

NOWCASTEN ACTUELE VULLINGSGRAAD BODEM (MET BEHULP VAN EEN MODEL EN REMOTE SENSING DATA)



RAPPORT

2016
20

NOWCASTEN ACTUELE VULLINGSGRAAD BODEM
(MET BEHULP VAN EEN MODEL EN REMOTE SENSING DATA)
HAALBAARHEIDSSTUDIE

RAPPORT

2016

20

ISBN 978.90.5773.722.0



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEUR(S)

Linda van der Toorn: Arcadis
Wilco Klutman: Arcadis
Matthijs van den Brink: Hydrologic
Joost Heijkers: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
Jan van Bakel: De Bakelse Stroom
Marcel Bastiaanssen: Arcadis
Maarten Spijker: Hydrologic
Ab Veldhuizen: Alterra

BEGELEIDING NAMENS STOWA

Hans van Leeuwen
Michelle Talsma

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2016-20
ISBN 978.90.5773.722.0

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

Binnen het waterbeheer is steeds meer aandacht voor de inzet van kennis gebaseerd op remote sensing technieken. Het gaat hierbij om de inzet van satellietinformatie, drones en sensoren op de grondradar. Het vlakdekkende karakter van remote sensing gegevens is een welkome aanvulling op de vaak lokale gegevens die worden verzameld.

Voor alle opgaven van de waterschappen liggen kansen om remote sensing toe te passen of het nu gaat om de zorg voor waterveiligheid, het voorkomen van wateroverlast, voldoende zoetwater of een goede waterkwaliteit.

Om een impuls te geven aan de toepassing van remote sensing informatie in het waterbeheer hebben de waterschappen zich verenigd in het zogeheten SAT Water consortium. De STOWA faciliteert en ondersteunt dit consortium met het uitvoeren van benodigd onderzoek. Hierbij wordt samengewerkt met Het Waterschapshuis voor de inkoop van data en de European Space Agency (ESA) en het Netherlands Space Office (NSO) om de benodigde onderzoeken gefinancierd en geïmplementeerd te krijgen.

Een belangrijke opgave van de waterschappen is het voorkomen van wateroverlast en het voorkomen van droogte. In deze studie is onderzocht of het haalbaar is om een instrument te ontwikkelen waarmee de hoeveelheid water die in de bodem kan worden geborgen inzichtelijk kan worden gemaakt. Het gaat hierbij om een combinatie van data van satellieten (over verdamping en bodemvocht), aangevuld met data uit het veld en data van hydrologische modellen. Inzicht in de 'vullingsgraad' van de bodem biedt veel potentie voor het operationele waterbeheer, waaronder peilbeheer. De informatie kan als inhoudelijke basis worden gebruikt om projecten als Slim Watermanagement vorm te geven.

Uit de studie blijkt dat het haalbaar is om te komen tot een operationeel systeem om de vullingsgraad van de bodem vast te stellen. Satellietinformatie is hierbij een belangrijke informatiebron. Voor STOWA is dit aanleiding om samen met het SAT Water consortium en ESA een project te starten in het najaar van 2016 om de eerste stappen te zetten om het instrument daadwerkelijk te gaan ontwikkelen.

Speciale dank gaat uit naar Waterschap Groot Salland (nu Drents Overijsselse Delta) en De Stichtse Rijnlanden voor hun inzet bij de twee pilots in hun beheergebied.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

NOWCASTEN ACTUELE VULLINGSGRAAD BODEM (MET BEHULP VAN EEN MODEL EN REMOTE SENSING DATA) HAALBAARHEIDSTUDIE

INHOUD

TEN GELEIDE

DE STOWA IN HET KORT

1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	2
1.3	Leeswijzer	3
2	METHODE	4
2.1.1	metaSWAP	4
2.2	Werkwijze (stappenplan)	5
2.2.1	Fase A (modelberekeningen)	6
2.2.2	Fase B (Modeldata verwerking)	8
2.2.3	Fase C (van data naar beheerinformatie)	8
2.3	Uitgangspunten en randvoorwaarden	8
2.3.1	Fase A (modelberekeningen)	8
2.3.2	Fase B (modeldata verwerking)	10
2.3.3	Fase C (van data naar beheerinformatie)	10
3	RESULTATEN	12
3.1	Marswetering	12
3.1.1	Fase A (modelberekeningen)	12
3.1.2	Fase B (modeldata verwerking))	14
3.1.3	Fase C (van data naar beheerinformatie)	19
3.2	Cabauw	20
3.2.1	Fase A (modelberekeningen)	20
3.2.2	Fase B (modeldata verwerking))	25
3.2.3	Fase C (van data naar beheerinformatie)	26
4	VERKENNING MOGELIJKHEDEN ACTUELE BODEMVOCHT O.B.V. REMOTE SENSING	28
4.1	Drymon	28
4.2	Toekomst van bodemvochtmeting op perceelsniveau met aardobservatie	28

5	IMPLEMENTATIEADVIES BEHEERINSTRUMENT	30
5.1	Instrument	30
5.1.1	Inleiding	30
5.1.2	Tweetrapsbenadering	31
5.2	Hoe moet de output eruit zien?	32
5.3	ICT	33
5.4	Implementatiekosten module	34
6	CONCLUSIE EN DISCUSSIE	37
6.1	Marswetering	37
6.1.1	FASE A (modelberekeningen)	37
6.1.2	FASE B (modeldata verwerking)	38
6.1.3	FASE C (van data naar beheerinformatie)	38
6.2	Cabauw	38
6.2.1	FASE A (modelberekeningen)	38
6.2.2	FASE B (modeldata verwerking)	39
6.2.3	FASE C (van data naar beheerinformatie)	39
6.3	Mogelijkheden actuele bodemvocht op basis van RS data	39
7	AANBEVELINGEN	41
7.1	Het optimaliseren van de freatische grondwaterstandsonderrandvoorwaarde	41
7.2	Het schatten van de oppervlaktewaterberging	42
7.3	Van nowcasting naar forecasting	42
7.4	Van theoretische / maximale vullingsgraad bodem tot werkelijke vullingsgraad bodem	42
7.5	De inzet van remote sensing data gebaseerde schattingen van de bodemvocht om te komen tot een verbeterd inzicht in de bodemfysische eigenschappen van Nederland	43
8	REFERENTIES	44
	 BIJLAGEN	
Bijlage 1	Gevoeligheid stijghoogte	45
Bijlage 2	Vergelijking neerslag verdamping KNMI – Remote sensing	47
Bijlage 3	Gevoeligheidsanalyse deklaagweerstand Cabauw	54

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

De afgelopen jaren komt er steeds meer aandacht voor de inzet van remote sensing gebaseerde technieken om inzicht te krijgen in het functioneren van de waterhuishouding. Waterschappen hebben tot nu toe slechts een beperkt deel van dit potentieel benut om werkzaamheden doelmatiger te maken. Het bepalen van landgebruik, maaiveld en sinds enkele jaren ook neerslaghoeveelheden op basis van remote sensing methoden is inmiddels gangbare praktijk. Daarnaast valt er op dit vlak nog veel uit te breiden en te verbeteren.

Dit inzicht heeft ertoe geleid dat er sinds het voorjaar van 2011 een samenwerkingsverband van waterschappen genaamd SAT-WATER is, dat gezamenlijk satelliet gebaseerde informatie over verdamping, bodemvocht en gewasgroei inkoop t.b.v. het strategische, tactische en operationele peil- & waterbeheer en daarvan hydrologische informatieproducten afleidt. Dit consortium bestaat op dit moment uit 14 waterschappen. Tevens werkt SAT-WATER structureel samen met de STOWA en het Waterschapshuis.

SAT-Water streeft de volgende hoofddoelen na:

Draagvlak opbouwen door samen nieuwe methoden en instrumenten te ontwikkelen;

- 1 Schaalvoordelen benutten en bureaucratistische lasten verminderen door gezamenlijke data-inkoop;
- 2 Meer bereiken in minder tijd door een bundeling van kennis, netwerk, vraagstelling en middelen;
- 3 Efficiënte marktstimulering door het bieden van één aanspreekpunt voor marktpartijen;
- 4 Het bereiken van een grotere doelgroep, intern (b.v. peilbeheerders en -regelaars) en extern (b.v. ketenpartners zoals de terrein beherende instanties);
- 5 Lastenverlichting voor de burger door bestaande taken op termijn als consortia van partijen uit te gaan voeren middels een goedkopere en kwalitatief hoogstaandere wijze (namelijk gebruikmakende van satelliet gebaseerde hydrologische data);
- 6 Anticiperen op de ontwikkeling naar precisielandbouw door via web gebaseerde services informatie te distribueren naar agrariërs. Daarmee kunnen oogstopbrengsten worden geoptimaliseerd en de concurrentiepositie van de Nederlandse agrarische sector versterkt.

Om deze hoofddoelen te behalen zijn er ook enkele inhoudelijke deeldoelstellingen geformuleerd. Twee van de belangrijkste zijn:

- 1 Validatie van remote sensing gebaseerde informatie;
- 2 De integratie van verschillende datastromen (waaronder per definitie een of meerdere datastromen o.b.v. remote sensing data) tot nieuwe informatie.

Deze haalbaarheidsstudie geeft uitwerking aan de tweede inhoudelijke deeldoelstelling.

De hoeveelheid water die geborgen kan worden in de bodem aan het begin van een bui of neerslaggebeurtenis is van grote invloed op het effect van de neerslag op de grond- en opper-

vlaktewaterstanden en daarmee op de schade die verwacht kan worden aan gewassen of functies in een gebied. Daardoor is het in het operationeel peilbeheer belangrijk een juiste schatting te kunnen maken van de actuele vullingsgraad bodem in een gebied. Deze actuele vullingsgraad bodem, of anders gezegd het verzadigingstekort van de onverzadigde zone wordt bepaald door de meteorologische voorgeschiedenis (neerslag en actuele verdamping) en inrichting van het gebied (geohydrologie, drainage, aanvoer, kwel/wegzijging). Onder verzadigingstekort wordt verstaan: het volume water dat nodig is om een deel van de grond met gegeven afmetingen en met gegeven waterinhoud, in de verzadigde toestand te brengen. Onder onverzadigde zone wordt verstaan: het deel van de grond boven de grondwaterspiegel, waarin de poriën zowel water als lucht bevatten.

FIGUUR 1 LIGGING PROEFGEBIEDEN



Dit rapport beschrijft een haalbaarheidsstudie voor het kwantitatief schatten van de actuele vullingsgraad bodem, en de resultaten van het toepassen van een testberekening op twee proefgebieden: het stroomgebied van de Marswetering (Waterschap Groot Salland) en het gebied Cabauw in de Lopikerwaard (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden).

1.2 DOEL

Het hoofddoel van dit onderzoek is het toetsen van de haalbaarheid van het berekenen van de actuele vullingsgraad bodem door met remote sensing verkregen informatie te combineren met andere bronnen. Naast beantwoording van dit hoofddoel wordt een antwoord gezocht op onderstaande vraagstukken:

- Is gebruik van metaSWAP geschikt om in deze doelstelling te voorzien?
- Kan het gebruik van remote sensing data meerwaarde bieden voor operationeel waterbeheer?
- Levert het gebruik van remote sensing gebaseerde data meerwaarde voor het schatten van de randvoorwaarden van de uit te voeren berekeningen?
- Biedt de applicatie DRYMON (ontwikkeld door NEO) meerwaarde voor operationeel waterbeheer?

- Kan de ontwikkelde werkwijze doorontwikkeld worden zodat implementatie in het operationeel waterbeheer mogelijk wordt?

Dit onderzoek richt zich op de haalbaarheid van de berekening van de actuele vullingsgraad bodem. Het opleveren van een operationeel product valt niet onder de doelstellingen van dit onderzoek.

1.3 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt de werkwijze / het stappenplan en de gekozen uitgangspunten beschreven. Vervolgens worden in hoofdstuk 3 de resultaten voor de twee gekozen testgebieden beschreven. In hoofdstuk 4 wordt onderzocht of het op dit moment mogelijk is om op basis van remote sensing gebaseerde data de actuele hoeveelheid bodemvocht te bepalen. In hoofdstuk 5 en 6 worden respectievelijk conclusies, discussie en aanbevelingen voor een vervolg gegeven. In hoofdstuk 7 wordt tenslotte een implementatieadvies gegeven om de gepresenteerde werkwijze te implementeren in het operationeel waterbeheer.

2

METHODE

Om de actuele vullingsgraad bodem te kunnen bepalen op een bepaald moment in een bepaald (deel)stroomgebied (een gebied waaruit het afstromende water door één bepaalde waterloop wordt afgevoerd) of peilgebied (een gebied waarin hetzelfde peil wordt nagestreefd) is het nodig de termen van de waterbalans voor het betreffende stroom- of peilgebied te kennen op dat moment in de tijd. In deze waterbalans dienen de hoeveelheden water betrokken bij toevoer, afvoer, onttrekking en verandering in berging meegenomen te worden. Een instrument wat mogelijk ingezet kan worden bij het bepalen van deze termen om uiteindelijk de actuele vullingsgraad bodem te berekenen is metaSWAP.

In dit hoofdstuk wordt een stappenplan gepresenteerd voor het bepalen van de actuele vullingsgraad bodem op basis van metaSWAP. Hierbij wordt aandacht besteedt aan (de keuze van) het gebruikte instrument en wordt de gehanteerde werkwijze voor twee pilotgebieden beschreven; waarbij in één geval een vrij afwaterend gebied (stroomgebied) wordt beschouwd en in het tweede geval een poldergebied (peilgebied) wordt beschouwd.

2.1.1 METASWAP

Keuze MetaSWAP

De actuele vullingsgraad bodem is afhankelijk van de bodemsoort, de freatische grondwaterstand, de droogtegraad van de onverzadigde bodem en scheuren. Deze vullingsgraad bodem kan worden berekend met een model dat naast de freatische grondwaterstand ook de processen (en balanstermen) in de onverzadigde zone berekent. In Nederland wordt hiervoor doorgaans SWAP (Van Dam et al., 2008) of MetaSWAP (van Walsum en Groenendijk, 2011) gebruikt. MetaSWAP sluit het best aan bij de gangbare modelleringspraktijk omdat het reeds is toegepast in een groot aantal regionale en nationale modellen (NHI, HYDROMEDAH et cetera). Bijkomende voordeel van MetaSWAP is dat de diverse balanstermen (o.a. actuele verdamping) geforceerd opgelegd kunnen worden en dat het zeer snel rekent, waardoor het uitermate geschikt is voor operationele toepassingen, zoals het nowcasten (en forecasten) van de actuele vullingsgraad bodem.

MetaSWAP is een modelcode die het gedrag van de freatische grondwaterstand, de onverzadigde zone en de uitwisseling van het bodem-plant-atmosfeer-systeem beschrijft. De modelcode is softwarematig online gekoppeld aan MODFLOW, waardoor metaSWAP kan worden gebruikt in een regionale en landelijke context. Hieronder volgt een korte beschrijving van metaSWAP, met speciale aandacht voor de berekening van de verdamping.

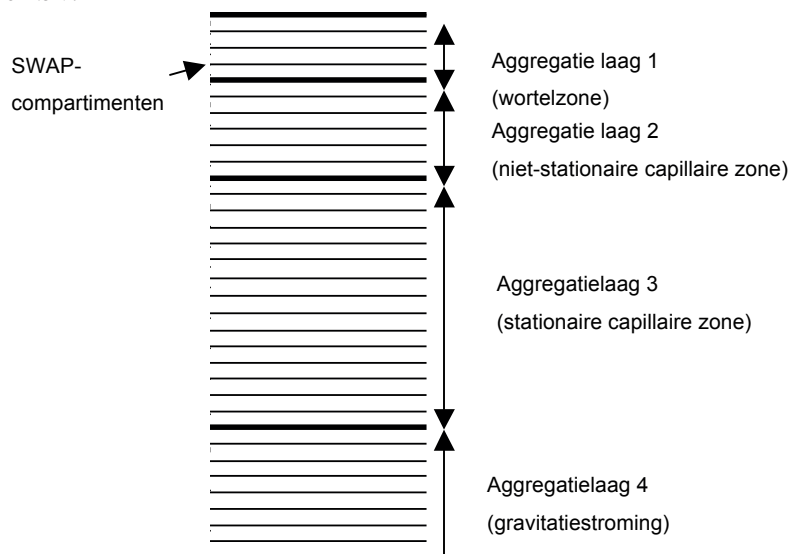
Beschrijving model

MetaSWAP (Van Walsum en Groenendijk, 2008) is een modelcode voor de simulatie van processen in een SVAT-kolom, waarbij SVAT staat voor *Soil Vegetation Atmosphere Transfer*. Het wordt als *in-house* model meegeleverd bij het modelraamwerk SIMGRO (Van Walsum et al., 2011; Van Walsum en Veldhuizen, 2012). MetaSWAP simuleert de processen vanaf de grond-

waterspiegel tot en met de plant-atmosfeer interacties. Het is een zogenaamd ‘metamodel’ van SWAP (Van Dam *et al.*, 2008).

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. Daarbij wordt een opschaling naar ‘aggregatielagen’ gebruikt (Figuur 2). Toepassing van het model vereist dat eerst een database wordt aangemaakt met een groot aantal stationaire SWAP-simulaties. Om het informatieverlies dat bij de vereenvoudiging optreedt te compenseren is het nodig om MetaSWAP te kalibreren en te valideren op SWAP.

FIGUUR 2 AGGREGATIELAGEN VAN METASWAP. IN HET NHI WORDT VOOR HET PROFIEL TOT 100 M-MV EEN SCHEMATISERING MET 18 AGGREGATIELAGEN GEBRUIKT.



Resultaten van die MetaSWAP-validatie worden gegeven in Van Walsum en Veldhuizen (2011). De test voor het zeer droge jaar 2003 leverde op dat voor wortelzones tot 0.60 m de gesimuleerde evapotranspiratie slechts enkele procenten afwijkt van SWAP, althans wanneer gekeken wordt naar wortelzone-bodemcombinaties die in de NHI-schematisering voorkomen. De toetsing van MetaSWAP aan SWAP is gedaan voor zowel ondiepe als diepe grondwaterstanden (ontwateringsbasis op 5 m-mv). Dat de verdamping van het metamodel ook voor diepe grondwaterstanden een goede overeenkomst met SWAP vertoont is te danken aan een uitbreiding van het oorspronkelijke concept naar meer dan twee aggregatielagen. Daarmee wordt het mogelijk om ook voor echte hangwaterprofielen enige capillaire opstijging te berekenen. Een model dat gebruikt wordt voor regionale simulaties dient alle mogelijke situaties aan te kunnen, zonder dat het model ‘op slot’ kan gaan. Dat laatste kan bijvoorbeeld gebeuren wanneer door inundatie van een akker met 100% gewasbedekking de transpiratie wordt onderbroken, en wanneer het model voor die situatie geen voorziening heeft om de plasverdamping op gang te laten komen.

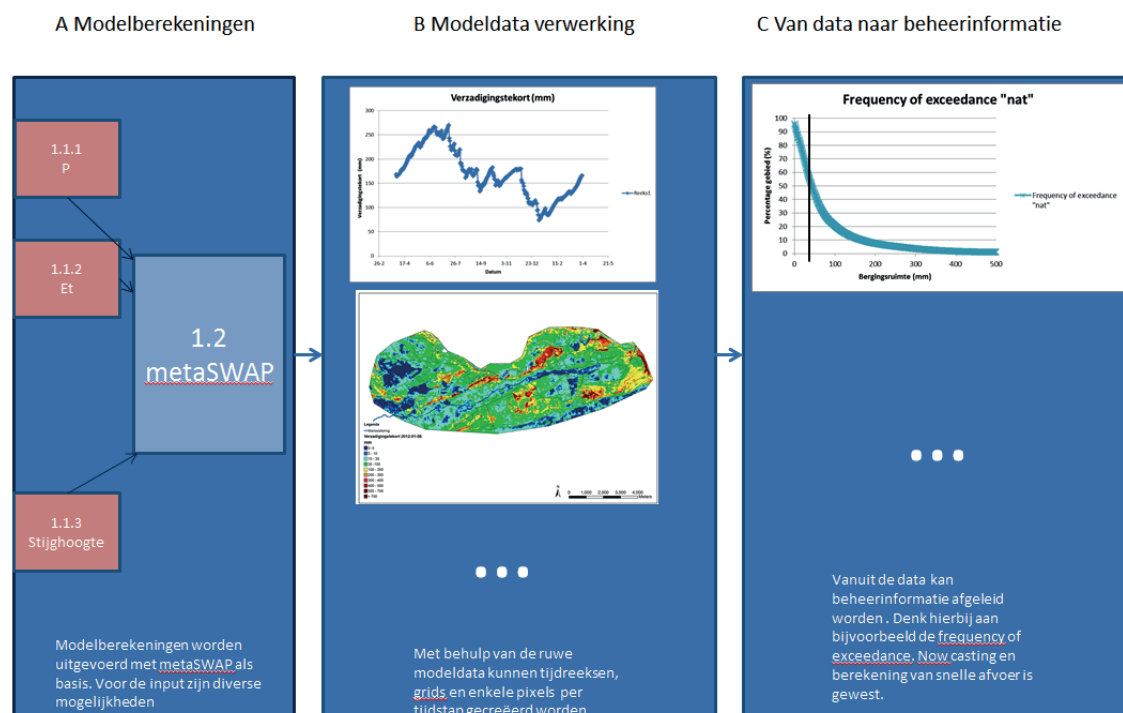
2.2 WERKWIJZE (STAPPENPLAN)

Het gehanteerde stappenplan (Figuur 3) bestaat uit drie fasen:

- A Modelberekeningen
- B Modeldata verwerking
- C Van data naar beheerinformatie

Alle drie de fasen van het stappenplan worden hieronder kort beschreven.

FIGUUR 3 STAPPENPLAN / WERKWIJZE



2.2.1 FASE A (MODELBEREKENINGEN)

In deze fase worden de modelberekening uitgevoerd. De onverzadigde zone wordt doorgerekend met MetaSWAP. De benodigde invoer voor een berekening met MetaSWAP bestaat uit drie aspecten, die met behulp van diverse technieken bepaald kunnen worden. Er zijn diverse afwegingen om tot de keuze voor een bepaalde techniek te komen (zie Figuur 3):

1.1.1 Neerslag:

- 1.1.1.1 Neerslaggegevens op basis van een KNMI station (STOWA, 2012), verdeeld door middel van thiessen polygonen;
- 1.1.1.2 Neerslaggegevens gecorrigeerd op basis van neerslagradar;

1.1.2 Verdamping:

- 1.1.2.1 Referentiegewasverdamping op basis van een KNMI station;
- 1.1.2.2 De metaSWAP invoer kan *overruled* worden met waarden voor actuele verdamping;

1.1.3 Stijghoogte:

- 1.1.3.1 Een stijghoogte berekend met behulp van een grondwatermodel (zowel dynamisch als gemiddeld is mogelijk);
- 1.1.3.2 Een, al dan niet geïnterpoleerde, stijghoogte gebaseerd op gemeten stijghoogten (zowel dynamisch als gemiddeld is mogelijk)

Ad. 1.1.2.1

Voor de modellering van interceptieverdamping wordt gebruik gemaakt van een variatie op de methode van Valente *et al.* (1997), die weer een variatie is op Rutter *et al.* (1971). Laatstgenoemde methode gaat uit van 100% vegetatiebedekking; voor een niet-volledige bedekking kan de Valente-methode worden toegepast. Die maakt gebruik van een gesloten waterbalans van het interceptiereservoir, waarvan zowel de in- als uitgaande termen worden gesimuleerd en afhankelijk zijn van de atmosferische omstandigheden.

In de Valente-methode wordt de actuele verdamping gelijkgesteld aan de verzadigingsgraad van de vegetatie maal een potentiële waarde. Het gesimuleerde uitdrogingsverloop gaat in die methode met een exponentiële functie zoals bij een lineair reservoir, met als gevolg dat de vegetatie nooit geheel kan uitdrogen. Daarom is er een alternatief mogelijk gemaakt in MetaSWAP, waarbij er wel een duidelijk moment is dat het interceptiereservoir leeg raakt. De resulterende differentiaalvergelijking is discreet, maar kan toch analytisch worden opgelost (Van Walsum *et al.*, 2011). De gesimuleerde interceptieverdamping is daardoor niet afhankelijk van de rekentijdstap van het model, maar alleen afhankelijk van het tijdsverloop van de atmosferische randvoorwaarden.

Interceptieverdamping wordt voorrang gegeven boven alle andere termen: gedurende de tijd dat interceptieverdamping 100% actief is, wordt verondersteld dat alle andere termen geheel zijn uitgeschakeld. Dit zal gelden in tijden dat het regent.

De rekenwijze voor de potentiële bodemverdamping bevat een reductiefactor voor de mate waarin de bodem wordt beschaduwd door het vegetatiedek. Er wordt aangenomen dat de netto straling onder het dek afneemt met een exponentiële functie van de *Leaf Area Index (LAI)*. De reductie van potentiële naar actuele bodemverdamping wordt gedaan met de methode van Boesten en Stroosnijder (1986).

Van de straling die het bodemoppervlak bereikt wordt aangenomen dat die niet beschikbaar is voor gewastranspiratie, ook al is de bodemverdamping gereduceerd ten opzichte van de potentiële waarde. De berekening van de potentiële transpiratie wordt gedaan met de resterende energie. De potentiële transpiratie wordt verdeeld over de bodemlagen op een uniforme manier, en de reductie naar actuele waarden wordt gedaan met Feddes *et al.* (1978). Bij de toepassing van die reductie in MetaSWAP wordt een *online* disaggregatie van de wortelzone laag toegepast, waarbij de drukhoogte met de resolutie van het originele SWAP-model wordt berekend. Dat is met name van belang in situaties met capillaire opstijging, waarbij er binnen de wortelzone een sterk verloop kan zijn van de drukhoogte.

Potentiële waarden van transpiratie, interceptie- bodem- en plasverdamping worden in de MetaSWAP-toepassing van het NHI en de regionale modellen berekend aan de hand van de Makkink-referentieverdamping. De modelcode heeft echter ook reeds de mogelijkheid om de Penman-Monteith referentiegewasverdamping te gebruiken, of zelfs de volledige Penman-Monteith methode.

Ad. 1.1.2.2

Zoals hierboven wordt beschreven wordt de actuele verdamping door metaSWAP berekend als optelsom van interceptieverdamping, bodemverdamping en gewastranspiratie. Hierbij wordt als randvoorwaarde de referentiegewasverdamping gebruikt. Het opleggen een actuele verdamping is geen invoermogelijkheid in metaSWAP. Binnen dit project is derhalve een methode ontwikkeld om toch zo goed mogelijk de actuele verdamping als randvoorwaarde te kunnen forceren. Hiervoor zijn de volgende ingrepen gedaan:

- 1 interceptieverdamping is uitgeschakeld door het interceptiereservoir uit te schakelen;
- 2 de bodemverdamping is uitgeschakeld door de bedekkingsgraad van het gewas op 100% te stellen;
- 3 de gewasfactoren zijn op 1.00 gesteld om geen gewas- of tijdspecifieke verdampingsvraag te krijgen;
- 4 de bodemparameters zijn zodanig aangepast dat de opgelegde referentieverdamping niet of nauwelijks wordt gereduceerd; dit is gedaan door de capillaire opstijgingsmogelijkheden van de bodems te vergroten;

Het gevolg van deze maatregelen is dat de opgegeven actuele verdamping die door metaSWAP als referentieverdamping wordt gezien, door het model als actuele verdamping wordt berekend.

2.2.2 FASE B (MODELDATA VERWERKING)

De modelberekeningen van metaSWAP geven als resultaat het verzadigingstekort per modelcel per tijdstap. Met behulp van deze ruwe modeluitvoer kunnen tijdreeksen voor een gebied, een cluster van modelcellen of modelcel gecreëerd worden. Daarnaast kunnen grids per tijdstap gecreëerd worden. Tevens kunnen gegevens worden gecombineerd met andere ruwe data (zoals neerslaggebeurtenissen) om nieuwe informatie te verkrijgen.

2.2.3 FASE C (VAN DATA NAAR BEHEERINFORMATIE)

De hoofdvraag is hoeveel % van bui 'X' op T=1 kan ik bergen gezien de bergingsruimte op T=0. Dit moet per modelcel worden bepaald (in % of in mm) waarbij niet wordt gesaldeerd tussen modelcellen. Immers, een tekort aan bergingsruimte in de natte laaggelegen gebieden kunnen niet worden gecompenseerd door de droge hogere delen van het stroomgebied. De som van alle tekorten (negatieve waarden) per cel wordt berekend als de (negatieve) bergingsruimte oftewel de hoeveelheid neerslagoverschot. De resultaten kunnen op verschillende manieren, ook ruimtelijk, worden weergegeven.

Door de neerslag gebeurtenis te variëren kan een grafiek worden gemaakt waarop voor verschillende neerslaggebeurtenissen wordt weergegeven wat de actuele vullingsgraad bodem en de nog overblijvende bergingsruimte is, of wat het geborgen aandeel is (in mm of %).

In de huidige uitwerking van deze fase wordt alleen nog gekeken naar het verzadigingstekort / overschot. Er moet daarbij dus nog gecorrigeerd worden om de daadwerkelijke bergingsruimte in beeld te krijgen.

2.3 UITGANGSPUNTEN EN RANDVOORWAARDEN

2.3.1 FASE A (MODELBEREKENINGEN)

De basis voor het bepalen van de actuele vullingsgraad bodem wordt gevormd door het onverzadigde zone model metaSWAP. De details van de berekeningen in de beide pilotgebieden verschillen licht van elkaar.

De nieuwste versie van iMODFLOW is beschikbaar gesteld om de nabewerking van MetaSWAP te vereenvoudigen (BETA_iMODFLOW_MSWP7_BR_x64)

2.3.1.1 MARSWETERING

Het stroomgebied van de Marswetering is een gebied van ongeveer 7157 ha in het beheergebied van Waterschap Groot Salland (stroomgebiedsgrens is gedefinieerd door het waterschap). De wetering ligt ten zuiden van de rivier de Vecht nabij het stedelijk gebied van Dalfsen. De Marswetering heeft een langzaam stromend karakter en mondt uit in de Nieuwe Wetering. Het gebied waarin de beek stroomt is afwisselend met zowel landbouw, als bossen als landgoederen. De Marswetering ligt in een gestuwd zandgebied (met lokaal wat (beek) eerdgronden) en kent een behoorlijk verval. De bovenloop van de beek bevindt zich in een gebied met maaiveldhoogtes tot 8 m +NAP, benedenstrooms in het stroomgebied ligt het maaiveld plaatselijk op ongeveer 0.5 m +NAP

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- De testperiode waarmee gerekend wordt is het hydrologisch jaar 2011 (1 apr 2011 t/m 1 apr 2012). Deze periode is gekozen i.v.m. de beschikbaarheid van data en de (onderlinge) validatie mogelijkheden;
- De volgende typen modelinvoer zijn gekozen voor de hieronder beschreven testberekeningen:
 - Neerslaggegevens op basis van de 3 nabij gelegen neerslagstations (Heino, Vilsteren en Hellendoorn) conform de ruimtelijke verdeling in de huidige schematisatie van MIPWA;
 - Potentiele verdamping op basis van de het nabij gelegen KNMI stations Heino, conform de ruimtelijke verdeling in de huidige schematisatie van MIPWA. MetaSWAP berekent op basis van deze waarden actuele verdamping;
 - Stijghoogten zijn berekend op basis van zowel:
 - Een grondwatermodel (MIPWA) in combinatie met MetaSWAP ;
 - Een grondwatermodel (MIPWA) in combinatie met CAPSIM;
 - interpolatie van gemeten stijghoogte (peilbuizen);
- De input van MIPWA is aangevuld met neerslag en verdampingsgegevens van 2011 / 2012. De eerste maanden van 2011 gelden dan als inloop periode voor het grondwatermodel.

Keuze en beschrijving van het gebruikte grondwatermodel (MIPWA)

Zoals reeds beschrijven zijn er diverse mogelijkheden voor de invoer van freatische grondwaterstand in metaSWAP. Binnen het gekozen pilotgebied is een vlakdekkende dynamische freatische grondwaterstand beschikbaar op basis van het MIPWA (Methodiekontwikkeling voor Interactieve Planvorming ten behoeve van Waterbeheer) grondwatermodel wat is ontwikkeld in opdracht van een groot aantal waterpartners in Noord-Nederland (drinkwaterbedrijven, provincies, waterschappen, gemeenten en DLG). Het doel van dit project was de ontwikkeling van een gedetailleerd, regionaal modelinstrumentarium ter ondersteuning van de vaststelling van GGOR (Gewenst Grond- en Oppervlaktewaterregime). Het instrumentarium moet eenvoudig en interactief gebruikt kunnen worden en voldoende draagvlak genieten om toepassing in een beleidsomgeving mogelijk te maken. Het MIPWA project is uitgevoerd door een consortium van vier partijen: TNO, Alterra, Royal Haskoning en Tauw. Zij bundelden hun model- en gebiedskennis.

Alle basisinformatie van het MIPWA grondwatermodel is bijeengebracht in een grondwatermodel referentiedatabase. De referentiedatabase heeft een hoge resolutie (25x25 m) en bedekt de beheersgebieden van de opdrachtgevers. Het MIPWA model is ontwikkeld met MODFLOW gekoppeld met het onverzadigde zone model CAPSIM (TNO, 2007). Het model is na de kalibratie getoetst op onafhankelijke GHG en GLG metingen en gemeten afvoeren.

Omdat het door TNO opgeleverd MIPWA model is gekalibreerd met CAPSIM zijn de door dit gekoppelde modelinstrumentarium berekende stijghoogte waarschijnlijk de best beschikbare representatie van de werkelijkheid. Er is daarom in eerste instantie gekozen voor gebruik (het opleggen) van deze berekende stijghoogte in het eerste watervoerende pakket. Omdat in de toekomst CAPSIM vervangen gaat worden door metaSWAP en een gekoppeld model waar rechtstreeks mee gerekend kan worden doelmatiger is dan opgelegde grondwaterstanden is naast de stijghoogten berekend door MIPWA in combinatie met CAPSIM ook gebruik gemaakt van stijghoogten berekend met MIPWA in combinatie met metaSWAP (de vergelijking van beide berekende stijghoogten met werkelijk gemeten stijghoogte komt aan de orde in hoofdstuk 3).

2.3.1.2 CABAUW

- Het pilotgebied Cabauw is gelegen in de Lopikerwaard in het beheergebied van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden. Het betreft één peilgebied, ter grootte van 27,5 hectare, waarin het KNMI-onderzoeksstation Cabauw is gelegen. Omdat de bodemopbouw en het maaiveldverloop van het gebied vrij homogeen is, bestaat het model voor Cabauw uit één cel en wordt er geen ruimtelijke spreiding berekend.
- De neerslagradar- en stationsgegevens vallen voor dit gebied samen, omdat de data van het grondstation Cabauw ook gebruikt worden voor de kalibratie van de radarbeelden.
- Het gebied is gesimuleerd in MetaSWAP voor het kalenderjaar 2006, omdat voor dit jaar remote sensing gegevens beschikbaar zijn van de actuele verdamping.
- Daarnaast is het gebied ook doorgerekend voor het hydrologisch jaar 2007-2008, omdat er voor deze periode een voorlopige waterbalans beschikbaar is¹;
- De onderrandvoorwaarde voor MetaSWAP is, op drie manieren afgeleid:
 - Een stationaire onderrandvoorwaarde, gebaseerd op een gemeten gemiddelde stijghoogte in het eerste watervoerende pakket;
 - Een onderrandvoorwaarde in de vorm van een sinusoïde, die gebaseerd is op een vlakdekkende GHG- en GLG-schatting van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket, die op zijn beurt is gebaseerd op metingen
 - Een onderrandvoorwaarde die direct is gebaseerd op de dichtstbijzijnde DINO-peilbuis in het 1^e watervoerend pakket.

2.3.2 FASE B (MODELDATA VERWERKING)

In eerste instantie kunnen voor deze fase onderstaande typen resultaten met het verzadigingstekort gegenereerd worden:

- Een tijdreeks met het verzadigingstekort per dag:
 - Gesommeerd voor het gehele stroom- of peilgebied;
 - Voor één of meerdere modelcellen; hierbij kan ingezoomd worden op kleine gebiedjes of modelcellen met specifieke kenmerken (denk bijvoorbeeld aan een gebied met een hoog verzadigingstekort of juist een laag verzadigingstekort);
- Een ruimtelijke weergave van het verzadigingstekort in het stroom- of peilgebied op één tijdstap:
 - Een dag waarop het verzadigingstekort nagenoeg maximaal is;
 - Een dag waarop het verzadigingstekort nagenoeg minimaal is;

Voor stroomgebied Marswetering zijn beide typen resultaten gegenereerd. In het eerste geval is gekozen voor een beekdal en een gebied op de flank van de stuwwal. De cellen en dagen met lage en hoge verzadigingstekorten zijn handmatig geselecteerd uit de kaarten en tijdreeksen voor het gehele gebied.

Omdat het pilotgebied Cabauw gemodelleerd is als één homogeen gebied, is er geen sprake van ruimtelijke variatie van het verzadigingstekort. De variabele wordt rechtstreeks uit de modelresultaten geëxporteerd, als tijdreeks met een resolutie van één dag.

2.3.3 FASE C (VAN DATA NAAR BEHEERINFORMATIE)

Waar in fase B vooral de actuele vullingsgraad bodem centraal staat, staat in de vertaling van deze informatie naar beheerinformatie vooral de afvoer per gebied centraal. Met andere woorden als de actuele vullingsgraad bodem goed in beeld gebracht is (fase B) dan kunnen hiermee

¹ Omdat de waterbalans beschikbaar was voor de periode juni 2007 tot juni 2008 is deze periode doorgerekend. Strikt genomen komt dit niet overeen met een hydrologisch jaar, dat van april tot april loopt.

ook relevante neerslag afvoerrelaties berekend worden. In deze eerste haalbaarheidsstudie is gekeken naar de snelle afvoer vanuit beide pilotgebieden bij verschillende neerslagsituaties in verschillende uitgangssituaties. Wanneer de snelle afvoer vanuit een stroomgebied is bepaald, dient idealiter een vervolgslag gemaakt te worden naar de berging van deze snelle afvoer in het oppervlaktewatersysteem; niet alle snelle afvoer levert direct knelpunten op in en rondom het oppervlaktewatersysteem. Daarnaast dient een vertaling gemaakt te worden naar actuele vullingsgraad bodem in relatie tot gebruiksfuncties: wanneer levert te veel snelle afvoer / een bergingstekort knelpunten op in relatie met landgebruik?

Marswetering

Voor een heterogeen gebied als de Marswetering is het bepalen van de snelle afvoer minder triviaal. Om vanuit de modeluitvoer van metaSWAP te komen tot relevante beheerinformatie moeten de volgende stappen doorlopen worden:

- Bepalen actuele vullingsgraad bodem op een gewenst tijdstip: In dit geval is gekeken naar:
 - een droge uitgangssituatie (12-7-20011);
 - een droge uitgangssituatie (06-01-2012);
- Bepaling actuele vullingsgraad bodem / bergingstekort bij verschillende voor gedefiniëerde buien:
 - 10 mm;
 - 20 mm;
 - 30 mm;
 - 40 mm;
 - 50 mm;
 - 100 mm;
- Om het bergingstekort te kunnen vertalen naar een snelle afvoer component dient de hoeveelheid water die niet geborgen kan worden in de bodem gesommeerd te worden. Belangrijk hierbij is dat niet gesaldeerd wordt; de ruimte in gebieden met een relatief dikke onverzadigde zone (hoge ruggen) wordt immers niet opgevuld door het overschot in de gebieden met minder vullingsgraad bodem;
- In het geval van het Pilotgebied Marswetering dienen bovenbeschreven stappen voor alle gridcellen van het stroomgebied uitgevoerd te worden.

Cabauw

In het eenvoudige geval van pilotgebied Cabauw, dat bestaat uit één modelcel, wordt de snelle afvoer bepaald door de neerslag op dag $x=1$ afgetrokken van het verzadigingstekort op dag $x=0$. Wanneer de neerslag het verzadigingstekort overtreft, ontstaat 'verwachte snelle afvoer' uit het gebied.

Deze analyse is uitgevoerd voor de twee beschouwde periodes (kalenderjaar 2006 en hydrologisch jaar 2007–2008).

3

RESULTATEN

3.1 MARSWETERING

3.1.1 FASE A (MODELBEREKENINGEN)

Voor de stappen A. 1.1.1 en A. 1.1.2 zijn geen modelberekeningen benodigd. De Neerslag- en verdampingsgegevens zijn gebaseerd op drie bronnen:

- Neerslag en referentiegewasverdamping o.b.v. het KNMI (per meteorostation);
- Actuele verdamping (ETact) o.b.v. satellietinformatie, geleverd door Eleaf;
- Radarneerslag, gecorrigeerd met behulp van de grondstations van het KNMI, geleverd door HydroNET.

3.1.1.1 A.1.1.3 (STIJGHOOGTE)

Om met METASWAP de actuele vullingsgraad bodem te kunnen berekenen, moet voor de door te rekenen tijdstappen een onderrandvoorwaarde worden opgelegd. Dit kan doormiddel van ONLINE doorrekenen met MIPWA, of indirect door het opleggen van een (reeks van) stijghoogten. In de eerste instantie is gekeken naar een modelmatige benadering van de stijghoogte (MIPWA). Tot slot is een reeks van stijghoogten bepaald met behulp van metingen.

MIPWA berekeningen

De stijghoogten worden met behulp van het MIPWA-grondwatermodel berekend. De grondwateraanvulling wordt hierbij berekend met het onverzadigde zone model 'CAPSIM'. Omdat het verzadigingstekort wordt uitgerekend met MetaSWAP, verdient het de voorkeur deze koppeling te vervangen door MetaSWAP. Hierdoor is het mogelijk het verzadigingstekort te berekenen, waarbij de stijghoogte online (in dezelfde rekensessie) wordt berekend. Echter, het grondwatermodel is niet gekalibreerd met MetaSWAP.

Uitgangspunt in de eerste stap is dat MetaSWAP kan worden ingezet voor het berekenen van stijghoogten. Hiervoor is onderzocht of het gebruik van (de niet gekalibreerde modelcombinatie) MIPWA + MetaSWAP niet tot een (significant) slechtere berekende stijghoogten komt.

Om de stijghoogte voor de testperiode 2011/2012 online door te kunnen rekenen, zijn eerst de meteorologische gegevens van de database van MIPWA aangepast (A1.1.1 en A1.1.2). Er is een uitsnede gemaakt van het gebied ter plaatse van de Marswetering. Vervolgens zijn verschillende modelruns klaargezet en doorgerekend voor verschillende combinaties van modellen / tijdsperioden:

- MIPWA origineel (CAPSIM, 1998-2001, 14 daagse uitvoer);
- MIPWA tijdsperiode 2011-2012 (CAPSIM, 14 daagse uitvoer);
- MIPWA tijdsperiode 2011-2012 MetaSWAP (14 daagse uitvoer);
- MIPWA tijdsperiode 2011-2012 MetaSWAP (dagelijkse uitvoer).

Met behulp van alle beschikbare peilbuizen met een reeks tot en met 2012 is een vergelijking gemaakt van de gemeten grondwaterstanden met de berekende grondwaterstanden met behulp van CAPSIM en MetaSWAP (14 daagse uitvoer). Deze vergelijking is gemaakt voor het

hydrologisch jaar 1 april 2011 – 31 maart 2012. In eerste instantie zijn alleen peilbuizen van DINOloket met een volledige reeks meegenomen, de meetpunten van WGS zijn niet meegenomen omdat ze alleen data van 2011 bevatten. In bijlage 1 zijn de gemeten en berekende grondwaterstanden geplot voor alle beschikbare peilbuizen. De hoogste waarde van de y-as is zo ingesteld dat de bovenkant van de figuur gelijk is aan de maaiveldhoogte ter plaatse van het meetpunt.

Met behulp van de NS (nash-sutcliffe) coëfficiënt en de RMSE, is geprobeerd een kwantitatieve vergelijking te maken van de kwaliteit van beide modellen (Tabel 1). Te zien is dat de NS coëfficiënt in bijna alle gevallen negatief is; dit betekent dat het gemiddelde van de gemeten waarde een betere voorspelling geeft van de grondwaterstand dan de modelberekening. De RMSE van beide modellen is vergelijkbaar (gemiddelde afwijking van ongeveer 40 cm). In algemene zin zijn beide modellen vergelijkbaar qua resultaten; de berekende NS-coëfficiënten zijn erg laag en ook de RMSE zijn vrij hoog. Ook wanneer door de oogharen naar de plots wordt gekeken lijkt het verschil tussen beide modellen klein.

TABEL 1 NS COËFFICIËNT EN RMSE OP BASIS VAN DE VERGELIJKING VAN DE PEILBUISREEKSEN MET METASWAP EN CAPSIM

PB	CAPSIM		MetaSWAP	
	NS	RMSE		RMSE
B21H0198	-2.39	0.31	-0.34	0.25
B21H0201	-1.88	0.27	-1.12	0.26
B21G0749	-0.25	0.24	0.22	0.21
B27F0258	-0.21	1.23	-2.54	1.55
B27E0321	-2.66	0.16	-1.50	0.15
B21H0166	-0.50	0.51	-1.31	0.60
B21H0035	-1.72	0.24	-3.42	0.27

Interpolatie van gemeten grondwaterstanden

Naast het gebruik van MIPWA is tijdens het startoverleg een alternatieve methode besproken om de onderrand te benaderen zonder MIPWA door te rekenen. Op tijdstap nul is een startstijghoogte vastgezet op basis van een MIPWA berekening, om zo een ruimtelijke verdeling van grondwaterstanden te verkrijgen. Vervolgens zijn op basis van beschikbare peilbuisgegevens de ruimtelijke verschillen tussen verschillende tijdstappen (14-dagen) vastgezet. Deze verschillen zijn geïnterpoleerd voor het stroomgebied van de Marswetering en per tijdstap bij de startstijghoogte opgeteld. Bijvoorbeeld: is de grondwaterstand in peilbuis X vandaag 13 cm lager dan op T=0, dan wordt het MIPWA-grid van die tijdstap met 13 cm verlaagd. Per tijdstap ontstaat een grid met stijghoogten.

Er is geen validatie gedaan op bovenbeschreven methode; er zijn relatief weinig peilbuizen met reeksen in hydrologisch jaar 2011-2012. Er is gekozen om alle peilbuizen te gebruiken bij de interpolatie. Ter indicatie zijn in bijlage 2 voor twee tijdstappen de verschillen tussen bovenbeschreven methode en de berekeningen met MIPWA opgenomen. Het valt op dat in de winter in de hoge delen de interpolatiemethode hoge stijghoogtes berekend. In de lagere delen berekent MIPWA hogere stijghoogte. In het tussenliggende gebied zijn de verschillen het kleinst, terwijl hier relatief weinig peilbuizen beschikbaar zijn. In de zomer worden voor vrijwel het gehele gebied hogere stijghoogtes berekend met de interpolatiemethode.

Gevoeligheid onderrandvoorwaarde

Als test is een tijdreeks van het verzadigingstekort gemaakt door voor verschillende model-pixels de onderrand te variëren (bijv. GHG, GHG + 20 cm). Hieruit volgt hoe het resultaat (het verzadigingstekort) veranderd als gevolg van de aangepaste onderrand.

3.1.1.2 A.2.1. (METASWAP BEREKENINGEN)

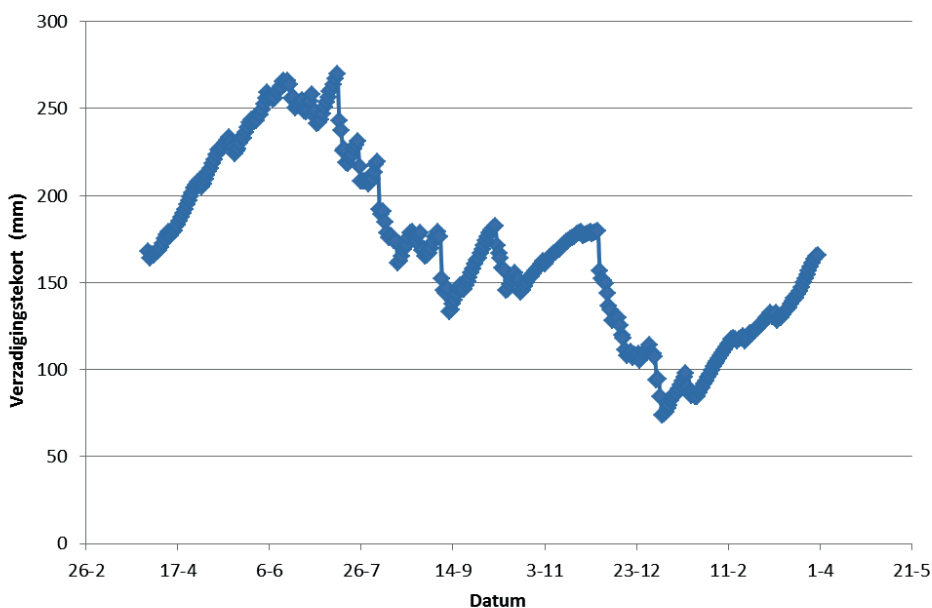
Er is een modelrun doorgerekend waarbij KNMI neerslag, potentiële verdamping en stijghoogte o.b.v. MIPWA (i.c.m. MetaSWAP) zijn gebruikt. De modeluitvoer is technisch gezien correct, maar zoals eerder is beschreven is geen kalibratie uitgevoerd. In het kader van het onderzoek en het (technisch) werkend maken van applicatie wordt voorgesteld door te gaan met de huidige niet-gekalibreerde modellen. Het is belangrijk dit wel in het achterhoofd te houden bij interpretatie van de resultaten.

3.1.2 FASE B (MODELDATA VERWERKING))

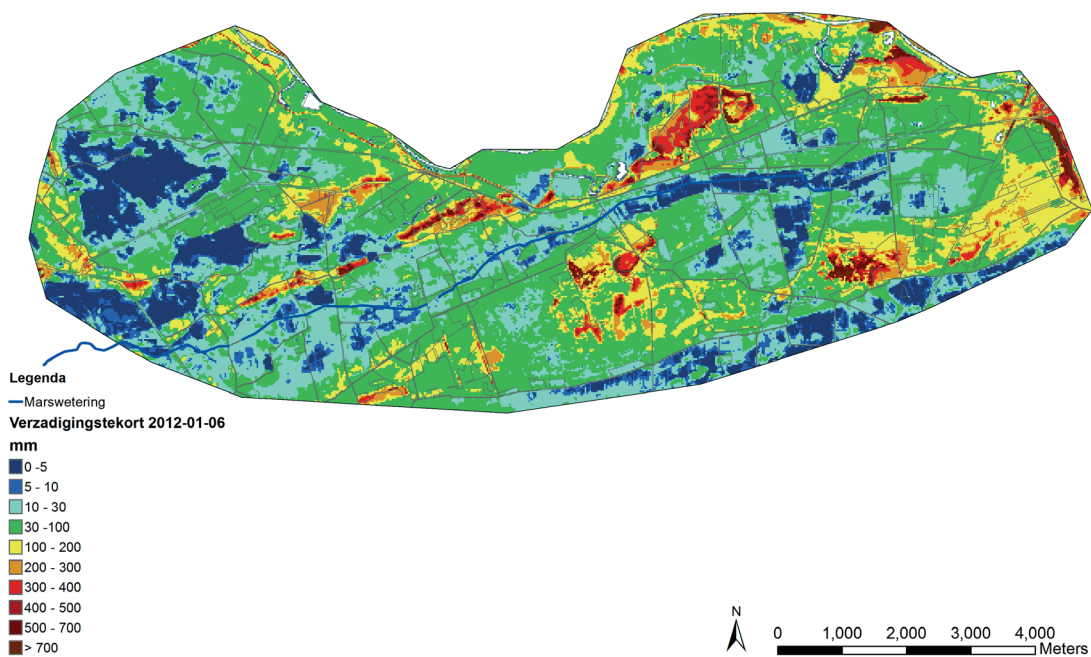
De ruwe data vanuit de MetaSWAP berekeningen is verwerkt tot een aantal grafieken en kaarten, welke hieronder worden getoond:

- Figuur 4: in deze figuur is het totale verzadigingstekort voor hydrologisch jaar 2011-2012 weergegeven voor stroomgebied de Marswetering. Te zien is dat het verzadigingstekort maximaal is in het voorjaar en minimaal in het najaar. Dit is geen realistische weergave met betrekking tot de bergingsruimte (t.b.v. fase C). Immers, een tekort aan bergingsruimte in de natte laaggelegen gebieden kunnen niet worden gecompenseerd door de droge hogere delen van het stroomgebied. Het 'overschot' moet per cel worden gesaldeerd;
- Op basis van de resultaten uit Figuur 4 zijn twee tijdstappen (6 januari en 12 juli) gekozen met een maximaal en minimaal verzadigingstekort. Deze twee tijdstappen zijn ruimtelijk weergegeven in de Figuur 5 en Figuur 6. Het verzadigingstekort is het grootst op de flanken van de stuwwal aan de bovenstroomse zijde;
- Op basis van Figuur 5 en Figuur 6 zijn twee cellen met respectievelijk een klein en groot verzadigingstekort gekozen waarvan tijdreeksen gemaakt zijn. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 7 en Figuur 8.

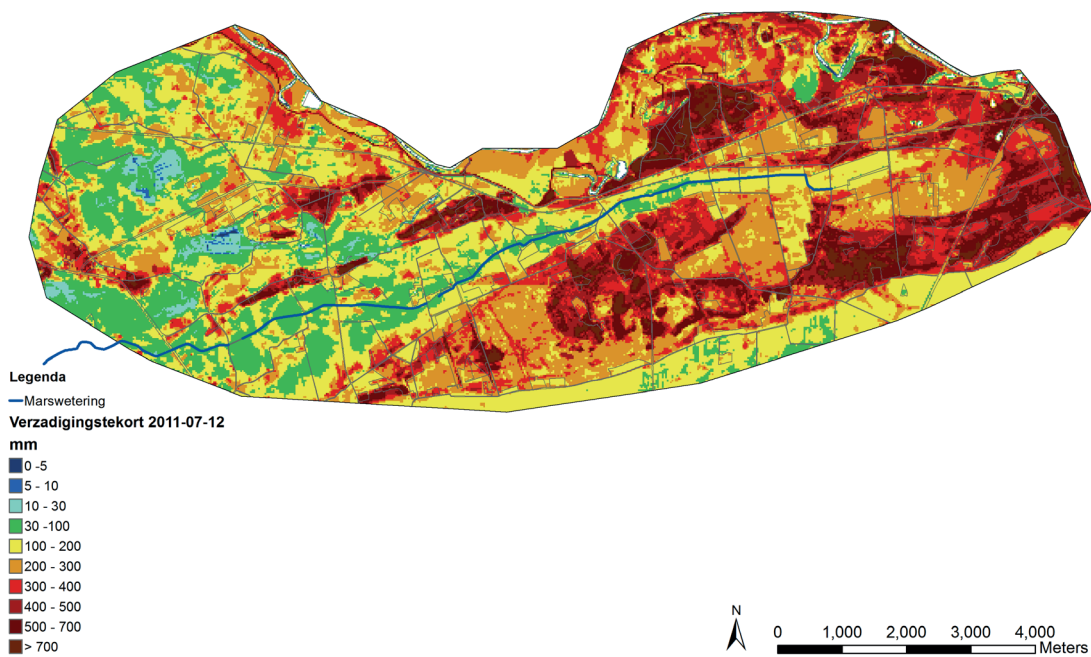
FIGUUR 4 TOTALE VERZADIGINGSTEKORT VOOR HYDROLOGISCH JAAR 2011-2012



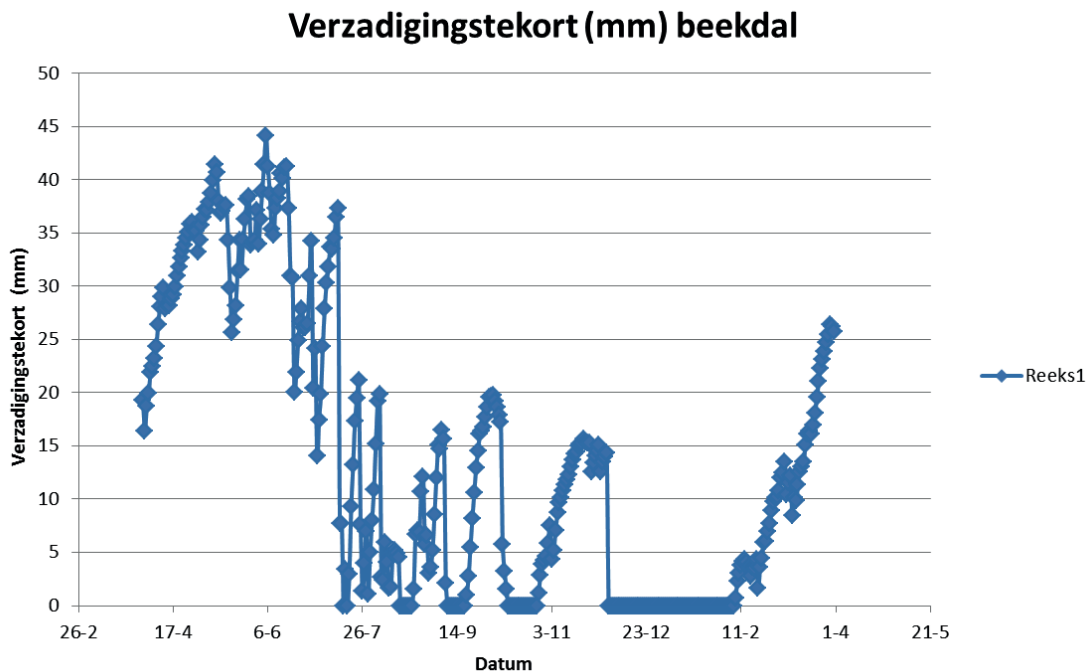
FIGUUR 5 VERZADIGINGSTEKORT PER CEL OP TIJDSTAP 06-01-2011



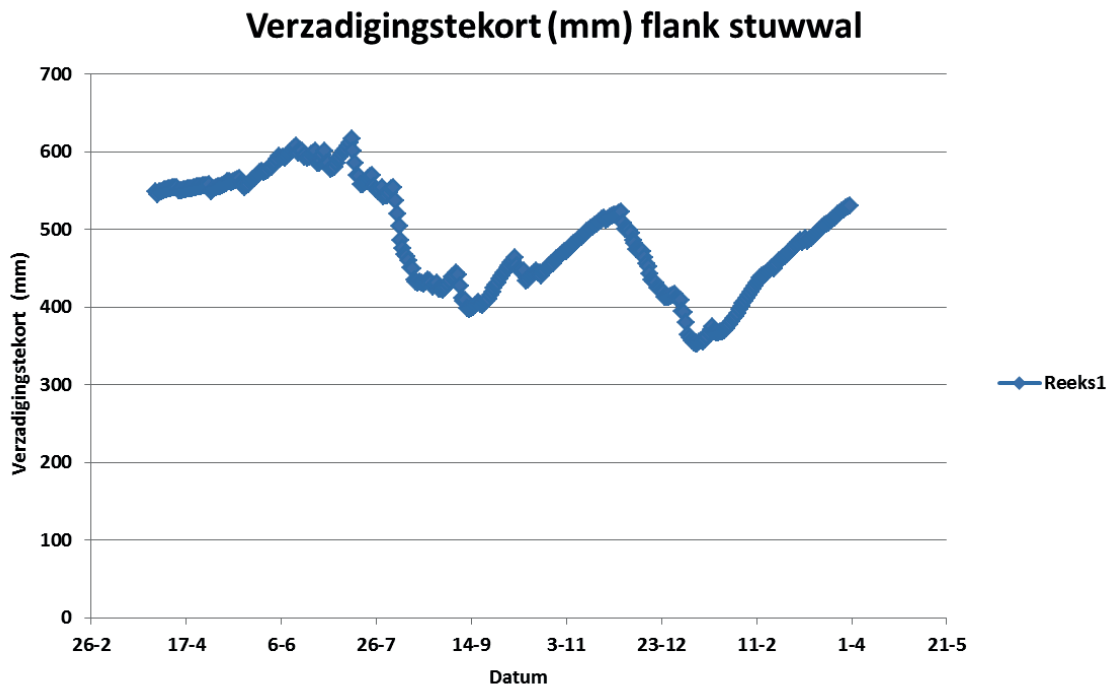
FIGUUR 6 VERZADIGINGSTEKORT PER CEL OP TIJDSTAP 12-07-2012



FIGUUR 7 VERZADIGINGSTEKORT IN HET BEEKDAL VOOR HYDROLOGISCH JAAR 2011-2012



FIGUUR 8 VERZADIGINGSTEKORT OP DE FLANK VAN DE STUWWAL VOOR HYDROLOGISCH JAAR 2011-2012



Gevoeligheid onderrandvoorwaarde

Als test is een tijdreeks van het verzadigingstekort gemaakt door voor verschillende model-pixels de onderrand te variëren (bijv. GHG, GHG + 20 cm). Hieruit volgt hoe het resultaat (het verzadigingstekort) veranderd als gevolg van de aangepaste onderrand. Er is met name gefocust op de gebieden waar de GHG < 1 m - mv is gelegen:

- Het effect van de onderrand (stijghoogte) is significant en is in de zomer groter dan in de winter. Dit verschil in zomer en winter wordt steeds kleiner naarmate je in een droger gebied komt. Dit komt omdat het verschil tussen “nat” en “droog” binnen het jaar steeds

kleiner wordt; in natte gebieden is de bodem in de winter bijna verzadigd. In droge gebieden heeft de stijghoogte een steeds kleiner effect op het verzadigingstekort.

- De patronen zijn gelijk; er vindt een verschuiving plaats. Echter deze verschuiving vindt plaats volgens een niet lineair verband; in een droge situatie geeft een extra verlaging als gevolg van een verlaging van de GXG een groter effect dan een extra verhoging. In een natte situatie is dit andersom; een verhoging geeft juist een groter effect op het verzadigingstekort.

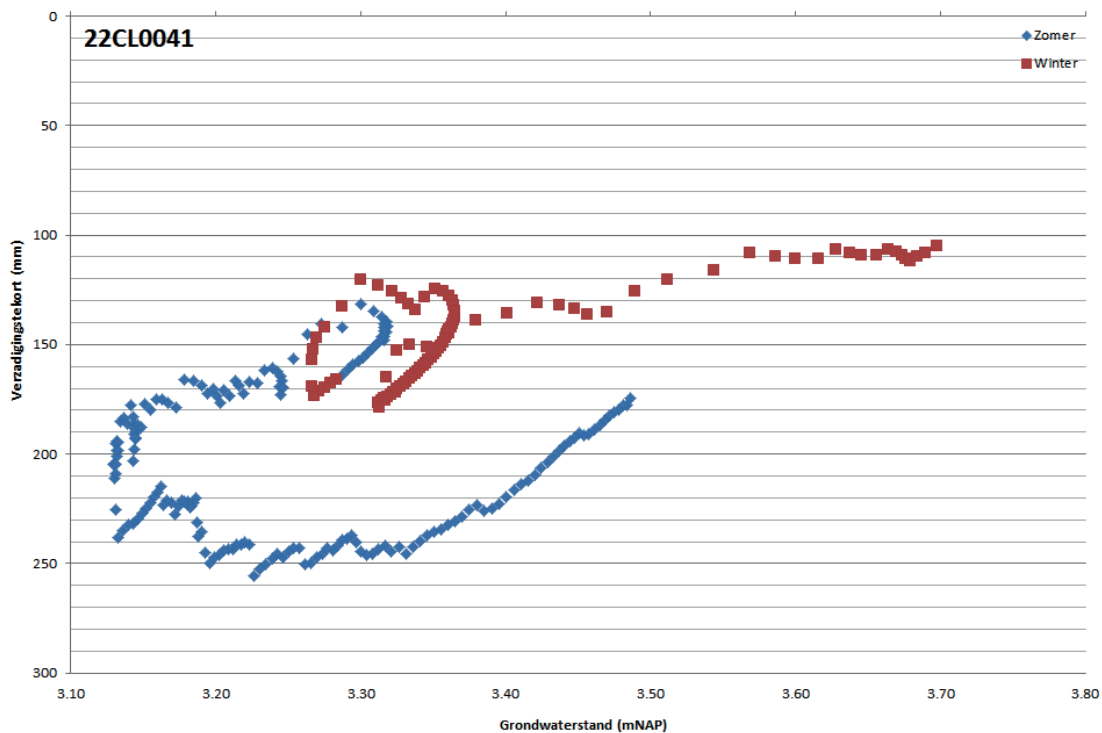
Conclusie: de onderrand (stijghoogte) heeft een significant effect op het verzadigingstekort, dit betekend dat de waarde van deze onderrand zo dicht mogelijk bij de werkelijkheid dient te liggen.

Relatie bergingsruimte en gemeten grondwaterstanden

Omdat is gebleken dat de stijghoogte, en daarmee indirect de grondwaterstand een belangrijke invloed heeft op het berekende verzadigingstekort, is gekeken of de grondwaterstand tevens een goede 'voorspeller' is van het verzadigingstekort. In de onderstaande figuur (Figuur 9) is voor het hydrologische jaar 2011/2012 het verzadigingstekort uitgezet tegen de grondwaterstand. Hieruit blijkt dat er min of meer een lineair verband bestaat voor de wintermaanden (rood). In de zomermaanden (blauw) is sprake van hysteresis.

Dit betekend dat in de winterdag de bergingsruimte voornamelijk wordt bepaald door de grootte van de onverzadigde zone. Als gevolg van neerslag stijgt de grondwaterstand, waardoor de bergingsruimte afneemt. Als gevolg van wegzijging wordt grondwater afgevoerd waardoor de bergingsruimte groter wordt.

FIGUUR 9 RELATIE TUSSEN GRONDWATERSTAND EN VERZADIGINGSTEKORT VOOR PEILBUIS 22CL0041



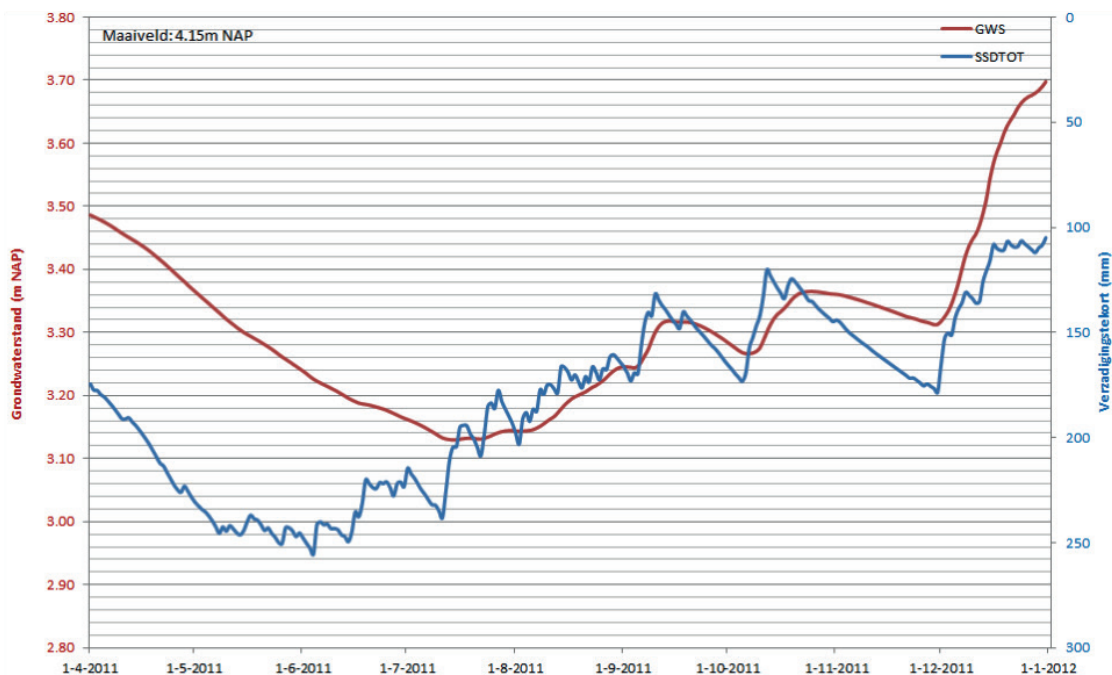
In de zomermaanden is deze relatie niet 1:1 door te vertalen. Hier is zichtbaar (bijvoorbeeld juni/juli 2011) dat terwijl de grondwaterstanden dalen (rode lijn) het verzadigingstekort stijgt (blauw). Met andere woorden: terwijl de onverzadigde zone groter wordt, neemt de bergings-

ruimte toch af. Dit is het gevolg van neerslag die de mate van verzadiging van de onverzadigde zone vergroot, zonder dat deze neerslag het grondwater bereikt. Dit neerslag water blijft in de onverzadigde zone / wortelzone, beschikbaar om in de volgende tijdstep te kunnen verdampen.

Samengevat betekend dit:

- In de wintermaanden wordt de bergingsruimte voornamelijk bepaald door de omvang van de onverzadigde zone: grondwaterstand
- In de zomermaanden wordt de bergingsruimte mede bepaald door een combinatie van de omvang van de onverzadigde zone: grondwaterstand. De interactie in de wortelzone met de 'bovenkant' (plant en atmosfeer) zorgen voor 'histeresis', waardoor bergingsruimte in de zomer niet kan worden afgelezen aan de hand van de grondwaterstanden.
- Zoals de voorgaande gevoeligheidsanalyse al heeft aangetoond is de grondwaterstand, ondanks dat de grondwaterstand geen goede voorspeller is, wel uitermate belangrijk voor het berekenen van bergingsruime. Echter, op basis van alleen de grondwaterstanden kan geen uitspraken worden gedaan.

NB. Hier is maar één meetpunt in de Marswetering uitgewerkt. Dit principe is echter in alle meetpunten teruggevonden. In de hooggelegen meetpunten is dit fenomeen sterker dan de meetpunten in het beekdal, daar waar de grondwaterstanden zich ook in de zomer relatief dicht onder het maaiveld bevinden.



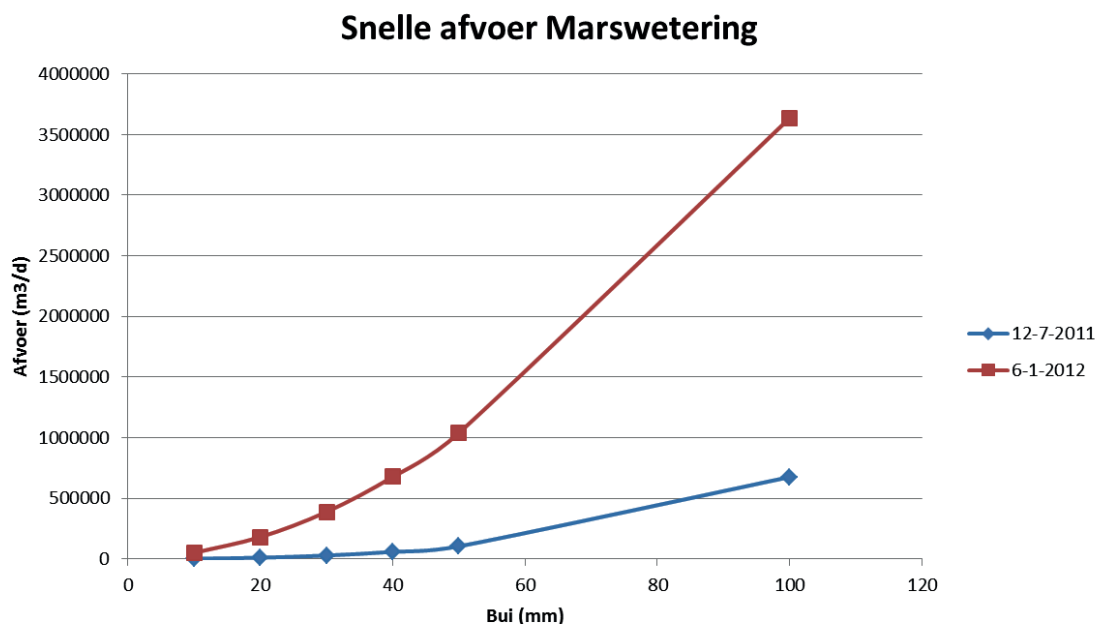
Vergelijking KNMI data of Remote sensing data

In Bijlage 1 zijn neerslag, actuele verdamping, grondwaterstand en actuele vullingsgraad bodem weergegeven voor respectievelijk een modelberekening met remote sensing gegevens (Radar neerslag en actuele verdamping o.b.v. ETlook) en KNMI stations (neerslagstations verdeeld m.b.v. Thiessen polygonen en actuele verdamping berekend met MetaSWAP). Er zijn een drietal punten in het Marswetering gebied gekozen. Uit de resultaten blijkt dat afhankelijk van de locatie behoorlijke verschillen kunnen optreden. Deze verschillen lijken vooral afhankelijk van de verschillen in verdamping. Op de hoge locaties wordt de hoeveel-

heid actuele verdamping berekend met MetaSWAP o.b.v. KNMI gegevens hoger berekend t.o.v. de verdamping gemeten met remote sensing. Hierdoor wordt bij gebruik van remote sensing data minder vullingsgraad bodem (m^3/m^2) en een hogere grondwaterstand berekend dan in het originele KNMI model. In de “laag gelegen” locatie treed dit verschil in verdamping niet op waardoor berekende grondwaterstanden en vullingsgraad bodem meer overeenkomen bij beide methoden. Wanneer gekeken wordt naar neerslag valt op dat ook verschillen bestaan tussen beide methoden, echter deze verschillen zijn niet systematisch waardoor deze verschillen niet direct doorvertaald kunnen worden naar grondwaterstanden en actuele vullingsgraad bodem. NB. Door verschillen in definities van een etmaal zijn de meetreeksen o.b.v. KNMI en remote sensing 1 dag ten opzichte van elkaar verschoven. Het KNMI hanteert etmalen vanaf 8 uur in de ochtend. Remote sensing data is dagwaarde vanaf middernacht. Hierdoor verschillen de totale dagsommen, wat resulteert in verschillen in de modellen gebaseerd op KNMI data en op remote sensing data. Door de modeluitkomsten van het “KNMI model” één dag naar voren te halen wordt nagenoeg gecorrigeerd voor dit verschil. In onderstaande grafieken is deze verschuiving overal toegepast.

3.1.3 FASE C (VAN DATA NAAR BEHEERINFORMATIE)

Voor twee tijdstippen is de snelle afvoer bepaald die niet geborgen kan worden in de bodem bij verschillende buien. De afvoer en berging van het oppervlaktewater is niet meegenomen in deze berekening. De snelle afvoer is bepaald door per cel de neerslaghoeveelheid van een bui op $T=1$ af te trekken van het verzadigingstekort op $T=0$. Wanneer het resulterende getal negatief is, is er een overschot welke niet geborgen kan worden. Door alle negatieve waarden op te tellen wordt bepaald hoe groot de totale afvoer uit het gekozen modelgebied is. In onderstaande figuur is deze afvoer voor verschillende buien op twee tijdstippen weergegeven (12-07-2011 veel bergingsruimte, 06-01-2012 weinig bergingsruimte). Te zien is dat een droge uitgangssituatie, zoals verwacht, veel minder snelle afvoer oplevert. Ook is de toename van de afvoer bij een toename van de neerslag minder; een natte uitgangssituatie levert een haast lineaire toename vanaf ongeveer 50 mm.



3.2 CABAUW

Omdat het pilotgebied Cabauw veel kleiner is dan het stroomgebied van de Marswetering en bovendien relatief homogeen, is het rekenmodel beperkt tot één cel. Dit vereenvoudigde de modelberekeningen en dataverwerking, waardoor de focus van de pilot kon verschuiven naar het testen van de plausibiliteit en het optimaliseren van het stappenplan.

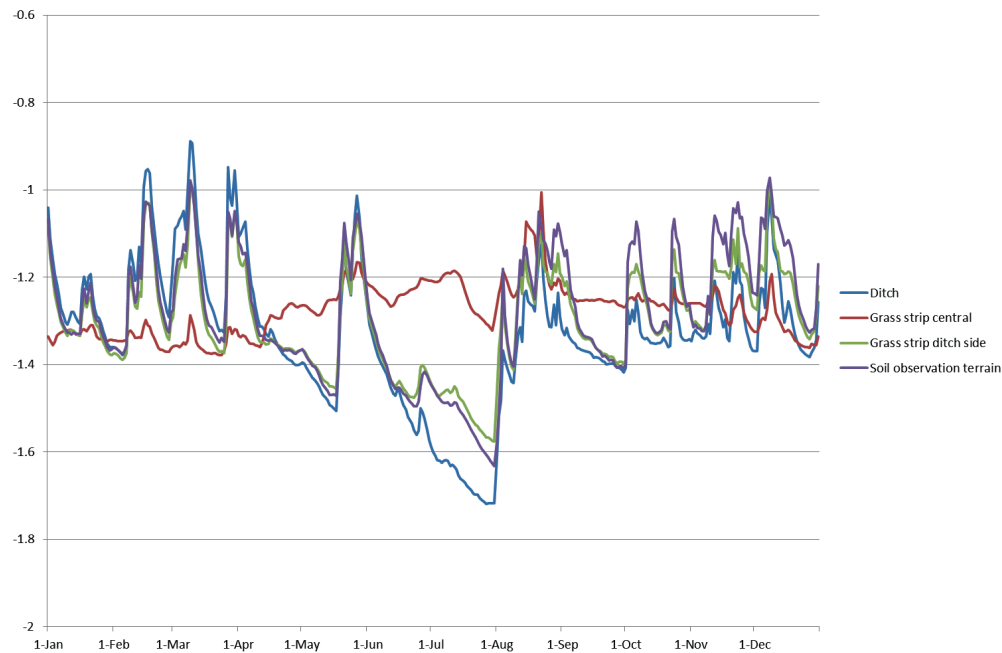
3.2.1 FASE A (MODELBEREKENINGEN)

Voor het invullen van de drie modelparameters uit het stappenplan (paragraaf Werkwijze (stappenplan)2.2) is een aantal verschillende databronnen gebruikt. De berekeningen zijn met elkaar vergeleken. De gebruikte datasets zijn weergegeven in Tabel 2. De berekeningen zijn vergeleken met waarnemingen van de grondwaterstand die op het terrein worden uitgevoerd door het KNMI. De voor 4 locaties aangeleverde data voor 2006 staan weergegeven in Figuur 10.

TABEL 2 GEBRUIKTE DATASETS MODELBEREKENINGEN CABAUW

Neerslag	Verdamping	Onderrandvoorwaarde
KNMI station Cabauw	ETref Makkink (KNMI)	Vast
	ETlook (remote sensing)	Sinusoïde o.b.v. GxG 1 ^e wvp
	ETact (Eddy-correlatiemasten)	DINO peilbuis

FIGUUR 10 GEMETEN GRONDWATERSTANDEN (M NAP) OP DRIE LOCATIES (BRON: KNMI IN HET KADER VAN CESAR).



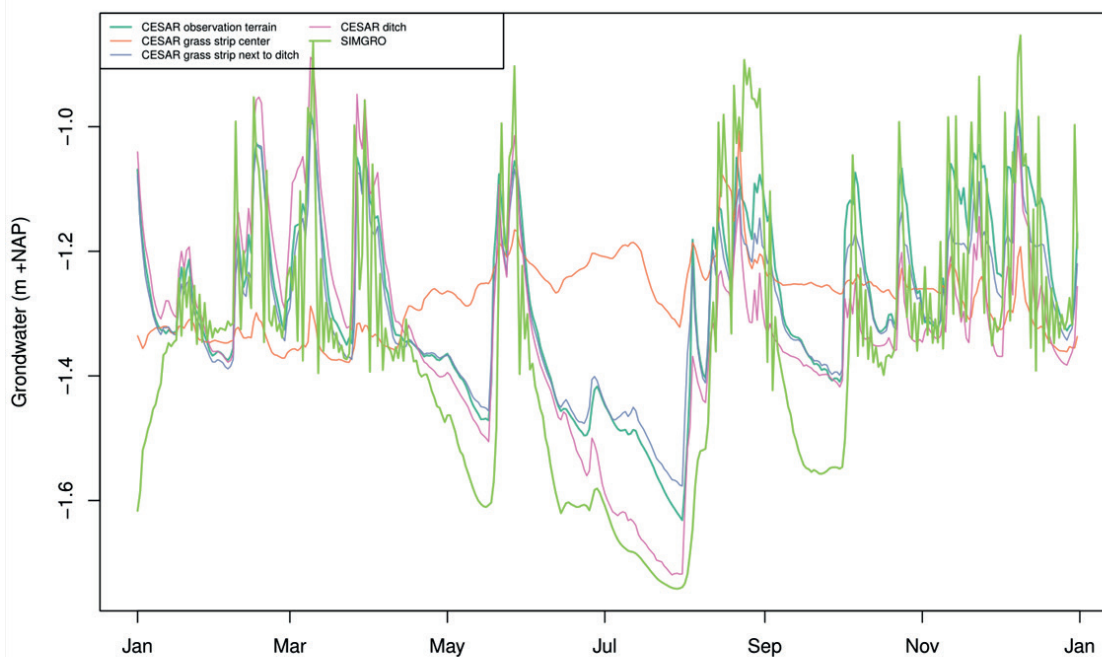
De waarnemingen laten onderling een vrij grote variatie zien. Met name de locatie Grass strip Central wijkt sterk af van de andere locaties en kent ook een atypisch grondwaterstandsverloop gedurende het jaar. Het vermoeden bestaat dat dit, hoewel de naam anders doet vermoeden, in feite een oppervlaktewatermeting is, maar bewijs of bevestiging kon niet verkregen worden, ook niet door het KNMI. De andere locaties wijken met name onderling af tijdens de droge en zeer warme periode in juli, maar ook tijdens natte perioden is er sprake van een vrij grote spreiding van de gemeten grondwaterstanden.

Behalve van de drie benoemde modelparameters zijn de resultaten ook afhankelijk van de overige modelinvoer. Met name de bodemparameterisatie kan hierbij zeer bepalend zijn

voor de modeluitkomsten. Voor deze bodemparameterisatie is door Alterra een systeem van kenmerkende ‘bouwstenen’ ontwikkeld (De Staringreeks), waarmee alle bodemsoorten modelmatig beschreven kunnen worden. Daarnaast kunnen enkele bodemparameters individueel opgegeven worden.

De bodemparameterisatie voor het MetaSWAP model van Cabauw was in eerste instantie op basis van de ‘standaardinstellingen’ opgezet. De met deze modelinstelling berekende grondwaterstanden bleken echter zeer ‘springerig’, met name dicht bij maaiveld. Een voorbeeld is opgenomen in Figuur 11.

FIGUUR 11 VOORBEELD VAN INITIËLE BEREKENINGSRISULTATEN MET STANDAARD BODEMPARAMETERISATIE.



Macroporiën

De bodems zijn voor de toepassingen van metaSWAP geschematiseerd als een opeenstapeling van staringreeksbouwstenen. Hieraan zijn bodemfysische eigenschappen gekoppeld die zijn verkregen uit laboratoriumexperimenten van kleine bodemmonsters. Dit zijn per definitie monsters van pure bodemmatrix, die geen scheuren of macroporiën bevatten. In beginsel worden de eigenschappen van de bodemmonsters gebruikt in metaSWAP. Uit eerdere analyses is evenwel gebleken dat de grondwaterstandsverlopen in klei- en veengronden zeer sterke en snelle fluctuaties gaan vertonen als de grondwaterstand in de buurt komt van het maaiveld. Dit wordt veroorzaakt door een zeer geringe bergingscoëfficiënt van de bodemmatrix. Door rekening te houden met de aanwezigheid van macroporiën in de bovengrond ontstaat een rustiger en doorgaans realistischer ogend grondwaterstandsverloop. Daarom is besloten het macroporiënconcept bij Cabauw wel toe te passen. Dit heeft overigens wel direct een gevolg voor de geschatte vullingsgraad bodem.

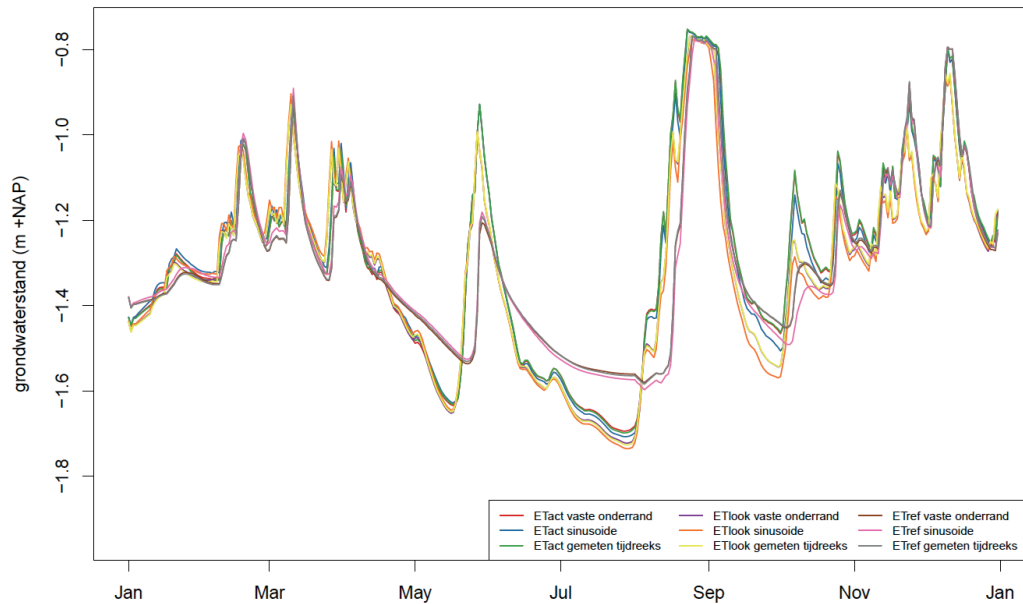
Met deze herziene bodemparameterisatie zijn negen modelruns uitgevoerd: 3 manieren om verdamping te verdisconteren, 3 manieren om de onderrand te simuleren. De resultaten staan weergegeven in Figuur 12. Uit deze figuur blijkt:

- De manier waarop de onderrand wordt gesimuleerd heeft voor Cabauw, bij de gekozen modelopzet, nauwelijks invloed op de rekenresultaten. De voor de hand liggende verkla-

ring hiervoor is dat de weerstand van de deklaag in dit deel van de Lopikerwaard vrij groot is.. In het model is een weerstand van 1428 d opgenomen. Deze waarde is overgenomen uit het regionale grondwatermodel Hydromedah (zie Gunnink *et al*).

- De keuze om de actuele verdamping af te leiden uit remote sensing data of door meta-SWAP te laten berekenen op basis van referentie-gewasverdamping, is wél van significante invloed op de modelresultaten.
- De resultaten van de modelruns die gebruik maken van een opgelegde actuele verdamping (dus zowel Remote sensing – ETlook – als de meetreeks van de Eddy-correlatiemasten) komen nagenoeg overeen.

FIGUUR 12 RESULTATEN 9 MODELRUNS OM GRONDWATERSTAND TE SIMULEREN.

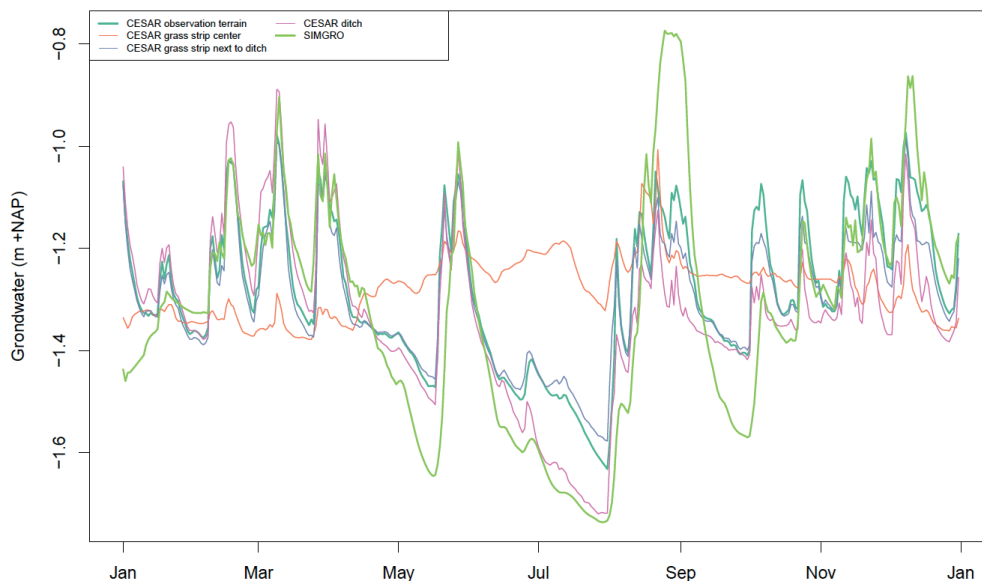


Hoewel de modelresultaten dus vrij gelijkvormig zijn, komen ze niet bijzonder goed overeen met de metingen. In Tabel 3 zijn enkele kenmerkende Nash-Sutcliffe realisaties weergegeven. Figuur 13 illustreert de verschillen tussen de metingen en de berekeningen (in dit geval ETlook, sinusoidale onderrand).

TABEL 3 NASH-SUTCLIFFE EFFICIENCY VOOR DE DRIE VERSCHILLENDE VERDAMPINGSVARIANTEN BIJ EEN SINUSOÏDE ONDERRAND

	Ditch	Grass strip central	Grass strip ditch side	Observation terrain
Etact	0.01	-14.23	-0.55	0.16
Etlook	0.26	-14.53	-0.39	0.20
Etref	-0.02	-11.71	-0.47	0.06

FIGUUR 13 VERSCHILLEN TUSSEN DE METINGEN EN DE BEREKENINGEN (ETLOOK, SINUSOÏDE ONDERRAND)



Het vergelijken van de modelresultaten en de metingen laat het volgende zien:

- Het model is maar ten dele in staat het grondwaterstandsverloop correct te simuleren. Kalibratie en validatie van het model zou hier wellicht nog verbetering in kunnen brengen. Het verbeteren van de modelresultaten viel buiten de scope van dit project;
- De metingen van peilbuis Grass strip central wijken zodanig af dat ze verder buiten beschouwing gelaten worden;
- Van de drie verdampingsvarianten komen de modelresultaten van ETlook het best overeen met de metingen. De varianten waarbij gebruik is gemaakt van ETref scoren duidelijk minder.

Waterbalans

Van het gebied is ook een waterbalans beschikbaar voor de periode juni 2007 t/m mei 2008. Met behulp van het model is voor deze periode ook een waterbalans afgeleid, gebruik makend van ETref en ETact. De remote sensing data ETlook was voor deze periode niet beschikbaar. In Tabel 4 is de gemeten waterbalans uit Brauer et al (2009) vergeleken met twee modelsimulaties.

TABEL 4 VERGELIJKING GEMETEN WATERBALANS (BRAUER ET. AL.) MET TWEE MODELSIMULATIES

	Etref/meetreeks	Etact/meetreeks	Brauer et al [2010]
P	960	960	966
ET	563	480	618
Qin	4	15	234
Qout (netto)	604 (600)	665 (650)	759 (525)
dS	-3	-3	60
Rest	-200	-167	-236

Met uitzondering van de neerslag zijn de verschillen tussen de berekeningen en de metingen vrij groot:

- Met name opvallend is het grote verschil in de verdampingsterm (ET). De gemeten verdamping van 618 mm lijkt onrealistisch groot, omdat de door het KNMI opgegeven referentiegewasverdamping van meetstation Cabauw voor deze periode 588 mm bedraagt en

de gemeten actuele verdamping voor grasland in theorie lager zou moeten zijn dan deze waarde. Een mogelijke verklaring voor zou kunnen liggen in het relatief grote percentage open water (gewasfactor >1). Overigens moet ook worden opgemerkt dat de verdamping van Brauer et al (2009) niet is bepaald op basis van de referentieverdamping.

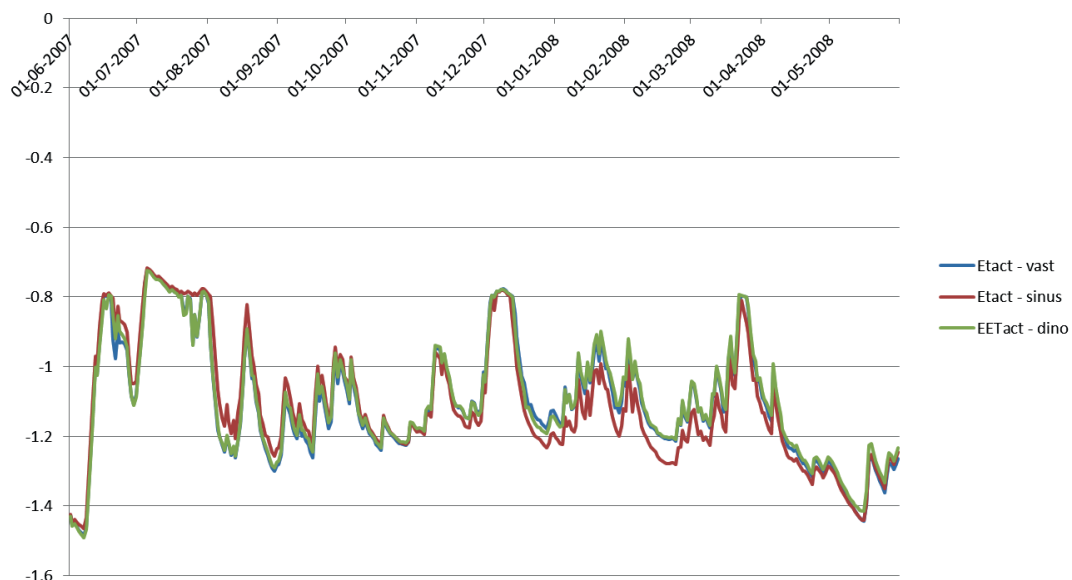
- De Q_{in} en Q_{out} termen betreft het oppervlaktewater dat het gebied – als oppervlaktewater – binnenkomt respectievelijk verlaat. In het model wordt aangenomen dat er uitsluitend wordt ingelaten om het uitzakken van het peil te voorkomen. In de praktijk – en dus ook gemeten door Brauer et al – wordt er meer water dan noodzakelijk ingelaten. Dit water stroomt door het gebied en verhoogt zowel de Q_{in} als de Q_{out} term. Netto wordt er volgens de modellen 15 à 20% meer water afgevoerd dan volgens Brauer et al, waarschijnlijk ter compensatie van de hogere verdampingsflux.
- Het verschil in de bergingsterm (dS) zou verklaard kunnen worden door een onnauwkeurig gekozen begintoestand van het model.
- De restterm ligt in dezelfde orde van grootte voor zowel de modellen als de metingen.

Gevoeligheid onderrand

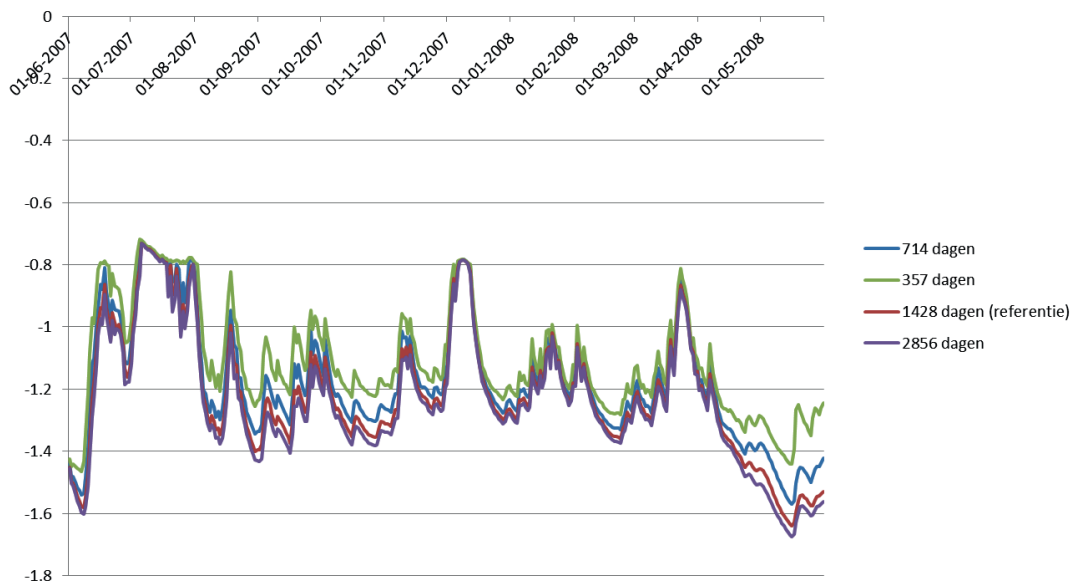
Zoals eerder in deze paragraaf aan de orde kwam heeft de manier waarop de onderrand van het model, i.c. de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket, geparameteriseerd wordt weinig invloed op de modelresultaten. De invloed van de onderrand is afhankelijk van de opgegeven weerstand. Om inzicht te krijgen in het effect van de in het model opgegeven weerstand van de deklaag is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Er zijn drie varianten vergeleken met de referentiesituatie, waarbij de referentiesituatie (een weerstand van 1428 dagen) is vermenigvuldigd met 0,25, 0,50 en 2,0. Per variant zijn er steeds de drie parameterisaties van de onderrand doorgerekend.

De resultaten van gevoeligheidsanalyse zijn opgenomen in Bijlage 3. Ter illustratie zijn hieronder in Figuur 14 en Figuur 15 twee kenmerkende grafieken weergegeven.

FIGUUR 14 BEREKENDE GRONDWATERSTAND VOOR DE DRIE VERSCHILLENDE STIJGHOOGTE-PARAMETERISATIES BIJ EEN WEERSTAND VAN 357 DAGEN



FIGUUR 15 BEREKENDE GRONDWATERSTANDEN VOOR VIER VERSCHILLENDE WEERSTANDEN (ETACT, SINUS-ONDERRAND).

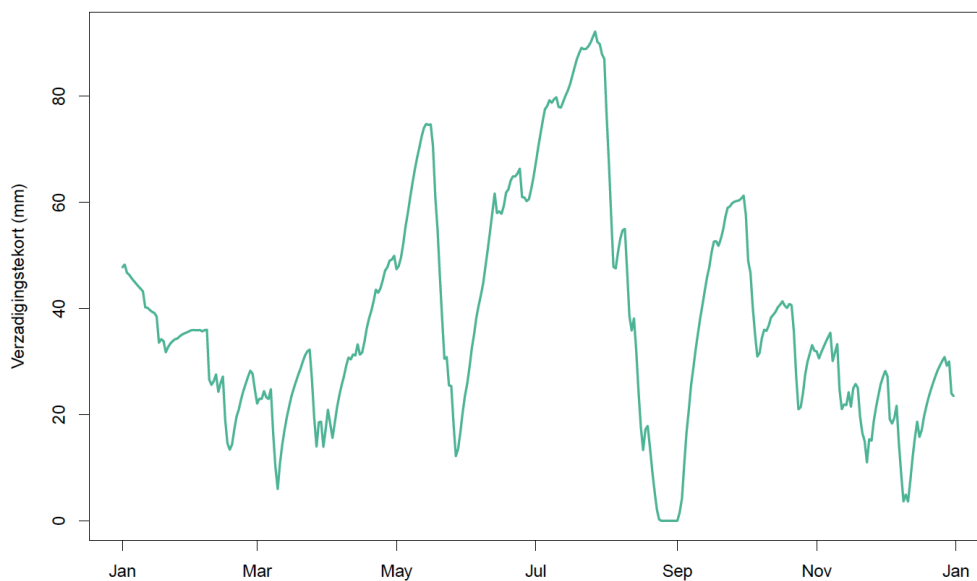


Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de resultaten voor de drie verschillende onderrandmethoden nagenoeg onveranderd blijven, ook bij aanzienlijk lagere weerstanden (Figuur 14). Bij lagere weerstanden wordt de berekende grondwaterstand wel hoger. De lagere weerstand zorgt met name voor het minder sterk uitzakken in droge perioden (Figuur 15). Dit is een direct gevolg van de toename van de kwel naar het peilgebied Cabauw door de lagere weerstand.

3.2.2 FASE B (MODELDATA VERWERKING)

Op basis van de modelberekeningen is ook het verzadigingstekort bepaald, op dezelfde wijze als voor de Marswetering. Omdat het model uit slechts één cel bestaat, is er één tijdreeks beschikbaar van het verzadigingstekort voor het hele gebied.

FIGUUR 16 HET BEREKENDE VERZADIGINGSTEKORT VOOR 2006 (BEREKEND MET DE BEST PRESTERENDE MODELVARIANT)

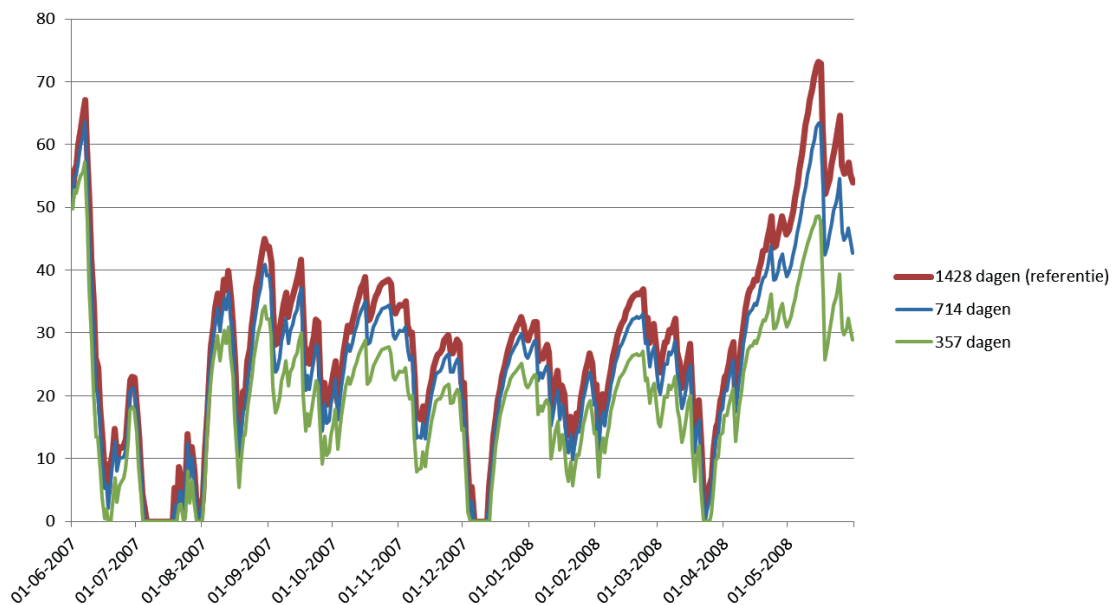


Het berekende verzadigingstekort varieert tussen 0 en 80 mm. In de maand augustus wordt is een spectaculaire overgang te zien van het maximum naar het minimum. Al eerder

(Figuur 16) is aangetoond dat de berekende grondwaterstanden hier significant hoger zijn dan de gemeten grondwaterstanden. In werkelijkheid zal het verzadigingstekort in augustus 2006 niet helemaal teruggeschoten zijn naar 0 mm. De schatting van de actuele vullingsgraad bodem is hierdoor waarschijnlijk kleiner dan in werkelijkheid.

In Figuur 17 is het verzadigingstekort weergegeven voor het hydrologisch jaar 2007-2008, voor verschillende waarden van de opgegeven deklaagweerstand. Het beeld komt overeen met dat van het jaar 2006. Wat opvalt is dat de waarde van de verschillen in deklaagweerstand in de drogere periodes leidt tot relatief grote verschillen in verzadigingstekort, van 10 à 20 mm. De wijze waarop de onderrand is geparameteriseerd (vaste stijghoogte, sinusoïde, meetreeks) blijkt niet tot verschillen te leiden. Zie hiervoor Bijlage 3.

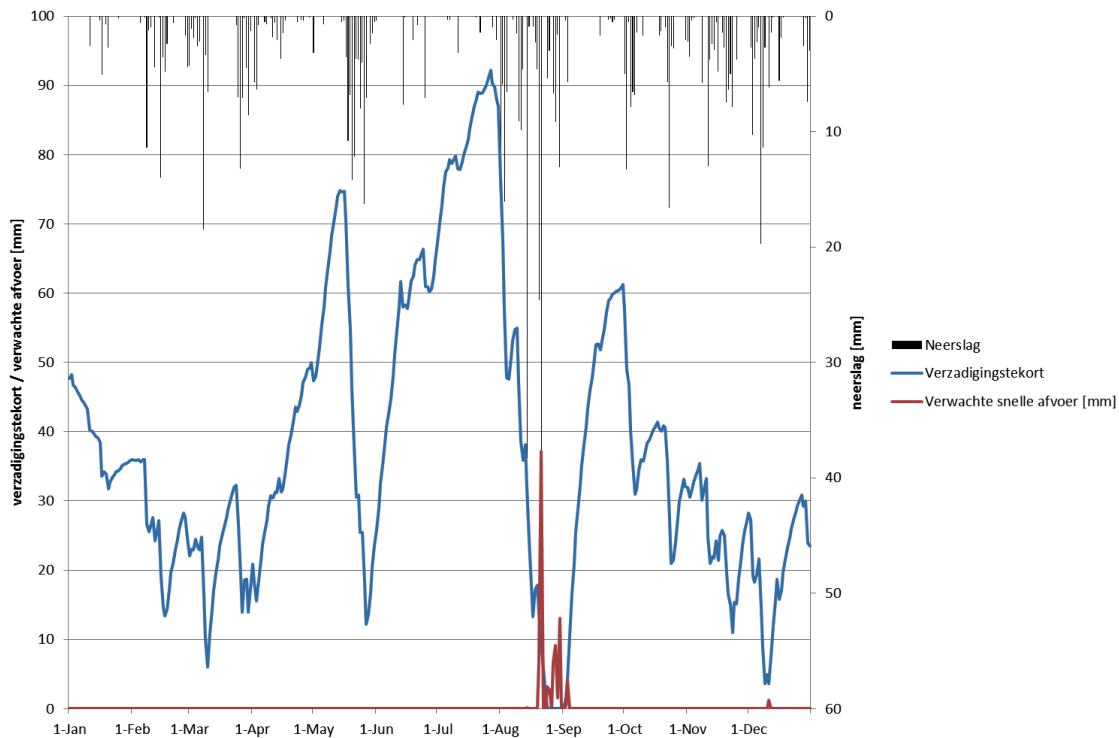
FIGUUR 17 HET BEREKENDE VERZADIGINGSTEKORT VOOR 2007-2008, BIJ VERSCHILLENDE WEERSTANDSWAARDEN.



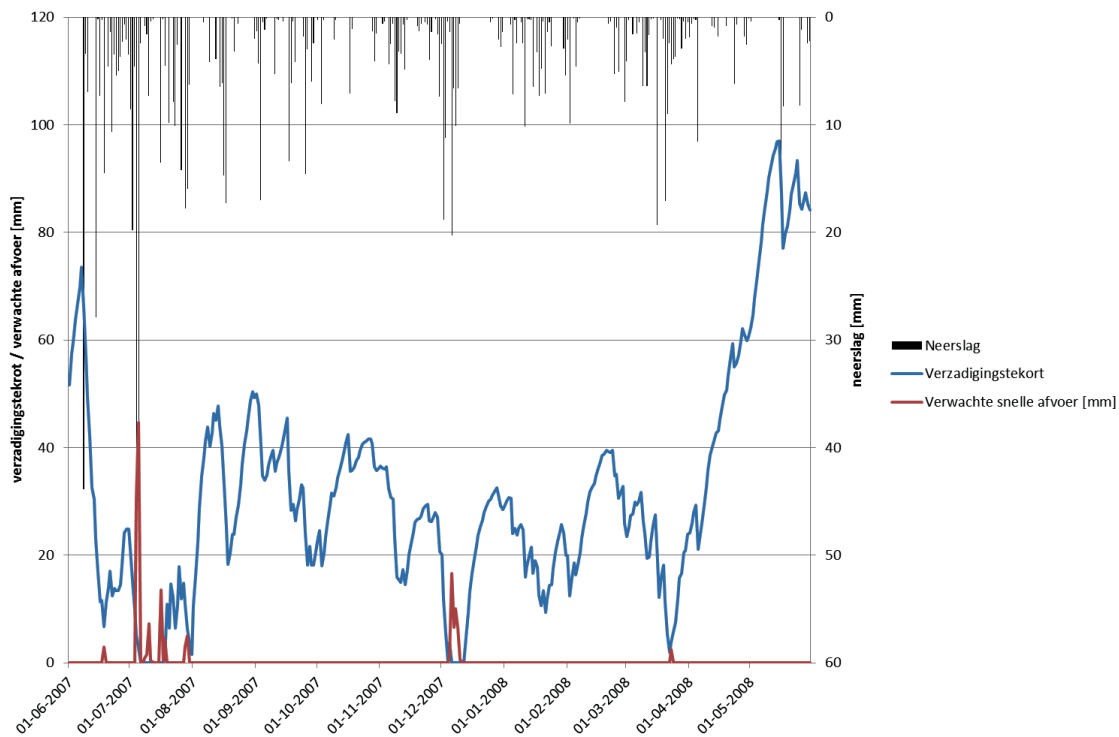
3.2.3 FASE C (VAN DATA NAAR BEHEERINFORMATIE)

In Figuur 18 en Figuur 19 is het berekende verzadigingstekort vergeleken met de neerslag. Analooq aan de analyse in paragraaf 3.1.3 is de neerslag op $T=1$ afgetrokken van het verzadigingstekort op $T=0$. Wanneer de neerslag het verzadigingstekort overtreft, ontstaat 'verwachte snelle afvoer'. Deze parameter zou kunnen dienen als indicatie voor de peilbeheerder dat de (verwachte) bui de actuele vullingsgraad bodem overtreft en dat er dus (extra of snelle) afvoer te verwachten is. Wanneer deze verwachte afvoer een bepaalde drempelwaarde overschrijdt, kan de peilbeheerder overgaan tot het nemen van voorzorgsmaatregelen, zoals bijvoorbeeld voormalen. Ter illustratie is in Figuur 18 en Figuur 19 ook de verwachte snelle afvoer voor de beide beschouwde periodes weergegeven. Uitgaande van de drempelwaarde van 20 mm/d (gebaseerd op de maximale gemaalcapaciteit aangevuld met enkele mm bergingsruimte in het oppervlaktewater), zou in beide jaren één keer de drempelwaarde overschreden worden.

FIGUUR 18 BEREKENDE VERZADIGINGSKORT EN SNELLE AFVOER 2006



FIGUUR 19 BEREKENDE VERZADIGINGSKORT EN SNELLE AFVOER 2007 - 2008



4

VERKENNING MOGELIJKHEDEN ACTUELE BODEMVOCHT O.B.V. REMOTE SENSING

In dit hoofdstuk wordt beschreven of de reeds beschikbare applicatie drymon meerwaarde kan bieden aan het operationeel waterbeheer. Met andere woorden voldoet de applicatie aan de (kwaliteits)eisen die gesteld worden aan de bepaling van het actuele bodembodemvocht vanuit het operationeel peilbeheer? Vervolgens wordt een doorkijkje gegeven naar de toekomst van bodemvochtmetingen op perceelsniveau met behulp van remote sensing gebaseerde data.

4.1 DRYMON

De bodemvochtmetingen die ten grondslag liggen aan DRYMON zijn radarmetingen met een c-band radar. De berekeningen die uitgevoerd worden op waarnemingen met een scatterometer, worden anno 2013 algemeen als succesvol beoordeeld: Uitdroging en vernatting van bodems wordt succesvol dagelijks gemonitord voor meeteenheden met een oppervlak van 100km² of meer (ESA-Soil Moisture Workshop, Frascati, 2013). Dat geldt voor oppervlakken waar een bodem is, geen regenwoud groeit, geen permanente sneeuw en ijs voorkomt en stedelijke verharding niet meer dan de 50% van de bodem bedekt. In Nederland wordt buiten gebieden in de Randstad aan deze voorwaarden voldaan.

In dit project is duidelijk geworden dat DRYMON geen relevantie heeft in relatie tot de gestelde vragen met betrekking tot de monitoring van bodemvocht en actuele vullingsgraad bodem voor de kleinere gebieden met een grote interne variatie die relevant zijn bij operationeel peilbeheer. Het is te ingewikkeld en er is teveel voorkennis van het gedrag van de deelgebieden voor nodig ten aanzien van de reflectantie enerzijds en van hydrologie anderzijds. Het is niet mogelijk om tot zinvolle simulatie te komen van actuele vullingsgraad bodem in drogere en nattere delen van een beekdal met een dwarsdoorsnede van enkele kilometers. Het is tevens helder dat gebiedsbrede verdroging en vernatting goed in het DRYMON-signaal tot uiting komt, ook al is dat gebied kleiner dan 100km².

4.2 TOEKOMST VAN BODEMVOCHTMETING OP PERCELSNIVEAU MET AARDOBSERVATIE

NEO heeft geleerd dat een dergelijke vraag steeds met veel reserve moet worden benaderd. Satellieten die in de toekomst gelanceerd worden, kunnen falen, ministers kunnen besluiten geen geld aan lanceringen te besteden en de te ontvangen signalen kunnen minder discriminatoir zijn dan verwacht mocht worden. In de geschiedenis van de bodemvochtmetingen zijn van alledrie de situaties voorbeelden te noemen (respectievelijk ENVISAT, MODIS en SMOS). Afgezien van deze praktische bezwaren is het in theorie mogelijk dat al vanaf 2014 de signalen worden ingewonnen die perspectief bieden op deze toepassing. De 2-3 daagse waarnemingen

met de hires c-band radar van Sentinel-1 uit de Copernicus serie bieden een zeer goede mogelijkheid om bodemvocht op perceelniveau te meten. In combinatie met de dagelijkse metingen van een verbeterd grondsegment van METOP (bodemvocht voor gebieden van km² vanaf eind 2013) ontstaat een nieuw perspectief. In technisch opzicht wordt dit met name veroorzaakt door de grote hoeveelheid opnamen waardoor een veel coherenter signaal in de tijd ontstaat. De meting berust op het principe dat nattere bodem beter elektriciteit geleiden. Deze geleidbaarheid wordt door de radar gemeten. Detail, frequentie en golflengte maken de te verkrijgen coherentie realistisch. Rond deze toepassing bestaan twee problemen:

- Het duurt nog even voordat een 'Proof of Concept' zal zijn geleverd. Op dit moment zijn 2-3 daagse hires radarwaarnemingen niet bestaand en de conclusie over de voldoende mate van coherentie in het signaal zal moeten worden aangetoond. NEO en TUDelft hebben gezamenlijk hiertoe al voorstellen gedaan, maar nog geen financiering verworven;
- De hoeveelheid noodzakelijk pre-processing op de radardata is enorm. Het is op zichzelf onaantrekkelijk om dit aspect op een nationale schaal op te lossen, maar samenwerking in internationaal opzicht is zeer gewenst. NEO heeft hiertoe contacten gelegd met het Oostenrijkse team dat tracht iets dergelijks te bereiken en contacten zoekt met buitenlandse partijen/co-investeerders/grootverbruikers. NEO is bereid om deze contacten uit te breiden om tot een werkbare samenwerking te komen op dit gebied.

Naar de mening van NEO zal het mogelijk zijn om toepassingen van deze metingen te ontwikkelen waarmee dagelijkse beslissingen omtrent de tot een peilgebied toe te laten of weg te pompen hoeveelheid water zeer betrouwbaar (gekwantificeerd) ondersteund kan worden. Door de schaal van de toepassing en de haalbare hoge mate van automatisering, is het aannemelijk dat een dergelijke toepassing kosteneffectief zal zijn.

5

IMPLEMENTATIEADVIES

BEHEERINSTRUMENT

In dit hoofdstuk wordt een implementatieadvies gegeven om vanuit de uitgevoerde analyses en conclusies van de pilotgebieden te komen tot een beheerinstrument. Hierbij wordt onder andere aandacht besteedt aan de wijze van implementatie, de gewenste output en wijze waarop het ICT systeem ingericht kan worden.

5.1 INSTRUMENT

5.1.1 INLEIDING

De resultaten uit de twee pilot studies laten zien dat het mogelijk is om voor elke dag de actuele vullingsgraad bodem (per beheereenheid) te schatten. We zien ook een absolute meerwaarde voor het toepassen van ruimtelijke gedistribueerde meteorologische en hydrologische informatie (neerslag en actuele verdamping). Dit organisatie-implementatie advies zal vanuit twee verschillende methodische invalshoeken, zowel een generieke -als een maatwerk aanpak per gebied, insteken:

- 1 De generieke (default) aanpak genereert een resultaat gebruikmakende van landsdekkend beschikbare instellingen van parameterwaarden en randvoorwaarden. De parameters zullen worden ontleend aan het NHI, evenals de onderrandvoorwaarde (de freatische grondwaterstand) en de meteorologische randvoorwaarden die worden gebruikt voor de operationele, in FEWS geïmplementeerde variant van het NHI;
- 2 Bij de maatwerk-aanpak kunnen waterschappen zelf de default-instellingen 'overrulen', met waarschijnlijk/hopelijk meer nauwkeurige schattingen van de actuele vullingsgraad bodem tot gevolg.

Voor hoog/pleistoceen/vrij afwaterend NL zijn de grondwaterfluctuaties vele malen groter en daarom meer bepalend. Het zal zich in die gebieden meer lonen om te investeren in verbetering van de inputdata. In lag Nederland zal vooral de juistheid van het gehanteerde oppervlaktewaterpeil, de peilgebiedsgrenzen en de meteorologische forcering zeer sturend zijn voor een bepaald resultaat.

Voor laag/holoceen/peilgestuurd NL zijn de grondwaterfluctuaties naar verwachting kleiner, beter eenduidig vast te stellen en daarmee minder onnauwkeurig te schatten o.b.v. NHI-default warden, mits de resultaten op de juiste wijze worden geaggregeerd, de juiste oppervlaktewaterpeilen worden gebruikt en de meteorologische forcering correct is.

We verwachten in het algemeen dat daarnaast gebiedspecifieke waarden voor de drainage- en subinfiltratie weerstand alsmede instellingen van de bodemfysische parameters zullen leiden wel tot een betere schatting van de actuele vullingsgraad bodem.

Raamwerk

We stellen voor om te gaan werken vanuit één (software-matig) raamwerk dat zowel de default - als de maatwerk aanpak kan faciliteren. De keuze voor het raamwerk is weer aan ieder individueel waterschap. Dit kan FEWS, Lizard of HydroNET zijn. (NB: Er zijn wellicht meer mogelijkheden, maar onze verwachting is dat mochten waterschappen hiermee aan de slag gaan dat de meeste zullen kiezen voor een van deze pakketten).

De noodzaak tot maatwerkconfiguratie hangt af van:

- 1 de kwaliteit van default waarden,
- 2 de gewenste kwaliteit van de gebruiker,
- 3 de gewenste toepassingen en,
- 4 de beschikbaarheid van betere informatie / kennis (over parameterwaarden, randvoorwaarden et cetera.)

Daarnaast is een flexibel systeem gewenst dat (indien gewenst en noodzakelijk) doorlopend kan worden verbeterd, mede op basis van de ervaringen uit de praktijk. De verwachting is ook dat het toepassingsbereik in de loop der tijd daarmee wordt vergroot doordat de kwaliteit van het algoritme, de parameterinstellingen en de onderliggende informatie (en gedetailleerdheid) toeneemt. Dit geldt zowel voor de generieke landelijke output als de gebiedspecifieke output, maar met name via dit laatste traject. We kunnen dit doorlopend ontwikkelingsproces faciliteren door zoveel mogelijk gebruik te maken van open source componenten en daar het organiseren van een gebruikers- en ontwikkelaarscommunity. Dit kunnen we samen met de STOWA organiseren en zeker ook in nauwe samenwerking met die waterschappen die zich met de ontwikkeling van zgn. verkeerstorens bezig houden.

5.1.2 TWEETRAPSBERADERING

Geïnspireerd door de ontwikkelingen binnen de neerslaginformatievoorziening en de hoge mate waarin waterschappen daardoor anders cq. meer geavanceerd zijn gaan opereren, adviseren we te kiezen voor een implementatietraject in de vorm van een tweetrapsbenadering: De generieke default service op basis van landelijk beschikbare informatie wordt in elk geval opgetuigd, maar met tegelijkertijd met de mogelijkheden om gebiedsgericht maatwerk te leveren door het aanpassen van de instellingen.

Trap 1:

De generieke default service zal gemaakt moeten worden met als basis het voor iedereen vrij beschikbare NHI. Dit instrumentarium is voor heel Nederland beschikbaar. MetaSWAP maakt onderdeel uit van dit instrumentarium en de aanpassingen die uit ons onderzoek volgen (en dan met name het assimileren van de satelliet gebaseerde ETAct) kunnen eenvoudig geïmplementeerd worden. Wanneer deze landelijke aanpak ontwikkeld wordt, zal er altijd een discussie komen over de bruikbaarheid op regionale (beheergebied, afvoergebied) en lokale (peilgebied) schaal. En natuurlijk zullen er op regionale en lokale schaal afwijkingen zijn t.o.v. wat men ervaart en weet. Wij denk echter dat het de kracht van ons voorstel is om zelf tegen de eerste beperkingen aan te lopen en vervolgens gebiedsgericht aan de slag te gaan met verbeteringen. De eindgebruiker (de peilbeheerders cq. de mensen die aan stuwen, gemalen, inlaten et cetera sleutelen om het water- en peilbeheer operationeel vorm te geven) moet zelf gaan werken met de data en informatie, in samenwerking met hydrologen e.d. en de ervaringen terugkoppelen aan collega's bij het betreffende waterschap en naar de landelijke community of practice.

Bij deze generieke default aanpak zullen landelijke afspraken over het beheer, data aanschaf en onderhoud van de module gemaakt moeten worden. Daarbij dient zoveel mogelijk bij het beheer&onderhoud van het NHI te worden aangesloten, mits dit door de markt uitgevoerd gaat worden op termijn. De ervaringen in de regio kunnen natuurlijk ook gunstig zijn voor de mogelijke doorontwikkeling van het NHI en daarom moeten we ook met RWS rond de tafel om over samenwerking te praten.

Trap 2:

Om van generieke default naar een maatwerkaanpak te komen is het noodzakelijk om één of meerdere van de instellingen te vervangen door verbeterde regionale of lokale data, bijvoorbeeld over de grondwaterdynamiek of de neerslagforcering. Het algoritme blijft in principe gelijk en het beheer ervan zal op nationaal (zoals hierboven beschreven) georganiseerd blijven bij deze constructie, omdat ook uit andere onderzoeken in NHI-verband blijkt dat de parameterwaarden de meeste onnauwkeurigheid introduceren (soms in combinatie met de ruimtelijke discretisatie) en niet de procesbeschrijvingen in MetaSWAP en MODFLOW. Bij de implementatie van de actuele watervoorraadmodule is het vooral zaak om het gemak waarmee instellingen kunnen worden gewijzigd zo laagdrempelig mogelijk te maken, en bij voorkeur via een web-based applicatie natuurlijk, zodat gebruikers en collega's op willekeurig welke computer met internet hiermee aan de slag kunnen. Dit vereist natuurlijk wel een log-systeem zodat nagezocht kan wie, wanneer welke aanpassingen heeft doorgevoerd. De peilbeheerder zelf krijgt de mogelijkheid om mensen daartoe de bevoegdheid te geven. Deze mogelijkheid tot bevoegdheid verlenen kan indien gewenst ook door de peilbeheerder worden gedelegeerd.

De aanpak is maatwerk per waterschap en het is aan iedere individueel waterschap de keuze hoe dit maatwerk eruit ziet. Bij de test in de Marswetering is bijvoorbeeld gebruik gemaakt van het MIPWA model als basis, gekoppeld aan MetaSWAP per 25x25m MODFLOW cel, met gedetailleerde neerslagdata en actuele verdamping. Het maatwerk vraagt in dit geval een grotere financiële inspanning t.o.v. de Cabauw-case, waar meer met de standaard NHI-aanpak is (NB: NHI rekent op 250x250m, wat ons een te hoge resolutie lijkt, gegeven de wens om in principe op afvoergebied niveau te kunnen rekenen) gewerkt, aangevuld met gebiedspecifieke parameterinstellingen en onderrandvoorwaarden.

Technisch vereist dit primair het per waterschap/waterbeheerder kunnen specificeren van de instellingen via een web-based service;

- Dit linken aan een nationale account waarmee de nationale ontwikkelingen en vernieuwingen geïmplementeerd kunnen worden.
- Onderscheid operationele datastroom en eenmalige configuratie met basisdata waterbalans.
- Deze eenmalige configuratie is nodig voor de landelijke default en per gebiedsupgrade. Met enige regelmaat vindt actualisatie van het algoritme en/of de hierin gebruikte databronnen plaats, mede op basis van de gebruikservaringen.

5.2 HOE MOET DE OUTPUT ERUIT ZIEN?

De 'verschijningsvorm' van de uiteindelijk informatie moet zorgvuldig worden gekozen en nadrukkelijk moeten worden afgestemd met de doelgroep. Dit impliceert feitelijk dat we meerdere mogelijkheden moeten bieden, waarbij de eindgebruiker dan een keuze maakt. Dit kan een sms bericht met informatie over de actuele vullingsgraad bodem per peilgebied,

maar het kan ook een app zijn op een smart Phone waarbij door verschillende menu's gescrold kan worden (al dan niet ondersteunt met een kaart en gps locatie) en waar diverse typen informatie te vinden zijn.

Het gaat erom dat voor de eindgebruiker bruikbare en eenvoudig te interpreteren informatie krijgt waarmee hij daadwerkelijk.

Bij de generieke ontwikkeling op nationale schaal heeft het meerwaarde om direct een applicatie voor alle waterschappen (bijvoorbeeld in HydroNET of FEWS) aan te bieden waar de peilbeheerder in het veld direct iets mee kan. Dat willen zeggen dat dagelijks de berekende actuele vullingsgraad bodem wordt opgeschaald naar peilgebieden en afvoergebieden en via een webbased applicatie en per sms wordt doorgegeven naar de eindgebruikers. De output kan eventueel nog worden doorvertaald door classificatie, Bijvoorbeeld rood voor zeer droog, oranje voor aan de droge kant, groen voor normaal, lichtblauw aan de natte kant en blauw voor nat et cetera. Tenslotte kan er ook een anticipatie-advies worden gegeven: b.v. opereren is zeer gewenst/noodzakelijk: vergroot zo mogelijk bergingshoeveelheid in het oppervlaktewater en het grond-/bodewater. Dan gaan we natuurlijk richting een BOS. Uiteindelijk zouden er meerdere schatting per anticipatie-scenario* kunnen worden bepaald.

*: Niets doen, voormalen, stuwen strijken, water vasthouden in de haarvaten et cetera.

Moraal van het verhaal: In het implementatie traject past een eerste uitrol op generiek niveau, maar dan wel zodanig dat 'fanatiekelingen' gelijk met gebiedspecifieke instellingen aan de slag kunnen. Het zal voor de meeste peilbeheerders en hydrologen een traject van "learning by doing" worden.

Om Buienradar.nl maar eens als voorbeeld te nemen: Grote groepen mensen (zowel privé als beroepsmatig) gebruiken dagelijks deze informatie. Natuurlijk kleven er nadelen aan en is data niet altijd zo nauwkeurig als gewenst, maar dat wordt alom geaccepteerd. Een dergelijk traject zien wij ook voor ogen met de Actuele Watervoorraad-module: door met deze gegevens aan de slag te gaan en de informatie dus vrij beschikbaar te stellen creëren we een de kans om aan de slag te gaan en ervaring op te doen. Uit die ervaring komt terugkoppeling en verbetering tot stand, waarmee het toepassingsbereik vergroot kan worden in de nabije toekomst.

5.3 ICT

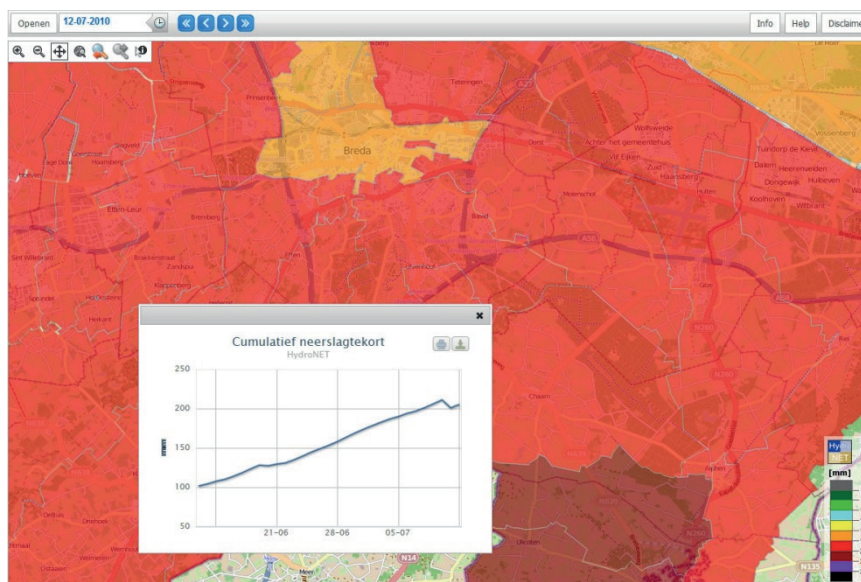
Wij stellen voor:

- De watervoorraadinformatie als SaaS dienst (Software as a Service) in te richten. Dit houdt in dat de informatie centraal, online beschikbaar wordt gemaakt. Dit geeft maximale beschikbaarheid en ontzorging van waterschappen (geen extra software in huis). Bovendien wordt onderhoud eenvoudiger: nieuwe kennis (informatie, onderliggend algoritme) kan vlot centraal worden geïmplementeerd en beheerd.
- Webservice als onderdeel van de SaaS dienst te ontwikkelen, waarbij op dagelijkse basis voor geheel NL een watervoorraad in klassen wordt bepaald (ruimtelijk detailniveau 250 x 250 m, temporeel detailniveau per dag). Deze webservice genereert dagelijks een grid bestand volgens de open NetCDF standaard zodat het eenvoudig door verschillende databases / portals / GIS pakketten kan worden verwerkt. Dit bestand kan op een FTP server of via een WMS (Web Map Service) beschikbaar worden gesteld.
- Via HydroNET of FEWS portal voor alle waterschappen informatie over de watervoorraad beschikbaar maken in een online applicatie (grafiek en kaart). In figuur 1 hieronder wordt

een vergelijkbaar voorbeeld van een dergelijke online applicatie voor het ontsluiten van hoge resolutie ruimtelijke grid informatie getoond.

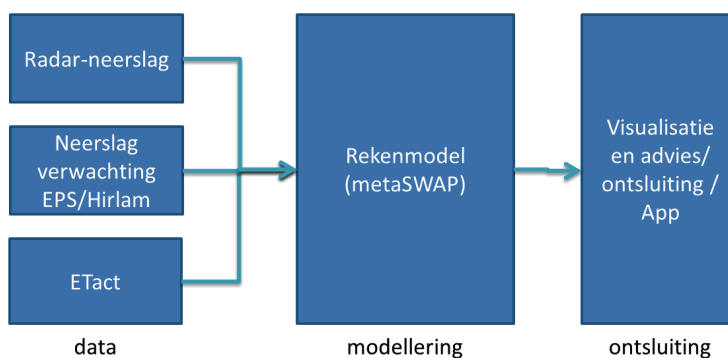
- Eén maatwerkimplementatie waarbij voor een waterschap een deel van de generieke informatie wordt vervangen door regionale informatie. Voor de maatwerkimplementatie wordt optioneel een apart beheerdashboard ingericht waarin waterschapspecifieke instellingen en parameters kunnen worden beheerd. Ook kan optioneel een koppeling met regionale informatie worden gelegd via online data services; zo kunnen bijvoorbeeld actuele grondwaterstanden uit eigen registraties worden toegevoegd (zie figuur 2) indien dit voor een waterschap interessant is ter verfijning van de watervoorraadinformatie.
- Zorgen voor voldoende flexibiliteit. Op basis van ervaringen en nieuw opgedane kennis moet het mogelijk zijn eenvoudig onderliggende informatie en/of algoritmen aan te passen. Dit kan tenminste door een beherend ontwikkelaar, optioneel kan een generieke beheeromgeving met dashboard worden ingericht waarin men nieuwe informatie kan uploaden, formules kan beheren, etc (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** voor een voorbeeld).

FIGUUR 20 VOORBEELD VAN EEN ONLINE APPLICATIE WAARIN RUIMTELIJKE GRIDINFORMATIE (IN DIT GEVAL EEN NEERSLAGTEKORT) WORDT VERTAALD NAAR DEELSTROOMGEBIEDSINFORMATIE. DOOR OP EEN GEBIED TE KLIKKEN WORDT EEN TIJDREEKSGRAFIEK OPGEVRAAGD.



5.4 IMPLEMENTATIEKOSTEN MODULE

De kosten voor het realiseren vallen uiteen in de onderdelen data, modellering, ontsluiting. De kosten voor elk van deze onderdelen wordt bepaald door de omvang van het gebied enerzijds en in hoeverre de waterbeheerder reeds beschikt over datastromen en ontsluitingstools.



Data

- Actuele neerslagradar op dagbasis (resolutie 1x1 km). Kan betrokken worden van diverse partijen (HydroLogic, Nationale regenradar). Vrijwel alle waterschappen beschikken hierover.
- Neerslagverwachting. Hiervoor zijn op dit moment twee opties beschikbaar:
- Hirlam: Kortetermijnverwachting (max. 48 uur), elke zes uur beschikbaar.
- EPS: Langetermijnverwachting (max 10 dagen), elke 12 uur beschikbaar
- Beide bronnen worden geleverd door het KNMI . Vrijwel alle waterschappen beschikken hierover.
- Actuele verdamping. Kan betrokken worden van diverse partijen (Eleaf, ITC). Kosten: ca. € xx per km². Dit wordt momenteel door SAT waterschappen gezamenlijk ingekocht.

Rekenmodel

Het modelleren van de onverzadigde zone met MetaSWAP is het hart van de watervoorraad-module. De kwaliteit van de resultaten is afhankelijk van de kwaliteit van de MetaSWAP schematisatie. Deze kwaliteit wordt vooral bepaald door een zorgvuldige beschrijving van de bodemfysische eigenschappen en de interactie (drainage, infiltratie) van de freatische grondwaterstand met het oppervlaktewatersysteem. Voor beide aspecten (bodemfysische eigenschappen en interactie ow/gw) is landelijke informatie beschikbaar dat als vertrekpunt kan dienen. Het automatisch processen van deze informatie met neerslagradar en satellietverdamping leidt tot een dagelijkse schatting van de watervoorraad met een bepaalde onzekerheid. Deze onzekerheid kan (of moet) worden verminderd door een gebiedspecifieke kalibratie. Gebleken is dat (vooral) de bodemfysische kenmerken behoorlijk kunnen afwijken van de werkelijkheid en aanpassing behoeven op basis van metingen. Of dit voor alle gebieden geldt en ook in welke mate er sprake is van afwijkingen is de vraag.

Het realiseren van een basisworkflow met een generiek MetaSwap model is een te overziene inspanning. In OWASIS NL wordt deze case uitgewerkt, resulterend in een begroting voor deze activiteit. Meer tijd is nodig voor een gebiedspecifieke kalibratie van het model en aanvullend het model operationeel te filteren met gemeten grondwaterstanden dan wel bodemvochtgehalten (bijvoorbeeld via Kalman filtering). Dit betekent dat de kosten voor het ontwikkelen van de gehele workflow (basisworkflow + gebiedspecifieke kalibratie + operationele filter) zeer kunnen uiteenlopen en worden beïnvloed door de grootte van het gebied, de complexiteit van het oppervlaktewatersysteem en anderzijds de vraag of er al goed MetaSwap model beschikbaar is, dat al dan niet na aanpassing gebruikt kan worden voor deze toepassing. In OWASIS NL wordt deze applicatie (en de verschillende varianten) technisch uitgewerkt en mogelijk beproefd waarmee een exacter beeld wordt verkregen van de benodigde inspanning.

Verbinden en Visualiseren

Als de basisworkflow, al dan niet met aanvullende kalibratie en/of operationele filter beschikbaar is, kan de daadwerkelijke module of App gerealiseerd worden. Deze App moet twee taken uitvoeren: verbinden en visualiseren.

Verbinden

Dit betreft het periodiek (dagelijks) runnen van het rekenmodel, nadat deze is voorzien van de juiste invoerfiles, waarin de actuele datastromen – neerslag, verwachting, verdamping – zijn verwerkt. De resultaten worden opgeslagen in een database. Er wordt een logboek bijgehouden waarin de modelruns en eventuele bijzonderheden worden gelogd.

Het doel moet zijn een zo generiek mogelijke applicatie te ontwikkelen dat in verschillende portals kan draaien (bijvoorbeeld HydroNET of Lizard) en zou theoretisch ook stand-alone gerealiseerd kunnen worden. Uitgaande van implementatie in een bestaand data-portal en het beschikbaar hebben van de basisworkflow zijn de configuratie kosten per model/gebied/waterschap beperkt (ordegrootte € 5.000,- excl. BTW).

Visualiseren

De modelresultaten worden verwerkt tot informatie over de waterbeschikbaarheid of juist de beschikbare berging in de ondergrond. Deze informatie wordt getoond in tijdreeksen of grids, al dan niet in combinatie met andere informatiebronnen. Voor het ontwikkelen van deze functionaliteit stellen wij voor een budget vast te stellen en dit budget leidend te laten zijn voor de ontwikkeling van de app. De kosten voor het ontwikkelen van op het werkproces toegespitste applicatie liggen in de orde van € 10.000,- (excl. BTW)

Na ontwikkeling van de app zijn er ook beheer- en onderhoudskosten verbonden aan het gebruik ervan. Deze jaarlijkse kosten bedragen in de regel 20 procent van de ontwikkelkosten.

6

CONCLUSIE EN DISCUSSIE

In dit hoofdstuk worden de conclusies en discussie beschreven. Het gaat hierbij specifiek om de conclusies en aanbevelingen van het gepresenteerde stappenplan en de meerwaarde van het gebruik van het gemeten actuele bodemvocht op basis van remote sensing (DRYMON). Omdat het stappenplan op verschillende manieren voor twee deelgebieden met andere gebiedskenmerken is toegepast, worden beide deelgebieden separaat beschreven. In paragraaf 4.1 wordt het vrij afwaterend stroomgebied de Marswetering beschreven, in paragraaf 4.2 wordt de polder Cabauw beschreven. In paragraaf 4.3 worden de conclusies ten aanzien van DRYMON beschreven.

6.1 MARSWETERING

6.1.1 FASE A (MODELBEREKENINGEN)

- De kwaliteit van de stijghoogte berekend door MIPWA i.c.m. CAPSIM en MIPWA i.c.m. MetaSWAP is vergelijkbaar; bij het ene meetpunt presteert CAPSIM beter, bij het andere meetpunt presteert MetaSWAP beter. Hoewel CAPSIM het tussen de oogharen door (grafieken) beter lijkt te doen is het verschil tussen beide modellen niet significant. Beide modellen presteren slecht.
- Het verdient de voorkeur om de grondwaterstanden online door te kunnen rekenen door MetaSWAP te koppelen aan een verzadigde zone model als MIPWA. Indirect doorrekenen met een volledig model (i.e. MIPWA op basis van CAPSIM) levert geen meerwaarde.
- De vergelijking tussen gemeten en berekende waarden is gemaakt op basis van 14-daagse resultaten. Voor het berekenen van het verzadigingstekort verdient het de aanbeveling te rekenen op dagbasis. Dagevents zijn herleidbaar, daarnaast kunnen betere vergelijkingen gemaakt worden tussen de modellen en peilbuizen.
- Om met online doorrekenen tot betrouwbare resultaten te komen m.b.t. tot onderrandvoorwaarden (grondwaterstand), moet energie gestoken worden in een goed gekalibreerd model (betere nauwkeurigheid). Deze kalibratie moet zich naast stijghoogten ook op waterbalansen richten.
NB. Gezien de reactiesnelheid van het verzadigingstekort in relatie tot de grondwaterstand hoeven geen hele hoge eisen te worden gesteld. De verandering kan waarschijnlijk betrouwbaar genoeg in beeld worden gebracht.
- Om de betrouwbaarheid van de onderrandvoorwaarden (grondwaterstanden) te verbeteren, kan ook gezocht worden naar een hybride oplossing. Gedacht wordt hierbij aan de inzet van actuele grondwaterstandsmetingen. Kanttekening hierbij is dat de werkwijze arbeidsintensief wordt. Wanneer deze verbetering wenselijk is, verdient het de aanbeveling hier een pragmatische (geautomatiseerde) methode voor te vinden.

6.1.2 FASE B (MODELDATA VERWERKING)

- Er is niet gefilterd op cellen met als landgebruik “water”, deze cellen kunnen wel het beeld verstoren (onderschatting van de actuele vullingsgraad bodem). Omdat het verzadigingstekort van deze cellen altijd 0 is dienen ze niet meegenomen te worden in de analyse.
- Het combineren van gegevens levert meerwaarde gezien het verzadigingstekort geen negatieve waarde op kan leveren. Door een vergelijking te maken van het verzadigingstekort op tijdstap T=0 met het neerslagoverschot op tijdstap T=1 kan het overschot (i.e. de versnelde afvoer) worden gekwantificeerd.
- Het verwerken van de ruwe modeldata kan snel en eenvoudig. Onderscheid kan worden gemaakt in resultaten uitgedrukt in TIJD en resultaten uitgedrukt in RUIMTE.
- De dataverwerking kan nog worden uitgebreid door combinaties met andere gegevens (zoals neerslagoverschot) te zoeken.

6.1.3 FASE C (VAN DATA NAAR BEHEERINFORMATIE)

- De actuele bergingsruimte geeft de theoretische, maximale, ruimte in de onverzadigde zone waarin water geborgen kan worden. Een deel van deze berging is in werkelijkheid vaak niet realiseerbaar of gewenst, dit hangt met name af van de hydrologische ruimte (in hoeverre wordt de theoretische vullingsgraad bodem daadwerkelijk gebruikt voor berging, denk bijvoorbeeld aan de hoge flanken langs een stuwwal) en de gewenste ruimte in de vullingsgraad bodem ten behoeve van verschillende gebruiksfuncties.
- Om tot een bruikbare tool (of BOS) te komen, moeten een aantal expliciete keuzes worden gemaakt om van een verzadigingstekort of een verzadigingsoverschot te komen tot bergingsruimte of bergingstekort. Wanneer de criteria worden omgedraaid kan ook worden gezocht naar een watervoorraad (effectief ingezette berging c.q. het vasthouden van grondwater).
- Op basis van de ruwe data en afgesproken aannames wordt de ruwe data ‘gefilterd’ tot informatie. Het is zaak deze filtering slim te kiezen om met realistische waarde te kunnen komen.
- De afgeleide som bergingstekort (of evt. verzadigingsoverschot) zal in de praktijk tot een versnelde afvoer komen. In het instrument moet worden bekeken welke bergingsruimte in het oppervlaktewater beschikbaar is en op welke tijdstap deze berging wordt aangesproken (zie ook aanbevelingen).
- Het oppervlaktewatersysteem wordt ook belast met een aanvoer via de ondergrond. Deze verhoogde kwelflux maakt ook aanspraak op de berging van het oppervlaktewatersysteem. Aan de andere kant levert dit weer extra bergingsruimte aan de bovenkant, maar deze berging is pas een tijdstap later beschikbaar
- Uit bovenstaande volgt dat niet alleen kritisch moet worden gekeken naar het ruimtelijk aspect van de tekorten/bergingen, maar ook de relatie met de tijd.
- Uit welke producten moet het beheerinstrument bestaan? Watervoorraad? Bergingstekort? Waar ontstaat versnelde afvoer: i.r.t. (grond)wateroverlast) maar ook in relatie tot reistijd/ reactietijd oppervlaktewatersysteem.

6.2 CABAUW

6.2.1 FASE A (MODELBEREKENINGEN)

- Voor proefgebied Cabauw is bewust gekozen voor een zo eenvoudig mogelijk model, omdat het eerste doel van het project niet zozeer ligt in het accuraat simuleren van fluxen en (grond)waterstanden, maar het afleiden van een realistische schatting van de mate waarin de bodem ruimte biedt aan neerslag.

- De met dit eenvoudige model gerealiseerde Nash-Sutcliffe efficiency voor het simuleren van gemeten freatische grondwaterstanden is niet bijzonder hoog. Hierbij moet worden opgemerkt dat de vier grondwatermeetreeksen bijzonder veel variatie vertonen gezien het feit dat ze zo dicht bij elkaar liggen in een relatief homogeen gebied.
- Het model blijkt weinig gevoelig voor de manier waarop de onderrand, d.w.z. de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket, is geparameteriseerd. De onderlinge verschillen zijn klein, ook in het geval de deklaagweerstand aanzienlijk wordt verminderd.
- De (absolute) berekende freatische grondwaterstanden blijken wel vrij gevoelig voor de waarden van de deklaag, hetgeen impliceert dat een nauwkeurige schatting van deze weerstand noodzakelijk is om de freatische grondwaterstand en daarmee ook het verzadigingstekort te kunnen berekenen.
- De varianten waarbij de actuele verdamping direct wordt opgelegd aan het model, presteren in het algemeen beter dan de varianten die gebruik maken van de referentie-gewasverdamping. De verschillen tussen de varianten remote sensingbeelden (ETlook) en de Eddy-correlatiemasten zijn verwaarloosbaar.
- De bodemparameterisatie blijkt zeer bepalend te zijn voor de resultaten. Dit geldt in het algemeen voor het berekenen van (freatische) grondwaterstanden, maar zeker ook bij de vertaling naar verzadigingstekort, omdat deze variabele naast de grondwaterstand uitsluitend wordt bepaald door bodemparameters als capillaire opstijging en poriënvolume (de bergingscoëfficiënt van de bodem). Dit fenomeen treedt voornamelijk op in gebieden waar de grondwaterstanden dicht onder het maaiveld zijn gelegen.

6.2.2 FASE B (MODELDATA VERWERKING))

- De eenvoud van het model maakt de dataverwerking zeer eenvoudig en inzichtelijk. Dit biedt ruimte voor meerdere modelberekeningen, zodat varianten vergeleken kunnen worden of een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd kan worden. Voorwaarde is uiteraard dat de ruimtelijke variatie in een gebied beperkt is en dat daarom het beschouwde modelgebied niet te groot kan zijn.

6.2.3 FASE C (VAN DATA NAAR BEHEERINFORMATIE)

- Het uiteindelijke doel van de berekeningen is een basis te bieden voor een advies aan een peilbeheerder wanneer de vraag zich voordoet of een verwachte neerslaggebeurtenis tot problemen zal leiden en dus of voorzorgsmaatregelen zoals voormalen noodzakelijk zijn. In de onderzochte periode (2006 en 2007– 2008) zou dit advies ca. tweemaal zijn gegeven, gebaseerd op werkelijk gevallen neerslag. In een operationele toepassing zou het advies gebaseerd worden op neerslagverwachtingen, hetgeen extra onzekerheid introduceert.
- In deze pilot was alleen voor het jaar 2006 remote sensing data beschikbaar (ETlook). De berekeningen die waren gebaseerd op deze databron presteerden beter de berekening van ETact via ETref. Daarmee lijkt deze toepassing van ETlook kansrijk, al is de periode en het gebied te klein om een algemene uitspraak te doen over de meerwaarde van remote sensing data in het algemeen.

6.3 MOGELIJKHEDEN ACTUELE BODEMVOCHT OP BASIS VAN RS DATA

In dit project is duidelijk geworden dat DRYMON geen relevantie heeft in relatie tot de gestelde vragen met betrekking tot de monitoring van bodemvocht en actuele vullingsgraad bodem voor de kleinere gebieden met een grote interne variatie die relevant zijn bij operationeel peilbeheer. Het is tevens helder dat gebiedsbrede verdroging en vernatting goed in het DRYMON-sigitaal tot uiting komt, ook al is dat gebied kleiner dan 100km².

Naar de mening van NEO zal het mogelijk zijn om toepassingen van bodemvochtmetingen te ontwikkelen waarmee dagelijkse beslissingen ten aanzien van het operationeel peilbeheer ondersteund kan worden. Door de schaal van de toepassing en de haalbare hoge mate van automatisering, is het aannemelijk dat een dergelijke toepassing kosteneffectief zal zijn. Deze toepasbaarheid kent een sterke samenhang met de ontwikkeling van remote sensing producten, en dan met name de hogere data beschikbaarheid (enkele dagen) en de gedetailleerde ruimtelijke resolutie (km² en kleiner).

7

AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk worden aanbevelingen beschreven die voortkomen uit de uitgevoerde analyses in de pilotgebieden Marswetering en Cabauw. Alvorens tot een werkend instrument te komen is het goed aandacht te besteden aan onderstaande aanbevelingen.

7.1 HET OPTIMALISEREN VAN DE FREATISCHE GRONDWATERSTANDSONDERRANDVOORWAARDE

Nederland kent tal van freatische buizen waarvan de data o.a. in DINO is te vinden. De overgrote meerderheid van deze buizen is niet aangesloten op telemetrie en de data die in DINO te vinden is zal dan ook vaak minstens 3 maanden oud zijn. Om toch op deze locaties dagelijkse schattingen van de grondwaterstand te creëren zou de volgende methode kunnen worden gebruikt: in batch worden met behulp van Menyanthes alle datareeksen gebruikt om op de monitoringlokaties tijdreeksmodellen af te leiden. Deze tijdreeksmodellen kunnen worden gebruikt om de reeks te extrapoleren in de tijd tot 'nu'. Vervolgens wordt dagelijks met deze tijdreeksmodellen, alsmede de meest recente schattingen van neerslag en ETref of ETact de grondwaterstand genowcast, wat wil zeggen: de waarde van de grondwaterstand 'nu' wordt geschat. Tevens kan op basis van weersvoorspellingen de grondwaterstand voor de komende dagen worden voorspeld. Omdat tijdreeksmodellen direct op basis van de monitoringdata worden afgeleid zijn deze, mits de juiste verklarende variabelen (neerslag, ETref/ETact, dynamiek oppervlaktewater, dynamiek regionaal grondwatersysteem) worden gebruikt om het tijdreeksmodel af te leiden, vrij nauwkeurig en snel (want in batch) af te leiden;

Om de puntschattingen vlakdekkend te maken zijn tal van mogelijkheden beschikbaar², de meest voor de hand liggende aanpak is het gebruik van een numeriek, ruimtelijk verdeeld grondwatermodel, waarmee elke dag per rekencel de grondwaterstand (en andere variabelen) kan worden bepaald. Om deze modelberekeningen zoveel mogelijk in lijn te houden met de monitoringdata kan een techniek genaamd data-assimilatie worden gebruikt. Idealiter worden daarbij echte metingen ingezet, maar schattingen o.b.v. tijdreeksanalyse zijn een aardig alternatief, omdat ook de nauwkeurigheid van de schatting middels Menyanthes kan worden bepaald. In het artikel Now- & Forecasting Systeem Zegveld (Heijkers e.a. (2014; in voorbereiding)) wordt een state-of-the-art aanpak beschreven. Aanbevolen wordt om nader te onderzoeken of een Menyanthes tijdreeksanalyse model daadwerkelijk kan worden gebruikt als virtueel grondwatermonitoringpunt op telemetrie en of de assimilatie van de geschatte grondwaterstand daadwerkelijk de nauwkeurigheid van de MODFLOW simulatie verbeterd en daarmee de schatting van de actuele vullingsgraad bodem.

- 2 I. GxG o.b.v. KK-Kaarten of ander kaartbeeld;
- II. NHI-GxG;
- III. NHI-GxG, gecorrigeerd o.b.v. KK-Kaarten of ander kaartbeeld;
- IV. Langjarig-gemiddelde grondwaterstand o.b.v. NHI (Conform DRYMON)
- V. Langjarig-gemiddelde grondwaterstand o.b.v. NHI (Conform DRYMON), gecorrigeerd o.b.v. KK-Kaarten of ander kaartbeeld;
- VI. Ge-nowcaste grondwaterstand o.b.v. tijdsreeksmodel, ruimtelijk opgeschaald m.b.v. KK-Kaarten of ander kaartbeeld;
- VII. Grondwaterstand o.b.v. Telemetrie, ruimtelijk opgeschaald m.b.v. KK-Kaarten of ander kaartbeeld.

7.2 HET SCHATTEN VAN DE OPPERVLAKTEWATERBERGING

Er zijn diverse mogelijkheden om de oppervlaktewaterberging operationeel te nowcasten op diverse ruimte- en tijdschalen:

- Per beheereenheid de actuele waterstand schatten o.b.v. Telemetriedata en opschalen gebruikmakende van schatting percentage oppervlaktewater;
- Per beheereenheid de actuele waterstand schatten o.b.v. streefpeil en opschalen gebruikmakende van schatting percentage oppervlaktewater;
- Per beheereenheid de actuele berging schatting gebruikmakende van een stationair SOBEK 1D Flowmodel of SIMRES in combinatie met specifieke afvoerschotting o.b.v. actuele vullingsgraad bodem/grondwaterstand (zie o.a. Bierkens e.a., 2001*);
- Combinaties van I, II en/of III.

Aanbevolen wordt om nader onderzoek te doen naar de methodiek met de beste verhouding van nauwkeurigheid, rekensnelheid en implementatie-kosten.

7.3 VAN NOWCASTING NAAR FORECASTING

Daar waar nowcasting het optimaal schatten van de waarde van een bepaalde variabele 'nu' is daar is het doel van forecasting om zo snel en nauwkeurig mogelijk de waarde van een variabele op een of meerdere tijdstippen in de toekomst te schatten. Hydrologische forecasting is enkel mogelijk wanneer er ook de beschikking is over een meteorologische forecast van de neerslag en de referentie gewasverdamping. De output van weermodellen is de manier om in deze databehoefte te voorzien. Van belang voor met name de nauwkeurigheid is dat het hydrologische model op het moment dat het gaat rekenen ($t=0$) optimaal in lijn is met de beschikbare observaties. Zodoende garanderen we dat de forecast-fout minimaal afhangt van de initiële rekencondities. Omdat weersvoorspellingen inherent onnauwkeurig zijn en omdat er vaak meerdere realisaties van de mogelijke meteorologische toekomst beschikbaar zijn verdient het de aanbeveling om meerdere meteorologische realisaties door te rekenen zodat er een bandbreedte van mogelijke actuele vullingsgraad bodemen ontstaat. Aanbevolen wordt om nader onderzoek te doen naar de methodiek met de beste verhouding van nauwkeurigheid, rekensnelheid en implementatie-kosten.

7.4 VAN THEORETISCHE / MAXIMALE VULLINGSGRAAD BODEM TOT WERKELIJKE VULLINGSGRAAD BODEM

In de laatste fase van het stappenplan wordt de actuele vullingsgraad bodem vertaald naar beheerinformatie. In deze omzetting is vooralsnog alleen een vertaling gemaakt van bergingstekort (gebieden waarin de bergingsruimte te klein is) naar afvoer. Wanneer gebruikt gemaakt gaat worden van de actuele bergingsruimte is het belangrijk onderscheid te maken in de theoretische (maximale) bergingsruimte en de werkelijke bergingsruimte. Waarbij de werkelijke bergingsruimte gedefinieerd kan worden aan de hand van onderstaande factoren:

- De hydrologische ruimte; in hoeverre wordt de theoretische ruimte in de onverzadigde zone daadwerkelijk gebruikt voor berging (denk bijvoorbeeld aan de hoge flanken langs een stuwwal)
- De ruimte t.b.v. verschillende gebruiksfuncties. Het volledig benutten van de bergingsruimte heeft consequenties voor de gebruiksfuncties. Hierdoor is de praktische bergingsruimte kleiner dan de ruimte die beschikbaar is in de onverzadigde zone:

- Berging tot aan maaiveld is niet gewenst in stedelijk gebied, er zijn normen voor de maximaal toelaatbare grondwaterstand in stedelijk gebied
- Te veel berging in landbouwkundig gebied kan leiden tot opbrengstderving als gevolg van natschade.

Onderdeel van deze vertaling is een afweging ten aanzien van de bovenstrooms toelaatbare berging bovenstrooms toelaatbaar ten opzichte van de schadelijke effecten van de versnelde afvoer in het benedenstroomse gebied.

7.5 DE INZET VAN REMOTE SENSING DATA GEBASEERDE SCHATTINGEN VAN DE BODEMVOCHT OM TE KOMEN TOT EEN VERBETERD INZICHT IN DE BODEMFYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN NEDERLAND

Vanuit de SAT-WATER groep is er behoefte aan een onderzoekstraject waarbij eerst wordt gekeken of het mogelijk is om op perceelschaal (of 25x25m) dagelijks de bodemvochtcondities van de eerste 5 cm in beeld te brengen met behulp van remote sensing data, waarna deze waarden gepropageerd dienen te worden naar tenminste de wortelzone, maar liefst dieper. Vervolgens kan gekeken worden of deze data gebruikt kan worden om een hydrologisch model, waaraan de bovenrandvoorwaarden (neerslag en ETact) zowel als de onderrandvoorwaarde (de freatische grondwaterstand) hard (of stochastisch) worden opgelegd, zodat er in principe een mogelijkheid ontstaat om de bodemfysische parameters te optimaliseren. Door het volgen van deze werkwijze wordt het aantal vrijheidsgraden in een model tot een minimum beperkt; de gebruikte bekende invoer wordt op deze wijze optimaal ingezet zodat meer inzicht verkregen wordt in de onbekendere, bodemfysische, parameters. Daarna kunnen daarmee onze modellen (HYDROMEDAH, MIPWA, NHI et cetera) worden verbeterd en daarmee de mogelijkheden die we hebben om: Te now- en forecasten (t.b.v. beter/slimmer operationeel sturen e.d.). Re-analysis uit te voeren (zodat we beter kunnen evalueren). En scenario-analyse uit te voeren (zodat we beter onze plannen en beleid kunnen onderbouwen). Qua (verbeterd) te berekenen variabelen denken we dan aan: ETact, bodemvochtcondities, bergingshoeveelheden in de onverzadigde zone, freatische grondwaterstand, ET-Tekort, gewasgroei, water tekortontwikkeling et cetera. Uiteraard dienen ETact schattingen o.b.v. remote sensing data een belangrijke rol te spelen bij dit onderzoek.

Als rekencomponent zouden we kiezen voor metaSWAP, omdat deze modelcode razendsnel rekent, het open source is en goed gedocumenteerd, er ervaring is met de koppeling met MODFLOW en het gewasgroeimodel WOFOST, omdat het met metaSWAP al mogelijk is om ETact op basis van remote sensing data hard op te leggen, te rekenen met radar gebaseerde neerslag, te rekenen met een opgelegde grondwaterstand, zonder dat de waterbalans van de onverzadigde zone wordt 'vernageld', maar bovenal omdat metaSWAP door vele waterschappen en RWS wordt gebruikt en omdat er een landsdekkend schematisatie en a priori parametrisatie klaarligt.

8

REFERENTIES

- Bierkens, M.F.P.; Knotters, M.; Hoogland, T. (2001) Space-time modeling of water table depth using a regionalized time series model and the Kalman filter. In: Water Resources Research.
- Brauer C.C., Stricker J.N.M. and Uijlenhoet R. Linking hydrology and meteorology: measuring water Balance terms in cabauw, the Netherlands, WUR E-depot nr 171457
- 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.
- Feddes, R.A., Kowalik, P.J., Zaradny, H., 1978. Simulation of field water use and crop yield. *Simulation Monographs*. Pudoc, Wageningen, 189 pp.
- Gunnink, J.L., J.G. Veldkamp, D.Dam, H.J.T. Weerts en W. van der Linden, (2004) Deklaagmodel en geohydrologische parametrisatie voor het beheersgebied van het Hoogheemraadschap “De Stichtse Rijnlanden”, TNO-rapport NITG 04-090-B0609. Kroes, J.G., Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A., Jacobs, C.M.J., 2008. SWAP version 3.4, Theory description and user manual. Alterra report 1649, Wageningen University and Research Centre, Wageningen.
- Rutter, A.J., K.A. Kershaw, P.C. Robins, and A.J. Morton, 1971. A predictive model of rainfall interception in forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican Pine. *Agr. Meteor.* 9: 367-384.
- Stowa, 2012, Meteobase, online archief van neerslag en verdampingsgegevens voor het waterbeheer, www.meteobase.nl. TNO, MIPWA, 2007, methodiekontwikkeling voor interactieve planvorming ten behoeve van waterbeheer, TNO Rapport 2007-U-R0972/A.
- Valente, F., J.S. David, and J.H.C. Gash. 1997. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *J. of Hydrol.*, 190, 141-162.
- Van Dam, J.C., Groenendijk, P., Hendriks, R.F.A., Kroes, J.G., 2008. Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP. *Vadose Zone Journal*, 7(2): 640-653.
- Van Walsum, P.E.V., Groenendijk, P., 2008. Quasi steady-state simulation of the unsaturated zone in groundwater modeling of lowland regions. *Vadose Zone J.* 7:769-781.
- Van Walsum, P.E.V., Veldhuizen, A.A., Groenendijk, P., 2011. SIMGRO 7.2.0; Theory and model implementation. Alterra Report 913.1, Wageningen UR, Wageningen
- Van Walsum, P.E.V., Veldhuizen, A.A. 2012. Integration of models using shared state variables: implementation in the regional hydrologic modelling system SIMGRO. *Journal of Hydrology*.
- Van Walsum, P.E.V., Veldhuizen, A.A., 2011. MetaSWAP_V7_2_0. Rapportage van activiteiten ten behoeve van certificering met Status A. Rapporten WOT 276.

BIJLAGE 1

GEVOELIGHEID STIJGHOOGTE

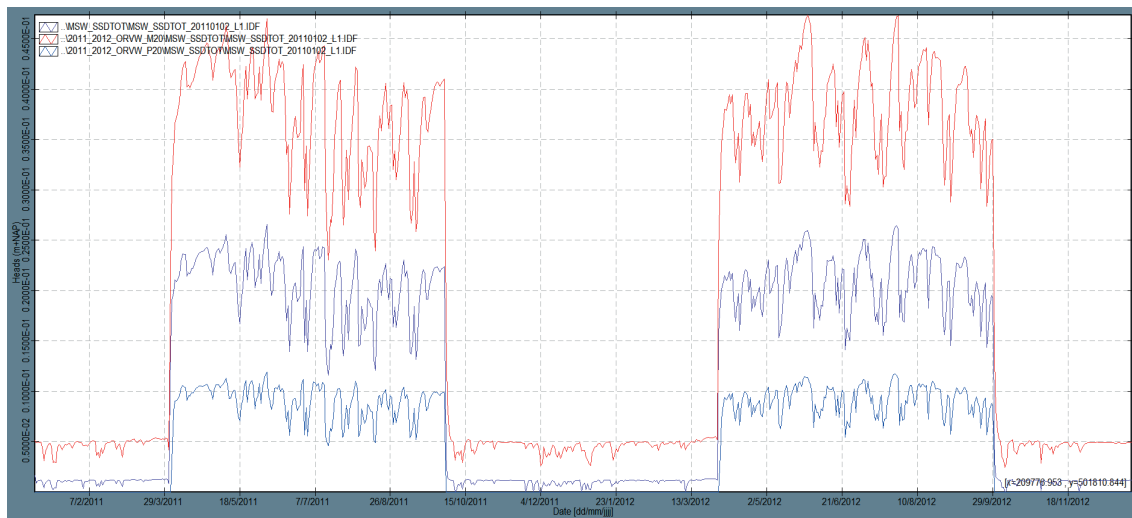
Drie berekeningen:

- GHG (winterhalfjaar) en GLG (zomerhalfjaar) vastgezet in 2^e modellaag
- GHG en GLG + 0.2 m vastgezet in 2^e modellaag
- GHG en GLG - 0.2 m vastgezet in 2^e modellaag

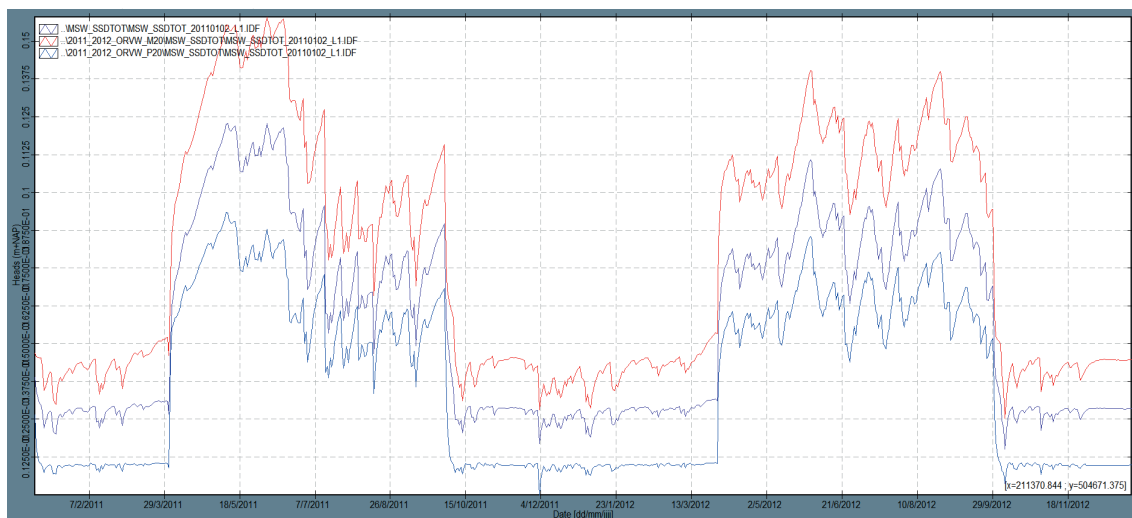
Uitleg afbeelding:

- Paars is werkelijke GXG
- Rood is lagere GXG (-0.2M)
- Blauw is hogere GXG (+0.2)
- Piek geeft een groot verzadigingstekort, lage waarde geeft nagenoeg verzadiging.

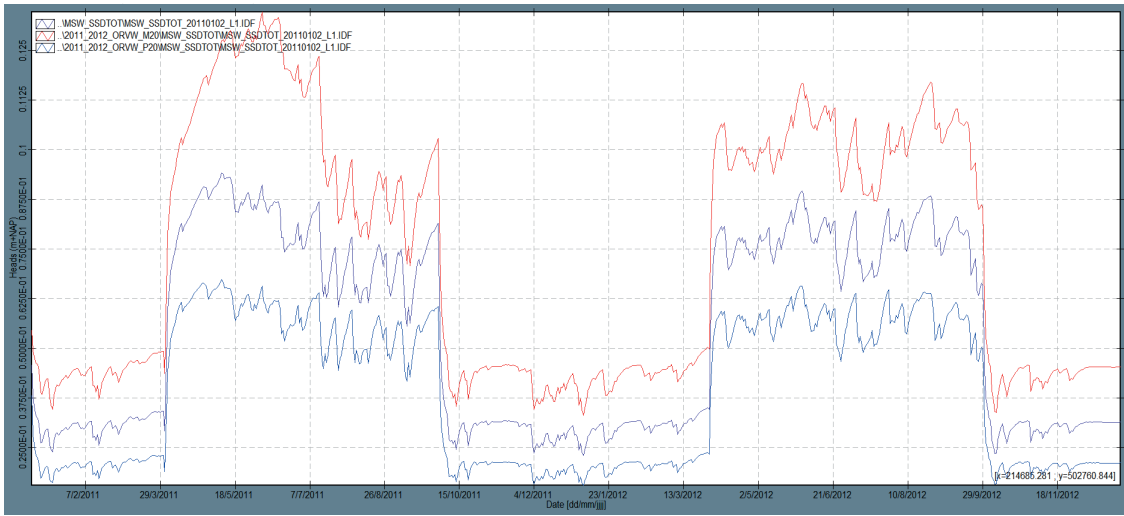
LICHTBLAUWE GHG (0-0.25 M-MV)



GELE GHG (0.4-0.8 M-MV)



ROZE GHG (1.4-2.5 M-MV)



ROOD GHG (>2.5 M-MV)



BIJLAGE 2

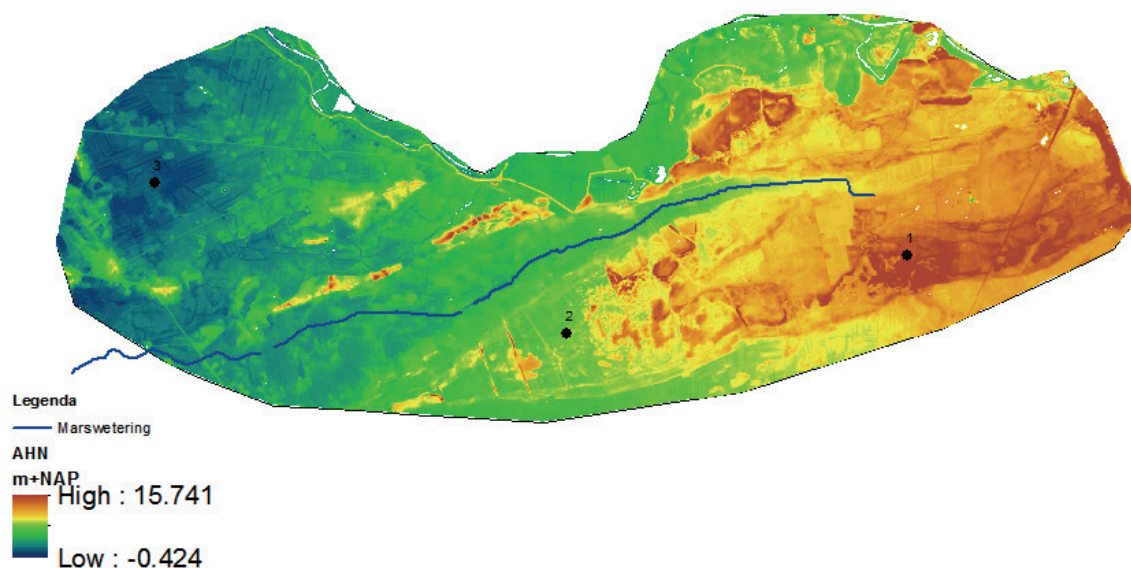
VERGELIJKING NEERSLAG VERDAMPING

KNMI – REMOTE SENSING

In onderstaande figuren zijn neerslag, actuele verdamping, grondwaterstand en bergingsruimte weergegeven voor respectievelijk een modelberekening met Remote sensing gegevens (Radar neerslag en actuele verdamping o.b.v. ETlook) en KNMI stations (neerslagstations verdeeld m.b.v. Thiessen polygonen en actuele verdamping berekend met MetaSWAP). Er zijn een drietal punten in het Marswetering gebied gekozen. Deze punten zijn in onderstaande hoogtekartaart weergegeven.

Uit de resultaten (zie onderstaande kaarten en toelichting) blijkt dat afhankelijk van de locatie behoorlijke verschillen kunnen optreden. Deze verschillen lijken vooral afhankelijk van de verschillen in verdamping. Op de hoge locaties wordt de hoeveelheid actuele verdamping berekend met MetaSWAP o.b.v. KNMI gegevens hoger berekend t.o.v. de verdamping gemeten met remote sensing. Hierdoor wordt bij gebruik van remote sensing data minder bergingsruimte (m³/m²) en een hogere grondwaterstand berekend dan in het originele KNMI model. In de “lage” locatie treed dit verschil in verdamping niet op waardoor berekende grondwaterstanden en bergingsruimte meer overeenkomen bij beide methoden. Wanneer gekeken wordt naar neerslag valt op dat ook verschillen bestaan tussen beide methoden, echter deze verschillen zijn niet systematisch waardoor deze verschillen niet direct doorvertaalt kunnen worden naar grondwaterstanden en bergingsruimte.

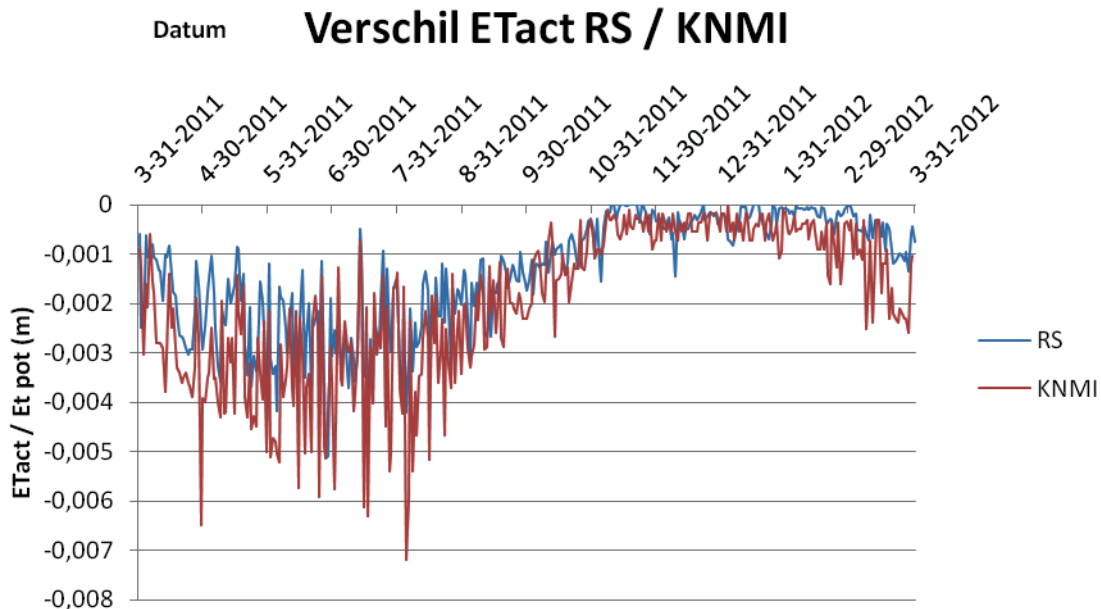
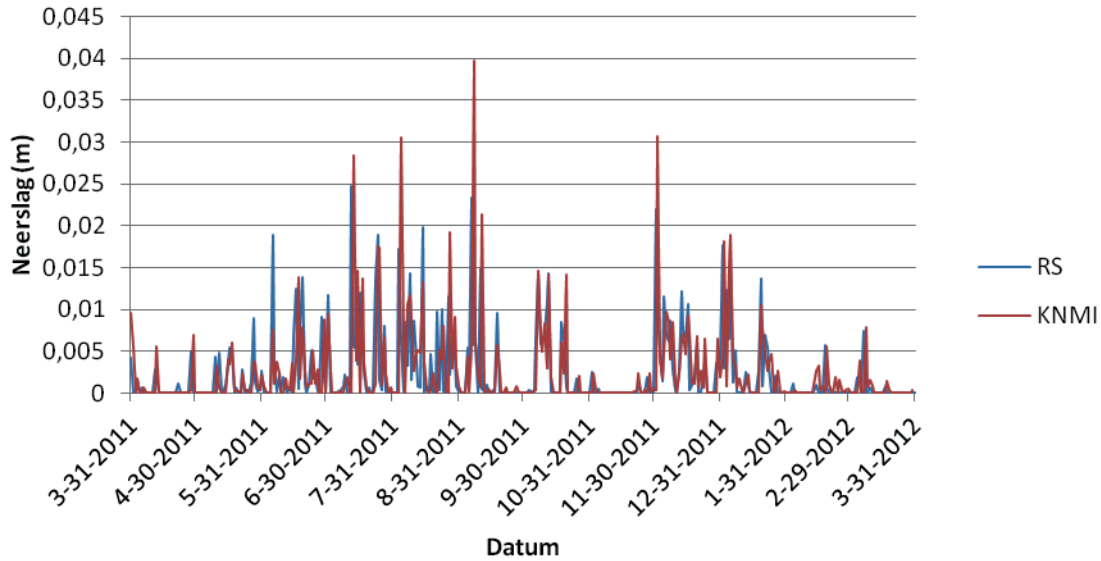
NB. Door verschillen in definities van een etmaal zijn de meetreeksen o.b.v. KNMI en remote sensing 1 dag ten opzichte van elkaar verschoven. Het KNMI hanteert etmalen vanaf 8 uur in de ochtend. Remote sensing data is gemeten vanaf middernacht. Hierdoor verschillen de totale dagsommen, wat resulteert in verschillen in de modellen gebaseerd op KNMI data en op remote sensing data. Door de modeluitkomsten van het “KNMI model” één dag naar voren te halen wordt nagenoeg gecorrigeerd voor dit verschil. In onderstaande grafieken is deze verschuiving overal toegepast.



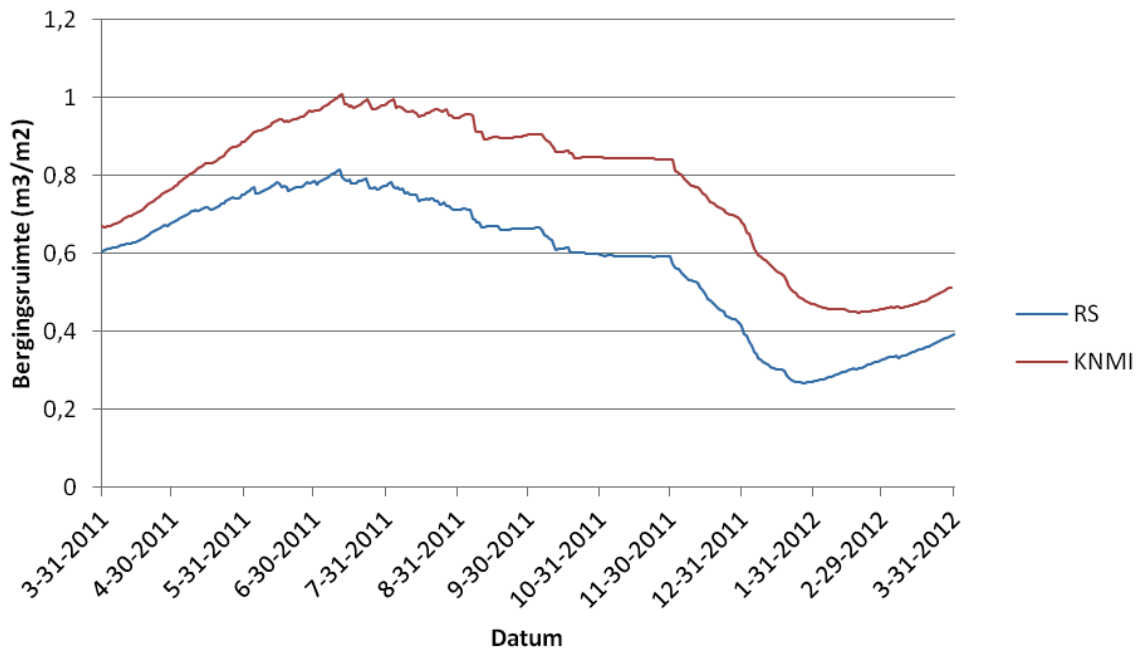
1. HOOGST

Het eerste gekozen punt bevindt zich op de hoogste rug van de stuwwal. De theoretische vullingsgraad bodem in het gebied is jaarrond behoorlijk hoog. De globale neerslag komt behoorlijk overeen, echter bij grote neerslagevents zijn verschillen zichtbaar. In sommige gevallen meet radar hogere pieken, in sommige gevallen het KNMI. De grootste pieken worden niet gemeten door de RADAR (meetfout of lokale verschillen in neerslaghoeveelheden). Er wordt minder verdamping gemeten met ETlook dan berekend door KNMI. De totale bergingsruimte berekend met het KNMI is hierdoor groter, de stijghoogte is lager.

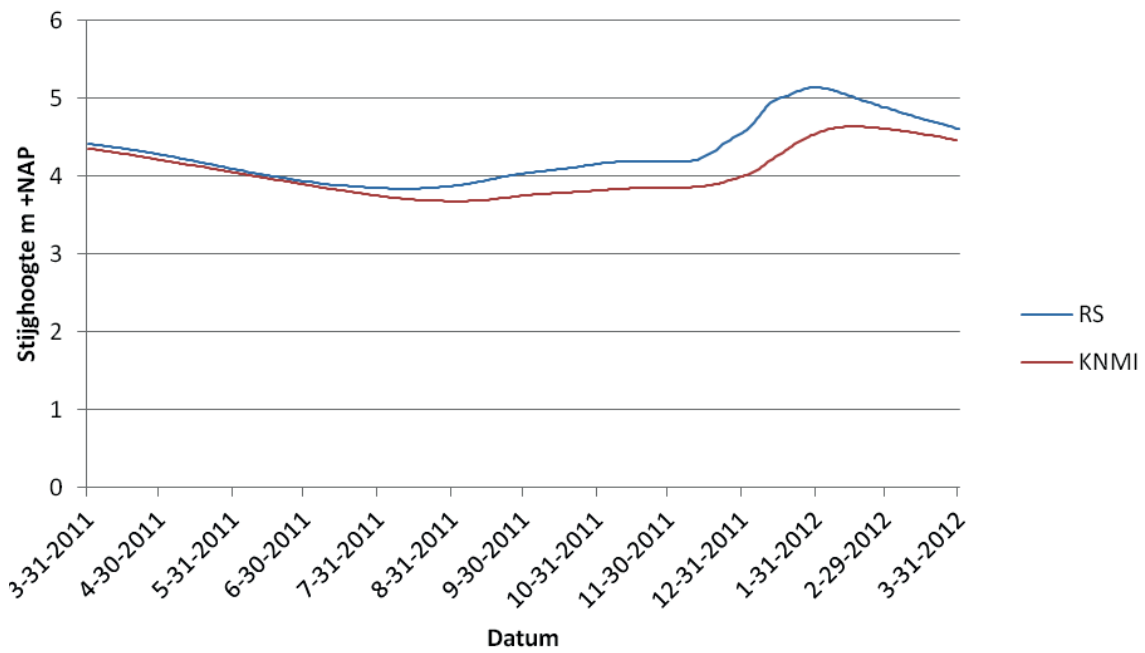
Vershil Neerslag RADAR - KNMI



Verschil berekende bergingsruimte RS - KNMI



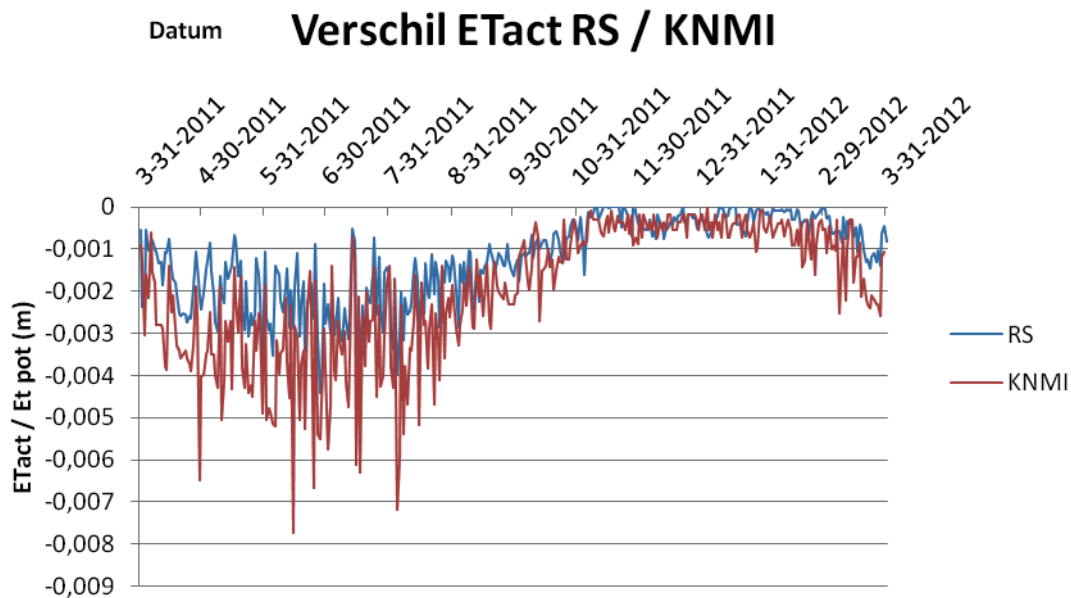
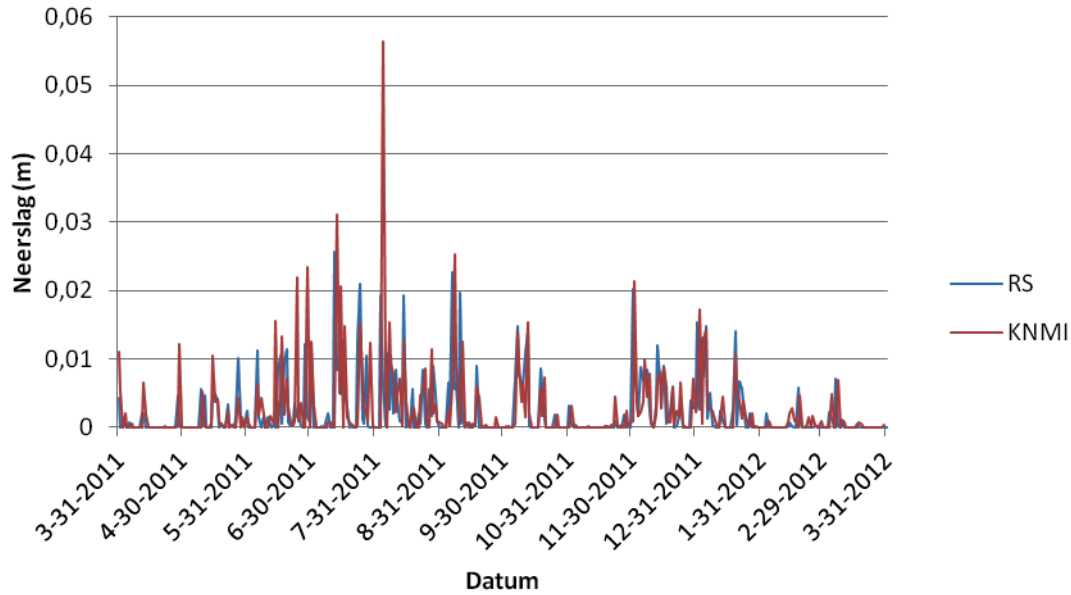
Verschil berekende stijghoogte RS en KNMI



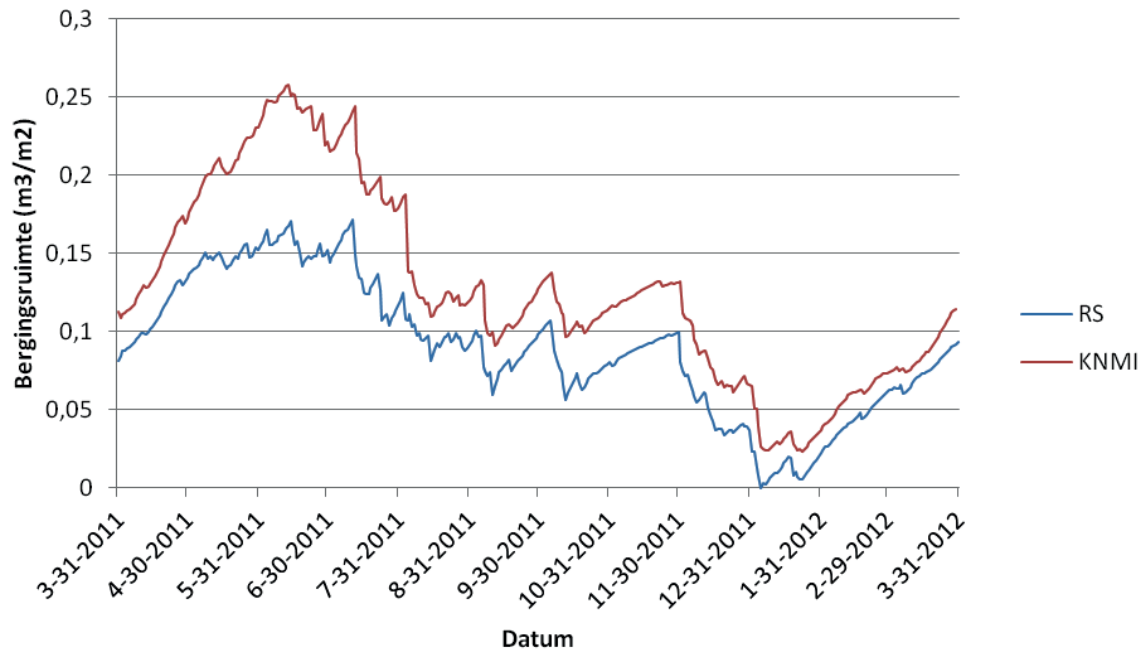
2. MIDDEN

Het tweede punt ligt op de flank van de stuwwal, richting het beekdal. De neerslag en verdampingsdata laten vergelijkbare patronen zien als het 1e punt. Ook de trends in bergingsruimte en grondwaterstand zijn gelijk. Echter de pieken, met name in de grondwaterstanden, verschillen. Bij gebruik van remote sensing data zijn meer pieken te zien in de grondwaterstanden. Waarschijnlijk komt dit door een kritische afname van de bergingsruimte, er kan niet meer water geborgen worden op dat moment, waardoor de grondwaterstand snel toeneemt.

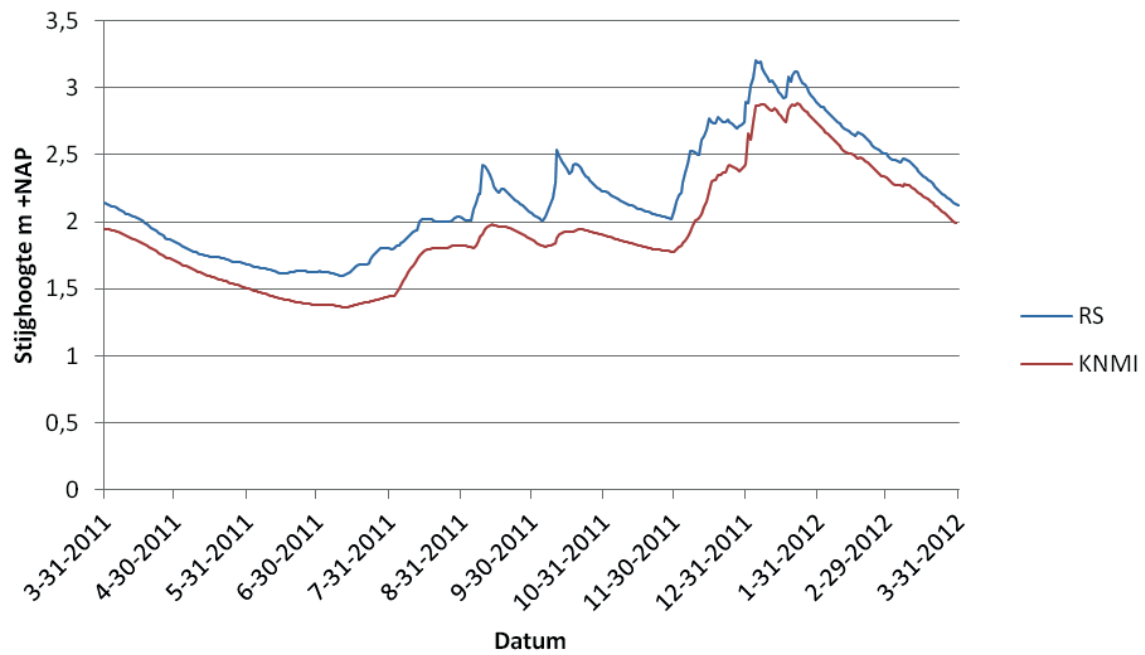
Vershil Neerslag RADAR - KNMI



Verschil berekende bergingsruimte RS - KNMI



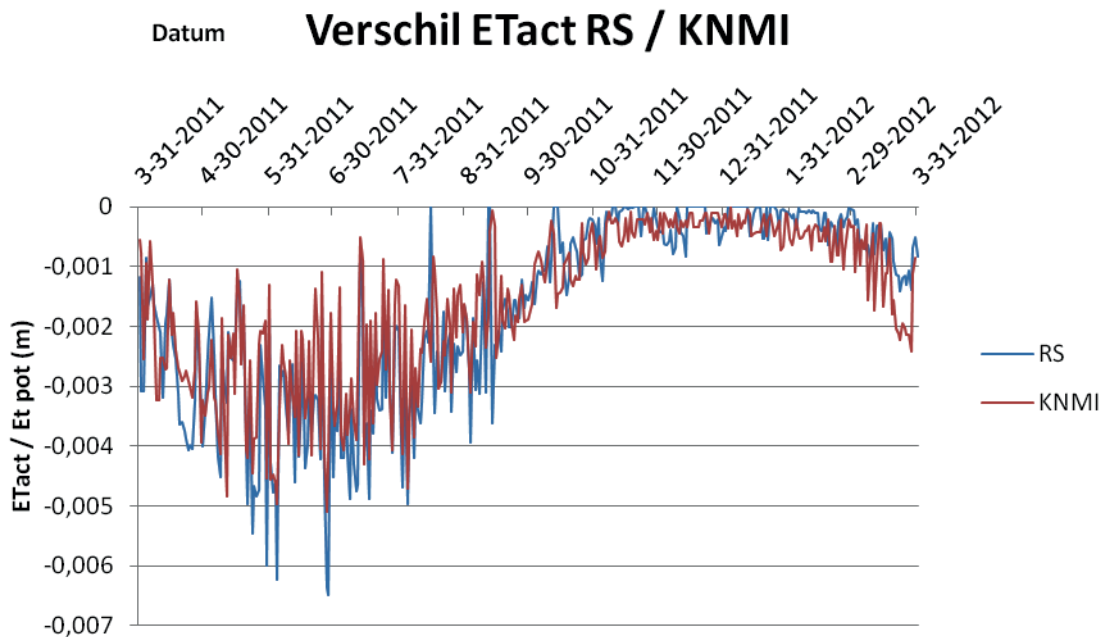
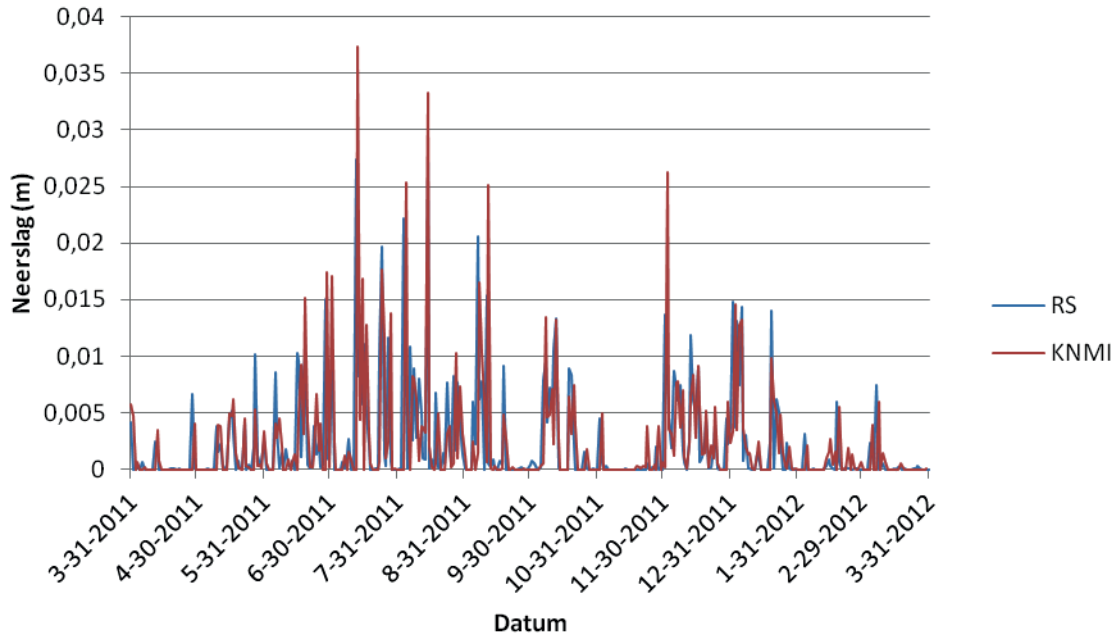
Verschil berekende stijghoogte RS en KNMI



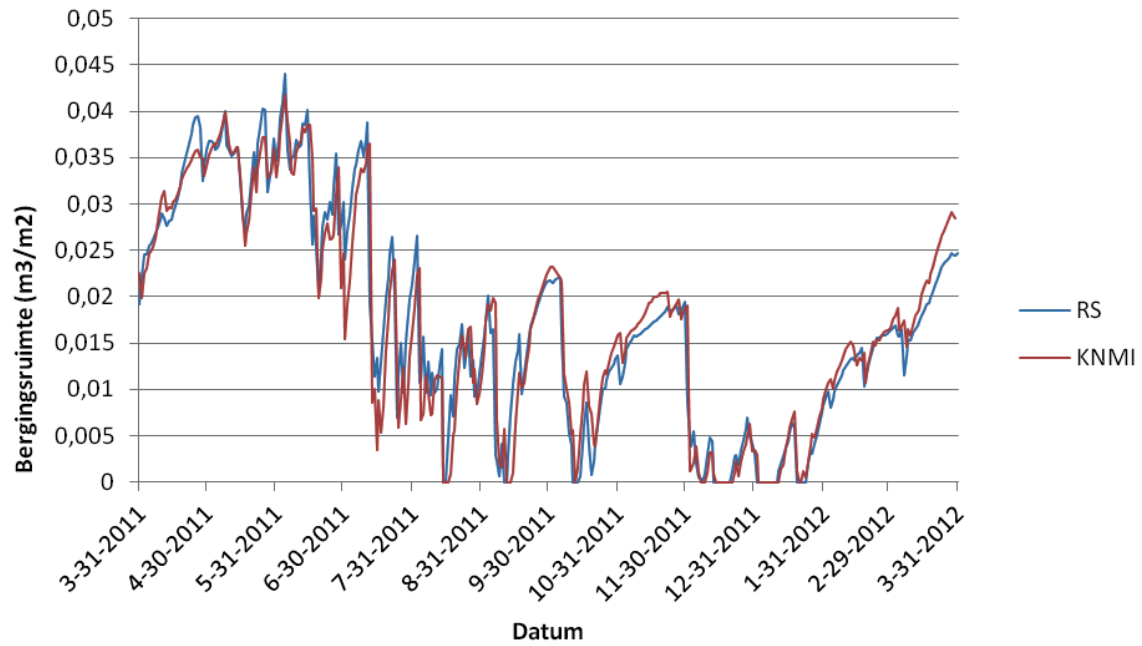
3. LAAGST

Het derde punt ligt langs het laaggelegen beekdal. In de winter is de bodem nagenoeg verzadigd. Op dit punt is de ETact gemeten met remote sensing juist groter dan de KNMI berekende verdamping. De verschillen in bergingsruimte en grondwaterstand zijn minimaal, de verschillen die er zijn worden waarschijnlijk veroorzaakt door de verschillen in verdamping.

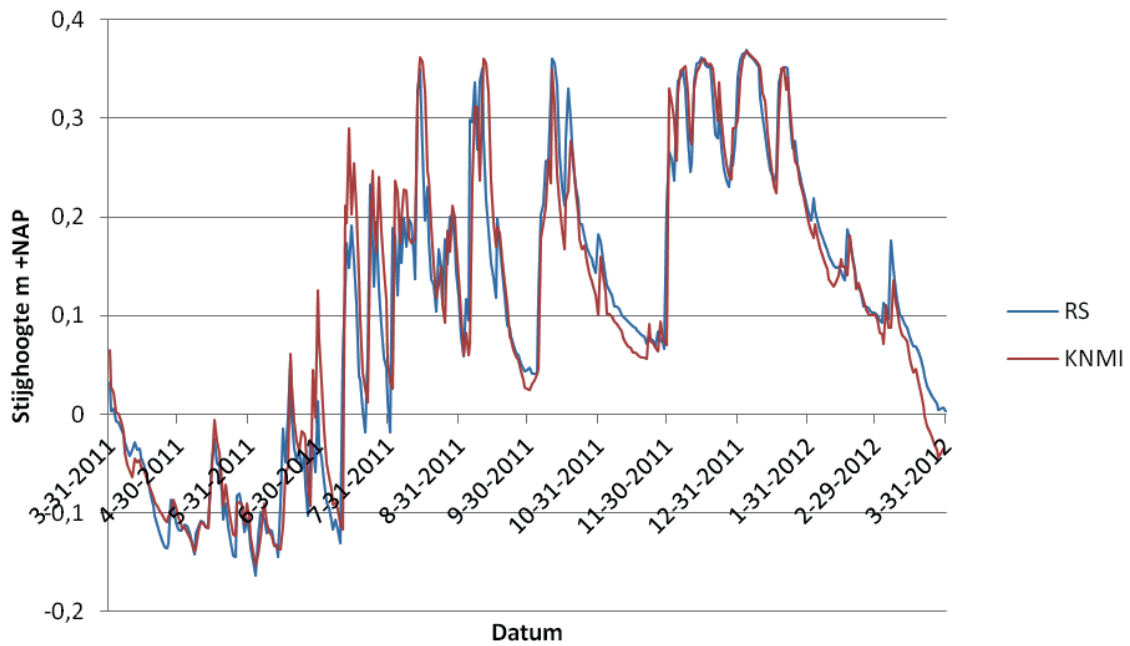
Vershil Neerslag RADAR - KNMI



Verschil berekende bergingsruimte RS - KNMI



Verschil berekende stijghoogte RS en KNMI



BIJLAGE 3

GEVOELIGHEIDSANALYSE

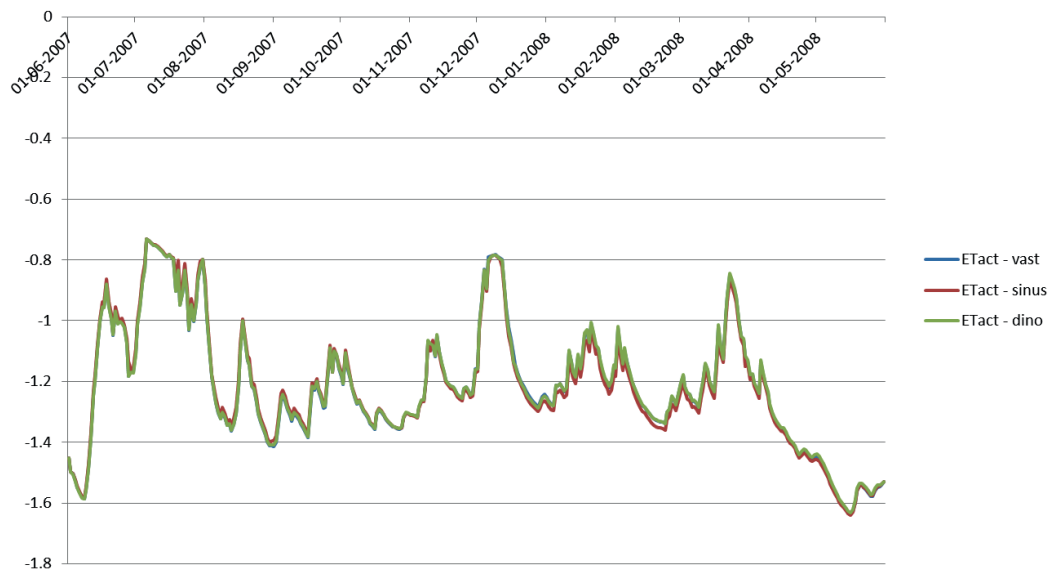
DEKLAAGWEERSTAND CABAUW

Om inzicht te krijgen in het effect op de modelresultaten van de in het model opgegeven weerstand van de deklaag is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Er zijn drie varianten vergeleken met de referentiesituatie. Per variant zijn er steeds drie modelruns uitgevoerd, waarbij de stijghoogte van het eerste watervoerend pakket is gevarieerd. De actuele verdamping is aan het model opgelegd, op basis van de metingen met de Eddy-correlatiemasten. De ET-look data was voor de gekozen periode niet beschikbaar.

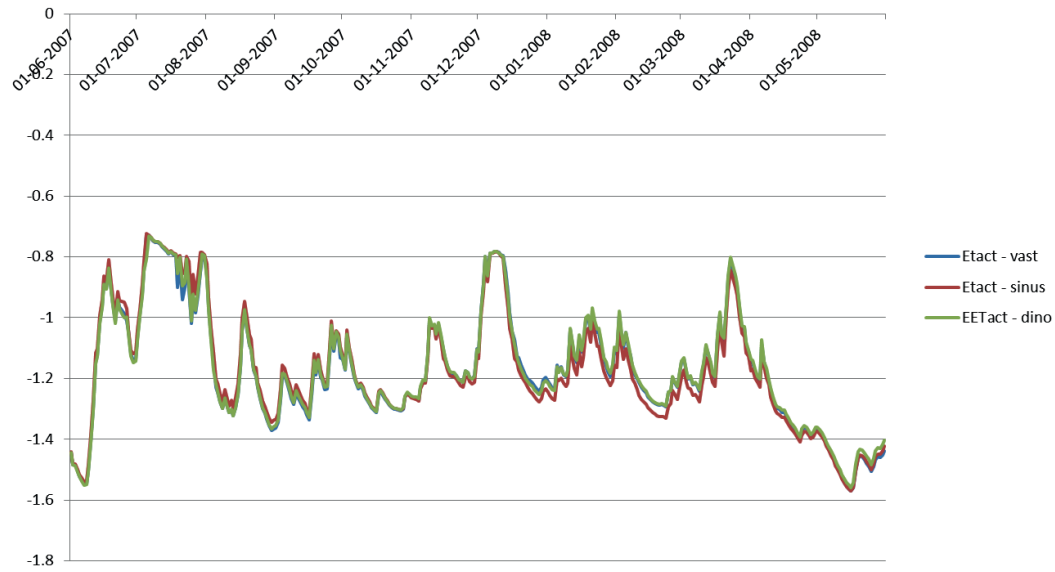
TABEL 5 GEVOELIGHEIDSANALYSE CABAUW

Weerstandswaarde	Verdamping	Onderrandvoorwaarde
1428 dagen (referentie)	ETact (Eddy-correlatiemasten)	Vast
714 dagen		Sinusoide obv GxG 1e wvp
357 dagen		DINO peilbuis
2856 dagen		

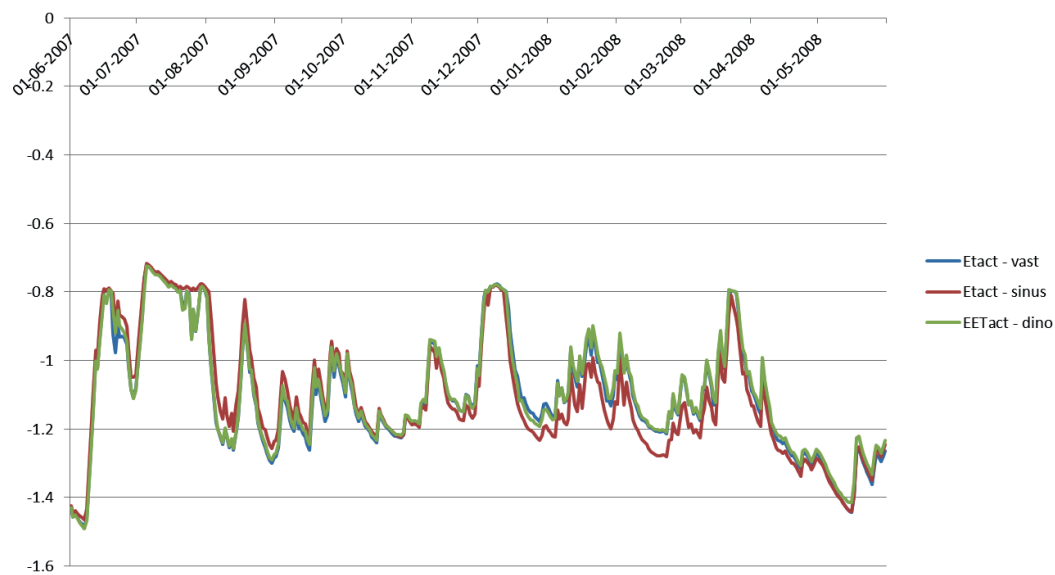
BEREKENDE GRONDWATERSTANDEN REFERENTIESITUATIE (WEERSTAND 1428 D)



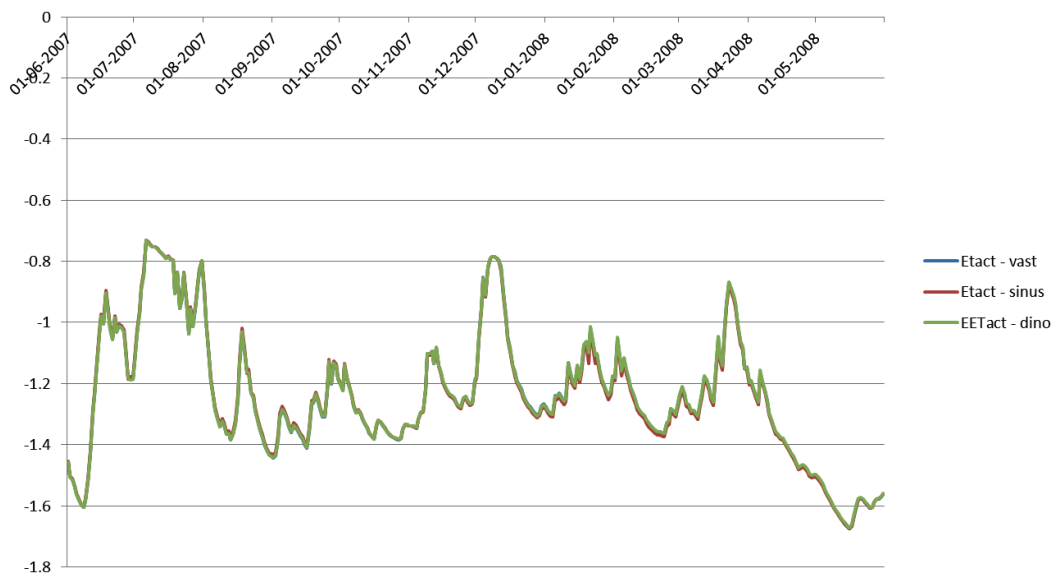
BEREKENDE GRONDWATERSTANDEN BIJ WEERSTAND 714 D



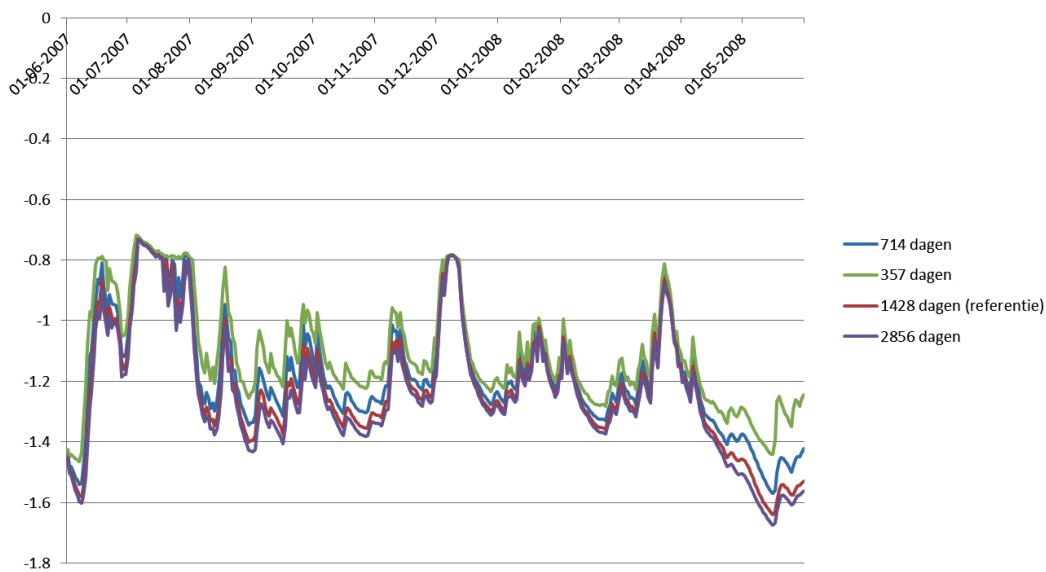
BEREKENDE GRONDWATERSTANDEN BIJ WEERSTAND 357 D



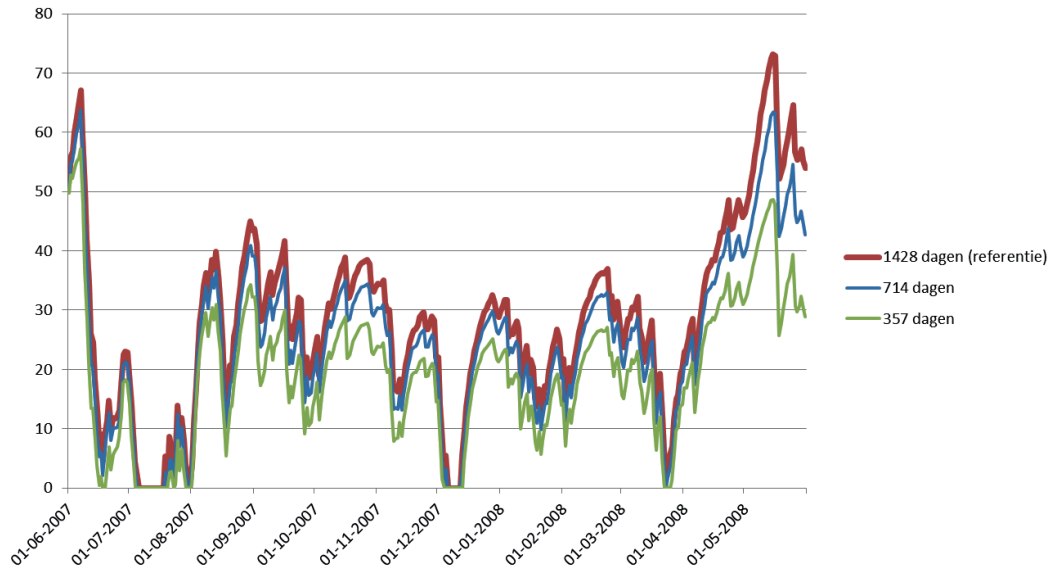
BEREKENDE GRONDWATERSTANDEN BIJ WEERSTAND 2856 D



EFFECT OP DE BEREKENDE GRONDWATERSTAND (ETACT, SINUS)



EFFECT OP HET BEREKENDE VERZADIGINGSTEKORT (ETACT, MEETREEKS)



BEREKEND VERZADIGINGSTEKORT BIJ WEERSTAND 357 DAGEN

