Fallstudie Orkan Kyrill, 18. Jänner 2007

Autor: Mag. Felix Welzenbach, Kontakt: f.welzenbach@gmail.com

Spitzenböen in Österreich (ausgewählte Stationen)

207 km/h Feuerkogel [Bergstation]
163 km/h Sonnblick [Bergstation]
151 km/h Jauerling [Bergstation]
148 km/h Wolfsegg (Hausruck) (vor Stationsausfall)
144 km/h Loferer Alm [Bergstation]
144 km/h Gmunden (höchste Windspitze im Flachland!)
140 km/h Aigen im Ennstal, Leiser Berge
137 km/h Linz-Hörsching
133 km/h Kremsmünster
130 km/h Wien-Unterlaa
130 km/h St. Pölten
130 km/h Wels
126 km/h Retz
122 km/h Wien-Schwechat
119 km/h Wien-Hohe Warte
116 km/h Weitra
116 km/h Tulln-Langenlebarn
112 km/h Mattsee (vor Stationsausfall)
112 km/h Zwerndorf
112 km/h Bad Mitterndorf

Spitzenböen Deutschland (ausgewählte Stationen)

202 10980 Wendelstein bay N47 42 E012 01 1832m
198 10453 Brocken sxa N51 48 E010 37 1142m
183 10961 Zugspitze bay N47 25 E010 59 2960m

150 10583 Eppendorf/Sachsen SN N50 48 E013 13 426m
148 10482 Bad Liebenwerda BB N51 31 E013 23 88m
146 10387 Berlin-Adlershof BL N52 26 E013 32 40m
144 10400 EDDL Duesseldorf nrw N51 17 E006 47 45m

137 10895 Fuerstenzell bay N48 33 E013 21 476m
137 10982 Chieming bay N47 53 E012 32 549m
137 10753 Ansbach BY N49 17 E010 31 490m
137 10875 Muehldorf bay N48 15 E012 33 401m
135 10789 Eschlkam BY N49 18 E012 55 500m

133 10836 Stoetten bwb N48 40 E009 52 734m
133 10577 Chemnitz sax N50 48 E012 52 418m
131 10390 Berlin-Wannsee BL N52 26 E013 11 32m

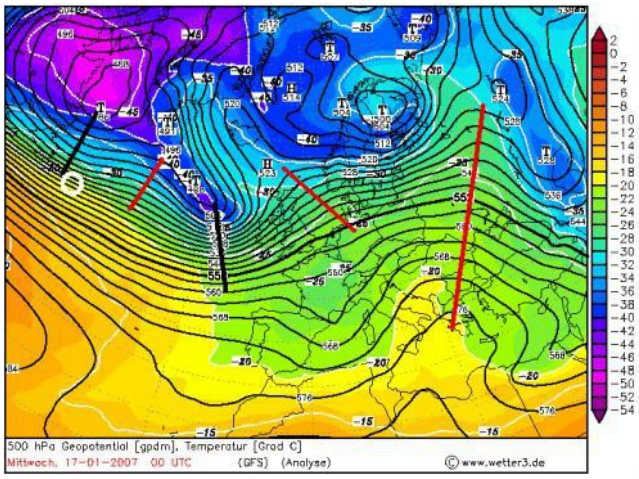
130 10351 Wolfsburg-Autostadt NS N52 27 E010 48 60m
130 10513 EDDK Koeln/Bonn-Flughafen nrw N50 52 E007 08 91m
128 10774 Regensburg (MM) N48 59 E012 06 406m
128 10647 Wertheim BW N49 47 E009 29 140m

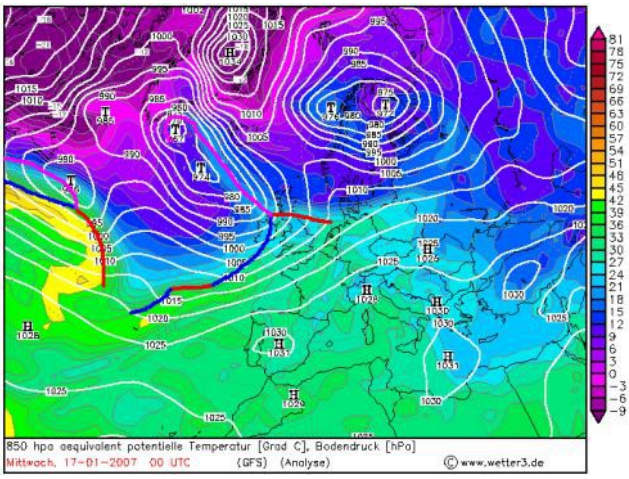
Der Orkan KYRILL war eine Zäsur in Mitteleuropa knapp zwanzig Jahre nach Orkan Lothar (26.12.1999). Zuerst ein kräftiger Warmsektorsturm, in Wien gab es damals um Mitternacht Westföhn mit schweren Sturmböen und milde 19°C. Dann eine ausgeprägte Kaltfront als Gewitterlinie. Dabei flächendeckend Orkanböen und verheerende Waldschäden, die heute noch vielfach sichtbar sind. 150-200 km/h Spitzenböen mit den Gewittern waren eher die Regel und nicht die Ausnahme.

Gaisberg (1287m) bei Salzburg-Stadt. Bild vom 09. April 2018 mit der seit KYRILL kahlrasierten Westseite.

1. Synoptische Entwicklung

Mittwoch, 17.Januar 2007 - 00 UTC

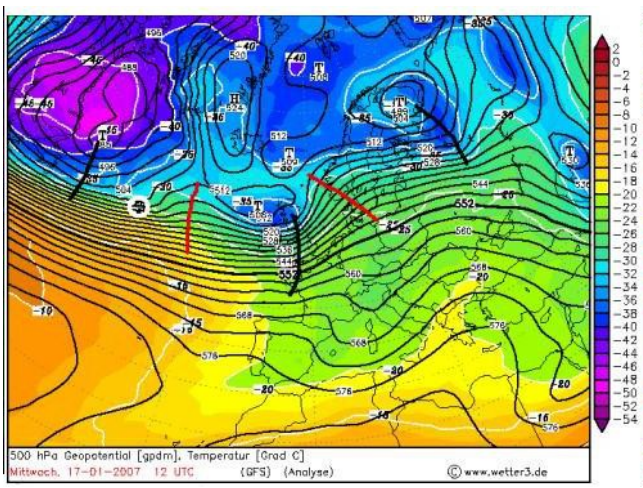


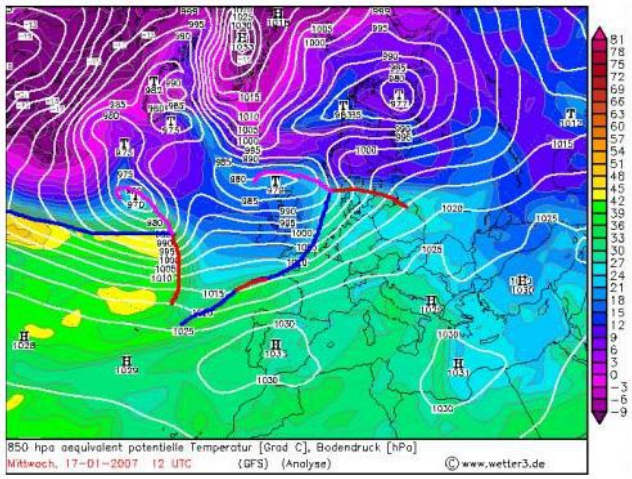


Die Höhenwetterkarte zeigt eine stark verwellte Höhenströmung über dem Nordatlantik bis nach Nordeuropa, die über Osteuropa von einem langwelligen Keil nach Norden abgelenkt wird. Das Frontensystem über den Britischen Inseln befindet sich klar vorderseitig der Trogachse, was dessen Wetteraktivität erheblich verstärkt. Es gehört zu einem Tiefdrucksystem über dem Nordatlantik südlich von Grönland.Die Kaltfront geht in eine Welle über, die anhand der ausgebuchteten 1015hPa-Isobare gut erkennbar ist. Mitteleuropa befindet sich zu diesem Zeitpunkt in einer schwachen Südwestströmung - über der südlichen Nordsee bis zur Ostsee schleift eine wellende Kaltfront des Finnlandtiefs.

Das "Kyrill" getaufte ausgedehnte und sehr energiereiche Bodentief mit 986hPa östlich von Neufundland liegt knapp vor der Trogachse und damit unter schwacher zyklonaler Vorticityadvektion, was eine Vertiefung am Boden zur Folge hat. Darüberhinaus verlagert es sich rasch südostwärts, da nahe der Jetachse in einer intensiven Strömung eingebettet. Das Tief ist bereits schwach okkludiert.

Mittwoch, 17.Januar 2007 - 12 UTC

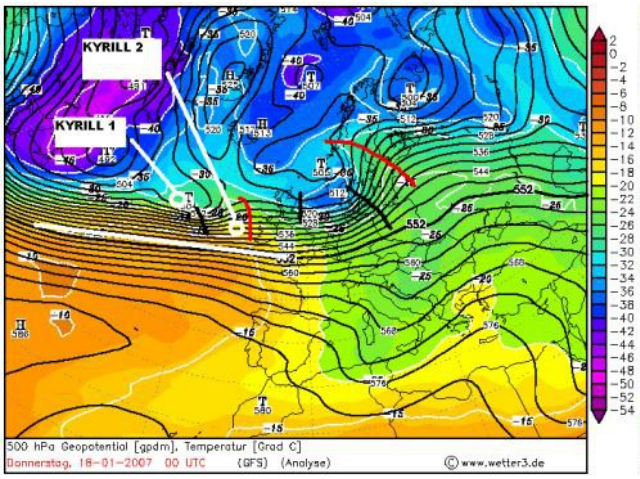


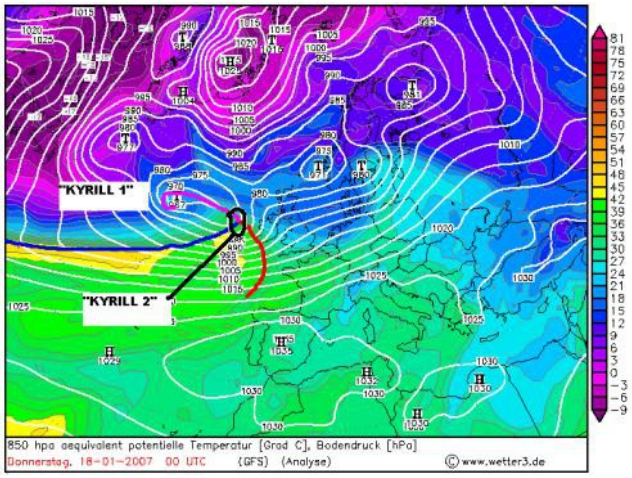


Zwölf Stunden später hat sich das Bodentief deutlich auf 970hPa vertieft und weist nun eine eingeringelte Okklusionsfront auf. Am Okklusionspunkt sind die Linien gleicher äquivalentpotentieller Temperatur deutlich weniger gedrängt als an der Kaltfront weiter stromaufwärts bzw. an der Warmfront. Des Weiteren befindet sich das Bodentief (siehe weißer Kreis) recht weit von der Trogachse östlich von Neufundland entfernt und bereits recht nahe am Höhentrog mit hochreichender Kaltluft. Eine derartige Position lässt aus quasigeostrophischer Sicht vermuten, dass in Kürze der Höhepunkt der Tiefdruckentwicklung erreicht ist.

Weiterhin wetteraktiv mit kräftigen Regenfällen ist die Kaltfront des Tiefs bei Schottland, die in einem Bereich starker zyklonaler Vorticityadvektion trogachsenvorderseitig liegt. Die Südwestströmung nimmt nun besonders über Westdeutschland und Benelux allmählich zu. Am Nachmittag werden in Böen verbreitet Bft 6-8 erreicht, teilweise treten mit Kaltfrontdurchgang schwere Sturmböen auf.

<u>Donnerstag, 18.Januar 2007 - 00 UTC</u>





In der Nacht zu Donnerstag vollzieht sich eine entscheidende Entwicklung am Okklusionspunkt von Bodentief "Kyrill":

Das bisher betrachtete Bodentief **Kyrill 1** okkludiert weiter und bildet einen separaten Höhentiefkern aus.

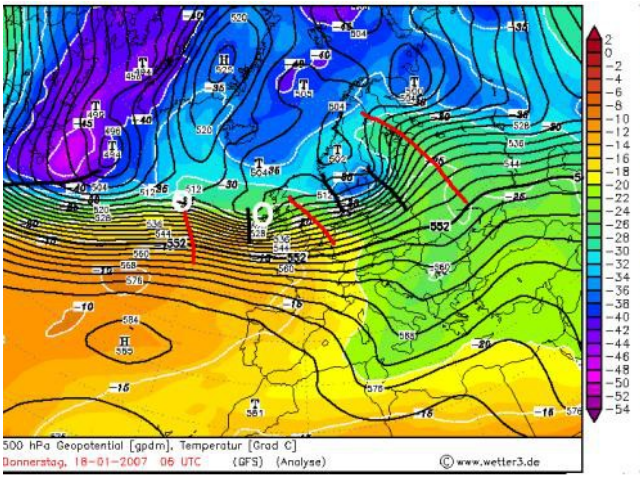
Wie aus der 500hPa-Karte ersichtlich liegt das Bodentief nun bereits **rückseitig** der Trogachse.

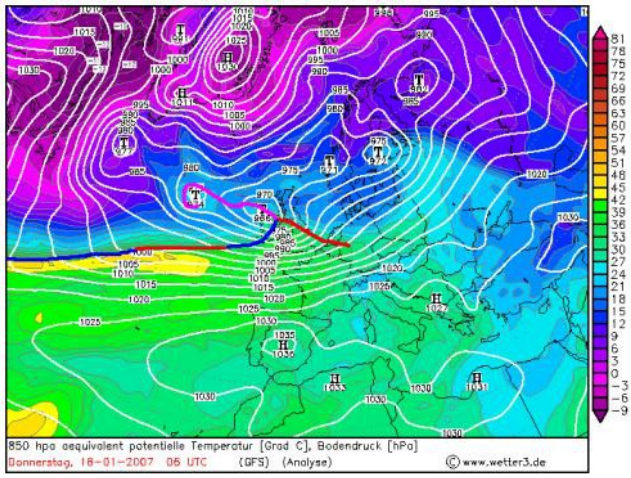
Daraus lassen sich zwei Auswirkungen schlussfolgern:

1. das Bodentief füllt sich auf
2. das Bodentief bleibt stationär

Rückseitig der Trogachse erfährt das Bodentief antizyklonale Vorticityadvektion und damit einen Druckanstieg am Boden. Durch die Lage nahe des Höhentiefkerns verlagert es sich nicht mehr ostwärts, sondern wird zunehmend stationär. Sein tiefster Druck wurde folglich mit etwa 967hPa erreicht. Der Okklusionspunkt jedoch befindet sich klar **vor** der Trogachse und zudem im linken Auszug des Jetstreams, daraus resultiert starke zyklonale Vorticityadvektion bzw. die stärksten Aufwärtsbewegungen. Infolge der Position näher an der Jetachse verlagert sich das am Okklusionspunkt entstandene **Rand- oder Teiltief** rasch ostwärts. Dieses Randtief, **Kyrill 2**, ist der eigentliche Orkan Kyrill, der Mitteleuropa heimsuchte.

<u>Donnerstag, 18.Januar 2007 - 06 UTC</u>

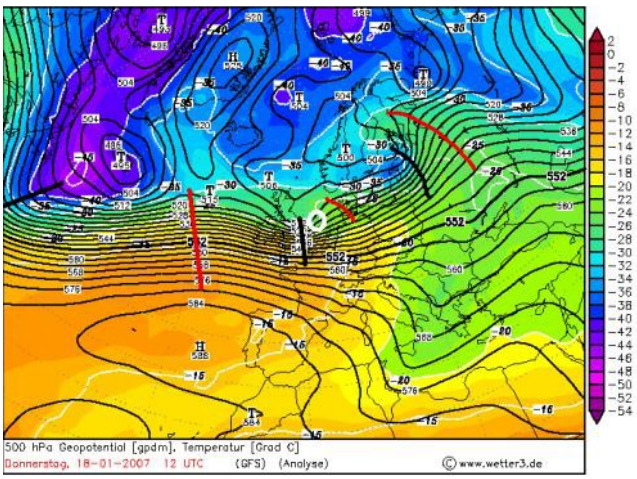


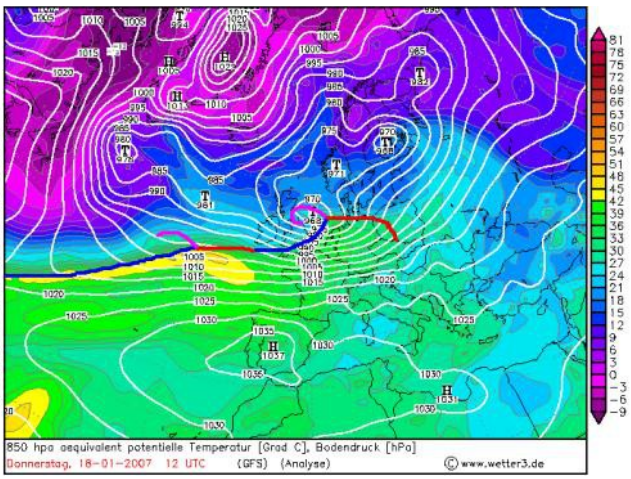


Sechs Stunden später hat Kyrill Irland erreicht. Der Kerndruck ist von etwa 970hPa am Okklusionspunkt auf 966hPa gefallen. Die Okklusionsfront des "alten" Kyrills löst sich langsam von der neuen Okklusionsfront ab. Der Kerndruck von Kyrill 1 ist von 967hPa auf 974hPa gestiegen, als Resultat der vorher erwähnten antizyklonalen Vorticityadvektion. Das ehemals zugehörige Höhentief ist ostwärts weitergezogen. Kyrill liegt weiterhin vor einer markanten Trogachse mit intensiven Hebungsvorgängen. Die westsüdwestliche Strömung nimmt mit Annäherung des Orkantiefs in allen Höhenschichten zu. Das Maximum der Strömung wird bis zu diesem Zeitpunkt zunächst im Warmsektor über Südengland erreicht. Dort erreicht Kyrill auch im Tiefland Orkanstärke.

Die in der Poebene lagernde Kaltluft begünstigt bei gleichzeitig einsetzender Warmluftadvektion nördlich der Alpen sowie starkem Druckfall dort eine zunächst hochreichende, später seichte Südföhnströmung über die Alpen.

<u>Donnerstag, 18.Januar 2007 - 12 UTC</u>





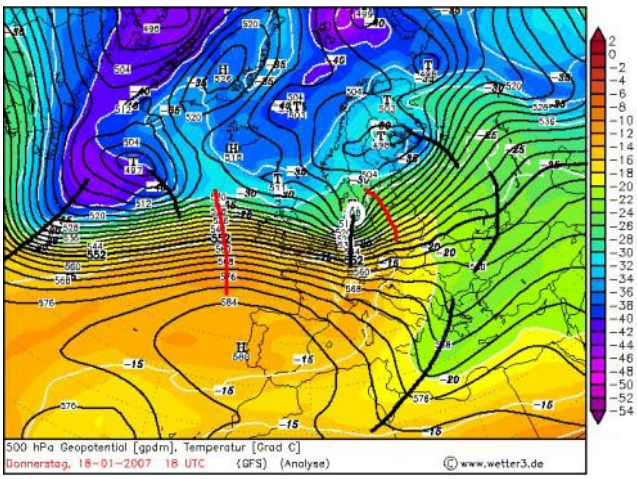
Weitere sechs Stunden später hat sich das Orkantief bereits zur Doggerbank verlagert. Der Kerndruck ist dabei nur um wenige Hektopascal gefallen. Dies ist einer der Besonderheiten dieser Orkanlage, da das Tiefdruckgebiet bereits weit vor Eintreffen in Mitteleuropa voll entwickelt war. Im Gegensatz dazu erfuhr etwa Orkan Lothar 1999 seine rasante Vertiefung erst über Westeuropa (200er Falltendenzen).

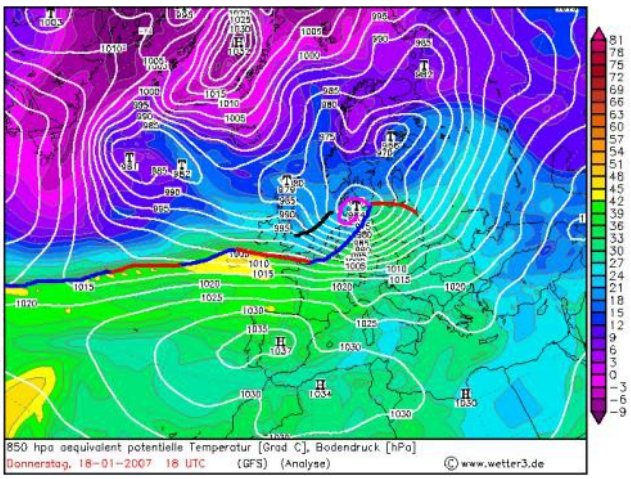
An der Kaltfront bildet sich ein starker Luftmassengradient aus - zusätzlich ist sie in die stärkste und hochreichende Strömung eingebettet. Drittens liegt sie knapp vor der Trogachse, ebenso wie das Bodentief, mit einem Jetstreak in 500hPa, der über 100Kn erreichte. Bessere Voraussetzungen für heftige, vertikale Umlagerungen und konvektive Unwetter konnte es nicht geben.

Bereits im Warmsektor sind die Isobaren sehr dicht gedrängt - im Erzgebirge sowie im angrenzenden Flachland Sachsens wurden trotz vermeintlich stabiler Warmluftschichtung Orkanböen erreicht. Ursache hierfür waren hydraulische Effekte, die leeseitig des Erzgebirgskamms die immensen Höhenwinde von 70-80Kn in 850hPa bis zum Boden herabtransportierten. Sonst wurden im Flachland verbreitet Bft 9-10, im äußersten Südwesten einzelne 11er registriert. Über Benelux und Südengland tobte der Orkan mit der durchgehenden Kaltfront am Heftigsten. Amsterdam meldete um 12 UTC eine 130km/h-Böe.

An der Kaltfront selbst bildete sich westlich von Irland eine langgestreckte Welle aus, die Tendenzen zu einer Okklusion (angedeutet) zeigte. Auch weiter stromaufwärts verwellte die Kaltfront weiter, zunächst noch ohne markantere Vertiefungstendenzen.

Donnerstag, 18.Januar 2007 - 18 UTC



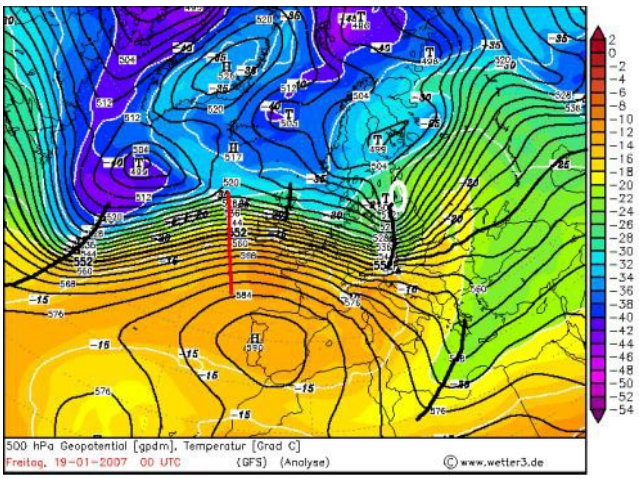


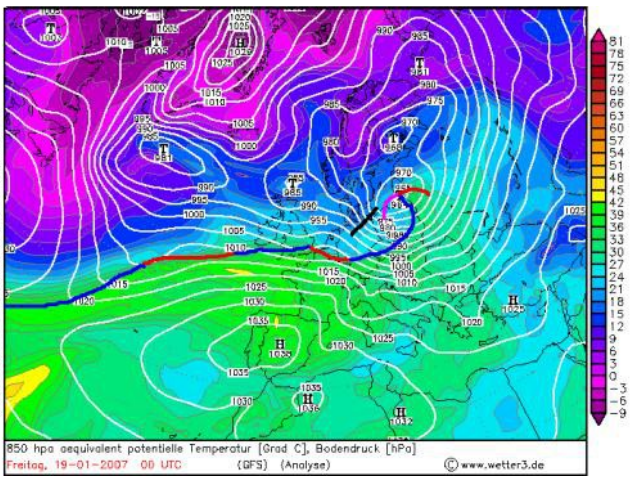
Um 18 UTC erreicht der Orkan seinen Höhepunkt über der westlichen Ostsee. Die Kaltfront erstreckt sich quer über Deutschland von Nordost nach Südwest. Die zugehörige Trogachse liegt über Westdeutschland - die Kaltfront somit vorderseitig unter stärkstem Hebungsantrieb. Der wetteraktivste Teil mit den Gewittern und schweren Orkanböen lag jedoch über dem Norden und Osten Deutschlands, wo sich die Höhenkaltluft befand.

Dem ist es zu verdanken, dass die Kaltfront nicht ganz Deutschland überquerte bzw. im äußersten Südwesten zumindest im tiefen Flachland keine extremen Orkanböen erreicht wurden. Dennoch lassen die Böen-Meldungen für 18 UTC aufhorchen. 144km/h in Düsseldorf, 133km/h in Chemnitz sowie ein starker Tornado in Wittenberg kurz zuvor. Auch sonst wurden verbreitet schwere bis orkanartige Sturmböen gemeldet, z.T. Orkanstärke, besonders im Nordwesten, wo die Schäden so riesig waren, dass in einzelnen Landkreisen Katastrophenalarm ausgerufen wurde und einzelne Dörfer von der Außenwelt abgeschnitten waren. In Teilen Ostdeutschlands fiel mit Durchgang der Kaltfront teilweise stundenlang der Strom aus. Mehr zur Kaltfront dann im dritten Teil dieser Analyse.

Rückseitig der Kaltfront nähert sich eine Troglinie, die nochmals Orkanböen und kräftige Schauer, jedoch keine Gewitter mehr hervorbrachte. Die Wellenbildung südwestlich von Irland schwächte sich wieder ab, stromaufwärts folgt aber eine weitere Welle nach, die im Bereich starker Luftmassengegensätze liegt - zudem vorderseitig eines langwelligen Troges südlich von Neufundland günstig für weitere Druckvertiefung gelegen.

Freitag, 19.Januar 2007 - 00 UTC



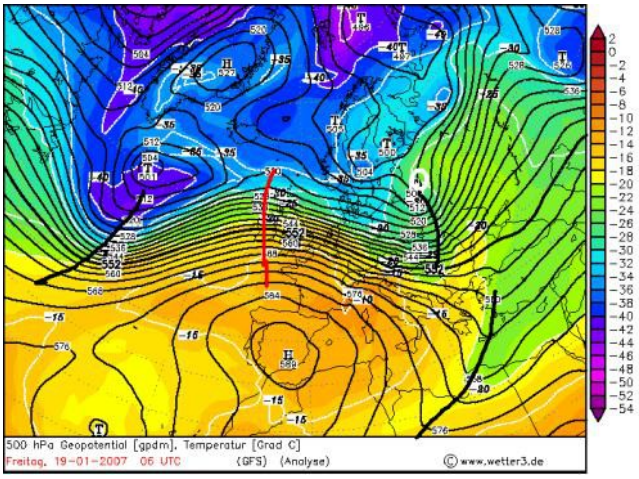


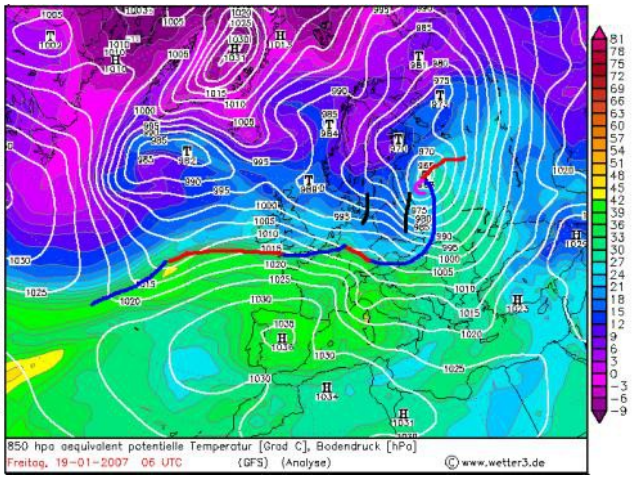
Orkantief Kyrill liegt mit nahezu unverändertem Kerndruck (tiefster Kerndruck war 964,8hPa) über der Danziger Bucht. Die Kaltfront zieht unter ganz allmählicher Abschwächung weiter südostwärts. Auch Tschechien und Ostösterreich werden mit Orkanböen beeinflusst, die Gewitteraktivität lässt langsam nach.

In der Höhenwetterkarte ist die Ursache für die nur langsame Auffüllung des Bodentiefs ersichtlich - denn der Kern liegt noch vor der Trogachse, wenn auch nahe am Kern. Die Strömung dreht trogrückseitig auf nordwestliche Richtungen. Eingelagert ist eine schwache Welle, die besonders über Südwest- und Süddeutschland ergiebige Regenfälle verursacht.

Die intensive Nordwestströmung mit 60Kn in 700hPa führt zu einer massiven Nordföhnlage in Norditalien, die 850hPa-Temperaturen steigen dabei auf über 15°C an. Weiter stromaufwärts vertieft sich die zweite Welle weiter - aus der später Sturmtief "Lancelot" hervorwuchs.

<u>Freitag, 19.Januar 2007 - 06 UTC</u>





Am Freitag morgen hat sich Orkan Kyrill weiter nach Westrussland verlagert. Über weiten Teilen West- und Mitteleruropas tritt vorübergehend eine Wetterberuhigung ein. Die Kaltfront ist nun deutlich aus dem Höhentrog herausgelaufen, die nachfolgende Welle dämmt die konvektive Aktivität zunehmend ein.

Da die südlich der Alpen durch Nord-bzw. Westföhn erwärmte Luftmasse viel wärmer als jene im

Warmsektor der Welle ist, kommt es zu starkem Nordföhn in Innsbruck - mit bis zu 101km/h Spitzenböen allerdings schwächer als noch am Vortag erwartet (siehe Fallstudie).

Kyrill zieht im weiteren Verlauf langsam zur Karasee nördlich von Russland und füllt sich dort bis zu seinem Tode auf.

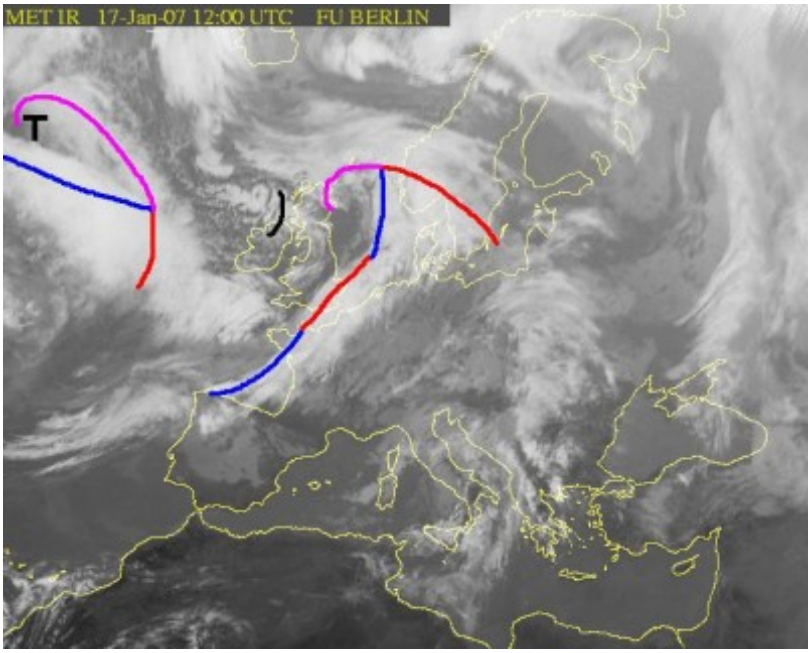
2. Kyrill im Satellitenbild

Die Entwicklung des Orkantiefs fußt auf einer **Teil- oder Randtiefbildung am Okklusionspunkt**, engl. **secondary cyclogenesis at the triple point**. Diese Randtiefentwicklungen lassen sich anhand der folgenden Faktoren recht gut in den Modellkarten sowie im Satellitenbild nachweisen:

- die Okklusionsfront ist bereits deutlich **eingeringelt**
- der Tiefdruckkern liegt auf der **kalten Seite** des Jetstreams im Trogsektor
- die Wolkenobergrenzen der Okklusionsfront sind dadurch **abgesunken**, das **baroclinic leaf** hingegen weist hingegen noch hochreichende Bewölkung auf
- der linke Jetauszug und Okklusionspunkt **fallen zusammen**
- der Okklusionspunkt liegt dadurch **vor der Trogachse** unter starker (differentieller) zyklonaler Vorticityadvektion
- der Dryslot zeigt mit seiner Vorderkante auf den Okklusionspunkt

Aus der vorherigen synoptischen Analyse war die Position des Bodentiefs achsensenkrecht zum Höhentief ersichtlich, welche die stationäre Lage von **Kyrill 1** bestimmte. Der Okklusionspunkt, an dem **Kyrill 2** entstand, lag hingegen klar vorderseitig des Höhentiefs unter PVA sowie näher an der Jetachse, was eine rasche Ostwärtsverlagerung unter Vertiefung des Kerndrucks begünstigte.

7. Januar 2007 - 12 UTC

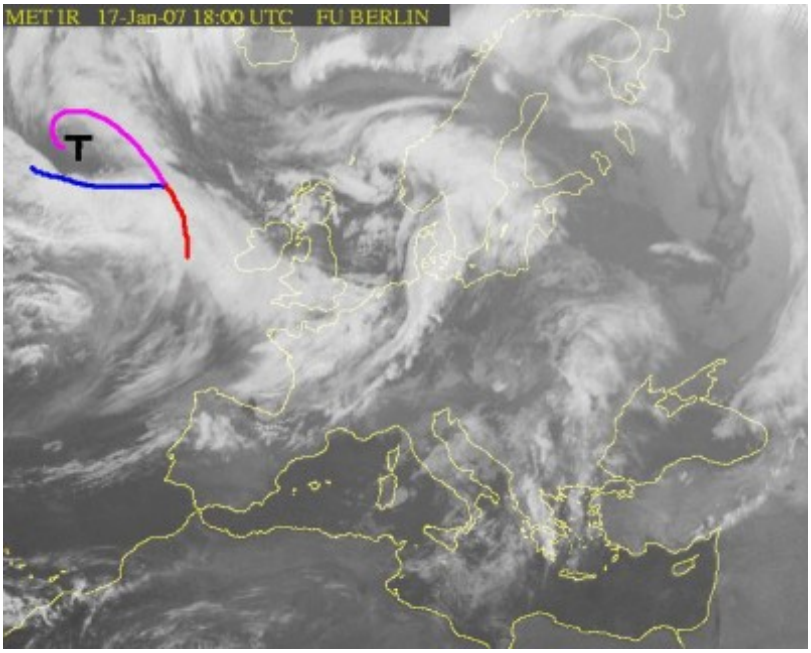


Zum Mittag des 17. Januars dominierte zunächst der Tiefdruckwirbel über der Nordsee das Wettergeschehen in Westeuropa. Stromaufwärts von Irland liegt Kyrill mit einem scharfkantigem

baroclinic leaf, das an der Nordseite die typische Wolkengrenze aufweist und nach Süden ausgefranst ist. Das baroclinic leaf manifestiert sich als ein **warmes Förderband** (*warm conveyor belt*), das in der mittleren und oberen Troposphäre (600-300hPa) aufsteigt und breitflächig kondensiert. Die Wolkenobergrenzen liegen dadurch recht weit oben - im Gegensatz zur Okklusionsfront, die hier etwas niedrigere Wolkenobergrenzen aufweist.

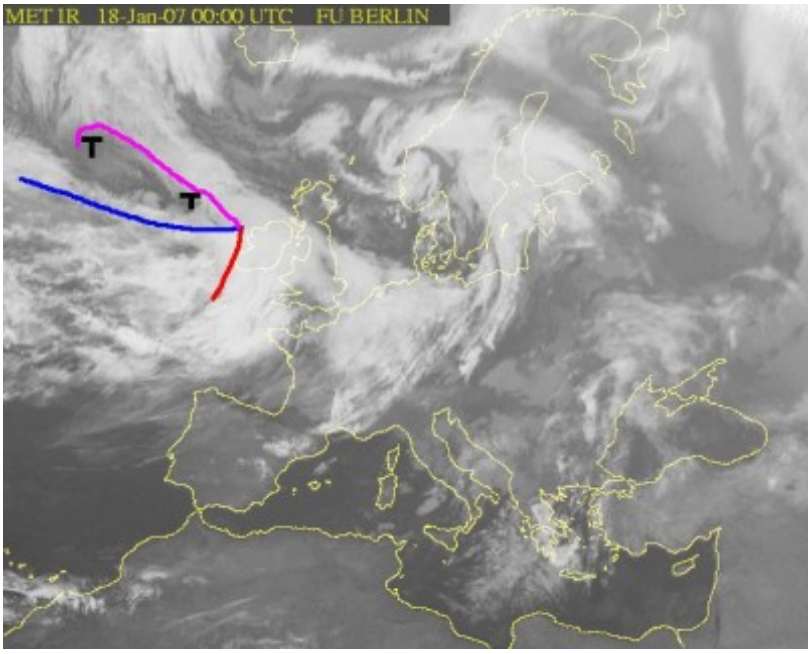
Sie entstand durch ein zweites, warmes Förderband, das bereits in der unteren und mittleren Troposphäre (900-700hPa) nach oben steigt und durch seine Lage kaltseitig der Frontalzone als **kaltes Förderband** (*cold conveyor belt*) bezeichnet wird. Die Okklusionsfront liegt parallel zum frontalen Wolkenband, ist aber nach Westen zurückgebogen (*back-bent-occlusion*) und leicht eingeringelt. Der Tiefdruckkern befindet sich damit deutlich westlich vom Okklusionspunkt entfernt in einem fast wolkenfreien Bereich des **Dryslots (DS)**, wo stratosphärische Luft stromaufwärts der Trogachse bis in die mittlere und untere Troposphäre absinkt. Im Vergleich dazu liegt etwa der Kern des Nordseetiefs unmittelbar südwestlich des Okklusionspunktes, der zugehörige **DS** erstreckt sich vom Eingang des Ärmelkanals über England bis zur Nordsee.

<u>17. Januar 2007 - 18 UTC</u>



Sechs Stunden später hat sich der DS deutlich intensiviert und einen recht dunklen, wolkenfreien Tiefdruckkern von Kyrill 1 erzeugt. Die Vorderkante des DS reicht bis zum Okklusionspunkt und verläuft rückseitig der Kaltfront. Die Position von Warm- und Kaltfront zueinander zeigt eine typische **Warmsektorzyklone** mit breitem Warmsektor, der hier durch das warme Förderband hochreichend mit regenschwangeren Wolken bedeckt ist. Bemerkenswert in diesem Stadium der Zyklogenese sind die quer zur Höhenströmung verlaufenden Cirren südlich des baroclinic leaf, die von einer außerordentlich hohen vertikalen Windscherung künden. Die Höhenwinde erreichten hier bereits in 500hPa über 150Kn Mittelwind.

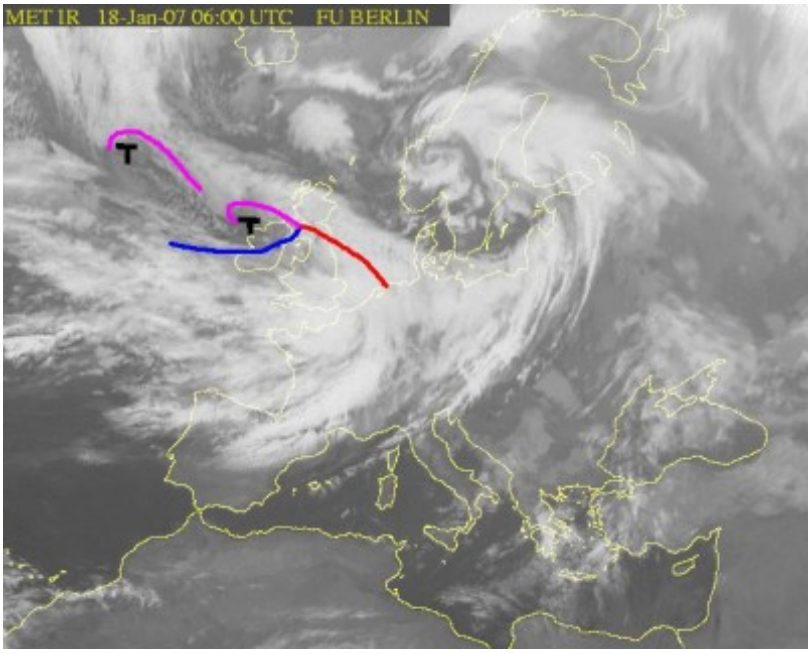
18. Januar 2007, 00 UTC



Nach Mitternacht findet der Abspaltungsprozess von Kyrill 2 von Kyrill 1 statt.

Die Kaltfront zeichnet sich durch ein schmales, hochreichendes, aber unterbrochenes Wolkenband ab, während die Warmfront weiterhin an einen hochreichend kompakten Wolkenschirm gebunden ist. Der Dryslot reicht von Tiefdruckkern von Kyrill 1 bis kurz vor den Okklusionspunkt. Kyrill 1 ist bereits deutlich eingeringelt, jedoch schon in der Abschwächungsphase, was mit der Reanalysis durch die Modellkarten übereinstimmt (Position knapp rückseitig der Trogachse). Die Okklusionsfront weist westlich des Okklusionspunkt eine weitere, schwach zyklonale Krümmung auf, sodass hierdurch die Position des zweiten Tiefdruckkerns analysiert werden kann. Die 10min-Windkarten untermauern diese Analyse.

18. Januar 2007, 06 UTC



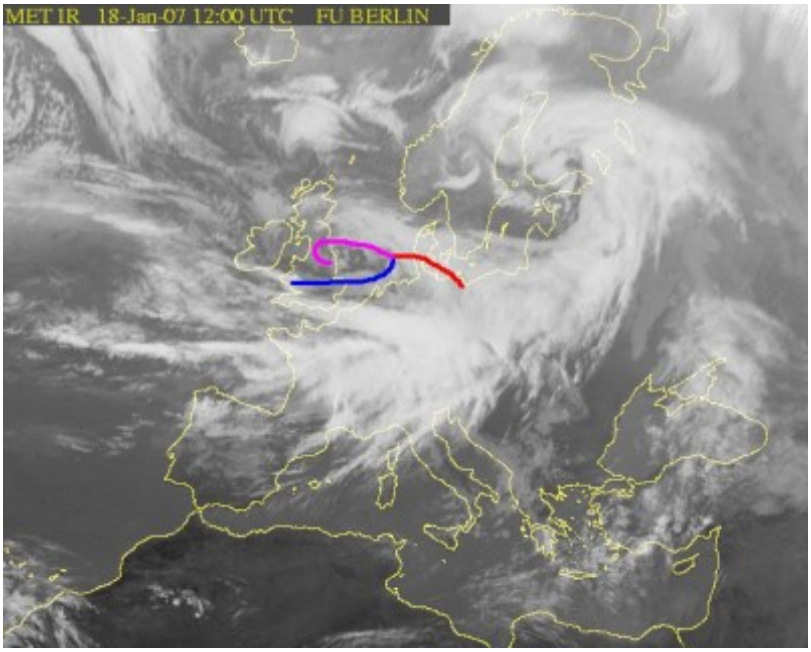
Das alte Bodentief trennt sich mit seiner Okklusionsfront immer mehr vom neuen Bodentief über der irischen See ab. Der Vergleich mit der Position vor sechs Stunden lässt keine Zweifel zu, dass es sich jetzt um zwei Tiefdruckwirbel handelt. Wenn man die Ausdehnung von Kyrill 2 betrachtet, dann mag man sich über dessen Größe im Verhältnis zur gesamten Wolkenmasse wundern:

Weite Teile des Warmsektors und südlich davon sind Ergebnis eines massiven warmen Förderbandes, das auch für die kräftigen und ergiebigen Regenfälle mit bis zu über 50 mm in 24h verantwortlich war. Das eigentliche Orkantief nimmt nur verhältnismäßig wenig Platz ein und die neue Okklusionsfront ist schmaler, kürzer und rascher eingeringelt als die erste Okklusionsfront.

Im Kernbereich der Zyklone bzw. südlich davon addieren sich die starke Relativströmung (Höhenströmung) und die Rotationsgeschwindigkeit der Zyklone selbst. Daraus resultiert das Starkwindfeld südseitig des Tiefdruckkerns im Warmsektor, wo die 850hPa-Winde verbreitet bei 70-80Kn, teilweise bei 90Kn lagen. Das Starkwindfeld war aber zugleich an die Kaltfront gekoppelt, sodass bei konvektiven Niederschlägen mit Orkanböen über 130km/h selbst im Flachland gerechnet werden konnte.

In der zweiten Nachthälfte überströmte die trockene Stratosphärenluft des Dryslots die feuchtwärmeren Luftmassen in der unteren und mittleren Troposphäre an der Kaltfront. Deren Wolkenobergrenzen sanken dadurch deutlich ab. Resultat dieser Entwicklung war erhebliche **potentielle Instabilität**, die durch die Hebung auf der Trogvorderseite freigesetzt wurde und entlang der Kaltfront kräftige Schauer und Gewitter erzeugte.

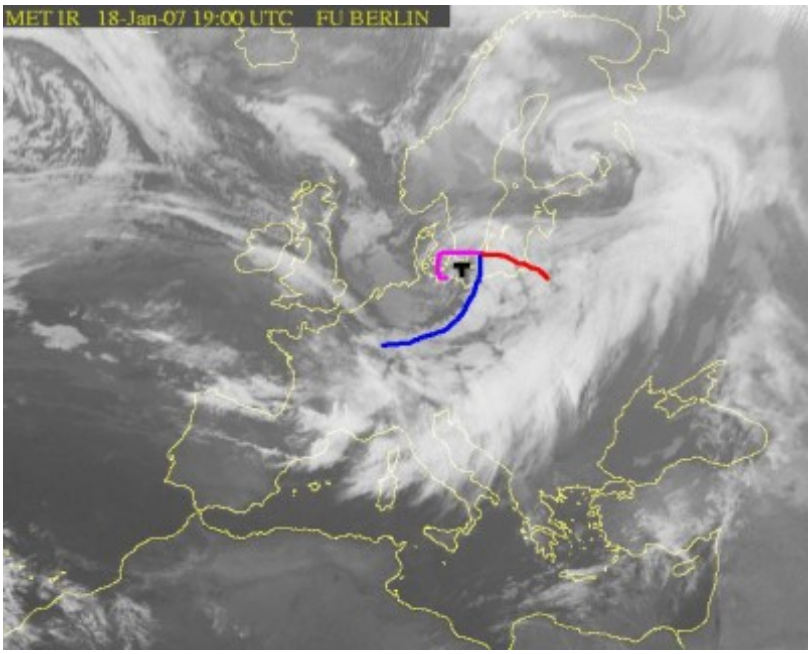
18. Januar 2007, 12 UTC



Zum Mittag des 18. Januars 2007 wirkt die Ausdehnung des Orkanstiefs winzig im Vergleich zum mächtigen Wolkenschild des warmen Förderbandes. Die Kaltfront überquert nun Südengland und London mit Orkanböen, kurze Zeit später treten über der südlichen Nordsee die ersten Gewitter an der Kaltfront auf. Das Überströmen der Kaltfront mit trockener Stratosphärenluft reicht bis weit in den Warmsektor des Orkans.

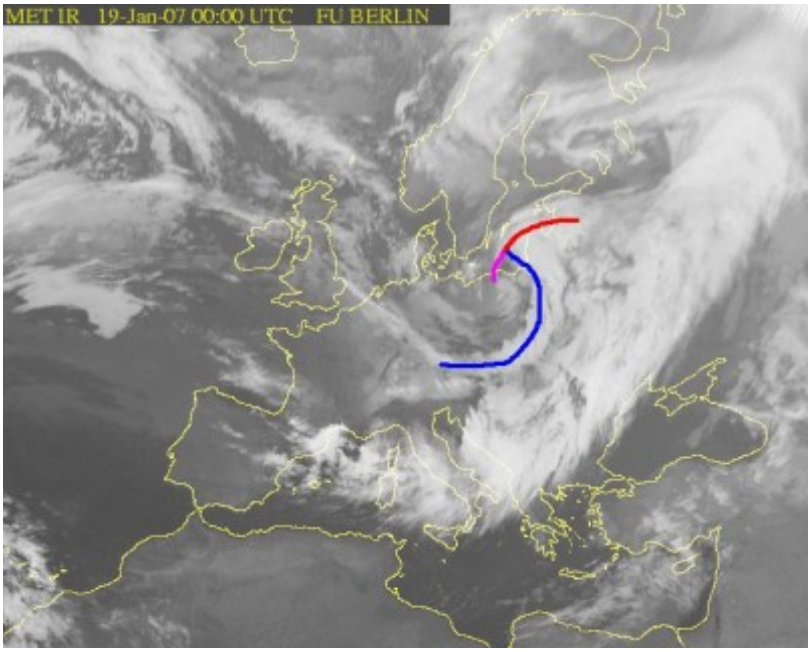
Auffällig hier auch die schmale wolkenfreie Zone vor der Kaltfront entlang der Küsten, die nochmals Einstrahlung und Verschärfung der horizontalen Temperaturgegensätze ermöglichte. Nur aufgrund des Satellitenbildes würde man eine weiter Ostwärtsverlagerung der Kaltfront vermuten. Entscheidend für die spätere Südostverlagerung war aber der nachrückende Höhenrücken über dem Ostatlantik, sodass die Strömung von West auf Nordwest drehte.

18. Januar 2007, 19 UTC



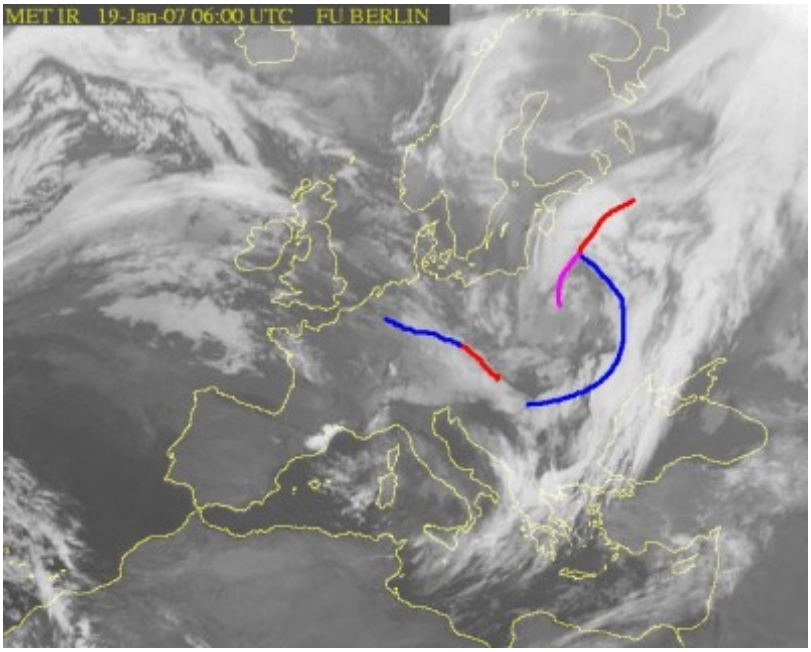
Zum frühen Abend hin erreicht der Orkan seinen Höhepunkt, was die Kaltfrontaktivität über Mitteleuropa betrifft. Der Kern des Tiefs liegt nun über der westlichen Ostsee. Entlang der Kaltfront bilden sich konvexe Strukturen an der Vorderkante. Rückseitig der Kaltfront folgt eine kurze postfrontale Subsidenzzone nach, ehe von der Nordsee eine Troglinie mit kräftigen Schauern und erneuten Orkanböen nachfolgte. An der Südwestkante der Kaltfront nahm dessen Intensität ab und ging z.T. in skalige Regenfälle in Verbindung mit einer einsetzenden Wellenbildung über, die von der Warmluftadvektion stromaufwärts verursacht wurde. Der Verlauf des stark gekrümmten Jetstreams zeichnet sich gut durch die schmalen Cirrenbänder ("Jetfibres") ab. Bei gekrümmten Jets sind die linken Jetauszüge mitunter verschoben bzw. liegt der gesamte Auszugsbereich dann unter Diffluenz mit Aufwärtsbewegungen, wie auch hier.

19. Januar 2007, 00 UTC



Gegen Mitternacht hat die Kaltfront Deutschland fast vollständig überquert und nun Nord- und Ostösterreich erreicht. In Teilen Wiens werden 130 km/h Spitzenböen gemessen, zuvor erwärmt sich die Luft auf knapp 20 Grad am Alpenostrand (Westföhn) - um 01 Uhr nachts! Dahinter beruhigt sich die Atmosphäre vorübergehend, weitere Schauer gekoppelt an die Troglinie folgen über Norddeutschland nach. Weite Teile Südwest- und Süddeutschlands liegen im Einflussbereich einer schwachen Welle, die von Nordwesten hereinschwenkt. Die starke nordwestliche Anströmung verursacht Staubewölkung entlang der Alpennordseite - im Inntal westlich von Innsbruck bricht kurze Zeit später der Nordföhn durch, südlich des Alpenhauptkamms hat er besonders über der Poebene zur Wolkenauflösung geführt.

19. Januar 2007, 06 UTC

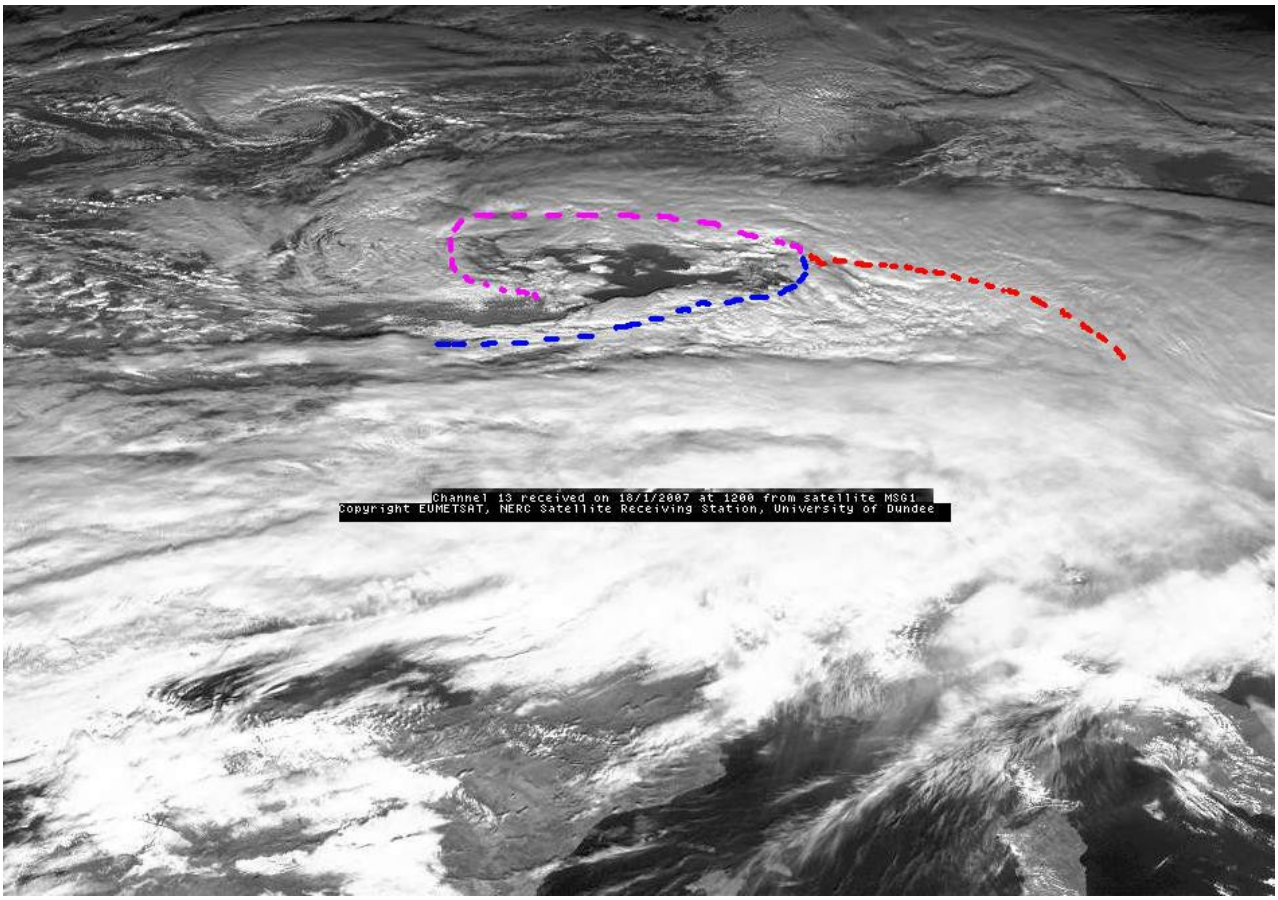


Am Freitag Vormittag, den 19. Januar, liegt die Kaltfront über Südosteuropa.

Der Orkan schwächt sich nur langsam ab und dreht allmählich nach Nordosten ab. Die nachfolgende Welle führt über West- und Süddeutschland zu teils ergiebigen Regenfällen, der Nordföhn in Norditalien treibt die Höchstwerte dort auf sommerliche 25-27°C. In Innsbruck bricht der Nordföhn drei Stunden später durch und lässt Höchstwerte von über 16°C erreichen, die jene während der vorherigen Südföhnperiode noch überbieten. Die gefürchteten Orkanböen im Inntal bleiben jedoch aus. Stromaufwärts westlich von Irland deutet sich eine weitere Sturmtiefentwicklung an der ehemaligen Kaltfront von Kyrill 1 an, die später zu Sturmtief Lancelot und erneuten schweren bis orkanartigen Sturmböen besonders nördlich einer Linie Hunsrück-Erzgebirge führt.

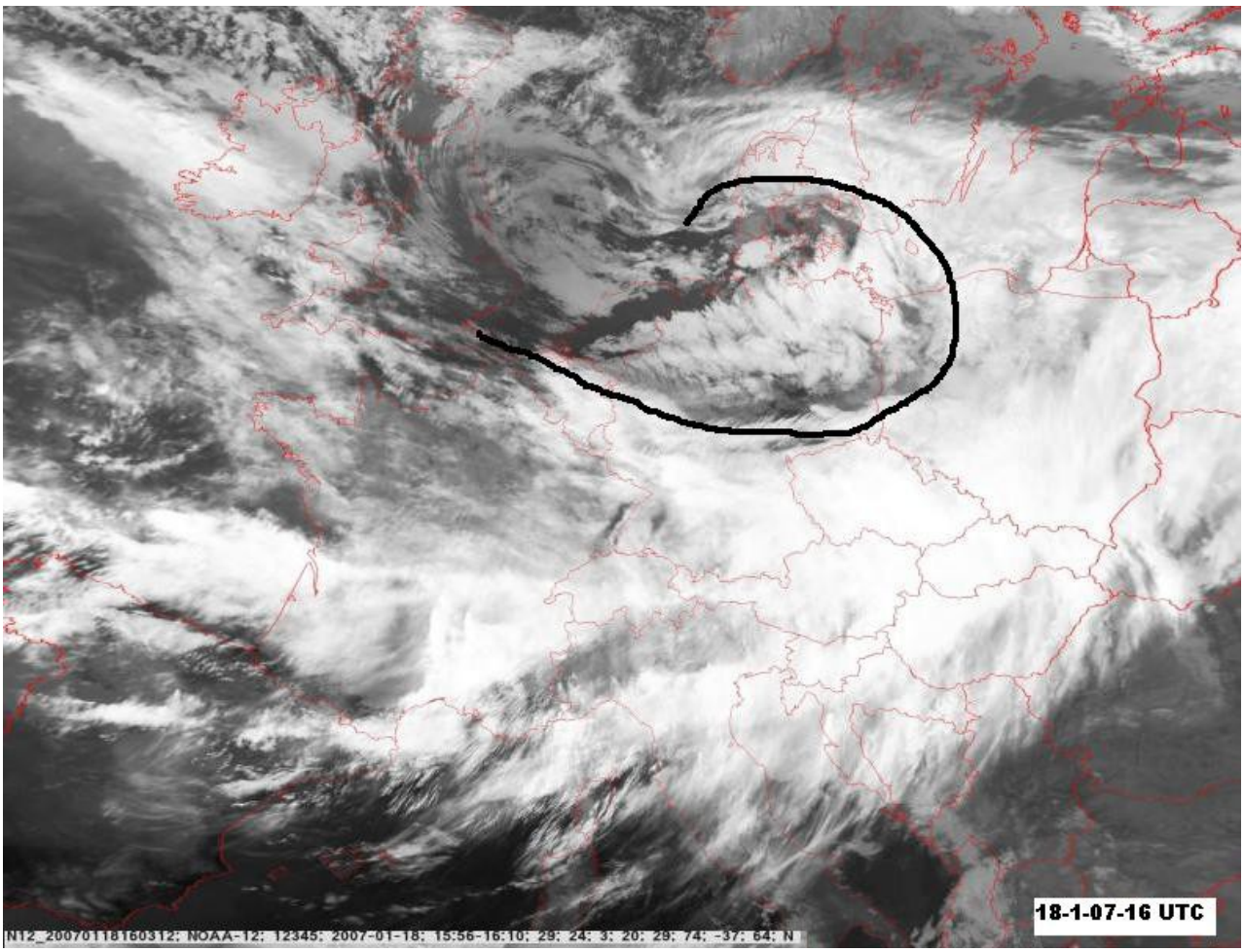
Zum Abschluss noch zwei Satellitenbilder von **Dundee** bzw. **NOAA**, die das Orkantief in einer höheren Auflösung zeigen:

18. Januar 2007 - 12 UTC - DUNDEE



Die Okklusionsfront ist an der Ostküste Englands eingeringelt. Die Warmfront verläuft über Dänemark und die Ostsee stromabwärts. Die Kaltfront geht von der südlichen Nordsee bis nach Südengland. Sie ist hochreichend konvektiv geprägt, ein exemplarischer Ausdruck der großen Mengen latenter Wärme, die durch die Hebung freigesetzt wurden. Weiter südlich sind die Wolkenobergrenzen deutlich höher - hier regnet es im Bereich des warmen Förderbandes kräftig. Die Kaltfront hingegen wurde bereits vollständig vom DS überströmt - wie bereits erwähnt reichte dieses Überströmen bis weit in den Warmsektor hinein. Rückseitig der Kaltfront löste die Stratosphärenluft die Wolken vollständig auf.

18. Januar 2007 - 16 UTC - NOAA



Das IR-Satellitenbild von NOAA wurde am Nachmittag in viertelstündigem Überflug aufgenommen. Der eingerahmte Bereich ist vollständig vom Dryslot überströmt. Die Kaltfront zeigt markante, aneinandergereihte Wabenstrukturen, die eine Nordwest-Südostachse aufweisen, was koinzident zur Höhenströmung ist. Jede dieser "Wabenzellen" brachte Starkniederschläge, Hagel und Microbursts hervor. Weiter südlich ging es wesentlich ruhiger zu, auch wenn es dennoch verbreitet schwere bis orkanartige Sturmböen und einzelne Orkanböen gab. Sie erreichten jedoch die flächige Intensität der Kaltfront niemals und die Waldschäden hielten sich somit vor allem in Süddeutschland weitgehend in Grenzen.

Ursache der Wabenstrukturen:

Ich konnte diese Waben/Rippenstrukturen schon häufiger in Zusammenhang mit **kräftigen Tiefdruckentwicklungen** beobachten, und zwar immer dann, wenn der **Dryslot** die Kaltfront überströmt. Zudem sind die Rippen immer **parallel zur Höhenströmung** orientiert und liegen zugleich im **linken Jetauszug**.

Das impliziert grundsätzlich einen Zusammenhang zu potentieller Instabilität und kräftiger Feuchtkonvektion, also potentiell unwetterträchtige Wetterphänomene, die sich unter solchen Erscheinungsbildern verbergen.

In einem Paper von **Browning and Wang (2001)** [A] wurden Hypothesen getestet, um diese *Rillen* zu erklären. Das Ergebnis:

1. gibt es keinen Zusammenhang zwischen den Rillen und einzelner Linienelemente (Plumes from **individual elements** of line convection).
2. auch **Schwerewellen** scheiden aus, da die Reisegeschwindigkeit der Rillen mit dem frontparallelen Wind übereinstimmt (advehierte Rillen) und Schwerewellen sich relativ zur Strömung in deren Höhe ausbreiten müssten. Schwerewellenbildung im linken Jetauszug sind dennoch vorstellbar, die potentielle Instabilität hervorrufen können. Wenn die Konvektion heftiger wird, verlieren die Wellen ihre Ausbreitungseigenschaften und werden mehr und mehr advehiert.
3. dass slantwise convection **CSI** (conditional symmetric instability) freisetzt, erscheint plausibel, nicht aber, dass die Rillen etwas damit zu tun haben
4. **Kelvin-Helmholtz-Instability** wird ausgeschlossen, da die Wellenlänge der Rillen (ca. 50 km) zu lang für für Kelvin-Helmholtz-Wellen sind
5. **Convective Rolls:** Im Bereich der Rillen sind in der Höhe trockene Schichten eingelagert, die potentielle Instabilität hervorrufen.

Letzendlich erwies sich Hypothese 5 am Wahrscheinlichsten, demzufolge die Rippen durch **konvektive Zellen** in der Höhe verursacht werden, die sich wiederum als schräge Konvektion (slantwise convection) manifestieren. Was die langen Wellenlängen verursacht, ist nicht bekannt.

[A]: Browning, K.A. and Wang, C.G., Cloud-top striations above ana-cold frontal circulations, *Q.J.R. Meteorol. Soc. (2002)*, **128**, pp. 477-499

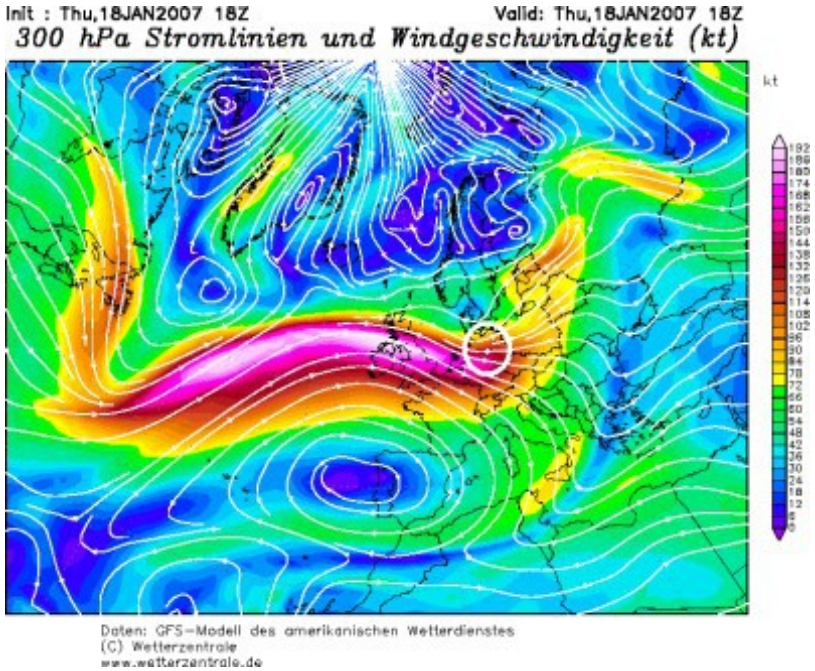
Zur Kaltfront kommen im nächsten Kapitel nochmals erläuternde Satellitenbilder.

3. Kaltfront von Kyrill

Im abschließenden Kapitel zu Orkan Kyrill wird näher den wetteraktiven Kaltfrontdurchgang eingegangen, u.a. mit Hilfe der Convective Lightningwizardmaps und mit weiteren Satellitenbildern, die die Entwicklung der Dry Intrusion im Detail zeigen. Zunächst aber eine Karte des Höhenwinds, die die Heftigkeit des Ereignis belegt:

3.1 Vorhersage und Verifikation der konvektiven Kaltfront

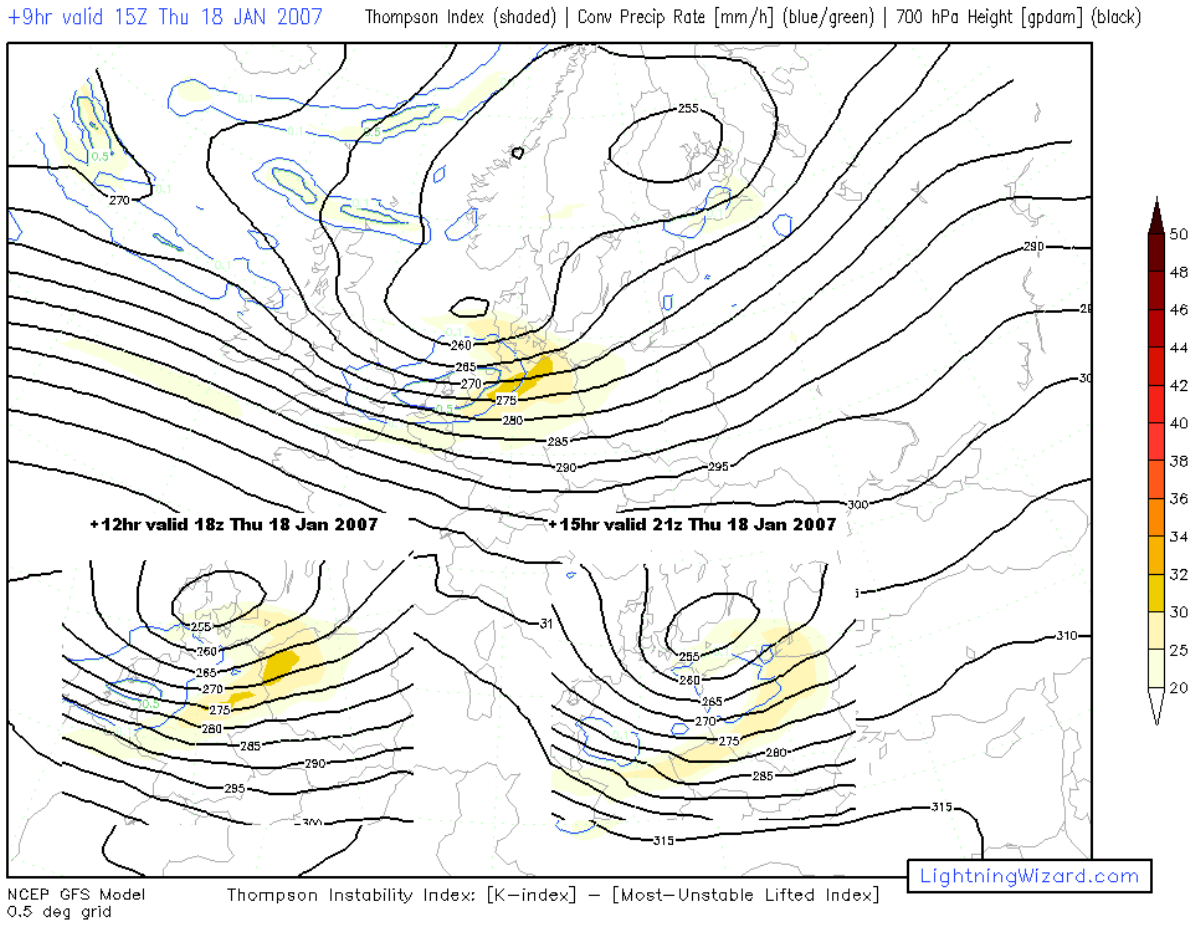
300 hPa Höhenwind (in Knoten)



Die Kaltfront befand sich im linken Auszug eines markanten Jetstreaks mit über 250 km/h Windspitzen in 300 hPa. Hier herrscht maximaler Hebungsantrieb mit Höhendivergenz, sodass großräumig kräftige, aufwärts gerichtete Vertikalbewegungen stattfinden. Der Südwesten Deutschlands blieb von den heftigsten konvektiven Umlagerungen an der Kaltfront verschont, da in der Jetachse bzw. leicht antizyklonal gelegen. Nicht sichtbar ist die Welle an der Kaltfront, die zusätzlich für Stabilisierung gesorgt hat.

Karte 1 - Thompson-Index

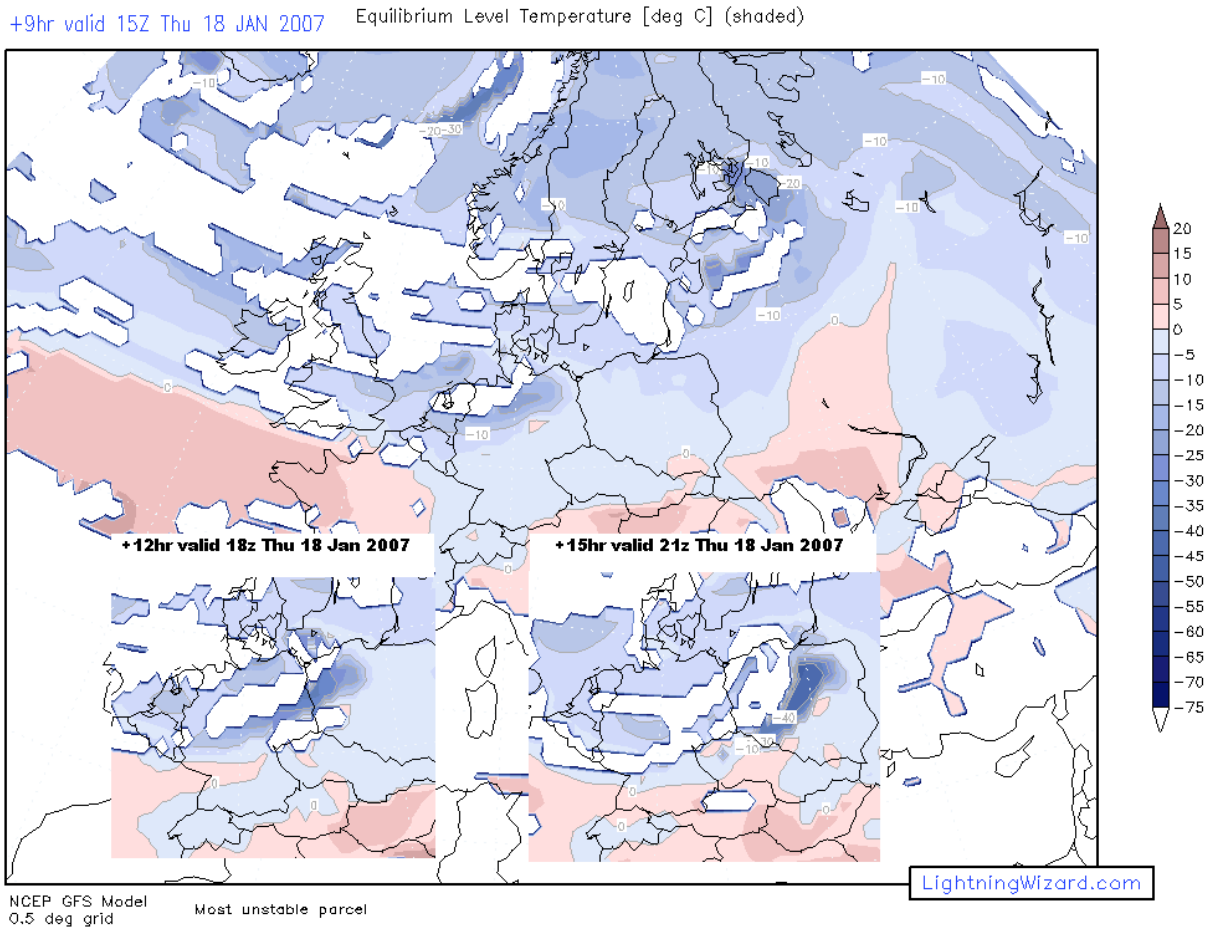
Der Thompson-Index errechnet sich aus der Differenz des K-Index und des Lifted-Index. Er beschreibt grob die vertikale Schichtungsstabilität durch das Verhältnis von Feuchte und Temperaturabnahme in der mittleren Troposphäre und unteren Troposphäre.



Der Thompson-Index ist für drei Termine vom Donnerstag, 18. Januar 2007 geplottet: 15z, 18z und 21z. Sie zeigen mit Durchgang der Kaltfront ein starkes Signal besonders über Nord- und Ostdeutschland sowie eine starke Abschwächung mit Südostwärtsverlagerung der Kaltfront nach 18z. Das durchgängige Signal deutet auf eine konvektive Linie hin, also verbreitet Schauer- oder Gewitterbildung. Gewitter waren also nach dieser Karte im genannten Gebiet sehr wahrscheinlich.

Karte 2 - Equilibrium Temperaturen

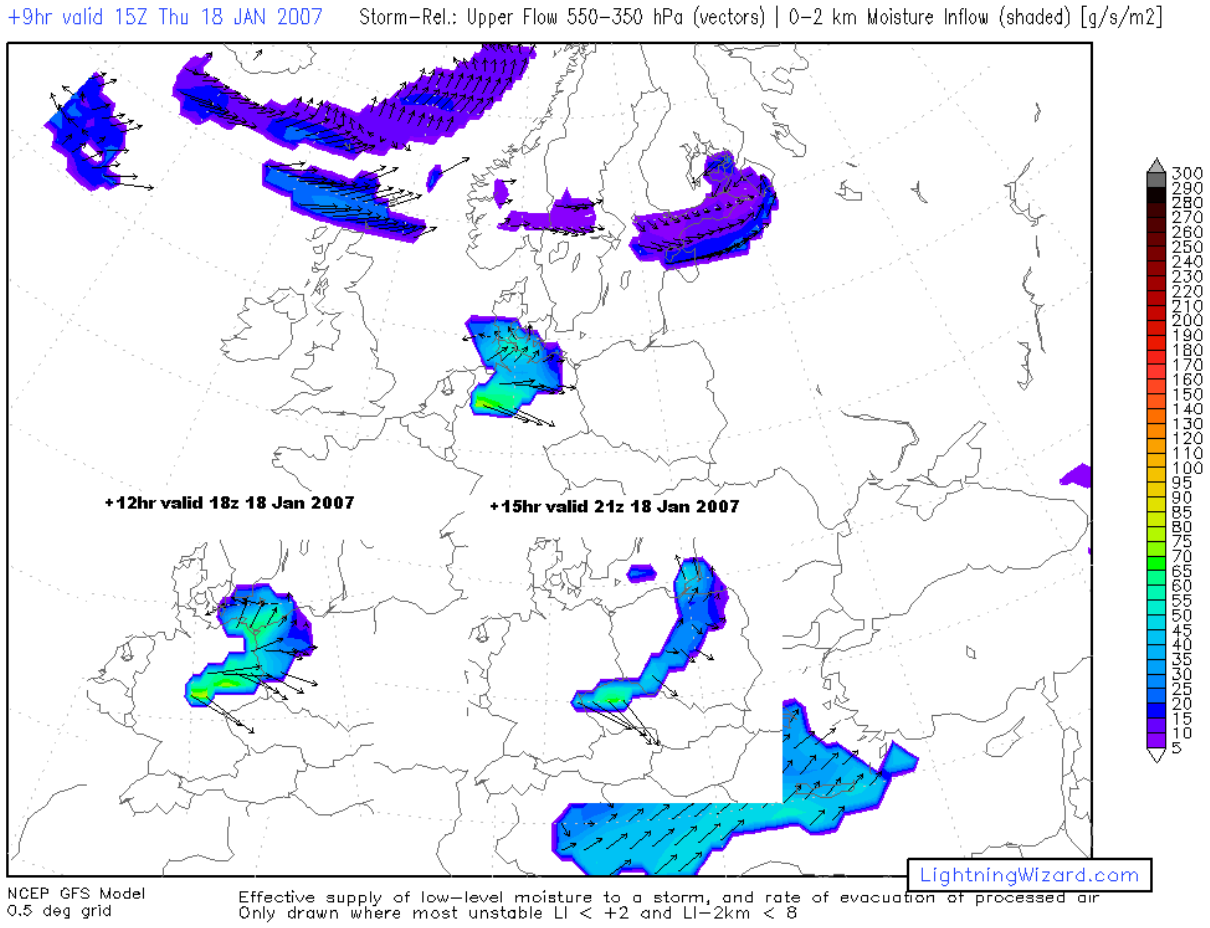
Die Gleichgewichtstemperaturen (der Wolkenobergrenzen) werden nur dann geplottet, wenn CAPE existiert. Ab unter -10°C sind Schauer möglich, unter -30°C Gewitter. Unter -50°C ist die Luftmasse recht sommerlich.



Die gerechneten EL-Temperaturen sinken mit Fortschreiten der Kaltfront weiter ab und erreichen -30°C zum 18z-Termin und bis zu -40°C über Polen. Die damit verbundene sukzessive Abkühlung der Wolkenobergrenzen lässt auf weit hochreichende Feuchtkonvektion mit größeren Labilitätsflächen schließen. Würde es sich dabei um sehr tiefreichende Höhenkaltluft handeln, wie sie beim Vorstoß arktischer Kaltluft mit -40°C in 500hPa auftritt, so wäre die CAPE-Fläche eher breit. Wie man aber anhand der Reanalysiskarten im ersten Teil der Analyse sehen konnte, handelte es sich im Höhenkaltluft im Bereich von -25 bis -30°C und einem verhältnismäßig hohen Geopotential. Die EL-Temperaturen sind folglich eher in der oberen Troposphäre angesiedelt und die CAPE-Fläche schmal, aber hochreichend. Mit Kenntnis der Geopotentialkarten kann man folglich von hochreichender, sommerlicher Feuchtkonvektion ausgehen.

Karte 3 - 0-2 km Feuchteeinströmen

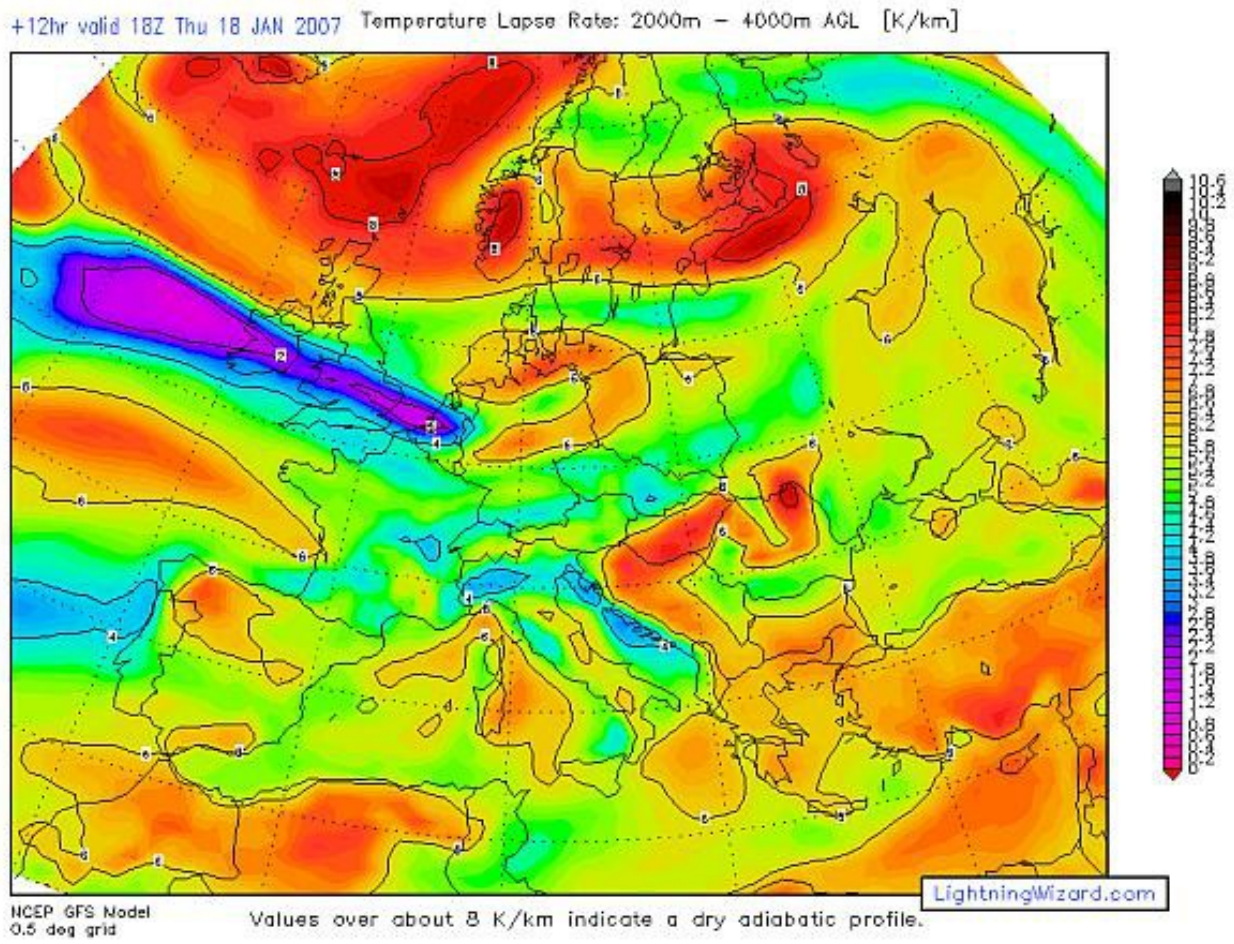
Die **0-2 km Moisture Influx-Karten** zeigen grob die Menge der Feuchte an, welche den untersten 2km (ca. die Obergrenze der konvektiven Grenzschicht) der Feuchtkonvektion zur Verfügung steht. Sie wird nur dargestellt, wenn die Schichtung instabil genug ist. Je höher die Werte, umso besser das Angebot an Feuchte für ein Gewitter.



Die Karten zeigen über weiten Teilen Norddeutschlands mit südostwärts fortschreitender Kaltfront günstige Werte bis zu 80g/s/m². Die Werte sind geschlossen erhöht, also entlang der Kaltfront bis mindestens Thüringer Wald. Dies deckt sich auch mit den Beobachtungen von Gewittern in der Verifikation. Derartig starke Signale im Winterhalbjahr sind eher ungewöhnlich - meist ist die bodennahe Luftmasse absolut zu trocken bzw. zu gut durchmischt.

Karte 4 - 2-4km Temperaturabnahmen

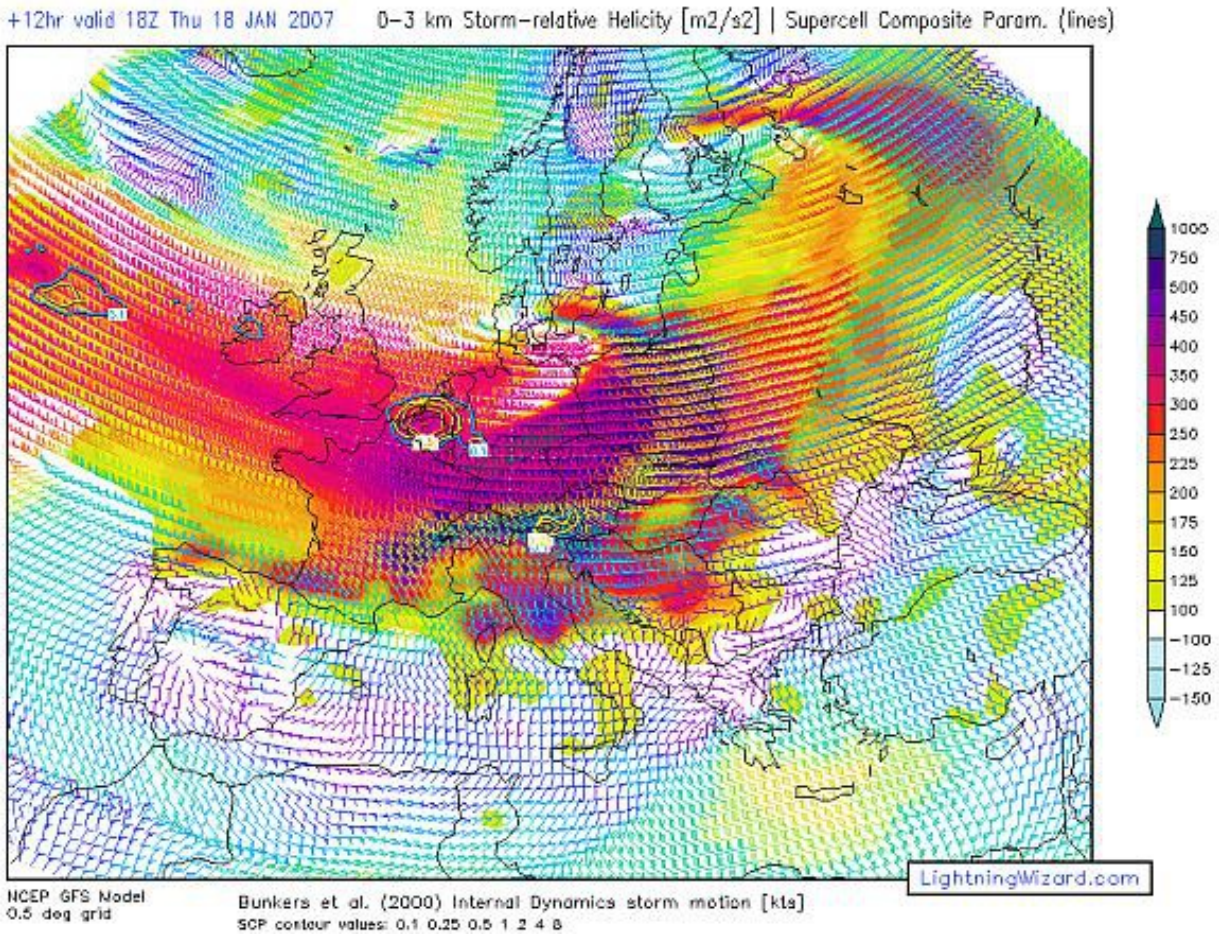
Je stärker die Temperaturabnahme zwischen 2 und 4 km, desto trockener ist diese Schicht. Ist die darunterliegende Schicht gleichzeitig feuchter, so kann potentielle Instabilität aufgebaut werden und bei synoptisch-skaliger Hebung freigesetzt werden. Inzwischen ersetzt durch **Warm Layer to 500 hPa Lapse Rate**, beschreibt aber im wesentlichen dasselbe, nur andere Höhendifferenz.



Die Karte zeigt für den Abendtermin einen hufeisenartigen Schwaden etwas trockenerer Luft über Nord- und Ostdeutschland bis nach Westpolen. Die Region deckt sich in etwa mit dem Verlauf von Okklusions- und Kaltfront. Hier wird also potentielle Instabilität erzeugt, die bekanntlich im linken Jetauszug auch freigesetzt wurde. Weiter stromaufwärts über Benelux und England bis Irland gehen die Lapse Rates dramatisch zurück bzw. sogar in den positiven Temperaturbereich, was starke Warmluftadvektion und damit Stabilisierung anzeigt.

Karte 5 - 0-3km Storm-relative Helicity

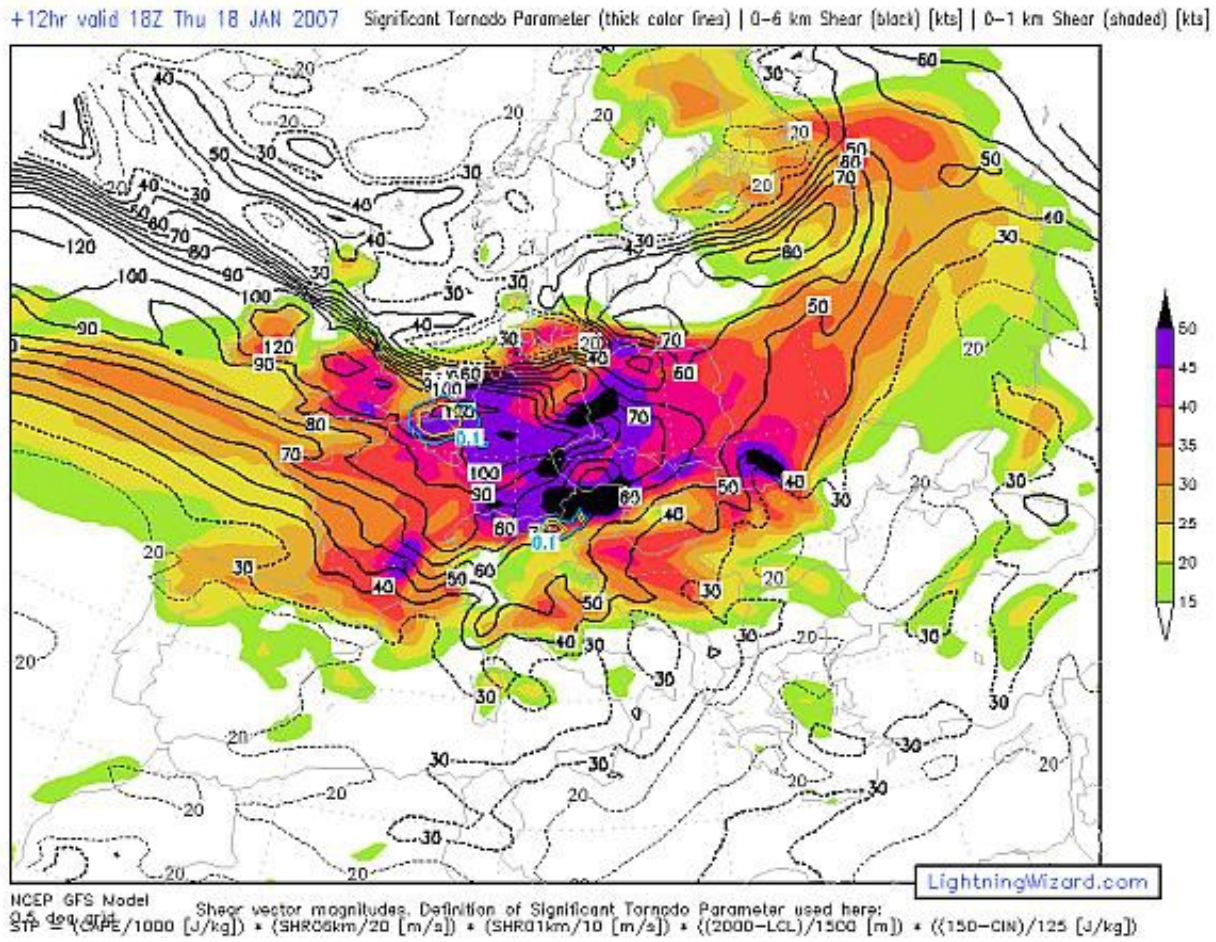
Die Helizität ist ein Maß für das Potential von Superzellen und trägt die Einheit [m²/s²]. Sie beschreibt das Verhältnis der in ein Gewitter einströmenden Luft zu dessen Verlagerungsrichtung, ab etwa 150m²/s² ist die Gefahr von Mesozyklonen gegeben, ab 300 m²/s² können starke Tornados auftreten. Diese Werte sind allerdings jedoch bloße Richtwerte - eine entsprechende Bandbreite ist vorhanden und zu berücksichtigen. Bei rein vorhander Geschwindigkeitsscherung kann Helizität von der Mesozyklone "gesammelt" werden, wenn sie von der mittleren Führungsrichtung ausschert.



Zum 18z-Termin zeigt die Karte extreme Helizität im Bereich von verbreitet über 400m²/s², in der Spitze bis zu 700m²/s². Wichtig ist die Lage der stärksten Helizität im Verhältnis zur Position der Kaltfront in der Modellprognose für 18z. Anhand der obigen Karten erkennt man, dass die Kaltfront bzw. die Bereiche erhöhter potentieller Instabilität und Feuchtezufluss vor der rückseitigen Kante des Helizitätsfeldes liegen, d.h. Scherfelder und Front zusammenfallen.

Hinter der Front geht die Scherung vorübergehend zurück, ehe sie mit der Troglinie über den Niederlanden und Niedersachsen erneut zunimmt.

Karte 6 - 0-6km Scherung (schwarz), 0-1km Scherung (farbig)

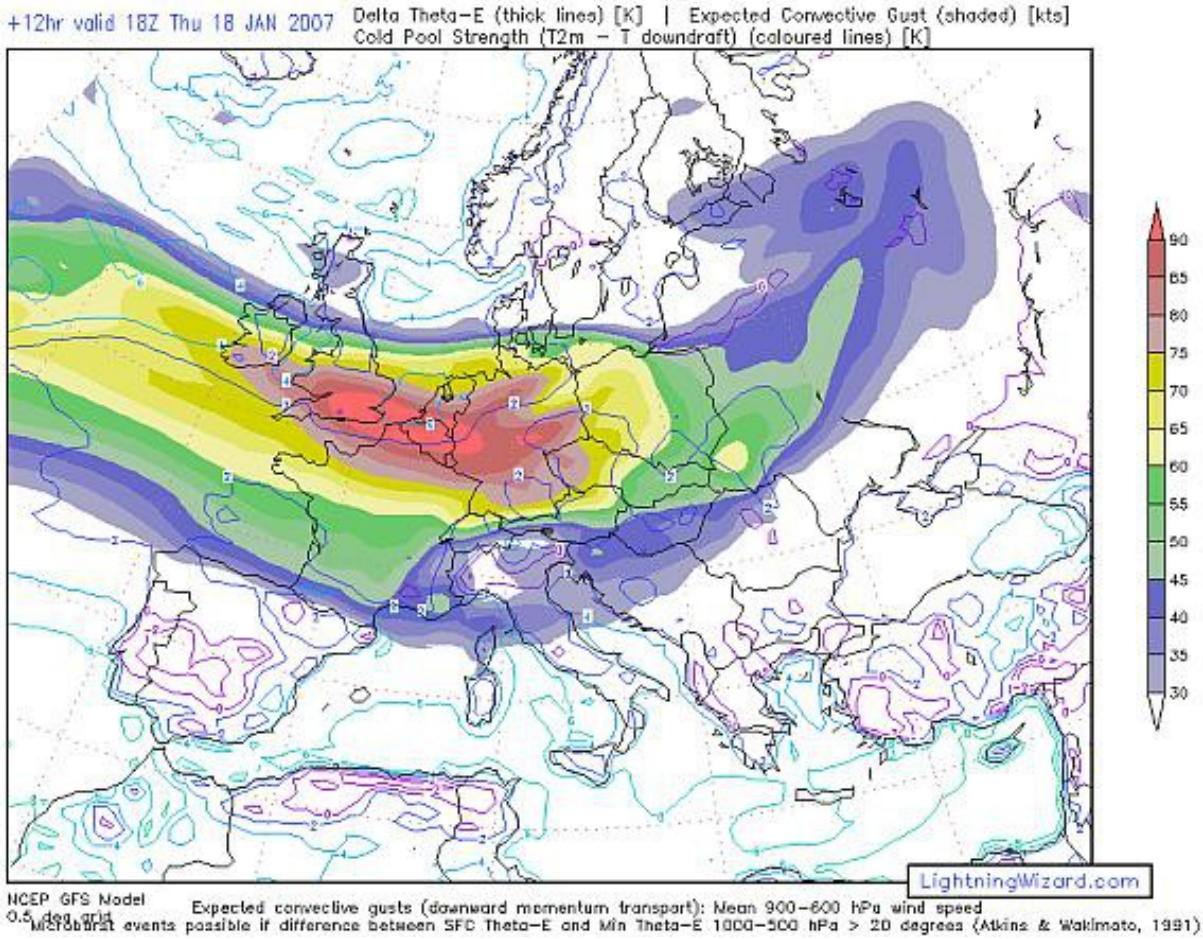


Die vertikale Windscherung für 18z ist am oberen Anschlag der Skala. Die 0-1 km Scherung (LLS) erreicht verbreitet 40-50Kn über ganz Deutschland, besonders markant im Bereich der Kaltfront (schwarze Fläche) sowie entlang der Alpen im Warmsektor ("*barrier jet*"). Die 0-6 km Scherung (DLS) erreicht über Norddeutschland nur 20-40 Kn, da nahe am Kernbereich der Zyklone gelegen.

Weiter südwärts steigt sie rasch auf bis zu 70Kn, im Westen bis auf über 100Kn an. Im Bereich der Kaltfront liegen sie bei 30-70Kn. Das Verhältnis von LLS und DLS lässt folgende Aussage zu:

Die starke bodennahe Scherung ermöglicht linienförmige Gewitter und vor allem geradlinige Windböen (Downbursts). Bei gleichzeitig starker hochreichender Scherung sind auch organisierte Gewitter (eingebettete Mesozyklonen) möglich, mit entsprechend erhöhtem Tornadorisiko.

Karte 7 - Downburstpotential



Die Karte zeigt farbig die zu erwartenden, **konvektiven** Böen bei vertikalem Impulsfluss. Sie liegen verbreitet bei 70 Kn Minimum bis zu über 90 Kn Maximum, auch im Bereich der Kaltfront. Dies deckt sich gut mit den beobachteten Böen von 80 Kn in Düsseldorf und Berlin, 75 Kn in Magdeburg, Braunschweig und den schweren Waldschäden bis hin zu T4 (um 200km/h, ca. 110Kn), die etwa im Erzgebirge registriert wurden.

Fazit:

Die Hauptgefährdung mit Durchzug der Kaltfront bestand in schweren Gewittern mit vorwiegend geradlinigen Winden, deren Spitzenböen bis zu 170km/h, teilweise auch über 200km/h erreichen konnten. Ein gewisses Tornadorisiko konnte wegen der extremen vertikalen Windscherung nicht ausgeschlossen werden. Aufgrund der zügigen Südostwärtsverlagerung der Kaltfront war eine lokale Vorhersage kurzlebiger Mesozyklonen nahezu unmöglich.

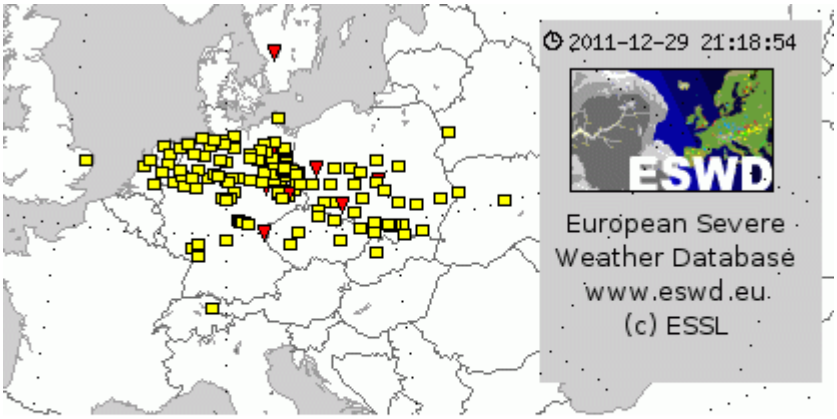
ESTOFEX-Prognose von Donnerstag, 18.1.2007, 07.52 UTC:

Die gesamten Prognose (lang) kann man hier nachlesen. Nachfolgend die relevanten Auszüge bzgl. der Auswirkungen:

> Current thinking is that at least weak instability will be present sufficient to allow a strongly-forced convective line along the cold front [...]
>
> Convection that forms may merge into a **well-organized linear MCS** as strong vertical wind shear will be able to balance the forming cold pool. Such a convective line may produce even higher wind gusts due to mesoscale low-level jets in the range of the cold pool. This scenario includes widespread severe wind gusts as well as a couple of very high **wind gusts of more that 40 m/s**.
>
> In both scenarios, high low-level SRH values will be present in the warm sector. **Embedded mesocyclones** may form along the convective line, capable of producing isolated large hail and **tornadoes**. There is also a chance for **non-supercell tornadoes** along the leading gust front given high background helicity and locally favorable low-level buoyancy.

ESTOFEX ging also von einer gut organisierten Böenlinie aus, die Windböen von mehr als 144 km/h produzierten könne, sowie mit eingebetteten Mesozyklonen, die großen Hagel und Tornados hervorrufen können. Auch nichtmesozyklonale Tornados waren an der Böenfront denkbar.

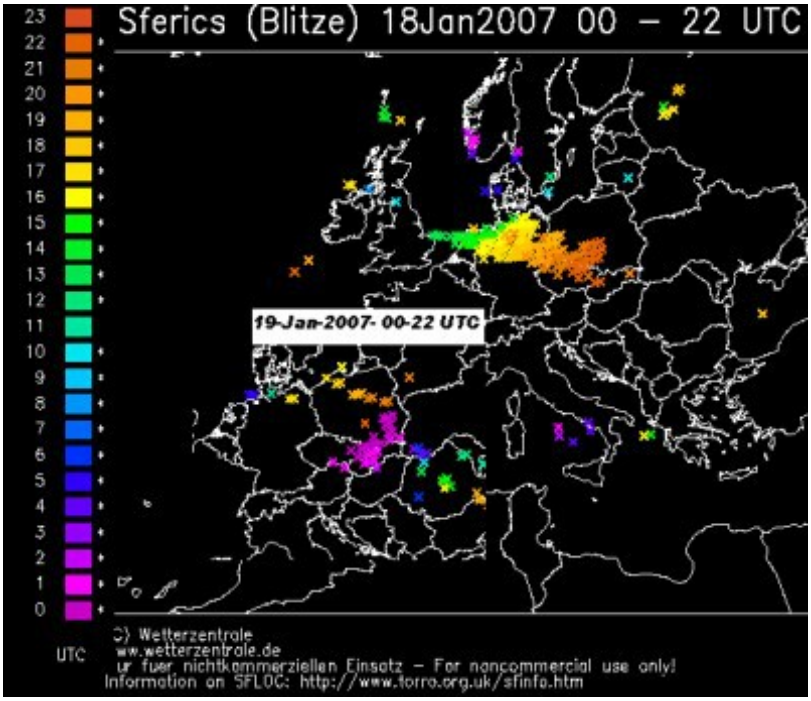
Verifikation:



rot: Tornados, gelb: Böen > 90 km/h
Zeitraum: 18.1.07,00 UTC - 19.1.07, 23 UTC
ab QC0+ (auf Plausibilität geprüft)

Nach der ESWD-Datenbank wurden an der Kaltfront Tornados in Ostdeutschland, Tschechien und Polen beobachtet, sowie verbreitet schwere Windböen bis zur Orkanstärke.

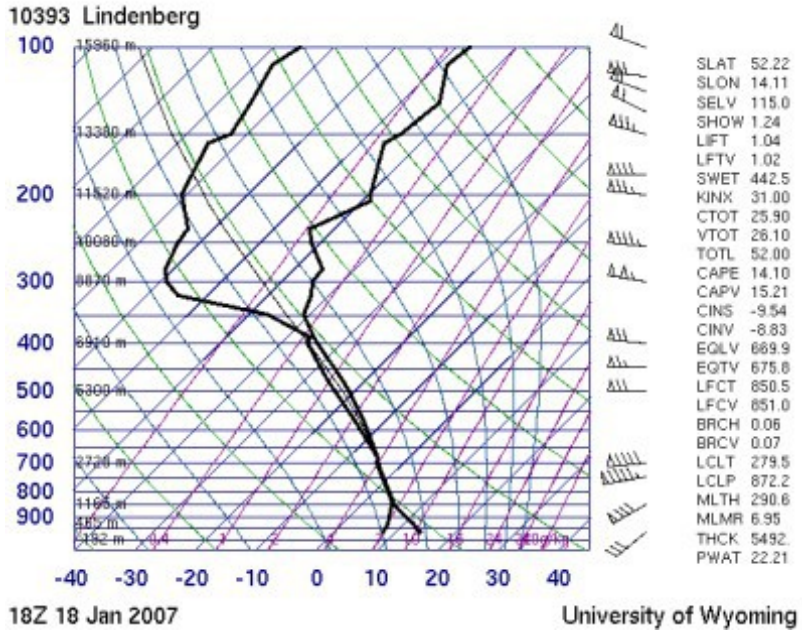
Blitzkarte, 18. und 19. Januar 2007, jeweils 00-22 UTC



Die Südostwärtsverlagerung der Gewitter in Zusammenhang mit den Gewittern ist sehr schön anhand der registrierten Blitze der beiden Tage erkennbar.

Die Gewittertätigkeit begann zwischen 13 und 14 UTC am Ausgang des Ärmelkanals und verstärkte sich rasch auf dem Festland. Der Faktor der diabatischen Erwärmung durch Einstrahlung ist hier allerdings nahezu zu vernachlässigen, da die gewittrige Böenfrontlinie in ein skaliges Regengebiet an der Kaltfront eingebettet war. Am späten Abend griffen die Gewitter auf Polen, Tschechien und Slowakei über. Bis 2 UTC erreichten die Gewitter noch den äußersten Norden Österreichs, wo im Waldviertel ebenfalls schwere Waldschäden entstanden. Danach hörte die Gewittertätigkeit auf - der Höhentrog verlagerte sich rasch ostwärts, während die Kaltfront aus dem Bereich des Hebungsantriebes herauslief.

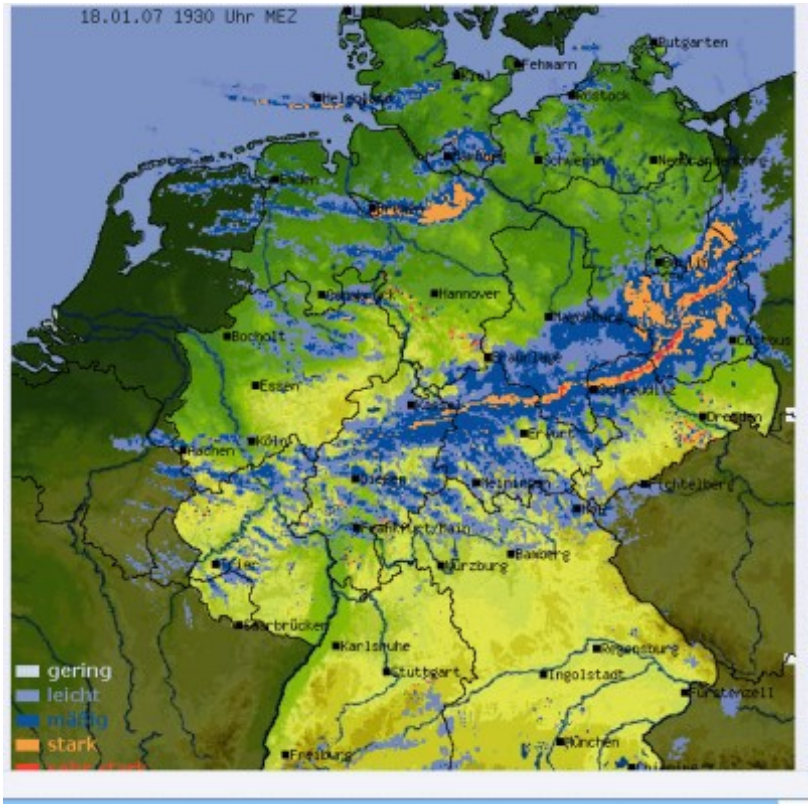
Radiosondenaufstieg von Lindenberg, Brandenburg, 18.1.2007, 18 UTC



Das wohl repräsentativste Sounding für die Kaltfront zeigt extreme vertikale Windscherung mit 30 Kn in Bodenniveau und 80 Kn in 850hPa, dessen Fläche hier auf 1160m abgesunken ist. In etwa 750 hPa sind es fast 100 Kn. Mit dem zunehmenden Hebungsantrieb konnte geringer CAPE bei nahezu feuchtneutraler Schichtung bis etwa 350hPa Höhe freigesetzt werden, dies entspricht eher sommerlichen Bedingungen für hochreichende Feuchtkonvektion.

Das Windmaximum, das sich auf die untere Troposphäre beschränkt, verursachte die beobachteten bogenförmigen Segmente bei der Kaltfrontpassage.

Radarbild von 18.1.2007, 18.30 UTC



Das Radarbild zeigt die Kaltfront mit der stärksten Aktivität über Ostdeutschland, als auch mehrere Tornados der Stärke F3 auftraten. Die bogenförmigen Ausbeulungen entlang der Front zeigen ein LEWP (Line Echo Wave Pattern), was prinzipiell die Gefährdung durch Downbursts und Tornados anzeigt. Nach Wetterberuhigung hinter der Front folgen von der Nordsee teils markante Schauerstaffeln nach, die weitere Orkanböen brachten.

Quelle : Wetterspiegel bzw. Marco Puckerts Kyrillanalyse

Detailliertere Erläuterung:

In der niederen Troposphäre waren die Winde viel stärker als in der mittleren und oberen Troposphäre. Als Folge sind die konvektiven Zellverbände mit der Höhe zwar nach vorne geneigt, jedoch im unteren Bereich noch stärker nach vorne ausgestülpt. Der ausgeprägte **Low-Level-Jet** führte zur Verdunstungskühlung und damit zur Beschleunigung der Abwinde. Da die Schichtung hochreichend feucht war, war dieser Effekt geringer als bei eher trockenen konvektiven Grenzschichten, wie man sie im Sommer gerade in dieser Region findet. Jedoch wurde dies hier durch den Herabtransport der extremen Höhenwinde kompensiert. Mit fortschreitender Böenfrontlinie wird der Abwind langsam dominant und die Intensität schwächt sich allmählich ab, bis der Niederschlag skaligen Charakter annimmt, wie man ihn von mesoskaligen konvektiven Systemen her kennt.

Gewitterlinien, die derartige Bogenechos aneinandergereiht beinhalten, bezeichnet man auch als **Line Echo Wave Pattern (LEWP)** (Lineare Echowellenstruktur). Sie beinhalten die Gefahr von großem Hagel, schweren Fallböen und Tornados. Zahlreiche **Verdachtsfälle** in Thomas Säverts **Tornadoliste** und bereits drei bestätigte Tornadofälle im F3-Bereich (Lauchhammer, Brachwitz/Kemnitz, Wittenberg) sowie zahlreiche Waldschäden mit T3+-Schäden belegen den Unwettercharakter der durchziehenden LEWP besonders in Ostdeutschland.

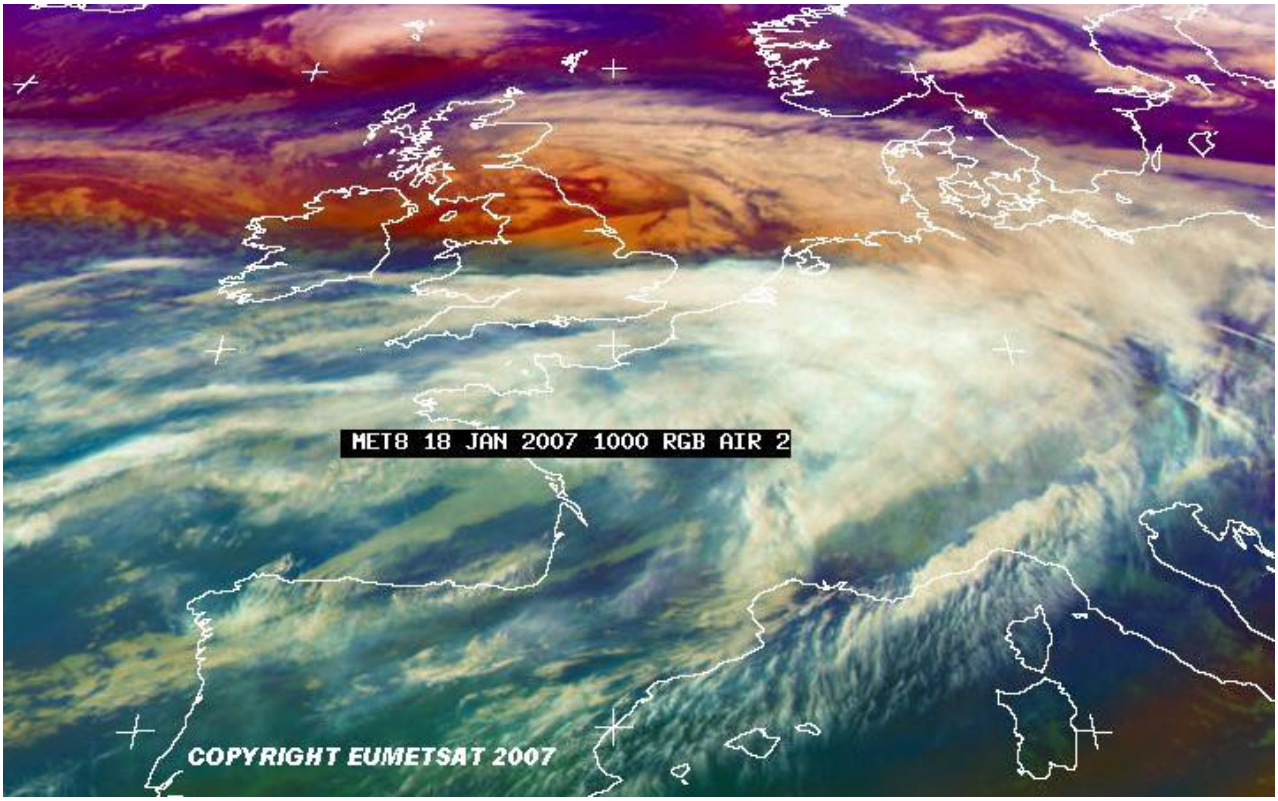
Interessanterweise wurden die stärksten Böen vor und während der ersten Minuten der Frontpassage beobachtet, danach ließ der Wind ruckartig nach. Ursache war die starke Abkühlung mit den einsetzenden Niederschlägen sowie Hagel/Graupel, welche zur Bildung eines vorübergehenden Kaltluftsees führten. Dieser entkoppelte die Höhenwinde vom Boden. Mit den nach der Frontpassage wieder steigenden Temperaturen bei gleichzeitigem Temperaturrückgang mit dem durchgehenden Höhentrog nahm die Labilität wieder zu und der Kaltluftsee wurde beseitigt, wodurch auch wieder stärkere Böen auftraten.

Eine ausführliche Darstellung zur Gewitterlage während Kyrill kann einer Präsentation von Christoph Gatzen (Estofex-Mitglied) entnommen werden, die während der Unwetterkonferenz in Trieste, Italien, am 10.-14.September 2007, gehalten wurde.

3.2 Entwicklung der Kaltfront in Satellitenbildern

Satellitenbild von 18.1.2007, 10 UTC

Verwendet wird hier ein farbiges RGB-Composit von EUMETSAT, welches die Luftmassen verschiedener Höhe anzeigt. Pinke Farben bedeuten dabei Luft aus der Stratosphäre bzw. oberen Troposphäre, bräunliche Farben der mittleren Troposphäre. Je heller die Bewölkung, desto hochreichender ist sie.

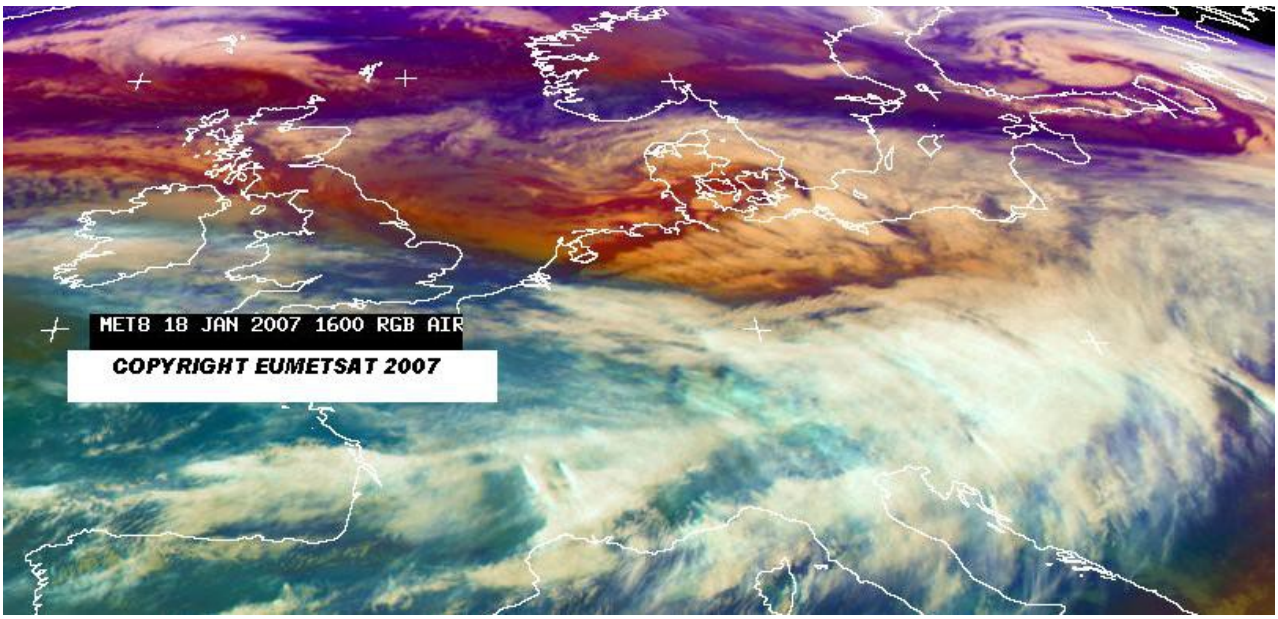


Das Satellitenbild zeigt den Kern der Zyklone über Ostengland.

Die Okklusionsfront liegt bereits kaltseitig der Jetachse, sodass deren Wolkenobergrenzen im Vergleich zum Warmsektor bzw. dem warmen Förderband deutlich abgesunken sind. Quer über England schließt die Kaltfront als seichte, relativ kompakte Linie an. Sie wird vollständig von trockener Stratosphärenluft überlagert, die bis in die mittlere Troposphäre absinkt und dadurch die Wolkenobergrenzentemperaturen erwärmt.

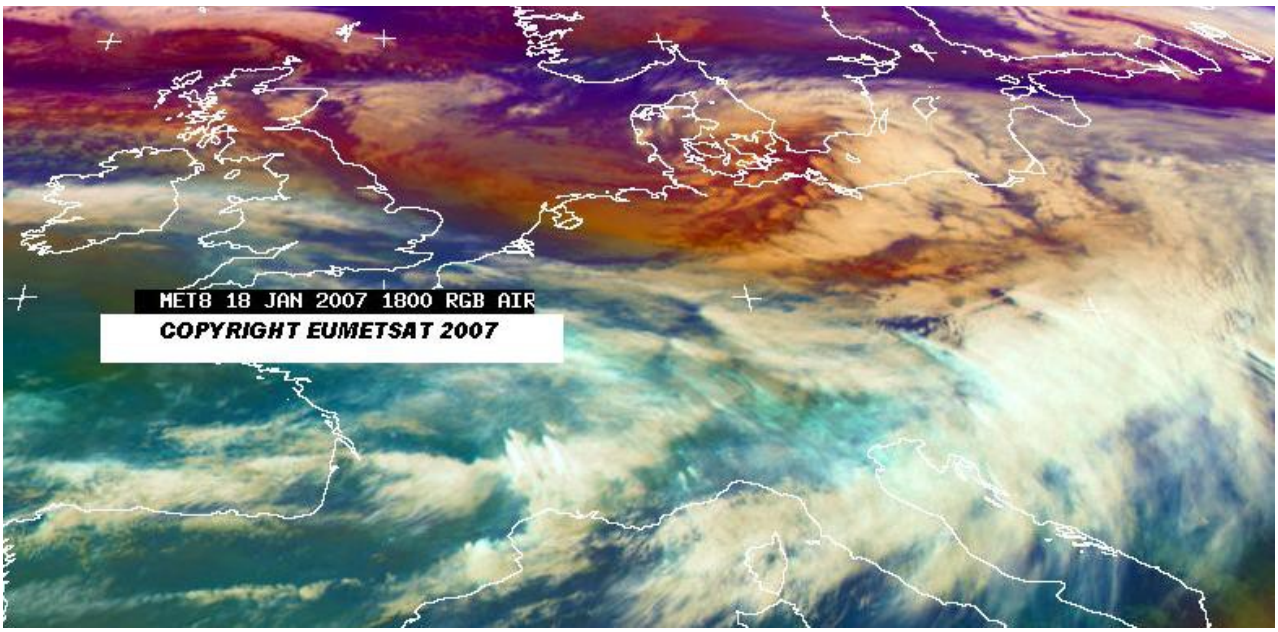
Gleichzeitig aber führt diese Dry Intrusion zur Bildung potentieller Instabilität, da die untere Troposphäre mit Feuchte angereichert ist. Noch überwiegt die Erwärmung der Wolkentops - Gewitter treten bis dahin noch keine auf - stattdessen bilden sich seichte Schauer, die aber dennoch schwere Windböen in Orkanstärke über England hervorrufen.

Satellitenbild vom 18.1.2007, 16 UTC



Am Nachmittag um 16 UTC liegt der Kern über dem Kattegat, mit deutlich einspiralisierter Okklusionsfront. Das warme Förderband hat sich von der Kaltfront entfernt, welche deutlich an Intensität zugenommen hat. Die Wolkenobergrenzen sind angestiegen, da sich die Dry Intrusion auf höhere Troposphärenschichten beschränkt. Da sie die Kaltfront weiterhin überrennt, bleibt es bei hoher potentieller Instabilität, die durch den Hebungsantrieb auch freigesetzt wurde. Die Kaltfront selbst weist zunehmend ein "Wabenmuster" auf, deren einzelne Wabenzellen nach der Höhenströmung orientiert sind. Rückseitig der Kaltfront setzt die typische postfrontale Subsidenz ein, nachfolgend bildet sich bereits eine Troglinie an der Nordseeküste.

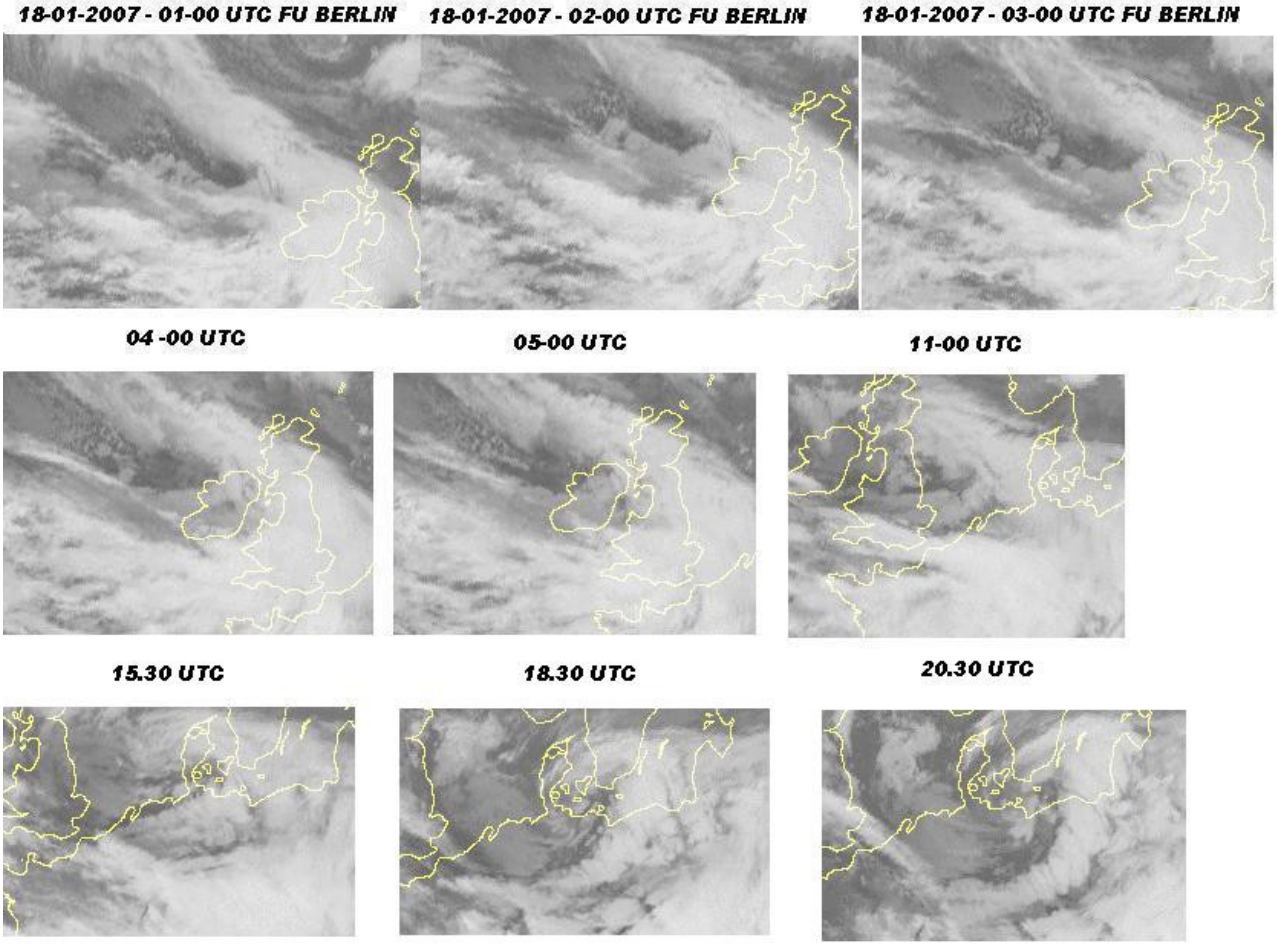
Satellitenbild vom 18.1.2007, 18 UTC



Das wohl spektakulärste Satellitenbild um 18 UTC zeigt eine massive Kaltfront von Südschweden bis in die Mitte Deutschlands reichend. Ihre Ausdehnung nimmt wie ein Keil von Südwest nach Nordost zu, was sowohl mit dem stärksten Hebungsantrieb im Nordosten als auch dem zugehörigen Höhentrog zusammenhängt, der hier die kälteste Höhenkaltluft durchschwenken lässt.

Sowohl an Vorder- als auch Rückkante der Kaltfronten zeigen sich konvexe Ausstülpungen, die von dem starken LLJ herrühren. Die Absinkzone rückseitig der Kaltfront kristallisiert sich hier ebenfalls gut heraus, ebenso wie die nachfolgende Troglinie mit verstreuten, breitflächigen Multizellen. Als maßgeblichen Grund für die drastische Verstärkung der Kaltfront mit ab 14 UTC eingebetteten Gewittern kann die vertikale Lage des Dryslots herangezogen werden. Zunächst reicht das Absinken stratosphärischer Luft bis in mittlere Höhen und verhindert durch das entsprechende Absinken der Tropopausenhöhe hochreichendere Feuchtkonvektion über etwa 500hPa hinaus. Im weiteren Verlauf aber zieht sich die Stratosphärenluft in höhere Troposphärenschichten (ca. 350hPa) zurück, sodass die Wolkenobergrenzen ansteigen können.

IR-Einzelbilder der FU-Berlin



Am 18. Januar 2007 um 1 UTC kristallisiert sich erstmals das Unwetterpotential der Kaltfront heraus, da zu diesem Zeitpunkt die rückseitige Dry Intrusion die Kaltfront überrennt und deren Obergrenzen absenkt.

Im weiteren Verlauf wird die Diskrepanz der Wolkenobergrenzen von der Kaltfront zum warmen Förderband und der Okklusionsfront mit der herumgeführten Warmluftzunge immer deutlicher. In den frühen Morgenstunden wird das Bild undeutlicher. Zwar ist die Kaltfront weiterhin vorhanden, aber kaum organisiert. Erst gegen 11 UTC beginnt sich die Kaltfront erneut als scharfkante Linie zu formieren. Am Nachmittag wird der Liniencharakter immer deutlicher, ebenso die postfrontale Subsidenzzone. Am frühen Abend erreicht die Kaltfront ihre beeindruckendste Ausprägung mit den wabenförmigen Zellkomplexen, die wie an einer Perlenkette aneinandergereiht sind.

Zusammenfassung:

Verheerende Folgen hatte der Orkan für die Forstbestände - alleine in Deutschland wurden 20 Millionen Kubikmeter Holz vernichtet, die größten Schäden entstanden in Nordrhein-Westfalen und Sachsen. Selbst im Flachland wurden teils heftige Orkanböen registriert, beispielsweise in Berlin (146 km/h) und Düsseldorf (144 km/h). Auf dem Wendelstein (1832m) in den Bayrischen Alpen wurden 202 km/h gemessen, auf dem Feuerkogel (1618m) in den oberösterreichischen Voralpen 207 km/h und 224 km/h waren es am Schweizer Aletschgletscher (Konkordiahütte, 2850m). Es war der erste Orkan seit dem 28. Oktober 2002 (Orkantief "Jeanett"), der weite Teile Deutschlands mit Orkanböen erfasste. Zudem verursachte die konvektiv geprägte Kaltfront zahlreiche Downbursts mit deutlich über 200 km/h Spitzenböen, in Sachsen-Anhalt und Brandenburg gab es insgesamt drei Tornados der Stärke F3, also mit Windgeschwindigkeiten um bzw. über 300 km/h. Am glimpflichsten kam Südwestdeutschland davon, wo die Kaltfront des Orkans von einer nachfolgenden Welle aufgehalten wurde. Kurioserweise wurden in Innsbruck im Nordföhn Kyrills höhere Temperaturhöchstwerte als im vorherigen Südföhn gemessen.

Dank ausgezeichneter Modellrechnungen, die bereits sieben Tage vor dem Zieltermin den Orkan in Intensität und Zugbahn verhältnismäßig zutreffend erfassten, konnten staatliche und private Wetterdienste rechtzeitig Unwetterwarnungen ausgeben und so schlimmeres verhindern.

KYRILL wirkte sich auch mit Süd- und Nordföhn in Innsbruck aus. Dazu habe ich eine separate Fallstudie verfasst: http://www.inntranetz.at/foehn/foehn-19-01-07.html

4. Quellen

- Bild vom Gaisberg – von mir
- Synoptische Entwicklung: www.wetter3.de
- Satellitenbilder: FU Berlin, University of Dundee, University of Bern, EUMETSAT 2007
- Blitzarchiv- und 300 hPa-Karte: www.wetterzentrale.de
- www.lightningwizard.com
- www.eswd.eu
- Radiosondenaufstieg: University of Wyomings
- Radarbild von Wetterspiegel