

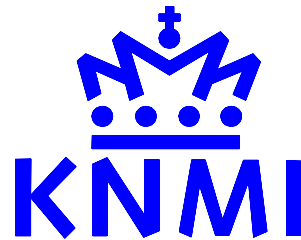
Definitiestudie rasterdata meteorologie

KNMI / RWS Waterdienst, 2008

Auteurs: T.A. Buishand, J.J. Beersma, R. Sluiter en T. Kroon



Rijkswaterstaat Waterdienst



KNMI

De Bilt, oktober 2008

1 Inleiding

Het KNMI en RWS-Waterdienst hebben sinds 1999 een samenwerkingsovereenkomst, waarin in opdracht van RWS onderzoek wordt verricht door het KNMI. Recent is gewerkt aan een neerslaggenerator voor het stroomgebied van de Maas, statistiek van de watertemperatuur, klimaatscenario's en een definitiestudie naar rasterdata. De voorliggende rapportage is onderdeel van dit laatste onderwerp.

Voor diverse modeltoepassingen is het wenselijk om meteorologische data, zowel historische data voor beleidsstudies als actuele data en verwachtingen voor operationele toepassingen op rasterformaat te hebben. Daarvoor dient een aantal vragen rond meteorologische rasterinformatie te worden beantwoord:

- 1) Wat is meteorologisch gezien haalbaar en verantwoord?
- 2) Wat is de toegevoegde waarde van het gebruik van radar- en satellietinformatie?
- 3) Welke rol wil het KNMI spelen bij het voorzien van rasterdata en wat is de eventuele rol van andere partijen?
- 4) Welke voorwaarden zijn er dan t.a.v. data politiek, bijvoorbeeld breder gebruik van dergelijke informatie door kennisinstututen en waterbeheerders?
- 5) Zijn er (inter)nationale projecten waarop kan worden meegelift?

Een belangrijk voorziene toepassing is het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, dat momenteel wordt ontwikkeld en voor de komende jaren als standaard grond- en oppervlaktewatermodel voor in ieder geval verschillende landelijke beleidstoepassingen zal worden ingezet.

Indicaties voor inspanningen, doorlooptijden van realisatie en implicaties voor de data-infrastructuur in de toekomst worden behandeld in een apart projectplan.

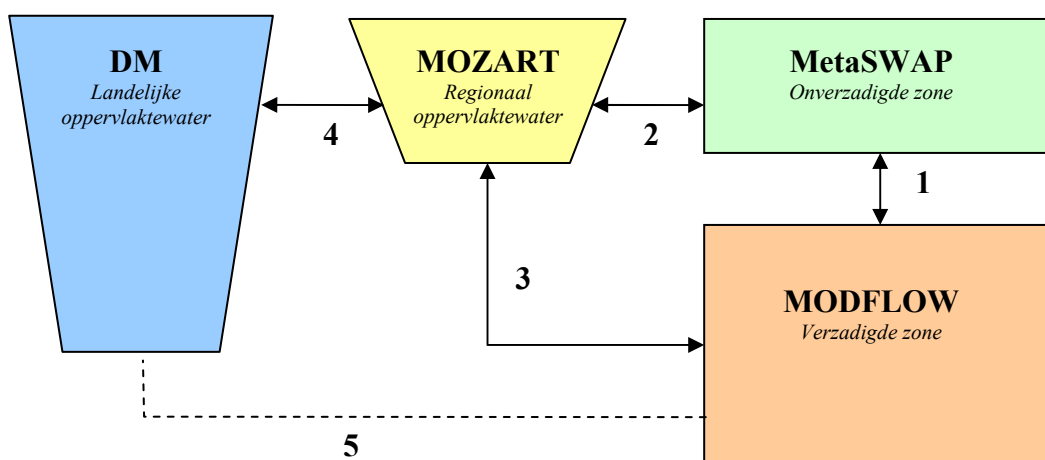
1.1 Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium

Algemene beschrijving

In 2005 hebben Deltares (destijds TNO Bouw en Ondergrond en WL|Delft Hydraulics), Alterra, RWS Waterdienst (destijds RIZA), PBL (PlanBureau voor de Leefomgeving, destijds MNP), en STOWA besloten een gezamenlijk Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI) te ontwikkelen. Met het NHI kunnen grond- en oppervlaktewaterstromingen op landelijke schaal berekend worden en hydrologische analyses worden uitgevoerd om strategische en operationele vragen voor de ministeries V&W, VROM en LNV te beantwoorden, bijvoorbeeld op het gebied van klimaatverandering, droogte en nutriëntenbelasting.

Het NHI (Projectgroep NHI, 2008) bestaat uit de modelcodes MODFLOW, MetaSWAP en Mozart/DM (zie figuur 1), inclusief schematisaties en randvoorwaarden voor Nederland. Met het model MODFLOW worden de berekeningen voor het grondwater uitgevoerd, tot in de diepe ondergrond. MetaSWAP berekent de processen in de onverzadigde zone, inclusief de gewasgroei. In het MOZART-deel wordt de vraag en aanbod van oppervlaktewater in het regionale watersysteem bijgehouden, waaronder de uitwisseling met het grondwater. Het Distributiemodel (DM) berekent het beschikbare water in het hoofdwatersysteem en de uitwisseling met het regionale watersysteem. Voor waterkwaliteitsmodellering wordt bovendien het model SWAP ingezet. Van dit model is het metamodel MetaSWAP afgeleid. Voor analyses van de waterkwaliteit is SWAP nodig omdat dit model met meer gedetailleerde schematisaties kan rekenen.

Het modelinstrumentarium is bijna landsdekkend; vooralsnog zijn het zuiden van Limburg en de Waddeneilanden niet geschematiseerd. Het modelinstrumentarium rekt nu met tijdstappen van 1 dag en met ruimtelijke eenheden van 250 bij 250 meter (gridcellen). Beschikbaarheid van oppervlaktewater wordt berekend in tijdstappen van decaden (ca 10 dagen) binnen de modellen MOZART/DM.



Figuur 1 Modelonderdelen van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium Fase 1+. De nummers duiden op de typen koppelingen (zie bijlage1)

Een nadere beschrijving van de verschillende modellen en de koppelingen van de modellen in het instrumentarium is gegeven in bijlage 1. Voor een uitgebreide beschrijving van de programmatuur en de invoerdata in het Nationaal Hydrologische modelinstrumentarium wordt verwezen naar de modelrapportage NHI (Projectgroep NHI, 2008).

Ontwikkeling van het instrumentarium

De ontwikkeling van het NHI wordt stapsgewijs aangepakt, waardoor de continuïteit van landsdekkende beleidsanalyses wordt gewaarborgd. De wijzigingen worden stapsgewijs doorgevoerd en getest.

Een eerste fase van ontwikkeling is in de zomer van 2008 afgerond. Deze fase is begonnen door beschikbare landsdekkende modelschematisaties bij de (voormalige) instituten RIZA, MNP en Alterra te migreren van oude modelomgeving (zoals NAGROM, LGM en MOZART) naar nieuwe modelcodes voor het diepe grondwater, de onverzadigde zone en het oppervlaktewatersysteem. Deze stap is in juni 2007 afgerond. Daarna zijn de invoerbestanden in het modelinstrumentarium herzien. De volgende invoerbestanden in het instrumentarium zijn geactualiseerd:

- Opbouw van de ondergrond; de dikte van de watervoerende pakketten en scheidende lagen, en de hydrologische kenmerken.
- Eigenschappen van de bodemeenheden, zoals bodemfysische kenmerken.
- Eigenschappen van gewassen, zoals gewasontwikkeling (Leaf Area Index), stressfuncties voor watertekorten en verzilting en beregeningskenmerken.
- Eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem, zoals een classificatie van waterlopen, de gehanteerde streefpeilen, bodemhoogtes en afvoerrelaties.

In een tweede fase van ontwikkeling, die in het najaar van 2008 zal beginnen, zal samen worden gewerkt met regionale waterbeheerders, zoals waterschappen, provincies en waterleidingmaatschappijen, die voor hun taken vaak regionale grond- en oppervlaktewatermodellen gebruiken. Verwacht wordt dat door deze samenwerking regionale en landelijke modellen verder naar elkaar toe zullen groeien, waardoor regionale waterbeheer en landelijke analyses in de toekomst op consistente wijze gebruik maken van dezelfde beschikbare informatie.

De tweede fase zal enkele jaren duren en de modelschematisaties zullen naar verwachting geleidelijk worden verfijnd en verbeterd, door onder meer:

- meer modellagen in het grondwatermodel te voegen
- de procesbeschrijving van de landelijke waterverdeling te verbeteren, door het distributiemodel te vervangen door het hydraulische model SOBEK
- verbetering van de schematisaties van het regionale oppervlaktewaterverbetering van de onttrekkingen van grond- en oppervlaktewater
- verbetering van de meteorologische invoervariabelen
- calibratie

Hoe de samenwerking met regionale waterbeheerders en de uitwerking van de tweede fase precies vorm zal worden gegeven, moet nog nader worden ingevuld. Hierover worden gesprekken gevoerd met regionale waterbeheerders en worden in het najaar van 2008 pilots met waterschappen gestart. Vooralsnog wordt gedacht om enerzijds gezamenlijke basisinformatie te ontsluiten, bijvoorbeeld door toegankelijke databases

met bijvoorbeeld specifieke bestanden en informatie voor modellering te creëren. Anderzijds zullen er diverse schalingsprocedures worden ontwikkeld voor het op- en neerschalen van landelijke en regionale modelinformatie.

De ontwikkeling in de tweede fase zal naar verwachting leiden tot verfijning van het ruimtelijke en mogelijk ook het temporele detailniveau, een trend die zich de afgelopen jaren al heeft ingezet. Ter illustratie: momenteel worden voor veel regio's in Nederland regionale grondwatermodellen ontwikkeld met ruimtelijke eenheden van 25 m × 25 m (dagbasis), en de daaraan gekoppelde oppervlaktewatermodellen gebruiken veelal tijdstappen kleiner dan 1 uur. Vooralsnog wordt er niet van uitgegaan dat in de nabije toekomst voor landelijke beleidsanalyses ook landsdekkend met dergelijke resoluties wordt gerekend. Wel kan afhankelijk van de vraagstukken vaker worden geschakeld tussen landelijke en regionale schaal. Daardoor ontstaat de behoefte om ook meteorologische invoergegevens zoals neerslag en potentiële verdamping in de toekomst landsdekkend op regionale schaal beschikbaar te hebben. Een andere merkbare trend is dat grond- en oppervlaktewatermodellen in toenemende mate voor operationele doeleinden worden ingezet, bijvoorbeeld voor het voorspellen van afvoeren en het simuleren van de actuele en verwachte droogtesituatie. Daarvoor zijn naast historische en actuele meteorologische data ook voorspellingen van neerslag en (potentiële) verdamping gewenst.

1.2 Huidige methode met ongerasterde meteo data

Neerslag

In de voorlopers van het Nationaal Hydrologische Instrumentarium werden, afhankelijk van de toepassing en de gebruiker diverse landelijke bestanden voor neerslag en (potentiële) verdamping gebruikt:

- Gebruik van dagelijkse neerslagwaarnemingen van meteorologische stations (0.00-24.00 uur UT).
- Gebruik van dagelijkse waarnemingen van neerslagstations (8.00 – 8.00 uur UT, ruim 300). Deze lokale data wordt vooral bij regionale toepassing ingezet.
- Gebruik van districtsgemiddelde neerslag op decadebasis: de neerslag (8.00 - 8.00 uur UT) van circa 325 neerslagstations wordt ruimtelijk gemiddeld over 15 districten (zie figuur 2). Deze districtsgemiddelden zijn te vinden in de maandoverzichten van neerslag en verdamping van het KNMI.
- Bij toepassing van geavanceerdere onverzadigde zone modellen, zoals SWAP, wordt soms ook neerslag in niet vloeibare vorm (sneeuw) meegenomen en bijgehouden op basis van de temperatuur van meteorologische stations.



Figuur 2: Overzicht van neerslagstations in Nederland en indeling in 15 districten. Bron: KNMI: toelichting bij het maandoverzicht neerslag en verdamping, www.knmi.nl.

De neerslag werd, afhankelijk van de gebruiker, toegekend aan ruimtelijke eenheden in het model, zoals districten of de fijnere afwateringseenheden. Een voorbeeld uit de Droogtestudie Nederland (Biesheuvel et al., 2003) is weergegeven in figuur 3. De neerslag in elk gekleurd gebied is steeds gelijk aan de neerslag van het station binnen het desbetreffende gebied. Alternatieven zijn het toekennen via Thiessen polygonen of op basis van interpolatie waarbij regionale klimatologische verschillen in rekening gebracht worden met behulp van de 30-jarige gemiddelden uit de Klimaatatlas.

De neerslag in het NHI zal de komende tijd naar verwachting worden gebaseerd op 33 automatische meteorologische stations en mogelijk later worden uitgebreid naar alle beschikbare neerslag stations (zie figuur 2). De toekenning aan de ruimtelijke eenheden is op het moment van schrijven nog onderwerp van discussie.



Figuur3 Voorbeeld van toekenning van meteorologische informatie aan een landelijk hydrologisch model (PAWN-instrumentarium, RWS)

Verdamping

Voor de verdamping moet onderscheid worden gemaakt tussen de “standaard” hydrologische modellen die (nog) gebruik maken van de potentiële verdamping volgens Makkink en meer geavanceerde modellen die de invoervariabelen voor Penman Monteith gebruiken.

Voor de berekening van de potentiële verdamping werd in het verleden doorgaans gebruik gemaakt van de dagelijkse waarnemingen op 15 meteorologische stations. Voor sommige toepassingen worden de decadewaarden van deze stations gebruikt, zoals gepubliceerd in de maandelijkse KNMI overzichten. In enkele landelijke studies worden de waarden van 6 meteorologische stations gebruikt, omdat deze gegevens vrij beschikbaar zijn via het internet (is momenteel uitgebreid tot 10 stations). Net als bij de neerslag worden de waarden of toegekend aan ruimtelijke eenheden, zoals districten, of via Thiessen polygoenen toegekend aan de fijnere modelleenheden.

In de meer geavanceerde modellen voor de onverzadigde zone zoals SWAP, kan de verdamping in het model worden berekend op basis van Penman Monteith. Momenteel is een discussie gaande of het niet beter is om de “standaard” landelijke modellen (NHI) ook gebruik te laten maken van Penman Monteith.

De potentiële verdamping in het NHI zal de komende tijd naar verwachting worden gebaseerd op 33 meteorologische stations. De toekenning aan de ruimtelijke eenheden is momenteel nog onderwerp van discussie.

1.3 Waarom meteorologische data rasteren?

Toepassing van rasterdata is gebruikelijk bij hydrologische modellering om de volgende redenen:

- Veel invoerbestanden voor de hydrologische modellering worden in rasterformaat aangeleverd. Informatie over hoogte (AHN, 25 m grid) en landgebruik (LGN, 25 m grid) zijn alleen als grids beschikbaar. Andere basisinformatie, zoals de opbouw van de bodem en ondergrond en informatie over waterlopen wordt doorgaans eerst omgezet naar rasters om vervolgens te worden gebruikt als invoer voor modellen
- Voor de numerieke oplossing van de stromingsvergelijkingen in het NHI is gekozen voor de eindige differentiemethode. Deze methode maakt gebruik van kubische eenheden (2D informatie in rechthoeken of vierkanten, dus rasterinformatie). Bij eindige differentiemethoden kan beschikbare informatie in rasterformaat vrijwel direct worden gehanteerd als invoer in de modellen
- Het opslaan van informatie in rasterformaat is dikwijls een efficiënte manier om met grote hoeveelheden continue ruimtelijke data om te gaan en om met deze data te rekenen in numerieke modellen.

Modellereurs van grond- en oppervlaktewatermodellen maken keuzes bij het gebruik van meteorologische informatie in de modellen. Ook op het gebied van meteorologische informatie maakt de modelleur in de huidige situatie op basis van zijn/haar kennis van de meteorologie een zo goed mogelijk keuze. Bijvoorbeeld de keuze voor welke gebied een meteorologisch station representatief is. Of de keuze hoeveel meteorologische stations er worden gebruikt in de simulatie. In principe zal de modelleur zo veel mogelijk meteorologische waarnemingen willen gebruiken om de werkelijkheid zo goed mogelijk te beschrijven. Wegens gebrek aan tijd en geld worden echter soms pragmatische keuzes gemaakt en wordt niet altijd alle beschikbare informatie meegenomen.

De huidige praktijk is dus dat de modelleur keuzes maakt over meteorologische informatie, wanneer een nieuw model wordt gemaakt of een nieuwe rekenperiode wordt gedefinieerd. Daardoor zijn veel hydrologen op verschillende plekken bezig met het uitvoeren van dezelfde werkzaamheden. Het zou veel efficiënter en wellicht ook inhoudelijk meer verantwoord zijn als meteorologen vanuit hun kennis over ruimtelijke differentiatie van neerslag en verdamping zo goed en gedetailleerd mogelijk meteorologisch waarnemingen aanleveren als verrasterde bestanden.

1.4 Klimatologische data (voor beleidsstudies) en operationele data (voor voorspelling)

Voor beleidsstudies en operationele voorspellingen is een verschillend type meteorologische informatie nodig. Een model dat wordt toegepast voor beleidsstudies zal doorgaans eerst worden gekalibreerd met behulp van een historische reeks van neerslag en verdampingsgegevens en beschikbare hydrologische waarnemingen (stijghoogten, afvoeren, opgestelde waterbalansen). Vervolgens kan een representatieve historische (of desgewenst geconstrueerde) periode worden doorgerekend voor scenarioanalyses.

Voor operationele toepassingen (real-time modellering) wordt het model zo goed mogelijk gevoed met historische gegevens tot aan de huidige situatie (om de huidige grond- en oppervlaktewaterberging in het hydrologisch systeem zo goed mogelijk te simuleren) en vervolgens op basis van de meest actuele waarnemingen en verwachtingen van neerslag en verdamping vooruit te rekenen, bijvoorbeeld op basis van de ensemble verwachtingen van het ECMWF.

Voor beleidsstudies en operationele voorspellingen wordt (ten dele) gebruik gemaakt van dezelfde hydrologische modellen. Het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium zal zowel voor beleidsstudies van de ministeries V&W, VROM en LNV worden ingezet, als voor operationele werkzaamheden, te weten advisering van Rijkswaterstaat op het gebied van droogte. Verwacht wordt dat in 2009 er een operationeel instrumentarium beschikbaar is op basis van FEWS/NHI.

In de praktijk zullen verschillende toepassingen van hydrologische modellen verschillende eisen stellen aan rasterdata. Tabel 1 geeft op basis van “expert judgement” een overzicht van de wensen voor rasterdata per hydrologische toepassing. De tabel is tot stand gekomen door het raadplegen van enkele hydrologen bij Deltares, Alterra, PBL en de Waterdienst. Bij het opstellen van tabel 1 is rekening gehouden met de verwachte ontwikkeling van de hydrologische modellen in de komende jaren.

In de paragrafen 2 en 3 zal nader worden ingegaan op het rasteren van meteorologische data. Daarbij valt de nadruk op dagwaarden omdat het NHI vooralsnog op dagbasis werkt. Remote sensing data (met name radar) worden in paragraaf 4 besproken. In paragraaf 5 wordt ruwweg geschetst wat aan (middellange termijn) weersverwachtingen beschikbaar is. In paragraaf 6 wordt een mogelijk vervolg geschetst en wordt ook aan gegeven hoe gegridde bestanden voor elk van de KNMI'06 klimaatscenario's verkregen kunnen worden.

Toepassing hydrologisch model	Gewenste grootte in raster formaat	Gewenste ruimtelijke schaal; (grid cel)	Reken periode	Basis	Tijd stap
Landelijke beleidsstudies (strategisch)	N, E_{pot}, T	1 tot 5 km	30 tot 40 jaar	~325 neerslagstations en ~35 stations voor E_{pot}, T	dag
Regionale beleidsstudies	N, E_{pot}, T	1 km	30 tot 40 jaar	~325 neerslagstations en ~35 stations voor E_{pot}, T	dag
Klimaatstudies	N, E_{pot} voor KNMI'06 scenario's	1 (tot 5) km	30 tot 40 jaar	~325 neerslagstations en ~35 stations voor E_{pot}	dag
Regionale grondwater studies, richting operationeel	N	1 km	10 jaar	~325 neerslagstations en 24-uuraccumulaties radar	dag
Oppervlakte waterstudies, richting operationeel	N	1 km	Recente jaren	~325 neerslagstations en 1-uuraccumulaties radar	uur
Oppervlakte waterstudies voor toekomstige situaties (KNMI'06 scenarios)	N	1 km	Representatieve periode, enkele jaren	~325 neerslagstations en 1-uuraccumulaties radar	uur
Nowcasting grondwater (operationeel)	N, E_{pot}, T	1 km	Afgelopen en 10-30 dagen	~325 neerslagstations, 1-uuraccumulaties radar en ~35 stations voor E_{pot}, T	dag
Nowcasting oppervlakte water (operationeel)	N, E_{pot}, T	1 km	Afgelopen en 10-30 dagen	1-uuraccumulaties radar en ~35 stations voor E_{pot}, T	uur
Forecasting middellang tot lang	N, E_{pot}, T	> 5 km	10 dagen vooruit tot 1 seizoen vooruit	Ensemble runs	1 dag

Tabel 1: Wensen voor meteorologische rasterdata bij verschillende toepassingen van hydrologische modellen (N is neerslag, E_{pot} is potentiële verdamping, T is temperatuur).

2 Voorbeelden van gegridde klimatologische data

In deze paragraaf worden drie voorbeelden behandeld: een $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ grid bestand (REGNIE) van de Deutsche Wetterdienst (Dietzer, niet gepubliceerd document), $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ gegridde datasets van de UK Meteorological Office (Perry and Hollis, 2005b; Kilsby et al., 2007), en $25 \text{ km} \times 25 \text{ km}$ gegridde data op Europese schaal (Haylock et al., 2008). Deze laatste dataset is recent ontwikkeld in het kader van het EU project ENSEMBLES voor de validatie van de uitvoer van regionale klimaatmodellen.

Het REGNIE bestand is oorspronkelijk opgezet voor het tijdvak 1961 - 1990. Bij het Britse gegridde bestand is er een set van daggegevens van de neerslag voor het tijdvak 1958 - 2002, en is er voor 36 grootheden een set van maandgegevens voor het tijdvak 1961 - 2000. Gegridde dagwaarden van andere grootheden dan de neerslag zijn er slechts vanaf 1995. De ENSEMBLES set heeft voorsnog betrekking op neerslag en temperatuur (gemiddelde, maximum en minimum) voor het tijdvak 1951 - 2005.

Bij al deze drie datasets wordt gebruik gemaakt van lineaire interpolatie volgens een vergelijking van de vorm:

$$Z^*(x_0) = \lambda_1 Z(x_1) + \lambda_2 Z(x_2) + \dots + \lambda_n Z(x_n) \quad (1)$$

waarbij $Z^*(x_0)$ de geschatte waarde is op het punt x_0 , en $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)$ de waarden zijn op de meetlocaties. Met name in de meteorologie is het gebruikelijk niet de meetwaarden zelf te interpoleren, maar de afwijkingen ten opzichte van een gemiddelde (zogenaamde anomalieën). Bij REGNIE en de Britse gegridde data is dit het 30-jarige maandgemiddelde voor het tijdvak 1961 - 1990. Bij de ENSEMBLES data zijn eerst de maandwaarden geïnterpoleerd en vervolgens de anomalieën van de dagwaarden. Bij de temperatuur is het gebruikelijk het verschil tussen de meetwaarde en het maandgemiddelde te interpoleren (absolute anomalieën), bij de neerslag neemt men het quotiënt (relatieve anomalieën).

Voor het interpoleren van de anomalieën zijn zowel bij het Duitse als het Britse bestand de gewichten λ_i omgekeerd evenredig met het kwadraat of de derde macht van de afstand tot x_0 . Deze gewichten zijn zodanig geschaald dat hun som gelijk is aan 1. Als er binnen een grid box een meetstation ligt, dan wordt in REGNIE de waarde van die grid box gelijkgesteld aan de waarde van het meetstation. Bij het Britse bestand is dat ook min of meer het geval doordat de λ_i van zo'n station dan vrijwel gelijk is aan 1. Bij de ENSEMBLES data is gebruik gemaakt van kriging voor het interpoleren van de anomalieën. Bij deze methode worden de λ_i 's bepaald op basis van het variogram dat de ruimtelijke variabiliteit van de te interpoleren grootheid beschrijft. Daarbij wordt voor elke dag hetzelfde variogram gebruikt, waardoor de λ_i 's ook voor elke dag hetzelfde zijn (tenzij het aantal meetpunten verandert). Als conditie wordt bij kriging meestal opgelegd dat de som van de λ_i 's gelijk moet zijn aan 1. Het is echter mogelijk dat sommige λ_i 's negatief zijn. Kriging kan met name bij onregelmatige netwerken beter zijn dan afstandsgewogen methoden. Bij het woord "beter" moet men hier denken aan een kleinere variantie van het verschil tussen de gemeten en de geïnterpoleerde waarde. Afhankelijk van het variogram, kan bij kriging

de geïnterpoleerde waarde in de nabijheid van een meetpunt sterk verschillen van de gemeten waarde.

Het gebruik van de lineaire interpolatie formule (1) heeft de neiging het aantal regendagen te overschatten. De geïnterpoleerde neerslag op x_0 zal immers slechts nul zijn als het op alle n meetpunten niet regent. Valt er op één station regen, dan zal ook de geïnterpoleerde neerslag op x_0 positief worden. Om een overschatting van het aantal regendagen te vermijden is in het ENSEMBLES project een 2-staps benadering gevolgd om de daganomalieën van de neerslag te interpoleren. Eerst wordt op basis van indicator kriging bepaald of een grid punt droog of nat is. Voor grid punten die als nat worden aangemerkt wordt vervolgens de neerslaghoeveelheid geïnterpoleerd op basis van standaard kriging.

Voor het gridden van langjarige maandgemiddelden is bij het Britse bestand gebruik gemaakt van regressie analyse met verklarende variabelen als hoogte, geografische lengte en breedte, de nabijheid van de zee en verstedelijking (Perry and Hollis, 2005a). De residuen van de regressie zijn vervolgens ruimtelijk geïnterpoleerd met een afstandsgewogen methode. Meetpunten met grote residuen worden echter terzijde gelegd. Voor 13 variabelen is een $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ bestand geproduceerd van de langjarige maandgemiddelden voor de tijdvakken 1961 – 1990 en 1971 – 2000 (Perry and Hollis, 2005a). Het is niet bekend hoe de gegridde langjarige maandgemiddelden bij REGNIE tot stand zijn gekomen. In het ENSEMBLES project zijn de maandwaarden geïnterpoleerd met behulp van thin-plate splines. Bij dit soort splines wordt het vlak van gemeten waarden min of meer gladgestreken.

3 Naar een bestand van gegridde dagwaarden van stations

In deze paragraaf zal de problematiek geschetst worden rond het gridden van de neerslag, temperatuur en de globale straling. Neerslag is een belangrijke invoervariabele voor hydrologische simulaties, terwijl temperatuur en globale straling de twee invoervariabelen zijn voor de berekening van de potentiële verdamping volgens de methode van Makkink. Het berekenen van zo'n afgeleide grootte uit de gegridde waarden van de invoervariabelen heeft voordelen boven het direct gridden van de variabele zelf o.a. om gebruik te kunnen maken van stations waarvoor slechts één van de invoervariabelen beschikbaar is.

Het KNMI beschikt over een vrij dicht netwerk van ongeveer 325 neerslagstations waarop dagelijks om 8.00 uur UT de neerslag van de voorafgaande 24 uur handmatig wordt afgetapt. De (vrijwillige) waarnemers geven de gemeten hoeveelheden zo spoedig mogelijk telefonisch aan het KNMI door. Sinds de tweede wereldoorlog is het aantal stations weinig veranderd. Wel zijn er talrijke verplaatsingen geweest en zijn stations soms door andere stations vervangen. De 30-jarige gemiddelden voor de tijdvakken 1951 – 1981, 1961 – 1990 en 1971 – 2000 (zogenaamde normaalwaarden) zijn gebaseerd op de metingen van 270 tot 290 stations.

Naast een netwerk van dagaftappingen beschikt het KNMI over een netwerk van automatische weerstations (AWSen), deels bemand en deels onbemand. Wat neerslag betreft worden momenteel van 33 stations de 10-minuutwaarden digitaal vastgelegd. In tegenstelling tot de neerslagstations, hebben de dagsommen van de AWSen

betrekking op de neerslag van 0.00 tot 24.00 uur UT. Verder is gebleken dat met automatische regenmeters minder neerslag gemeten wordt dan met de standaardregenmeter van de neerslagstations. Een recente vergelijking van Overeem et al. (2008b) geeft een verschil van gemiddeld 5%.

Temperatuur wordt sinds 1999 op 35 stations gemeten en de globale straling op 33 stations. Door de introductie van onbemande automatische weerstations rond 1990 heeft zich een sterke verandering voorgedaan in het meetnet van deze twee grootheden. Bij de globale straling heeft dit geleid tot een uitbreiding van het aantal meetpunten; bij de temperatuur tot andere meetlocaties (alsmede een reductie in het aantal).

Vanaf 1956 zijn voor 15 bemande stations uurwaarden van de temperatuur beschikbaar. Daarnaast was er een netwerk van ruim 30 termijnstations waarop aanvankelijk de temperatuur driemaal daags werd gemeten; vanaf 1971 zijn van deze stations 3-uurlijkse temperatuurwaarden beschikbaar. De introductie van onbemande AWSen heeft geleid tot het opheffen van de termijnstations.

De globale straling wordt door het KNMI pas vanaf 1957 gemeten en aanvankelijk slechts alleen in De Bilt. Tussen 1963 en 1965 komen daar Den Helder (in 1972 overgegaan in De Kooy), Eelde, Vlissingen en Maastricht bij, en in 1984 Eindhoven. Vanwege het gebruik van de Makkink formule voor de berekening van de potentiële verdamping werd het netwerk in 1987 uitgebreid met zeven stations. Tussen 1991 en 1999 groeit het aantal stations van 23 tot 32.

De eerste keuze die men moet maken is die tussen de directe interpolatie van de dagwaarden zelf en interpolatie van anomalieën. Bij directe interpolatie is het de vraag in hoeverre de langjarige gemiddelden van de gegridde geïnterpoleerde dagwaarden het werkelijke patroon van de langjarige gemiddelden weergeven. Dit hangt af van de variabele, het aantal meetstations en de gevolgde interpolatietechniek. Voor de interpolatie van anomalieën heeft men een geGRID bestand van het langjarige gemiddelde nodig. Door de veranderingen in het meetnet van temperatuur en globale straling is het voor deze grootheden niet eenvoudig een geGRID bestand van een 30-jarig gemiddelde te maken. In eerste instantie zou men bij de temperatuur en de globale straling zich kunnen beperken tot de meest recente 10 tot 15 jaren waarvoor deze variabelen beschikbaar zijn op ongeveer 30 stations. Bij de neerslag is wel een 30-jarig gemiddelde gewenst vanwege de grote jaar op jaar variabiliteit van dit element. Bij de globale straling moet men zich afvragen of men op onbewolkte dagen wel anomalieën moet interpoleren. Plaatselijke verschillen in de langjarige gemiddelden van de globale straling worden in belangrijke mate veroorzaakt door bewolking. Op onbewolkte dagen vertonen de anomalieën dan ruimtelijke gradiënten die veroorzaakt worden door iets dat er niet is op die dagen. Een praktisch nadeel bij anomalieën is dat het hele bestand in wezen opnieuw geGRID zou moeten worden als op een gegeven moment nieuwe langjarige gemiddelden ingevoerd worden.

Lineaire interpolatie volgens vergelijking (1) leidt ertoe dat de variabiliteit op punten x_0 tussen de meetpunten kleiner is dan de werkelijke variabiliteit (en bij neerslag ook tot meer natte dagen dan in werkelijkheid, zie paragraaf 2). Hierdoor is er bij hydrologische simulaties met het geïnterpoleerde veld een risico dat extremen onderschat worden. Met behulp van stochastische simulatie is het mogelijk de

ruimtelijke variabiliteit beter weer te geven (Kiriakidis et al., 2004). Behalve dat dit een aanzienlijke verzwaring van de gridding procedure met zich meebrengt, gaan de gebruikte simulatietechnieken ervan uit dat het onderliggende veld beschreven kan worden door een (getransformeerde) multivariate normale verdeling met een bepaalde correlatie structuur. Hoewel men het model voor de ruimtelijke correlatie kan fitten aan de meetgegevens blijft de geldigheid van het model voor ruimteschalen kleiner dan de afstand tussen meetstations twijfelachtig. Daarnaast kan de afhankelijkheidsstructuur verschillen van die van de multivariate normale verdeling.

Met name bij neerslag moet men zich afvragen in hoeverre de puntwaarde $Z(x_0)$ representatief is voor de totale (of gemiddelde) neerslag Z_A over de grid box waarin x_0 ligt. Block kriging maakt het mogelijk Z_A direct uit $Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)$ te schatten (Bastin et al., 1984). Als alternatief is in het ENSEMBLES project de neerslag eerst geïnterpoleerd naar een fijner grid en vervolgens zijn deze geïnterpoleerde waarden gemiddeld binnen de uiteindelijke grid boxen. Het probleem van het onderschatten van de variabiliteit wat bij lineaire interpolatie optreedt wordt hiermee echter niet ondervangen; bij beide methoden zal de variabiliteit van Z_A onderschat worden.

De hierboven besproken klimatologische data zijn afkomstig van stations op het land. Voor automatische stations (zowel bemand als onbemand) geldt daarnaast nog dat ze niet in steden liggen. Mogelijke effecten van stedelijke gebieden (bijv. hogere temperaturen en lagere (actuele) verdamping) zullen daardoor niet (of in onvoldoende mate) in de raster meteo-data terug te vinden zijn. Een vergelijkbare onzekerheid bestaat mbt de representativiteit van de beschikbare landstations voor het IJsselmeer en de Zeeuwse wateren. Radar (zie paragraaf 4) biedt de mogelijkheid een betere schatting van de neerslag boven deze wateren te krijgen dan interpolatie uit de dagaftappingen van de omliggende stations. Bij de berekening van de verdamping speelt behalve de representativiteit van de metingen van omringende landstations ook de warmte opslag van het water.

Een belangrijke vraag is wat voor dichtheid men voor het grid zou moeten aanhouden. Men kan denken aan $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ zoals momenteel in het Verenigd Koninkrijk gebruikelijk en gepland door de CHR voor het stroomgebied van de Rijn of een $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ grid zoals bij REGNIE. Een ruimtelijke resolutie van 1 km is gezien de afstand tussen stations niet representatief maar is wel praktisch om te leveren.

Enig literatuur onderzoek lijkt gewenst zowel wat het gridden/interpoleren van langjarige gemiddelden betreft als het interpoleren van (anomalieën van) dagwaarden. Het is de vraag of men voor beide doeleinden dezelfde methode moet aanwenden. Bij neerslag zal nagegaan moeten worden of een aparte interpolatie procedure voor het optreden van regen nodig is. De noodzaak is waarschijnlijk minder dan bij de ENSEMBLES data vanwege de hogere stationsdichtheid. Behalve de interpolatie methode is het ook de vraag hoeveel omliggende stations men moet nemen voor het interpoleren, ofwel wat voor n men moet kiezen in vergelijking (1).

Tot slot van deze paragraaf wat opmerkingen over luchtvochtigheid en wind. Beide grootheden zijn nodig als men de verdamping met behulp van de Penman-Monteith vergelijking zou willen bepalen. Er zijn verschillende indicatoren voor de luchtvochtigheid. Vaak wordt met de relatieve vochtigheid en de dampspanning gewerkt. Daar met behulp van de temperatuur de ene grootte in de andere kan

worden omgerekend rijst de vraag of men de relatieve vochtigheid of de dampspanning zou moeten gridden. Interpolatie van de dampspanning heeft als voordeel dat de verdeling van deze grootheid dichter bij de normale verdeling ligt dan die van de relatieve vochtigheid. Er is echter een risico bij het interpoleren van de dampspanning dat de daaruit afgeleide relatieve vochtigheid groter dan 100% wordt. Evenals bij de temperatuur heeft men bij de luchtvochtigheid rond 1990 te maken met de overgang van termijnstations op onbemande AWSen.

Naast een mogelijke behoefte aan dagwaarden van de windsnelheid voor verdampingsberekeningen is er behoefte aan gegridde sub-dagwaarden van de windsnelheid en de windrichting boven het IJsselmeer. De KNMI windmetingen vinden plaats op landstations waarmee ze per definitie representatief zijn voor land dat een veel grotere ruwheid heeft dan het open water van het IJsselmeer. Een uitzondering hierop vormen misschien de windmetingen te Houtribdijk. Doordat dit meetpunt nog maar twee jaar bestaat is er weinig bekend van de stationsspecifieke eigenschappen. RWS beschikt zelf over een aantal windmeters in het IJsselmeer, maar sinds het afsluiten van de meetcampagne vindt geen onderhoud meer plaats en wordt de kwaliteit van de windmetingen niet nader getoetst.

Recent werk/onderzoek maakt het aannemelijk dat er problemen zijn met de tot nu toe gebruikelijke methode om de windsnelheid te transformeren naar een potentiële windsnelheid (met een constante ruwheid) of naar een snelheid behorende bij een andere willekeurige ruwheid (bijv. die van open water i.p.v. de lokale stations ruwheid). Deze problemen lijken voort te komen uit aannames over de variabiliteit van de windsnelheid (als gevolg van windvlagen) en de daaruit voortvloeiende karakterisering van de lokale en grootschalige ruwheid van de meetstations. Het KNMI, Deltares en de Waterdienst hebben eind 2008 een gezamenlijk project gestart waarin deze problematiek wordt onderzocht. Dit onderzoek afwachtende wordt in deze rapportage niet verder ingegaan op windsnelheid.

4 Remote sensing data

4.1 Neerslag uit radar

Een schatting van de ruimtelijke verdeling van de neerslag over Nederland kan worden verkregen door neerslagintensiteiten uit de reflectiebeelden van weerradars te accumuleren. Hiermee wordt een hogere ruimtelijke en temporele resolutie bereikt dan met het netwerk van neerslagstations. Van 1998-2007 zijn de 5-minuten reflectiebeelden met een ruimtelijke resolutie van $2.4 \text{ km} \times 2.4 \text{ km}$ opgeslagen, vanaf 2008 met een ruimtelijke resolutie van $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$.

Het KNMI beschikt over twee weerradars, één in De Bilt en één in De Kooy. Door allerlei oorzaken kan de geaccumuleerde neerslag uit de reflectiebeelden afwijken van de werkelijke neerslag. De grootte van de fout hangt af van de afstand tot de radar en de meteorologische omstandigheden. Op de door het KNMI verstrekte neerslagaccumulaties uit de weerradars zijn correcties toegepast op basis van de

AWSen of het netwerk van neerslagstations. De neerslagaccumulaties van de twee weerradars worden gecombineerd tot één composiet.

Het KNMI heeft leveringscontracten met een groot aantal waterschappen over operationele levering van geaccumuleerde neerslagintensiteiten uit radar. Het gaat hierbij om twee soorten data:

- 24-uurwaarden, gecorrigeerd op basis van (niet-gevalideerde) dagaftappingen uit het netwerk van neerslagstations. De correctie wordt voor elke dag opnieuw bepaald en varieert geleidelijk over Nederland (Holleman, 2003). Neerslagstations waarvan de gegevens niet tijdig binnen zijn worden niet meegenomen bij de correctie. De gecorrigeerde neerslagvelden worden vanaf juni 2003 routinematig opgeslagen.
- 3-uurwaarden met uurlijkse update. Op deze 3-uurwaarden wordt alleen een correctie toegepast voor verschillen in het landgemiddelde uit de AWSen (Holleman, 2007). De gecorrigeerde neerslagvelden worden vanaf 2003 routinematig opgeslagen.

Hoewel bij beide producten een correctie is toegepast op de ruwe radar data en de grootste afwijkingen zijn aangepakt, wordt de gemiddelde neerslag toch nog onderschat. Bij de 3-uurwaarden is het landgemiddelde te laag doordat met een automatische regenmeter minder neerslag wordt gemeten dan met de standaard regenmeter (zie paragraaf 2). Daarnaast blijft er een afstandsafhankelijke fout in deze data zitten (met name een onderschatting aan de randen van Nederland). Voor de 24-uurwaarden is het landgemiddelde ongeveer 5% lager dan dat van de neerslagstations doordat de correctie op de logaritmen van de 24-uuraccumulaties wordt uitgevoerd in plaats van de 24-uuraccumulaties zelf. Bij beide radarproducten is medio 2008 van de 2.4 km × 2.4 km resolutie overgegaan op een resolutie van 1 km × 1 km.

Overeem e.a. (2008b) gaan uitgebreid in op de correctie van de radargegevens voor het tijdvak 1998 – 2007 op basis van de 24-uurwaarden uit het meetnet van neerslagstations en de uurwaarden van de AWSen. Dit resulteert in een verbeterde correctie procedure. Voor grid boxen met een neerslagstation of een AWS verschillen de gecorrigeerde 24-uuraccumulaties van de weerradars in het algemeen van de dagsommen uit de regenmeters. In tegenstelling tot de eerder genoemde operationele producten zijn er echter geen systematische verschillen met de langjarige gemiddelden van de dagaftappingen van de neerslagstations. Daarnaast komen de overschrijdingsfrequenties van de gecorrigeerde 24-uuraccumulaties goed overeen met die uit de dagaftappingen, ook voor hoge drempelwaarden; voor de uuraccumulaties is er een onderschatting bij drempelwaarden hoger dan 20 mm. Bij de correctie van de radargegevens wordt het neerslagveld niet gladgestreken.

Het bestand van historische radargegevens is niet volledig. Vanwege onderbrekingen en problemen met archivering zijn voor ongeveer 20% van de dagen geen neerslagaccumulaties beschikbaar. Voor die dagen zou men dan moeten terugvallen op het meetnet van neerslagstations of de AWSen.

Voor 74 neerslaggebeurtenissen in het tijdvak maart – oktober 2004 bestudeerden Schuurmans e.a. (2007) de toegevoegde waarde van operationele radargegevens bij het interpoleren van 24-uurwaarden van de neerslag. Daarbij werd steeds de neerslag

van één station weggelaten en vervolgens werd bekeken hoe goed de neerslag op dat station geschat werd uit (i) de neerslag van de omliggende stations met behulp van kriging, (ii) de gecorrigeerde radargegevens, en (iii) de neerslag van de omliggende stations en de gecorrigeerde radargegevens met behulp van kriging met external drift en collocated cokriging. De laatste methode gaf de grootste schattingsnauwkeurigheid, maar heeft als nadeel dat het neerslagveld gladgestreken wordt. Daarnaast bleek methode (ii) nauwkeuriger dan methode (i).

Samenvattend kan gezegd worden dat radargegevens toegevoegde waarde hebben, zeker voor toepassingen waar hoger ruimtelijke en/of temporele resolutie belangrijk is. Er zijn twee producten voor operationeel gebruik, namelijk velden van 3-uurwaarden en van 24-uurwaarden. Daarnaast is er een klimatologisch bestand van 1-tot 24-uurwaarden voor het tijdvak 1998-2007 waarbij een verbeterde correctie procedure is toegepast. Het onderzoek dat aan dit bestand ten grondslag ligt is momenteel onder review bij een vaktijdschrift. Gecorrigeerde neerslagaccumulaties uit weerradar zijn slechts beschikbaar vanaf 1998.

4.2 Actuele verdamping met behulp van satellieten

Een aantal adviesbureaus berekent routinematig de actuele verdamping met behulp van satellietinformatie uit de energiebalans aan het oppervlak:

$$E_{\text{act}} = R_n - G - H \quad (2)$$

waarbij E_{act} de actuele verdamping (latente warmtestroom) is, R_n de netto straling, G de bodemwarmtestroom en H de voelbare warmtestroom. Het meest bekende is het SEBAL algoritme (<http://www.sebal.nl>) van het bureau WaterWatch in Wageningen. Naast satellietinformatie zijn routine metingen van weerstations nodig (wind, luchtvochtigheid en temperatuur). Gegevens over landgebruik, bodemtype of de verzadigingsgraad van de bodem zijn echter niet nodig. De bodemwarmtestroom G in (2) volgt in SEBAL uit de fractie G/R_n , die empirisch berekend wordt op basis van vegetatie type, oppervlakte temperatuur en oppervlakte albedo.

E_{act} uit (2) kan gebruikt worden om de berekende actuele verdamping uit hydrologische modellen te verifiëren. Het KNMI heeft gebruik gemaakt van SEBAL data om het regionale klimaatmodel RACMO te valideren. Het lijkt niet zinvol dat het KNMI zelf een dergelijk product maakt.

5 Update en aanvulling met weersverwachtingen ten behoeve van voorspellingen

In verband met operationele toepassingen van het NHI is er ook behoefte aan (automatische) levering van de (10-daagse) weersverwachting en aan updates van de gegridde waarnemingen. Het ECMWF model voor weersverwachtingen op middellange termijn werkt op een $25 \text{ km} \times 25 \text{ km}$ raster. Om een idee te krijgen van de onzekerheid is er een pluim, gebaseerd op een ensemble van 50 model runs, echter op een $50 \text{ km} \times 50 \text{ km}$ raster in plaats van een $25 \text{ km} \times 25 \text{ km}$ raster. Verwachtingen van luchtdruk, temperatuur, wind, bewolking en neerslag zijn standaardproducten,

maar niet die van (potentiële) verdamping en globale straling. Deze laatste zou men uit de bewolking kunnen schatten. Bewolking is echter vrij moeilijk te voorspellen. Verder is het eenvoudiger de actuele verdamping uit de modeluitvoer af te leiden dan de potentiële verdamping.

Naast weersverwachtingen van 10 tot 15 dagen vooruit, produceert het ECMWF eenmaal per week een maandverwachting en eenmaal per maand een seizoenverwachting (zes maanden vooruit). Evenals bij de meerdaagse weersverwachtingen is er een pluim van 50 model runs, echter op een grover rooster (80 km × 80 km bij maandverwachtingen en ongeveer 200 km × 200 km bij seizoensverwachtingen). In tegenstelling tot de meerdaagse weersverwachtingen is de zogenaamde skill van deze lange termijnverwachtingen voor Nederland nihil. Dit houdt in dat men eigenlijk net zo goed 50 historische jaren zou kunnen doorrekenen. Daarnaast zitten er bepaalde systematische fouten in de modeluitvoer van het ECMWF, waardoor het eigenlijk zelfs beter is om historische reeksen door te rekenen.

Uit de radar afgeleide 24-uuraccumulaties van de neerslag zijn de volgende dag beschikbaar, 3-uurlijkse accumulaties zelfs met een uurlijkse update. Voor het gridded van de neerslag uit het meetnet van de neerslagstations zal er in de praktijk een ‘vertraging’ optreden van 4 tot 6 weken als gevolg van de huidige methode van datainwinning en validatie (en de deels handmatige correctie) van de ongeveer 325 neerslagstations. De waarnemingen van de ongeveer 30 stations voor de temperatuur en de globale straling zullen sneller beschikbaar kunnen zijn (in principe de volgende dag). Los van de keuzes omtrent het gridded van verschillende variabelen zal er dan ook een infrastructuur ontwikkeld moeten worden die levering van (dagelijkse) automatische gegridde updates mogelijk maakt (zo mogelijk op een vergelijkbare manier, en onder vergelijkbare voorwaarden, als voor de operationele levering van geaccumuleerde neerslag uit radar).

6 Waar staan we en hoe gaan we verder?

In de voorgaande paragrafen werden voorbeelden gegeven van het gridded van klimatologische data en werden enkele problemen aangeroerd die men kan tegenkomen in de Nederlandse situatie. Daarnaast werd ingegaan op operationele data ten behoeve van voorspellingen. In deze paragraaf wordt uitvoerig stilgestaan bij de vraag hoe we verder moeten gaan. Eerst zal in paragraaf 6.1 ruime aandacht worden besteed aan het opbouwen van gegridde bestanden van dagwaarden ten behoeve van beleidsstudies. Ook zal in deze paragraaf kort worden ingegaan op radargegevens van de neerslag ten behoeve van regionale grondwaterstudies en oppervlaktewaterstudies. Vervolgens wordt in paragraaf 6.2 aangegeven hoe men voor elk van de KNMI’06 scenario’s soortgelijke gegridde bestanden kan maken als die voor de historische data. In paragraaf 6.3 worden een paar opmerkingen gemaakt over operationele data voor voorspellingen. De conclusies worden gegeven in paragraaf 6.4.

6.1 Klimatologische data ten behoeve van beleidsstudies en andere studies

Naast de behoefte aan gerasterde klimatologische gegevens voor het NHI zijn er ook anderen die behoefte hebben aan dit soort gegevens voor Nederland. De Waterdienst

is betrokken bij een aantal CHR projecten (Rheinblick2050, Kliwas). Ten behoeve van deze projecten wordt gestreefd naar een gerasterde dataset van dagwaarden van klimatologische variabelen (o.a. neerslag, temperatuur, luchtvochtigheid) voor het hele stroomgebied van de Rijn, inclusief het Nederlandse gedeelte (ruim half Nederland). De Deutsche Wetterdienst heeft van de BfG in Koblenz (en via de CHR) de opdracht aangenomen om de data hiervoor te gridden, de BfG is echter verantwoordelijk voor het aanleveren van de niet-Duitse stations data. Het is de bedoeling dat i) een gerasterde dataset op een 5 km x 5 km grid voor het tijdvak 1951-2006 beschikbaar komt, ii) de klimatologische data van de verschillende landen in het Rijnstroomgebied op een vergelijkbare manier gegridd worden, en iii) bij het gridden van de neerslag REGNIE gevolgd wordt. Voor wat betreft het rasteren van het Nederlandse deel van het stroomgebied van de Rijn lijkt er een redelijke overlap te bestaan met de rastermeteo ten behoeve van het NHI (het gaat om min of meer dezelfde variabelen en in beide gevallen is er behoefte aan een klimatologie van dagwaarden over meerdere jaren). Wel is voor het NHI een regelmatige update belangrijk (zie paragraaf 5). De Waterdienst heeft het KNMI benaderd met de vraag in hoeverre het de benodigde Nederlandse stationsdata kan aanleveren dan wel in hoeverre het bij het rasteren van de Nederlandse data voor dit doel betrokken zou willen zijn. De Waterdienst heeft ook aangegeven dit bij voorkeur binnen de nieuwe samenwerkingsovereenkomst met het KNMI in te vullen.

Daarnaast is er recent ook een intern KNMI project opgestart om ervaring op te doen met state-of-the-art technieken voor het rasteren van klimatologische data. Hierbij is begonnen met een globaal literatuuronderzoek van interpolatietechnieken (Sluiter, 2008). De motivatie voor dit project is gelegen in het verbeteren van de productie van gedetailleerde meteorologische en klimatologische kaarten voor Nederland waarbij volledige automatisering wordt nagestreefd. De karakteristieke klimatologische verschillen in Nederland als gevolg van land/zee overgangen en grote wateroppervlakken zoals het IJsselmeer en de Zeeuwse wateren en verschillen in landgebruik en bodemgesteldheid moeten hierbij in voldoende mate gereproduceerd worden. Het verschijnen van een nieuwe Klimaatatlas voor de normaal periode 1981–2010 rond 2011 vormt hier een duidelijk einddoel.

Al deze activiteiten hebben een gemeenschappelijke basis, namelijk het vinden en uitvoeren van een optimale interpolatie van klimatologische data gegeven de specifieke Nederlandse situatie (stationsdichtheid, kusteffecten, (geringe) hoogte verschillen, e.d.). Het ligt daarom voor de hand om de uitvoering van deze activiteiten zo goed mogelijk te bundelen, vooral wat betreft de keuze van het grid¹ en de te gebruiken interpolatietechnieken. Daarnaast zou het praktisch gezien ook handig (en overzichtelijk) zijn wanneer er slechts een beperkt aantal rastermeteo producten (voor hydrologische toepassingen) beschikbaar komt die breed kunnen worden toegepast.

Landelijke en regionale beleidsstudies

Volgens tabel 1 zijn hiervoor neerslag, potentiële verdamping en temperatuur gewenst over een periode van 20 tot 40 jaar. Hierbij gaan wij in eerste instantie uit van de potentiële verdamping volgens Makkink. In paragraaf 3 werd aanbevolen deze

¹ Het gaat daarbij niet alleen om de dichtheid van het grid, maar ook om de geografische projectie. In Nederland wordt vaak met RijksDriehoeks(RD) coördinaten gewerkt. De neerslagvelden uit radar hebben een polaire stereografische projectie. Bij REGNIE wordt met lengte-breedte graden gewerkt.

grootheid niet direct te gridden maar de invoervariabelen globale straling en temperatuur. Het opbouwen van een geGRID bestand van 30 tot 40 jaar van deze variabelen vereist een vrij grote inspanning vanwege:

- Onduidelijkheid over hoe de gradiënt van de kust naar het binnenland in de langjarige gemiddelden en de noord-zuid gradiënt redelijk gereproduceerd kunnen worden op basis van een lage stationsdichtheid.
- Sterke veranderingen in de meetnetten bij de introductie van onbemande automatische weerstations rond 1990. Bij de globale straling is dit gepaard gegaan met een uitbreiding van het aantal meetpunten. Vóór 1987 zijn er niet meer dan 6 stations waar deze grootheid gemeten wordt, en vóór 1984 slechts 5. Een mogelijkheid is om bij de ruimtelijke interpolatie van de globale straling van vóór 1990 zonneshijnduur gegevens te gebruiken.

Het gridden van de neerslag is in feite eenvoudiger deels doordat het meetnet van neerslagstations een veel grotere dichtheid heeft en betrekkelijk weinig in de tijd veranderd is. Maar ook bij dit element is er een aantal zaken dat nadere aandacht verdient zoals een eventueel gebruik van een aparte interpolatie procedure voor het al of niet voorkomen van neerslag.

Het opbouwen van het gewenste bestand zal een inspanning van meer dan een jaar vereisen, waarbij verreweg de meeste tijd gaat zitten in het interpoleren van de temperatuur en de globale straling. Naast het globale literatuur onderzoek van Sluiter (2008) zal voor een aantal interpolatietechnieken een verdere verdieping van kennis nodig zijn. Onderzocht zal worden in hoeverre afstemming met de Deutsche Wetter Dienst mogelijk is. Het Institut für Geoinformatik, Universität Münster zal geraadpleegd worden. Een publicatie in een international vaktijdschrift zal worden nagestreefd.

Gezien de lange tijd die nodig is om het gewenste bestand op te bouwen, lijkt het gewenst op korte termijn een voorlopig product beschikbaar te stellen dat gedurende de looptijd van het project verbeterd zal worden. Hierbij wordt gedacht aan een geGRID bestand van neerslag, temperatuur en globale straling vanaf ongeveer 1995, met een dagelijkse aanvulling. Wat de neerslag betreft is die aanvulling een ongevalideerd product op basis van niet-gevalideerde gegevens van ongeveer 200 neerslagstations.

In het kader van het streven naar vrije data politiek zullen op korte termijn (januari 2009 of januari 2010) de dagwaarden van de AWSen en de neerslagstations vrij beschikbaar zijn op het internet. Voor afgeleide producten van deze dagwaarden, wat een geGRID bestand in principe is, zullen nog wel kosten in rekening gebracht worden. Een mogelijkheid is dat de ontwikkeling en toekomstige aanpassingen in de KNMI RWS-Waterdienst samenwerkingsovereenkomst wordt ondergebracht.

Regionale grondwaterstudies, richting operationeel

Voor deze toepassing wordt gedacht aan een bestand van 10 jaar van dagwaarden van de neerslag op een ruimtelijke schaal van 1 km op basis van de neerslagstations en radarbeelden (tabel 1). Uit paragraaf 4 blijkt dat een dergelijk product bestaat, zij het tot 2007 met een ruimtelijke resolutie van 2.4 km in plaats van 1 km. De neerslagvelden uit de gecombineerde radarbeelden en dagaftappingen van de

neerslagstations vertonen een grotere ruimtelijke variabiliteit op korte afstanden dan gegridde dagwaarden van de neerslagstations. Voor radarproducten geldt dat leveringskosten in rekening gebracht worden. Het klimatologische bestand voor het tijdvak 1998 – 2007 wordt in principe pas verstrekt aan derden als de beschrijving van het onderliggende onderzoek geaccepteerd is door het bewuste vaktijdschrift.

Oppervlaktewaterstudies, richting operationeel

Voor deze toepassing is een bestand van recente jaren van uurwaarden van de neerslag op een ruimtelijke schaal van 1 km nodig op basis van de neerslagstations en radarbeelden (tabel 1). In paragraaf 4 werd aan gegeven dat er vanaf 2003 een bestand is van 3-uurwaarden met een uurlijkse update. De gewenste uurwaarden kunnen hieruit in principe afgeleid worden. Voor de correctie wordt echter geen gebruik gemaakt van de neerslagstations maar van AWSen. Na correctie blijft er een systematische afstandsafhankelijke fout over. Voor het klimatologische bestand van uurwaarden voor de jaren 1998 – 2007 zijn wel dagwaarden van de neerslagstations gebruikt om de ruwe radar gegevens te corrigeren en is er geen sprake meer van een systematische afstandsafhankelijke fout. Er zitten nog wel systematische fouten in het voorkomen van uurwaarden van 20 mm of meer.

6.2 Studies naar effecten van klimaatverandering

Tabel 1 noemt een tweetal toepassingen waarbij de KNMI'06 klimaatscenario's van de neerslag een rol spelen. Bij deze scenario's wordt gebruik gemaakt van een niet-lineaire transformatie van historische reeksen van dagwaarden van de neerslag die representatief zijn voor het toekomstige scenario. Deze transformatie is verder ontwikkeld voor nationale hydrologische studies in het kader van het Klimaat voor Ruimte project "Tailoring climate information for impact assessment" en toegepast op de dagwaarden van alle neerslagstations voor het tijdvak 1976 – 2005 (A. Bakker, persoonlijke mededeling, 2008). Dergelijke getransformeerde reeksen kunnen op dezelfde wijze gegrid worden als de oorspronkelijke reeksen. Voor uurwaarden van de neerslag zijn vooralsnog geen transformaties beschikbaar. Recentelijk is bij het Kennis voor Klimaat programma een projectvoorstel ingediend ("Regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en regio Rotterdam") waarin aan dit onderwerp enige aandacht zal worden besteed. In tegenstelling tot veranderingen in bepaalde statistische eigenschappen van de dagwaarden van de neerslag zeggen de KNMI'06 scenario's niets over veranderingen in de uurwaarden van de neerslag.

Voor de historische dagwaarden van de temperatuur is er ook een transformatie om representatieve waarden voor de KNMI'06 scenario's te krijgen. De getransformeerde reeksen voor de verschillende meteorologische stations kunnen op identieke wijze gegrid worden als de oorspronkelijke reeksen. De KNMI'06 scenario's geven niet aan hoe de globale straling verandert en er zijn ook geen transformatie formules voor deze grootheid. Het is daarom enigszins de vraag hoe men gegridde dagwaarden van de potentiële verdamping voor een toekomstig klimaat zou moeten produceren. Enig onderzoek lijkt gewenst. Men moet daarbij rekening houden met een duur van enkele weken.

6.3 Operationele data voor voorspellingen

Het KNMI heeft een productcatalogus waarin staat welke producten leverbaar zijn, zoals de twee in paragraaf 4 genoemde radarproducten en de ECMWF model verwachtingen van temperatuur en neerslag maar niet die van de potentiële verdamping. Voor “forecasting” wordt in tabel 1 een ruimtelijke resolutie > 5 km genoemd. Ensembles van middellange termijnverwachtingen zijn beschikbaar op een grid van $50 \text{ km} \times 50 \text{ km}$; voor seizoensverwachtingen geldt eigenlijk een ruimtelijke resolutie van ongeveer 200 km (paragraaf 5). Door gebrek aan skill voegt de laatste echter niets toe ten opzichte van het doorrekenen van historische reeksen.

Een ieder kan producten kopen, maar de leveringscondities hangen af van de soort afnemer en het doel waarvoor ze gebruikt worden. Bij de kosten wordt onderscheid gemaakt tussen licentiekosten en leveringskosten, d.w.z. de kosten die het KNMI heeft om de data beschikbaar te maken. Voor de Rijksoverheid worden geen licentiekosten in rekening gebracht. Dit wordt ook niet gedaan bij de twee in paragraaf 4 genoemde radarproducten. Bij gebruik voor een pilot studie zijn soepelere regels van toepassing dan bij routinematige levering. Pilot studies mogen ook op niet-standaard producten betrekking hebben zoals bijvoorbeeld meerdaagse verwachtingen van de actuele verdamping. Goede afspraken zijn hierbij gewenst.

6.4 Conclusie

Er is een groot aantal gegridde producten geïdentificeerd die wenselijk zijn voor het NHI (tabel 1). Een deel van de producten is er reeds, maar met name het opbouwen van een gegridde bestanden van klimatologische gegevens voor een periode van 30 – 40 jaar vergt een behoorlijke tijdsinspanning (>1 jaar) en afstemming met andere KNMI projecten m.b.t. vergridding, met name het project van Sluiter (2008).

Binnen het project van Sluiter (2008) wordt onderzoek gedaan naar de verbetering van de interpolatiemethoden. Dit is een langlopend project (2008-2010) waarvan de resultaten geleidelijk beschikbaar zullen komen maar uiteindelijk wel gebruikt dienen te worden voor de NHI producten. Er is echter een grote wens om nu al vergridded producten te leveren aan het NHI. Dit is alleen mogelijk indien we starten met **voorlopige producten** gebaseerd op:

1. nationaal/internationaal geteste en bewezen methoden (maar niet persé de optimale methode voor de Nederlandse situatie) ².
2. tijdreeksen korter dan 30-40 jaar, bijvoorbeeld vanaf 1995.

In een later stadium zullen de voorlopige producten vervangen worden door producten gebaseerd op betere technieken en langere tijdreeksen. Voordeel van deze aanpak is dat de producten op een relatieve korte termijn beschikbaar kunnen komen, nadeel van deze aanpak is dat de uiteindelijke en voorlopige producten zeer waarschijnlijk niet vergelijkbaar zijn: versiebeheer is cruciaal.

² Kandidaten zijn de huidige spline techniek, de methoden van de Deutsche Wetterdienst of kriging. In dit project wordt een veelbelovende techniek gekozen en geïmplementeerd zonder dat er een groot vergelijkend onderzoek wordt gedaan. Dit vergelijkende onderzoek vindt plaats in het project van Sluiter (2008).

Uit gevoerde discussies met de Waterdienst blijken de volgende zaken in eerste instantie belangrijk:

- 1) Dagwaarden voor neerslag (historisch en real time)
- 2) Dagwaarden voor potentiële verdamping volgens Makkink (historisch en real time). In de praktijk komt dit neer op het vergrinden van temperatuur en globale straling.

Als voorwaarde is genoemd dat de producten zoveel mogelijk dienen aan te sluiten op de producten van Deutsche Wetterdienst.

Radarbeelden van recente jaren zijn al operationeel verkrijgbaar en dienen via een ander project verkregen te worden. De manier van levering (FTP, OGC webservices) bepaalt hoeveel inzet er vereist is.

De hier voorgestelde aanpak wordt in meer detail beschreven in het projectvoorstel “rasterdata voor het NHI”.

Literatuur

Bastin, G., B. Lorent, C. Duqué and M. Gevers (1984) Optimal estimation of the average areal rainfall and optimal selection of rain gauge locations. *Water Resour. Res.*, **20**, 463-470.

Biesheuvel, A., A. van Vugt, S. van den Bos and F. Smits (2003) Kalibratie PAWN-instrumentarium onderdeel MOZART. Rapport voor Droogtestudie Nederland. Witteveen+Bos, Deventer.

Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones and M. New (2008) A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. Submitted to *J. Geophys Res.*

Holleman, I. (2003) Neerslaganalyse uit radar- en stationswaarnemingen. Intern rapport IR 2003-06, KNMI, De Bilt.

Holleman, I. (2007) Bias adjustment and long-term verification of radar-based precipitation estimates. *Meteorol. Appl.*, **14**, 195-203.

Kilsby, C.G., P.D. Jones, A. Burton, A.C. Ford, H.J. Fowler, C. Harpham, P. James, A. Smith and R.L. Wilby (2007) A daily weather generator for use in climate change studies. *Environmental Modelling & Software*, **22**, 1705-1719.

Kyriakidis, P.C., N.L. Miller and J. Kim (2004) A spatial time series framework for simulating daily precipitation at regional scales. *J. Hydrol.*, **297**, 236-255.

Overeem, A., A. Buishand and I. Holleman (2008a) Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties. *J. Hydrol.*, **348**, 124-134.

Overeem, A., I. Holleman and A. Buishand (2008b) Derivation of a 10-year radar-based climatology of rainfall. Submitted to *J. Appl. Meteor. Climatol.*

Perry, M. and D. Hollis (2005a) The development of a new set of long-term climate averages for the UK. *Int. J. Climatol.* **25**, 1023 – 1039.

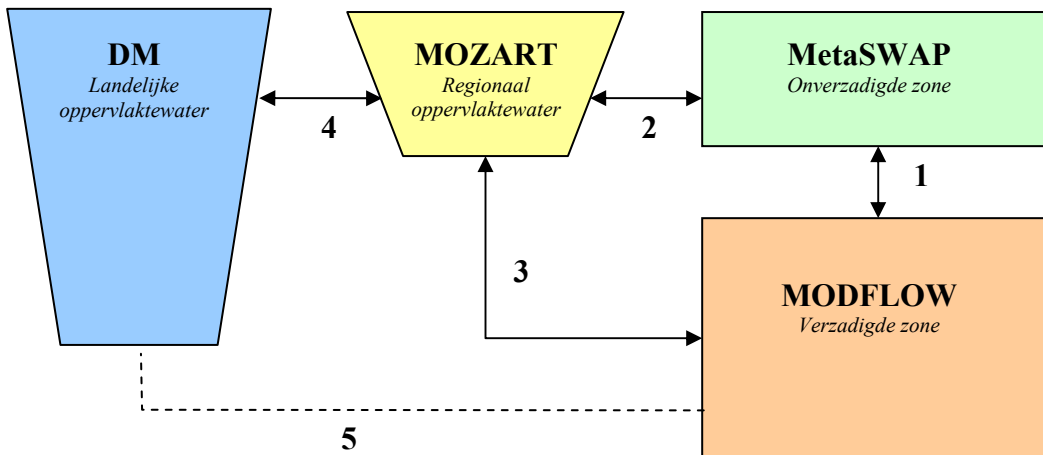
Perry, M. and D. Hollis (2005b) The generation of monthly gridded datasets for a range of climatic variables over the UK. *Int. J. Climatol.* **25**, 1041 – 1054.

Projectgroep NHI (2008), modelrapportage Nationaal Hydrologisch Instrumentarium, (hoofdrapport en diverse deelrapporten te downloaden op www.nhi.nu).

Schuurmans, J.M., M.F.P Bierkens, E.J. Pebesma and R. Uijlenhoet (2007) Automatic prediction of high-resolution daily rainfall fields for multiple extents: the potential of operational radar. *J. Hydrometeor.*, **8**, 1204-1224.

Sluiter, R. (2008) Interpolation methods for climate data – Literature review. KNMI Techn. Rep.

Bijlage 1 Nadere omschrijving van de modellen in het NHI en de koppelingen tussen de modellen.



De koppelingen tussen de rekencodes zijn in de bovenstaande figuur genummerd. Hieronder worden de specifiek kenmerken van deze koppelingen beschreven.

1 MODFLOW en MetaSWAP

- De verzadigde ondergrond van Nederland is gediscetiseerd in 4 modellagen in MODFLOW en in het horizontale vlak geschematiseerd in cellen van 250 x 250 meter.
- Bovenop de eerste modellaag (topstelsel) is de onverzadigde zone in de bodem geschematiseerd met MetaSWAP, eveneens in cellen van 250 m × 250 m. De bodem is in dit metamodel gediscetiseerd in twee modellagen :een wortelzone en een ondergrond. Het oorspronkelijke model, waarvan MetaSWAP is afgeleid, kent een veel groter aantal bodemlagen .
- MODFLOW en MetaSWAP zijn online volledig gekoppeld in één modelcode. In deze code wordt MetaSWAP als het ware aangeropen als een MODFLOW package.
- MODFLOW stuurt de grondwaterstanden naar MetaSWAP.
- MetaSWAP levert een uitwisselingsflux tussen verzadigde zone (grondwater) en onverzadigde zone (grondwateraanvulling dan wel capillaire opstijging).
- In cellen met berekening uit het grondwater kan MetaSWAP ook een onttrekkingsvraag aan MODFLOW toekennen.
- De berekeningen en uitwisseling vinden plaats op dagbasis.

2 MOZART en MetaSWAP

- Het regionale oppervlaktewatersysteem in Nederland is in MOZART geschematiseerd in ongeveer 8000 oppervlaktewatersystemen, die weer zijn onderverdeeld in ongeveer 20.000 peilgebieden, met ieder weer specifieke ontwateringskenmerken.
- MetaSWAP levert een oppervlaktewaterflux naar Mozart als regenwater oppervlakkig afstroomt over het maaiveld (runoff) richting oppervlaktewater.
- In cellen met berekening uit oppervlaktewater kan MetaSWAP een onttrekkingsvraag aan MOZART toekennen, andersom kan MOZART in de allocatiefase aangeven of aan deze vraag kan worden voldaan.

- De koppeling werkt via een zogenaamde vraag- en allocatiefase. In de vraagfase in MOZART wordt de waterbehoefte vastgesteld, en in de allocatiefase wordt berekend in hoeverre aan deze waterbehoefte kan worden voldaan.
- De modelonderdelen bestaan uit verschillende codes die afhankelijk zijn van elkaars rekenresultaten. Eerst worden de simulaties in MetaSWAP uitgevoerd, aan het eind van elke decade wordt de simulatie in MOZART gerealiseerd. Dan gaat MetaSWAP verder, etc. De koppeling bestaat dus uit het aan elkaar doorgeven van de berekeningsresultaten per tijdstap.
- De berekeningen in MetaSWAP zijn op dagbasis, MOZART is in deze fase nog op decadebasis; de uitwisseling tussen de modellen is op decadebasis.

3 MOZART en MODFLOW

- MODFLOW berekent de uitwisseling tussen grond- en oppervlaktewater bestaande uit de afvoerflux naar (danwel aanvoerflux vanuit) waterlopen, buisdrainage en verzadigde afvoer via het maaiveld. Per 250 meter cel zijn kenmerken van het oppervlaktewatersysteem, zoals slootbreedte, intreeweerstand en drainageweerstand opgegeven in MODFLOW.
- MOZART berekent de waterbalans van het oppervlaktewater in het regionale watersysteem. Het beschikbare water wordt in circa 8000 eenheden (bakjes) bijgehouden op basis van de binnenkomende fluxen (drainage, neerslag, lozingen, etc.) en uitgaande fluxen (vraag voor beregning, verdamping, en infiltratie naar grondwater, etc.) per afwateringseenheid. De kenmerken van de grotere afwateringseenheden in MOZART zijn consistent met de eigenschappen van het oppervlaktewater in de binnenliggende rekencellen (250 m × 250 m) in MODFLOW. Er wordt bijvoorbeeld gebruikt gemaakt van dezelfde afmetingen van waterlopen en ontwateringsdiepten van het oppervlaktewatersysteem.
- Op basis van de door MODFLOW berekende flux en af- en aanvoermogelijkheden wordt in MOZART een nieuw waterpeil berekend en weer teruggegeven aan Modflow.
- De modellen zijn on-line gekoppeld met behulp van separate codes (losse programma's wachten tijdens een rekensessie steeds op elkaars uitvoer).
- Koppeling werkt via een zogenaamde vraag- en allocatiefase.
- De berekeningen in MODFLOW zijn op dagbasis, in MOZART op decadebasis; de uitwisseling tussen de 2 modellen is op basis van decaden.

4 MOZART en DM

- Het Distributiemodel (DM) houdt de waterbalans bij binnen het hoofdwatersysteem in Nederland, dat bestaat uit de grote rivieren, meren en kanalen in Nederland. Het model houdt de verdeling van het binnenkomende rivierwater bij Lobith, Borgharen en een aantal kleinere rivieren bij, en de verdeling van dit water over het hoofdwatersysteem geschematiseerd in circa 135 districten in Nederland. Dit hoofdwatersysteem is gekoppeld aan de afwateringseenheden in MOZART.
- MOZART berekent eerst in de vraagfase een waterbalans van het regionale watersysteem. MOZART berekent hierbij waar er in het regionale systeem wateroverschotten zijn en waar watertekorten. DM rekent vervolgens het hoofdsysteem door, waarbij de verschillende regionale wateroverschotten en –tekorten landelijk worden verdeeld. Uit de berekening blijkt waar in het regionale systeem aan de eventuele tekorten kan worden voldaan (er is genoeg inlaatwater beschikbaar) en waar niet. Uitgaande van deze berekening berekent MOZART in de allocatiefase nieuwe waterpeilen, waarbij het waterpeil is uitgezakt of bepaalde onttrekkingen worden gekort als er niet genoeg inlaatwater beschikbaar bleek.

- De modellen MOZART en DM zijn on-line gekoppeld met losse codes (losse programma's wachten steeds op elkaars uitvoer). De koppeling werkt via een zogenaamde vraag- en allocatiefase, op decadebasis.

5 MODFLOW en DM

- Er is geen werkelijke koppeling tussen MODFLOW en DM, echter de waterlopen uit DM zijn wel geparametriseerd in MODFLOW om uitwisseling tussen landelijk oppervlaktewater en het grondwater mogelijk te maken. De uitwisselingsflux wordt vooralsnog niet naar DM doorgegeven. De uitwisseling is nog vast geschematiseerd op een aantal uitwisselpunten, bijvoorbeeld de kwel naar het IJsselmeer (die berekend wordt in MODFLOW) is als vaste randvoorwaarde opgegeven in DM.