

Rapport 500026002/2005

**Naar een gezamenlijk nationaal hydrologisch  
modelinstrumentarium**

Eindrapport van de werkgroep Consensus Hydrologie  
(WUR/Alterra; RIVM/MNP; RWS/RIZA)

A. van der Giessen (ed.)

Contact:

A. van der Giessen

Informatievoorziening en Methodologie Planbureau

Anton.van.der.Giessen@rivm.nl



Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de Directeur Generaal Milieubeheer, in het kader van project M/500026, Modellen systeem bodem en water.



## Rapport in het kort

### **Naar een gezamenlijk nationaal hydrologisch modelinstrumentarium**

Harmonisatie en verbetering van hydrologisch modelinstrumentarium is het hoofddoel van de nationale werkgroep Consensus Hydrologie, waarin WUR/Alterra, RIVM/MNP en RWS/RIZA participeren.

De resultaten in dit eindrapport van de werkgroep zijn van belang voor consistentie en kwaliteitsborging in onderbouwing van beleidsanalyses voor milieu, water, natuur en ruimtelijke ordening door de ministeries LNV, VROM en V&W. Hydrologische informatie behoort immers vrijwel altijd tot de basisinformatie voor een scala aan beleidsanalyses, zoals voor het mestbeleid waarbij het nutriëntenmodel STONE een centrale rol vervult.

Het accent ligt op hydrologische modelsystemen voor lands(deel)dekkende analyses. Veel gebruikte modelaanpakken zoals LGM/SWAP, MOZART/NAGROM, SIMGRO en STONE-hydrologie zijn voor het omvangrijke Brabantse studiegebied Beerze-Reusel vergeleken. Tevens is gewerkt aan een landsdekkend geharmoniseerd geohydrologisch gegevensbestand.

De conclusies in dit rapport zullen een belangrijke rol spelen bij de opzet van een gemeenschappelijk nationaal hydrologisch modelinstrumentarium door alle betrokken (water)instituten in Nederland.

Trefwoorden: hydrologie; grondwater; oppervlaktewater; model; beleidsanalyse; waterbeheer

## **Abstract**

### **On to a national modular set of hydrological models**

Main purpose of the national working group Consensus Hydrology is the harmonization and improvement of hydrological models in the Netherlands. The group represents a joint effort of Wageningen University / Alterra, RIVM / The Netherlands Environmental Assessment Agency and the Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA).

The results of the working group activities promote consistency and quality assurance in support of policy analysis for environmental assessments. Hydrological information is a key factor in a wide range of analyses, including the evaluation of policy measures on nutrients.

Emphasis is on models for application on a national or supra-regional scale. Frequently used models (LGM / SWAP, MOZART / NAGROM, SIMGRO and STONE-hydrology) were compared for the the Beerze Reusel area in the geographical region of Noord Brabant. Much attention has been paid to the construction of a harmonized geo-hydrological dataset on a national scale.

Conclusions and recommendations will play an important role in the setting-up of a common national modular set of hydrological models in the Netherlands.

Keywords: hydrology; groundwater; surface water; model; policy analysis; watermanagement.

## Voorwoord

In de afgelopen jaren is in de nationale werkgroep Consensus Hydrologie door de instituten WUR/Alterra, RIVM/MNP en RWS/RIZA intensief en diepgaand kennis opgedaan over elkaars hydrologisch modelinstrumentarium. Dit gebeurde in nauwe samenhang met het al eerder gestarte gezamenlijke werk aan het gemeenschappelijke mestmodel STONE, waarvoor toelevering van hydrologische informatie een must is. Bij al deze modelactiviteiten stond het realiseren van consistentie en kwaliteitsborging in de onderbouwing van (nationale) beleidsanalyses voor milieu, water, natuur en ruimtelijke ordening voorop. In het bijzonder de onderlinge vergelijking door drie modelleninstrumentaria toe te passen voor het modelgebied Beerze-Reusel, waarbij daarnaast ook de STONE-aanpak voor hydrologie is meegenomen, was heel leerzaam.

Dankzij deze gezamenlijke inspanningen zijn de inzichten over de merites van hydrologische modelconcepten, de benodigde basisgegevens en de vertaling daarvan in de schematisatie en parameterisering voor modellen aanzienlijk toegenomen. Dit heeft geleid tot een grote mate van consensus over de opzet van een landsdekkend toepasbaar hydrologisch modelleninstrumentarium met een flexibele modulaire opbouw. Het gemeenschappelijk besef is dat hiermee een goede basis is gelegd voor een voorspoedige start van een nieuwe periode waarin, tezamen met andere instituten zoals TNO-NITG en WL, een bundeling van krachten van hydrologisch Nederland structureel zal plaatsvinden.

Aan dit rapport zijn belangrijke bijdragen geleverd door:

Jan van Bakel (WUR/Alterra)  
Arthur Beusen (RIVM/MNP)  
Anton van der Giessen (RIVM/MNP; voorzitter Consensus Hydrologie)  
Piet Groenendijk (WUR/Alterra)  
Jacco Hoogewoud (RWS/RIZA)  
Karel Kovar (RIVM/MNP)  
Joop Kroes (WUR/Alterra)  
Timo Kroon (RWS/RIZA)  
Wim de Lange (RWS/RIZA)  
Harry Massop (WUR/Alterra)  
Rien Pastoors (RIVM/MNP)  
Aaldrik Tiktak (RIVM/MNP)  
Paul van Walsum (WUR/Alterra)



# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>9</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1 <i>Aanleiding</i>	11
1.2 <i>Motivering</i>	12
1.3 <i>Probleem- en doelstelling</i>	13
1.4 <i>Opbouw van het rapport</i>	13
<b>2. Conceptueel kader en typering van modelleninstrumentaria</b>	<b>15</b>
2.1 <i>Kenschets van de Nederlandse hydrologie</i>	15
2.2 <i>Begrippen</i>	15
2.3 <i>Hydrologische deelsystemen</i>	16
2.4 <i>Typering van de vier modelleninstrumentaria</i>	17
2.5 <i>Modelleren van het hydrologisch systeem</i>	17
2.6 <i>Koppeling met de ‘buitenwereld’ en tussen de deelsystemen</i>	20
2.7 <i>Conclusies</i>	22
<b>3. Beschrijving studiegebied en rekenexperimenten</b>	<b>25</b>
3.1 <i>Motivering voor keuze van het stroomgebied</i>	25
3.2 <i>Beschrijving stroomgebied Beerze-Reusel</i>	25
3.3 <i>Van stroomgebied naar studiegebied</i>	26
3.4 <i>Randvoorwaarden en afspraken over eigenschappen en uitvoer</i>	27
<b>4. Vergelijking STONE 2.1 met SIMGRO</b>	<b>29</b>
4.1 <i>Inleiding</i>	29
4.2 <i>Werkwijze en gebruikte data</i>	29
4.3 <i>Belangrijke verschillen in de schematisering (invoer)</i>	30
4.3.1 <i>Basisbestanden en modelconcepten</i>	30
4.3.2 <i>Verschillen in de ontwateringsbasis</i>	30
4.3.3 <i>Verschillen in de lekweerstand</i>	31
4.4 <i>Resultaten</i>	34
4.5 <i>Conclusies</i>	38
<b>5. Resultaten van de onderlinge vergelijking van modellen</b>	<b>39</b>
5.1 <i>Inleiding</i>	39
5.2 <i>Parameterisatie van de lekweerstand</i>	39
5.2.1 <i>Afleiding van de lekweerstand door de instituten.</i>	39
5.2.2 <i>Relatieve verschillen en conclusies</i>	40
5.3 <i>Grondwater patronen en dynamiek</i>	41
5.3.1 <i>GHG</i>	41
5.3.2 <i>GLG</i>	42

---

5.3.3	Grondwater dynamiek	43
5.3.4	Stijghoogte WVP2	43
5.4	<i>De waterbalans</i>	43
5.4.1	Flux over de 1ste scheidende laag	43
5.4.2	De totale waterbalans	44
5.4.3	Afvoer dynamiek	46
5.5	<i>Algemene conclusies</i>	46
<b>6.</b>	<b>Algemene conclusies en aanbevelingen</b>	<b>49</b>
6.1	<i>Inleiding</i>	49
6.2	<i>Conclusies</i>	49
6.2.1	Algemeen	49
6.2.2	Plotbenadering versus locatie-op-locatie gekoppelde deelsystemen	49
6.2.3	Conceptualisering deelsystemen en koppelingen	50
6.3	<i>Aanbevelingen</i>	52
	<b>Literatuur</b>	<b>55</b>



## Samenvatting

De activiteiten in de nationale werkgroep Consensus Hydrologie, met deelname van WUR/Alterra, RIVM/MNP en RWS/RIZA, hebben als doel de harmonisatie en verbetering van hydrologisch modelinstrumentarium. Dit is van belang voor consistentie en kwaliteitsborging in onderbouwing van beleidsanalyses voor milieu, water, natuur en ruimtelijke ordening door de ministeries LNV, VROM en V&W. In samenhang met het al in 1992 begonnen werk aan STONE, een gezamenlijk model voor analyses van het mestbeleid, is in 1998 gestart met Consensus Hydrologie. Dit raakt een scala aan beleidsanalyses omdat hydrologische informatie vrijwel altijd tot de basisinformatie behoort. Zowel voor landsdekkende verre toekomstverkenningen die verband houden met waterproblematiek als voor ruimtelijk en / of temporeel verifiërende analyses van ecohydrologie en stoftransport.

Het accent ligt op modelsystemen voor lands(deel)dekkende analyses. Onderzocht is hoe de tot nu toe voor praktische beleidsanalyses gebruikte methoden kunnen worden verbeterd. Het gaat om verbetering in termen van de kwaliteit van de modelresultaten voor vooral grondwaterstanden, drainage en verdamping, en de expliciete geografische interpreteerbaarheid en representativiteit ervan. Daarnaast betreft het de mogelijkheid om met het model verantwoord ingrepen in het geohydrologisch systeem en dus beleidsmaatregelen te kunnen doorrekenen. Daarvoor zijn diverse activiteiten uitgevoerd inzake landsdekkende gegevens, afstemming van terminologie, schematisaties, concepten en parameteriseringen, en de vergelijking van verschillende modelsystemen en concepten voor het Brabantse studiegebied Beerze-Reusel. Voor dit qua hydrologische omstandigheden veelzijdige gebied zijn veel gebruikte modelaanpakken zoals LGM/SWAP, MOZART/NAGROM, SIMGRO en STONE-hydrologie onderling vergeleken.

Uit de analyse volgt:

- De zogeheten STONE-plotbenadering met losgekoppelde modellen voor het topsysteem met rekenelementen die op meerdere locaties kunnen voorkomen en waarbij een fluxonderrandvoorwaarde op grote diepte (13 meter) wordt opgelegd, heeft belangrijke beperkingen. Een geografisch expliciete benadering met locatie-op-locatie gekoppelde modelsystemen is inhoudelijk superieur en maakt het doorrekenen van beleidsmaatregelen veel beter mogelijk. Die modelaanpak is vanwege de sterk voortschrijdende ICT mogelijkheden ook praktisch haalbaar. Daarbij kan wel worden voortgebouwd op een sterk inhoudelijk punt in de STONE-hydrologie: de voeding met een goede weergave van de stroming in de onverzadigde zone vanuit het Alterra model SWAP.
- Een landsdekkend geharmoniseerd geohydrologisch gegevensbestand, samengesteld op basis van uitgebreide drainage-expertise en van informatie uit het REGIS-ondergrond bestand van TNO-NITG, is na gezamenlijke intensieve bewerking en interpretatie van die basisgegevens binnen bereik gekomen. Dit bestand kan op korte termijn voor modellering beschikbaar worden gemaakt en zal in den lande voor diverse nationale en regionale beleidsstudies een verdere sterk harmoniserende werking hebben.
- Voeg de sterke punten van de verschillende modelsystemen samen. Geef hoofdaandacht aan de koppeling van systemen en besef dat de wijze van koppeling mede afhangt van de gewenste toepassingsgerichte functionaliteit en van de modellering van onderdelen.
- Sterke punten van de huidige modelleringsaanpak voor operationele beleidsondersteunende toepassingen zijn voor het RIZA (MOZART/NAGROM): een uniforme, landsdekkend toegepaste procedure voor drainageweerstand bepalingen, en de

modelmatige inbedding in de landelijke wateraanvoer infrastructuur (Distributiemodel); voor het RIVM (LGM/SWAP): een niet-stationaire koppeling van het verzadigde en onverzadigde grondwater, en de flexibiliteit in het genereren van modelgebonden data; voor Alterra (SIMGRO): de integrale modellering van onverzadigd grondwater, verzadigd grondwater en het oppervlaktewatersysteem, en de brede ervaring met modeltoepassing in regionaal waterbeheer.

- Implementeer de aanbevelingen voor verbetering van verdampingsberekeningen door gebruik te maken van een beschikbaar fysisch onderbouwd modelconcept, inclusief een adequate parameterisering van de reductie van verdamping als gevolg van hydrologische omstandigheden in de wortelzone.
- Maak voor de cruciale interactie grondwater – oppervlaktewater voor ontwateringsmiddelen gebruik van de gemeenschappelijk ontwikkelde kennis inzake de parameterisering van drainagekarakteristieken (weerstand; ontwateringsbasis). De gezamenlijk ontwikkelde leidraad voor de opdeling van ontwateringsmiddelen in verschillende klassen en voornoemde parameterisering kunnen op korte termijn in enkele voor modellering praktisch toepasbare procedures worden omgezet.
- Met een geografisch expliciete, schematisch flexibele modelaanpak zijn, veel beter dan in STONE, hydrologische uitspraken mogelijk op een ruimtelijk schaalniveau dat is afgestemd op de beleidsvraag en het geohydrologische probleem. Landsdekkend op een niveau van 250 meter, met desgewenst afhankelijk van gegevensbeschikbaarheid verfijning tot 25 meter in beekdalen en overgangsgebieden, bijvoorbeeld voor natuurproblematiek.
- Let goed op allerlei (ruimtelijke) modelrandvoorwaarden (ook landsgrensoverschrijdend) en op de invloed van de dynamiek van oppervlaktewaterstanden. Bouw zonodig dat laatste aspect als optie in het model in.

Dit leidt tot de volgende aanbevelingen voor het vervolg:

- Specificeer gezamenlijk, mede op basis van bovenstaande en van actuele kennis uit andere bronnen, met gemeenschappelijke expertise uit minstens vijf instituten (WUR/Alterra, TNO-NITG, RIVM/MNP, RWS/RIZA, WL) het nationale hydrologische modelinstrumentarium voor beleidsanalyses, de bijbehorende basisgegevens en protocollen voor probleemspecifieke schematisering en parameterisering.
- Voer, direct gekoppeld aan beleidsrelevante toepassingen (NBW: KRW, WB 21, GGOR, Ruimte voor Rivieren; Nitraatbeleid; Gewasbeschermingsbeleid), pilots in hoog-Nederland en laag-Nederland uit ter operationalisering en validatie van het model. Besteed hierbij conform GMP expliciet voldoende aandacht aan modelvalidatie.

# 1. Inleiding

## 1.1 Aanleiding

In Nederland is het opstellen van nationale verkenningen en evaluaties voor milieu- en waterbeleid verdeeld over 3 ministeries (LNV, VROM en V&W), elk met hun eigen modellen, terwijl het te modelleren systeem in essentie hetzelfde is. Dit leidde regelmatig tot verschillen in uitkomsten die niet functioneel waren. Er is daarom in het kader van STONE (Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel) al vanaf begin jaren negentig gestreefd naar consensus over de te volgen aanpak bij de modellering van bemestingsscenario's. Het bereiken van consensus over meer aspecten van de modellering van de Hydrologie van Nederland tussen de drie betrokken instituten (Alterra, RIVM en RIZA) werd om meerdere redenen zinvol geacht. Naar aanleiding van de workshop Hydrologie (25 november 1997) is besloten tot een traject Consensus Hydrologische Modellering bestaande uit de volgende etappes:

- terreinverkenning. Over welke aspecten bestaat al overeenstemming en spreken we ook dezelfde taal. In Van Bakel et al. (1998) is een overkoepelend kader geschetst welke hydrologische deelsystemen zijn betrokken en hoe die met elkaar kunnen samenhangen;
- conceptualisering en parameterisering van de relatie grondwater-oppervlaktewater. De discussies hierover hebben geresulteerd in consensus over definities en toe te passen vergelijkingen (zie Groenendijk et al., 2002);
- conceptualisering, schematisering en parameterisering van de Hydrologie van Nederland ten behoeve van STONE. Hierover is uitgebreid gerapporteerd (Kroon et al., 2001; Massop et al., 2000; Kroes et al., 2001). Dit onderdeel is in strikte zin geen onderdeel van het consensustraject maar de discussies in de werkgroep Consensus Hydrologie (en ad hoc werkgroepen) zijn wel hierop van invloed geweest;
- vergelijking van modelconcepten, schematisering en parameterisering voor een studiegebied, met het oog op een verbeterde modellering van de Hydrologie van Nederland. Hierbij is in een later stadium ook NITG-TNO betrokken. Elk van de primair deelnemende instituten heeft de voor regionale modellering<sup>1</sup> gebruikte modelinstrumentaria op het studiegebied Beerze-Reusel toegepast. In afzonderlijke rapportages is of wordt hiervan verslag gedaan (ondermeer: Van Walsum en Massop, 2003). In dit rapport worden de modelleninstrumentaria met elkaar vergeleken in termen van concepten, schematisering en parameterisering en simulatieresultaten voor het studiegebied. Het bevat tevens overkoepelende conclusies en aanbevelingen, met het oog de noodzakelijk geachte opvolger van het STONE-instrumentarium.

---

<sup>1</sup> Regionale modellering: modellering van een gebied waarbij de regionale samenhang via het grond- en/of oppervlaktewatersysteem op een of andere manier in rekening wordt gebracht en waarmee ingrepen in de waterhuishouding kunnen worden doorgerekend. In theorie is het mogelijk heel Nederland in één keer of als optelling van landsdelen op deze wijze in model te brengen.

## 1.2 Motivering

Lands(deel)dekkende modellering van de hydrologie van Nederland is om verschillende redenen belangrijk:

1. uitvoeren van natuur- en milieuplanbureautaken: zoals balansen en verkenningen;
2. opstellen van waterhuishoudingsplannen en afgeleiden zoals Droogtestudie van Nederland;
3. uitvoeren van evaluaties van het mestbeleid (als specifieke milieuplanbureautaak).

Voor dit laatste onderdeel is het STONE-instrumentarium ontwikkeld dat ook frequent is toegepast. Hiermee is het mogelijk de belasting van nutriënten op het oppervlaktewater landsdekkend te bepalen bij verschillende bemestingsscenario's. Daartoe is Nederland opgedeeld in een groot aantal rekeneenheden van 250 maal 250 meter, die per regio op verschillende locaties kunnen liggen. Ze zijn ontstaan door een overlayprocedure van de belangrijkste geachte karteerbare hydrologische kenmerken (bijvoorbeeld lekweerstand) en gedragskenmerken (bijvoorbeeld GHG) voor de beschrijving van het gedrag van water en daarin opgeloste nutriënten. Elke eenheid is in de laatste versie op 13 meter beneden maaiveld begrensd. Dat betekent dat de regionale grondwaterstroming is losgekoppeld en als een flux- of gemengde randvoorwaarde (voor definities zie hoofdstuk 2) wordt opgelegd. Per plot wordt met SWAP (versie 3.0.3) de hydrologie berekend van het zogenoemde topsysteem<sup>2</sup>, i.c. de verdamping, de drukhoogtes in de onverzadigde zone, de grondwaterstand en de afvoeren naar de verschillende ontwateringsmiddelen, inclusief het maaiveld als drainagemiddel. Deze resultaten dienen als basis voor berekening van het gedrag van nutriënten in diezelfde plot. Hiervoor wordt het model ANIMO gebruikt. Landsdeeldekkende en landsdekkende 'beelden' van de effecten van de mestscenario's worden GIS-matig of tabellarisch samengesteld uit de afzonderlijke plots.

Deze losgekoppelde werkwijze heeft voordelen (met name logistiek haalbaar), maar ook een aantal belangrijke beperkingen:

- de plotbenadering levert impliciet een behoorlijke ruis omdat bij het parameteriseren ervan de werkelijke waarden per grid zijn vervangen door 'gemiddelde' waarden van de grids die bij de plot horen;
- gevolg hiervan is ook dat uitspraken niet of niet goed kunnen worden gedaan voor gebieden kleiner dan 2500 ha;
- ingrepen in de waterhuishouding kunnen niet of moeizaam worden vertaald naar effecten op de nutriëntenhuishouding omdat dat leidt tot een andere hydrologie en daarop zou de plotbenadering moeten worden aangepast;
- beschrijving van de lotgevallen van waterdruppels en daarmee meegevoerde stoffen in een regionaal systeem is bijna per definitie niet met een plotbenadering mogelijk omdat de met de kwel of wegzijging af- of toegevoerde stoffen niet met een onderliggend regionaal systeem worden gevolgd;
- daarmee samenhangend: ook de keuze voor de situering van de onderrand (overal 13 meter beneden maaiveld onafhankelijk van de hydrologische situatie) is vrij willekeurig.

Redenen waarom binnen de Consensusgroep Hydrologie reeds enkele jaren is nagedacht over een beter alternatief voor de plotbenadering. Het belang hiervan gaat verder dan alleen een

---

<sup>2</sup> Topsysteem: bovenste deel van het regionaal systeem inclusief gewassen, onverzadigde zone en oppervlaktewater. De begrenzing met het diepe grondwatersysteem is arbitrair.

betere beschrijving van de hydrologie van Nederland ten behoeve van evaluatie van het mestbeleid. De andere grote beleidsthema's zoals de EU-Kaderrichtlijn Water (KRW) en het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) vragen ook om een beter alternatief. Bovendien vraagt afstemming van deze en andere beleidsthema's dat er niet te veel discussie gaat ontstaan over technische zaken zoals: met welke weerstand is dit effect uitgerekend. Er is daarom veel draagvlak om gezamenlijk een modelleninstrumentarium te definiëren voor het 'post-plot' tijdperk. Een van de mogelijke bouwstenen is het uitvoeren van een 'vergelijkend warenonderzoek' in een proefgebied om modelconcepten te vergelijken en te komen tot aanbevelingen voor het mogelijk op te zetten modelleninstrumentarium voor de regionale en landsdekkende hydrologie.

### 1.3 Probleem- en doelstelling

De **probleemstelling** luidt: de modellering van de hydrologie van Nederland ten behoeve van lands(deel)dekkende waterkwantiteits- en waterkwaliteitsstudies met een losgekoppelde aanpak is naar het oordeel van de Consensusgroep Hydrologie aan het einde van de levenscyclus en het is niet duidelijk hoe het vervolg organisatorisch, inhoudelijk en technisch vorm moet krijgen. Bij de drie betrokken instituten worden verschillende methoden gehanteerd als alternatief voor de losgekoppelde aanpak, maar er is nog onvoldoende inzicht in de onderlinge verschillen.

**Doel** van het in deze rapportage beschreven project is door vergelijking van modelleninstrumentaria voor de regionale en landsdekkende hydrologie van de drie deelnemende instituten te komen tot a) een waarde-oordeel over de losgekoppelde aanpak (als aanvulling op de reeds uitgevoerde plausibiliteitsanalyses) b) tot een beter inzicht te komen in elkaars sterke en zwakke punten bij de regionale modellering en c) op basis hiervan te komen tot aanbevelingen, voor zowel inhoud als techniek.

### 1.4 Opbouw van het rapport

Vooraan in dit rapport is de samenvatting opgenomen, vooral bedoeld als managementsamenvatting.

De inleiding (hoofdstuk 1) geeft de aanleiding, de motivering voor het uitvoeren van de studie en de probleem- en doelstelling weer. In hoofdstuk 2 wordt een conceptueel kader geschetst waarmee de vier modelleninstrumentaria kunnen worden getypeerd. Hiermee worden de essentiële verschillen goed in beeld gebracht. In hoofdstuk 3 wordt het studiegebied Beerze-Reusel kort beschreven en worden de afgesproken veranderingen in basisgegevens en randvoorwaarden beschreven die (om de modelleninstrumentaria van de drie instituten goed te kunnen vergelijken) zijn aangebracht. Er is een apart hoofdstuk (4) gewijd aan de vergelijking tussen STONE 2.1 en SIMGRO, op basis van simulatie van de huidige situatie in het studiegebied. In hoofdstuk 5 worden de resultaten van de vergelijking van de modelleninstrumentaria van de drie instituten beschreven en worden casusspecifieke conclusies getrokken.

Hoofdstuk 6 ten slotte geeft meer algemene conclusies weer en is met name gericht op (aanbevelingen voor) het vervolgtraject voor het lands(deel)dekkend modelleren van de hydrologie van Nederland.



## 2. Conceptueel kader en typering van modelleninstrumentaria

### 2.1 Kenschets van de Nederlandse hydrologie

In afvoerhydrologisch opzicht kan Nederland worden verdeeld in een vrij afwaterend deel en een bemalen (polder)gedeelte. Het vrij afwaterend deel (ruwweg het deel boven NAP) is weer te onderscheiden in een peilbeheerst en een niet-peilbeheerst deel. In het niet-peilbeheerste deel vertoont de openwaterstand een grote dynamiek (van droogvallend in langdurig droge periodes tot kantje boord in extreme situaties). In het poldergedeelte zijn de peilen vrijwel altijd beheerst. In zowel het vrij afwaterende deel als het poldergedeelte zijn de grondwaterstanden over het algemeen ondiep (minder dan 2 meter minus maaiveld). Daardoor wordt de hydrologie van de wortelzone er in meer of mindere mate door beïnvloed. Verder is er overwegend een behoorlijke omvang van de regionale grondwaterstroming via watervoerende pakketten, die bovendien een behoorlijke variatie vertoont als gevolg van ingrepen (zoals starten of stoppen van grondwaterwinningen) en weersomstandigheden (die sterk variëren van jaar tot jaar en binnen het jaar). Deze kenmerken noodzaken er in vrijwel alle situaties toe om bij de modellering verschillende hydrologische deelsystemen interactief aan elkaar te koppelen en niet-stationair te beschouwen. Er zijn diverse mogelijkheden om dit te realiseren. De drie deelnemende instituten hebben hiervoor verschillende benaderingen ontwikkeld en geoperationaliseerd in -wat in het vervolg zal worden aangeduid met- modelleninstrumentaria. Ten behoeve van onder andere de evaluatie van het mestbeleid hebben de drie instituten gezamenlijk het STONE-instrumentarium ontwikkeld. Het hydrologisch deel ervan is ook een manier om de hydrologie lands(deel)dekkend te modelleren en is ook bij de vergelijking betrokken.

In de volgende secties worden de belangrijkste kenmerken van de vier modelleninstrumentaria samengevat, met als doel ze onderling te kunnen vergelijken, waardoor de interpretatie van de rekenresultaten voor het studiegebied Beerze-Reusel kan worden vergemakkelijkt. Allereerst worden enige begrippen gedefinieerd en wordt een kader geschetst voor de vergelijking.

### 2.2 Begrippen

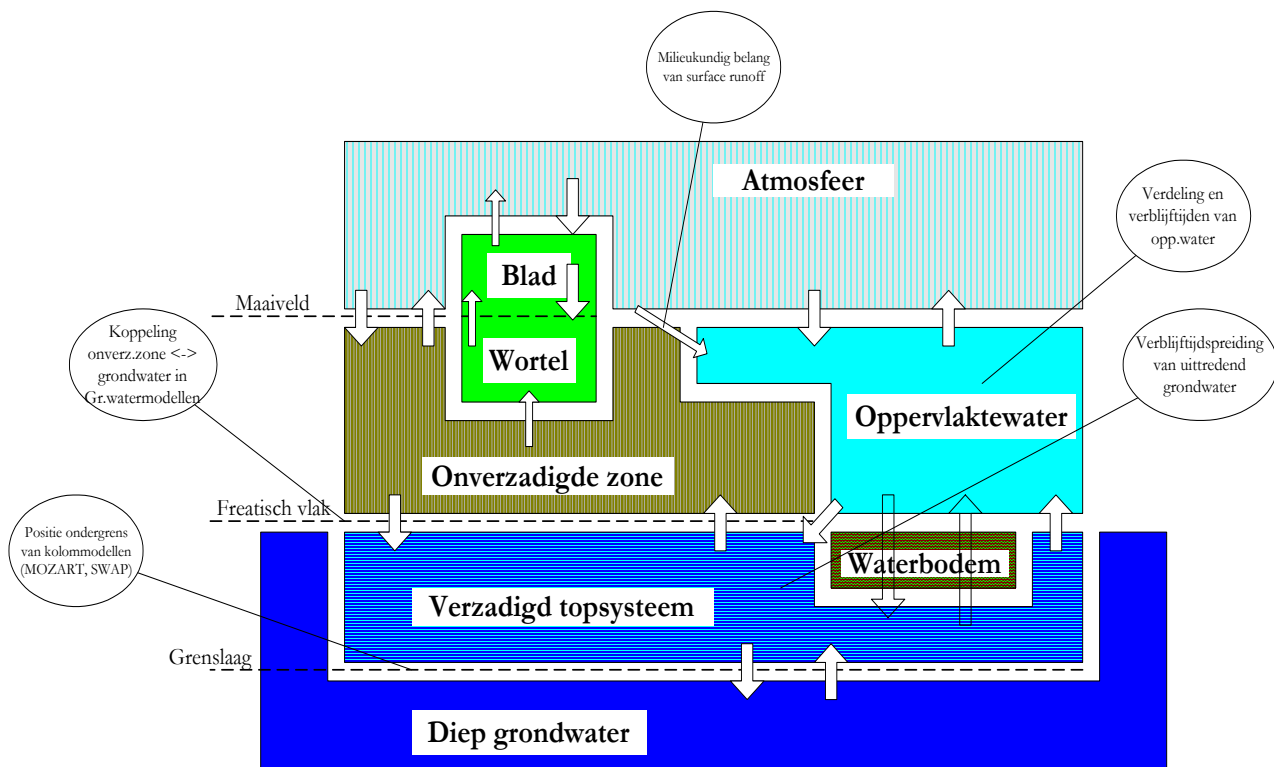
In het spraak- en schrijfsgebruik (en ook in dit rapport) worden termen gebezigd als concept, model, computercode, modelleninstrumentarium, schematisering, parameterisering en simulatie. Daarom eerst enige uitleg.

Een concept is een bepaalde voorstellingswijze van een proces. Een model is een afbeelding van de werkelijkheid en een numeriek model is een met gebiedsspecifieke data gevulde computercode. Een modelleninstrumentarium is een samenhangend geheel van computercodes en mogelijkheden voor post- en preprocessing waarmee een model kan worden gemaakt en aangezet voor het produceren van betekenisvolle resultaten. Bij het modelleren moeten altijd vereenvoudigingen van de werkelijkheid worden doorgevoerd, in de vorm van ruimtelijke en temporele schematisering en per geschematiseerd element moeten eigenschappen worden toegekend, ook wel parameterisering genoemd. Simulatie ten slotte is het daadwerkelijk

produceren van betekenisvolle uitvoer met een model waarbij één daadwerkelijke simulatie soms wordt aangeduid als modelrun.

## 2.3 Hydrologische deelsystemen

Bij elk van de modelleninstrumentaria is het hydrologische systeem opgedeeld in deelsystemen die op een specifieke manier aan elkaar zijn gekoppeld. In onderstaande figuur is de landfase van de hydrologische cyclus schematisch weergegeven. Het deelsysteem waterbodem wordt meestal niet als apart systeem beschouwd.



*Figuur 2.1 Schematische voorstelling van de hydrologische deelsystemen en hun onderlinge relaties. Tevens is belang voor waterkwaliteitsmodellering aangeduid (in de tekstballonnen). (Uit Van Bakel et al., (z.j.); aangepast door P. Groenendijk (pers. meded.)).*

In elk van de 7 onderscheiden deelsystemen worden de hydrologische processen beschreven met wiskundige vergelijkingen voor fysische processen (zoals de Wet van Darcy), maar soms ook door metamodelachtige relaties. In elk deelsysteem wordt altijd voldaan aan de wet van behoud van massa. Modelling houdt in dat per deelsysteem de werkelijkheid op een bepaalde manier wordt voorgesteld door alleen de meest relevante processen te beschouwen en weer te geven (conceptualisering, denk aan filtersnelheid in de Wet van Darcy), die op een bepaalde manier te schematiseren en vervolgens daarbij behorende eigenschappen toe te kennen (te parameteriseren). Met dit mentale raamwerk zullen de drie relevante modelleninstrumentaria van de betrokken instituten en het hydrologisch deel van het consensusinstrumentarium STONE 2.1 worden getypeerd.



## 2.4 Typering van de vier modelleninstrumentaria

De vier modelleninstrumentaria die bij de vergelijking zijn betrokken zijn in onderstaande tabel gekarakteriseerd. Bij de beschrijving zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- in principe wordt uitgegaan van de versie zoals gebruikt bij de vergelijking voor het studiegebied Beerze-Reusel. Echter al werkende weg zijn aanpassingen doorgevoerd en derhalve is de 'peildatum' 1 januari 2005;
- voor genoemd stroomgebied zijn vooraf afspraken gemaakt over ruimtelijke en temporele detaillering en over randvoorwaarden. Deze zijn derhalve tamelijk casusspecifiek. In deze en de volgende paragrafen gaat het om meer algemene kenmerken.

*Tabel 2.1 Globale karakterisering van de 4 in de vergelijking betrokken modelleninstrumentaria*

modelleninstrumentarium	Bronhoudend institu(u)t(en)	Korte typering	Literatuurverwijzingen
SIMGRO	Alterra	- Niet-stationair eindige-elementenmodel voor regionale hydrologie; - De deelsystemen plant-atmosfeer, onverzadigde zone, verzadigd grondwatersysteem en oppervlaktewatersysteem zijn locatie-op-locatie en per tijdstap geïntegreerd.	Van Walsum, P.E.V. e.a., 2004. SIMGRO 5.0.1. Theory and model implementation. Alterra-rapport 913.1.
LGM-SWAP	RIVM	- Dynamische modellering onverzadigde zone (1-dimensionaal verticale stroming in kolom) - Dynamische modellering verzadigde zone (quasi 3-dimensionaal, inclusief freatisch (eerste) watervoerend pakket - Koppeling beide modellen op afstand via tijdreeksen van grondwateraanvulling en freatische bergingscoëfficiënt	Stoppelenburg, F.J., Kovar, K., Pastoors, M.J.H., Tiktak, A. 2005. Modelling the interaction between saturated and unsaturated groundwater flow. Off-line coupling of LGM and SWAP. RIVM report 500026001/2005
PAWN-instrumentarium: NAGROM-MOZART-DistributieModel (DM)	RIZA	Op afstand met fysisch gebaseerde verschaling gekoppeld systeem voor verzadigde (stationair) en onverzadigde (quasi-stationaire) grondwaterstroming, integraal gekoppeld aan de PAWN-modellen voor landelijk oppervlakte water verdeling, (DM) landbouw-economie (AGRICOM), etc.	Water onder land tussen regen en plant. 1997. RIZA nota 97.062
STONE 2.1	Alterra, RIVM, RIZA	- Plotbenadering met onderrandvoorwaarde in de vorm van een kwelflux. - Per plot 1-D modellering van neerslag, verdamping, stroming in onverzadigde zone en drainage naar 4 typen ontwateringsmiddelen	Kroon, T., P. Finke, I. Peerboom en A. Beusen, 2001. Redesign STONE. De nieuwe ruimtelijke schematisatie voor Stone: de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters. RIZA-rapport 2001.017

## 2.5 Modelleren van het hydrologisch systeem

Bij het modelleren van een regionaal dan wel landsdeeldekkend dan wel landsdekkend regionaal systeem zijn de stappen conceptualisering, schematisering en parameterisering te onderscheiden (zie ook 2 sectie 2.2). Voor de meest relevante processen (ook een vorm van conceptualisering) zijn de meest wezenlijke kenmerken in tabel 2.2 samengevat.

Tabel 2.2 Conceptualisering, schematisering en parameterisering van de hydrologische processen die zijn onderscheiden bij de vier modelleninstrumentaria

Proces	Model	Conceptualisering	Schematisering		Parameterisering
			ruimtelijk	temporeel	
Neerslag en interceptie	SIMGRO	Bruto neerslag als opgelegde randvoorwaarde en netto neerslag na (gewasspecifieke) interceptie	Thiessen-polygonen van KNMI-neerslagstations	Dagwaarden voor invoer	Per vorm van landgebruik maximale inhoud interceptiereservoir
	LGM-SWAP	Bruto neerslag als opgelegde randvoorwaarde en netto neerslag na (gewasspecifieke) interceptie	Op basis van de gegevens van de 15 KNMI hoofdstations.	Dagwaarden voor invoer	Per vorm van landgebruik maximale inhoud interceptiereservoir
	(NAGROM)-MOZART-(DM)	Bruto neerslag als opgelegde randvoorwaarde en netto neerslag na (gewasspecifieke) interceptie	Regionale gemiddelden (15 "weerprovincies" in NL) op basis van waarden lokale KNMI-stations.	Decadewaarden	Per vorm van landgebruik maximale inhoud interceptiereservoir.
	STONE 2.1	Bruto neerslag als opgelegde randvoorwaarde en netto neerslag na (gewasspecifieke) interceptie	KNMI-meteodistricten	Dagwaarden	Per vorm van landgebruik maximale inhoud interceptiereservoir
Bodemverdamping en wateropname door wortels (is werkelijke gewasverdamping)	SIMGRO	Atmosferische verdampingsvraag volgens Makkink minus interceptieverdamping als opgelegde fluxrandvoorwaarde. Bodemverdamping alleen buiten groeiseizoen volgens Boesten-Stroosnijder. Potentiële gewasverdamping is gewasfactor maal $E_{ref}$ . Werkelijke gewasverdamping als som van (gereduceerde) wateropname in wortelzone	$E_{ref}$ per district	Dagwaarden voor invoer. Kleinere tijdstappen voor werkelijke waarden	Voor atmosferische vraag Makkink-referentie-gewasverdamping, $E_{ref}$ . Per bodemtype parameters voor bodemverdamping Per vorm van landgebruik reductie van wortelopname als functie van drukhoogte in de wortelzone
	LGM-SWAP	Referentie-gewasverdamping volgens Makkink, $E_{ref}$ Potentiële bodemverdamping is factor maal bodembedekking maal $E_{ref}$ . Actuele bodemverdamping hetzij volgens Darcy bovenste compartiment hetzij volgens Boesten-Stroosnijder. Potentiële gewasverdamping is gewasfactor maal bodembedekkingsgraad maal $E_{ref}$ . Werkelijke gewasverdamping als som van (gereduceerde) wateropname in compartimenten van wortelzone	Per KNMI hoofdstation	Dagwaarden voor invoer. Kleinere tijdstappen voor werkelijke waarden	Voor atmosferische vraag Makkink-referentie-gewasverdamping, $E_{ref}$ . Per landgebruik verloop bodembedekkingsgraad Per bodemtype parameters voor reductie in bodemverdamping. Per vorm van landgebruik reductie van wortelopname als functie van drukhoogte in de compartimenten van wortelzone
	(NAGROM)-MOZART-(DM)	$E_{ref}$ van metingen KNMI-stations, $E_{pot}$ via Penman (of keuze Makkink) en gewasfactoren. Reductie van verdamping d.m.v soort Feddes-trapezium, maar o.b.v. pF	$E_{ref}$ o.b.v. 15 hoofdstations NL. Per 250m grid cel bepaalt vervolgens de fractie land/water samen $E_{pot}$ .	Decaden	15 hoofdstations (KNMI) gewasfactor per decade, 15 gewastypen (o.m. Feddes '87). Reductieparameters per bodemtype (21 bodemfys. enh. via bodemkaart 1:50.000)
	STONE 2.1	Zie LGM-SWAP	Per meteodistrict	Dagwaarden voor invoer. Kleinere tijdstappen voor werkelijke waarden	Zie LGM-SWAP
Stroming van water in de onverzadigde zone	SIMGRO	Wortelzone apart als 1 reservoir Onverzadigde ondergrond als 1 reservoir Gebruik van een gedetailleerd model voor afleiden metarelaties voor percolatie- of capillaire opstijgingsflux en	Per knooppunt 1 verticale kolom	Variabel maar in de orde van $\frac{1}{4}$ dag	Per combinatie van bodem en landgebruik: <ul style="list-style-type: none"> <li>- dikte wortelzone</li> <li>- verticale flux als functie van grondwaterstand en vochtinhoud</li> </ul>

		bergingscoëfficiënt			wortelzone in tabelvorm - bergingscoëfficiënt als functie van grondwaterstand en vochtinhoud wortelzone, in tabelvorm
	LGM-SWAP	Combinatie van continuïteits- en Darcy-vergelijking (Richard's equation) per compartiment incl. sinkterm voor wortelopname: in alleen z-richting	Per LGM-knooppunt 1 verticale kolom	Seconden tot uren	Per verticale kolom: bodemfysische gegevens per bodemlaag
	(NAGROM)-MOZART-(DM)	Gebruik van met gedetailleerd model afgeleide standaard ("meta")-tabellen met semi-niet-stationaire oplossing Richards-vergelijking	Per 250 m grid-cel, in verticaal vereenvoudigd naar wortelzone en ondergrond	Decaden; interne tijdstap dagbasis	Staringreeks voor boven- en ondergrondbouwstenen
	STONE 2.1	Combinatie van continuïteits- en Darcy-vergelijking (Richard's equation) per compartiment incl. sinkterm voor wortelopname: in alleen z-richting	Gebied opgedeeld in plots Per plot opdeling verticaal in groot aantal compartimenten	Seconden tot uren	Per plot: Bodemfysische gegevens per bodemlaag met Staringreeks bouwstenen
Stroming van water in de verzadigde zone, inclusief stroming van water tussen grondwater- en oppervlaktewatersysteem (is ontwatering)	SIMGRO	Per element combinatie van Darcy en continuïteitsvergelijking en lek(sink)term naar (uit) oppervlaktewater (indien aanwezig), op basis aangepaste formule Ernst. Lekterm evenredig met opbolling (is verschil tussen grondwaterstand en maximum van bodemdpte, openwaterstand)	Indeling gebied in groot aantal elementen. Indeling in watervoerende en weerstandbiedende lagen met resp. horizontaal en verticale stroming. Per element indeling van ontwateringsmiddelen in klassen	Orde ¼ dag	Kd- en c-waarden van onderscheiden lagen. Freatische bergingscoëfficiënt iteratief uit onverzadigde deel. Specifieke bergingscoëfficiënt per onderscheiden niet-freatische lagen Per onderscheiden ontwateringsmiddel lekweerstand en bodemdpte
	LGM-SWAP	Darcy-stroming van element naar element Per element combinatie van Darcy en continuïteitsvergelijking en lek(sink)term naar (uit) oppervlaktewater (indien expliciet gemodelleerd), rest op basis formule van Ernst per onderscheiden klasse van waterlopen die wordt opgeschaald naar naar 1 niet-lineaire relatie tussen opbolling en afvoerintensiteit.	Indeling gebied in groot aantal elementen Indeling in watervoerende en weerstandbiedende lagen met resp. horizontaal en verticale stroming Per element indeling van ontwateringsmiddelen in klassen	Flexibele grootte van de interme rekenstapkoppe lingsdata op decade basis	Kd- en c-waarden van onderscheiden lagen. Freatisch bergingscoëfficiënt: tijdreeks uit SWAP Specifieke bergingscoëfficiënt per onderscheiden niet-freatische lagen?? Voor expliciet gemodelleerde waterlopen de bodemweerstand en bodemdpte. Voor niet expliciet gemodelleerde waterlopen de dichtheid en bodemdpte.
	NAGROM-MOZART-(DM)	Quasi-3-D stroming, analytische elementen, topsysteem overlap MOZART-NAGROM	Meestal 2 à 3 aquifers/met tussenliggende aquiftrds, variabele elementgrootte, afh. van $\lambda$ (orde ha $-km^2$ ), topsysteem 250 m	Diep: stationair, (jaargemiddelde) topsysteem: decade	Topsysteem via MONA (zie tabel 2.3), diep uit REGIS en voorlopers & provinciale plannen, grondwater studies, etc.
	STONE 2.1	1-D-stroming naar ontwateringsmiddelen; afvoerintensiteit evenredig met opbolling (grondwaterstand midden tussen ontwateringsmiddelen en maximum van ontwateringsbasis of openwaterstand)	Plot representatief voor vlak Per vlak 4 klassen van ontwateringsmiddelen (incl maaiveld)	Seconden tot uren (loopt mee met berekening onverzadigde zone)	Per onderscheiden ontwateringsmiddel drainageweerstand en bodemdpte
Stroming van water in het oppervlaktewatersysteem	SIMGRO	Per onderscheiden waterloopsegment combinatie van continuïteits en stromingsvergelijking	Opdeling afwateringssysteem in groot aantal segmenten	Orde uren	Per onderscheiden segment relatie tussen berging en waterstand en tussen aan- en afvoerintensiteit en openwaterstand(sverschil met boven- en/of

	LGM-SWAP	Hoofdwaterlopen als potentiaalrandvoorwaarde	Per element wel/niet hoofdwaterloop aanwezig	Constance voorwaarden	benedenstrooms segment) nvt
	(NAGROM)- MOZART-DM	Waterbalans per afwateringseenheid (LSW) op basis van drainwaterplots. Ook aggregatie balans niveau van districten, die gekoppeld zijn aan netwerk NL. Vrij afwaterende LSW's hanteren q/h relaties, peilbeheerste LSW's variabele streefpeilen.	Per plot (250 m) 3 typen waterlopen + mv-drains Gekoppeld aan 1900 LSW's NL (gem. 2500 ha) gekoppeld aan 130 districten en landelijk netwerk	Decadebasis (intern dagbasis)	Q(h)-relaties LSW's afgeleid op basis van algemene ontwerpregels, soms aangevuld met metingen. Streefpeilen en eigenschappen hoofdsysteem (districten) op basis van gegevens waterschappen.
	STONE 2.1	Openwaterstand tov maaiveld als randvoorwaarde	Per plot 1 reservoir voor oppervlaktewatersysteem	Constance randvoorwaarden	Per onderscheiden afwateringsmodel - bodembreedte - bodemdiepte - talud - tabel voor relatie tussen openwaterstand afvoer (is constant)

## 2.6 Koppeling met de 'buitenwereld' en tussen de deelsystemen

### *Koppeling met de 'buitenwereld'*

Deelsystemen kunnen apart of in verschillende combinaties worden gemodelleerd door de wiskundige vergelijkingen analytisch of numeriek op te lossen en te voorzien van randvoorwaarden. Via deze randvoorwaarden wordt de echte 'buitenwereld' aan het model kenbaar gemaakt. Daarbij zijn drie typen randvoorwaarden te onderscheiden:

- Dirichlet-randvoorwaarden: stijghoogte als functie van de tijd (Type 1);
- Neumann-randvoorwaarden: flux als functie van de tijd, dus ook flux = 0 (dichte rand) (Type 2);
- Cauchy-randvoorwaarden: de flux als functie van de stijghoogte in het gemodelleerde systeem zelf (Type 3).

Verder is nog onderscheid mogelijk op grond van de ruimtelijke situering: boven-, onder- en zijrandvoorwaarden.

Bij Type 1 en Type 2 is de koppeling eenzijdig: de randvoorwaarden zijn niet afhankelijk van de toestand waarin het gemodelleerde systeem zich bevindt. Bij Type 3 is de uitwisseling met de omgeving daarvan wel afhankelijk. In alle gevallen echter is de toestand van de buitenwereld een gegeven.

De koppeling tussen de in beschouwing genomen deelsystemen (modelinterne koppeling) verloopt anders. Hierbij zijn de volgende soorten koppeling (concepten dus) mogelijk (zie ook Van Bakel et al. (1998), voor een meer uitgebreide beschrijving):

- a. Tweezijdige koppeling. Deelsysteem x beïnvloedt deelsysteem y en omgekeerd binnen dezelfde modelrun. Ook wel aangeduid als geïntegreerd.
- b. Eenzijdige koppeling. Deelsysteem x beïnvloedt het deelsysteem y maar niet omgekeerd binnen dezelfde modelrun.
- c. Tweezijdige koppeling op afstand: deelsysteem x wordt gedraaid met deelsysteem y als randvoorwaarde en vervolgens wordt deelsysteem y gedraaid met deelsysteem x als randvoorwaarde. De typen randvoorwaarden kunnen daarbij verschillend zijn van x naar y en vice versa.
- d. Eenzijdige koppeling op afstand. Deelsysteem x wordt gedraaid met deelsysteem y als randvoorwaarde waarbij de toestand van deelsysteem y niet afhangt van de beïnvloeding van deelsysteem x maar bijvoorbeeld wel van andere deelsystemen of randvoorwaarden.

- e. Volledige ont koppeling. Dit is *de facto* een deel van het te beschouwen hydrologisch systeem ‘verbannen’ naar de buitenwereld. Maar die wordt hier niet bedoeld. Een ‘slimme’ ont koppeling is namelijk mogelijk door ‘vooraf’ de onderlinge afhankelijkheid ‘te vangen’ in bij voorkeur een Cauchy-randvoorwaarde. Een goed voorbeeld in dit verband is dat in een aantal STONE-plots (de gerepareerde door- en onderuitzakkers) de relatie met de diepe ondergrond wordt ‘gevangen’ in een relatie tussen grondwaterstand en kwelflux op 13 m –mv.

De koppeling met de buitenwereld is aan de bovenrand voor alle vier modelleninstrumentaria identiek: de neerslag en potentiële verdamping als Type 2 respectievelijk Type 3 bovenrandvoorwaarde. De randstroming via het verzadigd grondwatersysteem of via het oppervlaktewatersysteem is echter verschillend.

#### *Koppeling tussen deelsystemen*

Uit Tabel 2.2 is af te leiden dat de modellen van de deelsystemen sterk kunnen verschillen in ruimtelijke en temporele schaal. Dat betekent ook dat bij het in model brengen van de interacties keuzes moeten worden gemaakt.

Voor de interactie tussen atmosfeer en gewas wordt in alle deelsystemen de neerslag als opgelegde fluxrandvoorwaarde gemodelleerd (flux onafhankelijk van toestandsvariabelen; kunstmatige berekening uitgezonderd), de werkelijke verdamping in de vorm van een eenzijdige koppeling als Cauchy randvoorwaarde (flux afhankelijk van toestandsvariabele in systeem gewas).

Voor de interactie tussen gewas en wortelzone wordt de wortelopname (is flux naar atmosfeer want geen berging van water in de plant) voorgesteld als een relatie tussen drukhoogte en/of vochtvoorraad in de wortelzone, derhalve een Cauchy-randvoorwaarde.

Voor de interactie tussen onverzadigde zone en verzadigd topsysteem is de hoogte van het freatisch vlak de intermediair. Deze hoogte wordt bepaald uit de resultante van aan- en afvoer naar het verzadigd topsysteem en de freatische bergingscoëfficiënt (die afhankelijk is van de bodemfysische eigenschappen). Hierbij is op verschillende manieren de koppeling tot stand te brengen.

De interactie tussen verzadigd topsysteem en diep verzadigd systeem is voor een regionaal model niet aan de orde omdat het gehele verzadigd systeem meestal quasi-3D wordt gemodelleerd, waarbij het verzadigd systeem wordt opgedeeld in watervoerende en slecht doorlatende lagen. Alleen bij de losgekoppelde aanpak zoals in STONE is de wijze van ont koppeling en de schematisering en parameterisering duidelijk anders.

De koppeling tussen verzadigd topsysteem en oppervlaktewater is voor alle vier systemen sterk verschillend en varieert van tweezijdige koppeling tot volledige ont koppeling.

Ten slotte is ook nog een koppelingsrelatie nodig met de hydrologisch systemen buiten de regio onder beschouwing. Daarbij is onderscheid mogelijk tussen grondwatersysteem en oppervlaktewatersysteem

In Tabel 2.3 is een en ander samengevat voor de vier modelleninstrumentaria.

Tabel 2.3 Koppelingsconcepten van de verschillende deelsystemen per modelleninstrumentarium

	Atmosfeer- gewas	Gewas- wortelzone	Wortelzone- onverzadigde ondergrond	Onverzadigd e zone- oppervlakte water (surface runoff en interflow)	Onverzadigd e zone- verzadigd topsysteem	Verzadigd topsysteem- diep grondwatersyst eem	Verzadigd topsysteem- oppervlakte water	Regionaal-bovenregionaal hydrologisch systeem	
								grondwater	oppervlakte water
SIMGRO	Eenzijdig (atmosfeer is randvoor- waarde)	Geïntegreerd (gewaseigen- schappen wel onver- anderlijk)	Geïntegreerd	Geïntegreerd	Geïnte- greerd	Geïntegreerd	Geïntegreerd	Volledig ontkoppeld. Alle 3 typen. Bij voorkeur Type 3 op basis modelresul- taten grootscha- liger model	Als flux- of gemengde randvoor- waarden
LGM-SWAP	Eenzijdig (atmosfeer is randvoor- waarde)	Geïntegreerd (gewaseigen- schappen wel onver- anderlijk)	Geïntegreerd	Geïntegreerd	Koppeling op afstand	Geïntegreerd	Eenzijdig (openwater- stand als potentiaal- randvoor- waarde)	Volledig gekoppeld. Alle 3 typen.	nvt
NAGROM- MOZART (MONA)	Eenzijdig (atmosfeer is randvoor- waarde)	Geïntegreerd (gewaseigen- schappen wel onver- anderlijk)	Geïntegreerd	Geïntegreerd	Geïnte- greerd.	Tweezijdig op afstand gekoppeld. Combinatie vaste onderrandflux en Cauchy relatie. Iteratie op basis van recharge, gebruikte peil en lekweerstand, (kwel)flux en stijghoogte	Fysisch gebaseerd, koppeling met verschaling o.b.v formule- ringen van De Lange	Expliciet en separaat van MONA gekoppeld via elementen die de vorm van oppervlakte water volgen.	Geïntegreerd via iteratieve vraag- en aanbodfase Losgekop- peld (geen interactie tussen de plots via oppervlakte water)
STONE 2.1	Eenzijdig (atmosfeer is randvoor- waarde)	Geïntegreerd (gewaseigen- schappen wel onver- anderlijk)	Geïntegreerd	Geïntegreerd	Geïnte- greerd	Volledig ontkoppeld, als fluxrandvoor- waarde	Geïntegreerd per plot Volledige ontkoppeling tussen de plots	nvt	nvt

N.B.

Binnen een deelsysteem zijn ook allerlei vormen van (terug)koppeling mogelijk:

- 1) de eigenschappen van het systeem zijn afhankelijk van de hydrologische variabelen (bijvoorbeeld de hydraulische doorlatendheid is een functie van de drukhoogte). Deze vorm van koppeling is relatief gemakkelijk mee te nemen en zal niet verder worden beschreven.
- 2) de vorm van terugkoppeling waarbij de eigenschappen structureel veranderen. Bijvoorbeeld als een gewas irreversibel afsterft als gevolg van droogtestress. In alle geanalyseerde modelleninstrumentaria is deze vorm van koppeling in het studiegebied **niet** in beschouwing genomen.

## 2.7 Conclusies

In dit hoofdstuk is een kader geschetst om de vier modelleninstrumentaria te typeren in termen van:

- gebruikte concepten;
- ruimtelijke en temporele schematisering;
- parameterisering;

- wijze van koppeling tussen de deelsystemen en met de omgeving.

Deze typering is vrij algemeen gehouden maar geeft wel een goede indruk van de essentiële verschillen.





### **3. Beschrijving studiegebied en rekenexperimenten**

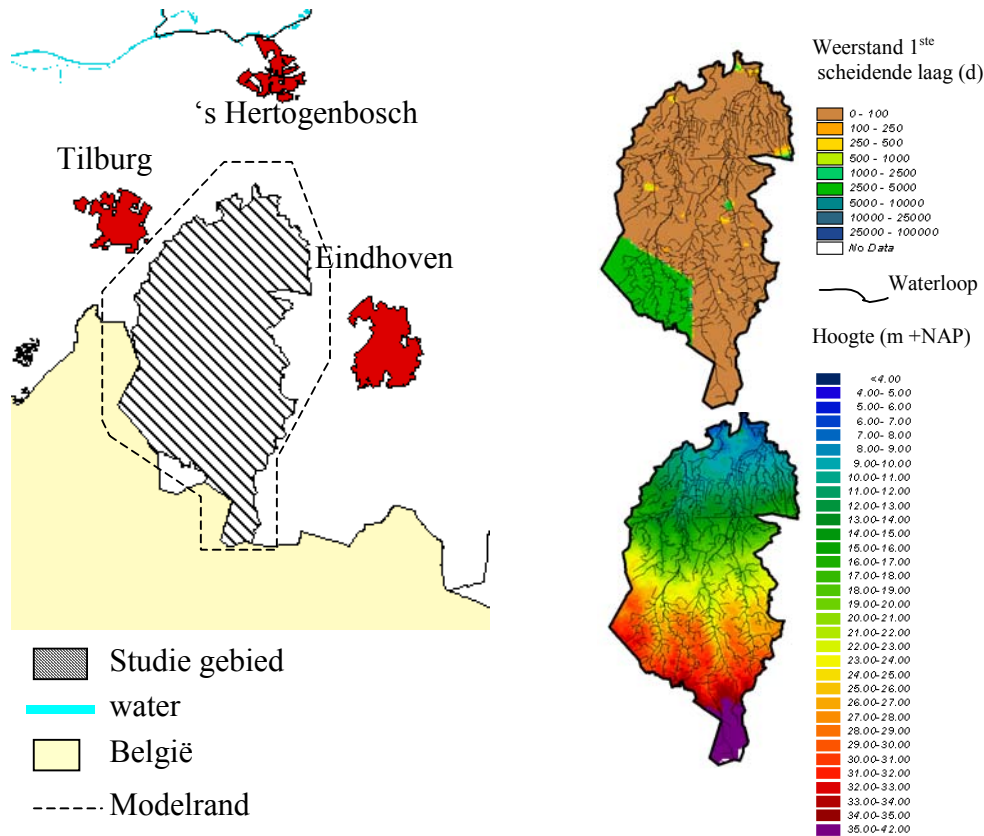
#### **3.1 Motivering voor keuze van het stroomgebied**

Om verschillende redenen is gekozen voor het gebied van de Beerze en Reusel als proefgebied:

- Het gebied is zowel door Alterra als RIZA uitvoerig gemodelleerd.
- Het gebied is in modelmatig opzicht uitdagend. De geohydrologische opbouw is gecompliceerd, er komen zowel diepe als ondiepe grondwaterstanden voor, er zijn droogvallende waterlopen, etc. Door deze ruimtelijke en temporele variabiliteit kunnen verschillen in toegepaste modelconcepten qua performance eerder aan het licht komen.

#### **3.2 Beschrijving stroomgebied Beerze-Reusel**

Het Beerze-Reusel gebied ligt in Brabant tegen de Belgische grens aan (zie figuur 3.1). Het is een glooiend landschap en heeft relatief weinig bebouwing. De beekdalen snijden in in het landschap, maar de hellingen blijven overwegend vlak. Het maaiveld varieert van circa 4 meter in het noorden naar circa 42 meter in het zuiden. Het oppervlaktewatersysteem wordt in beperkte mate gereguleerd door middel van stuwen en is grotendeels vrij afwaterend. Op de ruggen tussen de beken komen de diepere grondwaterstanden voor en vindt veelal inzijging plaats, in de dalen is sprake van kwel en ondiepe grondwaterstanden. De 1<sup>ste</sup> scheidende laag heeft over het algemeen een lage weerstand van 1 – 100 dagen. Alleen in de zuidwest-hoek is een gebied met een grote weerstand van circa 2500 dagen. De invloed van deze weerstand is duidelijk terug te vinden in de resultaten. (Voor verdere beschrijving zie Van Walsum en Massop, 2003)



Figuur 3.1 Links een overzicht van de ligging van het studiegebied 'Beerze-Reusel', rechtsonder de maaiveldhoogte, rechtsboven de weerstand van de 1<sup>ste</sup> scheidende laag en de ligging van de hoofd waterlopen in het studie gebied.

### 3.3 Van stroomgebied naar studiegebied

Voor het vergelijken van de modellen zijn in het modelgebied een serie vereenvoudigingen doorgevoerd. De belangrijkste staan hieronder genoemd:

- een vaste stijghoogte randvoorwaarde uit NAGROM op de modelgrens;
- een vereenvoudiging van de geohydrologie van 15 naar 7 lagen;
- de grondwateronttrekkingen zijn constant verondersteld, en alleen de 3 grootste zijn in het model opgenomen;
- de weerstand van de buisdrainage is op 100 dagen gezet;
- de berekening is uitgezet;
- het landgebruik is uniform op gras gezet;
- in het modelgebied is één uniforme worteldikte toegepast;
- er is uitgegaan van de 21 eenheden afgeleid uit de Bodemkaart 1:250000 ten behoeve van de PAWN-studie (Wösten et al., 1998);
- data van 1 meteostation (Gemert) is gebruikt;
- Alterra heeft de hoofdbeken in het 2<sup>de</sup> watervoerend pakket laten insnijden, RIVM en RIZA niet.

In Alterra-rapport 870 (Van Walsum en Massop, 2003) zijn de effecten van deze afzonderlijke veranderingen in beeld gebracht.

### 3.4 Randvoorwaarden en afspraken over eigenschappen en uitvoer

#### *Ruimtelijke detaillering*

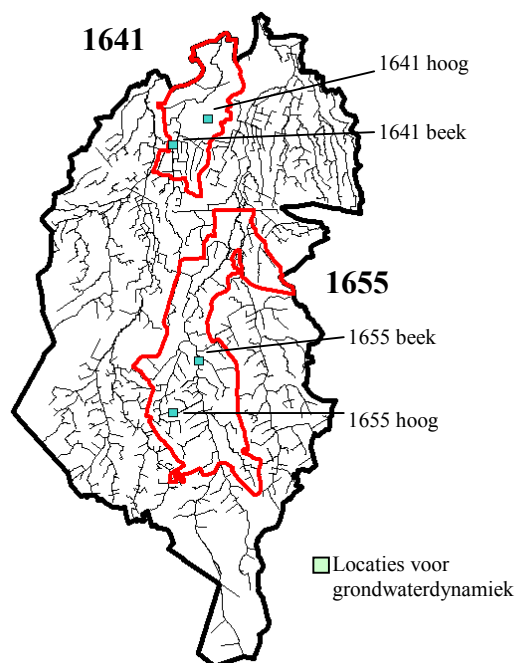
Voor de landelijke modellen is gerekend op 250 meter grid niveau. Zowel RIZA als RIVM hebben op landelijk toepasbare wijze gerekend. Alterra heeft op kleinere schaal gerekend, met knooppuntsafstanden van circa 50 – 500 meter.

#### *GHG, GLG en fluxen*

De GHG en de GLG zijn bepaald als het gemiddelde van de 3 hoogste dan wel laagste grondwaterstanden per jaar voor de hydrologische jaren 1985-1989. Het RIZA en het RIVM hebben deze bepaling gedaan op basis van decade cijfers, Alterra op basis van dag cijfers. De fluxen zijn voor dezelfde periode gemiddeld en bepaald voor de drie scheidende lagen.

#### *Waterbalans en afvoerdynamiek*

De waterbalans en afvoerdynamiek zijn berekend voor het kalenderjaar 1989. De balanstermen zijn voor zover mogelijk per kwartaal berekend en de afvoerdynamiek per decade. De berekeningen zijn uitgevoerd voor het hele studie gebied en twee deelstroomgebieden. De deelstroomgebieden verschillen in hydrologisch opzicht van elkaar en geven een gedetailleerder inzicht in de mogelijke verschillen tussen de modellen, want de verschillen worden op kleinere schaal niet tegen elkaar weggemiddeld. LSW 1655 ligt in het bovenstroomse deel van het studiegebied, een gebied met relatief weinig (actieve) drainagemiddelen en grote hoogte verschillen. LSW 1641 ligt benedenstrooms in een relatief vlak gebied met meer (actieve) drainagemiddelen.



*Figuur 3.2 Het studie gebied met daarin aangegeven de deelstroomgebieden en de locaties waar de grondwaterdynamiek vergeleken wordt.*

#### *De grondwaterdynamiek*

Per deelgebied zijn twee vlakken van 500 \* 500 meter geselecteerd waarbinnen de dynamiek van het grondwater wordt bepaald voor het jaar 1989. De gebieden zijn hydrologisch

verschillend. De locatie 'hoog' ligt in een gebied met weinig drainage en de locatie 'beek' in een gebied met veel drainage vlak bij een beek.

## 4. Vergelijking STONE 2.1 met SIMGRO

### 4.1 Inleiding

De in hoofdstuk 1 geschetste beperkingen van de plotbenadering zijn een belangrijke reden om onderzoek te doen naar alternatieven. Echter, een aantal van de genoemde punten (met name de ruis), is nooit goed onderbouwd. Wel is de plausibiliteit van de hydrologie beoordeeld. Zie Kroes et al. (2001), Massop et al. (in voorbereiding) en Van Bakel et al. (in voorbereiding). Daarom is een beperkte vergelijking uitgevoerd met de resultaten van SIMGRO voor de huidige situatie. Daarbij zijn ook de verschillen in concepten en parameterwaarden meegenomen. Verdere vergelijking met de in dit rapport gepresenteerde modelresultaten is namelijk niet zinvol omdat de schematisering van het studiegebied sterk is vereenvoudigd ten behoeve van duidelijkheid bij de analyse van de verschillen in de gehanteerde modelconcepten. Om de verschillen in rekenresultaten te kunnen verklaren is het allereerst noodzakelijk in te gaan op verschillen in concepten, schematisering en parameterisering.

### 4.2 Werkwijze en gebruikte data

Voor een veeljarige periode zijn de resultaten van STONE 2.1 en SIMGRO met elkaar vergeleken. Vergelijking op basis van veeljarige reeksen is relevant, omdat STONE hiervoor wordt ingezet.

Voor SIMGRO is de uitgangsschematisering van run 1 (Alterra-rapport 870) gehanteerd, voor de periode 1-1-1980 tot 1-4-1990. In dit model is de huidige situatie van het stroomgebied Beerze-Reusel zo goed als mogelijk nagebootst ten behoeve van diverse studies (zie onder andere Van Walsum et al., 2003). De overeenkomst met de bemeetbare werkelijkheid in termen van GHG, cumulatieve afvoeren als afvoerdynamiek is als goed te kwalificeren (met uitzondering van de lage afvoeren: SIMGRO berekent ook in aanhoudend droge perioden een basisafvoer terwijl die in werkelijkheid nul wordt).

Voor STONE is de hydrologie in STONE 2.1. gehanteerd (zie ook Massop et al., 2000 en Kroes et al., 2001). Deze hydrologie betreft ruimtelijk sterk gemiddelde eenheden (6405 in Nederland) en hanteert ten dele veeljarig gemiddelde variabelen (te weten voor de onderrandflux). Voor deze schematisering zijn door het RIVM van de plots die voorkomen in het studiegebied de volgende gegevens geëxtraheerd:

- decadijfers van alle balansposten van de periode 1-1-1980 tot en met 31-12-1990;
- jaarcijfers van dezelfde periode.

Om vergelijking van afvoeren mogelijk te maken kunnen alleen de afvoeren van de onderscheiden deelsystemen van run 15 (Van Walsum en Massop, 2003) worden gebruikt. Het is daarom van belang weer te geven hoe de afvoeren door de veranderingen ten opzichte van de uitgangssituatie zijn veranderd. Vergelijking van de afvoeren in run 1 en run 15 laat een sterke correlatie zien ( $R^2 = 0.95$ ), waardoor de afvoer in run 15 representatief geacht kan worden voor de modelmatige voorstelling van de situatie die vergelijkbaar is met STONE 2.1.

## 4.3 Belangrijke verschillen in de schematisering (invoer)

### 4.3.1 Basisbestanden en modelconcepten

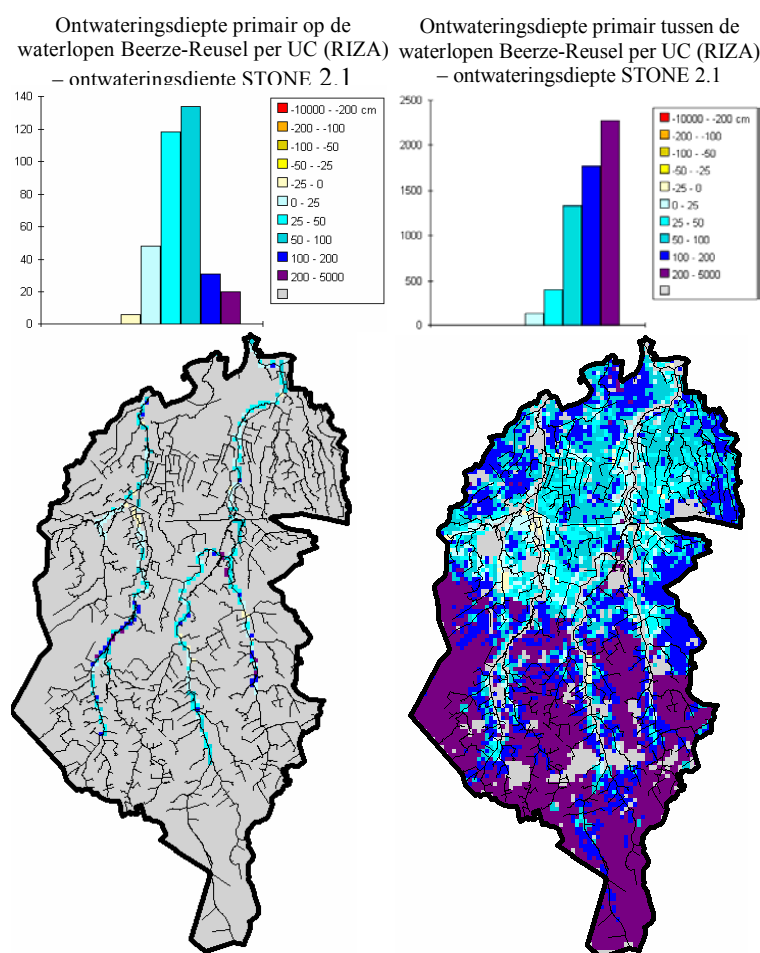
De basisbestanden en modelconcepten van STONE 2.1 en SIMGRO zijn verschillend. Bij het vergelijken van de modeluitkomsten moet hiermee rekening worden gehouden. Tegelijkertijd geeft het een goed inzicht in het effect van de vereenvoudigingen die in de STONE-schematisering zijn gehanteerd. De belangrijkste verschillen worden hier opgenoemd:

1. De basisbestanden voor de geohydrologische parameters zijn niet identiek. Zo is bijvoorbeeld het doorlaatvermogen van het 2<sup>e</sup> watervoerend pakket voor de SIMGRO-modellering behoorlijk aangepast om een goede overeenkomst te krijgen tussen berekende en gemeten GHG. Ook de c-waarden van de eerste scheidende laag zijn duidelijk verschillend: in het noordelijk deel (ten noorden van de breuklijn) zijn de c-waarden zoals gebruikt voor STONE veel hoger dan bij SIMGRO terwijl dat in het zuidelijk deel juist omgekeerd is. Voor het kunnen doen van uitspraken is dat een behoorlijke handicap.
2. In STONE 2.1 zijn sterk vereenvoudigde geohydrologische kenmerken voor het topsysteem gehanteerd en bijvoorbeeld een vaste fluxonderrandvoorwaarde. Detaillering in SIMGRO van bijvoorbeeld het doorsnijden van de eerste scheidende laag door de hoofdbeken is in STONE 2.1 niet ingebracht.
3. In STONE 2.1 zijn diverse hydrologische kenmerken ruimtelijk gemiddeld over meerdere cellen van 250 meter (STONE-plots), om daarmee het aantal unieke eenheden te beperken, in verband met de rekentijd. Wel zou binnen de eenheden slechts beperkte variatie van kenmerken moeten gelden, omdat bij de ruimtelijke indeling de cellen zijn geënclassificeerd op basis van belangrijkste hydrologische eigenschappen. Echter, één van de belangrijke beperkingen bij de classificatie in STONE 2.1 is dat bij de groeperingen van ruimtelijke eenheden geen rekening kon worden gehouden met de specificatie van weerstand per afzonderlijke ontwateringssystemen (primaire, secundaire, tertiaire, buisdrainage). Op basis van het beperkte aantal mogelijke STONE-plots (6405 voor geheel Nederland) is daarom slechts geënclassificeerd op basis van de representatieve weerstand van het primaire en secundaire ontwateringssysteem.
4. Door de plotbenadering ontstaan er ook systematische verschillen in ontwateringsbasis en lekweerstanden vergeleken met een regionale aanpak. Hierop zal in aparte paragrafen nader worden ingegaan.
5. De gesimuleerde periode voor de onderrandflux (kwel) in STONE 2.1 is niet exact vergelijkbaar met SIMGRO. In SIMGRO is de periode 1980-1990 gehanteerd. In STONE 2.1 is de kwel afgeleid voor de periode 1970-2000, maar de kwel is sterk bepaald door de (in de eerste iteratie gehanteerde) periode 1977-1985. Echter de kwel in STONE 2.1 wordt wel voor alle jaren (1970-2000) gebruikt in de berekeningen, dus is het zinvol om te kijken naar toepassing voor de jaren 1980-1990.

### 4.3.2 Verschillen in de ontwateringsbasis

STONE gaat uit van unieke plots. De ontwateringsbasis van de Beerze-Reusel (RIZA-waarden) is door middeling opgeschaald naar de STONE-plots. Deze opgeschaalde ontwateringsbasis is vergeleken met die van STONE 2.1 voor verschillende drainagesystemen. In figuur 4.1 is een voorbeeld van de verschillen voor het primaire systeem weergegeven. Het is duidelijk te zien dat de ontwateringsbasis van STONE 2.1 een stuk hoger ligt dan de ontwateringsbasis gebruikt in de Beerze-Reusel studie. Deze patronen zijn voor het secundaire systeem vergelijkbaar. De verschillen zijn ontstaan doordat:

de STONE-ontwateringsbasis op basis van Grondwatertrap en vuistregels wordt afgeleid; de vuistregels worden toegepast op een 250 meter grid maaiveldbestand. Vooral in hoog-Nederland komt relatief veel maaiveldsvariantie voor terwijl de drainagemiddelen vaak op de laagste punten liggen (het gemiddelde maaiveld geeft dus geen goed beeld van het maaiveld rondom de drainagemiddelen). Door de STONE-vuistregels te corrigeren voor het maaiveld kwam bijvoorbeeld de drainagediepte van het primaire systeem gemiddeld 15 cm lager te liggen. In figuur 4.1 (linkerdeel) zijn deze verschillen ruimtelijk en als verdeling weergegeven. In dezelfde figuur (rechterdeel) is te zien dat de ontwateringsbasis van de primaire waterlopen voor knooppunten tussen deze waterlopen nog aanzienlijk groter is (gemiddeld zo'n 60 cm). Duidelijk is wel dat als gevolg van verschillen in conceptualisering van de ontwateringsbasis de plotbenadering leidt tot een systematische onderschatting van het drainerend vermogen van de grote waterlopen. Nadere analyse op dit punt is nodig.



Figuur 4.1 Verschil per STONE-plot tussen de door RIZA gebruikte diepte van de ontwateringsbasis en de overeenkomstige STONE-waarden. In de blauwe gebieden heeft STONE een hogere drainagediepte, in de oranje gebieden een lagere.

### 4.3.3 Verschillen in de lekweerstand

Systematische verschillen in lekweerstand kunnen op minstens 3 manieren ontstaan: verschillen in concepten voor de berekening van de lekweerstand. Voor de SIMGRO-toepassing op Beerze-Reusel is de formule van Ernst toegepast (die afgeleid is voor bepaling van drainageweerstanden, dwz evenwijdige waterlopen en een uniforme intensiteit van de voeding); voor STONE de formule van De Lange met de correctieterm voor het niet passen van een tussenslootstelsel in de modelcel (De Lange, 1997); verschillen in geohydrologische parameters. Zoals eerder al beschreven zijn de verschillen aanzienlijk;

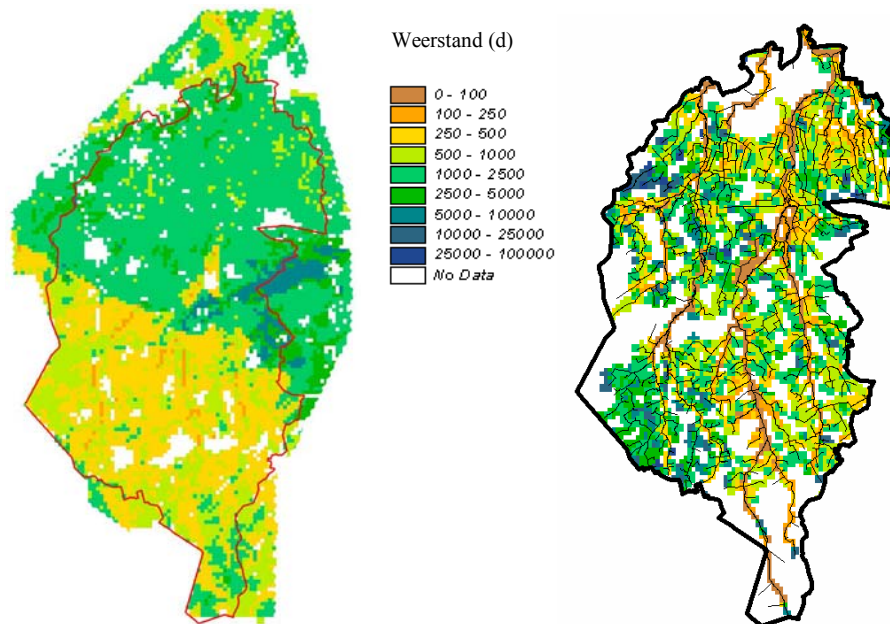
verschillen in classificatie van waterlopen. Om dit appels-perenprobleem zo goed als mogelijk op te lossen is in tabel 4.1 weergegeven hoe de beide classificaties zich tot elkaar verhouden. Daaruit is op te maken dat met name het 1<sup>e</sup>-orde drainageniveau van STONE niet vergelijkbaar is met categorie 2 in SIMGRO (6% van de waterlopen versus 20%). De categorieën waarvoor een vergelijking wel mogelijk is, zijn: 2<sup>e</sup> orde drainagesysteem van STONE met categorie 2 van SIMGRO (22 respectievelijk 20%) en 3<sup>e</sup> orde STONE met categorie 3 van SIMGRO (72 respectievelijk 80% van de totale lengte aan waterlopen in deze klasse)

Tabel 4.1 Schematisering oppervlaktewaterstelsel in STONE 2.1 versus SIMGRO

		STONE				
		Niveau drainagesysteem	1	2	3	Opmerkingen
		omschrijving	> 3 m	< 3m	Greppels/dr v+buisdr.+ maaiveldsg reppels	
			6	22	72	Percentage lengte waterlopen uit top10- vector
S I M G R O	Categorie	omschrijving				
	1	Primaire waterlopen				
	2	Secundaire waterlopen (beekjes, sloten in beheer bij het waterschap) 20 %	6 %	14 %		
	3	Tertiaire waterlopen (rest van Top10) 80 %		8 %	72 %	
	4	Buisdrainage			x	
	5	Greppels (maaiveldsdrainage)			x	
	6	Verhard oppervlak				In STONE niet meegenomen

- in STONE worden per grid van 250 maal 250 meter per plot gemiddelde dichtheden van waterlopen gebruikt; in SIMGRO worden per element dichtheden bepaald die vervolgens worden weergegeven per grid van 250 maal 250 meter. Daardoor ontstaat een optische vertekening bij SIMGRO, vooral de 2<sup>e</sup> orde systeem, die bij de interpretatie van figuur 4.2 moet worden meegenomen.





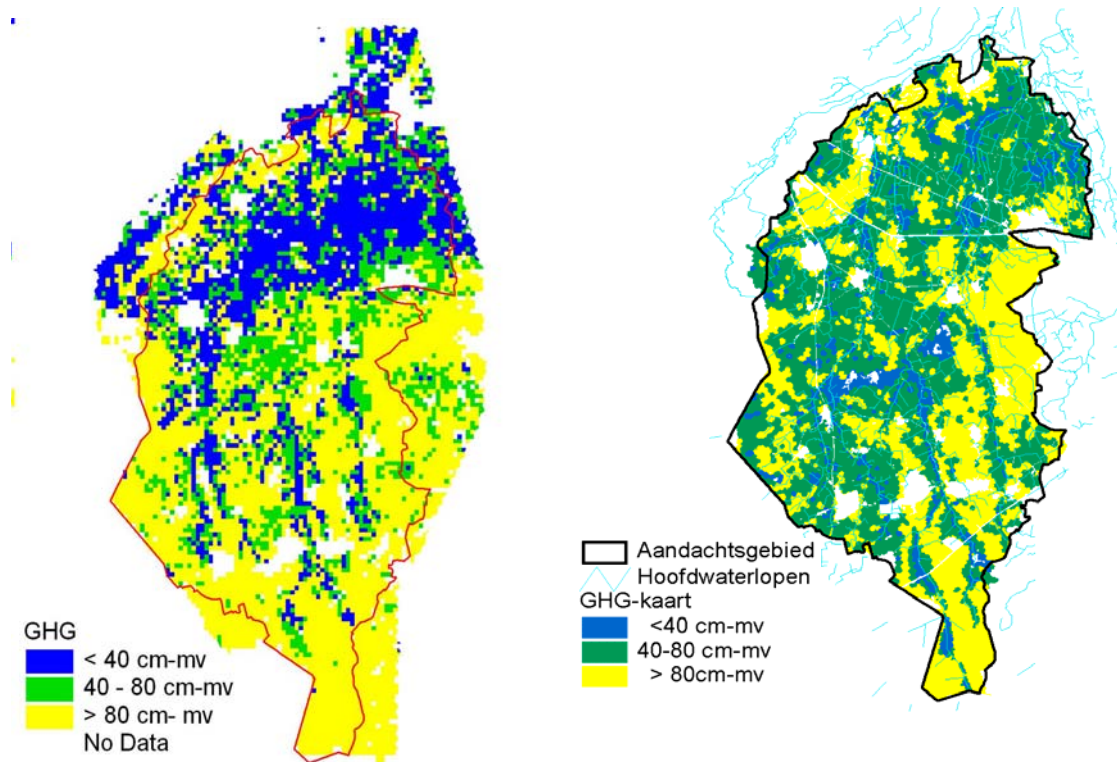
*Figuur 4.2 Vergelijking van de lekweerstand voor 2<sup>e</sup> orde STONE 2.1 (links) met categorie 2 SIMGRO*

Duidelijk is te zien dat de verschillen aanzienlijk zijn door a) de plotbenadering versus de 1-op-1 benadering (bijvoorbeeld, er zijn geen plots waar geen waterlopen van de 2<sup>e</sup> orde voorkomen terwijl het bij SIMGRO heel goed mogelijk is dat er in elementen geen waterlopen van categorie 2 voorkomen) en b) de eerder beschreven verschillen in concepten en basisbestanden.

## 4.4 Resultaten

In hoeverre de in de vorige sectie beschreven verschillen leiden tot verschillen in resultaten zal worden getoond voor de GHG, de kwel/wegzijing, de waterbalans en de afvoerdynamiek.

### GHG



Figuur 4.3 Vergelijking van de GHG-kaart afgeleid van STONE 2.1-resultaten (links) met de GHG berekend met SIMGRO (rechts)

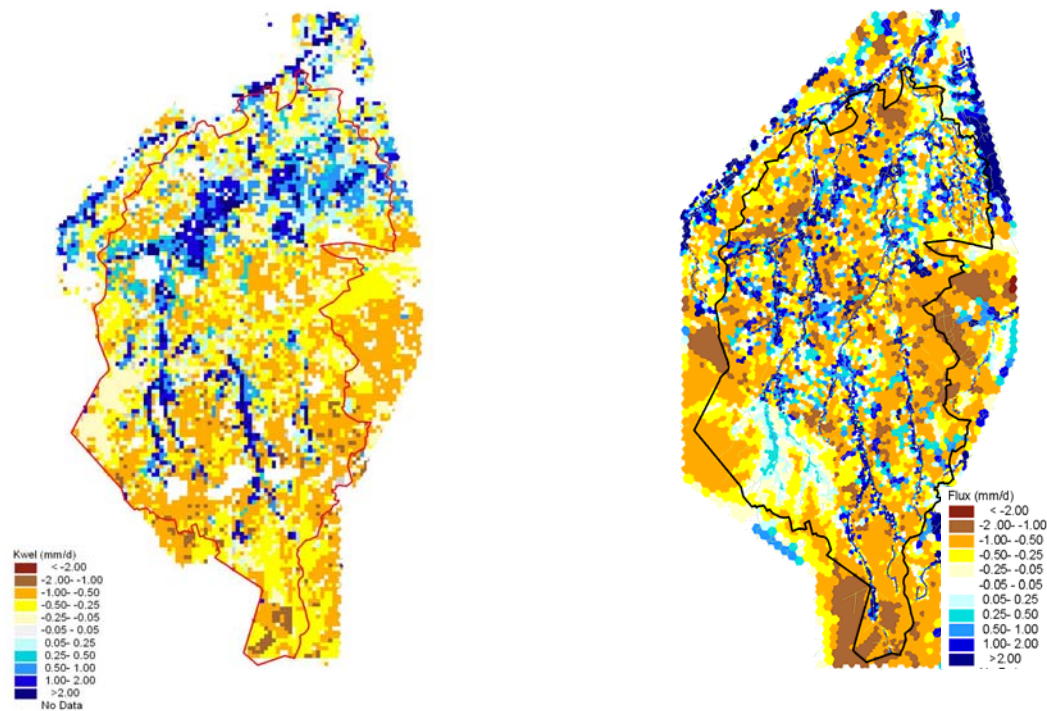
In figuur 4.3 zijn de GHG's van beide methodes gepresenteerd. Bij de beoordeling dient te worden opgemerkt dat de GHG uit STONE betrekking heeft op de periode 1970-2000 en is gebaseerd op decadecijfers.

Er valt een aantal dingen op:

- STONE berekent opvallend weinig GHG's tussen 40 en 80 cm-mv;
- in het noordelijk deel is bij STONE in grote delen de situatie duidelijk te nat berekend;
- vooral het zuidelijk deel is bij STONE droger dan SIMGRO;
- de beekdalen in het zuidelijk deel komen bij STONE goed tot uiting.

### Kwel/wegzijing

In figuur 4.4 is het ruimtelijk patroon van de veeljarig gemiddelde kwel/wegzijing voor beide methoden weergegeven.



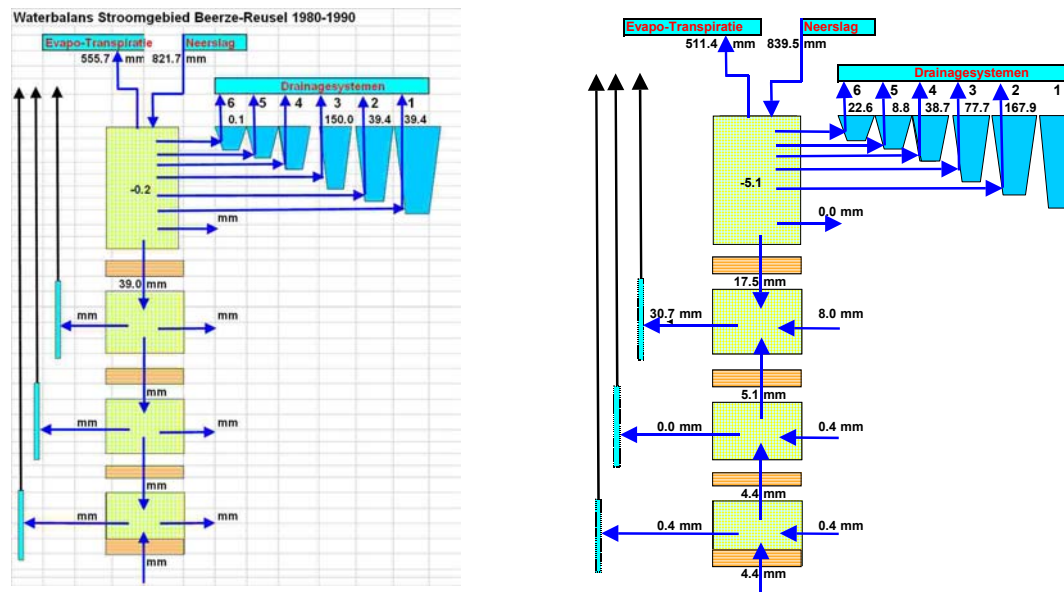
*Figuur 4.4* Vergelijking van de kwelkaart afgeleid van STONE 2.1 (links)-resultaten met SIMGRO (rechts)

Het algemeen beeld is dat er een redelijke overeenstemming is. Toch valt een aantal verschillen op:

- in het STONE-plaatje komt de geohydrologische opbouw veel minder geprononceerd in beeld;
- de van links onder naar rechts boven verlopende strook met kwel in het noorden is bij STONE duidelijker;
- het linker beekdal in het zuiden komt bij STONE veel minder duidelijk tot uiting. In het zuidelijk deel van het STONE-plaatje zijn de beekdalen niet meer herkenbaar;
- in het STONE-plaatje komen nauwelijks infiltratie-intensiteiten van meer dan 1 mm voor, in tegenstelling tot het SIMGRO-plaatje.

#### *Waterbalans*

In figuur 4.5 worden de waterbalansen van beide methoden grafisch weergegeven.



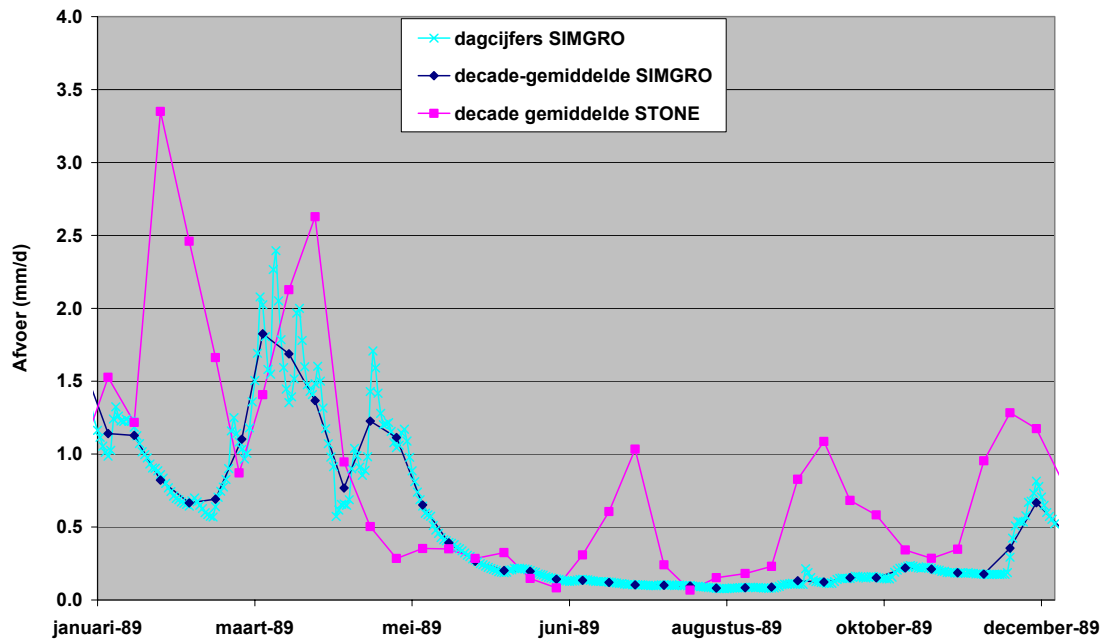
Figuur 4.5 Vergelijking van de berekende veeljarig gemiddelde waterbalanstermen (mm/jaar) van STONE 2.1 (links) met SIMGRO (rechts)

Daarbij is het volgende op te merken:

- de verdamping in STONE is duidelijk hoger en bevestigt eerdere bevindingen (Van Bakel et al., in voorbereiding; Massop et al., in voorbereiding);
- de neerslag is niet helemaal vergelijkbaar, onder andere door de berekening;
- de afvoeren in SIMGRO vertegenwoordigen zowel de afvoeren van het landelijke als het stedelijke gebied; in STONE alleen van het landelijk gebied. Daardoor is de afvoer naar niveau 6 (maaiveldsdrainage) niet vergelijkbaar;
- het meest opvallend is dat de afvoeren van systeem 1 en 2 opgeteld bij STONE ongeveer een factor 2 lager zijn dan de afvoeren van systeem 2 bij SIMGRO (78,8 respectievelijk 167,9 mm) terwijl de afvoeren van systemen 3+4 van SIMGRO duidelijk lager zijn dan die van 3<sup>e</sup> orde drainagesysteem van STONE (150 respectievelijk 116,4 mm);
- de netto wegzijging is iets groter maar vergelijkbaar; de afvoer naar niveau 4 is bij STONE veel sterker overheersend t.o.v. andere systemen terwijl niveau 2 duidelijk veel lagere afvoeren heeft.

#### Afvoerdynamiek

De berekende afvoeren met het gekalibreerde model (run 1) zijn vergeleken met de totale afvoer volgens de STONE-berekeningen. De dagafvoeren berekend met het SIMGRO-model zijn omgerekend naar decadecijfers (figuur 4.6).

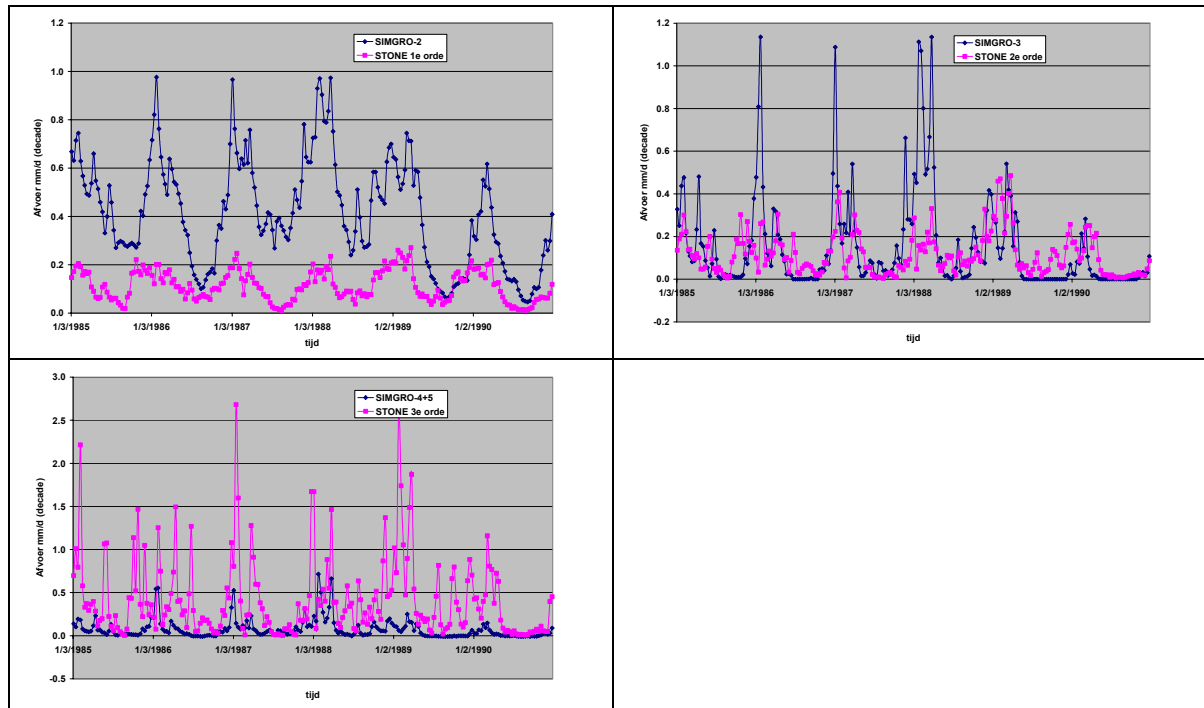


*Figuur. 4.6 Dag- en decade-afvoeren in 1989 berekend met SIMGRO en decade-afvoeren berekend met STONE*

Bij deze figuur is het volgende op te merken:

- een aantal afvoerpieken, met STONE berekend, vinden we niet terug in de SIMGRO-afvoeren;
- het uitputtingsverloop in de zomer wordt met SIMGRO minder goed berekend dan in werkelijkheid (Zie rapport Klimaat en Beken); dit betekent dat de afvoer in de zomer in werkelijkheid lager is waardoor de afwijkingen van de STONE-resultaten met de werkelijkheid in de zomerperiode nog aanzienlijker zijn;
- omgekeerd komen een aantal piekafvoeren, met SIMGRO berekend, niet terug bij de met STONE berekende afvoeren.

In figuur 4.7 zijn de afvoerlopen van de vergelijkbare klassen en het afvoertotaal van STONE en SIMGRO met elkaar vergeleken voor een langere simulatieperiode.



*Figuur. 4.7 Vergelijking decade-afvoeren berekend met SIMGRO en met STONE, drainagesysteem 1+2 (linksboven), drainagesysteem 3+4 (rechtsboven), en de totale afvoer (linksonder)*

De hoofdconclusie is dat de dynamiek en de verdeling van de afvoer over de klassen van waterlopen grote verschillen vertoont. Voor de hand liggende verklaringen zijn de reeds eerder beschreven verschillen in bepaling van de lekweerstand (als gevolg van verschillen in basisgegevens en concepten) en vooral de systematische verschillen in de ontwateringsbasis.

## 4.5 Conclusies

De vergelijking van de rekenresultaten van SIMGRO met de STONE 2.1-resultaten laat aanzienlijke verschillen zien in ruimtelijke patronen, in waterbalanstermen, in verdeling van de drainagefluxen over de onderscheiden drainagesystemen en in de afvoerdynamiek. De oorzaken van de verschillen zijn redelijk goed te duiden en zijn voor een deel systematisch van aard. De meest opvallende bevindingen zijn dat STONE de GHG overwegend of te nat of te droog berekent (ook in vergelijking met de (gekarteerde) werkelijkheid), dat bij STONE de verdeling van de totale afvoeren tussen 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> orde drainagesysteem ongeveer 1 op 2 is, terwijl bij SIMGRO dit juist omgekeerd is. En dat de afvoerdynamiek duidelijke verschillen vertoont. Voor de berekening van de lotgevallen van nutriënten zijn dat zeer belangwekkende uitkomsten.

## **5. Resultaten van de onderlinge vergelijking van modellen**

### **5.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de modelberekeningen van de verschillende instituten vergeleken. Een belangrijk moment hierin was een simultane presentatie (workshop) van de verschillende instituten op 3 november 2004. De analyse die daar gemaakt is vormt de basis van dit hoofdstuk. Om de verschillen goed te kunnen analyseren worden ook de verschillen in parameterisatie vergeleken. In paragraaf 5.2 wordt een analyse gemaakt van de verschillen in lekweerstand. In de volgende paragraaf worden de berekende grondwaterstanden met elkaar vergeleken, om het hoofdstuk te eindigen met een paragraaf over de waterbalans. In verschillende documenten van de instituten is de verantwoording en de uitkomsten van de berekening zelf vastgelegd.

### **5.2 Parameterisatie van de lekweerstand**

Alhoewel elk instituut met dezelfde basis gegevens aan de slag is gegaan zijn er reeds bij de parameterisatie van de modellen verschillen ontstaan. Voorbeelden hiervan zijn de drainage basis, waar verschillen ontstaan door verschillen in modelleringen van het oppervlaktewater, en de lekweerstand. De lekweerstand is een belangrijke parameter, omdat deze een grote invloed heeft op de verdeling van de afvoer over de verschillende drainage- systemen. In deze paragraaf wordt de berekende lekweerstand dan ook nader geanalyseerd in 2 sub-paragrafen:

1. verschillen in afleiding van de lekweerstand per instituut
2. relatieve verschillen tussen de instituten en conclusies

#### **5.2.1 Afleiding van de lekweerstand door de instituten.**

In deze paragraaf wordt kort beschreven hoe de verschillende instituten hun lekweerstand afgeleid hebben en wat de berekende waarden zijn. Ieder instituut heeft zelf de benodigde lekweerstand bepaald (berekend). Alterra en RIVM hebben per drainagesysteem lekweerstand berekend voor die rekencellen (elementen) waarbinnen zich oppervlaktewater bevindt. Hiervoor hebben Alterra en RIVM eerst de slootafstand (= L) als volgt bepaald: Voor elk invloedsgebied waarin per drainagesysteem oppervlaktewater aanwezig is wordt de gesommeerde slootlengte en de oppervlakte van het invloedsgebied bepaald.

De slootafstand L is per invloedsgebied gelijk aan het quotiënt van het oppervlak en de gesommeerde slootlengte. Vervolgens is met de formule van Ernst voor elk invloedsoppervlak de lekweerstand berekend.

Het RIZA heeft de lekweerstand vlakdekkend berekend per gridcel van 25 meter. Daarvoor is eerst een ruimtelijk patroon van slootafstanden bepaald in GIS en bovendien per gridcel de afstand tot de sloot bepaald. Deze waarden zijn gebruikt om met de formule van de Lange per drainagesysteem een lekweerstand voor elke 25 metercel te berekenen. De weerstand per 25 meter gridcel zijn vervolgens harmonisch opgeschaald naar 250 meter cellen.

In figuur 5.1 zijn de weerstanden van de instituten weergegeven.

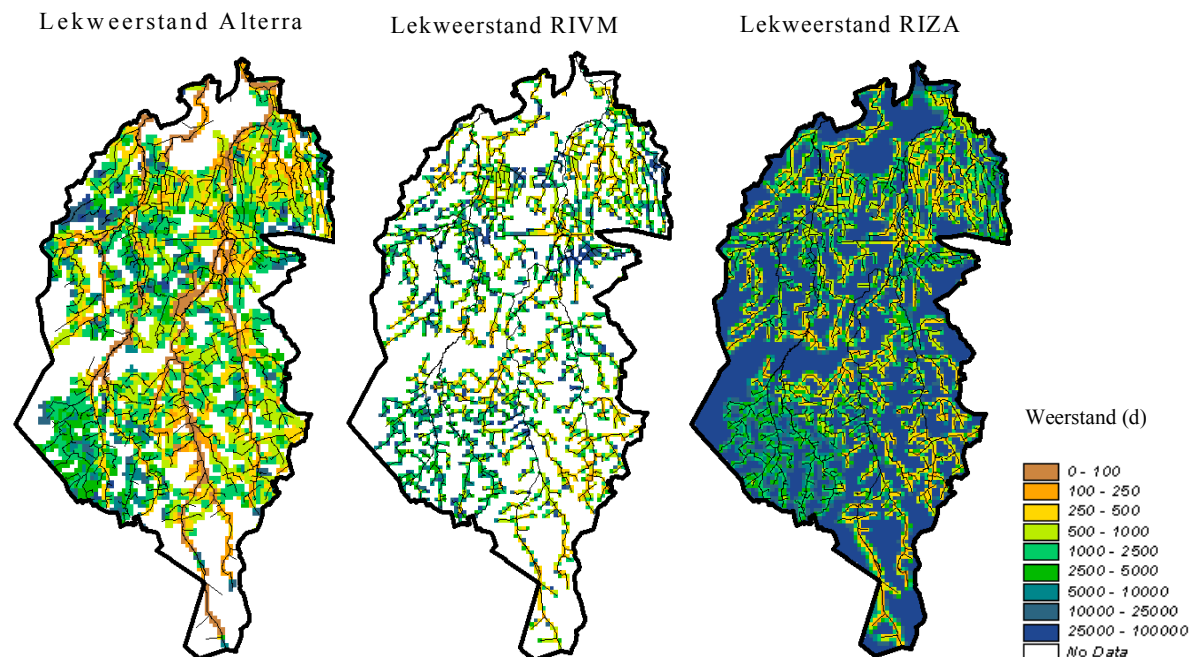
Voor de presentatie en een beter vergelijk van de weerstanden zijn de weerstanden van Alterra, die per invloedsgebied van het modelknooppunt zijn berekend, omgerekend naar

lekweerstanden voor een presentatiegridcel van 250 meter. Doordat het presentatiegrid een andere vorm heeft dan de Alterra invloedsgebieden is in een groter gebied weerstanden gepresenteerd dan gehanteerd in het model.

### 5.2.2 Relatieve verschillen en conclusies

In deze paragraaf worden de relatieve verschillen tussen de lekweerstand van de verschillende instituten bekeken. Bij de presentatie is gekozen voor de relatieve verschillen, omdat deze beter inzicht geven in de onderlinge verhoudingen van weerstanden dan de absolute verschillen. Om de data tussen de verschillende instituten beter vergelijkbaar te maken is alleen vergeleken in die gebieden waar alle instituten een lekweerstand berekenen, dat wil zeggen in de cellen (elementen) waarbinnen waterlopen aanwezig zijn. Hiervoor is de selectie van het RIVM gebruikt, deze selectie is het meest beperkend.

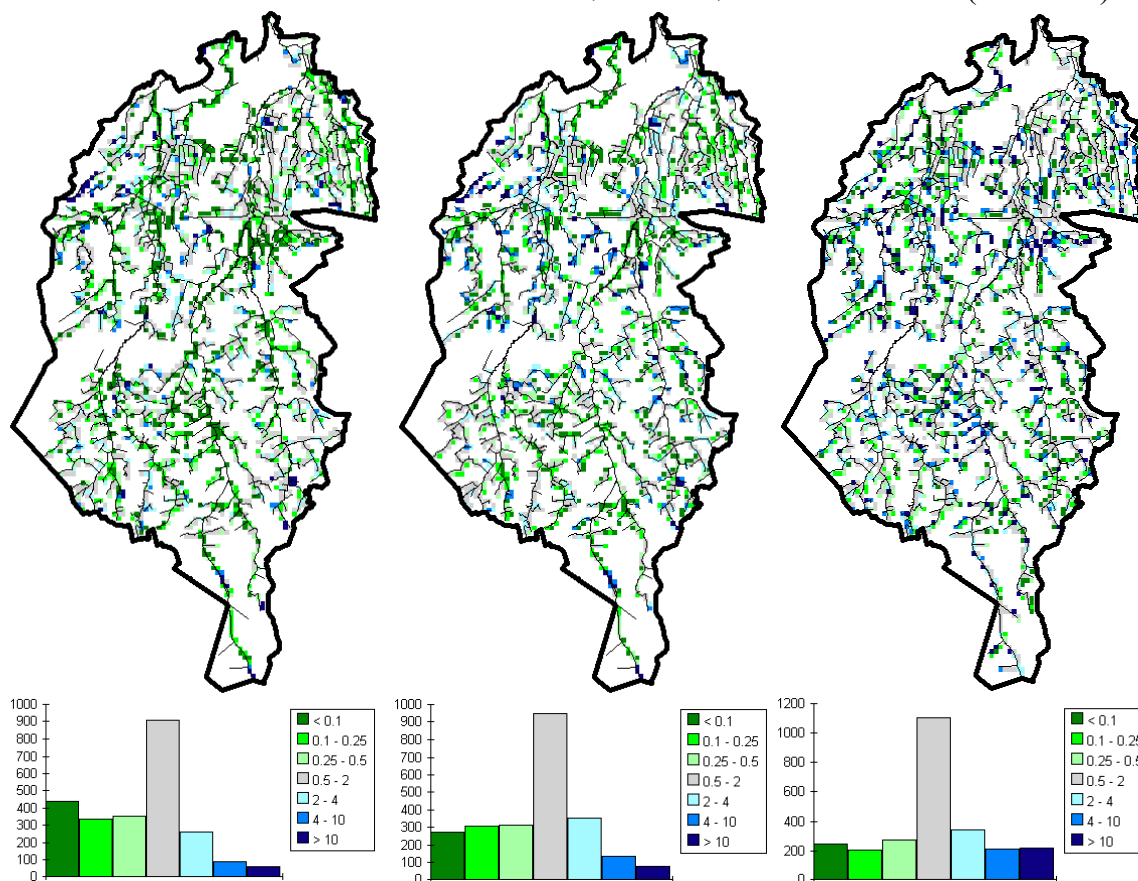
In de verdeling van de grondwaterafvoer naar de onderscheiden drainagesystemen speelt de lekweerstand een zeer belangrijke rol. De analyse van de gebruikte lekweerstanden laat zien dat er grote verschillen in waarden zijn, die in de verschillende modellen zijn gebruikt. De verschillen lijken vooral op te treden in gebieden met een lage drainage dichtheid. Het ontstaan van de verschillen is terug te voeren naar verschillen in parametrisatie van de slootafstand en verschillend in de concepten voor de lekweerstand (formule Ernst cq. De Lange). Ook de gebruikte opschalingmethoden om de lekweerstand per gridcel van 250 meter te kunnen vergelijken draagt bij aan onderlinge verschillen. De verschillen in de modelwaarden van de lekweerstand geeft per model een andere verdeling van de grondwaterafvoer naar de verschillende drainagesystemen.



Figuur 5.1 De lekweerstanden van het secundaire drainagesysteem van respectievelijk Alterra, RIVM en het RIZA.



Alterra / RIVM (secundair)    Alterra / RIZA (secundair)    RIVM / RIZA (secundair)



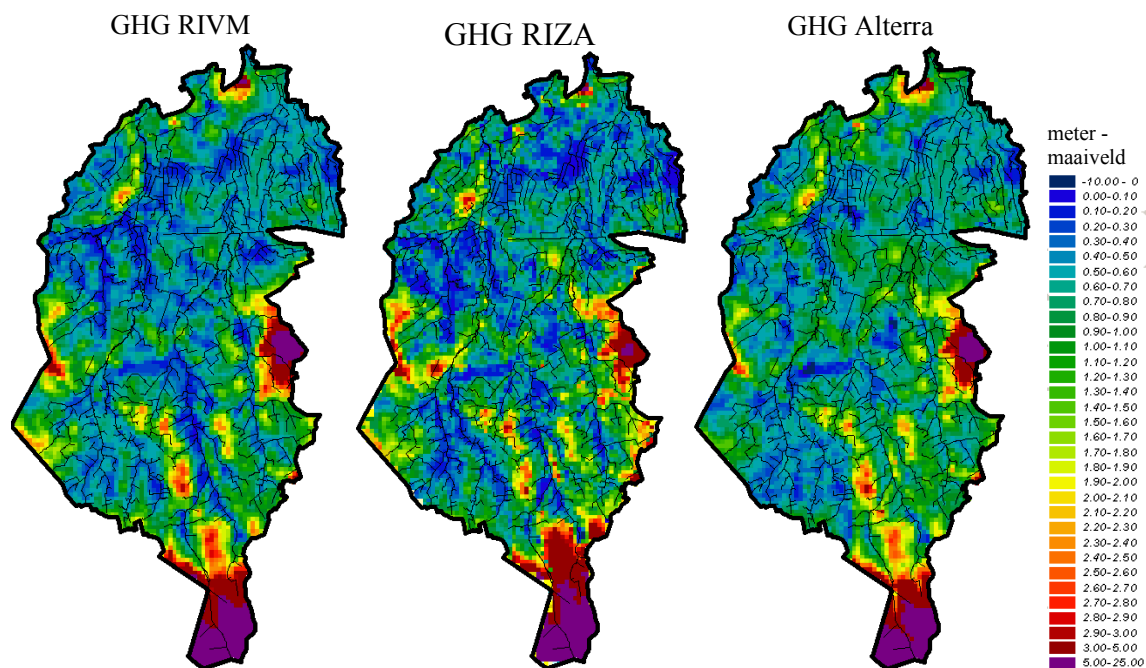
*Figuur 5.2 Relatieve verschillen tussen de lekweerstanden van de verschillende instituten voor het secundaire drainagesysteem. Boven elk figuur staat aangegeven welke waarden op elkaar gedeeld zijn. Alle 250 meter cellen waarbinnen geen secundaire waterloop (volgens selectie van RIVM) valt zijn buiten beschouwing gelaten. Onder elk figuur staat een histogram met de verdeling van de relatieve waarden (n=2571).*

## 5.3 Grondwater patronen en dynamiek

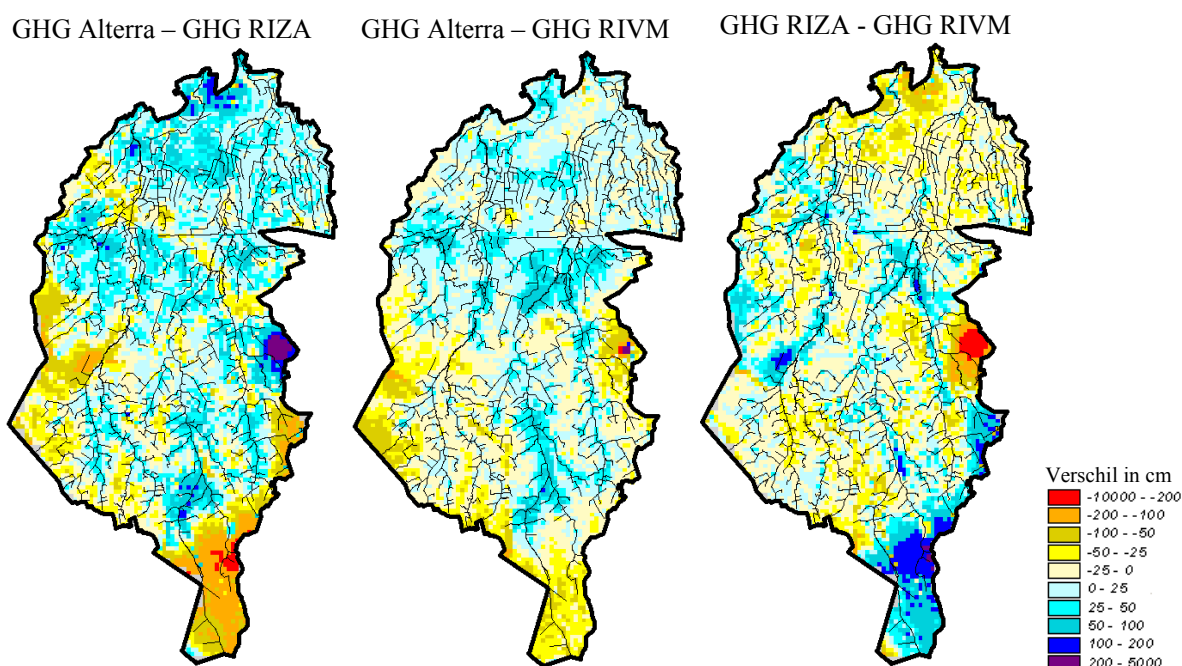
De grondwaterpatronen en de dynamiek van het ondiepe grondwater (GHG, GLG en ondiep grondwater (wvp2)) zijn tijdens de simultane presentatie vergeleken. De analyse en conclusies uit die vergelijking staan verwoord in deze paragraaf en worden geïllustreerd aan de hand van figuren van de GHG. Andere figuren kunnen worden gevonden in de rapportages van de instituten.

### 5.3.1 GHG

Door de drie instituten is een GHG berekend voor de periode 1985-1990. Ieder instituut heeft berekeningen op eigen schaal uitgevoerd. Voor een eenduidige vergelijking zijn de resultaten van deze berekening hier gemiddeld weergegeven voor 250 m gridcellen. (zie figuur 5.3) Voor een goede vergelijking zijn ook de verschillen berekend. (zie figuur 5.4)



Figuur 5.3 De berekende GHG t.o.v. maaiveld van respectievelijk het RIVM, RIZA en Alterra



Figuur 5.4 De verschillen in GHG tussen de instituten. In de blauwe gebieden is laatste genoemde instituut natter, in de rood/gele gebieden droger.

De berekende ruimtelijke patronen komen overeen, maar de absolute uitkomsten verschillen sterk. Bij Alterra worden de beekdalen relatief droger gesimuleerd dan bij RIVM en RIZA. Verder valt op dat rond de grote grondwater onttrekking (in het midden aan de rechter rand van het modelgebied) door RIZA relatief lage grondwaterstanden worden gesimuleerd. Ook in de zuidelijke punt zijn opvallende verschillen waar te nemen.

### 5.3.2 GLG

Ook hier lijken de berekende ruimtelijke patronen veel op elkaar. Rond de eerder genoemde onttrekking en het zuidelijk modelgebied zijn vergelijkbare verschillen tussen RIZA en de

andere instituten waar te nemen als bij de GHG. Rond de beekdalen zijn de GHG's van RIZA en Alterra vergelijkbaar, het RIVM is relatief natter.

### **5.3.3 Grondwater dynamiek**

Voor 4 punten, (zie figuur 3.2) is de berekende grondwaterdynamiek in beeld gebracht. De berekende grondwaterniveaus verschillen. De berekende dynamiek daarentegen komt goed overeen.

### **5.3.4 Stijghoogte WVP2**

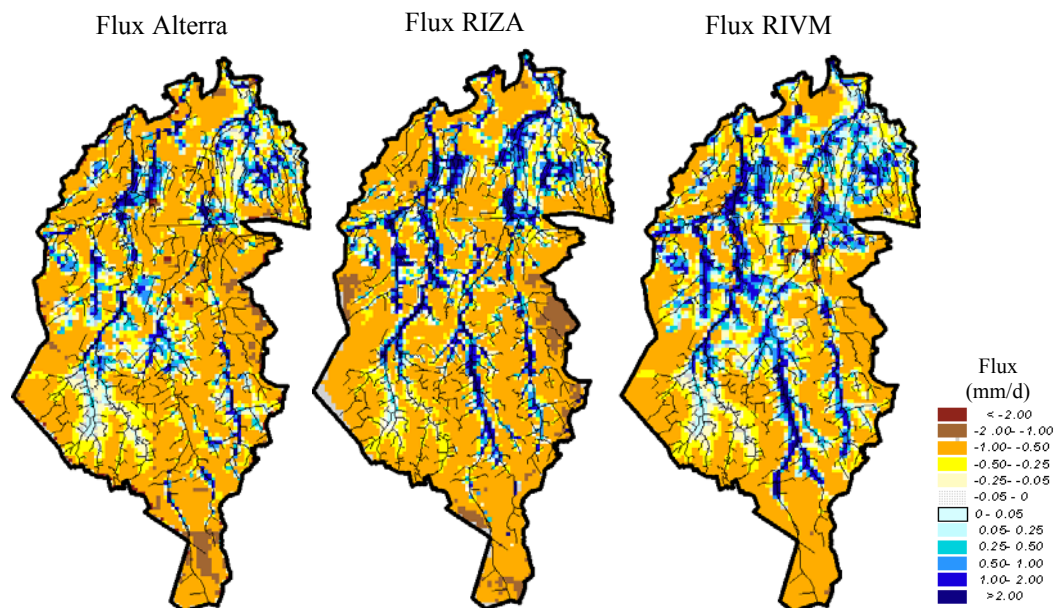
De verschillen tussen de instituten zijn hier groter dan voor de GHG en GLG. Tussen de uitkomsten van het RIVM en Alterra bestaan de minste verschillen. De verschillen in patronen zijn in het algemeen een stuk gedempt ten opzichte van de verschillen geconstateerd bij de GHG en GLG.

## **5.4 De waterbalans**

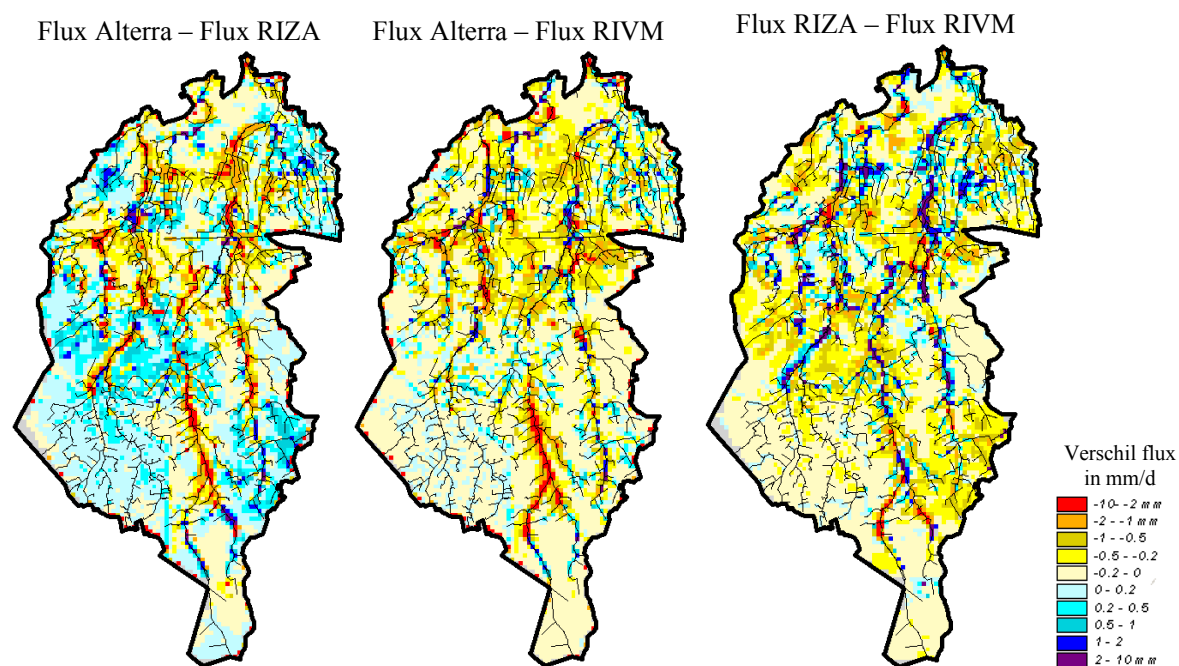
Voor diverse periodes en gebieden zijn de waterbalanstermen voor het topsysteem uitgerekend. Bovendien zijn de waterbalansen voor een typisch beekdal en een meer door kwel beïnvloed gebied afzonderlijk beschouwd. In deze rapportage wordt alleen de waterbalans over het hele stroomgebied gepresenteerd, voor de periode 1985-1990. Uit de analyse van de lokale en stroomgebieddekkende waterbalans komt naar voren dat de onderlinge lokale verschillen afwijkend en ook groter zijn dan die voor het hele stroomgebied.

### **5.4.1 Flux over de 1ste scheidende laag**

Een belangrijke post in de waterbalans is de flux van het diepe grondwatersysteem naar het topsysteem. In figuur 4.5 is de ruimtelijke verdeling hiervan weergegeven. Bij het RIZA en RIVM is meer kwel gesimuleerd in de beekdalen dan bij Alterra. De verklaring hiervoor is dat bij Alterra de hoofdbeken ingesneden zijn in het tweede watervoerende pakket, waardoor er geen/weinig kwel is naar het eerste pakket rondom de hoofdbeken. Kijkend naar de berekende verschillen (Figuur 5.6) valt op dat de door het RIZA berekende inzijging tussen de beken het grootst is. Verder wordt duidelijk dat de kwelpatronen van het RIZA en RIVM op elkaar lijken, maar dat de intensiteit in en rond de beek verschilt. Mogelijke verklaringen voor deze verschillen zijn de lekweerstanden en de parameterisering van het oppervlaktewaterniveau.



*Figuur 5.5 Flux door de 1<sup>ste</sup> scheidende laag in mm/d berekend over de periode 1985-1990. In de blauwe gebieden is sprake van kwel, in de oranje gebieden van inzijing.*



*Figuur 5.6 Verschil in veeljarig gemiddelde stroming door 1<sup>e</sup> scheidende laag, in de blauwe gebieden heeft laatst genoemde meer grondwateraanvulling/minder kwel en in de oranje gebieden juist meer kwel/minder grondwateraanvulling.*

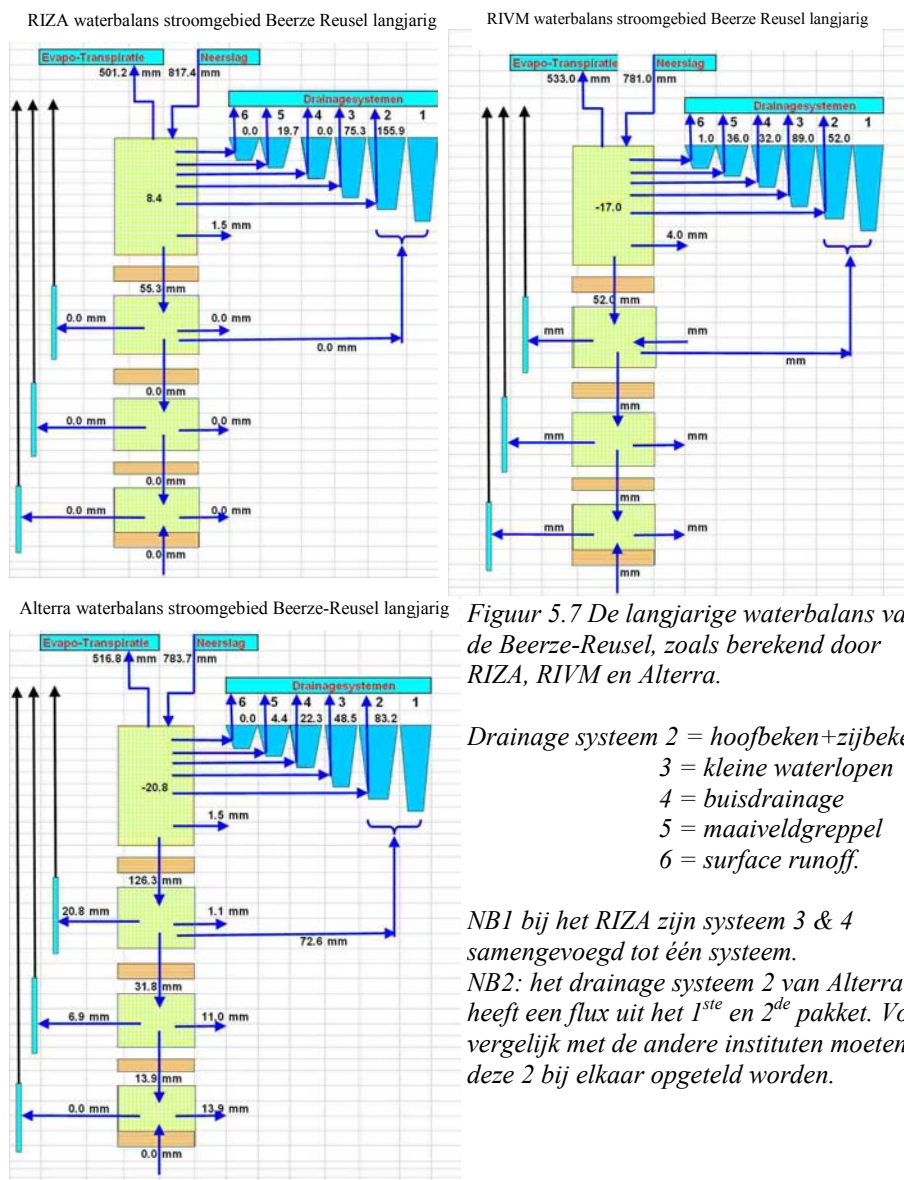
#### 5.4.2 De totale waterbalans

In figuur 5.7 staan de waterbalanstermen voor de periode 1985-1990 geschematiseerd. De hoofdbeken die bij Alterra de eerste scheidende laag doorsnijden komen duidelijk uit in de figuur. Bijna 50% van het water in de hoofdbeek komt uit dit pakket. De invloed op de flux door de 1<sup>ste</sup> laag is dan ook duidelijk terug te zien. RIVM en RIZA berekenen beide ongeveer 50 mm/j, Alterra 126 mm/j. Wordt er echter gecorrigeerd voor de fluxen naar de hoofdbeken, dan berekent ook Alterra een netto infiltratie van circa 50 mm/j voor het studie gebied. Er zijn verschillen in verdamping: RIZA berekent 501 mm/j, Alterra 517 mm/j en RIVM komt uit op 533 mm/j. De verschillen zullen onder andere ontstaan door het verschil in

onverzadigde zone modellering. Ook zal het verschil in de parameterisering van de lekweerstanden een belangrijke rol spelen.

In de verdeling van de fluxen naar het oppervlaktewater berekenen Alterra en RIZA de grootste flux voor het 2<sup>de</sup> systeem, circa 160 mm/j. Het RIVM komt uit op 52 mm/j en berekent de grootste flux naar het 3<sup>de</sup> systeem. De verschillen treden ook op in de fluxen naar de kleinere drainage systemen (systeem 3 tot 6). Verschillen in de fluxen zullen zijn ontstaan door het verschil in toegepaste lekweerstanden en een combinatie van andere factoren die van invloed zijn op de grondwaterstand zoals wel/geen fluctuerend oppervlaktewater peil. De totale flux naar de drainage systemen van het RIVM is wat kleiner dan die bij twee andere instituten, dit wordt veroorzaakt door de grotere verdamping van het RIVM.

De berekende bergingsverandering in de modellen is gering. RIVM en Alterra berekenen een lichte afname van de geborgen hoeveelheid grondwater van circa 20 mm/j. Het RIZA heeft een kleine toename berekend van 8 mm/j. Verschillen kunnen onder andere ontstaan doordat het RIZA semi-stationair heeft gerekend, met een inspeel jaar en een analyse jaar (dus 5 berekeningsperioden), Alterra en RIVM hebben de hele periode 1985-1990 in één run doorgerekend, waardoor bergingsveranderingen over meerdere jaren kunnen worden doorgegeven.



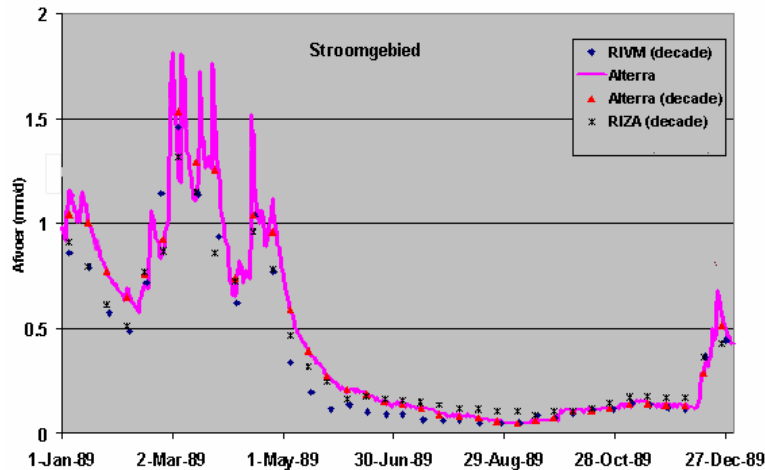
Figuur 5.7 De langjarige waterbalans van de Beerze-Reusel, zoals berekend door RIZA, RIVM en Alterra.

- Drainage systeem 2 = hoofbeken+zijbeken,
- 3 = kleine waterlopen
- 4 = buisdrainage
- 5 = maaiveldgreppel
- 6 = surface runoff.

NB1 bij het RIZA zijn systeem 3 & 4 samengevoegd tot één systeem.  
 NB2: het drainage systeem 2 van Alterra heeft een flux uit het 1<sup>ste</sup> en 2<sup>de</sup> pakket. Voor vergelijk met de andere instituten moeten deze 2 bij elkaar opgeteld worden.

### 5.4.3 Afvoer dynamiek

Voor het jaar 1989 is de afvoerdynamiek van het stroomgebied beschouwd, een jaar met relatief lage afvoeren. Voor de vergelijking zijn de fluxen naar alle drainagesystemen gesommeerd. (zie Figuur 5.8) In het algemeen hebben de afvoeren een zelfde orde grote. Uit de vergelijking van de decade cijfers komt naar voren dat Alterra in de natte periode (januari - maart) relatief hogere afvoeren berekent dan RIVM en RIZA. In de droge periode is de afvoer van het RIZA wat hoger. Dit laatste wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat het RIZA een stationaire flux heeft gebruikt als onderrandvoorwaarde voor het topsysteem. RIVM heeft in de zomer periode relatief lage afvoeren, waarschijnlijk onder andere als gevolg van de eerder benoemde hogere verdamping.



Figuur 5.8 De berekende afvoerdynamiek op decade basis van Alterra, RIVM en RIZA. Ter illustratie staat de afvoer van Alterra op dagbasis ook in de figuur.

## 5.5 Algemene conclusies

Ter afsluiting van dit hoofdstuk de algemene conclusies. Deze zijn deels tot stand gekomen tijdens de workshop van de drie instituten en komen grotendeels terug in de hiervoor beschreven resultaten van de onderlinge vergelijking. In het volgende hoofdstuk zijn ze verder uitgewerkt tot aanbevelingen.

1. De verschillende concepten leiden niet echt tot schokkende verschillen in waterbalans en ruimtelijke patronen.
2. Er zijn wel aanzienlijk verschillen in met name de GHG, GLG en diepere grondwaterstanden. Dat de verschillen in GHG zo groot zijn is onverwacht, deze waterstand wordt vaak als relatief eenduidig te modelleren beschouwd.
3. Er zijn duidelijke verschillen in de verdeling van de afvoer naar de onderscheiden drainagesystemen. Aangezien dit sterk bepalend is voor de lotgevallen van stoffen is dat een belangrijke constatering.
4. Er zijn verschillen in de parameterisering van belangrijke invoerparameters zoals de lekweerstand en de ontwateringsbasis. Dit maakt het lastig om de verschillen in grondwaterstand nog op basis van andere verschillen in parametrisatie eenduidig te verklaren.
5. De verschillen in verdamping zijn behoorlijk groot, met gevolgen voor het neerslagoverschot en daarmee de belasting van stoffen op het oppervlaktewater. Dat betekent dat er al bij het begin van de hydrologisch cyclus verschillen ontstaan.

6. Lokaal zijn er voor de waterbalans grotere en andere verschillen dan voor het hele stroomgebied.

Door een aantal oorzaken, waaronder tijdsgebrek, is verdere analyse van de verschillen in modelconcepten niet uitgevoerd. Hierbij kan worden gedacht aan verschillen in scenario berekeningen en het belang van dynamische processen als kwel en oppervlaktewaterstand.





## **6. Algemene conclusies en aanbevelingen**

### **6.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk worden meer algemene conclusies verwoord, die vooral ten doel hebben om het gezamenlijke vertrekpunt neer te zetten. De conclusies en aanbevelingen zijn gericht op de toekomstige ontwikkeling van een landelijk beleidsondersteunend modelsysteem voor het Nederlandse watersysteem.

De leidraad voor dit hoofdstuk is casuoverstijgende, meer algemene conclusies en aanbevelingen op te stellen, gegeven de doelstelling van het project. Dat doel is het vergelijken van verschillende modelconcepten en daarmee de schematisering en parameterisering van het hydrologisch systeem, met het oog op regionale en lands(deel)dekkende modellering van de hydrologie ten behoeve van (supra)regionale en nationale milieuverkenningen (Milieuverkenning en Milieubalans), waterverkenningen zoals voortkomend uit het Nationaal Bestuursakkoord Water (de Kaderrichtlijn Water en Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw) en thematische evaluaties, zoals het Gewenste Grond en Oppervlaktewater Regime (GGOR), Ruimte voor de Rivieren (RvR), het Meststoffenbeleid en Gewasbeschermingsbeleid.

### **6.2 Conclusies**

#### **6.2.1 Algemeen**

1. Het huidige resultaat van de modelvergelijkingen is te beschouwen als een vergelijking van de huidige wijze van grootschalig modelleren voor beleidsondersteunende toepassingen bij de verschillende instituten. Gedurende het proces van de vergelijking zijn hiervoor bij de instituten nog diverse structurele veranderingen in de modelsystemen aangebracht. Mede hierdoor, maar vooral door de tijdsdruk en de verschillende interne plannings bij de instituten kon niet altijd voldoende in stappen afgestemd worden (eerst data, dan geschaalde waarden, etc). Toch is inzicht en consensus ontstaan over conceptualisering en parameterisering van een landsdekkend toepasbaar hydrologisch modelinstrumentarium.
2. Ondanks gebruik van dezelfde basisbestanden zijn verschillen in de daarvan afgeleide modelinvoerparameters ontstaan die, naast de verschillen in gehanteerde modelconcepten, koppelingsconcepten en modelprogramma's, relevant hebben bijgedragen aan verschillen in uitkomsten.

#### **6.2.2 Plotbenadering versus locatie-op-locatie gekoppelde deelsystemen**

1. De plotbenadering zoals uitgevoerd in het kader van STONE 2.1 levert ten opzichte van de regionale benadering met locatie-op-locatie gekoppelde deelsystemen aanzienlijke afwijkingen in grondwaterstanden, ruimtelijke kwelpatronen, afvoerdynamiek en afvoerdeling naar de onderscheiden klassen van ontwateringsmiddelen. Deze afwijking wordt ten dele toegeschreven aan de plotbenadering in STONE; het overige deel moet worden toegeschreven aan verschillen in basisbestanden (bijvoorbeeld de

ontwateringsbasis) en schematisaties (bijvoorbeeld de vaste onderrandflux op een grensvlak van 13 meter diepte). Vanwege de representativiteit van het proefgebied Beerze-Reusel voor hoog-Nederland worden dergelijke afwijkingen geacht vaker voor te komen in hoog-Nederland.

### **6.2.3 Conceptualisering deelsystemen en koppelingen**

#### ***A: Neerslag, verdamping en stroming in de onverzadigde zone***

*Belang voor (landelijke) beleidsanalyse: de hydrologisch processen neerslag, verdamping en stroming in de onverzadigde zone zijn (mede) van cruciaal belang voor bijvoorbeeld nutriëntenvraagstukken en piekafvoeren.*

1. Over de mate waarin resultaten van metingen van het op zich goed begrepen neerslagproces een geheel correcte neerslaghoeveelheid representeren, bestaat nog discussie. Belangrijker is het feit dat de parameterisering van de ruimtelijke en temporele variabiliteit van neerslaggegevens nog onvoldoende is genormaliseerd. Dit betreft zowel de ruimtelijke interpolatie van gegevens van KNMI-stations als het (per station) zonodig neerschalen van neerslagcijfers naar een fijnere tijdschaal.
2. De verschillen in conceptualisering en parameterisering van de reductie van de verdamping als gevolg van de hydrologische omstandigheden in de wortelzone leiden tot duidelijk verschillende verdampingsreducties in met name extreem droge, maar ook natte jaren. Op dit moment is niet aan te geven welk instrumentarium de verdamping goed simuleert, maar duidelijk is dat eenvoudige benaderingen die niet, of in beperkte mate rekening houden met de reductie van verdamping niet volstaan.
3. De conceptualisering, schematisering en parameterisering van de stroming van water in de onverzadigde zone is in de vier modelsystemen sterk verschillend. Naast de verschillen genoemd binnen de verzadigde zone en het oppervlaktewater (zie onder B en C), is dit één van de mogelijke oorzaken van de berekende verschillen in verdamping en grondwaterstandsverloop.

#### ***B: Koppeling onverzadigde zone - verzadigde zone en stroming van water in de verzadigde zone***

*Belang voor (landelijke) beleidsanalyses: de hydrologische processen van aanvoer van diep grondwater naar zowel drainagesystemen als naar vegetatie, en de buffering van water in diepe en ondiepe pakketten in de ondergrond zijn van cruciaal belang voor bijvoorbeeld droogte-gerelateerde problemen (milieu en natuur), nutriëntenvraagstukken, maar ook overstromingsproblematiek.*

1. Verschillende koppelingsconcepten tussen onverzadigde zone en verzadigd grondwatersysteem zijn toegepast. Afgezet tegen de berekeningsresultaten van STONE kan worden geconcludeerd dat een sterk ontkoppeld systeem zoals STONE niet tot goede resultaten leidt. Uit de overige ervaringen bij het maken van koppelingen wordt geconcludeerd, dat naarmate het koppelingssysteem stringenter voldoet aan de basiseisen (gelijke resultaten in het gebied van overlap, continuïteit in tijd en plaats, etc.), dit weliswaar meer terugkoppeling vereist maar dat de resultaten plausibeler worden.
2. Voor landelijke modellering is het noodzakelijk om de (geo)hydrologie grensoverschrijdend te modelleren.

3. De schematisering van de diepe ondergrond in REGIS biedt basisgegevens voor landsdekkende grondwatermodellering, maar heeft nog interpretatie/bewerking nodig om te komen tot adequate modelinvoerparameters, zoals hydrologisch relevante watervoerende pakketten en scheidende lagen, transmissiviteiten en weerstanden.

### **C: Koppeling grondwater - oppervlaktewater,**

*Belang voor (landelijke) beleidsanalyse: de uitwisseling tussen het grond- en oppervlaktewater is in bijna heel Nederland cruciaal voor een goede beschrijving van de toestand van het grondwater. De verdeling van de afvoer van grondwater over de verschillende drainage-middelen, en de veranderingen daarvan in de tijd, bepalen bijvoorbeeld de reactietijd van het verzadigd grondwatersysteem voor zowel kwaliteits- als kwantiteitsgerelateerde problemen.*

1. De verschillen in de berekende verdeling van de fluxen naar de onderscheiden klassen van waterlopen zijn groot. Deze worden voor een groot deel veroorzaakt door de verschillen in de gehanteerde peilen / ontwaterings-niveaus en lekweerstand, maar ook bijvoorbeeld door het al dan niet doorsnijden van waterlopen door de eerste scheidende laag. Omdat dezelfde basisbestanden (hoogtegegevens, bodemkaarten, geohydrologische opbouw, ligging van waterlopen, etc.) zijn gebruikt, ligt de oorzaak van de verschillen in de afgeleide parameters (de slootafstanden en lekweerstand van het oppervlaktewatersysteem), de gebruikte methoden voor opschaling en in expertkeuzen (vaststelling van de diepte en dynamiek van de ontwateringsbasis).

### **D: Oppervlaktewater**

*Belang voor (landelijke) beleidsanalyse: modellering van de dynamiek van het oppervlaktewaterpeil binnen het grondwatermodel is nodig voor bijvoorbeeld beleidsanalyses van wateroverlast en watertekort (WB21), maar ook voor de aan kwaliteit gerelateerde problemen, zoals de uitspoeling van stoffen.*

1. De modellering van het oppervlaktewater is door de drie deelnemende instituten sterk verschillend uitgevoerd, bijvoorbeeld het impliciet of expliciet meenemen van waterlopen in het model en het wel of niet simuleren van de stroming en (peil)dynamiek binnen het oppervlaktewatersysteem. De casus heeft geen directe bewijzen opgeleverd in hoeverre deze verschillen leiden tot afwijking in uitkomsten, maar aangenomen mag worden dat deze dynamiek moet worden gesimuleerd, wanneer de vraagstukken focussen op de dynamische processen in het oppervlaktewatersysteem (bijvoorbeeld droogvallende waterlopen of sterk fluctuerende peilen) of regionaal maatwerk met betrekking tot waterhuishoudkundige maatregelen.

### **E: Operationaliteit**

1. Het RIZA-instrumentarium (MOZART/NAGROM) is landelijk operationeel. Het Alterra-instrumentarium (SIMGRO) is operationeel op regionaal niveau, maar niet landelijk voorzien van data. Het RIVM-instrumentarium (LGM/SWAP) is recent operationeel geworden en voor hoog-Nederland toegepast. Het gezamenlijke instrumentarium (STONE) is landelijk operationeel.

## 6.3 Aanbevelingen

De werkgroep komt op basis van de vergelijking van de hydrologische modelinstrumentaria in het studiegebied Beerze-Reusel, maar ook op grond van andere ervaringen, discussies en rapportages, tot de volgende aanbevelingen voor een herziening van het voor nationale beleidsstudies te gebruiken modelsysteem:

1. **Hoofdaanbeveling:** De leden van de drie deelnemende instituten hebben door de intensieve, diepgaande en respectvolle discussies veel inzicht en waardering voor ieders expertise en aanpak gekregen. Zij zijn goed toegerust om
  - actief mee te werken aan en
  - de gezamenlijke kennis in te brengen in en
  - ondersteunend te werken aan de operationaliteit, kwaliteitsborging en acceptatie van
  - een gezamenlijk nationaal beleidsondersteunend instrumentarium op het gebied van kwaliteit en kwantiteit van grond- en oppervlaktewater.Dit leidt tot een betere acceptatie, een duidelijke kwaliteitsverbetering en een efficiëntere inzet van middelen.

Nadere concretisering van het waterbeleid voortkomend uit o.a. het Nationaal Bestuursakkoord Water (KRW, WB21) en thematische evaluaties, zoals Ruimte voor de Rivieren (RvR) en het Gewenste Grond- en Oppervlaktewater Regime (GGOR), eisen overeenstemming van verschillende overheden over beleidsmaatregelen. Deze vragen om eenduidige onderbouwingen van landsdekkende toepassingen en vergelijkbaarheid met regionale studies. Daarop sluiten de volgende aanbevelingen aan.

2. Aanbevolen wordt om voor de aangesloten instituten een regeling te treffen over het gebruik van basisbestanden en de uitwisseling van daarop gebaseerde bestanden, waarvoor betaling aan externe partijen verschuldigd is. De ervaringen van de leden Consensusgroep Hydrologie geven aan dat hierdoor een belangrijke homogenisering en efficiencyverbetering (door het niet op meerdere plaatsen te moeten uitvoeren van bewerkingen) van modelinvoer kan plaats vinden. Het gaat hierbij onder meer om:
  - a. gedetailleerde neerslag- en verdampingsgegevens;
  - b. hoogtebestanden (AHN);
  - c. informatie uit de topografische kaart (Top10-vector);
  - d. REGIS-bestanden (inclusief grondwateronttrekkingsgegevens);
  - e. landgebruiksgegevens (LGN);
  - f. omvang en locatie van berekening;
  - g. locatie en diepte van buisdrainage;
  - h. regionale bodemkundige gegevens (bodemtypen en bodemfysische kenmerken);
  - i. bodemchemische- en geochemische eigenschappen.
3. Daarnaast wordt aanbevolen om een set van algemene protocollen voor het vertalen van basisdata naar modelparameters op te stellen en in bijvoorbeeld open GIS-procedures vast te leggen. Dit leidt tot haast vanzelfsprekende standaardisering van protocollen. Dit betreft in het bijzonder de volgende procedures:
  - a. bepaling van afmetingen en de drainagebasis van regionale waterlopen die niet in bestanden van anderen (waterschappen) zijn opgenomen

- b. de standaard voor het afleiden van drainage-eigenschappen op een kleine schaal en opschaling van de modelparameters (zoals de lekweerstand) voor het gebruik in grotere eenheden
  - c. standaarden voor bepaling (inclusief opschaling) van bodemfysische, bodemchemische, geo-hydrologische en geochemische modelparameters.
4. Gebaseerd op ervaringen met de STONE-website wordt aanbevolen om voor alle afgeleide data en gecalibreerde modelparameters voor heel Nederland bestanden kosteloos en vrij beschikbaar te stellen en up-to-date te houden. Dit leidt tot veelvuldig gebruik en haast vanzelfsprekende standaardisering. Specifiek gaat het daarbij om de volgende afgeleide data:
  - a. Uniforme schematisering van (grote) oppervlaktewaterlopen (ruimtelijke patronen, structuren en afmetingen), afwateringseenheden, wateraanvoergebieden, oppervlaktewaterpeilen en afvoer (Q-h)relaties, zoals (ten dele) beoogd in WIS2.
  - b. geohydrologische modelparameters van het topsysteem (doorlatendheden, transmissiviteiten, weerstanden) en het diepe grondwatersysteem (afgeleide modelparameters die zich onderscheiden van basisgegevens in REGIS: transmissiviteiten, weerstanden en bergingscoëfficiënten).
5. Een algemeen bruikbaar landelijk instrumentarium stelt hoge eisen aan de functionaliteit voor beleidstoepassingen, de relatie met de werkelijkheid en performance. Daartoe dienen twee pilots (hoog- en laag-Nederland) te worden uitgevoerd, waarin deze eigenschappen voor het uiteindelijk te specificeren nationale hydrologische modelinstrumentarium worden getest en gevalideerd.
6. Voor landelijke beleidsstudies dient de bestaande STONE-plotbenadering te worden vervangen door een locatiegebonden, dus geografisch expliciete benadering, waarbij het verzadigde systeem en het onverzadigd systeem locatie-op-locatie is gekoppeld.
7. De schematisering en parameterisering van de interactie grondwater-oppervlaktewater voor de ontwateringsmiddelen dient te worden uitgevoerd conform het gezamenlijk gedragen artikel hierover gepubliceerd in Stromingen (Groenendijk et al., 2003), te weten berekening van de lekweerstand (voorheen drainageweerstand voor een modelcel) met de formule Bruggeman/De Lange/Groenendijk.
8. Voor regionale en landelijke modellering is het noodzakelijk in het oppervlaktewatersysteem de ruimtelijke verdeling van het water bij te houden. Dit geldt zowel voor het nationale watersysteem als voor stroomgebieden en substroomgebieden. De mate van detail kan voor specifieke toepassingen verschillen.
9. Een gemiddelde celgrootte van 100 tot 250 meter (met variatie van 25 meter tot 2000 meter) wordt haalbaar en wenselijk gezien voor toekomstige landelijke modellering. Differentiatie is afhankelijk van de beleidsvraag en geohydrologische gebiedskenmerken.
10. Voor landelijke modellering noodzakelijke grensoverschrijdende data dient centraal te worden verzameld. De interactie over de grens dient in een eenduidige en algemeen bruikbare set parameters te worden vastgelegd en geverifieerd in het desbetreffende buurland.

11. Voor de beantwoording van specifieke beleidsvragen, zoals voortkomend uit WB21-studies en waterkwaliteitsthema's, is in het toekomstige modelinstrumentarium extra aandacht nodig voor stroming en berging nabij het maaiveld. Bovendien moet een adequate methode worden vastgesteld voor de berekening van verblijftijden ten behoeve van de uitspoeling. Deze methode moet beter recht doen aan de geohydrologische karakteristieken van de verschillende grondwaterstelsels en ontwateringssystemen dan het modelconcept in het STONE-instrumentarium.
12. De modelprogramma's in het toekomstige modelinstrumentarium moeten voldoen aan de internationale standaard voor Open-software. Het instrumentarium moet kunnen inspelen op andere, in de toekomst te verwachten regelingen en aanwijzingen voor standaardisatie, zoals momenteel in Europees verband voor de KaderRichtlijn Water wordt opgebouwd.
13. Het te ontwikkelen instrumentarium moet kunnen inspelen op nieuwe inzichten, methoden, technieken, procesformuleringen en andere wetenschappelijke ontwikkelingen.

Slotopmerking:

De ervaringen van de Consensusgroep Hydrologie van de afgelopen jaren vormen een goede basis voor het nieuw op te zetten hydrologisch modelinstrumentarium voor lands(deel)dekkende studies op het gebied van waterkwantiteit en -kwaliteit, en de daarbij behorende beschikbaarstelling van basisgegevens en protocollen voor probleemspecifieke schematisering en parameterisering.

## Literatuur

- Bakel, J. van, A. van der Giessen, P. Groenendijk, W. de Lange, T. Leijnse, R. Pastoors en H. Vermulst 1998. *Afstemming van hydrologische modellen voor het verzadigd topsysteem voor beleidstoepassingen*. Alterra/RIVM/RIZA.
- Bakel P.J.T. van, T. Kroon, J.G. Kroes, J. Hoogewoud, R. Pastoors, H.Th.L. Massop, D.J.J. Walvoort (in voorbereiding). *Reparatie Hydrologie voor STONE 2.1*. Alterra/RIVM/RIZA.
- Groenendijk, P., W.J. de Lange en K. Kovar, 2002. *Modelconcepten voor de interactie tussen verzadigd grondwater en oppervlaktewater*. Stromingen (8): 11-28
- Kroes, J.G., P.J.T. van Bakel, J. Huygen, T. Kroon en R. Pastoors, 2001. *Actualisatie van de hydrologie van STONE 2.0*. Alterra/RIZA/RIVM. Alterra-rapport 298/Reeks Milieu planbureau 16.
- Kroon T., P. Finke, I. Peereboom en A. Beusen, 2001. *Redesign Stone. De nieuwe schematisatie voor Stone; de ruimtelijke indeling en toekenning van de hydrologische en bodemchemische parameters*. Lelystad, RIZA-rapport 2001.017.
- Lange, W. J. de, 1997. *Nieuwe inzichten in het gebruik van voedingsweerstand of drainageweerstand in de randvoorwaarde van een grondwatermodel. Deel 3: Het parametriseren van de randvoorwaarde*. Stromingen (3) 4: 17-28.
- Massop H.T.L., T. Kroon, P.J.T van Bakel, W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors en J. Huygen, 2000. *Hydrologie voor Stone; Schematisatie en parametrisatie*. Alterra/RIZA/RIVM. Alterra-rapport 038/Reeks Milieuplanbureau 9.
- Massop, H.Th.L., T. Kroon, J. G. Kroes, P.J.T. van Bakel, A. Tiktak en W. Werkman (in voorbereiding). **Op zoek naar de "ware" neerslag en verdamping. Toetsing van de met het STONE 2.1-instrumentarium berekende verdamping aan literatuurgegevens en aan regionale waterbalansen, en de gevoeligheid van het neerslagoverschot op de uitspoeling van nutriënten**. Alterra/RIZA/RIVM.
- Ontwikkelingsteam NAGROM-MOZART-DEMNAT-AGRICOM, 1997. *Water onder land tussen regen en plant*. RIZA nota 97.062.
- Stoppelenburg, F.J., Kovar, K., Pastoors, M.J.H., Tiktak, A. 2005. *Modelling the interaction between saturated and unsaturated groundwater flow. Off-line coupling of LGM and SWAP*. RIVM report 500026001
- Walsum, P.E.V. en H.Th.L. Massop, 2003. *Consensusmodellering regionale hydrologie; Deelrapport SIMGRO*. Alterra-rapport 870.
- Walsum, P.E.V. van, A.A. Veldhuizen, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van der Bolt, P.E. Dik, P. Groenendijk, E.P. Querner en M.F.R. Smit. SIMGRO 5.0.1. *Theory and model implementation*. Alterra-Report 913.1.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1 : 250.000, ten behoeve van de PAWN-studie*. Rapport 2055. Stiboka, Wageningen.