

CONCEPTUELE MODELLEN

Satellietmeteorologie eindelijk volwassen

AB MAAS (KNMI)

Hoewel Van Dale's Groot Woordenboek der Nederlandse taal het woord satellietmeteorologie (nog) niet in zijn nieuwste uitgave heeft opgenomen is het voor de vakbroeders en zusters al jaren een begrip. Zonder weersatellieten zou de dagelijkse weerpraktijk voor de meteoroloog veel lastiger zijn. De satellietfoto is een onmisbaar stuk gereedschap geworden voor een goede verwachting.

Weersatellieten zijn al dertig jaar een normaal verschijnsel in de ruimte. In de weerkamers van de diverse meteorologische instituten zijn satellietfoto's in die jaren onmisbaar geworden in het productieproces van de weersverwachting. Toch hebben satellietgegevens heel lang een relatief kleine rol gespeeld in het verwachtingsproces. De meteoroloog bepaalde zijn weerbeeld grotendeels op de conventionele manier, namelijk met de weerkaart en de gegevens van de bovenlucht, verkregen met behulp van radiosondes. De satellietfoto deed over het algemeen dienst als een bevestiging van zijn reeds eerder verkregen beeld van de weersituatie; veel van de informatie die het satellietbeeld leverde werd niet begrepen of niet gebruikt.

Mogelijke oorzaak van deze langzame start is de revolutionaire opkomst van de numerieke modellen in de meteorologie. De sterkste ontwikkelingen in dit vlak liepen parallel met de opkomst van de weersatellieten. De enorme vooruitgang die de modellen, vooral op het gebied van de verwachting voor de middellange termijn, veroorzaakten trokken veel van de aandacht en energie weg van de ontwikkelingen in het gebruik van weersatellieten. Nu het geleidelijk duidelijk wordt dat er een einde is aan de voorspelbaarheid van het weer dreigt de aandacht te worden verlegd naar, de politiek meer gevoelige, ontwikkelingen in de klimaatmodellen. De satellietmeteorologie verdient beter, zijn potentie tot het begrijpen en vastleggen van de atmosferische situatie bergt grote kansen in zich voor het verbeteren van vooral de korte termijn weersverwachtingen.

Gelukkig is er de laatste tijd een kentering ten goede merkbaar. Vooral op het gebied van de wolkenclassificatie door middel van satellietfoto's worden nationaal en internationaal veel activiteiten ontwikkeld (zie ook de artikelen van Arnout Feijt in

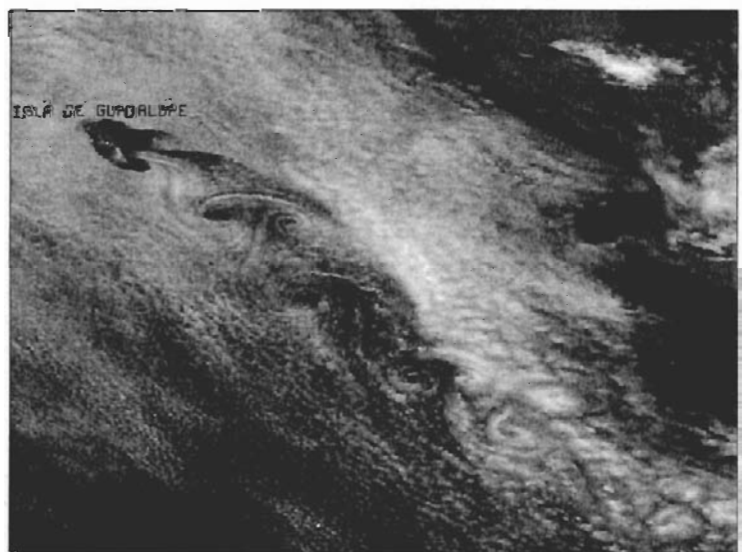
Meteorologica nr 1 en 2 van dit jaar)

DE DYNAMIEK VAN DE ATMOSFEER

Luchtbewegingen in de atmosfeer bepalen ons weer. Luchtstromingen en wervels kennen afmetingen van enkele millimeters (de beweging bij een vlindervleugel) tot duizenden kilometers. Turbulente luchtbewegingen bepalen over het algemeen de onstuimigheid van het weer. Vooral in de onderste laag van de atmosfeer, de grenslaag, is turbulentie dominant aanwezig. Maar ook verder in de troposfeer komt turbulentie algemeen voor. Het verschijnsel turbulentie wordt nog steeds niet goed begrepen. Het wordt wel als het laatste probleem van de klassieke natuurkunde beschouwd. Vanwege de enorme variatie in ruimte en tijd zijn deze dynamische processen ook moeilijk in detail waar te nemen en vast te leggen. Weermodellen met hun minimale horizontale roosterpuntafstand van 50 km kunnen dat maar gebrekkig. Met synoptische systemen, in de grootteorde van 1000 km, lukt het nog prima, maar met mesoschaal systemen (afmeting circa 100 km) hebben ze moeite om maar niet te spreken van buien of turbulentie. Wel is al veel voortgang geboekt met simulatie methoden zoals de "Large-Eddy-Simulation", waarbij uit grote wervels de turbulentie en de wolkenvorming kan worden berekend op

kleine schaal. De kennis die op deze manier wordt opgedaan, wordt weer gebruikt voor een betere formulering van de weermodellen.

Ook de conventionele methode van analyseren van de atmosfeer kent vergelijkbare problemen als de weermodellen. Waarnemingsstations aan de grond liggen ook op vrij grote afstand van elkaar. In het gunstigste geval vele tientallen kilometers, boven zee meestal het tienvoudige. Radiosonde stations liggen vaak zelfs meer dan 1000 km uit elkaar. Weersatellieten kennen die problemen niet. Verschijnselen met een minimale horizontale doorsnede van één tot zeven kilometer, afhankelijk van de hoogte van de satelliet en het type apparatuur, worden door de sensoren geregistreerd. Juist dynamische verschijnselen zijn op wolkenfoto's goed te zien. Niet alleen op beelden in het bereik van het zichtbare licht, maar vooral ook in het gebied van het infrarood is de verplaatsing van wolken en waterdamp, maar ook de ontwikkeling en oplossing van bewolking beter waar te nemen dan op de weer-



Figuur 1. Zichtbaarlichtfoto van Von Karmanwervels bij het eiland Guadalupe. Amerikaanse Goes 9 satelliet 26 juli 1996, 1845 UTC.

kaarten. Turbulente bewegingen van grotere afmeting worden door de satelliet moeiteloos getoond. Welke meteoroloog kent niet de prachtige patronen van de von Karmanwervels achter eenzame eilanden (zie figuur 1) of de fraaie buienstraten en honingraatpatronen in koude, onstabiele lucht.

De door wolken uitgestraalde energie geeft een beeld van de positie, maar ook van de tophoogte van de bewolking. Animatie van de beelden geeft een uitstekende indruk van de verplaatsing en de ontwikkeling van de bewolking en, in combinatie met grond- en radiosonde-waarnemingen, van de verplaatsing en ontwikkeling van weersystemen. Verplaatsing van niet verzadigde, dus wolkenloze lucht is uiteraard niet zonder meer te zien al zijn er wel mogelijkheden, zoals het volgen van cumulusbewolking in de stroming. Radarapparatuur aan boord van de Europese ERS-satelliet, de z.g. scatterometer, is in staat wind op het aardoppervlak te meten door middel van reflecties op zeegolven van uitgezonden straling. Verder zijn er al ver gevorderde plannen om satellieten uit te rusten met een Doppler Wind Lidar (DWL), waarmee met behulp van het meten van de verstrooiing van elektromagnetische straling op aerosolen een verticaal windprofiel in de atmosfeer kan worden bepaald.

NUMERIEKE MODELLEN EN DE SATELLIET

In de ontwikkeling van numerieke modellen is de laatste tientallen jaren veel wetenschappelijk werk gestopt. Atmosferische processen worden steeds nauwkeuriger omschreven en de berekeningen worden steeds beter. Het gevolg is dat het voor de meteoroloog steeds moeilijker wordt de uitkomsten van het model in zijn fysische en dynamische achtergrond te begrijpen. De meteoroloog is ook de "skill" kwijt geraakt om zijn kennis van de dynamische meteorologie in de dagelijkse praktijk toe te passen omdat de modellen dat van hem of haar hebben overgenomen. Maar niet alleen het brein van de meteoroloog kent zijn beperkingen, ook het model (eveneens mensenwerk) is verre van perfect in zijn verwachtingen. Elk gridpunt van het model wordt als representatief voor zijn omgeving beschouwd. In vroegere modellen met roosterpuntsafstanden van zo'n 200 km was dat een probleem omdat veel weersverschijnselen zich op veel kleinere schaal voordoen. De huidige

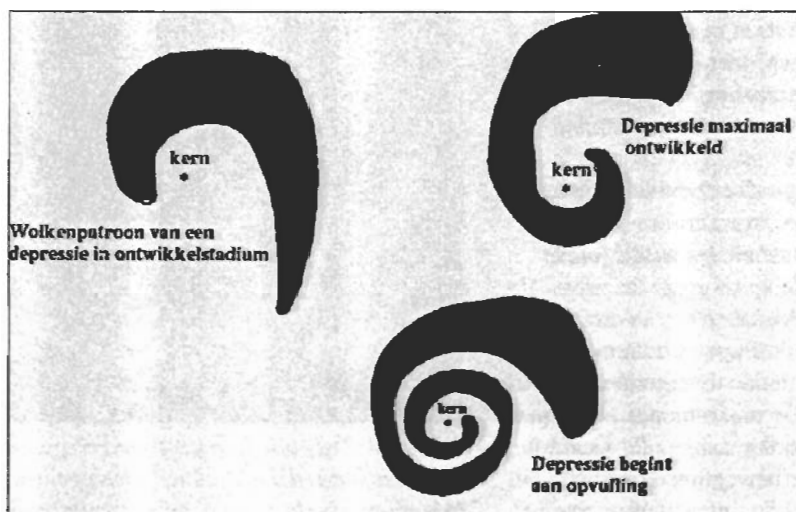
fijnmaziger modellen beschrijven hun omgeving weliswaar beter, maar zijn door hun gecompliceerdheid weer gevoeliger voor onvermijdelijke meetfouten in de waarnemingen.

Een andere methode in de meteorologie is de zogenaamde lagrangeaanse benadering waar bij de veranderingen in de atmosfeer niet op dezelfde plaats worden bekeken, maar waarin het luchtdeeltje wordt gevolgd in zijn bewegingen. Deze benadering sluit veel meer aan bij het vermogen van de mens om patronen te herkennen en te volgen. In het begin van deze eeuw werd de lagrangeaanse methode dan ook algemeen gebruikt, de gehele frontentheorie van de zogenaamde "Noorse School" is hierop gebaseerd. Nu de computermodellen steeds meer tegen de grenzen van hun mogelijkheden gaan lopen, groeit de belangstelling weer voor deze benadering als een poging om de computerverwachtingen aan te vullen of op hun kwaliteit te beoordelen. Satellietbeelden geven patronen weer van wat er in de atmosfeer gebeurt. Modeluitvoer doet dat maar ten dele, en dan nog in afgevlakte vorm. Uitzondering daarop zijn te patronen die zichtbaar gemaakt kunnen worden in de potentiële vorticeiteit op een goed gekozen isentropenvlak (zie hiervoor het artikel van Wim Verkley Meteorologica september '95). Wolken- en waterdamp patronen stellen de meteoroloog in staat de grond- en bovenluchtwaarnemingen tezamen met de berekening van de computer te vergelijken, op deze wijze de processen te begrijpen en de modeluitkomst op haar kwaliteit te beoordelen. Juist de combinatie van satelliet- en radardata, waarnemingen en modeluitvoer heeft in de operationele meteorologie te weinig aandacht gekregen.

Het is de Engelse professor Keith Browning geweest die dit in de jaren tachtig onderkende en de stoot gaf tot een internationaal samenwerkingsverband dat heeft geleid tot de uitgave van het boek "Images in weather forecasting" een standaardwerk waarin voor het eerst de combinatie tussen waarnemingen, modeluitvoer en remote sensingdata op een praktische manier is gemaakt. Ook het hoofd van de afdeling Satellietmeteorologie van het Oostenrijkse Meteorologische Instituut, dr. Veronika Zwatz-Meise, is al vele jaren bezig op dit gebied. Sinds een jaar is er een hecht samenwerkingsverband met het KNMI met als doel om ook in Nederland de satellietmeteorologie meer handen en voeten te geven en verder uit te diepen.

CONCEPTUELE MODELLEN

Het zijn vooral satellietbeelden die meteorologen hebben laten zien wat in theorie reeds bekend was, namelijk dat de dynamiek van de atmosfeer heel wat ingewikkelder is dan de "Noorse School" ons leert. Schiepen de Noren al enige orde in de chaos door van scheidingsgebieden van warme en koude lucht begripsmodellen te maken in de vorm van warmte- en koufronten, nu werd de behoefte steeds groter om ook van de belangrijkste andere verschijnselen zo'n conceptueel- of begripsmodel te hebben. Satellietfoto's tonen vele mesoschalige verschijnselen die nooit goed waren beschreven of als zodanig herkend, terwijl de bijbehorende weersverschijnselen wel degelijk relevant zijn. Figuur 2 toont zo'n conceptueel model van een zich ontwikkelende depressie, zoals die op gematigde breedte, vaak boven de Atlantische Oceaan, ontstaat. Deze wolkenpatronen en ontwikkelingen



Figuur 2. De wolkenpatronen in de verschillende stadia van ontwikkeling van een depressie.

dienen vergeleken te worden met de velden van dynamische parameters die het rekenmodel ons levert.

Dit zijn vooral de parameters die het meest verantwoordelijk zijn voor grootschalige stijging en daling van luchtmassa's en dus, uiteindelijk, voor de vorming of oplossing van bewolking. Zo is vorticeiteit, ontstaan door schering of kromming van de luchtstroming of door de draaiing van de aarde, verantwoordelijk voor veel ontwikkelingen in de atmosfeer; advectie van vorticeiteit zorgt namelijk voor divergerende of convergerende luchtstroming op een bepaald niveau, waardoor weer verticale luchtbewegingen ontstaan. Ook differentiële temperatuuradvectie zorgt voor dergelijke effecten. Hierna dient nog een vergelijking gemaakt te worden met de actuele grond- en boven luchtwaarnemingen. Begrips- of conceptuele modellen stellen de meteoroloog in staat een inschatting te maken van de dynamische en/of fysische ontwikkelingen en van de bijbehorende weersgesteldheid. De invoering van de meteorologische werkstations heeft dit ook technisch mogelijk gemaakt. Met een werkstation is het betrekkelijk eenvoudig om op het computerscherm de verschillende gegevens in één beeld te combineren. In het automatisch herkennen van conceptuele modellen zijn de eerste stappen al gezet.

PRAKTIJKVOORBEELD

De situatie van zondag 3 november 1996 18 uur UTC. Op de oceaan is een depressie volop in ontwikkeling. De foto, vergeleken met het conceptueel model (zie figuur 2 en 3), laat dit duidelijk zien.

Het koufront dat bij de depressie hoort ligt in bewolkingsgebied ten zuiden van de depressie. In deze bewolking is een verdikking waar te nemen wat duidt op een sterke intensivering van het front in dat, beperkte, gebied (zie figuur 4).

Boven in de troposfeer bevond zich een sterke westelijke straalstroom met enkele maxima, zogenaamde jetstreaks, onder andere aan de linkeruitgang van zo'n jetstreak komt lokaal sterke advectie voor van positieve scheringsvorticeiteit, dit leidt tot sterke horizontale divergentie boven in de troposfeer. De uitstromende lucht moet van onderen worden aangevuld waardoor sterke stijgende bewegingen ontstaan. Dit leidt tot plaatselijke intensivering van het koufront, jetversterking genoemd.

Vertaald naar het weer uit zich dat in veel

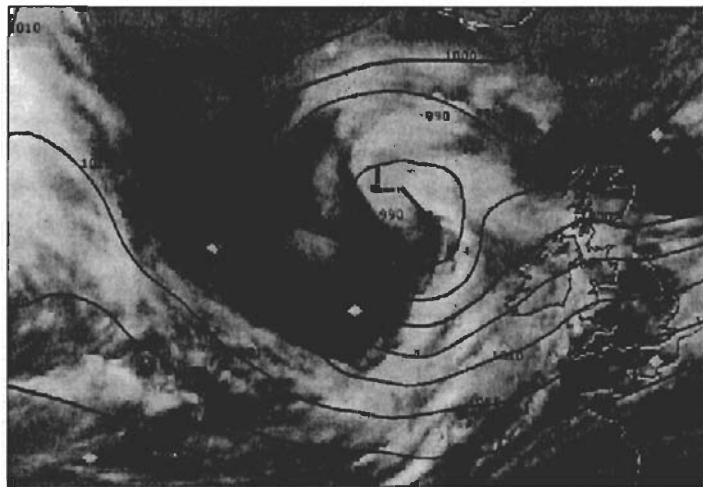
sterkere neerslag dan elders in het front wordt waargenomen. Door de kleinschaligheid hebben modellen moeite met de berekening van dergelijke verschijnselen. Op de foto is te zien dat de as van de berekende jet zich nog net onder de bewolking bevond. Dit is niet volgens het conceptuele model dat de as over het algemeen plaatst in de wolkenloze lucht. Vergelijkingen met windwaarnemingen van vliegtuigen, zogenaamde Aireps, leerden dat de jet-as inderdaad iets te zuidelijk was berekend, evenals de positie van de kern van de depressie. Dergelijke constatering stellen de meteoroloog in staat een inschatting te maken over de betrouwbaarheid van het model voor de prognose in zijn verwachtingsgebied.

CONCLUSIE

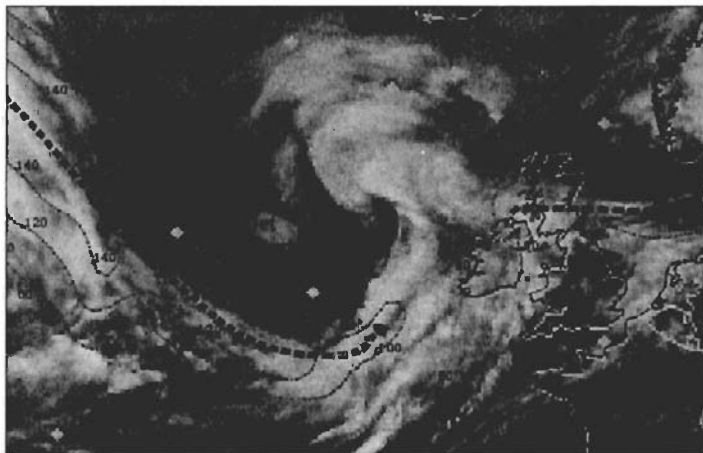
Het gebruik van satellietmeteorologie op de hiervoor beschreven wijze voegt veel toe aan de kwaliteit van de verwachting,

vooral voor de korte termijn (tot ongeveer 24 uur vooruit). Het zorgt niet alleen voor het vergroten van het inzicht in dynamische processen van de atmosfeer en dus voor een betere weercanalyse, het stelt de meteoroloog ook in staat een kwalitatieve inschatting te maken over de waarde van de modelprognose.

Ook voor het verbeteren van de invoerwaarden van de weersmodellen kunnen satellieten nog veel betekenen. Er moet echter heel wat gebeuren; niet alleen dienen de methoden nog verder te worden uitgebreid en verbeterd, ook opleidingen verdienen grote aandacht. Er valt op dit gebied, zowel nationaal als internationaal, een groot gebrek aan kennis te constateren onder de operationele meteorologen. Satellietmeteorologie is een volwassen discipline geworden en verdient niet alleen zijn volwaardige plaats in de meteorologie, maar ook als woord in de volgende uitgave van "Van Dale".



Figuur 3. Meteosat IR 3/11/96 18 UTC gecombineerd met een bijgestelde HIRLAM 12 UTC +6 prognose van de isobaren op zeeniveau. Aan het wolkenpatroon is te zien dat de depressie nog in een ontwikkelingsfase is, de bewolking is nog niet in gekruild. De kern van het laag ligt in de bewolkingshaak.



Figuur 4. Dezelfde foto als figuur 3, gecombineerd met de isotachen van het 250hPa vlak van het HIRLAM-model, drempelwaarde 100 knopen, getrokken om de 20 knopen. Isotachen zijn lijnen van gelijke windsnelheid. De as van de straalstroom (jet) is met een onderbroken pijl aangegeven. De verdikking van het koufront (zie pijl) bevindt zich aan de linker uitgang van de jet.