

# Neerslag in het stroomgebied van de Maas in januari 1995

*waarnemingen en verificatie van  
modelprognoses*

*Rudmer Jilderda  
Erik van Meijgaard  
Wim de Rooy*

# Technisch rapport; TR-178

De Bilt, 1995

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

(na 10-10-'95  
tel. +31(0)30-220 69 11  
fax +31(0)30-221 04 07)

UDC: 551.509.324.2  
551.509.54  
551.577.37  
627.517.3  
(282.244.11)  
(492.94)

ISBN: 90-369-2084-1  
ISSN: 0169-1708

# Neerslag in het stroomgebied van de Maas in januari 1995

Waarnemingen en verificatie van modelprognoses

Rudmer Jilderda  
Erik van Meijgaard  
Wim de Rooy

# INHOUDSOPGAVE

	blz.
<b>Samenvatting</b>	1
<b>Inleiding</b>	2
<b>Waarnemingen</b>	
Inleiding	3
Verloop van het weer	3
De afvoer in samenhang met de neerslag	6
Neerslagwaarnemingen	9
Referenties	9
<b>Modellen</b>	
Neerslagverwachting	12
Korte beschrijving van de geverifieerde modellen	13
Het tijdvak 20 t/m 31 januari 1995	14
Winter 1994/1995	18
Orografie	22
Conclusies	24
Appendix A: Modelconfiguraties	25
Appendix B: Algoritmen voor neerslagverificatie	27
Appendix C: December 1993	28
Referenties	29
<b>Nawoord</b>	29

## Samenvatting

Ruim een jaar na de overstroming van december 1993, treedt op 24 januari 1995 de Maas opnieuw buiten haar oevers. Gedurende de periode van hoogwater in januari 1995, die vier dagen langer duurt dan de hoogwaterperiode van december 1993, wordt bij Borgharen een hoogste waterstand bereikt van NAP +45.71m. Dit is 19 cm lager dan de hoogste waterstand van december 1993. Het hoogwater in januari 1995 wordt veroorzaakt door grote hoeveelheden neerslag in de tweede helft van januari in het stroomgebied van de Maas. Voor het maken van operationele verwachtingen van de waterstand in de Maas is het noodzakelijk dat de waargenomen neerslaghoeveelheden (die representatief zijn voor het stroomgebied) snel bekend zijn. Gevalideerde neerslaggegevens van Belgische en Franse klimaatstations komen hiervoor niet in aanmerking omdat ze pas na enkele maanden beschikbaar zijn. De "Metagri" daarentegen, een bulletin van het KMI in België, verschijnt dagelijks met ondermeer neerslaggegevens van stations in de Belgische Ardennen. De gebiedsgemiddelde neerslaghoeveelheid voor het stroomgebied van de Maas berekend op grond van "Metagri" gegevens, wijkt, voor de periode van 23 december t/m 7 februari, per dag 4 mm of minder af van de gebiedsgemiddelde hoeveelheid berekend op grond van gevalideerde etmaalwaarnemingen. Alleen 30 januari vormt hierop een uitzondering met een verschil van 7 mm.

Van een aantal numerieke atmosfermodellen zijn de neerslagprognoses voor de Belgische Ardennen gedurende het tijdvak 20 t/m 31 januari geverifieerd met behulp van etmaalwaarnemingen van 19 klimaatstations in de Belgische Ardennen. Het betreft hier korte-termijn verwachtingen van het HIRLAM, het UKMO-model en het RACMO en middellange-termijn verwachtingen van het ECMWF-model. Voor bovengenoemd tijdvak en gebied zijn de prognoses van het UKMO-model zeer goed te noemen, met een verwaarloosbare gemiddelde afwijking en een hoge correlatie (0.95). Ook de dag-2 (+42 tot +66 uur) prognoses van het ECMWF-model waren goed met slechts een geringe overschatting van de neerslaghoeveelheid. ECMWF-prognoses met een andere verwachtingstermijn en prognoses van de overige regionale modellen HIRLAM en RACMO, waren alle veel te droog. Met een correlatie van 0.52 is de dag-4 (+90 tot +114 uur) prognose van het ECMWF eigenlijk niet meer bruikbaar.

Omdat de periode van 20 t/m 31 januari een erg korte periode is om de modellen te beoordelen, is de verificatie ook uitgevoerd voor de winterperiode 94/95. Deze evaluatie levert kwalitatief dezelfde conclusies op. Alleen de dag-3 prognose van het ECMWF-model heeft een aanzienlijk lagere correlatie.

Om de invloed van de gebiedskeuze en de daarmee samenhangende orografie op de kwaliteit van de neerslagprognoses te onderzoeken is de verificatie herhaald voor Nederland. De prognoses van het HIRLAM en het RACMO blijken nu beduidend beter dan in de Belgische Ardennen en zijn van een vergelijkbare kwaliteit als de verwachtingen van het UKMO. Hoewel de dag-1 en dag-3 verwachtingen van het ECMWF-model nagenoeg geen bias hebben voor Nederland gedurende de winterperiode 94/95, zijn de prognoses van dit model op andere punten slechter voor Nederland. Zowel voor wat betreft de standaarddeviatie van de fout als de correlatie, zijn de neerslagprognoses van het ECMWF-model voor Nederland wat minder goed dan die van de regionale modellen.

Het ECMWF-model blijkt voor de periode van 20 januari tot en met 31 januari 1995 in de Ardennen systematisch meer neerslag te verwachten dan in de omliggende vlakke gebieden, waaronder Nederland. Bij het HIRLAM is zo'n duidelijk verschillend neerslagklimaat minder sterk aanwezig.

## Inleiding

Onverwacht snel na de overstroming van de Maas in december 1993, treedt ten gevolge van grote neerslaghoeveelheden in de Belgische Ardennen en Noord-Frankrijk, op 24 januari 1995 de Maas opnieuw buiten haar oevers.

Op basis van gevalideerde neerslaggegevens van Belgische en Franse klimaatstations, is de dagelijkse gebiedsgemiddelde neerslaghoeveelheid in januari 1995 in het stroomgebied van de Maas berekend. Omdat dergelijke gegevens pas na enige maanden beschikbaar zijn is nagegaan in hoeverre de neerslagrapporten van de "Metagri", een dagelijks meteorologisch bulletin van het Belgische KMI (Koninklijk Meteorologisch Instituut), een goede schatting geven van de gebiedsgemiddelde neerslag.

Van diverse numerieke atmosfeermodellen, waarvan de resultaten op het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) gebruikt worden voor het opstellen van de weersverwachting, is onderzocht in hoeverre ze in staat waren een nauwkeurige neerslagprognose te genereren voor de Belgische Ardennen. Hiertoe worden de prestaties van de modellen in detail bestudeerd voor de periode 20 t/m 31 januari 1995. Aangezien dit voor een statistische beoordeling van de verschillende modelprestaties een erg korte periode is, worden ook resultaten gepresenteerd voor de winterperiode 94/95. Om de invloed van de gebiedskeuze en de daarmee samenhangende orografie op de kwaliteit van de neerslagprognose te onderzoeken, is tevens een verificatie uitgevoerd voor Nederland.

# Waarnemingen

## Inleiding

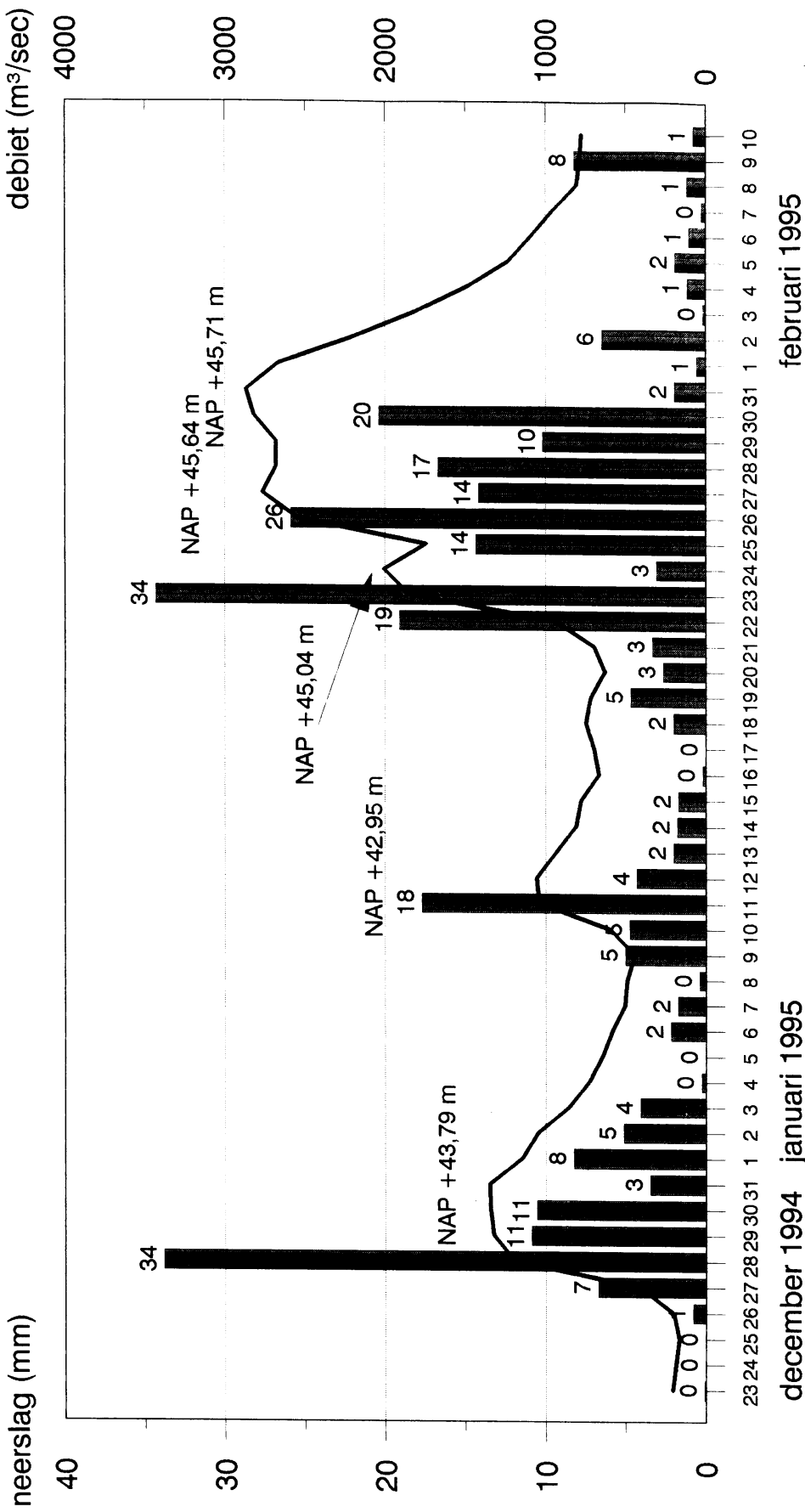
In het tijdvak van 22 januari tot 4 februari 1995 trekt een golf van hoogwater door de Maas. Langs de Maas raken grote gebieden geïnundeerd. Grote hoeveelheden regen in Noord-Frankrijk en de Belgische Ardennen vormen de aanleiding van dit hoogwater. De afvoer van water uit een stroomgebied kan gezien worden als een kolom water, die zich met een zekere snelheid door de rivier verplaatst. Het volume water, dat per tijdseenheid een zeker punt passeert, wordt het debiet genoemd. Het debiet in de grote rivieren wordt uitgedrukt in  $\text{m}^3/\text{s}$ .

In figuur 1 is het verloop van de gebiedsgemiddelde neerslag en het debiet te Borgharen weergegeven. Van de toppen in het debiet is ook de bereikte waterstand te Borgharen aangegeven. De gebiedsgemiddelde hoeveelheid neerslag is genoteerd op de dag van aftapping. Deze hoeveelheid is dus gevallen tussen 8.00 uur MET op de vorige dag en 8.00 uur MET op de aangegeven dag. Voor de stroomgebieden van de Sambre, de bovenloop van de Maas in Frankrijk en de middenloop in België is de gebiedsgemiddelde hoeveelheid neerslag bepaald door het rekenkundige gemiddelde te nemen van de aftappingen in ieder stroomgebied. Naar evenredigheid van de grootte van de verschillende delen is het totale gebiedsgemiddelde bepaald. Het hoogwater van eind januari 1995 is sinds eind december 1994 voorafgegaan door twee kleinere afvoergolven. Het weer, dat uiteindelijk tot het hoogwater en deze afvoergolven leidde, is in het volgende beschreven.

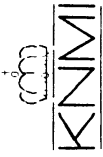
## Verloop van het weer

Behoudens een flinke hoeveelheid neerslag op 8 december 1994 valt er over het algemeen gedurende de eerste twintig dagen van deze maand weinig neerslag in het stroomgebied van de Maas. De totale hoeveelheid gedurende deze dagen blijft beneden de hoeveelheid neerslag, die gebruikelijk is voor de tijd van het jaar. Vlak voor de kerstdagen is het debiet te Borgharen zelfs laag te noemen en bedraagt ca.  $170 \text{ m}^3/\text{s}$ . Daarmede is dit debiet lager dan het normale jaarlijks gemiddelde en minder dan de helft van het normale gemiddelde voor de maand december. Rond Kerstmis komt aan deze situatie een einde. Op eerste kerstdag verplaatst een gordel van hoge luchtdruk boven het Europese Continent zich langzaam naar het zuiden en neemt in betekenis af. Tegelijkertijd breidt een depressie tussen IJsland en Noorwegen haar invloed naar onze omgeving uit en met een zuidwestelijke wind wordt zachte en vochtige lucht aangevoerd. In de namiddag begint het te regenen. De regenval is voornamelijk licht van aard en geeft in Nederland, vanwege de onderkoelde bodem, aanleiding tot ijsvorming. In de Ardennen valt op veel plaatsen sneeuw. In de ochtend van de 26<sup>e</sup> passeert het koufront van de depressie achtereenvolgens Nederland, de Belgische Ardennen en een groot gedeelte van Noord-Frankrijk. Na deze passage neemt de neerslag drastisch toe en gemiddeld over het gehele stroomgebied ten zuiden van Borgharen bedraagt de afgetapte hoeveelheid neerslag op de 27<sup>e</sup> en 28<sup>e</sup> resp. 7 mm en 34 mm. Met een westelijke wind wordt ook op de dagen daarna vochtige lucht aangevoerd en op vrijwel iedere dag valt er neerslag. Inmiddels is het debiet te Borgharen sinds de 26<sup>e</sup> gaan stijgen en bereikt op 31 december een waarde van  $1347 \text{ m}^3/\text{s}$ . Daarna daalt het debiet weer. Met de regens op de 27<sup>e</sup> verdwijnt overigens ook de plaatselijk nog aanwezige sneeuw.

# Dagelijkse regenval in stroomgebied Maas en topstanden en debiet te Borgharen



Ontleend aan "Maandbericht deel I"  
© KMI; Météo France; KNMI; RWS-Limburg



Figuur 1



Vanaf 28 december trekt een zeer diepe depressie van Schotland naar Zuid-Scandinavië. De wind ruimt daardoor naar richtingen tussen noordwest en noord, waardoor de temperatuur daalt. Vanaf 1 januari 1995 valt de meeste neerslag in vaste vorm en komt er in de Belgische Ardennen sneeuw te liggen. Op 3 januari 1995 breidt een gebied van hoge luchtdruk zijn invloed boven West-Europa uit en treedt er een tijdelijke weersverbetering op. Op 4 januari wordt zeer weinig neerslag afgetapt en op de 5<sup>e</sup> wordt in het geheel geen neerslag afgetapt. Op 5 januari is het gebied van hoge luchtdruk naar Rusland weggetrokken en naderen opeenvolgende depressies West-Europa. In de loop van deze dag en op de volgende dagen valt er opnieuw sneeuw, waardoor het reeds aanwezige sneeuwdek verder toeneemt. Het debiet te Borgharen blijft dalen en bereikt op de 8<sup>e</sup> een waarde van 442 m<sup>3</sup>/s.

In de loop van de 8<sup>e</sup> passeert het frontensysteem van een omvangrijke depressie boven Jan Mayen in oostelijke richting West-Europa. Het frontensysteem reikt tot aan de Pyreneeën. Het weer krijgt een onstuimig karakter en opnieuw worden tamelijk grote hoeveelheden neerslag afgetapt. Gedurende 9 en 10 januari trekt een zeer actieve depressie van IJsland naar het zuiden van Noorwegen. Achter de depressie wordt koude en onstabiele lucht aangevoerd, waarin talrijke winterse buien tot ontwikkeling komen. Naast veel regen valt er ook sneeuw en plaatselijk hagel. De grootste hoeveelheden neerslag worden in de ochtend van de 11<sup>e</sup> afgetapt. Het debiet te Borgharen, dat sinds de 9<sup>e</sup> stijgende is, bereikt op 12 januari een nieuwe top van 1056 m<sup>3</sup>/s. Op 13 januari komt een gebied van hoge luchtdruk van de Azoren naderbij en trekt over de Golf van Biskaje naar Midden-Europa. Deze ontwikkeling maakt aan het onstuimige weer een einde. De neerslag wordt minder en met een zuidwestelijke wind wordt zachte lucht aangevoerd. De temperatuur stijgt, waardoor de plaatselijk aanwezige sneeuw smelt. Te Borgharen daalt het debiet en bereikt op 20 januari een waarde van 630 m<sup>3</sup>/s.

Op 16 januari trekt het gebied van hoge luchtdruk verder weg en in de middag van de 17<sup>e</sup> komt het frontensysteem van een depressie ten westen van Ierland naderbij, waardoor de bewolking toeneemt. In de ochtend van de 18<sup>e</sup> trekt het koufront van een zeer diepe depressie nabij de Faröer over West-Europa en luidt een nieuwe regenrijke periode in. Achter het front ontstaat een krachtige zuidwest tot westenwind, die ook op de volgende dagen aanhoudt. Op 19 en 20 januari trekt een sterk uitdiepende depressie van het zeegebied ten zuidwesten van Ierland naar Schotland. Het bijbehorende frontensysteem trekt over West-Europa en brengt overwegend matige hoeveelheden neerslag. Vanaf de 20<sup>e</sup> stijgt het debiet te Borgharen weer en met de regelmatige passage van fronten regent het van tijd tot tijd. Op 22 januari trekt een actieve depressie van het zeegebied ten westen van Ierland naar Schotland. De fronten van deze depressie passeren in de late ochtend en middag België in vrijwel oostelijke richting en worden na korte tijd gevolgd door een trog in de bovenlucht. In de omgeving van de trog treedt hevige regenval vergezeld van onweer en windstoten op. Later in de middag trekt een sterk uitdiepende frontale storing van Lands End in het uiterste zuidwesten van Engeland over het noorden van Nederland naar Sleeswijk-Holstein. Al met al leiden deze ontwikkelingen tot langdurige regenval en verder stijgende temperaturen. Gemiddeld over het stroomgebied bovenstrooms van Borgharen valt er tussen 8.00 uur in de ochtend van de 21<sup>e</sup> en 8.00 uur in de ochtend van de 23<sup>e</sup> 53 mm neerslag. Vanaf de 20<sup>e</sup> ligt alleen op de hoogste delen in de Belgische Ardennen nog wat sneeuw en op de 22<sup>e</sup> is de sneeuw in zijn geheel verdwenen. Na de overvloedige regenval op met name 22 januari volgt een dag met een matige hoeveelheid regen. Op 25 januari ligt er opnieuw een front boven de Ardennen en regent het langdurig. Dit front wordt snel opgevolgd door het frontensysteem van een depressie, die op de 26<sup>e</sup> over onze Waddeneilanden verder noordwaarts trekt. Achter dit front stroomt met een naar noord ruimende wind koude en onstabiele lucht over West-Europa, waarin winterse buien worden meegevoerd. Zowel op 25 als 26 januari worden in het stroomgebied van de Maas grote hoeveelheden neerslag afgetapt. Uit de winterse buien valt plaatselijk sneeuw en de hoogste delen in de Ardennen raken hiermede bedekt. Ook na de 26<sup>e</sup> komen depressies naderbij, waarvan de fronten over West-Europa trekken. De afgetapte hoeveelheden neerslag blijven op de volgende dagen hoog. Pas op de 30<sup>e</sup> treedt in dit weerbeeld verandering op, wanneer een rug in een gebied van hoge luchtdruk, dat zich van de Azoren via Engeland tot even ten westen van Zuid-Noorwegen uitstrekt, oostwaarts trekt. Er treedt tijdelijk een weersverbetering op en op de 31<sup>e</sup> wordt er nauwelijks nog neerslag afgetapt.

In de nacht van 31 januari op 1 februari passeert het warmtefront van een complexe depressie voor de Noorse kust West-Europa benoorden de Pyreneeën later op de dag gevolgd door het koufront. In de warme sector wordt met een krachtige zuidwestelijke wind zeer zachte en vochtige lucht aangevoerd, waaruit matige regen valt. Op de nadering van het koufront neemt de intensiteit toe, zodat op 2 februari overwegend grote hoeveelheden neerslag worden afgetapt. Na het wegtrekken van het koufront brengt een omvangrijk gebied van hoge luchtdruk, dat van de Golf van Biskaje naar Midden-Europa trekt, een aanzienlijke weersverbetering. Het debiet te Borgharen daalt inmiddels flink.

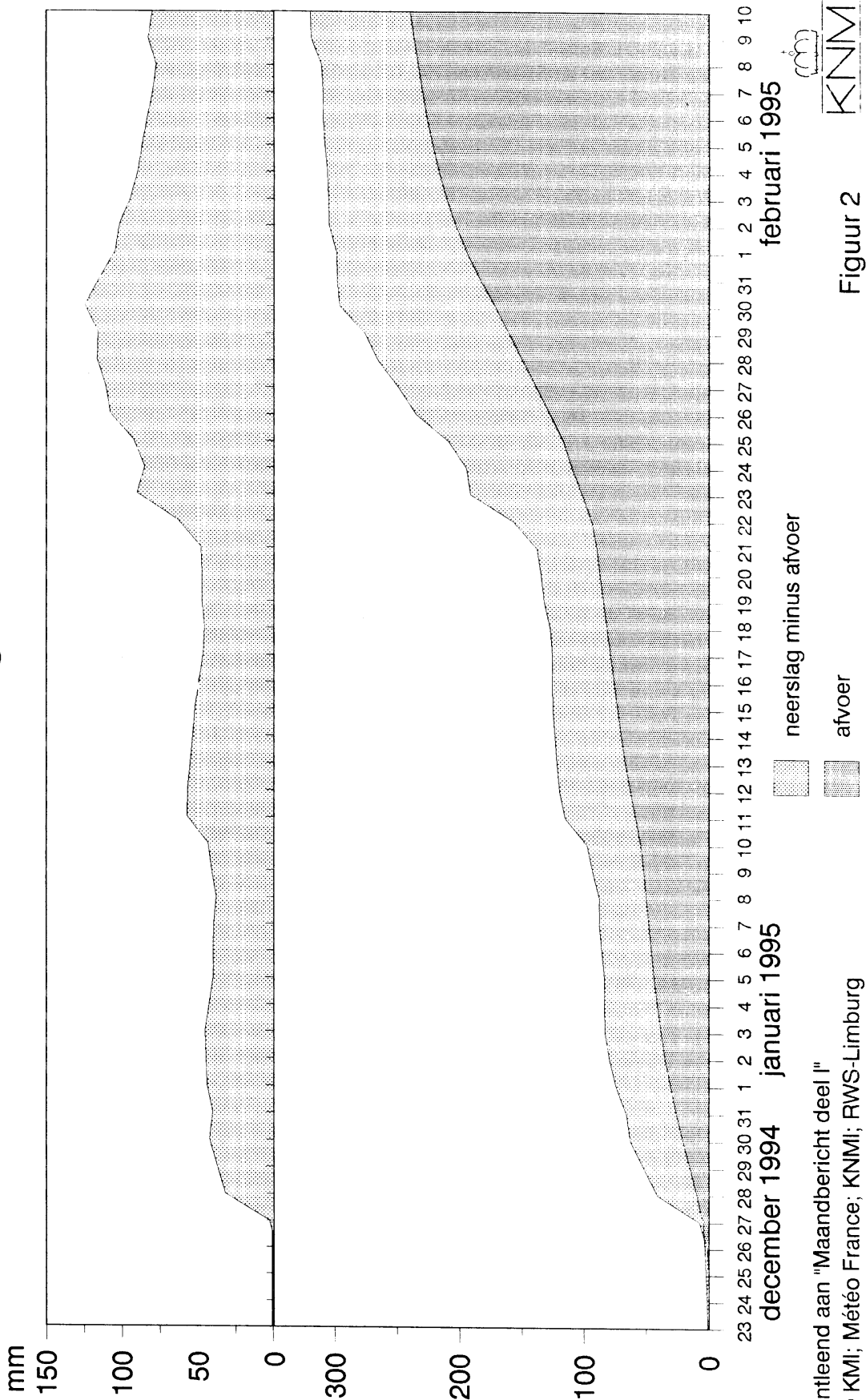
### **De afvoer in samenhang met de neerslag**

In figuur 2 is het cumulatieve verloop van afvoer en neerslag in het stroomgebied te zien. Het geaccumuleerde debiet te Borgharen is hiertoe omgerekend in een laag water, die over het hele stroomgebied (21260 km<sup>2</sup>) eenzelfde dikte zou innemen. De afstand tussen beide lijnen geeft de berging of de hoeveelheid water aan, dat - behalve enige verdamping - in het stroomgebied achterblijft. Boven in de grafiek is dit verloop apart weergegeven. Vanaf 22 januari 1995 neemt de berging aanmerkelijk toe, hetgeen een uiting is van inundaties langs de Maas.

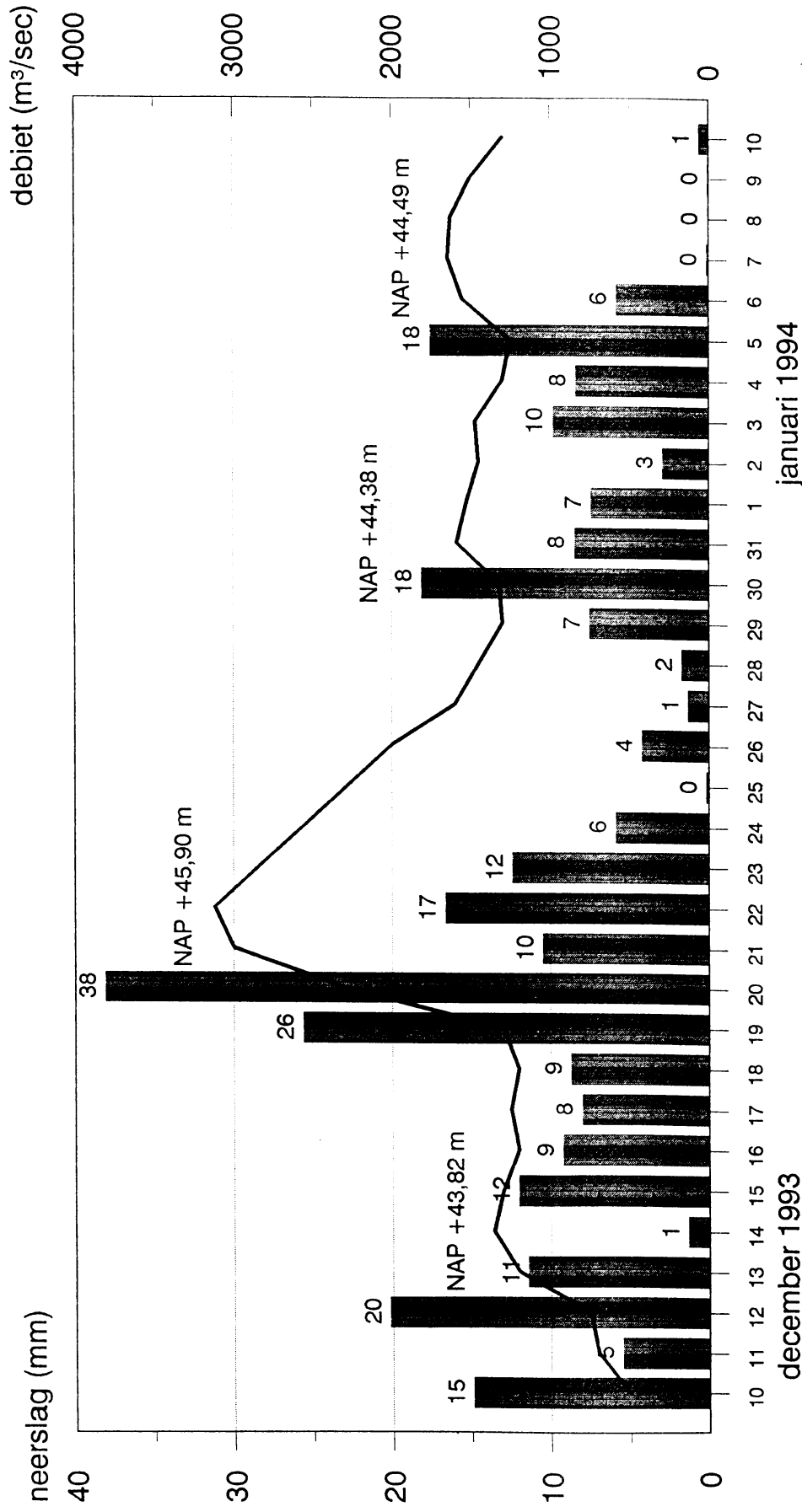
Het stijgende debiet bereikt op de 24 januari een waarde van 2008 m<sup>3</sup>/s en begint te Borgharen en Itteren wateroverlast te bezorgen. Een lichte weersverbetering doet het debiet dalen, maar op de volgende dag stijgt het debiet flink en schiet op dezelfde dag opnieuw door de 2000 m<sup>3</sup>/s om op de 27<sup>e</sup> een eerste top te bereiken van 2766 m<sup>3</sup>/s. Door de aanhoudende regen daalt het debiet op de volgende dagen nauwelijks en op 31 januari bereikt deze een top van 2870 m<sup>3</sup>/s. Vanaf de 25<sup>e</sup> breidt het geïnundeerde gebied langs de Maas zich uit en worden dijken bedreigd. Pas als op 4 februari het debiet tot 1500 m<sup>3</sup>/s is gedaald komt aan de periode van hoogwater een einde.

Met een hoogste waterstand van NAP +45,71 m is deze 19 cm lager dan de hoogste waterstand tijdens het hoge water in december 1993 (zie figuur 3). Echter met 13 dagen duurt de huidige periode van hoogwater 4 dagen langer dan de voorgaande. Werd in december 1993 het hoogwater gevolgd door twee bijna aaneengeschakelde afvoergolven, die het stadium van hoogwater bereiken, in januari 1995 wordt het hoogwater voorafgegaan door twee afzonderlijke afvoergolven van betrekkelijke omvang. Figuur 3 laat duidelijk zien dat de hoogwaterperiode van 1993 een "natte aanloop" kende, met een debiet ruim boven de 1000 m<sup>3</sup>/s. Vervolgens werd in korte tijd de recordstand bereikt door de zeer grote neerslaghoeveelheden op 19 en 20 december. Op deze dagen tezamen viel gemiddeld 64 mm in het stroomgebied, waardoor het debiet te Borgharen in drie dagen met zo'n 2000 m<sup>3</sup>/s steeg. Doordat de aansluitende periode relatief droog was, daalde het debiet weer snel. Figuur 1 voor de hoogwaterperiode van 1995 laat een heel ander verloop zien. Hier wordt de hoogwaterperiode voorafgegaan door een relatief droge periode met een debiet onder de 1000 m<sup>3</sup>/s. Een snelle stijging van het debiet tot 2000 m<sup>3</sup>/s wordt veroorzaakt door de neerslag op 22 en 23 januari. De volgende dag is relatief droog, maar in het zes-daagse tijdvak vanaf 25 januari valt nog eens 100 mm in het stroomgebied van de rivier, waardoor het debiet te Borgharen uiteindelijk stijgt tot 2870 m<sup>3</sup>/s, 250 m<sup>3</sup>/s minder dan de topafvoer van 3120 m<sup>3</sup>/s in december 1993. De tamelijk gelijkmatige verdeling van de neerslaghoeveelheid in het tijdvak 25 tot en met 30 januari 1995 zorgde ervoor dat het hoge debiet zich lang (zes à zeven dagen) kon handhaven, zonder overigens de recordafvoer van december 1993 te evenaren.

# Dagelijks verschil tussen cumulatieve regenval en afvoer in het stroomgebied van de Maas

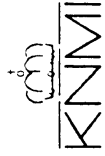


# Dagelijkse regenval in stroomgebied Maas en topstanden en debiet te Borgharen



Ontleend aan "Maandbericht deel 1"  
© KMI; Météo France; RWS-Limburg

Figuur 3



## Neerslagwaarnemingen

Het hoogwater in januari 1995 wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de neerslag, die in het tijdvak van 20 t/m 31 januari 1995 in het stroomgebied valt. De totale gebiedsgemiddelde hoeveelheid neerslag bedraagt in dit tijdvak 165 mm. De isohyeten (lijnen van gelijke hoeveelheid neerslag) in figuur 4 laten de ruimtelijke verdeling van de neerslag zien. Zoals gebruikelijk valt ook nu de meeste neerslag in het brongebied van de Ourthe en de Lesse in de hogere delen van de zuidelijke Ardennen. Aan de rand van het stroomgebied zijn de laagste hoeveelheden afgetapt, hetgeen redelijk overeenstemt met de normale neerslagverdeling.

Naast figuur 1, die gebaseerd is op gevalideerde gegevens van de neerslag, is ter vergelijking figuur 5 opgenomen, waarin de gebiedsgemiddelde neerslag is bepaald als rekenkundig gemiddelde van de aftappingen van de in het stroomgebied aanwezige Metagri-stations. De "Metagri" is een bulletin van het KMI met een groot aantal meteorologische gegevens, waaronder de neerslag, van een beperkt aantal locaties in België. Middels dit bulletin komt de informatie - in tegenstelling tot de gevalideerde gegevens, welke 2 à 3 maanden na aftapping worden gepubliceerd - op de dag van aftapping ter beschikking en maakt daarmee een monitoring van de dagelijkse ontwikkeling van het hoogwater mogelijk. De aldus verkregen neerslag is hiertoe tezamen met het debiet te Borgharen, welke tijdens het hoogwater bij het berichtencentrum van het RIZA telefonisch werd opgevraagd en de verwachting van de neerslag in de komende dagen, die ten behoeve van het RIZA door het KNMI werd opgesteld, dagelijks in een grafiek uitgezet. Het resultaat werd dagelijks per telefax aan belanghebbenden, waaronder het RIZA en de directie Zuid-Limburg van de RWS, verzonden. Figuur 5 toont een voorbeeld van een grafiek die verzonden is aan het einde van de hoogwaterperiode. De verwachte neerslag is met een gekruisde arcering aangegeven. Vergelijking van figuur 5 met figuur 1 laat geen grote verschillen in de dagelijkse hoeveelheid neerslag zien. Over het algemeen zijn de verschillen 4 mm of minder en alleen op 30 januari wijkt deze 7 mm af. Het aandeel van de Sambre in de gebiedsgemiddelde neerslag blijkt gering te zijn. De kleinere oppervlakte van het resterende Belgische deel van het stroomgebied wordt gecompenseerd door een hogere neerslag, zodat het Franse en Belgische aandeel in de gebiedsgemiddelde neerslag ongeveer even groot zijn.

## Referenties

KMI; Brussel, 1995

Maandbericht klimatologische waarnemingen deel I; december 1994, januari 1995, februari 1995  
Een uitgave van het KMI van België.

Météo France

diverse faxberichten omtrent hoeveelheden neerslag; december 1994, januari 1995, februari 1995

Bleichrodt, G., et al, april 1994

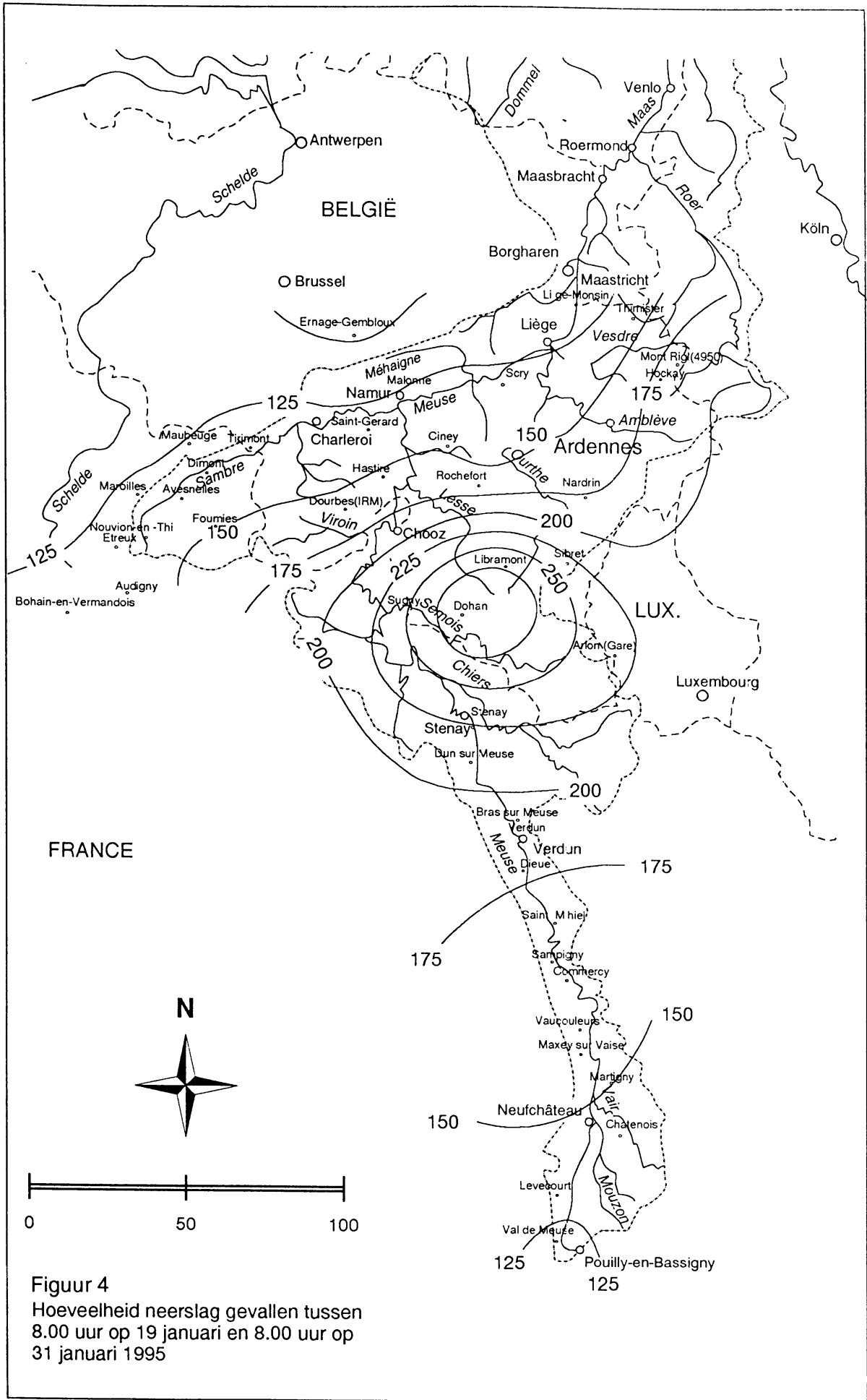
"De Maas slaat toe ...."; verslag hoogwater Maas december 1993  
Rijkswaterstaat directie Limburg; Maastricht.

Rijkswaterstaat directie Limburg

Waterstand- en debietgegevens; december 1994, januari 1995, februari 1995

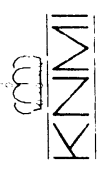
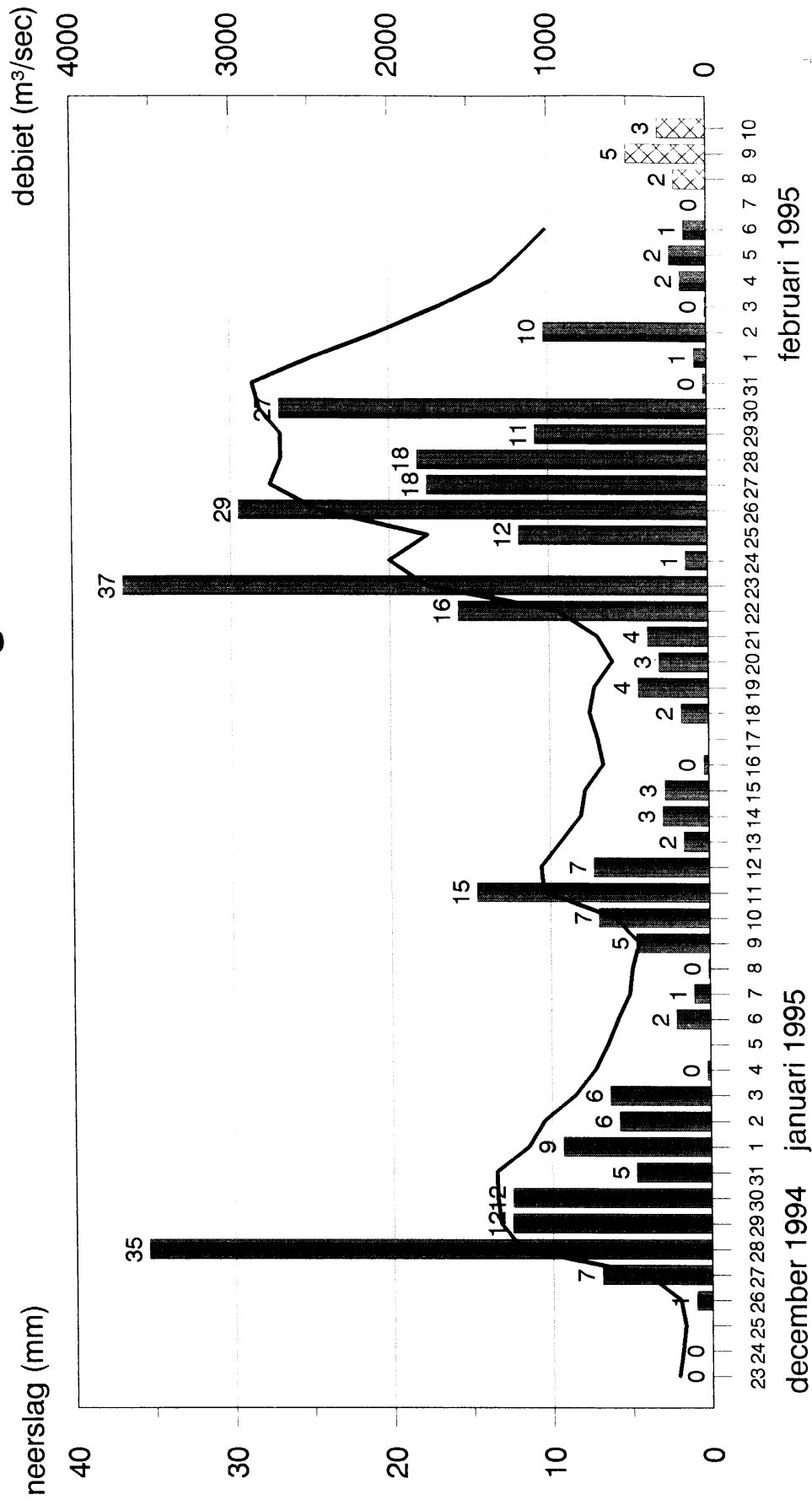
Waterloopkundig Laboratorium; Delft, december 1994

Onderzoek Watersnood Maas - Deelrapport 4: Hydrologische aspecten.



**Figuur 4**  
 Hoeveelheid neerslag gevallen tussen  
 8.00 uur op 19 januari en 8.00 uur op  
 31 januari 1995

# Dagelijkse regenval in stroomgebied Maas en debiet te Borgharen



Figuur 5

Ontleend aan de Metagri  
© KMI; KNMI; RWS-Limburg

## Modellen

### Neerslagverwachting

Voor het opstellen van een verwachting van de waterstand in de Maas bij Borgharen maakt het RIZA (Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalbehandeling) gebruik van een numeriek model voor de waterafvoer (Rijkswaterstaat, 1994). Zodra het debiet stroomopwaarts snel toeneemt is het van belang, dat de zichtlengte van de verwachting (het verschil tussen het tijdstip waarop de verwachting wordt opgesteld en het moment dat de topwaterstand optreedt) groot genoeg is om tijdig te kunnen waarschuwen. Een waarschuwingstijd van 24 uur wordt gunstig gevonden; 12 uur is aan de korte kant. Het afgeven van waarschuwingen is echter alleen zinvol als de verwachtingen accuraat zijn. Een nauwkeurigheid van 10 cm in de verwachte topwaterstand wordt voldoende beschouwd, maar een marge van 15 cm is eigenlijk al te groot. Het probleem in het zuidelijk deel van Limburg is dat er geen geschikte combinatie van zichtlengte en nauwkeurigheid haalbaar is. Voor Borgharen (nabij Maastricht), het eerste meetpunt van de Maas in Limburg, is de zichtlengte 6 uur bij een nauwkeurigheid van 10 cm. Dit is bijzonder kort; bij Roermond treedt dezelfde nauwkeurigheid op bij 30 uur, nog verder stroomafwaarts zelfs bij 60 uur. De korte zichtlengte bij Borgharen komt doordat het water uit de zijrivieren in de noordelijke Ardennen Maastricht al na 6 uur bereikt. Op dat moment begint pas gevallen neerslag een rol te spelen. Bij grotere zichtlengtes worden de verwachtingen snel onnauwkeuriger; bij een zichtlengte van 12 uur is de nauwkeurigheid nog 15 cm, maar bij 24 uur is de marge al 40 cm. Dan heeft ook het water uit de zijrivieren in de zuidelijke Ardennen Maastricht bereikt. Feitelijk fungeert bij een zichtlengte van 24 uur de gehele Belgische Ardennen als brongebied. Bij het opstellen van een verwachting voor de waterstand moet een deel van dit water nog als neerslag vallen. Voor deze bijdrage aan het debiet wordt in het afvoermodel de verwachte neerslag in rekening gebracht. Van de invoerparameters binnen het afvoermodel wordt deze term als de meest onzekere beschouwd.

De snelle respons van de waterstand van de Maas in het zuidelijk deel van Limburg op de hoeveelheid neerslag in de Belgische Ardennen onderstreept het belang van een accurate kwantitatieve neerslagprognose voor dit deel van het stroomgebied van de Maas. Voor grotere zichtlengtes is het een cruciale invoerparameter van het waterafvoermodel. Het waterafvoermodel gebruikt de waterstand bij de Frans-Belgische grens (Chooz) als randvoorwaarde. Zolang voor Borgharen geen waterstandverwachtingen worden opgesteld met een zichtlengte groter dan 24 uur, kan er een waargenomen randvoorwaarde worden opgelegd. Neerslagprognoses voor Noord-Frankrijk zijn voor het afvoermodel van RIZA in dat geval niet van belang.

De in het waterafvoermodel gebruikte neerslagprognoses worden geleverd door het KNMI. Om een neerslagprognose op te stellen baseert de meteoroloog zich op de resultaten van numerieke atmosfermodellen. Op het KNMI zijn van drie verschillende operationele weermodellen neerslagverwachtingen beschikbaar: het ECMWF-model, het HIRLAM en het UKMO-model. Net als tijdens het vorige extreme hoogwater in december 1993 (Van Meijgaard, 1994; hierna te noemen MA93) is van deze modellen nagegaan hoe ze in dit opzicht hebben gepresteerd. Als tijdvak is de 12-daagse periode 20 tot en met 31 januari 1995 gekozen. Alle prognoses betreffen steeds etmaalsommen van 0600 UTC op de voorafgaande dag tot 0600 UTC op de aangegeven dag. Het resultaat van het RACMO dat speciaal voor klimaatstudies is ontworpen zal eveneens worden vermeld. Om de resultaten voor de 12-daagse periode beter te kunnen beoordelen zijn voor hetzelfde gebied de neerslagprognoses van de gehele winterperiode geverifieerd. Tevens zijn voor dezelfde tijdvakken de neerslagprognoses voor Nederland geverifieerd, waar in tegenstelling tot de Belgische Ardennen de neerslaghoeveelheden nagenoeg niet door het reliëf worden beïnvloed.



## Korte beschrijving van de geverifieerde modellen

### 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 worden op het KNMI aan de hand van ECMWF-uitvoer etmaalprognoses tot vijf dagen vooruit samengesteld voor de stroomgebieden van Rijn en Maas. Aanvankelijk gebeurde dit op basis van geïnterpoleerde neerslagvelden. Sinds april 1994 worden hiervoor de neerslagvelden gebruikt die rechtstreeks uit het operationele model komen. In appendix A wordt getoond hoe het rooster van het ECMWF-model het stroomgebied van de Maas overdekt.

De neerslagprognoses zijn berekend uit meerdaagse modelruns die iedere dag om 1200 UTC worden gestart. De prognose voor de eerste dag is dus het resultaat van een +18 tot +42-uurs verwachting, voor de tweede dag +42 tot +66, enzovoort. De produkten waaruit de neerslagprognoses worden samengesteld komen vanuit het ECMWF op het KNMI binnen tussen 0000 UTC en 0200 UTC de volgende dag. Neerslagvelden op een grovere resolutie zijn al eerder beschikbaar, meestal tussen 2200 UTC en 2300 UTC.

### HIRLAM:

Voor een korte-termijn verwachting tot 36 uur vooruit kan de meteoroloog gebruik maken van de uitvoer van het HIRLAM (High Resolution Limited Area Model), het operationele weersverwachtingsmodel van het KNMI (Gustafsson, 1993; Wichers Schreur, 1993). Het gebied waarop het HIRLAM draait beslaat Europa en een groot deel van de noordelijke Atlantische Oceaan. 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. De configuratie van het modelrooster wordt kort in Appendix A besproken.

Met het HIRLAM wordt acht maal per dag een analyse gemaakt van de toestand van de atmosfeer in het modeldomein. Een analyse wordt gemaakt door de 3-uurs verwachting, berekend vanuit de voorgaande analyse, te combineren met de actuele waarnemingen. Elke zes uur te beginnen om 0000 UTC wordt een 36-uurs verwachting gemaakt. Met het maken van een analyse wordt pas twee uur en een kwartier na het moment, waarop de analyse geldig is (het analysetijdstip), gestart om over zoveel mogelijk waarnemingen te kunnen beschikken. Op het huidige operationele systeem van het KNMI, een Convex-220, duurt het maken van een analyse 20 minuten. Het draaien van een 36-uurs verwachting kost vervolgens 70 minuten, zodat bijna vier uur na het tijdstip van analyse alle verwachtingsprodukten gereed zijn.

### Het UKMO-model:

Ook van het UKMO-model (United Kingdom MetOffice) van het Britse MetOffice te Bracknell komen produkten binnen waarop de meteoroloog de verwachting kan baseren. Voor neerslagverwachtingen zijn de resultaten van de regionale modelversie van het UKMO *unified model* beschikbaar. De horizontale resolutie van het regionale model is  $0.4425^{\circ} \times 0.4425^{\circ}$  maar de modelresultaten worden op een veel grovere resolutie van  $1.25^{\circ} \times 1.25^{\circ}$  of zelfs  $2.50^{\circ} \times 2.50^{\circ}$  naar onder andere het KNMI verzonden. In Appendix A is te zien hoe het geïnterpoleerde rooster het stroomgebied van de Maas overdekt. Van de modelruns die starten vanaf de analyses om 0000 UTC en 1200 UTC zijn neerslagvelden tot 36 uur vooruit beschikbaar.

De uitvoer van de regionale versie van het UKMO-model komt ongeveer twee en een half uur na het tijdstip van analyse binnen, en is daarmee ruim een uur eerder beschikbaar dan de HIRLAM-verwachting. Het tijdverlies ten gevolge van transport over het netwerk van Bracknell naar het KNMI wordt dus ruimschoots goedgehaakt door de krachtiger computer waarmee in Bracknell wordt gerekend. Daarnaast kan het zijn dat in Bracknell eerder wordt begonnen met het maken van een analyse, hetzij omdat de waarnemingen eerder binnenkomen, ofwel omdat met minder waarnemingen genoeg wordt genomen. Het laatste is echter niet waarschijnlijk, omdat de kwaliteit van de analyse snel achteruit gaat naarmate het aantal ingevoerde waarnemingen minder wordt.

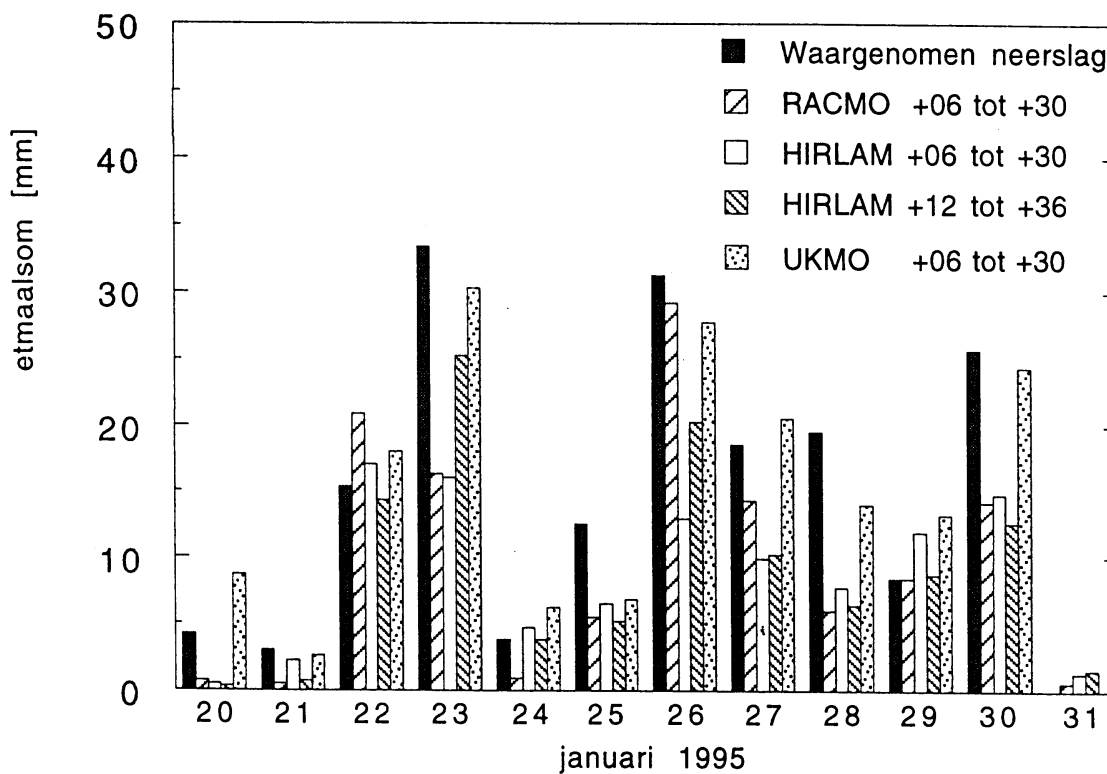
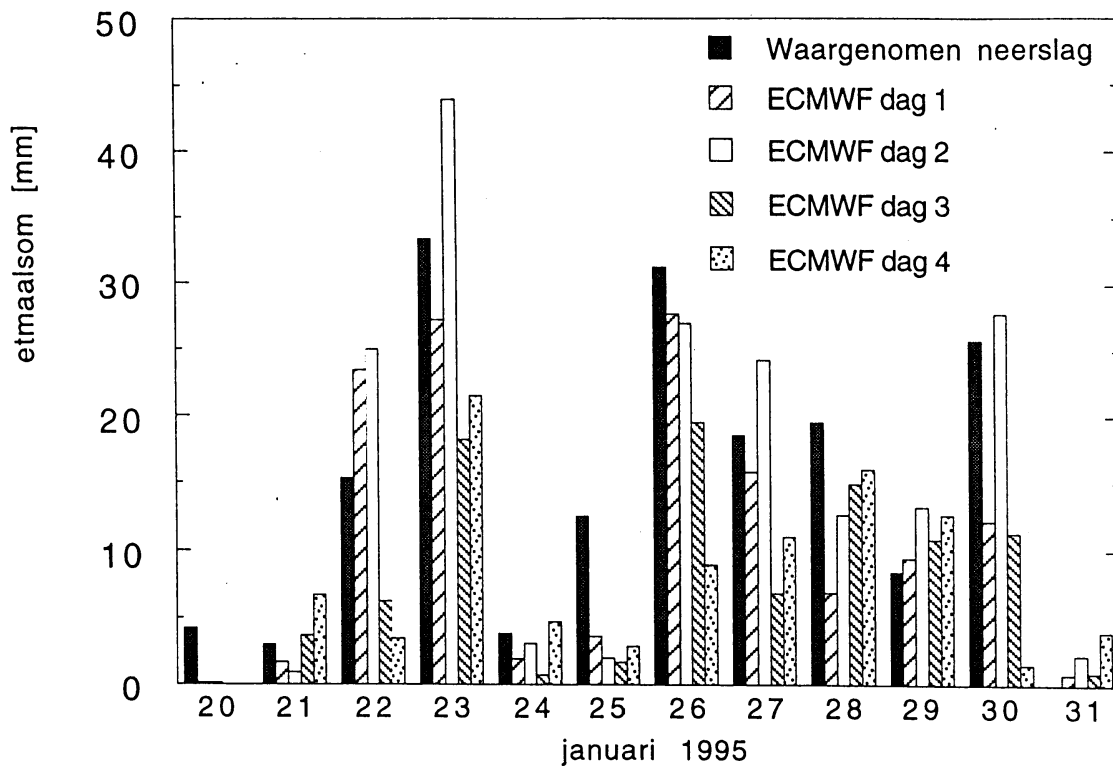
#### RACMO:

In de afgelopen jaren is op het KNMI in samenwerking met het DMI (Deens Meteorologisch Instituut) een numeriek model ontwikkeld met alternatieve fysica (Christensen en Van Meijgaard, 1992). 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 (Roeckner et al., 1992). 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.

Enkeel maal 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 geïnitieerd met de HIRLAM-analyse van 0000 UTC. Omdat het RACMO geen operationeel model is wordt het gedraaid op het algemene computersysteem van het KNMI. Dit systeem (toentertijd een Convex-240, tegenwoordig een Convex-4610) rekent sneller, maar is onregelmatiger belast dan het operationele systeem. Het RACMO kan gestart worden als de HIRLAM-analyse beschikbaar is op het algemene systeem, wat pas gebeurt als de HIRLAM-verwachting gereed is. Soms is de RACMO-modelrun al klaar om 0500 UTC, maar als het systeem zwaar belast is kan dit uitlopen tot na 1200 UTC de volgende dag (het tijdstip waarop de verwachtingstermijn verstrijkt).

#### **Het tijdvak 20 t/m 31 januari 1995**

Voor de periode 20 januari 1995 tot en met 31 januari 1995 zijn in de figuren 6a en 6b de neerslaghoeveelheden weergegeven, zoals die zijn waargenomen in de Belgische Ardennen. Dezelfde waarnemingen zijn gebruikt bij het samenstellen van figuur 1. Alle waarnemingen gelden voor een etmaal dat begint om 8 uur 's ochtends plaatselijke tijd de voorgaande dag en eindigt 24 uur later op de vermelde dag. De gegevens zijn gebaseerd op 18 stations in de Belgisch provincies Luik, Namen, en Luxemburg zoals die staan vermeld in het Maandbericht van het KMI, aangevuld met het station Thirimont gelegen in de provincie Henegouwen (KMI, 1995). In vergelijking met de modevaluatie voor december 1993 (MA93) is er één station afgevallen; het station St-Vith is medio 1994 opgeheven. In de 12-daagse periode valt op zeven dagen meer dan 10 mm, op drie dagen meer dan 20 mm, en op twee dagen meer dan 30 mm.



Figuur 6a & 6b: Verwachte en waargenomen neerslag voor de Belgische Ardennen in het tijdvak 20 januari 1995 tot en met 31 januari 1995. Periode van waarneming is zoals in figuur 1. De prognoses van de modellen zijn geldig voor het etmaal 0600 UTC op de voorgaande dag tot 0600 UTC op de aangegeven dag.

In figuur 6a zijn eveneens de meer-daagse prognoses van het ECMWF-model weergegeven voor de Belgische Ardennen. Op de meeste dagen is de dag-1 prognose het beste, ofschoon de dag-2 prognose nauwelijks minder presteert. Een uitzondering hierop vormt 30 januari wanneer de dag-2 prognose beduidend beter is dan zowel de dag-1 als de dag-3 prognose. De manier, waarop de modelverwachting voor het gebied wordt afgeleid, staat beschreven in Appendix B.

Voor dezelfde periode zijn de +06 tot +30 prognoses van het HIRLAM, het RACMO en het UKMO-model weergegeven in figuur 6b tezamen met de waarnemingen voor de Belgische Ardennen. De resultaten van het UKMO-model zijn afgeleid van de neerslagvelden op het  $1.25^\circ \times 1.25^\circ$  -rooster, behalve op 22 januari toen de neerslag op deze resolutie niet beschikbaar was. Voor deze dag is het neerslagveld van de grovere resolutie gebruikt, waarbij aan de hand van de overige elf dagen de modelwaarde is herleid naar de fijnere resolutie. Tevens zijn de +00 tot +24 en de +12 tot +36 prognose van het HIRLAM opgenomen. De prognoses van het UKMO zijn over bijna de gehele periode uitstekend te noemen en beter dan de prognoses van de overige regionale modellen en het ECMWF-model. Op dagen met veel neerslag worden de neerslaghoeveelheden door alle regionale modellen, uitgezonderd het UKMO-model, duidelijk onderschat.

De modelprestaties uitgedrukt in cijfers zijn in tabel 1 samengevat. Het betreft hetzelfde gebied en dezelfde periode als in de figuren 6a en 6b. Opgenomen zijn de totale neerslagsom voor de 12-daagse periode ( $n=12$ ), het gemiddelde per dag, alsmede de standaarddeviatie van iedere tijdreeks. Van de modelprognoses is verder berekend de gemiddelde absolute fout;

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

de root-mean-square fout

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

de gemiddelde afwijking (de bias)

$$\text{bias} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{r_o(i) - r_m(i)\} ,$$

de standaarddeviatie van de fout (afwijking)

$$\text{stderr} = \sqrt{\text{rms}^2 - \text{bias}^2} \quad \text{en}$$

de correlatie van de prognoses met de waargenomen reeks

$$\text{corr} = \frac{\sum_{i=1}^n (r_o(i) - \bar{r}_o)(r_m(i) - \bar{r}_m)}{s_o s_m}$$

Hierin staan  $r_o(i)$  en  $r_m(i)$  respectievelijk voor de waargenomen en de gemodelleerde neerslagreeks;  $r_o$  en  $r_m$  zijn de gemiddelde waarden van beide reeksen, terwijl  $s_o$  en  $s_m$  de standaarddeviaties voorstellen.

		tot	gem	std	mae	rms	bias	stderr	corr
Waarnemingen		176	14.6	10.8					
ECMWF	+18 tot +42	131	10.9	9.9	5.4	6.9	-3.7	5.8	0.85
ECMWF	+42 tot +66	182	15.2	13.6	5.3	6.2	0.5	6.2	0.90
ECMWF	+66 tot +90	95	7.9	6.7	7.4	9.0	-6.7	5.9	0.87
ECMWF	+90 tot +114	93	7.8	6.2	9.0	11.5	-6.9	9.3	0.52
RACMO	+06 tot +30	117	9.8	8.9	5.9	7.8	-4.9	6.1	0.82
HIRLAM	+00 tot +24	107	8.9	6.3	6.7	9.3	-5.7	7.3	0.76
HIRLAM	+06 tot +30	105	8.8	5.6	7.1	9.3	-5.9	7.2	0.79
HIRLAM	+12 tot +36	109	9.0	7.5	5.9	7.5	-5.5	5.1	0.91
UKMO	+06 tot +30	172	14.4	9.5	3.0	3.5	-0.3	3.5	0.95
tot:	totale hoeveelheid neerslag [mm]								
gem:	gemiddelde hoeveelheid neerslag [mm/dag]								
std:	standaard deviatie [mm/dag]								
mae:	gemiddelde absolute afwijking [mm/dag]								
rms:	root-mean-square afwijking [mm/dag]								
corr:	correlatie met waarnemingen								
bias:	gemiddelde afwijking [mm/dag]								
stderr:	standaard deviatie van de fout [mm/dag]								

Tabel 1: Verificatie numerieke neerslagprognoses voor de Belgische Ardennen in de periode 20-31 januari 1995.

In tabel 1 komen de goede prestaties van het UKMO-model duidelijk naar voren. Gedurende de onderzochte periode is de bias het laagste en de correlatie het hoogste. De ECMWF dag-2 prognose is iets te nat, terwijl de overige ECMWF-prognoses te droog uitvallen. De correlatie is tot en met dag-3 hoog, wat een dag langer is dan in december 1993 (MA93). In vergelijking met MA93 zijn de prestaties van het HIRLAM en het RACMO haast kwantitatief identiek. Er is een forse negatieve bias en de correlatie is ca. 0.8. Alleen de +12 tot +36 HIRLAM-prognose correleert duidelijk beter dan toen. Evenals in december 1993 presteert het RACMO een fractie beter dan de vergelijkbare +06 tot +30 HIRLAM-prognose.

In vergelijking met resultaten gevonden voor december 1993 zijn de uitkomsten van het UKMO-model opmerkelijk. Weliswaar had het UKMO-model toen ook de hoogste correlatie van de onderzochte modellen, maar de gemiddelde afwijking was met een onderschatting van de waargenomen neerslag van ruim 50 % veruit het grootst. Onlangs is gebleken, dat in de modevaluatie voor december 1993 de neerslagverwachtingen van het UKMO-model met ongeveer 50 % onderschat zijn. Tabel 2 van Appendix C resumeert de resultaten van de modevaluatie voor december 1993 met het gecorrigeerde UKMO-resultaat.

## Winter 1994/1995

Voor een statistische beoordeling van modelprestaties is een periode van 12 dagen aan de korte kant. Om die reden is bovenstaande analyse herhaald voor de meteorologische winterperiode 1 december 1994 tot aan 1 maart 1995 (90 dagen). De verificatie is uitgevoerd op basis van dezelfde 19 stations in de Belgische Ardennen. De resultaten voor de gemiddelde afwijking, de standaarddeviatie van de fout en de tijdsrelatie staan weergegeven in de figuren 7 t/m 9. De resultaten voor de 12-daagse periode uit tabel 1 staan eveneens in deze figuren afgebeeld. Gedurende de winterperiode werd gemiddeld over de Belgische Ardennen 504 mm neerslag waargenomen. Neerslagverificatie is uiteraard alleen uitgevoerd, wanneer een modelverwachting beschikbaar was. Voor iedere dag was een verwachting van het RACMO gemaakt. De verwachtingsreeksen van het HIRLAM en het ECMWF-model missen één dag ten gevolge van een langdurige storing in het computersysteem op 10 en 11 december. Naderhand is de RACMO-verwachting voor deze dag herhaald uitgaande van een ECMWF-analyse. Van de neerslagverwachtingen van het UKMO-model waren maar liefst 18 etmalen niet beschikbaar. In de periode rond kerst ontbraken vijf dagen en de laatste week van februari vertoonde een hiaat van zeven dagen.

Vergeleken met de korte 12-daagse periode zijn de gemiddelde afwijkingen een stuk kleiner. Enerzijds komt dat door de lengte van de periode. Een afwijking, die niet systematisch is, zal kleiner worden naarmate de periode van verificatie langer wordt. Verder is de bias het grootste in de natste perioden. In drogere tijdvakken is de bias kleiner, zelfs al zijn de modelverwachtingen relatief slechter. Dezelfde constatering geldt min of meer ook voor de standaarddeviatie van de fout. De grootste bijdragen worden opgebouwd in de natste tijdvakken, tenzij een model niet eens in staat is om droog van nat te onderscheiden. De correlatiecoëfficiënten zijn kwalitatief gelijk gebleven: het UKMO-resultaat is andermaal het beste. Terwijl de kortste-termijn HIRLAM-verwachtingen iets aan correlatie winnen, geeft de +12 tot +36 verwachting van het HIRLAM van het goede resultaat wat prijs. De dag-3 verwachting van het ECMWF is duidelijk minder over de gehele winterperiode bezien; dit is in overeenstemming met het resultaat gevonden in MA93.

Een manier om de gevonden resultaten op waarde te schatten is na te gaan of de modelverwachtingen iets toevoegen aan het uitgangspunt van persistentie. De eenvoudigste formulering van persistentie, die toepasbaar is op deze studie, zegt dat de te verwachten neerslag voor morgen de waargenomen neerslag van vandaag is. De zo gesimuleerde modelreeks is niets anders dan de waargenomen reeks één dag verschoven. Deze verwachting is bij constructie nagenoeg zonder bias en de tijdsrelatie is precies de autocorrelatie van de waargenomen neerslagreeks. Voor de winterperiode is de correlatie van de persistentie verwachting 0.31, terwijl de standaarddeviatie van de fout 8.8 mm/dag bedraagt. Behalve de dag-4 prognose van het ECMWF zijn alle modelverwachtingen aanzienlijk beter dan verwacht mag worden op grond van persistentie.

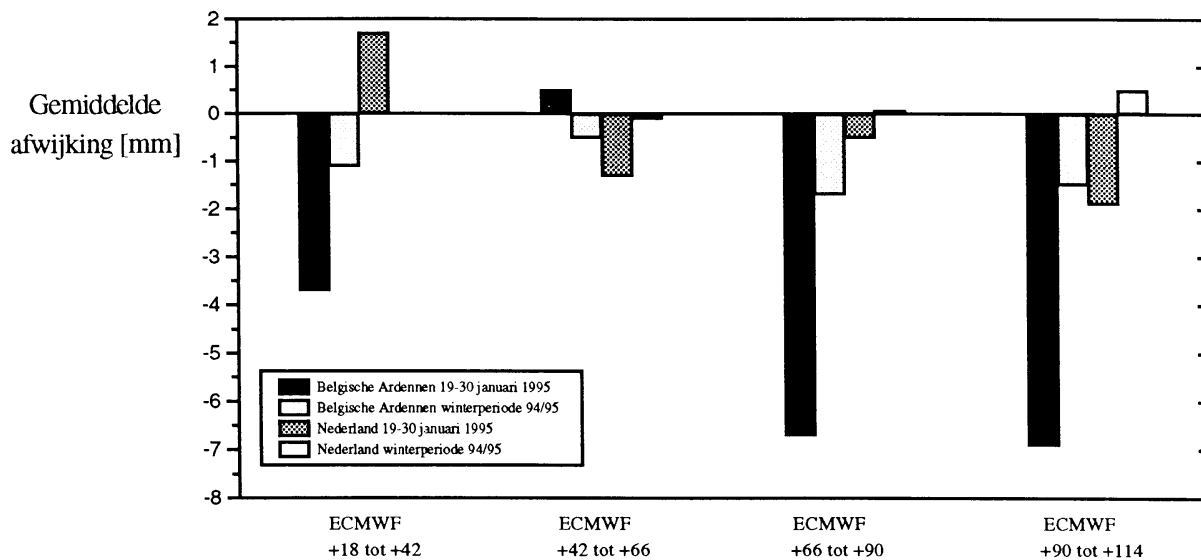


Fig. 7a Gemiddelde afwijkingen in de door het ECMWF-model verwachte 24-uurs neerslagsommen. Een positieve gemiddelde afwijking komt overeen met een overschatting van de neerslaghoeveelheid door het model.

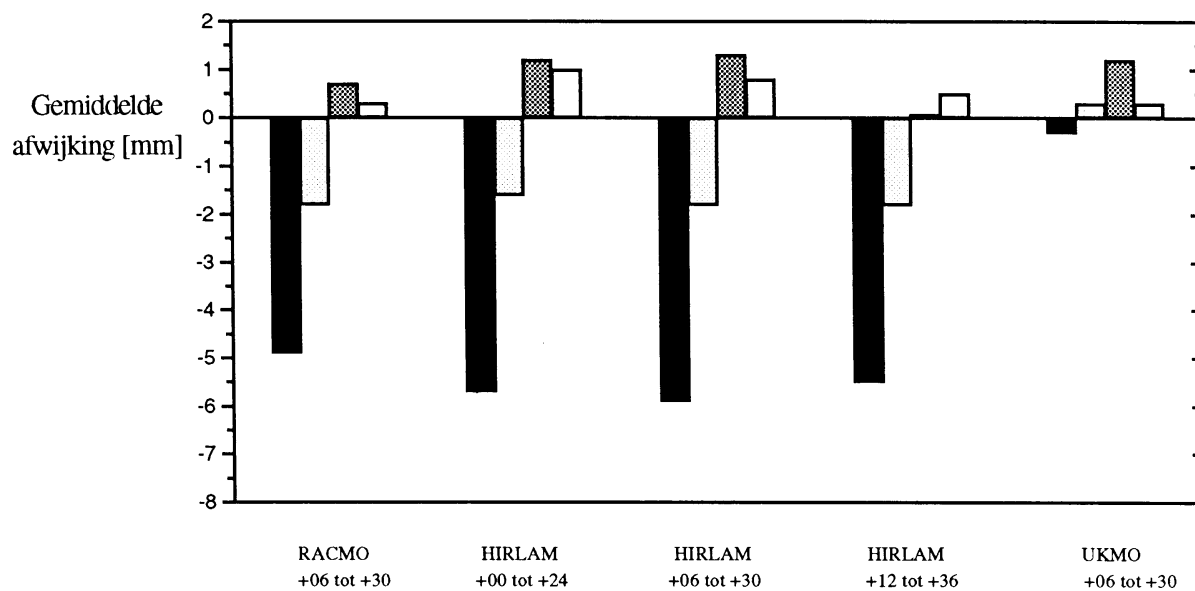


Fig. 7b Gemiddelde afwijkingen in de door de regionale modellen verwachte 24-uurs neerslagsommen. Een positieve gemiddelde afwijking komt overeen met een overschatting van de neerslaghoeveelheid door het model.

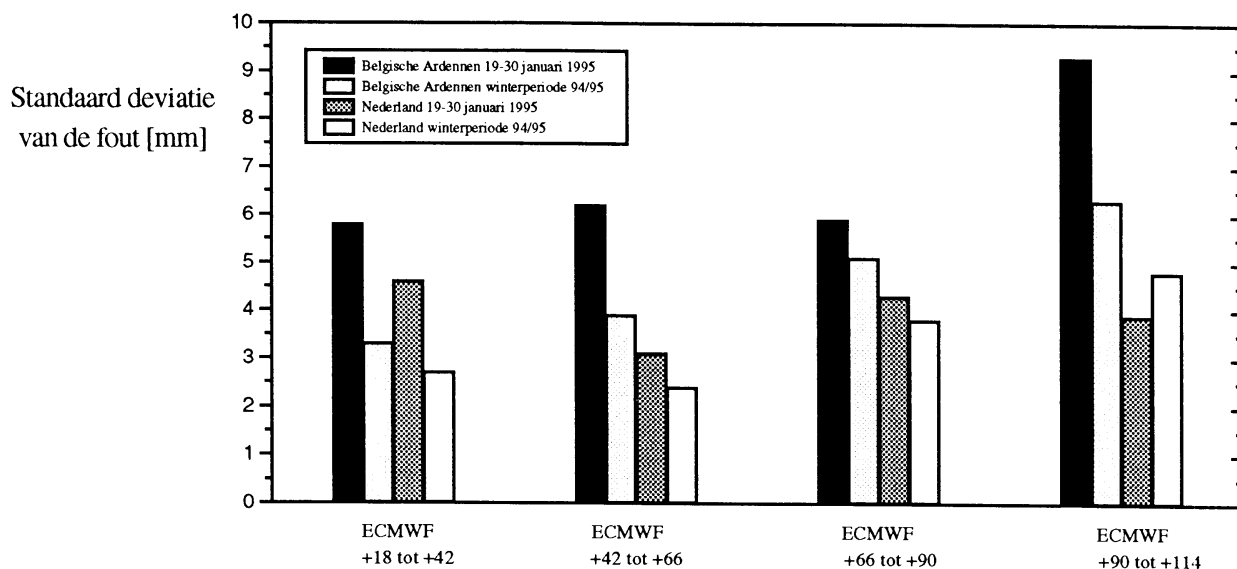


Fig. 8a Standaard deviatie van de fout in de door het ECMWF-model verwachte 24-uurs neerslagsommen

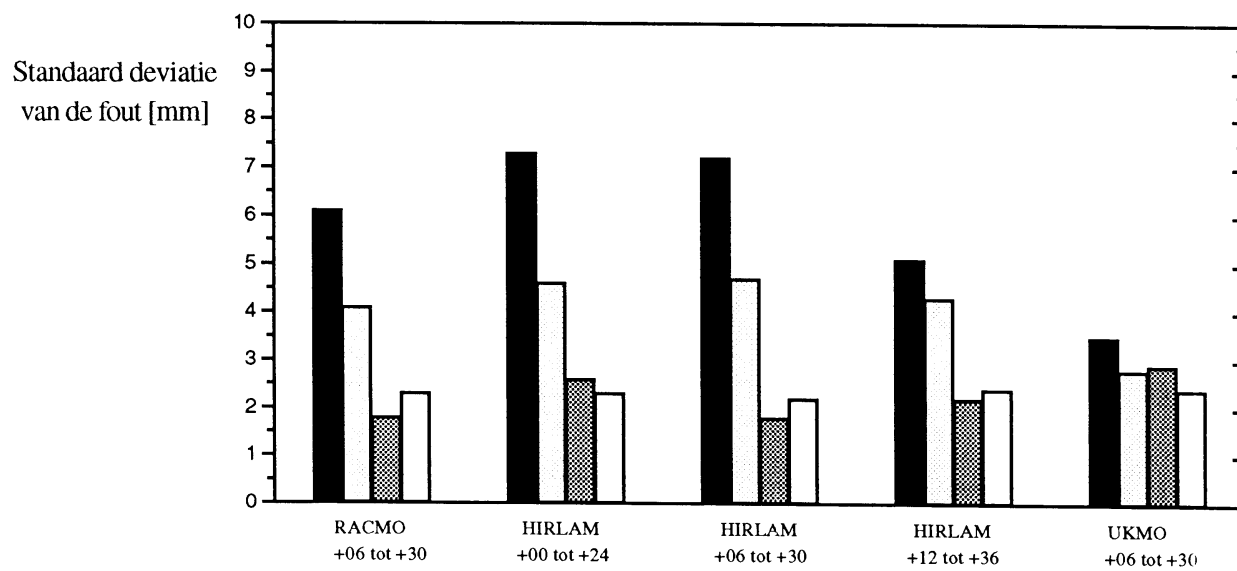


Fig. 8b Standaard deviatie van de fout in de door de regionale modellen verwachte 24-uurs neerslagsommen.



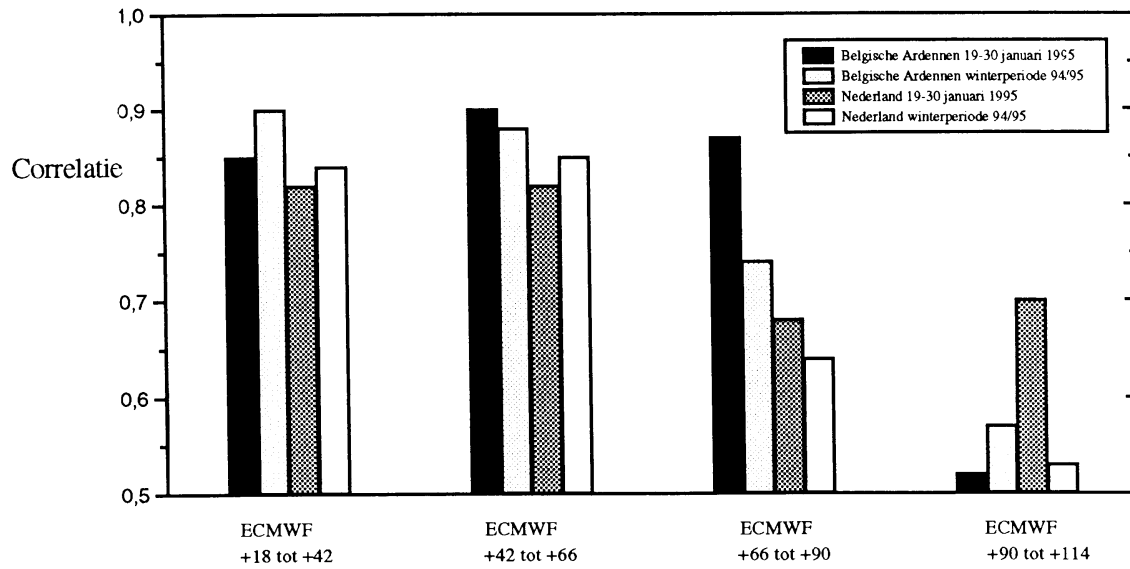


Fig. 9a Correlatie van de door het ECMWF-model verwachte 24-uurs neerslagsommen met waarnemingen.

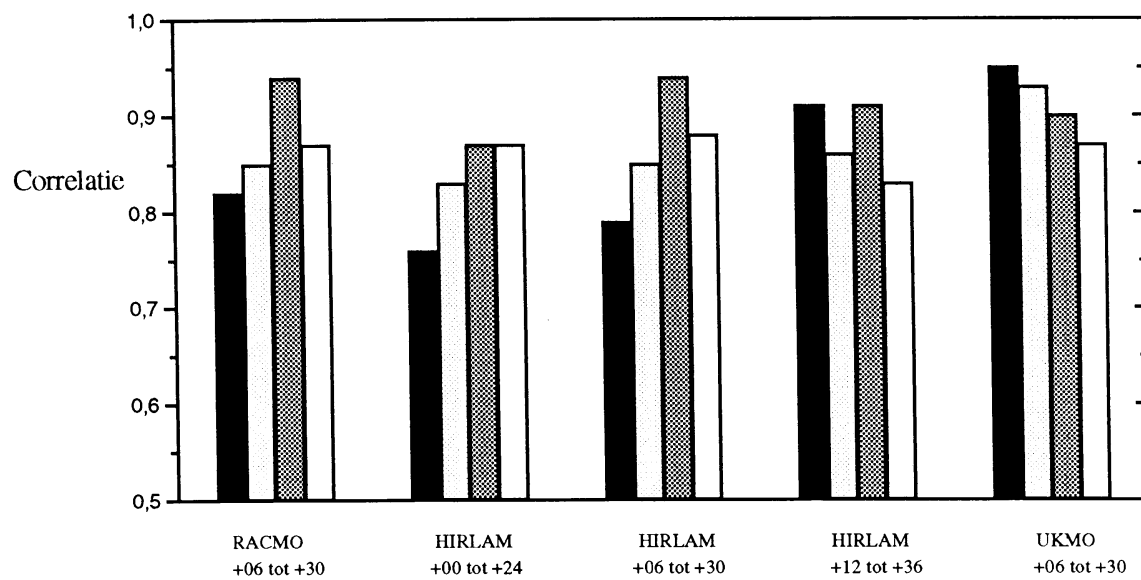


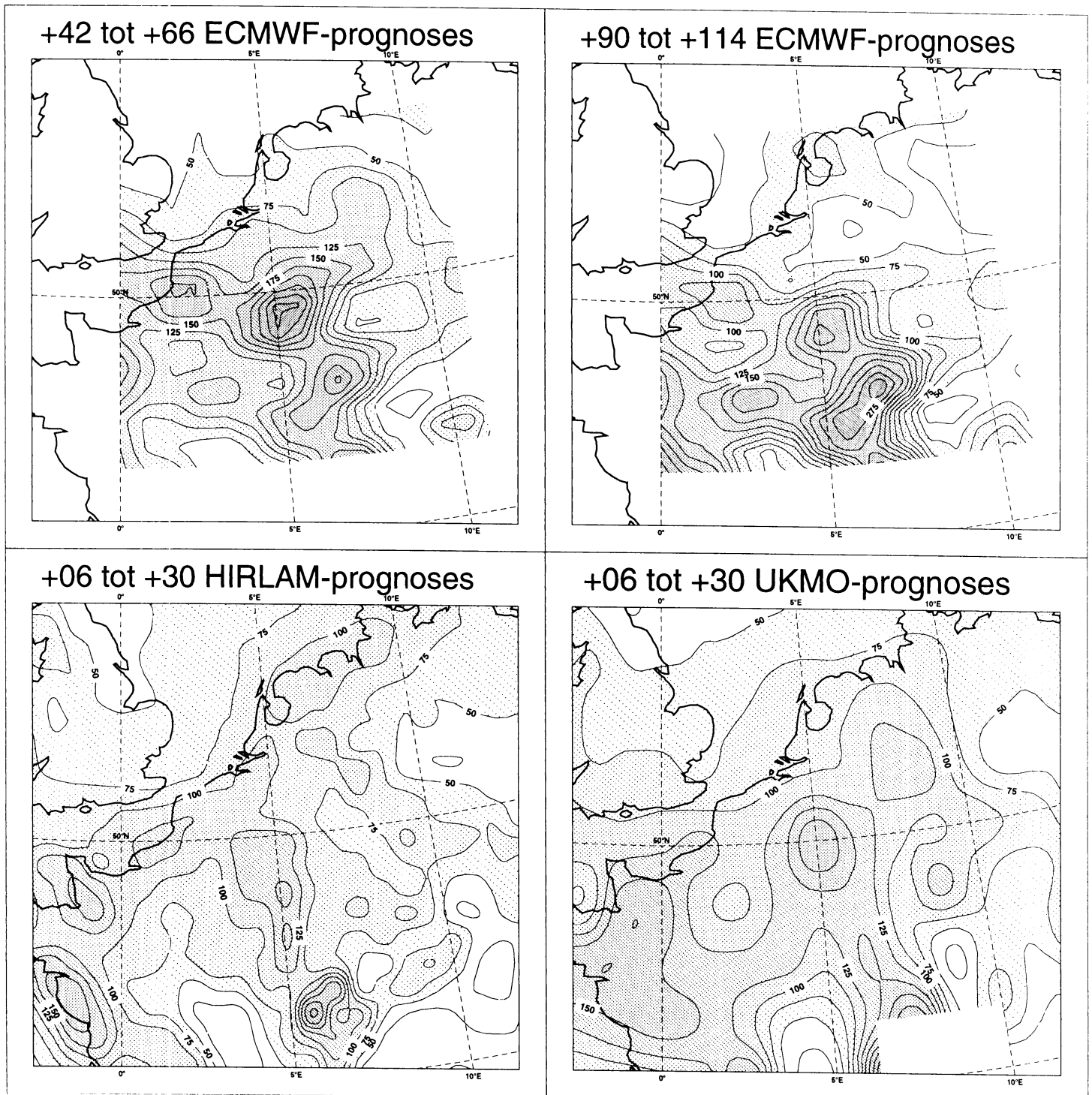
Fig. 9b Correlatie van de door de regionale modellen verwachte 24-uurs neerslagsommen met waarnemingen.

## Orografie

Neerslaghoeveelheden en ruimtelijke verdeling van de neerslag in de Belgische Ardennen worden in grote mate bepaald door het reliëf van het gebied. Figuur 4 laat zien dat er gedurende de periode 20 tot en met 31 januari 1995 een prominent neerslagmaximum voorkomt in de zuidelijke Belgische Ardennen. Dit maximum hangt samen met een vrij abrupte toename van de hoogte in dit gebied in noordoostelijke richting, waardoor vooral bij een stroming met een zuid-component veel neerslag valt in dit deel van de Ardennen. In de neerslagrijke periode in januari 1995 was sprake van een cyclonale west-circulatie met overheersend zuidwestelijke winden.

In modellen hangt de ruimtelijke verdeling van de neerslagprognose sterk samen met de orografie (de representatie van het reliëf in het model) en de wijze waarop de modelstroming hiermee wisselwerkt. Figuur 10 toont de geaccumuleerde neerslagvelden van vier modelprognoses voor dezelfde 12-daagse periode die gekozen is in figuur 4. Figuur 10 laat duidelijk zien, dat het effect van de orografie op de neerslag voor de diverse modellen sterk verschilt. In de ECMWF-prognoses is het verschil in neerslag tussen gebieden met veel orografie en nagenoeg geen orografie het grootste. De dag-4 prognose van het ECMWF-model heeft een maximum van ruim 300 mm in de Vogezen en een secundair maximum van ca. 250 mm ten zuiden van de Belgische Ardennen. Tegelijkertijd wordt voor Nederland minder dan 100 mm en in een groot deel zelfs minder dan 50 mm verwacht. Ook voor de streek ten oosten van het Zwarte Woud wordt nauwelijks neerslag verwacht; gedurende het onderzochte tijdvak zijn de ECMWF-prognoses alle zeer laag voor dit gebied. In de dag-2 prognose ligt het primaire maximum met ruim 275 mm pal ten zuiden van de Belgische Ardennen; secundaire maxima van ruim 200 mm liggen in de Vogezen en in Noordwest-Frankrijk. De niet getoonde dag-3 prognose vormt een overgang van de dag-4 naar de dag-2 prognose. De dag-1 prognose is kwalitatief dezelfde als de dag-2 prognose, maar genereert over het gehele gebied (behalve Nederland) minder neerslag. Dit hangt waarschijnlijk samen met de spin-up tijd van de neerslag in het ECMWF-model. De neerslagverdeling van het HIRLAM is veel minder contrastrijk. Een gordel van neerslagmaxima uiteenlopend van 125 tot 175 mm loopt langs de Franse kust via de Ardennen naar de Franse Jura, waar één roosterpunt bijna 250 mm heeft. Ook in een groot deel van Nederland valt meer dan 100 mm volgens de HIRLAM-prognose. De niet getoonde neerslagverdelingen van de +00 tot +24 en de +12 tot +36 HIRLAM-verwachtingen zijn nagenoeg identiek aan de verdeling van de gesommeerde +06 tot +30 prognoses. De UKMO-prognose, ten slotte, heeft maxima van 150 tot ruim 175 mm in West-Frankrijk, de Belgische Ardennen en een deel van Duitsland vlak ten oosten van Nederland. Ook in de Alpen tekent zich een maximum af.

Interessant aan figuur 10 is onder meer dat voor Nederland, een gebied met nauwelijks orografische invloeden, de neerslagprognoses van de diverse modellen behoorlijk uiteenlopen. Omdat Nederland een dicht netwerk van neerslagstations heeft, waarvan de gegevens op het KNMI verzameld worden, is het tamelijk eenvoudig dagelijks neerslaghoeveelheden af te leiden die als representatief kunnen worden beschouwd voor het gehele land of voor een deel van het land. Om een indruk te krijgen of in de modellen het effect van het reliëf op de hoeveelheid neerslag goed in rekening wordt gebracht is daarom ook voor Nederland een neerslagverificatie uitgevoerd, zowel voor het 12-daagse tijdvak als de gehele winter. De verificatie is uitgevoerd op basis van alle stations in het synoptisch netwerk die neerslag rapporteren. Tot aan oudjaarsdag waren dit er 31, daarna 32. De wijze van verificatie is enigszins aangepast en daarmee vereenvoudigd, zonder dat dit de resultaten noemenswaardig verandert. (Zie Appendix B.)



Figuur 10 Geaccumuleerde neerslagverdelingen gedurende de periode 20 januari tot en met 31 januari 1995 van de dag-2 (+42 tot +66) en de dag-4 (+90 tot +114) prognose van het ECMWF-model, van de +06 tot +30 verwachting van het HIRLAM en de +06 tot +30 verwachting van het UKMO-model.

De resultaten voor neerslagverificatie voor Nederlandse stations staan eveneens in de figuren 7 t/m 9. De gemiddelde waargenomen neerslag in het tijdvak 20 tot en met 31 januari 1995 was 83 mm, ofwel 6.9 mm/dag, wat ruim de helft minder was dan in de Belgische Ardennen. De gemiddelde afwijking van de boven Nederland verwachte neerslag is aanzienlijk kleiner dan boven de Ardennen en alle regionale modellen overschatten de waargenomen hoeveelheden enigszins. Ook de relatieve gemiddelde afwijking is kleiner. De standaarddeviatie van de afwijking is voor verwachtingen van het ECMWF-model behoorlijk groter dan voor de regionale modellen. De +06 tot +30 verwachtingen van het HIRLAM en het RACMO hebben slechts een fout van 1.8 mm/dag tezamen met een hoge correlatie van 0.94. Ook wat betreft de correlatie blijft het ECMWF duidelijk achter. Anders dan in de verwachting voor de Belgische Ardennen onderscheidt het UKMO-model zich in de verwachting voor Nederland niet van de overige regionale modellen.

Een vergelijkbaar resultaat tekent zich af voor de gehele winterperiode. Wat opvalt is dat de ECMWF-verwachtingen, uitgezonderd de dag-4 verwachting, vrijwel zonder bias zijn. De standaarddeviatie van de fout van de regionale modelverwachtingen en de dag-1 en dag-2 verwachting van het ECMWF zijn van dezelfde kwaliteit evenals de tijdscorelatie. De kwaliteit van de dag-3 en dag-4 verwachting van het ECMWF is duidelijk minder. De laatste komt in de buurt van wat op grond van persistentie verwacht mocht worden: een correlatiecoëfficiënt van opnieuw 0.31, net als voor de Ardennen en een standaarddeviatie van de fout van 5.1 mm/dag.

## Conclusies

Van een aantal numerieke atmosfermodellen is onderzocht in hoeverre ze in staat waren accurate neerslagprognoses te berekenen gedurende het tijdvak 20 tot en met 31 januari 1995. Gedurende deze 12-daagse periode viel voor de tweede maal binnen ruim een jaar overvloedige neerslag in de Belgische Ardennen en Noord-Frankrijk waardoor de Maas in de provincie Limburg opnieuw op uitgebreide schaal buiten haar oevers trad. De neerslagverificatie is uitgevoerd voor de Belgische Ardennen omdat neerslagprognoses voor dit gebied gebruikt worden als invoerparameters in het door RIZA gehanteerde computermodel voor de waterafvoer van de Maas. De waargenomen neerslaghoeveelheden zijn afgeleid uit gegevens van 19 Belgische klimaatstations. Van alle modelprognoses is de gemiddelde afwijking berekend, alsmede de standaarddeviatie van fout en de tijdscorelatie (dag op dag )

- In de periode 20 tot en met 31 januari 1995 is de +06 tot +30 uur verwachting van het UKMO-model voor de Belgische Ardennen van hoge kwaliteit. De gemiddelde afwijking is verwaarloosbaar klein, de tijdscorelatie (dag op dag) is met 0.95 zeer hoog, terwijl de standaarddeviatie van de fout 3.5 mm/dag bedraagt, wat minder is dan 25 % van gemiddelde dagelijkse hoeveelheid neerslag. Ook de dag-2 (+42 tot +66 uur) prognose van het ECMWF was bruikbaar. Weliswaar was de standaarddeviatie van deze verwachting ruim 40 %, de gemiddelde afwijking was slechts 0.5 mm/dag terwijl de correlatie 0.90 bereikte. De dag-1 (+18 tot +42 uur) prognose van het ECMWF presteerde op alle drie punten minder. De verwachtingen van de overige regionale modellen, het HIRLAM en het RACMO, alsmede de dag-3 (+66 tot +90 uur) prognose van het ECMWF waren alle veel te droog met afwijkingen tot bijna 6 mm per dag. De standaarddeviatie van de fout varieerde van 35 % tot 50 %, terwijl de correlaties uiteenliepen van 0.76 tot 0.91 (de +12 tot +36 uur HIRLAM-verwachting). De dag-4 (+90 tot +114 uur) prognose van het ECMWF is niet betrouwbaar meer. De standaarddeviatie van de fout is 80 %, terwijl de correlatie amper 0.50 is.

- Modevaluatie van de winterperiode 94/95 (90 dagen) levert kwalitatief dezelfde resultaten op als van de 12-daagse periode. Alleen de correlatie van de dag-3 prognose van het ECMWF-model is beduidend minder.

- Voor zowel het 12-daagse tijdvak als de winterperiode 94/95 zijn ook de neerslagprognoses voor Nederland geverifieerd. In het algemeen zijn de verwachtingen van het HIRLAM en het RACMO voor Nederland beduidend beter dan voor de Belgische Ardennen en van een vergelijkbare kwaliteit als de verwachtingen van het UKMO-model. De regionale modellen geven alle een geringe overschatting van de neerslag in Nederland. Zowel voor wat betreft de standaarddeviatie van de fout als de tijdscorelatie zijn de prognoses van de regionale modellen voor Nederland beter dan de ECMWF-verwachtingen.

- De neerslagverificatie voor Nederland, een gebied zonder noemenswaardig reliëf, is toegevoegd om na te gaan of de orografie, zoals die in de verschillende modellen wordt gebruikt, veel invloed heeft op de gemodelleerde neerslag. Uit de resultaten van de neerslagverificatie voor Nederland en de Belgische Ardennen blijkt dat het effect van de orografie op de neerslag sterk modelafhankelijk is. Het grootste contrast in verwachte neerslag tussen gebieden met veel en weinig reliëf wordt berekend door het ECMWF-model. Dit contrast is veel minder sterk aanwezig in de verwachte neerslag van het HIRLAM.

## **Appendix A: Modelconfiguraties**

### **ECMWF-model:**

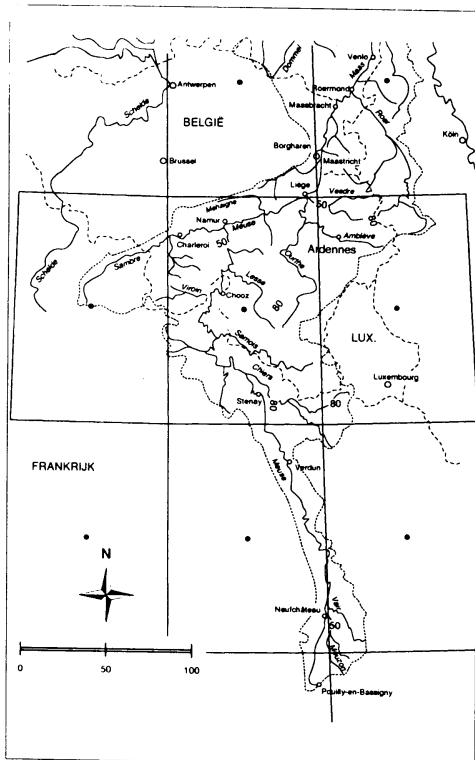
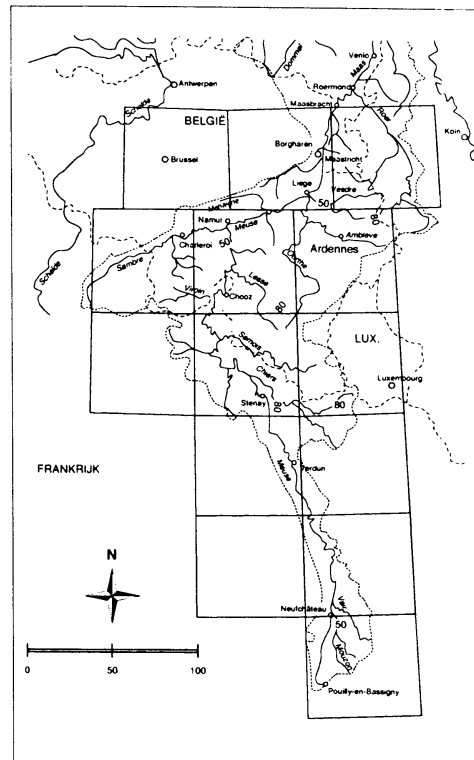
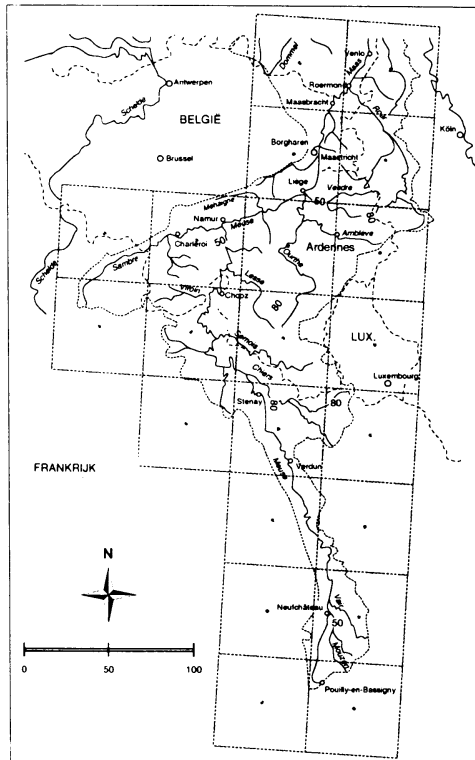
Sinds april 1994 worden de ECMWF-neerslagbulletins voor de stroomgebieden van de grote rivieren rechtstreeks afgeleid uit de neerslagvelden berekend op het operationele modelrooster. In deze studie is gebruik gemaakt van dezelfde velden. De operationele T213-versie van het ECMWF-model is geformuleerd op een gereduceerd Gaussisch rooster. Gaussisch impliceert dat de roosterpunten langs een meridiaan verdeeld zijn volgens een Gaussisch quadratuur; gereduceerd betekent dat het aantal punten langst een breedtegraad afneemt naarmate de breedtecirkel dichter bij de pool ligt om te voorkomen dat nabij de pool de roosterpunten te dicht op elkaar komen te liggen. Figuur 11 geeft de overdekking weer van het stroomgebied van de Maas door het operationele ECMWF-modelrooster.

### **HIRLAM/RACMO:**

De operationele versie van het HIRLAM op het KNMI rekent 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 wordt gebruikt door het RACMO. De verschuiving is uitgevoerd om de 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 11 toont de overdekking van het stroomgebied van de Maas door het HIRLAM/RACMO-rooster.

### **UKMO:**

Neerslagprognoses van de regionale modelversie van het UKMO-model komen twee maal per dag binnen op het KNMI. De modelverwachtingen tot 36 uur vooruit worden van het oorspronkelijke modelrooster geïnterpoleerd naar een tamelijk grof rooster met een resolutie van 1.25°x1.25° alvorens de gegevens naar het KNMI verzonden worden. Dit rooster is eveneens afgebeeld in figuur 11.



Figuur 11: 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 (gereduceerd Gaussisch). De onderste figuur toont het UKMO-rooster.

## Appendix B: Algoritmen voor neerslagverificatie

Om de neerslag van de diverse modelruns voor de Belgische Ardennen te berekenen is een gewogen middeling over de relevante roosterzellen 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 het reliëf heeft veel invloed op de hoeveelheid neerslag; dit is niet alleen in werkelijkheid het geval maar ook in modelbeschrijvingen. Ongewogen middeling van neerslag over roosterzellen, die dikwijls maar gedeeltelijk bijdragen aan de overdekking van een vaak grillig gebied zoals het stroomgebied van de Maas, leidt tot onnauwkeurige modeluitspraken.

Van ieder van de drie modellen, HIRLAM (of RACMO), ECMWF en UKMO zijn de gewichtsfactoren voor overdekking van de Belgische Ardennen handmatig bepaald. Dit is een tamelijk omslachtige methode. Het grote nadeel is tevens, dat zodra de modelresolutie verandert, of - in het geval van het HIRLAM - het modelrooster verschuift, de afgeleide gewichtsfactoren opnieuw bepaald moeten worden. Daarom is voor de verificatie van neerslag boven Nederland een ander algoritme ontworpen.

In plaats van gewichtsfactoren toe te kennen aan de relevante roosterzellen om zo de correcte gebiedsoverdekking in rekening te brengen is voor iedere stationslocatie telkens de modelneerslag bepaald door middel van bi-lineaire interpolatie vanuit de vier omliggende roosterpunten. Vervolgens zijn voor alle stations die binnen een a priori omschreven gebied liggen de waargenomen en gemodelleerde neerslag gemiddeld, alvorens de statistische analyse uit te voeren. Het voordeel van deze methode is dat het niet nodig is handmatig de gewichtsfactoren van de overdekking uit te rekenen. Als de verdeling van stations homogeen is over het gebied (wat overigens niet zonder meer wil zeggen dat de stationsselectie representatief is voor het gebied), wordt de gemodelleerde neerslagverdeling gelijkmatig in rekening gebracht. In dat geval geven beide algoritmen hetzelfde resultaat. Bijkomend voordeel is dat de precieze ligging van de roosterzellen of de modelresolutie niet van belang zijn; ieder model kan op dezelfde wijze geverifieerd worden zodat resultaten van verschillende modellen rechtstreeks met elkaar vergeleken kunnen worden. Uiteraard moet het gebied voldoende groot gekozen worden om de variabiliteit in de waargenomen neerslag op sub-grid schalen te elimineren.

## Appendix C: December 1993

	tot	gem	std	mae	rms	bias	stderr	corr
Waarnemingen	324	9.8	8.3					
ECMWF +12 tot +36	244	7.4	7.1	4.3	5.6	-2.4	5.1	0.80
ECMWF +36 tot +60	286	8.7	9.4	5.0	6.4	-1.1	6.2	0.76
ECMWF +60 tot +84	200	6.1	5.5	6.6	8.4	-3.7	7.6	0.46
ECMWF +84 tot +108	187	5.7	4.7	6.1	8.9	-4.1	7.9	0.36
RACMO +06 tot +30	248	7.5	8.0	4.4	5.8	-2.3	5.4	0.78
HIRLAM +06 tot +30	227	6.9	6.5	4.5	6.0	-2.9	5.3	0.77
HIRLAM +12 tot +36	221	6.7	5.0	4.2	6.0	-3.1	5.2	0.81
UKMO +06 tot +30	292	8.9	8.4	3.5	4.6	-0.9	4.5	0.85
RACMO verificatie-run	231	7.0	7.6	4.3	5.6	-2.8	4.9	0.82
HIRLAM verificatie-run	167	5.1	4.5	5.9	7.8	-4.7	6.2	0.67
tot:	totale hoeveelheid neerslag [mm]							
gem:	gemiddelde hoeveelheid neerslag [mm/dag]							
std:	standaard deviatie [mm/dag]							
mae:	gemiddelde absolute afwijking [mm/dag]							
rms:	root-mean-square afwijking [mm/dag]							
corr:	correlatie met waarnemingen							
bias:	gemiddelde afwijking [mm/dag]							
stderr:	standaard deviatie van de fout [mm/dag]							

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

Tabel 2 van dit rapport vervangt tabel 2 gepresenteerd in MA93. Alleen het UKMO-resultaat is veranderd, nadat onlangs is gebleken, dat de verwachtingen van het UKMO-model in die studie met ongeveer 50 % zijn onderschat. Het nieuwe resultaat is verkregen door alle UKMO-prognoses in de 33-daagse periode met een factor 2 te vermenigvuldigen, wat bij benadering het juiste resultaat zal geven. Het gecorrigeerde UKMO-resultaat is beter dan de resultaten van de andere modelprognoses. Voor de volledigheid is ook een persistentie-verwachting berekend voor de 33-daagse periode. De autocorrelatie van de waargenomen reeks is 0.21, terwijl de standaarddeviatie van de fout 10.4 mm/dag bedraagt.

De fout in de gemiddelde afwijking van het UKMO-resultaat in MA93 is het gevolg van een merkwaardige interpretatie fout. Op zeker moment in 1993, in ieder geval vóór december, is in Bracknell de accumulatie-tijd van het neerslagveld van 6 uur naar 3 uur teruggebracht, althans in de velden die werden uitgegeven op 1.25°x1.25° -resolutie. De velden die in ASCII-formaat worden verzonden hebben ieder een eigen code, waarvan de betekenis in een externe tabel kan worden opgezocht. Bij iedere verandering dient de tabel op aanwijzing van Bracknell aangepast te worden. Dit is in dit geval echter pas veel later gebeurd. Bij aankomst op het KNMI vindt een conversie plaats naar een GRIB-bericht, waarbij de GRIB-sleutels aan de hand van de externe tabel worden ingevuld. Deze conversie heeft maandenlang plaatsgevonden aan de hand van een incomplete tabel, waardoor de neerslagsommen van 0300, 0900, 1500 en 2100 UTC niet werden overgenomen. De accumulatie-tijd van de neerslag voor de vier resterende tijdstippen stond helaas niet in het GRIB-bericht vermeld. Om dergelijke fouten te vermijden zou het beter zijn als de sleutel samen met het bericht verzonden wordt.



## Referenties

Christensen, J. H. and E. van Meijgaard, 1992:  
On the construction of a regional atmospheric climate model;  
Technisch rapport 147, KNMI.

Gustafsson, N., (ed.) 1993:  
HIRLAM 2 Final Report; Technical Report No. 9.,  
SMHI, Norrköping.

KMI, 1995  
Maandbericht klimatologische waarnemingen, januari 1995:  
een uitgave van het KMI van België.

Meijgaard, E. van, 1994:  
Evaluatie van neerslagprognoses van numerieke modellen  
voor de Belgische Ardennen in december 1993;  
Technisch rapport 169, KNMI.

Bleichrodt, G., et al, april 1994:  
"De Maas slaat toe ...";  
verslag hoogwater Maas december 1993,  
Rijkswaterstaat, directie Limburg.

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.

Wichers Schreur, B. 1993:  
Numerieke weersverwachtingen met het HIRLAM:  
Moet ik dat geloven?;  
Meteorologica 2, no. 4, p. 38-42.

## Nawoord

Neerslagegegevens zijn in een spreadsheet ingevoerd door Henk van Oel. Waardevolle suggesties van Kees Kok, met betrekking tot de statistische interpretatie van de modelprognoses, zijn in het rapport verwerkt.