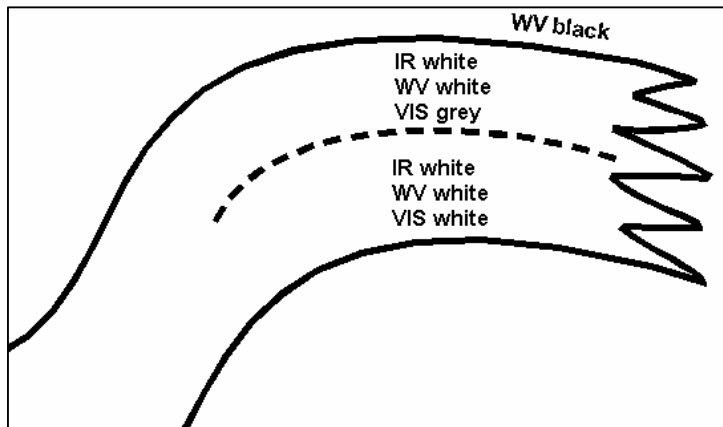


8 Fronten

8.1 Warmtefrontband

8.1.1 Wolkenstructuur op satellietbeelden

Warmtefrontbanden hangen samen met frontale systemen. De bewolking wordt veroorzaakt door opstijgende vochtige en warme lucht. Er treedt op uitgebreide schaal condensatie en neerslagvorming op. De neerslag is gewoonlijk gelijkmatig in intensiteit en kan vele uren aanhouden. Op nadering van een warmtefront neemt eerst de hoge bewolking toe. Soms kan cirrus-bewolking al een etmaal voor de passage van het grondfront zichtbaar worden aan de westelijke hemel. Geleidelijk wordt de bewolking dikker en gaat deze over in cirro- en altostratus. In eerste instantie kan de zon hier soms nog doorheen schijnen. Uiteindelijk is de bewolking zo dik geworden, nimbostratus, dat er neerslag kan gaan vallen



Figuur 1: WV, IR, VIS-tinten bij een warmtefrontband.

Op satellietbeelden is een anticyclonaal gekromde synoptische schaal bewolkingsband zichtbaar die verbonden is met bewolking stroomopwaarts behorende bij het koufront.

In ideale gevallen kan het volgende op IR en VIS-beelden worden waargenomen:

In het VIS-beeld zijn de grijs tinten over het algemeen wit aan de achterzijde van het

warmtefront. Naar de voorzijde toe worden de tinten geleidelijk

grijs. Dit wordt veroorzaakt doordat de dikste stratiforme bewolking zich bevindt bij het grondfront. Dunne cirrus en cirrostratus komen voor aan de voorzijde van de band. Hier bevindt de vochtige en warmere lucht zich alleen in de bovenste laag van de troposfeer.

In het IR-beeld is de tint van de bewolkingsband grijs tot wit, waarbij de lichtste tinten voorkomen aan de voorzijde van de band.

In werkelijkheid treden er vaak enige afwijkingen op van de ideale situatie: heel vaak is er geen continue bewolkingsband maar kunnen er meerdere bewolkinglagen worden aangetroffen met gebroken bewolking of zelfs alleen hoge bewolking. In het IR-beeld zijn verscheidene witte hoge bewolkingsgebieden gelegen boven lagere grijze wolkenlagen.

Heldere witte grijs tinten in het WV-beeld kunnen worden waargenomen bij de bewolkingsband. Aan de voorzijde van de bewolking toont het WV-beeld een sterke gradiënt van wit naar zwart die samenhangt met de jet-as. Dit wordt veroorzaakt door droge lucht aan de cyclonale zijde van de jet.

In tegenstelling tot het warmtefrontscherm is de warme sector van de warmtefront band vaak onbewolkt. In de winter en lente kunnen er door grenslaagprocessen onder in de troposfeer wel uitgebreide velden met mist en stratus voorkomen. In fig 1 worden de tinten die zichtbaar zijn in het VIS, IR en WV-beeld nog eens samengevat.

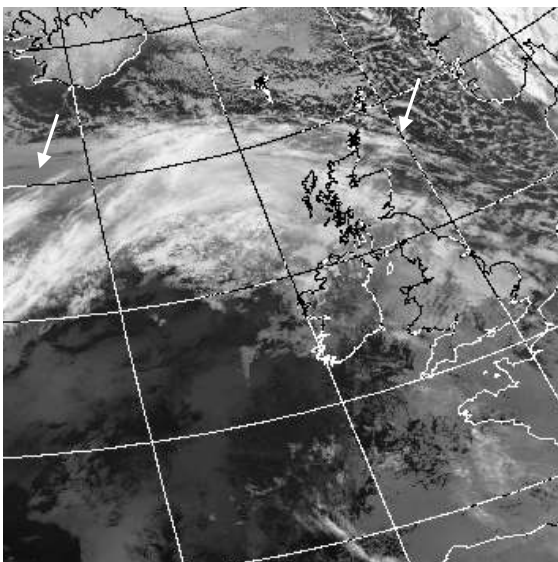
8.1.2 Praktijksituaties

10 januari 1995 06:00 UTC

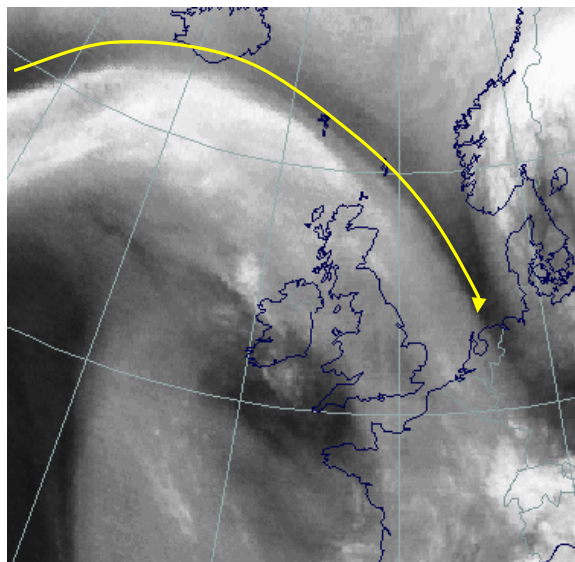
De eerste situatie die we bespreken betreft die van 10 januari 1995, 6 UTC. Figuur 2 en 3 tonen respectievelijk het IR en WV-beeld waarop een klassieke warmtefront band kan worden waargenomen. Het warmtefront bevindt zich op de Atlantische Oceaan, oostelijk van 25^o WL en strekt zich uit tot Schotland en Noord Ierland. Het koufront ligt midden op de Atlantische Oceaan ten zuiden van Groenland.

Dit frontensysteem bestaat uit een open warme sector waarin weinig bewolking wordt aangetroffen. In de laagste niveaus van de atmosfeer zijn enige stratusvelden aanwezig getuige de grijze tinten. Het nadeel van IR-beelden is dat lage stratus en stratocumulus op IR-beelden bijna dezelfde grijswaarde hebben. De temperatuur van het aardoppervlak en de wolktoppen verschilt namelijk maar weinig. VIS-beelden zijn een beter middel om de lage bewolking te detecteren maar vooral in het winterseizoen is het nut van VIS-beelden beperkt door de korte daglichtperiode.

Op het WV-beeld zien we dat er op de locatie van het warmtefront veel vocht in de hogere niveaus van de atmosfeer aanwezig is. Aan de voorzijde wordt deze begrensd door een sterke gradiëntzone naar droge lucht. Deze scheidingslijn markeert de jet-as (gele pijl) en kan ook op de IR worden gevonden als jet-cirrus (rode pijlen).



**Figuur 2: IR-beeld 10 jan 1995 06:00 UTC:
warmtefrontband**



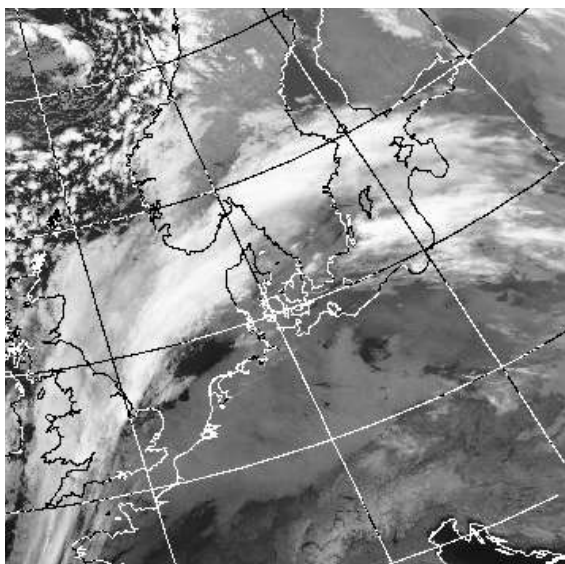
**Figuur 3: WV-beeld 10 jan 1995: 06:00 UTC
warmtefrontband**

1 maart 1995 06:00 UTC

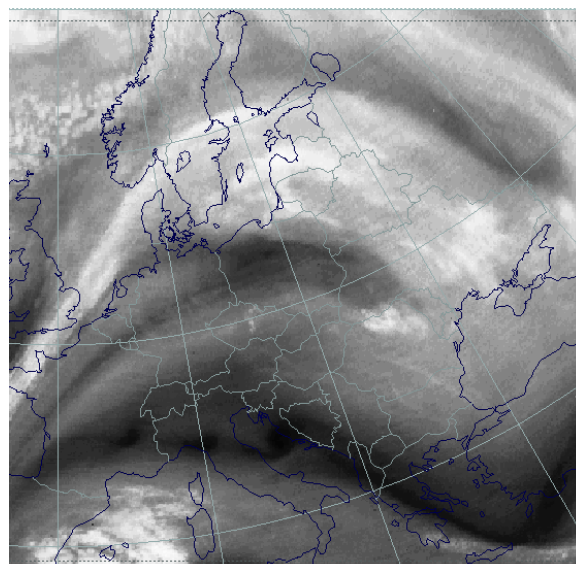
De tweede situatie is 1 maart 1995, 6 UTC. Hier betreft het een geval die in een aantal opzichten afwijkt van de ideale situatie. We zien op het WV en IR-beeld van figuur 4 en 5 een bewolkingsband behorende bij het warmtefront. Het strekt zich uit van het zuidoostelijk deel van Zweden naar de Baltische staten en de Oekraïne.

Op het IR-beeld zijn diverse gebieden en lijnen met koude hoge wolke toppen zichtbaar boven donkergrijze gebieden waar zich warmere en lagere wolke toppen bevinden. Het warmtefront is niet erg actief en er zijn gebieden waar de bewolking in de warmtefrontband dunner en lager is. De warme sector kenmerkt zich door uitgestrekte stratusvelden die ontstaan in de koude vochtige grenslaag.

In het WV-beeld is een brede witte band zichtbaar op de locatie van het warmtefront. De heldere tinten geven aan dat hier een hoge waterdamphoeveelheid aanwezig is in de middelbare en hogere niveaus van de troposfeer. Een deel van de bewolking en het vocht wordt van het frontale systeem weggeblazen wat veroorzaakt wordt door een krachtige noordwestelijke stroming stroomafwaarts van een uitgesproken hoog in de bovenlucht. De witte band wordt ten noorden en zuiden begrenst door een donkere streep. De noordelijke begrenzing is droge lucht aan de cyclonale zijde van de jet-as.



Figuur 4: 1 maart 1995, 6 UTC IR-beeld warmtefront band

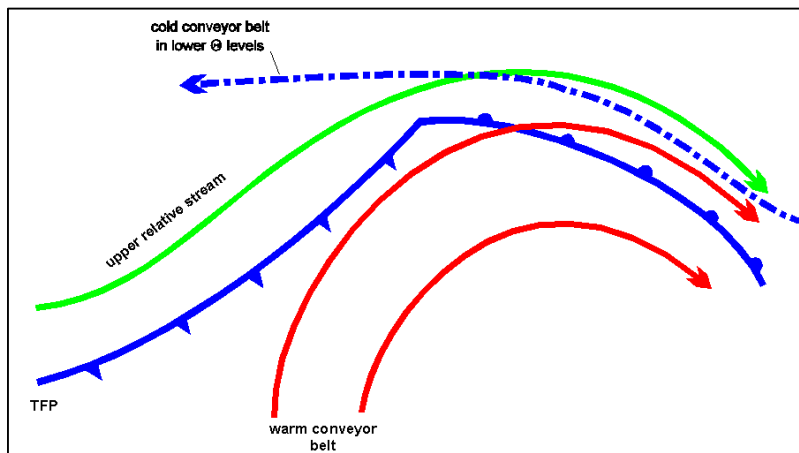


Figuur 5: 1 maart 1995, 6 UTC WV-beeld warmtefront band

8.1.3 Meteorologische fysische achtergrond

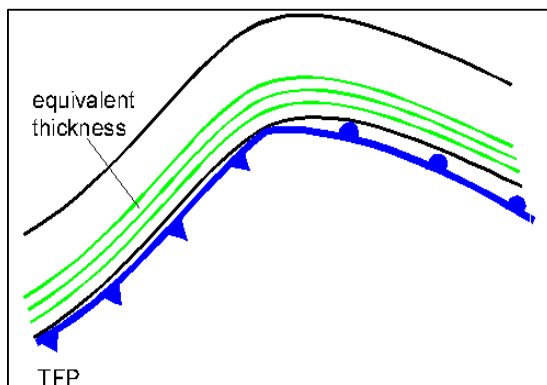
Bij een warmtefront beweegt zich warme en vochtige lucht tegen koude en droge lucht. Op de het grensvlak van deze twee luchtsoorten neigt de warmte lucht er naar om over de koude lucht heen te glijden. Bij dit proces ontstaat er frontale bewolking en neerslag die vooral gevonden kan worden stroomafwaarts van het oppervlaktefront.

Als wat gedetailleerder wordt gekeken naar de circulatie die optreedt bij een warmtefrontband dan kunnen drie verschillende luchtstromen onderscheiden worden die zich door het warmtefront bewegen. Dit zijn de zogenoemde warm conveyer, cold conveyer belt en de upper relative stream. De positie van de stromingen is weergegeven in figuur 7. De warm conveyer belt bevindt zich voornamelijk in de warme sector achter het warmtefront en voor het koufront. Bij de warmtefrontband veroorzaakt de warm conveyer belt weinig bewolking in de warme sector omdat hier te weinig vocht en/of stijgende bewegingen aanwezig zijn. De warm conveyer belt in de lagere niveaus van de troposfeer haalt het oppervlakte warmtefront geleidelijk in. De hoge bewolking wordt veroorzaakt door de opstijgende conveyer belt die afkomstig is van de achterzijde van het koufront. Deze conveyer wordt de upper relative stream genoemd. De lage bewolking ontwikkelt zich in de cold conveyer belt die aanwezig is in de lagere troposfeer en van oost naar west beweegt ten opzicht van het frontensysteem. Vaak wordt er een overgang waargenomen van een warmtefront band in een scherm als er zich geleidelijk bewolking ontwikkelt in de warme sector.



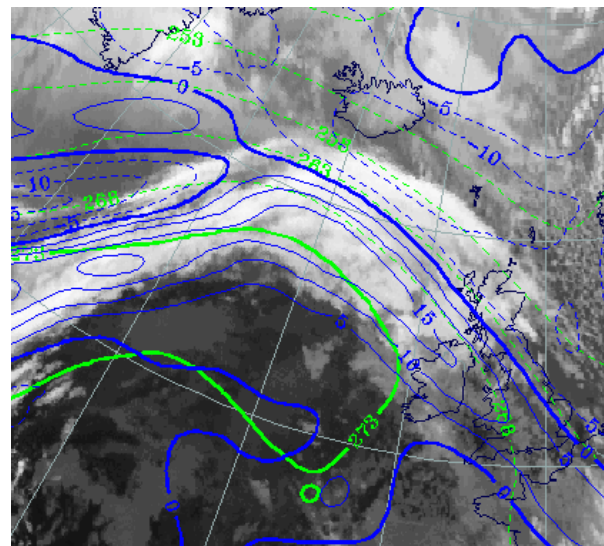
Figuur 6: ligging van de cold, warm conveyer belt en de upper relative stream bij een warmtefront band.

8.1.4 Sleutelparameters



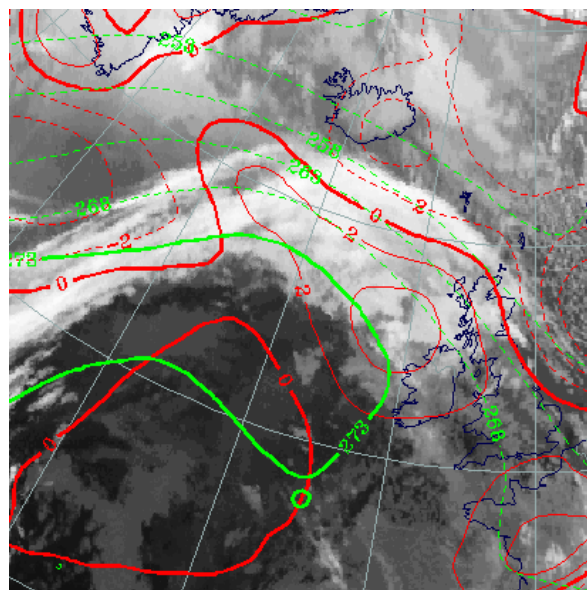
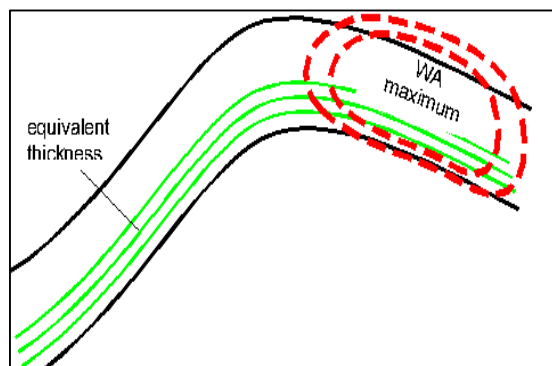
Figuur 7: (boven): schematische weergave van de locatie van de gradiëntzone van de equivalente dikte en de maximale TFP.

Figuur 8: (rechts): 10 januari 1995 06:00 UTC: TFP (blauw) en equivalente dikte (groen)



equivalente dikte (500/850 hPa): Het bewolingsgebied van de warmtefrontband bevindt zich in de gradiëntzone van de equivalente dikte. De dikte neemt toe van de voorzijde naar de achterzijde van de warmtefront band. Zie figuur 7 en 8.

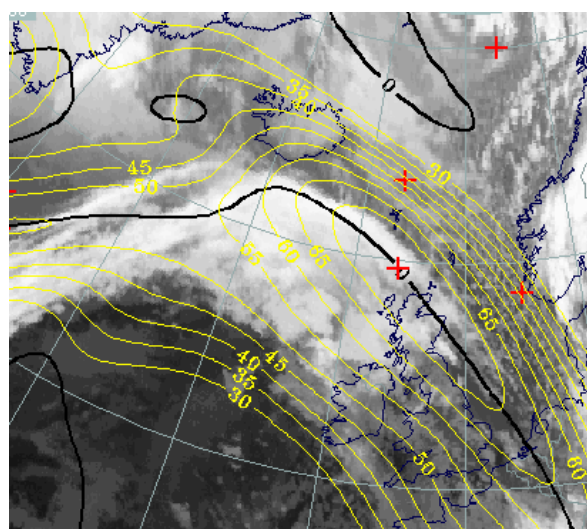
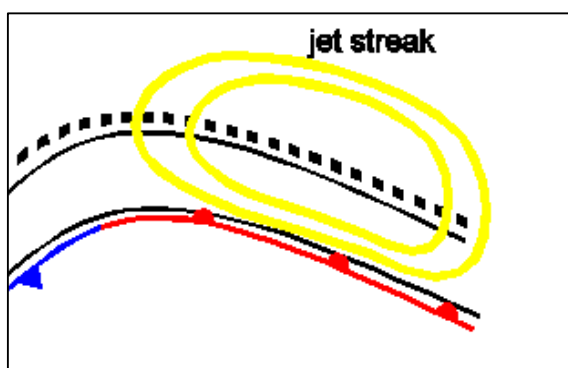
Thermische front parameter (TFP): De TFP bevindt zich in de nabijheid en parallel aan de achterzijde van de bewolingsband. Zie figuur 7 en 8.



Figuur 9 (boven): schematische weergave van de ligging van de gradiëntzone van de equivalente dikte en de WA bij een warmtefront van het bandtype.

Figuur 10 (rechts): 10 januari 1995 06:00 UTC: WA (rood), equivalente dikte (groen)

Warmte advection (WA): De gehele frontale bewolking bevindt zich in een WA-gebied Deze neemt toe in de richting van het occlusiepunt. Zie figuur 9 en 10.



Figuur 11(boven): schematische weergave van de jet-as en jet-streak op 300 hPa.

Figuur 12 (links): 10 januari 1995 06:00 UTC: isotachten (geel), jet-as (zwart)

Scheringsvorticeit op 300 hPa: nullijn van de scheringsvorticeit komt overeen met de voorzijde van de bewolking van de warmtefront band. Zie figuur 11 en 12.

Isotachen: De voorzijde van het warmtefront bevindt zich bij de straalstroom die van geval tot geval varieert in intensiteit. Zie figuur 11 en 12.

De bewolking die hoort bij de warmtefrontband kan worden teruggevonden in een 500 hPa hogedrukruim en benedenstrooms van een thermische rug (1000/500 hPa).

8.1.5 Weersverschijnselen

Over het algemeen gaan warmtefrontbanden gepaard met gelaagde stratiforme bewolking. Hieruit valt veelal licht tot matige neerslag die in de nabijheid van het grondfront het aardoppervlak bereikt.

De neerslaggebieden zijn ingebed in een warme vochtige stroming in de hogere niveaus van de troposfeer en bewegen daardoor sneller dan het grondfront. Wanneer de regenbanden verder voor het grondfront uitkomen neemt de neerslagintensiteit af. Dit komt doordat de warme lucht hier alleen in hogere niveaus nog aanwezig is waar minder vocht beschikbaar is. Zie figuur 13. Bovendien valt de neerslag verder voor het warmtefront uit door een dikkere laag droge koude lucht die toebehoort aan de cold conveyor belt. De regenbanden zijn veelal zo'n 50 km breed en enige honderden km lang en zijn georiënteerd onder een kleine hoek met het oppervlakte front.

Direct bij en na passage van het oppervlaktefront verandert de neerslag vaak van lichte tot matige continue regen in motregen. In de warme sector zelf is het droog. Er komen opklaringen voor. In het winterseizoen kunnen er in de warme sector ook velden met mist en stratus voorkomen.



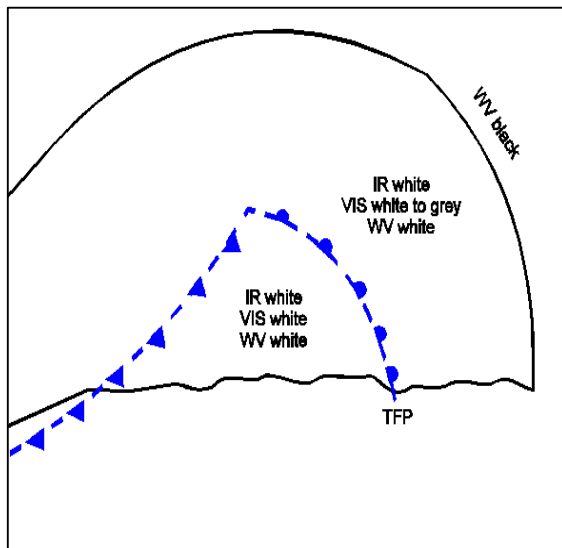
Figuur 13: Cirrostratus. Een warmtefront kondigt zich het eerst aan in de hogere troposfeer. Vochtige warme lucht glijdt in de hoogste niveaus tegen het frontvlak op en condenseert. Hierbij ontstaat bewolking die volledig uit ijskristallen bestaat. Ook kunnen optische effecten optreden.

8.2 Warmtefront scherm

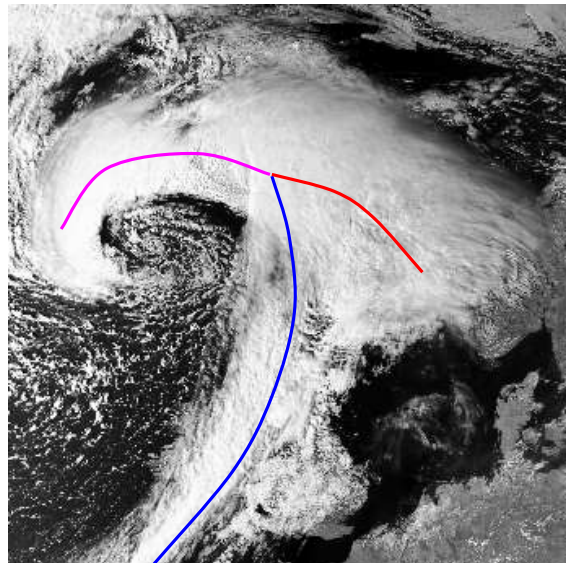
8.2.1 Wolkenstructuur op satellietbeelden

Warmtefrontschermen vertonen veel overeenkomst met banden. Ze maken deel uit van frontale systemen en markeren de overgangszone tussen polaire en subtropische lucht. De warme vochtige lucht stijgt op tegen het frontvlak en er treedt condensatie en neerslagvorming op. Na passage van het warmtefront blijft het bewolkt en zijn er nog steeds perioden met neerslag. Dit in tegenstelling tot de warmtefrontband waar het droog wordt. Op satellietbeelden is het warmtefront scherm, een uitgebreid gebied met bewolking terug te vinden. Dit gebied ligt stroomafwaarts van het koufront en omvat het gebied van het warmtefront en de warme sector.

Op VIS-beelden zien we een heldere witte kleur bij het warmtefront en in de warme sector. Dit geeft aan dat we te maken hebben met een dik pak gelaagde bewolking. De kleur op het VIS-beeld wordt in de richting van de voorzijde van het warmtefront scherm geleidelijk



Figuur 1: schematische weergave van de pixelwaarden in IR, VIS en WV bij een warmte-front scherm



Figuur 2: VIS-beeld 8 september 1999 15:02 UTC: Warmtefrontscherm gelegen tussen Schotland en Noorwegen

grijzer. Dit komt omdat de bewolking hier dunner en hoger is en bestaat uit cirrus, cirrostratus en wat dichters naar het warmtefront toe ook uit altostratus en uiteindelijk nimbostratus.

Op IR-beelden zien we over het algemeen heldere witte kleuren hetgeen koude en hoge wolke toppen impliceert. Vaak zijn er substructuren te herkennen op het IR-beeld die veroorzaakt worden door een variabele hoogte van de toppen in het warmtefront scherm maar dat is bij elk geval weer verschillend.

Op het WV-beeld zijn de pixelwaarden helder. Aan de voorzijde van het bewolkingscherm zien we een zone met een scherpe gradiënt van wit naar zwart. Dit hangt samen met de jet-as waarbij zich droge lucht bevindt aan de cyclonale zijde van de jet.

In tegenstelling tot de warmtefront band zien we dat er zich bij het warmtefront scherm wel bewolking ontwikkelt in de opstijgende warme convectiebel. Dit houdt in dat de lucht vochtig genoeg is en voldoende stijgt om op uitgebreide schaal condensatie en wolkenvorming te laten optreden. De warme sector is bij het warmtefront scherm grotendeels geheel bewolkt. Figuur 1 geeft kort weer hoe de tinten zijn van de IR, VIS en WV-beelden bij een warmtefront scherm.

8.2.2 Praktijksituaties

27 januari 1995 00 en 12 UTC

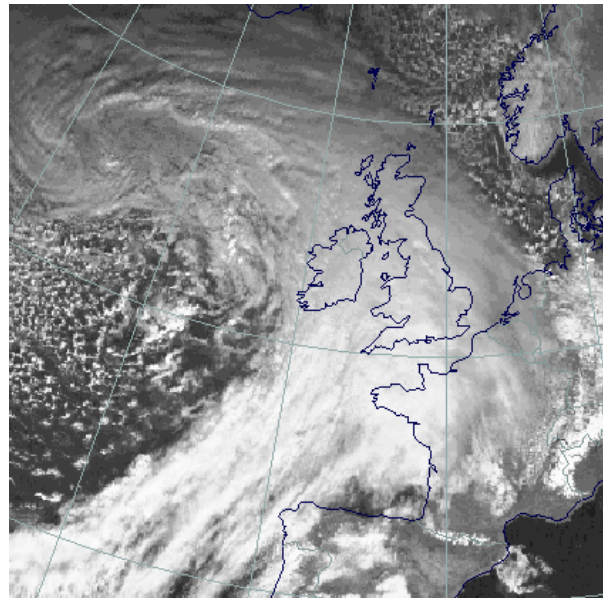
Op figuur 3, 4 en 5 zien we respectievelijk een VIS, IR en WV-beeld. Op zowel het IR als het WV-beeld van 00 UTC kan het wolkenscherp worden waargenomen van een warmtefront scherm. Deze strekt zich uit vanaf de Atlantische Oceaan op ongeveer 20^oW, over Ierland en de Golf van Biskaje. Op het VIS-beeld van 12 UTC is het wolkenscherp bestaande uit hoge cirrus en cirrostratus reeds gevorderd tot over de Benelux en het westen van Duitsland.

Diverse structuren die in de voorgaande paragraaf reeds genoemd zijn kunnen we bij deze situatie terugvinden:

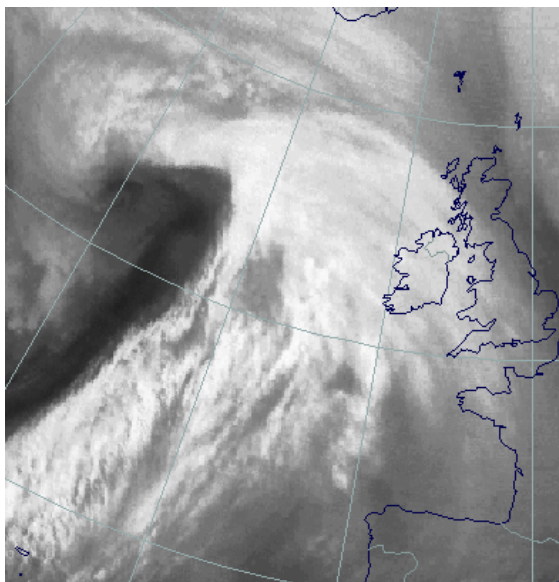
Op het WV en IR-beeld zien we heldere grijze pixelwaarden in het midden van het bewolkingsscherp. Dit houdt in dat de middelbare niveaus van de troposfeer vochtig zijn en dat de wolken toppen tot in de hogere troposfeer reiken.

Er zijn hoge albedo waarden zichtbaar op het VIS-beeld in het midden van het wolkenscherp. De tint wordt geleidelijk grijzer naar de voorzijde van het wolkenscherp hetgeen dünnere bewolking impliceert.

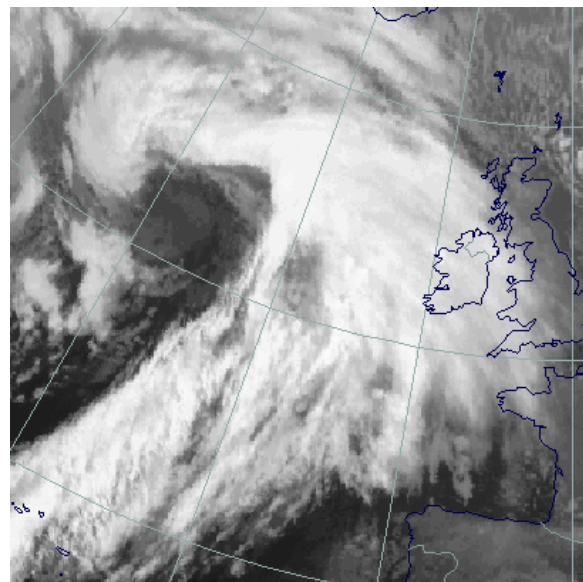
Op het WV-beeld zien we een zwart gebied aan de voorzijde van het wolkenscherp wat overeenkomt met de cyclonale zijde van de jet-as. Het wolkenscherp omvat zowel het warmtefront als de warme sector wat het belangrijke verschil is met de warmte front band waarbij de warme sector grotendeels onbewolkt is.



Figuur 3: VIS-beeld 27 januari 1995 12:00 UTC: warmtefront scherm

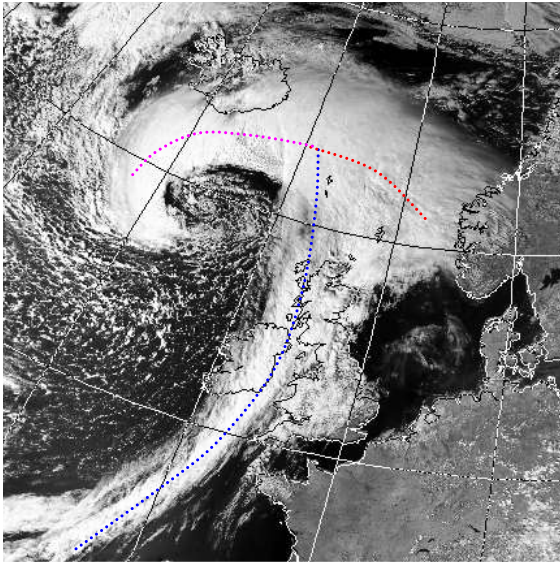


Figuur 4: WV-beeld 27 januari 1995 00 :00 UTC

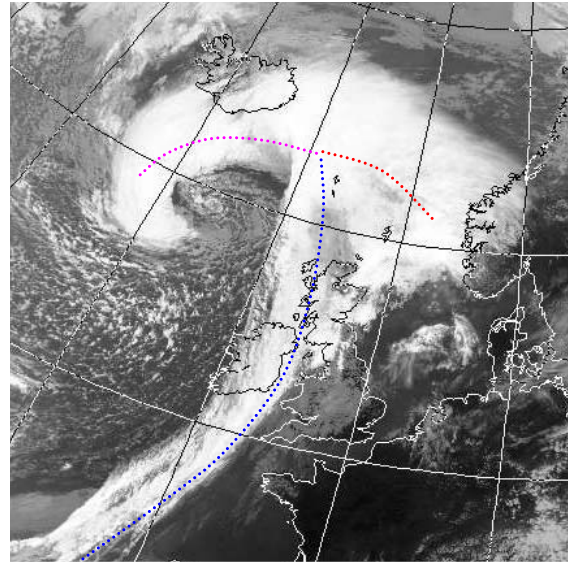


Figuur 5: IR-beeld 27 januari 1995 00:00 UTC warmtefrontscherp

8 september 1999

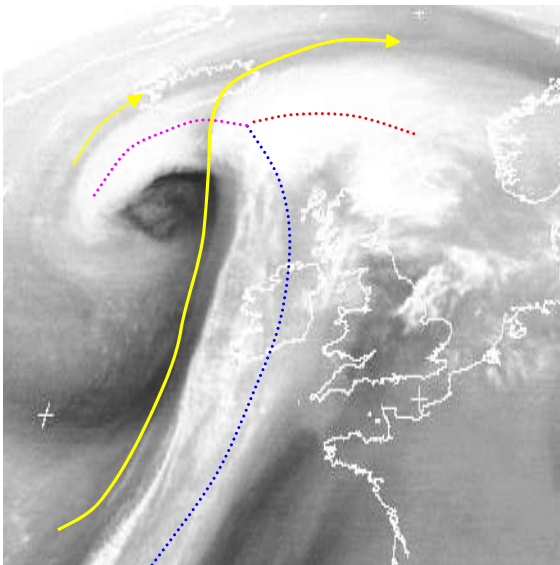


Figuur 6: VIS-beeld 8 september 1999 15:02 UTC: warmtefrontscherm

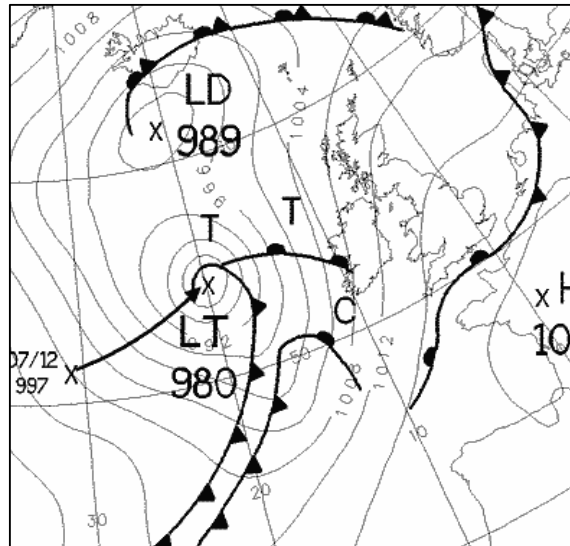


Figuur 7: IR-beeld 8 september 1999 15:02 UTC: warmtefrontscherm

In figuur 6 en 7 zijn het VIS en IR-beeld gegeven van 8 september 1999. Ten noordwesten van de Britse eilanden ligt een frontaal systeem. De warme sector is geheel bewolkt. Dit wordt veroorzaakt doordat de vochtige warme lucht ook in de warme sector genoeg opstijgt om op uitgebreide schaal bewolking te produceren. Vaak worden warmtefrontschermen waargenomen bij actieve snel uitdiepende depressies. Op het IR-beeld zien we dat de bewolking in de warme sector hoog en koud is. Uit het VIS-beeld kan worden afgeleid dat de bewolking dik is.



Figuur 8: WV-beeld 8 september 1999 12:00 UTC: warmtefrontscherm



Figuur 9: Bracknell-analyse 8 september 1999 06:00 UTC: warmtefrontscherm

In figuur 8 is het WV-beeld gegeven van 12:00 UTC: de warme sector wordt gekenmerkt door hoge vochtgehalten in de hogere troposfeer. Het grondfront is niet of moeilijk te plaatsen met gebruik van de satellietbeelden. Wel kan het occlusiepunt een hulpmiddel zijn.

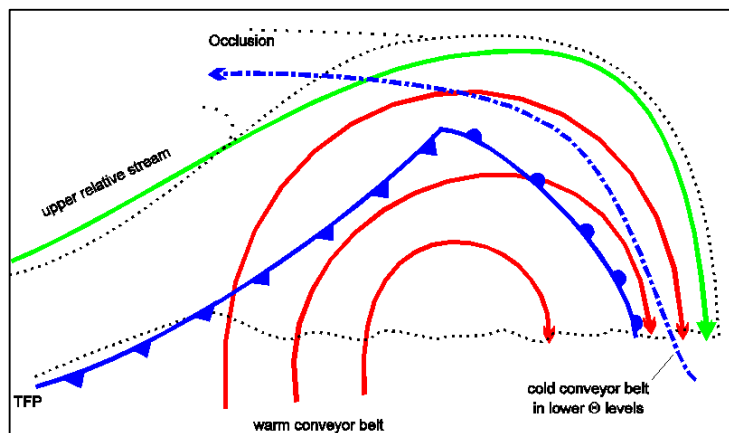
Op de Bracknell-analyse, figuur 8, van 06:00 UTC zien we dat er een dubbelconstructie is gemaakt. De binnenstructuur bestaat uit nog warmere lucht die vooral in de hogere luchtlagen aanwezig is. Hier is een uitgesproken hoogtewarmtefront aanwezig waar de vochtige lucht tegen opstijgt. De depressie heeft overigens op de satellietbeelden alle eigenschappen van een snel uitdiepend systeem.

8.2.3 Meteorologisch fysische achtergrond

Het belangrijke verschil tussen de warmtefrontband en het warmtefrontscherm is het optreden van bewolking in de warme sector. Met de conveyer belt theorie kan deze structuur adequaat verklaard worden.

Het blijkt dat de bewolking in de warme sector wordt veroorzaakt door een uitgesproken front in de bovenlucht. De warm conveyer belt stijgt op tegen dit frontvlak in de bovenlucht en er vindt op uitgebreide schaal productie van bewolking plaats. In tegenstelling tot bij de warmtefront band overschrijdt de warm conveyer belt de grens van het warmtefront en koufront aan het aardoppervlak. De warm conveyer belt is vaak aanwezig in een diepe laag in de troposfeer hetgeen de dikke bewolking en neerslag in de warme sector achter het grondfront verklaart.

In het geval van een warmtefront band treedt er onvoldoende stijgende beweging op in de warm conveyer belt om bewolking te doen produceren. In het scherm zijn de stijgende bewegingen veel sterker. Dit is waarschijnlijk een verdere ontwikkeling in de frontale structuur waarbij een warmtefront band overgaat in een scherm door intensiveren van het bovenluchtfrent. Op satellietanimaties wordt vaak waargenomen dat in de loop van tijd bewolking ontstaat in de warme sector van de warmtefrontband wat uitloopt tot het ontstaan van een warmtefrontscherm.



Figuur 10: schematische weergave van de warm en cold conveyer belt en de upper relative stream bij een warmtefront van het schermtype

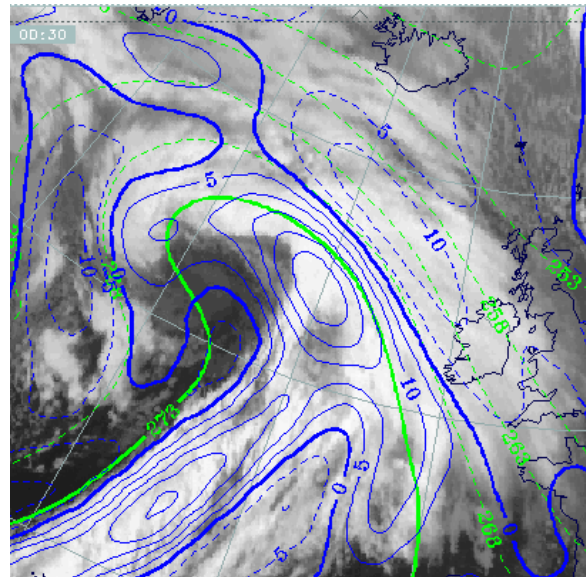
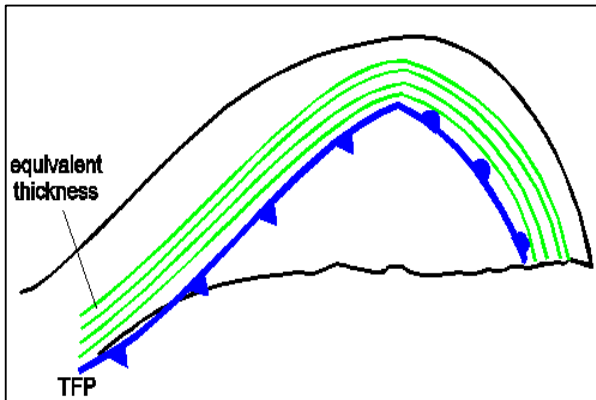
Als we kijken naar de positie van de verschillende conveyer belten in figuur 10 zien we dat de dominante warm conveyer belt over het koude- en warmtefront heen beweegt. Hierbij drijft deze de upper relative stream meer voor zich uit dan in het geval van een warmtefront band of haalt deze zelfs in. De upper relative stream veroorzaakt bij het warmtefront scherm daardoor minder bewolking dan bij de warmtefrontband. De bewolking bestaat voornamelijk uit cirrus, cirro- en altostratus. De

dikke nimbostratus bewolking voor het grondfront uit wordt veroorzaakt door de cold conveyer belt die in de lagere troposfeer aanwezig is en de warm conveyer belt in de hogere troposfeer

8.2.4 Sleutelparameters

Equivalente dikte (500/850 hPa): De gradiëntzone van de equivalente dikte bevindt zich midden in het bewolkingsscherm. Zie figuur 11 en 12.

Thermische front parameter (500/850 hPa) (TFP): De TFP is maximaal aan de warme zijde van de gradiëntzone van de equivalente dikte en bevindt zich voor het warmtefront aan de grond. Wanneer enkel gebruik wordt gemaakt van satellietbeelden kan geen scherpe indicatie worden gegeven waar het grondfront zich bevindt. Zie figuur 11 en 12.

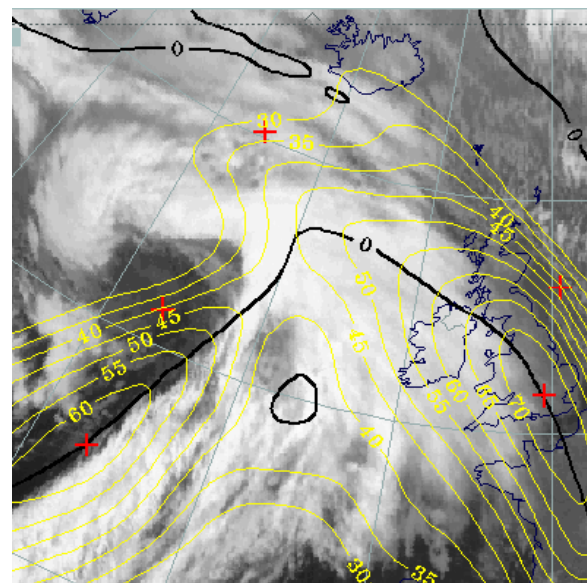
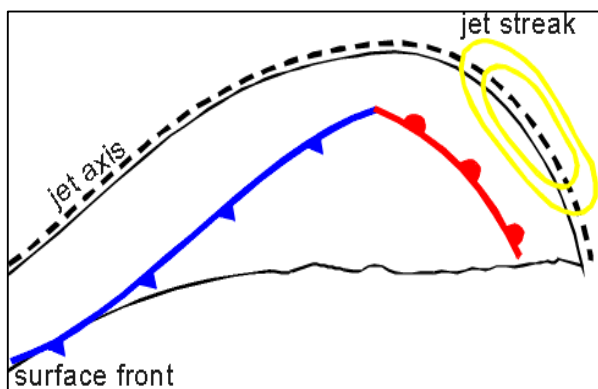


Figuur 11 (boven): schematische weergave van de locatie van gradiënt zone van de equivalente dikte de maximale TFP

Figuur 12: 27 januari 0030 UTC: TFP (blauw) en equivalente dikte (groen)

Scheringsvorticiteit op 300 hPa: De nullijn van de scheringsvorticiteit bevindt zich aan de voorzijde van de bewolkingsscherm van het warmtefront. Zie figuur 13 en 14.

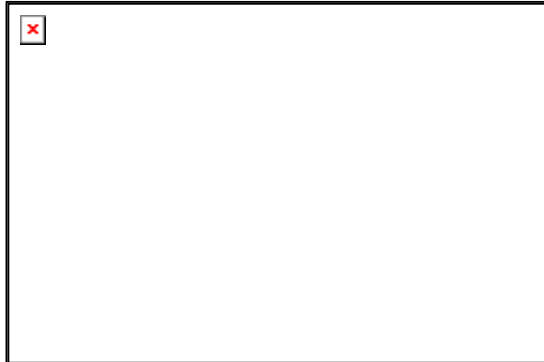
Isotachen op 300 hPa (figuur 9): De voorzijde van het warmtefront valt samen met een jet-streak waarvan de sterkte van geval tot geval varieert. Zie figuur 13 en 14.



Figuur 13 (boven): schematische weergave van de positie van de jet-streak en de jet-as bij een schermtype warmtefront.

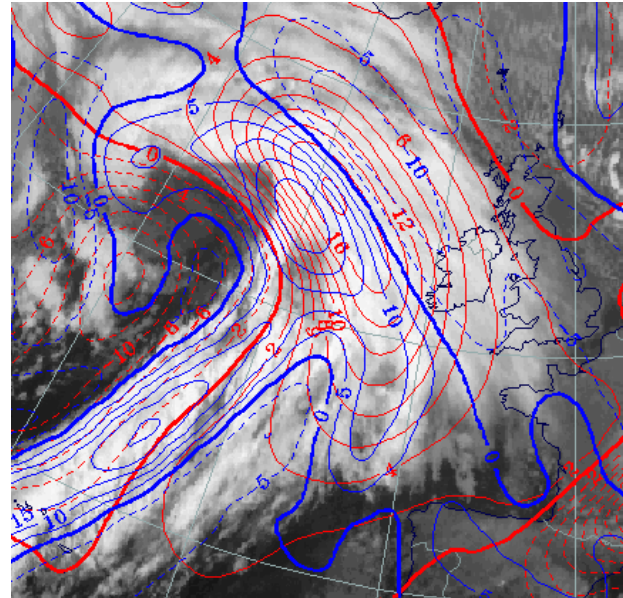
Figuur 14: 27 januari 1995 00:30 UTC: isotachen (geel) en nullijn van de scheringsvorticiteit (zwart)

Warmte-advectie (500/1000 hPa): De bewolking van het warmtefront en de warme sector bevindt zich in een uitgebreid gebied met WA. De waarde van advectie kan van geval tot geval variëren maar neemt over het algemeen wel toe in de richting van het oclusiepunt. Wanneer het een frontaal systeem betreft dat van oost naar west beweegt dan ligt het maximum van de warmte-advectie gewoonlijk in het noorden van het wolkscherm. Dit maximum behoort toe aan de warm conveyer belt die opstijgt tegen de frontale zone. In de warme sector wordt gewoonlijk een tweede secundair maximum in de warmte-advectie aangetroffen. Deze behoort bij het hoogtefront waar de warm conveyer belt tegen opstijgt. Zie figuur 15 en 16.



Figuur 15 (boven): schematische weergave van de ligging van de TFP en maxima in warmte-advectie bij een warmtefront van het schermtype

Figuur 16 (rechts): 27 januari 1995 00:30 UTC: warmte-advectie (rood), thermische front parameter (TFP, blauw)



De bewolking behorende bij het warmtefront ligt in een bovenluchtrug op 500 hPa en stroomafwaarts van de as van een rug in de dikte. De rug is een gevolg van het noordwaarts bewegen van vochtige lucht waardoor hoger in de atmosfeer de hoogtes op gaan lopen.

8.2.5 Weersverschijnselen

De weersverschijnselen die optreden voor het oppervlakfront van een warmtefront scherm komen over het algemeen overeen met die van een warmtefront band. Er is een dik pak gelaagde bewolking aanwezig waaruit veelal lichte tot matige neerslag valt die in de nabijheid van het oppervlakfront het aardoppervlak bereikt.

De regengebieden bevinden zich in de warm conveyer belt en bewegen daarom sneller dan het oppervlakfront. Wanneer de regenbanden zich verder voor het front uitbewegen komt de neerslag niet meer aan de grond. Dit komt omdat de neerslag nu door een dikke laag droge lucht valt in de lagere troposfeer die hoort bij de cold conveyer belt die onder de warm conveyor belt aanwezig is. Bovendien is er minder vochtig meer aanwezig in de hogere luchtlagen.

Het kan voorkomen dat er matige neerslag valt die in banden gegroepeerd is. Deze regenbanden zijn ongeveer 50 km breed en enige honderden km lang en vaak maken ze een kleine hoek met het oppervlakfront.

Na passage van het grondfront blijft het zwaar bewolkt en komen perioden met neerslag voor die intensief kunnen zijn. De opstijgende warm conveyer belt in dit gebied is de oorzaak van de bewolking en neerslag in de warme sector. Afhankelijk van de vochtigheid en stabiliteit van de lucht in de warme sector kan er zelfs convectieve bewolking optreden.

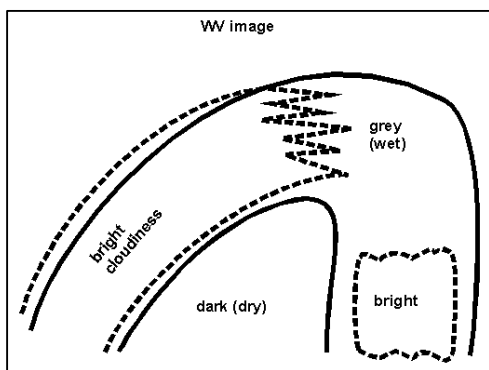


Figuur 17: Altostratus. Bij het naderen van het warmtefront wordt de bewolking geleidelijk dikker. Af en toe kan de zon nog wel als door een matglas door de bewolking heen prikken. Omdat de wolken uit waterdruppeltjes bestaan treden er bij deze bewolking geen optische effecten op.

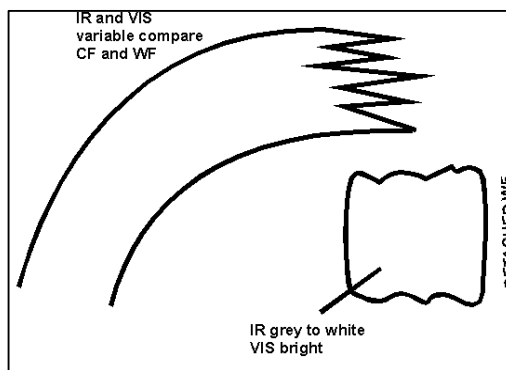
8.3 Detached warmtefront

8.3.1 Wolkenstructuur op satellietbeelden

Soms komen bewolgingszones behorende bij warmtefronten schijnbaar onafhankelijk voor van een frontaal systeem. Door de grootschalige circulatie zijn deze structuren losgeraakt en weggedreven van de depressie waar ze eerst aan verbonden waren. Detached warmtefronten kunnen vervolgens een eigen leven gaan leiden en vooral als orografie een rol speelt intensieve weersverschijnselen veroorzaken zoals zware neerslag.



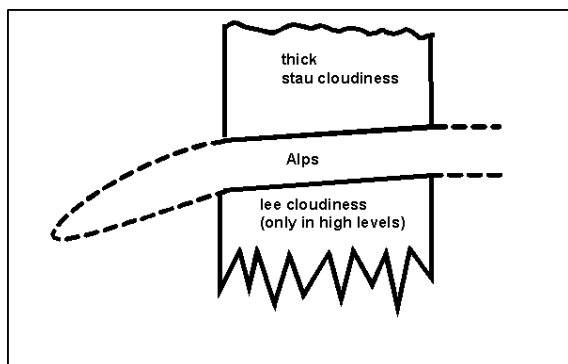
Figuur 1: schematische weergave WV-beeld bij een detached warmtefront.



Figuur 2: schematische weergave IR- en VIS-beeld bij een detached warmtefront

Op satellietbeelden is een meso- tot synoptische schaal structuur aanwezig die bestaat uit gelaagde bewolking. Het bewolgingsgebied behorende bij het detached warmtefront bevindt zich stroomafwaarts en gescheiden van bewolking behorende bij een klassiek frontensysteem waar het van oorsprong aan vastgezetten heeft. Op modelvelden is een uitgesproken rug in het hoogteveld op 500 hPa en dikteveld zichtbaar die omgeven wordt door sterke gradiëntzones van deze velden. Het DWF bevindt zich in het benedenstrooms van de rug in het oostelijk deel van de gradiëntzone van het hoogte- en dikteveld.

Op VIS-beelden, figuur 2, is het bewolgingsveld van een DWF wit hetgeen dikke gelaagde bewolking impliceert. De helderste tinten zitten veelal aan de achterzijde van het DWF. Op het IR-beeld varieert de tint in het ideale geval van lichtgrijs tot grijs. De helderste grijswaarden kunnen meestal gevonden worden aan de koude zijde van de diktegradiëntzone. Het WV-beeld, figuur 1, toont een cyclonaal gekromde band met heldere tinten. Hier is een



Figuur 3: Het DWF beweegt zich tegen de Alpen op waarbij hevige weersverschijnselen op kunnen treden.

hoge vochtigheid aanwezig in de middelbare lagen van de troposfeer. Daar vooruit bevindt zich een uitgesproken minimum met droge lucht op middelbare niveaus. In de praktijk treden er veelvuldig afwijkingen op met het geschetste beeld.

De windwaartse zijde van de Alpen is een locatie waar DWF's regelmatig voorkomen. Hier kan intensivering optreden van de weersverschijnselen omdat de lucht gedwongen wordt op te stijgen tegen de flanken van de bergen. Op satellietbeelden kan aan weerszijden van de bergen bewolking worden gevonden. Aan de windwaartse zijde wordt deze loefbewolking

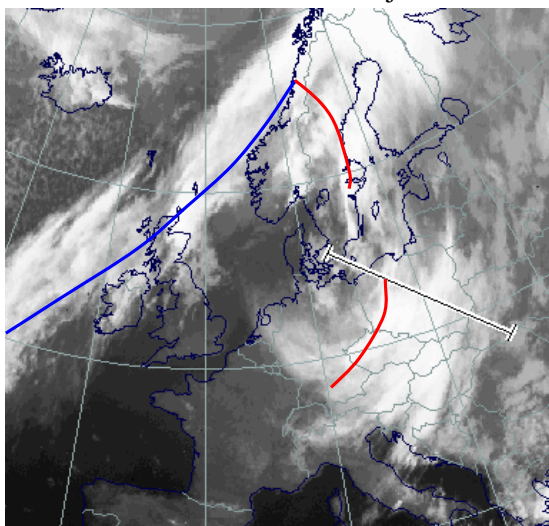
genoemd. Deze is dik en er kan intensieve neerslag optreden. Aan de lijzijde ontstaat in zo'n situatie vaak hoge lijbewolking. Zie figuur 3.

Het komt regelmatig voor dat een deel van een DWF in zijn zuidwaartse verplaatsing gehinderd wordt door het Alpenmassief. Het deel van de bewolking dat aankomt aan de oostzijde van het gebergte kan vervolgens weer met een noordelijke stroming afgevoerd worden. Meer westwaarts gelegen bewolking blijft echter schijnbaar stationair liggen tegen het gebergte. Gedurende de levenscyclus van een DWF zien we de IR-waarden uitgezonderd de plekken waar geforceerde opgliding optreedt geleidelijk donkerde worden waaruit kan worden opgemaakt dat de bewolking aan oplossing onderhevig is.

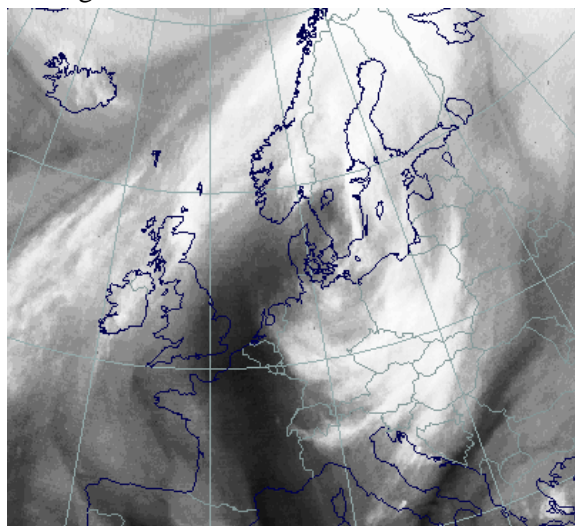
8.3.2 Praktijksituatie

22 en 23 maart 1995

De satellietbeelden van 22 maart 1995 2330 UTC tonen de sliert van een koudefront die ligt over Schotland en het noordelijk deel van Noorwegen. Boven Finland en de Baltische Zee



Figuur 4: IR-beeld, 22 maart 1995 23:30 UTC: detached warmtefront



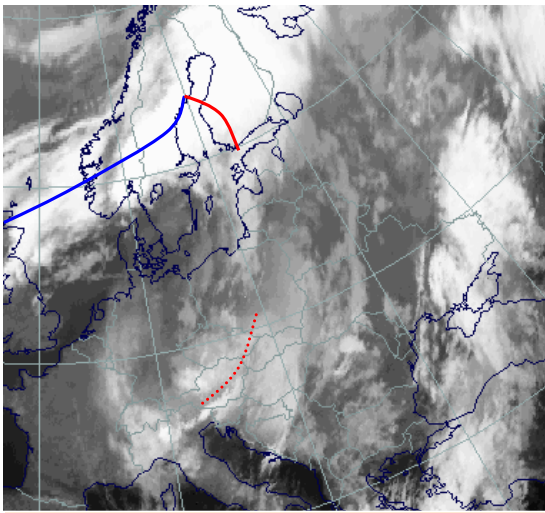
Figuur 5: WV-beeld, 22 maart 1995 23:30 UTC: detached warmtefront

bevindt zich een warmtefront. Benedenstreams van dit frontensysteem ligt een bewolkingsgebied dat toebehoort aan een DWF. Uit de beelden kan opgemaakt worden dat het DWF zich vrijwel heeft losgemaakt van het frontensysteem.

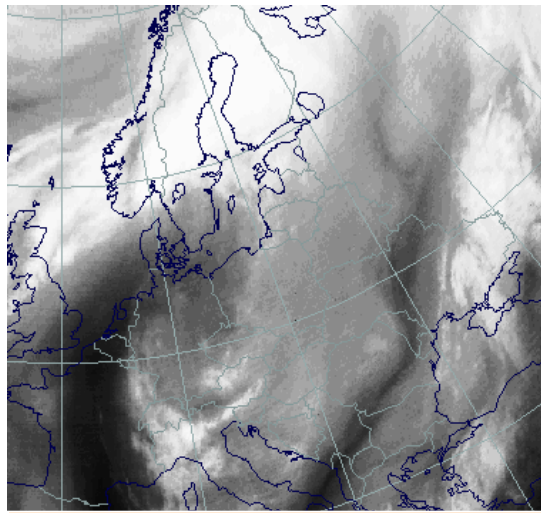
Op het IR-beeld, figuur 4, zien we een helder witte kleur. Dit geeft aan dat het DWF nog in het begin van zijn levenscyclus zit. De lichtste tinten komen voor aan de voorzijde van het DWF. Hier bevindt zich de jet-streak. De grens van wit naar grijs geeft de locatie van de jet-as aan. Het voornaamste verschil tussen het IR- en WV-beeld is de anticyclonaal gekromde grijze band die het genoemde frontensysteem verbindt met het DWF. Op het WV-beeld, figuur 5, is ook nog een markante donkere streep zichtbaar die zich vanaf de Middellandse Zee tot aan de Noordzee uitstrekt. Dit geeft een indicatie voor de anticyclonale stroming in een rug in de bovenlucht.



Figuur 6: Een DWF kan zware sneeuw-val veroorzaken in de Alpen



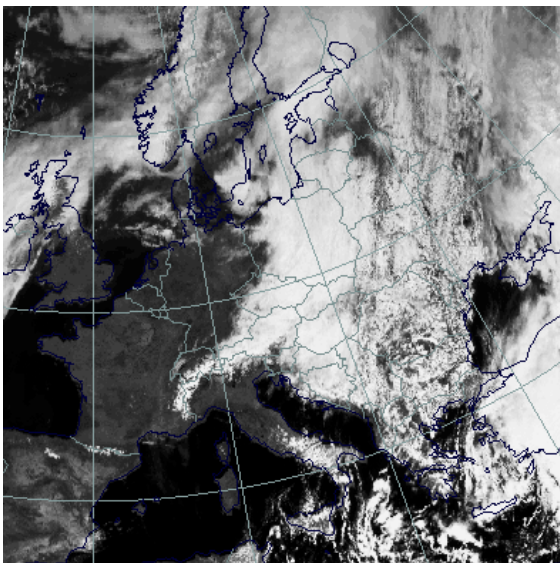
**Figuur 6: IR-beeld 23 maart 1995 06:00 UTC
detached warmtefront**



**Figuur 7: WV-beeld 23 maart 1995 06:00 UTC
detached warmtefront**

Op 23 maart 06:00 UTC hebben zich in vergelijking tot het voorgaande tijdstip een aantal ontwikkelingen voorgedaan. Het DWF is naar het zuidoosten getrokken en uit het IR-beeld, figuur 6, valt af te leiden dat de temperatuur van de wolken toppen een stuk warmer is geworden. In het oostelijk deel van de Alpen treedt intensivering van de bewolking op door gedwongen optilling. Aan de lijzijde is hoge bewolking zichtbaar op het IR-beeld.

Op het WV-beeld, figuur 7, zien we een band met vochtige lucht zich uitstrekken van de Baltische Staten tot Italië. Tevens is er een anti-cyclonaal gekromde spiraal met droge lucht zichtbaar vanaf de Noordzee tot in het oosten van Duitsland.

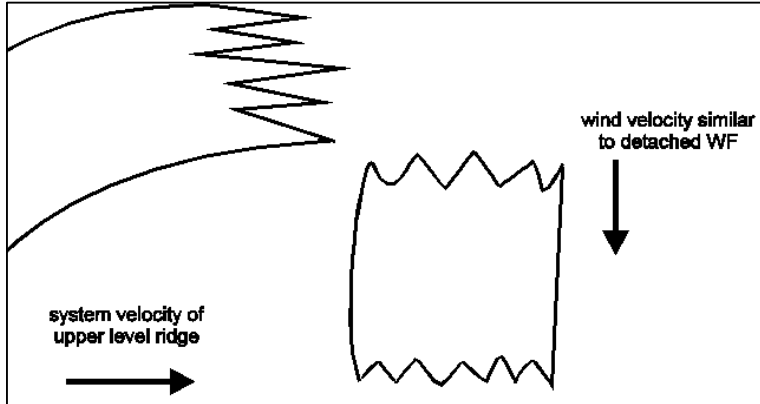


**Figuur 8: VIS-beeld 23 maart 1995 12:00 UTC:
detached warmtefront**

Op het VIS-beeld van 12 UTC, figuur 8, zien we het dikke wolkenpakket dat tegen de oostelijke Alpen aan leunt. Zuid van de Alpen is enige lijbewolking zichtbaar. Langs de oostelijke rand weet de bewolking wel in zuidelijke richting op te schuiven onder invloed van een strakke noordelijke bovenstroming.

8.3.3 Meteorologische fysische achtergrond

In het wolkenpakket behorende bij een DWF treden een aantal fysische processen op die typisch horen bij een warmtefront structuur. Er kan een maximum worden gevonden in de warmte-advectie, een gradiëntzone in het dikteveld en een maximale TFP aan de achterzijde van de bewolking. Een DWF verschilt echter op een belangrijk punt van een warmtefront band en scherm: De bewolking bij een DWF is volledig gescheiden van het frontensysteem waar het oorspronkelijk aan vast zat en de fysische processen die in een DWF optreden kunnen niet meer verklaard worden met de circulatie rondom het laag.



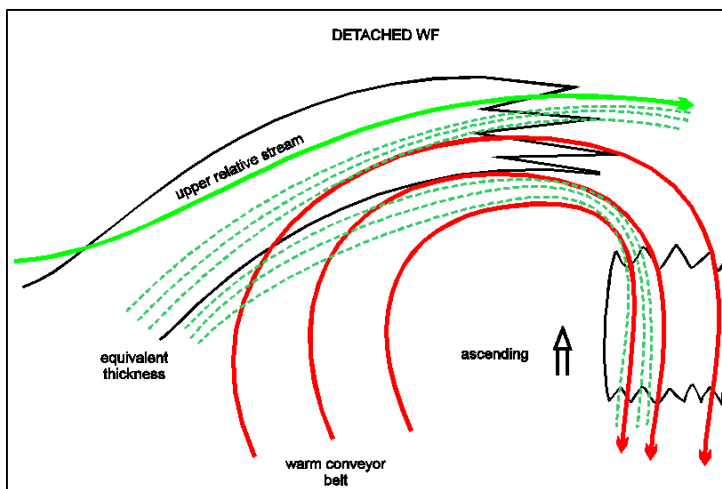
Figuur 9: De klassieke wolkenstructuur beweegt in oostelijke richting terwijl de DWF in een noordelijk stroming naar het zuiden toe wordt gevoerd.

In het geval van een oostwaarts bewegend frontaal systeem kan het DWF meestal worden waargenomen aan de oostzijde van een uitgesproken rug in het hoogte- en dikteveld. In de bovenlucht is ten oosten van de rug een strakke noordelijke stroming aanwezig die loodrecht staat op de beweging van de rug. Zie figuur 9.

Bij een DWF treedt in de bovenluchtstroming vaak een splitsing op in een zuidelijk en een oostelijk gerichte tak. Het DWF dat aan de oostzijde van de hoogterug ligt beweegt hierdoor naar het zuiden. Het oorspronkelijke frontensysteem dat gelegen is in de oostelijke component blijft van west naar oost bewegen. Er treden twee maxima op in WA in de zuidelijk en oostelijk gerichte stromingstak die beide voor stijgende beweging zorgen. Hierdoor wordt de bewolking behorende bij het warmtefront en de DWF in stand gehouden.

Het ontwikkelen van een DWF kan verklaard worden met de conveyer belt theorie. Eveneens als bij een warmtefront scherm en band is de warm conveyer belt bij de DWF een dominante stroming waarin verticale bewegingen en wolkenvorming optreden.

Het grote verschil tussen een band en scherm met een DWF is gelegen in het feit dat de warm conveyer belt wanneer deze naar het zuiden afbuigt niet gaat dalen maar in de DWF weer gaat stijgen. Dit kan verklaard worden aan de hand van diktegradiëntzone bij de DWF. Deze blijft in de zuidelijke tak van de hoogtestroming aanwezig terwijl bij een warmtefront band en scherm de gradiëntzone respectievelijk verdwijnt of verzwakt en geen WA meer optreedt. Zie figuur 10.

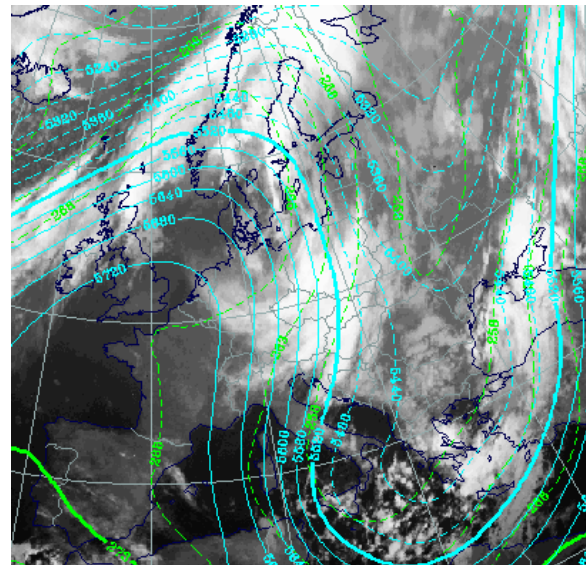
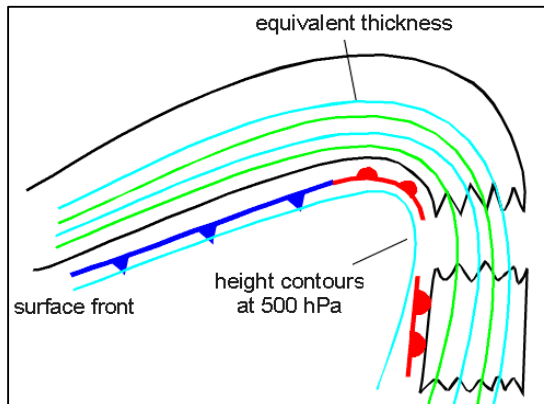


Figuur 10: locatie van de warm conveyer belt en de equivalente dikte bij een DWF

8.3.4 Sleutelparameters

Equivalente dikte (500/850 hPa): De wolkenzone behorende bij het DWF ligt aan de oostelijke zijde in de gradiëntzone van een uitgesproken rug in het dikteveld. Zie figuur 11 en 12.

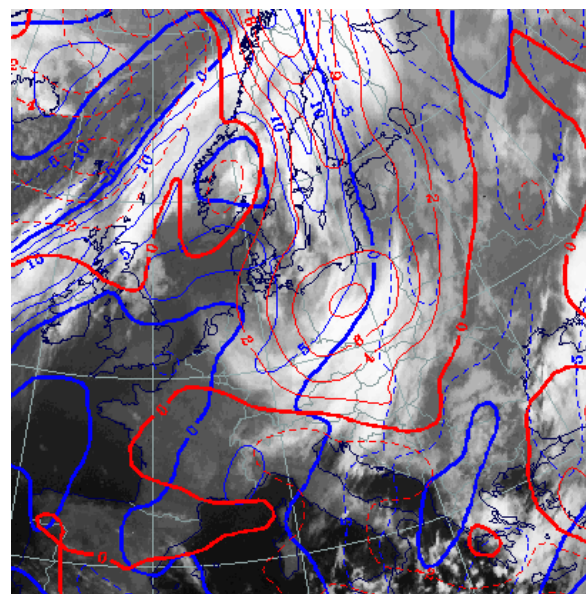
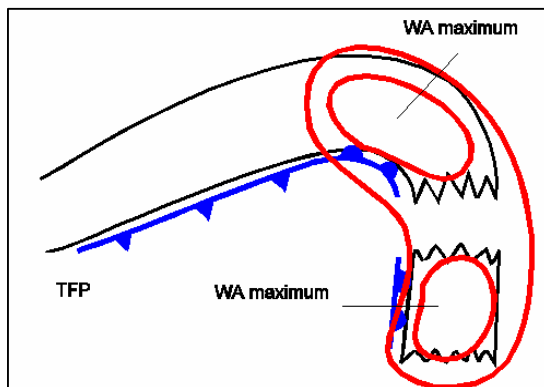
Absolute topografie (500 hPa): Deze heeft veel overeenkomsten met het diktepatroon. De bewolgingszone van het DWF ligt in de gradiëntzone aan de oostelijke zijde van een uitgesproken rug in de absolute topografie op 500 hPa. Zie figuur 11 en 12.



Figuur 11 (boven): hoogte- en diktecontouren.
Figuur 12 (rechts): 22 maart 1995 23:30 UTC:
500 hPa topografie (blauw) en equivalente dikte (groen) bij een DWF.

Warmte-advectie (WA): De bewolking van een DWF valt samen met een uitgesproken WA-maximum. Vaak kunnen er twee afzonderlijke maxima worden waargenomen behorende bij het DWF en het frontale systeem. Zie figuur 13 en 14.

Thermische frontparameter (500/850 hPa): De maximale TFP bevindt zich aan de westzijde van de bewolgingsband behorende bij het DWF. Zie figuur 13 en 14.

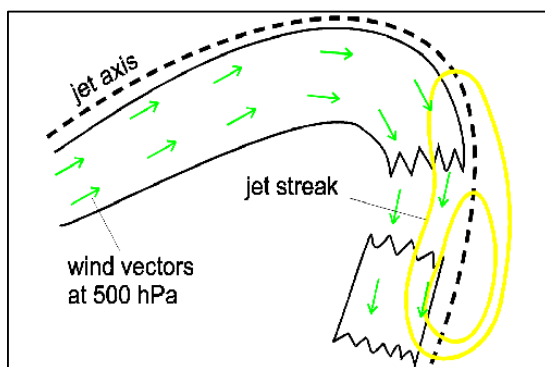


Figuur 13 (boven): schematische weergave van de positie van de TFP en maxima in warmte-advectie bij een DWF.
Figuur 14 (rechts): 22 maart 1995 23:30 UTC:
TFP (blauw) en warmte-advectie (rood)

windvectoren op 500 hPa: De wind heeft in de omgeving van het DWF een vaak sterke zuidelijke component en staat loodrecht op de verplaatsing van het gehele frontale systeem. Als gevolg hiervan beweegt het DWF snel naar het zuiden terwijl het frontensysteem langzamer naar het oosten beweegt. Zie figuur 15 en 16.

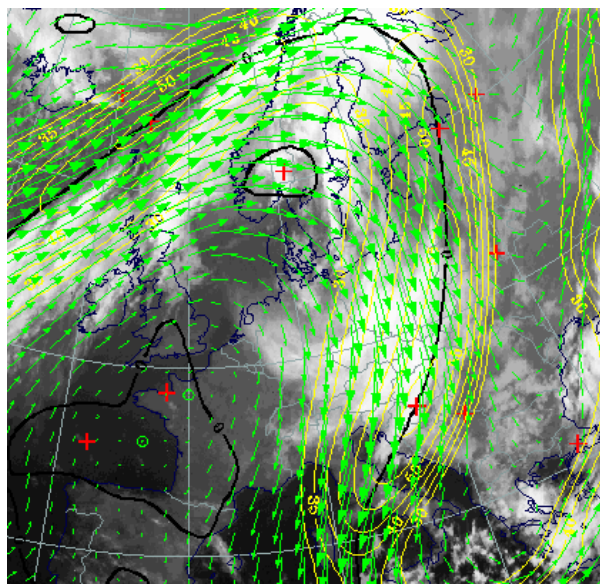
Scheringsvorticeit op 300 hPa: De nullijn van de scheringsvorticeit komt overeen met de voorzijde van het wolkendeck van het DWF. Zie figuur 15 en 16.

Isotachen op 300 hPa: De voorzijde van het DWF bevindt zich in een jet-streak die van geval tot geval verschilt in intensiteit. Zie figuur 15 en 16.



Figuur 15 (boven): schematische weergave van de jet-as en jet-streak op 300 hPa bij een DWF.

Figuur 16 :22 maart 1995 23:30 UTC: isotachen (geel), nullijn scheringsvorticeit (zwart) en windvectoren(groen) op 500 hPa



8.3.5 Weersverschijnselen

Bij een DWF is er veel bewolking aanwezig die geleidelijk wel dunner wordt. Er zijn vooral in het begin perioden met lichte tot matige regen of motregen. Wanneer er wel orografische invloeden zijn worden de weersverschijnselen veel intenser. Aan de noordzijde van de Alpen kan de loefbewolking aanleiding geven tot zware neerslag. Voor de Alpenlanden die aan de windwaartse zijde liggen van de bergen is het DWF het meest actieve fronttype wat voorkomt.



Figuur 17: nimbostratus, een echte regenwolk

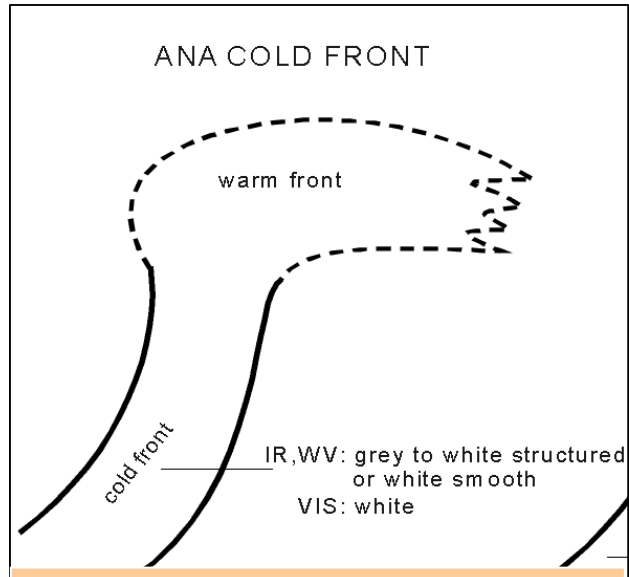
8.4 Ana-koufront

8.4.1 Wolkenstructuur op satelliet-beelden

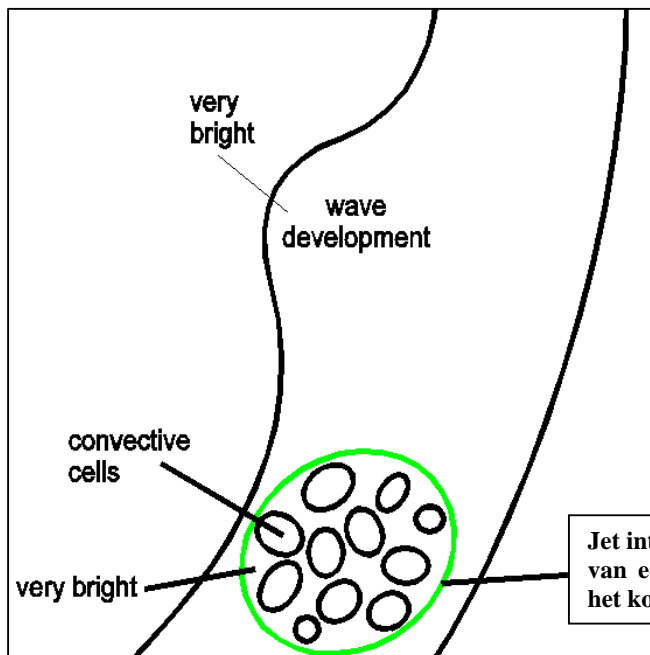
Koufronten zijn overgangen tussen twee luchtmassa's. Meestal betreft het een scheidingslijn tussen subtropische en polaire lucht. Warme vochtige lucht stijgt tegen het frontvlak op en condenseert. Hierbij ontstaat neerslag. Koufronten hangen samen met depressies en kunnen een lengte krijgen van meerdere duizenden kilometers maar zijn vaak niet meer dan honderd kilometer breed. Op satellietbeelden kunnen we het koufront als een cyclonaal gekromde wolkenband waarnemen die een paar honderd kilometer breed is en vele honderden tot meer dan duizend kilometer lang is. Aan de stroom-

afwaartse zijde is een ana-koufront verbonden met een warmtefront. Op het VIS-beeld wordt het koufront gekarakteriseerd door heldere witte tinten. Dit houdt een hoge albedo in hetgeen betekent dat er dikke bewolking aanwezig is.

Op het WV en IR-beeld is het ana-koufront gestructureerd wit en grijs of egaal wit. De toppen van de bewolking zijn over het algemeen koud.



Figuur 1: pixelwaarden van VIS, IR en WV- kanaal bij een ana-koufront



Figuur 2: In een koufront kunnen zich sub-structuren ontwikkelen waarin zich heftige weersverschijnselen voordoen

Aan de achterzijde is het koufront scherp begrensd en vindt in de drie kanalen een overgang plaats van heldere naar donkere tinten. In figuur 1 worden de pixelwaarden van de drie kanalen schematisch weergegeven.

Er kunnen zich kleinere sub-synoptische structuren ontwikkelen in een koufront zoals een golf of een intensivering van het front door de jet. Zie figuur 2. Hierin kunnen de weersverschijnselen heftiger worden.

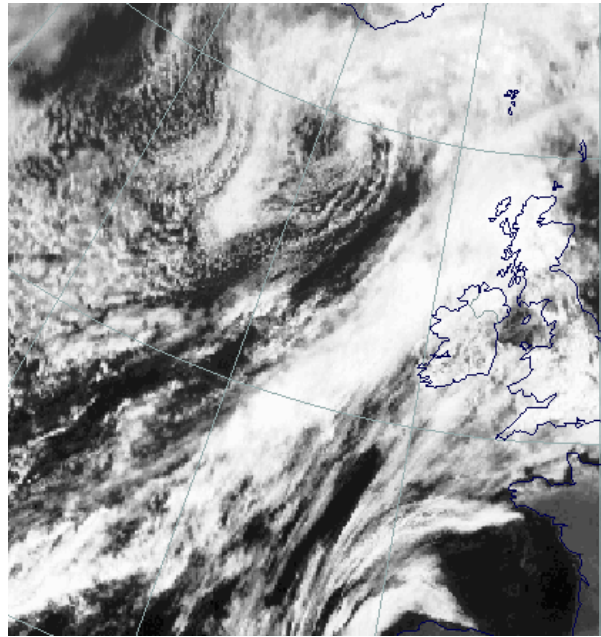
8.4.2 Praktijksituatie

19 juli 1995 12 UTC:

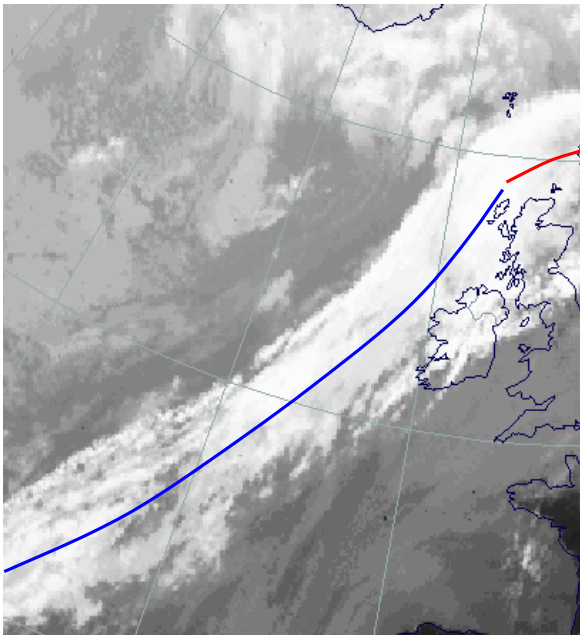
Deze situatie is een voorbeeld van een goed ontwikkeld ana-koufront dat zich uitstrekt vanaf de Atlantische Oceaan ($35^{\circ}\text{N}/35^{\circ}\text{W}$) tot aan de westkust van Schotland. Op het VIS-beeld, figuur 3, zien we heldere grijstinten in het midden en aan de voorkant van de bewolgingsband. Aan de achterzijde van het front is de bewolking veel meer gebroken met ook transparante bewolking. Achter het koufront bevindt zich een gebied met opklaringen door de aanwezigheid van dalende bewegingen.

Op het IR-beeld, figuur 4, zien we een paar verschillen met de VIS. De helderste grijstinten bevinden zich in het midden en achterste deel van de bewolking. De hoogste wolken toppen komen voor aan de achterzijde. De temperatuur van de wolken toppen geeft nog geen aanwijzing voor de intensiteit van het koufront. Sommige koufronten hebben geen vrijwel geen hoge wolken toppen maar kunnen toch zware neerslag veroorzaken.

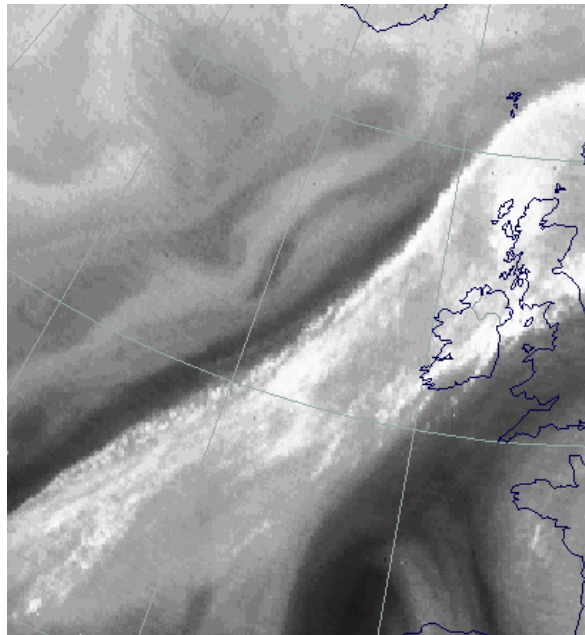
De hoge wolken toppen zijn ook goed zichtbaar bij het WV-beeld in figuur 5. Aan de achterzijde van de bewolgingsband vindt er een scherpe gradiënt plaats van helder naar zwart. Hier bevindt zich zeer droge lucht op hogere niveaus in de troposfeer.



Figuur 3: VIS-beeld 19 juli 1995 12:00 UTC, ana-koufront



Figuur 4: IR-beeld 19 juli 1995 12:00 UTC, ana-koufront



Figuur 5: WV-beeld 19 juli 1995, 12:00 UTC, ana-koufront

8.4.3 Dynamische achtergrond

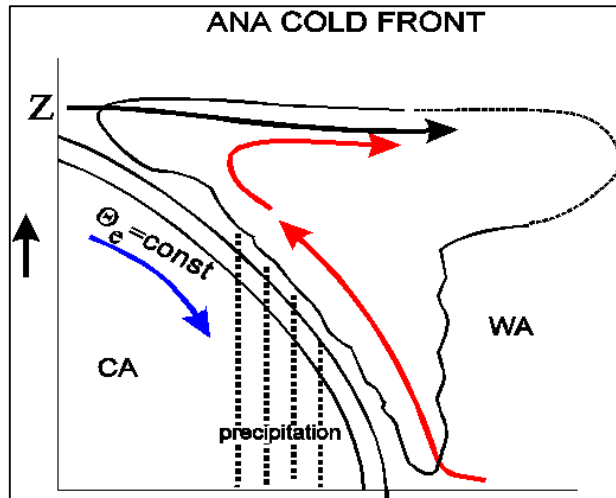
Wanneer koude en vochtige lucht zich naast elkaar bevinden dan is tussen deze twee luchtmassa's een hellend frontvlak aanwezig. Het voornaamste proces voor de ontwikkeling van koufronten is het bewegen van de koude lucht tegen warmere. Als gevolg hiervan gaat warme lucht zich langs het grensvlak omhoog en koude lucht omlaag bewegen. Door de opwaartse verplaatsing kan condensatie plaatsvinden waarbij bewolking en mogelijk neerslag ontstaat. Zie figuur 6. Bij het ana-koufront kunnen drie luchtstromingen worden gedetecteerd die elk een ander brongebied hebben: de warm conveyer belt, upper relative stream en dry intrusion.

Aan de onderkant van de troposfeer beweegt de stroming van de conveyor belt zich achterwaarts, in de richting van het frontvlak. Dit wordt veroorzaakt door frictie. Boven in de troposfeer beweegt de stroming van de warm conveyer belt zich naar voren. Dit is in overeenstemming met de geostrofische wind die op deze hogere niveaus waait. Een deel van de bewolking behorende bij een koufront wordt geproduceerd door de warm conveyer belt. De belangrijkste luchtstroming is de upper relative stream. Deze is vochtig en is afkomstig van de anti-cyclonale zijde van de jet-as achter het koufront. Soms kan de upper relative stream terug worden gevolgd tot de bewolking behorende bij een warmtefront van een stroomopwaarts gelegen systeem. Een belangrijk deel van de frontale bewolking wordt veroorzaakt door de upper relative stream.

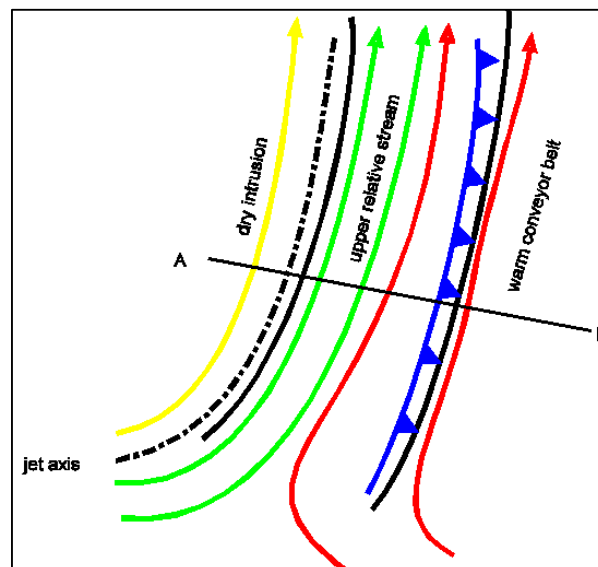
De dry intrusion is ook afkomstig van achter het koufront en kan worden gevonden aan de cyclonale zijde van de jet-as. Deze lucht is droger en kouder.

Het belangrijkste proces dat verantwoordelijk is voor de verschillende koufronttypes is de oriëntatie van de jet stream in de middelbare en hogere delen van de troposfeer. In het geval van een ana-front liggen de jet-as en de dry intrusion parallel

aan de frontale bewolkingsband. Hierdoor ontstaat er een uitgesproken achterzijde in de bewolkingsband. Overigens kan nog opgemerkt worden over de upper relative stream dat deze uit een andere brongebied komt dan de warm conveyer belt. Ook kan de upper relative stream duidelijk onderscheiden worden van de cold intrusion. In figuur 7 wordt de positie van de diverse stromingen in een ana-koufront weergegeven.



Figuur 6: ontwikkeling van bewolking en neerslag bij het grensvlak tussen twee luchtmassa's. Rood: WCB

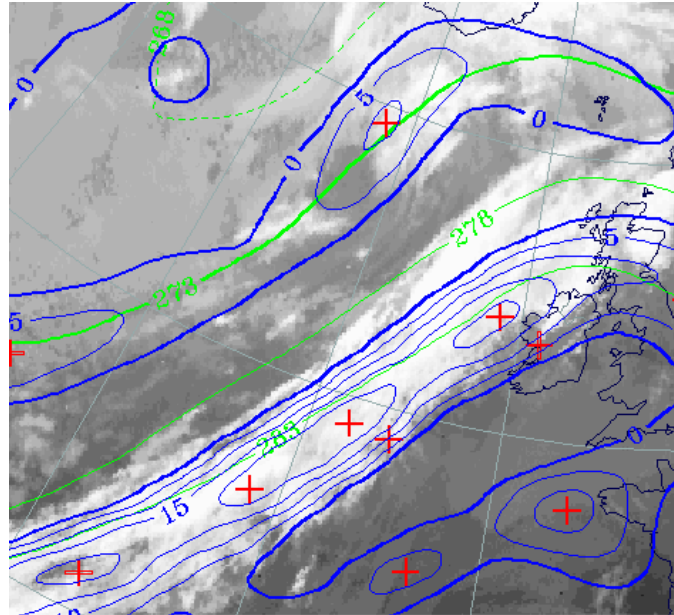
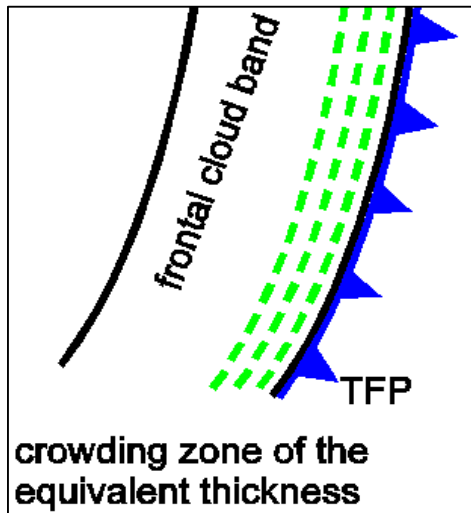


Figuur 7: locatie van de dry intrusion, upper relative stream en warm conveyer belt bij een ana-koufront

8.4.4 Sleutelparameters

equivalente dikte (500/850 hPa): de gradiëntzone van de equivalente dikte bevindt zich in de bewolkingsband.

thermische frontparameter (500/850 hPa): Het maximum van de TFP bevindt zich aan de voorzijde van de bewolkingsband

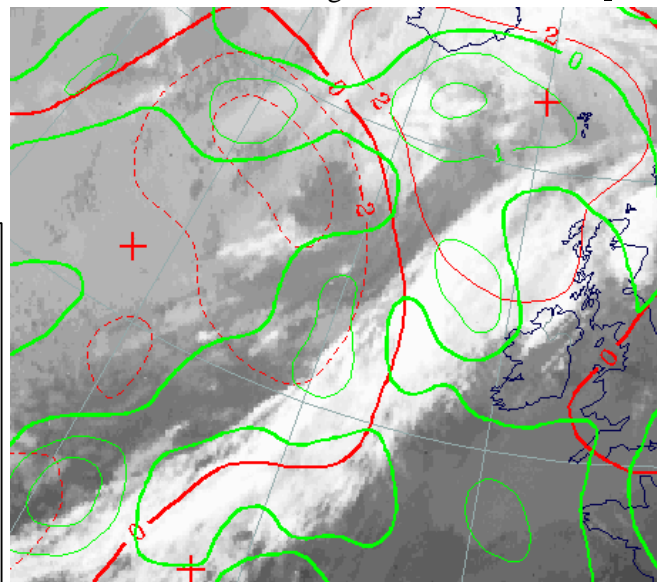
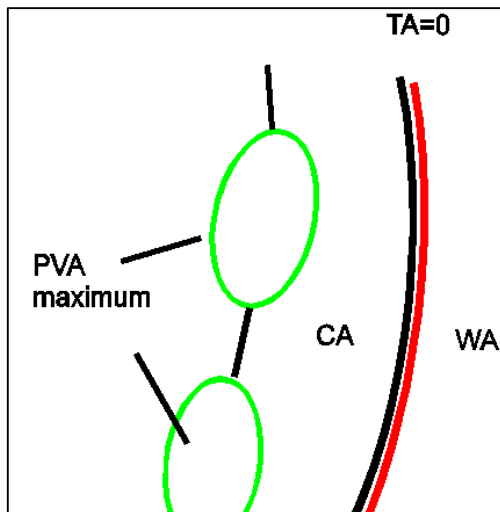


Figuur 9 (links): schematische weergave van de positie van de TFP en gradiëntzone van de equivalente dikte bij een ana-koufront.

Figuur 10 (boven): 19 juli 1995 06:00 UTC: TFP (blauw), equivalente dikte (groen)

temperatuur advectie: Zwakke WA voor het front uit en uitgesproken CA achter het grondfront. De bewolking bevindt zich in de kou-advectie. TA = 0 ligt voor de wolkenband.

Positieve vorticeits advectie (PVA) in hogere niveaus PVA-maxima kunnen vaak gevonden worden aan de achterzijde van de wolkenband. Deze hangen samen met het verplaatsen van de hoogtetrog en/of de jet-streak.

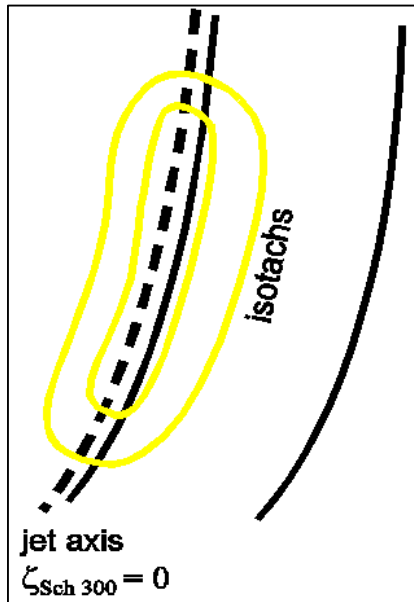


Figuur 11 (links): schematische weergave van de ligging van het PVA-maximum en temperatuurs-advectie bij een ana-koufront.

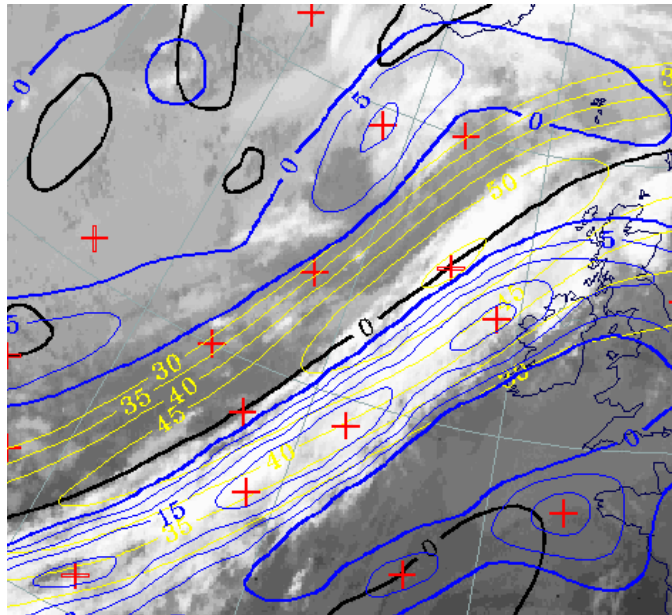
Figuur 12 (boven): 19 juli 1995 06:00 UTC: PVA (groen), temperatuur advectie (rood)

Isotachen op 300 hPa: De jet ligt achter en parallel aan de bewolking behorende bij het koufront. De wolkenband bevindt zich aan de anti-cyclonale zijde van de jet. De jet kruist het frontale systeem bij het occlusiepunt.

Scheringsvorticiteit op 300 hPa: De nullijn ligt dichtbij en parallel aan de achterzijde van de bewolkingzone.



Figuur 13: schematische weergave van de locatie van de jet-as bij een ana-koufront.



Figuur 14: 19 juli 1995 06:00 UTC: isotachen (wit), nullijn scheringsvorticiteit en TFP

8.4.5 Weersverschijnselen

Afhankelijk van de intensiteit van het koufront kunnen er heel verschillende verschijnselen optreden bij een ana-koufront. In de directe nabijheid van het grondfront kan vaak een smalle strook worden gevonden met intensieve neerslag. Deze wordt veroorzaakt door sterke opwaartse bewegingen vlak voor het front uit en wordt lijnconvectie genoemd. Na passage van het front komen intensieve neerslaggebieden voor.

Naast regen kan er indien de condities gunstig zijn ook hagel, onweer en windstoten optreden. Gebieden in het ana-koufront met heftige weersverschijnselen vallen vaak samen met PVA-maxima in de bovenlucht. Dit gebeurt bijvoorbeeld bij de linker uitgang van een jet-streak.



Bernard Hulshof (1933)

Figuur 15: De passage van een koufront kan afhankelijk van het tijdstip, locatie en de synoptische situatie gepaard gaan met heftig weersverschijnselen zoals hagel, onweer en windstoten.

8.5 Kata-koufront

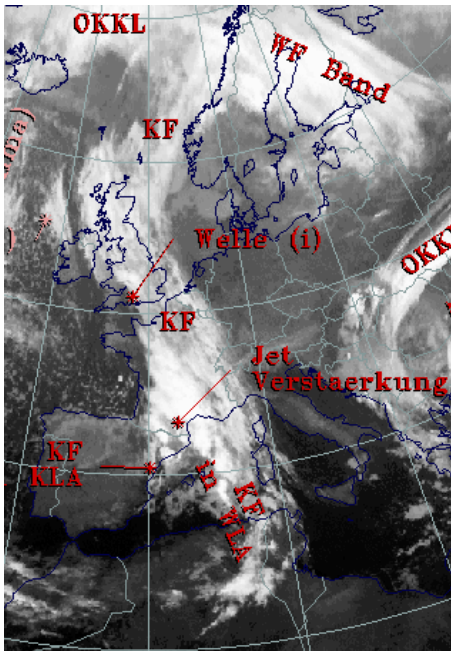
8.5.1 Wolkenstructuur op satellietbeelden

Op satellietbeelden wordt een cyclonaal gekromde, synoptische schaal wolkenband waargenomen die gewoonlijk een paar honderd kilometer breed is. Op het VIS-beeld is de wolkenband terug te zien als een band met witte grijstinten. Dit houdt in dat het gaat om een dik pakket gelaagde bewolking die de meeste inkomende zonnestraling reflecteert.

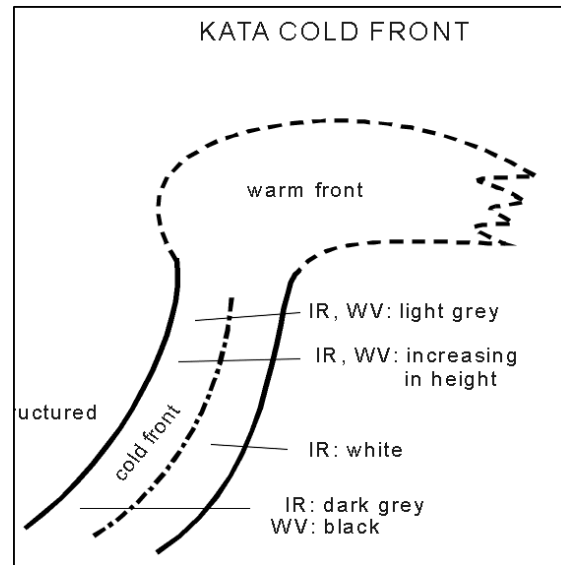
Aan de voorzijde van het front geeft het IR-beeld helder witte pixelwaarden terwijl aan de achterzijde donkerder tinten voorkomen. Dit wordt veroorzaakt doordat de wolken toppen aan de voorzijde van het

front veel hoger liggen. Hierdoor zijn de toppen aan de voorzijde ook veel kouder.

Op VIS-beelden kan de overgang van hoge naar lage toppen ook worden waargenomen maar hier is het minder duidelijk zichtbaar. In het noordelijk achterste deel van het koufront komen helder IR-tinten voor. Dit is aan de cyclonale zijde van de jet. Meer naar het zuiden toe worden de pixelwaarde lager. Dit is aan de anti-cyclonale zijde van de jet



Figuur 2: Er kunnen in een koufront sub-synoptische structuren ontwikkelen zoals een golf of jet-intensivering.



Figuur 1: schematische weergaven van pixelwaarden van IR en WV-kanaal bij een kata-koufront

Het WV-beeld toont aan de voorzijde van het front helder witte waarden. Aan de achterzijde worden de grijstinten donkerder. Hier vinden we in de hogere delen van de troposfeer een lage luchtvochtigheid. Dit wordt veroorzaakt door de intrusie van droge lucht die zelfs afkomstig kan zijn van de stratosfeer. In een koufront kunnen ook substructuren voorkomen waar de weersverschijnselen zich verheven. Het kan voorkomen dat er een golf in het koufront ontstaat. Ook kan er een jet-intensivering optreden

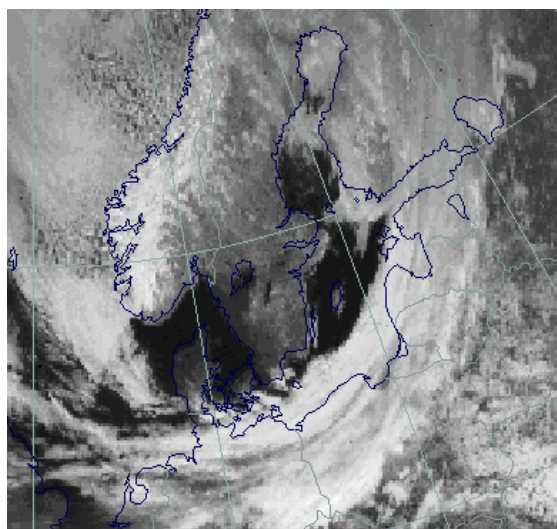
In figuur 2 ligt een koufront boven Engeland, Frankrijk en in de richting van de Middellandse Zee. Hierin heeft zich boven Zuid Engeland een golf en boven de Pyreneeën een jet-intensivering ontwikkelt.

8.5.2 Praktijksituatie 29 februari 1999 12 UTC

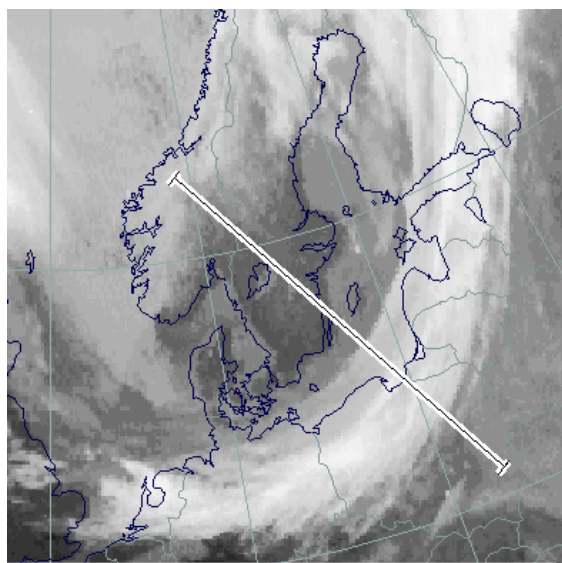
Deze situatie is het voorbeeld van een goed ontwikkeld kata-koufront. Het strekt zich uit van de zuidoostkust van Engeland over de Baltische staten naar de Witte Zee. Op het VIS-beeld, figuur 3, zien we de helderste pixelwaarden aan de achterzijde van de bewolgingsband. Dit is vooral te zien boven het noorden van Nederland, Duitsland en Polen.. Bij een ana-front is de bewolking in dit kanaal veel egaler wat kleurverdeling betreft.

In het IR en WV-kanaal, figuur 4 en 5 is het tegenovergestelde het geval vergeleken met de VIS. Hier zijn de helderste pixelwaarden aan de voorzijde van de bewolking te vinden. Aan de achterzijde zijn de grijstinten donkerder. In de hogere troposfeer wordt aan de achterzijde van het front koude, droge en dalende lucht aangevoerd die de bewolking

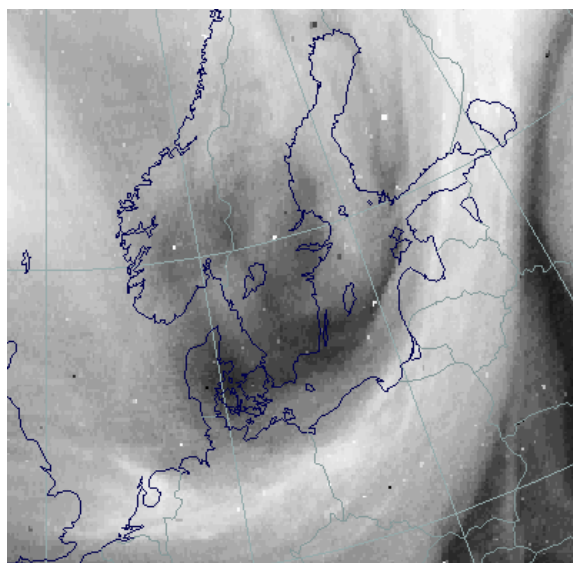
van boven af geleidelijk doet oplossen. Dit proces treedt niet op bij een ana-koufront. Door deze lucht is de troposfeer in middelbare en hogere niveaus droger dan aan de voorzijde van het koufront. Aan de voor- en achterzijde van het ana-front wordt deze in het WV-beeld begrensd door zwarte banden met droge lucht in de hogere niveaus van de troposfeer.



Figuur 3: VIS-beeld 29 februari 12 UTC: kata-koufront



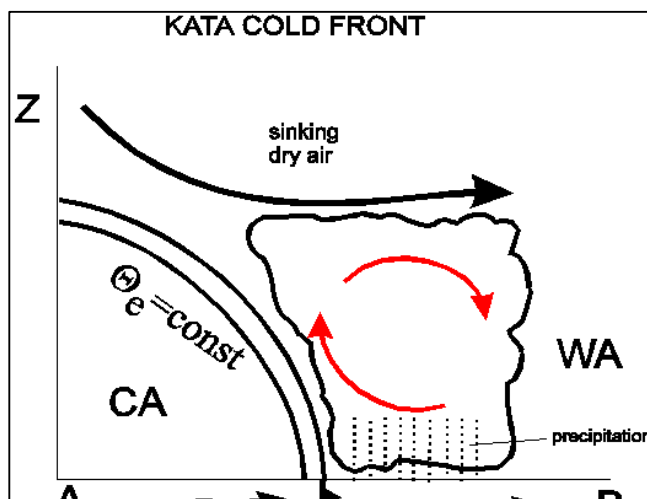
Figuur 4: IR-beeld 29 februari 12 UTC, kata-koufront



Figuur 5: WV-beeld 29 februari 12 UTC, kata-koufront

8.5.3 Dynamische achtergrond

Bij een kata-koufront zitten de wolke toppen over het algemeen op een geringere hoogte dan bij een ana-front. Dit wordt veroorzaakt door dalende droge lucht die van achter het koufront over de bewolingsband uitstroemt. Ook bij dit type koufront wordt warme lucht geforceerd om op te stijgen langs het frontvlak. Dit veroorzaakt condensatie en de productie van neerslag. De meeste neerslag bevindt zich voor het grondfront uit.



Figuur 6: bij een kata-koufront bevindt zich de meeste neerslag voor het grondfront uit. De wolke toppen lossen aan de bovenkant op door dalend droge lucht.

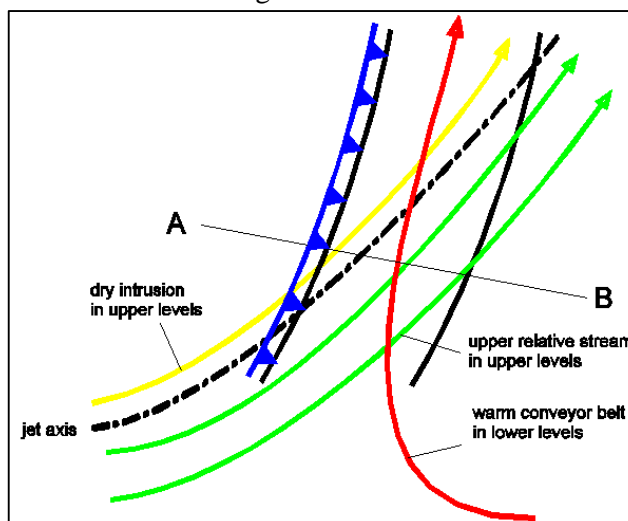
Er wordt in het algemeen van uit gegaan dat kata-fronten zich ontwikkelen uit ana-fronten. Boven de

Atlantische Oceaan bevinden zich meest ana-fronten terwijl op het continent er meestal kata-fronten zijn. Een verklaring hiervoor is dat het front boven het ruwere aardoppervlak begint te vertragen terwijl in de bovenlucht de stroming zijn snelheid behoudt.

Bij het kata-koufront wordt in tegenstelling tot het ana-koufront de warm conveyer belt van boven af ingehaald door de dry intrusion. Deze lucht komt van de hoogste lagen in de troposfeer of de lagere niveaus in de stratosfeer en is zeer droog.

Aan de voorzijde van het front, voor het grondfront uit bevindt zich de warm conveyerbelt. Deze helt naar voren doordat de dry intrusion het frontensysteem inhaalt in de bovenlucht.

De lucht in de buurt van het grondfront krijgt een potentieel instabiele opbouw omdat de dry intrusion die over de warm conveyer belt heen beweegt uit koude lucht bestaat. Er kan vaak een toename van de hoogte van de wolke toppen worden waargenomen. Hier verandert de neerslag van een stratiform naar een convectief karakter. In deze omgeving kan het bovenluchtfrent worden teruggevonden



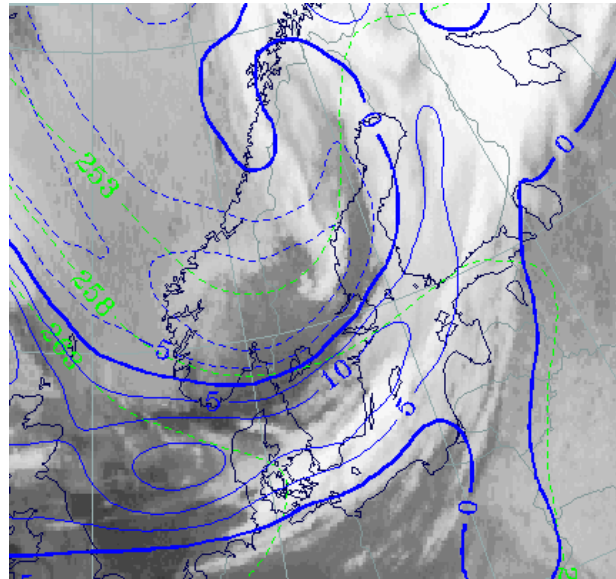
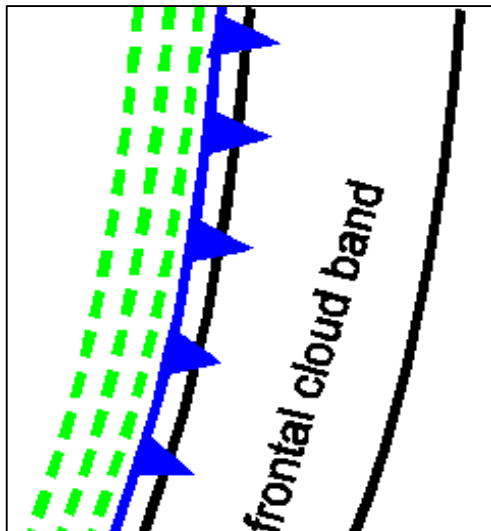
Figuur 7: locatie van de dry intrusion, upper relative stream en warm conveyer belt bij een kata-koufront

In het geval van een kata-front kruisen de jet-as en de aan weerszijden hiervan gelegen dry intrusion en upper relative stream de frontale bewolking. Op het satellietbeeld kan dit waargenomen worden aan het donkerder worden van de grijsinten omdat de bewolking aan oplossing onderhevig is.

8.5.4 Sleutelparameters

equivalente dikte: De gradiëntzone van de equivalente dikte bevindt zich achter de bewolkingsband.

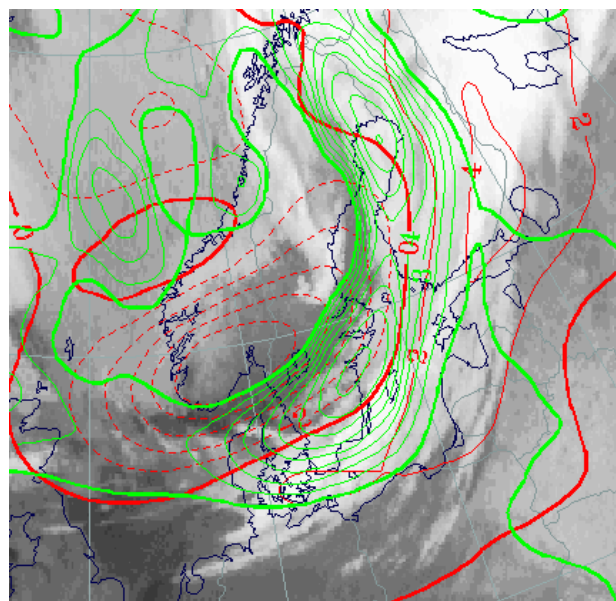
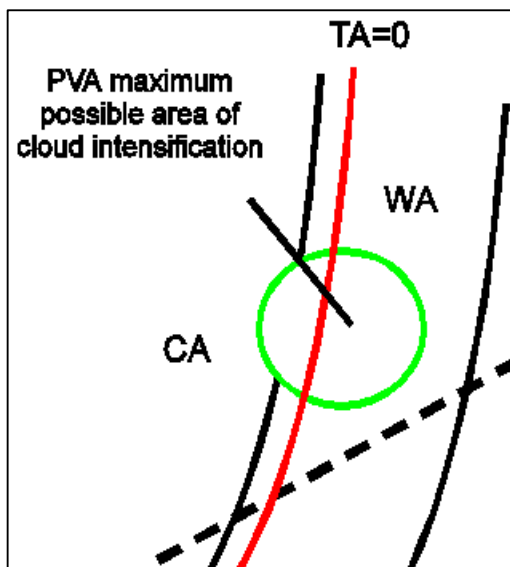
Thermische front parameter: De maximale TFP bevindt zich aan de achterzijde van de bewolkingsband



Figuur 9 (links): schematische weergave van de positie van de TFP en de gradiëntzone van de equivalente dikte bij een kata-koufront.
 Figuur 10 (boven): 29 februari 1999 0600 UTC: TFP (blauw), equivalente dikte (groen)

Temperatuur advectie: Zwakke WA voor het front uit en uitgesproken CA achter het grondfront. De bewolking bevindt zich in de warmte advectie. TA = 0 ligt in de wolkenband.

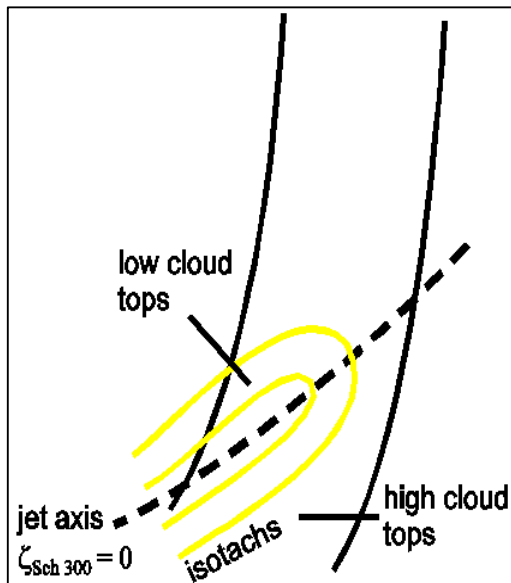
Positieve vorticeits advectie (PVA) in hogere niveaus PVA-maxima kunnen vaak gevonden worden aan de achterzijde van de bewolkingsband. Deze hangt samen met het verplaatsen van de hoogtetrog en/of jet-streak.



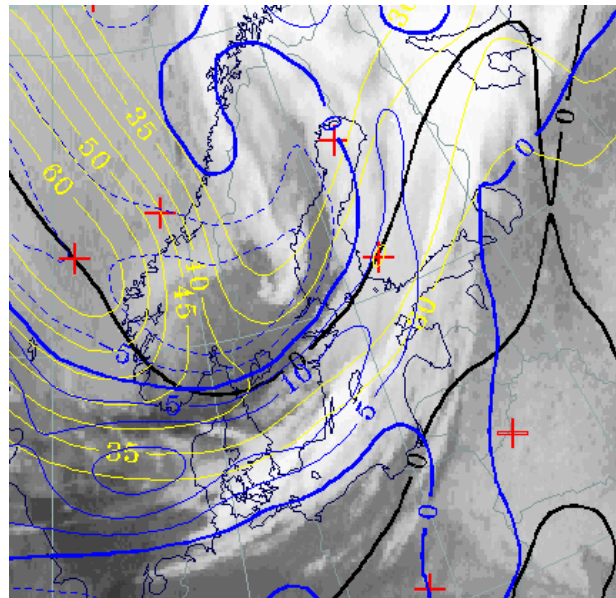
Figuur 11 (links): schematische weergave van de ligging van het PVA-maximum en temperatuursadvectie bij een kata-koufront.
 Figuur 12 (boven): 29 februari 1996 0600 UTC: PVA (groen), temperatuursadvectie (rood)

Isotachen op 300 hPa: De jet snijdt het oppervlakte front onder een behoorlijke hoek. Afhankelijk van de locatie t.o.v. de jet ligt de bewolking in de cyclonale of anti-cyclonale zijde van de jet.

scheringsvorticeiteit op 300 hPa: De nullijn van de scheringsvorticeiteit kruist de bewolking van het koufront. Het gaat samen met de overgang van hoge naar lage wolke toppen. Dit heeft te maken met het oplossen van de bewolking aan de cyclonale zijde van de jet in droge lucht afkomstig van de stratosfeer.



Figuur 13: schematische weergave van de locatie van de jet-as bij een kata-koufront.



Figuur 14: 29 februari 1999 0600 UTC: isotachen (wit), nullijn van de scheringsvorticeiteit en TFP

8.5.5 Weersverschijnselen

In het geval van een kata-koufront kan de bewolking en neerslag voor het grondfront uit worden gevonden. Voor het grondfront uit kunnen zich hevige neerslag, buien, zie figuur 15, en zelfs onweer voordoen. Vaak wordt er waargenomen dat de convectie zich ontwikkelt in smalle lijnen die parallel liggen aan het grondfront.



Figuur 15: Cb die gepaard gaat met een z.g. shelf cloud

8.6 Split-koufront

8.6.1 Wolkenstructuur op satellietbeelden

Net als bij een ana- en kata-koufront vormen split-fronten de scheiding tussen twee luchtsoorten. Meestal zijn koufronten verbonden met depressies. Bij een split-front lijkt het of we te maken hebben met twee onafhankelijke fronten maar dit is niet het geval. Eerst passeert het bovenluchtfrent dat door een krachtige bovenluchtstroming het grondfront heeft ingehaald. Vervolgens komt het grondfront.

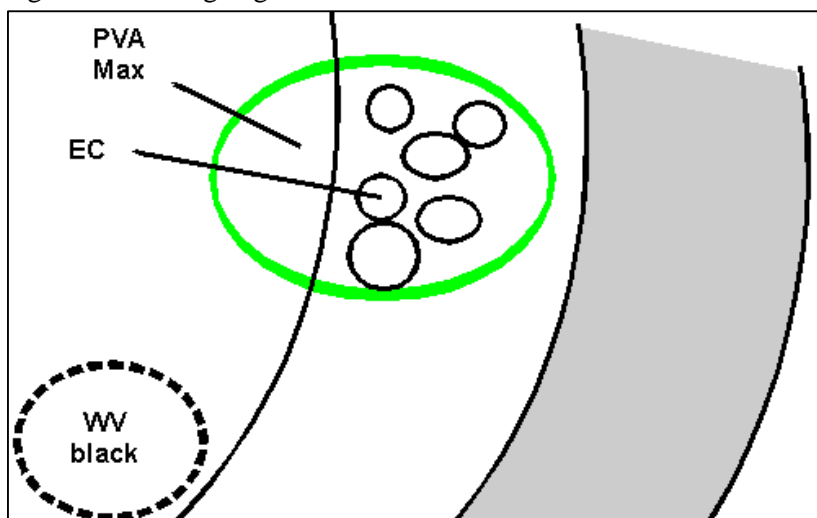
Een split-koufront bestaat uit een cyclonaal gekromde wolkenband. Er is een uitgesproken dubbelstructuur met koude wolke toppen aan de voorzijde en warme wolke toppen aan de achterzijde van de bewolking.

De voorste wolkenband van het split-koufront bestaat uit een dik pakket bewolking. VIS-beelden tonen hoge albedowaarden want het signaal varieert van wit tot grijs. De pixelwaarden in het IR en WV-kanaal zijn wit. Dit geeft aan dat de voorste band uit dikke gelaagde bewolking bestaat.

De achterste wolkenband is zichtbaar in het VIS als een gebied met witte grijstinten. Het IR-sigitaal is grijs tot donkergrijs hetgeen betekent dat de wolke toppen een stuk lager en warmer zijn. WV-signalen zijn zwart. Dit houdt in dat erboven de lage wolkenband zich zeer droge lucht bevindt.

In het ideale geval is de grens tussen de twee wolkenbanden duidelijk zichtbaar op het IR en WV-kanaal. Er is een scherpe overgang van hoge naar lage pixelwaarden.

Vaak wordt er waargenomen dat zich convectieve bewolking ontwikkelt in en boven de lage wolkenband. Dit vindt plaats aan de cyclonale zijde van de jet-as. Op het IR-beeld zijn deze in lagere bewolking ingebedde cellen zichtbaar aan hun veel lichtere kleur dan de omgeving.

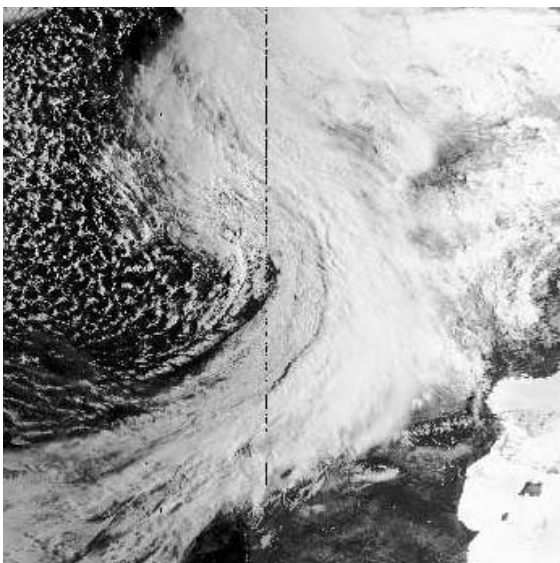


Figuur 1: schematische weergave van de pixelwaarden bij het IR, WV en VIS-kanaal

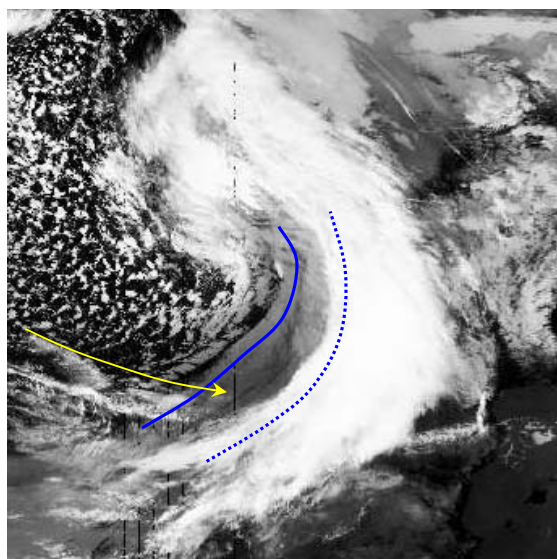
Aan de anti-cyclonale zijde van de jet-as ontwikkelt zich vaak een zwart gebied. Dit is droge koude en dalende lucht die zich boven de lage wolkenband bevindt. In sommige gevallen kan het gebeuren dat de hoge en lage wolkenband helemaal ontkoppeld worden.

Figuur 2: De jet raakt bij een split-koufront de band onder een grote hoek waarbij aan de cyclonale zijde een PVA- en EC gebied aanwezig kan zijn en aan de anti-cyclonale zijde een band met een donkere tint in het WV.

8.6.2 Praktijksituatie 11 april 1985, 12 UTC



Figuur 3: VIS-beeld 11 april 1985 08:16 UTC: split-koufront



Figuur 4: IR-beeld 11 april 1985 08:16 UTC: split-koufront

In figuur 3 en 4 zijn een duidelijk voorbeeld gegeven van een split-koufront. Op de VIS zien we halverwege de bewolkingsband van het koufront een markante scheiding. Hier vindt een overgang plaats van hoge naar lagere wolke toppen. Op de scheidingslijn bevindt zich het koufront in de bovenlucht. Achter de overgang is de bewolking op het VIS-beeld grijs wat inhoudt dat de bewolking vrij dun is. Voor de overgang is de bewolking dik getuige de witte tinten.

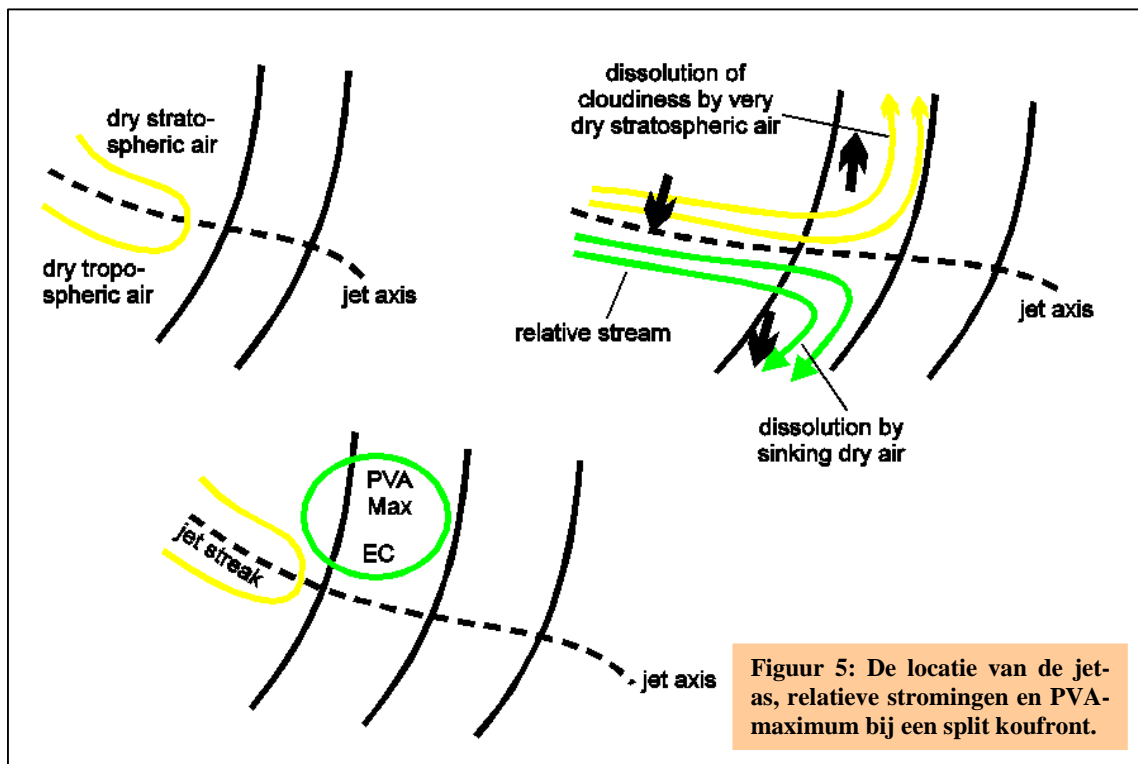
Het IR-beeld laat heel duidelijk zien dat we te maken met twee afzonderlijke wolkenlagen waarvan de toppen op verschillende hoogten zitten. De bewolking voor het bovenluchtfrent uit reikt tot diep in de troposfeer en is koud en helder op het IR-beeld. Vervolgens is er een markante overgang van koude naar warme wolke toppen. Aan de achterzijde van de lage wolke toppen bevindt zich het grondfront. Er is ook wat jet-cirrus aanwezig die de locatie van de jet as geeft. De jet maakt een zeer grote hoek met het koufront hetgeen karakteristiek is voor een split-koufront.

8.6.3 Meteorologisch fysische achtergrond

Het conceptuele model van het split-front hangt sterk samen met de jet-streak en droge dalende stratosferische lucht. In de initiële fase ontwikkelt zich een split front uit een anakoufront. De warme conveyer belt wordt in zo'n situatie door luchtstroom behorende bij de dry intrusion ingehaald. Deze relatieve stroming voert zeer droge lucht aan. De dry intrusion

bestaat uit twee stromingen. De noordelijke tak die door de jet-streak wordt aangevoerd is afkomstig van de cyclonale zijde van de jet. Deze lucht is stratosferisch en zeer droog. De zuidelijke tak komt van de anti-cyclonale zijde van de jet vandaan. Deze lucht komt uit de troposfeer maar toch zeer droog. De twee stromingen lopen parallel aan de jet-as, figuur 5, maar aan de uitgang van de jet splitsen ze zich. De noordelijke tak begint hierbij weer te stijgen. De zuidelijke tak blijft dalen en hier vindt oplossing van de bewolking plaats. Veelal wordt de achterzijde van de wolkenband van het split-front geassocieerd als grondfront terwijl de achterzijde van de hoge bewolking de positie van het bovenluchtfrent aangeeft. Tussen de twee frontale vlakken is een ondiepe vochtige laag aanwezig. Een karakteristiek kenmerk van het bovenluchtfrent is dat het voornamelijk een grens is tussen luchtmassa's met verschillende vochtigheid en niet een thermische grens.

Boven de linkeruitgang van de jet is een PVA-maximum aanwezig. Dit gebied bevindt zich boven de lage bewolking aan de achterzijde van het front. Hier kan zich convectieve bewolking ontwikkelen.



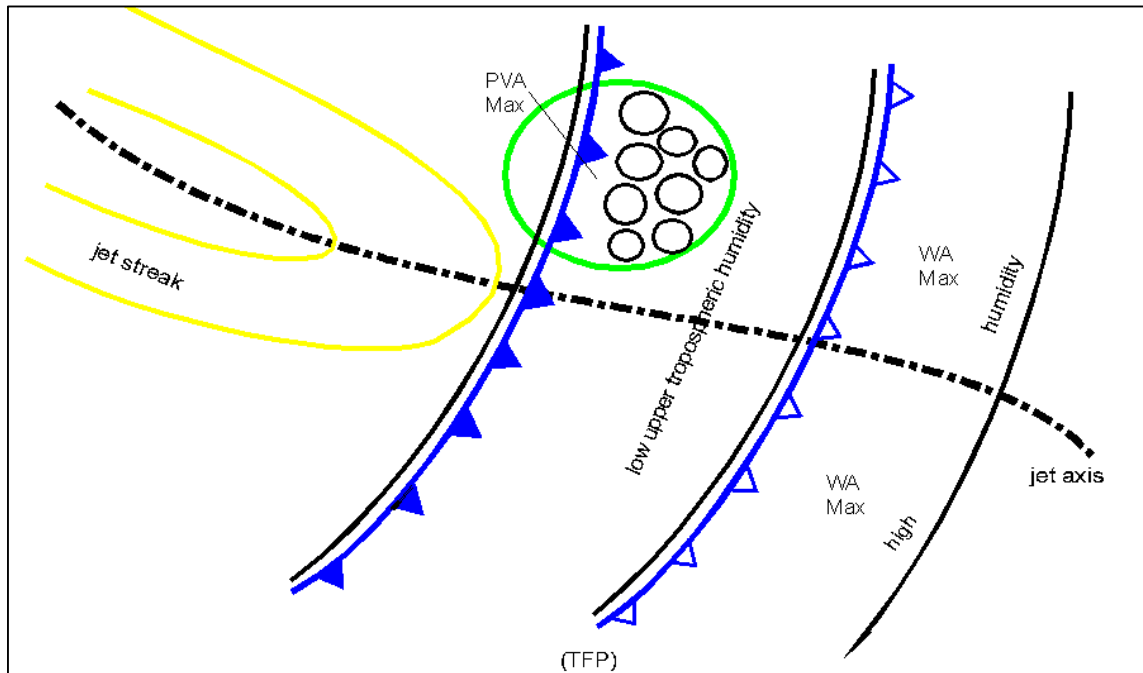
Figuur 5: De locatie van de jet-as, relatieve stromingen en PVA-maximum bij een split koufront.

8.6.4 Sleutelparameters

Temperatuursadvectie (WA): Een rug met WA valt samen met bewolking in de hogere niveaus. Dit is de warme lucht die opstijgt voor het front in de bovenlucht.

Jet-streak en positieve vorticeits advectie: De jet-streak nadert de wolkenband onder een grote hoek en valt samen met een PVA-maximum in de regio van de linker uitgang.

Vochtigheid: Zeer droge lucht bevindt zich in de middelbare en hogere lagen van de troposfeer boven de bewolgingsband op lagere niveaus.



Figuur 6: locatie jet-streak en as, grond- en bovenluchtfrent en PVA-maximum bij een split koufront

8.6.5 Weersverschijnselen

In de omgeving van de ondiepe vochtige zone tussen de fronten komt er licht tot matige regen of motregen voor. In het geval van de aanwezigheid van een PVA-maximum die samenhangt met de linker uitgang van een jet-streak kunnen er intensieve neerslag of onweersbuien vallen. Bij het bovenluchtfrent waar de overgang van hoge naar lagere wol Kentoppen is, kunnen ingebedde Cb's voorkomen met intensieve neerslag en onweer zoals in figuur 7.

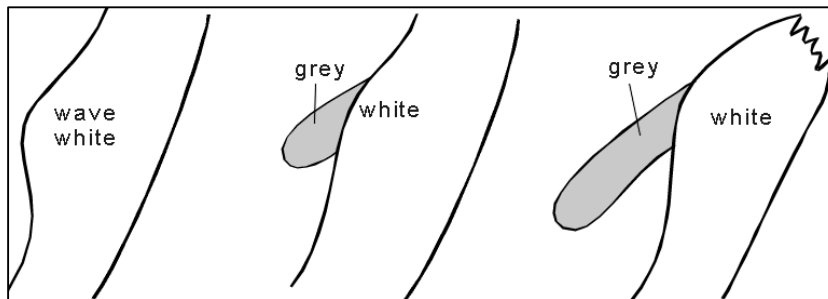


Figuur 7 een verticale ontlading bij een onweersbui

8.7 Occlusie (Cold Conveyor Belt type)

8.7.1 Wolkenstructuur op satellietbeelden

Een frontale golf bestaat in het uitdiepingstadium uit een koufront en een warmtefront met daartussen een warme sector. Het koufront dat stroomopwaarts ligt van het warmtefront beweegt echter sneller. Hierdoor naderen de twee frontale structuren gedurende de levenscyclus elkaar steeds meer. Uiteindelijk haalt het koufront het warmtefront in. De warme lucht wordt dan van het aardoppervlak verdreven en de warme sector is alleen nog aanwezig in de bovenlucht. Dit proces wordt occluderen genoemd. Vaak is lucht voor het warmtefront uit van een andere temperatuur en vochtigheid dan achter het koufront. Als een depressie geoccludeerd is daarom nog steeds sprake van een frontvlak. De verschillen bij een occlusie zijn echter kleiner dan bij een kou- of warmtefront. Er blijken twee typen occlusies te bestaan: de cold conveyor belt (CCB-occlusie) en warm conveyor belt type occlusie (WCB-occlusie). De eerste blijkt verreweg het meest voor te komen en wordt nu volgend besproken.



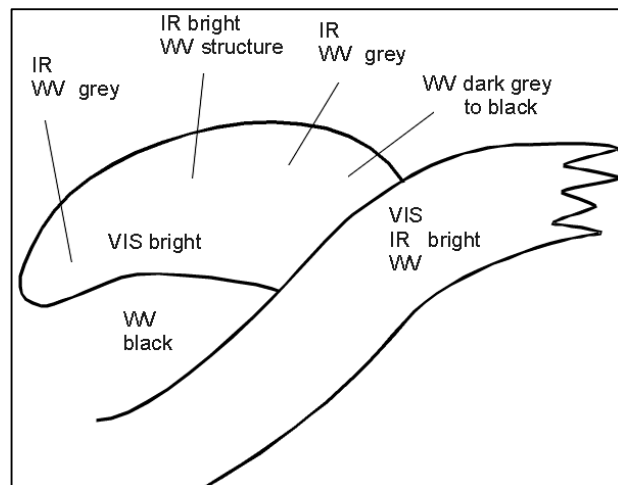
Figuur 1: de ontwikkeling van een occlusie in een frontale golf, met bijbehorende grijs tinten in het IR-kanaal

Bij een volledig ontwikkelde CCB-occlusie kunnen op het satellietbeeld twee synoptische schaal wolkenstructuren worden waargenomen. Ten eerste is een dik pakket gelaagde bewolking behorende bij het frontale systeem zichtbaar. De toppen hiervan reiken,

getuige de witte tinten in IR, tot diep in de troposfeer. Daarnaast zien we een wolkenband waarvan de wolke toppen minder hoog reiken in de troposfeer. Dit is het begin van het geoccludeerde deel van het systeem. De wolkenband blijkt van onder de hoger wolkenband van het frontensysteem vandaan te komen en wordt weer dikker (witter in IR en WV) naar mate hij zich verder van het occlusiepunt bevindt. De genoemde wolkenstructuren blijken ontkoppeld te zijn van elkaar. Figuur 1 geeft de wolkenstructuren weer gedurende verschillend stadia van ontwikkeling van de occlusie.

We gaan nu dieper in op het uiterlijk van de CCB-occlusie zoals die waargenomen wordt in de drie satellietkanalen. Op het VIS-beeld kan een witte wolken spiraal worden gezien hetgeen duidt op dikke bewolking die een groot deel van het zonlicht reflecteert.

Op het IR- beeld is de bewolking van de occlusie grijs, maar er kunnen ook witte gebieden voorkomen. Bij de overgang van de bewolking van de meestal oost-west georiënteerde frontale golf naar de



Figuur 2: pixelwaarden in het VIS, IR en WV-beeld bij de occlusie en frontale bewolking

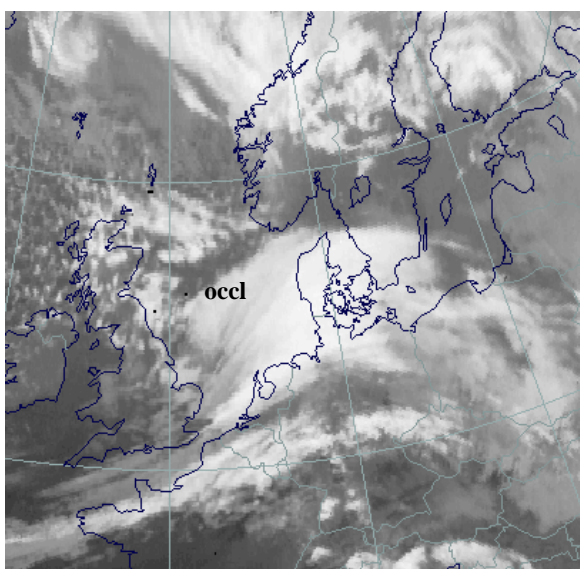
occlusie kan een sterke gradiënt worden van wit naar (donker)grijs.

Dieper in de occlusie worden de

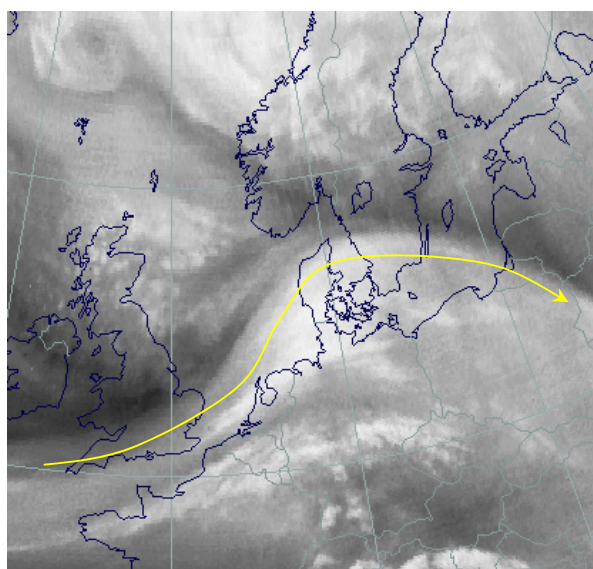
pixelwaarden weer hoger, witter. Dit duidt op hogere wolke toppen. Naar de punt van de occlusie toe worden de grijstinten weer donkerder. Met de conveyor belt theorie, die aan bod komt in de paragraaf meteorologisch fysische achtergrond, kan de wolkenstructuur van een occlusie goed verklaard worden. Gedurende latere stadia in de ontwikkeling van de occlusie ontwikkelt zich meer en meer hoge bewolking.

Op het WV-beeld kan nog duidelijker onderscheid gemaakt worden tussen de frontale en occlusie bewolking. Een zwarte streep die de droge lucht aan de cyclonale zijde van de jet-as markeert loopt door de overgangszone van de frontale en occlusie bewolking. De droge lucht spiralisert ook mee in de spiraal van de occlusie. Gedurende latere stadia van de ontwikkeling van de occlusie verdwijnt de zwarte streep geleidelijk en kunnen overal in de occlusie-spiraal hoge heldere pixelwaarden in het WV-beeld worden gevonden. In figuur 2 zijn de grijstinten in de drie satellietkanalen schematisch weergegeven.

8.7.2 Praktijksituatie 28 maart 1997

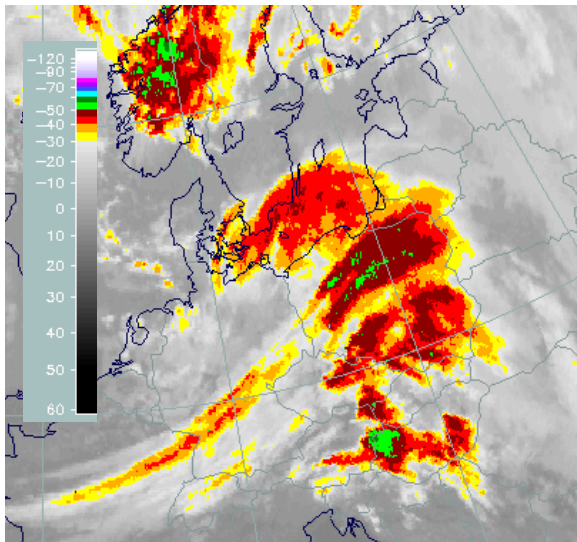


Figuur 3: IR-beeld 28 maart 1997 01:00 UTC: CCB-type occlusie

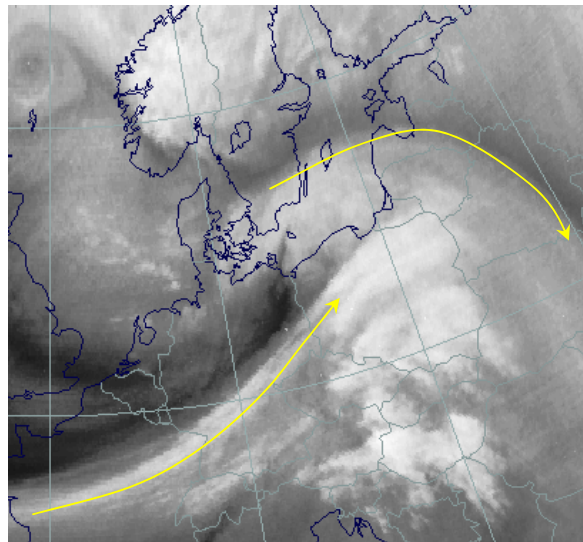


Figuur 4: WV-beeld 28 maart 1997 01:00 UTC: CCB-type occlusie

Op figuur 3 en 4 zien we respectievelijk het IR en WV-beeld van een occlusie in een vroege fase van de ontwikkeling. De occlusie ligt op de Noordzee op ongeveer $55^{\circ}\text{N}/4^{\circ}\text{E}$. Zuid hiervan ligt de overgangszone van de frontale bewolking met de occlusie van $54^{\circ}\text{N}/4^{\circ}\text{E}$ naar $57^{\circ}\text{N}/9^{\circ}\text{E}$. Op het IR-beeld kunnen we de occlusiebewolking herkennen aan de grijzere bewolking hetgeen lagere toppen betekent. De frontale bewolking is helder wit. Op de linkerhelft van figuur 3, rond $49^{\circ}\text{N}/4^{\circ}\text{W}$ kan duidelijk worden waargenomen dat de frontale bewolking sterk aan oplossing onderhevig is. Dit treedt op door intrusie van droge lucht in de bovenlucht. Ten noorden van de occlusie is een gebied met EC's zichtbaar boven Schotland. Op het WV-beeld, figuur 4, is de overgang van hoge vochtigheid in de frontale zone naar lagere waarden bij de occlusie boven de Noordzee waarneembaar. De jet-as ligt over Engeland en vervolgens over de Oostzee (pijl).

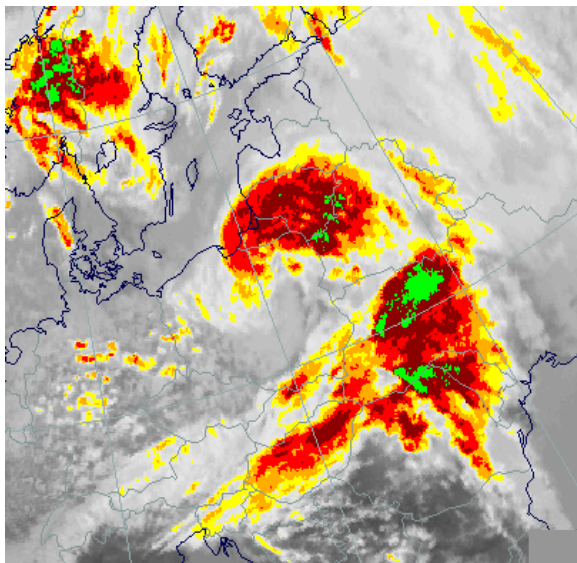


Figuur 5: IR-beeld 28 maart 1997 06:00 UTC: (enhanced) CCB-type occlusie

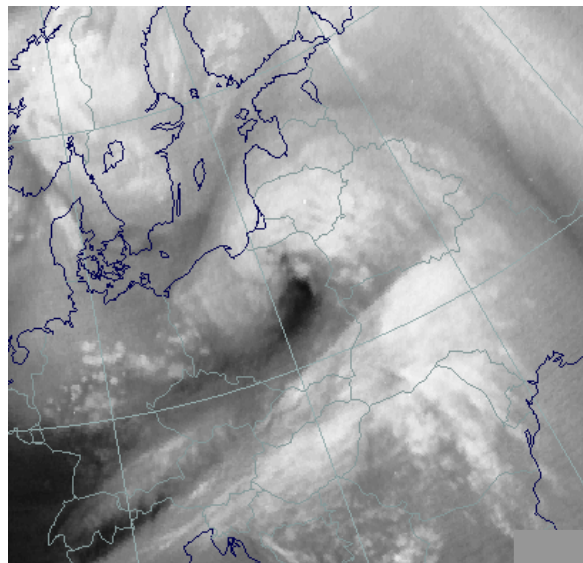


Figuur 6: WV-beeld 28 maart 1997 06:00 UTC: CCB-type occlusie

Op figuur 5 kunnen we zien dat de frontale wolke toppen hoger reiken (tot -55°C) dan de occlusie-bewolking (tot -45°C). De occlusie ligt van noordoost Polen, $54^{\circ}\text{N}/19^{\circ}\text{E}$, tot over noordoost Duitsland, $54^{\circ}\text{N}/11^{\circ}\text{E}$. Op het WV-beeld, figuur 6, komen de hoogste pixelwaarden en vochtgehalten in de hogere troposfeer nog steeds in de frontale zone voor, met name boven Polen.



Figuur 7: 28 maart 1997 12 UTC: IR-beeld (enhanced) van een CCB-type occlusie



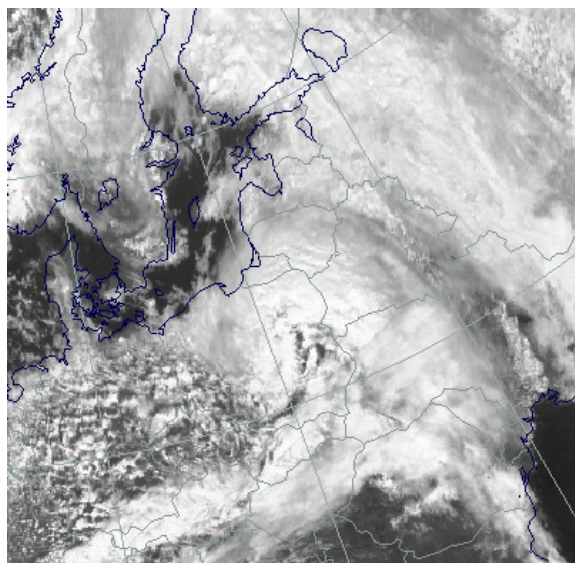
Figuur 8: 28 maart 1997 12 UTC: WV-beeld van een CCB-type occlusie

Op 12UTC heeft de wolkenpiraal zich verder ontwikkelt en ligt nu van Wit-Rusland, $52^{\circ}\text{N}/28^{\circ}\text{E}$, tot Polen, $52^{\circ}\text{N}/18^{\circ}\text{E}$. Duidelijk zichtbaar zijn de twee verschillende wolkenbanden behorende bij het frontale systeem en de occlusie. Op de overgang van beide wolkengebieden is de bewolking van de occlusie het laagst. De hoogte van de toppen nemen

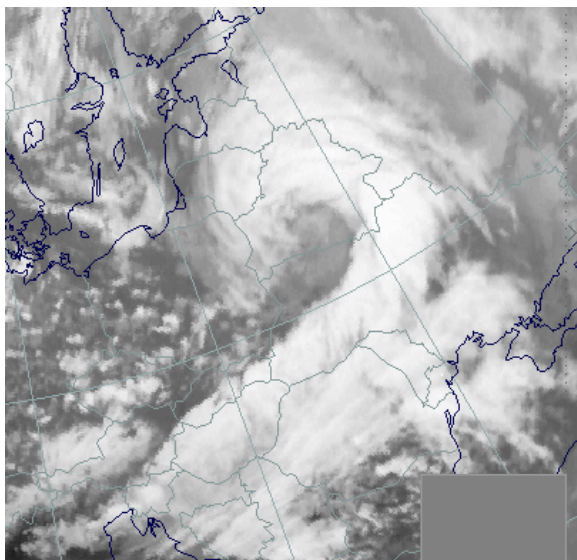
toe in noordelijke richting. De koudste wolke toppen van de occlusie hebben nu een bijna even lage temperatuur als de frontale zone (tot -55°C). Aan het uiteinde van de occlusie boven noordoost Polen zijn de toppen weer wat lager. De koude wolke toppen boven Letland bevinden zich in de linker uitgang van een jet-streak.

Figuur 9 toont het VIS-beeld om 12 UTC. De overgang tussen de frontale bewolking en de occlusie is vaag zichtbaar als een lijn op ongeveer $52^{\circ}\text{N}/25^{\circ}\text{E}$.

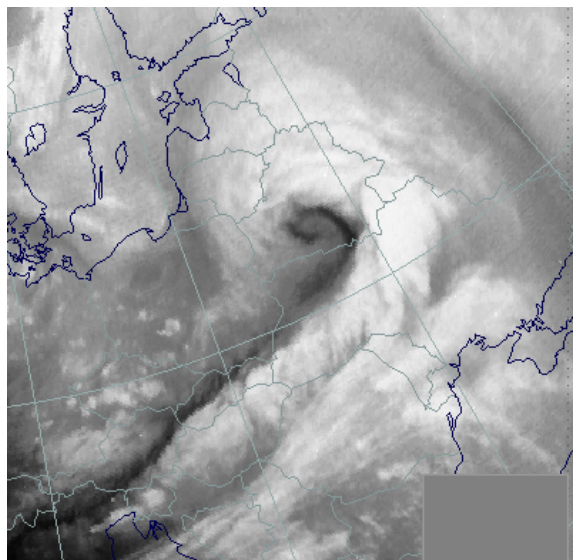
Om 18 UTC, figuur 10 en 11, kan worden waargenomen dat de wolken spiraal behorende bij de occlusie zich nog verder heeft ontwikkeld. De occlusie-bewolking reikt nu even diep in de troposfeer als de frontale bewolking. De kleuren in IR hebben vrijwel dezelfde intensiteit. Op het WV-beeld zien we dat de droge lucht mee de occlusie inkrukt.



Figuur 9: VIS-beeld 28 maart 1997 12:00 UTC: CCB-type occlusie



Figuur 10: IR-beeld 28 maart 1997 18:00 UTC: ontwikkeld stadium van een CCB-type occlusie

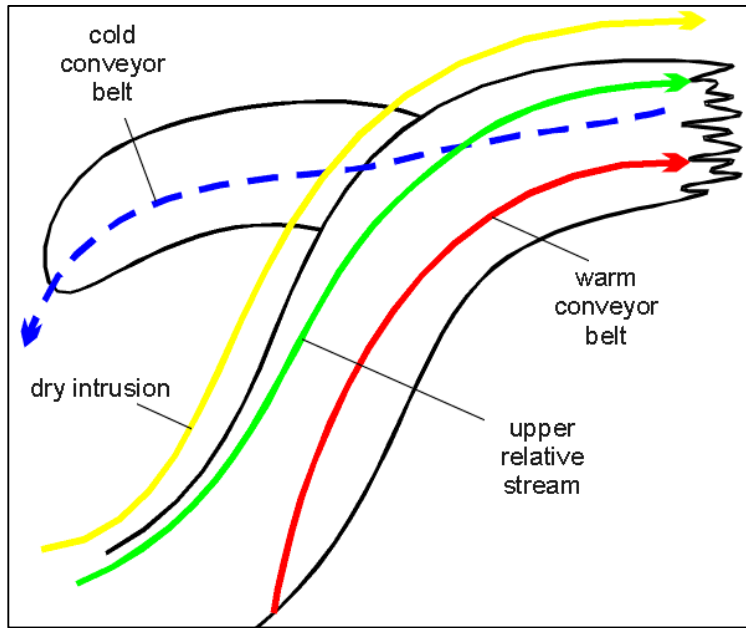


Figuur 11: WV-beeld 28 maart 1997 18:00 UTC: ontwikkeld stadium van een CCB-type occlusie

8.7.3 Meteorologische fysische achtergrond

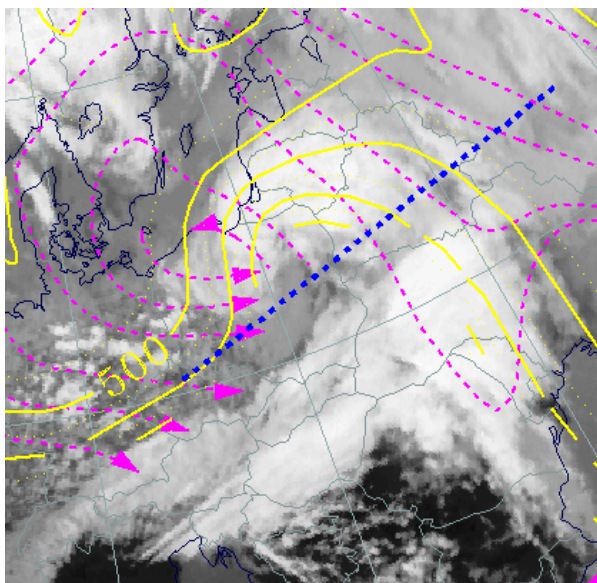
In de paragraaf over de wolkenstructuur van de CCB-occlusie werd reeds kort ingegaan op het occlusieproces dat optreedt bij een frontale golf. Bij diepgaande onderzoeken en analyses bij occlusies is gebleken dat het simpele model waarbij het koufront het warmtefront inhaalt niet toereikend is om de wolkenstructuur op satellietbeelden te verklaren. De conveyer belt theorie is gebleken wel een adequate verklaring te kunnen geven voor de ontwikkeling van de CCB-occlusie.

Er blijken vier relatieve stromingen verantwoordelijk te zijn voor de ontwikkeling van de bewolking in een CCB-occlusie: WCB, CCB, upper relative stream en dry intrusion. De vochtige lucht bevindt zich in de WCB en upper relative stream aan de anti-cyclonale zijde van de jet. Deze stromingen lopen cyclonaal en parallel aan het koufront bewegen vervolgens anti-cyclonaal aan het warmtefront. De relatieve stroming van de dry intrusion kruist de wolkenpiraal van de occlusie en loopt aan de cyclonale zijde van de jet. Deze stroming zorgt ervoor dat zich geen hoge bewolking kan ontwikkelen in dit gebied.



Figuur 12: locatie van de verschillende relatieve stromingen bij een occlusie van het CCB-type

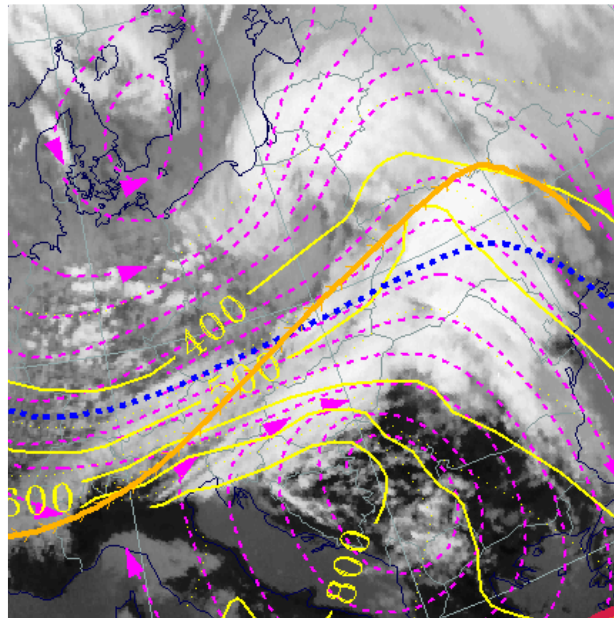
Verder naar het westen toe in de occlusie worden de wolkentoppen weer hoger. Dit wordt veroorzaakt door de hier opstijgende CCB. Figuur 12 toont de ligging van de vier relatieve stromingen bij een CCB-occlusie.



Figuur 13: locatie van de WCB, upper relative stream en dry intrusion bij een CCB-occlusie (294K isentroop) . Drukvlakken(geel)

Met het volgen van de relatieve stroming op equivalente temperatuurvlakken kunnen de conveyer belten zichtbaar worden gemaakt. Het laagste temperatuurvlak, figuur 13, ligt op 294 K. We zien in de omgeving van Litouwen een snel opstijgende CCB van 800 naar 500 hPa. Deze veroorzaakt de bewolking van de occlusie.

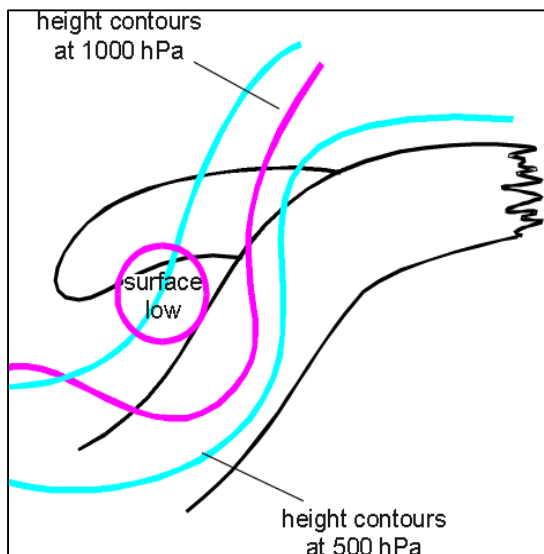
Het tweede isentropen niveau, figuur 14, waarnaar we kijken ligt hoger, op 306 K. De WCB ligt in het zuidelijk deel van de bewolkingsband. Hier noordelijk van ligt de upper relative stream. Ten noorden van de jet-as aan de anti-cyclonale zijde van de jet ligt de dry intrusion. Opgemerkt dient te worden dat de gemodelleerde jet-as (blauwe onderbroken lijn) met behulp van het WV-beeld gecorrigeerd kan worden naar een meer meridionale ligging (oranje lijn)



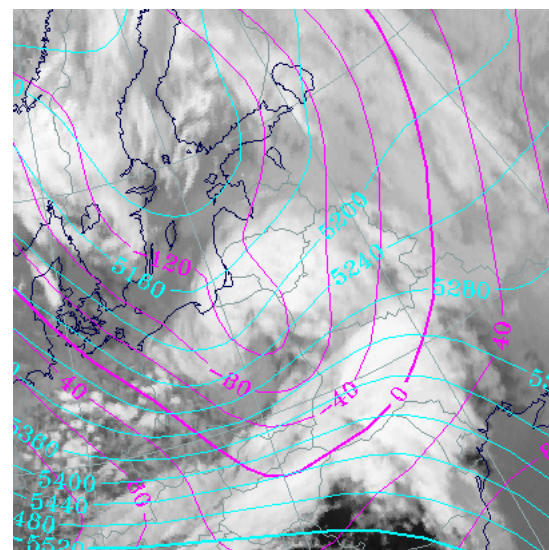
Figuur 14: locatie van de WCB, upper relative stream en dry intrusion bij een CCB-occlusie (306 K isentroop)

8.7.4 Sleutelparameters

Absolute topografie op 500 en 1000 hPa: De topografie op 1000 hPa wordt gekenmerkt door een laag in het hoogteveld. Op 500 hPa bevindt zich in hoogteveld die gedurende de ontwikkeling van de occlusie vaak verandert in een afgesnoerde put. Zie figuur 15 en 16.



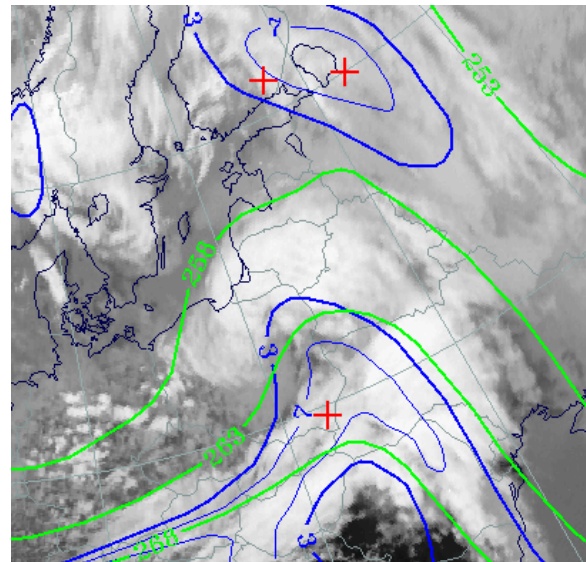
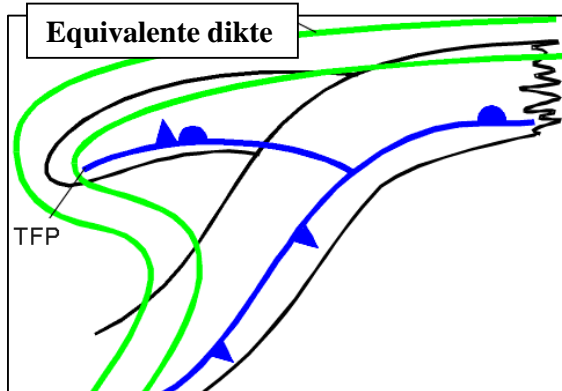
Figuur 15: schematische weergave van de absolute hoogte op 1000 en 500 hPa bij een CCB-type occlusie



Figuur 16: 28 maart 1997 12 UTC: topografie 1000 hPa (paars) en 500 hPa (groen)

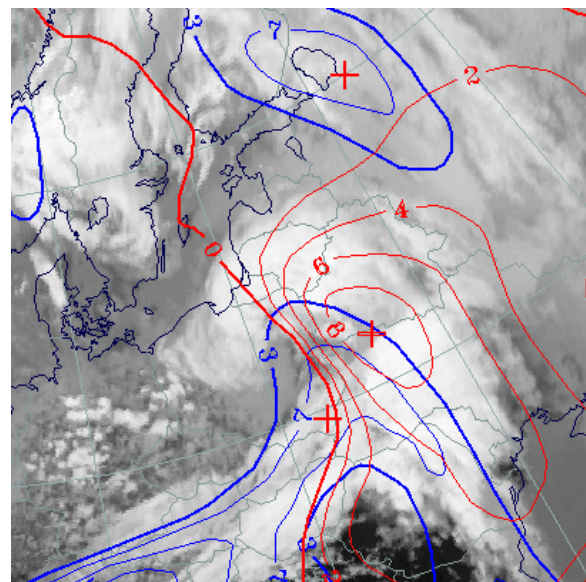
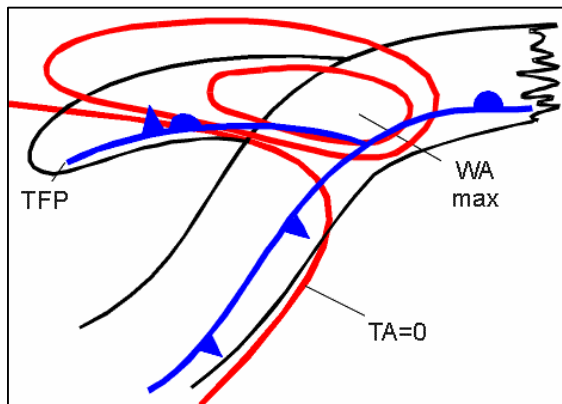
Equivalente dikte (500/850 hPa): Een prominent kenmerk is de rug in de equivalente dikte. Deze is een gevolg van opgetilde warme lucht. Bij een goed ontwikkeld laag zelfs een spiraalvorm in dikte gezien worden. Duidelijke rugstructuren komen met name voor bij goed ontwikkelde warmte- en koufront-occlusies. Zie figuur 17 en 18.

Thermische front parameter (TFP, 850/500 hPa): De TFP kan meestal dicht tegen de achterzijde gevonden worden van de wolvenspiraal maar is afhankelijk van de grootte van de temperatuurgradiënt tussen voor- en achterzijde van de occlusie. Zie figuur 17 en 18.



Figuur 17: schematische weergave van de locatie van de TFP en equivalente dikte bij een CCB-type occlusie
Figuur 18: 28 maart 1997 12 UTC: equivalente dikte (groen), TFP blauw)

Temperatuursadvectie (1000/500 hPa): De gehele bewolking van de occlusie staat onder invloed van warmte advectie. Het maximum in WA kan worden gevonden in het centrum van de wolvenspiraal die meestal dicht bij het occlusiepunt ligt. De nullijn van de WA volgt de achterzijde van de wolvenspiraal. Zie figuur 19 en 20.

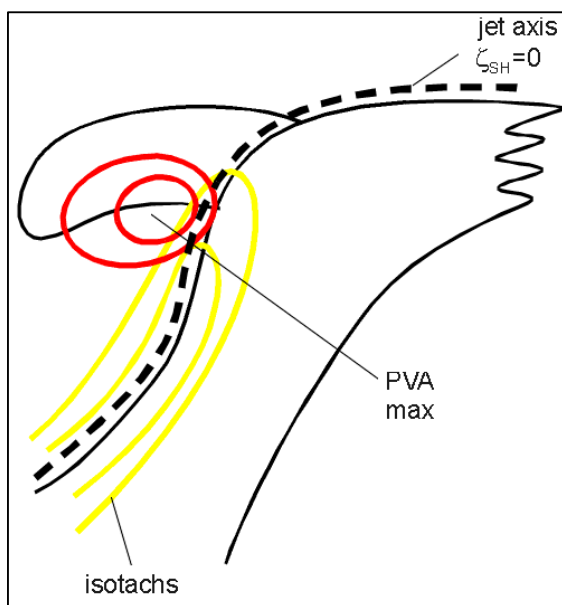


Figuur 19: schematische weergave van de locatie van de TFP en WA bij een CCB-type occlusie
Figuur 20: 28 maart 1997 12 UTC: TFP (blauw), WA (rood)

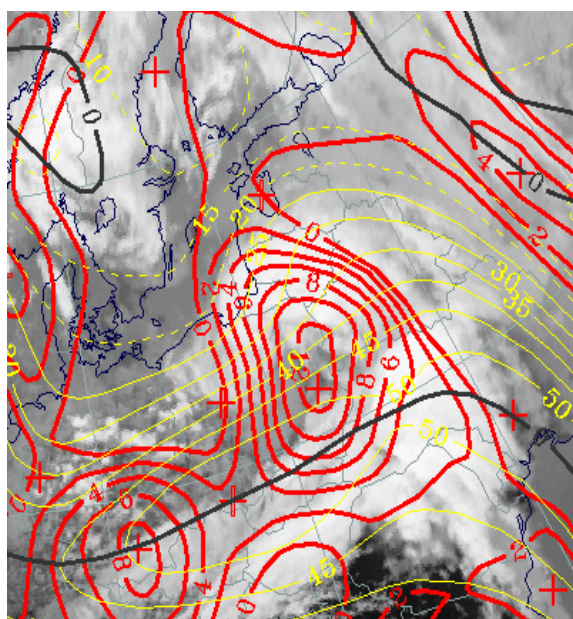
Nullijn van de scheringsvorticeiteit op 300 hPa: De nullijn van de scheringsvorticeiteit die de locatie van de jet-as aangeeft doorkruist de wolkenpiraal op het occlusiepunt. Zie figuur 21 en 22.

Isotachen op 300 hPa: De jet-as doorkruist de frontale bewolking bij het occlusiepunt. Wanneer er een goed ontwikkelde jet-streak aanwezig is dan ligt de CCB-wolkenpiraal in het gebied van de linkeruitgang van de jet. Op deze plek kunnen celvormige koudere wolken toppen worden waargenomen. Zie figuur 21 en 22.

Vorticeiteit advection op 500 en 300 hPa: De wolkenpiraal van de occlusie valt over het algemeen samen met PVA in de middelbare en hogere lagen van de troposfeer. Het PVA-maximum ligt vaak in de linkeruitgang van de jet. Zie figuur 21 en 22.



Figuur 21: schematische weergave van de PVA op 300 hPa, isotachen en nullijn scheringsvorticeiteit bij een CCB-type occlusie



Figuur 22: 28 maart 1997 12 UTC: isotachen (geel), PVA op 300 hPa (rood) en nullijn scheringsvorticeiteit (zwart)

8.7.5 Weersverschijnselen

In de wolkenpiraal behorende bij een occlusie van het CCB-type komt over het algemeen lage tot middelbare bewolking voor in de omgeving van de dry intrusion dicht bij het occlusiepunt. In de gebieden met een dik pakket gelaagde bewolking, vooral in de omgeving van het oppervlaktefront komen regenbanden voor. Deze kunnen een breedte hebben van 5 tot 50 km. Gedurende het beginstadium van occluderen valt er geen neerslag uit de lage wolken toppen die liggen in het gebied waar de dry intrusion zich bevindt. Gedurende het volwassen stadium van de occlusie ontwikkelt er zich direct noord van het occlusiepunt ook dikke gelaagde bewolking waaruit neerslag kan vallen. Het gebied onder de linker uitgang van de jet heeft gunstige condities voor het ontwikkelen van convectieve bewolking. Hieruit kunnen buien met onweer en hagel ontstaan. De onstabielteit wordt veroorzaakt door de droge en koude lucht in de hogere lagen van de atmosfeer die aangevoerd wordt door de dry intrusion.

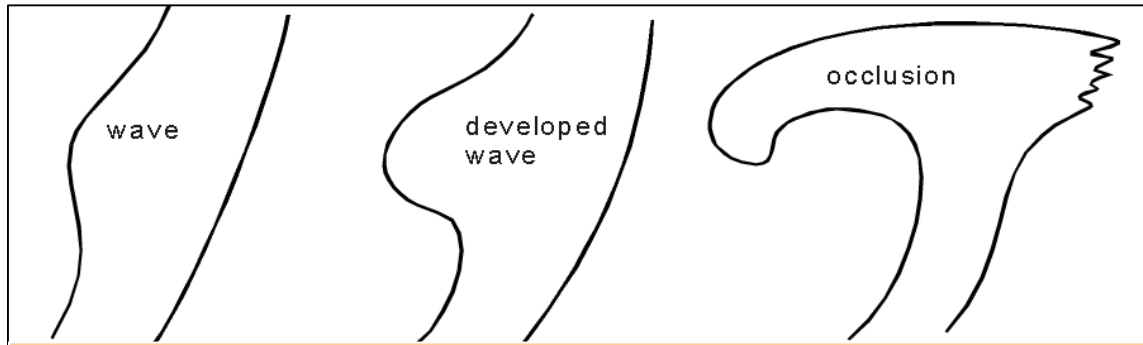


Figuur 22: zware hagelbui

8.8 Occlusie (warm conveyer belt type)

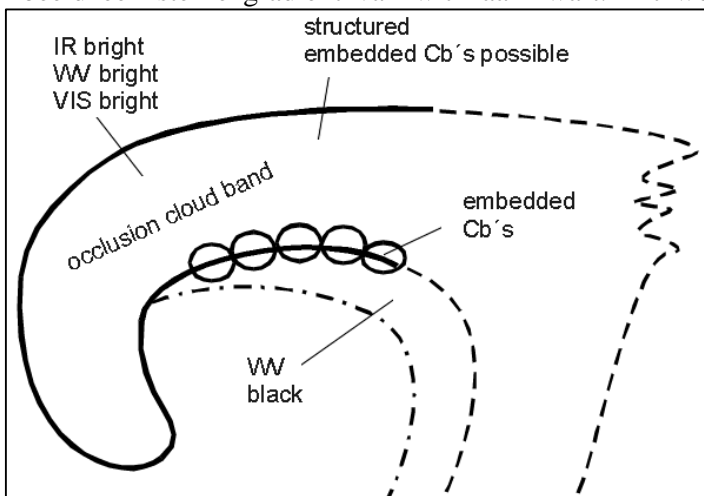
8.8.1 Wolkenstructuur op satellietbeelden

De occlusie ontwikkelt zich uit frontale bewolking behorende bij een golf. Warme lucht die naar het noorden beweegt zit ingeklemd in koudere lucht. Omdat het koufront sneller beweegt dan het warmtefront zal de warme lucht geleidelijk van het aardoppervlak verdreven worden. Dit proces wordt occluderen genoemd. In figuur 1 zijn drie stadia in de ontwikkeling van frontale golf tot occlusie weergegeven.



Figuur 1: drie stadia in de ontwikkeling van een frontale golf tot een volwassen occlusie

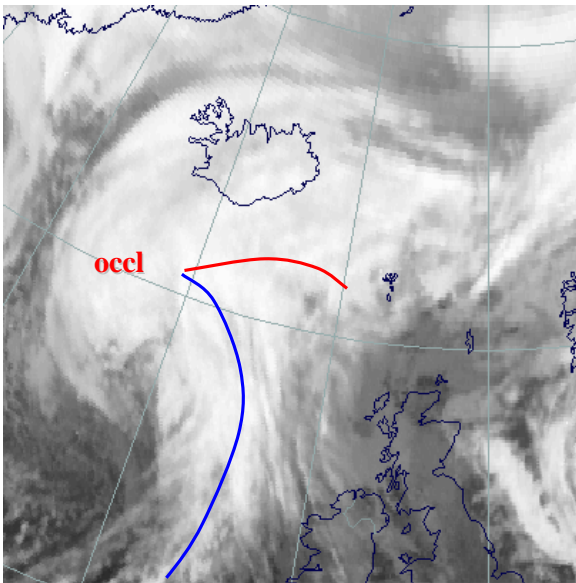
In het volwassen stadium van de occlusie is een cyclonaal gekromde wolkenband zichtbaar op de satellietkanalen. Deze is verbonden met het warmte- en koudefront van een golf. In figuur 2 worden de pixelwaarden bij een WCB-occlusie in het WV, IR en VIS-beeld kort weergegeven. Op het VIS-beeld is de wolkenpiraal wit hetgeen aangeeft dat de bewolking een hoge albedo heeft. De bewolking is dik waardoor het grootste deel van de invallende zonnestraling wordt gereflecteerd. Op het IR-beeld variëren de grijsstinten van grijs tot wit. De helderste toppen worden gevonden in de overgangszone tussen de frontale bewolking en de occlusie. Hier kan ook het occlusiepunt worden gevonden. In de richting van het centrum van de occlusiebewolking worden de IR-grijsstinten geleidelijk donkerder. Dit heeft te maken met de hier aanwezige relatieve stroming in de middelbare en hogere delen van de atmosfeer die reeds begonnen is met dalen. In de meeste gevallen hebben de wolke toppen van de spiraal een gestructureerd uiterlijk. Aan de achterzijde van de wolkenpiraal vinden we in het WV-beeld een sterke gradiënt van wit naar zwart. Dit wordt veroorzaakt door de zeer droge dalende lucht van de relatieve stroming behorende bij de dry intrusion.



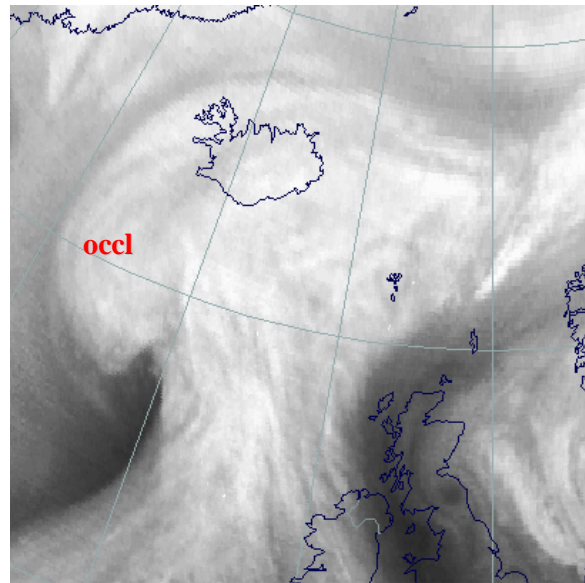
Figuur 2: pixelwaarden van een WCB-occlusie in IR, WV en VIS

De mogelijkheid bestaat dat convectieve cellen en zelfs Cb-bewolking ingebed zijn aan de achterzijde van de wolkenpiraal. Dit is een voorkeursgebied voor Cb-ontwikkeling omdat hier een potentieel instabiele opbouw van de atmosfeer aanwezig is. Deze wordt veroorzaakt doordat de dry intrusion, een droge en koude luchtstroming, die over warmere lucht dichters aan het aardoppervlak beweegt.

8.8.2 Praktijksituatie 19 februari 1998

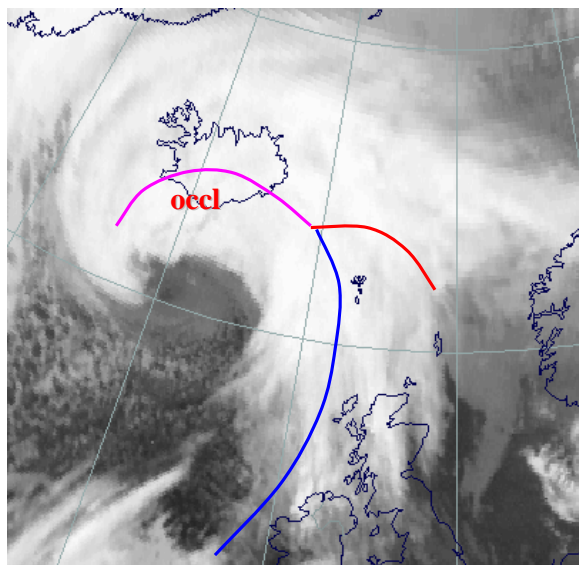


Figuur 3: IR-beeld 19 februari 1998 00:00 UTC: frontale golf in het beginstadium van occluderen

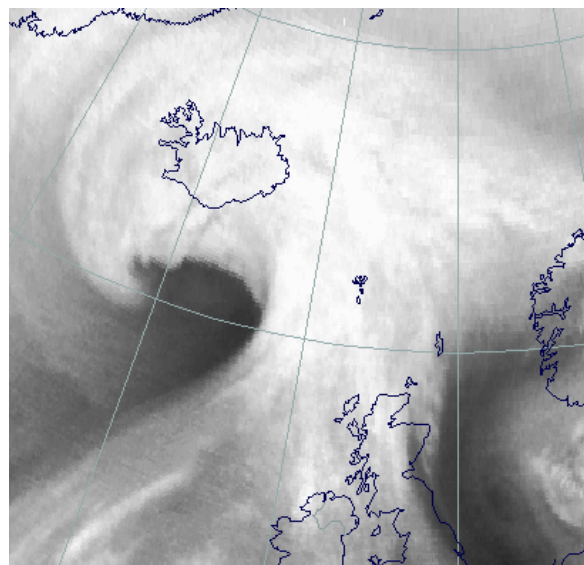


Figuur 4: WV-beeld 19 februari 1998 00:00 UTC: frontale golf in het beginstadium van occluderen

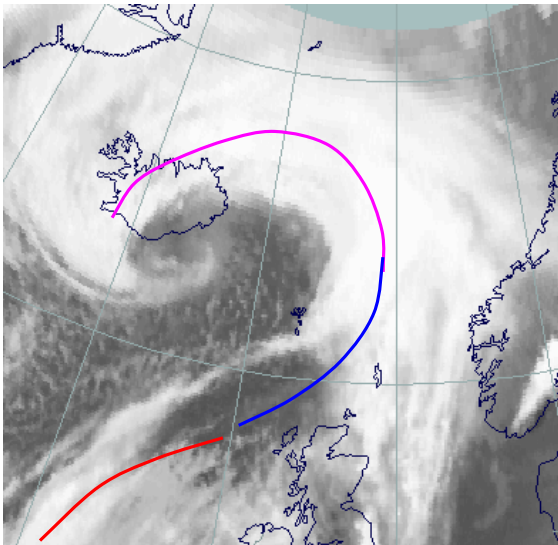
Op het IR en WV-beeld, figuur 3 en 4, van 19 februari 1998 00 UTC, zien we een goed ontwikkelde frontale golf. Deze bevindt zich ten zuiden van IJsland op ongeveer $61^{\circ}\text{N}/22^{\circ}\text{W}$. Het occluderingsproces is nog niet zo lang bezig. De occlusie bevindt zich in het meest westelijke deel van het wolkenpakket. De toppen van de bewolking bevinden zich bij een WCB-type occlusie op ongeveer gelijke hoogte als de frontale bewolking. Dit is tegenstelling tot een occlusie van het CCB-type. Op het WV-beeld zien we duidelijk de intrusie door droge lucht aan de achterzijde van de occlusie op ongeveer $58^{\circ}\text{N}/22^{\circ}\text{W}$. Hier bevindt zich, zoals blijkt uit het IR-beeld, geen hoge bewolking meer.



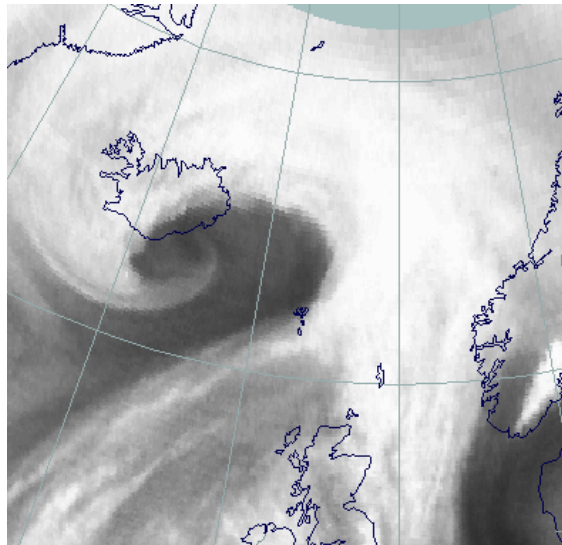
Figuur 5: IR-beeld 19 februari 1998 06:00 UTC: Gevorderde fase in occluderingsproces



Figuur 6: WV-beeld 19 februari 1998 06:00 UTC: gevorderd fase in het occluderingsproces



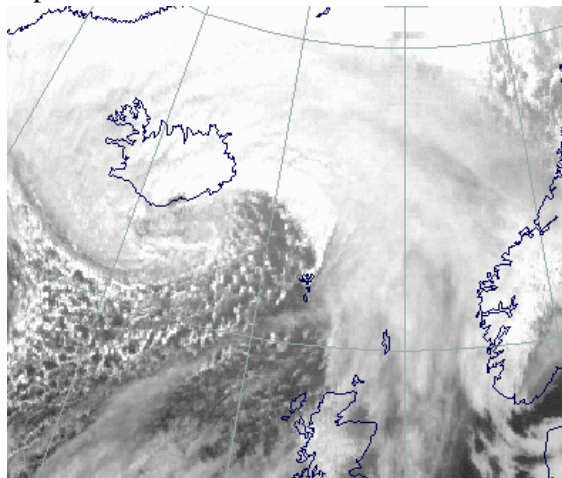
Figuur 7: IR-beeld 19 februari 1998 12:00 UTC: volwassen stadium van het occluderingsproces



Figuur 8: WV-beeld 19 februari 1998 12:00 UTC: volwassen stadium van het occluderingsproces

Op 06 UTC, figuur 5 en 6, kunnen we een intensivering zien van zowel de bewolkingsspiraal als de droge intrusie.

Op 12 UTC, figuur 7 en 8, is het occluderingsproces al een eind gevorderd. De koude lucht is tot in de kern van het systeem doorgedrongen. Dit houdt in dat het uitdiepingproces van de depressie voltooid is.



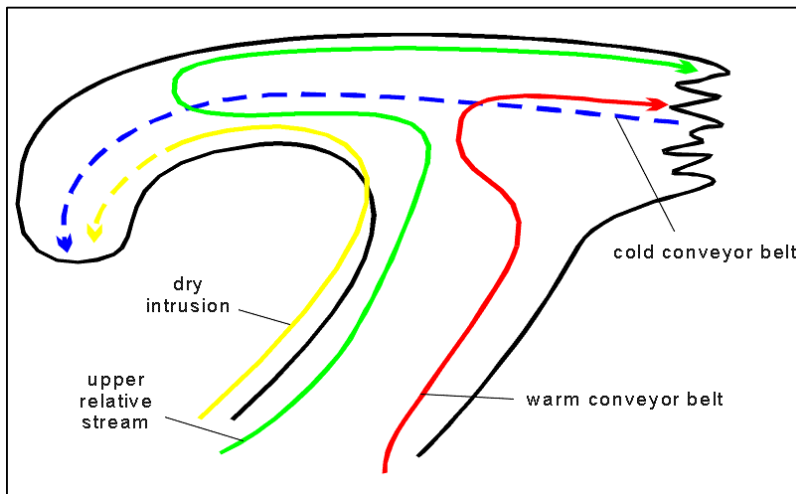
Figuur 9 (links): VIS-beeld 19 februari 1998 12:00 UTC: volwassen stadium van occluderings-proces

Op het VIS-beeld van 19 februari 1998 12 UTC zien we dat de dikste bewolking zich bij IJsland bevindt. In de inkrullende droge en koude lucht ten zuidoosten van IJsland ontstaat convectieve bewolking

8.8.3 Meteorologisch fysische achtergrond

Het blijkt dat er in de praktijk niet zo'n duidelijk onderscheid gemaakt kan worden tussen CCB en WCB-type occlusies. We zien vaak dat in de loop van het leven van een CCB-type occlusie zich meer en meer hoge bewolking gaat ontwikkelen. De occlusie bestaat dan uit een dik pakket gelaagde bewolking die niet verschilt in de satellietkanalen van de frontale bewolking. Het blijkt dat het levensstadium van een occlusie van groot belang is voor zijn uiterlijk op satellietbeelden. Een CCB-type gaat gedurende zijn leven meer kenmerken vertonen van een WCB-occlusie. Zo zien we het ontstaan van hogere bewolking in de wolken-spiraal van de occlusie.

Er zijn vier relatieve stromingen verantwoordelijk voor de ontwikkeling van bewolking de een WCB-occlusie: CCB, WCB, upper relative stream en dry intrusion. De locatie van deze vier stromingen ten opzichte van de bewolking is afgebeeld op figuur 10. Er zijn hier al een paar kenmerkende verschillen te bespeuren in vergelijking met de CCB-occlusie: de dry intrusion in de hogere lagen van de troposfeer blijkt de wolken-spiraal behorende bij de



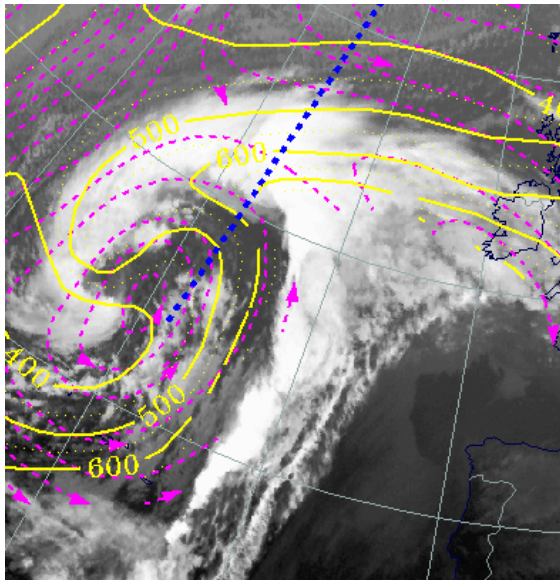
Figuur 10: locatie van de verschillende relatieve stromingen bij een occlusie van het WCB type

occlusie niet te door-kruisen. Daarentegen buigt deze stroming cyclonaal en ligt hierbij evenwijdig aan de binnenrand van de wolken-spiraal. De bewolking van de spiraal wordt nu niet alleen veroorzaakt door de CCB maar ook door de upper relative stream. De laatste loopt eerst evenwijdig aan de dry intrusion en buigt zo ook in cyclonale richting af.

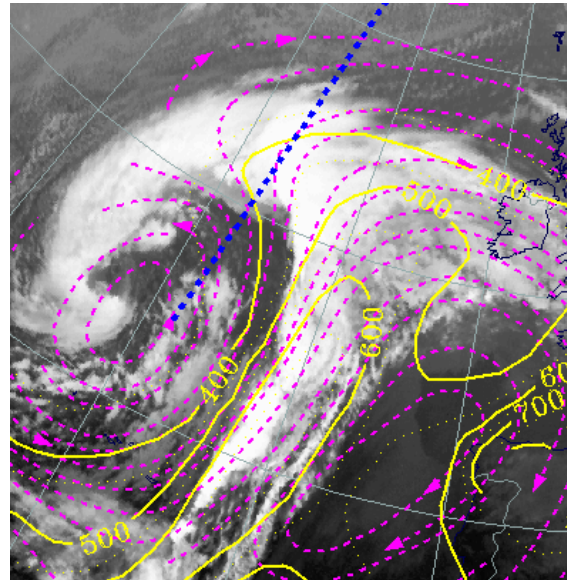
Vervolgens maakt de upper relative stream een vrij scherpe bocht en beweegt weer anti-cyclonaal terug. Het zich ontwikkelen van hoge bewolking in de wolken-spiraal blijkt samen te hangen met het ontstaan van een gesloten laag in de bovenluchtcirculatie. De vorming van een laag op 500 hPa treedt vooral op bij depressies waarbij over een groot oppervlak CA plaatsvindt. Met het volgen van de relatieve stromingen op equivalente temperatuurvlakken kunnen de conveyer belten zichtbaar gemaakt worden. Het laagst temperatuurvlak waar naar we kijken ligt op 310 K en is afgebeeld in figuur 11. Het grootste deel van de CCB ligt op een nog lager niveau dan 305 K, maar een deel van de CCB is ook nog op dit niveau terug te vinden. De CCB stijgt op van 700 naar circa 400 hPa en bevindt zich midden in de wolken-spiraal. Aan de binnenzijde van de wolken-spiraal is de dry intrusion aanwezig. We zien hier dat de hogere bewolking reeds opgelost is onder invloed van droge en dalende lucht behorende bij deze relatieve stroming.

Op figuur 12 is het relatieve stromingspatroon op het hoger gelegen niveau van 320 K weergegeven. We kunnen nu de upper relative stream volgen vanaf het koufront. Vervolgens buigt deze stroming anti-cyclonaal af, stijgt op tot boven het 400 hPa vlak, en veroorzaakt hier

het hogere deel van de bewolkingsspiraal behorende bij de occlusie. De WCB is aanwezig in het oostelijk deel van de bewolking van de frontale band en buigt ook enigszins af in de wolkenpiraal. De dry intrusion ligt westelijk van het koufront in de opklaringzone



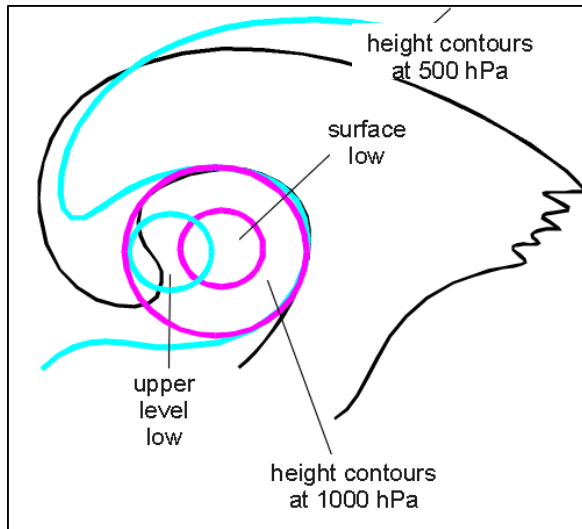
Figuur 11: 310 K isentropenvlak waarop de stijgen-de CCB in de upper relative streams(paars) zichtbaar is



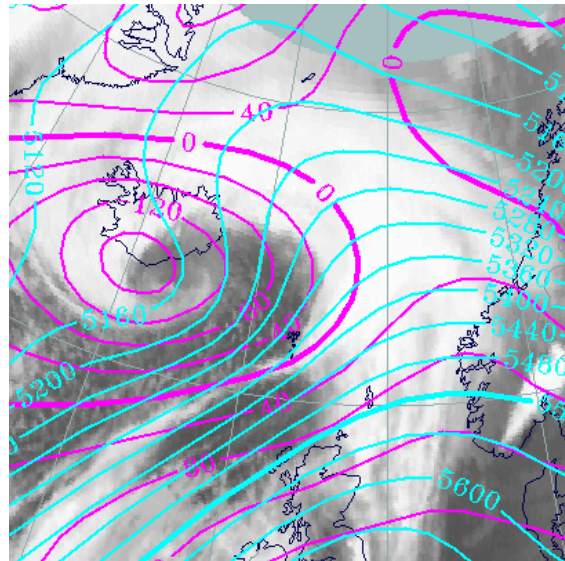
Figuur 12: 320 K isentropenvak waarop de upper relative streams(paars), WCB en dry intrusion zichtbaar zijn

8.8.4 Sleutelparameters

Absolute topografie op 1000 en 500 hPa: De hoogte van 1000 hPa wordt gekarakteriseerd door een laag in het hoogteveld waarvan het centrum zich bevindt in het midden van de wolkenspiraal. In het beginstadium van occluderen zien we een uitgesproken hoogtetrog die geleidelijk overgaat in een gesloten circulatie. Dit is karakteristiek voor een WCB-occlusie. Zie figuur 13 en 14.



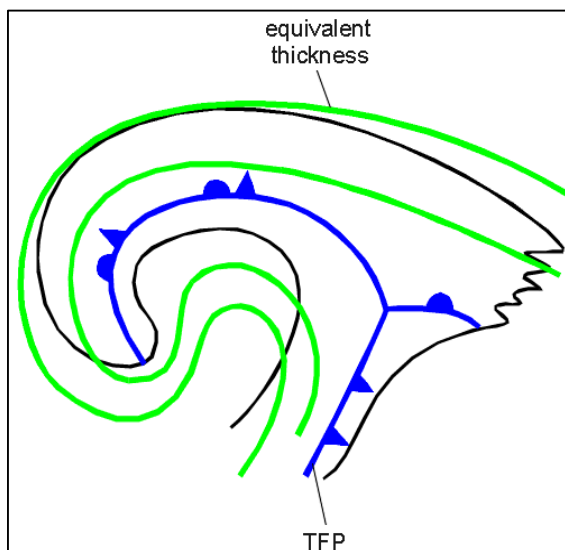
Figuur 13: weergave van de absolute topografie op 1000 en 500 hPa bij een WCB-type occlusie



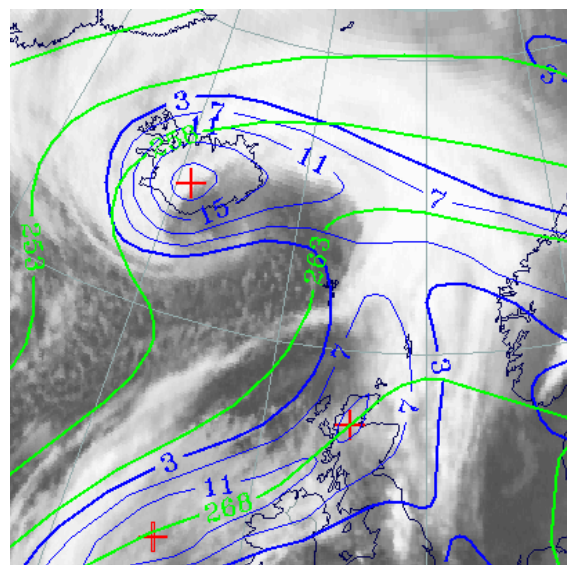
Figuur 14: 19 Februari 1998 12 UTC: topografie van 1000 hPa (violet) en 500 hPa (cyaan)

Equivalente dikte (850/500 hPa): Een karakteristiek kenmerk in de dikte is de thermische rug die het gevolg is van opstijgende warme lucht. Zie figuur 15 en 16.

Thermische front parameter (TFP, 850/500 hPa): De TFP kan meestal worden teruggevonden aan de achterzijde van de wolkenspiraal en is afhankelijk van het aanwezig zijn van een nadrukkelijke temperatuur gradiënt. Zie figuur 15 en 16.

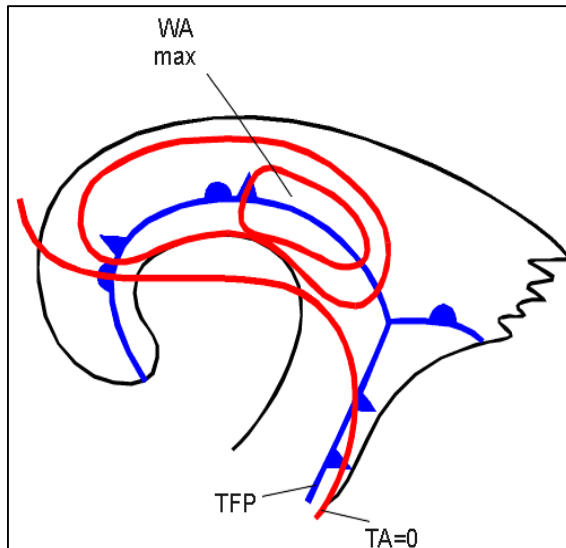


Figuur 15: weergave van de equivalente dikte en TFP bij een WCB-type occlusie

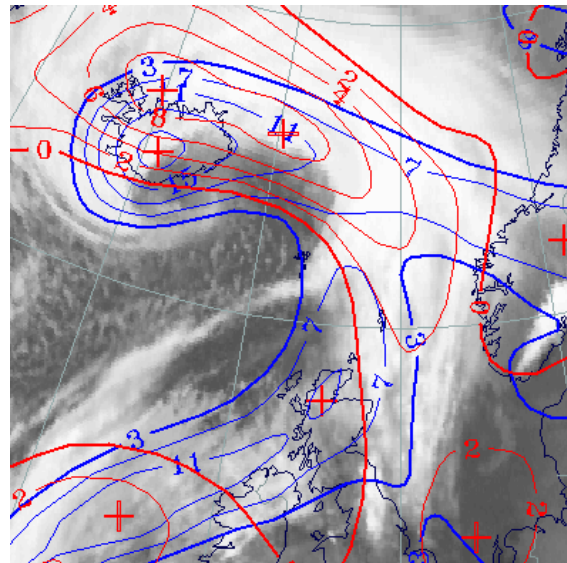


Figuur 16: 19 februari 1998 12 UTC: equivalente dikte (groen) en TFP (blauw)

Temperatuur advectie (1000/500 hPa): De gehele bewolking van de occlusie bevindt zich in WA. Het maximum hiervan kan gevonden worden in de nabijheid van het occlusie-punt. Zie figuur 17 en 18



Figuur 17: schematische weergave van de temperatuur advectie en TFP bij een WCB-occlusie

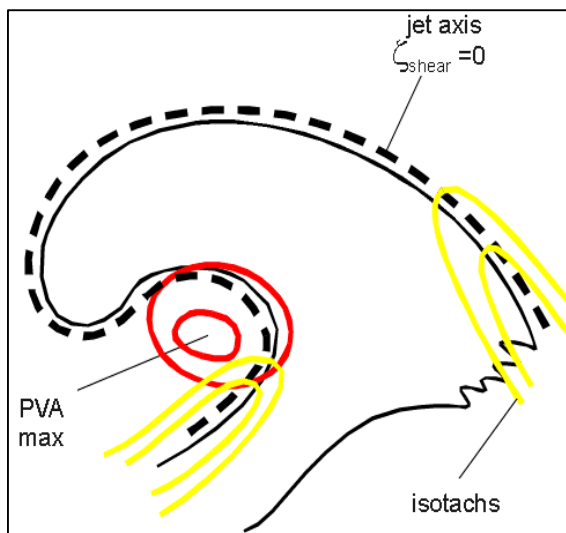


Figuur 18: 19 februari 1998 12 UTC: temperatuur advectie (rood) en TFP (blauw)

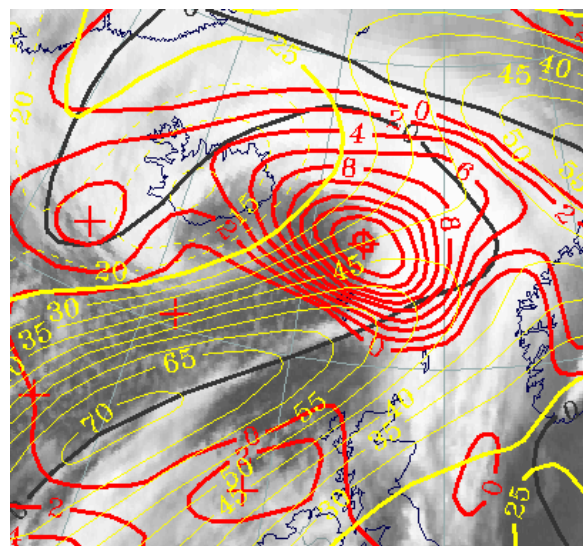
Nullijn van de scheringsvorticiteit op 300 hPa: De jet-as loopt evenwijdig met de achterzijde van de wolkenpiraal. Zie figuur 19 en 20.

Isotachen op 300 hPa: De jet doorkruist de occlusieband niet. De isotachen vertonen een minimum in het gebied van de occlusiepunt. Jet-streaks kunnen gevonden worden aan de voor- en achterzijde van resp. de warmte- en koufront bewolking. Zie figuur 19 en 20.

Vorticiteitsadvectie op 500 en 300 hPa: De wolkenpiraal van de occlusie valt in het algemeen samen met PVA in de middelbare en hogere delen van de troposfeer. Zie figuur 19 en 20.



Figuur 19: weergave van de isotachen, jet-as en het PVA-maximum bij een WCB-occlusie



Figuur 20: 19 februari 1998 12 UTC: isotachen (geel), jet-as (zwart) en PVA (rood)

8.8.5 Weersverschijnselen

Over het algemeen hangen occlusies samen met een dik pakket gelaagde bewolking. De weersverschijnselen hierin kunnen in sterke mate variëren. Binnen de frontale bewolkingsband, speciaal in de nabijheid van het oppervlaktefront kunnen regenbanden voorkomen. Deze hebben een breedte die meestal tussen de 5 en 50 km breed zijn. In tegenstelling tot de CCB-occlusie kan neerslag in de wolkenpiraal ook worden teruggevonden in de nabijheid van het occlusiepunt. Dit komt omdat de koude droge stroming van de dry intrusion de occlusie-bewolking niet doorkruist.

De achterzijde van de wolkenpiraal is een voorkeursgebied voor de ontwikkeling van convectieve cellen. Dit komt door de onstabiel opbouw van de troposfeer. Er kunnen zich buien ontwikkelen met de mogelijkheid van hagel en onweer. Op figuur 21 treedt onweer tijdens de passage van een actieve occlusie.



Oscar van der Velde

Figuur 21: Bij de passage van een occlusie kunnen er door instabiliteit in de bovenlucht enkele rake klappen vallen zoals hier boven Wageningen.

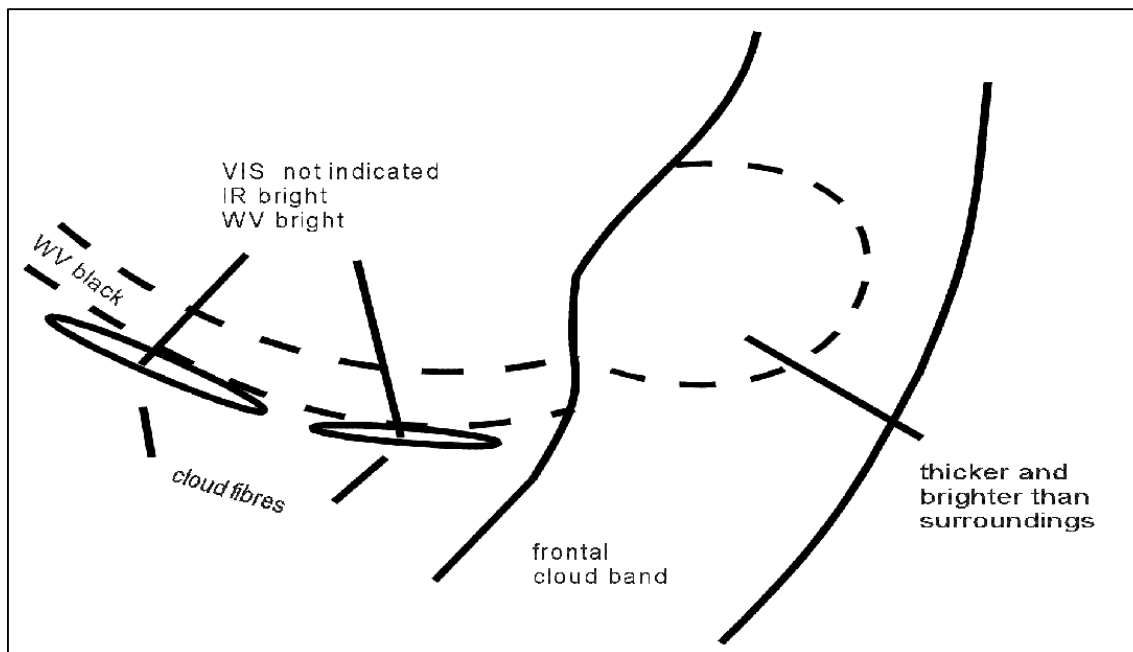
8.9 Intensivering door een jet-streak

8.9.1 Wolkenstructuur op satellietbeelden

In een koufront kunnen zich soms substructuren ontwikkelen. Vaak hebben deze te maken met de jet die het koufront beïnvloedt. Wanneer een jet het koufront onder een grote hoek nadert kan de bewolking dikker en uitgestrekter worden. Er treden extra stijgende bewegingen op waardoor de weersverschijnselen actiever worden.

Op de satellietbeelden is een frontale bewolkingsband zichtbaar waarin zich een gebied bevindt met zowel in de verticaal als in de horizontaal toegenomen bewolking. Deze valt samen met een PVA-maximum op 300 hPa. Op de VIS-, IR- en WV-beelden komt een jet-intensivering tot uitdrukking door heldere grijstinten. Dit houdt in dat er dikke bewolking aanwezig is. De toegenomen bewolking kan bestaan uit een cellulaire structuur die Cb's indiceren. In andere gevallen ontstaat er een golfvorm als gevolg van de aanwezigheid van cyclonale vorticeiteit. De wolkenstructuur van een jet-intensivering is duidelijk meer ontwikkeld dan de omliggende frontale bewolking.

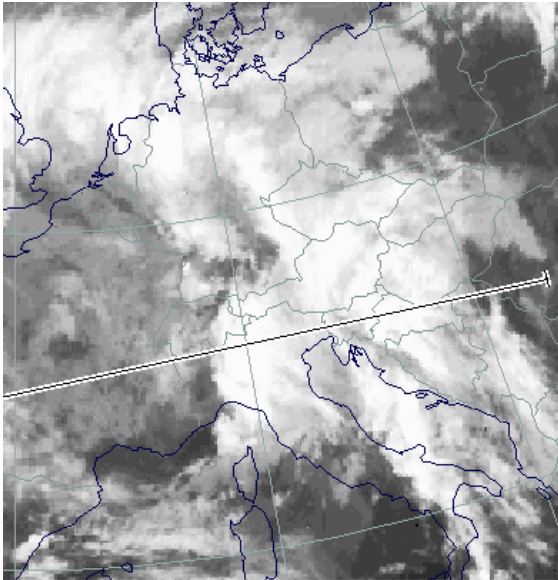
Aan de achterzijde van de bewolkingsband bevindt zich de jet-as. Deze staat bij benadering loodrecht op de bewolkingsband. De jet kan aan de hand van het WV-beeld gemakkelijk worden gelokaliseerd door de zwarte streep die droge lucht aangeeft aan de cyclonale zijde van de jet-as. Tevens kan er hoge bewolking voorkomen, de zogenoemde 'jet-fibres' die zichtbaar zijn op het IR-beeld. Figuur 1 geeft een overzicht van de structuren die zichtbaar zijn in de verschillende kanalen.



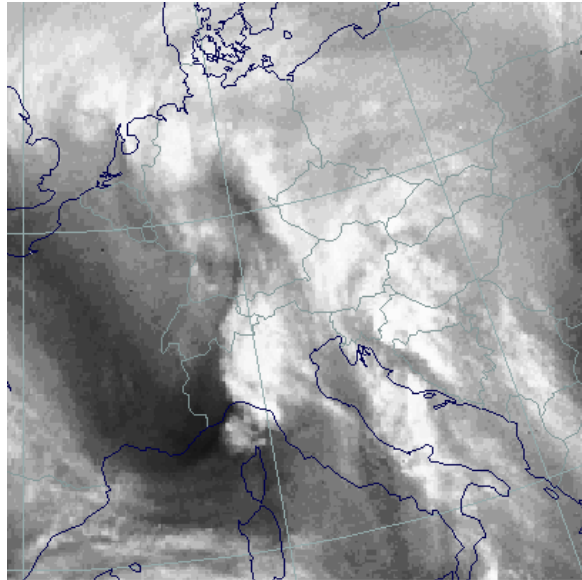
Figuur 1: schematische weergave van het uiterlijk van een front-intensivering door een jet-streak in de verschillende satellietkanalen

8.9.2 Praktijksituaties

17 mei 1995



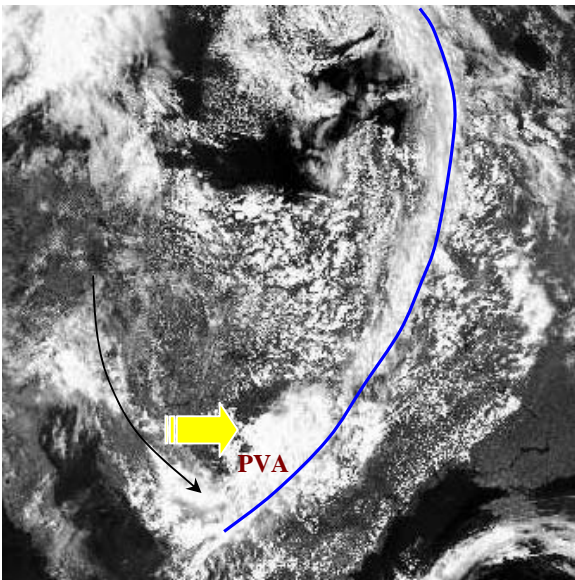
**Figuur 2: IR-beeld 17 mei 1995 06:00 UTC
frontintensivering**



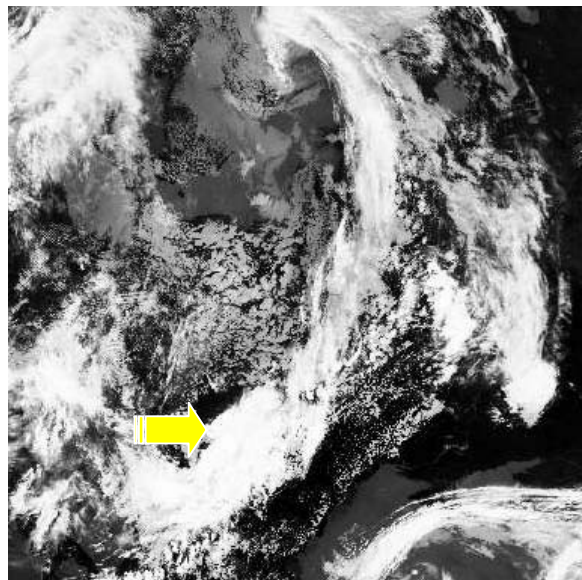
**Figuur 3: WV-beeld 17 mei 1995 06:00 UTC
frontintensivering**

De bewolgingsband van een koufront strekt zich uit van het noorden van Duitsland naar de Alpen en Corsica. De frontintensivering bevindt zich boven de Alpen en het noorden van Italië rond $45^{\circ}\text{N}/10^{\circ}\text{E}$. Hier zijn heldere grijstinten aanwezig op het IR en WV-beeld, figuur 2 en 3, hetgeen duidt op bewolking waarvan de toppen hoog in de troposfeer liggen. De jet ligt over Frankrijk en is van noordwest naar zuidoost georiënteerd. De cyclonale zijde van de jet-as is terug te vinden op figuur 3 als een zwarte streep over Frankrijk en Corsica.

12 mei 1986 12:36 UTC



**Figuur 4: VIS-beeld 12 mei 1986 12:36 UTC:
frontintensivering boven Midden-Europa**

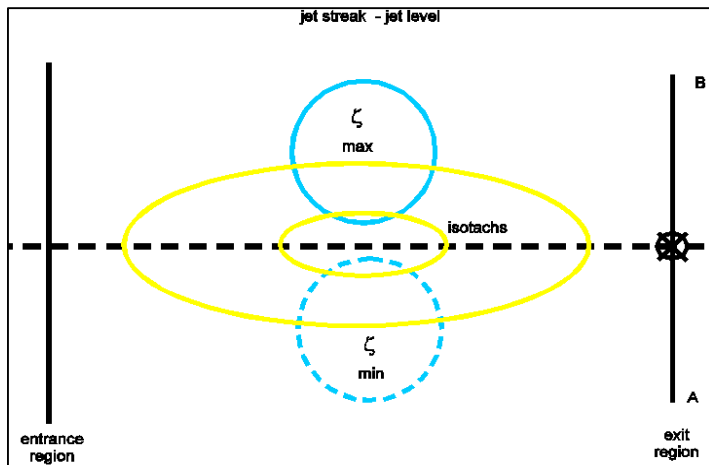


**Figuur 5: IR-beeld 12 mei 1986 12:36 UTC:
frontintensivering boven Midden-Europa**

De tweede situatie is van 12 mei 1986. Een langgerekt koufront ligt over het oosten van Europa. Het is smal over het algemeen niet actief. In het zuidelijk deel van het front zien we in zowel de VIS en IR een verdikking in het wolkenpakket (dikke pijl). Deze wordt veroorzaakt door een jet die loodrecht op het front staat (dunne pijl in figuur 4). Hierdoor treedt er PVA op in het zuidelijk deel van het front en komen er extra stijgende bewegingen voor

8.9.3 Meteorologisch fysische achtergrond

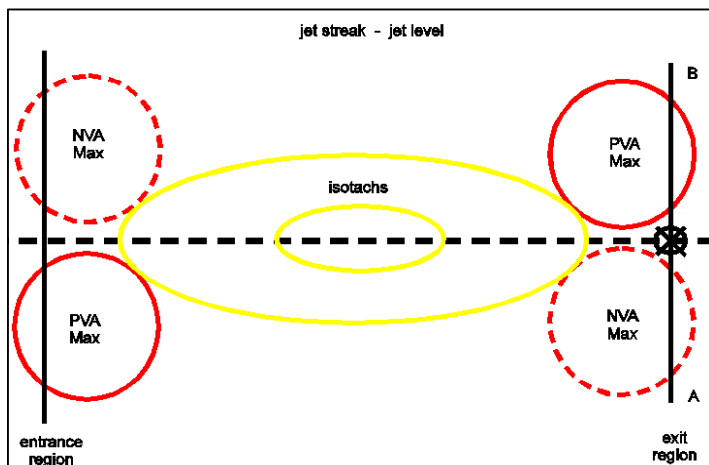
Als een jet-stream de frontale bewolking van een koufront onder een grote hoek doorkruist kan er vaak een toename van de bewolking worden waargenomen in de linker uitgang van de jet. Dit wordt veroorzaakt door een interactie tussen het front en de jet-streak. In de linker uitgang van de jet neemt PVA met de hoogte toe hetgeen stijgende beweging inhoudt en de ontwikkeling van bewolking bevordert.



Figuur 6: locatie van vorticeit extremen bij een jet-streak

In een van west naar oost gerichte jet is de grootste horizontale windschering te vinden aan de noord- en zuidzijde van de jet. Hier verandert de sterkte van de wind loodrecht op de windrichting het snelst. Een andere benaming voor horizontale windschering is vorticeit. Net als bij de schering bevinden de extremen in vorticeit zich ook ten noorden en zuiden van de jet-as. Dit zijn respectievelijk een maximum en een minimum zoals in figuur 6 staat afgebeeld. De vorticeits-

gebieden worden met de stroming meegevoerd waardoor de vorticeit op een gegeven locatie aan verandering onderhevig is. Neemt de vorticeit toe dan spreken we van positieve vorticeitsadvectie (PVA). Bij afnemende vorticeit is er sprake van negatieve vorticeits advectie (NVA). In het algemeen treedt in de bovenlucht sterkere vorticeitsadvectie op omdat hier voornamelijk open



Figuur 7: locatie van vorticeit advectie maxima bij een

weerstructuren aanwezig zijn zoals troggen en ruggen. Dichter bij het aardoppervlak hebben we vooral te maken met gesloten weersystemen. Hierdoor liggen lijnen van gelijke druk vrijwel evenwijdig met de vorticeitsisolijnen en treedt slechts beperkte vorticeitsadvectie op. De verandering van vorticeitsadvectie met de hoogte is de forcering die verticale bewegingen en ontwikkeling veroorzaakt. Karakteristieke PVA-maxima liggen in de linker-

uitgang en rechter-ingang van de jet. Hier treden stijgende bewegingen op en kan cyclogenese plaatsvinden. NVA-extremen kunnen gevonden worden in de linker-ingang en rechter-uitgang van de jet. Zie figuur 7. Zo'n rechteruitgang kan dus ook voor oplossen van de frontale bewolking zorgen; de z.g. "frontal dissolution".

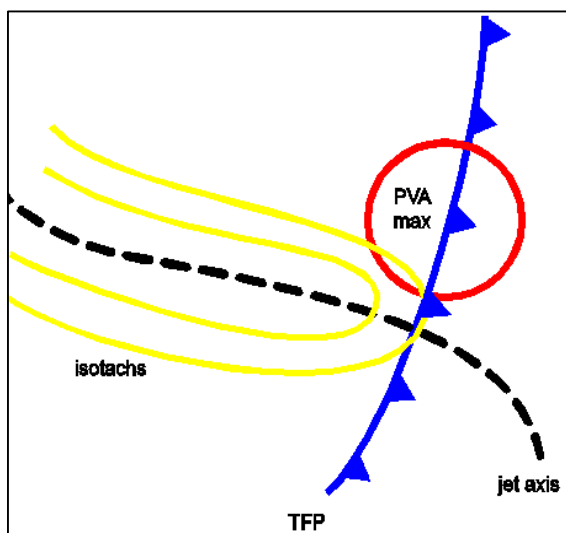
8.9.4 Sleutelparameters

Positieve vorticeits advectie (PVA): De uitgesproken bewolking van de jet-intensivering bevindt zich in een PVA-maximum op 300 hPa. Zie figuur 8 en 9.

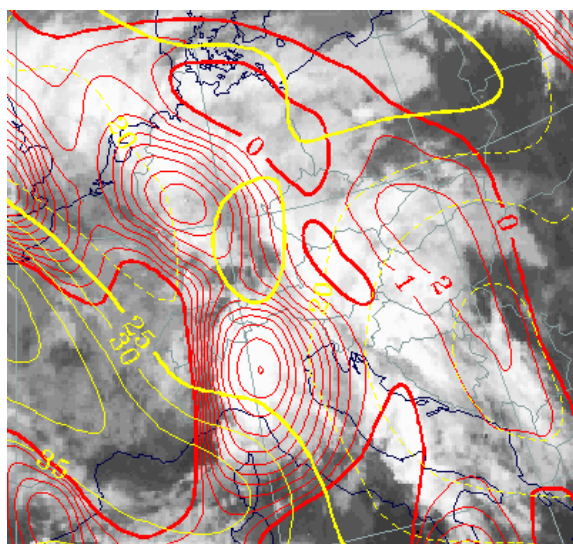
Scheringsvorticeit op 300 hPa: De bewolking van de jet-intensivering bevindt zich aan de cyclonale zijde van de nullijn van de scheringsvorticeit die de jet-as aangeeft. Zie figuur 8 en 9.

Isotachen: De toegenomen bewolking kan worden gevonden bij de linker uitgang van een goed ontwikkelde jet-streak. Zie figuur 8 en 9.

Thermische frontparameter (TFP): De TFP die samenhangt met het koufront en de nullijn van de scheringsvorticeit die de jet-as aangeeft vormen een vaak bijna loodrechte hoek. Zie figuur 8 en 9.



Figuur 8: weergave van de TFP, isotachen, PVA en jet-as bij een intensificatie door de jet



Figuur 9: IR-beeld 17 mei 1995 06 UTC: PVA (rood), isotachen geel)

8.9.5 Weersverschijnselen

De toegenomen bewolking in het gebied van de intensivering door de jet gaat gewoonlijk gepaard met toenemende neerslagintensiteiten, ingebbede Cb's en onweersbuien zoals op figuur 10.

Figuur 10: naderende zware Cb



