

Orkantief "**Emma**" und Randtief "Fee" am 01. und 02. März 2008

© März 2008 Felix Welzenbach / unwetterstatistik.at

Inhaltsübersicht

1. Einleitung
2. Synoptischer Verlauf - Entstehung Emmas und Fees
3. Durchgang der Kaltfront - Gewitterlinie mit Downbursts
4. Ausgewählte Satellitenbilder zur Wetterlage an beiden Tagen
5. Zusammenfassung
6. Referenzen

1. Einleitung - Namen sind Schall und Rauch

Wie schon in meiner vorigen Nachbetrachtung zu Sturmtief "Paula" am 27. Januar 2008 geschrieben, erscheinen die Namensgebungen der Tiefdruckgebiete seitens des "Wetterpaten" nicht immer nachvollziehbar. So sollen nach der "Historie" Tiefdruckgebiete unabhängig von näher definierten Kriterien benannt werden, wenn sie Mitteleuropa beeinflussen. Die beiden relativ kurzfristig entstehenden Randtiefs im Gefolge von "Paula" bzw. im Vorlauf von "Quitta" taten dies, bekamen aber keinen Namen. Ein Sturm ohne Namen macht sich seit den Orkanen "Wiebke", "Vivian" und "Lothar" nicht gut in den Medienberichten, da es sich dann um ein nicht greifbares Ereignis handeln würde. Die Benennung des Sturms am 27. Jänner 2008 als "Paula" ist daher im Nachhinein nachvollziehbar, auch wenn die beteiligte, den Sturm bringende Störung viel kleinräumiger als das ursprüngliche Tief "Paula" war.

Bei Orkan "Emma" war die Sachlage von vornherein klar und so berichteten alle Medien, egal ob aus Deutschland oder Österreich, über Orkantief "Emma", das am Samstag, 01. März 2008, über Mitteleuropa hinwegzog. Nicht so bei dem Nachfolgetief "Fee", das am Sonntag, 02. März 2008, in straffer Höhenströmung Mitteleuropa überquerte. In Deutschland wurde über "Randtief" oder das "neue Sturmtief" Fee berichtet, während der ORF Meldungen verlauten ließ wie:

„Emma zieht erneut über Österreich“

„Emma wird wieder stärker“

„Emma bestimmt auch am Sonntag das Wetter in Österreich“

Von einem Randtief war beim ORF niemals die Rede. Stattdessen wurde es offenbar als Selbstverständlichkeit angesehen, dass ein- und dasselbe Sturmtief gleich zweimal über eine Region zieht. Maßgeblich beigetragen zu dieser Verwirrung hat die unsinnige Namensgebung des Wetterpaten, die täglich bei der Benennung des Randtiefs wechselte. Anhand der synoptischen Wetterkarten lässt sich leicht nachvollziehen, dass das ursprünglich "Fee" getaufte Tiefdruckgebiet auch das spätere Randtief war, das am Sonntag, 02. März 2008, über Österreich hinwegzog. Ebenfalls wird aus den Analysen deutlich, dass "Emma" schon in der zweiten Nachthälfte seinen Einfluss auf Österreich verlor und die nochmalige Druckgradientverschärfung am Sonntag auf das Konto von "Fee" ging.

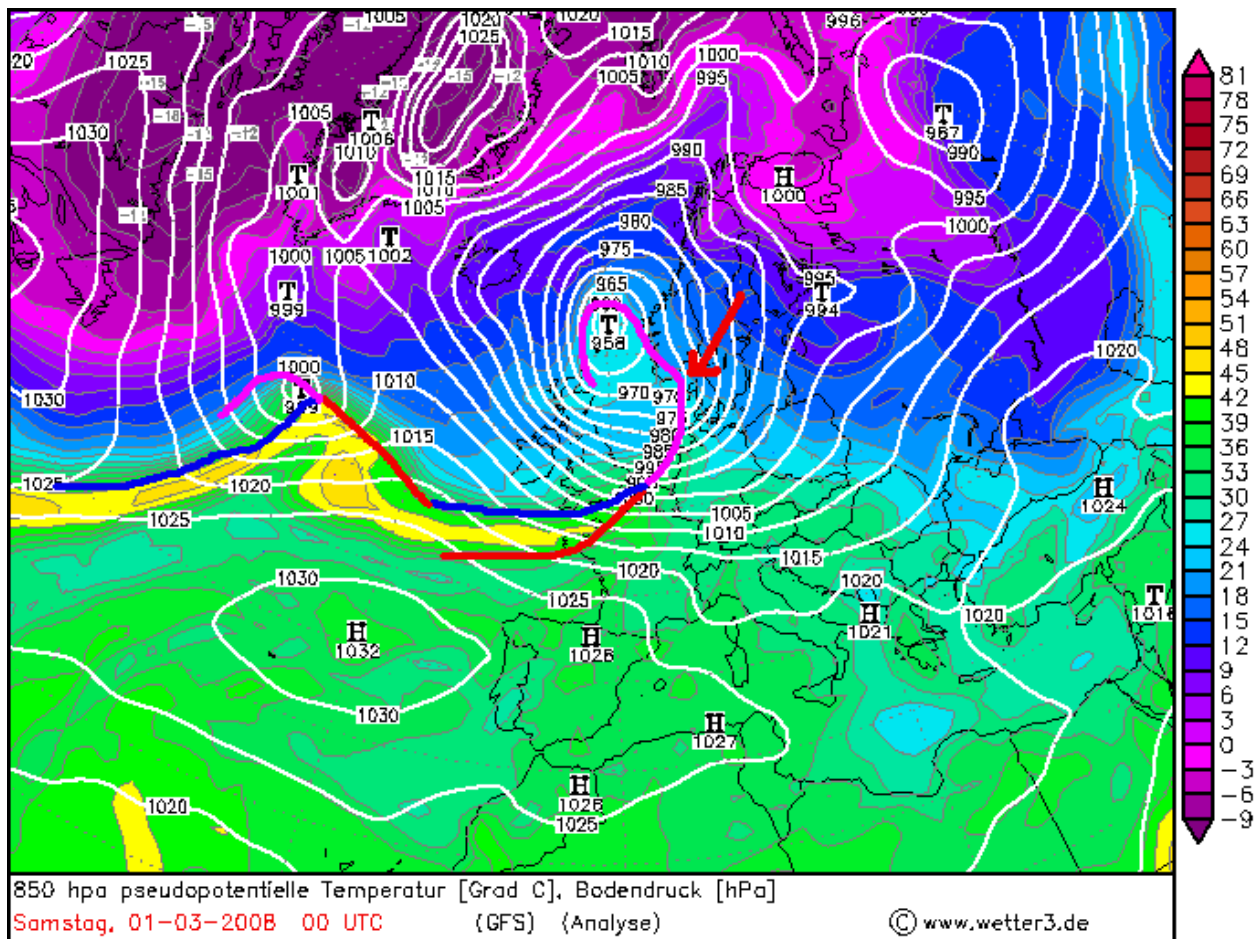
Zum Abschluss noch ein Wort zu den Stürmen selbst. Sie treten oft im Doppelpack auf. Bekannte Doppelsturmereignisse in der Vergangenheit waren:

- "Vivian" und "Wiebke" am 27.02. bzw. 01.03.1990
- "Lothar" und "Lothar Successor" am 26.12. bzw. 27.12.1999 ("Martin" folgte erst am 28.12. nach)
- Ex-Hurricane "Kyle" und "Jeanett" am 26.10. bzw. 27.10.2002
- "Gerda" und "Hanne" am 12.01. bzw. 13.01. 2004
- "Nina" und "Oralie" am 19.03. bzw. 21.03. 2004

Auch "Orkan Kyrill" am 18. Januar 2007 hatte einen Nachfolger, eine namenlose Randwelle, die sich an der wellenden Kaltfront von Kyrill gebildet hatte und im Laufe des 19. Januars 2007 über Mitteleuropa südostwärts zog. Jedoch blieb diese von der Wetter- und Windaktivität relativ unschädlich, lediglich in Innsbruck traten mit Nordföhn Böen bis 100km/h auf. Die Ähnlichkeiten während der Passage von Orkan "Emma" mit der Kaltfrontpassage von Orkan "Kyrill" sind frappierend, wenn man sich den Wetterablauf genauer besieht. Dazu nun mehr in der folgenden Analyse.

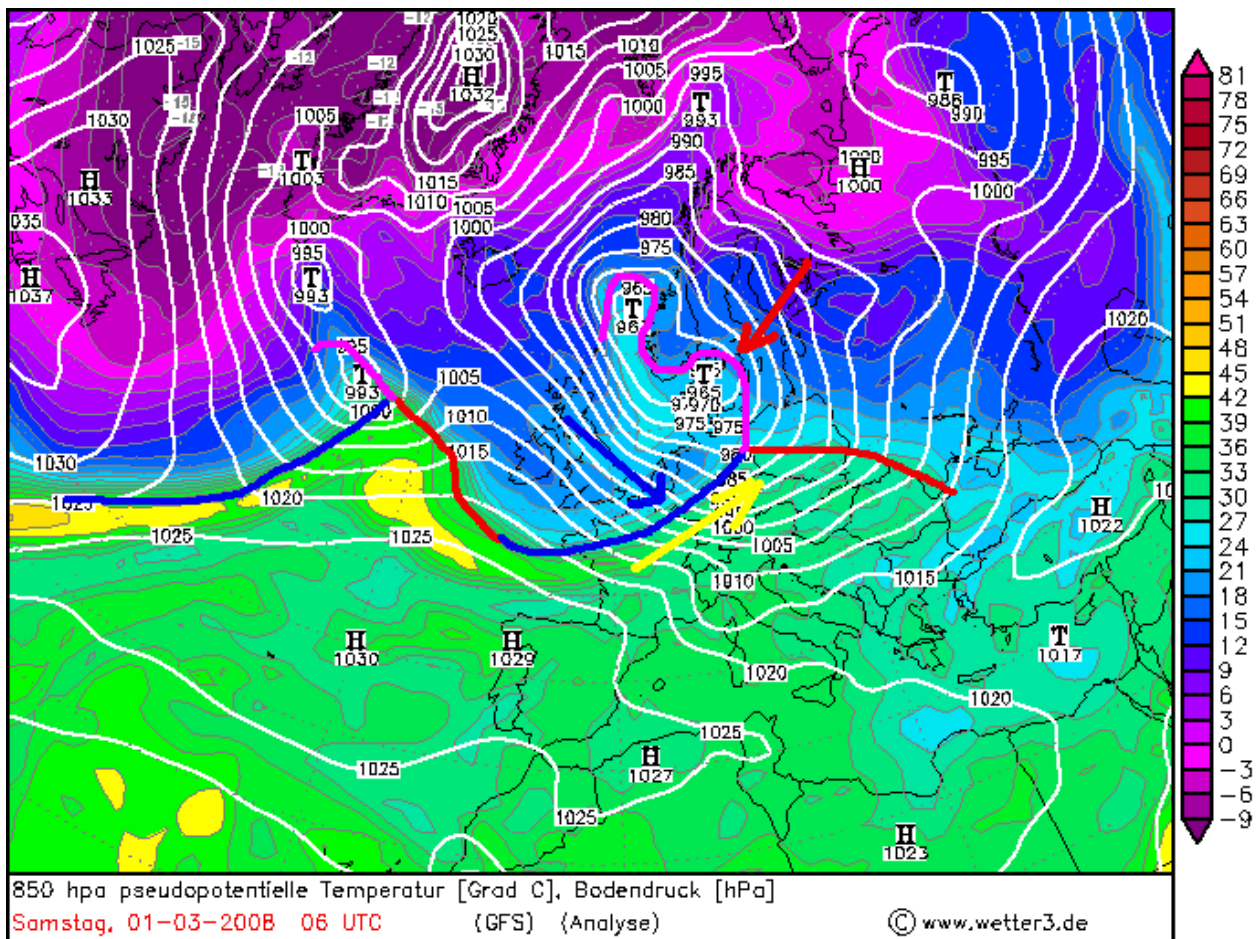
2. Synoptische Entwicklung von Emma und Fee

Ich werde mich bei der Darstellung des synoptischen Verlaufs beider Tiefdruckgebiete auf die Theta-e-Karten beschränken.



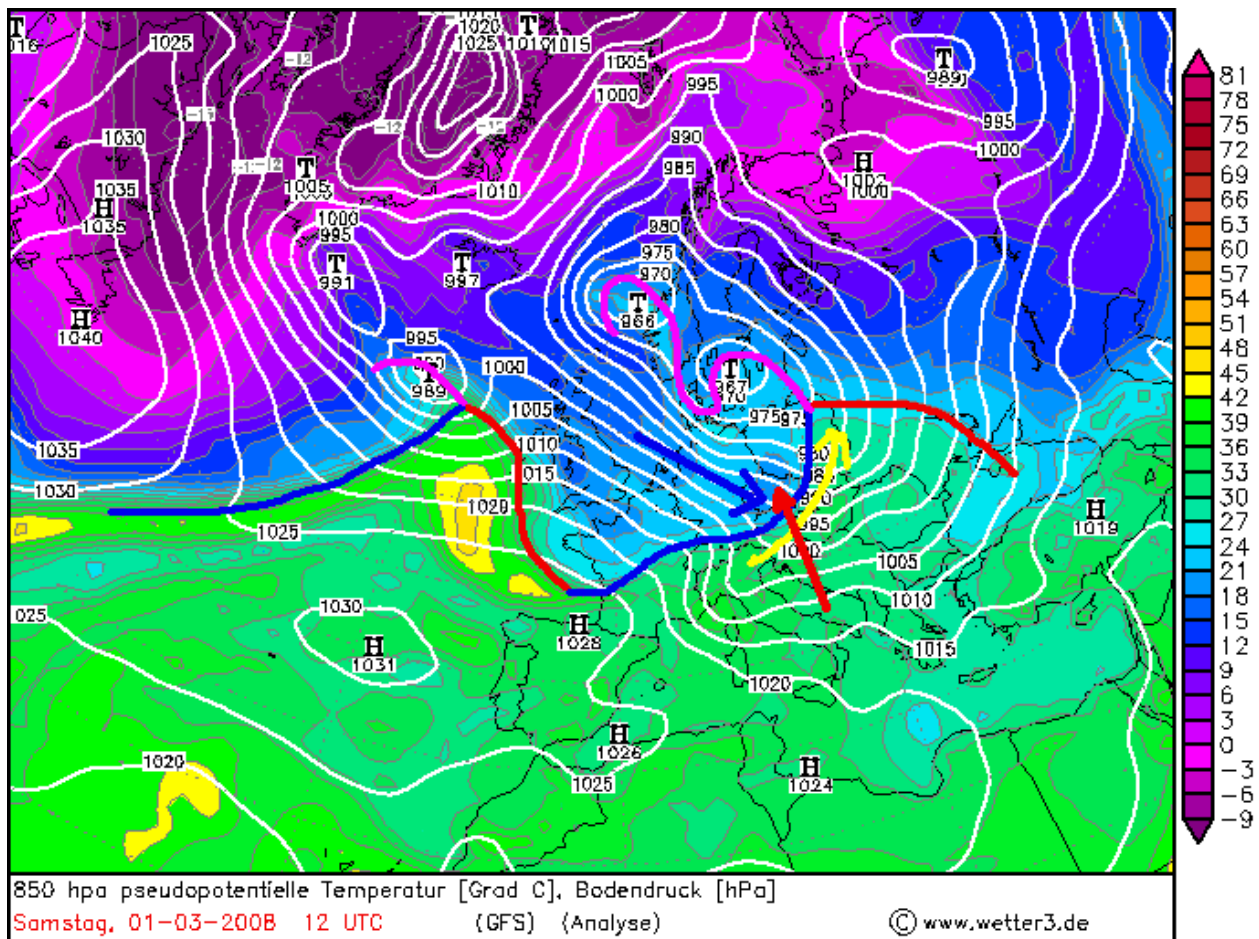
Samstag, 01. März 2008, 00 UTC

Orkantief Emma liegt mit Zentrum über der Norwegischen See und weist ein weitgehend okkludiertes Frontensystem mit schmalen Warmsektor westlich des Ärmelkanals auf. An der Stelle, wo die rote Pfeilspitze hindeutet, bildet sich im Lee des südsandinavischen Gebirges über dem Skagerrak ein zweiter Tiefdruckkern aus, im weiteren Verlauf als "Emma 2" bezeichnet. An der Kaltfront von Emma schließt die Warmfront des späteren Randtiefs "Fee" an, das bereits ein vollentwickeltes Frontensystem besitzt.



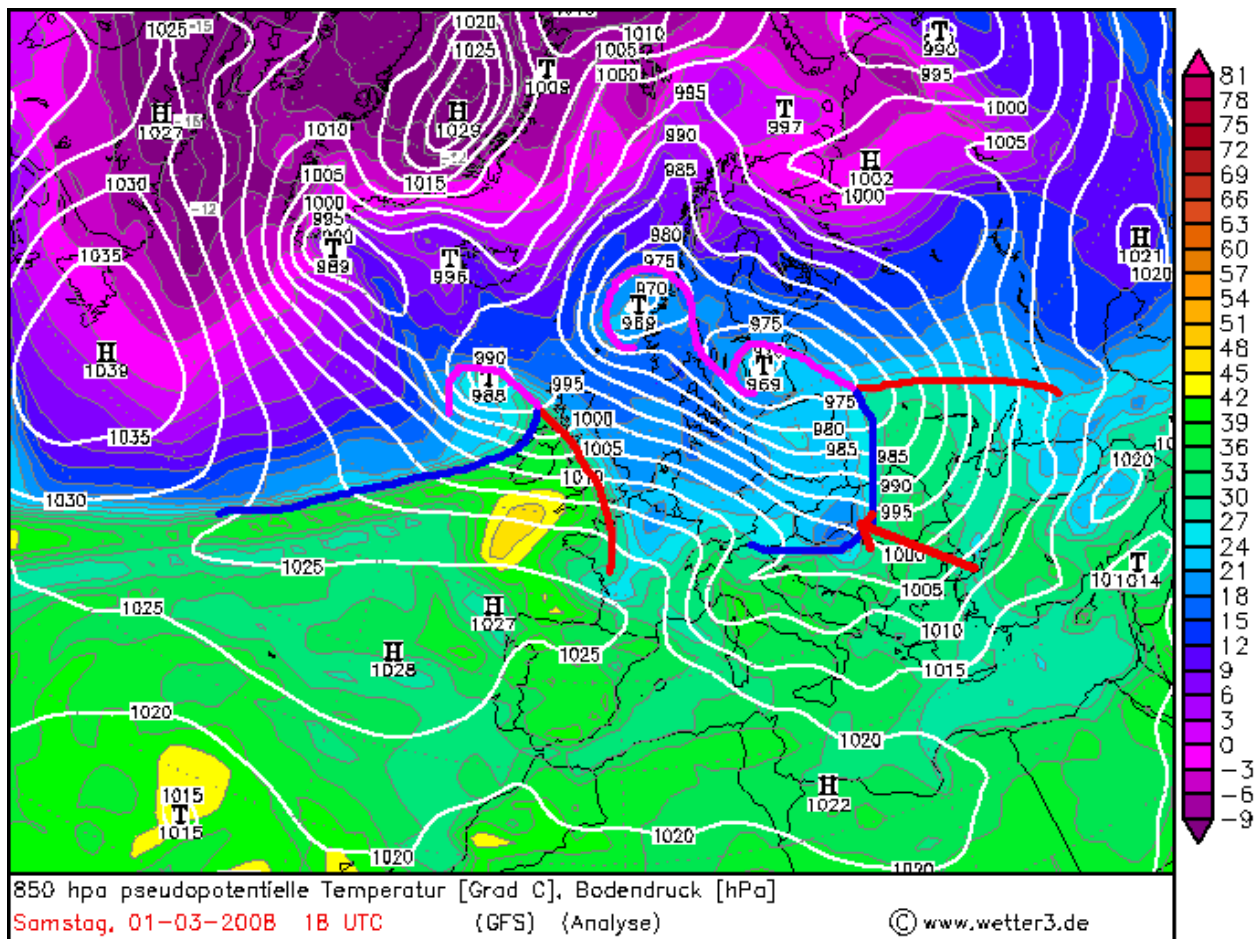
Samstag, 01. März 2008, 06 UTC

Orkantief Emma ist nun unzweifelhaft in zwei Tiefdruckkerne zerfallen. Emma 1 verharrt quasi-stationär über der Norwegischen See, während Emma 2 weiter nach Schweden zieht. Durch die herumgeholte Warmluft vorlaufend zur früheren Okklusionsfront hat sich eine neue Warmfront entwickelt, entsprechend wurde die frühere Okklusion über dem nördlichen West- und Mitteleuropa zur Kaltfront. Auffallend ist hier bereits die Ausrichtung von Warm- und Kaltluftadvektion zueinander. Sie stehen im rechten Winkel zueinander, was hinsichtlich der Frontogenese von großer Bedeutung ist. Diese Konstellation begünstigt einen starken thermischen Kontrast an der Kaltfront und eine markante Konvergenzlinie, also entsprechend intensiven Hebungsantrieb durch eine thermisch direkte Zirkulation. Wärmere Luft steigt präfrontal auf, kältere Luft sinkt postfrontal ab. Wie später in Teil 3 ersichtlich, spielt dies eine wichtige Rolle bezüglich der Bildung linearer konvektiver Systeme. Das Nachfolgertief Fee hat sich noch etwas vertieft und besteht immer noch aus einer recht energiereichen Warmsektorzyklone.



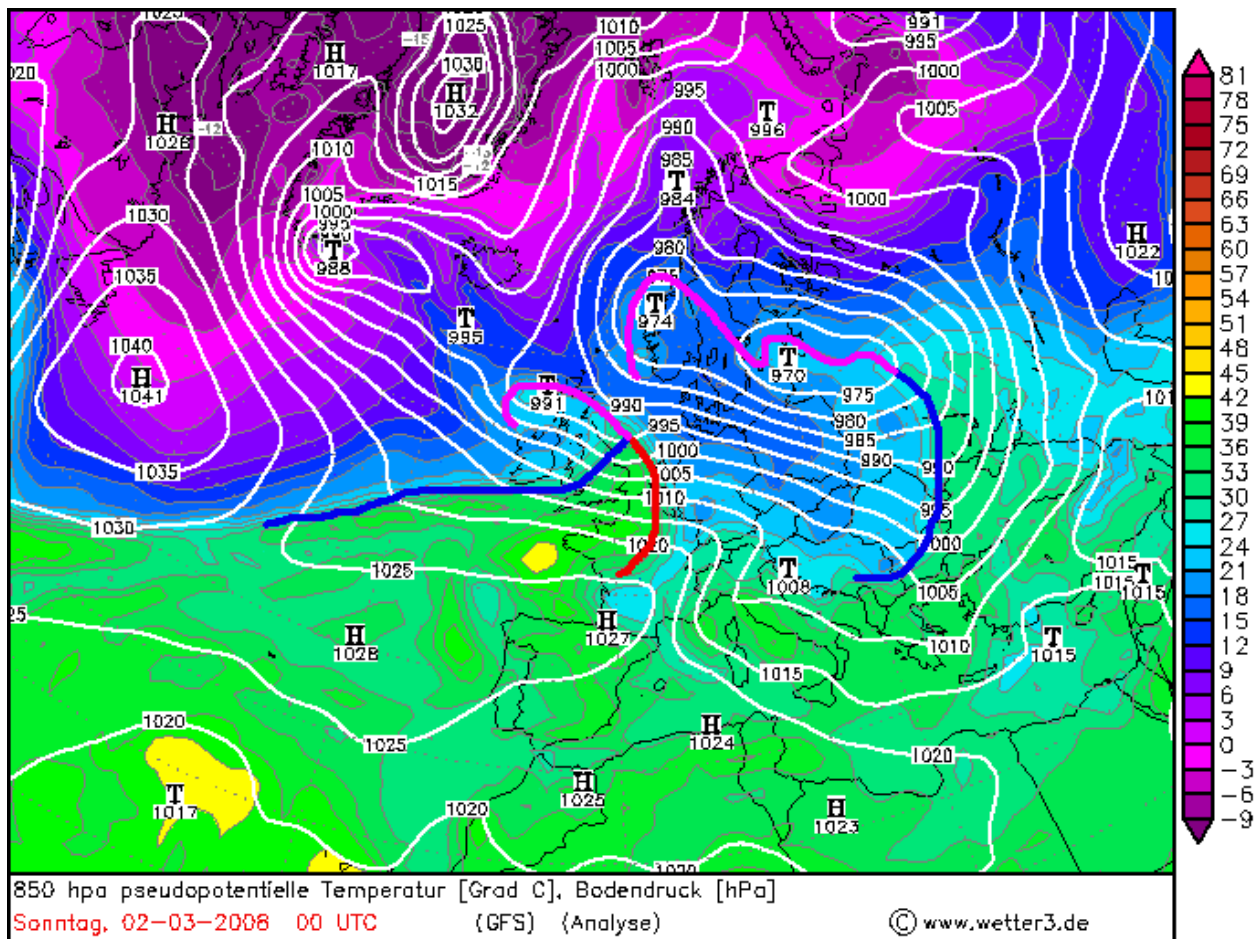
Samstag, 01. März 2008, 12 UTC

Die Kaltfront von Emma 2 hat bis Samstag mittag eine gewaltige Wegstrecke zurückgelegt. Lag sie um 3UTC noch nahe Amsterdam, so hat sie um 12 UTC bereits Wien erreicht. Weiterhin liegt sie quer zur Strömungsrichtung bzw. zu den Isobaren, was den Hebungsantrieb immer noch fördert. Zusätzlich hat sich durch den starken konvektiven Niederschlag an der Rückseite über dem Böhmischem Becken ein **Kaltluftpolster** entwickelt, das den thermischen Kontrast entlang der Kaltfront bzw. Gewitterlinie weiter verschärft. Südlich des Alpenhauptkamms induziert die starke nordwestliche Anströmung einen Leetrog über der Poebene. Da das bodennahe Windfeld nach Westen zu an Intensität verläuft, bleibt die Kaltfront über Zentralfrankreich und dem äußersten Süden Deutschlands zurück. Fee hat sich unterdessen noch etwas auf 989hPa vertieft.



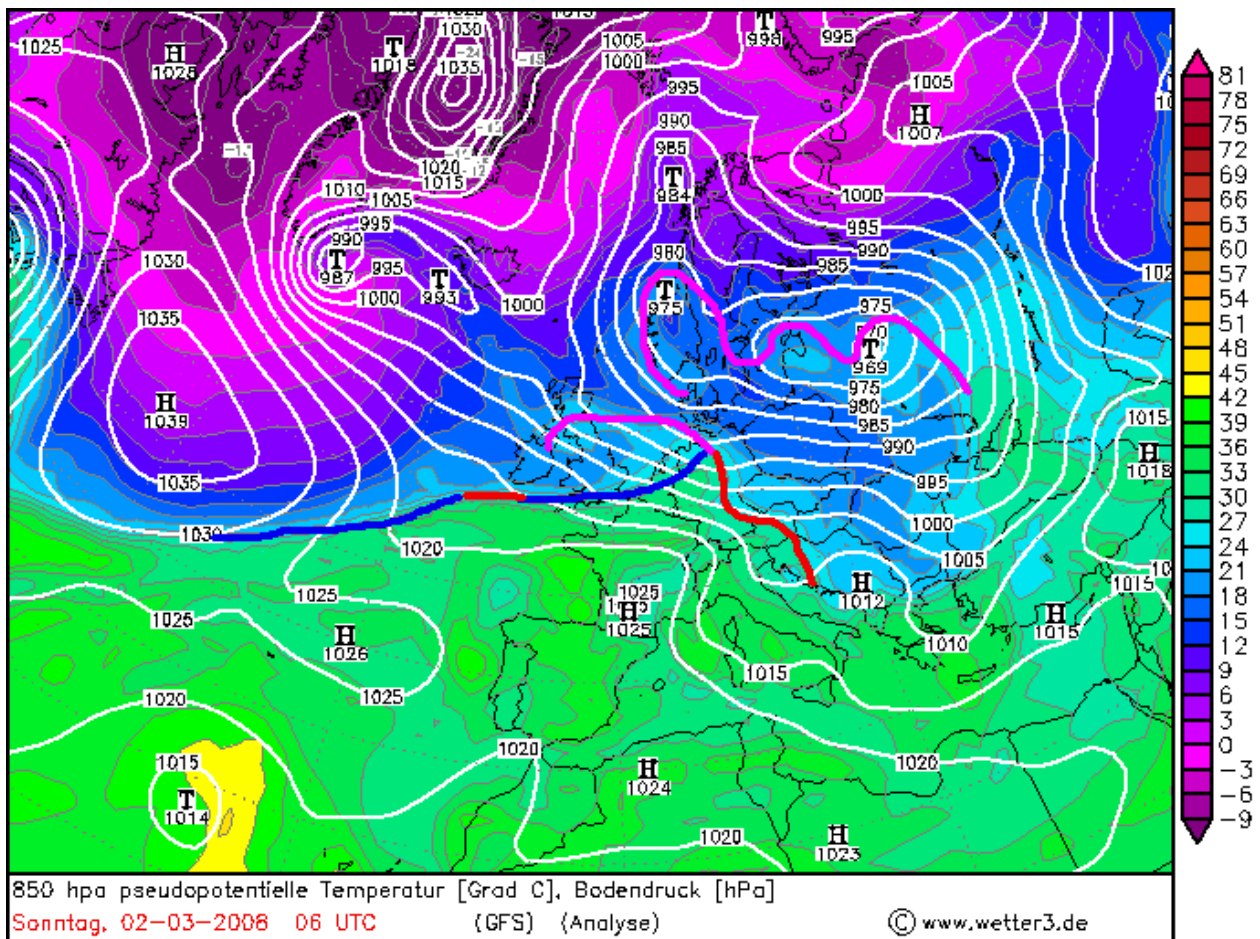
Samstag, 01. März 2008, 18 UTC

Samstag abend hat die Kaltfront den Nordbalkan erreicht. Das Kaltluftpolster auf seiner Rückseite hat sich über Südungarn noch leicht intensiviert. Dies passt mit den Beobachtungs- und Radardaten gut zusammen. Emma 2 liegt nun mit Kerndruck von 969hPa über der Ostsee. Die bodennahe Strömung lässt über Österreich vorübergehend nach - in Nord- und Ostdeutschland bleibt sie unter Trogeinfluss noch straff. Die Warmfront von Fee überquert die Britischen Inseln rasch, die zugehörige Kaltfront gerät in zunehmend entschärfte Isobarendrängung, was auf einen sich ankündigenden Wellenvorgang an der Kaltfront hinweist.



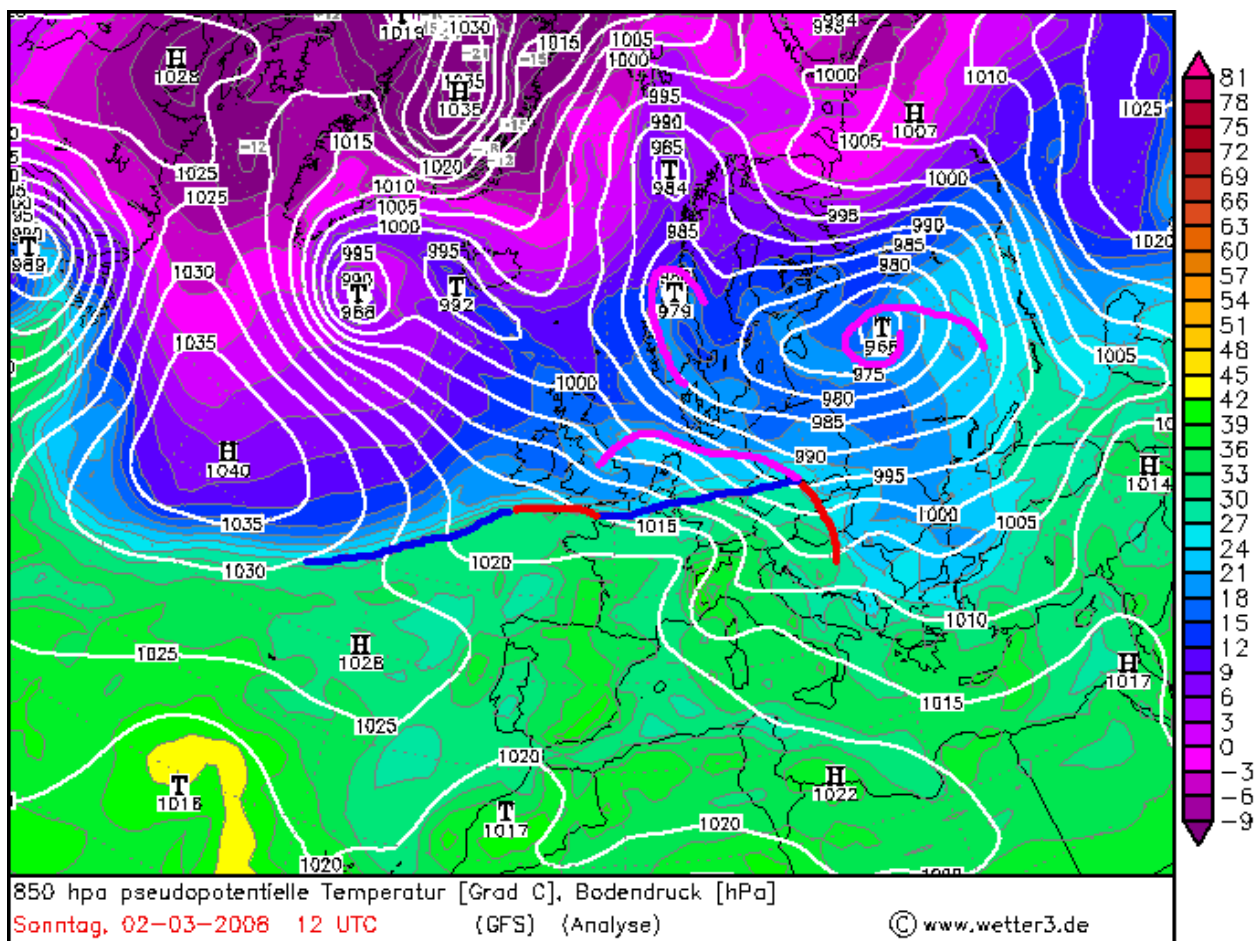
Samstag, 02. März 2008, 00 UTC

Um Mitternacht befindet sich Emma 1 mit Kern über der norwegischen Küste, Emma 2 mit Kern über der baltischen Küste und ein sich abzeichnender Kern von Emma 3 über Westrussland. Die Luftmassengegensätze der ehemaligen Warmfront sind so verwischt, dass das Einzeichnen hier wenig Sinn hat. Einzig die Kaltfront ist noch gut anhand der zyklonal gekrümmten Isobaren erkennbar. Die Isobarendrängung über Nordostdeutschland ist weiter nach Polen gezogen. Bereits gegen Mitternacht erreicht das nun in die Zirkulation Emmas eingebundene Randtief "Fee" mit seiner Warmfront den äußersten Westen Deutschlands. Der Kern von Fee füllt sich über Schottland langsam auf - nun auf 991hPa. (2hPa in 6h).



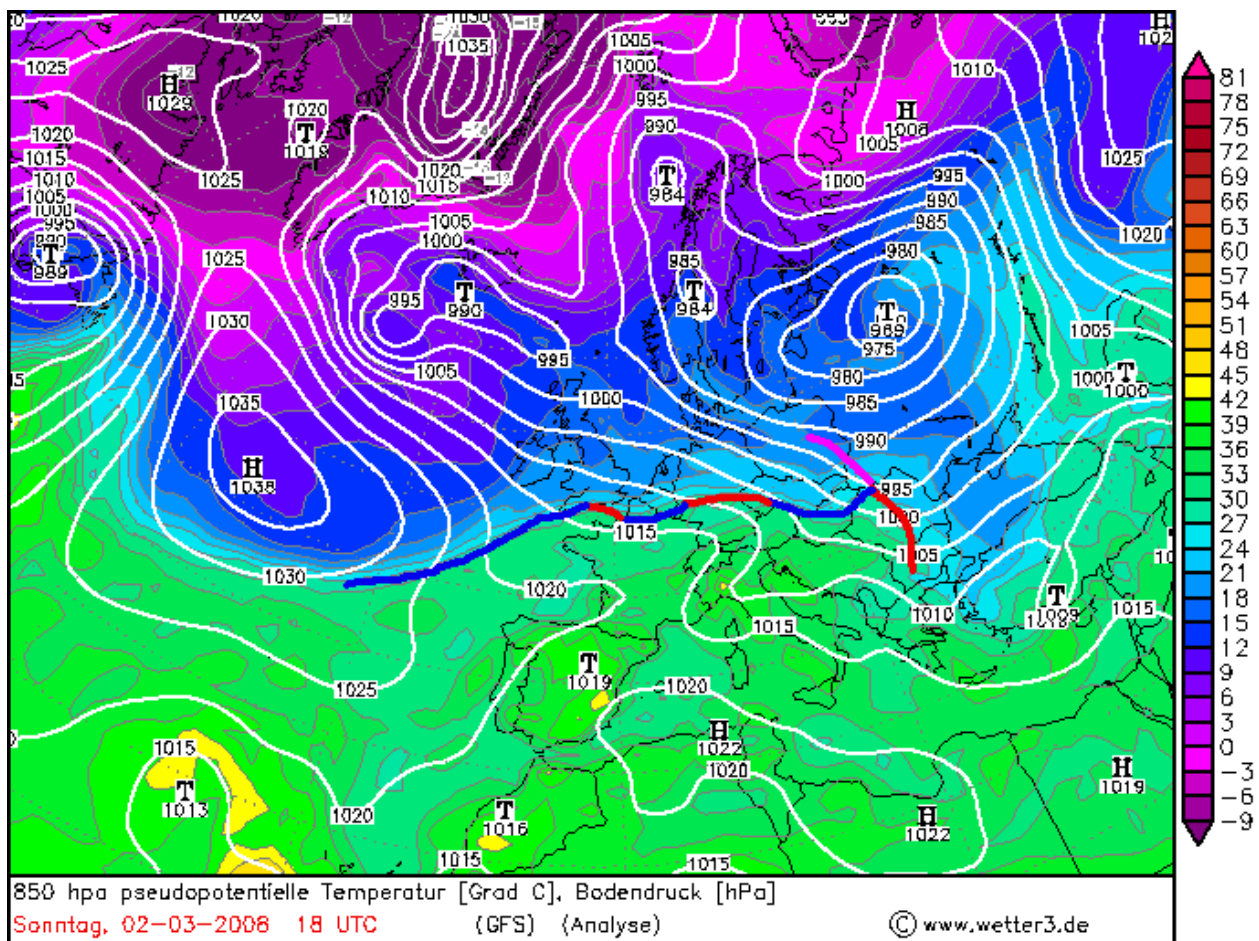
Samstag, 02. März 2008, 06 UTC

Sonntag morgen hat sich die Großwetterlage deutlich verkompliziert, zumindest, wenn man die Entwicklung bis dahin nicht verfolgt hat. Emma 1 befindet sich weiterhin stationär, aber auffüllend über der Norwegischen Küste. Hier beschleunigt die Bodenreibung des norwegischen Gebirges den Auffüllungsprozess deutlich. Emma 2 besitzt keinen eigenständigen Kern mehr und wurde nun von Emma 3 weiter östlich abgelöst. Die hinter der Kaltfront Emmas einströmende Kaltluft ist nun vollständig aus Deutschland und Österreich nach Osten abgedrängt worden. Das Randtief Fee hat seinen Tiefdruckkern verloren. Im Vergleich zum Termin sechs Stunden davor hat jedoch kein markanter Druckanstieg eingesetzt. Entlang der Okklusion liegen die Druckwerte weiter bei 990hPa-993hPa. Da auch das bodennahe Hochdruckgebiet über Westeuropa leicht an Druck verloren hat, rührt die Gradientverschärfung über Benelux und Deutschland alleinig von Randtief Fee her. Die Warmfront hat nun schon den Osten Deutschlands und Österreichs erreicht. Emma hat ihren Einfluss endgültig auf Österreich verloren.



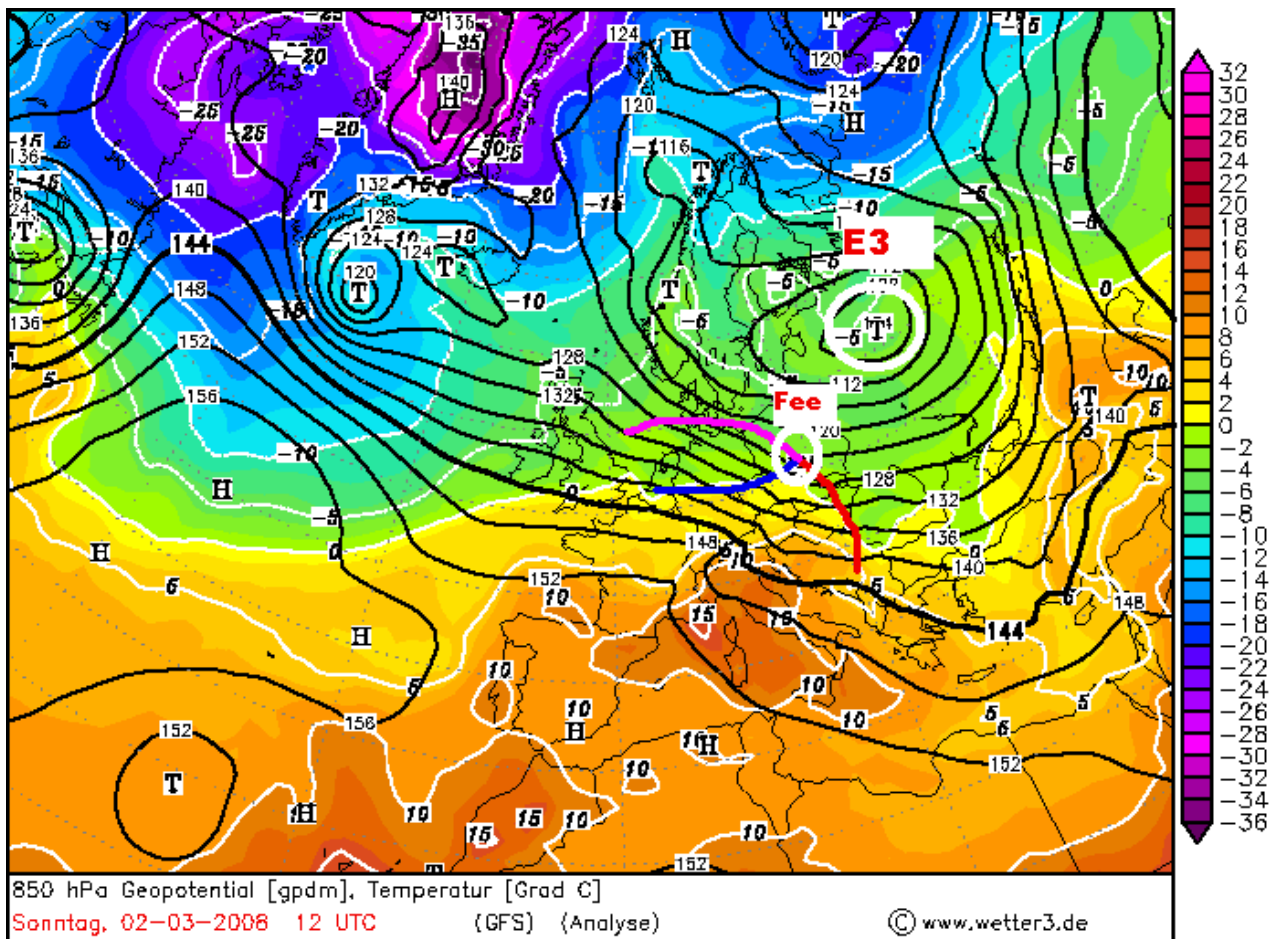
Samstag, 02. März 2008, 12 UTC

In den Mittagstunden ist die Warmfront Fees weiter zur Slowakei und Ungarn gezogen. Der Okklusionspunkt liegt über dem Süden Polens, die Okklusion selbst reicht quer über Ost- und Norddeutschland bis zur Doggerbank und Ostengland. Die Kaltfront wird nun zunehmend parallel in die bodennahe (und Höhen-)Strömung eingebunden, wodurch die Wetteraktivität an ihr deutlich abnimmt. Weiter stromaufwärts setzt westlich des Ärmelkanals Wellenbildung ein. Allein die Lage der höheren und niedrigeren Theta-e-Werte zeigt an, dass der Trogsektor Emmas nun schon deutlich östlich von Österreich liegt und Österreich vollständig von Warmluftadvektion erfasst wurde. Zusätzlich schwächt sich die südostwärts geführte Gradientverschärfung über Mitteldeutschland und Tschechien weiter ab. Entgegen der Modellprognosen vom Freitag, 29. Februar 2008, wurde die Abschwächung von Fee stärker als erwartet, weshalb - neben der Warmluftadvektion - im Tiefland kaum noch schadensträchtige Windböen gemeldet wurden.

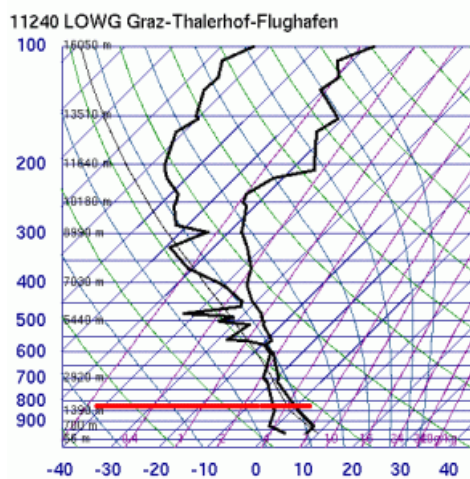


Samstag, 02. März 2008, 18 UTC

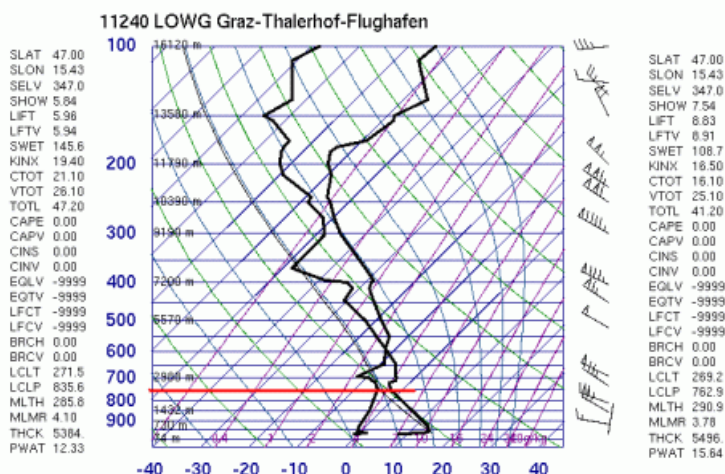
Sonntag Abend sind die Reste Fees zum Nordbalkan weitergezogen. Seine Kaltfront streifte den Nordrand Österreichs, dahinter setzte aber bereits mit der stark verwellenden Kaltfront erneut Warmluftadvektion ein, die sich in der folgenden Nacht weiter verstärkte. Bodennah hat sich der Gradient deutlich abgeschwächt, der Nordföhn auf der Alpensüdseite konnte sich zwar ausbilden - in Kärnten wurden nachmittags bis zu 20°C gemeldet -, mischte aber die 700hPa-Winde wegen der stabilen Schichtung nicht herunter.



Wie erklären sich aber die hohen Temperaturen auf der Alpensüdseite? Die 850hPa-Temperaturen zeigen auf der Alpensüdseite eine deutlich wärmere Luftmasse als weiter nördlich, sodass die 21°C bereits bei einer Durchmischung mit 850hPa oder leicht darüber erreicht werden konnten, wo der Wind deutlich schwächer war. Folglich lagen die Spitzenböen auf der Alpensüdseite meist zwischen 50 und 70km/h, nur an exponierten Stellen wurden höhere Windspitzen erreicht. Zusätzlich ging mit der Keilvorderseite eine Absinkinversion einher, dessen Untergrenze etwa in 700hPa gelegen hatte, und die enormen Höhenwinde damit entkoppeln konnte:



University of Wyoming



University of Wyoming

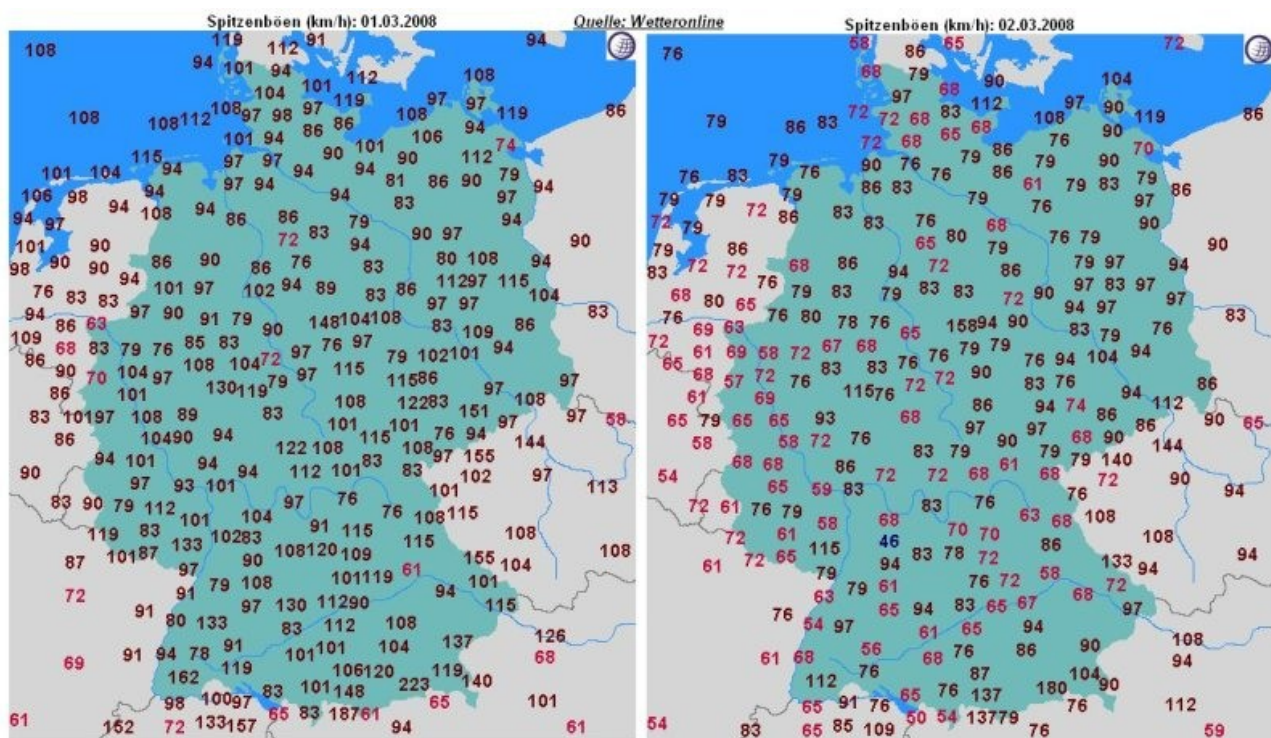
Für diese These exemplarisch die Sondenaufstiege von Graz von Sonntag und Montag morgen. Sonntag morgen hat sich von der Bodenschicht bis etwa 1500m hinauf eine gut durchmischte Schicht hochgearbeitet, was man anhand der trockenadiabatischen Temperaturabnahme und der parallel zu den Linien gleichen Mischungsverhältnisses verlaufenden Taupunktskurve sieht. Um diese Zeit lag der Warmsektor zwar schon mitten über Österreich, die Höchstwerte im Klagenfurter Becken wurden aber erst zwischen 16 und 17 MEZ erreicht, dabei meldeten die Stationen mäßig bis frischen Südwestwind (!). Auch in den anderen Regionen - von Lienz (Osttirol) bis zum Grazer Becken wurden 16-19°C beobachtet, jedoch traten dabei nirgends Sturmböen oder gar Orkanböen auf. Die Erklärung liefert der Sondenaufstieg vom nächsten Morgen. Abgesehen von einer dünnen Bodeninversion ist wieder die schön durchmischte Schicht erkennbar, nun dank der anhaltenden, nordwestlichen Höhenströmung noch weiter hinaufgewachsen. Die Obergrenze der Mischungsschicht liegt nun in 750hPa Höhe, das sind ca. 2500m. Die 700hPa-Winde sind durch eine Absinkinversion deutlich entkoppelt.

Weitere Werte (in Klammern am Folgetag): Sonntag morgen: 500hPa bei -25°C (-20°C), in 700hPa bei -10°C (-5°C), in 850hPa bei 0°C (+6°C).

Wie man sieht, setzte in allen Höhenschichten Warmluftadvektion ein. Bei einer Temperatur von ca. -2°C in 2500m an der Obergrenze der Mischungsschicht wären in 400m Meeresniveau theoretisch bei voller Durchmischung bis Bodenniveau +19°C erreicht werden, die in Graz am Sonntag nachmittag um 16 MEZ auch erreicht wurden.

Fazit: Auf der Alpensüdseite waren die von GFS für den Nachmittag gerechneten Höhenwindspitzen von 70-85 Knoten über dem Alpenraum in 700hPa Höhe durch eine Absinkinversion von der niederen Troposphäre entkoppelt. Nach Abzug der Kaltfront von Orkantief "Emma" wurden mit einer westsüdwestlichen bis südwestlichen, niedertroposphärischen Strömung wärmere Luftmassen auf die Alpensüdseite advehiert. Der Nordföhn ermöglichte genügend Sonneneinstrahlung für eine hohe Tageswelle der Temperatur auf der Alpensüdseite. Die Durchmischung mit 700hPa wurde daher nicht erreicht. Nordföhn griff daher nur sporadisch und nicht mit extremen Windspitzen durch. Zusätzlich - und das ist nach den Ergebnissen aus der Nachbetrachtung des 27. Jänners 2008 wohl der entscheidende Faktor - wurde kein Niederschlag in den Föhnregionen registriert, sodass die abwärtsgerichtete Föhnströmung nicht beschleunigt wurde. Eine ähnliche Schlussfolgerung ist auch für den zwar vorhandenen, aber verhältnismäßig schwachen Nordföhn in Innsbruck am Sonntag Nachmittag zu ziehen.

Spitzenböen am 01. und 02. März 2008:



Die Spitzenböen bei Sturmtief "Emma" lagen aufgrund der beschriebenen Gründe deutlich höher als bei Sturmtief "Fee". Emma erreichte flächige Böen von 90km/h bis 120km/h in allen Landesteilen Deutschlands und Österreichs, aber auch in den angrenzenden Ländern. Eine Neigung zu höheren Windgeschwindigkeiten etwa ab einer Linie Eifel-Brandenburg resultiert aus den direkten Auswirkungen des Kaltfrontdurchgangs. Sturmtief Fee schwächte sich bekanntermaßen deutlich ab, produzierte aber vor allem in Ostdeutschland, dem Südosten Bayerns, Tschechiens und Nordösterreichs erneut Spitzenböen von 90-110km/h, vereinzelt auch erneute Orkanböen.

3. Durchgang von Emmas Kaltfront – ein Derecho

Die Kaltfrontpassage während Sturmtief Emma erinnerte viele Synoptiker an die Kaltfront von Orkan Kyrill im Vorjahr. In der Tat war die Ausprägung der Gewitterlinie, die damit einhergehenden Unwetter und die visuelle Entwicklung in Radar- und Satellitenbild bei Emma recht ähnlich. Dieses Mal wurde Kyrill sogar noch übertroffen, da die Gewitterlinie langlebiger und ausgedehnter war.

3.1. Definition Derecho

Nach John & Hurts (1987) wurden folgende Kriterien entwickelt, um ein Derecho zu identifizieren:

- Es muss ein konzentriertes Gebiet mit Beobachtungen von konvektiv verursachte Windschäden oder konvektiven Böen von **mehr als 94 km/h** vorhanden sein. Dieses Gebiet muss eine Hauptachsenlänge von **mindestens 400 km** aufweisen.
- Die Beobachtungen innerhalb dieses Gebiets müssen außerdem ein nichtzufälliges Erscheinungsbild offenbaren, das heißt, die Beobachtungen müssen ein **Muster einer chronologischen Verlagerung** zeigen, entweder als Einzelpfad (fortschreitend) oder als eine Serie von Pfaden (in Serie).
- Innerhalb des Gebiets müssen zumindest drei Beobachtungen, 64km oder weiter voneinander entfernt, entweder **F1-Schäden oder konvektive Böen bis 119 km/h** oder höher aufweisen.

- **Nicht mehr als drei Stunden Abstand** darf zwischen nachfolgenden Windböenereignissen vorhanden sein.

Die Lineasierung der Kaltfront setzte um Mitternacht vor den westfriesischen Inseln ein und arbeitete sich 03 UTC auf eine Linie Ärmelkanal - westliche Ostsee vor. Zwischen 05.00 und 08.00 UTC erfuhr die Gewitterlinie ihre blitzintensivste Ausprägung, danach nehmen die Entladungen insgesamt ab, jedoch erreichen die Gewitter in den Mittagstunden noch das Wiener Becken.

In der [synoptischen Analyse von Marco Puckert \(DWD\)](#) sind die Spitzenböen von 06 bis 12 UTC in Mitteleuropa aufgetragen, welche den Zeitraum umfassen, in der die Kaltfrontpassage am Intensivsten war. Wie man sieht, traten vom Saarland bis nach Sachsen entlang der Gewitterlinie sowie südostwärts davon verbreitet Spitzenböen von 90-110km/h auf, ebenso sind zahlreiche Meldungen über Orkanböen vertreten, z.B. Saarbrücken (119km/h), Gera (122km/h), Chemnitz (151km/h), Ansbach (130km/h), Mühldorf (137km/h), Salzburg (140 km/h) Wels (126km/h), Wien (140km/h).

Sowohl aus Deutschland als auch aus Österreich sind zahlreiche Windschäden bekannt, in der Tornadoliste von Thomas Sävert finden sich zum 01. März 2008 am 16. März 2008 1 bestätigter Tornado und wenigstens 25 Verdachtsfälle, teilweise bis F2 reichend. In Österreich wurde u.a. das Salzkammergut schwer getroffen, z.B. Obertraun, Hallstatt, Ohlsdorf und Attnang Puchheim, siehe hierzu [diesen Zeitungsbericht](#), die rein optisch auf F2/T4-Schäden schließen lassen.

Die Analyse von Marco Puckert sowie das [Blitzkartenarchiv von Blitzortung](#) zeigen den Aufbau einer Gewitterlinie von Nordwestdeutschland, die sich dann über Südostdeutschland weiter nach Tschechien und Österreich bewegte. Zwar nimmt die Zahl der registrierten Blitze dann stark ab, jedoch hängt dies auch von den Ressourcen des Blitzortungsverfahrens ab. In jedem Fall erscheint die Bezeichnung **"Derecho"** für das **lineare mesoskalige konvektive System** (Squall line, MCS) aufgrund der Beobachtungsdaten für gerechtfertigt. Die gemeldeten Spitzenböen übertreffen bei weitem die herrschenden Oberwinde von 60-70Kn, örtlich 75Kn in 850hPa, punktuell sind aufgrund der Schäden sogar mindestens 100 Knoten (F2/T4) aufgetreten.

In Österreich gibt es mit Durchzug von Emmas Kaltfront nach heutigem Stand (26. März 2008) zwei bestätigte Tornados – Wasserhosen am Neusiedler See bei Podersdorf, siehe folgende Analyse:

<http://www.unwetterstatistik.at/analysen/tornados/2008/080301tornadopodersdorf.pdf>

3.2. Was fördert die Bildung von Gewitterlinien?

Die Entstehung Gewitterlinien in Zusammenhang mit winterlichen Sturmzyklonen wird durch folgende Faktoren begünstigt:

1. feuchtlabil geschichtete untere und mittlere Troposphäre, bestenfalls hochreichende Labilität
2. starker horizontaler Luftmassenunterschied
3. hohe Umgebungsscherung in allen Schichten, mit einem sekundären Maximum in der Grenzschicht (primäres Maximum in Jetniveau)
4. Verlagerungsrichtung der Kaltfront möglichst normal zur präfrontalen Orientierung der Warmluftadvektion.
5. flächiger Hebungsantrieb durch flächige differentielle, zyklonale Vorticityadvektion (DZVA) auf der Trogvorderseite

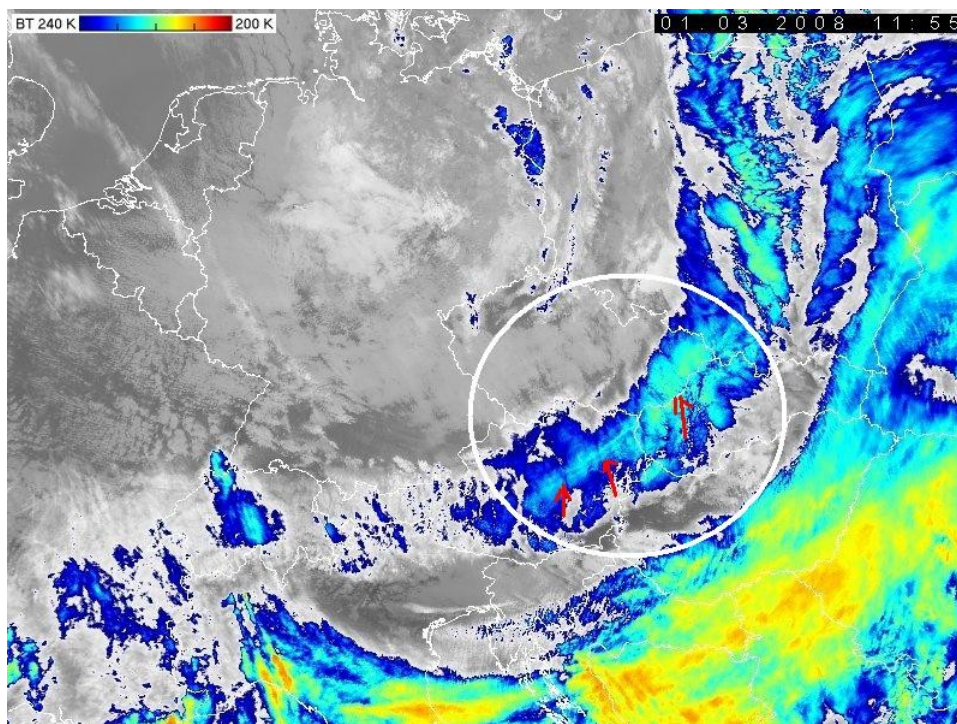
Die feuchtlabile Schichtung ermöglicht hochreichende Feuchtkonvektion (Gewitter), die sich dank der starken bodennahen Winde in Bogen- oder Linienform ausbilden und bei flächigen Hebungsantrieb und damit flächiger Auslöse eine geschlossene Gewitterlinie formieren. Ein starker horizontaler Luftmassenunterschied begünstigt eine Querkirkulation an der Front, mit aufsteigenden Luftmassen an dessen Vorderkante und absteigenden Luftmassen auf der Rückseite. Diese thermisch direkte Zirkulation kann zusätzlich gefördert werden, wenn es vor der Gewitterlinie aufklart und Sonneneinstrahlung herrscht. Dadurch vergrößert sich der Luftmassenunterschied an der Front und auch die Querkirkulation nimmt an Intensität zu.

Weiters sorgt der Wind in der oberen und mittleren Troposphäre für eine rasche Verlagerungsgeschwindigkeit der Gewitterlinie, die sich zu den Umgebungswinden hinzuaddiert, aber auch für eine günstige Konstellation von Auf- und Abwindbereichen,

wodurch langlebige und organisierte Zellentwicklungen ermöglicht werden, u.a. eingebettete Mesozyklonen, von denen ein erhöhtes Hagel-, Downburst- und Tornadorisiko ausgeht. Ferner verstärkt der Wind die Verdunstung im Niederschlagsbereich, was zu einem Kaltluftpolster im Abwindbereich führt, das den Temperaturunterschied an der Linie nochmals verschärft (in Salzburg von 15°C auf 2°C). Dadurch kann sich eine gewisse Eigendynamik der Linie entwickeln, solange im Abwindbereich stetig kältere Luft nachgeführt wird als auf der Vorderseite zugeführt wird. Erst wenn dieses "perpetuum mobile" durch äußere Einwirkung (Auskühlung durch langwellige Ausstrahlung, sehr trockene Luft präfrontal, Absinken) unterbrochen wird, ist auch das Ende der Linie gekommen.

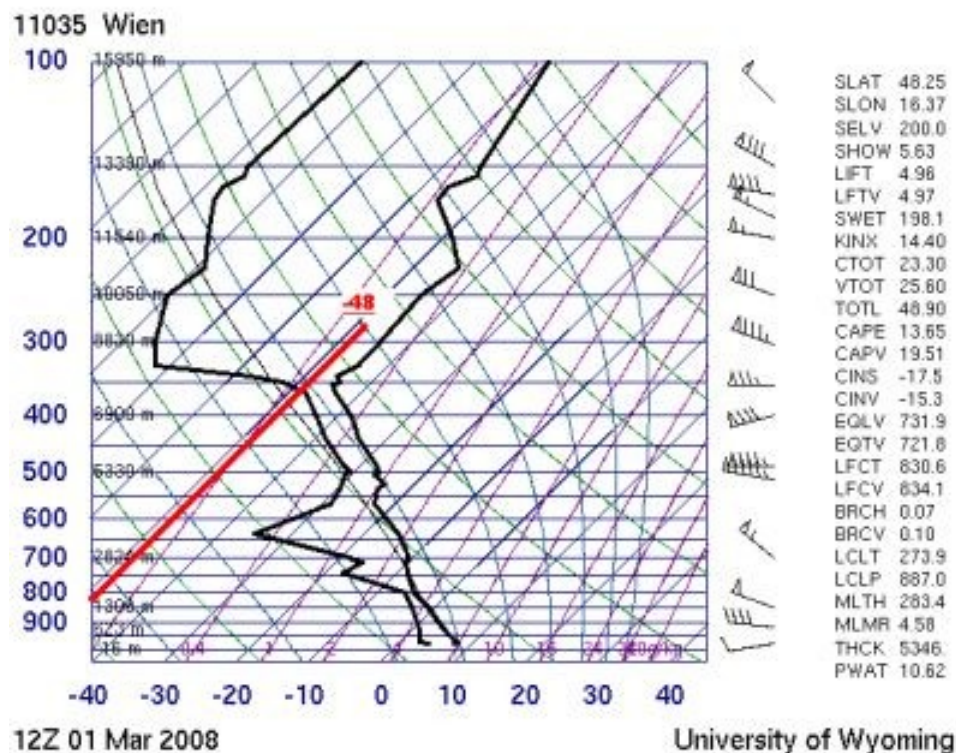
Schließlich erzeugt der oben beschriebene Winkel zwischen Kaltfrontverlagerung und präfrontaler Warmluftadvektion geschlossene, lineare Gewitterzellen, wohingegen bei einer sich strömungsparallel verlagernden Kaltfront mehr diskrete Zellen entstehen (mit erhöhter Superzellengefahr).

Die Präsenz obiger Faktoren bei "Emma" soll nun anhand beispielhafter Karten verdeutlicht werden – *Karte 1: Infrarot-Satellitenbildung mit Färbung der Wolkenobergrenzen von -73°C (dunkelrot) bis -33°C (dunkelblau), 01.März 2008, 1155h UTC*



Das IR-Bild von NOAA zeigt die Wetterlage am Sonntag mittag, recht exakt zu jenem Zeitpunkt, als Wien mit Spitzenböen von 130-170km/h überquert wurde. Ein [packender Bericht hierzu wurde von Georg Pistotnik im Wetterturnierforum](#) verfasst. Leider liegen keine repräsentativen Radiosondenaufstiege zum Zeitpunkt der Kaltfrontpassage vor, die Aufschluss über die freigesetzten Labilitätsmengen geben. Jedoch zeigt das eingefärbte Satellitenbild Wolkenobergrenzentemperaturen von flächig unter -30°C , entlang der recht schmalen Gewitterlinie sinken sie bis auf -48°C ab.

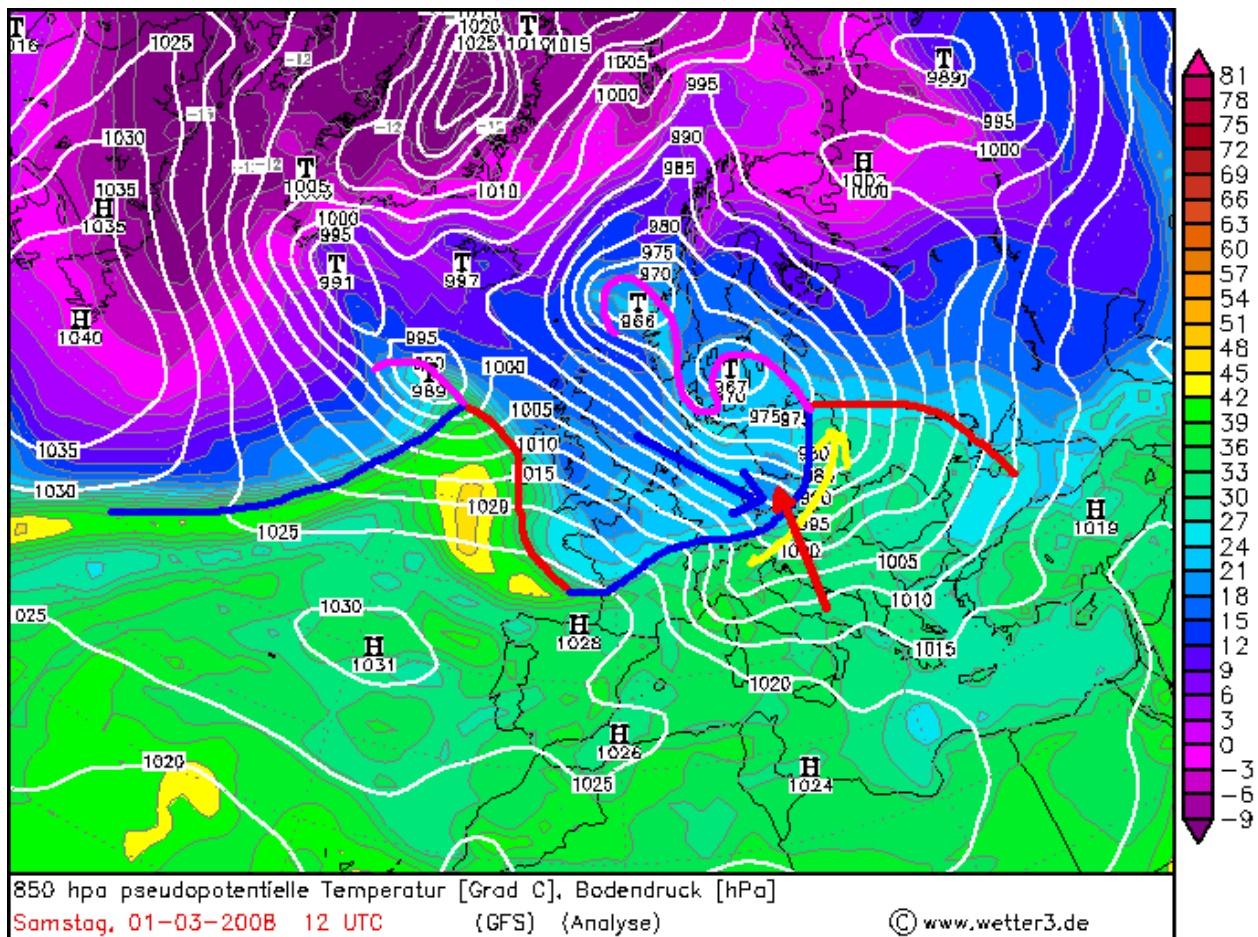
Karte 2: Radiosondenaufstieg von 01. März 2008, 12 UTC, Wien



Der Sondenaufstieg von Wien geschah eine Stunde nach Frontdurchgang, als es bereits erkennbar stabilisierte. Durch Einstrahlung wäre hier höchstens 550hPa hinauf ein labiler Aufstieg möglich gewesen. Die gemessenen -48°C (rot eingefärbt die zugehörige Isotherme) wurden im Sondenaufstieg aber erst in 200hPa erreicht, in diesem Fall schon in der Stratosphäre. Wesentlich plausibler ist die Annahme, dass sich die -48°C bei Gewitterdurchgang auf etwa 400hPa Höhe befanden. Hinzu kommt allerdings noch das starke Entrainment trockener Stratosphärenluft in den oberen Bereich der Wolke, dessen

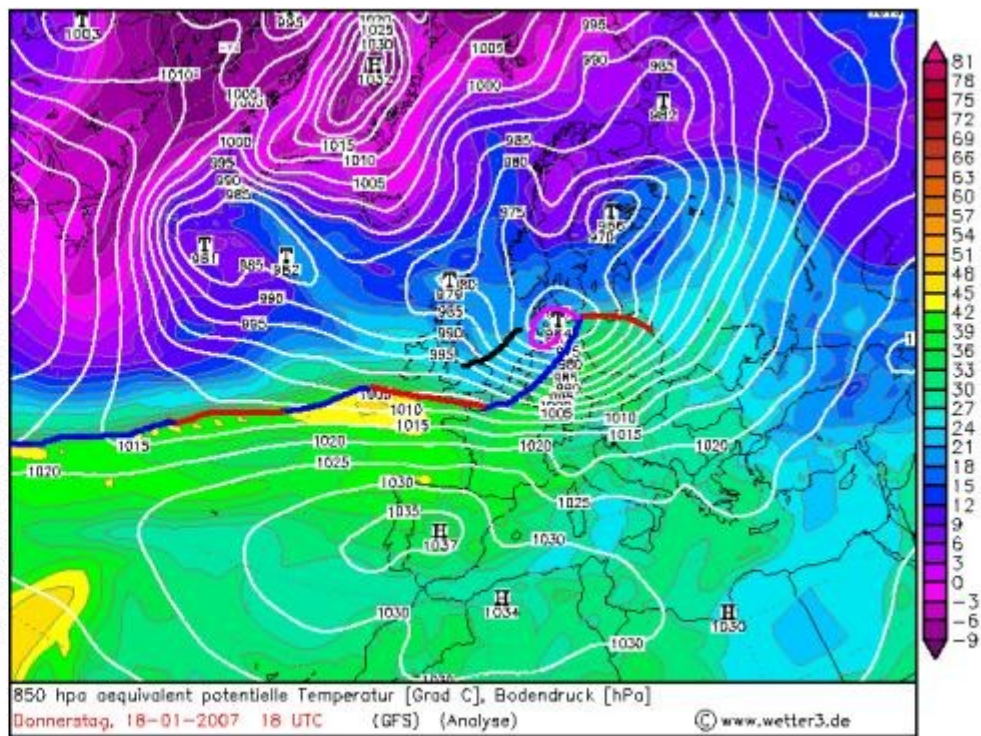
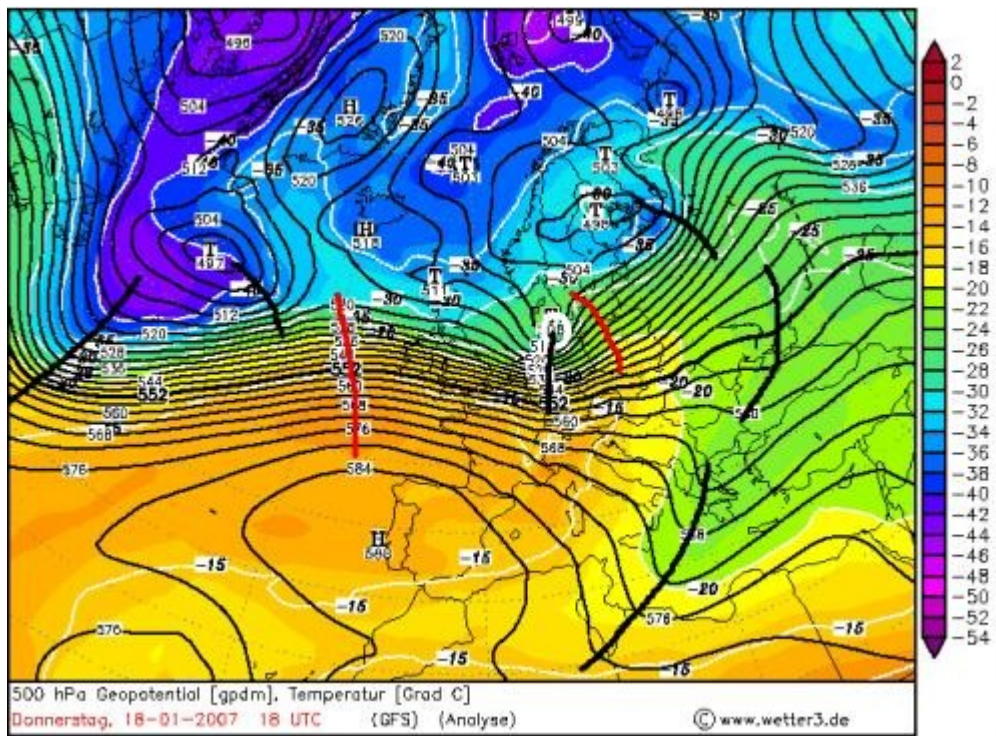
Verdunstungskälte die Wolkentemperatur zusätzlich absenkt. Die Lufttemperatur im Sondenaufstieg ist daher nicht repräsentativ für die Gewitterwolke selbst.

Karte 3: 850hPa Theta-e + Bodendruck, 01. März 2008, 12 UTC



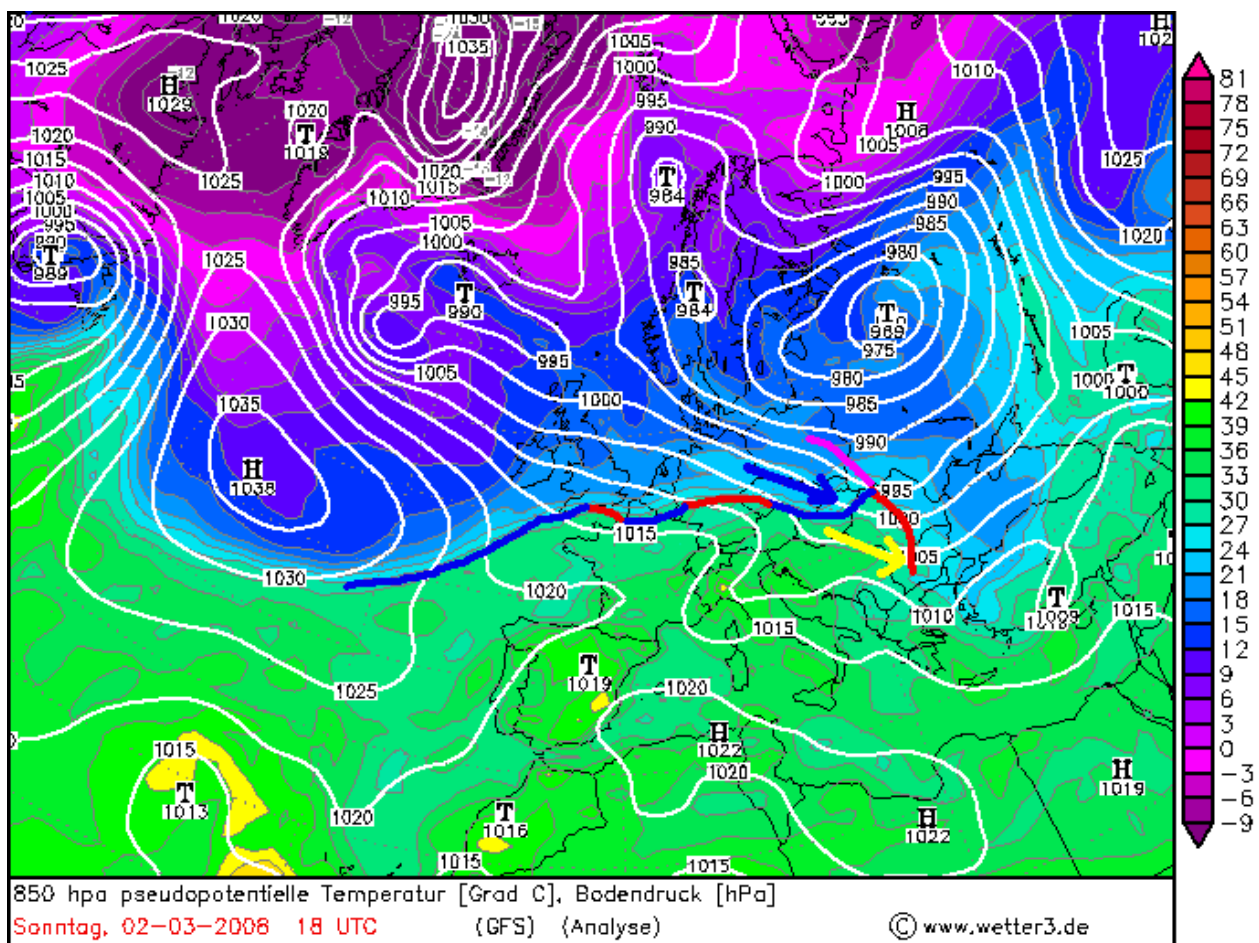
Die Theta-e-Karte zeigt neben dem starken Luftmassenunterschied, den stark gedrängten Isobaren entlang und hinter der Kaltfront (starke bodennahe Scherung) auch die erwähnte Ausrichtung der Kaltadvektion zur präfrontalen Warmluftadvektion, die hier im 90°-Winkel zueinander stehen. Diese Konfiguration fördert linearen Hebungsantrieb durch verstärkte Windkonfluenz bzw. Konvergenz an der Kaltfront. Zum Zeitpunkt der Kaltfrontpassage gegen 11 UTC in Wien herrschte im Nordburgenland noch schwacher Südwestwind, hinter der Front drehte der Wind auf Westnordwest bis Nordwest.

Ein vergleichbarer Fall ereignete sich am 18.1.2007 mit Orkantief Kyrill:



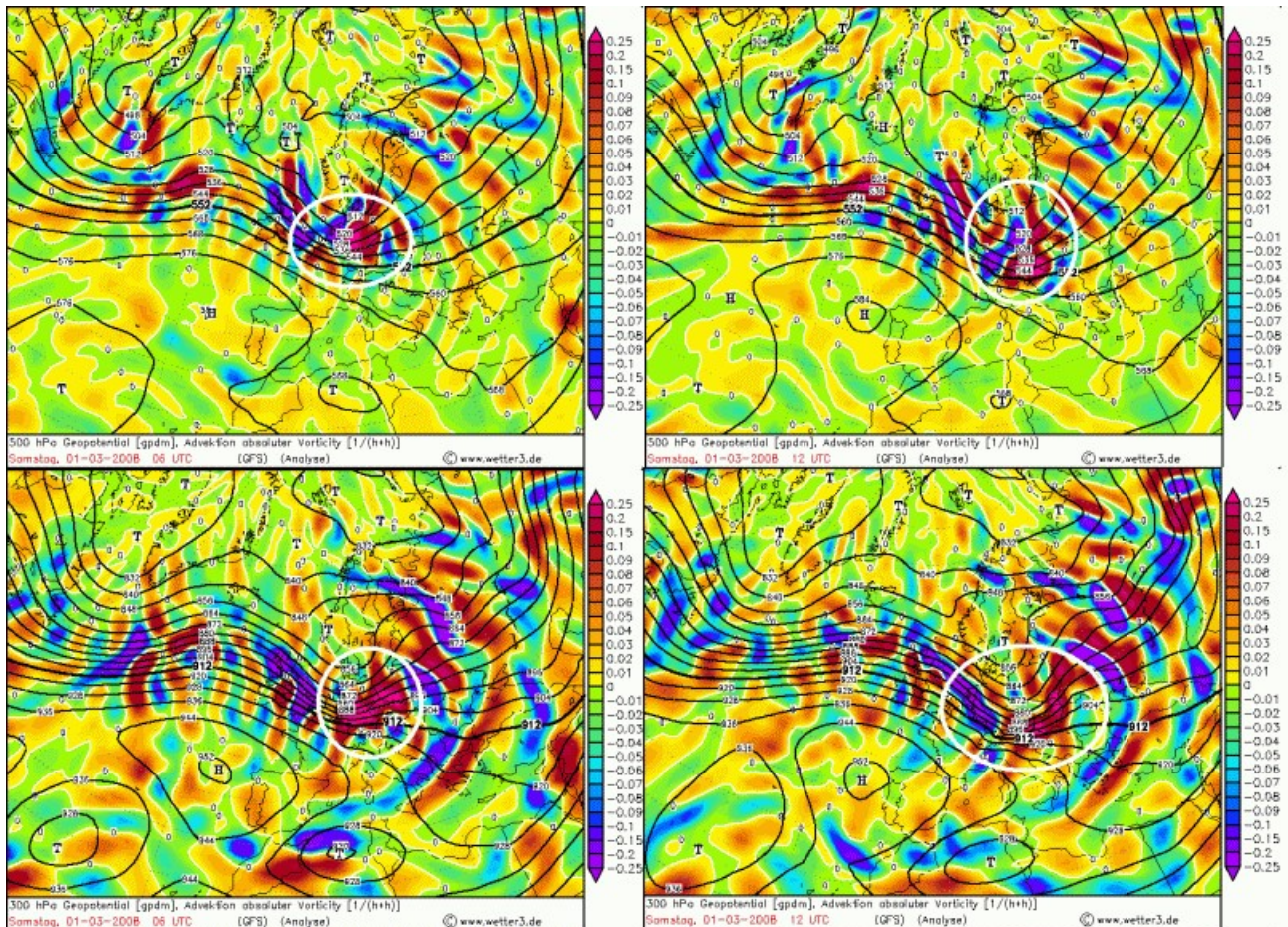
Auch hier sieht man schön den Winkel zwischen Warm- und Kaltluftadvektion entlang der Kaltfront.

Karte 5: 850hPa Theta-e + Bodendruck, 02. März 2008, 18 UTC



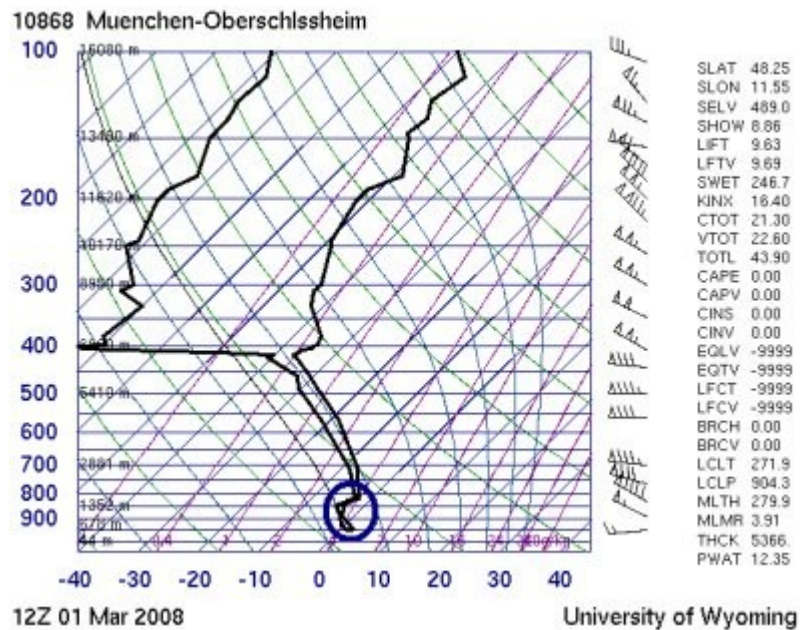
Der gegenteilige Fall trat mit dem Durchzug der Kaltfront des sich abschwächenden Randtiefs "Fee" auf - deutlich erkennbar ist hier der strömungsparallele Verlauf der Kaltfront in der Bodenströmung und die im nur mehr spitzen Winkel zueinander stehenden Richtungen von Warm- und Kaltluftadvektion, entsprechend mit geringer Querkirkulation an der Kaltfront und schwächeren Niederschlagsaktivitäten.

Karte 6: 500hPa+300hPa Geopotential, Advektion absoluter Vorticity, 01. März 2008, 06 und 12 UTC



Das Panel (vergrößerte Karten im Wetter3-Archiv erhältlich) zeigt die Vorticityadvektion während der Kaltfrontpassage. Mit der Höhe war starke, positive Vorticityadvektion auf der Trogvorderseite vorhanden, die für flächigen Hebungsantrieb im Bereich der Kaltfront sorgte.

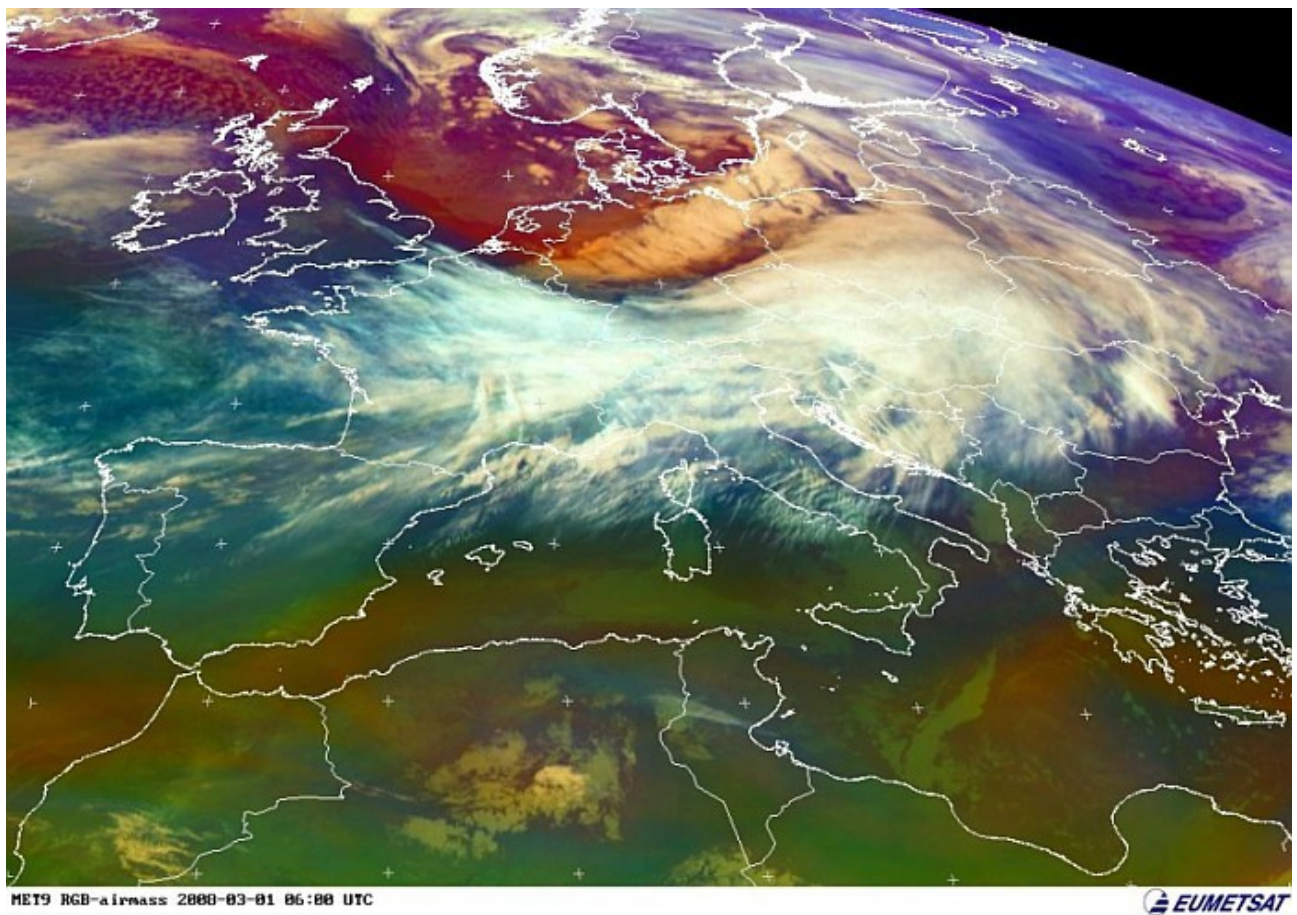
Ähnliche Muster finden sich auch für die Kaltfrontpassage von Orkantief Kyrill.



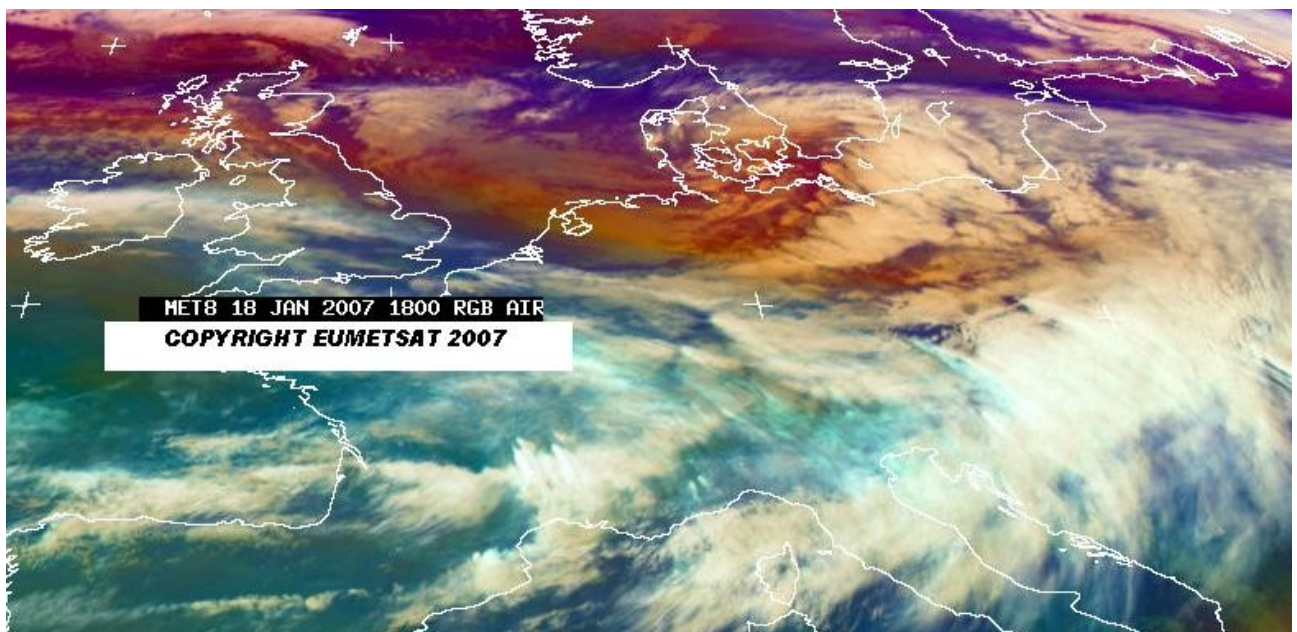
Der Radiosondenaufstieg von München, etwa zwei Stunden nach Frontdurchgang zeigt im Gegensatz zu Sondenaufstiegen weiter stromaufwärts bzw. nordwestlich sehr deutlich die Folgen des Luftmassenwechsels. Bodennah hat sich die Luft auf $+2^{\circ}\text{C}$ abgekühlt, insgesamt ist das durch heftigen Niederschlag, daraus resultierender Verdunstungskälte und Hagel gebildete Kaltluftpolster rund 1500m dick, erst darüber findet sich der "normale" feuchtadiabatische Aufstieg. Bemerkenswert sind hier auch die außerordentlichen Höhenwinde von 90 Knoten in rund 1700m, das ist knapp unterhalb des Wendelsteins. Dort wurden die Spitzenböen um 11.00 MEZ mit 223km/h erreicht, klar vor dem Kaltfrontdurchgang. Als Ursache für die extremen Böen kommt hier daher nur ein Düseneffekt in Frage, also eine Drängung der Stromlinien entlang des Mangfallgebirges, die mitunter mit Annäherung der Front noch verschärft wurde.

3.3 Schwerewellenbildung an der Kaltfront

Während der Kaltfrontpassage von Emma traten im mesoskaligen Bereich wabenförmige Wolkenformationen im Satellitenbild auf - Karte 7: Eumetsat-RGB-Luftmassen-Satellitenbild, 01. März 2008, 06 UTC

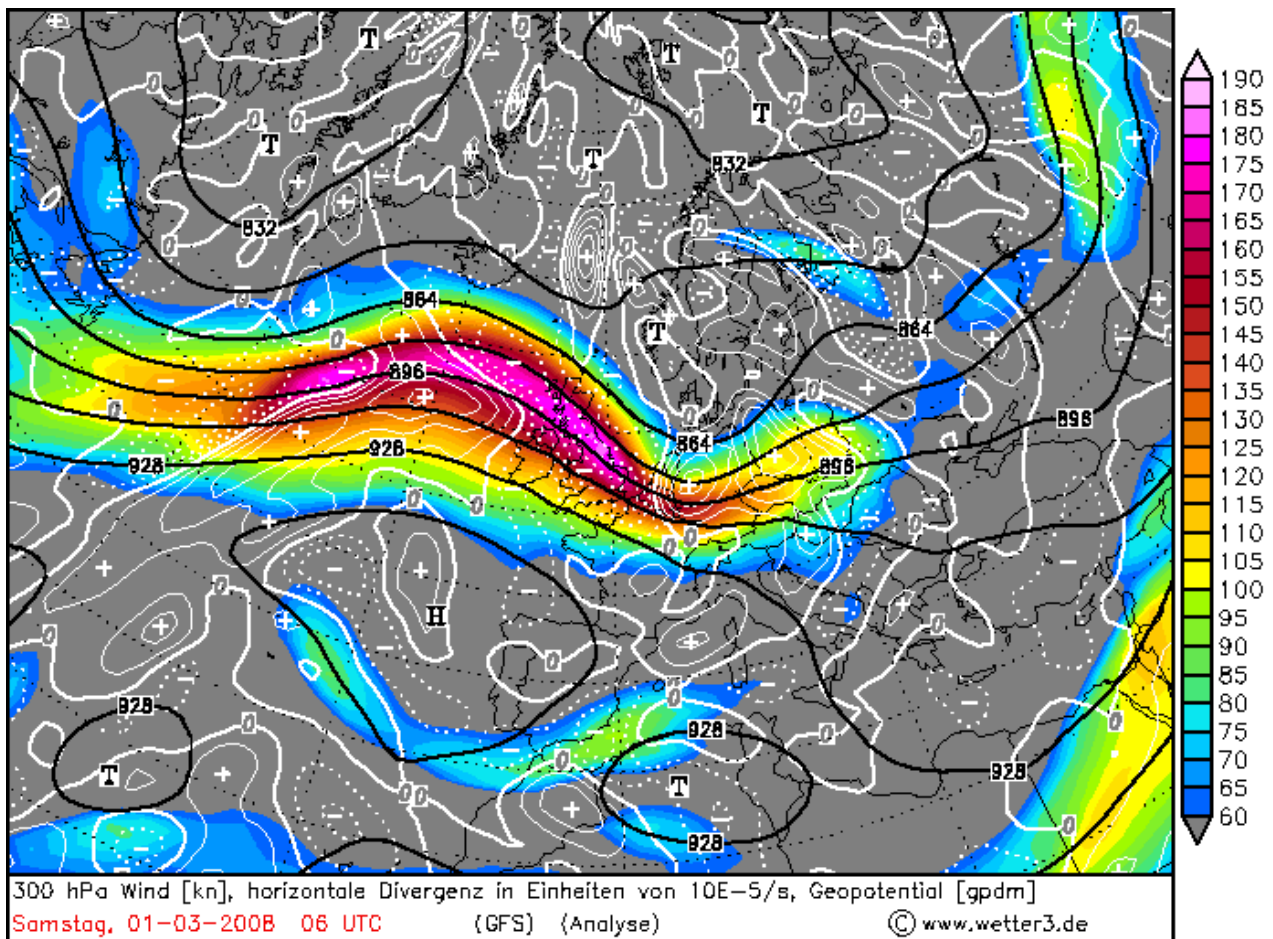


Diese ähnelten in frappierender Weise den Strukturen bei Orkantief Kyrill:



In beiden Fällen setzte vor dem Durchgang der Kaltfront präfrontales Absinken mit Aufklaren und Sonneneinstrahlung ein. Die Kaltfront selbst war jeweils vollständig von Stratosphärenluft überströmt worden. Der Verlauf der Jetachsen ist jeweils anhand der scharf abgeschnittenen Wolkenkanten im Cirreniveau gut erkennbar.

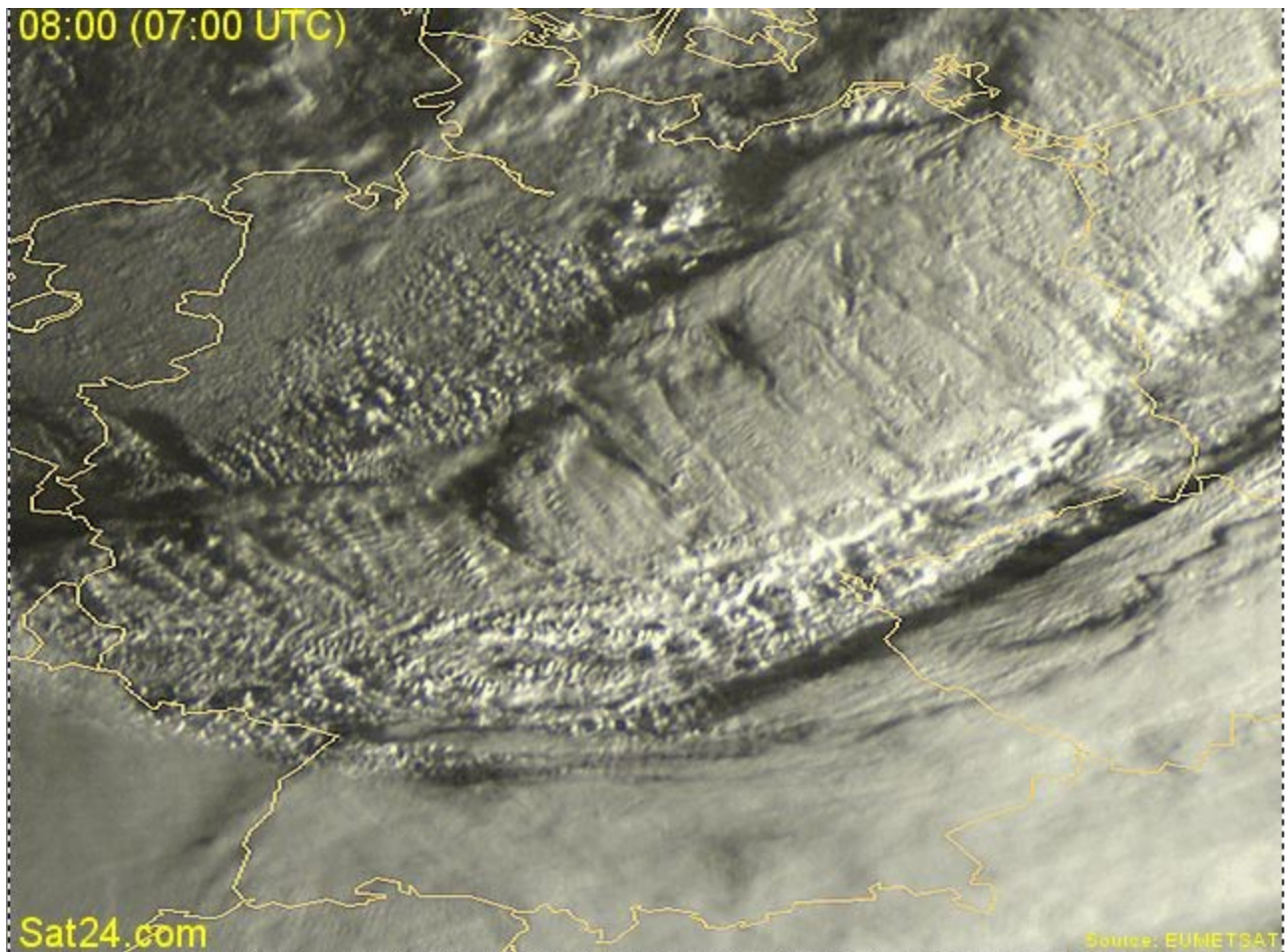
Karte 8: 300hPa Wind + horizontale Divergenz, 01. März 2008, 06 UTC



Die Entstehung mesoskaliger Schwerewellen in Verbindung mit dynamischen Tiefdruckgebieten wird durch die Lage im linken Jetauszug (siehe Karte oben) und niedriger statischer Stabilität begünstigt. Ein starkes Divergenzfeld lag zum Zeitpunkt der Kaltfrontpassage über Deutschland.

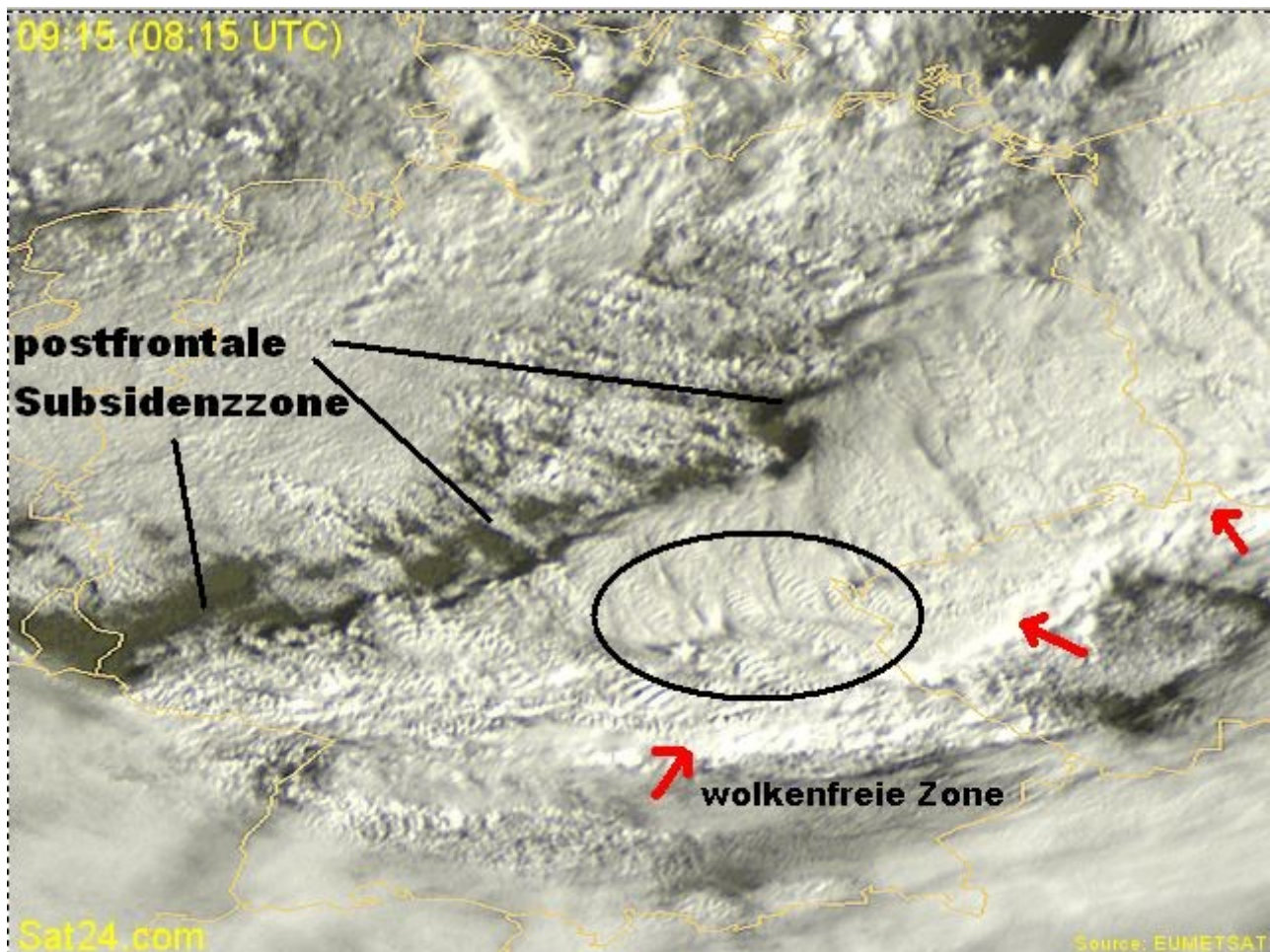
3.4 Die Kaltfrontpassage im Satellitenbild

Nachfolgend ein paar **Visuelle Satellitenbilder** zum Kaltfrontdurchgang über Süddeutschland bzw. Österreich, entnommen bei Sat24.

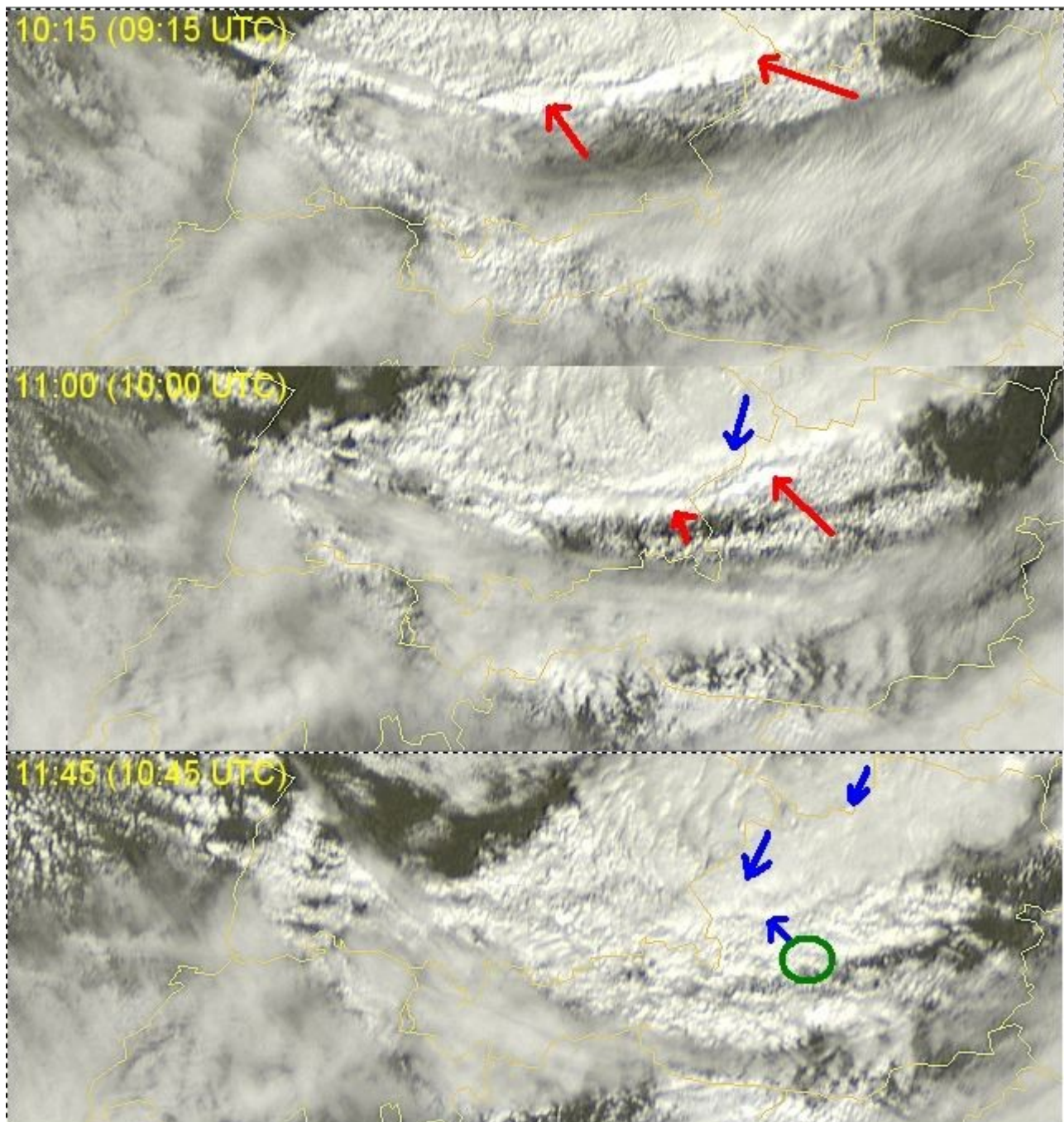


Am 01. März 2008 um 0800h MEZ erstreckt sich die Kaltfront von Emma von Westpolen, Sachsen, Thüringen bis zum Saarland. Über Süddeutschland und dem Norden Österreichs hat sich hohe Bewölkung im Warmsektor in Verbindung mit dem **warmen Förderband** breit gemacht. Die Wolkengrenze der hohen Bewölkung mit dem Schattenwurf über dem nordwestlichen Tschechien und Ostbayern stimmt in etwa mit dem Verlauf der Jetachse überein. Dahinter lockert es zunehmend, im weiteren Verlauf auch markant auf, ehe in linien-orientierter Form die Kaltfront nachrückt. Starken Aufwärtsbewegungen an der Vorderkante der Gewitterlinie folgen konvektiv durchsetzte, aber insgesamt mehr stratiforme Niederschlagsgebiete nach, wie man es auch bei

sommerlichen linearen konvektiven Systemen findet. Nach der breiten und hochreichenden Kaltfrontbewölkung sinken die Wolkenobergrenzen deutlich ab.



Um 0915h MEZ hat die Gewitterlinie das Erzgebirge überquert (siehe rote Pfeile) und behält den linearen, leicht ausgebeulten Charakter entlang ihrer gesamten Längsachse. Die in tiefen und mittleren Schichten fortschreitende Abtrocknung vor der Gewitterlinie hat sich verstärkt, damit wird vermehrte Einstrahlung ermöglicht, die den Luftmassenunterschied noch intensiviert. Nach der Linie kristallisiert sich eine postfrontale Subsidenzzone mit Wolkenauflösung heraus. Im eingekreisten Bereich (und weiter südwestlich) bilden sich in Verlagerungsrichtung der Kaltfront Schwerewellen. Hierfür kommen zwei Ursachen in Frage - durch hochreichende Konvektion, dessen Aufwindturm ein Hinderniss in der starken nordwestlichen Strömung darstellt - oder durch die lokale Topographie mit den Mittelgebirgen. Eine Überlagerung beider Ursachen erscheint ebenso denkbar.

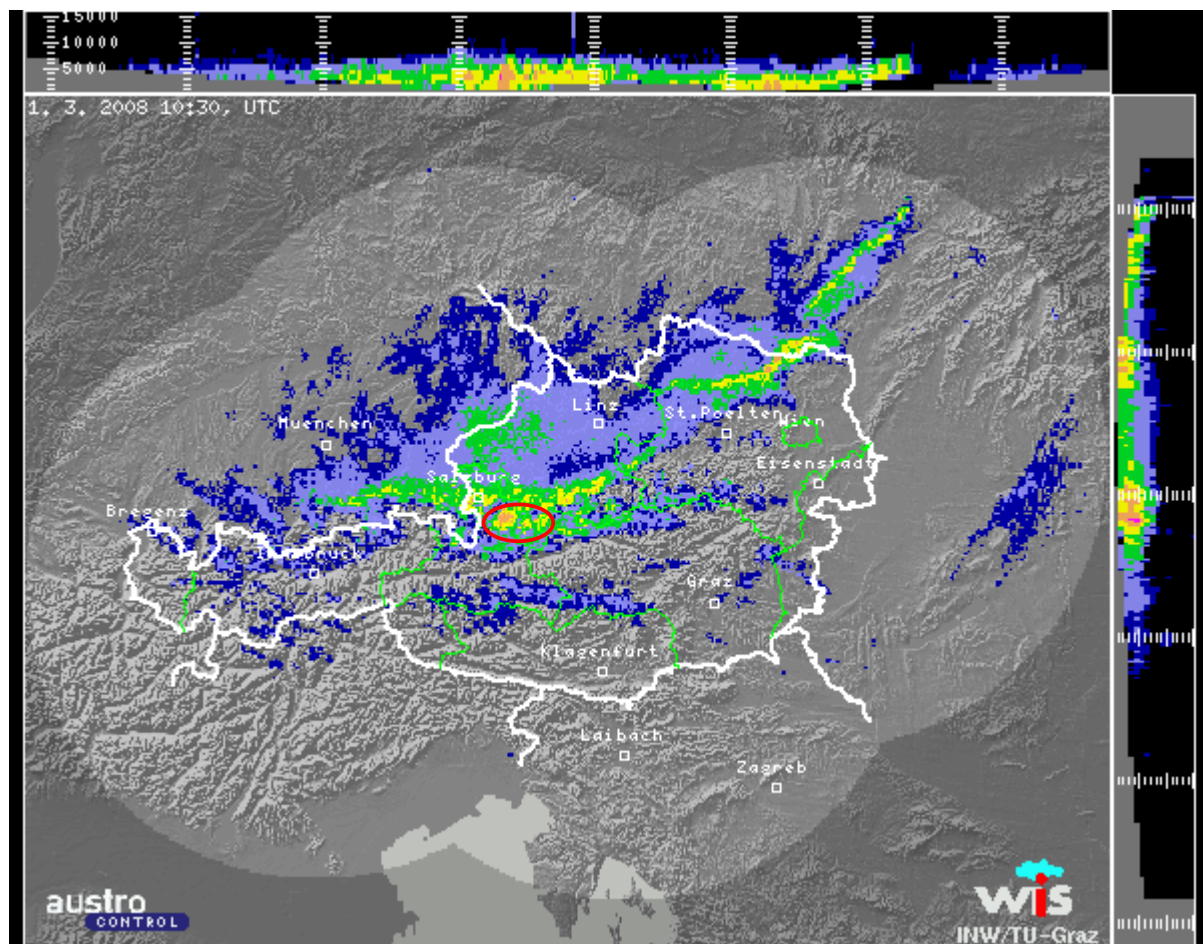


sat24.com, Source : Eumetsat, Date: 2008-03-01, 9.15.-10.45 UTC

Für Süddeutschland und Österreich in der Abfolge 10.15, 11.00, 11.45 MEZ ist der Verlauf der Gewitterlinie zunächst noch klar erkennbar, ebenso die wolkenfreie Zone davor, insbesondere im Waldviertel. Im nachfolgenden Bild scheint sich über dem Innviertel bzw. Flachgau eine zur eigentlichen Gewitterlinie vorlaufende Konvergenzlinie zu entwickeln, jeweils rot und blau gekennzeichnet. Weitere 45min später ist der Liniencharakter im Satellitenbild nahezu verschwunden. Aufschluss gibt hier nur noch das Wolkentop-Bild (siehe oben). Die ursprüngliche Gewitterlinie verläuft jedenfalls vom Innviertel bis zum

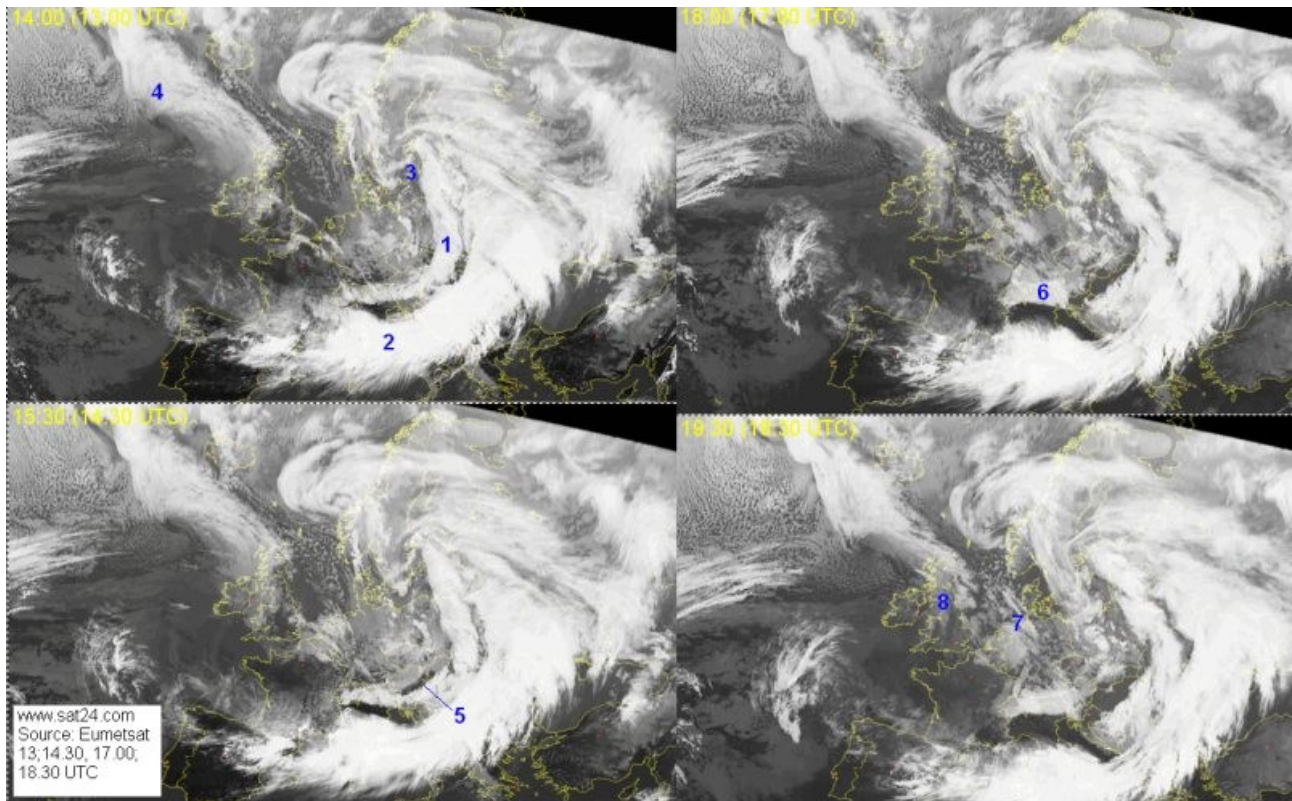
Waldviertel, die vorlaufende Linie befindet sich in etwa über dem Salzburger Land. Dort setzen in diesen Minuten auch "diskretere" Zellbildungen ein, d.h. Einzelzellen, die nicht in eine Linie eingebettet sind. Einige dieser Einzelzellen erreichten im Radarbild recht hohe Intensitäten und könnten den schweren Downburst in Obertraun (rot markiert) verursacht haben:

*Radarbilder mit freundlicher Genehmigung von Austrocontrol (<http://www.austrocontrol.at>).
Sämtliche Radarbilder sind © Austrocontrol und dürfen nicht vervielfältigt oder für gewerbliche Zwecke weiterverwendet werden!*



4. Ausgewählte Satellitenbilder zur Wetterlage an beiden Tagen

Im letzten Kapitel sollen anhand ausgewählter Satellitenbilder zu Emma und Fee charakteristische Merkmale beider Sturmtiefs aufgezeigt werden:

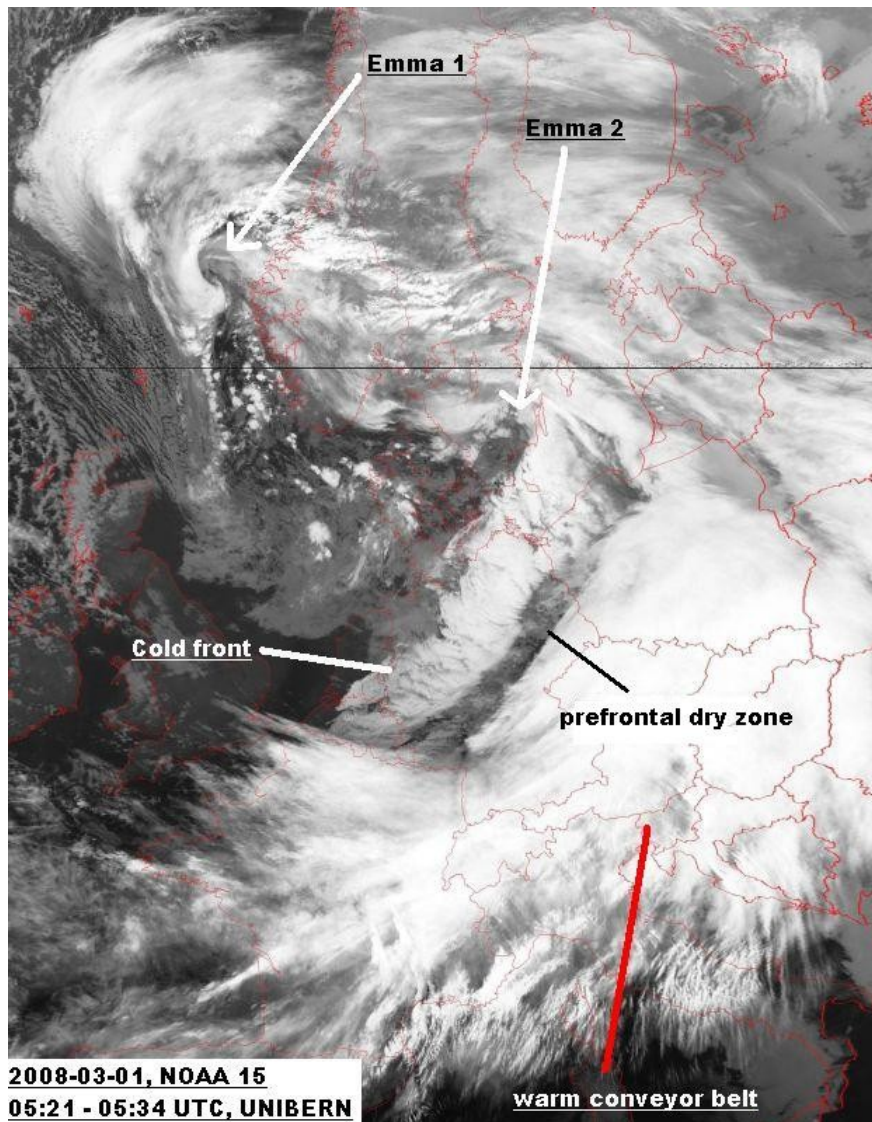


Die IR-Satellitenbilder vom 01. März, von 14.00, 15.30, 18.00 und 19.30 MEZ zeigen den Durchzug der Kaltfront Emmas von Österreich bis zum Nordbalkan. Im Bild oben links gekennzeichnet sind:

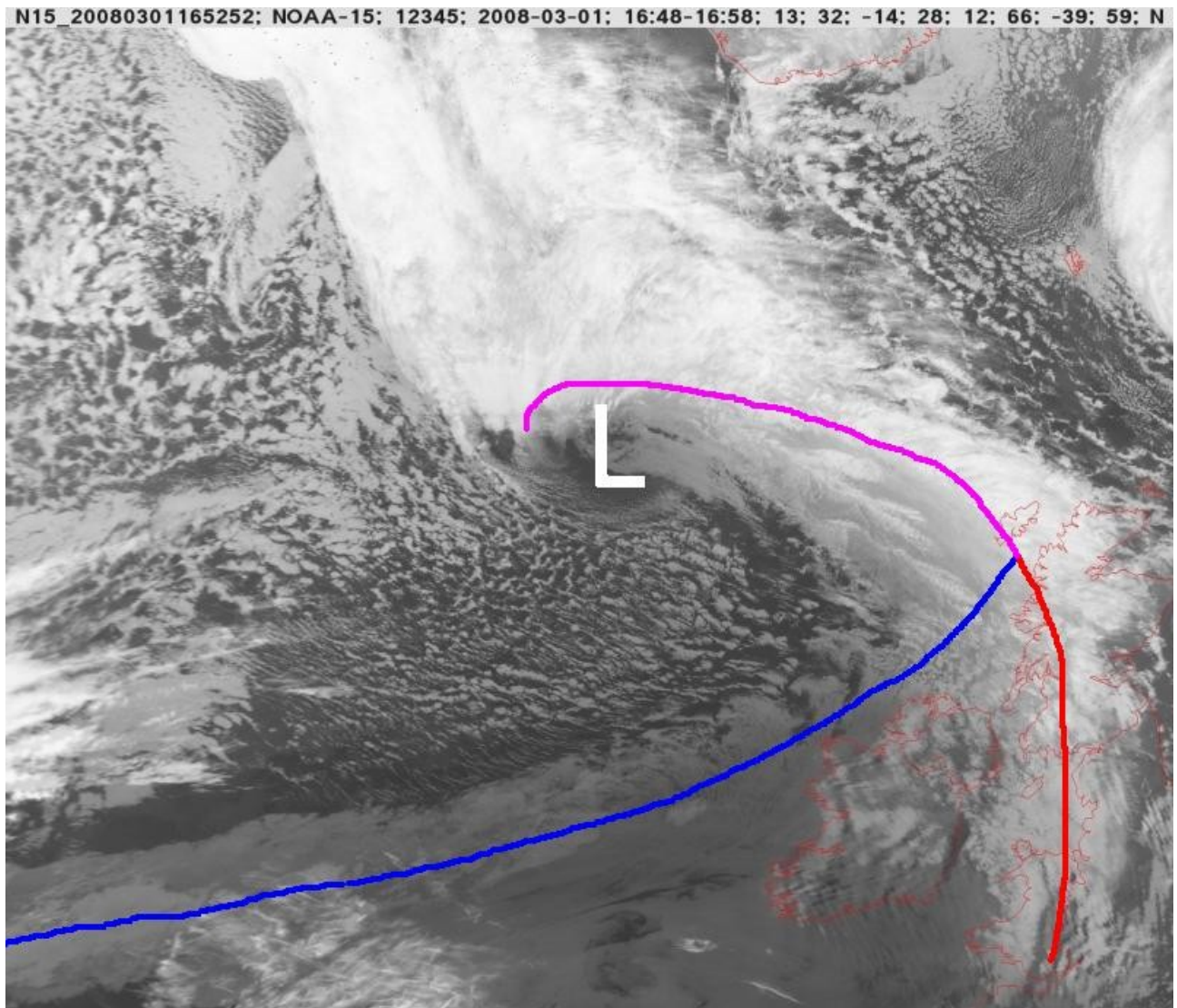
- (1) die Kaltfront selbst
- (2) das warme Förderband mit der kompakten hohen und mittelhohen Bewölkung
- (3) der Tiefdruckkern Emma 2 über der westlichen Ostsee und
- (4) das Frontensystem von Sturmtief Fee über dem Nordostatlantik.

Im Bild unten links hat die Kaltfront Österreich gerade verlassen, nachfolgend (5) klart es über Slowenien deutlich auf (postfrontale Subsidenz), ehe von Nordwesten noch die feuchte Luft in Verbindung der "Restregengebiete" nachkommen. Im Bild oben rechts ist (6) ein Effekt der Bergüberströmung zu erkennen, welcher zu ausgeprägten Wolken im

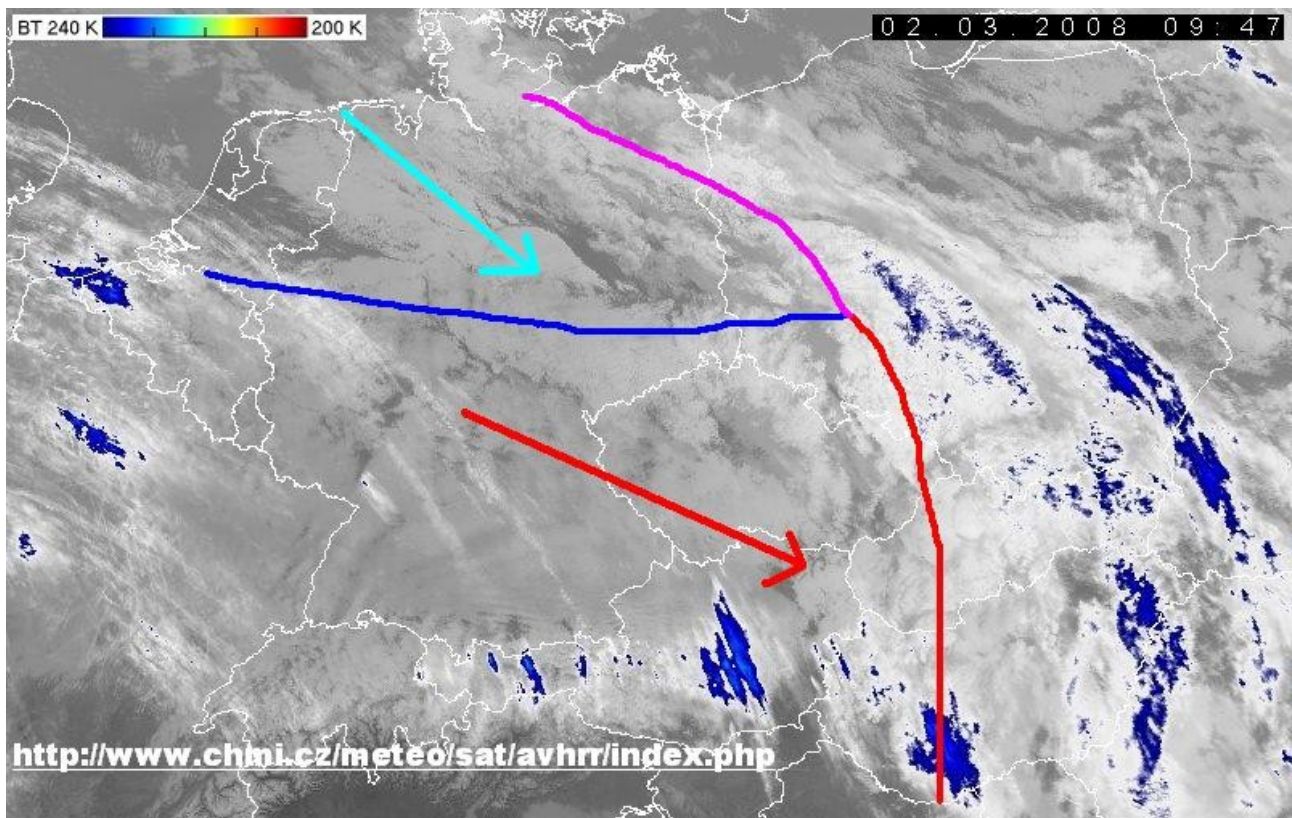
Luv der Nordalpen geführt hat. Auf der Alpensüdseite wolkenloser Himmel. Im Bild unten rechts folgt (7) dem konvektiven Bereich Emmas von Nordwesten her rasch (8) der Aufgleitbereich Fees nach. Der Trogeinfluss Emmas war also nur von kurzer Dauer, schon in den Nachtstunden setzte von Westen her Aufgleiten und nachfolgend auch Niederschläge ein, die mit einer Temperaturerhöhung in allen Höhenschichten einherging.



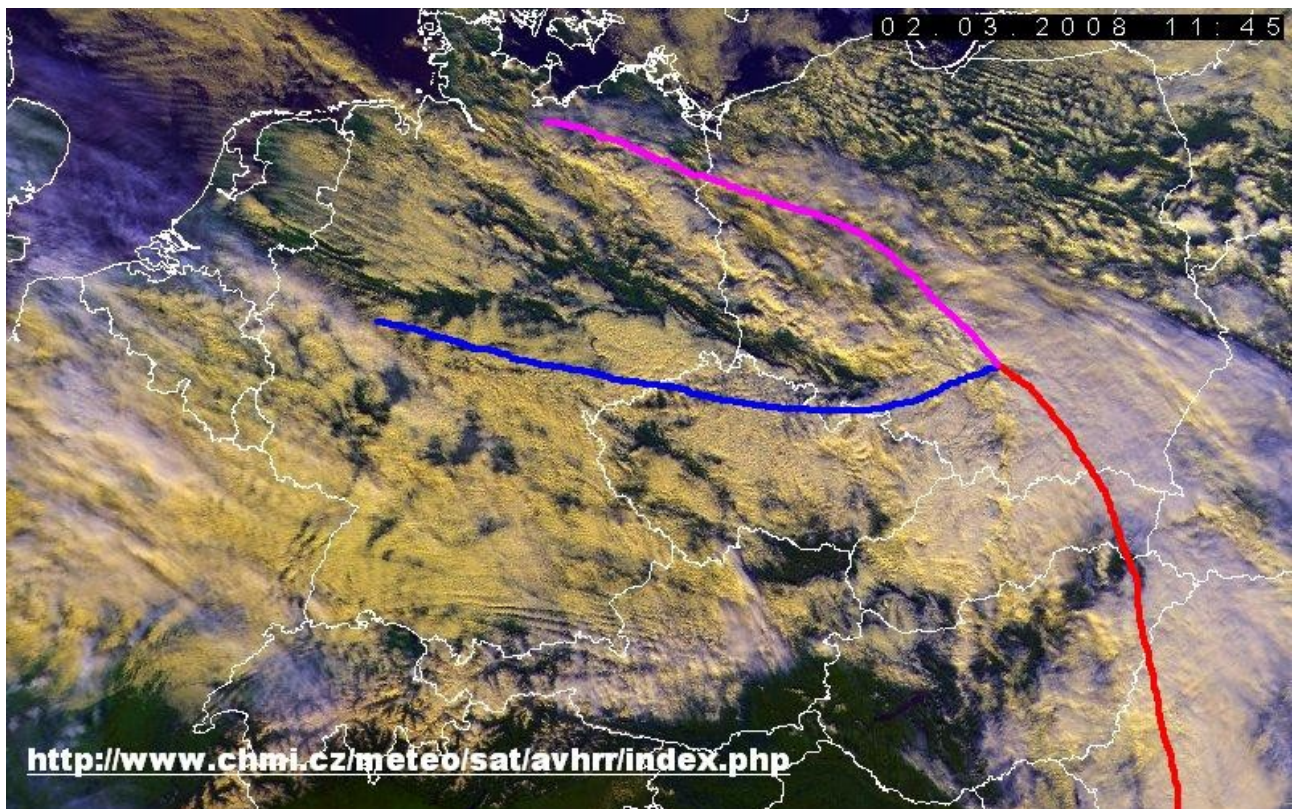
Das wohl eindrucksvollste Bild während der Sturmtiefpassage von Emma stammt von NOAA, 01. März 2008, 06.30 MEZ. Über Südeuropa fegt das warme Förderband mit stark gescherten Cirrenbändern hinweg, vom Saarland bis Brandenburg erstreckt sich eine wolkenfreie Zone, ehe die Kaltfront nachfolgt. Die isolierten Tiefkerne von Emma bilden sich gut ab, ebenso der nahezu wolkenfreie Bereich über der westlichen Nordsee und Teilen Englands und Schottlands, verursacht durch den **Dryslot**.



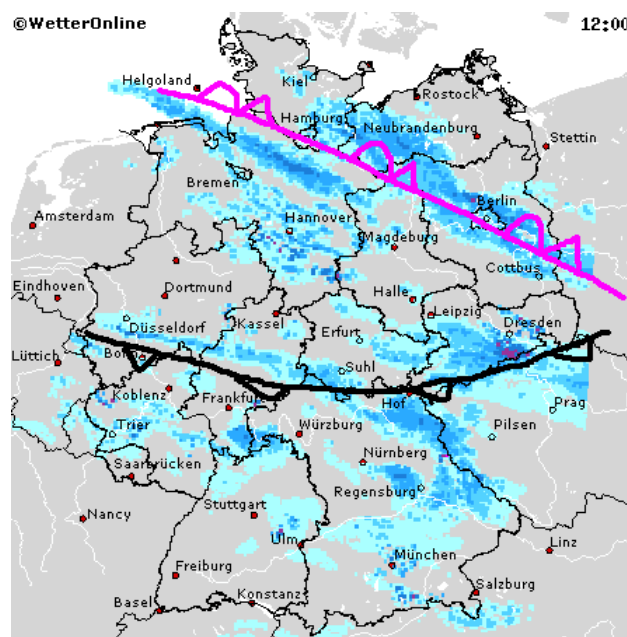
Bei Sturmtief und späterem Randtief "Fee" erklären sich die enorm niedrigen Wolkenobergrenzen am 01. März 2008, 17.50 MEZ, vor allem durch die Lage der Kaltfront unter einem Höhenrücken mit viel Warmluft. Die Warmfront selbst ist allerdings vorwiegend in niederen Schichten noch mit einem markanten Luftmassenwechsel verbunden, in mittleren Schichten entzerren sich die Luftmassengegensätze, in höheren Schichten liegt die Warmfront bereits kaltseitig der Jetachse. Die stärkere Bewölkung entlang der Okklusionsfront profitiert dagegen von dem Hebungsantrieb durch den korrespondierenden Kurzwellentrog.



Am 02. März 2008, 10.47 MEZ, liegt der Okklusionspunkt von Fee über Westpolen. Das Tief weist zu diesem Zeitpunkt keinen geschlossenen Tiefdruckkern auf. Das Frontensystem zeigt jedoch dieselben Eigenschaften wie am Vortag. Okklusion und Warmfront sind weiterhin wetteraktiver als die nachfolgende Kaltfront. Von Westen her nahender Cirrus deutet schön die Warmluftadvektion in höheren Schichten an, welche die Kaltfront zur Absenkung der Wolkenobergrenzen zwingt. Die eingezeichneten Pfeile zeigen außerdem, dass Warm- und Kaltluftadvektion nun nahezu parallel zueinander verlaufen.



Um 12.45 MEZ reicht die Okklusionsbewölkung von Südpolen über Brandenburg bis in den Süden Schleswig-Holsteins. Über Ostbrandenburg treten zu diesem Zeitpunkt starke bis stürmische Böen in Verbindung einzelner Gewitter auf. Im Warmsektor bzw. an der Kaltfront fällt konvektiv durchgesetzter, aber sonst stratiformer Niederschlag - zu markanten Schauern oder Gewittern kommt es hier nicht mehr.



So zeigt auch das Radarbild um 12.00 MEZ recht verstreute Regengebiete mit einem schwachen Liniencharakter entlang der Kaltfront sowie entlang der Okklusionsfront.

5. Zusammenfassung und Diskussion

Am 01. März 2008 zog ein kräftiges Sturm- bzw. Orkantief mit dem Namen "Emma" von den Britischen Inseln her über Nord- und Ostsee nach Osten und beeinflusste dabei weite Teile Mitteleuropas mit Sturm- und Orkanböen. In den Nachtstunden bildete sich über der nördlichen Mitte Deutschlands eine gewittrige Kaltfront, die in linearer Form in kurzer Zeit nach Südosten zog und bereits in den Mittagstunden den Norden und Osten Österreichs überquerte. Entlang des gesamten Weges dieser Gewitterlinie traten zum Teil schwere Orkanböen im Tiefland auf, lokal wurden über 150 km/h erreicht, in den Bergen auch über 200 km/h. Dies verursachte vielerorts Schäden, die teilweise jene von Orkan Kyrill im Vorjahr noch übertrafen (z.B. in meiner Heimatregion Unterfranken). In den Nachmittag- und Abendstunden gingen über Deutschland weitere Schauer im Trogsektor Emmas nieder, während sich das Wetter in Österreich vorübergehend beruhigte, ehe in der Nacht von den Britischen Inseln her ein zunächst eigenständiges Sturmtief namens "Fee" nachfolgte. Dessen Warmfront hatte zum Morgen hin schon den Osten Österreichs mit Regenfällen erreicht. Untertags des 02. März 2008 schwächte sich das in die großräumige Zirkulation Emmas eingegliederte Randtief deutlich ab, brachte aber in Mitteleuropa erneut Sturmböen hervor, von Ostdeutschland bis zum Norden Österreichs traten erneut schwere bis orkanartige Sturmböen, lokal auch Orkanböen auf. Erst nachmittags und abends schwächte sich der Einfluss von Fee dann endgültig ab.

In deutschen Medienberichten sowie bei allen deutschen Wetterdiensten wurde Randtief Fee als individuelles Sturmtief erwähnt, während in Österreich seitens des ORF von Sturmtief Emma die Rede war. Ich persönlich schließe mich den Kollegen in Deutschland und Österreich an, weshalb ich hier auch zwei Sturmereignisse gesondert betrachtet habe.

Unklar bleibt wie schon bei Kyrill der Einfluss mesoskaliger Schwerewellen (durch linken Jetauszug und niedrige statische Stabilität) auf die hochreichende Konvektion an der Kaltfront. Eventuell sollte auch die symmetrische Instabilität berücksichtigt werden.

Und grundsätzlich diskutiert werden sollte auch die Namensgebung seitens des Wetterpaten, ob jedes Randtief einen Namen erhält, sofern es Mitteleuropa beeinflusst, und ob es diesen auch dann behält, wenn die Lebensdauer des Tiefdruckgebiets stark begrenzt ist. Das würde für weniger Verwirrung bei späteren Nachbetrachtungen führen. Nun wird es nämlich so sein, dass in Deutschland von Emma und Fee, in Österreich dagegen nur von Emma gesprochen wird.

6. Referenzen

- [Wetterpate](#)
- [Wetter3](#)
- [Wyoming Soundings](#)
- [Wetteronline](#)
- [Marco Puckerts Analyse zu Emma](#)
- [Blitzortung](#)
- [CHMI.CZ - Satellitenbilder NOAA](#)
- [Eumetsat.int - Gallery](#)
- [Sat24](#)
- [Hochaufgelöstes Satellitenbild der Uni Bern](#)

Felix Welzenbach, 21. März 2008