

Waarschijnlijkheidsverwachtingen met ensembletechnieken in de meteorologie

Robert Mureau en Marcel Bult

Voorspelbaarheidsgroep
KNMI, Wilhelminalaan, De Bilt
Telefoon 030-206755
E-mail: mureau@knmi.nl

Referaat

Weersverwachtingen verschillen van dag op dag in betrouwbaarheid. Er is behoefte aan informatie over de onzekerheid in de verwachting. In dit artikel wordt de ensembletechniek besproken, die de meteoroloog in staat stelt beter in te schatten wat de kansen van toekomstige ontwikkelingen van het weer zullen zijn.

Inleiding

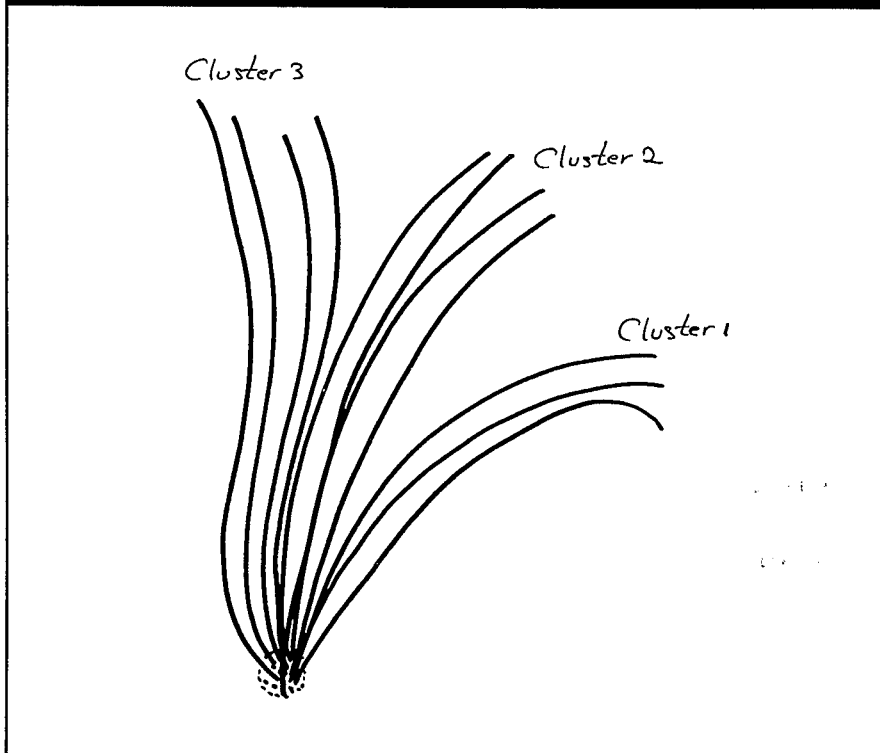
Het maken van een weersverwachting is een ondankbaar beroep. Een hele reeks van goede verwachtingen kan plotseling onderbroken worden door een aantal slechte. De rechtvaardiging die de meteoroloog desgevraagd hiervoor geeft - de atmosfeer is een zeer complex systeem, dat moeilijk voorspelbaar is - leidt nogal eens tot ongelof. Men denkt al gauw dat de meteoroloog zich er wel erg gemakkelijk van af maakt. Ten onrechte. De chaostheorie vertelt ons dat het weer moeilijk voorspelbaar is en dat altijd zal blijven, hoe goed de modellen en hoe groot de computers ook zullen worden. De gemiddelde kwaliteit van de weersverwachting zal blijven verbeteren, maar tegelijkertijd weten we dat, af en toe, grote "missers" mogelijk blijven. De vraag is echter of we nu wel het maximale uit de weersverwachting halen. Kan de professionele gebruiker, in dit geval in de landbouw, niet zijn informatie over het weer in een andere vorm gepresenteerd krijgen zodat het nut van zo'n verwachting omhoog gaat.

Daar gaat dit stuk over. Na een korte inleiding over het algemene begrip voorspelbaarheid en vooral onvoorspelbaarheid, zullen we ingaan op een moderne techniek in de meteorologie die ons in staat stelt kansen af te leiden op toekomstige weersgebeurtenissen. We zullen proberen aan te tonen dat een kansverwachting meer en betere informatie geeft dan een enkele, zogeheten, deterministische verwachting.

Voorspelbaarheid

De chaostheorie. Het is al bijna een mode-woord geworden. Niet weinigen verdenken de meteoroloog ervan zich een beetje hierachter te verschuilen, en dat is, zoals reeds gezegd, volledig ten onrechte. Het was nota bene een meteoroloog die in de 50-er en 60-er jaren de chaostheorie "ontdekte". Edward Lorenz zag, tot zijn verrassing, dat wanneer hij in zijn weermodel een zeer kleine verandering aanbracht, dit na verloop van tijd leidde tot totaal ander "weer". Hoe kleiner de wijziging, hoe langer het duurde voordat het verschil zichtbaar was, maar het verrassende was dat een wijziging in een waarneming van de orde van een aantal cijfers achter de komma al binnen een aantal weken tot dramatische verschillen leidde. Weken! Niet jaren! Lorenz zag onmiddellijk in wat dit betekende. Immers we kunnen nooit in onze echte wereld waarnemingen met die grote nauwkeurigheid doen, en zeker niet over de gehele aarde tegelijkertijd. Lorenz kwam tot de conclusie dat we in de praktijk gemiddeld nooit verder dan 1 á 2 weken vooruit een zinvolle weersverwachting kunnen maken. Altijd zouden we te maken hebben met het feit dat kleine onnauwkeurigheden in onze metingen (temperatuur, wind, luchtdruk) al binnen enkele dagen tot grote onnauwkeurigheden in de verwachting leiden, hoe goed ons weermodel, en hoe groot onze computer ook is. Dit verschijnsel is bekend geworden onder de naam "vlindereffect". Het werk van Lorenz is pas later in andere takken van de

Figuur 1 - Een schematische weergave van een ensemble van verwachtingen uitgaande van verstoorde begintoestanden.



agro informatica 8(2) / april 1995

wetenschap herontdekt en kreeg toen zijn officiële naam van chaostheorie.

Dit heeft grote gevolgen voor de weersverwachting. Want het betekent dat, zelfs wanneer we een perfect weersvoorspelmodel hebben, en een goed waarnemingsnetwerk, we toch nooit verder dan 1 à 2 weken vooruit het weer met een zekere betrouwbaarheid kunnen voorspellen. Soms misschien langer, maar soms ook korter. En dat is precies wat we zien. Het is belangrijk om op te merken dat de betrouwbaarheid van een verwachting uiteraard niet abrupt afneemt, maar geleidelijk minder wordt. Er is soms op een voorspelbaarheidstermijn van 14 dagen nog wel enige overeenkomst te bespeuren tussen de modelverwachting en de werkelijkheid, maar de bruikbaarheid van zo'n verwachting is gering. De huidige stand van zaken in de meteorologie is dat we, gemiddeld, tot ongeveer 6 dagen vooruit een zinvolle verwachting kunnen maken.

Die termijn van 6 dagen is een grote verbetering ten opzichte van het verleden, en is voornamelijk bereikt door de computer. Met de ouderwetse handmethode kwamen in de jaren '60 niet verder dan 2, soms 3 dagen vooruit. De vraag die de meteorologie

zichzelf stelt is of we niet nu al te maken hebben met onze voorspelbaarheidshorizon, of dat modelverbeteringen een verdere verbetering nog mogelijk kunnen maken. Dat is op dit moment een open vraag, waar we hier verder niet op in zullen gaan. Uit het voorafgaande is echter wel duidelijk dat we fundamenteel te maken hebben met een onzekerheidsprobleem, dat niet veroorzaakt wordt door een gebrekkig computermodel (of meteoroloog).

Dit alles betekent dat een uitspraak als: over 4 dagen vanaf nu gaat het om kwart over twee 's middags regenen, waarna het om vijf voor vier de zon weer gaat schijnen, nooit waargemaakt kan worden. De kans dat die uitspraak goed is, is zeer gering. Hiermee is meteen het begrip kans geïntroduceerd. We stellen hier dat de meest geschikte manier van presenteren, die het best met het probleem van de onzekerheid omgaat, een kansverwachting is, in tegenstelling tot de zogenaamde deterministische verwachting waarbij 1 uitspraak gedaan wordt. Kansverwachtingen zijn niet nieuw. Neerslag en in sommige gevallen ook wind worden ook nu al, niet zonder succes, verwacht in de vorm van kansen. Hierbij is de kans echter afgeleid

met statistische technieken. De volgende methode gebruikt een zogenaamde ensembletechniek die we allereerst zullen bespreken en waarna we een tweetal voorbeelden zullen geven.

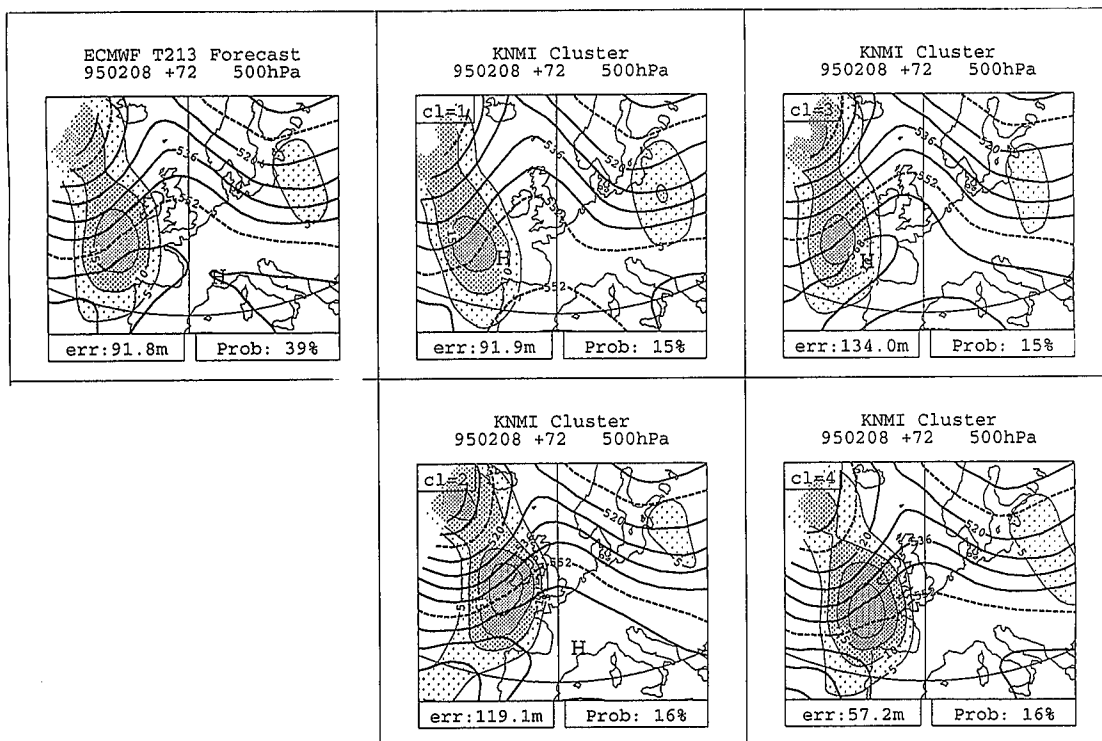
Ensembletechniek

De ensembletechniek is in principe zeer eenvoudig. We hebben hierboven gezien dat kleine onnauwkeurigheden in de beginsituatie in een weermodel tot grote onnauwkeurigheden in de verwachting kunnen leiden. Waarom niet zelf verstoringen aan de begintoestand toevoegen, en kijken hoe deze doorwerken in de verwachting. Deze verstoringen moeten dan wel representatief gekozen worden voor realistische waarnemingsfouten. Dit geeft zo niet alleen een indruk van de onzekerheid maar het geeft ook de kans op alternatieve mogelijkheden die kunnen optreden. Bij een dergelijke ensembletechniek wordt niet 1 verwachting gemaakt, maar een aantal (enige tientallen tot zelfs enige duizenden). Dit is schematisch weergegeven in figuur 1.

Iedere verwachting gaat uit van dezelfde basis- begintoestand, dat wil zeggen de toestand van de atmosfeer zoals waargenomen op een bepaalde tijd. De verwachtingen verschillen slechts doordat bij die begintoestand steeds andere, voor waarnemingsfouten representatieve, verstoringen zijn toegevoegd. Zo wordt een hele bundel verwachtingen verkregen, waarbij bijvoorbeeld de spreiding van het ensemble een maat is voor de onzekerheid. Maar ook kunnen mogelijke extreme verwachtingen gelokaliseerd worden in het ensemble; wanneer er van de honderd leden van het ensemble er bijvoorbeeld 10 zijn die, 7 dagen vooruit, een overgang naar een extreem natte periode signaleren, of een temperatuur onder het vriespunt aangeven, kan dat een belangrijke waarschuwendende functie hebben.

Er zijn een aantal praktische problemen. Allereerst is de methode duur. Een volledige verwachting met het meest geavanceerde weersvoorspelmodel (van het ECMWF, het Europese Centrum voor Middellange termijn Verwachtingen in Reading, Groot Brittannië) kost ca. 2 1/2 uur rekentijd op

Figuur 2. Een ensembleverwachting voor drie dagen vooruit van de bovenstroming van de atmosfeer



een Cray C90 computer, de grootste ter wereld. Het model moet dus vereenvoudigd worden, en/of de verstoringen geoptimaliseerd. Er zijn op het KNMI 2 ensemblemethoden in gebruik, beide in een semi-experimentele semi-operationele fase. Er is een methode voor de korte termijn, ontwikkeld door het KNMI zelf, en er is een ensemblemethode voor de middellange termijn, die geproduceerd wordt door het bovengenoemde ECMWF. Beide methoden gebruiken verschillende benaderingen op het boven beschreven principe. Het ECMWF kiest voor sterk geoptimaliseerde verstoringen en een zo realistisch mogelijk voorspelmodel. Het ensemble is daarom noodzakelijkerwijs klein. De KNMI methode dat beter voor de korte termijn werkt kiest voor een vereenvoudigd model maar kan daarom gebruik maken van een groter ensemble. Dit laatste maakt de statistiek betrouwbaarder.

De korte termijn verwachting

Het op het KNMI afgeleide ensemble voor de korte termijn bestaat uit 2000 leden. De toepassing wordt geïllustreerd aan het volgende voorbeeld van een typisch korte ter-

mijn situatie. Meteorologen kijken naar allerlei grootheden, waarvan de bekendste zijn temperatuur, neerslag, luchtdruk en wind. Met name de bovenstroming (de stroming op 5 km hoogte) is voor de meteoroloog van groot belang omdat de stroming op deze hoogte de weersystemen stuurt.

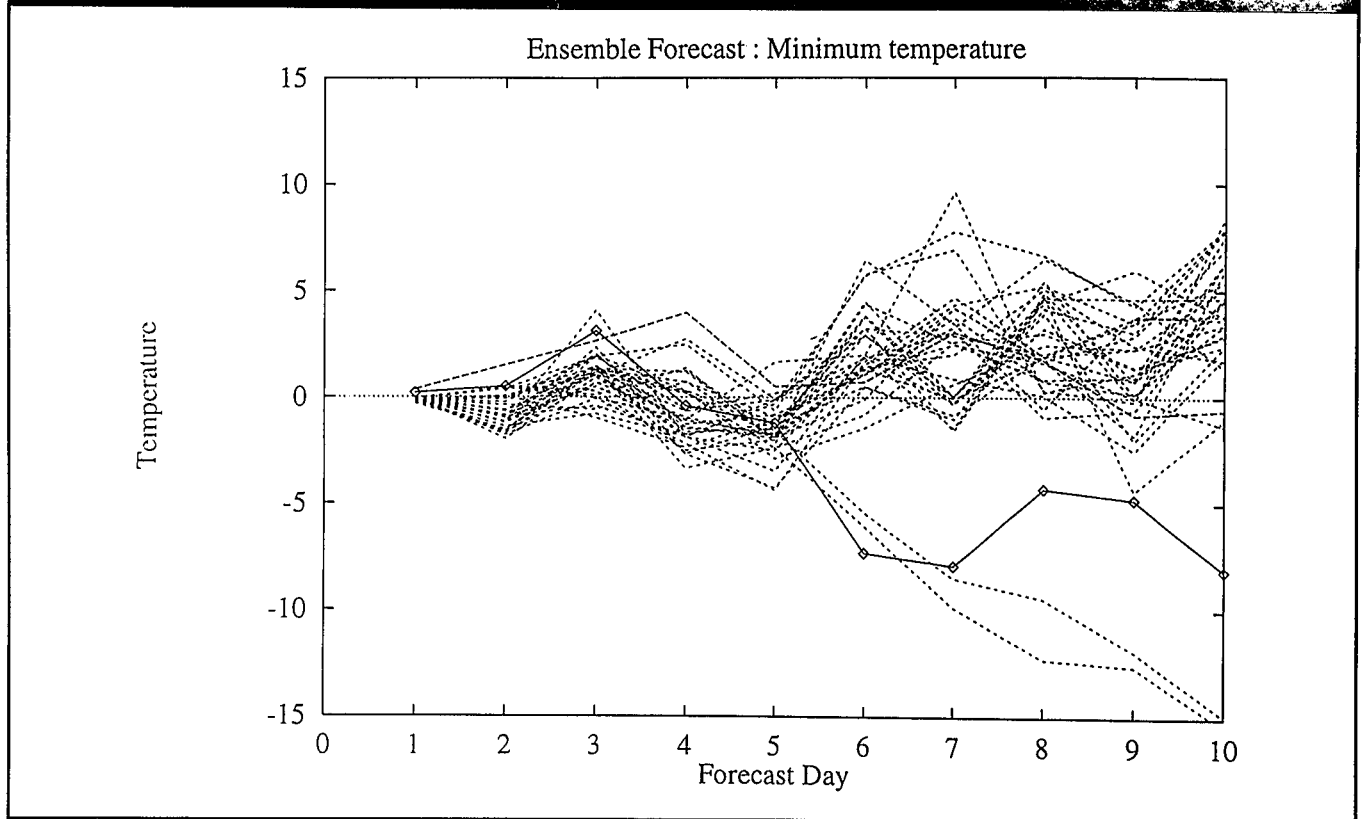
In Figuur 2 is een ensembleverwachting te zien van de bovenstroming, opgesteld op woensdag 8 februari voor zaterdag 11 februari 1995, een verwachting dus voor drie dagen vooruit. Links bovenaan in de figuur staat de officiële verwachting, dat wil zeggen dit is de enige informatie voor de meteoroloog wanneer hij niet de beschikking heeft over het ensemble. De stroming is langs de getrokken isolijnen, van west naar oost. De gearceerde gebieden geven de verticale beweging aan in de atmosfeer, hetgeen een goede maat is voor neerslag. De uiteindelijk opgetreden fout in de verwachting staat links onderaan vermeld (hoe kleiner de waarde hoe beter de verwachting). Wat leert de meteoroloog hieruit?

Allereerst heeft hij nu niet 1 verwachting maar een set van alternatieven (clusters ge-

heten) tot zijn beschikking, ieder met zijn eigen kans, die bij iedere verwachting rechtsonderaan vermeld staat. De kans dat de officiële verwachting de waarheid het best benadert is in dit geval dus 39%. De overige verwachtingen verschillen in sterkte van de rug van hoge luchtdruk (vergelijk de ligging van 552 contourlijn in de verschillende plaatjes), en de positie van het regengebied, dat ten westen van Engeland ligt, of boven Engeland. Hij kan dus aflezen hoe de verwachting kan variëren en met welke kans. In dit voorbeeld bleek de verwachting rechtsonderaan (cluster 4, 16%) het dichtst bij de waarheid. Deze maakt de rug boven West-Europa zwakker dan de officiële verwachting en legt het regengebied dichterbij ons land. In werkelijkheid lag het regengebied zelfs nog verder naar het oosten tot boven de Noordzee, en begon het al aan het eind van de middag van de 11e februari te regenen. Uiteraard weten we niet vantevoren welke van deze verwachtingen het beste is. Maar de methode drukt zowel de onzekerheid van de verwachting uit in een getal en het geeft ook kansen op alternatieven.

Een ervaren meteoroloog houdt overigens rekening met dit soort onzekerheden. Dit

Figuur 3 - Een ensembleverwachting voor 10 dagen vooruit van de maximum temperatuur



agro informatica 8(2) / april 1995

gebeurt nu echter op een subjectieve manier. De ensemblemethode berekent de kansen op een objectieve manier.

De middellange termijn verwachting

Voor de middellange termijn kunnen soortgelijke alternatieve verwachtingen gemaakt worden. Op deze termijn gaat het er niet zozeer om of we de precieze timing van een frontenpassage correct voorspellen, maar meer om het op tijd signaleren van een trend of zelfs van een weeromslag. De ECMWF-methode gebruikt het meest realistische model dat haalbaar is onder de omstandigheden, kiest een optimaal soort versterking en herhaalt de verwachting 32 maal. Het ensemble lijkt klein, maar het kost evenveel rekentijd als een run met het volledige computermodel: circa 2 uur op de Cray C90. Meer leden in het ensemble zou dus onpraktisch zijn. Alle leden bestaan uit 10-daagse verwachtingen, die voorbij de termijn van 5 dagen gaan die het KNMI nu naar buiten brengt. Tot op dit moment wordt er nog vrij weinig gebruik

gemaakt van de verwachting tot 10 dagen vooruit, maar juist de ensemblemethode biedt de ideale gelegenheid om langer van te voren in te schatten wat de kansen zijn van toekomstige ontwikkelingen van het weer.

Het middellange termijn ensemble kan op een soortgelijke manier gepresenteerd worden als het korte termijn ensemble: in groepen van verwachtingen die op elkaar lijken.

In Figuur 3 is een afgeleid product weergegeven, een verwachting van de minimum temperatuur gebaseerd op de begintoestand van 7 februari 1994. We zien een bundel van 32 verwachtingen voor tien dagen vooruit (dag 0 is 7 februari 1994). Het lijkt alsof er na de vijfde dag slechts twee mogelijke temperatuurwaarden zijn voor De Bilt, hetzij warm (+4 graden), hetzij zeer koud. De getrokken lijn geeft de waargenomen minimum temperatuur in de Bilt weer. Er vindt na vijf dagen een aanzienlijke temperaturomslag plaats, waarbij de minimum temperatuur zakt tot waarden

ver beneden het vriespunt (tussen de -4 en -8 graden). Deze omslag werd gemist door de officiële verwachting en door vrijwel alle leden van het ensemble. Het interessante is echter dat 2 van de 32 leden een zeer duidelijke aanwijzing geven dat er een kans op een omslag is.

Discussie

Kleine onnauwkeurigheden in de metingen kunnen leiden tot grote onzekerheden in de weersverwachting. Hoe langer de termijn, hoe groter de fouten. Het is daarom van groot belang ook die onzekerheden te vermelden bij het uitbrengen van de verwachting, samen met eventueel bekende alternatieve mogelijkheden. Een kansverwachting is hiervoor de geschikte vorm. Die geeft de kans op het optreden van een bepaalde gebeurtenis (neerslag), of de overschrijdingskans van een bepaalde extreme gebeurtenis (nachtvorst). De ensemblemethode is bij uitstek geschikt om te schatten wat de kansen op toekomstige (extreme) ontwikkelingen van het weer zullen zijn.