

FRONTVARIANTEN (3)

Occlusies

KEES FLOOR (KNMI, DE BILT)

In eerdere artikelen in de reeks frontvarianten (Floor 1997a, 1997b) werd beschreven dat zowel warmte- als koufronten kunnen worden onderverdeeld in ten minste twee verschillende typen. Voor occlusies geldt iets dergelijks; daarover gaat deze bijdrage. In de theorievorming van de laatste vijftien jaar kreeg vooral de zogeheten instant-occlusie veel aandacht.

Met de klassieke beeldvorming van occlusies bleek men niet steeds uit de voeten te kunnen; in een van de recente conceptuele modellen van de levensloop van een oceaandepressie komt de occlusie zelfs helemaal niet meer voor.

KLASSIEKE OCCLUSIES

Aan de beeldvorming over oceaandepressies en de daarbij behorende fronten werd deze eeuw in de jaren na de Eerste Wereldoorlog een belangrijke bijdrage geleverd door verscheidene medewerkers van de zogeheten Noorse School. De Noorse School bestond uit een aantal medewerkers van het Bergens Museum, later de Universiteit van Bergen, Noorwegen, onder leiding van Vilhelm Bjerknes. De occlusie werd in 1919 geïntroduceerd door Tor Bergeron en vormde een aanvulling op het depressiemodel met warmte- en koufront van Jack Bjerknes uit 1918. Volgens de theorie van de Noorse School treden occlusies op in het eindstadium van de

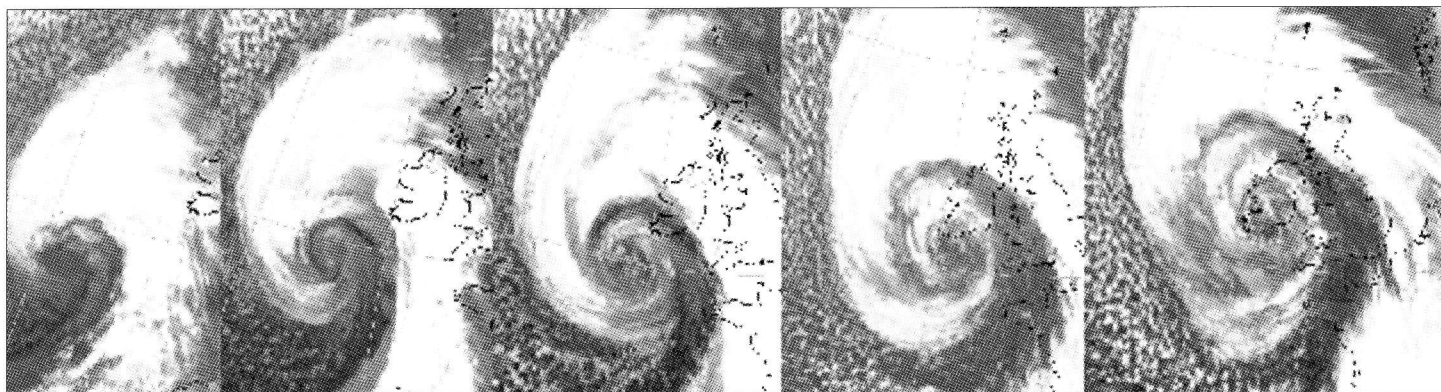
levensloop van een oceaandepressie (Bjerknes en Solberg, 1922) (figuur 1); het sneller lopend koufront heeft in die fase het langzamer voortbewegend warmtefront ingehaald. De warme lucht wordt als het ware opgetild en komt los van het aardoppervlak. Deze situatie wordt wel aangeduid als de klassieke occlusie.

Het punt waar warmtefront, koufront en occlusie samenkomen, is het occlusiepunt; de ligging van de fronten en van het occlusiepunt ten opzichte van de frontale bewolking is weergegeven in figuur 2a. De klassieke occlusie is schematisch afgebeeld in figuur 3 (links). Volgens meer recente inzichten zijn in het bovenste gedeelte van de figuur de belangrijkste bewolking- en neerslaggenererende lucht-

stromingen ingetekend: een warm conveyor belt (WCB) en een cold conveyor belt (CCB).

GESPLITST FRONT EN ANDERE FRONTVARIANTEN

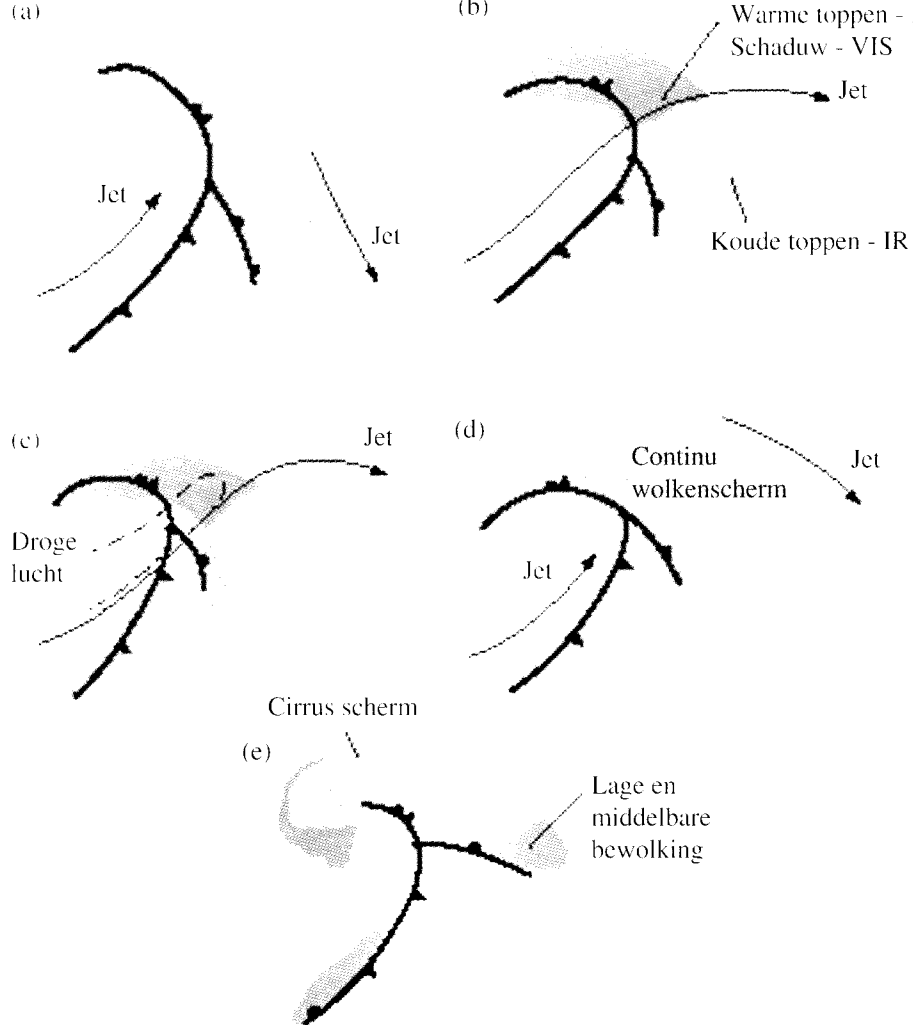
De beschrijving van de fronten rond een depressie met behulp van een warm conveyor belt en een cold conveyor belt, leidt al direct tot een kleine aanpassing van het klassieke model. De WCB ligt in de omgeving van het occlusiepunt namelijk hoger dan de CCB. Daardoor is de door de WCB veroorzaakte bewolking op infraroodbeelden van weersatellieten lichter van tint dan de bewolking van de CCB en werpt zij een schaduw op de bewolking van de CCB, die op zicht-



Figuur 1. Satellietbeelden van een occluderende depressie. METEOSAT-opnamen om de zes uur vanaf 2 februari 1994 18 UTC tot en met 3 februari 18 UTC. De opname van 2 februari 18 UTC (geheel links) toont het begin van een occlusie tussen 20 en 25WL en tussen 47 en 50NB. Ten noorden en noordoosten hiervan bevindt zich een goed ontwikkeld warmtefront. Het bijbehorend koufront ligt ten zuidwesten van Ierland. De frontale bewolking is zeer licht van tint.

Op 3 februari 00 UTC (midden-links) heeft het hele systeem zich naar het oosten verplaatst. De occlusie begint cyclonaal op te krullen rond het centrum tussen 13 en 20WL.

Het satellietbeeld van 06 UTC (midden) laat zien dat het occluderend systeem over Engeland, Schotland en Wales verder opschuift naar het oostnoordoosten. Tegelijkertijd krult de occlusie verder op; ze ligt nu ten zuidwesten van Ierland en heeft een tamelijk volwassen fase bereikt. De volgende zes uur heeft het frontaal systeem zich weer verder naar het noordoosten verplaatst, zoals de opname van 12 UTC (midden-rechts) laat zien. Op dat moment is de occlusie nog steeds in ontwikkeling. Pas op het volgende satellietbeeld (18 UTC; geheel rechts) zijn de eerste aanwijzingen te zien van het oplossen van de bewolking van de occlusie. Wel trekt het systeem ook dan nog naar het noordoosten.



Figuur 2. Schematische weergave van de ligging van grondfronten en oclusiepunt ten opzichte van de frontale bewolking en de as van de straalstroom:

- a. volgens de zogeheten Noorse School,*
- b. als de straalstroom de bewolking van de oclusie kruist; de wolketoppen van de oclusie reiken minder hoog dan die van warmte- en koufront, zodat in zichtbaarlichtbeelden vaak een duidelijke schaduwpartij kan worden waargenomen,*
- c. bij een gesplitst front; droge, uit de onderste lagen van de stratosfeer of de hoogste niveaus van de troposfeer stroomt uit over de warm conveyor belt in het gebied waar grondkoufront en oclusiepunt zich bevinden,*
- d. als de straalstroom is opgesplitst bij een warmtefront met gesloten warme sector (warmte front scherm) en*
- e. bij een warmtefront met open warme sector (warmte front band).*

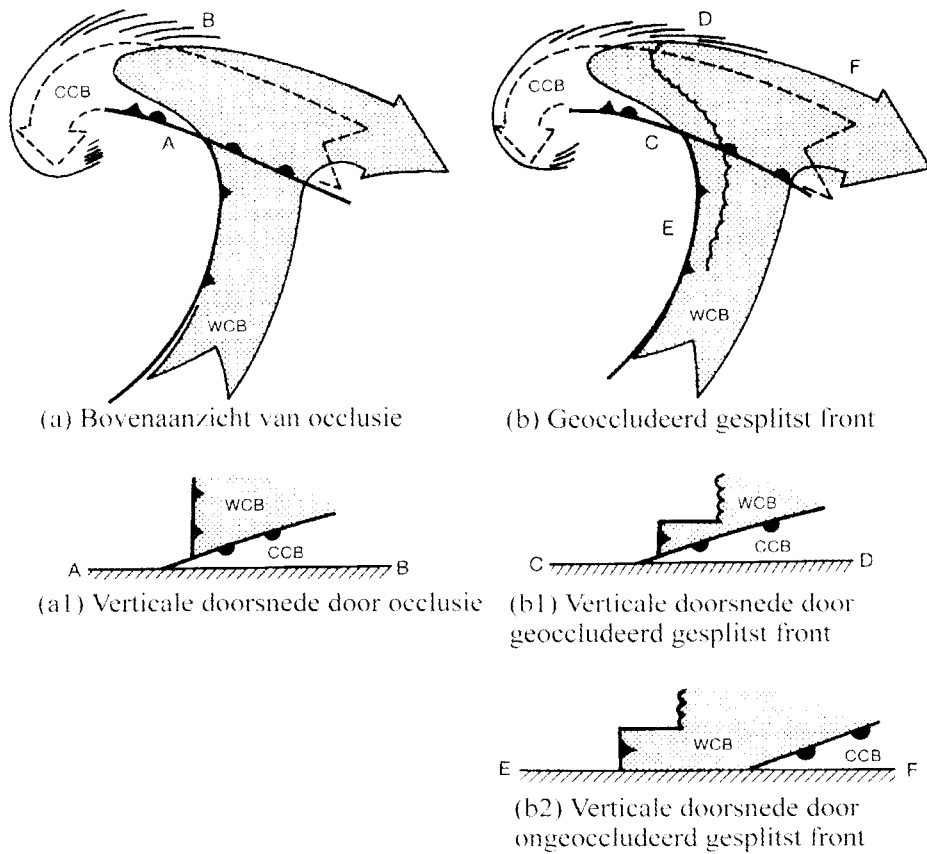
baarlichtbeelden vaak goed te zien is (figuur 2b). De gesplitstfronttheorie van Browning en Monk (1982) noodzaakt tot enkele verdere aanpassingen van het klassieke plaatje; ze zijn weergegeven in het rechterdeel van figuur 3 (Browning 1990). In het gesplitstfrontmodel wordt een onderscheid gemaakt tussen een grondkoufront, in de figuren 3b aangegeven door lijnen met de gebruikelijke zwarte driehoekjes, en een bovenluchtkoufront, aangegeven met een gekartelde lijn. Een belangrijk verschil met het klassieke koufrontmodel wordt veroorzaakt door het uitstromen van droge lucht over de warm conveyor belt; de voorste begrenzing van die droge lucht is het bovenluchtkoufront. Tussen het grondkoufront en het bovenluchtkoufront is een slechts ondiepe vochtige zone. De droge lucht die over de vochtige lucht van de warm conveyor belt uitstroomt, is afkomstig uit het bovenste gedeelte van de troposfeer of de lagere niveaus van de stratosfeer en vormt volgens het conceptuele model van het gesplitst front de zogeheten droge uitstulping (dry intrusion). Net als bij de klassieke oclusie is in het geoccludeerde deel van het front de warme lucht los-

gekomen van het aardoppervlak (figuur 3 midden-rechts); figuur 3 rechtsonder toont een niet geoccludeerd deel van het front. De ligging van warmtefront, koufront en oclusie ten opzichte van de frontale bewolking is weergegeven in figuur 2c; let vooral op de ligging van het oclusiepunt: de bewolking boven het oclusiepunt reikt niet zo hoog, zodat het punt zich bevindt buiten de lichtgetinte zone op infraroodbeelden. Figuur 2 toont verder nog de ligging van warmtefront, koufront en oclusie ten opzichte van de frontale bewolking voor twee verschillende warmtefrontvarianten: het warmtefront met gesloten warme sector (warmte front scherm) (2d) en het warmtefront met open warme sector (warmte front band) (2e).

VAN KOMMA TOT OCLUSIE

De ontwikkeling van verdere recente theorieën over de vorming van oclusies werd mogelijk na de komst van de weer-satellieten. Met behulp van satellietbeelden kon men van oclusies die getekend werden op de weerkaart, nagaan hoe het bijbehorende wolkenpatroon zich de voorgaande dagen had gevormd en ontwikkeld. Het bleek helemaal niet

nodig dat een warmtefront wordt ingehaald door het koufront van dezelfde depressie (Mass 1991). Bij een ander mechanisme dat leidt tot vergelijkbare patronen op satellietfoto en weerkaart, speelt de bewolking in de koude, polaire lucht achter het koufront een belangrijke rol (Zwatz-Meise, 1985). Er vormen zich daar vaak talrijke actieve buien, waarvan sommige zich organiseren tot actievere buiengebieden; ze kunnen samenhangen met een trog en geven op satellietfoto's gewoonlijk aanleiding tot een kommavormig bewolkingspatroon of bewolking in de vorm van een boomblad. Een komma kan als afzonderlijk weersysteem blijven voortbestaan; komma en polaire front hebben dan niets met elkaar van doen. Het is echter eveneens mogelijk dat er een wisselwerking optreedt tussen de storing met het kommavormige wolkenpatroon en het polaire front. Het resultaat van zo'n wisselwerking is de zogeheten instant-occlusie of pseudo-occlusie, die in bewolkingspatroon een zekere gelijkenis vertoont met de klassieke oclusie en op weerkaarten vaak als zodanig wordt aangegeven. De ontwikkeling van een kommavormige storing en die van een klassieke oclusie vormen als het ware twee uitersten; de instant-occlusie bevindt zich daar ergens tussenin. Figuur 4 toont schematisch de onderlinge ligging van de conveyor belts voor de drie weersystemen.



Figuur 3. Schematische weergave van een occlusie, uitgaand van het concept warm conveyor belt, volgens Browning (1990). Links de klassieke situatie, rechts de gesplitstfrontsituatie. Boven: bovenaanzicht. Onder: dwarsdoorsneden volgens de lijnen AB (links), CD (geoccludeerd deel van het front, rechts midden) en EF (nietgeoccludeerd deel van het front, rechts onder). De gekartelde lijn geeft de ligging van het zogeheten bovenluchtkoufront volgens de gesplitstfronttheorie van Browning en Monk (1982).

TWEE TYPEN 'INSTANT-OCCLUSIE'

Instant-occlusies komen voor in twee varianten, door McGinnigle et al. (1988) en McGinnigle (1990) eenvoudigweg fantasieloos aangeduid als type 1 en type 2. Een conceptueel model van de type 1-occlusie was reeds eerder in de literatuur opgedoken (Browning en Hill 1985), maar deze occlusievariant komt in de praktijk minder vaak voor. De relevante conveyor belts voor de type 1 instant-occlusie waren reeds geschetst in figuur 4 (midden); ze zijn, met aanvullende informatie over frontposities en Θ_w -patroon op 850 hPa, nogmaals weergegeven in figuur 5a.

In beide typen instant-occlusie speelt, naast de 'gewone' warm conveyor belt van het polaire front, een tweede WCB (W2) een belangrijke rol. Bij type 1 wordt W2 echter gevoed met lucht uit de warme sector (figuur 5a); W2 voert die lucht naar ongeveer 700 hPa. Bij type 2 daarentegen voert W2 lucht die boven de oceaan voor een trog, maar achter de 'gewone' WCB, aangewarmd en vochtiger geworden is, naar noordelijker breedten en grotere hoogten in de atmosfeer. W2 reikt hier tot omstreeks 400 hPa.

De schematische tekeningen van figuur 5 en de voorbeelden van figuur 6 laten nog meer verschillen zien tussen de beide varianten instant-occlusie. Bij type 1

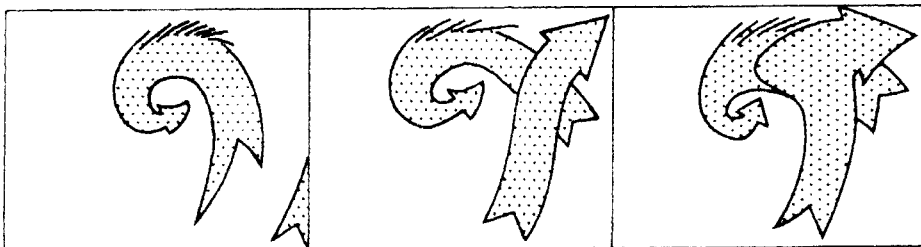
bestaat de 'stok' van de occlusie uit een smalle band convectieve bewolking; de oriëntatie daarvan is loodrecht op het polaire front en de bijbehorende warm conveyor belt. Bij type 2 is er een markante scherpe hoek in de bewolking. Er is sprake van een kopgolf (cloud head of hook cloud: C in figuur 6 rechts). Tussen de bewolking van de kopgolf en de wolkenband van het polaire front bevindt zich een smalle, onbewolkte zone, die gewoonlijk wordt aangeduid als dry slot. Ook het patroon van Θ_w -lijnen op 850 hPa (streepjeslijnen) verschilt. Figuur 5a laat zien dat de temperatuurtegenstellingen bij de trog van type 1 gering zijn; het temperatuurpatroon rond de 'stok' van de instant-occlusie doet nog sterk denken aan dat van de klassieke occlusie. Bij type 2 (figuur 5b) is de temperatuurgradiënt bij de 'stok' van de instant-occlusie veel groter. Dit is ook de reden dat McGinnigle et al. voorstellen de klassieke analyse (figuur 5b) te vervangen door een analyse die hieraan beter recht doet, bijvoorbeeld zoals in figuur 6c weergegeven voor de weersituatie van 9 februari 1987.

INSTANT-OCCLUSIE CYCLOGESENSE

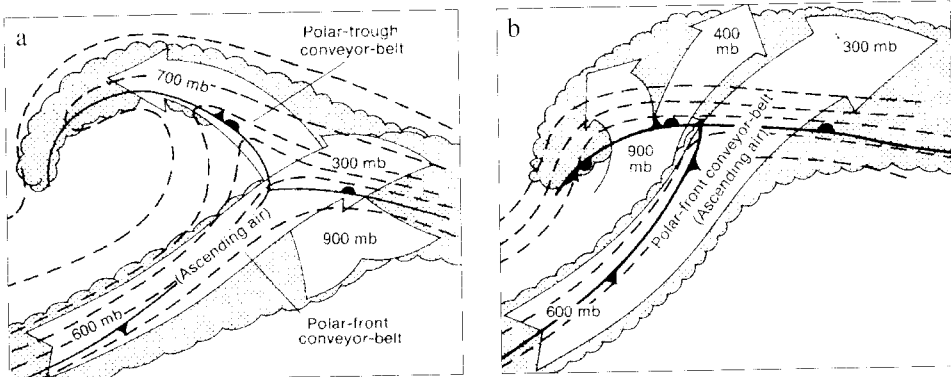
Als instant-occlusies zich ontwikkelen tot type 2 en er daarmee sprake is van zogenoemde instant-occlusie cyclogenese, moet er aan een aantal voorwaarden zijn voldaan. Het bewolkingspatroon van de storing in de polaire lucht moet bij voorkeur een soort bladvorm hebben (het zogeheten baroclinic leaf). Bovendien moeten weerkaarten, computeranalyses of modelprognoses een thermische gradiënt tonen in de buurt van het bladvormige bewolkingspatroon. Verder moet de stroming de storing voeren tot binnen een afstand van 300 km van het polaire front. Het conceptuele model van de instant-occlusie cyclogenese omvat verder een levensloop waarin drie fasen zijn te onderscheiden:

- een voorfase, waarin het bladvormig bewolkingspatroon op de satellietfoto zichtbaar wordt,
- een versmeltingsfase, waarbij de storing in de koude lucht een geheel gaat vormen met het polaire front en er activering plaatsvindt,
- een volwassen fase als de instant-occlusie zich heeft gevormd.

Voor een uitvoeriger beschrijving van de instant-occlusie cyclogenese wordt verwezen naar McGinnigle et al. (1988) of Bader et al. (1995, sectie 5.2.2.2).



Figuur 4. Schematische weergave van de conveyor belts voor een comma-cloud (links), instant-occlusie (midden) en klassieke occlusie.



Figuur 5. Schematische weergave van de conveyor belts voor instant-occlusies type 1 (a) en type 2 (b). Tevens zijn frontposities en Θ_w -patroon op 850 hPa ingetekend. De tweede, minder uitgesproken warm conveyor belt W2 in (b) transporteert van oorsprong polaire, maar boven de oceaan ten oosten van een trog milder en vochtiger geworden lucht. McGinnigle et al. (1988) stellen overigens voor de gebruikelijke analyse (b) te vervangen door een analyse zoals weergegeven in figuur 6c.

LEVENSLIJP ZONDER OCCLUSIE

In het voorgaande zagen we dat er verschillende occlusievarianten kunnen worden onderscheiden, zoals de klassieke occlusie, al dan niet gemodificeerd volgens het gesplitstfrontmodel, en twee typen instant-occlusie. Dit betekent overigens niet dat de klassieke occlusie onomstreden is. Zo noemt Mass (1991) het noorschoolmodel van de ontwikkeling van occlusies in veel gevallen niet realistisch en geeft hij een overzicht van de problemen die verscheidene onderzoekers hebben ondervonden om het klassieke occlusiemodel te onderbouwen met waarnemingen. Een andere aanwijzing dat de populariteit van de klassieke occlusie tanende is, wordt gevormd door de opmars van het

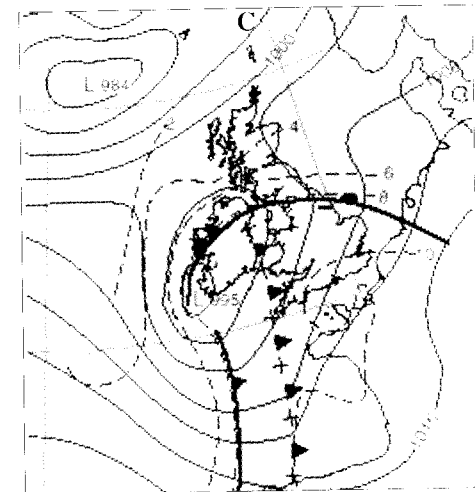
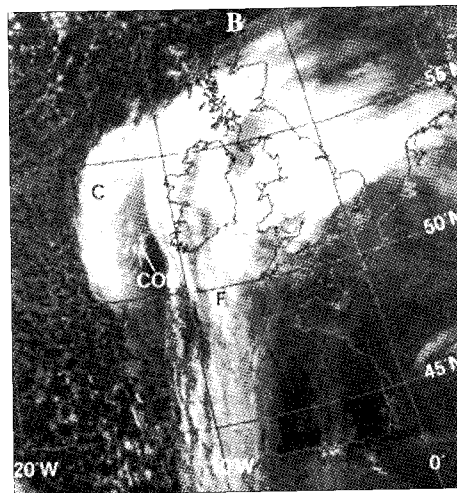
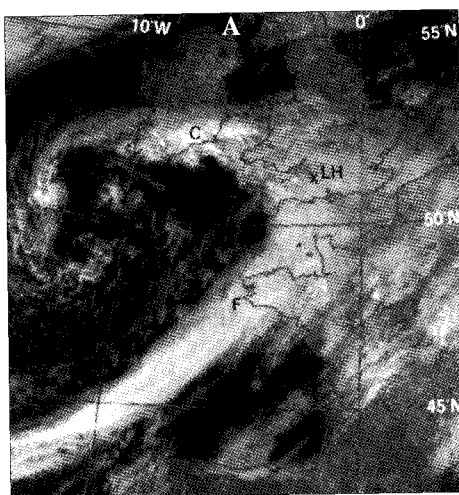
model van de levensloop van een marietieme oceaandepressie van Shapiro en Keyser (1990). Naar dit model wordt tegenwoordig vaak verwezen; het is afgebeeld in figuur 7. Het bovenste gedeelte van de figuur bevat fronten en isobaren van de luchtdruk op zeeniveau; gebieden met bewolking zijn gerasterd. Merk op dat er geen occlusies zijn getekend; op de plaats waar men de occlusie zou verwachten is het front aangeduid als warmtefront. Het onderste deel van de figuur bevat het temperatuurpatroon (isothermen op 850 hPa of dikte 1000-500 hPa), koude luchtstromingen (dikke getrokken lijnen) en warme luchtstromingen (dikke streepjeslijnen). Shapiro en Keyser onderscheiden in de levensloop van marietieme depressies vier opeenvolgende fasen. In de ontstaansfase

(figuur 7 I) is er een ongeveer 400 km brede frontale zone die dient als voedingsbodemp voor beginnende oceaandepressies. Dit beeld wijkt nog weinig af van het klassieke.

In fase twee echter, de ontwikkelingsfase (figuur 7 II), ontstaat er een breuk in het front (frontal fracture), niet ver van de depressiekern. De frontale breuk is het best zichtbaar in de onderste tekening met het temperatuurpatroon. Op de plaats waar het koufront en het warmtefront elkaar zouden moeten ontmoeten, is de gradiënt zeer zwak; het front ontbreekt er als het ware en is in de figuur erboven op die plek dan ook weggelaten. De verbinding komt later gedurende de levensloop van de depressie niet meer echt tot stand, ook al suggereert de tekening rechtsboven in figuur 7 nog even dat dit wel het geval zou zijn.

Het breken van het front wordt gevolgd door een ten opzichte van de depressiekern westwaartse verplaatsing van het warmtefront; een deel van het warmtefront komt terecht in de noordelijke stroming aan de westkant van de activerende depressie. Dit is fase 3 (figuur 7 III), ergens halverwege de levensloop van de depressie; Shapiro en Keyser spreken van bent-back warm front en frontal T-bone; over een occlusie wordt nadrukkelijk niet gerept, al is de analogie met de bent-back occlusie van het noorschoolmodel duidelijk (Conway et al., 1996). De scherpste temperatuurgradiënten die tijdens de ontwikkeling van een depressie kunnen worden waargenomen, treden op bij dit bent-back warm front.

In de laatste fase van de levensloop van



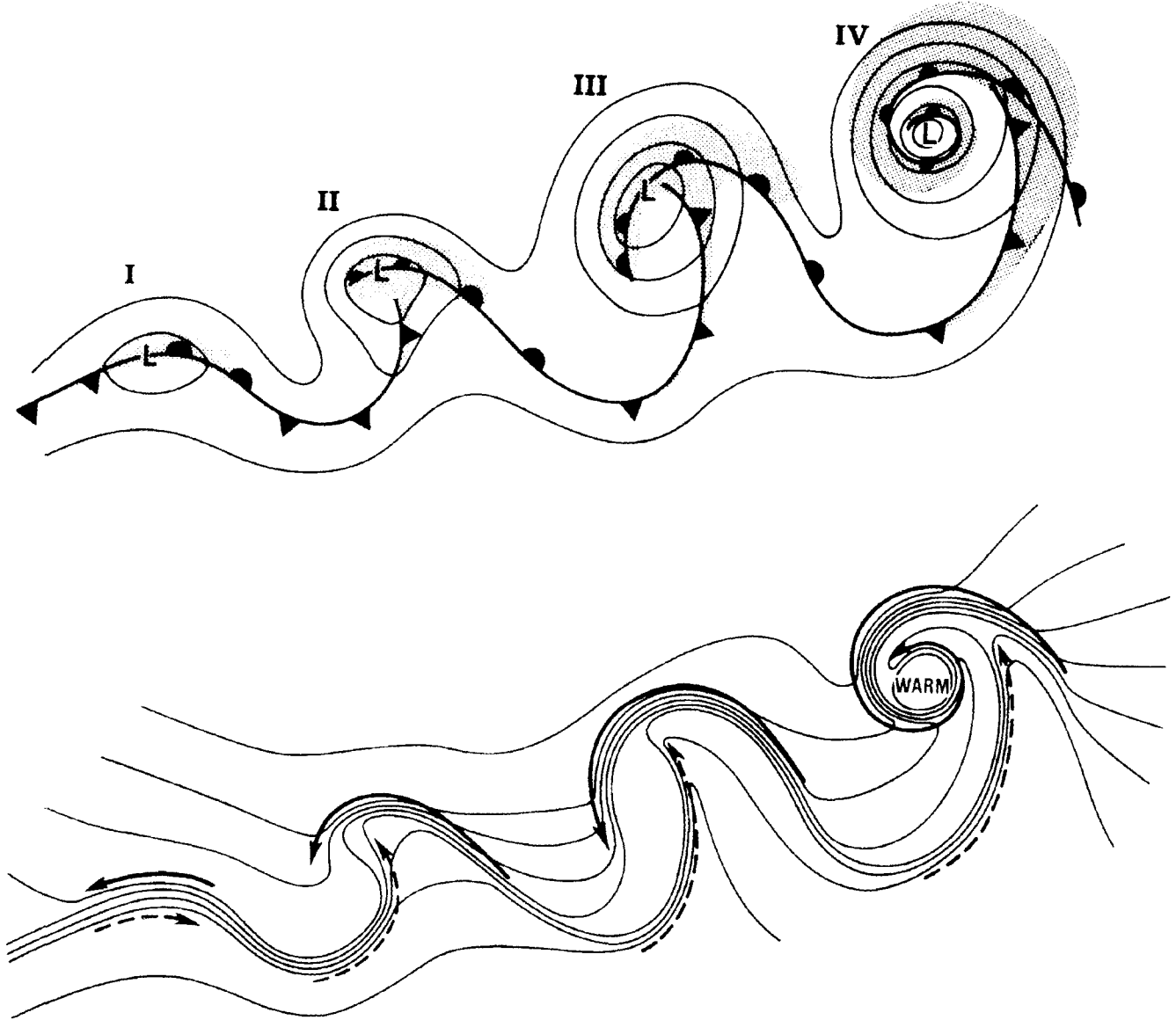
Figuur 6. instant-occlusie type 1 (a) en type 2 (b) met bewolkingzone van het polaire front (F) en bewolking van de instant-occlusie C. Opnamen van Amerikaanse NOAA weersatellieten.

a: een zichtbaarlicht opname van de NOAA-7, 9 september 1983;

b: een infrarood opname van de NOAA-10, 9 februari 1987, 0822 UTC,

c: de bijbehorende analyse voor 12 UTC volgens McGinnigle et al. (1988).

Tussen C en F bevindt zich op de rechteropname de zogeheten dry slot, waarin aan de achterzijde convectieve bewolking tot ontwikkeling komt (CON).



Figuur 7. Levenscyclus van een oceaandepressie volgens Shapiro en Keyser (1990). I. beginstadium; II frontal fracture; III. bent-back warm front en frontal T-bone; IV. frontal occlusion met warme kern. Boven: fronten en isobaren; onder: isothermen, koude (getrokken lijnen) en warme (streepjeslijnen) luchtstromingen. Occlusies komen in het model niet voor.

een depressie volgens Shapiro en Keyser vormt zich in de koude, polaire lucht een frontale afsplitsing met een warme kern (frontal occlusion); de 'depressie-komma' op de satellietfoto is dan op haar mooist. De levensloop die Shapiro en Keyser beschrijven heeft betrekking op ontwikkelende depressies boven de oceaan voor de Amerikaanse oostkust. Conway et al. (1996) benadrukken dat niet alle oceaandepressies dit patroon volgen. Ook de auteurs zelf laten ruimte voor de bruikbaarheid van andere conceptuele modellen in andere gevallen, zoals depressies boven het vasteland of lagedrukgebieden met occlusies die na een lange reis over de Atlantische Oceaan Scandinavië binnentrekken, waar de medewerkers van de Noorse school destijds hun theorieën opstelden.

Literatuur:

Bader, M.J. et al. (ed). 1995: Images in weather forecasting, a practical guide for interpreting satellite and radar imagery. Cambridge University Press
 Bjerknes, J., and Solberg, H., 1922: Life cycles of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation. Geophys. Publ., 3(1), 1-18
 Browning, K.A., 1990: Organization of Clouds and Precipitation in Extratropical Cyclones; in Newton & Holopainen (1990)
 Browning, K. A. and Hill, F. F., 1985: Mesoscale analysis of a polar trough interacting with a polar front. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., 111, 445-62
 Browning, K.A. and Monk, G.A., 1982: A simple model for the synoptic analysis of cold fronts: Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 108, 435 - 452
 Conway, B.J. et al. (ed). 1996: COST 78 Meteorology. Nowcasting, a survey of current knowledge, techniques and practice. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg

Floor, K., 1997b: Twee soorten warmtefront. Meteorologica, 6(3), 4-8
 Floor, K., 1997b: Twee soorten koufront. Meteorologica, 6(4), 14-17
 Mass, C.L., 1991: Synoptic frontal analysis: time for a reassessment?. BAMS, 72(3), 348
 McGinnigle, J.B., 1990: Numerical Weather prediction model performance on instant occlusion developments. Met. Mag., 119, 149
 McGinnigle, J.B. et al., 1988: The development of instant occlusions in the North Atlantic. Met Mag., 117, 325
 Newton, C. and Holopainen, E.O. (ed), 1990: Extratropical Cyclones, the Eric Palmén Memorial Volume. Amer. Meteor. Soc., Boston
 Shapiro, M.A. and Keyser, D., 1990: Fronts, jet streams and the tropopause, in Newton & Holopainen (1990)
 Zwatz-Meise, V., 1985: Vom Satelliten beobachtet: Instant Occlusion. Wetter und Leben, 37, 114-118