

## 75 JAAR POLAIRE FRONT THEORIE (1)

**De begindagen van de Noorse School***Aarnout van Delden (IMAU) en Kees Floor (KNMI)*

Van 26 juni tot 1 juli 1994 kwamen ruim 260 meteorologen uit alle delen van de wereld in Bergen (Noorwegen) bijeen om het 75 jarig bestaan van de 'Noorse School' te vieren. Er werd een vijfdaagse conferentie georganiseerd waarbij diverse beroemde (en oude) meteorologen werden uitgenodigd om een lezing te geven over de belangrijkste theorie die de Noorse School heeft voortgebracht: de polaire front- theorie van depressies. De eerste aanzet tot deze theorie zag het licht in 1919 toen Jacob Bjerknes eerst in het Noorse blad *Geofysiske Publikasjoner* en later in het Amerikaanse blad *Monthly Weather Review* een artikel over de structuur van trekkende cyclonen publiceerde. Dit was het begin van de bloeiperiode van de meteorologie in het afgelegen Bergen. Die bloei heeft geduurd tot het begin van de tweede wereldoorlog. Het was juist dankzij de eerste wereldoorlog en de vader van Jacob Bjerknes, Vilhelm Bjerknes, dat Bergen het verzamelpunt werd van een opvallend groot aantal talentvolle meteorologen. De namen, Bergeron, Pettersen, Solberg, Godske, Palmén, Hesselberg, Rossby en Bjerknes zijn niet meer uit de meteorologie weg te denken. In dit artikel schetsen we, aan de hand van het leven van Vilhelm Bjerknes, de toestand van de meteorologie in zijn tijd en het ontstaan van de Noorse School.

**VILHELM BJERKNES, DE GRONDLEGGERS VAN DE NOORSE SCHOOL**

Vilhelm Bjerknes werd geboren in 1862. Hij was de tweede van vier kinderen uit het

*Vilhelm Bjerknes.*

huwelijk van Carl Anton Bjerknes en Alette Koren, dochter van een minister. C.A. Bjerknes was hoogleraar wiskunde aan de universiteit van Christiania (nu Oslo). Vilhelm ging aan dezelfde universiteit studeren en publiceerde samen met zijn vader in 1882 een wetenschappelijk artikel over hydrodynamica (stromingleer). In 1889 studeerde hij af en kreeg vervolgens een beurs voor verdere studie in Parijs bij de beroemde wiskundige Poincaré, en daarna bij Heinrich Hertz in Bonn, waar hij twee jaar verbleef. In 1893 kreeg Bjerknes zijn eerste zelfstandige baan als docent natuurkunde in Stockholm. In 1895 werd hij bevorderd tot hoogleraar mechanica. In 1893 trouwde hij net als zijn vader met de dochter van een minister. Na enkele studies over electromagnetische golven ging Vilhelm Bjerknes zich concentreren op hydrodynamica.

**HET CIRCULATIE THEOREMA**

Dit resulteerde in 1897 o.a. in het beroemde circulatietheorema dat nu zijn naam draagt. Bjerknes paste zijn circulatie theorema toe op de stromingen in de atmosfeer en de oceaan. Hiermee was hij zeer succesvol, waardoor hij in de meteorologie (en oceanografie) terecht kwam. De meteorologie had in die tijd een slechte

naam als wetenschap. Veel natuurkundigen beschouwden het meteorologie bedrijven als een zonde. Enerzijds werden de problemen als te moeilijk beschouwd, anderzijds keek de gevestigde orde neer op de manier waarop het vak werd uitgeoefend. Toch hebben beroemde fysici, zoals Helmholtz en Hertz in die tijd belangrijke bijdragen aan de meteorologie geleverd. Vanaf de ontdekking van het circulatietheorema heeft de meteorologie Vilhelm Bjerknes niet meer losgelaten. Hij zag het als zijn taak om van de meteorologie een exakte wetenschap te maken. Hij wist dat het mogelijk moest zijn om de atmosferische processen in vergelijkingen vast te leggen en wel op een zodanige wijze dat men uitgaande van een bepaalde waargenomen toestand de toekomstige weersomstandigheden door berekening zou kunnen bepalen. Pas veel later, in de jaren vijftig, werden deze ideeën, de basis van de numerieke weersverwachting die Bjerknes al in 1904 in een artikel in *Meteorologische Zeitschrift* naar voren bracht, ten uitvoer gebracht. Vilhelm Bjerknes werd in 1907, twee jaar nadat Noorwegen zelfstandig werd van Zweden, hoogleraar aan de universiteit van Christiania. Met hulp van zijn assistenten, V. W. Ekman, J.W. Sandström, Th. Hesselberg, O. Devik en H. Sverdrup werd op basis van de hydrodynamica de dynamische meteorologie en oceanografie geheel vernieuwd. Dit werk werd in 1910 en 1911 gedeeltelijk voltooid met de publicatie van de eerste twee delen van een serie van drie boeken: 'Statica' en 'Kinematica'. Het derde deel van deze serie, getiteld 'Dynamica' is nooit als zodanig verschenen. In deze boeken werd onder andere gepleit voor de invoering van de millibar als eenheid van luchtdruk in plaats van de millimeter kwik. Ook werd gepleit voor luchtdruk als verticale coördinaat in plaats van hoogte. Deze laatste aanbeveling werd in 1913 overgenomen door de internationale aërologische commissie, nu onderdeel van de WMO (Wereld Meteorologische Organisatie). Hierdoor werden de resultaten van aërologische waarnemingen, die toen net op gang kwamen, altijd op drukvlakken weergegeven.

**VIA LEIPZIG NAAR BERGEN**

In 1913 aanvaarde Vilhelm Bjerknes een uitnodiging om een nieuw geofysisch instituut in Leipzig (Duitsland) te leiden. Helaas brak kort daarop de eerste wereldoorlog uit. De meeste Duitse assistenten van Bjerknes werden, ingelijfd in het Duitse leger en keerden veelal niet meer uit de oorlog terug. In 1917 werd de

voedselsituatie zo nijpend en de uitdunning van zijn team van medewerkers zo ondraaglijk dat Bjerknes besloot met zijn twee overgebleven Noorse assistenten (zijn zoon Jacob en Halvor Solberg) terug te keren naar Noorwegen. Daar was net de oceanograaf Bjørn Helland-Hansen bezig een nieuw geofysisch instituut op te zetten in samenwerking met het Bergens Museum. Vilhelm Bjerknes werd er hoogleraar. In datzelfde jaar viel de oogst in Noorwegen door ongunstig weer flink tegen. De Noorse boeren hadden weersverwachtingen nodig en onder zulke omstandigheden is het klimaat altijd gunstig voor subsidieaanvragen om dergelijke verwachtingen te realiseren. Aanleiding om inderdaad tot het uitgeven van weersverwachtingen over te gaan was een bericht in het dagblad *Tidens Tegn* uit Kristiansand, waaruit bleek dat Zweedse boeren per telefoon weersverwachtingen konden opvragen. De directeur van de Noorse Meteorologische dienst reageert in die zelfde krant en meldt dat zo iets in Noorwegen praktisch onuitvoerbaar is. Daarop neemt Bjerknes verontwaardigd de pen ter hand en schrijft de directeur: "Wij kunnen ondanks alle beperkingen iets doen. En de omstandigheden daartoe zijn nu optimaal."

**D**AGELIJKSE  
WEERBERICHTGEVING

Dat blijkt de aanzet te zijn tot de start van een dagelijkse weerberichtgeving op 18 september 1918. Naast Vilhelm Bjerknes werken dan in het afgelegen Bergen Jacob Bjerknes, Halvor Solberg en vanaf 1919 de Zweed, Tor Bergeron, rustig hun ideeën verder uit over de dynamica van depressies, luchtmassa's en neerslaggebieden, die ze in Leipzig met behulp van het dichte waarnemingsnetwerk in midden-Europa hadden opgedaan. Het was Jacob Bjerknes bij de analyse van de midden-Europese gegevens opgevallen dat slecht weer vaak geassocieerd werd met zogenaamde convergentie- en divergentielijnen in de stroming dichtbij de grond. Om deze lijnen te detecteren was ook in Noorwegen een dicht netwerk van meetstations nodig. Onder leiding van Vilhelm Bjerknes werd het aantal stations in zuid-Noorwegen uitgebreid van 9 tot ongeveer 90. Bjerknes hoopte dat een dichter waarnemingsnet het ware gezicht van het weer zou onthullen. Hij vergeleek waarnemingsstations met de pixels waaruit een foto van een gezicht is opgebouwd; met 9 pixels kun je geen herkenbaar portret maken, met 90 misschien wel! De atmosfeer had voor Bjerknes een gezicht;



*De Noorse School. Van links naar rechts, staand: H. Solberg, H.U. Sverdrup, S. Pettersen. Zittend: T. Bergeron, V. Bjerknes, J. Bjerknes, C.L. Godske, Bergen, 1934.*

de fronten waren de rimpels in het gelaat van het weer (Jewell 1994).

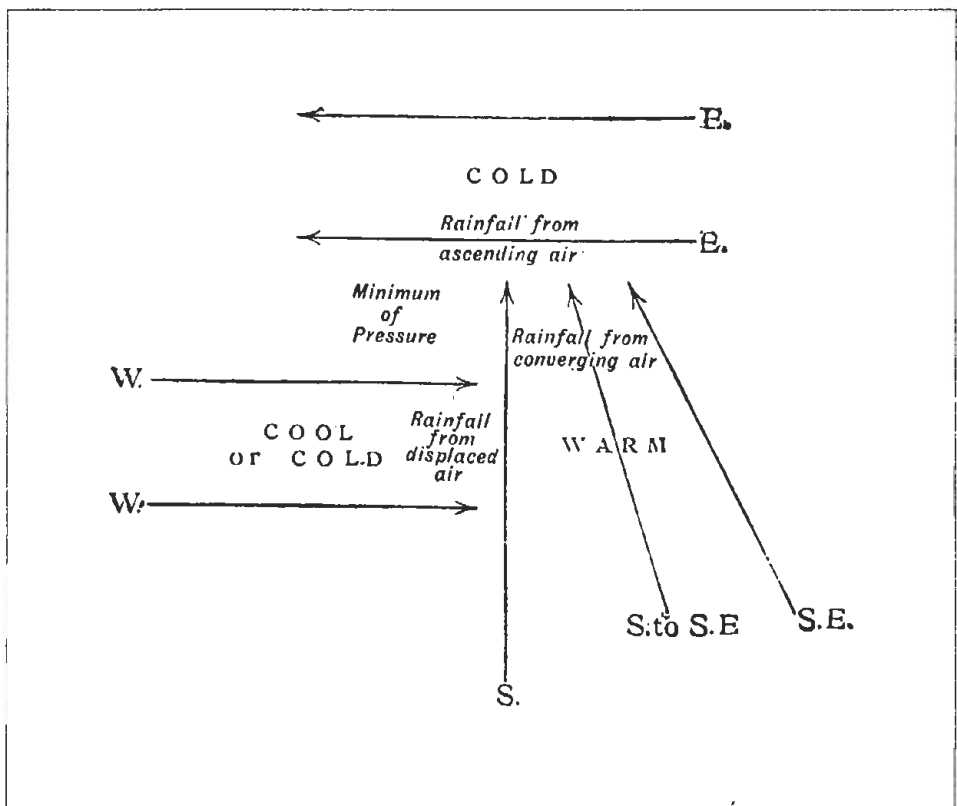
**D**E FRONTEN THEORIE

Op alle waarnemingsstations werden toegewijde waarnemers gepost; ze deden ook wolkenwaarnemingen zodat iets over de bovenlucht kon worden gezegd. Hiermee werd de basis gelegd voor de ontdekking van fronten en het nieuwe depressiemodel. Het oude depressiemodel van Shaw (1906) (zie figuur 1), met drie luchtsoorten werd vervangen door een nieuw schema waarin warmte- en koufronten en daarbij behorende regenstroken

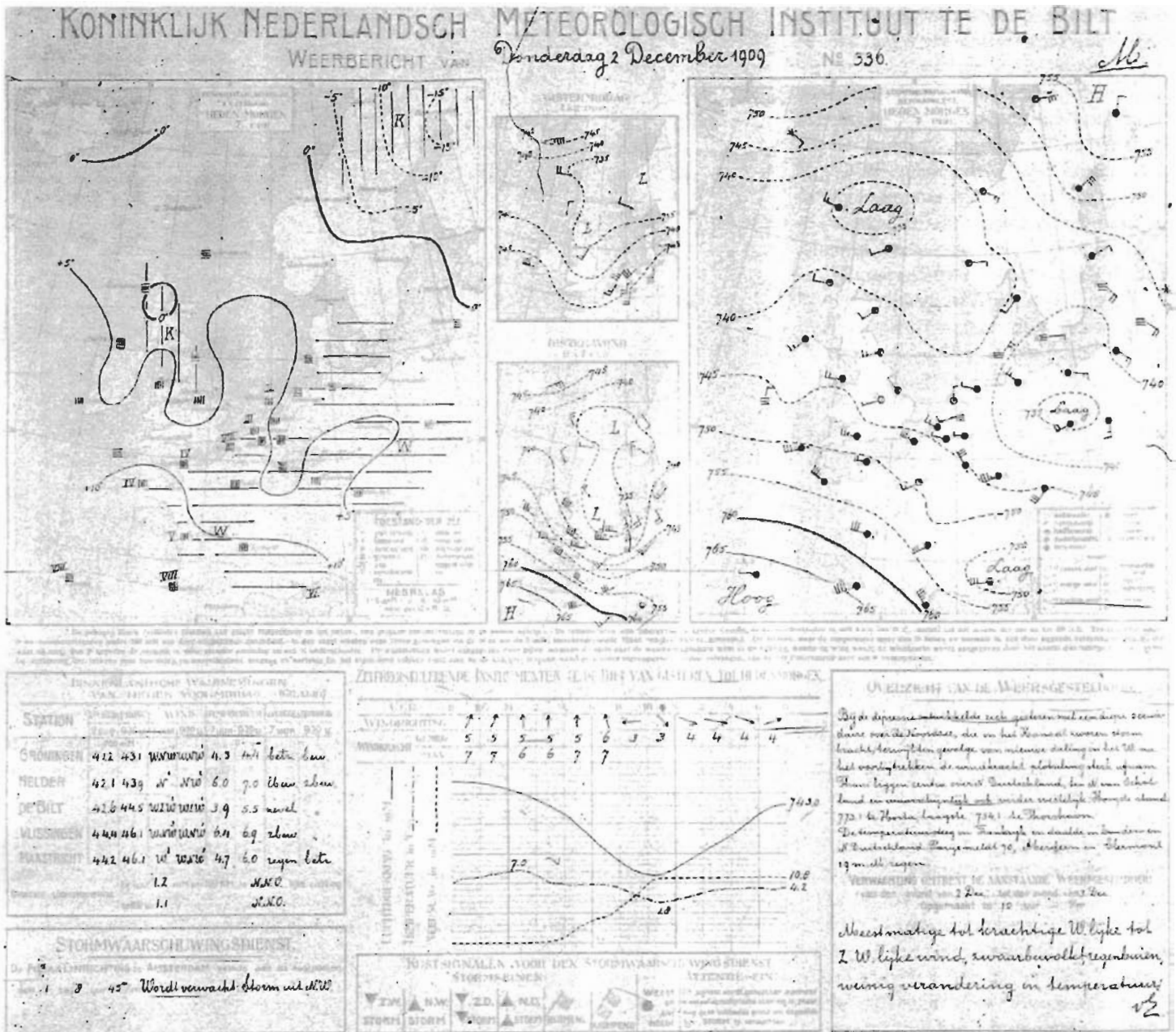
duidelijk werden aangegeven.

Spoedig bleek dat dit schema slechts voorkomt tijdens de eerste korte ontwikkelingsfase van een depressie. De gehele levensloop van een dergelijk lagedruksysteem werd in 1922 door Jacob Bjerknes en Solberg geschetst, waarbij het begrip occlusie (dat reeds in 1919 door Bergeron was voorgesteld) ook werd ingevoerd.

Er was, vooral uit midden-Europa (met name Duitsland en Oostenrijk waar de gevestigde orde van de vorige eeuw zat) tegenstand tegen de nieuwe ideeën van de zeer jonge onderzoekers uit Bergen.



*Figuur 1. Depressiemodel van Shaw (1906).*



Figuur 2. Het dagelijks weerbericht van het KNMI van 2 december 1909 (uit van Gullik, 1910).

Vilhelm Bjerknes verdedigde de theorie met succes. Al zijn autoriteit en faam was nodig om de ideeën van zijn discipels geaccepteerd te krijgen. Door deze ideeën werden de weerkaarten heel wat interessanter. Voor 1918 werd het weer uitsluitend in verband gebracht met de specifieke vorm en configuratie van de isobaren. De weerkaarten uit die tijd waren dan ook uitermate 'kaal' en saai (zie figuur 2). Door het werk van Bjerknes, Solberg en Bergeron werden vanaf de jaren twintig de ligging van fronten op de weerkaarten weergegeven (zie figuur 3).

V. Bjerknes had ook tijd voor fundamenteel theoretisch onderzoek. In 1921 (op negenenvijftigjarige leeftijd) publiceerde hij een nu klassiek artikel getiteld 'On the

dynamics of the circular vortex with applications to the atmospheric vortex and wave motions', waarin o.a. werd beweerd dat depressies onstabiele golven zijn die zich langs een front voortbewegen. Dit idee is in de jaren daarna samen met Solberg intensief onderzocht. Tot een bevredigend resultaat zijn Bjerknes en Solberg echter nooit gekomen. Het idee is door de nieuwe, vooral Engelstalige generatie meteorologen na de tweede wereldoorlog bevredigend uitgewerkt.

In 1926 verhuisde V. Bjerknes opnieuw naar Oslo om hoogleraar in de mechanica en mathematische fysica te worden. Solberg werd zijn assistent. Deze werd in 1930 hoogleraar theoretische meteorologie in Oslo. C. L. Godske volgde Bjerknes in Bergen op. In 1932 ging V. Bjerknes met

pensioen, maar hij bleef tot aan zijn dood in 1951 actief.

### DE SCHOOL VAN VILHELM BJERKNES

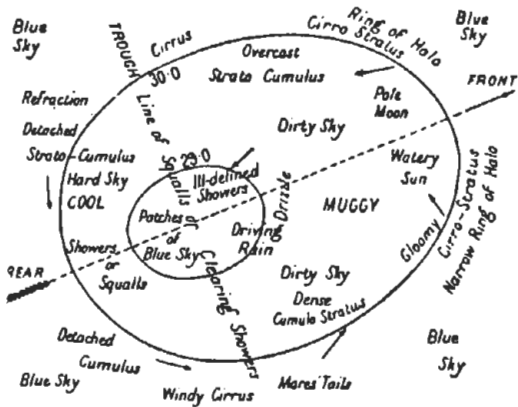
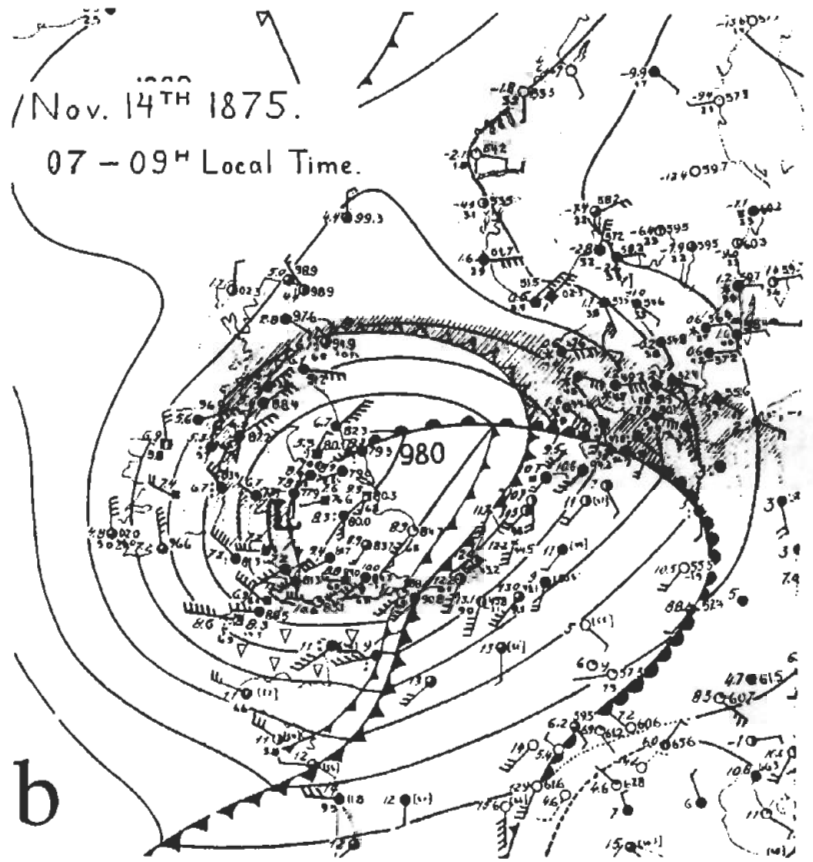
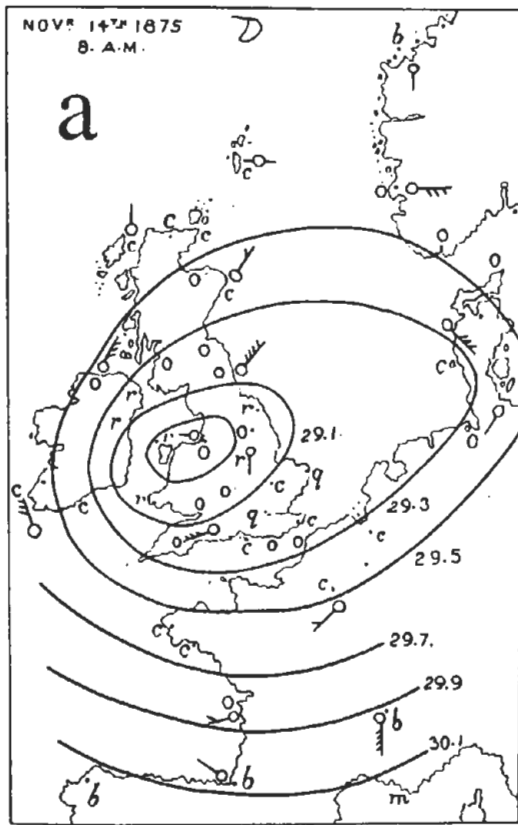
De invloed van Vilhelm Bjerknes op de meteorologie is enorm geweest, niet alleen vanwege zijn wetenschappelijke artikelen maar meer nog vanwege zijn vermogen om te organiseren en anderen te inspireren. In een zekere zin had hij zijn tijd mee. Aan het begin van deze eeuw waren er allerlei technische ontwikkelingen, zoals het ontstaan van de luchtvaart en de ontwikkeling van een telefoonnetwerk, die de synoptische en dynamische meteorologie wel ten goede zouden komen. Vilhelm Bjerknes raakte min of meer bij toeval in de meteorologie ver-

zeild toen hij zijn circulatietheorema ontdekte. Hij zag vanwege deze technische ontwikkelingen zeer snel in dat er substantiële vooruitgang te boeken viel in deze stiefmoederlijk behandelde tak van de natuurkunde. Met behulp van de luchtvaart konden meteorologen iets leren

over de hogere luchtlagen, waar aan het begin van deze eeuw nog maar weinig van bekend was. Omgekeerd kon de luchtvaart profiteren van de vooruitgang in de meteorologie. V. Bjerknes wist vertegenwoordigers van de luchtvaart en geldschietters in Noorwegen, Duitsland en

in de Verenigde Staten hiervan te overtuigen. Hij wist tevens zeer getalenteerde onderzoekers om zich heen te verzamelen. V. Bjerknes had het zeldzame talent om een 'school' te creëren.

**Literatuur**  
zie artikel. "Modellen maken meteorologie", blz. 12.



Figuur 3. a. Analyse van een depressie boven de Britse eilanden door Abercromby uit 1875. b. Analyse van hetzelfde geval door Bergeron (1933) (overgenomen uit Friedman, 1989).



Jacob Bjerknes



Tor Bergeron.



Sir Napier Shaw en Vilhelm Bjerknes.