Delft Cluster

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen

WL | delft hydraulics

Princetonlaan 6
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T 030 2564750
F 030 2564755
info@nitg.tno.nl

TNO-rapport

NITG 05-087-B

Gekoppeld Modflow-Sobek waterstromen-model toegepast op waterwinning Wierden

Datum	Mei 2005
Auteur(s)	Hans Gehrels Hans Hakvoort (WL | Delft hydraulics) Ype van der Velde Stef Hummel (WL | Delft hydraulics) Aris Lourens Judith Snepvangers Neeltje Goorden
Opdrachtgever	Vitens
Projectnaam	Gekoppeld Modflow-Sobek waterstromen-model
Projectnummer	005-34143
Aantal pagina's	47

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onder-zoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2005 TNO

Samenvatting

In dit project is een koppeling ontwikkeld en getest tussen Modflow en Sobek. De ontwikkelde koppeling is een zogenaamde ‘expliciete’ koppeling. Per tijdstap worden fluxen en waterhoogten uitgewisseld tussen het grondwater- en oppervlaktewatermodel.

Het gekoppelde model is toegepast op het gebied rond pompstation Wierden (Overijssel). Het huidige puttenveld van de grondwaterwinning bij Wierden wordt geoptimaliseerd om in de toekomst grondwater met een goede kwaliteit veilig te stellen. In het grondwaterbeschermingsgebied worden mogelijk ook twee buffergebieden aangelegd. Het gekoppelde oppervlaktewater-grondwatermodel is nodig om de wisselwerking tussen de winning en de buffergebieden goed te kunnen kwantificeren.

De resultaten zijn vervolgens vergeleken met de uitkomsten van een bestaand Modflow-Duflow-model. Verschillen in schematisatie van de ondergrond, een gedetailleerdere koppeling tussen oppervlaktewater en grondwater en het berekenen van een totale waterbalans voor het gehele stroomgebied leveren overeenkomstige, maar in detail nauwkeuriger resultaten op dan met het bestaande MoDuflow model.

Het resulterende model is een krachtig instrumentarium, inzetbaar in vraagstukken op het gebied van waterconservering, overstroming, grondwatervoeding, en op termijn waterkwaliteit – tot stand gekomen door een vruchtbare samenwerking tussen Vitens, Waterschap Regge en Dinkel, WL en TNO.

Inhoudsopgave

Samenvatting **3**

1 Inleiding **5**

2 Koppeling tussen Sobek en Modflow **7**
2.1 Ontwikkelde programmatuur voor de koppeling 8
2.2 *General Stress Link Package*: simulatie van stresstermen met *river*-segmenten 8
2.2.1 GHB 8
2.2.2 DRN 8
2.2.3 Koppeling 8
2.2.4 N:1 gekoppelde waterlopen 9
2.2.5 Verschillende toepassingen 9
2.2.6 Benodigde data 9
2.3 Aanpassing modelcode Sobek-CF 10

3 Modelbouw – Modflow-model **11**
3.1 Inleiding 11
3.2 Nieuwe aanpak modellering met de GSL-package 11
3.2.1 Koppeling van Modflow-stresstermen 11
3.2.2 Gekozen werkwijze tot stand komen koppeling 13
3.3 Aanpassingen aan het bestaande Modflow-model 16
3.3.1 Toevoeging buffergebieden langs de Eksoosche Aa 16
3.3.2 Verplaatsen van drinkwateronttrekkingen 16
3.3.3 Invoeren neerslag en verdamping 2001 17
3.3.4 Vergelijking modelinvoer WRD-model met pompproef Wierden 18

4 Modelbouw – Sobek-model **25**
4.1 Afvoer stedelijk gebied 27

5 Vergelijking MoSo – MoDuflow **29**
5.1 Wateraanvoer op het bovenstroomse punt 85_s4 29
5.2 Vergelijking simulatieresultaten MoSo voor scenario 14 met gemeten peilen 31
5.3 Berekende waterstanden en afvoeren 32
5.4 Berekende waterpeil in de buffergebieden 33
5.5 Berekende stijghoogte met nieuw puttenveld 35
5.6 Effect van nieuwe puttenveld en buffers op de stijghoogte 37
5.7 Effect van het nieuwe puttenveld en buffers op de 25-jaarszone 42

6 Conclusies **43**

7 Aanbevelingen **45**

8 Referenties **47**

1 Inleiding

In dit project is in opdracht van Vitens een koppeling ontwikkeld op basis van de modelcodes Modflow en Sobek. Het gekoppelde model is toegepast en getest in een gebied rond het pompstation Wierden (Overijssel). De resultaten zijn vergeleken met de uitkomsten van een bestaand Modflow-Duflow (MoDuflow)-model.

Integrale benadering van oppervlaktewater en grondwater
Steeds vaker bestaat de behoefte om het oppervlaktewater-grondwatersysteem integraal te benaderen. Beleidsmatige opgaven voortkomend uit Waterbeheer voor de 21 Eeuw, het Nationaal Bestuursakkoord Water, en op termijn de Europese Kaderichtlijn Water vragen om watersysteembeschrijvingen waarin grondwater en oppervlaktewater niet langer gescheiden kunnen worden benaderd.

De gangbare praktijk in het waterbeheer is tot op heden geweest om aparte grondwatermodellen en oppervlaktewatermodellen te bouwen. Nieuwe technische ontwikkelingen maken het echter mogelijk om praktisch toepasbare, gekoppelde modellen te ontwikkelen waarmee het watersysteem integraal wordt doorgerekend. Een integrale beandering is een vereiste als het gaat om vraagstukken op het gebied van bijvoorbeeld waterberging, wateroverlast, inundatie, grondwatervoeding en oppervlaktewaterkwaliteit. Deze ontwikkelingen zijn voor TNO Bouw en Ondergrond (TNO) en WL | Delft Hydraulics (WL) reden geweest een gekoppeld grondwater-oppervlaktewatermodel te gaan ontwikkelen.

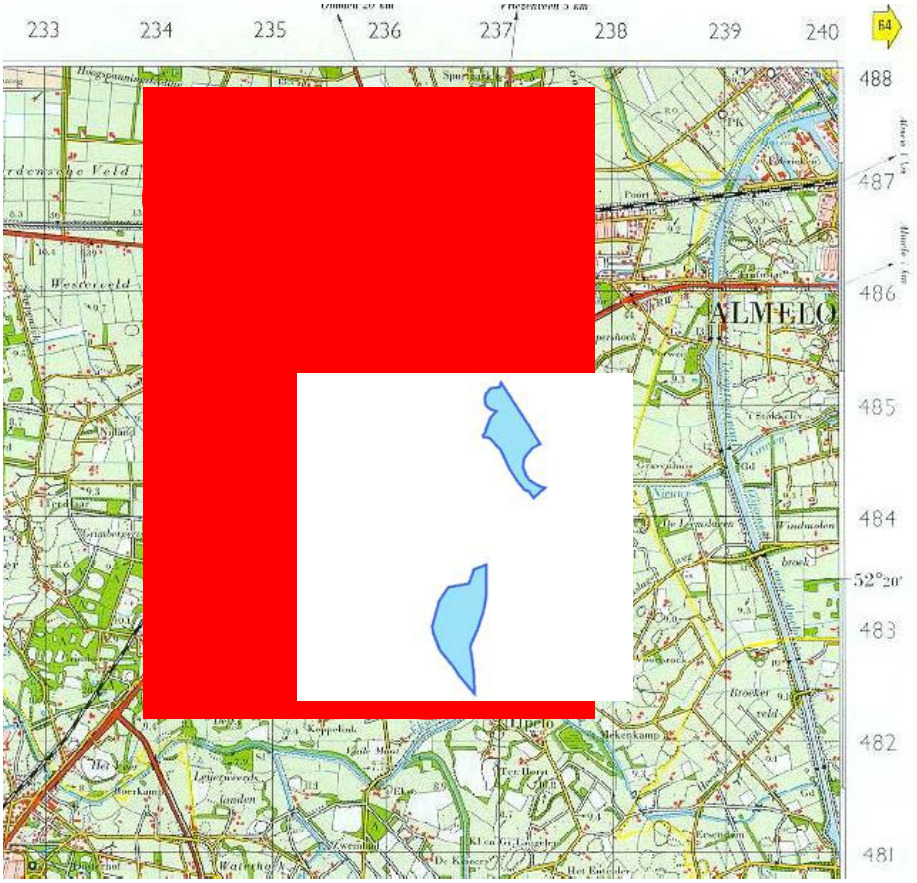
Het hier uitgevoerde project is een eerste fase van een bij Delft Cluster ingediend groter project (‘Watersysteembenadering voor RO in Twente’), dat begin 2005 van start zal gaan. In dit Delft Cluster-project, waarin naast Vitens ook Waterschap Regge en Dinkel, Provincie Overijssel, Gemeente Enschede, RIZA en Accanto participeren, staat de ontwikkeling van een koppeling tussen Modflow en Sobek centraal.

Toepassing op pompstation Wierden
Het gekoppelde model is in dit project toegepast op het pompstation Wierden, zie Figuur 1.1. Het huidige puttenveld van de grondwaterwinning bij Wierden wordt geoptimaliseerd om in de toekomst grondwater met een goede kwaliteit veilig te stellen. Onderdeel van de optimalisatie is een gedeeltelijke verplaatsing van het huidige puttenveld naar het zuiden. Als voorwaarden hiervoor gelden dat

1. de 25-jaarszone van de nieuw te plaatsen putten niet onder de toekomstige uitbreiding van de plaats Wierden komen te liggen, en
2. de kwelsituatie in het Mokkelengoor niet aangetast wordt.

Om dit te bereiken worden mogelijk twee buffergebieden aangelegd. Deze buffergebieden staan gedurende acht maanden onder water. Om de wisselwerking tussen de winning en de buffergebieden goed te kunnen kwantificeren is een gekoppeld oppervlaktewater-grondwater model nodig.

Het gekoppelde model is gebaseerd op bestaande Modflow- en Sobek-modellen van het Regge stroomgebied, die kort geleden zijn gebouwd in opdracht van Waterschap Regge en Dinkel en Vitens. Met de ontwikkelde koppeling wordt het nu mogelijk om de gangbare en meest geavanceerde modellen van het Regge-stroomgebied te combineren. Het resulterende model is een krachtig instrumentarium inzetbaar in vraagstukken op het gebied van GGOR, WB21, NBW en op termijn KRW.



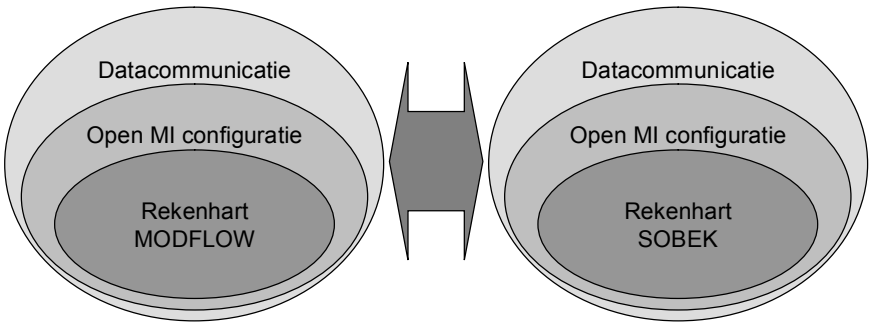
Figuur 1.1: Topografische ligging van de berekende 25 jaarszone volgens scenario 14 (rood) ten zuiden van Wierden, inclusief beoogd nieuwe puttenveld (geel) en twee beoogde buffergebieden (blauw) ten westen van de Eksoosche Aa

2 Koppeling tussen Sobek en Modflow

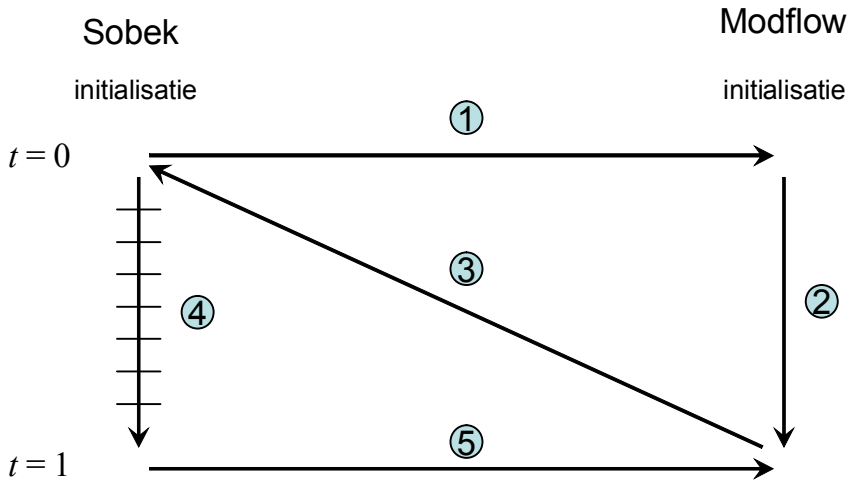
Sobek en Modflow zijn gekoppeld tot een ‘watersysteemmodel’, zodat een integrale benadering van oppervlaktewater en grondwater mogelijk wordt. De koppeling tussen Modflow en Sobek is een zogenaamde ‘expliciete’ koppeling. Een expliciete koppeling houdt in dat per tijdstap informatie wordt uitgewisseld tussen het grondwater- en oppervlaktewatermodel zonder iteratieschema. De tijdstappen van beide modellen kunnen verschillend zijn. Normaal gesproken zal de tijdstap van Modflow groter zijn dan die van Sobek. Voor het Wierden-model is voor Modflow een tijdstap aangehouden van 1 dag en voor Sobek van 5 minuten.

De koppeling bestaat uit drie niveaus:

1. Datacommunicatie: een onderlaag met pure uitwisseling van data. Alle datauitwisseling gaat via het geheugen.
2. Configuratie-component met de kennis over de betekenis van de data: hier is bekend welke onderdelen van Modflow zijn gekoppeld aan welke Sobek-segmenten.
3. Rekenharten van Sobek en Modflow



Het gekoppelde rekenschema ziet er als volgt uit:



1: Sobek-waterhoogtes naar Modflow
2: Modflow berekent over 1 stressperiode (1 dag) stijghoogtes en fluxen

3: volumes van de berekende fluxen gaan naar begin tijdstap Sobek
4: Sobek rekent over n tijdstappen (n=96) met als invoer in elke tijdstap 1/n volume
5: in Sobek berekende waterhoogtes én een eventuele correctie op de 'watervraag' vanuit Modflow (die in 3 is doorgegeven) gaan naar Modflow voor begin volgende tijdstap. De correctie wordt als onttrekking in Modflow ingevoerd.

2.1 Ontwikkelde programmatuur voor de koppeling

Voor het uitwisselen van de bij de koppeling betrokken gegevens wordt een benadering gehanteerd die is gebaseerd op de OpenMI standaard. Samengevat komt OpenMI erop neer dat elke component eenduidig definieert welke grootheden hij zal gaan opvragen op welke locaties (segmenten en cellen); de toeleverende component dient vervolgens - al of niet met behulp van ondersteunende software - de gevraagde grootheden op de gevraagde locaties leveren.
Voor de Sobek-Modflow koppeling is ondersteunende software ontwikkeld, die de door het ene rekenhart berekende grootheid omzet naar de door het andere rekenhart gevraagde representatie. Daarbij worden de benodigde 'mapping' operaties in zowel tijd als ruimte uitgevoerd. Bijvoorbeeld:

- Modflow levert de door hem berekende onttrekkingen of toevoegingen in m^3 over de afgelopen tijdstap (24 uur), en levert deze op al zijn cellen;
- De koppelingssoftware sommeert deze volumes tot volumes per Sobek-segment, en levert ze vervolgens aan Sobek als debiet, in m^3/s.

Daarnaast bewaart de koppelingssoftware de geleverde volumes per cel, zodat er in geval van een niet te realiseren watervraag per cel aan Modflow kan worden teruggekoppeld welke deel van het gevraagde volume daadwerkelijk beschikbaar was.

2.2 *General Stress Link Package*: simulatie van stresstermen met *river*-segmenten

De *River*-package van Modflow is uitgebreid met een aantal stresstermen tot een zgn. *General Stress Link Package* waarmee alle onttrekkingen of toevoegingen van water in het topsysteem kunnen worden gemodelleerd. Deze package wordt gebruikt om de uitwisseling van fluxen en waterhoogten tussen Sobek en Modflow te verzorgen.

2.2.1 GHB

De *General Head Boundary-package* kan nagebootst worden door de Rbot zeer diep te leggen, dieper dan de grondwaterstand/stijghoogte ooit zal worden in de betreffende cel. De river reageert dan exact gelijk aan een GHB.

2.2.2 DRN

De *Drain*-package kan nagebootst worden door de *stage* op het niveau van Rbot te leggen.

2.2.3 Koppeling

Elke waterloop van Modflow kan aan een waterloop van Sobek gekoppeld worden. De flux door de Modflow *river*-bodem wordt daarbij toegevoegd aan de Sobek-waterloop en de Sobek-rivierstand wordt overgebracht op de Modflow-waterloop. Het is mogelijk dat een waterloop van Modflow niet gelijkwaardig is aan de Sobek waterloop, bijvoorbeeld wanneer een heel stroomgebied op een Sobek waterloop afvoert. In dat geval kan het nuttig zijn om de terugkoppeling van de Sobek waterstand (S_S) naar de Modflow *river stage* (S_M) niet één op één uit te voeren. Dit is geïmplementeerd door,

naast de Modflow *river stage*, een factor (F_M) op te geven. Hiermee wordt de toegepaste *river stage* (S_T) als volgt berekend:

$$S_T = F_M * S_M + (1-F_M) * S_S \quad [2.1]$$

Naar wens kan de waarde van F_M variëren tussen 0 en 1. Wanneer F_M=1 dan is de Modflow *river stage* onafhankelijk van de Sobek waterstand en wanneer F_M=0 dan wordt de Modflow *river stage* gelijk aan de Sobek waterstand.

Voorwaarde bij de toekenning van een nieuwe waterstand aan een Modflow-waterloop is dat de opgegeven waterstand altijd boven de waterloopbodem (Rbot) ligt:

$$S_T = \max(\text{Rbot}, S_T) \quad [2.2]$$

2.2.4 *N:1 gekoppelde waterlopen*

Waterlopen in Modflow zonder rechtstreekse Sobek pendant moeten toch gekoppeld kunnen worden waarbij een 'heel stroomgebied' ineens op een Sobek-waterloop aangesloten kan worden. Dit kan gedaan worden door voor meerdere Modflow *rivers* dezelfde Sobek tegenhanger aan te wijzen voor de koppeling. Andersom is niet mogelijk om voor meerdere Sobek waterlopen één Modflow *river* aan te wijzen als tegenhanger.

2.2.5 *Verschillende toepassingen*

De *General Stress Link Package* kan voor verschillende toepassingen gebruikt worden. Onderstaande tabel geeft een overzicht.

Type	**Rbot**	**Stage**	F_M
Drain	drainniveau	Idem Rbot	1
Surface runoff	maaiveld	Idem Rbot	1
Inundatie	maaiveld	Idem Rbot	0
General Head Boundary	< BOT	Boundary Head	1
Modflow river volledig gekoppeld met Sobek	Rbot	Stage	0
River deels gekoppeld met Sobek	Rbot	S_T zie [2.1])	0…1
Inactief	Zeer hoog	Idem Rbot	n.v.t.

BOT: aquifer bodem (zie BCF package)
Rbot: waterloopbodem
S_T: Riverstage, zie vergelijking [2.1]

2.2.6 *Benodigde data*

Het uitgangspunt is dat aan het begin van de modellering alle segmenten worden gedefinieerd (voor het inlezen van de stress-waarden). Aan het begin van de eerste stressperiode wordt aan de dan benodigde segmenten waarden toegekend. Segmenten die bij de eerste stressperiode nog geen gegevens hebben gekregen worden als inactief beschouwd. In elke volgende stressperiode wordt alleen aan die segmenten waarden toegekend die veranderen. De segmenten die geen nieuwe data krijgen, blijven onveranderd.

Aan het begin van de modellering worden de segmenten gedefinieerd. Per rivier-segment zijn de volgende gegevens nodig:

- Segment id: nummer van het rivier-segment

- Positie: rij-, kolom-, laagnummer
- Sobek id: Sobek tegenhanger
- Definitie: Rbot, *stage*, F_M

Per stressperiode wordt aan de segmenten die veranderen t.o.v. vorige stress periode de volgende waarden toegekend:

- Segment-id, Rbot, *stage*, F_M

2.3 Aanpassing modelcode Sobek-CF

De koppeling met Modflow heeft aan Sobek-CF zijde niet tot ingrijpende wijzigingen geleid, aangezien:

- gebruik wordt gemaakt van de in paragraaf 2.1 beschreven koppelings-programmatuur;
- de binnenkomende debieten – enigszins aangepast – worden verwerkt als een al in de modelcode aanwezige '*Diffuse Lateral Discharge*'; dit is een lozing die kan worden uitgedrukt in m^2/s langs een riviergedeelte, een zogenaamde *reach* (bestaande uit een verzameling aaneengesloten *reach* segmenten).

De aanpassing van het verwerken van de binnenkomende debieten bestaat er uit dat de waarde van de oorspronkelijke diffuse lozing alleen voor de hele *reach* kan worden gespecificeerd, terwijl het binnenkomende grondwater per *reach* segment kan variëren. Dit is geïmplementeerd door, nadat de bestaande code de laterale lozing heeft opgelegd als debiet per segment, aan de koppelingssoftware te vragen of deze waarde moet worden *overruled* door een vanuit het grondwater binnenkomend debiet. Een negatief debiet (een watervraag) wordt door de bestaande modelcode gecontroleerd op haalbaarheid; de daadwerkelijk te realiseren watervraag wordt aan de koppelings-software teruggemeld.

3 Modelbouw – Modflow-model

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de modelbouw van het Modflow-model voor Wierden.

De invoer van het gebouwde Wierden-model is gebaseerd op het bestaande grondwatermodel van Waterschap Regge en Dinkel (WRD-model) (Minnema en Snepvangers, 2004). Op een aantal punten zijn aanpassingen aangebracht t.o.v. het bestaande model. Deze aanpassingen kunnen worden verdeeld in veranderingen als gevolg van de gekoppelde modellering van Modflow en Sobek en veranderingen door toepassing van nieuwe data:

Aanpassing in aanpak modellering:
1. De afvoer van water door drains, waterlopen, over het maaiveld en van stedelijk gebied wordt niet meer gemodelleerd in aparte packages, maar is samengevoegd in de nieuwe General Stress Link (GSL)-package. Deze package is gekoppeld met het Sobek oppervlaktewater model.

Aanpassingen door nieuwe data:
2. Er zijn twee buffergebieden geïntroduceerd langs de Eksoosche Aa;
3. De drinkwaterwinning bij Wierden is gedeeltelijk verplaatst naar een nieuwe locatie zoals aangegeven in het DHV model;
4. Invoer voor neerslag en verdamping is bepaald voor 2001;
5. De lokale bodemopbouw rondom het puttenveld is vergeleken met de lithologie uit de boorbeschrijvingen van de voor de pompproef nieuw geplaatste peilbuizen.

Paragraaf 3.2 beschrijft de toepassing van de nieuwe GSL-package in Wierden. Paragraaf 3.3 behandelt de nieuw ingevoerde data.

3.2 Nieuwe aanpak modellering met de GSL-package

De nieuw ontwikkelde GSL-package wordt gebruikt om de uitwisseling van fluxen en waterhoogten tussen Sobek en Modflow te verzorgen. In deze paragraaf wordt voor het Wierden model uitgelegd op welke manier de verschillende Modflow-stresstermen zijn gekoppeld aan Sobek. Tevens worden de parameters beschreven die het model nodig heeft om de koppeling uit te voeren. Ten slotte wordt de werkwijze uitgelegd die is gebruikt om een gekoppeld model voor het gebied Wierden te maken.

3.2.1 Koppeling van Modflow-stresstermen

In het Wierden model worden met de GSL-package de volgende stresstermen gelinkt met het Sobek-model:
- Waterlopen
- Drains
- Maaiveld
- Stedelijk gebied

Binnen een Modflow-cel kunnen elk van deze stresstermen meerdere keren voorkomen.

Voor de gedefinieerde stresstermen in het Wierden-model zijn verschillende mogelijkheden t.a.v. de uitwisseling van fluxen en waterstanden:

- In Modflow berekende fluxen van waterlopen, drains, maaiveld en stedelijk gebied kunnen worden gekoppeld met Sobek.
- In Sobek berekende waterpeilen kunnen worden overgedragen naar de Modflow waterlopen/drains, maaiveld of stedelijk gebied. Bij een gehele overdracht van de waterstand van Sobek naar Modflow waterloop is de factor F_M =0, zie formule [2.1]. Bij gedeeltelijke overdracht van het waterpeil is F_M =0…1.

Als gekozen wordt voor koppeling van fluxen en waterpeilen is er sprake van een **volledige koppeling**. Wanneer alleen fluxen worden gekoppeld is er sprake van een **fluxkoppeling**. In onderstaande beschrijving is uitgelegd voor elke stressterm welke type koppeling gekozen is voor het Wierden model.

1. Waterlopen

Waterlopen zijn in het Wierden model zowel volledig als alleen via fluxen gekoppeld. Er zijn voor het Wierdengebied vijf regio's gedefinieerd met elk een specifiek type waterlopen-koppeling tussen Modflow en Sobek, zie de kaart in Figuur 3.1. De gebieden zijn als volgt ingedeeld:

1. Buiten het koppelgebied (donkerrood)

De donkerrode gebieden zijn niet gekoppeld aan Sobek.

2. Fluxgekoppelde Modflow-afvoertermen buiten Wierden-gebied (roze, F_M =1)

In roze is aangegeven het gebied buiten het Wierden gebied waarvoor de fluxen gekoppeld zijn. De waterstanden van dit gebied komen rechtstreeks uit het bestaande Regge en Dinkel model.

3. Fluxgekoppelde Modflow-afvoertermen binnen Wierden-geb. (lichtblauw, F_M =1)

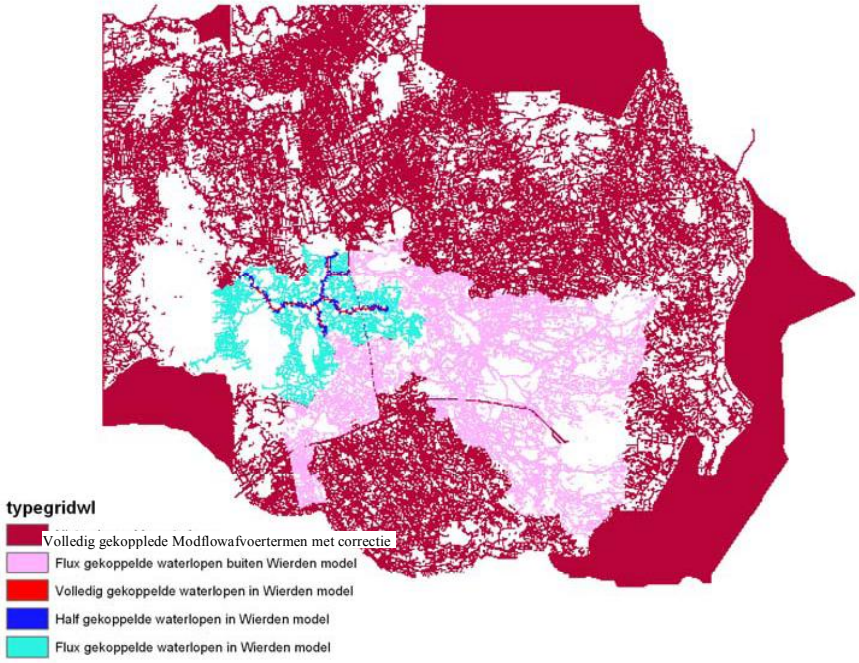
Het lichtblauwe gebied geeft de gekoppelde fluxen binnen het Wierden gebied weer. De in Sobek berekende waterstand heeft hier geen invloed op het grondwater. Voor de waterstanden zijn hier de winter- en zomerpeilen uit 2001 ingevoerd.

4. Volledig gekoppelde Modflow-afvoertermen met correctie (blauw , F_M=0…1))

Sobek-segmenten nabij hoofdwaterlopenstelsel die fluxen doorgeven aan Sobek en een peil ontvangen van Sobek, maar dit peil met een factor (tussen 0 en 1) corrigeren ten opzichte van het in Modflow ingevoerde peil.

5. *Volledig gekoppelde Modflow-afvoertermen (felrood, F_M =0)*

Door Modflow berekende fluxen worden toegevoegd aan Sobek-koppelsegmenten en door Sobek berekende waterpeilen gaan naar Modflow.



Figuur 3.1: Koppelregio's binnen het Wierden-model

2. Drains
Voor de drains wordt een fluxkoppeling gehanteerd. De door Sobek berekende waterpeilen zijn immers niet van invloed op het drainniveau (F_M =1). De gedraineerde fluxen in de roze en lichtblauwe regio's worden op een gekoppeld Sobek *reach* segment gezet.

3. Maaiveld
Oppervlakkige afstroming over maaiveld vindt normaal gesproken plaats via een fluxkoppeling. De uit de roze en lichtblauwe regio's afstromende fluxen wateren af op een gekoppeld Sobek *reach* segment. Het waterpeil uit Sobek heeft uiteraard geen invloed op de vaste maaiveldhoogte (F_M = 1).

Bij inundatie of in het geval van bekkens is echter sprake van een volledige koppeling. De fluxen uit Modflow gaan naar Sobek en de door Sobek berekende waterpeilen boven maaiveld gaan terug naar Modflow. (F_M = 0).

Stedelijk gebied
Oppervlakkige afstroming vanaf bebouwing en verhard oppervlak in stedelijk gebied – via hetzij een (gescheiden) regenwaterriool naar het oppervlaktewater, hetzij via een gemengd rioolsysteem eerst naar de RWZI en daarna naar het oppervlaktewater – wordt gemodelleerd door een interceptiepercentage (0.23) te hanteren. Een deel van de neerslag in stedelijk gebied wordt als interceptie afgevangen en toegevoegd aan het oppervlaktewater stroomafwaarts van het stedelijke gebied. Het type koppeling is een fluxkoppeling. Er is geen terugkoppeling met het berekende waterpeil (F_M = 1).

3.2.2 Gekozen werkwijze tot stand komen koppeling
De koppeling krijgt vorm door het uitvoeren van drie stappen:

Stap 1 **Definiëren gekoppelde Sobek *reach* segmenten**

Vooraf moet duidelijk gedefinieerd zijn welke Modflow-stressterm aan welke Sobek-tegenhanger is gekoppeld. Om dit te bepalen is voor de volgende werkwijze gekozen.

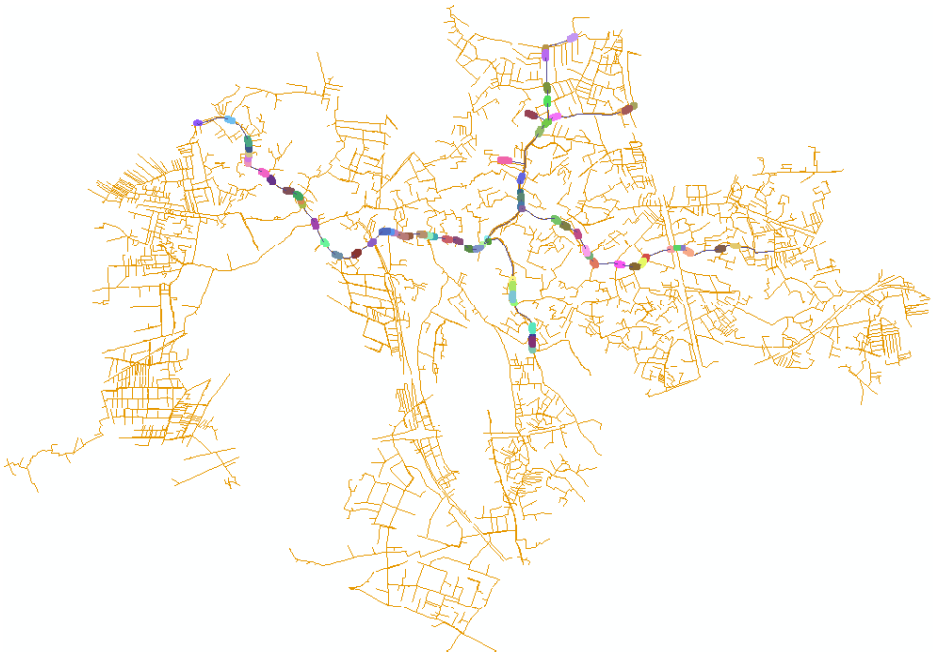
Bepalen hoofdwaterlopen

Het Sobek-model van Wierden geeft de hoofdwaterlopen weer. Het hoofdwaterlopenstelsel is afgeleid uit het Top10-vektor leggerbestand. In Modflow worden ook alle kleine waterlopen geschematiseerd afkomstig uit het AHN-bestand. Als eerste stap worden de waterlopen van het Sobek-model vergeleken met de waterlopen die in Modflow zijn weergegeven (in GIS). De waterlopen die overeenkomen kunnen volledig worden gekoppeld. Deze waterlopen zijn in het felrood en donkerblauw weergegeven in Figuur 3.1 en behoren tot de zogenaamde hoofdwaterloop.

Bepalen gekoppelde Sobek reach segmenten

Kleinere waterlopen die niet in Sobek worden gemodelleerd wateren af op de gedefinieerde hoofdwaterloop. De lijnstukken van de hoofdwaterloop waarop de kleine waterlopen afwateren hebben een volledige koppeling met Sobek. Dit zijn de zogenaamde gekoppelde Sobek *reach* segmenten, overeenkomend met felrode waterlopen in Figuur 3.1. en de gekleurde hoofdwaterloop-lijnstukken in Figuur 3.2. In het Wierden-model zijn 75 gekoppelde *reach* segmenten opgenomen.

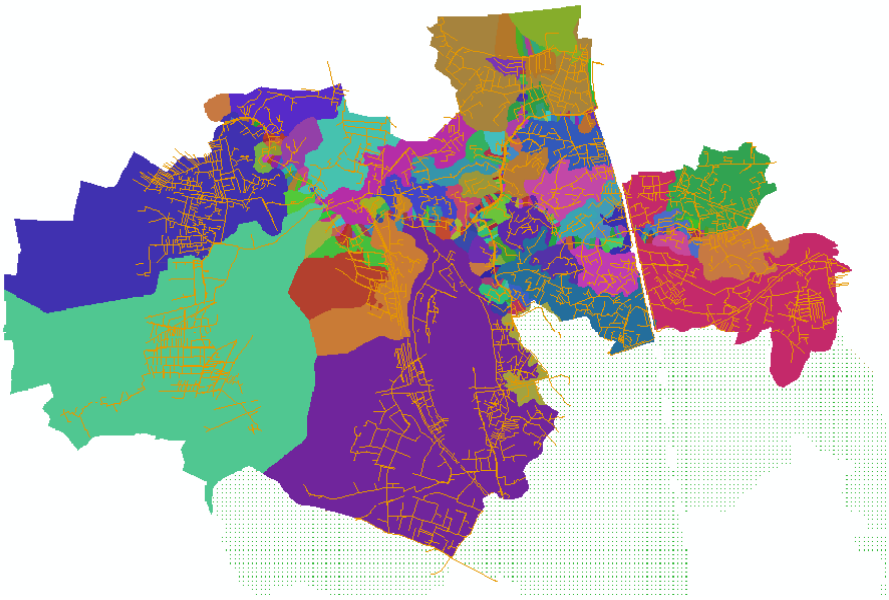
De hoofdwaterloop-lijnstukken waar geen kleine waterlopen van het Modflow model op afstromen, ontvangen geen flux uit Modflow en zijn dus niet gekoppeld.



Figuur 3.2: Sobek-lijnstukken: de gekleurde lijnstukken zijn gekoppelde *reach* segmenten waarop een flux uit Modflow binnenkomt, de bruine lijnstukken bestaan uit segmenten die niet zijn gekoppeld. Het fijne netwerk (beige) is het waterlopennetwerk uit Modflow.

Stap 2 **Creëren van stroomgebieden**

Op basis van de gedefinieerde gekoppelde Sobek *reach* segmenten worden vervolgens oppervlaktewater-stroomgebieden worden gecreëerd. Voor elk van de kleine waterlopen uit het AHN-bestand (beige in Figuur 3.2) wordt bepaald op welk gekoppelde *reach* segment deze afstroomt. De waterlopen die op hetzelfde gekoppelde *reach* segment afstromen, behoren tot hetzelfde oppervlaktewater-stroomgebied. Na het definiëren van alle stroomgebieden op basis van de AHN-waterlopen, worden ook de Modflow-cellen waar de waterlopen in liggen aan een gekoppeld *reach* segment gekoppeld. Zo ontstaan bij elk gekoppeld *reach* segment de stroomgebieden zoals weergegeven in Figuur 3.3. Voor elke Modflow-afvoerterm met bijbehorend *id* is nu bekend aan welke segment-*id* in Sobek deze is gekoppeld.



Figuur 3.3: Stroomgebieden van Modflow-cellen die afwateren op de gekoppelde *reach* segmenten uit Figuur 3.2.

Stap 3 **Data opslag**

De benodigde gegevens voor de GSL-package zijn nu bepaald en wordt opgeslagen in drie bestandstypen, zie Tabel 3.1.

Tabel 3.1: de bestanden met informatie over de modelkoppeling

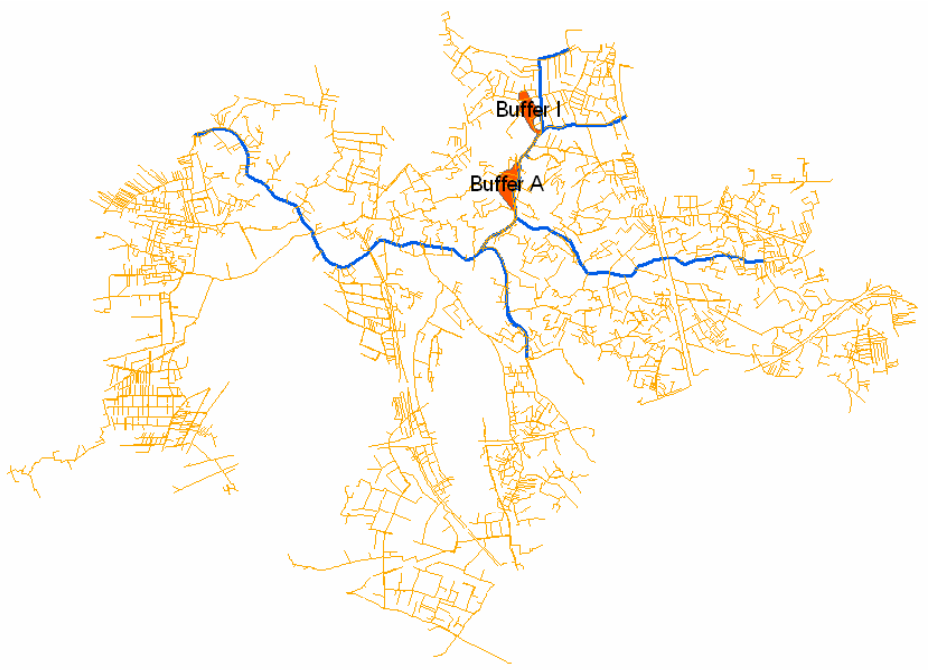
File	Inhoud
1	File met Modflow-*id* – Sobek-*id*: koppelt de Modflowcellen aan een Sobek-*id*
2	File met Modflow-*id*, laag, rij en kolom: geeft de locaties van de Modflow-*id's*
3	File met Modflow-*id* en GSL parameters: definieert het type koppeling (bv.: waterloop volledig gekoppeld)

3.3 Aanpassingen aan het bestaande Modflow-model

Deze paragraaf beschrijft de aanvullingen en aanpassingen aan het bestaande Modflow-model van het Regge en Dinkelgebied. De aanpassingen betreffen de toevoeging van buffergebieden langs de Eksoosche Aa, het verplaatsen van drinkwatervoorzieningen, de neerslag en verdamping voor 2001 en de aanpassing van de lokale bodemopbouw.

3.3.1 Toevoeging buffergebieden langs de Eksoosche Aa

Langs de Eksoosche Aa worden 2 buffergebieden ingericht (zie Figuur 3.4). De buffergebieden worden uitgegraven tot een diepte van 8 m+NAP. De buffergebieden staan 8 maanden per jaar onder water. De waterstand in de buffergebieden wordt in het model door Sobek berekend.



Figuur 3.4: Buffergebieden waarvan de waterhoogte en inhoud door Sobek berekend worden

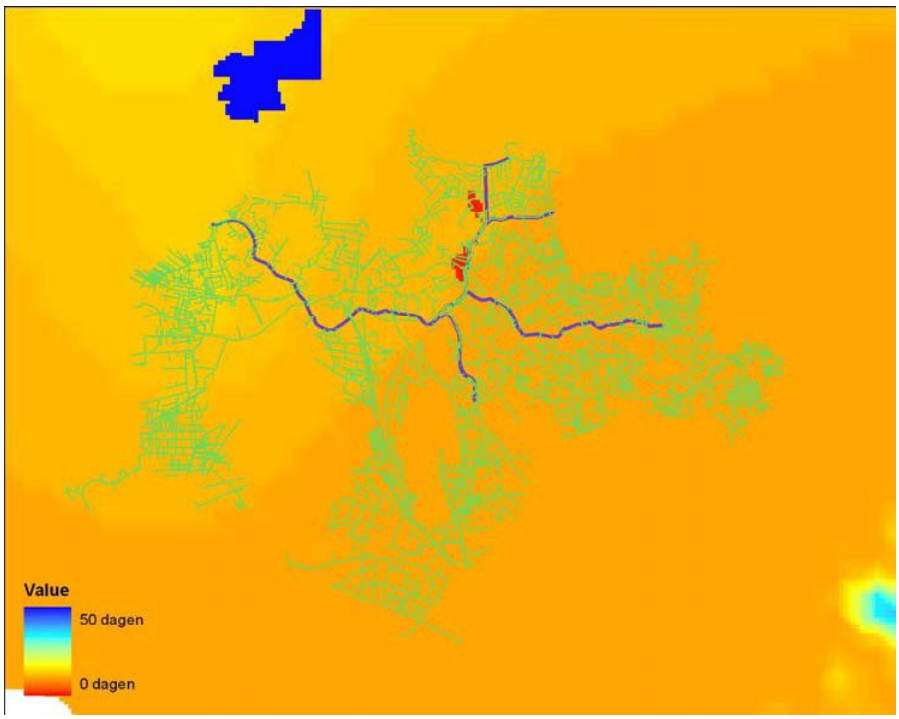
De buffergebieden hebben een intreeweerstand van 1 dag en aangezien de bodem in de buffers vergraven is heeft de toplaag ook een weerstand van 1 dag gekregen, zie Figuur 3.5.

3.3.2 Verplaatsen van drinkwateronttrekkingen

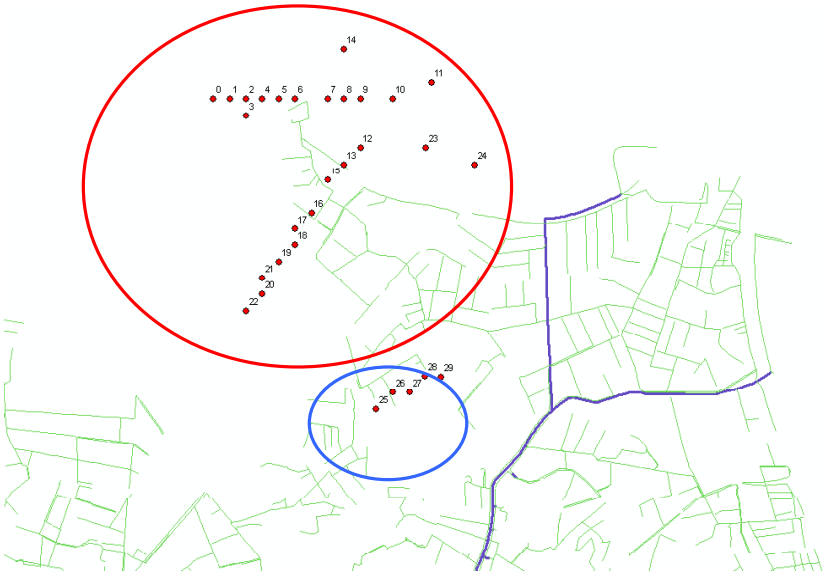
Vitens is van plan nieuwe drinkwaterputten (Figuur 3.6, blauw) te slaan ten zuiden van de huidige putten (Figuur 3.6, rood). In scenario 14 hebben alle putten van pompstation Wierden een nieuw constant debiet gekregen (522 m^3/d voor de bestaande putten en 2192 m^3/d voor de nieuwe putten). Alle overige pompputten en beregeningen uit het WRD-model zijn verder gehandhaafd. Dus:

- Het referentiescenario bevat de oude onttrekkingen en geen buffergebieden. In totaal wordt 8.0 miljoen m^3/jaar onttokken.
- Scenario 14 bevat de nieuwe onttrekkingen en twee buffergebieden. In totaal wordt 8.9 miljoen m^3/jaar onttrokken (4.9 in het oude puttenveld (waarvan 0.9 voor

interceptiewinningen voor bodemverontreinigingen: de putten 11, 23 en 24 in Figuur 3.6) en 4.0 in het nieuwe).



Figuur 3.5: Weerstand van het topsysteem (dagen); de buffergebieden hebben een weerstand van 1dag.



Figuur 3.6: Oude (rood) en nieuwe (blauw) drinkwaterputten

3.3.3 *Invoeren neerslag en verdamping 2001*

Op gelijke wijze als voor het bestaande WRD-model, dat op dagbasis gedraaid is voor 1998, zijn de neerslag en verdamping bepaald voor het jaar 2001. Om de stedelijke

runoff te bepalen is de neerslag bepaald met en zonder interceptie in het stedelijk gebied. De interceptiefactor in het stedelijk gebied bedraagt 23%. Deze 23 % van de neerslag wordt aanvankelijk wel via de *Recharge* package in het grondwatermodel gestopt, maar wordt vervolgens via de GSL-package weer aan het grondwater onttrokken, zodat het water in het Sobek model terecht komt.

3.3.4 *Vergelijking modelinvoer WRD-model met pompproef Wierden*

Vitens Overijssel heeft ter plaatse van de nieuw geplande winningen ten zuiden van Wierden een langdurige pompproef uitgevoerd. Deze pompproef is begin december 2004 uitgewerkt met behulp van het programma Menyanthes door Kiwa Water Research (Maas, 2004). In deze paragraaf worden de resultaten uit de pompproef vergeleken met het Regge en Dinkel-grondwatermodel.

Analyse pompproef

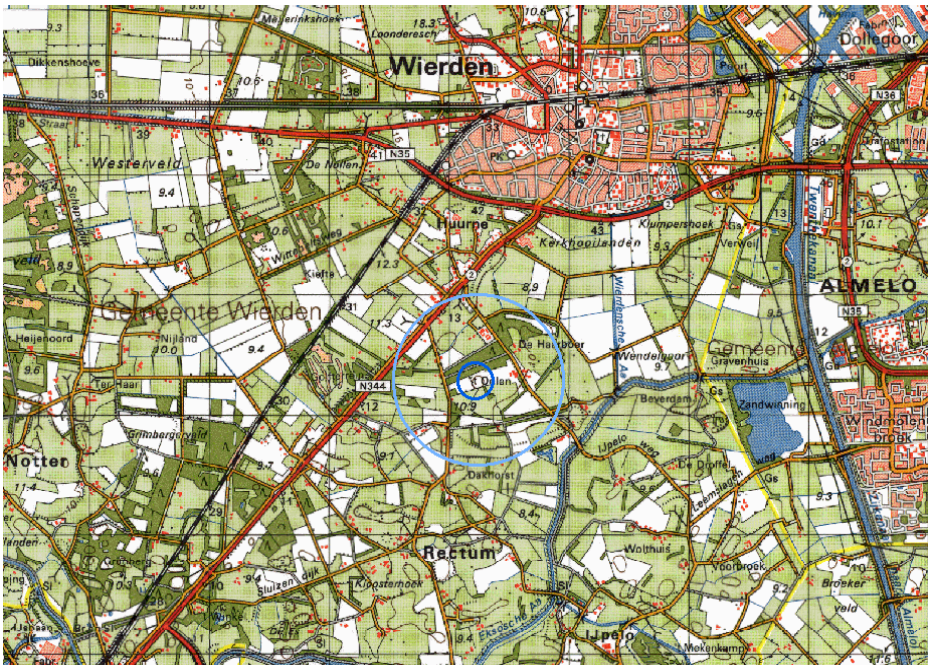
Kiwa heeft in de analyse de volgende stappen uitgevoerd:

1. meetreeksen ontdoen van ongerechtigheden;
2. tijdreeksanalyse voor bepaling peil-, klimaat- en onttrekkingsinvloeden;
3. modellering van onttrekkingsinvloedreeks met formule van Hantush;
4. bepaling geohydrologische parameters.

Uiteindelijk worden de volgende geohydrologische parameters gevonden:

- kD = 1000 m^2/d
- c = 7000 d
- S= 0.003

In Figuur 3.7 is de ligging van de pompproef weergegeven. De binnencirkel in Figuur 3.7 correspondeert met een verlaging van 100 cm, de buitencirkel met een verlaging van 5 cm.

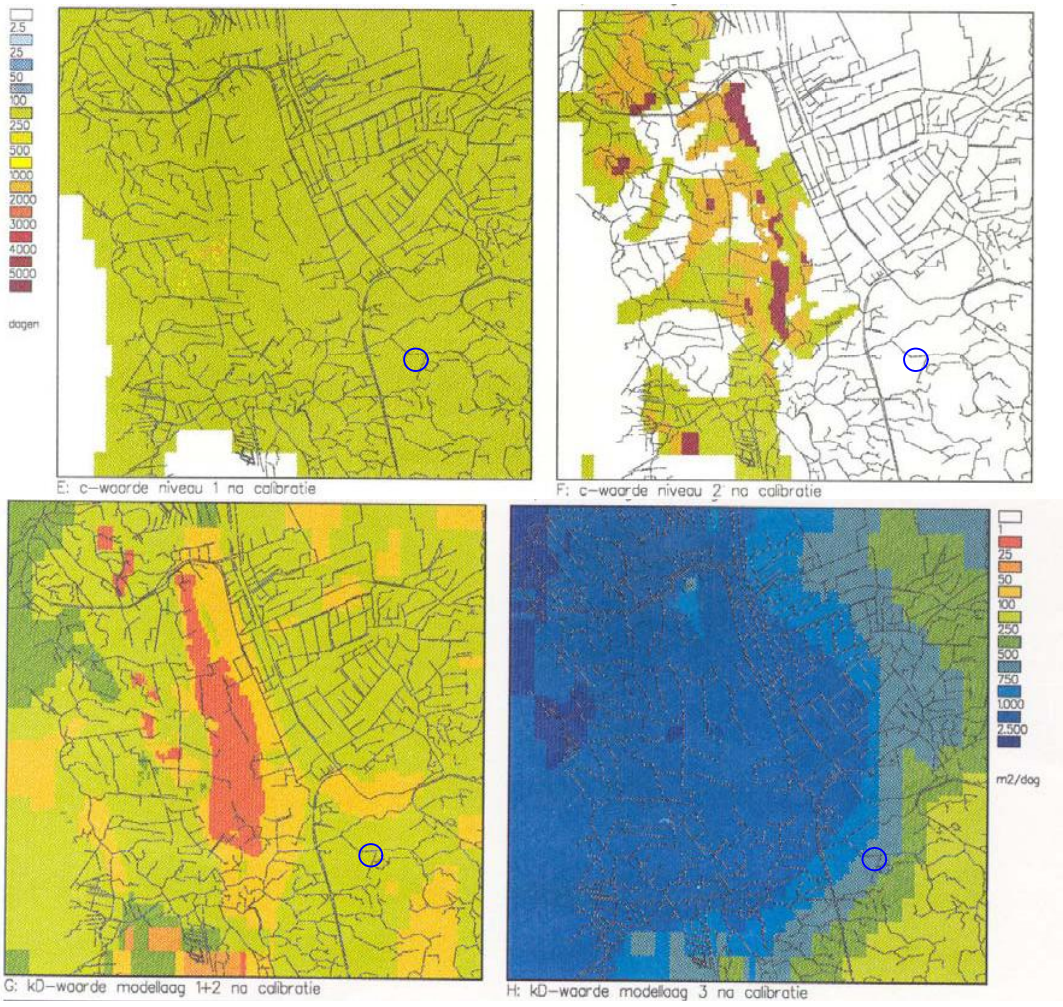


Figuur 3.7: Ligging centrum pompproef (binnencirkel) met geschatte invloedsomgeving (buitencirkel)

Informatie in bestaande modellen

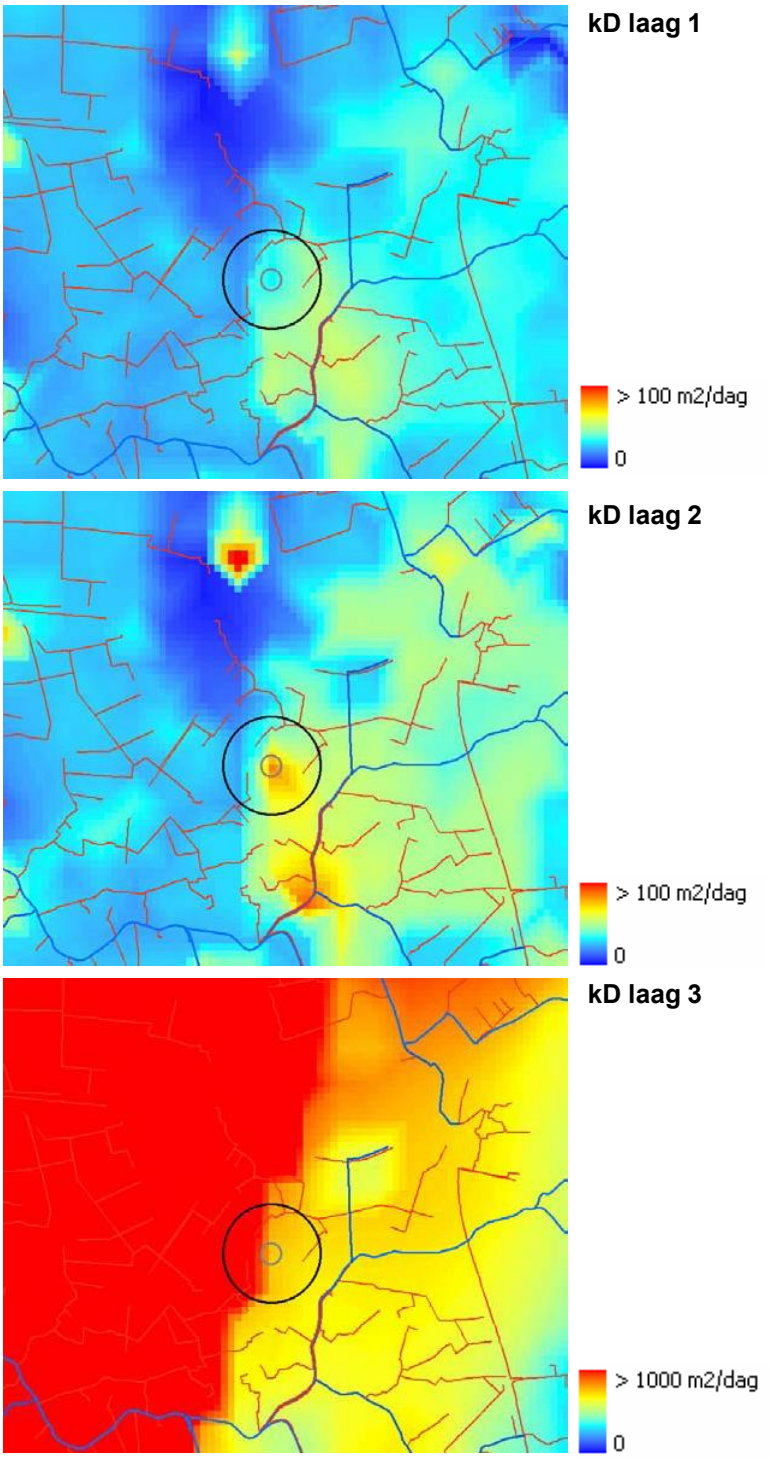
Van de directe omgeving van Wierden zijn twee grondwatermodellen gemaakt die uitgebreid stochastisch zijn geijkt. Het eerste is een model van het Wierdense Veld door Hoogendoorn en Te Stroet (1994) (het 'Wierden-model'). Het tweede is een model van Waterschap Regge en Dinkel gebouwd door Minnema en Snepvangers (2004) (het 'WRD-model').

In Figuur 3.8 worden de kD- en c-waarden uit het Wierden-model weergegeven. Hieruit blijkt dat de kD-waarde voor het gebied waarin de pompproef is uitgevoerd 1000-1200 m^2/dag is. De c-waarde voor het gebied is enkele honderden dagen.

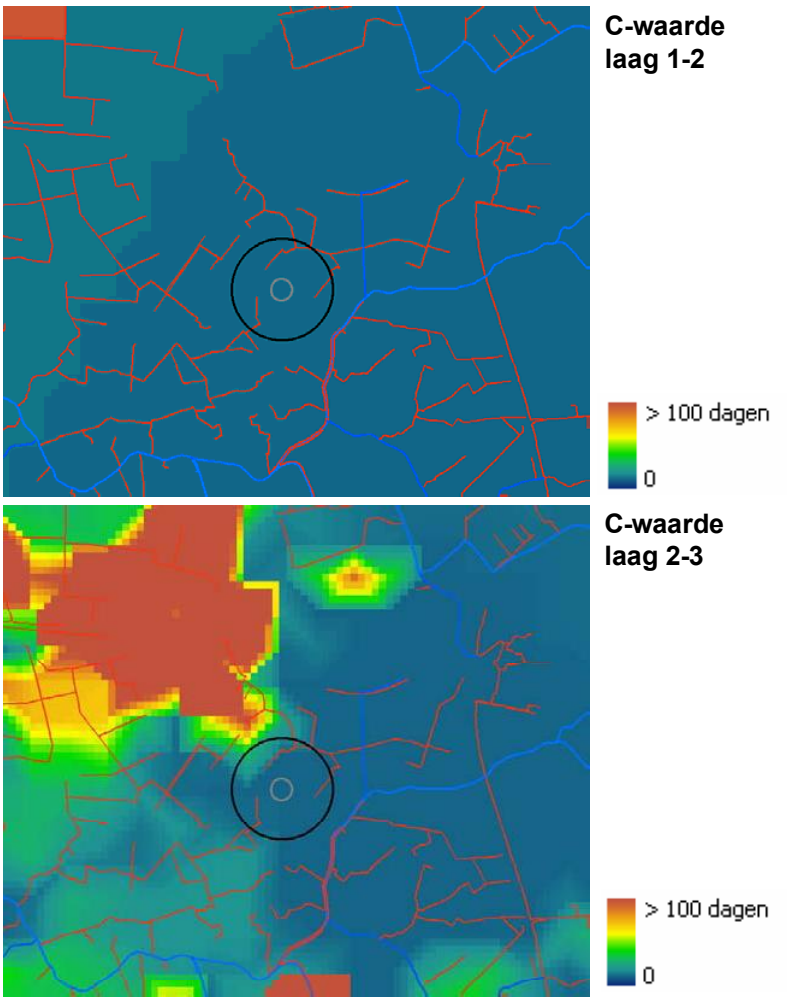


Figuur 3.8: Geijkte parameters uit het Wierden-model (overgenomen uit Figuur 5.2 uit Hoogendoorn en Te Stroet, 1994); met een blauwe cirkel is de omgeving van de pompproef weergegeven.

In Figuur 3.9 en 3.10 worden de kD- en c-waarden van het WRD-model weergegeven. Het WRD-model kent voor het pompproefgebied een gemiddelde kD-waarde van 850 m^2/dag en een c-waarde van enkele tientallen dagen. De elastische bergingscoëfficiënt is niet geijkt, maar kent in het WRD-model een vaste waarde van 0.0001.



Figuur 3.9: Geijkte kD-waarden uit het WRD-model weergegeven met binnen- en buitencirkel uit Figuur 3.7



Figuur 3.10: Geijkte c-waarden uit het WRD-model weergegeven met binnen- en buitencirkel uit Figuur 3.7

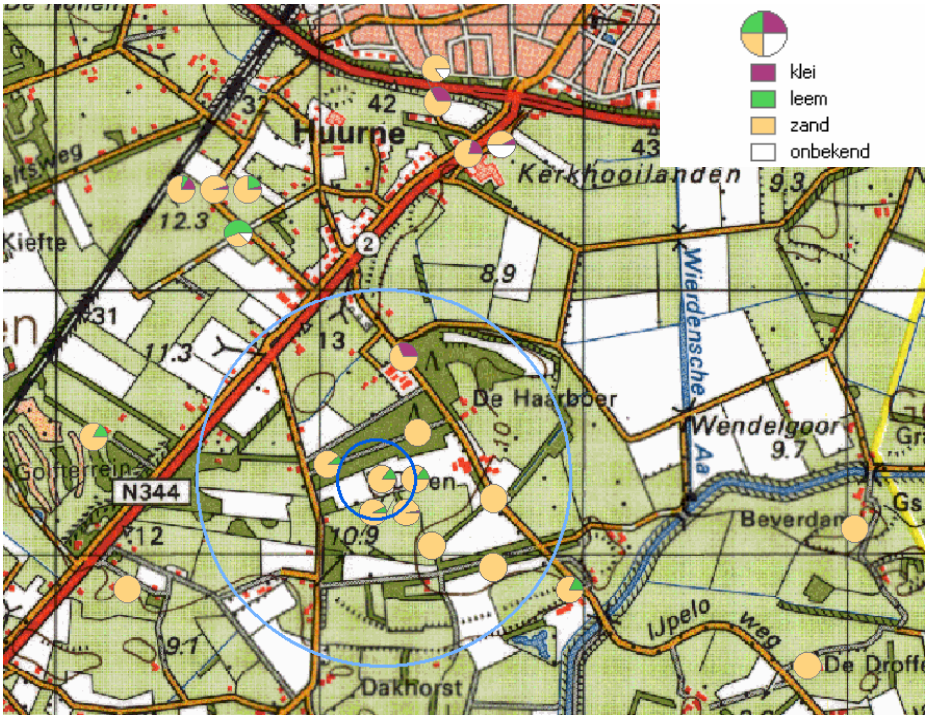
Wanneer de waarden uit de modellen vergeleken worden met de waarden uit de pompproef, dan valt op dat de drie kD-waarden in orde van grootte gelijk zijn. Wat betreft de c-waarden valt op dat er zeer grote verschillen zijn. Uit de pompproef komt een veel hogere c-waarde dan uit beide modellen. Deze discrepantie is verder uitgeplozen door:

1. analyse van de informatie uit boringen, geologie en bodemkaart;
2. analyse van de invloed van de drainagesituatie.

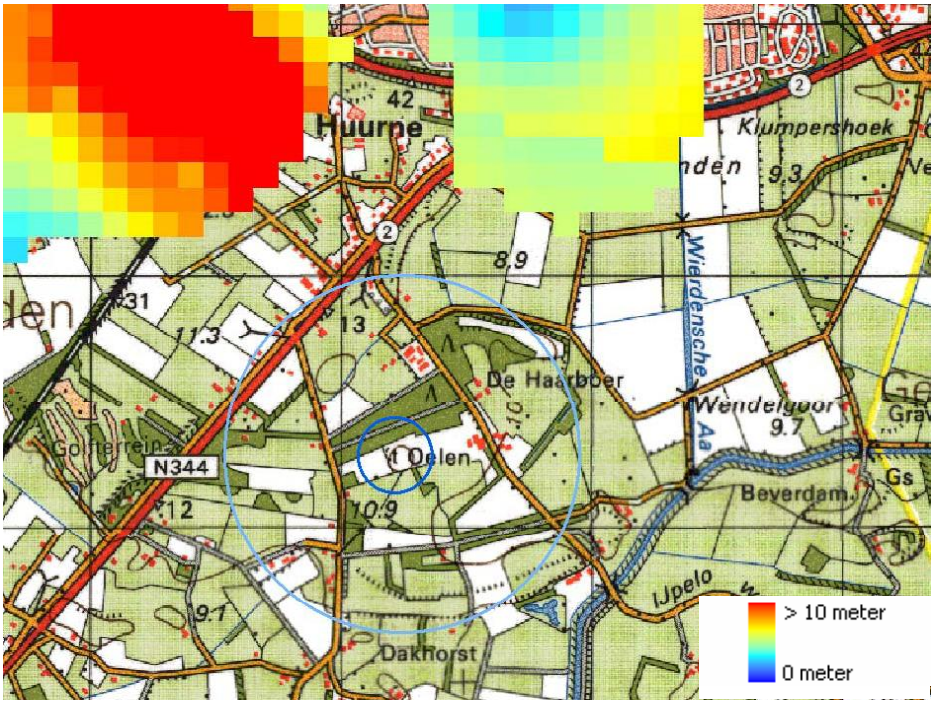
Analyse discrepantie in c-waarden

1. Informatie uit boringen, geologie en bodemkaart

In boringen wordt hier en daar leem en klei aangetroffen. In Figuur 3.11 is van diverse boringen de eerste 20 m visueel weergegeven met een taartdiagram. In het grootste deel van het invloedsgebied van de pompproef worden zandige afzettingen gevonden in de eerste 20 m van de boringen. Noordelijker worden meer lemen en kleien aangetroffen. De lemen zijn waarschijnlijk Holocene beeklemen, de kleien zijn naar alle waarschijnlijkheid gestuwd materiaal van de ondiep voorkomende stuwwal waarop Wierden gelegen is (het langgerekte patroon van hoge c-waarden in Figuur 3.8-F).



Figuur 3.11: Overzicht boringen in en rond invloedsgebied pompproef



Figuur 3.12: Dikte van het gestuwde materiaal van de stuwwal onder Wierden volgens de meest recente geologische kartering (LKN)

Op basis van recente kartering ten behoeve van de landelijke geologische kartering (TNO-NITG, 2004) blijkt deze stuwing niet meer voor te komen in het invloedsgebied van de pompproef (Figuur 3.12).

Ook de bodemkaart geeft geen indicatie dat er significant veel weerstandbiedend materiaal voorkomt in het invloedsgebied wat voor een gemiddelde weerstand van enkele duizenden dagen kan zorgen.

Om een weerstand van 7000 dagen te krijgen zou er een aansluitend pakket van 26 m klei of 640 m leem moeten voorkomen (gebaseerd op standaard verticale k-waarden van respectievelijk 0.0066 m/dag voor klei en 0.16 m/dag voor leem. Zowel het Wierden-model als het WRD-model gaan uit van een freatisch systeem, waarvoor een c-waarde van 7000 niet reëel is.

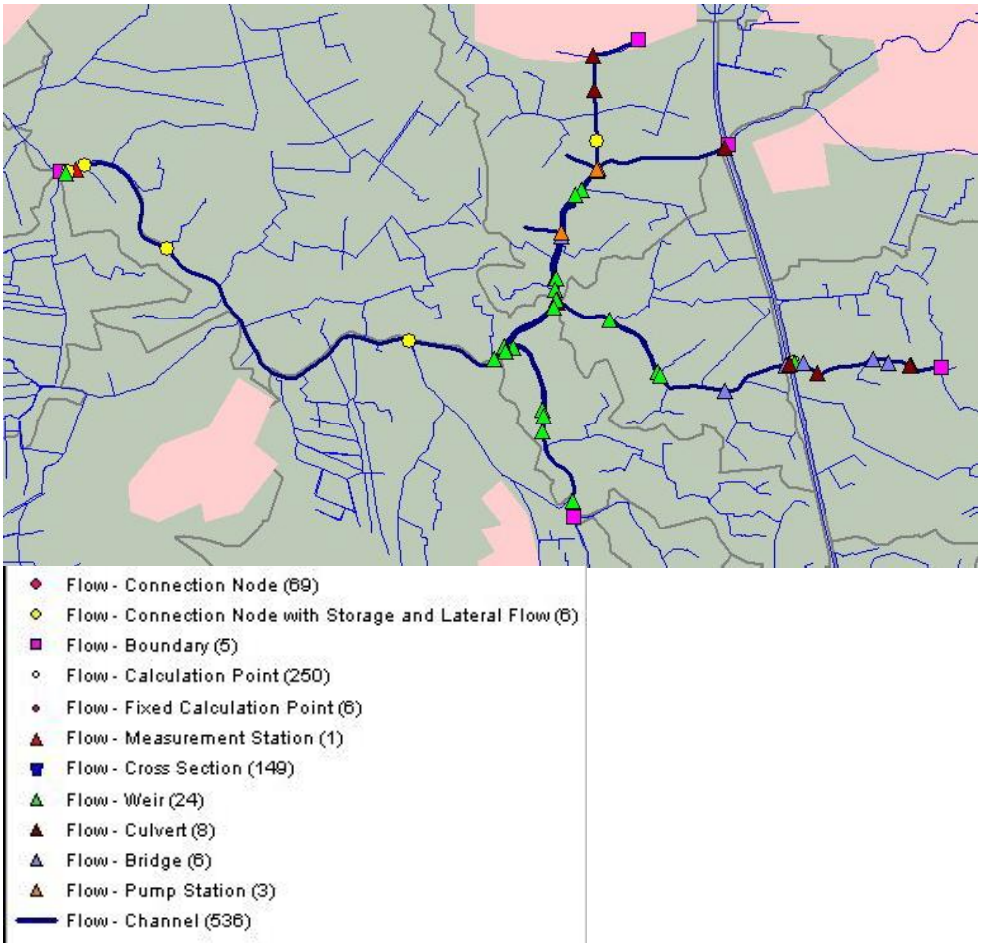
2. Analyse van de invloed van de drainagesituatie
Het is lastig de ruimtelijk gedifferentieerde grondwatermodellen te vergelijken met de analyse van de pompproef. De grondwatermodellen beschrijven het systeem als freatisch en kennen een duidelijk onderscheid tussen weerstand van de ondergrond en weerstand van de waterlopen.

In de analyse van de pompproef wordt gebruik gemaakt van de Hantush-formule. Deze formule is ontwikkeld voor een half afgesloten pakket. Tijdens de analyse worden kD-, c-, en S-waarden geschat. De c-waarde is hier niet alleen een weerstandwaarde welke betrekking heeft op de ondergrond, maar is een voedingsweerstand. Deze voedingsweerstand is een combinatie (niet-lineair) van de ondergrondweerstand en de drainageweerstand van het oppervlaktewatersysteem. Deze is dus niet zonder meer te vergelijken met de ‘ondergrond’ c-waarden uit de grondwatermodellen.

Uit het WRD-model kan echter voor het invloedsgebied van de pompproef wel een drainageweerstand van het oppervlaktewatersysteem worden ingeschat op basis van de gemiddelde afstand tussen de waterlopen en de uittreeweerstand van de waterlopen (benadering van de formule van Ernst). De uittreeweerstand is voor het WRD-model vastgesteld op 3.75 dagen (3 keer de geijkte intreeweerstand van 1.24 dagen). De gemiddelde waterloopafstand is voor de pompproefsituatie bepaald voor de zomer. In de zomer voeren alleen de Wierdense Aa en de Eksoosche Aa water. De afstand van het centrum van de pompproef tot de Eksoosche Aa is 1000 m (de Wierdense Aa ligt verder weg). Dit levert een gemiddelde slootafstand van 2000 m voor het invloedsgebied.
De drainageweerstand komt dan op 7500 dagen voor de zomersituatie. De som van de drainageweerstand en de ondergrondweerstand is 7520 dagen (7500 + 20). Deze waarde is in overeenstemming met de resultaten uit de pompproef. Het moge duidelijk zijn dat de ondergrondweerstand er nauwelijks toe doet in de bepaling van de voedingsweerstand.

4 Modelbouw – Sobek-model

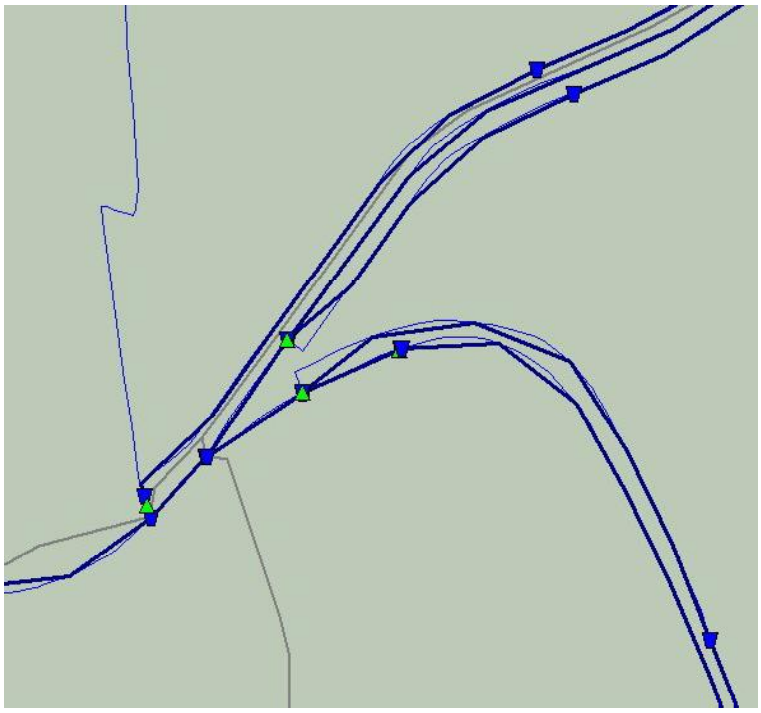
Van het gebied rond het puttenveld en de Eksoosche Aa is een Sobek-model gemaakt in Sobek (Versie 2.09.004), zie Figuur 4.1. Dit model is gebaseerd op een reeds beschikbaar Sobek-model van het oppervlaktewatersysteem van het stroomgebied van de Regge (WL | Delft Hydraulics, 2005).



Figuur 4.1: Sobek-model van Eksoosche Aa

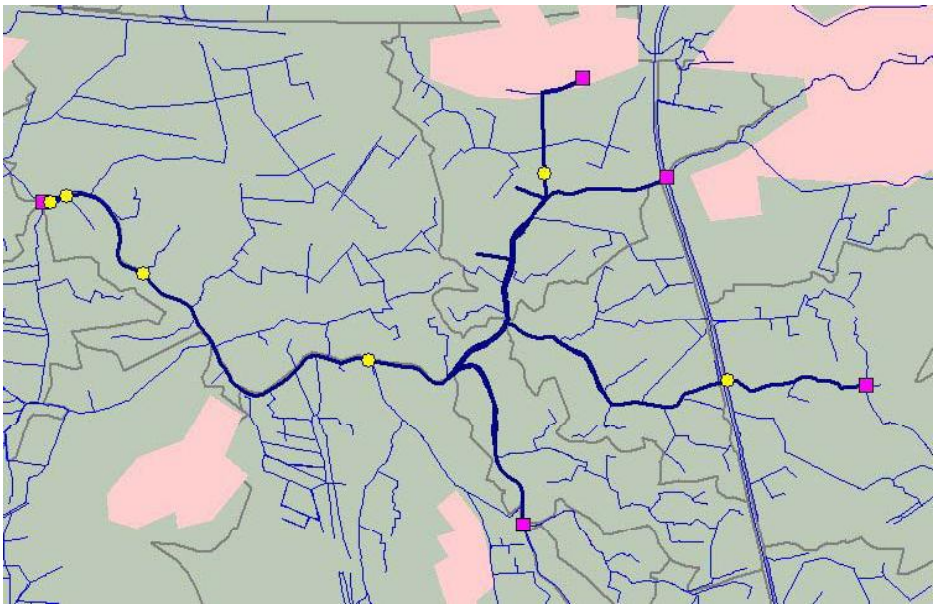
Het model bevat alle relevante kunstwerken, zoals stuwen, duikers en bruggen en gemalen. Daarnaast zijn bergings- en retentiegebieden en buffergebieden in het model geschematiseerd

Bergings- en retentiegebieden
Er zijn een aantal gebieden langs de Eksoosche Aa waar tijdens hoogwaterperioden water geborgen wordt. Allereerst zijn er een aantal retentie gebieden, die 'vollopen' nadat een kade overstroomt. Deze retentiegebieden zijn gemodelleerd als parallelle waterlopen, zie Figuur 4.2 als voorbeeld.



Figuur 4.2: Retentiegebieden langs de Eksoosche Aa

Daarnaast zijn er natuurlijke depressies in het landschap die tijdens hoogwaterperioden als bergingsgebied functioneren. In het modelgebied zijn deze gebieden als 6 bergingsgebieden geschematiseerd, zie Figuur 4.3. Met behulp van het AHN is voor deze gebieden de peil-oppervlakterelatie bepaald.



Figuur 4.3: Bergingsgebieden, geschematiseerd in de gele Sobek-knopen

Buffergebieden
Het Sobek-model is voorzien van twee buffergebieden, nl. buffergebied A en I. Deze gebieden zijn zodanig gemodelleerd dat door middel van een gemaal een vast peil wordt gehandhaafd gedurende de periode 15 augustus tot 15 april. Tijdens deze periode infiltreert water in de grond, wat vervolgens wordt berekend via de koppeling met Modflow.

In het Sobek-model is geen verdamping uit de buffergebieden gesimuleerd.

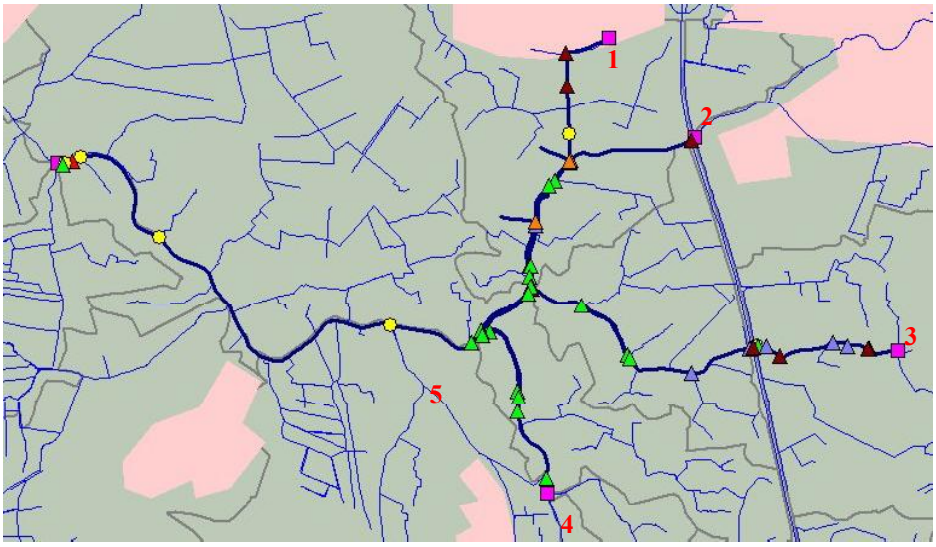
Alle relevante gegevens van de buffergebieden zijn vermeld in Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Gegevens buffergebieden

	Buffergebied A	Buffergebied I
Oppervlakte [ha]	22,99	17,64
Streefpeil [m+NAP]	8,05 – 8,10	8,55 – 8,60
Bodemhoogte [m+NAP]	8,00	8,00
Periode handhaven streefpeil	15 augustus tot 15 april	15 augustus tot 15 april
Capaciteit gemaal [m3/s]	0,1	0,2
Locatie gemaal/aftakking	236941, 483337	237407, 481185

4.1 Afvoer stedelijk gebied

In Modflow is het niet mogelijk het effluent van RWZI's te simuleren. Dit resulteert met name in de zomer periode in een te lage afvoer op het oppervlaktewatersysteem. Om dit te ondervangen is de Droog Weer Afvoer (DWA) van de RWZI's geinventariseerd en toegevoegd aan het Sobek-model. Een goede benadering van de DWA kan verkregen worden uit de gemeten effluentcijfers in een (droge) zomer. In Tabel 4.2 is het gemeten effluent vermeld, alsmede op welke rand van het Sobek-model dit effluent instroomt. De nummers van de randen zijn vermeld in Figuur 4.4.



Figuur 4.4: Sobek model Wierden, met nummering randen

Tabel 4.2: Gemeten effluent (laagst gemeten per decade) van een aantal RWZI's in de zomer van 1996

RWZI	Effluent [m^3/s]	Toevoegen aan rand
Hengelo	0.120	2
Enschede-West	0.160	4
Rossum	0.002	2
Weerselo	0.004	2
Almelo-Sumpel	0.130	2
Rijssen	0.040	5
Oldenzaal	0.070	2
Enter	0.010	5
Goor	0.040	4
Delden	0.015	4
Ens-zuid	0.050	4
Boekelo	0.005	4

Samengevat wordt modelrand 2 belast met 0.326 m^3/s effluent, modelrand 4 met 0.27 m^3/s en modelrand 5 met 0.05 m^3/s.

5 Vergelijking MoSo – MoDuflow

In dit hoofdstuk worden de uitkomsten van het MoSo-model vergeleken met de uitkomsten van het reeds bestaande Modflow-Duflow (MoDuflow) model van de Wierden-regio. DHV heeft met MoDuflow de periode oktober 2000 t/m september 2001 doorgerekend. TNO en WL hebben met MoSo de periode januari t/m december 2001 doorgerekend. De gemeenschappelijke periode bedraagt dus januari t/m september 2001. De toetsing wordt uitgevoerd aan de hand een eerder door DHV doorgerekend scenario (scenario 14).

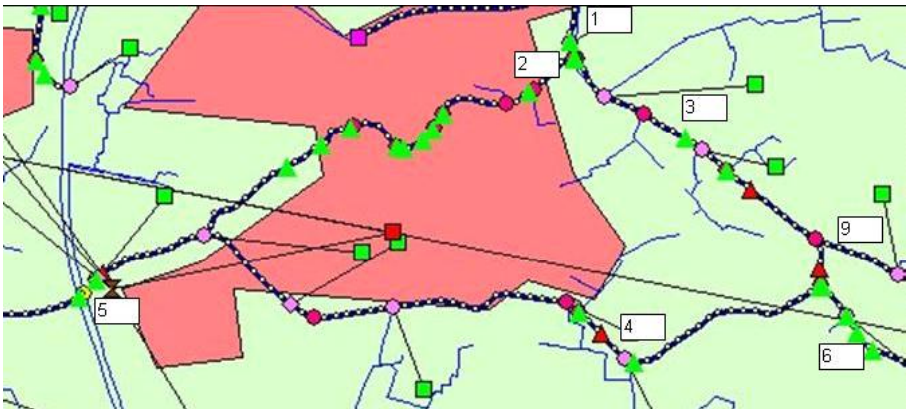
De modellen hebben grote overeenkomsten, maar zijn op een aantal punten verschillend. Enkele belangrijke verschillen zijn:
- de opbouw van de ondergrond verschilt;
- het hoofdwaterlopenstelsel in Sobek is uitgebreider;
- in het MoSo model zijn retentiegebieden opgenomen, die watervoerend kunnen worden bij hoge afvoer. In de periode januari t/m september 2001 blijken die echter niet of nauwelijks bij te dragen aan afvoer of berging. In dat opzicht is een vergelijking met het MoDuflow model, waarin deze retentiegebieden niet geschematiseerd zijn, objectief;
- in MoDuflow wordt als randvoorwaarde bovenstrooms de gemeten afvoer ingevoerd, terwijl MoSo met Modflow berekende afvoeren hanteert.

De vergelijking tussen de twee modellen bestaat uit het vergelijken van:
- de wateraanvoer op het bovenstroomse punt 85_s4 (punt 2 in Figuur 4.4);
- afvoeren en waterstanden op verschillende plaatsen in het gebied;
- berekende waterpeil in de buffergebieden;
- grondwaterstanden en stijghoogtes met en zonder puttenveld;
- 25-jaars intrekgebied.

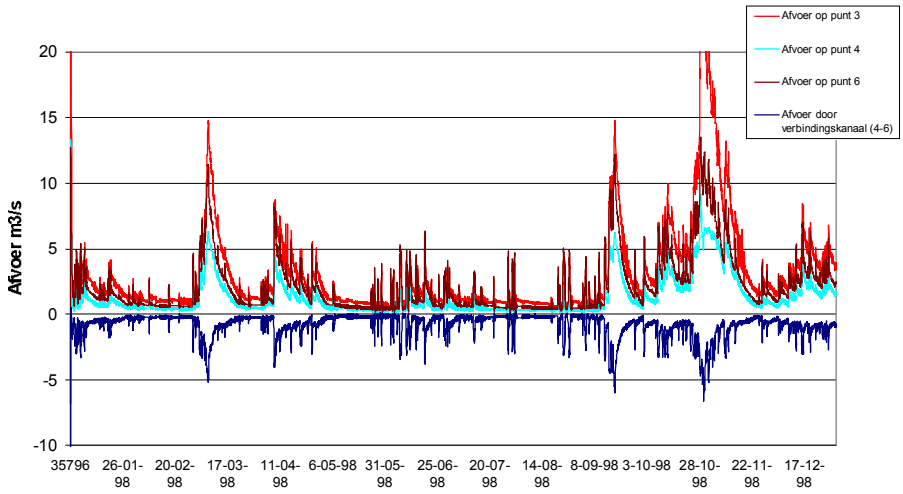
5.1 Wateraanvoer op het bovenstroomse punt 85_s4

Het watersysteem bovenstrooms van het Wierden-gebied is complex en sterk door de mens beïnvloed. Het oppervlaktewater stroomt daardoor niet zondermeer volgens de hoogteligging van het gebied af. De berekende afvoer geeft dan ook een duidelijke afwijking te zien als uitsluitend wordt gerekend met op basis van AHN bepaalde stroomgebieden. Bovenstrooms van punt 85_s4 is een belangrijke wijziging in het natuurlijke watersysteem aangebracht waardoor de afvoer ter plaatse sterk is verminderd.

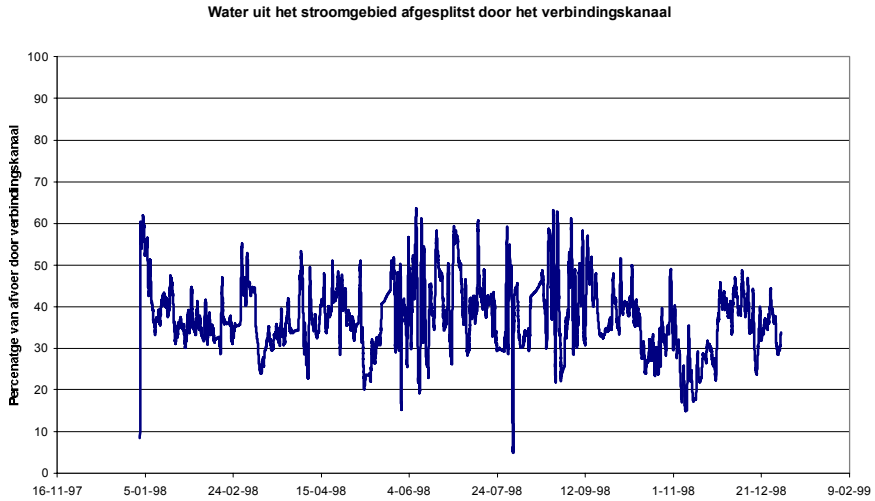
Figuur 5.1 laat de afvoersituatie zien in het gebied vlak voordat het oppervlaktewater het gekoppeld gebied binnen stroomt (punt 5). Water dat langs punten 4 en 2 stroomt, watert af op punt 5 (het gekoppelde modelgebied). Er stroomt echter ook water vanuit punt 6 naar punt 3 dat niet via punt 2 afwatert op punt 5. Figuren 5.2 en 5.3 laten zien dat ongeveer 40% van het water vanuit punt 6 naar punt 3 stroomt. Het debiet dat van punt 3 naar 2 stroomt is te verwaarlozen. Deze ‘afslag’ in het watersysteem is echter niet opgenomen in de op basis van AHN geïdentificeerde stroomgebieden in het Modflow-model. Om dit te ondervangen is dit nu ad hoc eenvoudig gemodelleerd door 40% van de afvoertermen uit het bovenstroomse stroomgebied te verwijderen.



Figuur 5.1: Afvoersituatie bovenstrooms van het gekoppelde Wierden-modelgebied

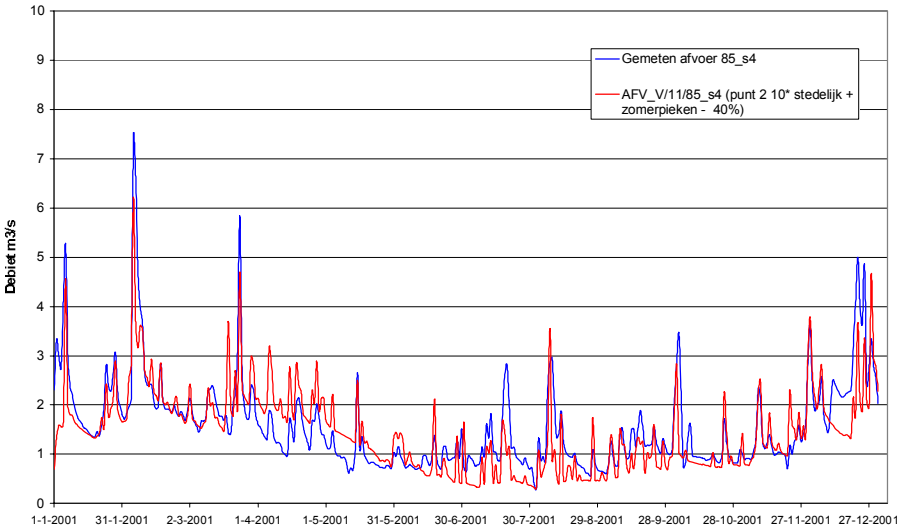


Figuur 5.2: Analyse van met het Regge-model over 1998 berekende afvoeren



Figuur 5.3: Berekende percentage van het oppervlaktewater dat als gevolg van het verbindingskanaal niet naar het Wierden-gebied stroomt

Figuur 5.4 toont de gemeten en aldus berekende afvoeren voor het bovenstroomse punt 85_s4. De berekende afvoer bevat naast de door Modflow berekende fluxen tevens een geschatte afvoer van de bovenstroomse gelegen RWZI's.



Figuur 5.4: Gemeten en met Modflow berekende afvoeren op afvoerpunt 85_s4

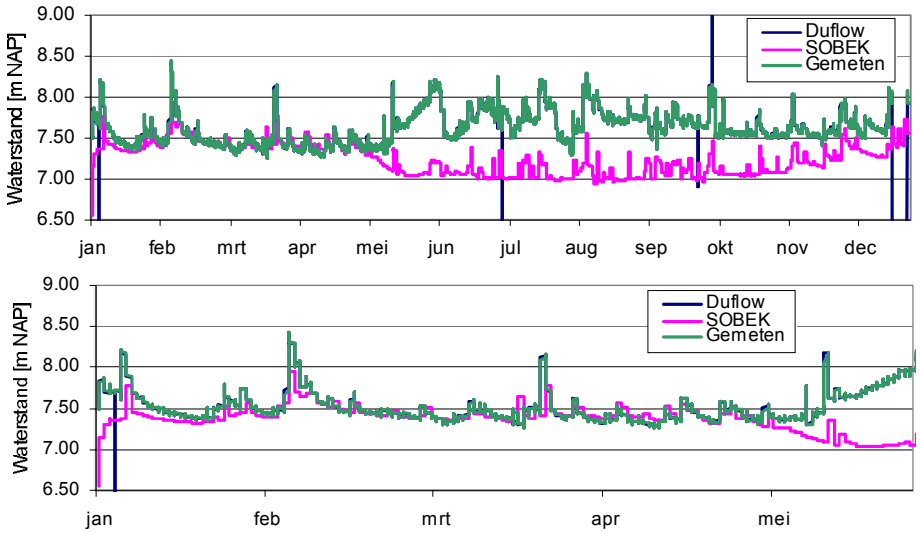
Meting en berekening vertonen een duidelijke overeenkomst, hoewel de berekende afvoer in de zomer enigszins te laag is. Verdere verbetering hiervan kan worden bereikt door aan het model bovenstrooms een Sobek-model toe te voegen waarmee nauwkeuriger het watersysteem in is verwerkt. Dit gebeurt in de volgende fase van dit Delft-Cluster project.

5.2 Vergelijking simulatieresultaten MoSo voor scenario 14 met gemeten peilen

Bij gemaal Wierden worden waterstanden gemeten (aan beide zijden). In Figuur 5.5 is deze waterstand vergeleken met de door MoSo gesimuleerde waterstand. Van januari t/m april simuleert MoSo de gemeten waterstand vrij goed, uitgezonderd een onderschatting van de waterstand tijdens piekafvoeren. Dit komt overeen met de eerdere conclusie dat MoSo de gemeten piekafvoer onderschat.

Vanaf eind april blijkt de waterstandssimulatie te laag te zijn. Oorzaak is het instellen van een zomerpeil van 7.00 m+NAP van stuw Notter, gelegen aan het uitstroompunt van het model. Blijkbaar is deze reguliere stuwinstelling in 2001 niet toegepast door het waterschap.

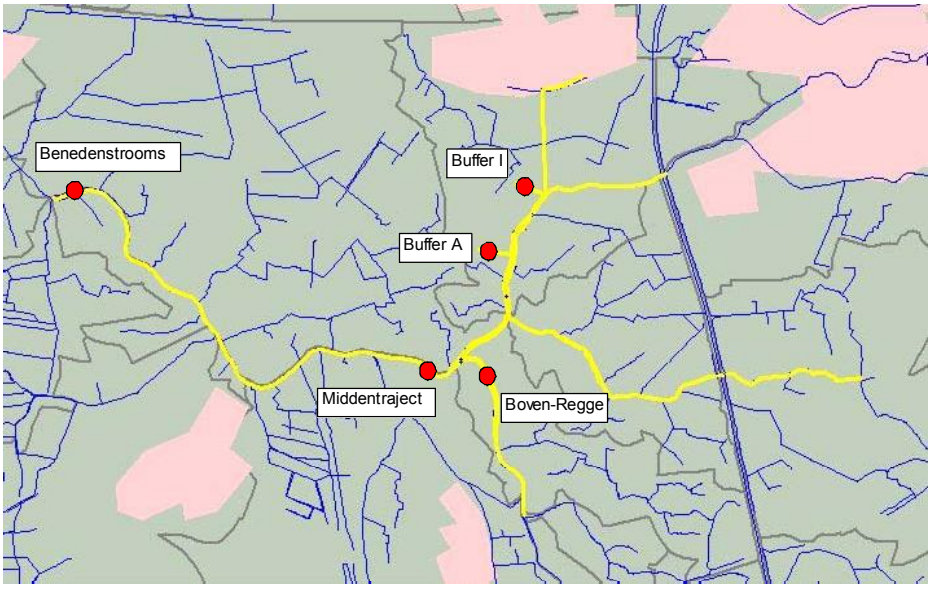
De waterstanden in Figuur 5.5 kunnen ook nog vergeleken worden met die door MoDuflow gesimuleerd zijn. Te zien is dat MoDuflow de waterstand exact simuleert, op een paar uitschieters na. Dit is niet verwonderlijk, want in MoDuflow is de gemeten afvoer als randvoorwaarde op het Duflow model gelegd. In feite zijn de simulaties van MoSo en MuDuflow moeilijk vergelijkbaar, omdat de uitgangspunten van beide modellen op een aantal belangrijke punten verschillen.



Figuur 5.5: Gemeten waterstanden en de met MoDuflow ("Duflow") en MoSo ("SOBEK") gesimuleerde waterstanden ter plaatste van gemaal Wierden, voor het gehele jaar 2001 (boven) en voor de periode januari t/m mei (onder)

5.3 Berekende waterstanden en afvoeren

Op een aantal locaties, aangegeven in Figuur 5.6, is de afvoer en waterstand vergeleken.

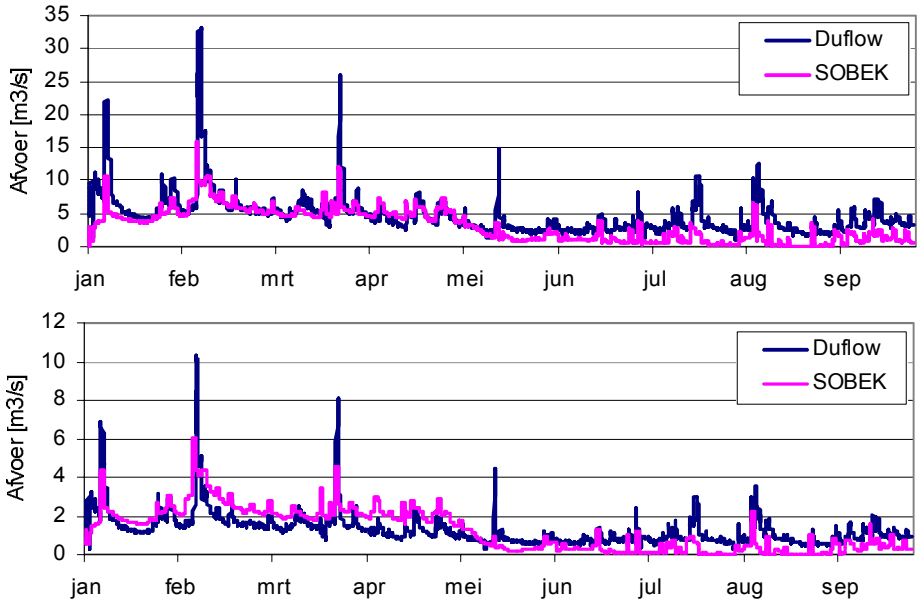


Figuur 5.6: Locaties voor vergelijking resultaten MoDuflow en MoSo

Zowel bij de afvoer benedenstrooms als bij de afvoer in de Boven-Regge is te zien dat de afvoer in MoDuflow en MoSo in de winter redelijk overeen komen (behalve enkele piekafvoeren), zie Figuur 5.7. In de zomer laat het MoSo-model echter een lagere afvoer zien. Voor het beoordelen van deze verschillen moeten de aannames in

beschouwing worden genomen: MuDuflow maakt gebruik van de gemeten afvoer bij Almelo die het modelgebied instroomt, die is omgeslagen over alle overige modelranden. MoSo berekent de afvoer zelf. De afvoer is afkomstig uit het bovenstroomse gedeelte van het model. Aan dit deel van het bestaande model is in dit project niets gewijzigd. De berekening van de afvoer zou zonder meer kunnen worden verbeterd, als ook in dit gebied een Sobek-model wordt toegevoegd.

Als wordt aangenomen dat de gemeten afvoer correct is, moet worden geconstateerd dat de afvoersimulatie in het MoSo-model in de zomer structureel te laag is. Dit heeft geen gevolgen voor het doel van dit project: in de zomer staan de gemalen van de beide buffergebieden uit en is er dus geen water uit de Eksoosche Aa nodig voor het op peil houden van de waterstand in de beide buffers. Bovendien heeft een te lage afvoer nauwelijks invloed op de waterstand. De waterstand wordt vooral bepaald door het stuwbeheer.

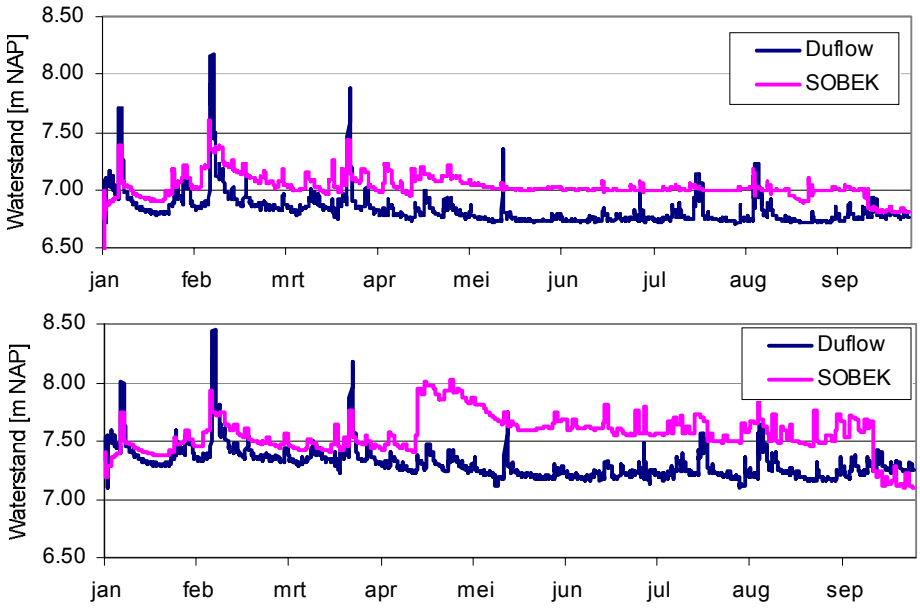


Figuur 5.7: Met MoSo en MoDuflow over 2001 berekende afvoeren benedenstrooms (boven) en in de Boven-Regge (onder)

Figuur 5.8 toont de berekende waterstanden op twee punten. In beide figuren is een systematisch verschil waarneembaar, dat wordt veroorzaakt door het stuwbeheer van Waterschap Regge en Dinkel (het instellen van het zomerpeil in de Boven-Regge, zie Figuur 5.8, en het streefpeil van de meest benedenstroomse stuw, dat een minimale kruinhoogte van 6.80/7.02 m+NAP kent (2 kleppen)).

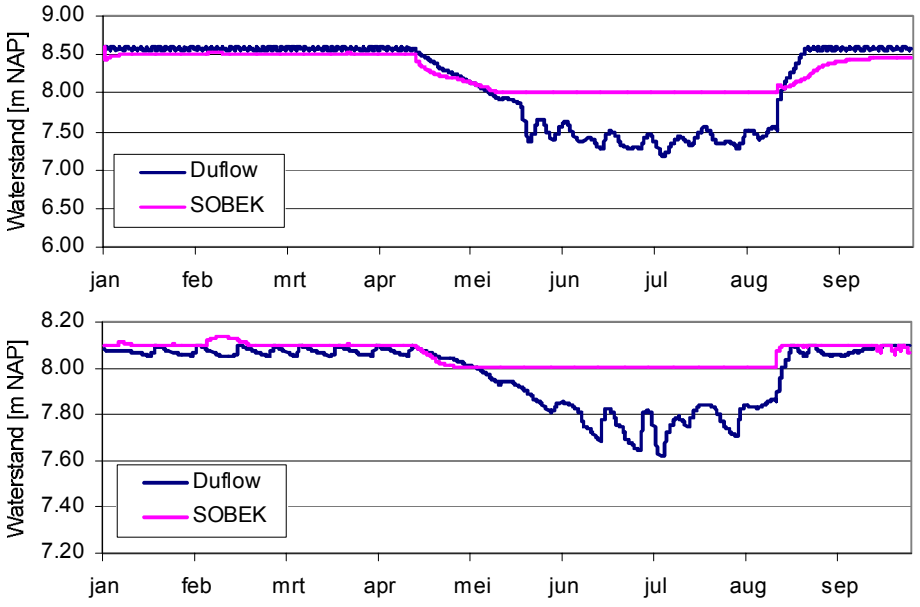
5.4 Berekende waterpeil in de buffergebieden

Figuur 5.9 toont de met Sobek en Duflow berekende waterstanden in de buffers I en A. In het MoDuflow-model zakt de oppervlaktewaterstand in de zomer in de buffergebieden ogenschijnlijk verder uit dan in het MoSo model. Zowel in MoSo als in MoDuflow is conform het ontwerp als hoogteligging van de bodem van de beide buffergebieden 8.00 m+NAP aangehouden.

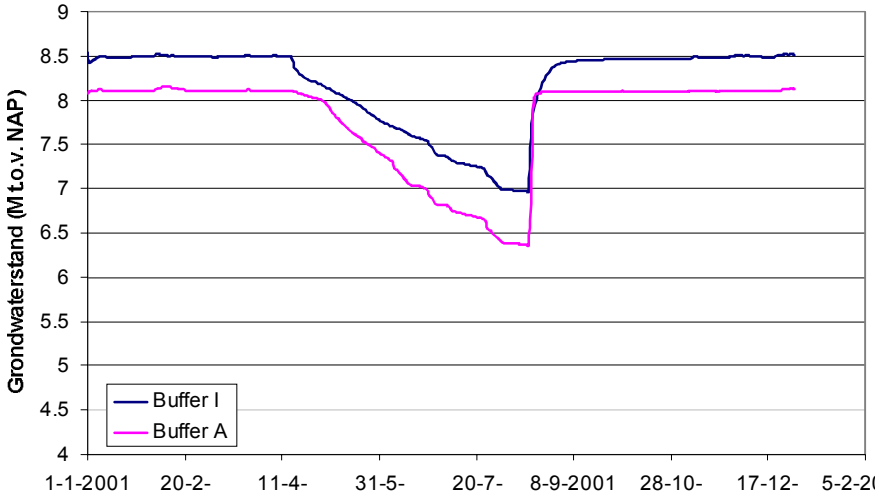


Figuur 5.8: Met MoSo en MoDuflow over 2001 berekende waterstanden in het middentraject (boven) en de Boven-Regge (onder)

Bij navraag bij DHV blijkt dat de reden waarom het oppervlaktewaterpeil onder de bodem zakt van numerieke aard is: in de schematisatie van de dwarsprofielen in Duflow is een zogenaamd Preismann-slot ingebouwd. Dit is een smalle diepe sleuf in het midden van het profiel, nodig om in Duflow de stabiliteit van de berekening te garanderen. Als het peil in deze sleuf wegzakt, betekent dat dat de watergang leeg staat. Het berekende peil moet niet verward worden met de grondwaterstand in Figuur 5.10.

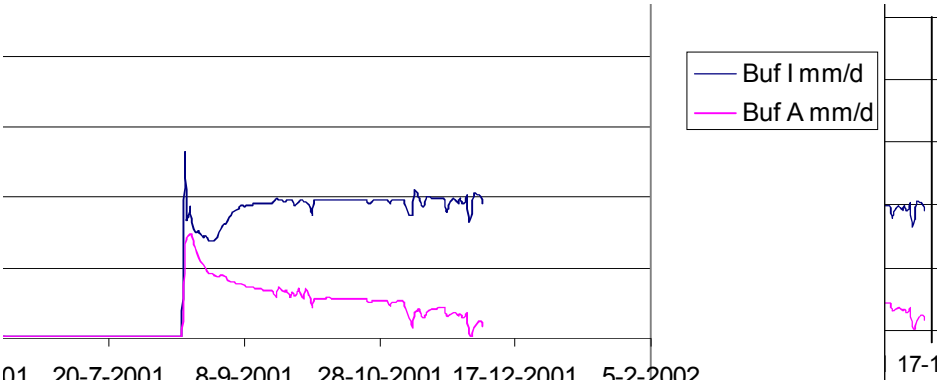


Figuur 5.9: Vergelijking van de met MoSo en MoDuflow over 2001 berekende waterstanden (m+NAP) in de buffers I (boven) en A (beneden)



Figuur 5.10: Grondwaterstanden berekend met Modflow voor buffergebied A (roze) en I (blauw)

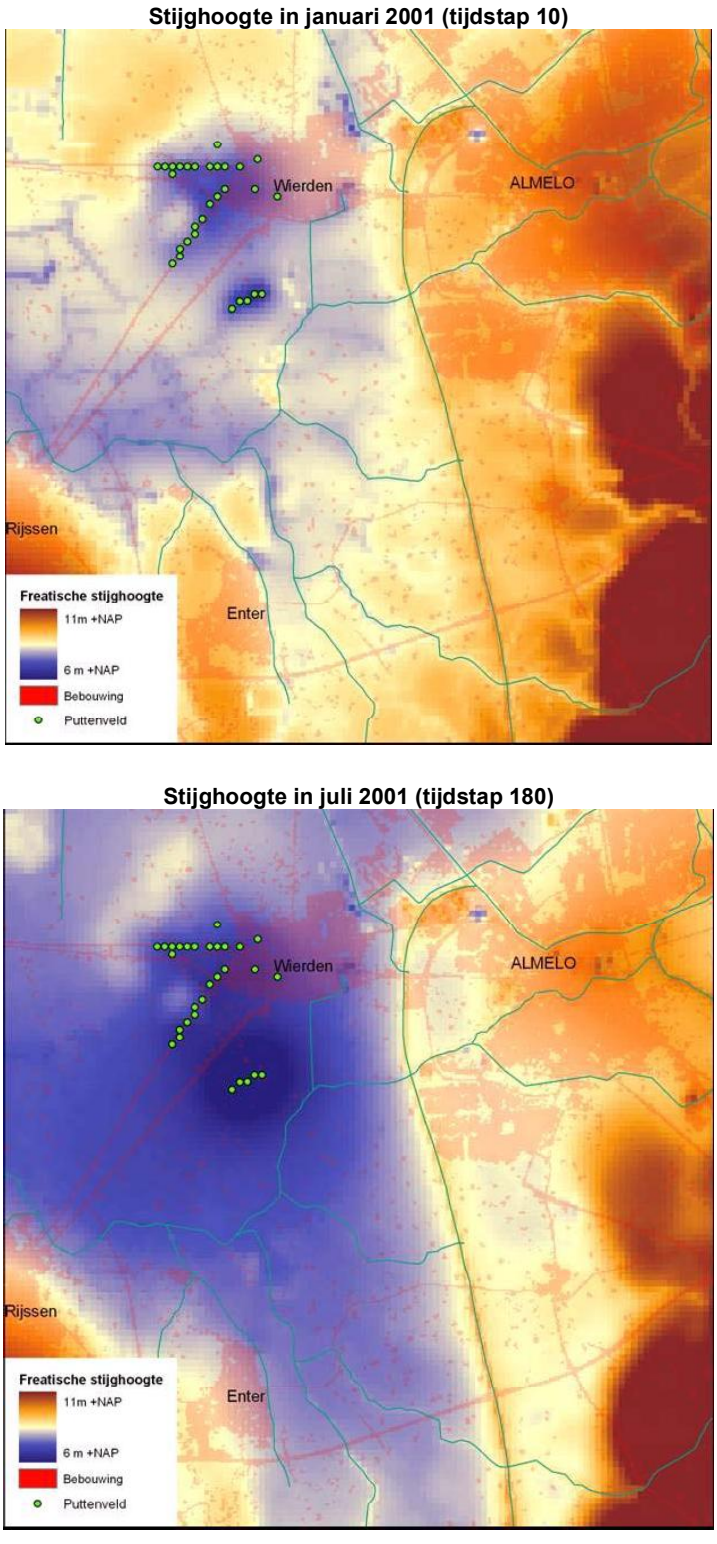
Figuur 5.11 toont vervolgens de met Modflow berekende infiltratiefluxen.



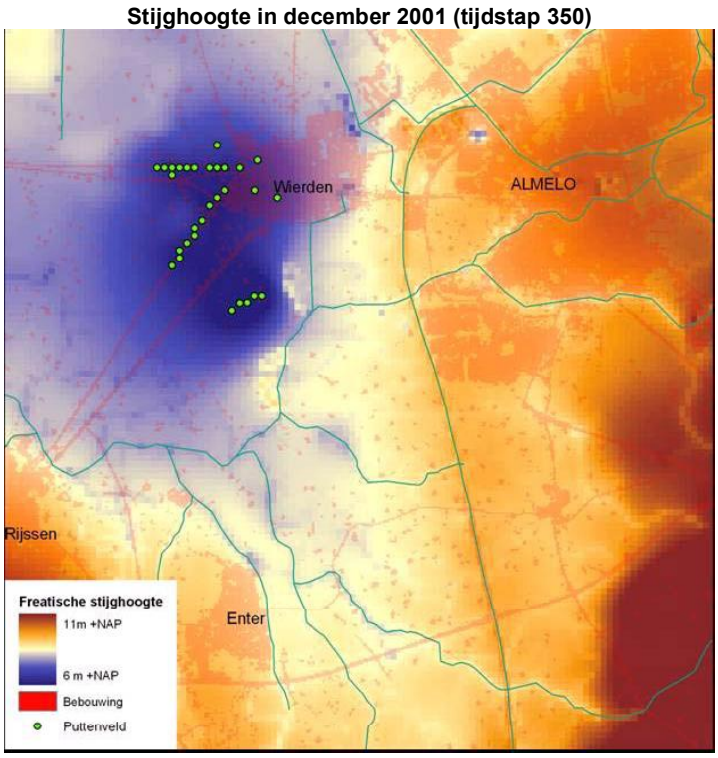
Figuur 5.11: Infiltratiefluxen berekend met Modflow voor buffergebied A (roze) en I (blauw)

5.5 Berekende stijghoogte met nieuw puttenveld

Figuur 5.12 toont drie kaarten van de berekende stijghoogten in januari (tijdstap 10), juli (tijdstap 180) en december 2001 (tijdstap 350). Duidelijk is te zien dat de twee buffergebieden een invloed hebben op de verlaging van de stijghoogte. In de winter zijn de buffergebieden zichtbaar in het stijghoogtepatroon en in de zomer niet.



Figuur 5.12: Berekende stijghoogte in januari, juli en december 2001



Figuur 5.12 (vervolg): Berekende stijghoogte in januari, juli en december 2001

5.6 Effect van nieuwe puttenveld en buffers op de stijghoogte

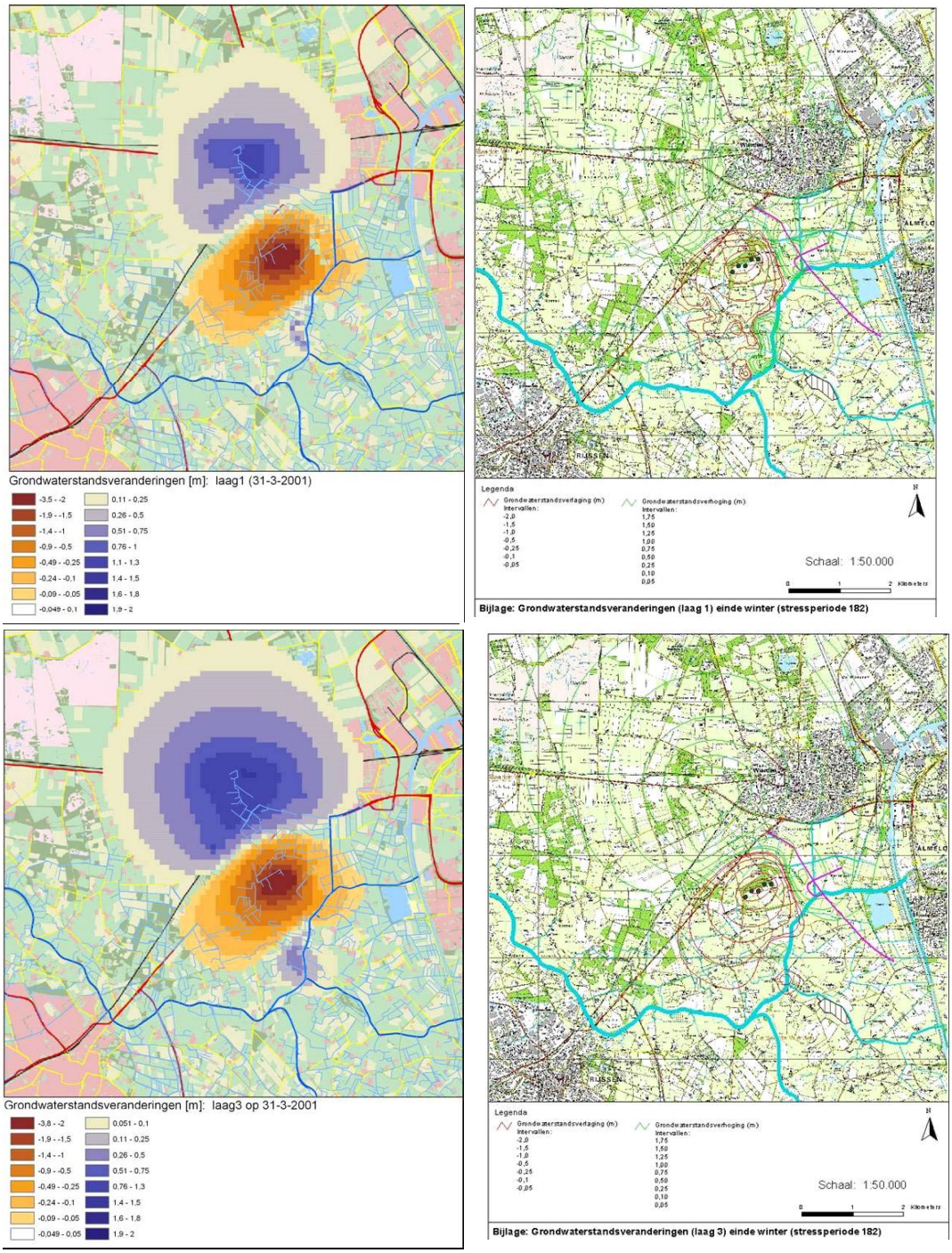
Met het Wierden-model zijn twee scenario's doorgerekend, te weten, het referentiescenario en scenario 14. Het referentiescenario bevat het bestaande puttenveld zonder buffergebieden. Scenario 14, afkomstig uit de DHV-studie met het MoDuflow-model, bevat het nieuwe puttenveld en twee buffergebieden. De onderstaande drie figuren tonen het effect van Scenario 14 ten opzichte van het referentiescenario. De linkerfiguur is steeds berekend met het MoSo-model, de rechter door MoDuflow.

Figuur 5.13 toont de situatie op 31 maart 2001. Het effect van de buffergebieden is in het vroege voorjaar zowel in laag 1 als 3 duidelijk aanwezig. De buffergebieden hebben echter een minder groot effect dan de berekening met MoDuflow laat zien.

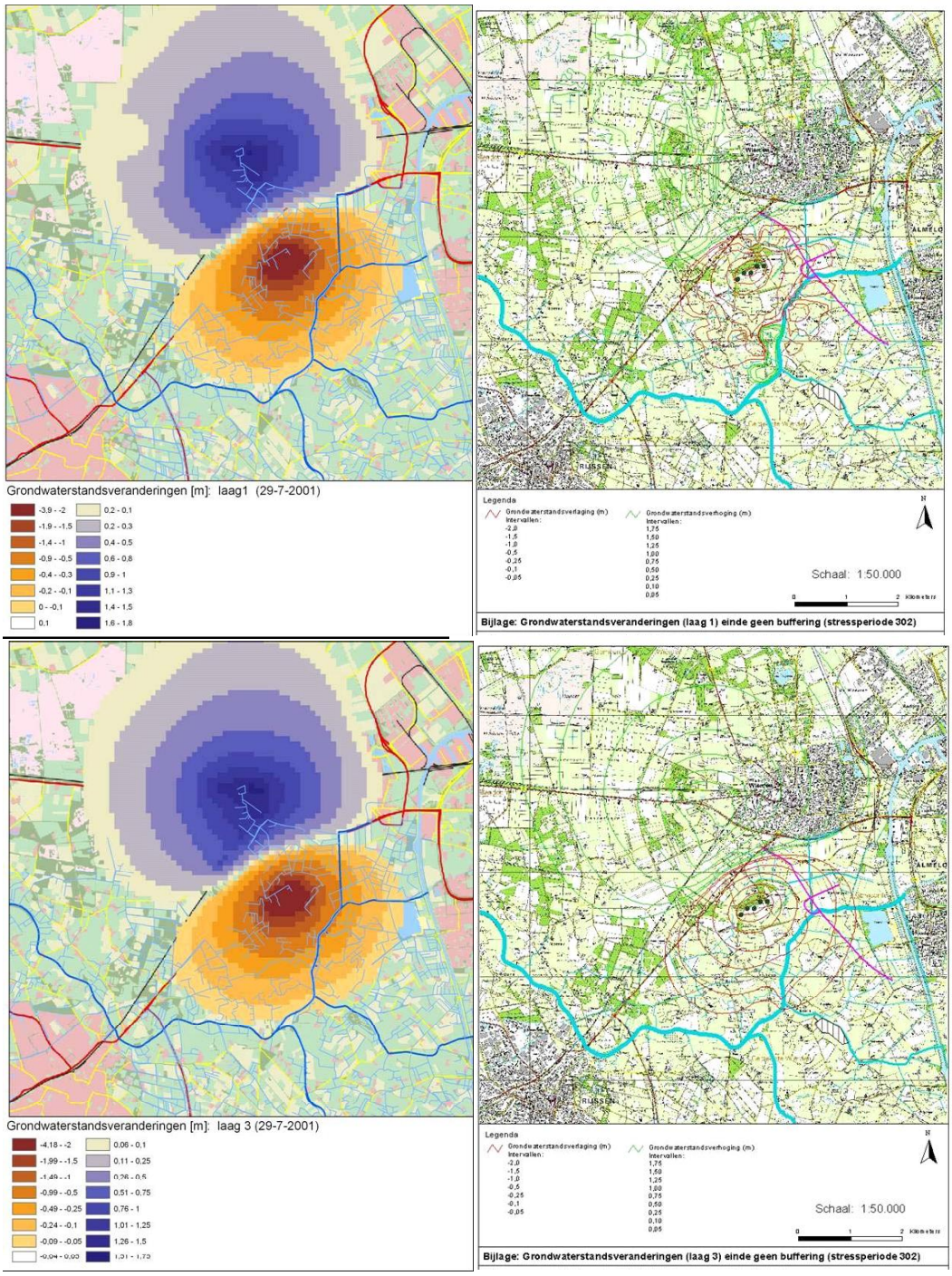
Figuur 5.14 toont de situatie op 29 juli 2001. In de droge periode is het effect van de nieuwe winning duidelijk zichtbaar door een grote verlaging van de grondwaterstand in lagen 1 en 3. Het verschil in modellaag 1 wordt grotendeels verklaard doordat de buffergebieden in MoDuflow nog water bevatten en in MoSo niet. De resultaten voor modellaag 3 vertonen een grote gelijkenis.

Figuur 5.15 toont de situatie op 30 september 2001. In het najaar worden de buffers weer met water gevuld. Na de droge zomer hebben de buffers een groot vernattend effect. De grondwaterstanden in de lagen 1 en 3 komen in de hele omgeving omhoog en de verlagende effecten van de nieuwe putten worden voor een belangrijk deel teniet gedaan. Dit effect is ook te zien in de MoDuflow berekening, maar in mindere mate.

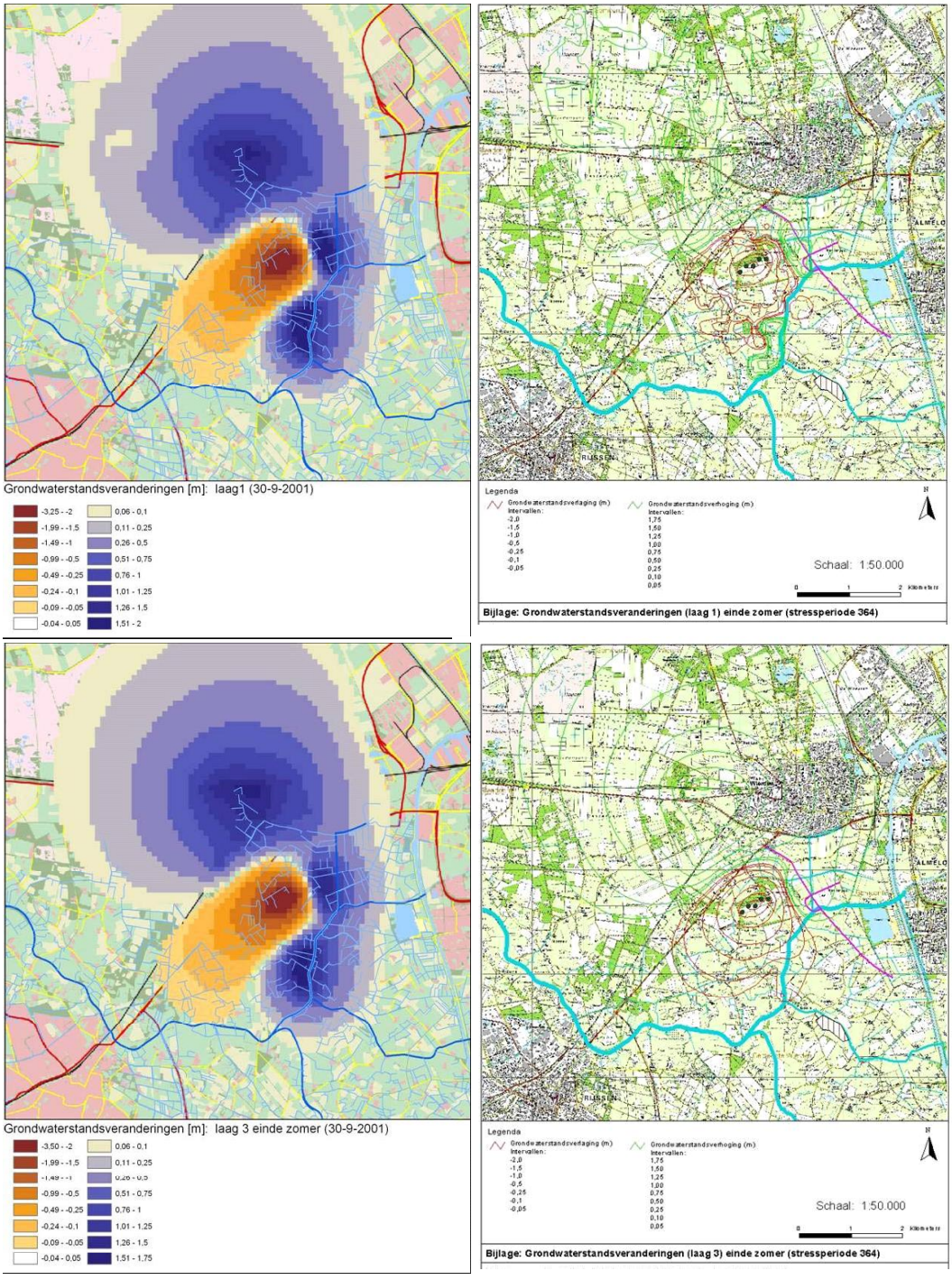
Over het algemeen laten de verlagingen berekend met MoDuflow en MoSo een redelijke overeenkomst zien. Beide modellen berekenen een duidelijke invloed van de buffergebieden. De verlagingen berekend in modellaag 3 komen goed overeen. De verlagingen berekend in modellaag 1 zijn met MoSo iets groter dan berekend met MoDuflow. Daar waar in MoSo de contouren voor modellaag 1 vrij glad zijn, zijn die uit MoDuflow nogal grillig. Deze verschillen kunnen goed worden verklaard door een hogere verticale hydraulische weerstand in MoDuflow (ca. 200 dagen) dan in MoSo (ca. 10 dagen) tussen de lagen 1 en 3. Het effect van de onttrekking in laag 3 wordt daardoor in MoDuflow sterker gedempt.



Figuur 5.13: Grondwaterstandsverandering berekend door MoSo (links) en MoDuflow (rechts) in laag 1 (boven) en in laag 3 (onder) op 31 maart 2001



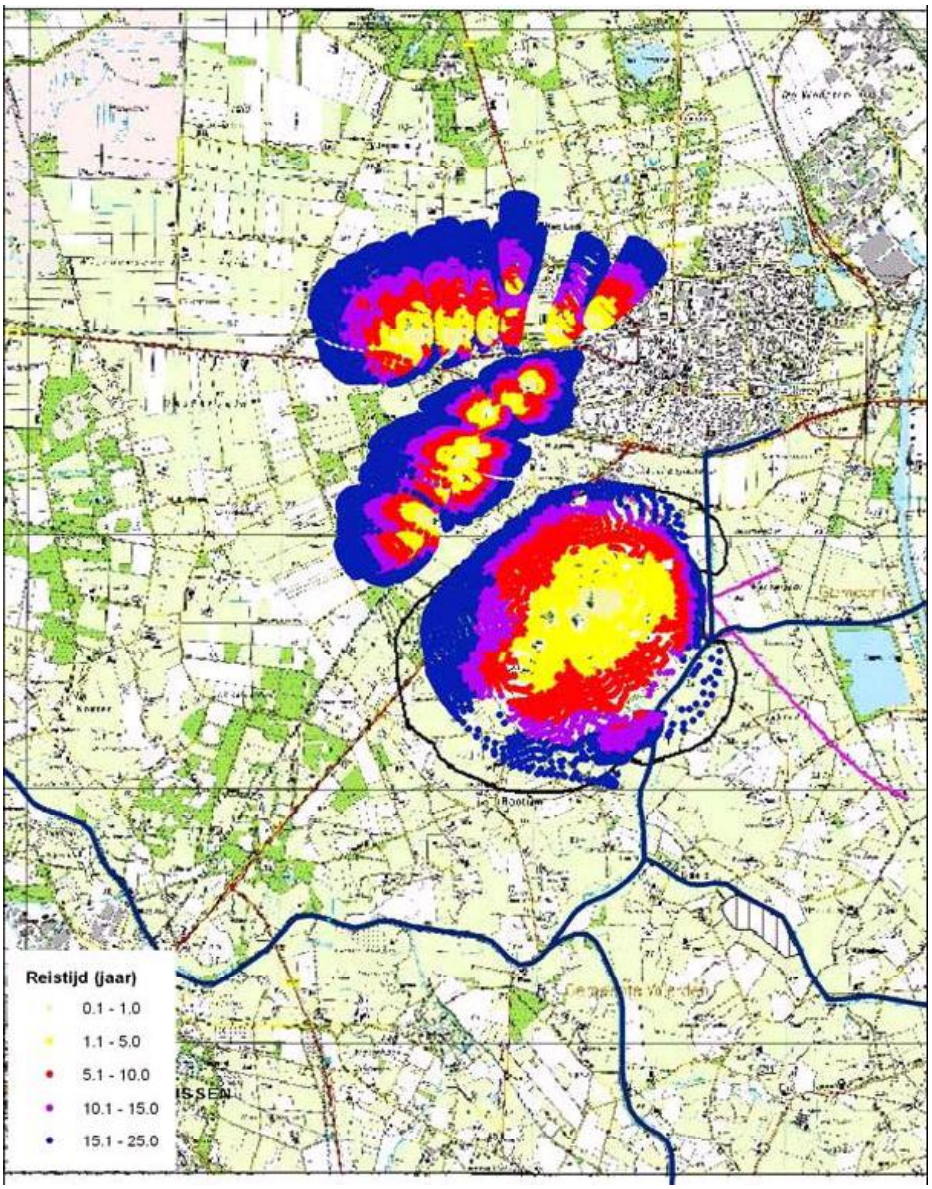
Figuur 5.14: Grondwaterstandsverandering berekend door MoSo (links) en MoDuflow (rechts) in laag 1 (boven) en in laag 3 (onder) op 29 juli 2001



Figuur 5.15: Grondwaterstandsverandering berekend door MoSo (links) en MoDuflow (rechts) in laag 1 (boven) en in laag 3 (onder) op 30 september 2001

5.7 Effect van het nieuwe puttenveld en buffers op de 25-jaarszone

De resultaten voor de 25-jaarszone voor scenario 14 zijn in Figuur 5.16 weergegeven. De gekleurde gebieden geven de reistijden van een waterdeeltje in jaren door MoSo berekend weer. De zwarte cirkel geeft de 25-jaarszone weer die door MoDuflow is berekend. In de figuur is te zien dat de 25-jaarszone in het MoDuflow model een groter gebied bestrijkt dan door MoSo. Dit is opnieuw te verklaren door de hogere weerstanden in MoDuflow. Naast de hogere verticale weerstand tussen laag 2 en laag 3 heeft ook de drainageweerstand van de deklaag ter plaatse van de buffergebieden in MoDuflow een waarde van 1 dag heeft en in MoSo een waarde van 10 dagen.



Figuur 5.16: 25-jaarszone MoSo (in kleur) en MoDuflow (zwarte contour)

6 Conclusies

In dit project is door TNO en WL een koppeling tussen Modflow en Sobek ontwikkeld en getest voor een gebied rond pompstation Wierden (Overijssel)

De ontwikkelde koppeling tussen Modflow en Sobek is een zogenaamde 'expliciete' koppeling. Per tijdstap wordt informatie uitgewisseld tussen het grondwater- en oppervlaktewatermodel zonder iteratieschema. De tijdstappen van beide modellen zijn normaal gesproken verschillend.

De structuur van de koppeling is als volgt. De broncodes van Modflow en Sobek blijven aparte onderdelen. Tussen deze onderdelen wordt gecommuniceerd met behulp van geprogrammeerde functies. Datastromen worden via het geheugen doorgegeven. De River-package van Modflow is uitgebreid met een aantal stresstermen tot een zgn. *General Stress Link Package* waarmee alle onttrekkingen of toevoegingen van water in het topsysteem kunnen worden gemodelleerd. Deze package wordt gebruikt om de uitwisseling van fluxen en waterhoogten tussen Sobek en Modflow te verzorgen.

Het in dit project gebouwde Wierden-model is gebaseerd op bestaande grondwater- en oppervlaktewatermodellen van het stroomgebied van de Regge. Vergelijking tussen de met het Modflow-Sobek (MoSo) model berekende afvoer en de *gemeten* afvoer op het bovenstroomse punt 85_s4 laat een redelijke overeenkomst zien. Hieruit mag worden geconcludeerd dat Modflow goed in staat is om de fluxen uit de bovenstroomse gebieden aan het Sobek-hoofdwaterlopenstelsel aan te leveren. Met de gerealiseerde koppeling is het mogelijk om de gangbare en meest geavanceerde modellen van het gebied rond de waterwinning in Wierden in te zetten om de effecten van de geplande maatregelen zo goed mogelijk te voorspellen.

Pompstation Wierden wordt in de toekomst waarschijnlijk uitgebreid met een nieuw puttenveld. Ter compensatie van de grondwateronttrekking worden mogelijk twee buffergebieden aangelegd. Met het gekoppelde model is het watersysteem doorgerekend voor de huidige situatie met het oude puttenveld en voor een nieuwe situatie met een nieuw puttenveld en twee buffergebieden. De resultaten zijn vergeleken met de uitkomsten van een bestaand MoDuflow-model. De berekeningen uit de twee modellen zijn op de volgende punten met elkaar vergeleken:

- *afvoeren en waterstanden*

De afvoeren berekend met MoDuflow en MoSo komen redelijk met elkaar overeen. Lagere afvoeren in de zomer berekend met MoSo moeten worden verklaard door het verschil tussen meting en berekening op het bovenstroomse punt 85_s4. Enkele systematische verschillen worden veroorzaakt door verschillen in het in de modellen ingevoerde stuwbeheer.

- *berekende waterpeil in de buffergebieden*

Berekende waterpeilen zijn goed vergelijkbaar, zolang het waterpeil boven de waterbodem staat. Het feit dat het waterpeil in het MoDuflow-model ogenschijnlijk tot onder de waterbodem daalt, moet worden gezien als een numeriek artefact.

- Stijghoogteverlagingen in modellaag 1 en 3 op drie tijdstippen

Over het algemeen laten de verlagingen berekend met MoDuflow en MoSo een redelijke overeenkomst zien. Beide modellen berekenen een duidelijke invloed van de buffergebieden. De verlagingen berekend in modellaag 3 komen goed overeen. De verlagingen berekend in modellaag 1 zijn in MoSo iets groter door een geringere hydraulische weerstand boven de onttrekkingsfilters.

- *25-jaars intrekgebied*

De met MoDuflow en MoSo berekende 25-jaarszones komen redelijk goed met elkaar overeen. De 25-jaarszone met MoDuflow bestrijkt een iets groter gebied dan met MoSo, wat opnieuw goed verklaard wordt door de iets hogere verticale weerstand in MoDuflow.

7 Aanbevelingen

De hier ontwikkelde koppeling tussen Modflow en Sobek is toegepast op pompstation Wierden en voor een aantal scenario's getest. De koppeling functioneert goed, is praktisch goed inzetbaar en biedt allerlei nieuwe mogelijkheden in het waterbeheer. De koppeling in de huidige vorm kent echter ook beperkingen die nog zouden moeten worden opgelost. Op een aantal punten is verdere ontwikkeling gewenst.

- De huidige koppeling is een expliciete tweeweg-koppeling. Dit model voor het Wierden-gebied is numeriek stabiel gebleken. Er is echter geen garantie dat een expliciete koppeling onder alle omstandigheden stabiel zal zijn. Het verdient aanbeveling om uit te zoeken of de performance kan worden verbeterd door de koppeling impliciet te maken.
- Om grote aantallen scenarioberekeningen uit te kunnen voeren (bijvoorbeeld om een impuls-respons database te vullen) is het wenselijk om de rekentijden van de modellen zo veel mogelijk te beperken. Het verdient aanbeveling om te onderzoeken op welke manier de rekensnelheid van een gekoppeld model verder kan worden opgevoerd.
- In stedelijk gebied worden veel processen nog betrekkelijk schematisch weergegeven. Onderzocht zou moeten worden op welke manier het neerslag-afvoerproces beter kan worden gemodelleerd. Tevens is wenselijk om te onderzoeken op welke manier het rioolstelsel aan het gekoppelde model kan worden toegevoegd.

Ook ten aanzien van het Wierden-modelstudie kunnen een aantal aanbevelingen worden gedaan:

- De afvoer bovenstrooms van het Sobek-modelgebied rondom Wierden, die nu met Modflow wordt berekend en als randvoorwaarde in Sobek wordt ingebracht, zal verbeterd kunnen worden als het Sobek-model wordt uitgebreid naar het stroomgebied van de gehele Regge. Daarmee worden ook de berekeningen rondom pompstation Wierden verbeterd.
- Vooruitlopend op deze structurele verbetering kan in het Wierden-project alvast worden gekeken naar de bovenstroomse afvoeren die met het bestaande Sobek-model van de Regge worden berekend.
- Bij de geplande bouw van het gekoppelde model voor het Regge stroomgebied is het van belang om systematisch alle waterlopen met een infiltrerende werking onder te brengen in Sobek. Op die manier wordt de wisselwerking tussen het variërende waterpeil en de infiltratieflux verdisconteerd en wordt voorkomen dat waterlopen in Modflow infiltreren zonder het waterpeil daarbij wordt aangepast. Vervolgens wordt het mogelijk om de afvoeren te ijken aan de hand van de intreeweerstanden in het model.

8 Referenties

DHV, 2002. Hydrologische modelstudie naar de combinatie van retentie, waterwinning en waterbuffering. Verslag van de inventariserende berekeningen. In opdracht van Vitens en Waterschap Regge en Dinkel.

Hoogendoorn, J. en Te Stroet, C.B.M., 1994. Optimalisatie waterbeheer Wierden/Wierdense Veld. OS 94-14-B, TNO-GG, Delft.

Maas, K., 2004. Interpretatie pompproef Wierden met Menyanthes. Conceptrapportage, Kiwa Water Research.

Minnema, B. en Snepvangers, J.J.J.C., 2004. Waterschap Regge en Dinkel; Grondwatermodel en IR-database ter ondersteuning van waterbeheer in Twente. TNO-rapport NITG 04-020-B.

WL | Delft hydraulics, 2005. Oppervlaktewatermodel voor het stroomgebied van de Regge. In opdracht van Waterschap Regge en Dinkel.