

Verbeteren van een weersverwachting door het handmatig ingrijpen in een numerieke weeranalyse

Astrid Manders (KNMI¹)

Numerieke weersverwachtingen worden steeds beter maar interpretatie en beoordeling door een meteoroloog, die hierbij de meest recente informatie uit satellietbeelden kan gebruiken, blijft noodzakelijk. Tegenwoordig is het mogelijk een numerieke weeranalyse aan te passen als de meteoroloog daartoe aanleiding ziet. Op basis van de aangepaste analyse kan een nieuwe verwachting worden berekend. In dit artikel wordt ingegaan op een geval van cyclogenese waarin deze techniek (achteraf) met succes is toegepast.

Ingrijpen in een analyse

Uit de literatuur zijn enkele gevallen bekend waarin is geprobeerd een weersverwachting te verbeteren door de numerieke weeranalyse handmatig aan te passen. De aanpassing wordt vastgesteld op basis van een vergelijking van potentiële vorticitetsvelden met waterdampbeelden. Voorbeelden waarin dit wordt toegepast vindt men in het artikel van Demirtas en Thorpe (1999).

Het succes bleek echter wisselend. Recentelijk zijn er echter goede resultaten geboekt met een iets andere aanpak: het maken van een korte-termijnensemble voor gevaarlijk weer. Hierbij kregen meteorologen de mogelijkheid om een aantal gebieden aan te wijzen waarin een kleine verandering zou kunnen leiden tot sterke wind of veel neerslag. Op basis van deze veranderingen werd een ensemble samengesteld, dat samen met het gewone ensemble een betere statistische verwachting gaf voor extreme weersomstandigheden (Homar et al. 2006). Dit resultaat geeft aan dat het inzicht van een meteoroloog toegevoegde waarde heeft, al is het misschien niet altijd mogelijk om een individuele verwachting te verbeteren.

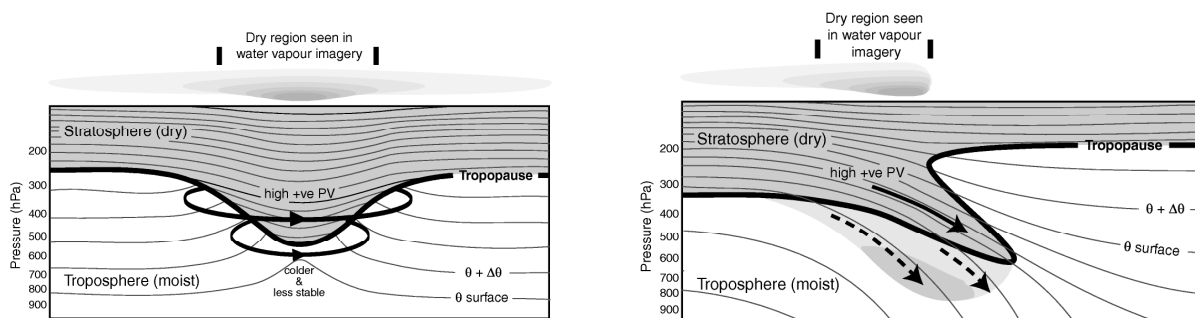
In dit artikel wordt een geval besproken waarin de oorspronkelijke verwachting de ontwikkeling van een depressie onderschatte. Op basis van het waterdampbeeld is een aanpassing van de analyse toegepast. Deze bleek niet perfect, maar wel een verbetering, en wordt verder besproken in het licht van de ensemble-aanpak.

Waterdampbeelden

Waterdampbeelden geven informatie over de hoogte van de tropopauze en daarmee over de locatie van depressies en de straalstroom. De troposfeer bevat nagenoeg alle waterdamp. Daarom geldt in een eerste benadering dat de waargenomen straling in het waterdampkanaal afkomstig is van de top van de troposfeer. Omdat de temperatuur van de atmosfeer afneemt met de hoogte, impliceert een hoge stralingstemperatuur (donker in waterdampbeeld) een lage hoogte van de tropopauze en een lage stralingstemperatuur (wit in waterdampbeeld) een hoge tropopauze. Geprononceerde, langgerekte zwart-witcontrasten in het waterdampbeeld geven de ligging van de straalstroom aan. Figuur 1 illustreert dit. Door hun hoge ruimtelijke resolutie en beschikbaarheid over een groot gebied zijn deze waterdampbeelden een waardevolle aanvulling op conventionele waarnemingen. Hoge

¹ Nu verbonden aan het RIVM

wolken kunnen echter de relatie tussen stralingstemperatuur en tropopauzehoogte verstoren. Bij de interpretatie van waterdampbeelden moet men hiermee rekening houden.



Figuur 1. Doorsnede van de atmosfeer met contouren van potentiële temperatuur (θ), de tropopauze-structuur, en bovenin in grijswaarden het waterdampbeeld. Links een lagedrukgebied, dat als zwart gebied in een satellietbeeld wordt gezien, rechts een vouw in de tropopauze die resulteert in een sterk zwart-witcontrast in het satellietbeeld. Als een lijn (vlak) van constante PT de tropopauze doorsnijdt, worden langs deze lijn in de stratosfeer hoge PV-waarden gevonden en in de troposfeer lage waarden. Figuren met dank aan N. Roberts.

Potentiële vorticeit

De dynamische tropopauze wordt gekenmerkt door een scherpe overgang in potentiële vorticeit (PV) van ongeveer 1 PVU in de troposfeer naar 3 PVU in de stratosfeer (PVU: potential vorticity unit, $10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ K kg}^{-1}$). De PV is, in de hydrostatische benadering, evenredig met de verticale gradiënt van de potentiële temperatuur (PT) en met de absolute vorticeit van het windveld. Het verloop van PT met de druk is veel steiler in de stratosfeer dan in de troposfeer, dit zorgt voor de steile overgang rond de tropopauze. PV is in een redelijke benadering een materieel behouden grootheid en kan, net als specifieke vochtigheid, als tracer worden gebruikt. Door de PV van een weeranalyse te berekenen en het resultaat op een oppervlak van constante PT te vergelijken met het waterdampbeeld kan nagegaan worden of de weeranalyse op essentiële punten afwijkt; daar is de analyse mogelijk niet in orde. Het boek van Santurette en Georgiev (2005) bespreekt vele praktijkvoorbeelden.

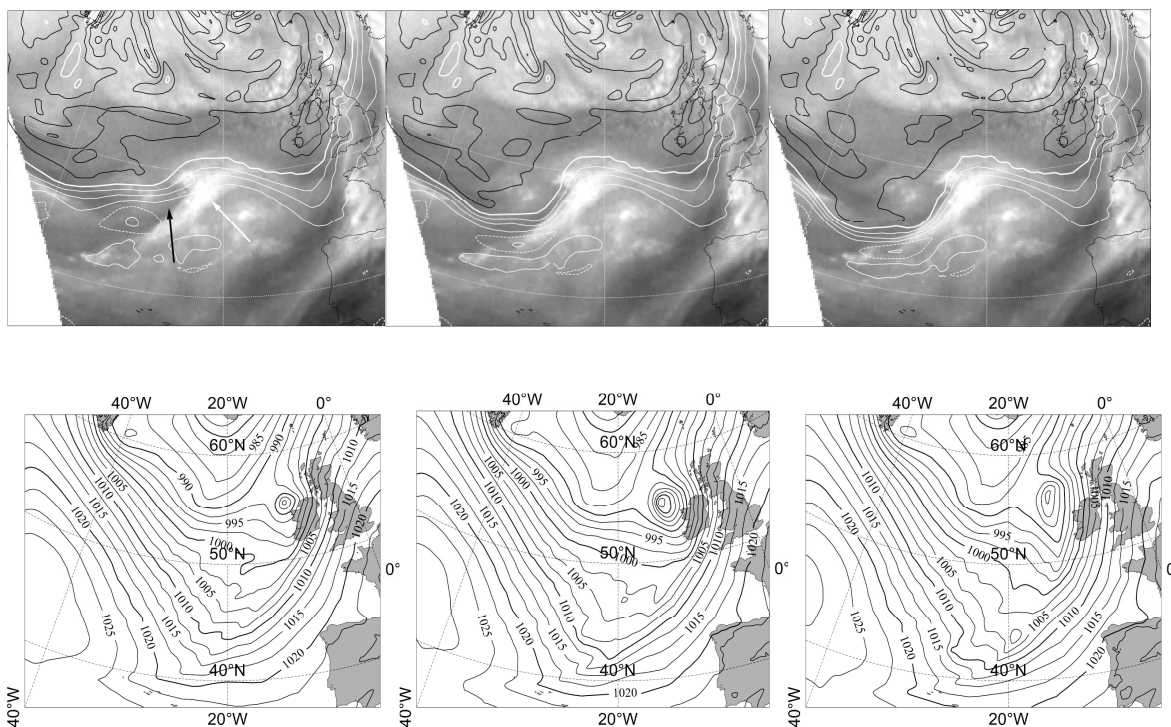
Als een afwijking zich voordoet, dan ligt het in de rede om de PV van de analyse op deze locatie aan te passen en het model een nieuwe verwachting te laten berekenen. Het mooie is daarbij dat PV weer terugvertaald kan worden naar de dynamische variabelen temperatuur en wind. Omdat de relatie tussen waterdampbeelden en PV complex is, is interpretatie door een meteoroloog essentieel voor een zinvolle aanpassing. Op het KNMI is een methode ontwikkeld om een numerieke weeranalyse aan te passen en een nieuwe verwachting te berekenen (zie Verkley et al. 2005, Verkley 2005).

Een geval van snelle cyclogenese

Op 7 november 2005 ontwikkelde zich boven de Atlantische Oceaan een sterke depressie die rond 18 UTC voor de kust van Ierland aankwam. De sterkte van de depressie werd door het operationele model (HIRLAM) flink onderschat; de verwachte kerndruk bleek uiteindelijk 10 hPa te hoog. Operationeel meteorologen merkten op dat de structuur van het PV-veld in de analyse van 00 UTC slecht overeenkwam met het waterdampbeeld, waarin het beginstadium van een storm te herkennen is. Dit is te zien in figuur 2, linksboven. De volgende elementen vallen hierin op:

- de straalstroom, te herkennen aan de dicht opeenvolgende PV-isoliijnen, ligt te noordelijk ten opzichte van de zwart-witcontrasten in het waterdampbeeld

- er is geen verdere PV structuur waar een lokaal maximum in de droge intrusie en een minimum in de cloud head verwacht worden op grond van conceptuele modellen



Figuur 2. HIRLAM-analyses (boven) en -verwachtingen (onder). Boven: contouren van PV op het 315 K isentrope oppervlak, 7 november 2005 00 UTC, gecombineerd met het waterdampbeeld van 01 UTC (het beeld van 00 UTC was niet beschikbaar). PV contouren iedere 1 PVU, zwart ≥ 5 PVU, wit ≤ 4 PVU. In de figuur linksboven wijst de witte pijl naar de 'cloud head', de zwarte naar de droge intrusie. Onder: druk op zeeniveau, verwachting van 00 UTC voor 18 UTC. Links: operationele HIRLAM-analyse en verwachting, midden: aangepaste analyse en verwachting, rechts: een variant op de oorspronkelijke aanpassing.

De operationele verwachting voor 18 UTC, in termen van de druk op gemiddeld zeeniveau, is te zien in figuur 2, linksonder. Dit geval is achteraf nader bestudeerd. De analyse is aangepast door PV rond de straalstroom te verschuiven. De PV in een kolom (cirkel met straal 8°) rond 48.8° N 32.0° W is verplaatst naar 46.0° N 30.3° W. De PV van de nieuwe analyse is te zien in figuur 2 (midden boven), samen met de nieuwe verwachting van de gronddruk voor 18 UTC (midden onder). Als referentie geven we ook van het ECMWF-model de analyse (figuur 4 linksboven) en de verwachting voor 18 UTC (figuur 4 linksonder). Het verloop van de kerndruk voor de analyses van HIRLAM, de aangepaste analyse en het ECMWF-model is te volgen in figuur 3. De kerndruk in de aangepaste verwachting wordt nu iets te laag. De daling vakt af na 24 uur (net buiten de figuur). Hiermee komt de druk wel veel dichterbij de verifiërende analyse en ook de locatie van de depressie is in orde. De ECMWF-verwachting gaf in dit geval een goede beschrijving van de werkelijke ontwikkeling. Later in dit artikel gebruiken we ook het ECMWF ensemble om onze methode in perspectief te plaatsen.

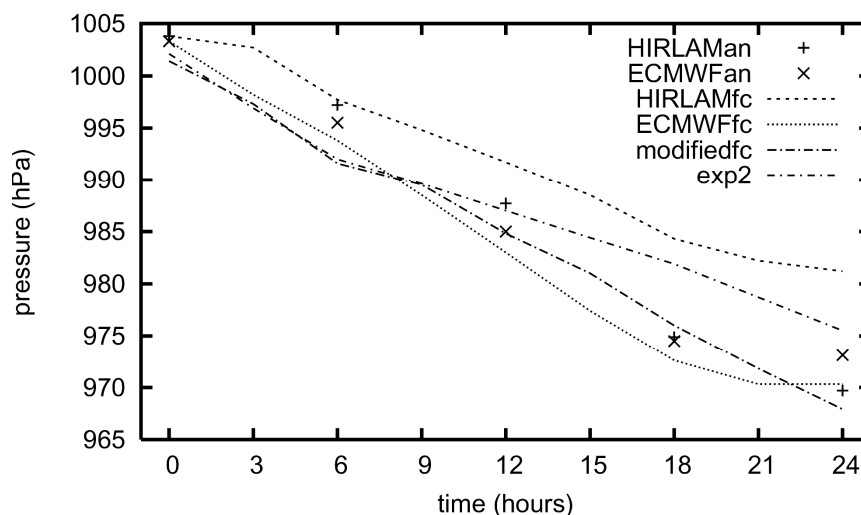
Het effect van de aanpassing

De aanpassing heeft in de nieuwe analyse gezorgd voor een ander verloop van de straalstroom. Maar ook nabij het aardoppervlak ontstond een significante verandering: de temperatuur werd iets lager (1 tot 2 K) en de vorticeiteit nam iets toe. Het vochtveld wordt door de methode niet veranderd. In de eerste uren van de nieuwe verwachting werd extra neerslag gevonden. Mogelijk heeft de temperatuursverlaging in de analyse gezorgd voor

extra condensatie en het vrijkomen van latente warmte, waardoor de depressie beter kon groeien. Het lagedrukgebied zoals berekend in de beide HIRLAM-verwachtingen hangt vooral samen met een wat hogere PV onder in de atmosfeer in plaats van een depressie van de tropopauze. In de ECMWF-verwachting is die hogere PV onder in de atmosfeer ook aanwezig, maar deze gaat wisselwerken met een depressie van de tropopauze die in de ECMWF verwachting wel maar in de HIRLAM verwachtingen niet aanwezig was. De lagere tropopauze was ook zichtbaar in de analyse van 18 UTC. Nadere details zijn te vinden in Manders et al. (2006).

Gevoeligheid

Om te testen of de verwachting gevoelig is voor de precieze aanpassing zijn twee variaties (exp2 en exp3) toegepast. Deze simuleren de verschillen die kunnen ontstaan als twee meteorologen onafhankelijk van elkaar hetzelfde geval bekijken: als het goed is, hebben ze hetzelfde idee over een aanpassing, maar ze zullen niet op exact dezelfde verandering uitkomen. In exp2 is de verstoring net iets westelijker aangebracht. Een gebied met straal 10° rond 50.0° N 34.0° W is verplaatst naar 46.0° N 32.0° W (figuur 2, rechts). De kerndruk werd wel lager dan in de oorspronkelijke run maar niet laag genoeg (zie figuur 3). De positie van de depressie bleek minder goed voorspeld. Exp3 bestond uit een verplaatsing van 49.5° N 32.0° W naar 46.5° N 31.0° W, ook in een gebied met straal 10° . Hiervoor was het resultaat ongeveer gelijk aan de eerste aanpassing en het resultaat wordt daarom niet apart getoond.

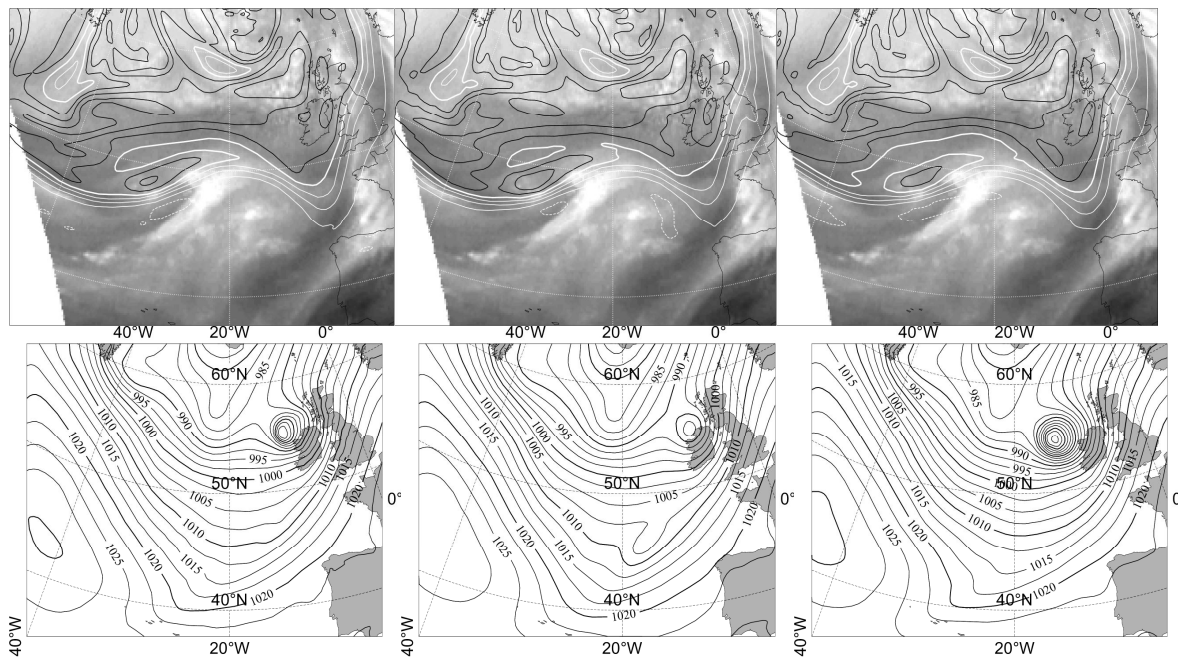


Figuur 3. Druk op zeeniveau in het centrum van de zich ontwikkelende depressie.

Vergelijking met het ECMWF ensemble

Om te onderzoeken hoe de aanpassingen zich verhouden tot een ensemble vergelijken we de resultaten met het ensemble van het ECMWF. Het ECMWF-ensemble wordt bepaald op basis van kleine veranderingen van een analyse die in een 48-uursverwachting maximale consequenties hebben. De PV van de analyse om 00 UTC en de twee ensembleleden die de sterkste en zwakste depressie na 18 uur gaven zijn in figuur 4 te zien, net als de resulterende druk op zeeniveau na 18 uur. De PV-structuren rond de plaats waar we de HIRLAM-analyse hebben aangepast, zijn anders dan in HIRLAM en kwantitatief verschillend van elkaar. Maar het is niet goed te zeggen welke analyse nu beter past bij het waterdampbeeld.

De resulterende verwachtingen laten een groot verschil in kerndruk zien. Ensemblelid 43 lijkt in ontwikkeling sterk op de originele HIRLAM-verwachting. Het andere ensemblelid (44), gebaseerd op de verstoring met tegengesteld teken, geeft juist een te sterke depressie. De oorspronkelijke HIRLAM-analyse zit dus aan de rand van het ECMWF-ensemble. De gemodificeerde analyses vallen ergens in het midden van het ensemble qua sterkte en positie. Dit betekent dat de aanpassingen die we hebben gedaan niet onrealistisch zijn.



Figuur 4. ECMWF-analyses (boven) en –verwachtingen (onder). Boven: contouren van PV op het 315 K isentropie vlak, 7 november 2005 00 UTC, gecombineerd met het waterdampbeeld van 01 UTC. PV contouren iedere 1 PVU, zwart ≥ 5 PVU, wit ≤ 4 PVU. Onder: druk op zeeniveau, verwachting van 00 UTC voor 18 UTC. Links: operationele ECMWF-analyse en verwachting, midden en rechts: hetzelfde voor twee leden van het ECMWF-ensemble.

Conclusies

Hoewel de PV-aanpassing de weeranalyse niet in alle opzichten heeft kunnen corrigeren, leverde ze toch een goede bijdrage aan een inschatting van mogelijke ontwikkelingen. De aanpassing en de variaties hierop zouden als ensembleleden gezien kunnen worden. In tegenstelling tot de klassieke methoden om een ensemble te genereren wordt hierbij de ervaring van een meteoroloog benut. Ook als er geen duidelijk verschil is tussen waterdampbeeld en PV kan het nuttig zijn hiermee te experimenteren. In het geval dat door Verkley (2005) wordt beschreven, was de PV-structuur goed maar de sterkte niet, zodat een onnauwkeurige analyse slecht te herkennen is. Over de generatie van korte-termijnensembles is nog niet veel bekend. Homar et al. (2006) laten zien dat het gebruik van de ervaring van een meteoroloog toegevoegde waarde heeft bij het opstellen van een ensemble. De hier besproken methode op basis van PV en waterdampbeelden zou een bijdrage kunnen leveren aan het maken van een korte-termijnensemble voor HIRLAM.

Met dank aan verschillende KNMI-collega's.

Literatuur

- Demirtas, M. en Thorpe, A.L., 1999: Sensitivity of short-range weather forecasts to local potential vorticity observations, *Month. Wea. Rev.*, **127**, 922-939.
- Homar, V., Stensrud, D.J., Levit, J.J. en Bright, D.R., 2006: Value of human-generated perturbations in short-range ensemble forecasts of severe weather, *Weather and forecasting*, **121**, 347-363.
- Manders, A.M.M., Verkley, W.T.M., Diepeveen, J.J. en Moene, A.R., 2006: Investigation of a case of rapid cyclogenesis using a potential vorticity modification method, *ingezonden naar Q.J. R. Meteorol. Soc.*
- Santurette, P. and Georgiev, C., 2005: *Weather analysis and forecasting*, Elsevier.
- Verkley, W.T.M., Vosbeek, P.W.C. and Moene, A.R., 2005: Manually adjusting a numerical weather analysis in terms of potential vorticity using three-dimensional variational data-assimilation, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, **131**, 1713-1736.
- Verkley, W.T.M., 2005: Handmatig aanpassen van een numerieke weersanalyse, *Meteorologica*, **14** no.4, 11-14.