

Numerieke Modelling ten behoeve van Neerslagvoorspellingen

Piet Termonia¹ en Emmanuel Roulin²

Departement Meteorologisch Onderzoek en Ontwikkeling
Koninklijk Meteorologisch Instituut, Ringlaan 3, B-1180 Brussel, België

Samenvatting

De huidige stand van zaken in het maken van numerieke neerslagvoorspellingen wordt besproken. De nadruk ligt daarbij op de schaalafhankelijkheid van verschillende neerslagtypes. Convectieve neerslag doet zich voor op horizontale schalen van de orde van 1 km, wat te klein is voor de resoluties van de hedendaagse operationele numerieke weersvoorspellingsmodellen, en moet dus geparametriseerd worden. De implicaties voor het gebruik en de interpretatie van numerieke neerslagvoorspellingen wordt besproken en geïllustreerd aan de hand van twee voorspellingen met het ALADIN model. Verder wordt er aandacht besteed aan het gebruik van numerieke neerslagvoorspellingen als input voor hydrologische modellen.

1 Inleiding

Neerslag kan niet los gezien worden van het geheel van meteorologische processen. Ze wordt bepaald door faseovergangen van water in de atmosfeer afhankelijk van de aanwezigheid en de aanvoer van luchtvochtigheid, de luchtdruk en de temperatuur, die op hun beurt bepaald worden door andere meteorologische fenomenen. Voor het maken van betrouwbare neerslagvoorspellingen zijn er dus in de eerste plaats betrouwbare voorspellingen van het geheel van die meteorologische grootheden nodig. Anderzijds hebben neerslagprocessen een invloed op het weer door energie- en vochtigheidsuitwisselingen. Numerieke neerslagvoorspellingen horen dus thuis in het domein van de numerieke weersvoorspellingen (numerical weather prediction; NWP).

Deze presentatie geeft een beknopt overzicht van het modelleren van neerslag in de context van numerieke weersvoorspellingen. Modelling van neerslag hangt cruciaal af van de resolutie van het model, aangezien de verscheidene fenomenen die bepalend zijn voor of bepaald worden door neerslag, zich voordoen op verschillende afstandsschalen. Een bespreking van de mogelijkheden en de beperkingen van neerslagvoorspellingen zal dus gedaan worden op basis van de verschillende schalen.

Door de beperkingen in reken capaciteit kan een onmisbaar aantal meteorologische fenomenen die zich afspelen op kleine schalen niet rechtstreeks berekend worden als onderdeel van de modelvergelijkingen. Dergelijke kleinschalige processen moeten geparametriseerd worden op basis van fysische inzichten en hun invloed op de grootschalige processen moet geschat worden, in tegenstelling tot de grootschalige fenomenen die berekend

¹E-mail: Piet.Termonia@oma.be

²E-mail: Emmanuel.Roulin@oma.be

worden door het expliciet oplossen van de atmosferische vergelijkingen. Deze presentatie heeft tot doel uit te leggen wat door een hedendaags model als grootschalig en wat als kleinschalig wordt beschouwd, en een idee te geven van de beperkingen die verbonden zijn aan de parametrisatie van de kleinschalige fenomenen. Het is belangrijk voor de gebruiker van numerieke neerslagvoorspellingen zich bewust te zijn van dit onderscheid voor het beoordelen van de kwaliteit van de voorspellingen. Een diepgaande bespreking van numerieke weersvoorspellingen en de parametrisatie van fysische processen in het bijzonder wordt gegeven door Haltiner en Williams (1980) en ook Gérard (2001) voor de huidige stand van zaken in het ALADIN model.

De materie in deze presentatie zal geïllustreerd worden aan de hand van numerieke weersvoorspellingen met het ALADIN model. ALADIN is het regionale huismodel op een beperkt gebied van het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI). ALADIN is het resultaat van een internationale wetenschappelijke samenwerking tussen 15 meteorologische instituten (Members of the ALADIN international team 1997). Het onderzoek uitgevoerd door de onderzoekers van het KMI betreft diepe convectie, data assimilatie, de randvoorwaarden, en het gebruik van de model output voor toepassingen (o.a. luchtverontreiniging). Het wordt operationeel gebruikt voor het maken van de weersvoorspellingen van het KMI, met een voorspellingshorizon van 48 uur, en specifieke gegevens worden op aanvraag geleverd aan klanten.

2 Neerslag en schaalafhankelijkheid

Het gedrag van droge lucht wordt essentieel beschreven door een stelsel van 6 differentiaalvergelijkingen; momentumvergelijkingen (2 componenten), de hydrostatische vergelijking (in de hypothese dat de atmosfeer in hydrostatisch evenwicht is), de toestandsvergelijking, de continuïteitsvergelijking en de thermodynamische vergelijking. Deze vergelijkingen zijn volledig voor de zes onbekenden: de wind \mathbf{u} , de verticale bewegingscomponente ω , de temperatuur T , de luchtdruk p en de massadichtheid ρ .

Om de vochtigheid in rekening te brengen wordt er aan dit stelsel vergelijkingen een vergelijking van de vorm,

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\mathbf{u} \cdot \nabla q - \frac{\partial}{\partial p}(\omega q) + \sum_i S_i \quad (1)$$

toegevoegd voor de specifieke vochtigheid q , waarbij S_i diverse bronnen vertegenwoordigen waaronder condensatie en verdamping. Als coördinaat neemt men de luchtdruk p . Het nieuwe stelsel wordt gesloten door de brontermen S_i te berekenen in termen van T , p , \mathbf{u} , ω , ρ en q .

De differentiaalvergelijkingen van het type (1) worden opgelost door ze te discretiseren. Dit kan door de variabelen te berekenen op een rooster of door ze te transformeren in een spectrale representatie. In beide gevallen resulteert dit in een beperkte modelresolutie. Voor een formulering op een rooster wordt deze bepaald door de fijnmazigheid van het rooster. Voor de spectrale representatie wordt dit bepaald door de spectrale truncatie. Een variabele van de differentiaalvergelijkingen in een roosterpunt vertegenwoordigt dan een ruimtelijke gemiddelde over het omringende gebied.

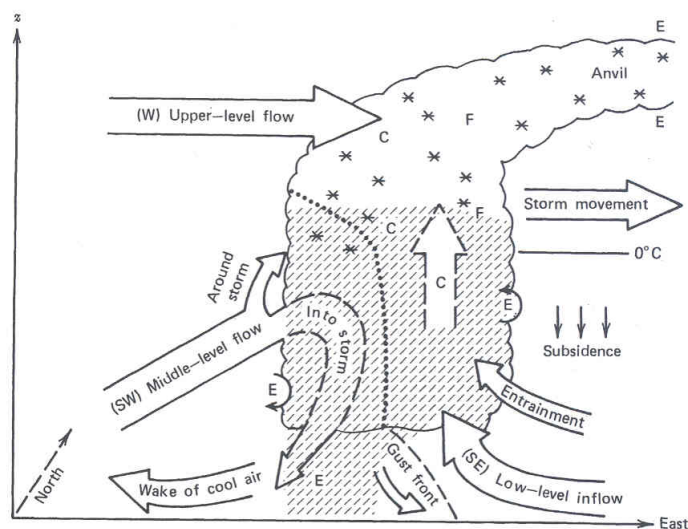
De nodige rekencapaciteit voor het maken van een operationele voorspelling is evenredig met de totale oppervlakte van het beoogde voorspellingsgebied en hangt ook af van de resolutie van het model. Aangezien de atmosfeer horizontaal nergens begrensd wordt door natuurlijke randen, heeft men voor het maken van numerieke weersvoorspellingen eerst een globale voorspelling nodig, d.w.z. voor het volledige aardoppervlak. Wenst men daarna voorspellingen met een hogere resolutie dan kan de model output van een dergelijk globaal model gebruikt worden voor het opleggen van de randvoorwaarden voor een model op een beperkt gebied (Eng. limited-area model; LAM), met een hogere resolutie. Met de huidige beschikbare computers hebben globale modellen resoluties van de orde van 50 tot 100 km, terwijl de modellen op een beperkt gebied doorgaans resoluties hebben van de orde van 10 km. Fenomenen die zich afspelen op afstandsschalen die groter zijn dan de ruimtelijke resolutie worden opgelost door de integratie van de dynamische vergelijkingen. Bijgevolg zal neerslag verbonden aan een front dat zich manifesteert op een afstandsschaal van de orde van 100 km door de modelvergelijkingen van het type (1) opgelost worden.

De Belgische versie van het ALADIN model, ALADIN-België, heeft een resolutie van 7 km. De modelvariabelen zijn dus gemiddelden voor gebieden van 7 km op 7 km, met het roosterpunt in het centrum. Voor de begin- en de randvoorwaarden wordt de model output van ALADIN-France gebruikt dat op zijn beurt begin- en randvoorwaarden krijgt van het globale model ARPEGE van Météo France. Een nieuwe operationele niet-hydrostatische versie van het ALADIN model bedoeld om gebruikt te worden op afstandsschalen van de orde van 1 km, wordt momenteel ontwikkeld. Deze presentatie beperkt zich tot het huidige operationele hydrostatische ALADIN model.

Cumuluswolken en de bijbehorende neerslag manifesteren zich op afstandsschalen van de orde van 1 km, en zijn dus voor de huidige modellen submazig. Dergelijke wolken kunnen dus onmogelijk deel uitmaken van de oplossingen van de modelvergelijkingen (1) met een resolutie van ongeveer 10 km. Ondanks het feit dat dergelijke cumuluswolken zich op verscheidene manieren manifesteren van wolk tot wolk, hebben ze toch allemaal een aantal gemeenschappelijke kenmerken. Dit maakt het toch mogelijk hun statistische effecten op de omgeving op basis van hun omgevingsfactoren te schatten door die gemeenschappelijke kenmerken te parametriseren.

Figuur 1 toont enkele van de gemeenschappelijke kenmerken van cumulonimbuswolken. Condensatie en verdamping doen zich voor op diverse plaatsen in de wolk. Condensatie treedt bijvoorbeeld op in de stijgende opgezogen vochtige lucht (pijl naar boven op Fig. 1). Verdamping treedt op in de neerslag onder de wolk, in de afvoer bovenaan de wolk en aan de buitenkant van de wolk door turbulente vermenging. Een parametrisatieschema van diepe convection voert typisch een aantal stappen uit van de volgende aard (deze lijst is niet volledig; zie Gérard 2001 voor een meer complete beschrijving):

- de stijgende lucht in de wolk wordt berekend op basis van de atmosferische onstabieliteit en de toevoer van vocht, gebruik makend van de grootschalige variabelen.
- een wolkmodel wordt gebruikt voor het berekenen van onder andere de verticale vochtigheids-, temperatuur- en windprofielen.
- stijgende en dalende fluxen van vocht, warmte en momentum worden berekend.
- op basis van de fluxen wordt er een correctie aan de dynamische vergelijkingen [waaronder (1)] toegevoegd.



Figuur 1: Schematisch overzicht van een cumulonimbus wolk (volgens Anthes 1978): C duidt condensatie aan; E, verdamping; en F bevriezing. Pijlen duiden op windrichtingen en luchtstromingen in de wolk.

Ondanks het feit dat de bijdrage van één cumuluswolk verwaarloosd kan worden, kan de totale bijdrage van een georganiseerde groep cumuluswolken een substantieel effect op de grootschalige uitwisseling van warmte, vochtigheid en momentum hebben. Naast het feit dat de meeste gebruikers van numerieke weersvoorspellingen nu juist in neerslagvoorspellingen geïnteresseerd zijn, is dit op zich een voldoende reden om cumuluswolken te parametriseren.³

Het is te verwachten dat grootschalige neerslag door het model beter voorspeld wordt dan convectieve buien. Daarbij dient evenwel opgemerkt te worden dat de kwaliteit van de voorspellingen van de grootschalige fenomenen grotendeels afhangt van de kwaliteit van de data assimilatie (d.w.z. het verwerken van observaties voor het creëren van een initiële modeltoestand) en van de kwaliteit van de randvoorwaarden komende van een model met een lagere resolutie (zie bijvoorbeeld Warner *et al.* 1997, en Termonia 2003).

3 Gebruik en interpretatie

Aangezien neerslag zich ook grotendeels afspeelt op afstandsschalen van de orde van of zelfs kleiner dan de roosterafstanden van het model, heeft het geen zin om de kwaliteit per roosterpunt te bepalen. Het is de bedoeling dit hier te illustreren aan de hand van twee voorspellingen. Het eerste is een voorspelling van een neerslagzone verbonden aan een koufront. Het tweede is een geval van een convectieve neerslagzone.

³Men is bovendien verplicht andere submazige processen in rekening te brengen. Enkele voorbeelden zijn turbulentie, bewolking, orografische interacties.

3.1 Grootschalige neerslag

Fig. 2 toont een voorbeeld van een ALADIN voorspelling van een grotendeels grootschalige neerslagzone verbonden aan een koufront dat vanaf de kust zuidoostwaarts door België trok tussen 2200 UT en 2300 UT, op 22 september 2003; het convectieve submazige gedeelte en de grootschalige bijdrage berekend door het ALADIN model worden apart getoond. Het maximum in de grootschalige bijdrage op het Belgische grondgebied is iets meer dan 8.0 mm, terwijl de convectieve bijdrage nergens meer is dan 2.0 mm.

Fig. 3a toont de totale neerslag als som van de convectieve neerslag en de grootschalige neerslag in Fig 2a en Fig 2b tussen 2200 UT en 2300 UT op 22 september 2003. Deze kan vergeleken worden met de geaccumuleerde neerslagbeelden van de meteorologische radar van Wideumont gedurende dit tijdsinterval rechts op de figuur.

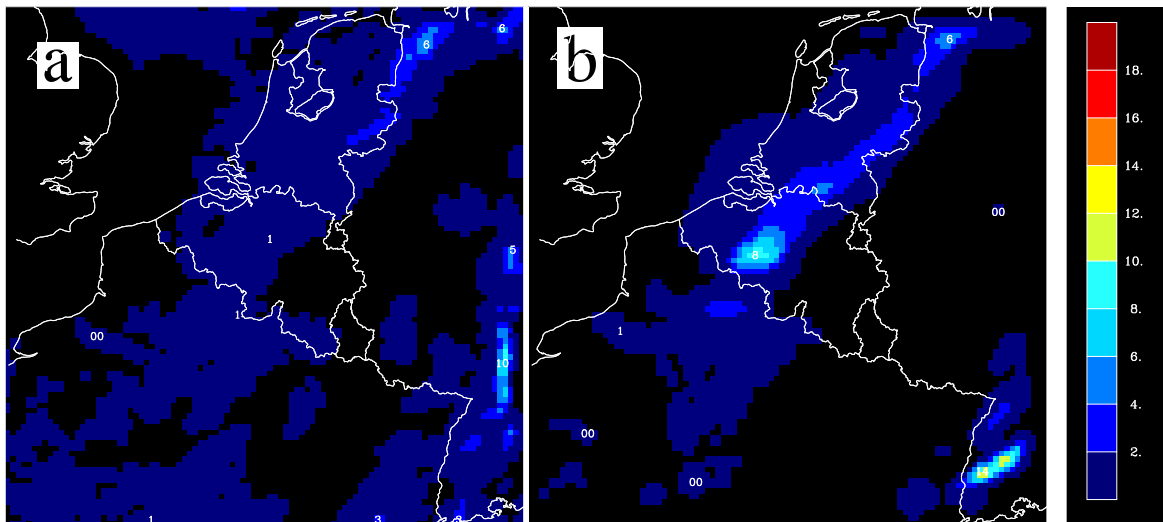
Radarbeelden zijn minder betrouwbaar qua aangegeven neerslaghoeveelheden maar geven wel zeer accuraat de posities van de neerslag weer. Het heeft, zoals eerder gezegd, geen zin de beoordeling in één enkel punt te maken. Wanneer we dit zouden doen in Gent en voor een stuk van de Schelde dan merken we dat de radar daar geen neerslag heeft gedetecteerd terwijl ALADIN daar nu juist de meeste neerslag heeft voorspeld. Wanneer de ALADIN voorspelling echter kwalitatief wordt geïnterpreteerd zoals dat wordt gedaan voor het maken van weerberichten; als een regenzone over het noordoosten van het land, dan komt dit goed overeen met de radardetectie.

Indien men een kwantitatieve appreciatie wenst van de voorspelling is het beter om dat de doen voor een accumulatie over langere tijdsintervallen. Fig. 4 toont een vergelijking tussen de neerslag geaccumuleerd gedurende de nacht van 22 september op 23 september 2003, tussen 1800 UT en 0600 UT, voorspeld door het ALADIN model en de observaties in een aantal stations. De intensievere neerslag boven de Nederlandse kust en in het noorden van Nederland op Fig. 4a is convectieve neerslag. Men ziet dat de geaccumuleerde hoeveelheden van het ALADIN model op het Belgisch grondgebied vrij nauwkeurig overeenkomen met de synoptische waarnemingen.

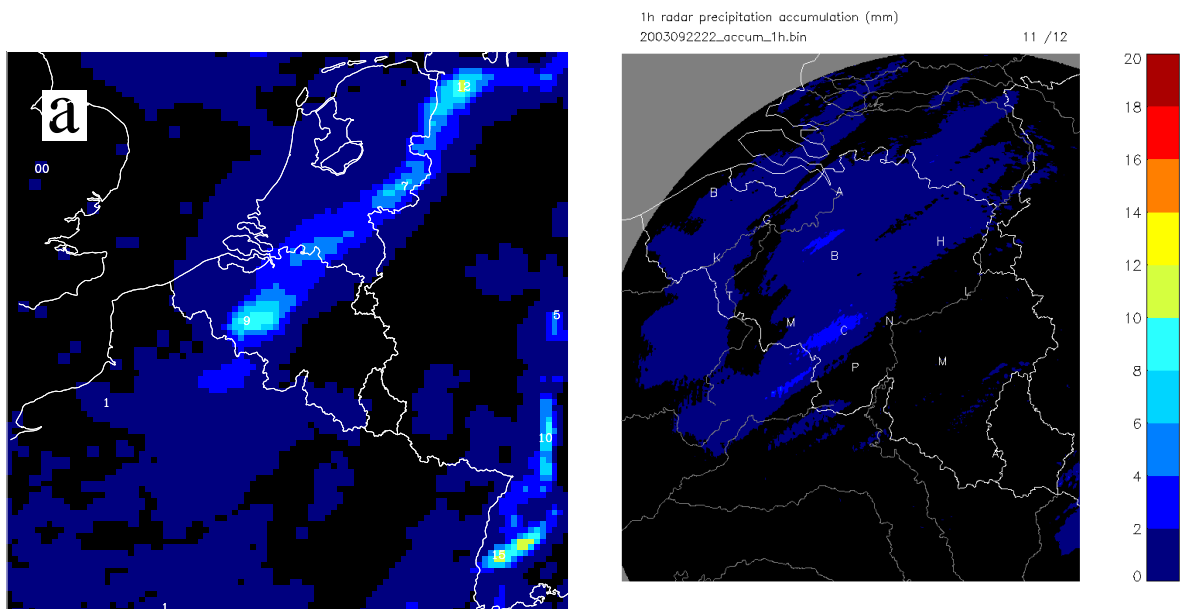
3.2 Convectieve neerslag

Fig. 5 toont het voorbeeld van een ALADIN voorspelling van een convectieve neerslagzone over België op 5 oktober 2003; het convectieve submazige gedeelte en de grootschalige bijdrage berekend door het ALADIN model worden apart getoond, geaccumuleerd tussen 1200 UT en 1300 UT. Deze neerslag werd bepaald door aanvoer van vochtige lucht van over zee in de onderste luchtlagen en koude lucht in de bovenste lagen, wat aanleiding gaf tot een onstabiele vochtige atmosfeer over het Belgisch grondgebied, met cumuluswolken en de bijbehorende neerslag tot gevolg. ALADIN voorspelt hier bijna uitsluitend convectieve neerslag.

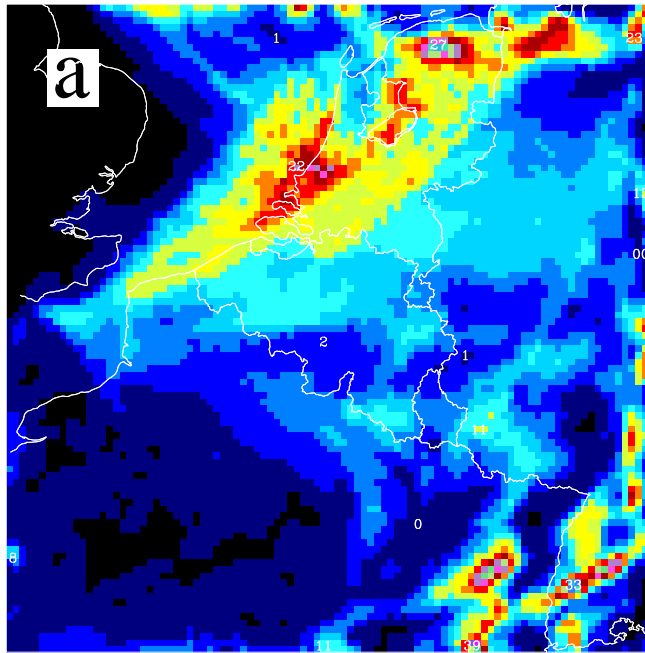
Fig. 6 toont de totale geaccumuleerde neerslag (de som uit de Fig. 5a en Fig. 5b) in vergelijking met de geaccumuleerde neerslag gedetecteerd door de radar van Wideumont in het interval van 1200 UT tot 1300 UT. Op de radar output merken we individuele regenzones in het noordwesten van het land en een paar kleinere zones verder in het oosten. ALADIN voorspelt regen in het noordoosten maar de intensere buienzones vallen niet samen met de buienzones op de radar. Er is bijvoorbeeld op de ALADIN kaart



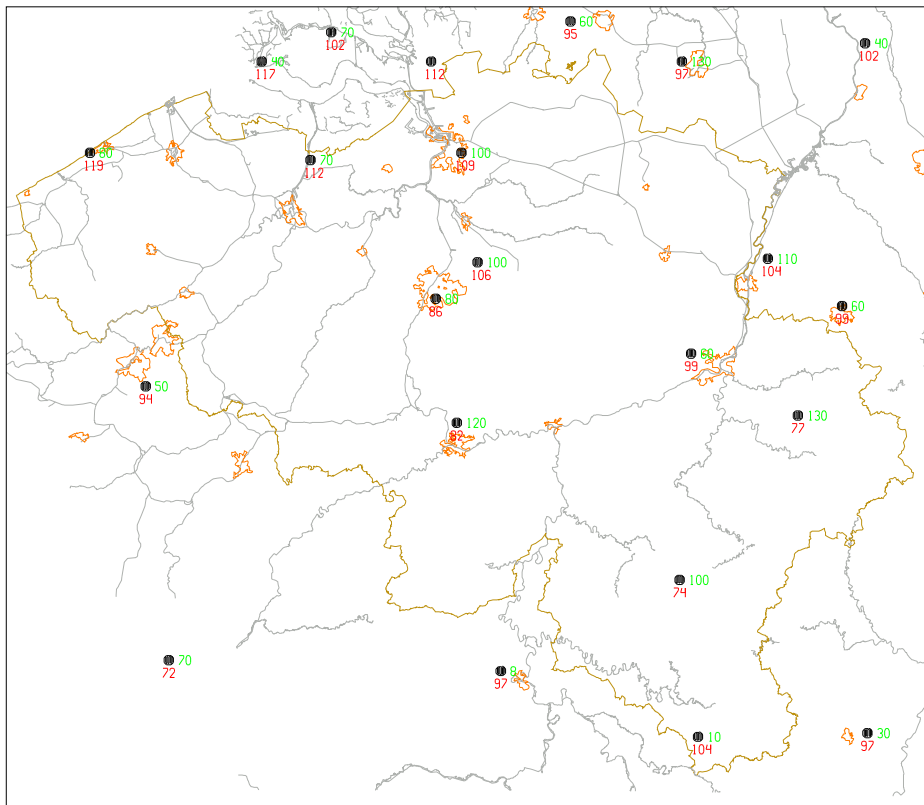
Figuur 2: Een voorbeeld van een ALADIN voorspelling van een grotendeels grootschalige neerslagzone verbonden aan een koufront dat vanaf de kust zuidoostwaarts door België trok op 22 september 2003: (a) het convectieve submazige gedeelte en (b) de grootschalige bijdrage, berekend door het ALADIN model. De neerslag is geaccumuleerd tussen 2200 UT en 2300 UT. De hoeveelheden zijn uitgedrukt in mm.



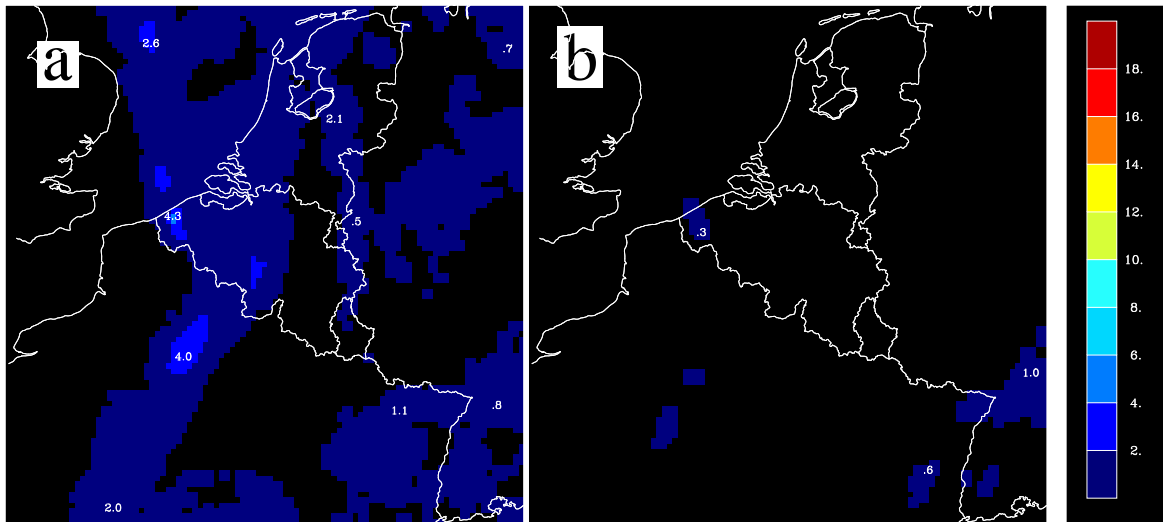
Figuur 3: Vergelijking tussen de neerslag geaccumuleerd tussen 2200 UT en 2300 UT, op 22 september 2003: voorspeld door (a) het ALADIN model en (rechts) gedetecteerd door de radar van Wideumont. Dezelfde kleurtabel is gebruikt als in Fig. 2.



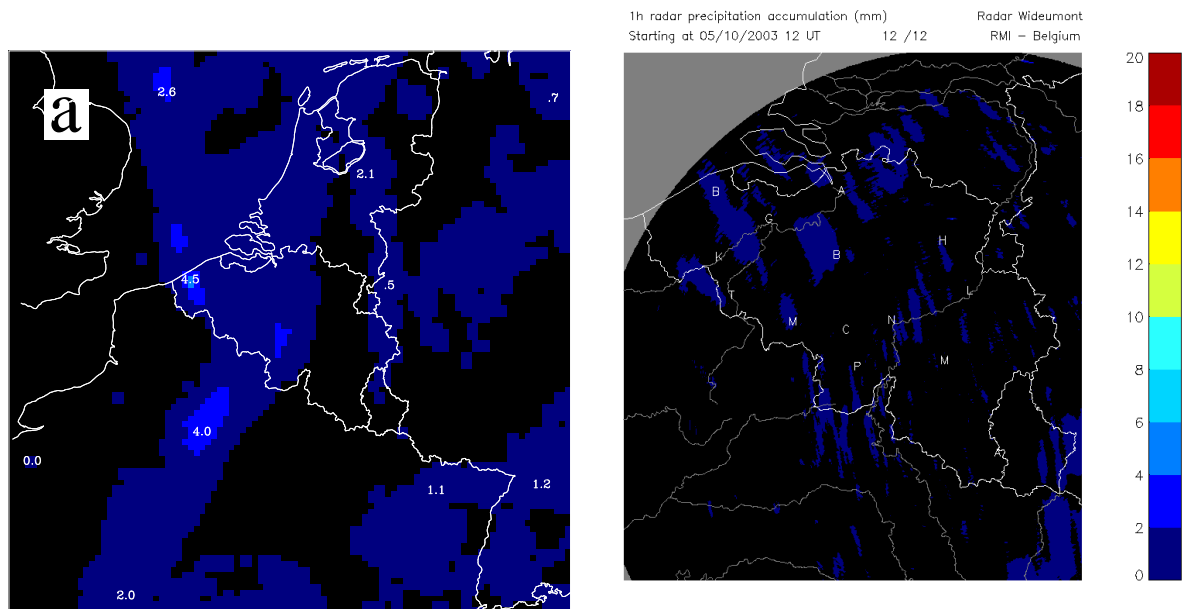
030923 Minimum temperatures (0.1°C) Synoptic stations (18h-06h utc)
 last 12 h Precipitation (0.1 mm), Snow depth (cm)



Figuur 4: Vergelijking tussen de neerslag geaccumuleerd tussen 22 september om 1800 UT en 23 september om 0600 UT, 2003: voorspeld door (a) het ALADIN model (met dezelfde kleurtabel als in figure 2 en 3) en (vanonder) observaties in een aantal synoptische stations. De neerslaghoeveelheden staan aangegeven in het groen.



Figuur 5: Een voorbeeld van een ALADIN voorspelling van een convectieve neerslagzone over België op 5 oktober 2003: (a) het convectieve submazige gedeelte en (b) de grootschalige bijdrage berekend door het ALADIN model. De neerslag is geaccumuleerd tussen 1200 UT en 1300 UT. De hoeveelheden zijn uitgedrukt in mm.



Figuur 6: Vergelijking tussen de neerslag geaccumuleerd tussen 1200 UT en 1300 UT op 5 oktober 2003: voorspeld door (a) het ALADIN model en (rechts) gedetecteerd door de radar van Wideumont. Dezelfde kleurtabel is gebruikt als in Fig. 5.

intensievere neerslag op te merken over het zuidwesten van de kustlijn, terwijl we op de radar eerder een zone onderscheiden in het noordoosten van de kustlijn.

Dit illustreert dat een interpretatie of een beoordeling van een dergelijke neerslagvoorspellingen in een geïsoleerd punt nog minder aangewezen is dan in het vorige voorbeeld van grootschalige neerslag in Fig. 3. Voor het maken van een weerbericht wordt een dergelijke model output geïnterpreteerd als een kans op buien over het noordwesten van het land.

Fig. 7 toont een vergelijking tussen de neerslag geaccumuleerd tussen 0600 UT en 1800 UT, op 5 oktober 2003; voorspeld door het ALADIN model en observaties in een aantal synoptische stations. Hierop zien we dat er effectief neerslag is waargenomen in het noordwesten in de synoptische stations. De hoeveelheden voorspeld door ALADIN zijn echter overschat.

Deze twee voorbeelden illustreren dat voor het interpreteren en het beoordelen van numerieke weersvoorspellingen met een numeriek weersvoorspellingsmodel, men

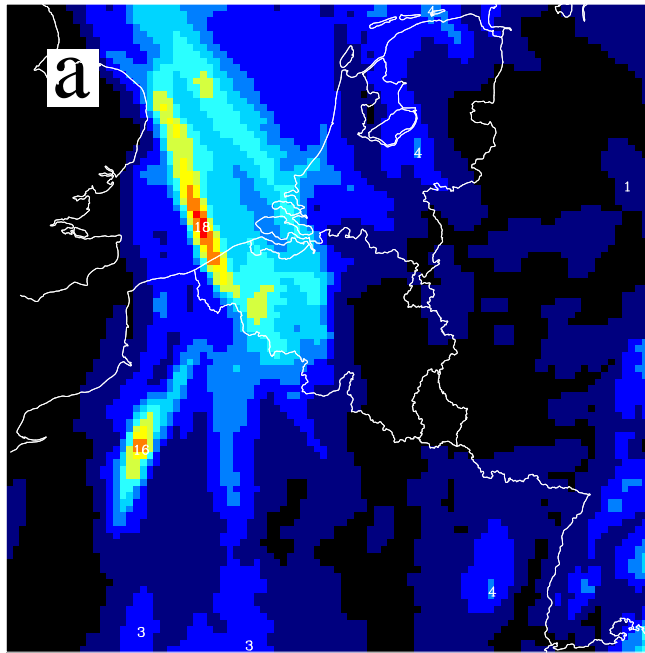
- dit moet doen voor geaccumuleerde neerslag
- de neerslaghoeveelheden moet beschouwen voor een gebied en niet in een individuele locatie.

Het beoordelen van de kwaliteit van neerslagvoorspellingen moet daarbij gedaan worden in functie van de behoeften van de gebruiker. De volgende sectie geeft een beknopte bespreking van een dergelijke benadering in de hydrologie.

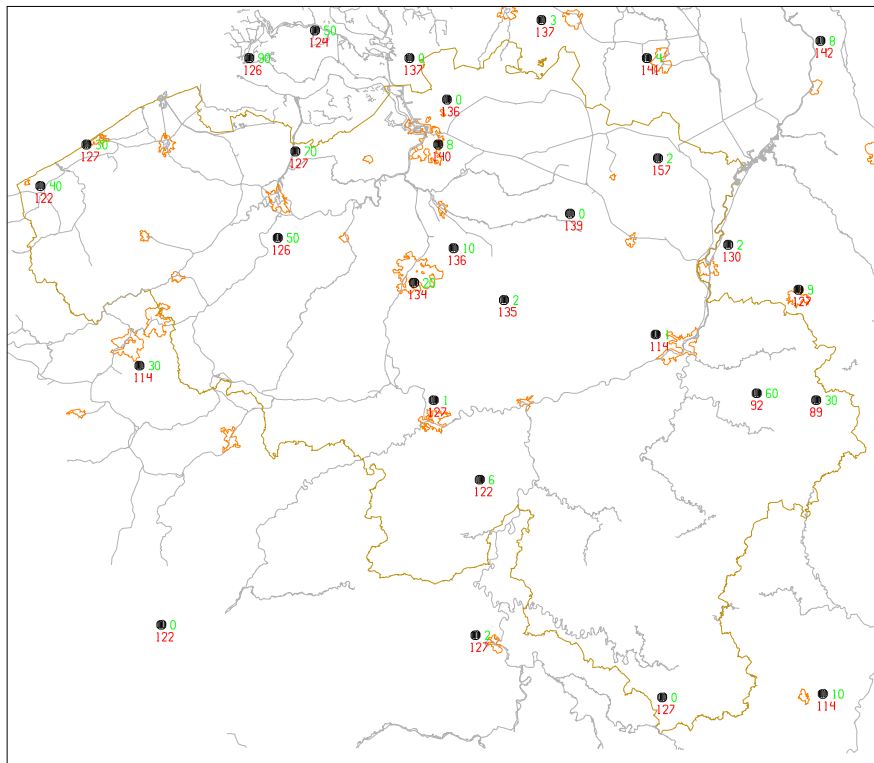
4 Input voor hydrologische modellen

Voor hydrologische doeleinden is er een behoefte aan kwantitatieve neerslagvoorspellingen als input voor hydrologische modellen. Dergelijke modellen beschrijven de verschillende processen aanwezig in een stroombekken en voorspellen de waterstanden op een specifieke plaats stroomafwaarts. Er is momenteel een onderzoeksproject lopende op het KMI dat tot doel heeft na te gaan hoe de beschikbare numerieke neerslagvoorspellingen het best gebruikt kunnen worden. Dit onderzoek is tweeledig. Het gebruik van de middellange voorspellingen van het Europees Centrum voor Weersvoorspellingen op Middellange Termijn (ECMWF) voor het maken van probabilistische voorspellingen van de afvoer wordt momenteel getest. In een tweede luik zal het gebruik van de kortetermijnvoorspellingen van ALADIN onderzocht worden.

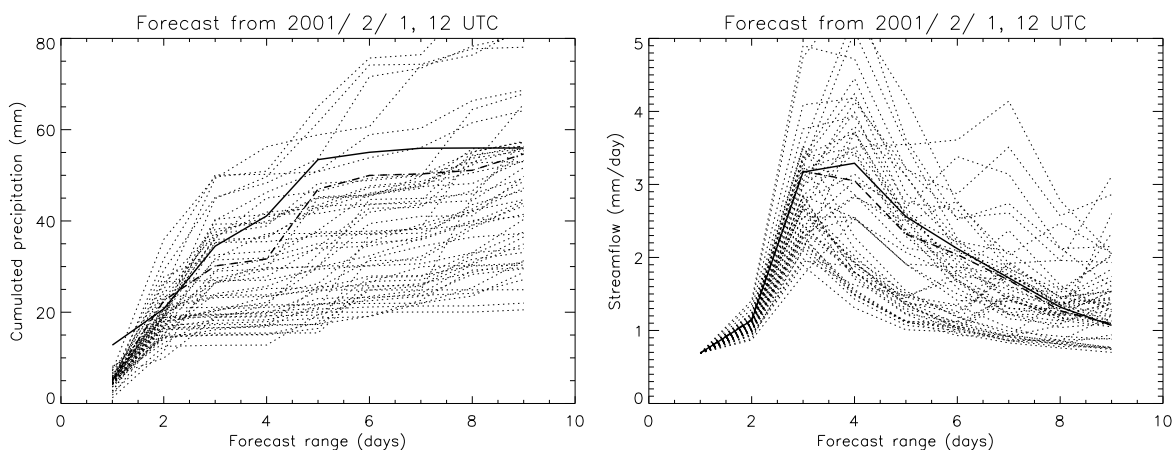
Het ECMWF maakt operationele globale voorspellingen met een voorspellingshorizon van 10 dagen. Een voorspelling bestaat onder andere uit een *deterministische* voorspelling met een (huidige) resolutie van 40 km. Onvolkomenheden in de data analyse voor het creëren van de beginvoorwaarden leiden tot voorspellingsfouten die op een niet-lineaire wijze groeien tijdens het verloop van de voorspelling. Om die reden werd het ensemble voorspellingssysteem (Eng. Ensemble Prediction System; EPS) ontwikkeld waarbij er naast een voorspelling met de eigenlijke begintoestand, de zogenaamde *controlevoorspelling*, meerdere voorspellingen met welgekozen “verstoorde” beginvoorwaarden worden gemaakt, om dergelijke onzekerheden op een probabilistische manier in rekening te brengen. Het huidige systeem produceert 50 voorspellingen met een ruimtelijke resolutie van



031005 Maximum temperatures (0.1°C) Synoptic stations (06h-18h utc)
 last 12 h Precipitation (0.1 mm), Snow depth (cm)



Figuur 7: Vergelijking tussen de neerslag geaccumuleerd tussen 0600 UT en 1800 UT, op 5 oktober 2003: voorspeld door (a) het ALADIN model (met dezelfde kleurtabel als in figure 5 en 6) en (vanonder) observaties in een aantal synoptische stations. De neerslaghoeveelheden staan aangeduid in het groen.



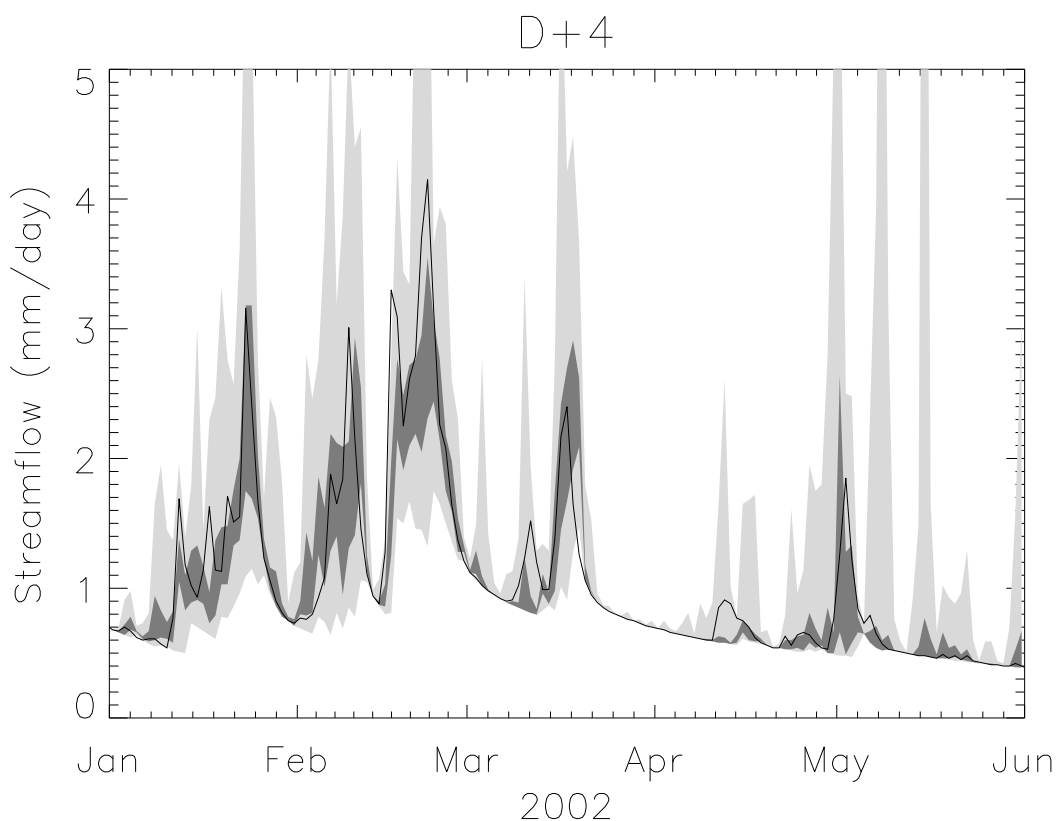
Figuur 8: Ensemble voorspellingen: (links) de cumulatieve gebiedsregen in het bekken van de Demer te Diest (1775 km^2) geïntegreerd op basis van de data van de pluviometers (continue lijn), afgeleid van de controleneerslagvoorspelling van het ECMWF (gebroken lijn), afgeleid van de 50 leden van het ECMWF ensemble (stippellijnen); en (rechts) de gesimuleerde afvoer van de Demer in Diest op basis van de waargenomen neerslag, met de controlevoorspelling en met de 50 ensembleleden.

80 km (Buizza *et al.*, 2003). Ieder van die voorspellingen kan gezien worden als een mogelijke ontwikkeling tussen een aantal alternatieven.

De EPS voorspellingen werden getest als input voor het hydrologische SCHEME model (Roulin *et al.* 2001; Roulin en Arboleda 2002). Dit model is samengesteld uit een conceptuele benadering in elke rooster cel met een omvang van 7 km. Het draait met een tijdstap van 1 dag en is gekoppeld aan een routing module gebaseerd op een vereenvoudigde beschrijving van het hydrologisch net; kanalen, dammen en waterbeheer in het algemeen worden niet in rekening gebracht. Een tiental parameters werden geoptimaliseerd op middelgrote stroomgebieden door het verschil tussen de waargenomen afvoer en de gesimuleerde afvoer met waargenomen neerslag en andere meteorologische gegevens te minimaliseren. Deze parameters werden geregionaliseerd aan de hand van informatie over de topografie, het landgebruik en de bodem.

Figuren 8, 9 en 10 tonen preliminaire resultaten bekomen voor het stroomgebied van de Demer te Diest (1775 km^2). Het hydrologisch model wordt eerst gerund met de waargenomen neerslag en de toestand van alle variabelen in het model op het einde van iedere dag wordt opgeslagen. De aldus bekomen afvoer wordt als “referentie” beschouwd. Uit vergelijkingen tussen deze referentieafvoer en de eigenlijk gemeten afvoer in Diest is gebleken dat pieken van meer dan 2.2 mm overschat worden, wat verklaard kan worden door preventieve ingrepen in stations stroomopwaarts. Beneden deze waarde, zijn de afvoeren in goede overeenstemming met de waargenomen waarden.

Om een voorspellingsprocedure na te bootsen, werden gearchiveerde EPS neerslagvoorspellingen voor 2001 en 2002 als volgt verwerkt. De voorspellingen werden berekend op 12 uur UT tot 240 uur vooruit. De neerslag voorspeld voor de eerste dag, D+1, komt overeen met de geaccumuleerde neerslag tussen 6 UT op D+1 tot 6 UT op D+2, d.w.z. van 18 uur

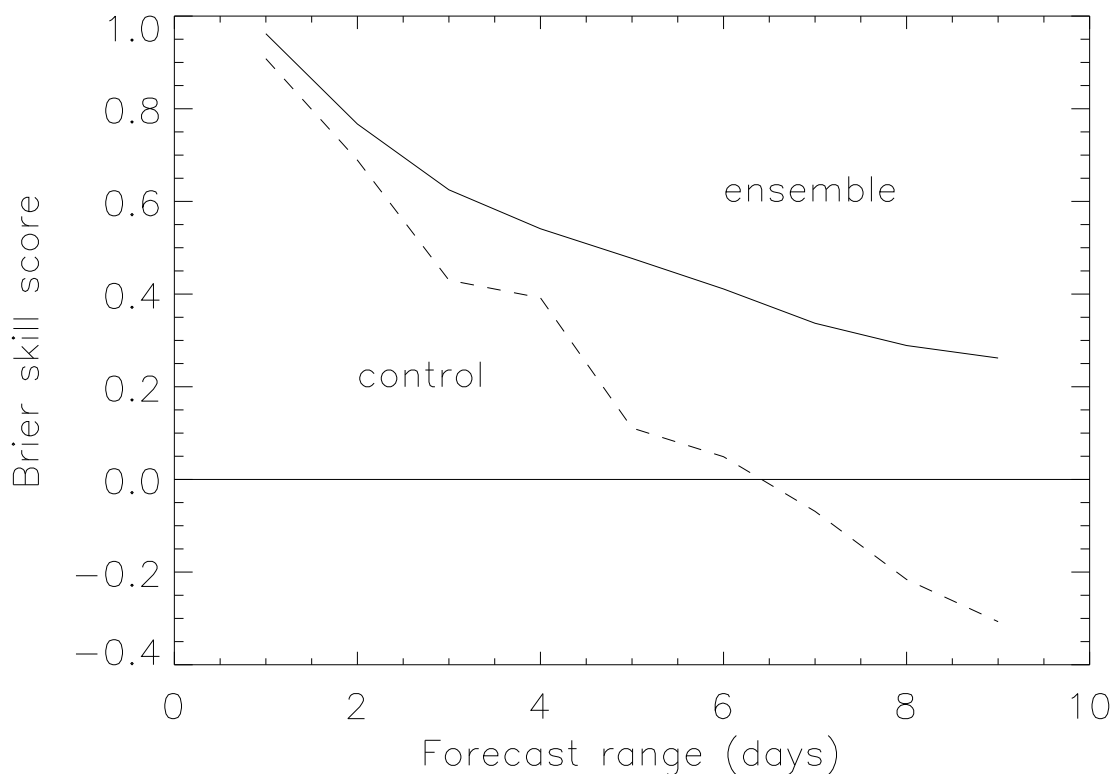


Figuur 9: Voorspellingen van de afvoeren van de Demer in Diest, vier dagen vooruit: in het grijs begrensd door de maximum en de minimum waarden op D+4 van de 50 simulaties dagelijks uitgevoerd met de ECMWF neerslagvoorspellingen. De 0.25 en de 0.75 quantielen zijn aangeduid in donkergrijs. De continue lijn geeft de waarden bekomen met de waargenomen neerslaggegevens, weer.

tot 42 uur vanaf het begin van de voorspelling. De laatste dag, D+9 komt overeen met de termijn van 210 tot 234 uur sinds het begin van de voorspelling. Beginnende van de hydrologische toestand op dag D wordt het hydrologisch model gerund met de neerslag voor de volgende 9 dagen voorspeld door de controlerun van het EPS ensemble. Deze simulatie wordt herhaald voor de 50 andere leden van het ensemble. De gesimuleerde afvoer met de neerslagvoorspelling wordt dan vergeleken met de referentieafvoer. Fig. 8 toont het geheel aan resultaten voor één dag zoals ze zouden worden geleverd in een voorspellingsprocedure. De waterstanden in dit voorbeeld, die zich voordoen op D+3 en D+4 zitten omvat in het ensemble en de gesimuleerde afvoer met de controlevoorspelling ligt zelfs dicht bij de referentieafvoer.

Fig. 9 toont de ensemblevoorspellingen voor elke dag van januari tot juni 2002. De afvoer voorspeld voor D+4 met het ensemble wordt voorgesteld door de minimum en de maximum waarden en de 0.25 en de 0.75 fractielen. Zoals reeds gezegd laten de 50 voorspelde afvoeren toe om waarschijnlijkheden te berekenen. Waarschijnlijkheden zijn potentieel nuttiger voor beleidsmakers dan categorische voorspellingen.

Een verificatie van probabilistische voorspellingen kan gedaan worden aan de hand



Figuur 10: Verificatie van de voorspellingen waarbij de afvoer de waarde van 1.5 mm overschrijdt: de Brier vaardigheidsscore met een referentievoorspelling met een constante waarschijnlijkheid gegeven door de waargenomen frequentie.

van de Brier score (BS), gedefinieerd als (Wilks, 1995):

$$BS = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - o_k)^2, \quad (2)$$

waarbij y_k de voorspelde waarschijnlijkheid is van het k^{de} verificatieelement, en waarbij o_k 1 is wanneer de gebeurtenis plaatsgrijpt en 0 is wanneer ze niet plaatsgrijpt, en n de grootte is van de verificatiesteekproef. Een vaardigheidsscore (VS) kan berekend worden door de Brier score te vergelijken met een score berekend met een referentievoorspelling:

$$VS = 1 - \frac{BS}{BS_{ref}}. \quad (3)$$

De vaardigheidsscore in Fig. 10 werd berekend voor de waarschijnlijkheid y_k dat de afvoer de waarde van 1.5 mm overschrijdt. De referentievoorspelling is eenvoudigweg de constante waarschijnlijkheid van de waargenomen frequentie. De drempelwaarde werd laag gehouden zodat ze een voldoende aantal keren werd overschreden gedurende de 2001-2002 verificatieperiode. De vaardigheidsscore voor de controlerun waarbij y_k 1 of 0 werd gekozen wanneer de drempelwaarde van 1.5 mm al dan niet was overschreden is ook aangeduid op de figuur. Men merkt dat de vaardigheidsscore van de ensembleafvoersvoorspellingen

voor de drempelwaarde 1.5 mm positief blijft gedurende de voorspellingstermijn, terwijl de controlevoorspelling geen enkele vaardigheid meer heeft na 6 dagen.

Andere aspecten zullen in de toekomst onderzocht worden, onder andere:

- het neerschalen van de 80 km ruimtelijke resolutie naar de resolutie van het hydrologisch model van 7 km.
- een schatting van de economische waarde van de probabilistische voorspellingen.

Bovendien zullen ook de neerslagvoorspellingen van het ALADIN model worden getest met betrekking tot hydrologische modellen. Omwille van de hogere resolutie en de kortere voorspellingstermijn van de ALADIN voorspellingen zullen meer gedetailleerde hydrologische modellen met een fijnere resolutie gebruikt moeten worden.

5 Conclusies

Het numeriek modelleren ten behoeve van het maken van neerslagvoorspellingen werd hier besproken op basis van de typerende afstandsschalen van verschillende neerslagtypes. Daarbij werd er een onderscheid gemaakt worden tussen grootschalige bijdragen en submazige bijdragen. Dit werd besproken aan de hand van twee voorbeelden. Daarbij werd de noodzaak voor het accumuleren over voldoende lange tijdsperiodes en over voldoende uitgestrekte gebieden, geïllustreerd. Enkele preliminaire resultaten werden gepresenteerd van een onderzoek dat tot doel heeft te bestuderen hoe neerslagvoorspellingen gebruikt kunnen worden als input voor hydrologische modellen.

Dank

Wij danken G. Demarée en A. Quinet voor het grondig nalezen van deze text en voor hun vele suggesties. Dit werk kwam tot stand dankzij financiële steun van de Federale Diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele aangelegenheden (DWTC).

Referenties

- [1] Anthes, R. A., 1978: The thunderstorm: A social, Scientific, Documentary. Editor, Edwin Kessler, Oklahoma University Press.
- [2] Gérard, L., 2001: Physical parameterization for a high resolution operational Numerical Weather Prediction model, PhD thesis, Free University of Brussels.
- [3] Buizza, R., D. S. Richardson, en T. N. Palmer, 2003: Benefits of increased resolution in the ECMWF ensemble system and comparison with poor-man's ensembles. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **129**, 1269-1288.
- [4] Haltiner, G. J., and R. T. Williams, 1980: *Numerical Prediction and Dynamic Meteorology*, John Wiley and Sons, New York.
- [5] Members of the ALADIN international team, 1997: The ALADIN project: Mesoscale modelling seen as a basic tool for weather forecasting and atmospheric research. *WMO Bull.*, **46**, no. 4, 317–324.
- [6] Roulin, E., A. Cheymol, en D. Gellens, 2001: Integrated modelling of the hydrological cycle in relation to global climate change. Final Report of the project GC/34/08A in the framework of the “Global change and sustainable development” program of the Belgian Federal Office of Scientific, Technical, and Cultural Affairs, 62 pp.
- [7] Roulin, E. en A. Arboleda, 2002: Integrated modelling of the hydrological cycle in relation to global change – The Scheldt river Basin. Complement to the Final Report of the project GC/34/08A in the framework of the “Global change and sustainable development” program of the Belgian Federal Office of Scientific, Technical, and Cultural Affairs, 45 pp.
- [8] Termonia, P., 2003: Monitoring and Improving the Temporal Interpolation of Lateral-Boundary Coupling Data for Limited-Area Models. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 2450-2463.
- [9] Warner, T. T., R. A. Peterson, and R. E. Treadon, 1997: A Tutorial on Lateral Boundary Conditions as a Basic and Potentially Serious Limitation to Regional Numerical Weather Prediction. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 2599–2617.
- [10] Wilks, D. S., 1995: *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press, San Diego, 467 pp.