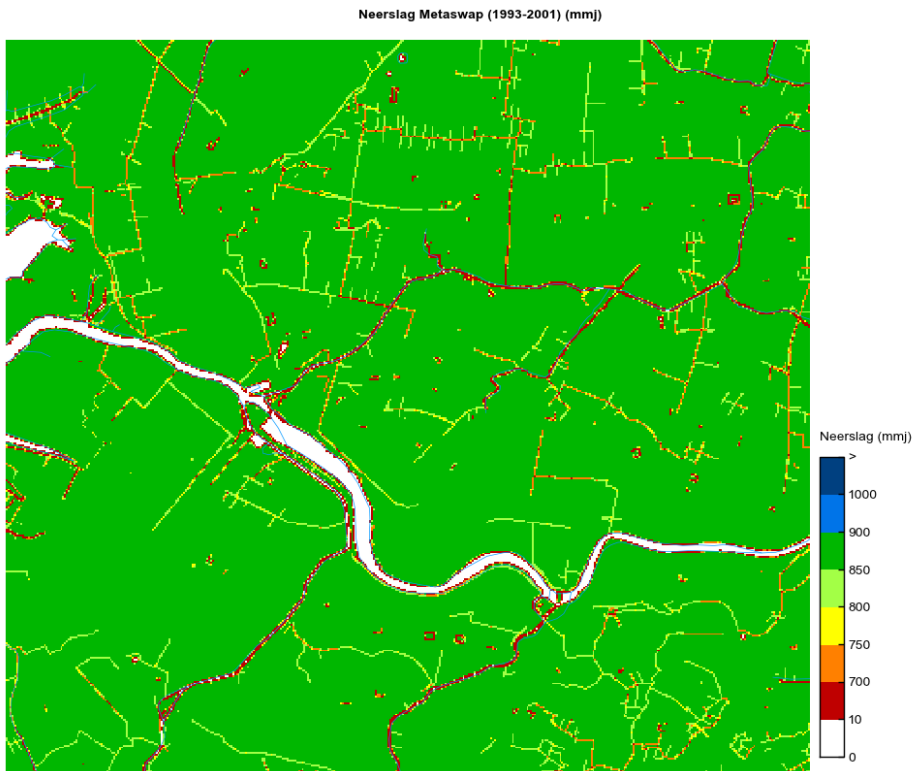
Figuur B.5 ETact MetaSWAP (1993-2001)



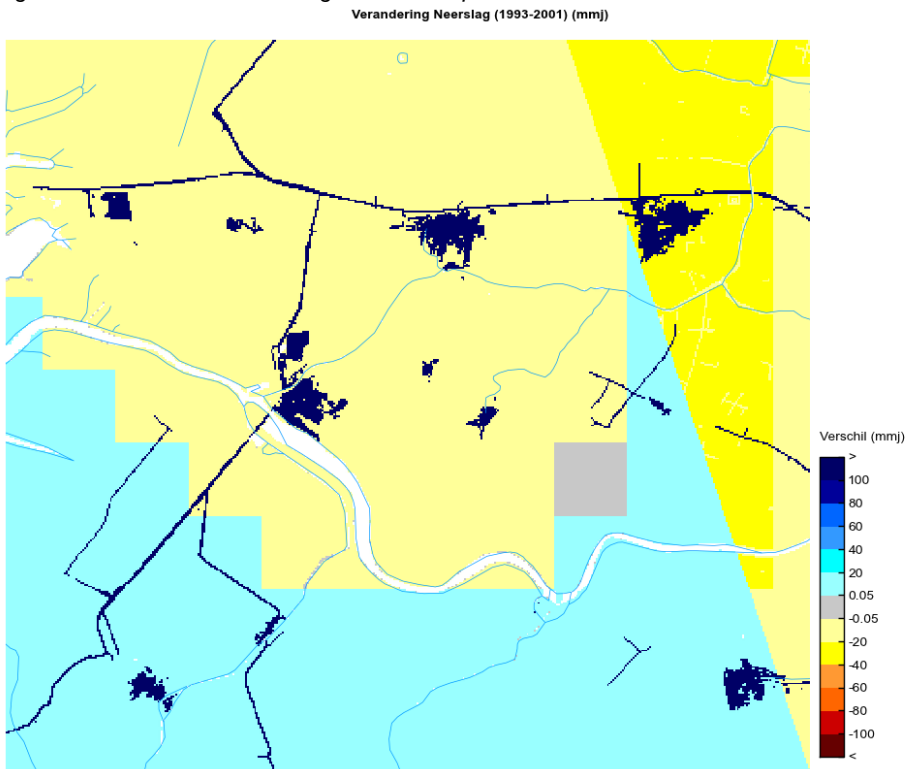
Figuur B.6 Verandering ETact (geel is toename, blauw is afname)



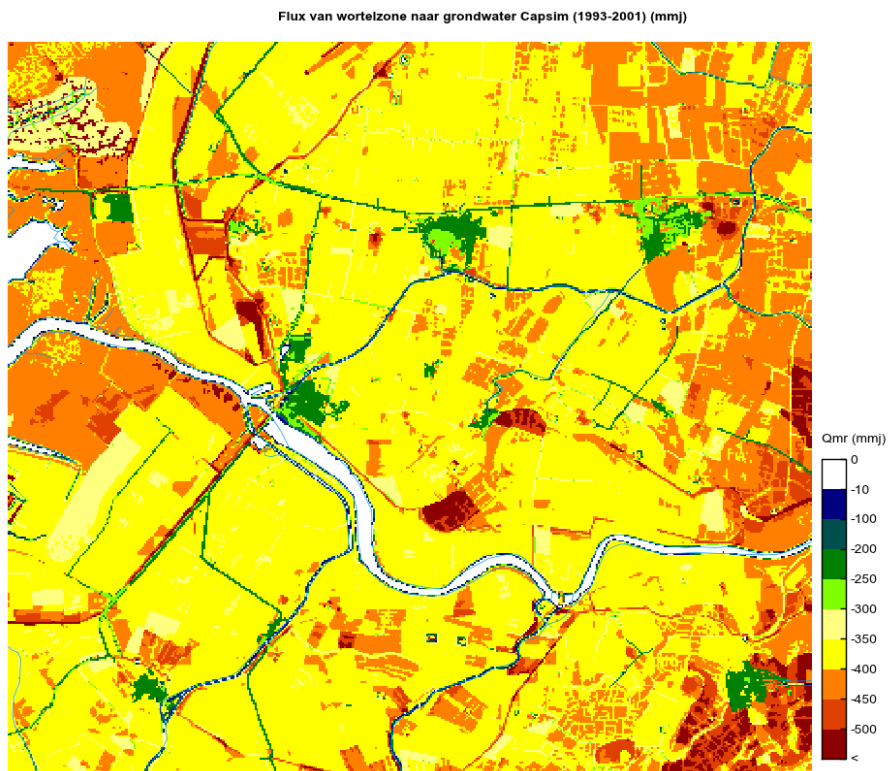
Figuur B.7 Gemiddelde neerslag CAPSIM periode 1993-2001



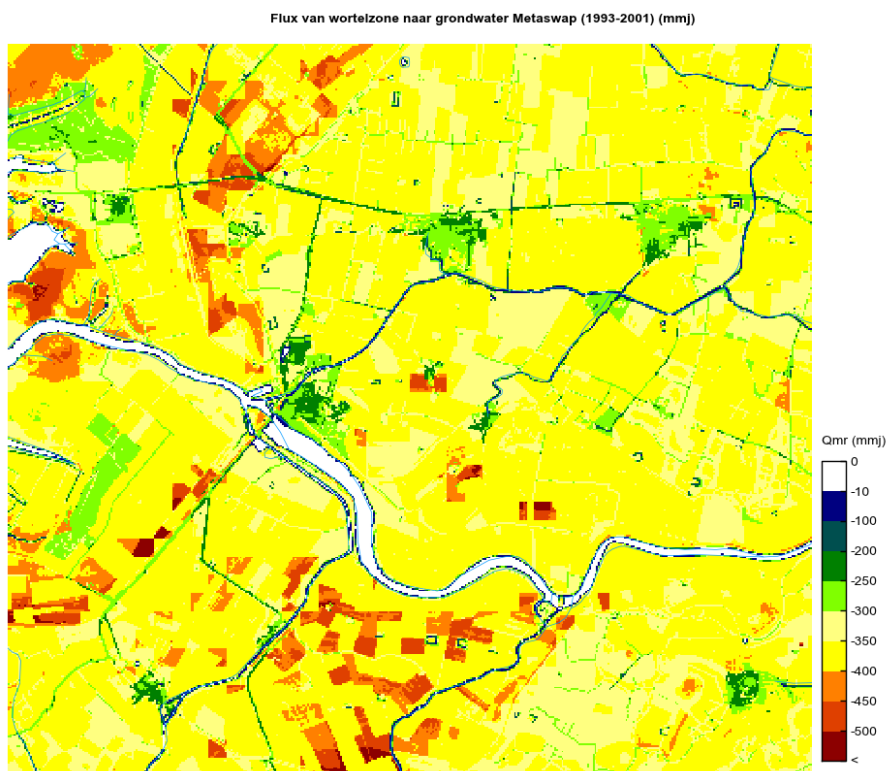
Figuur B.8 Gemiddelde neerslag MetaSWAP periode 1993-2001



Figuur B.9 Verschil in gemiddelde neerslag periode 1993-2001 (blauw is toename, rood is afname)



Figuur B.10 Gemiddelde flux naar het verzadigde grondwater CAPSIM periode 1993-2001



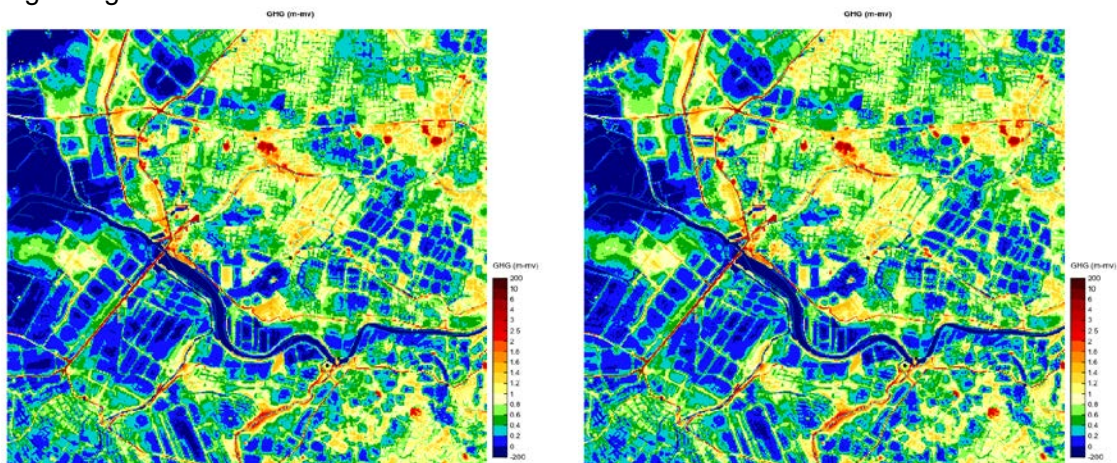
Figuur B.11 Gemiddelde flux naar het verzadigde grondwater MetaSWAP periode 1993-2001

Verandering flux van wortelzone naar grondwater (1993-2001) (mmj)

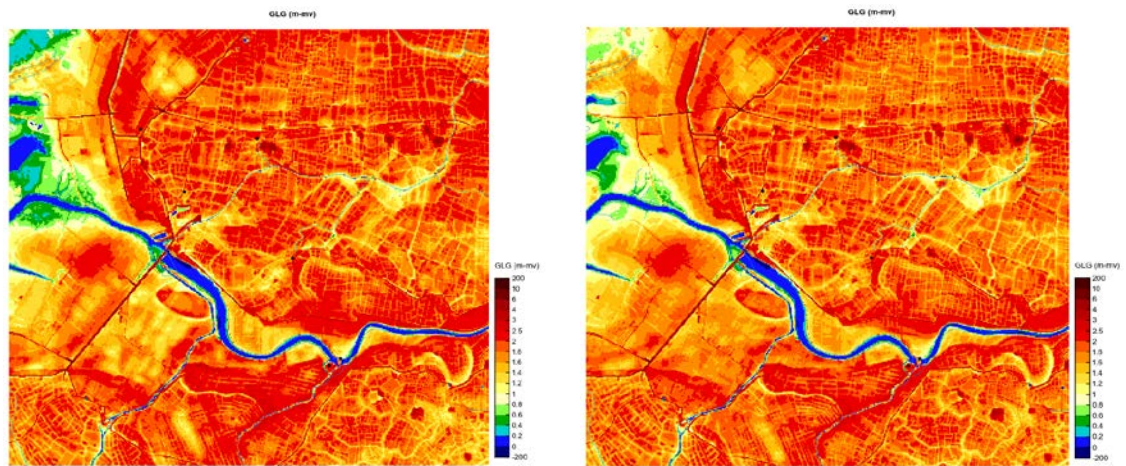


Figuur B.12 Gemiddelde verandering in flux naar het verzadigde grondwater periode 1993-2001

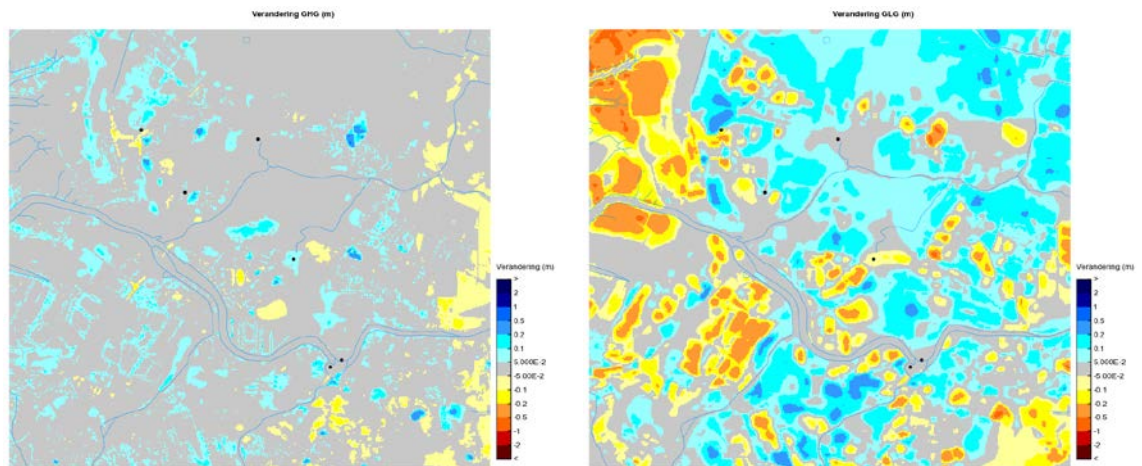
B.2.2 Figuren grondwater



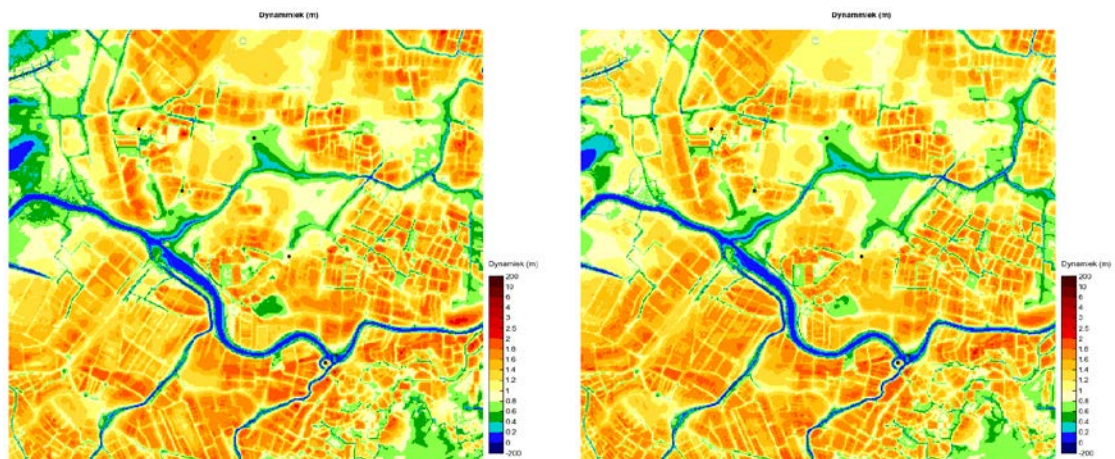
Figuur B.13 GHG MIPWA 2.1 (links) GHG MIPWA 2.2 (rechts)



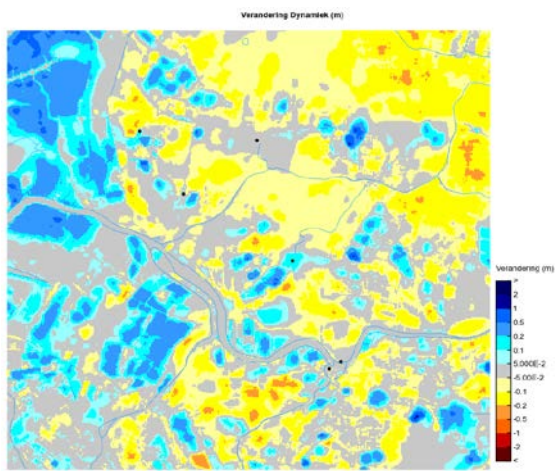
Figuur B.14 GLG MIPWA 2.1 (links) GLG MIPWA 2.2 (rechts)



Figuur B.15 verandering in GHG (links), verandering in GLG (rechts)



Figuur B.16 Dynamiek MIPWA 2.1 (links) Dynamiek MIPWA 2.2 (rechts)

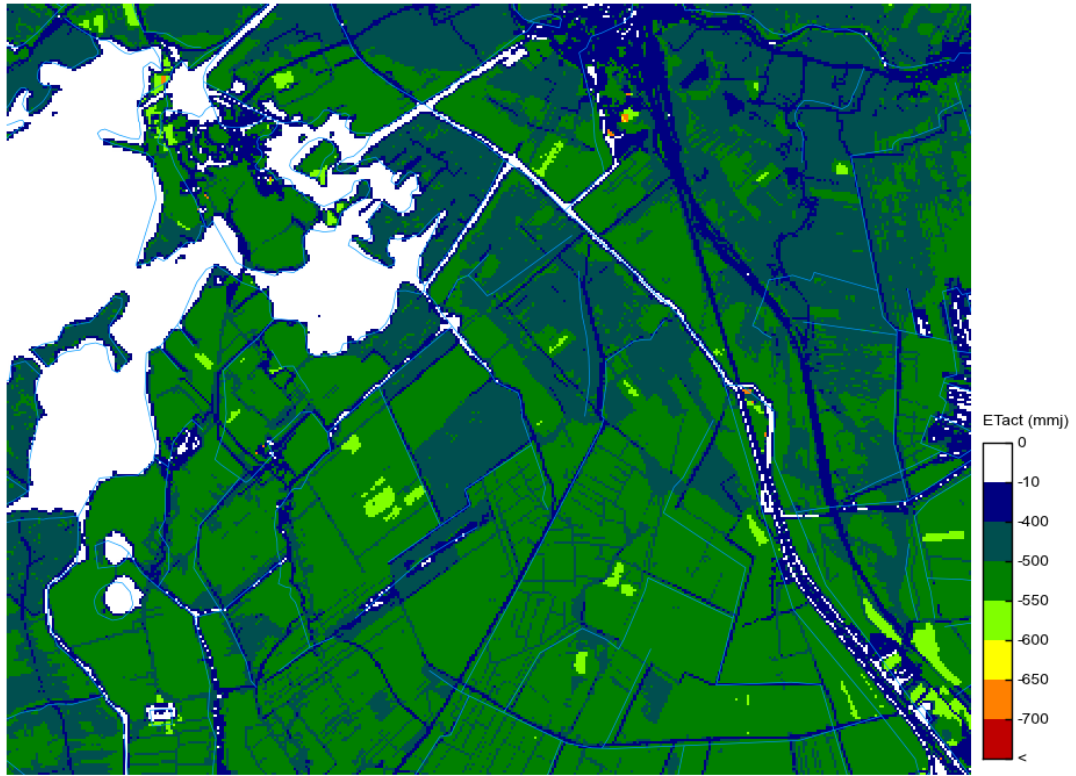


Figuur B.17 Verandering in dynamiek

B.3 Deelgebied 2

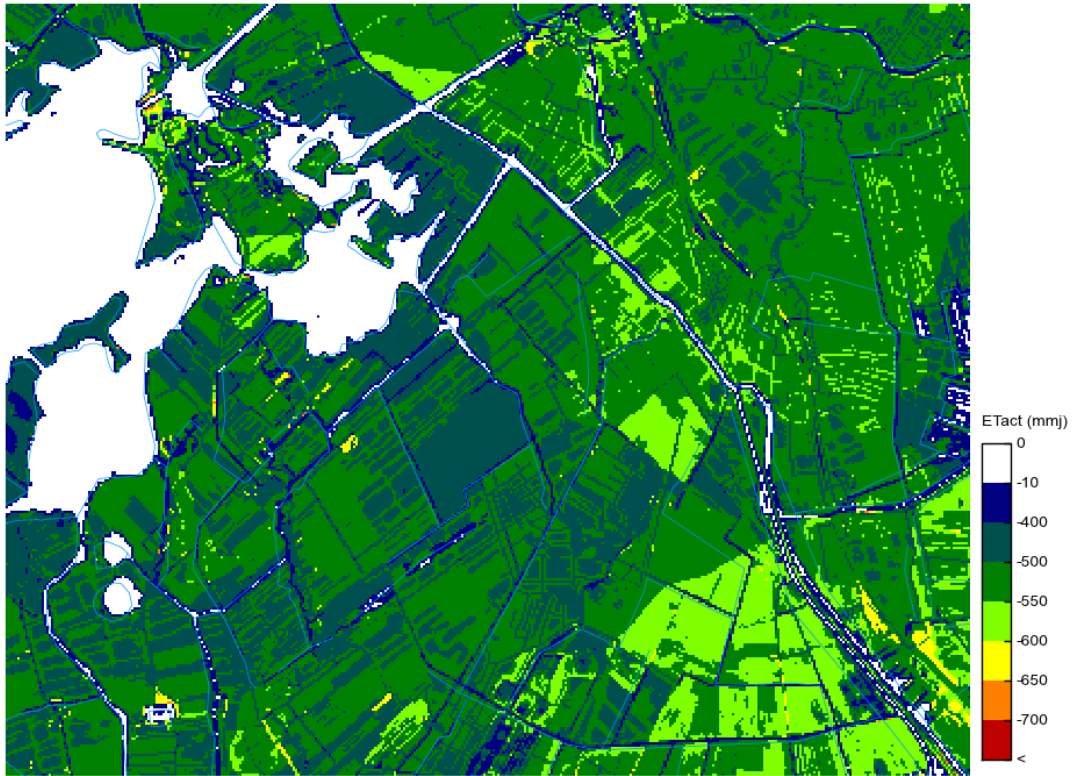
B.3.1 Figuren Soil Water Atmosphere Plant (SWAP)

ETact Capsim (1993-2001) (mmj)



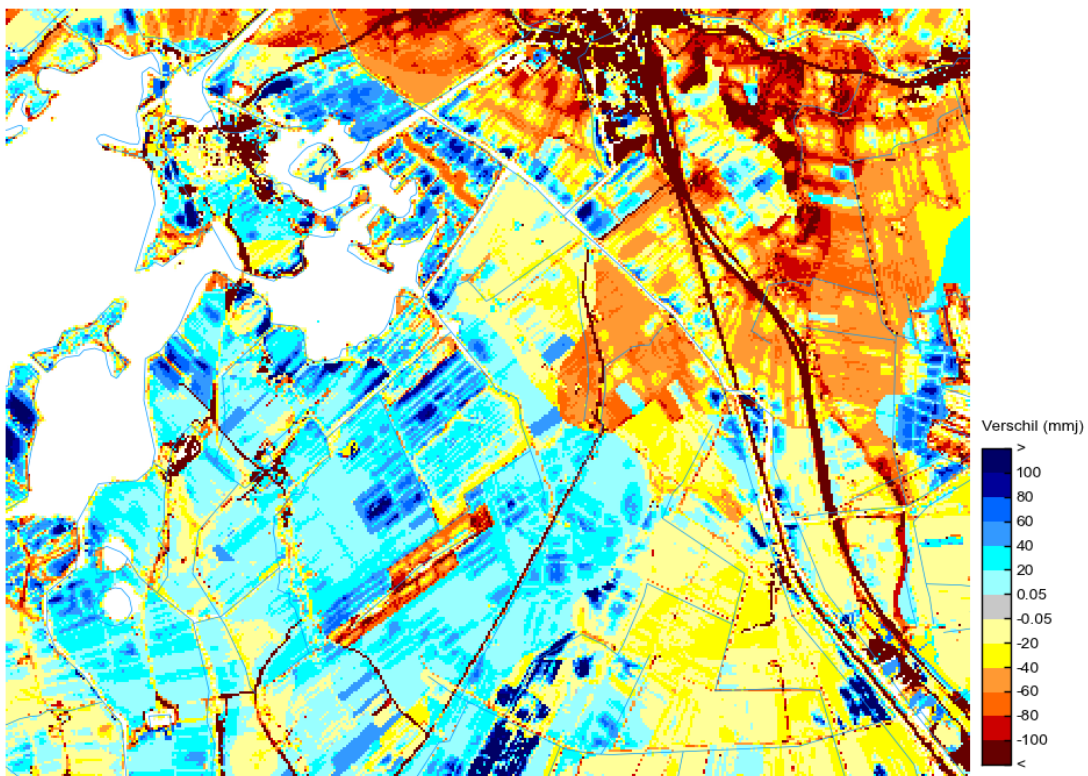
Figuur B.18 ETact CAPSIM (1993-2001)

ETact Metaswap (1993-2001) (mmj)

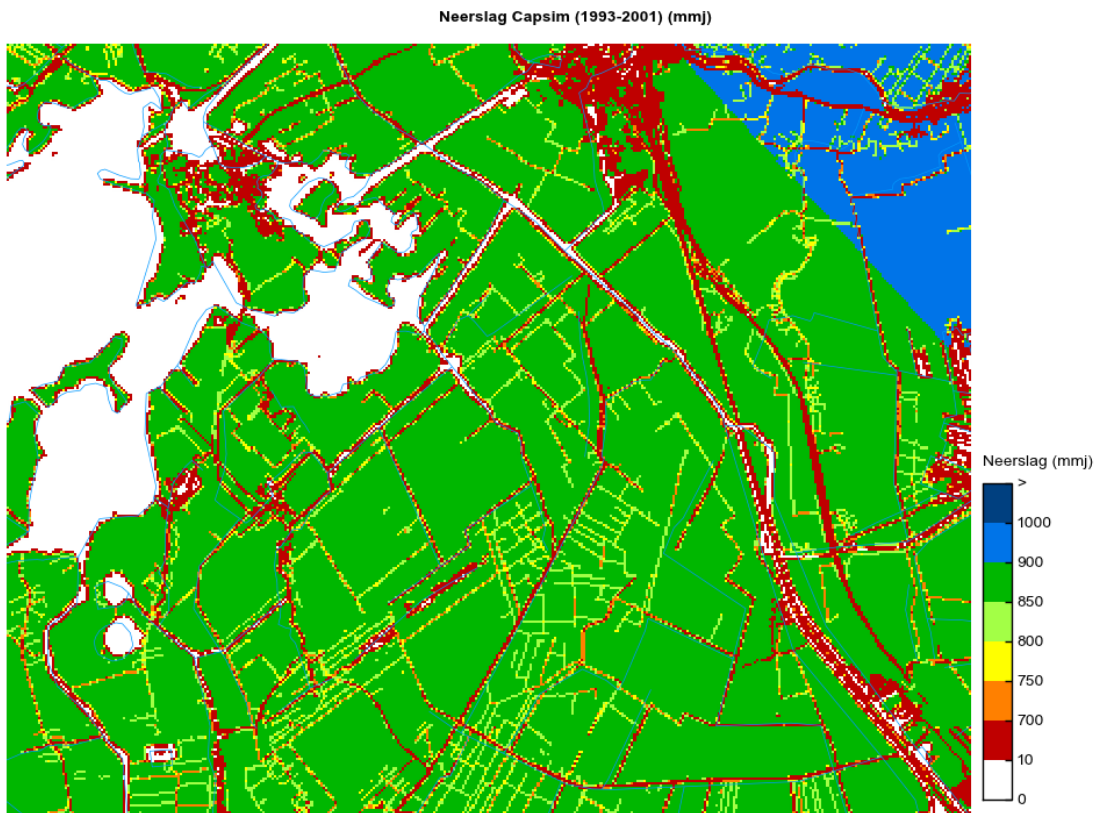


Figuur B.19 ETact MetaSWAP (1993-2001)

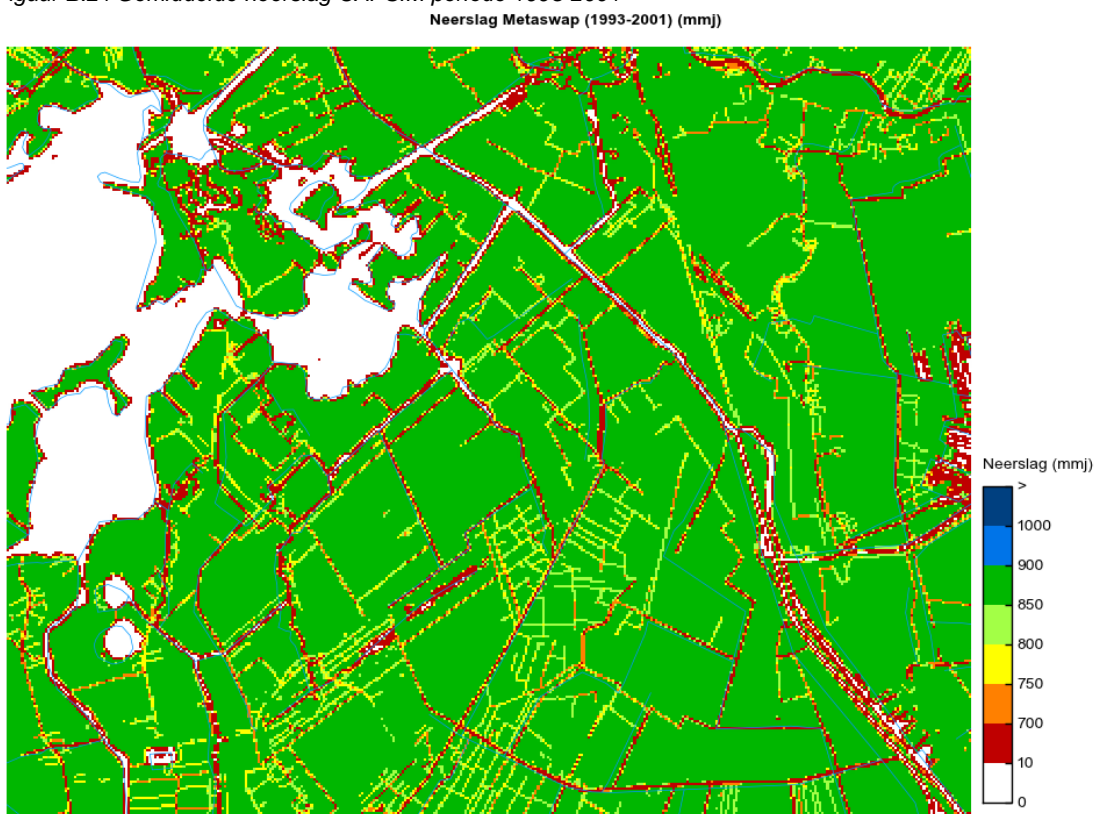
Verandering ETact (1993-2001) (mmj)



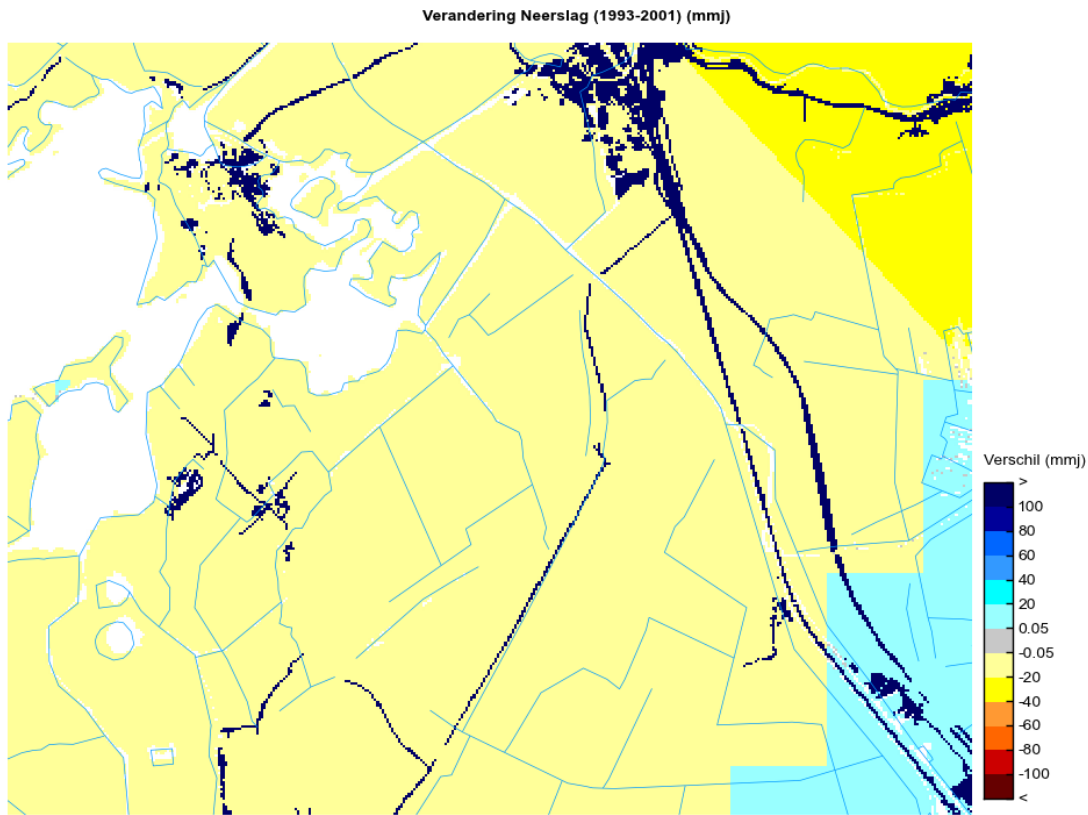
Figuur B.20 Verandering ETact (geel is toename, blauw is afname)



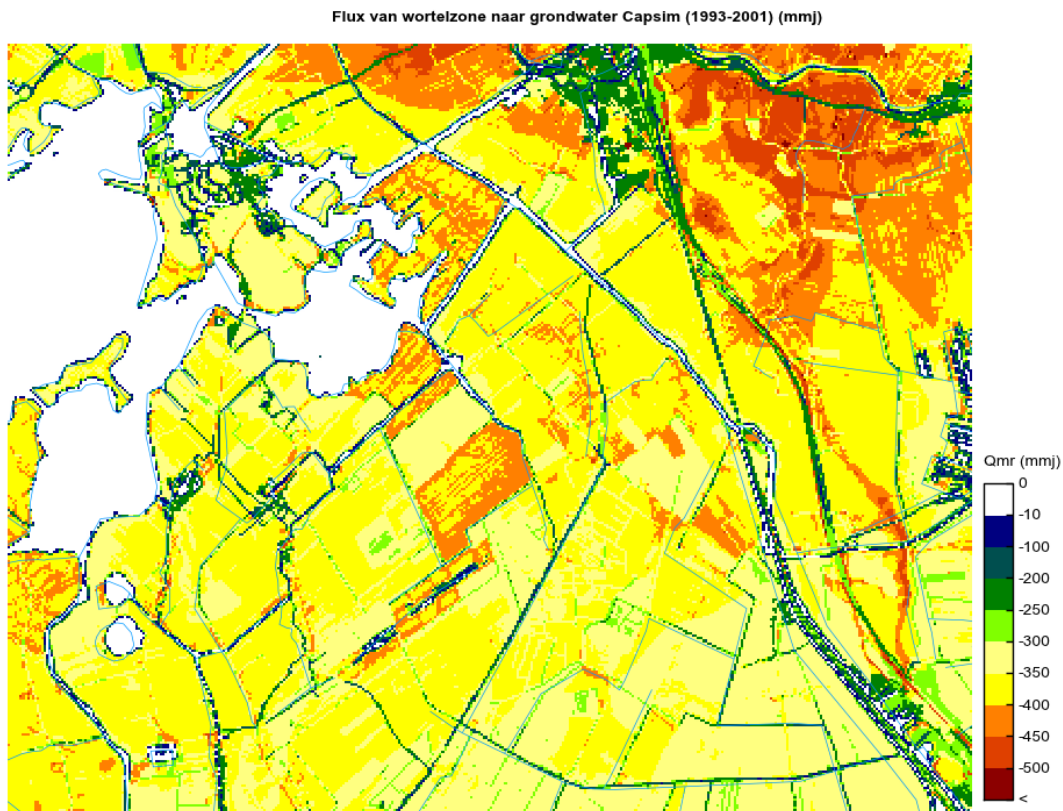
Figuur B.21 Gemiddelde neerslag CAPSIM periode 1993-2001



Figuur B.22 Gemiddelde neerslag MetaSWAP periode 1993-2001

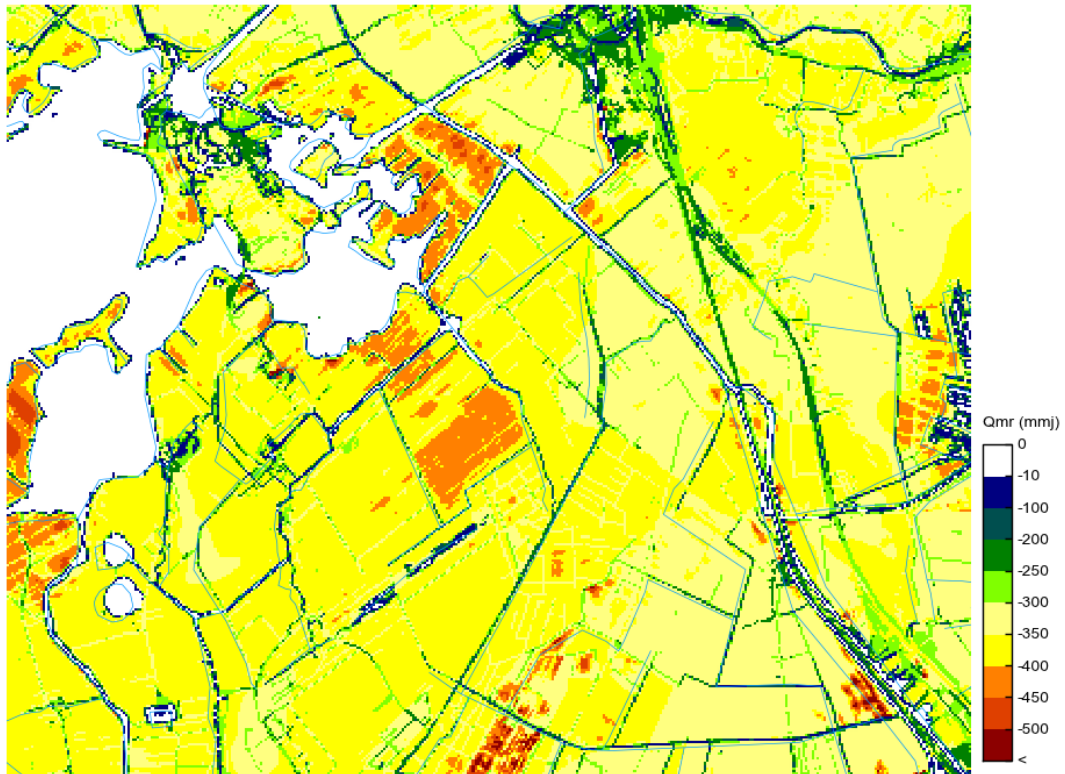


Figuur B.23 Verschil in gemiddelde neerslag periode 1993-2001 (blauw is toename, rood is afname)

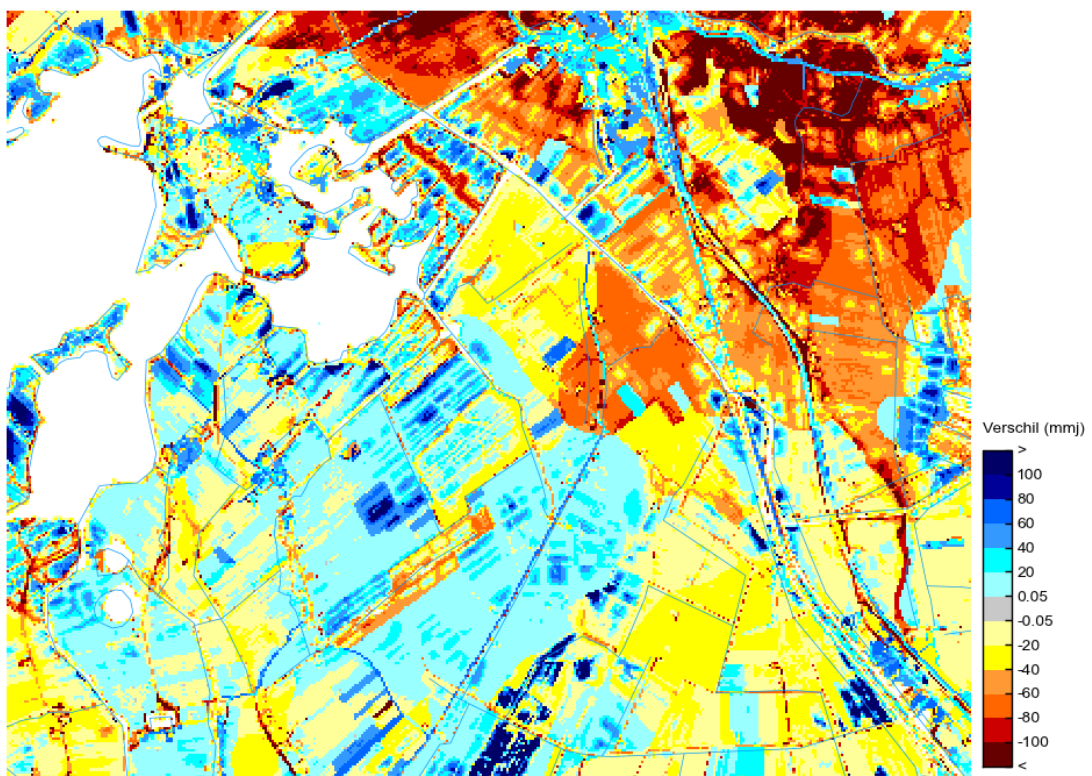


Figuur B.24 Gemiddelde flux naar het verzadigde grondwater CAPSIM periode 1993-2001

Flux van wortelzone naar grondwater Metaswap (1993-2001) (mmj)

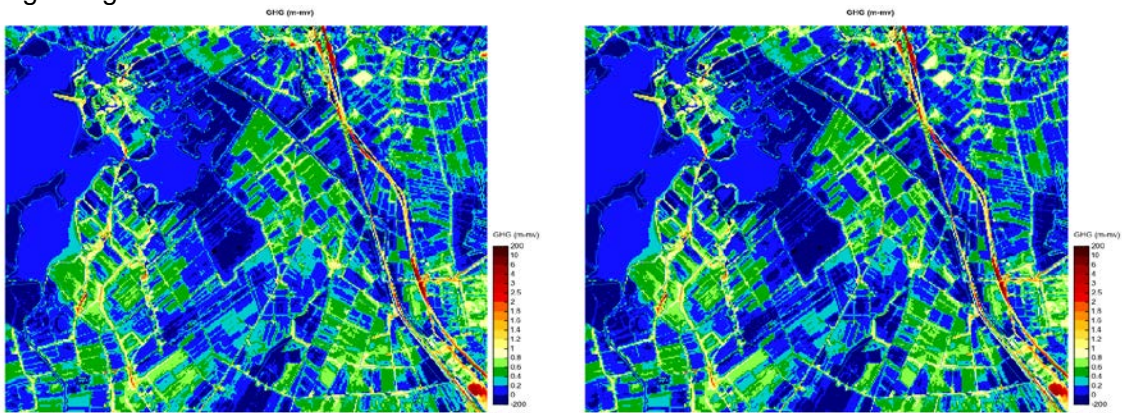


Figuur B.25 Gemiddelde flux naar het verzadigde grondwater MetaSWAP periode 1993-2001
Verandering flux van wortelzone naar grondwater (1993-2001) (mmj)

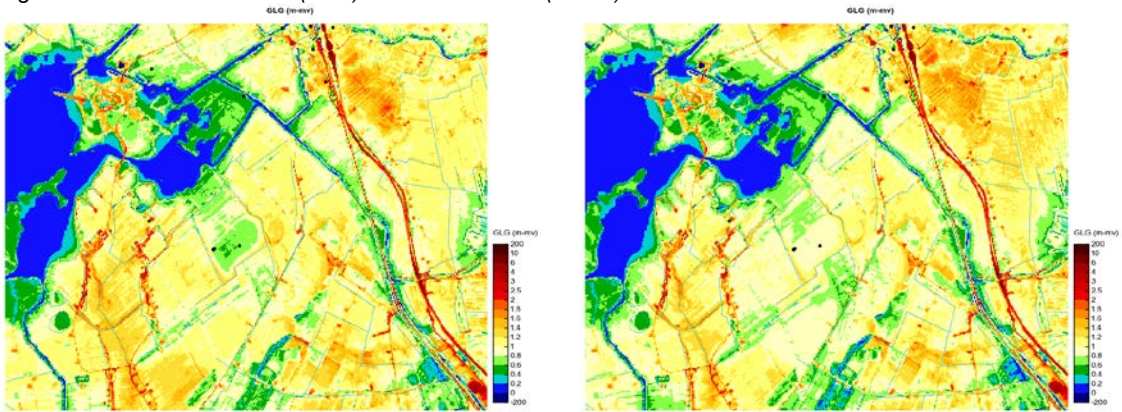


Figuur B.26 Gemiddelde verandering in flux naar het verzadigde grondwater periode 1993-2001

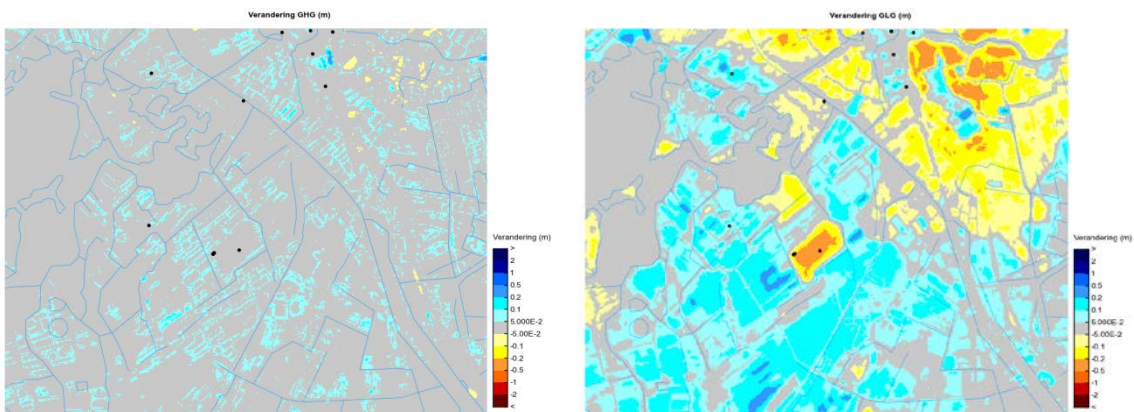
B.3.2 Figuren grondwater



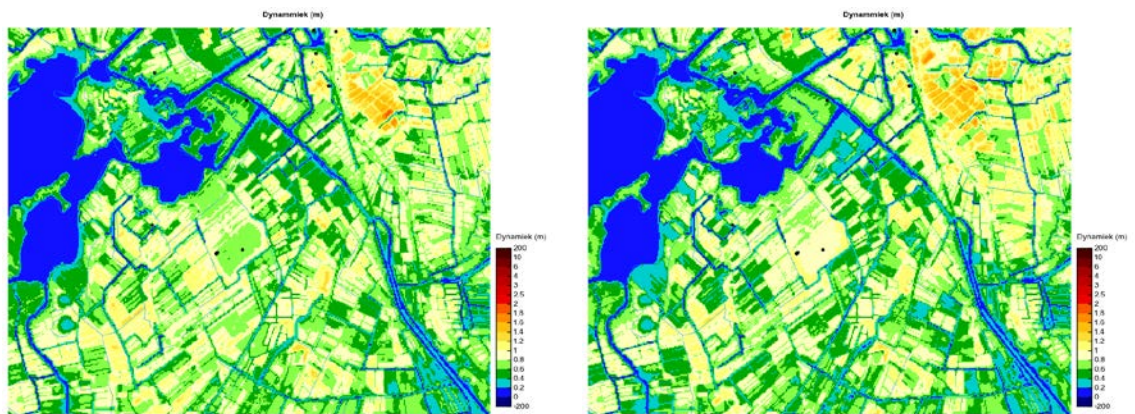
Figuur B.27 GHG MIPWA 2.1 (links) GHG MIPWA 2.2 (rechts)



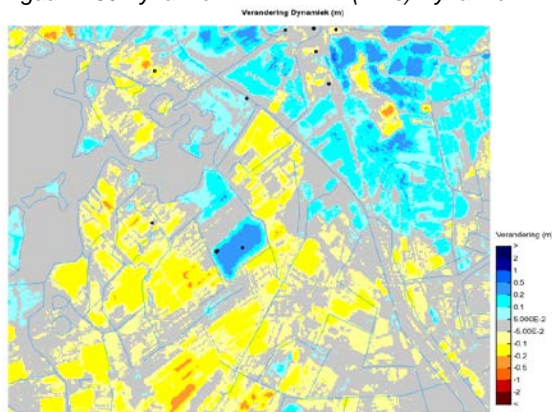
Figuur B.28 GLG MIPWA 2.1 (links) GLG MIPWA 2.2 (rechts)



Figuur B.29 verandering in GHG (links), verandering in GLG (rechts)



Figuur B.30 Dynamiek MIPWA 2.1 (links) Dynamiek MIPWA 2.2 (rechts)

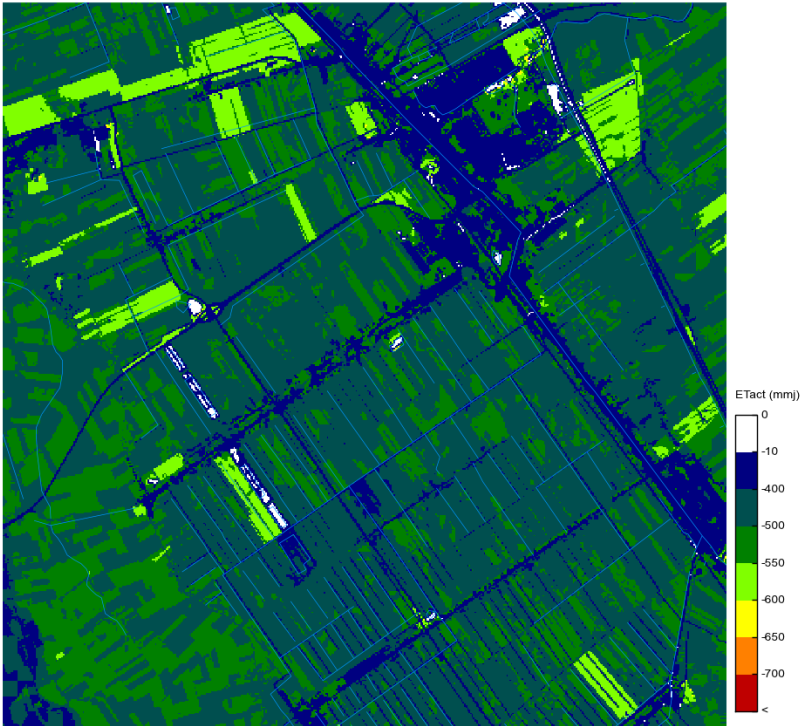


Figuur B.31 Verandering in dynamiek

B.4 Deelgebied 3

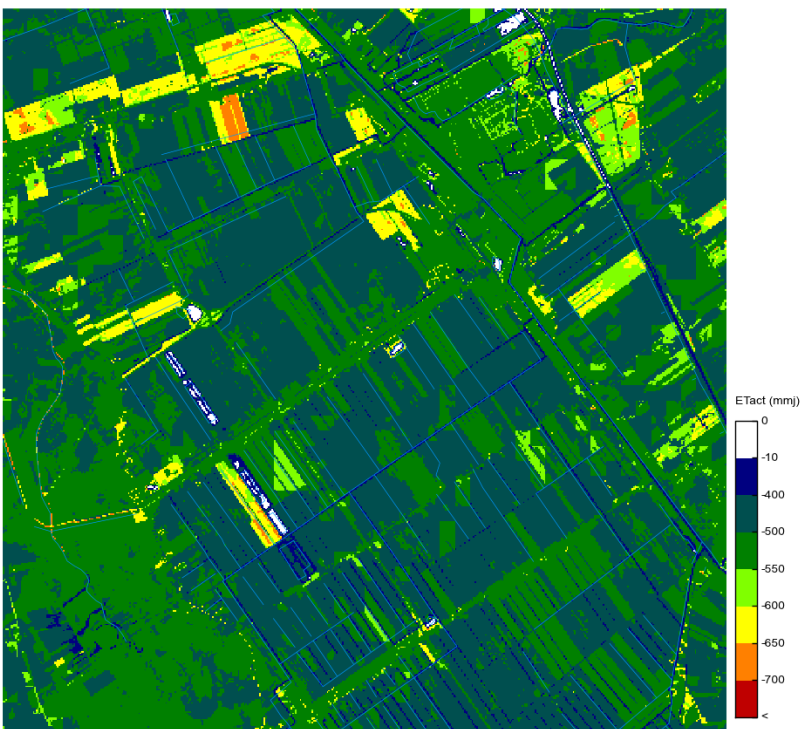
B.4.1 Figuren Soil Water Atmosphere Plant (SWAP)

ETact Capsim (1993-2001) (mmj)

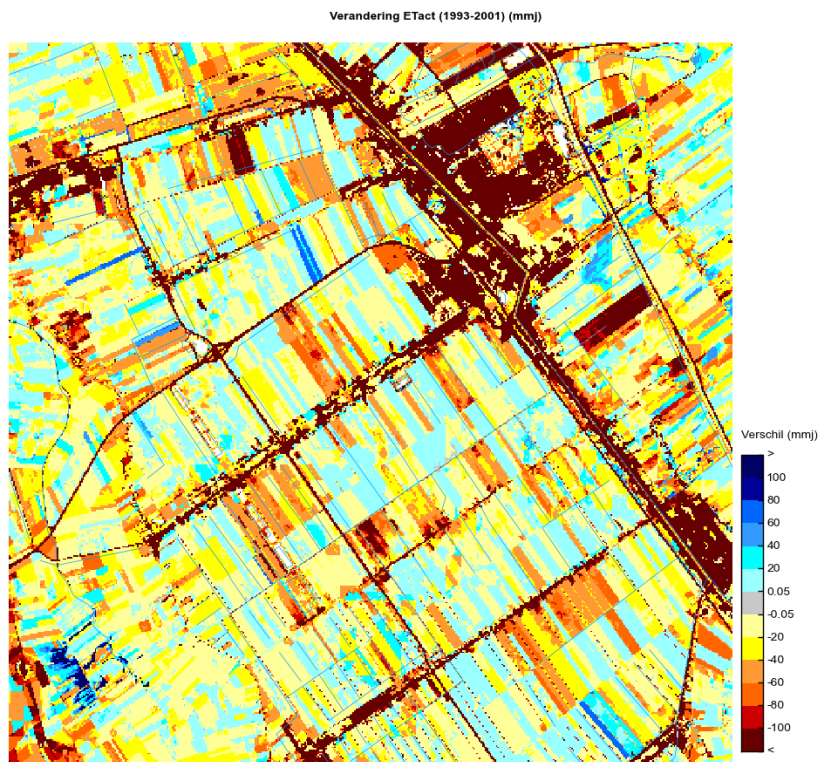


Figuur B.32 ETact CAPSIM (1993-2001)

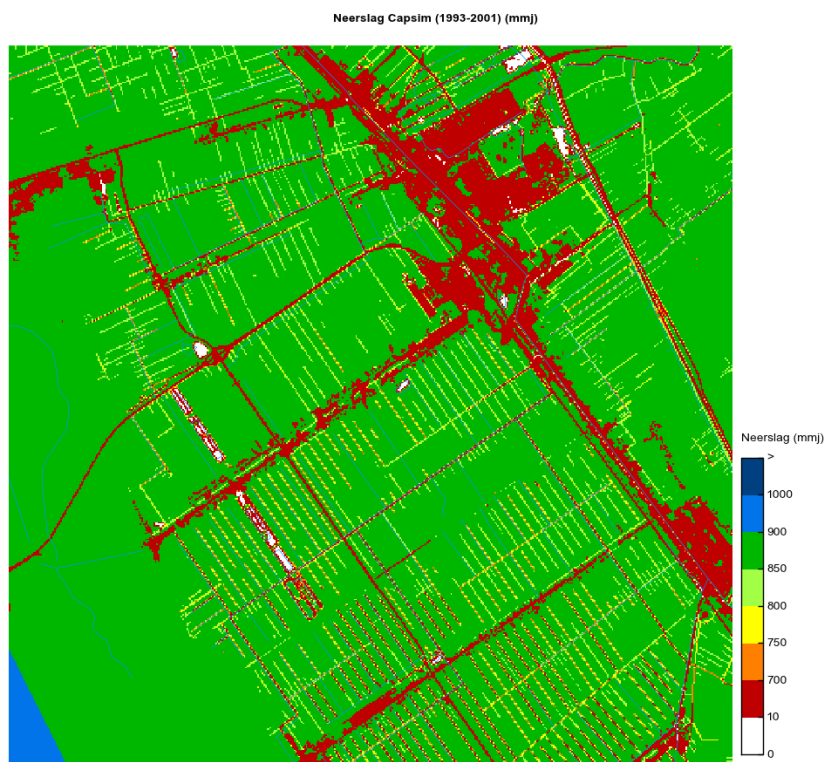
ETact Metaswap (1993-2001) (mmj)



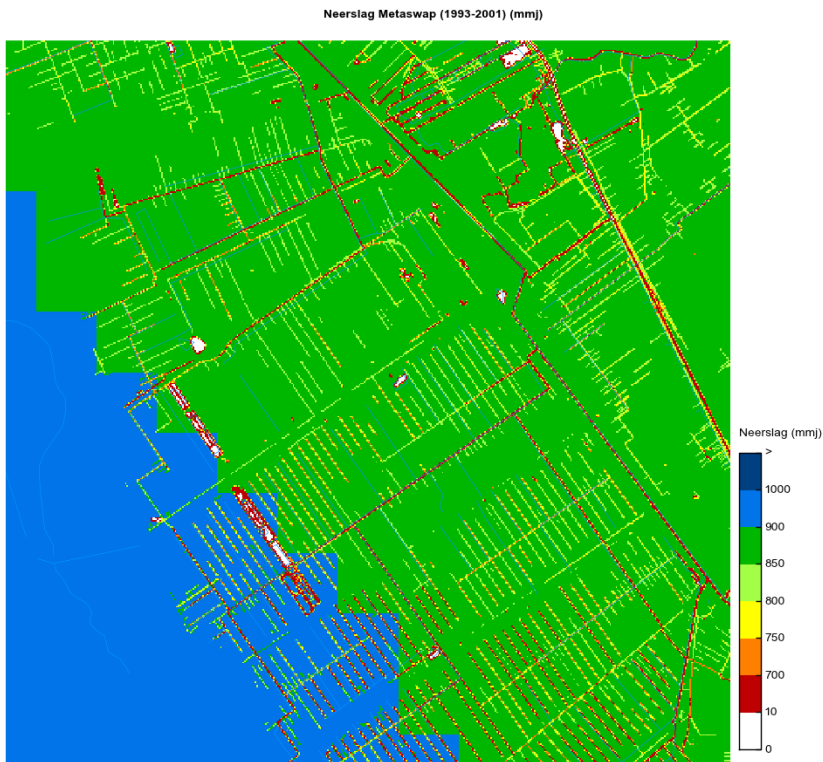
Figuur B.33 ETact MetaSWAP (1993-2001)



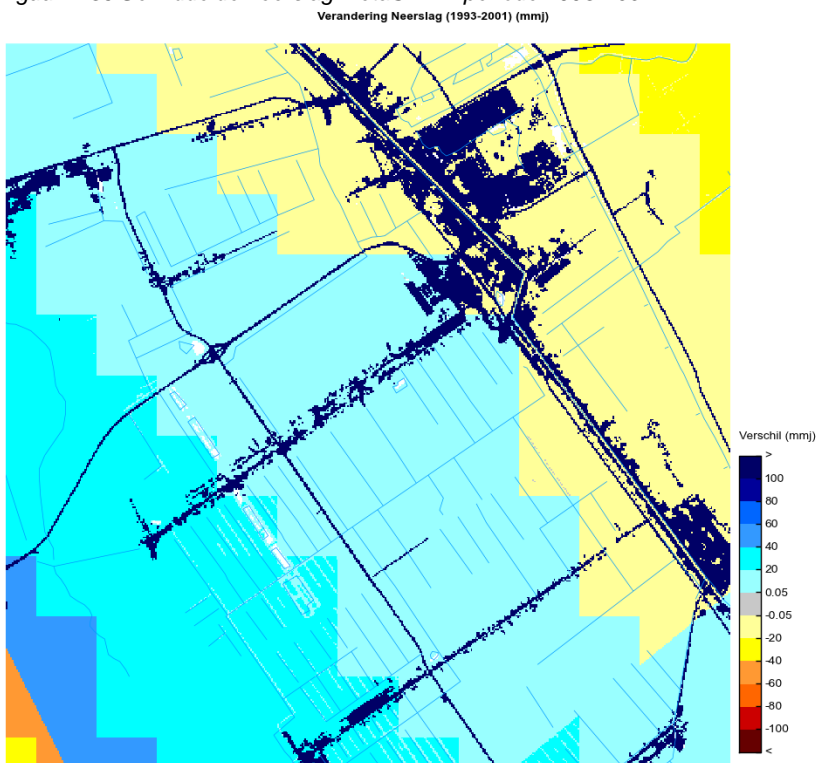
Figuur B.34 Verandering ETact (geel is toename, blauw is afname)



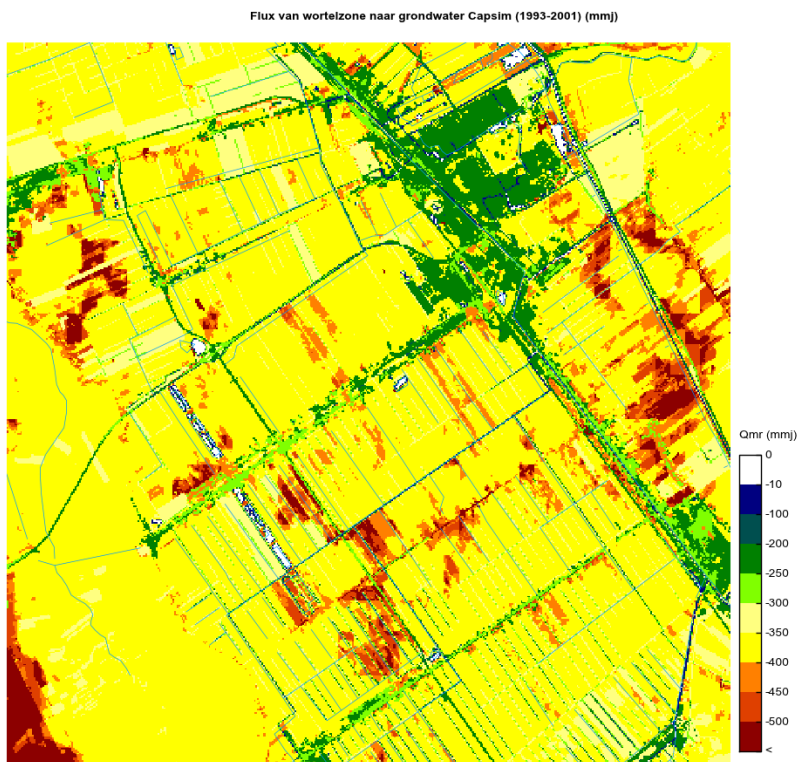
Figuur B.35 Gemiddelde neerslag CAPSIM periode 1993-2001



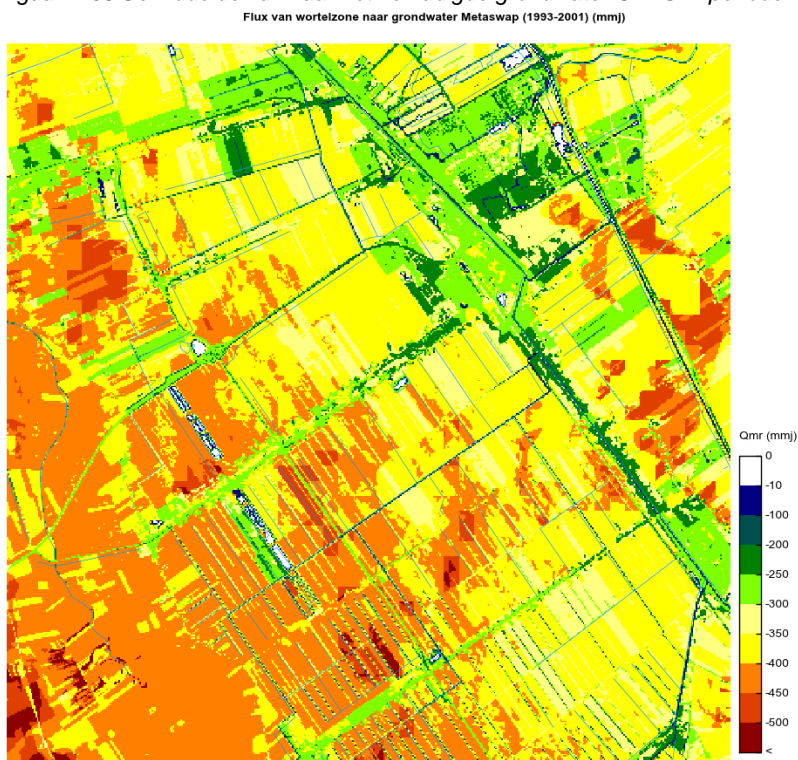
Figuur B.36 Gemiddelde neerslag MetaSWAP periode 1993-2001



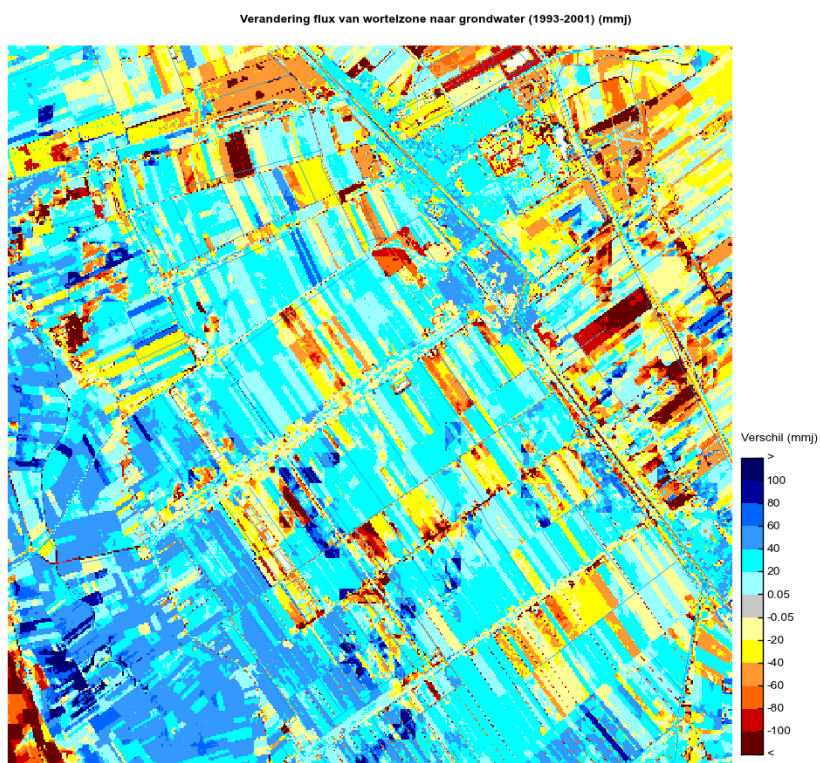
Figuur B.37 Verschil in gemiddelde neerslag periode 1993-2001 (blauw is toename, rood is afname)



Figuur B.38 Gemiddelde flux naar het verzadigde grondwater CAPSIM periode 1993-2001

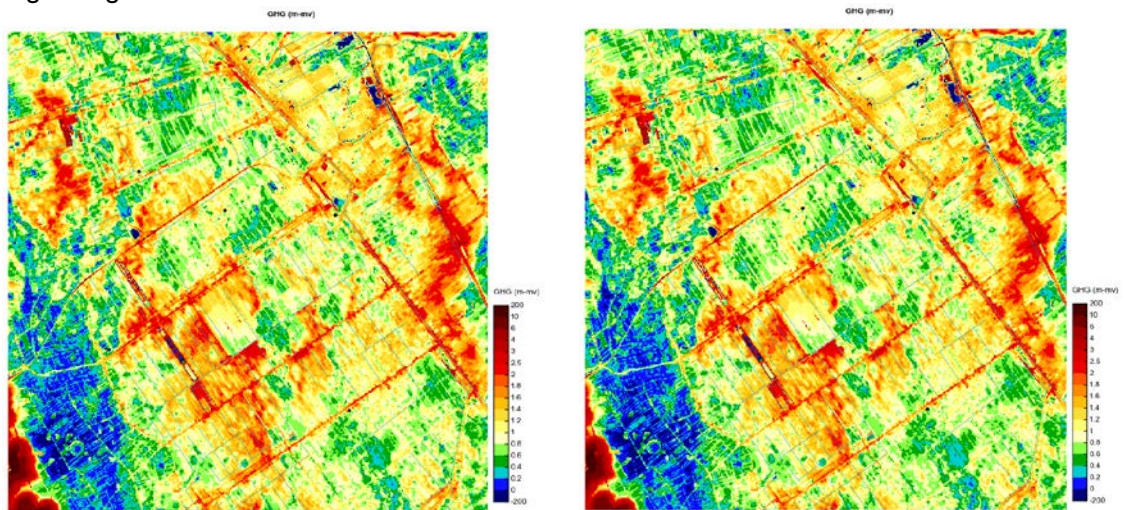


Figuur B.39 Gemiddelde flux naar het verzadigde grondwater MetaSWAP periode 1993-2001

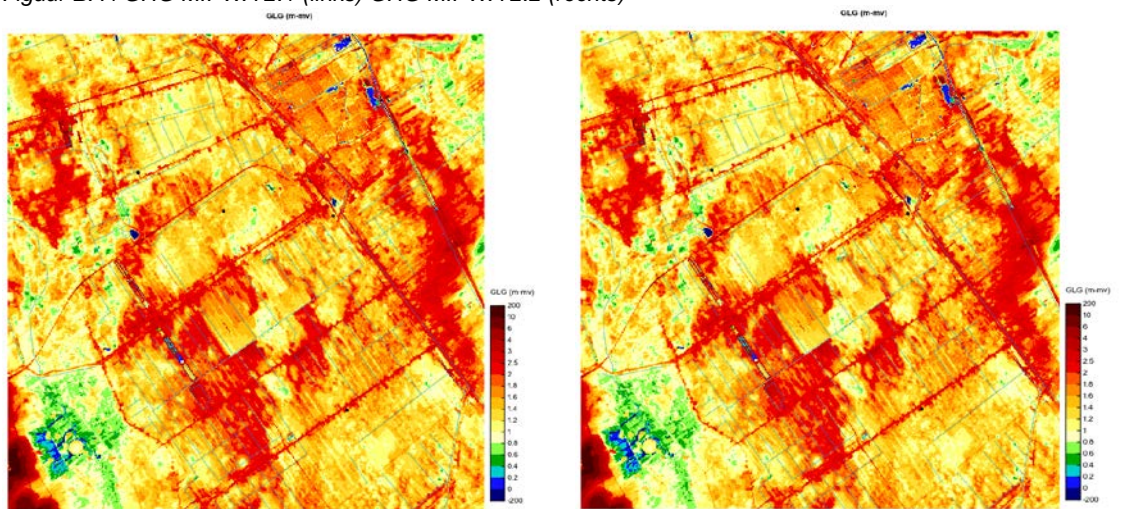


Figuur B.40 Gemiddelde verandering in flux naar het verzadigde grondwater periode 1993-2001

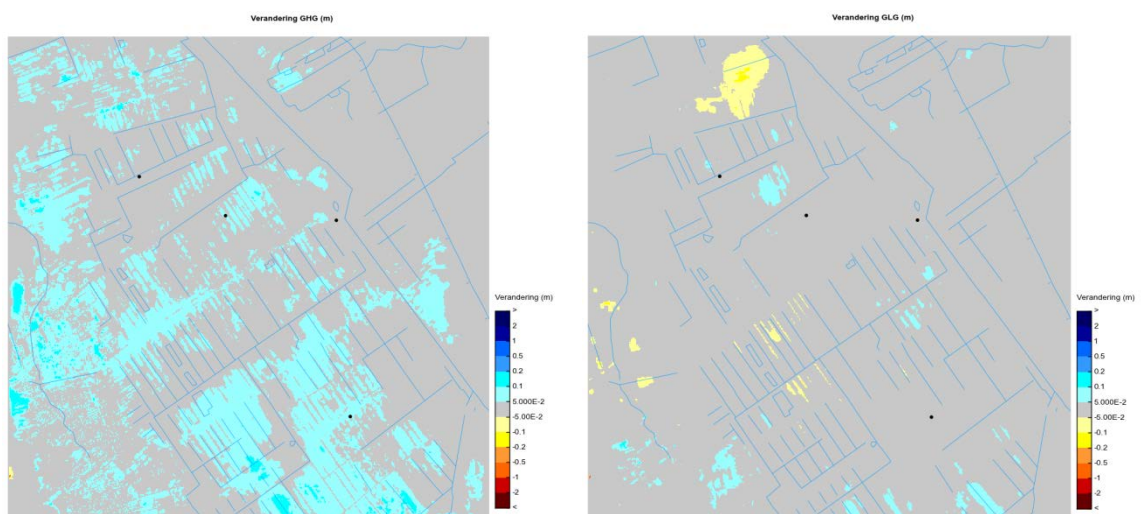
B.4.2 Figuren grondwater



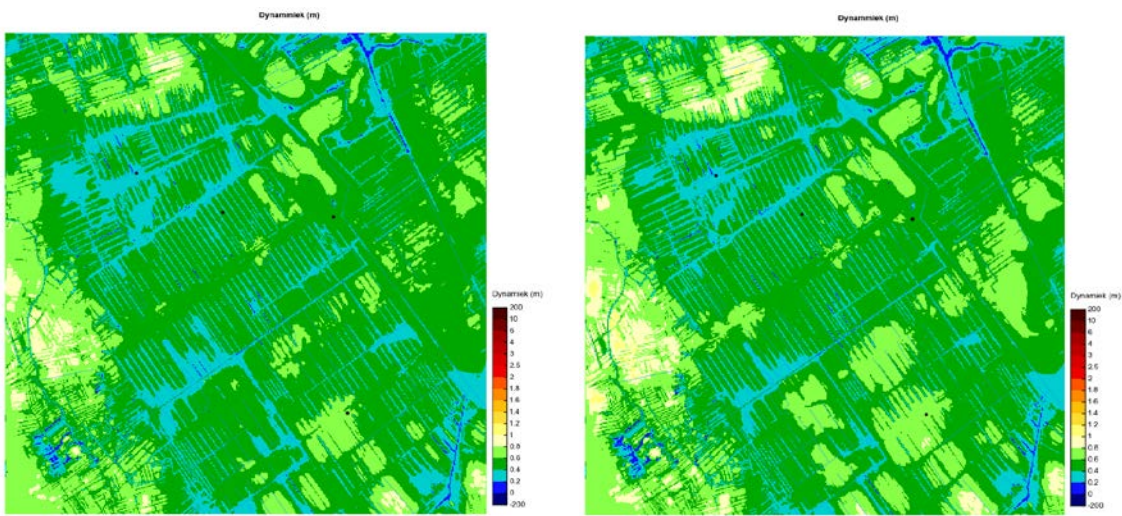
Figuur B.41 GHG MIPWA 2.1 (links) GHG MIPWA 2.2 (rechts)



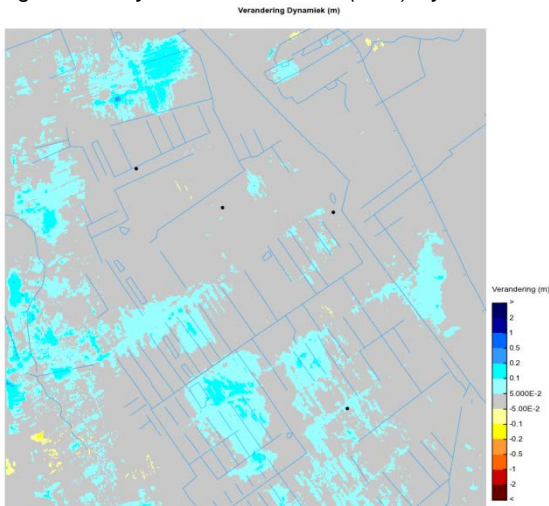
Figuur B.42 GLG MIPWA 2.1 (links) GLG MIPWA 2.2 (rechts)



Figuur B.43 verandering in GHG (links), verandering in GLG (rechts)



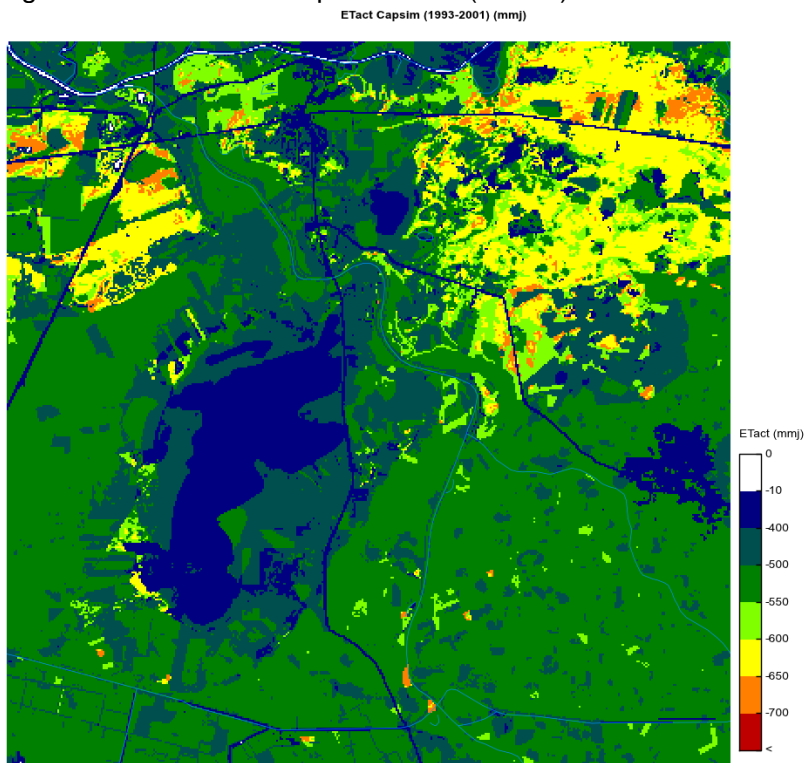
Figuur B.44 Dynamiek MIPWA 2.1 (links) Dynamiek MIPWA 2.2 (rechts)



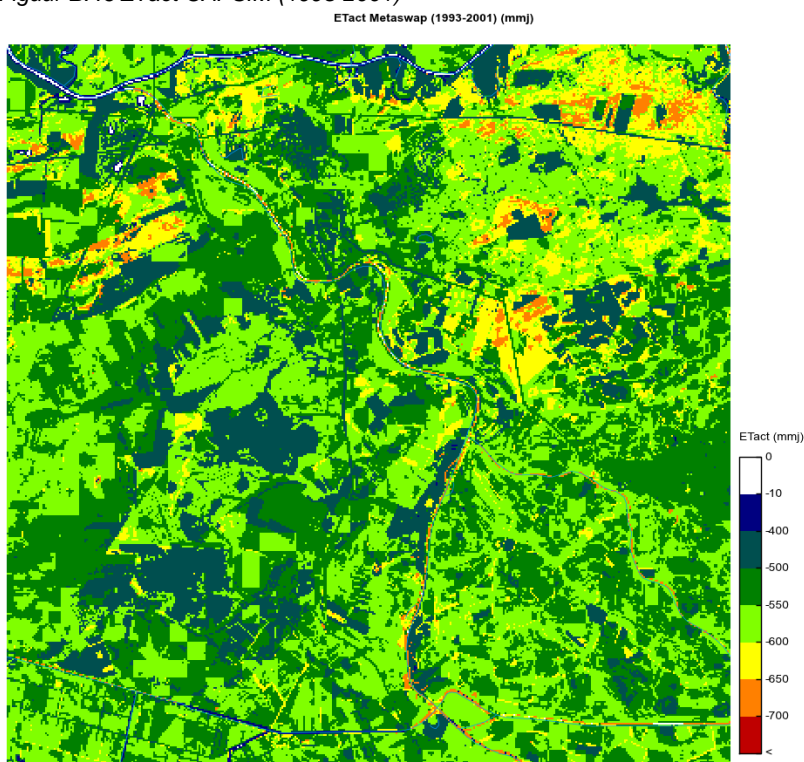
Figuur B.45 Verandering in dynamiek

B.5 Testmodel 4

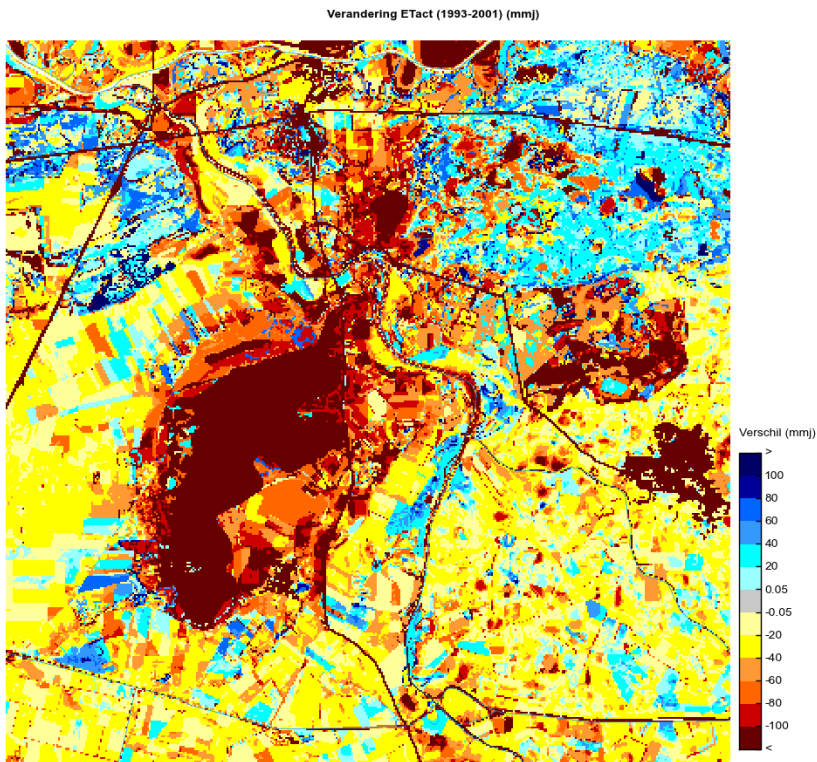
B.5.1 Figuren Soil Water Atmosphere Plant (SWAP)



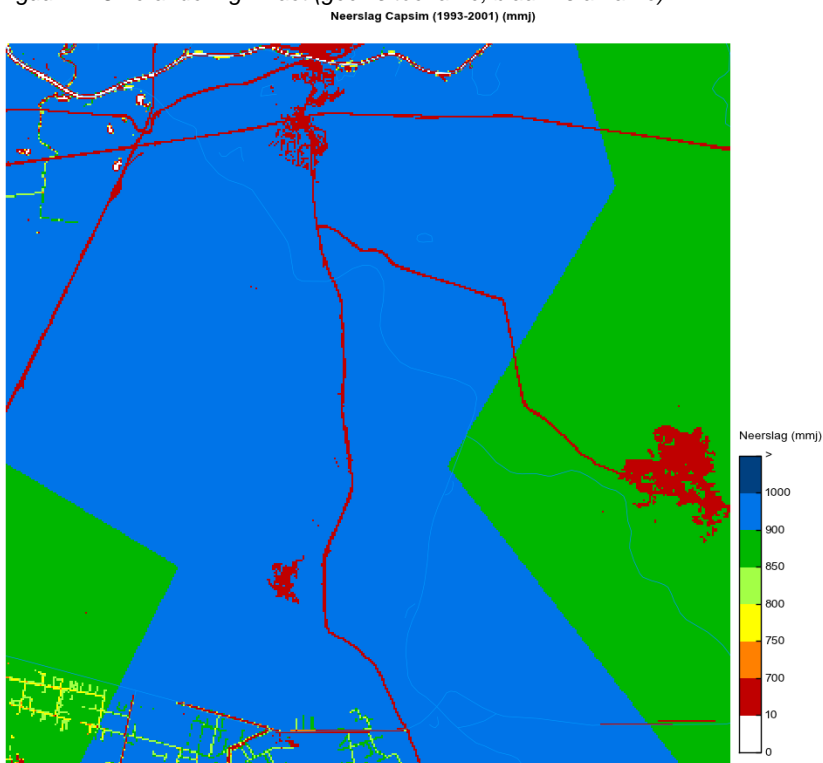
Figuur B.46 ETact CAPSIM (1993-2001)



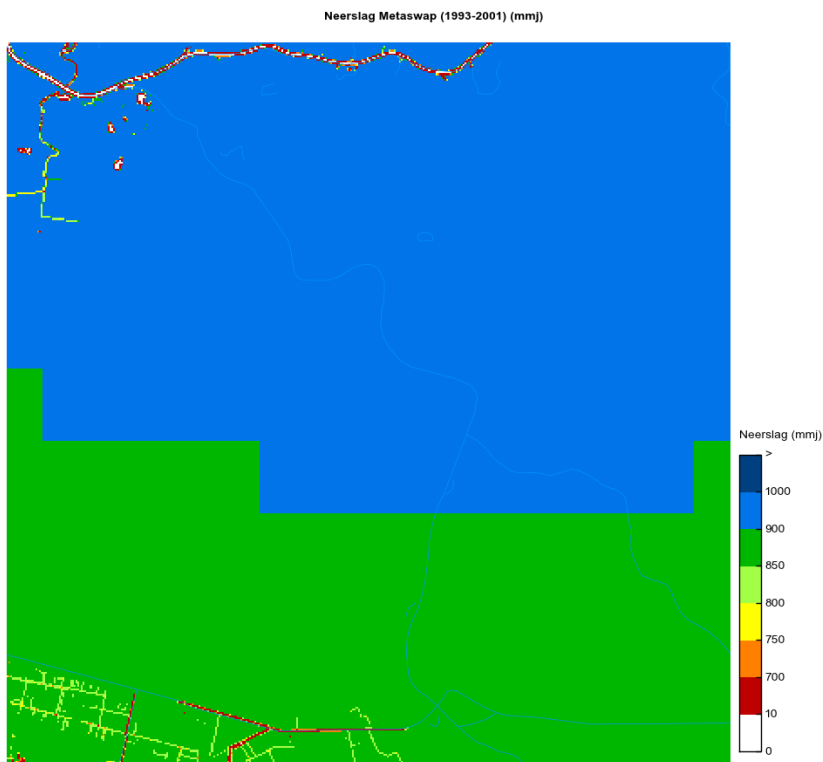
Figuur B.47 ETact MetaSWAP (1993-2001)



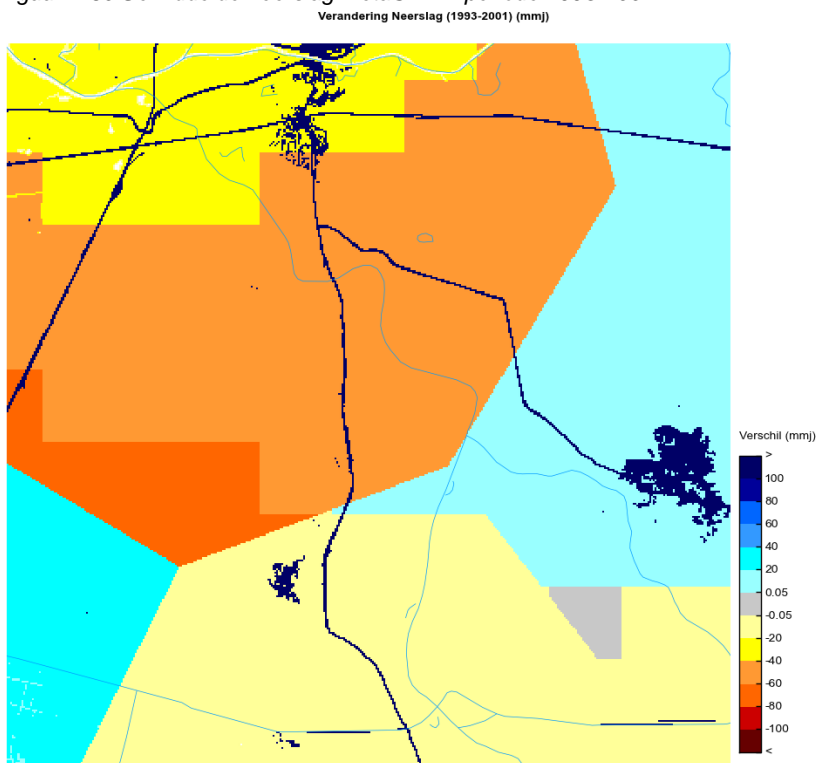
Figuur B.48 Verandering ETact (geel is toename, blauw is afname)



Figuur B.49 Gemiddelde neerslag CAPSIM periode 1993-2001

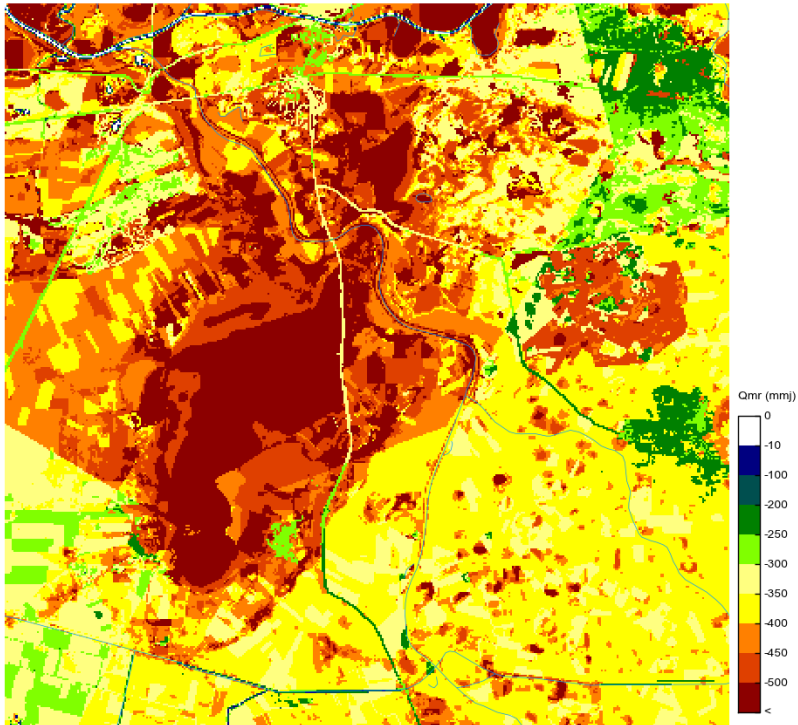


Figuur B.50 Gemiddelde neerslag MetaSWAP periode 1993-2001



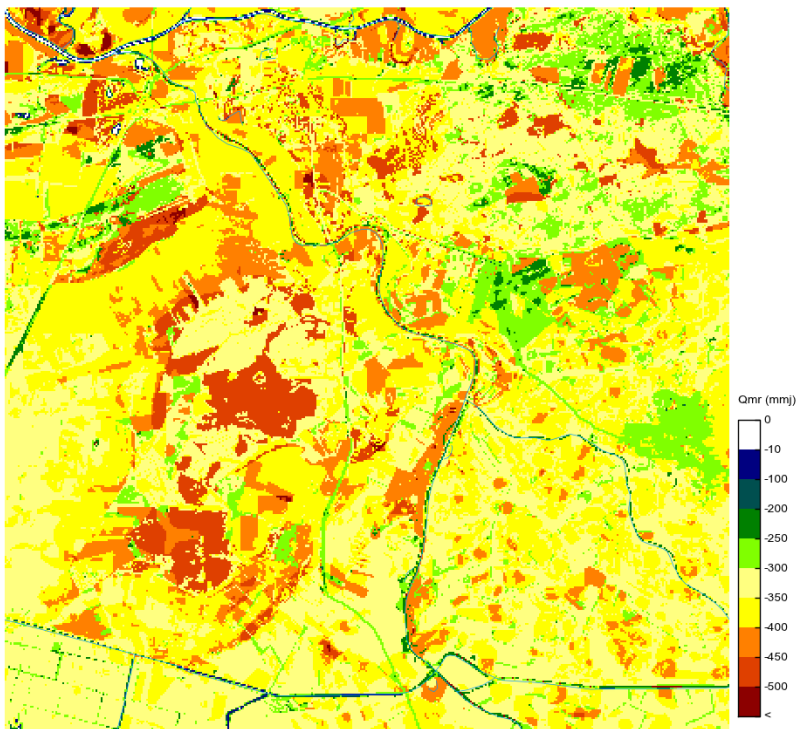
Figuur B.51 Verschil in gemiddelde neerslag periode 1993-2001 (blauw is toename, rood is afname)

Flux van wortelzone naar grondwater Capsim (1993-2001) (mm)

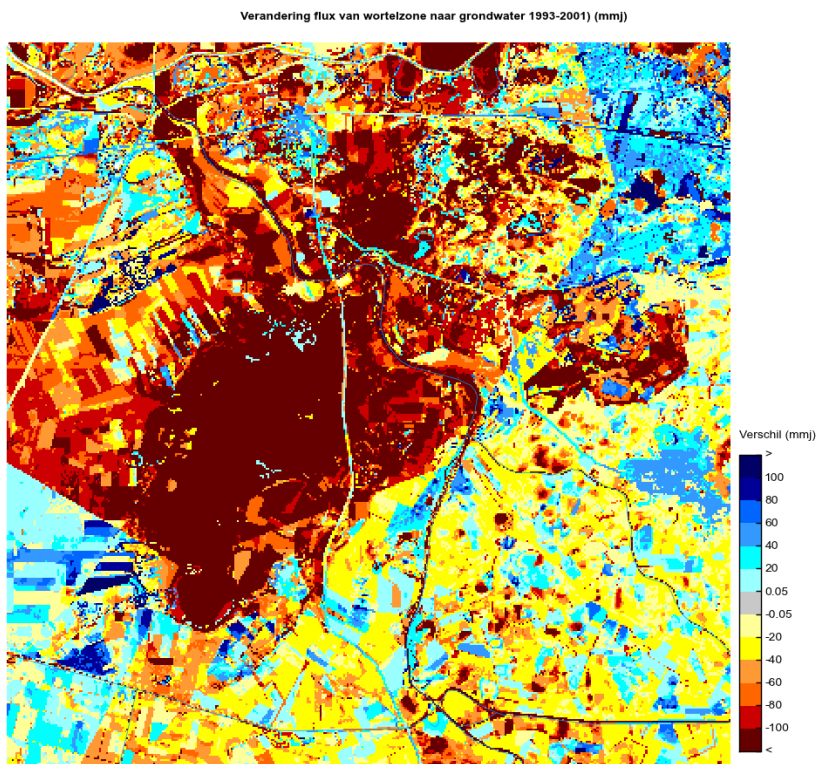


Figuur B.52 Gemiddelde flux naar het verzadigde grondwater CAPSIM periode 1993-2001

Flux van wortelzone naar grondwater Metaswap (1993-2001) (mm)

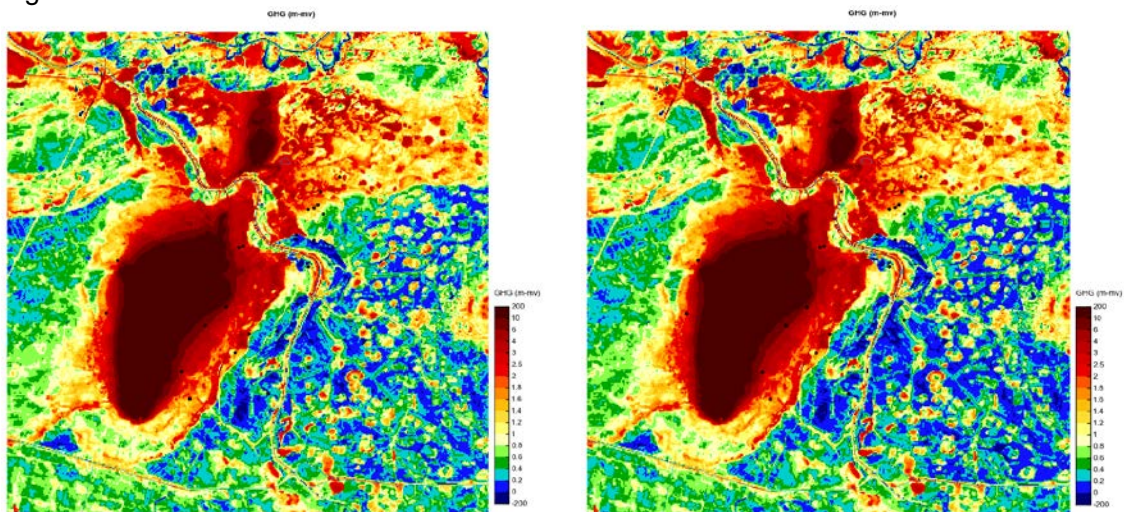


Figuur B.53 Gemiddelde flux naar het verzadigde grondwater MetaSWAP periode 1993-2001

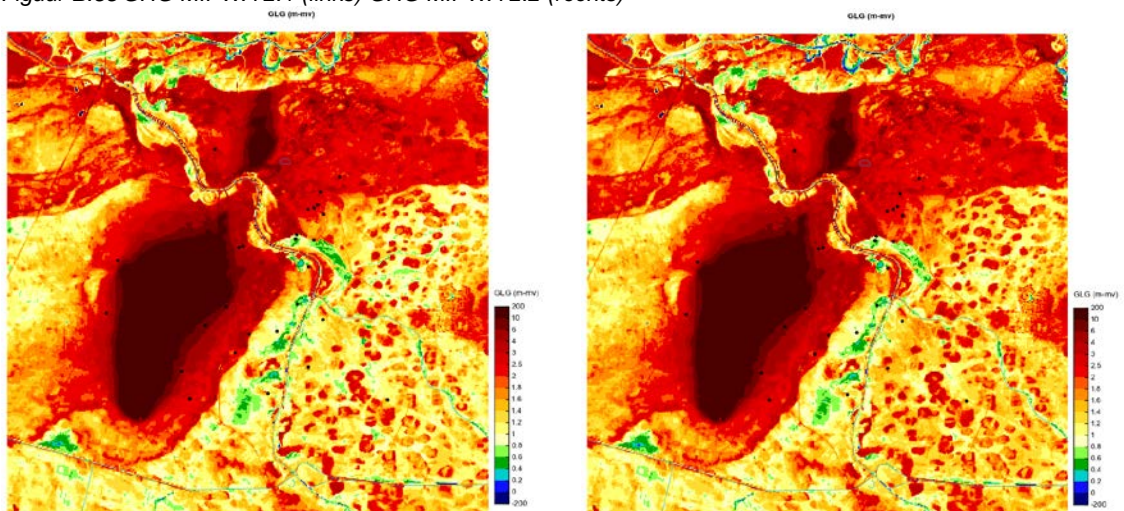


Figuur B.54 Gemiddelde verandering in flux naar het verzadigde grondwater periode 1993-2001

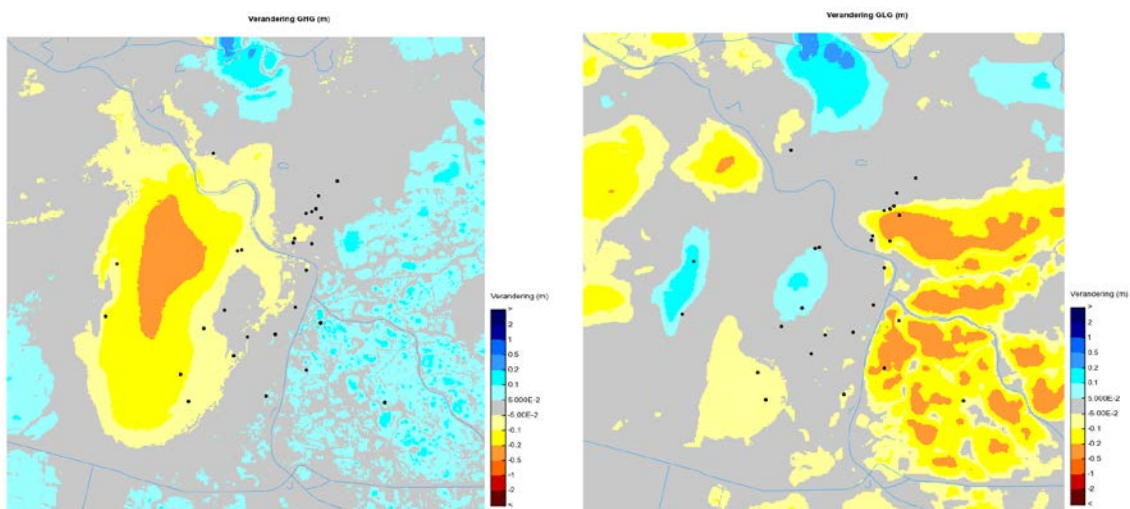
B.5.2 Figuren Grondwater



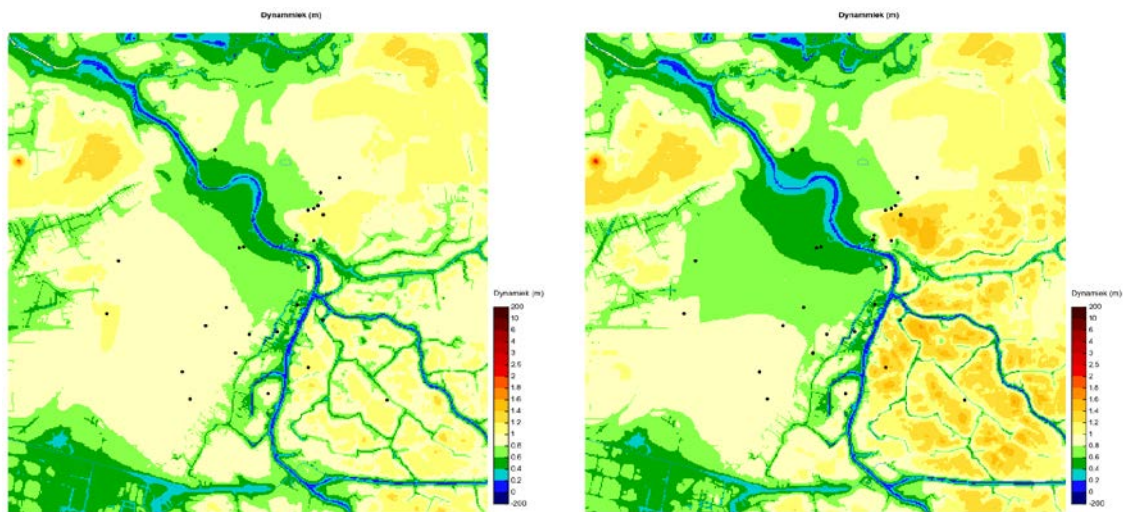
Figuur B.55 GHG MIPWA 2.1 (links) GHG MIPWA 2.2 (rechts)



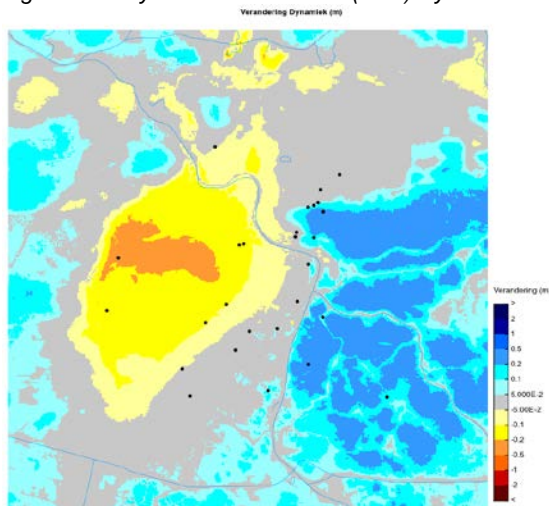
Figuur B.56 GLG MIPWA 2.1 (links) GLG MIPWA 2.2 (rechts)



Figuur B.57 verandering in GHG (links), verandering in GLG (rechts)



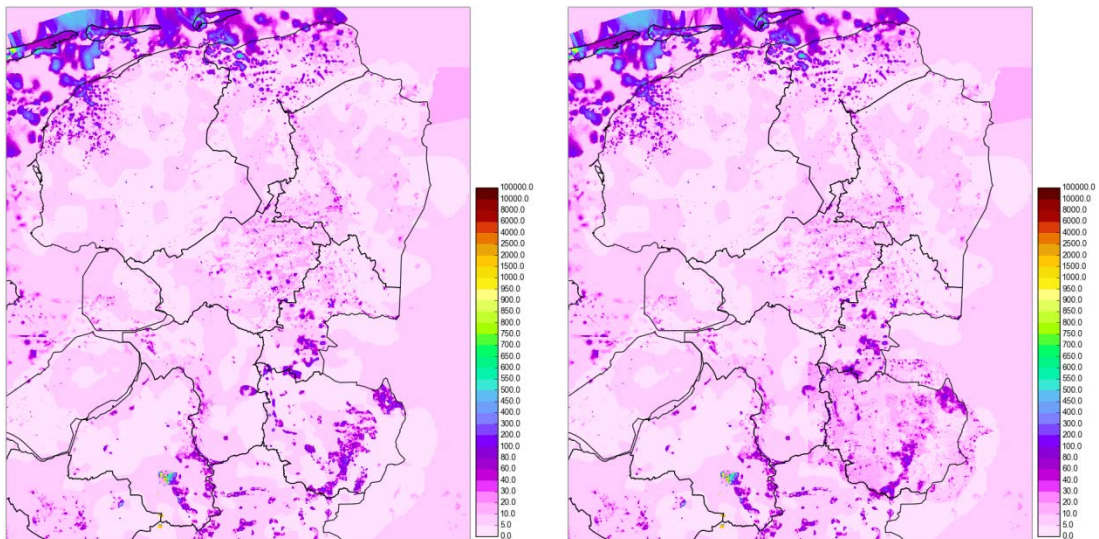
Figuur B.58 Dynamiek MIPWA 2.1 (links) Dynamiek MIPWA 2.2 (rechts)



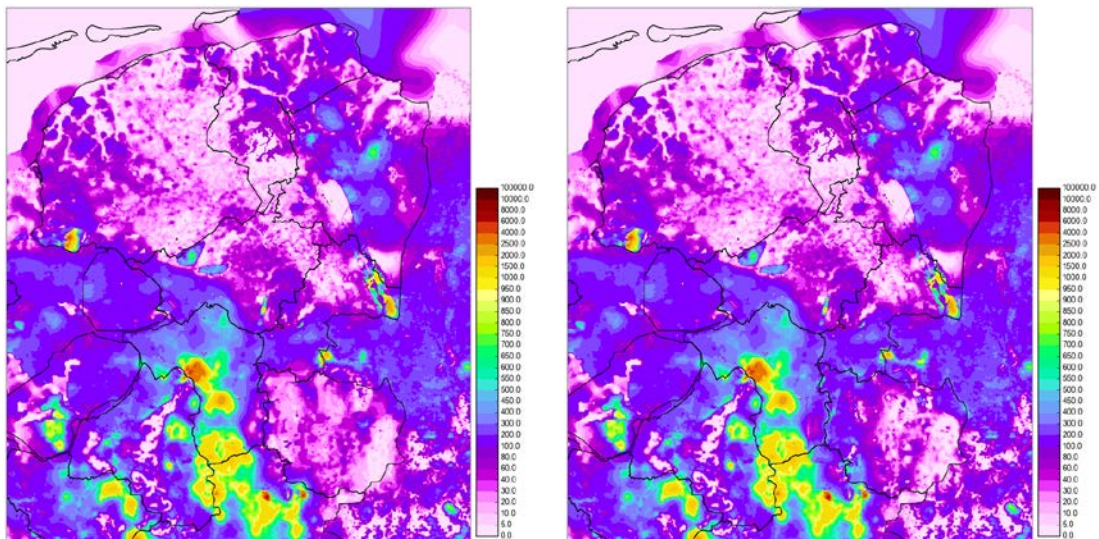
Figuur B.59 Verandering in dynamiek

C Veranderingen in de ondergrond

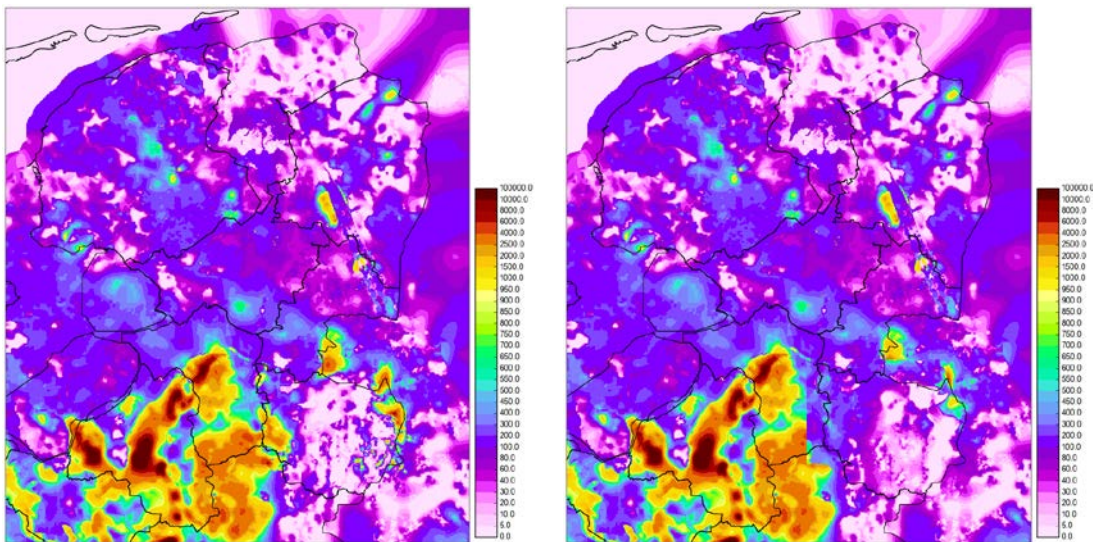
C.1 Veranderingen in het doorlaatvermogen



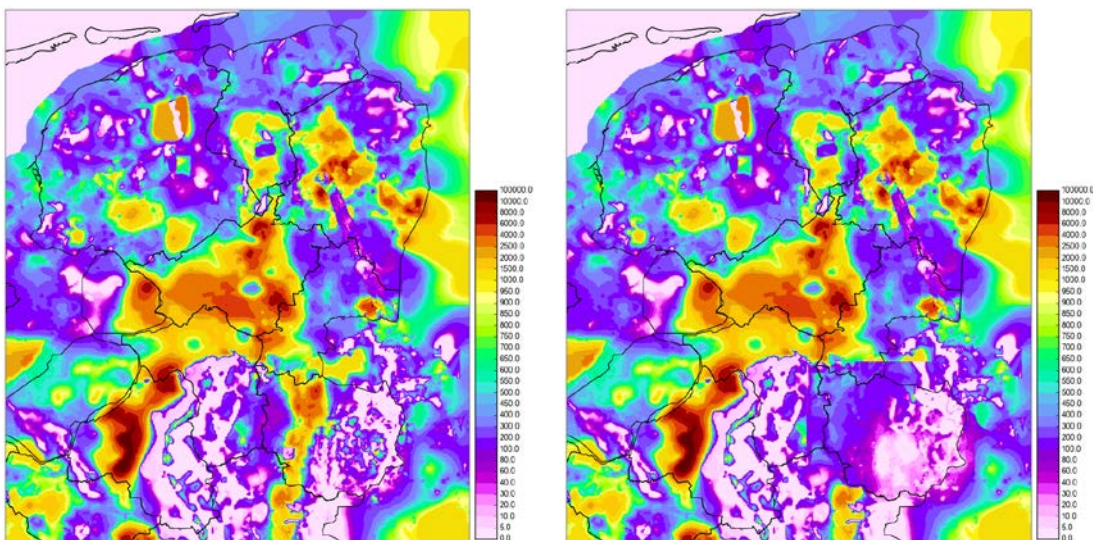
Figuur C.1 $kD1$ [m²/d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2



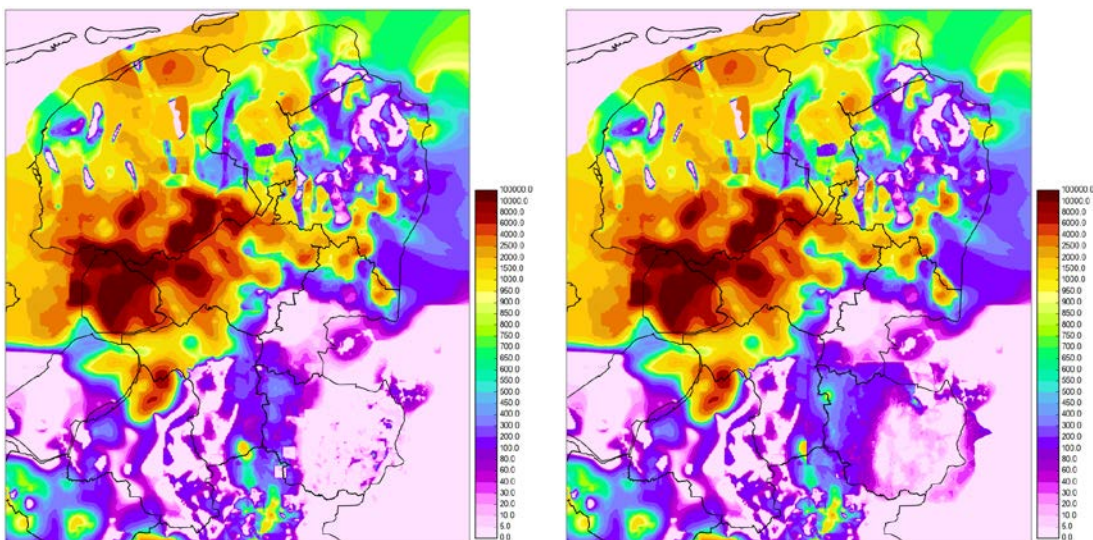
Figuur C.2 $kD2$ [m²/d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2



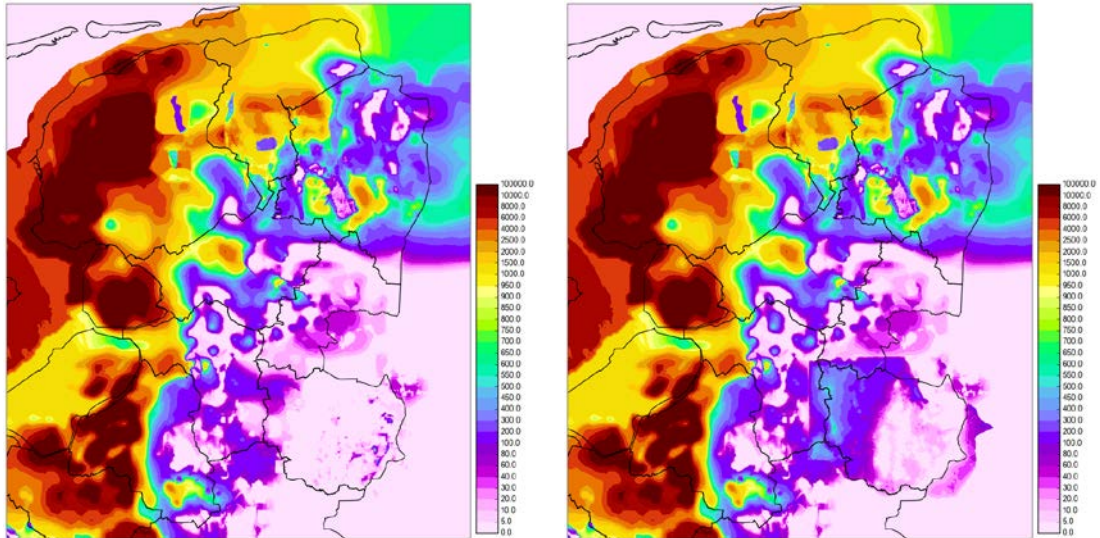
Figuur C.3 kd_3 [m²/d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2



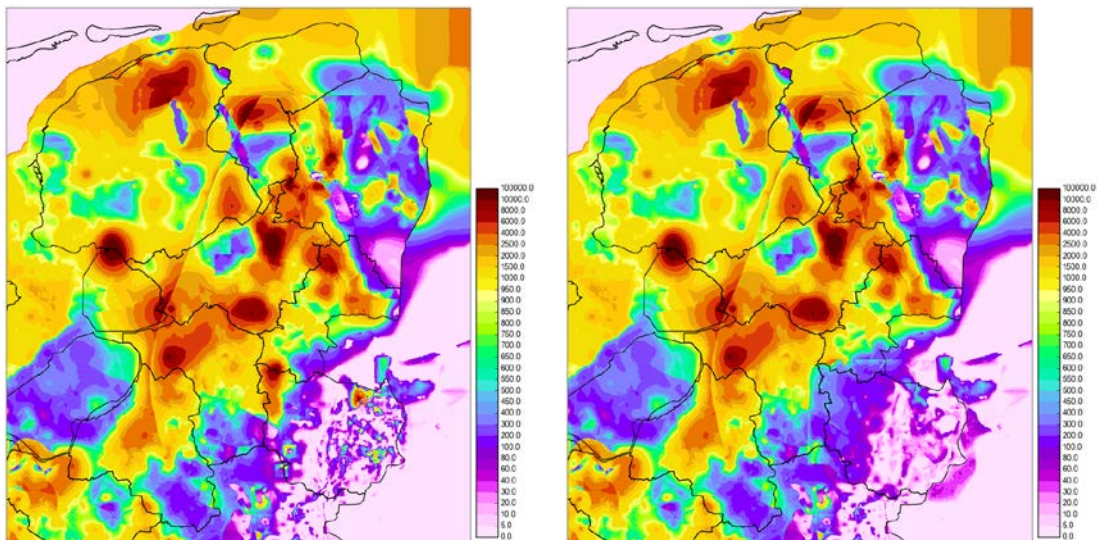
Figuur C.4 kd_4 [m²/d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2



Figuur C.5 $kD5$ [m²/d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2

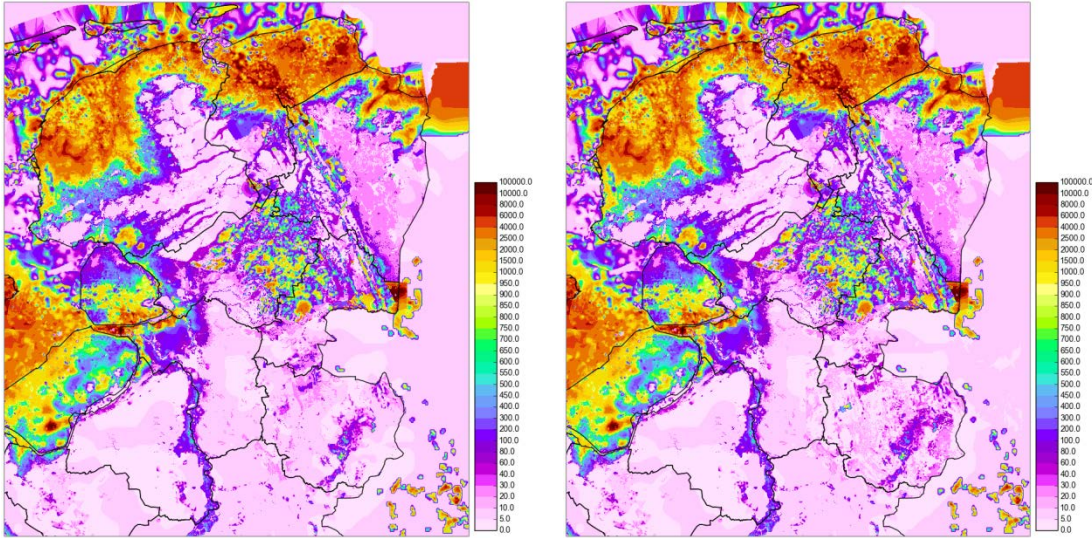


Figuur C.6 $kD6$ [m²/d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2

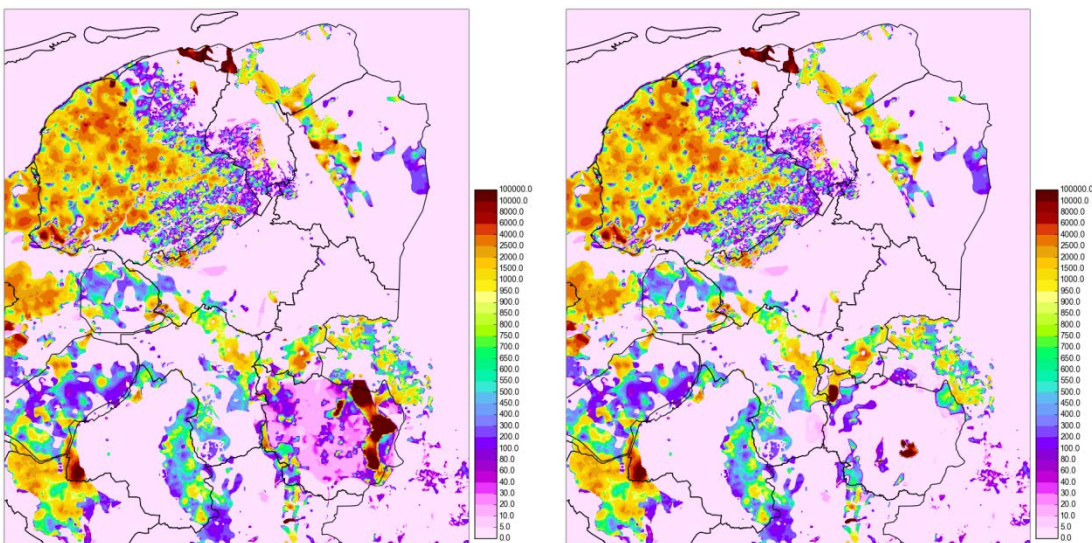


Figuur C.7 $kD7$ [m²/d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2

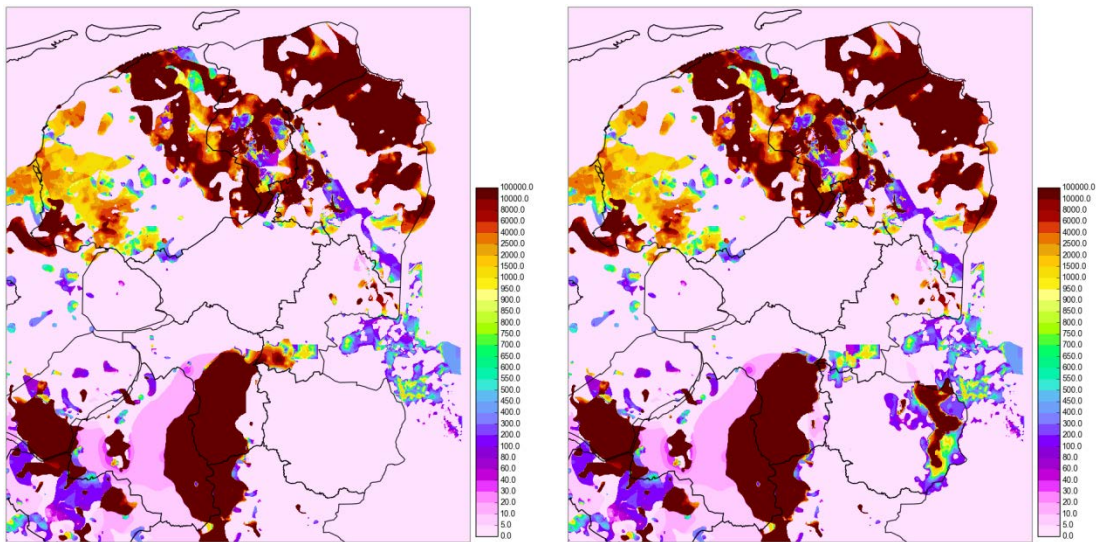
C.2 Veranderingen in de weerstand (C)



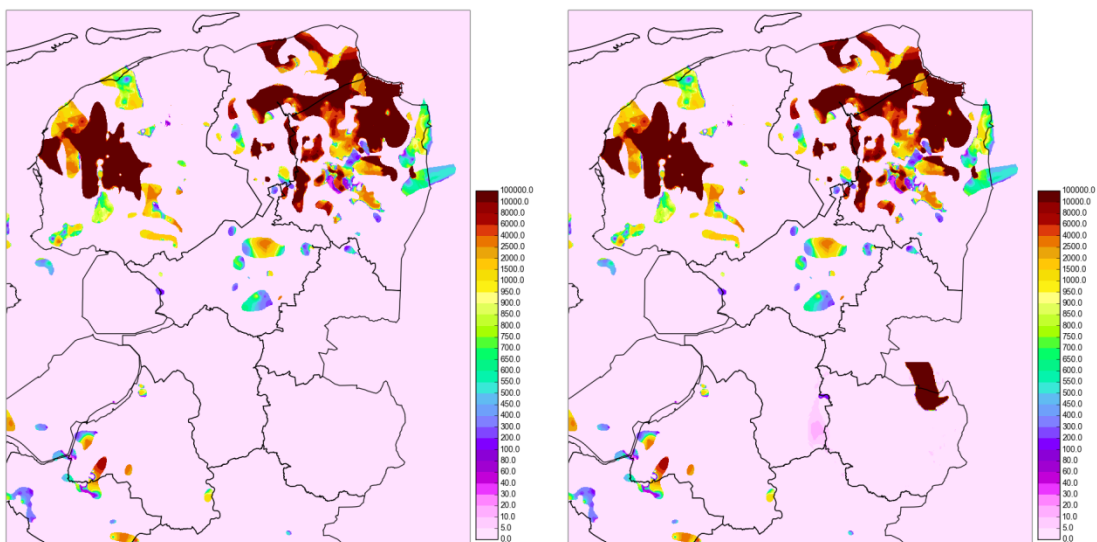
Figuur C.8 C1 [d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2



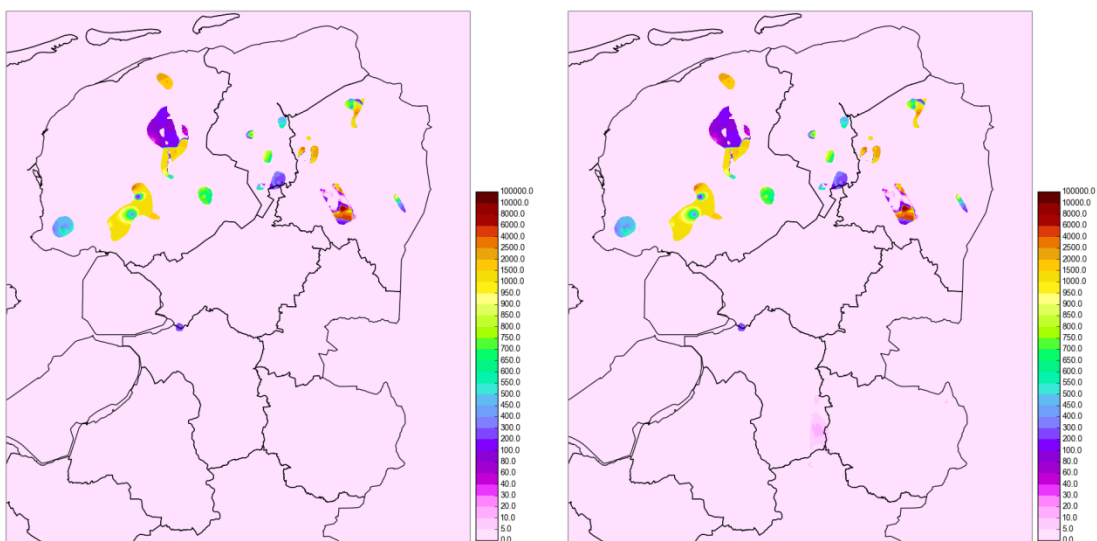
Figuur C.9 C2 [d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2



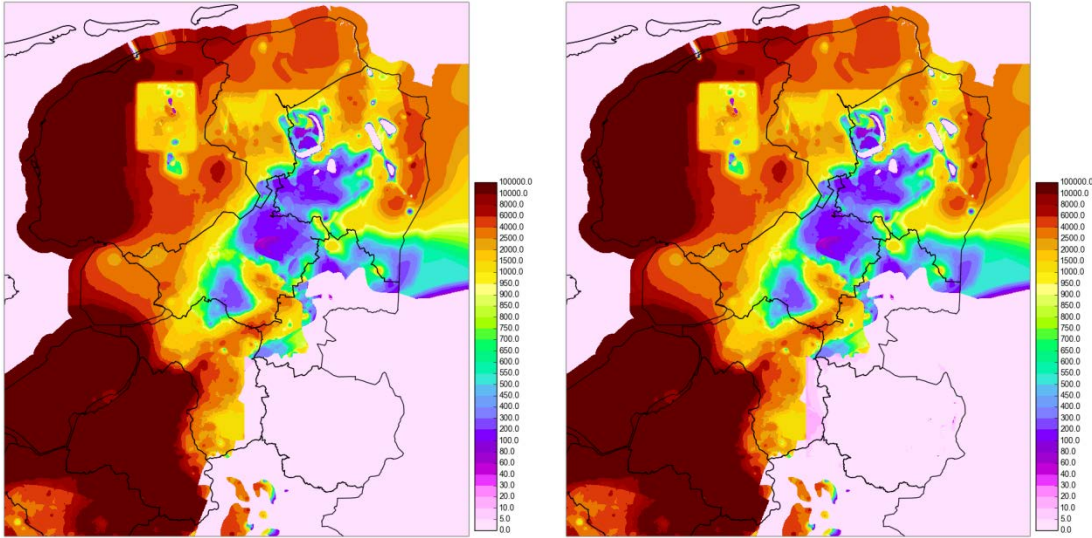
Figuur C.10 C3 [d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2



Figuur C.11 C4 [d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2



Figuur C.12 C5 [d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2



Figuur C.13 C6 [d], links MIPWA 2.1 en rechts MIPWA 2.2