

## Voorspelbaarheid en springerigheid in modellen

Dit artikel geeft een praktisch handvat voor het omgaan met springerigheid in weermodellen en goed duiden van onzekerheid.

### Mondiale en regionale modellen

Er bestaan allerlei verschillende weermodellen die in twee categorieën zijn in te delen: mondiale modellen en regionale modellen.

Het verschil tussen deze modellen is uiteraard het gebied, maar meestal ook de resolutie en de manier waarop de natuurkunde wordt doorgerekend. In mondiale modellen wordt veelal nog gebruik gemaakt van 'impliciete' oplossingen voor allerlei natuurkundige processen en rekenen met allerlei aannames over het verloop van kleinschalige processen. In regionale modellen worden veel natuurkunde juist 'expliciet' opgelost (direct uitgerekend, niet benaderd). Dit gaat dan vooral om de uitwerking van horizontale en verticale golfbewegingen in de atmosfeer, die bijvoorbeeld ontstaan door convectie (zwarte buien) of doordat lucht over bergruggen heen stroomt.

De horizontale resolutie van mondiale modellen ligt momenteel tussen 9 km (ECMWF) en 25 km (GFS), terwijl regionale modellen voor delen van Europa al zo fijnmazig als 2.5 km (Harmonie) of zelfs 1.3 km (AROME) zijn. Er wordt altijd een mondiaal model gebruikt om de regionale modellen te 'voeden' met informatie over wat er buiten hun eigen rekengebied gebeurt en wat er via de randen het gebied binnenkomt.

Als gebruiker van weermodellen is het goed om te beseffen welk mondiaal model is gebruikt om het regionaal model te draaien. Verschillende Europese regionale modellen, waaronder Harmonie, gebruiken ECMWF als 'randvoorwaarde'. Hier is een overzicht van de weermodellen van verschillende Europese landen, naar geografisch gebied:

Land	Mondiaal	Continentaal	Regionaal
Verenigd Koninkrijk	Unified Model	Euro4	UK4
Duitsland	ICON	ICON-EU	ICON-D2
Frankrijk	ARPEGE		AROME
Nederland	ECMWF	Harmonie	Harmonie
België	ARPEGE (wordt: ECMWF)		ALARO

Zoals te zien draaien Nederland en België zelf geen mondiaal model, maar maken zij gebruik van ECMWF om hun eigen modellen te draaien. Wees er dus van bewust dat ontwikkelingen in hun modellen tot op zekere hoogte worden 'gestuurd' door wat ECMWF heeft berekend. Dit is met name belangrijk als de weersituatie heel dynamisch is, met veel 'invoer' van buitenaf. Met een sterke straalstroom kan bijvoorbeeld een depressie over de 48/72 uur tijd die een regionaal model rekent, het rekengebied vanuit het westen binnenkomen en geheel doorkruisen.

### Voorspelbaarheidshorizon

Als leidraad kan je aanhouden dat voor kleinschalige depressies en fronten het mogelijk is om de meeste mondiale modellen te gebruiken tot 4 à 5 dagen vooruit, voor grote depressies en hogedrukgebieden tot dag 6 of 7 en voor de circumplanetaire golven (Rossbygolven) tot dag 8 à 9. Met bruikbaarheid wordt bedoeld dat de modellen tot de genoemde termijn nog een trefscore behalen die bij wijze van spreken boven de dobbelsteenkans uitkomt. Verder vooruit is, meestal, invullen van de klimatologie even waardevol.

Een belangrijke uitzondering op deze regel zijn bepaalde drukgebieden waarvan de positie nogal persistent is, als gevolg van planetaire stromingspatronen (de 'circulatiecellen') die het resultaat zijn van de combinatie van de wisselende instraling van de zon en de rotatie van de aarde. Een

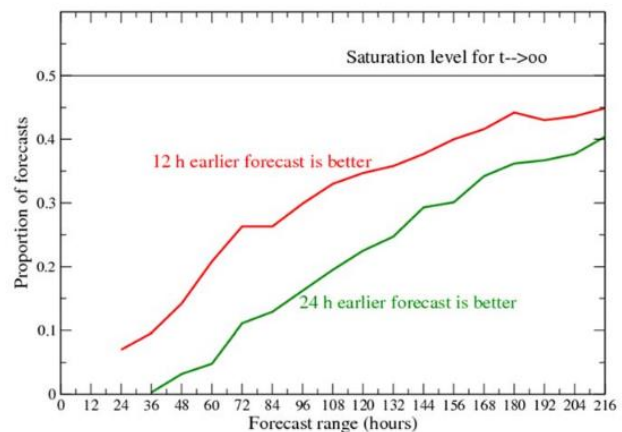
voorbeeld hiervan is het Azorenhoog. Voor dit soort drukgebieden is de voorspelbaarheid uiteraard groter.

## Springerigheid

Het valt menigeen wel eens op dat de weermodellen ineens lijken te 'springen' van run tot run tussen twee totaal verschillende grootschalige circulatiepatronen. Bijvoorbeeld tussen aanhoudende westcirculatie en blokkerend hoog. Op zichzelf is dit geen probleem, want het is een onvermijdelijk gevolg van een imperfect systeem (het weermodel) dat niet-lineaire processen in een dynamische atmosfeer moet doorrekenen.

Deze springerigheid geeft wel een aanwijzing over de voorspelbaarheid van de atmosfeer. De verleiding is daarbij groot, vooral als er opzienbarende wisselingen zijn tussen de modelruns, om de laatste modelrun als het meest waarschijnlijk te zien. De redenatie daarbij is, dat deze modelrun het minst ver vooruit kijkt en de meest recente waarnemingen heeft gebruikt.

Maar uit verificatie blijkt dat de laatste modelrun lang niet altijd de beste is. Dat is gemiddeld natuurlijk wel zo, dus in elk geval in de meerderheid van de gevallen. Maar al 120 uur vooruit (5 dagen) scoort de modelrun van twaalf uur eerder, in 35% van de gevallen beter. Op 192 uur vooruit (8 dagen) is dat bijna 45% en sterker nog, voor dag 8 scoort zelfs twee modelruns eerder (24 uur ervoor) in 35% van de gevallen ook beter. Zie ook de grafiek hiernaast.



Voor meteorologen is dus de handelswijze om niet één modelrun op zich te bekijken, maar ook de vorige run ernaast (van 12 uur eerder) en soms ook nog de twee-na-laatste run (in geval van ECMWF van de dag ervoor). Je ziet dan niet alleen wat er veranderd is, maar ook wat de overeenkomsten zijn en je krijgt gevoel voor de mate van onzekerheid. Allemaal nog zonder ensembles!

De springerigheid van modellen wordt meestal minder naar mate de verwachtingstermijn korter wordt. Maar helaas heeft ontwikkeling in de springerigheid amper voorspellende waarde voor springerigheid van toekomstige modelruns. Als enkele modelruns op rij heel inconsistent zijn en vervolgens een aantal zijn veel consistent, hoeft dat niet te betekenen dat de modelruns vanaf dan consistent blijven.

## Ensembleverwachtingen

De weersverwachting is inherent onzeker. We weten namelijk niet exact de toestand van de atmosfeer op elk moment op elke plek op aarde. Dat staat nog los van onze imperfecte kennis van de natuurkunde. Sinds de jaren '90 worden ensembles gedraaid om de onzekerheid in de ontwikkeling van het weer, als gevolg van al deze factoren, inzichtelijker te maken.

De ensembles voor de middellange termijn, tot vijftien dagen vooruit, worden gecreëerd door de begintoestand van de atmosfeer, waarmee elk weermodel rekent, met wiskundige trucs een groot aantal keren (20 tot 50x) aan te passen ('verstoren') en met het model door te rekenen. Dat resulteert in een evenzo groot aantal alternatieve weersverwachtingen, die tezamen zo goed als mogelijk het werkelijke spectrum aan mogelijkheden weergeven.

Tot voor kort was de beschikbare computercapaciteit te beperkt om deze ensembles op dezelfde resolutie te draaien als de onverstoord modelrun. Sinds juni 2023 is de resolutie van het ECMWF ensemble gelijk aan de onverstoord ('operationele') ECMWF run en daarmee is de noodzaak van een controlerun in dit ensemble zo goed als verdwenen. Om technische redenen

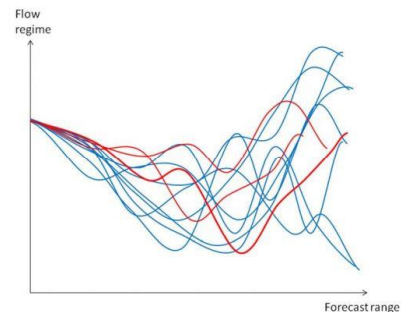
worden nu zowel de operationele run als de controlerun nog allebei gedraaid, maar dit zal later in 2024 verdwijnen.

Er zijn grofweg vier scenario's denkbaar in het beoordelen van de ensembleverwachtingen, mede ook in relatie tot de onverstoorde modelruns:

#### a) onverstoorde runs en ensemble stemmen overeen

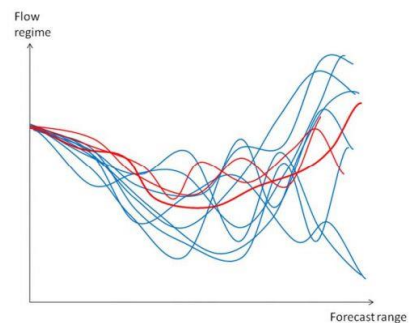
In de meeste gevallen is er goede overeenkomst tussen (opeenvolgende) onverstoorde runs en het ensemble. De variatie tussen onverstoorde runs is vergelijkbaar met de spreiding in het ensemble, de waaiers die je uit beiden kan destilleren vallen min of meer samen.

Als de spreiding klein is en de onverstoorde runs zijn consistent, kan je een grote mate van zekerheid veronderstellen.



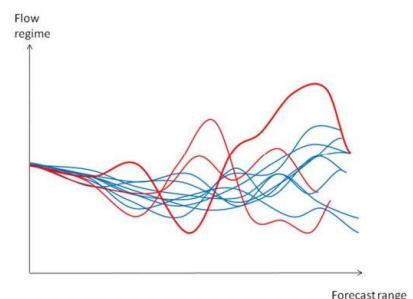
#### b) onverstoorde runs vertonen kleinere spreiding dan het ensemble

Als de spreiding in het ensemble groot is, maar opeenvolgende onverstoorde runs zijn tamelijk consistent (vertonen kleinere spreiding), kan dat betekenen dat de verwachting veel meer dan normaal gevoelig is voor de begintoestand.



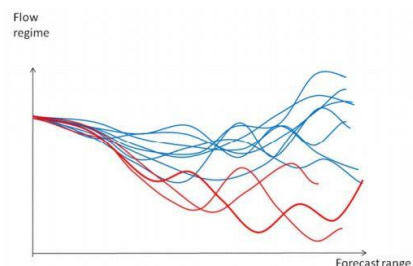
#### c) kleine spreiding in het ensemble, maar veel schommelingen in de onverstoorde runs

Als het ensemble geen grote spreiding vertoont maar de onverstoorde run is inconsistent en/of ligt aan de buitenranden van het ensemble of zelfs er geheel buiten, dan is het ensemble waarschijnlijk niet breed genoeg. De begintoestand kon niet danig worden gevarieerd dat alle, voor de middellange termijn belangrijke, gevoelige punten werden 'geraakt'. Het advies is dan om vooral te vertrouwen op het ensemblegemiddelde en de kansen.



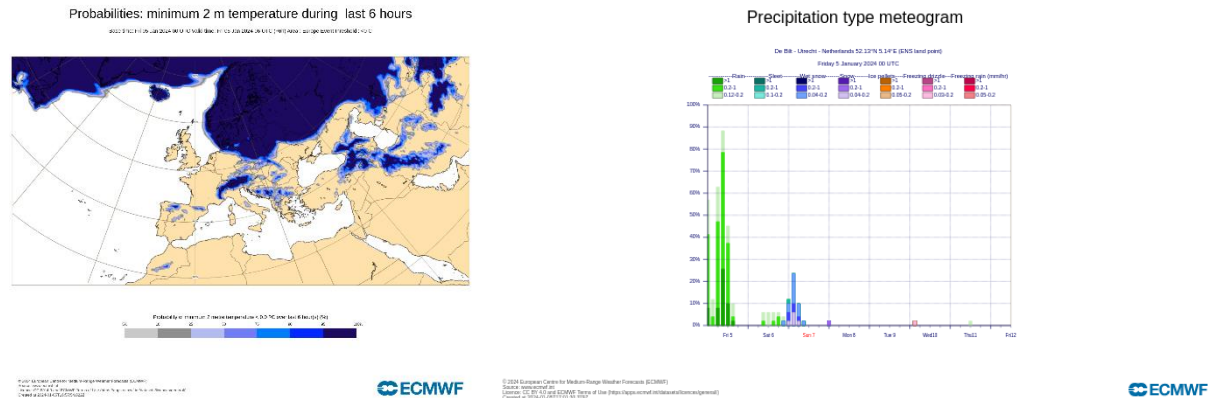
#### d) ensemble en onverstoorde runs wijken sterk van elkaar af

Wat zelden gebeurt is dat opeenvolgende onverstoorde runs en het ensemble twee afwijkende 'waaiers' vertonen. In dit geval kan je het beste naar zowel meerdere modelruns als meerdere ensembles kijken en deze samenvoegen tot één groot ensemble. Vervolgens kan je hier kansen uit berekenen. Naar het gemiddelde kijken of naar de losse modelruns heeft meestal weinig zin.



Je kan stellen dat een belangrijke vuistregel is dat je modelberekeningen – en ensembles – nooit in isolement bekijkt: altijd tezamen en bij voorkeur ook in combinatie met de vorige berekeningen.

In bovenstaande voorbeelden is gekeken naar ‘pluimen’: tijdreeksen van de ontwikkeling van bijvoorbeeld temperatuur, wind of neerslag op één punt. Maar er vallen nog veel meer producten te maken uit de losse ensembleberekeningen. Het meest voor de hand liggend zijn uiteraard kansverwachtingen, die grafisch kunnen worden getoond als kaarten of staafdiagrammen.



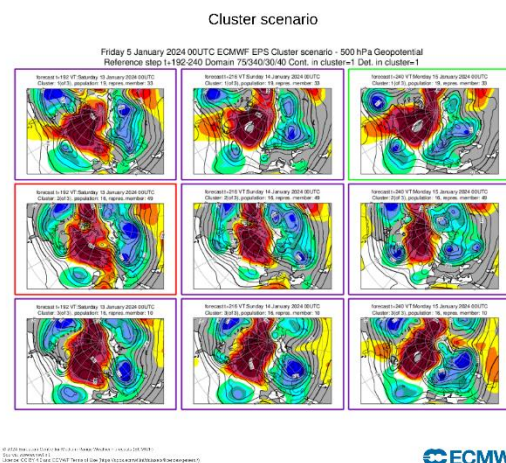
**Links:** kanskaart minimumtemperatuur in 6 uur lager dan 0°C.

**Rechts:** kansstaafdiagram voor optreden van neerslagsoort en -intensiteit, per 6 uur in De Bilt.

Het is altijd belangrijk om te weten bij kansproducten welk kanscriterium is gebruikt. Hoe gedetailleerder (specifieker) het criterium, des te lager zullen de kansen zijn. Hoe algemener, des te hoger de kansen. De kans dat er vrijdag 3 mm of meer neerslag valt in De Bilt tussen 15.00 en 16.00 uur zal per definitie lager zijn dan de kans op 3 mm ergens in Nederland in een willekeurig uurvak. Een specifiek kanscriterium heeft ook een lagere trefkans dan een algemeen kanscriterium. Waar het optimum ligt, dus welk kanscriterium te gebruiken, hangt ook van het beoogde gebruik af. Voor professionele gebruikers (overheden, bedrijven) worden daarom vaak kansverwachtingen op maat gemaakt.

Een ander nuttig ensembleproduct zijn de clusterplaatjes: hierbij wordt gekeken naar ensembleleden die een (wiskundig) vergelijkbaar stromingspatroon laten zien. Je krijgt in een oogopslag te zien welke ‘scenario’s’ er mogelijk zijn. De plaatjes tonen per cluster een representatieve berekening en er staat bij hoeveel berekeningen in het cluster zitten.

In het bijgaande voorbeeld zijn er drie clusters, waarbij elk cluster ongeveer evenveel berekeningen bevat. Je kan dus zeggen dat elk cluster ongeveer even waarschijnlijk is. De randkleur van de plaatjes geeft aan in welk grootschalig stromingspatroon dat cluster zit:



- blauw: NAO-positief patroon (westelijke circulatie)
- groen: NAO-negatief patroon (retrograde circulatie, vaak hogedruk bij Groenland en lagedruk bij de Azoren)
- rood: geblokkeerd patroon, veelal over het Europese continent
- paars: uitgesproken hogedrukreg over de Atlantische oceaan

Deze opdeling is gedaan op basis van de vier meest voorkomende circulatiepatronen.

Je kan soms ook alle individuele ensembleberekeningen bekijken. Op zichzelf heeft dit niet zo veel nut, omdat het er meestal veel (tientallen) zijn. Sommige meteorologen bepalen eerst welke berekening in de korte termijn het meest overeenkomt met de eigen verwachting, om dan de evolutie van deze berekening te volgen voor de volgende dagen. Dit is echter geen gebruikelijke aanpak.

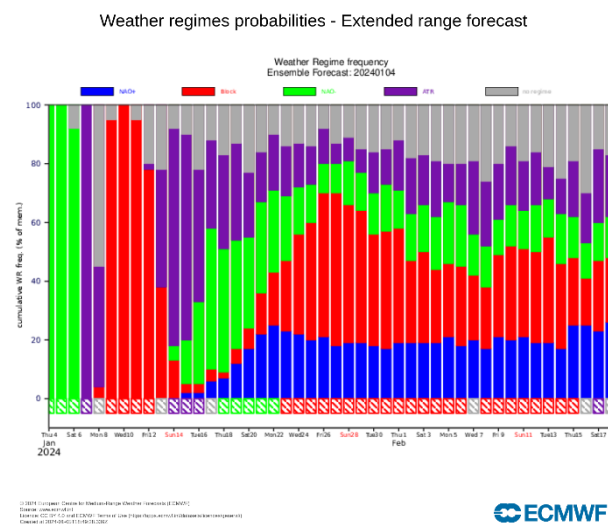
## Verder vooruit: maandverwachtingen

Al meer dan 35 jaar worden ook modelberekeningen gedaan tot vele weken en zelfs maanden vooruit. Deze zijn niet bedoeld om zo goed mogelijk het weer van dag tot dag te berekenen, maar grotere trends te vangen en het ontstaan (en verdwijnen) van afwijkingen ten opzichte van normaal te signaleren.

In de eerste jaren ging de aandacht vooral uit naar seizoensverwachtingen, in het bijzonder het verwachten van de ontwikkeling van El Niño in de tropische gebieden. Dit fenomeen hangt samen met langdurige afwijkingen in de zeewatertemperatuur. Om dit goed te kunnen nabootsen is het noodzakelijk om het weermodel (de atmosfeer) te 'koppelen' aan een oceaanmodel. Zo kunnen langdurige afwijkingen in bijvoorbeeld luchttemperatuur of zonnenschijn doorwerken in het zeewater en omgekeerd.

Vanaf het begin van deze eeuw is er meer aandacht gekomen voor de overgang tussen de middellangetermijnverwachting (tot 15 dagen) en de seizoensverwachtingen (tot 6-12 maanden). Sinds 2002 draait ECMWF een operationeel 'maandmodel'. In het begin was dat een versimpelde versie van het gewone weermodel door de middellange termijn, zonder koppeling met een oceaanmodel, zoals bij het seizoensmodel. De beschikbare uitkomsten bestonden ook lange tijd uit niet meer dan weekgemiddelden van enkele parameters zoals temperatuur, neerslag en luchtdruk.

De laatste jaren is dit allemaal radicaal veranderd. Het model voor middellange termijn en de maandverwachtingen is nu gelijk én heeft een uitgebreide oceaankoppeling. Op dit moment rekent ECMWF met het maandmodel met 100 ensembleleden, tweemaal zo veel als voor de middellange termijn. Tot 2023 werd het maandmodel tweemaal per week gedraaid, nu dagelijks. De berekeningen gaan tot 46 dagen, feitelijk anderhalve maand vooruit.



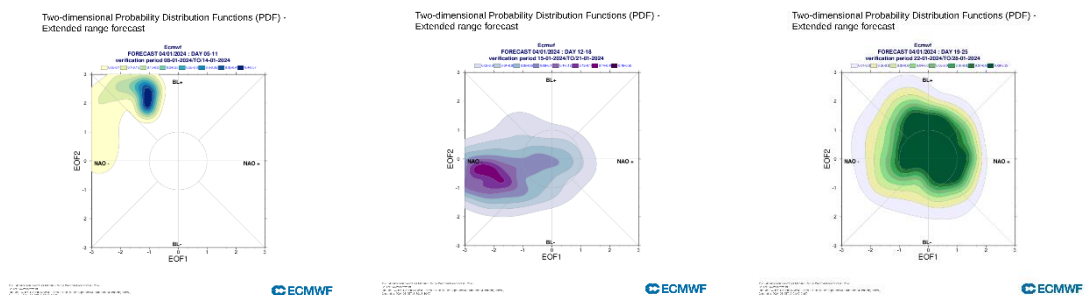
Er is nu ook veel meer informatie beschikbaar. Een heel nuttig product is het 'weather regime frequency' diagram. Dit diagram toont de kans op elk van de vier grootschalige stromingspatronen (eerder genoemd) door de tijd. De kleuren zijn hetzelfde als de kaderranden van het clusterproduct voor de middellange termijn. Onderin staan blokjes die het ensemblegemiddelde weergeven.

In het voorbeeld hiernaast van 4 januari zie je een markante overgang van het NAO-negatief patroon naar een geblokkeerd patroon. Vanaf 14 januari lijkt het stromingspatroon zich te evolueren naar een Atlantische hogedruk, om daarna terug te keren naar een geblokkeerd patroon. Er is daarbij wel

aanzienlijke spreiding, want ook een NAO-positief patroon is ook vrij kansrijk (~20%). Vanaf begin februari liggen eigenlijk alle mogelijkheden open. Je ziet dan feitelijk de winterklimatologie terug.

Een nadeel van dit diagram is dat alles wordt platgeslagen naar één indicatie: het stromingspatroon moet immers in één van de vier 'sjablonen' passen, of als er echt geen duiding mogelijk is, wordt er het label 'no regime' aan geplakt.

Om dit te omzeilen is er ook een geavanceerd diagram, de 'tweedimensionele kansverdeling'. De intensiteit van de kleuren geeft aan hoeveel berekeningen op een bepaalde 'plek' zitten in een denkbeeldige tweedimensionale ruimte. Deze ruimte heeft een horizontale dimensie, die aangeeft hoe sterk er een 'zonale' (west-oost) stroming in het patroon is, waarbij links staat voor een omgekeerde stroming (oost naar west), terwijl rechts een 'zuivere' westelijke stroming is. De verticale dimensie geeft aan hoe geblokkeerd het patroon is (bovenin is zeer geblokkeerd, onderin is niet geblokkeerd). Een klassieke niet-geblokkeerde westcirculatie zit daarmee dus rechtsonderin, terwijl een geblokkeerd patroon met retrograde circulatie linksboven zit.



Ter illustratie hierbij de diagrammen, van links naar rechts, voor de periode van 6 t/m 14 januari, 15 t/m 21 januari en 22 t/m 28 januari. Zoals we al konden zien in het 'weather regime frequency' diagram, is er eerst sprake van een Atlantische rug. Het zwaartepunt ligt iets links van de verticale as, dus er is sprake van enige 'retrograde' circulatie. In de volgende periode is het zwaartepunt verschoven naar een uitgesproken NAO-negatief patroon. De stroming is retrograad, maar zwaar geblokkeerd. In de laatste periode is er een inktvlek te zien rond het centrum: alle mogelijkheden liggen open, al zijn er enige 'uitvloeijsels' naar geblokkeerd en NAO-positief patroon.

## Nog enkele praktische tips

Er zijn een aantal valkuilen met betrekking tot de ensembles:

- Het ensemblagemiddelde is niets meer dan dat: een gemiddelde. Het is géén oplossing op zichzelf: het gemiddelde van temperatuur, wind en druk vormen geen realistisch samenhangend driedimensionaal geheel;
- Aansluitend op het voorgaande zal je bijvoorbeeld zien dat de gemiddelde bedekkingsgraad niet consistent is met de gemiddelde neerslagsom;
- Het ensemble is slecht bruikbaar voor extremen. Gebruik hiervoor uit het ensemble berekende kansen, liefst met de klimatologische extremen meegewogen;

Ten slotte, uit ervaring kan ik zeggen dat je als meteoroloog voor de middellange termijn vooral contra bezig bent ten opzichte van de computer:

- je generaliseert veel en houdt je niet bezig met storingen, neerslag en meer van dergelijke synoptische details. De modellen geven maximaal detail, op dag 1 en op dag 8 of dag 15;
- je dempt de springerigheid en inconsistentie tussen modellen en modelruns. Dat betekent ook vermijden van grote sprongen in de meerdaagse. Bij het KNMI werd vaak gezegd: op dag 4 en 5 niet meer dan 2 of 3 graden per keer aanpassen (dit kan:  $6^{\circ}\text{C} > 3^{\circ}\text{C}$  en dan dag erna  $3^{\circ}\text{C} > 1^{\circ}\text{C}$ ; maar niet  $6^{\circ}\text{C} > 1^{\circ}\text{C}$ );

- we noemen onzekerheid als die er is, want een 'deterministische' verwachting gaat vrijwel zeker de mist in. Hier schuilt de grootste waarde van een meteoroloog!

Ten slotte, als vuistregel bij het gebruik van ensembles om een weersverwachting te maken – voor vrienden, collega's of familie: moet het een verhaal zijn, dat meteorologisch klopt? Gebruik een representatieve berekening. Maak je een zuivere risico-afweging? Gebruik dan kansdiagrammen. De derde optie is het schetsen van twee of hooguit drie mogelijke verhaallijnen. Gebruik hiervoor de clusterplaatjes en neem daarbij de uitkomsten van de representatieve berekeningen.

---

Met dank aan Jelmer (Wageningen) voor het doorlezen van dit stuk. Bronnen: ECMWF User Guide, handboeken en dictaten van de Deutscher Wetterdienst, het KNMI en de JMG (Joint Meteorological Group) van de Koninklijke Luchtmacht. Afbeeldingen zijn allen afkomstig van de ECMWF website.