

## 75 JAAR POLAIRE FRONT THEORIE (2)

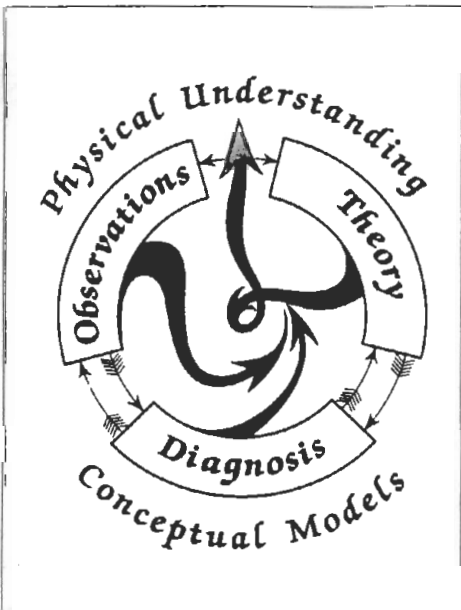
## Modellen maken meteorologie

Kees Floor (KNMI) en Aarnout van Delden (IMAU)

Het schetsen, begrijpen en voorspellen van oceaandepressies, hun levensloop en hun eventuele ontwikkeling is onmogelijk zonder gebruik te maken van modellen. Op een conferentie in Bergen (Noorwegen), waarover elders in dit nummer reeds werd gerept (Van Delden en Floor, 1994), bleek dat nog eens overduidelijk. Aan de ene kant zijn er de numerieke modellen; het begin daarvan wordt volgens ECMWF-medewerker Adrian Simmons (1994) gemarkeerd door een artikel van Vilhelm Bjerknes uit 1904. Bjerknes gaf daarin reeds aan dat het toepassen van wetten uit de natuurkunde en de mechanica de grondslag zou kunnen gaan vormen voor het werk van een operationele weerdienst. Simmons benadrukte tevens dat Bjerknes' opvattingen een belangrijk stempel hebben gedrukt op het latere pionierswerk van Lewis Fry Richardson (1922) (zie ook kader op bladzijde 12).

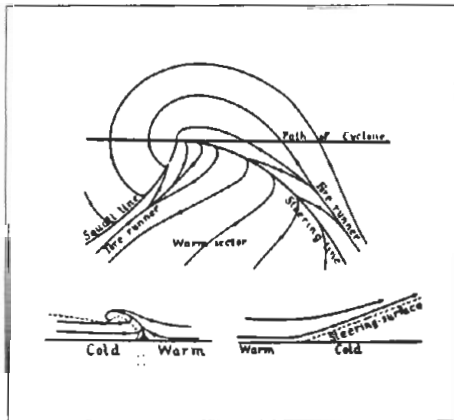
**D**EPRESSIEMODEL

Naast numerieke modellen spelen ook begripsmodellen (conceptual models) een belangrijke rol. Melvin Shapiro, een van de conferentievoorzitters, ontwikkelde een paradigma dat is afgebeeld in figuur 1. Het schema illustreert hoe het zoeken van fysische verklaringen en het ontwikkelen van begripsmodellen precies in z'n werk gaat: de natuurwetenschappelijke onderzoeksmethoden integreren hiertoe theorie, waarnemingen en diagnose (Shapiro en Grell 1994). De figuur is op



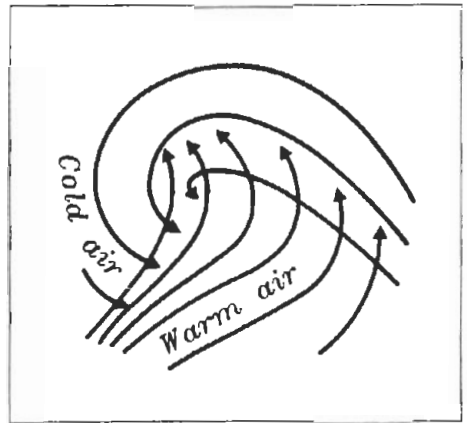
Figuur 1. Paradigma van Shapiro en Grell (1994): het integreren van theorie, waarnemingen en diagnose om te komen tot fysisch begrip, vastgelegd in begripsmodellen.

de achterkant van elk van de vier delen van de proceedings van de conferentie (Shapiro en Grønås, 1994) te vinden. Figuur 2 geeft een afbeelding van een klassiek voorbeeld van een begripsmodel. Het is het depressiemodel van Jacob Bjerknes (1919) en maakt gebruik van stroomlijnen. Elke trekkende depressie heeft volgens dit model twee convergentielijnen die groter en opvallender zijn dan alle andere. De voorste van deze lijnen raakt in de depressiekern aan de depressiebaan en werd door Bjerknes daarom 'stuurlijn' genoemd. De achterste is de zogeheten 'squall-line', waarvan toen reeds bekend was dat die depressies steeds vergezelt. Het gebied dat door de beide convergentielijnen wordt begrensd, duidde hij aan als 'warme sector'. Ook



Figuur 2. Depressiemodel van Bjerknes (1919) met stroomlijnen, warme sector, warmtefront (steering line) en koufront (squall-line).

frontvlakken komen in het artikel reeds aan de orde, zij het nog onder de naam 'stuurvlak' en 'squall-vlak'. Een samenvatting uit hetzelfde artikel van de luchtstromingen rond een depressie in de lagere niveaus van de atmosfeer is weergegeven in figuur 3: de afbeelding diende als conferentielogo en wordt sindsdien uitgedragen op T-shirts en draagtassen.



Figuur 3. Luchtstromingen rond een lagedrukgebied (Bjerknes, 1919).

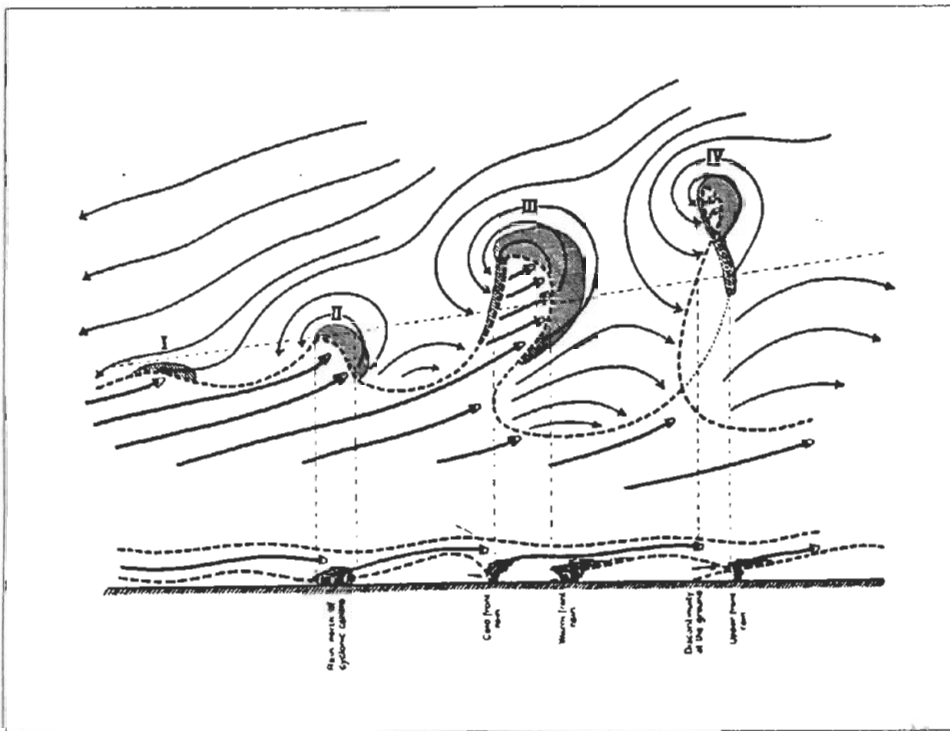
**L**EVENSLAOP VAN DEPRESSIES

De onderzoekers van de Noorse school bleven in de jaren twintig en dertig onder de bezielende leiding van Vilhelm Bjerknes verbeteringen en alternatieven aandragen voor hun modellen van fronten en depressies. In 1922 kwamen Jacob Bjerknes en Halvor Solberg met de theorie van het polaire front en een model voor de levensloop van depressies. Depressies vinden, zo schrijven zij, hun oorsprong in de onstabiliteit van het polaire front; ze beginnen als golf in dat front en volgen een levensloop zoals aangegeven in figuur 4.

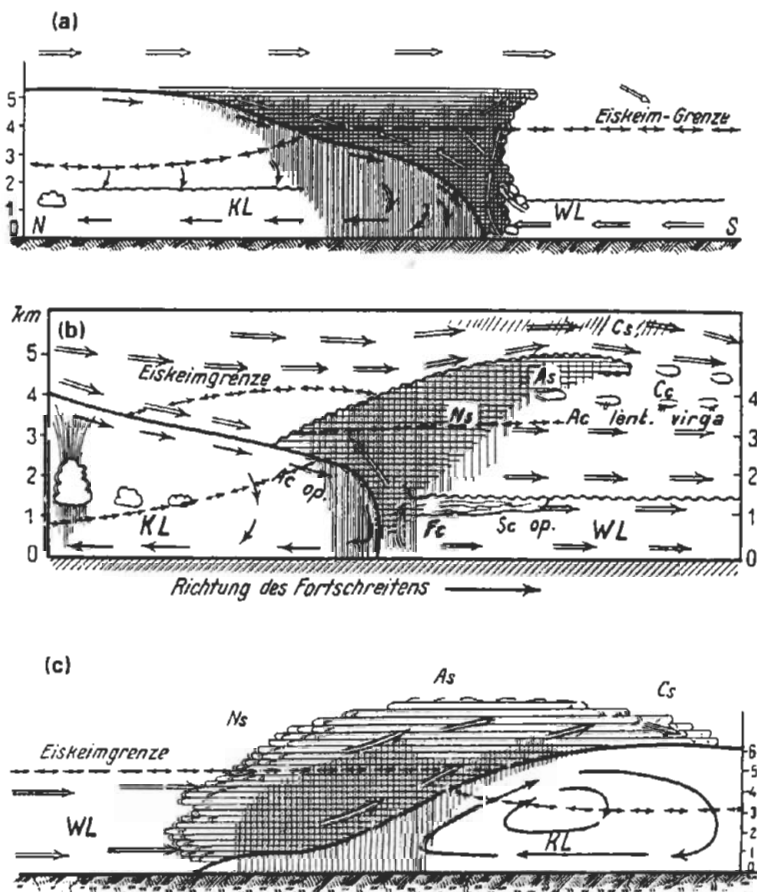
Zeer bekend zijn ook de begripsmodellen van Tor Bergeron uit 1934 (figuur 5). De modellen tonen bewolking, neerslag en luchtstromingen ten opzichte van het front voor een anakoufront (boven), een katakoufront (midden) en een anawarmtefront (onder); ze hebben in verschillende varianten hun weg gevonden naar de Nederlandse leerboeken en dictaten.

**W**ILDGROEI

Technische ontwikkelingen maakten vanaf de jaren vijftig verdere verfijning mogelijk van de modellen van depressies en fronten. Fijnmazige radiosonde-netwerken, radar, onderzoeksvluchten, dropsondes, weersatellieten, dopplerradar en windprofilers onthulden details die daarvoor onzichtbaar of niet opgemerkt waren. Samen met de toename van de



Figuur 4. Het polaire front en de levensloop van depressies volgens Bjerknes en Solberg (1922).



Figuur 5. Modellen van anakoufront (boven), katakoufront (midden) en anawarmtefront (onder) met luchtstromingen ten opzichte van het front, bewolking en neerslag volgens Bergeron (1934).

numerieke rekenmogelijkheden ontstond een wildgroei aan weerkundige begripsmodellen, die de actueel bijgeschoolde meteoroloog verdwaasd en in totale verwarring achter zijn weerkart of werkstation achterlieten. Bekende namen op het gebied van begripsmodellen zijn onder meer die van de Brit Keith Browning en de Amerikanen Richard Reed, Louis Uccellini, Melvin Shapiro en Daniel Keyser; allen waren ze er in Bergen bij. De pogingen die ze deden om orde in de chaos te scheppen (Shapiro en Grell, 1994; Browning, 1994) waren min of meer een herhaling van wat er in 1988 in Helsinki was besproken ter gelegenheid van de 90e geboortedag van Erik Palmén (Reed, 1990; Uccellini, 1990; Browning 1990; Shapiro en Keyser 1990) of zelfs in eerdere overzichtsartikelen (bijvoorbeeld Browning, 1985). Er werd tijdens de presentaties in Bergen dan ook veel verwezen naar de bundel met lezingenop-uitnodiging van die conferentie (Newton en Holopainen, 1990), waarvan de toenmalige voorzitters Chester Newton en Eero Holopainen zich ditmaal - samen met de initiatiefneemster van toen, Newton's vrouw Harriet - onder het publiek geschaard hadden.

**SHAPIRO-KEYSER MODEL**

Veel sprekers in Bergen bouwden voort op het Shapiro-Keyser (1990)-model van de levensloop van een zich ontwikkelende oceaandeepste (figuur 6). In dit model laat het koufront tijdens de ontwikkeling van de depressie los van het warmtefront (frontal fracture); het trekt langs het warmtefront van het depressiecentrum weg, zodat ongeveer halverwege het activeringsproces de karakteristieke 'frontal T-bone' ontstaat. Hierbij blijft een achterwaarts gebogen warmtefront achter; dit wikkelt zich soms om de lagedruk-kern, waarbij zich vervolgens tijdens het volwassen stadium van de depressie als climax van de frontale ontwikkeling een warme kern afsplitst ('frontal seclusion').

**'CONVEYOR BELTS'**

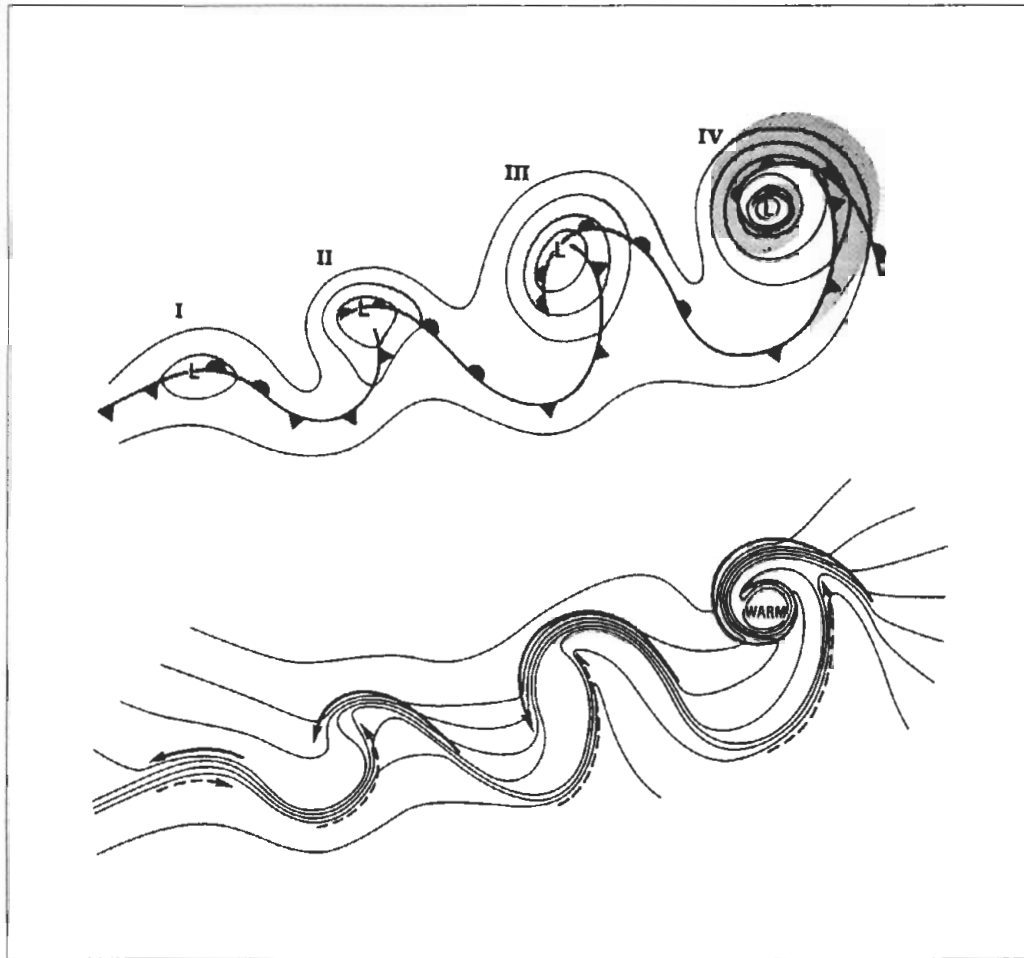
Keith Browning is tegenwoordig verbonden aan het 'Joint Centre for Mesoscale Meteorology' in Reading, waarin de universiteit ter plaatse en de Britse Weerdienst 'Met Office' samenwerken. Hij lichtte nog eens zijn raamwerk toe voor het diagnostiseren van de ruimtelijke structuur van frontale neerslag. De bekende voorstellingen van fronten waarbij een belangrijke rol is weggelegd voor de zogeheten 'warm conveyor belt' (WCB), werden nog eens behandeld. De

WCB is een stroming die warme, vochtige lucht van de lagere niveaus boven de subtropische oceaan langs het koufront voert naar een hoogte van enkele kilometers. Afhankelijk van de oriëntatie van de WCB ten opzichte van het koufront onderscheidt Browning twee wat hij noemt archetypen. Heeft de WCB een

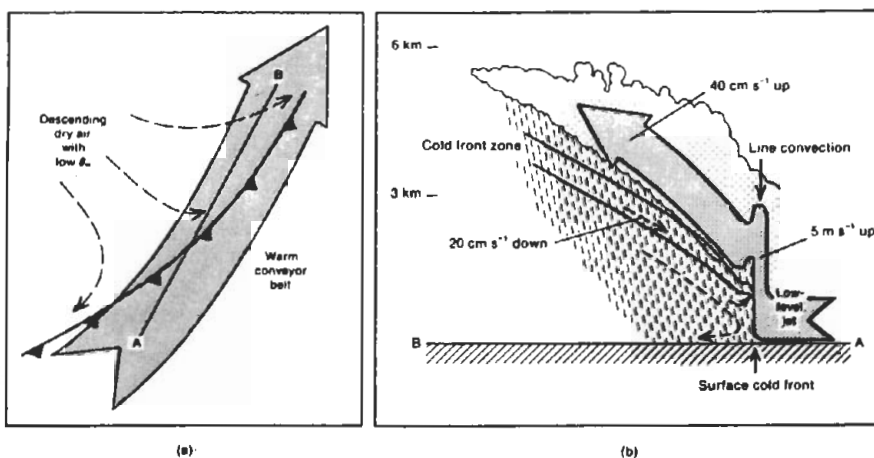
achterwaartse helling, zodat de baan van de warme lucht over de positie van het grondfront ligt, dan wordt het koufront gewoonlijk gemarkeerd door een smalle zone met actieve buien, gevolgd door een groter gebied met minder intensieve neerslag (figuur 7). Dit model is een verdere uitwerking van Bergeron's anakoufront.

Bevindt de WCB zich geheel voor het warmtefront uit, dan vindt er een voorwaarts hellende, stijgende beweging plaats van warme lucht. Deze situatie komt meer overeen met Bergeron's katakoufront. Het koufront bezit een gespleten karakter; het bovenaanzicht van figuur 8 (boven) en de dwarsdoorsnede langs de

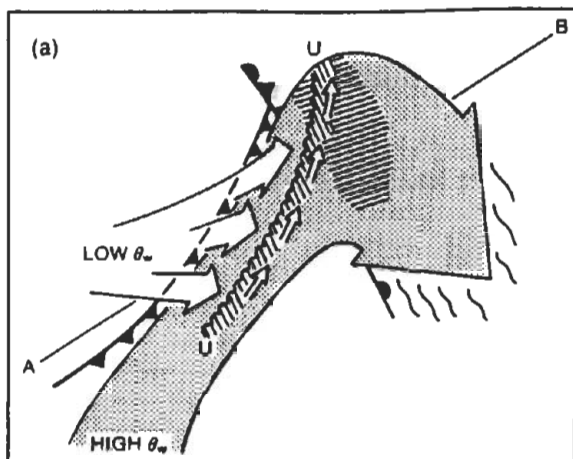
lijn AB in die figuur (onder) laten dit goed zien. Het grondkoufront is niet erg markant en wordt voorafgegaan door een vochtige zone met bewolking van slechts zo'n 3 km diep. Boven de vochtige lucht stroont koelere en drogere lucht tegen de WCB op. Vaak wordt de opbouw van de atmosfeer daardoor op enige afstand voor het koufront onstabiel, zodat zich buien vormen. De buiigheid concentreert zich in een band, die evenwijdig ligt aan het koufront in het gebied dat je met het model van Bergeron nog zou plaatsen in de "warme sector". In de terminologie van Browning en zijn medewerkers gaat het om het hoogtekoufront. Veel katakoufronten gaan vergezeld van zo'n hoogtefront: de neerslagactiviteit is op de positie van het hoogtekoufront groter dan tijdens de passage van het grondfront. De modellen van Browning hebben vooral betrekking op delen van fronten die op voldoende afstand liggen van gebieden waar cyclogenese plaatsvindt. Het anafrontmodel van figuur 7 slaat vooral op het slepende deel van het koufront; de katafront-situatie van figuur 8 doet zich voor ten zuiden van het depressiecentrum voordat er sprake is van explosieve ontwikkeling. In recent onderzoek legt Browning (1994) (Browning en Roberts, 1994) een verband tussen de boven beschreven aanpak van Shapiro en Keyser (1990) en zijn eigen modelvoorstellungen met WCB's en 'cold conveyor belts' (CCB's). De pijlen van figuur 6 komen daarbij overeen met dicht bij het aardoppervlak gelegen delen van de CCB en de WCB. Het complete plaatje is gegeven in figuur 9; 'om zo min mogelijk verwarring te zaaien is het begripmodel opgesplitst in vier onderdelen, maar de lezer moet ze in gedachten samenvoegen tot een diagram om de onderlinge verbanden te kunnen zien', zo laat Browning nog weten.



Figuur 6. Levenscyclus van een oceaandepressie volgens Shapiro en Keyser (1990). (I) beginstadium; (II) 'frontal fracture'; (III) achterwaarts gebogen warmtefront en 'T-bone'; (IV) 'frontal seclusion' met warme kern. Boven: dunne lijnen: luchtdruk op zeeniveau; dikke lijnen: fronten; raster: bewolkings- en neerslaggebieden. Onder: dunne lijnen: isothermen; getrokken pijlen: koude luchtstroming; gestreepte pijlen: warme luchtstroming.



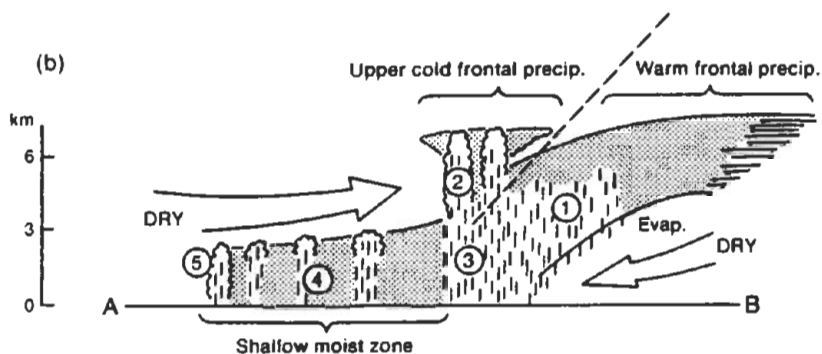
Figuur 7. Links: Bovenaanzicht anakoufront met positie van de het zogeheten 'warm conveyor belt'. Rechts: Dwarsdoorsnede door anakoufront langs de lijn AB uit de linkerfiguur.



Figuur 8. Boven: Bovenaanzicht katakoufront met positie van de 'warm conveyor belt'. In de warme lucht voor het grondkoufront uit bevindt zich een hoogtekoufront U.

Onder: Dwarsdoorsnede door katakoufront langs de lijn AB in de bovenste figuur.

1. neerslag warmtefront.
2. buienwolken van het hoogtekoufront.
3. neerslag van het hoogtekoufront.
4. ondiepe vochtige laag met nu en dan wat regen of motregen.
5. neerslag van het grondkoufront.



Figuur 9. Luchtstromingen en neerslag in een zich ontwikkelende oceaandepressie volgens Browning en Roberts (1994):

Linksboven: fronten en luchtdruk op zeeniveau. Het lagedrukgebied trekt naar het noordoosten. Het warmtefront is afgebeeld als vanouds. Een deel van het achterwaarts gebogen warmtefront is aangegeven als koufront. Het actieve gedeelte van het koufront is aangegeven met dicht bij elkaar gelegen zwarte driehoekjes. Het koufront is bij de open driehoekjes alleen terug te vinden in de bovenlucht. Tussen de beide scherpe grondkoufronten is een diffuus S-vormig grondkoufront, dat van slechts één frontensymbool is voorzien.

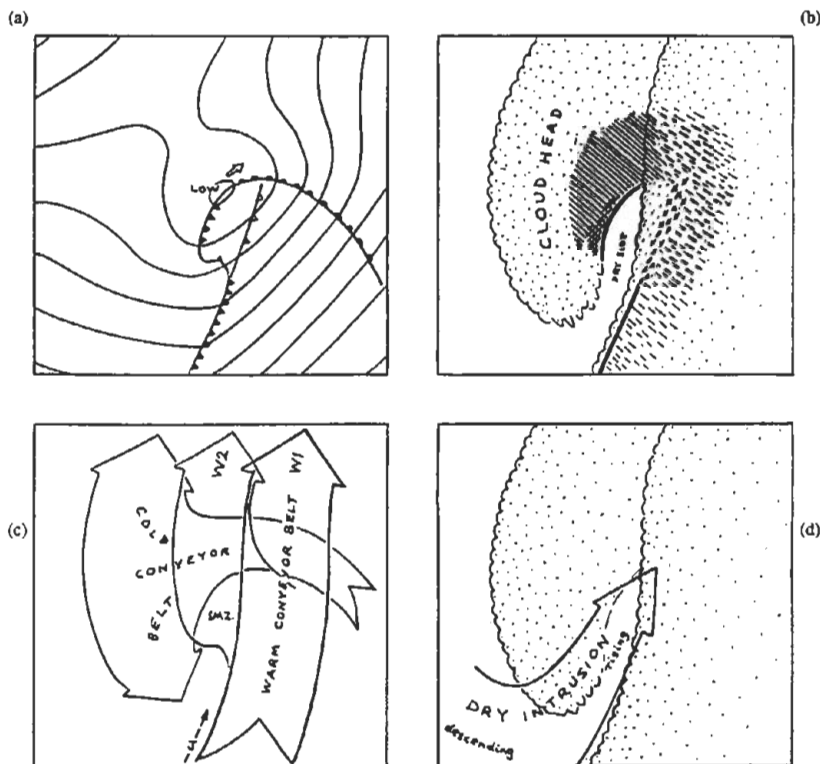
Rechtsboven: Analyse van bewolking en van neerslag die de grond bereikt.

Bewolking zonder neerslag aan de grond is gestippeld: links het zogeheten 'cloud head', rechts de bewolking van de WCB.

Onderbroken arcering: regen van de WCB; ononderbroken arcering: neerslag van het 'cloud head', bij dubbele arcering convectief van karakter; kruisjes: neerslag van het koufront in de bovenlucht; dikke lijnen: smalle regenbanden van koufront. Linksonder:

Analyse van conveyor belts met jetstream J en drie stromingen van vochtige lucht: ■ W1: WCB; ■ lagergelegen gedeelte van WCB, dat zich afsplitst en vervolgens opstijgt als W2 bovenin het cloud head; ■ CCB; de opstijgende lucht van de CCB veroorzaakt voor een belangrijk deel het cloud head en de daaruit vallende neerslag.

Rechtsonder: Analyse van de 'dry intrusion'.



**Literatuur**

- Bergeron, T., 1934: 'Die dreidimensionale verknopende Wetteranalyse. II Teil, Moskou.
- Bjerknes, J., 1919: 'On the structure of Moving Cyclones', *Geofysiske Publikasjoner* 1, 1-8; tevens in *Mon. Wea. Rev.*, 47, 95-99.
- Bjerknes, J. en Solberg (1922): 'Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation', *Geofysiske Publikasjoner* 3, 1-18.
- Bjerknes, V., 1904: 'Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und Physik', *Met. Z.*, 4, 1-7.
- Bjerknes, V., 1921: 'On the dynamics of the circular vortex with applications to the atmospheric vortex and wave motions', *Geofysiske Publikasjoner* 2.
- Browning, K.A., 1985: 'Conceptual models of precipitation systems', *Met. Mag.*, 114, p 293.
- Browning, K.A., 1990: 'Organization of Clouds and Precipitation in Extratropical Cyclones'; in Newton en Holopainen (1990).
- Browning, K.A., 1994: 'Airflow and Structure of Precipitation Systems in Extratropical Cyclones'; in Shapiro en Grønås (1994).
- Browning, K.A. en Roberts, 1994: 'Structure of a frontal cyclone', *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 120, ter perse.
- Van Delden, A.J. en K. Floor, 1994: 'De begindagen van de Noorse School', blz. 4-7 in dit nummer.
- Devik, O., T. Bergeron en C.L. Godske, 1962: In memory of Vilhelm Bjerknes, *Geofysiske Publikasjoner*, vol 24.
- Friedman, R.M., 1989: *Appropriating the Weather*, Cornell University Press, 251 pp.
- Van Gullik, D., 1910 'Leerboek der meteorologie' P. Noordhoff, Groningen.
- Jewell, R., 1981: 'The Bergen School of meteorology', *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 62, 824-830.
- Jewell, R., 'The integrity at work in the Bergen school of meteorology', in Shapiro en Grønås (1994).
- Lynch, 1994: 'Richardson's Marvellous Forecast'; in Shapiro en Grønås (1994).
- Newton, C.W. en E. Holopainen, 1990: 'Extratropical Cyclones: the Eric Palmén Memoria Volume'; AMS, Boston
- Reed R.J., 1990: 'Advances in Knowledge and Understanding of Extratropical Cyclones During the Past Quarter Century: An Overview'; in Newton en Holopainen (1990).
- Uccellini, L.W., 1990: 'Processes Contributing to the Rapid Development of Extratropical Cyclones' in Newton en Holopainen (1990).
- Richardson, L.F., (1922) 'Weather Prediction by Numerical Process', Cambridge: herdruk Dover, New York 1965.
- Simmons, A., (1994): 'Numerical simulations of Cyclone Life Cycles', in Shapiro en Grønås (1994).
- Shapiro, M.A. en E.D. Grell, 1994: 'In Search of Synoptic/Dynamic Conceptualizations of Fronts, Jet Streams and the Tropopause'; in Shapiro en Grønås (1994).
- Shapiro, M.A. en S. Grønås, 1994: 'The life Cycles of Extratropical Cyclones', Volume 1, Bergen, Noorwegen.

## Kritiek op Richardson onterecht

De numerieke weersverwachting die Richardson in 1922 opstelde, staat niet bekend als erg succesvol. De uitkomst van zijn berekeningen, een luchtdrukverandering van 145 hPa in zes uur, is ronduit onrealistisch. 'Toch was het een uitstekende numerieke prognose', stelt Peter Lynch (1994), die de voorspelling nog eens overdeed op een computer. Hij ging uit van dezelfde gegevens die Richardson tot z'n beschikking had, construeerde een vergelijkbaar vijf-lagenmodel en vond eveneens een luchtdrukverandering van 145 hPa in zes uur. Met z'n model kon hij ook de oorzaak nagaan van het ontsporen van Richardson's verwachting. Horizontale en verticale divergentie in een zelfde punt, die elkaar gewoonlijk min of meer in evenwicht houden, bleken sterk uiteenlopende waarden te bezitten, doordat de analyse niet geïnitieerd was. Lynch voerde een initialisatie uit en liet de computer opnieuw rekenen met als resultaat: een luchtdrukverandering van 6 hPa in 6 uur, heel realistisch dus.

**Meteorologica:  
Meer abonnees,  
nog meer kleur!**

Wordt abonnee of sponsor van  
Meteorologica

meer info in de colofon