

**Evaluatie van neerslagprognoses
van numerieke modellen
voor de Belgische Ardennen
in december 1993**

Erik van Meijgaard

Technisch rapport; TR-169

De Bilt, 1994

Postbus 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
Telefoon 030-206 911
Telefax 030-210 407

UDC: 551.509.324.2
551.577.37
167.7.001.573
551.579.1
(282.244.11)

ISSN: 0169-1708
ISBN: 90-369-2060-4

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	1
Inleiding	3
Waarnemingen	3
Modellen	6
— Het ECMWF-model	6
— Regionale modellen	7
— Het UKMO-model	10
Tijdsree neerslagprognoses	10
De neerslag op 20 december	12
— Modelfysica	12
— Modelanalyses	14
— Regionale-modelranden	15
— Ruimtelijke variabiliteit	16
Verificatie-mode	17
Conclusies	19
Nawoord	20
Appendix A: Gebiedsoverdekking modelroosters	21
Appendix B: Condensatie- en neerslagprocessen	25
Referenties	26

Evaluatie van neerslagprognoses van numerieke modellen voor de Belgische Ardennen in december 1993

Erik van Meijgaard (*KNMI*)

SAMENVATTING

December 1993 was een zeer neerslagrijke maand in grote delen van West- en Midden-Europa. Rond 20 december trad in de Belgische Ardennen en Noord-Frankrijk een korte periode op met zeer veel neerslag; in een strook langs de Belgisch-Franse grens viel gedurende twee opeenvolgende etmalen ruim 100 mm. Als gevolg van de overvloedige neerslag trad de Maas in de provincie Limburg op tal van plaatsen buiten haar oevers. Op 22 december bereikte de Maas te Borgharen de hoogste waterstand sinds 1926. De waterafvoer die hierbij werd gemeten was zelfs recordhoog.

Van een aantal numerieke weermodellen is de kwaliteit bepaald van de neerslagprognoses voor de Belgische Ardennen gedurende het tijdvak 6 december 1993 tot en met 7 januari 1994. De validatie is uitgevoerd op grond van etmaalwaarnemingen van 20 klimaatstations in de Belgische Ardennen. Onderzocht zijn de kortetermijnverwachtingen van het HIRLAM (High Resolution Limited Area Model), het UKMO-model (United Kingdom MetOffice) en het RACMO (Regional Atmospheric Climate Model), en prognoses afkomstig van de meer-daagse verwachtingen van het ECMWF-model (European Center for Medium Range Weather Forecast). Gemiddeld waren alle modelprognoses aan de lage kant. Dit varieerde van 10% voor de +36 tot +60 uren prognose (dag-2) van het ECMWF tot ruim 50% voor de +6 tot +30 uren prognose van het UKMO. Daarentegen correleerden de UKMO-prgnoses het best met de waarnemingen (0.85), terwijl de correlatie van de dag-3 en dag-4 prognoses van het ECMWF onder de 0.5 lag.

De natste dag van de periode, 20 december, werd door alle modelprognoses onderschat, behalve door de dag-2 prognose van het ECMWF. De +06 tot +30 prognose van het RACMO voor die dag werd hoger door de modelrun te initialiseren met een ECMWF-analyse. Uitgaande van de ECMWF-analyse van 12 UTC op 18 december 1993 werd een +60 uur rerun gemaakt met het HIRLAM en het RACMO. Dit resulteerde in een RACMO-prognose voor de neerslag in de Belgische Ardennen op 20 december die zeer goed vergeleek met de waarnemingen; de HIRLAM-prognose daarentegen werd slechter.

Met het RACMO is een run uitgevoerd in verificatie-mode voor de periode 1 december 1993 tot en met 7 januari 1994. In een dergelijke mode wordt het model één maal geïnitieerd met een ECMWF-analyse; verder worden ECMWF-analyses alleen gebruikt gedurende run-tijd om de modelranden voor te schrijven. De run produceerde gemiddeld 30% minder neerslag dan werd waargenomen, maar de correlatie (0.82) was beter dan van het RACMO in voorspellings-mode.

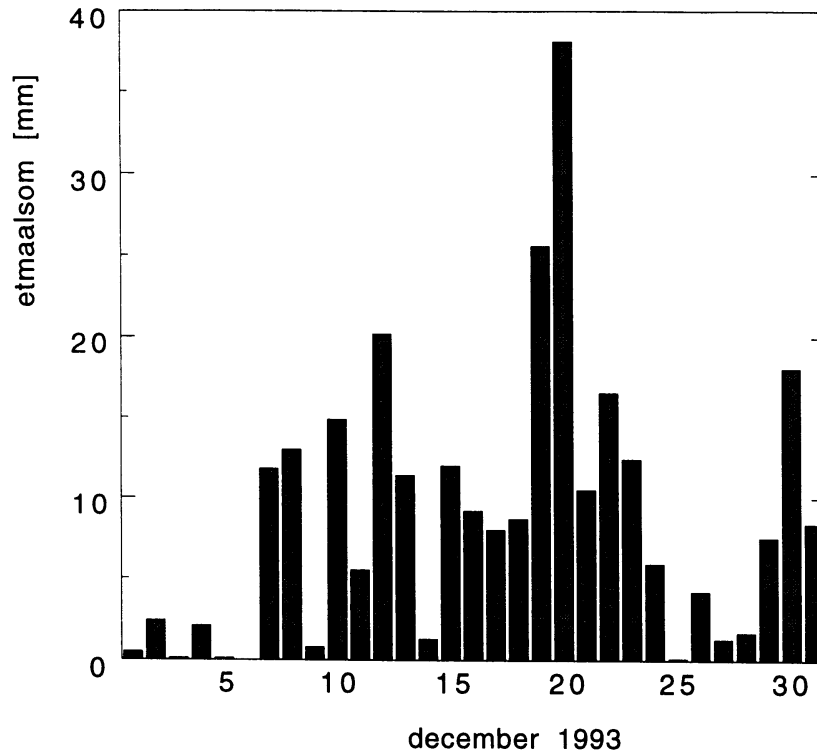
INLEIDING

In dit rapport wordt van diverse numerieke atmosfermodellen, waarvan de resultaten op het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) gebruikt worden voor het opstellen van de weersverwachting, onderzocht in hoeverre ze in de maand december 1993 in staat waren een nauwkeurige neerslagprognose te genereren voor de Belgische Ardennen. Neerslagprognoses voor dit deel van België worden door Rijkswaterstaat gebruikt als invoergegevens in het numerieke afvoermiddel van de Maas. De periode 6 december 1993 tot en met 7 januari 1994 is geselecteerd als tijdsvenster. De eerste hoogwaterwaarschuwing in dit tijdvak vond plaats op 20 december 1993 en werd twee dagen later gevolgd door overstromingen in de provincie Limburg. Een tweede en een derde hoogwaterwaarschuwing uitgevaardigd op grond van neerslagprognoses voor 31 december 1993 en 7 januari 1994 werden niet gevolgd door nieuwe hoogwaters [1].

Meteorologisch gezien werd december 1993 gekenmerkt door overvloedige neerslag, niet alleen in Nederland en België, maar ook in grote delen van Frankrijk en Duitsland. Tot halverwege de maand resulteerde dit in een flinke was van de grote rivieren. De enorme hoeveelheid neerslag die rond 20 december viel in de Belgische Ardennen en Noord-Frankrijk deed het peil van de Maas vervolgens snel stijgen. In de ochtenduren van woensdag 22 december 1993 werd bij Borgharen een maximale waterstand van NAP + 45.90 m waargenomen [1], slechts 20 cm *lager* dan de recordwaarde van 1 januari 1926. De waterafvoer bereikte een maximale waarde van 3120 m³/s, ruim 100 m³/s *meer* dan de recordwaarde van 1926. Tengevolge van het hoge water trad de Maas in de provincie Limburg op tal van plaatsen buiten haar oevers, waarbij grote materiële schade werd aangericht. Overstromingen van deze omvang kunnen alleen optreden als er zeer veel neerslag valt in het stroomgebied van de rivier. Het is daarom van belang te weten hoeveel er gevallen is in de periode voorafgaande aan het hoogwater.

WAARNEMINGEN

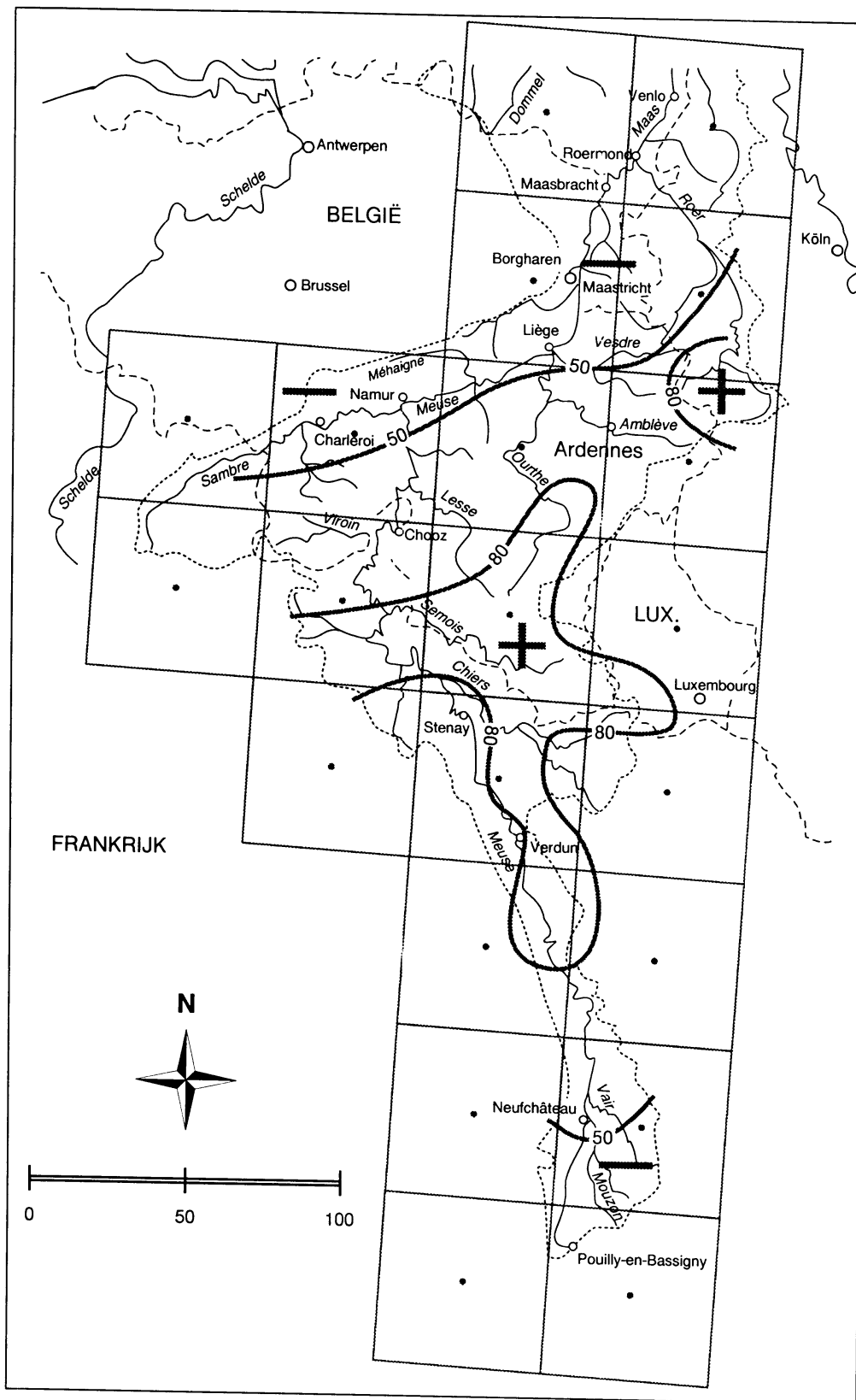
In figuur 1 staan de neerslaghoeveelheden weergegeven zoals die in de maand december 1993 dagelijks zijn waargenomen in het stroomgebied van de Maas in België en Frankrijk. Voor het gehele stroomgebied bedroeg het maantotaal 273 mm; uitgesplitst naar Belgische en Franse stations waren de maandsommen 279 mm resp. 264 mm. De gemiddelde neerslagcijfers van figuur 1 zijn gebaseerd op waarnemingen van 33 neerslagstations, waarbij alle stations even zwaar zijn gewogen. De lijst van 20 Belgische stations, bijna allemaal gelegen in de provincies Namen, Luik en Luxemburg, is te vinden in het Maandbericht [2]. De overige stations liggen stroomopwaarts langs de Maas in Frankrijk. De neerslaghoeveelheden in figuur 1 mogen niet zonder meer als representatief voor het volledige stroomgebied worden beschouwd, want daarvoor is de orografie in de oostelijke en zuidelijke Belgische Ardennen te grillig. Voorts treden bij de berekening van gebiedsgemiddelden op grond van neerslagmetingen met regenmeters toevallige fouten op, waarvan de grootte afhangt van het karakter van de neerslag (gelijkmatig of buig) en van het aantal regenmeters per gebiedsoppervlak [3]. Dat de regionale variabiliteit groot was, blijkt uit het feit dat het tegen de Franse grens gelegen Belgische station Dohan 436 mm opving terwijl het nauwelijks 30 km noordelijker gelegen Saint-Hubert slechts 239 mm aftapte. Voor de eenvoud echter worden in het vervolg van het verhaal de waarden van figuur 1 als gebiedsgemiddelden geïnterpreteerd.



Figuur 1: Gemiddelde waargenomen dagelijkse hoeveelheid neerslag in het stroomgebied van de Maas in december 1993. Periode van waarneming is van 8 uur 's ochtends plaatselijke tijd tot 8 uur de volgende dag.

Zoals al opgemerkt zorgde de aanhoudende neerslag voor een fors toenemende waterstand van de grote rivieren, maar dit is een situatie die ieder jaar wel eens optreedt. Om het peil van een snel reagerende regenrivier als de Maas tot recordhoogte op te stuwen is een twee- tot vierdaagse periode nodig van excessieve regenval. Uit figuur 1 blijkt dat een dergelijke periode aanbrak op 19 december. In een strakke westelijke stroming die samenhang met een diepe depressie voor de Noorse kust, trok een aantal actieve storingen vanaf de oceaan naar Midden-Europa en zorgde in een relatief smalle strook voor zeer veel regen. Sneeuw werd in de Ardennen in deze periode niet waargenomen. Figuur 2 toont het waargenomen neerslagpatroon in het stroomgebied van de rivier voor de tweedaagse periode 19 en 20 december. In een uitgestrekt gebied viel meer dan 50 mm met uitschieters tot ruim 100 mm.

In de Belgische Ardennen was maandag 20 december veruit de natste dag. Nabij de Belgisch-Franse grens werden etmaalsommen tot meer dan 60 mm waargenomen; het in het uiterste zuidoosten van België gelegen Arlon spande de kroon met 71 mm. In het Franse deel van het stroomgebied viel op 19 december gemiddeld al ruim 30 mm. Hierdoor was de volgende dag de waterafvoer nabij Chooz, waar de Maas België binnenstroomt, belangrijk toegenomen. De neerslag op 20 december, veroorzaakt door een storing die iets noordelijker passeerde dan de voorgaande, viel bij wijze van spreken bovenop de hoogwatergolf die uit Frankrijk kwam. Deze toevalligheid kan er voor gezorgd hebben dat het hoogwater in Limburg extremer was dan verwacht mocht worden op grond van de neerslagcijfers alleen.



Figuur 2: Het stroomgebied van de Maas in België en Frankrijk (aangegeven door stippellijn) met daarin getekend de waargenomen neerslagverdeling in de twee-daagse periode van 19 tot 20 december 1993. Het rechthoekig rooster is de overdekking van het stroomgebied door het HIRLAM en het RACMO.

ECMWF-neerslagverwachting						
Start model	Limburg					
	19-12	20-12	21-12	22-12	23-12	
16-12	6 (5/ 7)	4 (3/ 5)	9 (9/10)	0 (0/ 0)		
17-12	13 (12/14)	22 (20/25)	15 (11/19)	0 (0/ 1)	0 (0/ 1)	
18-12	5 (3/ 8)	24 (14/34)	5 (3/ 7)	5 (4/ 6)	1 (1/ 2)	
19-12		16 (10/22)	7 (7/ 8)	3 (3/ 4)	1 (0/ 2)	
20-12			7 (3/11)	6 (6/ 8)	0 (0/ 1)	
21-12				4 (4/ 6)	1 (0/ 2)	
Start model	Belgische Ardennen					
	19-12	20-12	21-12	22-12	23-12	
16-12	14 (10/22)	5 (4/ 8)	10 (7/13)	0 (0/ 1)		
17-12	21 (13/32)	18 (12/23)	16 (7/26)	0 (0/ 0)	0 (0/ 0)	
18-12	19 (9/33)	60 (43/74)	6 (3/ 9)	7 (4/10)	8 (3/13)	
19-12		43 (26/60)	9 (5/11)	8 (4/13)	8 (3/13)	
20-12			14 (9/18)	12 (7/17)	6 (1/10)	
21-12				10 (6/16)	6 (1/11)	
Start model	Noord-Frankrijk					
	19-12	20-12	21-12	22-12	23-12	
16-12	20 (17/28)	6 (5/11)	8 (5/13)	0 (0/ 1)		
17-12	25 (19/32)	16 (11/26)	12 (6/19)	0 (0/ 1)	1 (0/ 7)	
18-12	26 (20/33)	48 (10/74)	10 (6/22)	6 (3/10)	12 (9/21)	
19-12		57 (36/73)	9 (7/14)	10 (8/13)	10 (6/15)	
20-12			15 (13/18)	13 (10/17)	10 (5/21)	
21-12				13 (9/20)	8 (4/15)	

Tabel 1: Neerslagprognoses van het ECMWF-model voor Limburg, de Belgische Ardennen en Noord-Frankrijk in de periode 19-23 december 1993. Alle prognoses zijn etmaalverwachtingen (00 - 24 UT). Tussen haakjes staan de minimum- en de maximumwaarde vermeld voor de selectie van roosterpunten die het aangegeven gebied overdekken.

MODELLEN

Om tijdig te kunnen waarschuwen voor een abrupt toenemende waterstand werkt Rijkswaterstaat met een numeriek waterafvoermodel. Voor het maken van een adequate 24-uurs verwachting voor de waterstand in de Limburgse Maas is een accurate neerslagverwachting voor de Belgische Ardennen van groot belang. Kwantitatieve neerslagprognoses worden berekend door numerieke weermodellen, en het is interessant na te gaan hoe de operationele weermodellen in december 1993 en met name tijdens de cruciale periode 19-23 december in dit opzicht hebben gepresteerd.

Het ECMWF-model

Voor een prognose meerdere dagen vooruit is alleen de uitvoer van het ECMWF-model beschikbaar (European Center for Medium Range Weather Forecast). Sinds november 1993 wor-

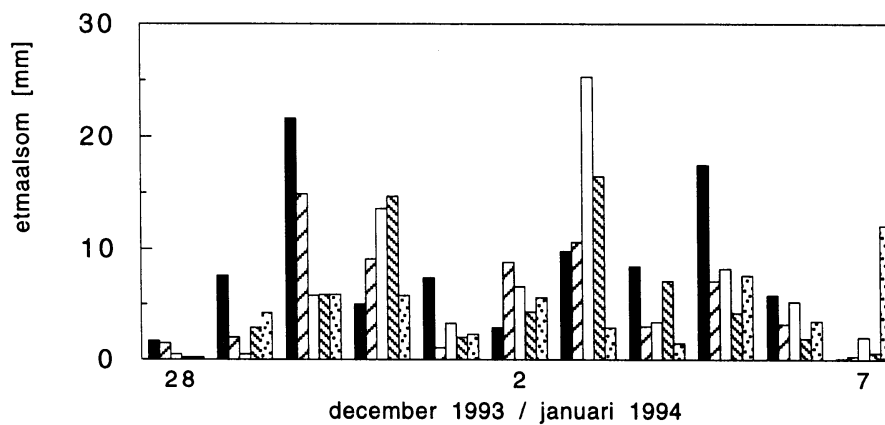
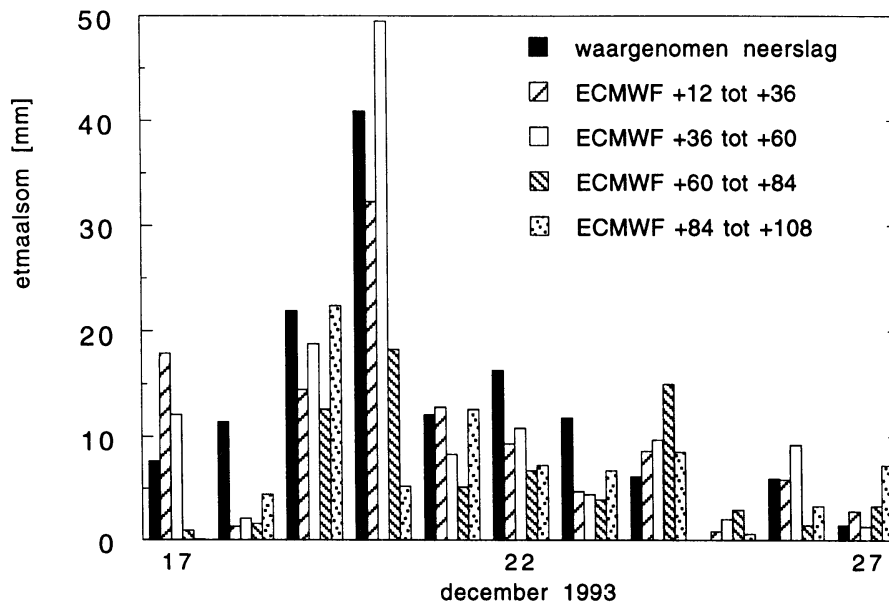
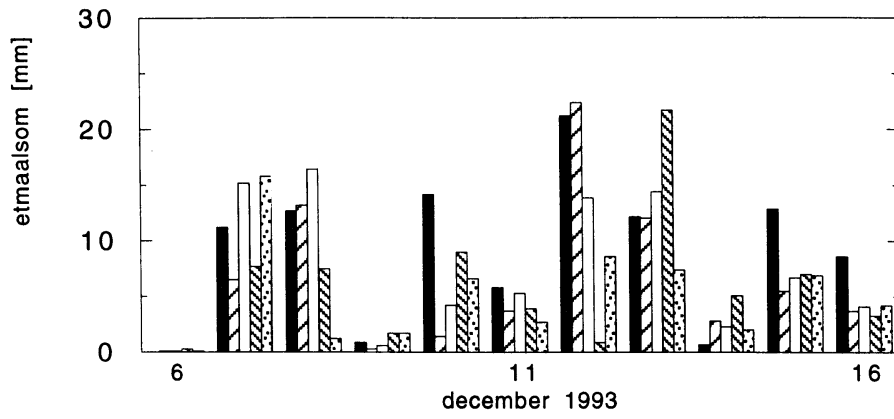
den op het KNMI aan de hand van ECMWF-uitvoer etmaalprognoses tot vijf dagen vooruit samengesteld voor de stroomgebieden van Rijn en Maas. Voor het opstellen van de bulletins is het stroomgebied van de Maas opgedeeld in Limburg, Belgische Ardennen en Noord-Frankrijk. Limburg wordt overdekt door vier roosterpunten in de T213 versie van het ECMWF-model; de Belgische Ardennen en Noord-Frankrijk ieder door zeven roosterpunten, waarvan er drie samenvallen (zie appendix A). De neerslagprognoses voor dit gebied voor de periode 19-23 december 1993 staan in tabel 1. De prognoses betreffen steeds een periode van 00 UT tot 24 UT, en worden berekend uit meerdaagse modelruns die iedere dag om 12 UT worden gestart. De prognose voor de eerste dag is dus het resultaat van een +12 tot +36-uurs verwachting, voor de tweede dag +36 tot +60, enzovoort.

Tabel 1 laat duidelijk zien dat door het ECMWF-model aanzienlijke neerslaghoeveelheden werden verwacht. Ook de verwachte spreiding binnen een gebied kan fors oplopen. Opvallend is dat juist de prognoses voor 20 december sterk uiteenliepen afhankelijk van de starttijd van de modelrun: de modelrun van vrijdag 17 december verwachtte 18 mm in de Belgische Ardennen geldig voor maandag 20 december. Een dag later werd voor hetzelfde etmaal 60 mm verwacht. Weer een dag later werd slechts 43 mm verwacht. In het algemeen echter is de dag-1 prognose van het ECMWF nog niet beschikbaar op het moment dat de meteoroloog de verwachting opstelt.

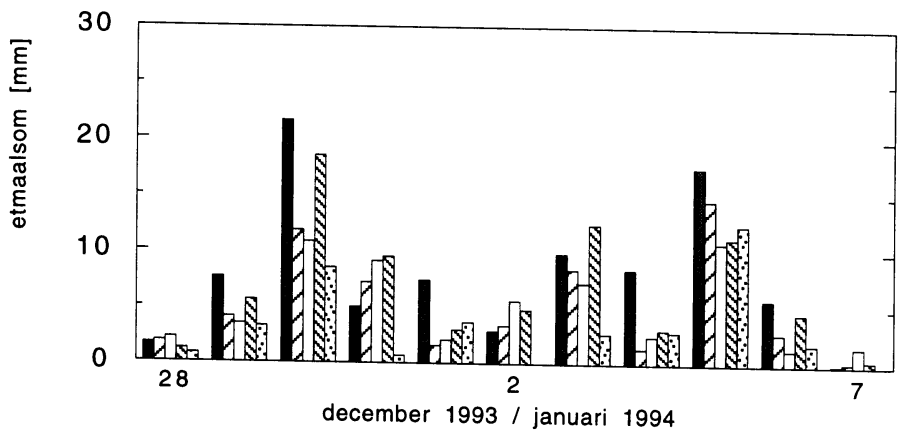
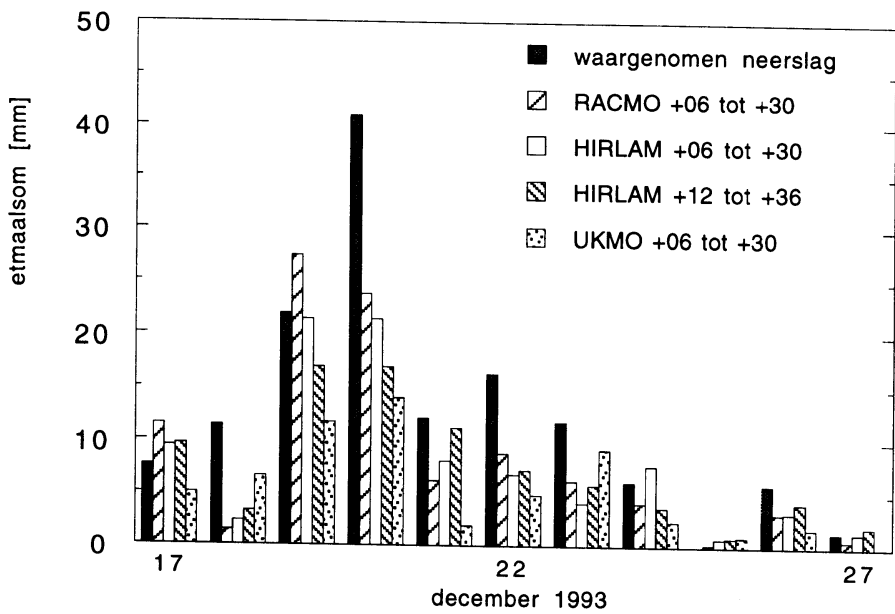
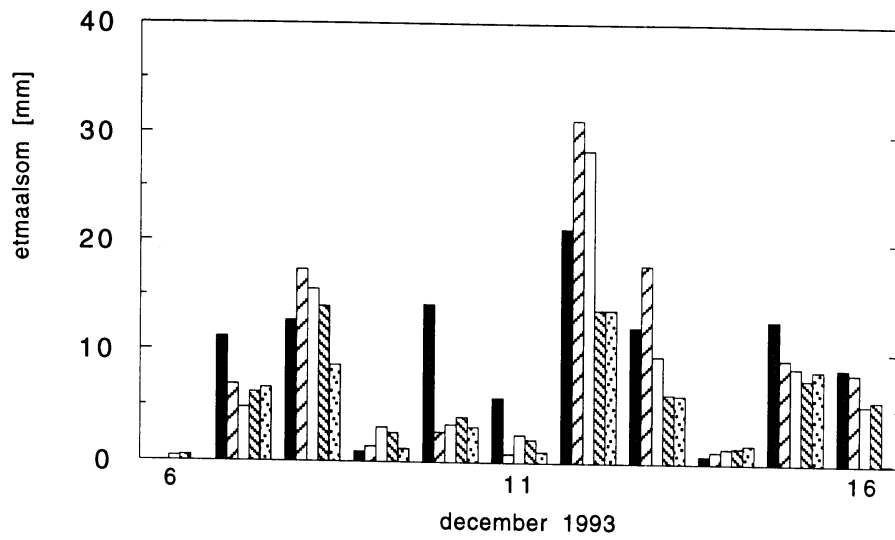
Regionale modellen

Voor een korte-termijn verwachting tot 36 uur vooruit kan de KNMI-meteoroloog gebruik maken van de uitvoer van het HIRLAM (High Resolution Limited Area Model), het operationele weersverwachtingsmodel van het KNMI [4,5]. Het gebied waarop het HIRLAM draait beslaat Europa en een groot deel van de noordelijke Atlantische Oceaan. De operationele versie van het model rekent op een rooster van 92 punten in de zonale richting en 81 punten in de meridiaonale richting. Aan de rand van het model worden de modelvariabelen voorgeschreven door de resultaten van de ECMWF-modelprognose. Eventuele prognosefouten aan de rand zullen in ongeveer een dag het resultaat in het midden van het HIRLAM-gebied beïnvloeden. In figuur 2 is te zien hoe het modelrooster het stroomgebied van de Maas overdekt.

In de afgelopen jaren is op het KNMI in samenwerking met het DMI (Deens Meteorologisch Instituut) een numeriek model ontwikkeld met alternatieve fysica [6]. De fysicamodules van het RACMO (Regional Atmospheric Climate Model), waarmee het effect van diverse atmosferische processen in rekening wordt gebracht, zijn overgenomen uit het klimaatmodel ECHAM3 van het Max-Planck Instituut te Hamburg [7]. Om condensatie- en neerslagprocessen beter te kunnen representeren rekent het RACMO met een aparte prognostische variabele voor vloeibaar water. Hoewel het model niet voor het maken van weersverwachtingen op korte termijn is ontworpen kan het in principe wel in een dergelijke mode draaien. Vanwege de meer gedetailleerde fysica vergt een modelrun ongeveer twee maal zo veel computertijd als het operationele weersmodel. Eenmaal per dag wordt met het RACMO, dat op precies hetzelfde horizontale rooster draait als het HIRLAM, een korte-termijn verwachting tot 36 uur vooruit gemaakt. Hierbij wordt het model geïntialiseerd met de HIRLAM-analyse van 00 UT.



Figuur 3: Verwachte en waargenomen neerslag voor de Belgische Ardennen in het tijdvak 6 december 1993 tot en met 7 januari 1994. Periode van waarneming is zoals in Figuur 1. De ECMWF-prognoses zijn geldig voor het etmaal 00 UT tot 24 UT.



Figuur 4: Verwachte en waargenomen neerslag voor de Belgische Ardennen in het tijdvak 6 december 1993 tot en met 7 januari 1994. Periode van waarneming is zoals in Figuur 1. De prognoses van het HIRLAM, het UKMO en het RACMO zijn geldig voor het etmaal 06 UT tot 06 UT de volgende dag.

Het UKMO-model

Behalve de hierboven genoemde modellen komen op het KNMI ook de resultaten binnen berekend met de *fine-mesh* versie van het UKMO-model (United Kingdom MetOffice) van het Britse MetOffice te Bracknell. Met deze modelgegevens, die met intervallen van 12 uur beschikbaar komen, kunnen neerslagprognoses tot 36 uur vooruit gemaakt worden. De UKMO-modeluitvoer die op het KNMI beschikbaar is, heeft een horizontale resolutie van $1.25^\circ \times 1.25^\circ$. Dit is aanzienlijk grover is dan de resolutie van het ECMWF-model en de regionale modellen. Om te zien of met het UKMO-model bruikbare neerslagprognoses gemaakt kunnen worden zijn de resultaten van dit model meegenomen in de hierna volgende tijdserie analyse.

TIJDSERIE NEERSLAGPROGNOSES

Voor de periode 6 december 1993 tot en met 7 januari 1994 zijn in figuur 3 de neerslaghoeveelheden weergegeven zoals die zijn waargenomen in de Belgische Ardennen. Alle waarnemingen gelden voor een etmaal dat begint om 8 uur 's ochtends plaatselijke tijd en eindigt 24 uur later de volgende dag. De gegevens zijn gebaseerd op dezelfde 20 stations als gebruikt voor het maken van figuur 1. In de 33-daagse periode valt op 14 dagen meer dan 10 mm, op vier dagen meer dan 20 mm, en op één dag meer dan 30 mm.

In figuur 3 zijn eveneens de meer-daagse prognoses van het ECMWF-model weergegeven voor de Belgische Ardennen. Alle prognoses hebben betrekking op het etmaal 00-24 UT. De modelverwachtingen zijn het resultaat van een gewogen gemiddelde, waarbij de bijdrage van iedere roostercel evenredig is met het oppervlak waarmee de cel het Belgische deel van het stroomgebied overdekt. (Zie appendix A; dit is in tegenstelling met de prognoses in tabel 1.) In het algemeen is het de dag-2 prognose van het ECMWF waarop de meteoroloog de neerslagverwachting voor de Belgische Ardennen baseert. In vergelijking met de waarnemingen komt het nauwelijks voor dat deze prognose erg slecht is terwijl de dag-3 en de dag-4 prognoses voor hetzelfde etmaal goed uitkomen; een uitzondering is de verwachting voor 3 januari. Meestal wordt de verwachting beter naarmate de prognose recenter is, ofschoon de prognoses voor 10 en 17 december dit weerspreken. Voor sommige dagen zoals 18 december en 5 januari waren alle meer-daagse prognoses slecht. Waarom dit zo was is niet nader onderzocht. De verwachting voor 31 december gebaseerd op de dag-2 prognose viel aanzienlijk te hoog uit. Op grond van deze verwachting vaardigde Rijkswaterstaat een hoogwaterwaarschuwing uit die niet uitkwam. Voor 3 januari geldt in feite hetzelfde alleen volgde er toen op de hoge neerslagprognose geen waarschuwing. Vooral de prognoses voor 20 december van figuur 3 alsmede tabel 1 illustreren fraai de onzekerheid waarmee de meteoroloog geconfronteerd wordt als zij of hij aan de hand van modelprognoses een neerslagverwachting wil opstellen.

Voor dezelfde periode zijn de +06 tot +30 prognoses van het HIRLAM, het RACMO en het UKMO-model weergegeven in figuur 4 tezamen met de waarnemingen voor de Belgische Ardennen. Tevens is de +12 tot +36 prognose van het HIRLAM opgenomen. In tegenstelling tot in figuur 3 hebben alle modelprognoses betrekking op het etmaal 06 UT tot 06 UT de volgende dag. Dit is gedaan om zoveel mogelijk aan te sluiten bij de waarnemingstijd. Duidelijk is dat de modelverwachtingen in figuur 4 op 20 december tekortschoten. Voor 31 december wordt, behalve door het UKMO-model, de neerslag overschat, maar in mindere mate dan door het

ECMWF-model. De prognose voor 5 januari van de regionale modellen is een stuk beter dan die van het ECMWF. In het algemeen verwachtten de regionale modellen in deze periode minder neerslag dan het ECMWF-model; het UKMO-model verwachtte bijna iedere dag minder dan er wordt waargenomen. De beide HIRLAM-verwachtingen, waarvan de initialisaties slechts 6 uur uiteenlopen, kunnen onderling flink afwijken; dit was vooral op 12 december het geval.

	tot	gem	std	mea	rms	corr	a ₀	a ₁	
Waarnemingen	324	9.8	8.3						
ECMWF +12 tot +36	244	7.4	7.1	4.3	5.6	0.80	0.8	0.68	
ECMWF +36 tot +60	286	8.7	9.4	5.0	6.4	0.76	0.3	0.86	
ECMWF +60 tot +84	200	6.1	5.5	6.6	8.4	0.46	3.0	0.31	
ECMWF +84 tot +108	187	5.7	4.7	6.1	8.9	0.36	3.6	0.21	
RACMO +06 tot +30	248	7.5	8.0	4.4	5.8	0.78	0.2	0.75	
HIRLAM +06 tot +30	227	6.9	6.5	4.5	6.0	0.77	1.0	0.60	
HIRLAM +12 tot +36	221	6.7	5.0	4.2	6.0	0.81	1.9	0.49	
UKMO +06 tot +30	146	4.4	4.2	5.5	7.5	0.85	0.2	0.43	
RACMO verificatie-run	231	7.0	7.6	4.3	5.6	0.82	-0.4	0.75	
HIRLAM verificatie-run	167	5.1	4.5	5.9	7.8	0.67	1.5	0.36	
tot :	totale hoeveelheid neerslag [mm]								
gem :	gemiddelde hoeveelheid neerslag [mm/dag]								
std :	standaard deviatie [mm/dag]								
mea :	gemiddelde absolute afwijking [mm/dag]								
rms :	root-mean-square afwijking [mm/dag]								
corr :	correlatie met waarnemingen								
a ₀ :	asafsnijding regressie [mm]								
a ₁ :	richtingscoëfficiënt regressie								

Tabel 2: Validatie numerieke neerslagprognoses voor de Belgische Ardennen in de periode 6 december 1993 tot en met 7 januari 1994.

De modelprestaties uitgedrukt in cijfers zijn in tabel 2 samengevat. Het betreft hetzelfde gebied en dezelfde periode als in de figuren 3 en 4. Opgenomen zijn de totale neerslagsom voor de 33-daagse periode, het gemiddelde per dag alsmede de standaard deviatie. Van de modelprognoses is verder berekend de gemiddelde absolute fout,

$$mea = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n=33} |r_o(i) - r_m(i)|,$$

de root-mean-square fout

$$rms = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n=33} (r_o(i) - r_m(i))^2},$$

en de correlatie van de prognoses met de waargenomen reeks

$$corr = \frac{\sum_{i=1}^{n=33} (r_o(i) - \bar{r}_o)(r_m(i) - \bar{r}_m)}{\sqrt{\bar{r}_o^2} \sqrt{\bar{r}_m^2}}$$

Hierin staan $r_o(i)$ en $r_m(i)$ respectievelijk voor de waargenomen en de gemodelleerde neerslagreëks; \bar{r}_o en \bar{r}_m zijn de gemiddelde waarden van beide reëksen, terwijl \bar{r}_o^2 en \bar{r}_m^2 de varianties voorstellen. In tabel 2 staan tevens de coëfficiënten a_0 en a_1 die de regressie beschrijven tussen waarnemingen en modelprognoses: $r_m = a_0 + a_1 \cdot r_o$.

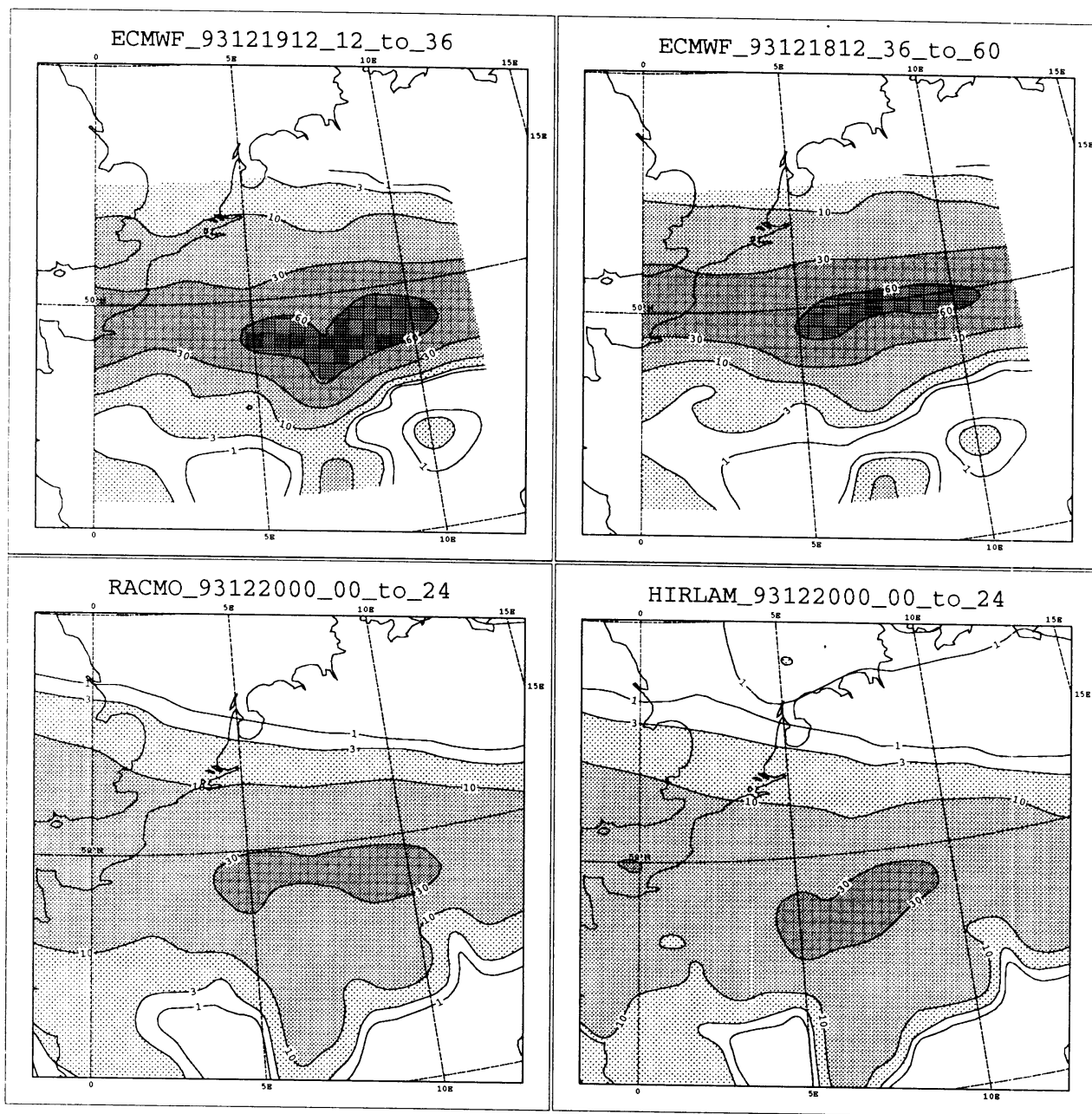
DE NEERSLAG OP 20 DECEMBER

De 20ste december was veruit de natste dag. Vooral voor dagen met dergelijke hoge neerslaghoeveelheden is het afleveren van een betrouwbare neerslagprognose bijzonder waardevol. Om inzicht te krijgen in de oorzaak van de tekortschietende neerslagprognoses van de regionale modellen zijn de modelberekeningen voor 20 december nader onderzocht.

Figuur 5 toont de ruimtelijke verdeling voor een deel van Midden-Europa van de +00 tot +24 neerslagprognoses van het HIRLAM en RACMO, geldig voor het etmaal (00-24 UT) 20 december 1993. De niet getoonde +12 tot +36 prognose van het HIRLAM wijkt hier nauwelijks van af. In dezelfde figuur staan de dag-1 en de dag-2 verwachting van het ECMWF, geldig voor dezelfde periode. Terwijl de korte-termijn verwachting van de regionale modellen de 30 mm grens nauwelijks overschrijdt, laat het ECMWF-model in een flink gebied ruim 60 mm vallen. Alle modellen overigens beperken de maximale neerslagintensiteit tot een smalle oost-west georiënteerde zone, wat zoals figuur 2 laat zien ook inderdaad het geval was. Opmerkelijk is dat de meest recente ECMWF-prognose niet minder neerslag berekent zoals tabel 1 suggereert, maar juist meer. Het neerslagmaximum is echter wat in zuidelijke richting opgeschoven. Overigens is dit maximum een forse overschatting van wat er werd waargenomen, de grootste hoeveelheden die dag werden meer oostwaarts in Midden-Duitsland geregistreerd.

Modelfysica

Het uiteenlopen van de modelprognoses kan aan tal van factoren worden toegeschreven, maar het is op voorhand niet duidelijk wat de werkelijke oorzaken zijn van de achterblijvende prestaties van de regionale modellen. Dit zou bijvoorbeeld de wijze kunnen zijn waarop de diverse modellen condensatie- en neerslagprocessen representeren. Appendix B bevat een korte beschrijving van deze processen. De precieze behandeling van de fysische processen verschilt sterk van model tot model en de veronderstelling dat hierin de verklaring schuilgaat voor de uiteenlopende modelprognoses lijkt heel plausibel. In de startfase van een modelrun heeft het gebruik van een andere parametrisatie slechts effect op de hoogte van de neerslag en nauwelijks op de plek waar de neerslag valt. Maar naarmate de modelrun vordert kan de fysica terugkoppelen op de dynamica, waardoor ook de positie van de neerslaggebieden in het model wordt beïnvloed. Helaas is het praktisch ondoenlijk om condensatie- en neerslagschema's tussen de modellen uit te wisselen, en is het in deze studie eigenlijk alleen mogelijk het effect van de fysica aan te tonen door andere effecten uit te sluiten.

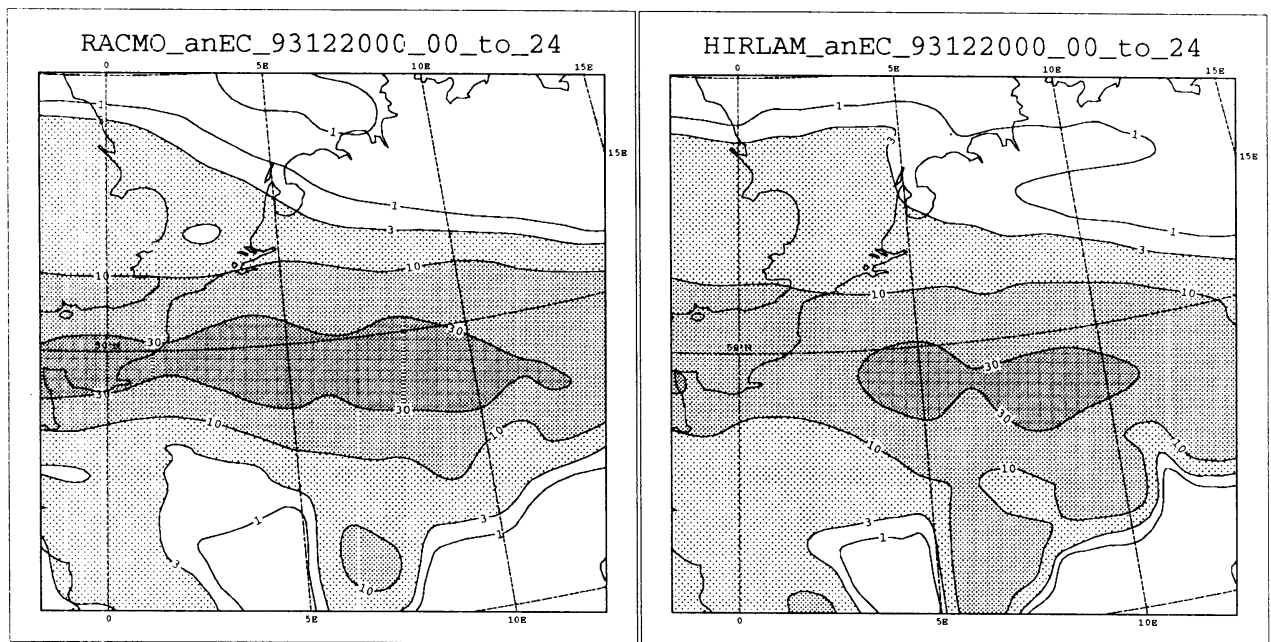


Figuur 5: Verwachte neerslagverdeling van het ECMWF-model, het HIRLAM en het RACMO voor maandag 20 december 1993 (00 - 24 UT). De coördinaat 5°N en 5°E ligt in het zuiden van de Belgische Ardennen.

Modelanalyses

Een belangrijke component van operationele systemen van numerieke weermodellen is de analyse. Om een modelrun te starten moet eerst een begintoestand van het model voorgeschreven worden. In het algemeen dient de +6-uurs toestand van de modelrun die 6 uur tevoren is gestart als uitgangspunt: dit is de *first guess*. Een analyse wordt gemaakt door de first guess te corrigeren met alle bruikbare en op dat moment beschikbare observaties; op deze wijze wordt vanuit een modeltoestand een nieuwe toestand gecreëerd die nauwer aansluit bij de werkelijke toestand van de atmosfeer. Het is duidelijk dat door de gevolgde procedure de begintoestand van het model sterk van de voorgeschiedenis van het model afhangt. Systematische afwijkingen in de modevolutie zullen terug te vinden zijn in de nieuwe begintoestand omdat de gehanteerde analysetechnieken hier nooit volledig voor zullen corrigeren. Om te zien wat het effect is van het gebruik van een andere analyse zijn de runs met de regionale modellen voor 20 december opnieuw uitgevoerd, waarbij de HIRLAM-analyse van 00 UT is vervangen door de ECMWF-analyse van hetzelfde tijdstip. Verder zijn de runs op precies dezelfde wijze uitgevoerd als de operationele runs: ECMWF-prognostische velden gegenereerd door de ECMWF-run van 19 december 00 UT zijn gebruikt om de randen voor te schrijven.

Resultaten van deze reruns met de regionale modellen staan in figuur 6. Vergelijking met de



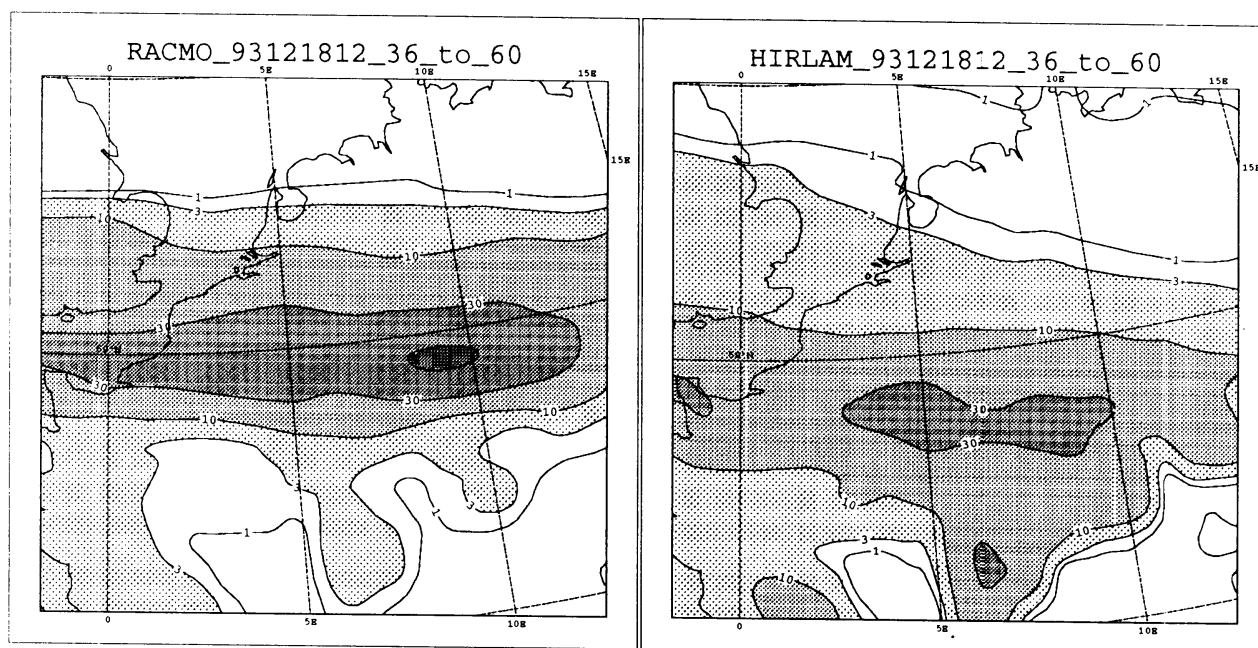
Figuur 6: Verwachte neerslagverdeling van het HIRLAM en het RACMO voor maandag 20 december gebaseerd op een analyse van het ECMWF van 00 UT op 20 december 1993.

neerslagpatronen van de regionale modellen uit figuur 5 toont een interessant beeld. Terwijl het HIRLAM-resultaat ongevoelig blijkt voor het gebruik van een andere analyse, genereert het RACMO duidelijk meer neerslag in een kleiner gebied dan de oorspronkelijke run.

Regionale-modelranden

Een wezenlijk verschil tussen het ECMWF-model enerzijds en het HIRLAM en RACMO anderzijds is de aanwezigheid van randen in de regionale modellen. Om met een regionaal model een realistische run te kunnen maken moeten de prognostische modelvariabelen aan de modelrand worden voorgeschreven. Dit gebeurt door in een zo smal mogelijke, maar voldoende brede randzone (in het HIRLAM is de breedte van de randzone acht roosterpunten) de modelvariabelen te "mengen" met velden van een grootschaliger model, bijvoorbeeld het ECMWF-model. Dit proces heet *nesten*. Afhankelijk van de afstand tot de uiterste rand krijgen de ECMWF-velden een groter gewicht: de gewichtswaarde van het ECMWF-veld is 1.0 op de buitenste roosterpunten en loopt naar binnen toe snel terug naar 0.0. Om het effect van ongelijke initialisatie te elimineren is met beide regionale modellen een drie-daagse run gemaakt op basis van de door het ECMWF-model gebruikte analyse van 12 UT van 18 december 1993. Om de vergelijking met het ECMWF-resultaat zo zuiver mogelijk te maken zijn vervolgens de velden van de eveneens op dat tijdstip gestarte ECMWF-modelrun gebruikt voor het invullen van de randen van het regionale modeldomein.

In figuur 7 zijn de +36 tot +60 patronen van de neerslagverwachting weergegeven van beide regionale modellen. In figuur 5 staat de equivalente ECMWF-prognose. Het resultaat is frap-



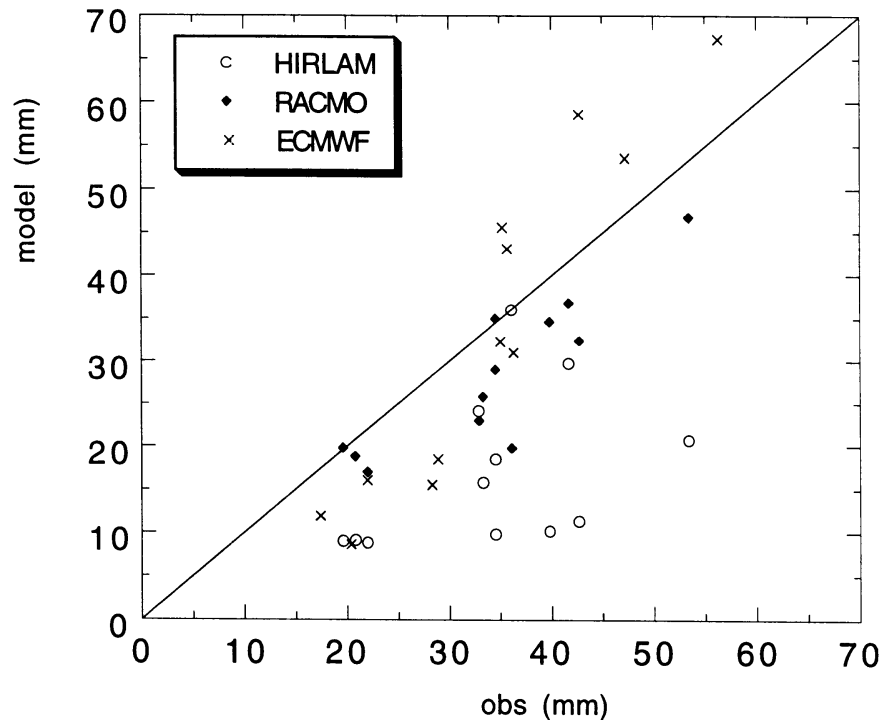
Figuur 7: Verwachte neerslagverdeling van het HIRLAM en het RACMO voor maandag 20 december gebaseerd op een analyse van het ECMWF van 12 UT op 18 december 1993. De contour rond het maximum in de RACMO-prognose is 60 mm. In figuur 5 staat de equivalente ECMWF-prognose.

pant. Het RACMO laat een zeer uitgesproken smalle neerslagzone zien met een duidelijk hoger maximum dan in de korte-termijn verwachting, het HIRLAM daarentegen verliest aan neerslag terwijl het neerslaggebied zuidwaarts verschuift. Omdat de fysica parametrisatie het enige is waarin beide modellen zich in deze run onderscheiden, moeten de verschillen wel hieraan worden

toegeschreven. Blijkbaar is het fysicapakket in het HIRLAM niet toereikend om op langere termijn de toestand van de atmosfeer te beschrijven. Het RACMO met een meer geavanceerd fysicapakket uit een klimaatmodel is daar klaarblijkelijk wel toe in staat.

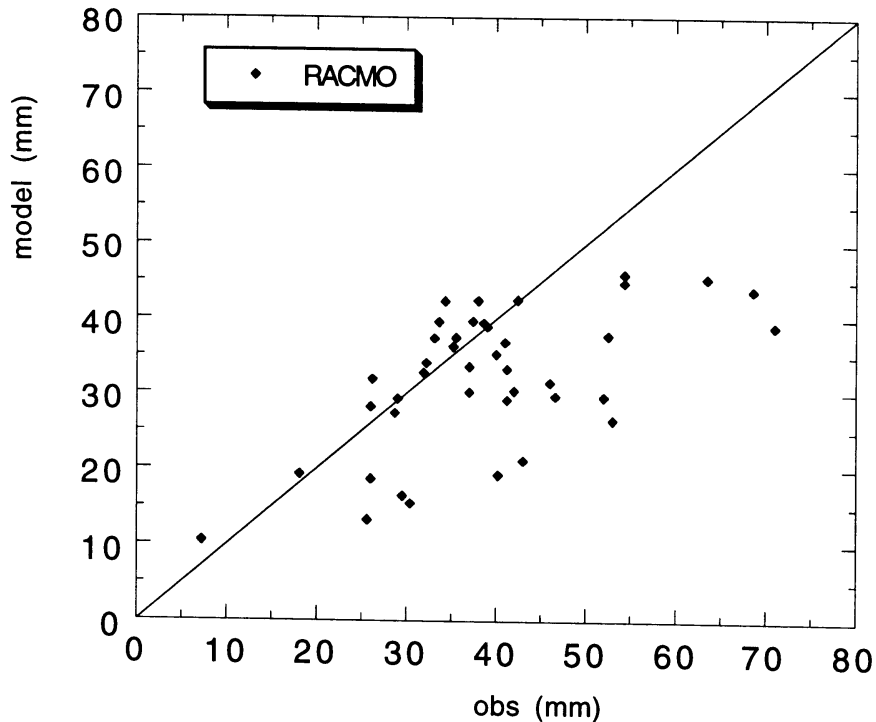
Ruimtelijke variabiliteit

In figuur 8 zijn in een scatterplot de neerslagprognoses van een aantal roosterpunten voor 19 en 20 december vergeleken met de per roostercel gemiddelde waarnemingen. Alleen die roos-



Figuur 8: Modelprognoses versus per roostercel gemiddelde waarnemingen voor 19 en 20 december 1993. De modelruns zijn gebaseerd op de ECMWF-analyse van 12 UT op 18 december 1993.

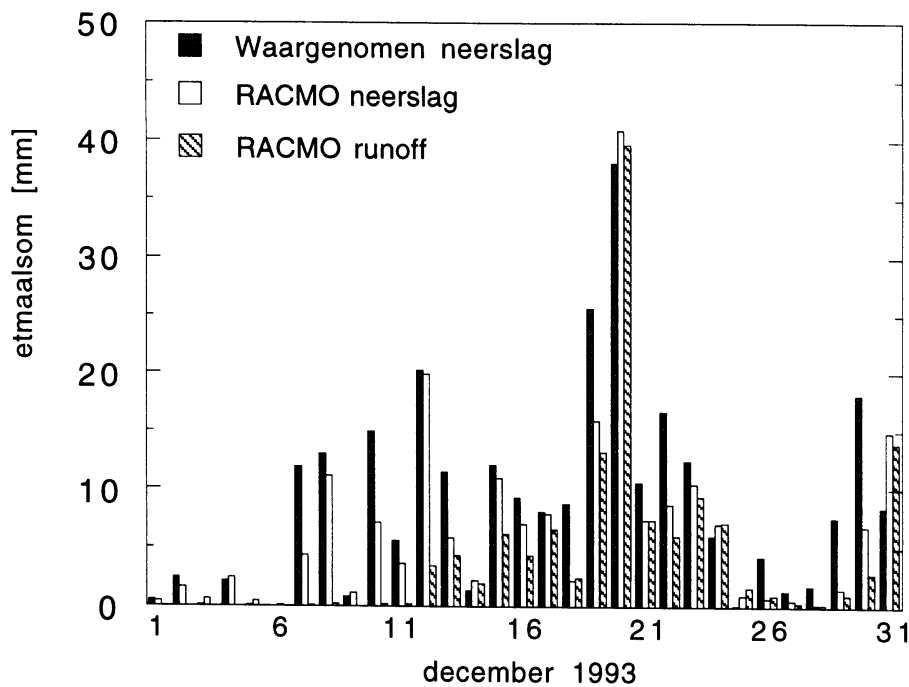
tercellen zijn geselecteerd waarin zich minstens vier neerslagstations bevinden. Door deze wijze van verifiëren wordt de variabiliteit van de waargenomen neerslag op een schaal kleiner dan de modelresolutie vereffend alvorens te vergelijken met de modelprognose. Om niettemin de ruimtelijke variabiliteit van de neerslag tot uitdrukking te brengen zijn in figuur 9 de waarnemingen van alle stations op 20 december uitgezet tegen de modelprognose. De modelprognose ter plaatse van een station is verkregen door interpolatie vanuit de vier meest nabij gelegen roosterpunten. Duidelijk is dat de waargenomen variabiliteit op deze schaal aanzienlijk groter is dan de modelvariabiliteit, dit terwijl het een wintersituatie betreft met frontale neerslag over een gebied ter grootte van de helft van Nederland. In een buiensituatie zal de puntenwolk nog aanzienlijk langwerpiger en breder zijn.



Figuur 9: De +42 tot +66 modelprognose van het RACMO versus alle neerslagwaarnemingen in het stroomgebied van de Maas. (33 neerslagstations aangevuld met 8 synoptische stations) De laagste waarneming is van Bierset dat iets ten noorden van het stroomgebied ligt. De hoogste waarneming is afkomstig van Arlon.

VERIFICATIE-MODE

Voor roosterpunten boven land wordt in het RACMO het vochtbudget aan het oppervlak bepaald door neerslag en verdamping. Daarnaast kan runoff een belangrijke rol spelen. Opslag van water aan het oppervlak vindt plaats in de bodem, in de vegetatie, of in de vorm van een sneeuwdek. Zodra bodem en vegetatie verzadigd zijn, er geen sprake is van een sneeuwdek, en neerslag niet wordt gecompenseerd door verdamping wordt het teveel aan water afgevoerd als runoff. In het model wordt het afgevoerde water in feite aan de hydrologische cyclus onttrokken. In het RACMO bestaat runoff uit twee bijdragen: directe runoff en runoff via drainage na infiltratie in de bodem [8]. In steil terrein is directe runoff het dominante afvoerproces, een groot deel van de neerslag verdwijnt al als directe runoff nog voor de bodem verzadigd is aan water. In vlak terrein daarentegen overheerst het andere runoff-proces, dat pas effectief wordt als de bodem bijna verzadigd is. In de RACMO-fysica wordt voor de vochthuishouding in de bodem één laag gehanteerd met een dikte waarvan het waterequivalent 20 cm is. Met het RACMO is een verificatie-run gedaan ter lengte van een maand. Met de ECMWF-analyse van 00 UT van 1 december 1993 is het model geïnitieerd, waarna iedere zes uur de rand van het RACMO werd aangepast door de met dat tijdstip overeenkomende ECMWF-analyse, de zogenaamde *perfecte rand*. Het inwendige modeldomein werd gedurende de run dus *niet* aangepast. In figuur 10 zijn de dagelijkse neerslag en runoff van deze modelrun weergegeven voor het stroomgebied van de Maas. Hoewel op een aantal dagen het model de waargenomen neerslaghoeveelheid nogal onderschat, wordt de natste dag verrassend goed gereproduceerd. Verder is de relatief droge periode rond de kerstdagen duidelijk terug te vinden in de gesimuleerde reeks. Het is interessant om te zien hoe in de eerste periode met veel neerslag de bodem verzadigd raakt, waarna in de rest



Figuur 10: Neerslag en runoff berekend met een verificatie-run van het RACMO in het stroomgebied van de Maas. De informatie van figuur 1 is eveneens geplot.

van de maand de runoff nauwelijks achterblijft bij de neerslag. Van verdamping was bijna geen sprake, terwijl de beginwaarde van het oppervlaktevocht in de roosterpunten van de Ardennen ongeveer 80% van de verzadigingswaarde was. Hoeveel water er met de runoff gemoeid is kan als volgt worden afgeleid: 40 mm runoff gedurende 24 uur in het volledige stroomgebied van de Maas in België en Frankrijk (ca 20000 km², waarvan 12000 km² op Belgisch grondgebied) komt overeen met een bijdrage aan de waterafvoer in het gebied van 9200 m³/s. Uiteraard stroomt niet al dit water de volgende dag door Maastricht naar het noorden, anders zou de waargenomen maximale afvoer verre overtroffen worden. Hoe de waterafvoer van de rivier zich op een stroomafwaarts gelegen punt reguleert wordt berekend met een numeriek model; de door het RACMO berekende runoff kan rechtstreeks gebruikt worden als invoerparameter voor een dergelijk afvoermodel.

De karakteristieken van de verificatie-run met het RACMO zijn in tabel 2 opgenomen. Er wordt gemiddeld ca 30% te weinig neerslag berekend, maar het resultaat is nauwelijks droger dan de prognose-serie van het RACMO gebruikt als model voor de weersverwachting. De correlatie met de waargenomen reeks is echter beter dan die van de RACMO in voorspellings-mode. Met het HIRLAM is eveneens een verificatie-run gemaakt, hoewel het HIRLAM niet voor dit type lange runs ontwikkeld is. De resultaten staan in tabel 2: de gemiddeld neerslag is verder gezakt met ca 25% ten opzichte van de operationele HIRLAM-runs. Ook de correlatie is achteruitgegaan.

CONCLUSIES

Van diverse numerieke atmosfeermodellen is onderzocht in hoeverre ze in staat waren accurate neerslagprognoses te berekenen in de periode 6 december 1993 tot en met 7 januari 1994. De prognoses voor 20 december, de natste dag in de periode, zijn in detail geëvalueerd. De validatie is uitgevoerd voor de Belgische Ardennen omdat neerslagprognoses voor dit gebied gebruikt worden als invoerparameters in het afvoermodel van de Maas. De waargenomen neerslaghoeveelheden zijn afgeleid uit gegevens van 20 Belgische klimaatstations.

- Alle modelprognoses onderschatten het waargenomen neerslagtotaal. Wanneer modelprognoses ongewijzigd als neerslagverwachtingen zouden worden gepresenteerd, zou de dag-2 (+36 tot +60 uur) modelprognose van het ECMWF het meest bruikbaar zijn geweest. Deze prognose benadert het waargenomen neerslagtotaal het dichtst; op afzonderlijke dagen echter vertoont ook deze modelprognose aanzienlijke fouten. Het UKMO-model en de dag-3 (+60 tot +84 uur) en de dag-4 (+84 tot +108 uur) prognoses van het ECMWF zijn nauwelijks bruikbaar, omdat ze veel te weinig neerslag verwachten. Dit geldt in mindere mate ook voor de regionale modellen en de dag-1 (+12 tot +36 uur) ECMWF-prognose.
- Als van de modellen de systematische relatieve afwijking *a priori* bekend zou zijn, zodat hiervoor bij het opstellen van de neerslagverwachting gecorrigeerd kan worden, zou het UKMO-model het meest bruikbare model zijn omdat het de hoogste correlatie heeft met de waarnemingen. Overigens blijven de regionale modellen en de dag-1 en de dag-2 prognoses van het ECMWF hier maar weinig bij achter. Op grond van dit criterium echter zijn de dag-3 en de dag-4 prognoses van het ECMWF nauwelijks bruikbaar.
- Veruit de natste dag in de periode was 20 december. Op die dag viel ca 40 mm in een etmaal gemiddeld over de Belgische Ardennen, een gebied met een oppervlakte van bijna een derde van Nederland. De dag-1 en dag-2 prognoses van het ECMWF voor dit etmaal waren bijzonder goed. De regionale modellen schoten duidelijk te kort; ze onderschatten de waargenomen hoeveelheid neerslag met ca 50 %.
- Op 31 december viel minder neerslag dan verwacht. Alle modellen, behalve het UKMO-model, overschatten die dag de neerslag, ofschoon de afwijkingen niet heel groot waren. Op 5 januari viel veel minder neerslag dan de ECMWF-prognoses aankondigden. De regionale modellen en het UKMO-model deden het die dag veel beter.
- Modelruns met het RACMO produceren aanzienlijk betere neerslagprognoses voor de 20ste december als het model geïnitieerd wordt met een ECMWF-analyse. Dit geldt niet voor het HIRLAM. Dit duidt erop dat de modelfysica van het HIRLAM niet goed genoeg is om een groot-schalig neerslagverschijnsel zoals zich dat op 20 december voordeed adequaat te beschrijven. Deze tekortkoming tast ook de kwaliteit van de HIRLAM-analyses aan, omdat deze deels zijn gebaseerd op +06-uurs verwachtingen van de voorgaande HIRLAM-run.
- Met het RACMO is de periode december 1993 een verificatie-run uitgevoerd. Ofschoon het model de totale neerslagsom met ca 30 % onderschatte, resulteerde de modelrun in een goede reproductie van de karakteristieken van de waargenomen neerslagreeks. De door het model berekende runoff kan rechtstreeks gebruikt worden als invoerparameter in een numeriek model voor de waterafvoer van een rivier.

NAWOORD

De figuren 1 en 2 zijn gemaakt met medewerking van Aryan van Engelen en Rudmer Jilderda van de Klimatologische Dienst.

De figuren 2 en 12 zijn verzorgd door de Studio van het KNMI.

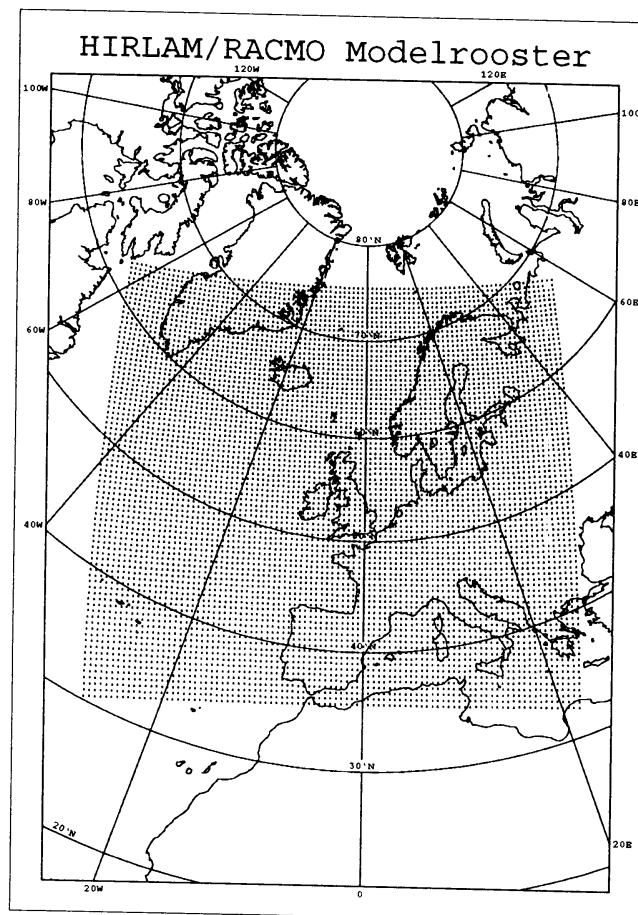
De ECMWF-bulletins met neerslagprognoses voor het stroomgebied van de Maas zijn ontworpen door Seijo Kruizinga. Modeluitvoer van HIRLAM en UKMO werd onttrokken uit het APL-archief dat werd ingericht door Ben Wichers Schreur. Figuur 11 is gemaakt door Toon Moene. Alledrie zijn werkzaam in de afdeling Waarnemingen en Modellen.

Diverse waardevolle suggesties van Herman Wessels zijn in het rapport verwerkt.

APPENDIX A: GEBIEDSOVERDEKKING MODELROOSTER

Om de neerslag van de diverse modelruns voor de Belgische Ardennen te berekenen is een gewogen middeling over de relevante roostercellen uitgevoerd. Dit is gedaan om tot een zo zuiver mogelijke vergelijking met de waarnemingen te komen. Ook is gewogen middeling nodig om de resultaten van numerieke modellen met ongelijke horizontale roosterconfiguraties onderling te kunnen vergelijken. Vooral orografie heeft veel invloed op de hoeveelheid neerslag; dit is niet alleen in werkelijkheid het geval maar ook in modelbeschrijvingen. Ongewogen middeling van neerslag over roostercellen die dikwijls maar gedeeltelijk bijdragen aan de overdekking van een vaak grillig gebied zoals het stroomgebied van de Maas leidt tot onnauwkeurige modeluitspraken.

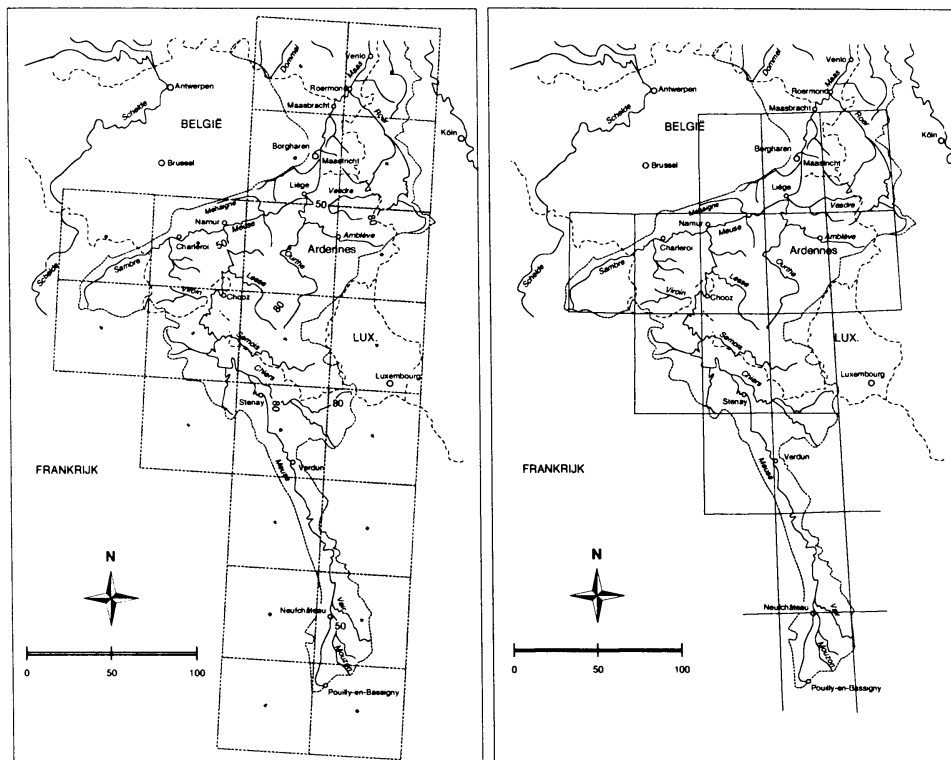
Er zijn twee gebieden onderscheiden: het Franse deel van het stroomgebied van de Maas (inclusief de bovenloop van de Sambre) en het Belgische deel van het stroomgebied van de Maas met de restrictie dat het afvloeiende water stroomopwaarts van Maastricht in de rivier terecht komt. Van ieder van de drie modellen, HIRLAM (of RACMO), ECMWF-model, en UKMO, zijn de gewichtsfactoren handmatig bepaald. Voor de volledigheid van het rapport zullen van het HIRLAM en het ECMWF-model de gebruikte gewichtsfactoren in een tabel vermeld worden. Het zal duidelijk zijn dat zodra de modelresolutie veranderd wordt of, in het geval van het HIRLAM, het model verschoven wordt, de afgeleide gewichtsfactoren niet langer gebruikt kunnen worden.



Figuur 11: Horizontaal modelrooster van het HIRLAM, zoals dat op het KNMI in operationeel gebruik is. Tevens modelrooster van het RACMO.

HIRLAM/RACMO:

Het operationele versie van het HIRLAM op het KNMI rekt met een verschoven en/of gedraaid rechthoekig lat-lon rooster van 92 punten in de zonale richting en 81 punten in de meridionale richting. Hetzelfde rooster, weergegeven in figuur 11, wordt gebruikt door het RACMO. De verschuiving is uitgevoerd om deformatie van het modelrooster in geografische coördinaten zo klein mogelijk te houden. Het modelrooster is langs de 0° meridiaan gedraaid over een hoek van 60° zodanig dat het centrum van het modelrooster samenvalt met het punt 60° N.B. op de 0° meridiaan. De modelranden in modelcoördinaten zijn respectievelijk: -25.5° W, -24.5° Z, 15.5° N, en 20.0° O. De modelresolutie in modelcoördinaten is 0.5° in beide richtingen. Figuur 12 toont de overdekking van het stroomgebied van de Maas door het HIRLAM/RACMO-rooster; de gewichtsfactoren die hiermee samenhangen staan in tabel 3.



Figuur 12: De linker figuur toont de overdekking van het stroomgebied van de Maas door het HIRLAM/RACMO-rooster, de rechter figuur laat hetzelfde zien voor het ECMWF-rooster (niet-gereduceerd Gaussisch).

ECMWF-model:

In december 1993 en januari 1994 werden ECMWF-neerslagprognoses uit het MARS-archief opgehaald. Hierbij werden de neerslagvelden geconfigureerd op een niet-gereduceerd Gaussisch rooster met een zonale resolutie van 0.5625°. (Dit wijkt af van het gereduceerde Gaussische rooster zoals dat in de operationele T213-versie van het ECMWF-model gebruikt wordt; in het gereduceerde rooster neemt het aantal punten langst een breedtegraad af naarmate de breedtecirkel dicht bij de pool ligt om te voorkomen dat nabij de pool de roosterpunten te dicht op elkaar komen te liggen.) De gewichtsfactoren van de roostercellen die met het stroomgebied van de Maas overeenkomen staan in tabel 3. Figuur 12 toont de overdekking van het stroomgebied

HIRLAM/RACMO-rooster						
rooster-index	breedte [° N.B.]	lengte [° O.L.]	oppervlak [km ²]	procentuele overdekking		
				stroomgebied Maas		
				totaal	Frans	Belg.
2359	47.865	5.106	3023.8	4	4	-
2360	47.824	5.833	3023.8	12	12	-
2451	48.363	5.166	3029.2	8	8	-
2452	48.322	5.900	3029.2	47	47	-
2543	48.862	5.226	3034.5	27	27	-
2544	48.819	5.969	3034.5	5	5	-
2634	49.397	4.535	3039.5	12	12	-
2635	49.360	5.288	3039.5	69	64	5
2636	49.317	6.040	3039.5	14	13	1
2725	49.928	3.826	3044.3	26	25	1
2726	49.896	4.589	3044.3	81	54	27
2727	49.858	5.351	3044.3	86	11	75
2728	49.815	6.112	3044.3	3	-	3
2817	50.427	3.872	3048.9	21	18	3
2818	50.395	4.644	3048.9	88	-	88
2819	50.357	5.415	3048.9	100	-	100
2820	50.313	6.185	3048.9	29	-	29
2911	50.855	5.481	3053.2	40	-	40
2912	50.811	6.260	3053.2	8	-	8

ECMWF-rooster (niet-gereduceerd Gaussisch)						
rooster-index	breedte [° N.B.]	lengte [° O.L.]	oppervlak [km ²]	procentuele overdekking		
				stroomgebied Maas		
				totaal	Frans	Belg.
195	48.019	5.6250	2612.9	53	53	-
172	48.580	5.6250	2584.3	44	44	-
148	49.142	5.0625	2555.4	27	27	-
149	49.142	5.6250	2555.4	47	47	-
124	49.704	4.5000	2526.3	47	46	1
125	49.704	5.0625	2526.3	99	60	39
126	49.704	5.6250	2526.3	67	19	48
100	50.265	3.9375	2497.1	54	51	3
101	50.265	4.5000	2497.1	93	5	88
102	50.265	5.0625	2497.1	100	4	96
103	50.265	5.6250	2497.1	94	-	94
104	50.265	6.1875	2497.1	25	-	25
79	50.827	5.0630	2467.5	24	-	24
80	50.827	5.6250	2467.5	50	-	50
81	50.827	6.1875	2467.5	9	-	9

Tabel 3: procentuele overdekkingsfracties van het stroomgebied van de Maas in België en Frankrijk door de horizontale roosters van het HIRLAM/RACMO en het ECMWF-model.

van de Maas door het niet-gereduceerde Gaussische ECMWF-rooster; de gewichtsfactoren die hiermee samenhangen staan in tabel 3.

In de bulletins met ECMWF-prognoses die aan de meteoroloog worden verstrekt volgen de berekende neerslaghoeveelheden uit een ongewogen middeling over een aantal roosterpunten. (Zie tabel 1.) Voor het stroomgebied van de Maas is onderscheid gemaakt tussen Limburg, de Belgische Ardennen en Noord-Frankrijk. De roosterpunten op basis waarvan de neerslagprognoses werden bepaald in december 1993 en januari 1994 zijn

Limburg: 58, 59, 81, 82
Belgische Ardennen: 101, 103, 104, 106, 124, 126, 127
Noord-Frankrijk: 124, 126, 127, 149, 150, 173, 196

Vergelijking met figuur 12 en tabel 3 laat zien dat deze set roosterpunten niet geheel samenvalt met de overdekking van het stroomgebied van de Maas. Roosterpunt 106 ligt volledig in Duitsland en de roosterpunten 173 en 196 liggen ten oosten van de smalle Maasvallei in Frankrijk. Het is niet expliciet onderzocht of deze alternatieve selectie van roosterpunten veel effect heeft op de hoogte van de ECMWF-neerslagprognoses voor de diverse delen van het stroomgebied van de Maas. Sinds april 1994 worden de ECMWF-neerslagbulletins rechtstreeks afgeleid uit ECMWF-modeluitvoer op het operationele gereduceerde Gaussische rooster. Hiermee is de bovenstaande discrepantie opgeheven.

APPENDIX B: CONDENSATIE- EN NEERSLAGPROCESSEN

In de onderzochte numerieke modellen worden condensatie- en neerslagprocessen op uiteenlopende wijze in rekening gebracht, wat gedeeltelijk de verschillende neerslagprognoses kan verklaren. Om die reden is het interessant een beknopt overzicht te hebben van de modelschema's die gebruikt worden om neerslag te berekenen.

Condensatie- en neerslagprocessen worden in alle modellen door twee typen schema's beschreven: convectieschema's en groot-schalige condensatieschema's. Net als in de natuur waar cumuliforme en stratiforme processen gelijktijdig kunnen optreden, sluiten in de modellen de twee mechanismen elkaar niet uit en kunnen beide actief zijn. Diep convectieve processen vinden in de natuur plaats op een typische schaal van $10 \times 10 \text{ km}^2$. Om dergelijke processen in een numeriek model met een grovere resolutie te kunnen beschrijven wordt een sub-grid parametrisatie uitgevoerd: het effect van het klein-schalig proces op de prognostische modelvariabelen wordt in rekening gebracht met een expliciet geformuleerd voorschrift. Het resultaat van convectieschema's is een sterk verticaal transport van warmte, vocht en impuls vanuit de atmosferische grenslaag naar hogere niveau's. Als de condities gunstig zijn kan hierbij neerslag worden gevormd, die het aardoppervlak bereikt. Het ECMWF-model en het RACMO hanteren beide het massa-flux schema ontwikkeld door Tiedtke [9]. De intensiteit van dit schema wordt grotendeels bepaald door de mate van vochtconvergentie in de onderste modellagen. Een soortgelijke beschrijving van diepe-convectieverschijnselen wordt gebruikt in het UKMO, alleen wordt in dat model de intensiteit gestuurd door de mate van buoyancy aan de top van de grenslaag [10]. Het convectieschema in het HIRLAM tenslotte is gebaseerd op een eenvoudiger model, ontwikkeld door Kuo [11].

Het ontstaan van gelaagde bewolking en daarmee samenhangende neerslag wordt in het ECMWF-model en het HIRLAM wordt dit proces op tamelijk eenvoudige wijze beschreven. In een modelbox treedt condensatie op zodra de waterdampinhoud de verzadigingswaarde overschrijdt. Nadat voor de bij het condenseren vrijkomende latente warmte is gecorrigeerd zal het resterende condensaat neerslaan als regen of sneeuw. Om sub-grid effecten in rekening te brengen wordt in het HIRLAM de verzadigingswaarde kunstmatig met 5 % verlaagd. Zodoende kan er al neerslag optreden, terwijl de modellaag eigenlijk nog niet verzadigd is. Om eventuele verdamping van neerslag in niet-verzadigde modellagen in rekening te kunnen brengen, wordt een modelkolom van boven naar beneden doorlopen. In het RACMO is een extra prognostische variabele aanwezig waarmee de vloeibaar-waterinhoud in een modelbox wordt bijgehouden. Nadat eerst de bijdragen van fysische processen als straling, verticale uitwisseling in de grenslaag, afremming van de atmosferische stroming door orografie en cumulus convectie zijn berekend, wordt tot slot van de fysicamodule de condensatieroutine doorlopen. Eerst wordt op basis van het Sundqvistschema [12] de bedekkingsgraad en waterinhoud in een laag berekend. De gedeeltelijke overgang van wolkencondensaat in neerslag, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen vloeibaar water en ijs, gebeurt met semi-empirische formules voor omzetting van wolkendruppeltjes in regendruppels en/of ijskristallen, samenvloeiing van regendruppels en valsnelheid van ijskristallen. Het UKMO-model tenslotte bepaalt de vloeibaar-waterinhoud aan de hand van een diagnostische schema ontwikkeld door Smith, dat op basis van behouden grootheden een bedekkingsgraad berekent [13,14]; op dezelfde manier als in het RACMO wordt vervolgens uit de vloeibaar-waterinhoud de neerslag afgeleid.

REFERENTIES

- 1 Rijkswaterstaat, directie Limburg , april 1994:
"De Maas slaat toe ..."; verslag hoogwater Maas december 1993.
- 2 Maandbericht klimatologische waarnemingen, december 1993: een uitgave van het KMI van België.
- 3 Bruin, H.A.R. de , 1977:
The accuracy of measuring areal precipitation with a rain gauge network; *In: Versl. en Mededel. 23, Comm. Hydr. Onderz. TNO, Den Haag, p. 17-46.*
- 4 Gustafsson, N., (ed.) 1993:
HIRLAM 2 Final Report; *Technical Report No. 9., SMHI, Norrköping.*
- 5 Wichers Schreur, B. 1993:
Numerieke weersverwachtingen met het HIRLAM: Moet ik dat geloven?; *Meteorologica 2, no. 4, p. 38-42.*
- 6 Christensen, J. H. and E. van Meijgaard, 1992:
On the construction of a regional atmospheric climate model; *Technisch rapport 147, KNMI.*
- 7 Roeckner, E. et al., 1992:
Simulation of the present-day climate with the ECHAM-model: Impact of model physics and resolution; *Max-Planck Institute für Meteorologie, Report No.93.*
- 8 Dümenil, L, and E. Todini, 1992:
A rainfall-runoff scheme for use in the Hamburg climate model; *In: Advances in Numerical Hydrology. A tribute to James Dooge (ed. by J.P. O'Kane). European Geophysical Society Series on Hydrological Sciences 1, Elsevier Science Publishers, p. 129-157.*
- 9 Tiedtke, M. 1992:
A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models; *Mon. Wea. Rev., 177, 1779-1800.*
- 10 Gregory, D. and P.R. Rowntree, 1991:
A mass flux convection scheme with representation of cloud ensemble characteristics and stability dependent closure; *Mon. Wea Rev., 118, 1483-1506.*
- 11 Kuo, H.L., 1974:
Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow; *J. Atm. Sci. 31, 1232-1240.*
- 12 Sundqvist, H., E. Berge and J.E. Kristjánsson, 1989:
Condensation and cloud parameterization studies with a mesoscale numerical weather prediction model; *Mon. Wea Rev. 117, 1641-1657.*
- 13 Smith, R.N.B., 1990:
A scheme for predicting layer clouds and their water content in a general circulation model; *Q.J.R. Meteorol. Soc. 116, 435-460.*
- 14 Smith, R.N.B. and D. Gregory, 1990:
Large-scale precipitation, Meteorological Office; *Unified Model Doc. paper No. 26. (Unpublished; copy available from National Meteorological Library, Bracknell).*