

Orkan Emma und Sturmtief Fee

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

Gliederung:

1. Einleitung
2. Synoptischer Verlauf - Entstehung von EMMA und FEE
3. Nordföhn an der Alpensüdseite ohne Sturm
4. Durchgang der Kaltfront - Gewitterlinie mit Downbursts
5. Ausgewählte Satellitenbilder zu EMMA und FEE
6. Zusammenfassung
7. Referenzen

1. Einleitung

Am 1. März 2008 zog ein Orkantief namens EMMA von den Britischen Inseln kommend über Nord- und Ostsee ostwärts und beeinflusste dabei weite Teile Mitteleuropas mit schweren Sturm- und Orkanböen. In den Nachtstunden bildete sich über der nördlichen Mitte Deutschlands eine - dem Orkan KYRILL ähnliche - gewittrige Kaltfront, die rasch nach Südosten zog und bereits in den Mittagstunden den Norden und Osten Österreichs überquerte. Die Gewitterlinie, aufgrund ihrer Größe als DERECHO klassifiziert, brachte verbreitet Orkanböen selbst im Tiefland (z.B. 151 km/h in Chemnitz, 140 km/h in Salzburg und Wien) und extreme Orkanböen auf den Bergen (z.B. 223 km/h auf dem Wendelstein).

Das Sturmfeld war auch weiter südwestlich spürbar und führte in Unterfranken zu größeren Schäden als bei KYRILL. In den Nachmittag- und Abendstunden gingen über Deutschland weitere Schauer im Trogsektor Emmas nieder, während sich das Wetter in Österreich vorübergehend beruhigte. In der Nacht folgte von den Britischen Inseln her ein zunächst eigenständiges Sturmtief namens FEE. Es erreichte in den Morgenstunden des 2. März bereits den Osten Österreichs mit Regen. Tagsüber schwächte sich das in die großräumige Zirkulation von EMMA eingebettete Randtief deutlich ab, brachte aber erneut Sturmböen, von Ostdeutschland bis in den Norden Österreichs sogar schwere bis orkanartige Sturmböen. Erst nachmittags und abends schwächte sich der Einfluss von FEE endgültig ab.

1.1 Namensgebung

Alle Medien berichteten über das Orkantief EMMA, das am 1. März 2008 über Mitteleuropa hinwegzog. Nicht so bei Nachfolgetief FEE, durch www.wetterpate.de benannt. In Deutschland wurde über das *Randtief* oder das neue *Sturmtief* berichtet, während im Österreichischen Rundfunk folgende Schlagzeilen zu lesen waren:

"Emma zieht erneut über Österreich"

"Emma wird wieder stärker"

"Emma bestimmt auch am Sonntag das Wetter in Österreich"

Niemals war beim ORF von einem Randtief die Rede, stattdessen wurde es offenbar als logisch angesehen, dass dasselbe Orkantief gleich zweimal über eine Region zieht. 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.

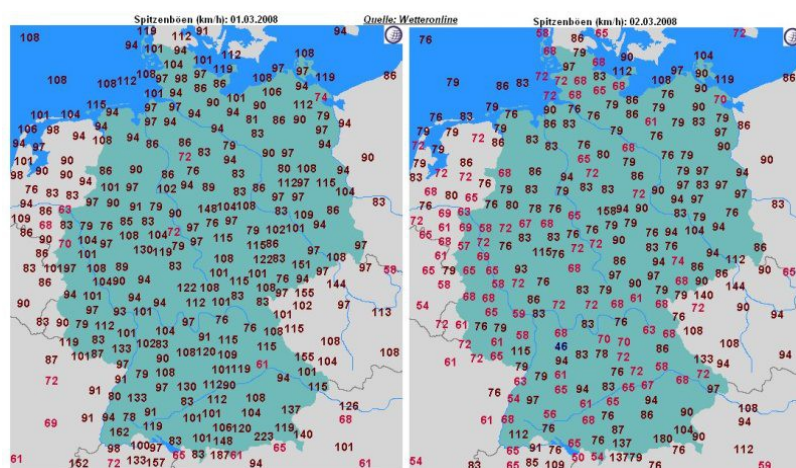
1.2 Stürme im Doppelpack

Ein Sturm kommt selten alleine ...

- 1990: VIVIAN (27.2.) und WIEBKE (1.3.)
- 1999: LOTHAR (26.12.) und LOTHAR SUCCESSOR (27.12.)
- 2002: KYLE (26.12.) und JEANETT (27.10.)
- 2004: GERDA (12.1.) und HANNE (13.1.)
- 2004: NINA (19.3.) und ORALIE (21.3.)
- 2007: KYRILL (18.1.) und LANCELOT (20.1.)
- 2012: ULLI (3.1.) und ANDREA (5.1.)

Die Orkane EMMA, KYRILL und ANDREA sind sich optisch sehr ähnlich, auch die Kaltfrontpassagen fielen in allen Fällen markant (gewittrige Linie) aus, wobei KYRILL flächenmäßig die heftigsten Böen hervorbrachte, EMMA nur wenig schwächer war und ANDREA vergleichsweise harmlos.

1.3 Spitzenböen bei EMMA und FEE



Die Karten mit den jeweiligen Spitzenböen (in km/h) von EMMA (links) und FEE (rechts) belegen die Heftigkeit beider Ereignisse.

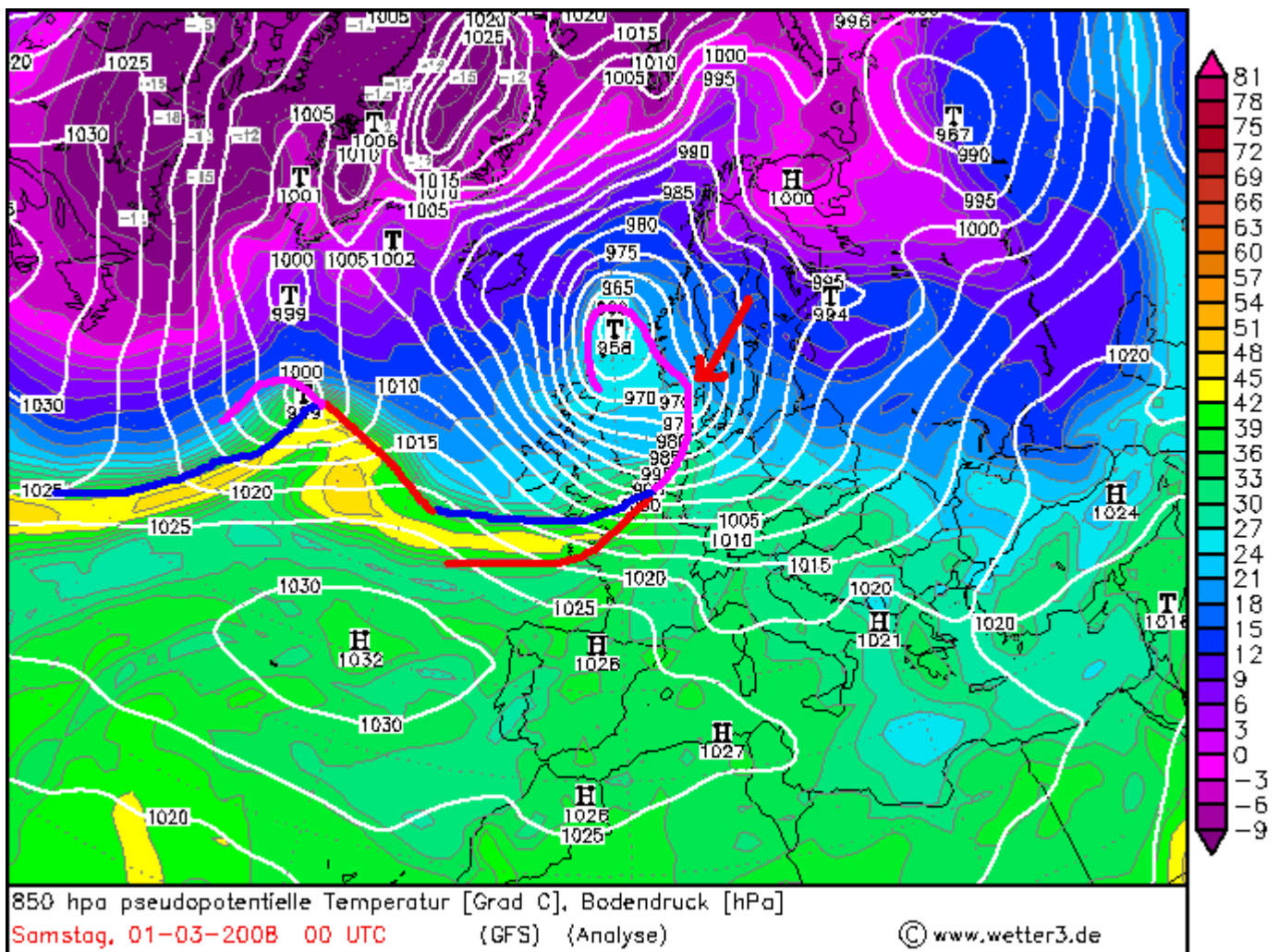
EMMA gehört zu den wenigen Orkanen in Deutschland, die über eine große Fläche Orkanböen hervorbrachte. Oft sind die Sturmwirbel kleinräumiger und regionaler in den Auswirkungen (wie LOTHAR, WIEBKE, QUIMBURGA, DARIA, etc...). JEANETT, KYRILL und EMMA zählen dagegen zu den stärksten *Flächenstürmen* der letzten 10 Jahre. Die stärksten Böen traten jeweils an der Kaltfront auf, im Warmsektor sorgt erzwungenes Absinken im Lee der Orographie für starke

Böen.

FEE ist insofern bemerkenswert, als dass das Tief bereits unter Abschwächung über Mitteleuropa südostwärts zog und dennoch schwere Böen > 90 km/h erzeugte.

2. Synoptischer Verlauf: Entstehung der beiden Sturmwirbel

Leider fehlen im Zeitraum vom 28.2. bis 1.3.2008 die Wetter3-Archivkarten, der folgende Thetae-Loop (mit eingezeichneten Fronten) beginnt daher am Samstag, 1. März, 00 UTC und geht bis zum Sonntag, 02. März 2008, 18 UTC.



nach EMMA ging jedenfalls eindeutig auf das Konto eines durchziehenden Druckminimums.

Einzelne Zeitschritte:

Samstag, 01. März 2008, 00 UTC

EMMA liegt mit Zentrum über der Norwegischen See und weist ein weitgehend okkludiertes Frontensystem mit schmalem Warmsektor westlich des Ärmelkanals auf. Dort, 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 im Reifestadium angelangt ist.

Samstag, 01. März 2008, 06 UTC

EMMA besteht nun aus den Tiefdruckkernen EMMA 1 und EMMA 2.

EMMA 1 verharrt quasi-stationär über der Norwegischen See, während Emma 2 weiter nach Schweden zieht. Durch die herumgeholtte 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: Sie stehen im rechten Winkel zueinander, was die **Frontogenese** fördert (Verschärfung des Temperaturgradienten und frontogenetischer Hebungsantrieb). FEE vertieft sich noch leicht als Warmsektorzyklone.

Samstag, 01. März 2008, 12 UTC

Die Kaltfront von EMMA 2 hat bis Samstagmittag eine gewaltige Wegstrecke zurückgelegt: Von Amsterdam um 3 UTC bis Wien um 12 UTC. Weiterhin liegt sie quer zur Strömungsrichtung (frontogenetisch) und 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 verliert, 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

Samstagabend hat die Kaltfront den Nordbalkan erreicht. Das Kaltluftpolster auf ihrer Rückseite hat sich über Südungarn noch leicht intensiviert. EMMA 2 liegt nun mit Kerndruck von 969 hPa 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 eine Verwellung hinweist.

Sonntag, 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 Warmfront bildet sich kaum noch ab, die Kaltfront ist noch besser erkennbar.

Die Isobarendrängung über Nordostdeutschland ist weiter nach Polen gezogen. Bereits gegen Mitternacht erreicht das nun in die Zirkulation von EMMA eingebundene Randtief FEE mit seiner Warmfront den äußersten Westen Deutschlands. FEE unterliegt nun der sich beginnenden Zyklolyse (der Kerndruck steigt um 2 hPa in 6 Stunden).

Sonntag, 02. März 2008, 06 UTC

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 von EMMA einströmende Kaltluft ist nun vollständig aus Deutschland und Österreich nach Osten abgedrängt worden.

Das Randtief FEE hat seinen Tiefdruckkern verloren. Der Druckanstieg ist jedoch noch marginal. 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 großteils von Randtief FEE her. Die Warmfront hat nun schon den Osten Deutschlands und Österreichs erreicht. EMMA hat ihren Einfluss endgültig auf Österreich verloren.

Sonntag, 02. März 2008, 12 UTC

In den Mittagstunden ist die Warmfront FEE 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 strömungsparallel und zunehmend inaktiv.

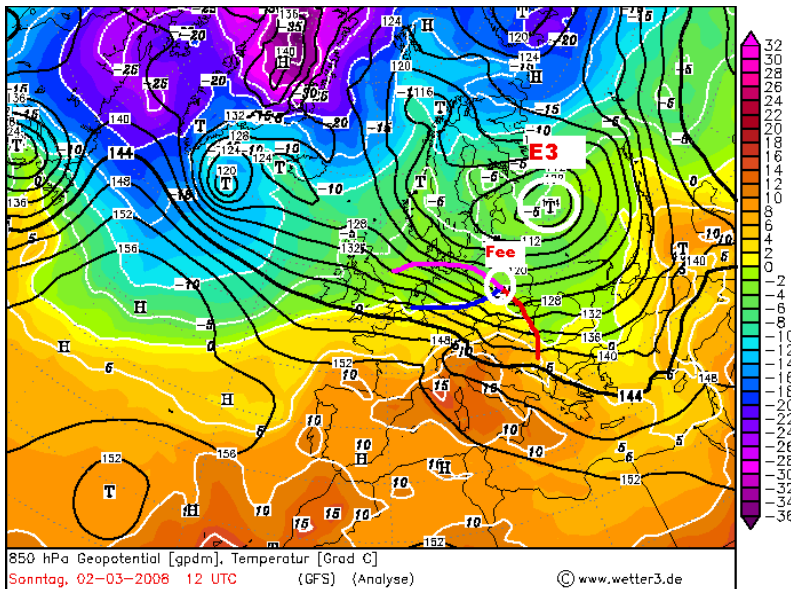
Weiter stromaufwärts setzt westlich des Ärmelkanals Wellenbildung ein. Allein die Lage der höheren und niedrigeren Theta-e-Werte zeigt an, dass der Trogsektor von EMMA nun schon deutlich östlich von Österreich liegt und Österreich vollständig von Warmluftadvektion erfasst wurde. Zusätzlich schwächt sich die südostwärts geführte Gradientverschärfung über Mitteldeutschland und Tschechien weiter ab. Entgegen der Modellprognosen vom Freitag, 29. Februar 2008, schwächte sich FEE stärker ab als erwartet, weshalb weniger flächig schadensträchtige Böen beobachtet wurden.

Sonntag, 02. März 2008, 18 UTC

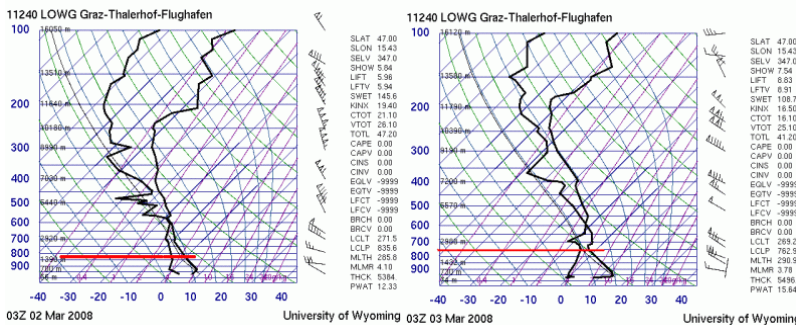
Sonntagabend sind die Reste von FEE zum Nordbalkan weitergezogen. Seine Kaltfront streifte den Nordrand Österreichs, dahinter setzte aber bereits mit der stark verwellenden Kaltfront erneut Warmluftadvektion ein, die sich in der folgenden Nacht weiter verstärkte. Der Gradient schwächte sich deutlich ab.

3. Nordföhn an der Alpensüdseite ohne Sturm

Mit Durchzug der Kaltfront von EMMA setzte sich an der Alpensüdseite milde Föhnluft durch. Im Warmsektor von Sturmtief FEE wurden dann bis zu 21 Grad in Kärnten erreicht.



Die 850 hPa-Temperatur ist an der Alpensüdseite höher, sodass die 21°C bereits bei einer Durchmischung mit dieser Höhe erreicht werden konnte. Durch die Absinkinversion an der Keilvorderseite wurden die starken Höhenwinde entkoppelt - die Spitzenböen im Süden wurden meist mit 50-70 km/h gemessen.



Die Sondenaufstiege von Graz vom 2. März (links) und 3. März (rechts), jeweils 3 UTC. Am 2. März hat sich - von einer schwachen Inversion abgesehen - bis rund 850 hPa eine gut durchmischte Schicht hochgearbeitet.

Um diese Zeit lag der Warmsektor zwar schon mitten über Österreich, die Höchstwerte im Klagenfurter Becken wurden aber erst zwischen 15 und 16 UTC erreicht. Dabei meldeten die Stationen mäßig bis frischen **Südwest**wind. Vom Lienz bis zum Grazer Becken wurden 16 bis 19 °C registriert, jedoch ohne Sturm.

Die Erklärung liefert der Sondenaufstieg vom Folgetag, 3. März: Die durchmischte Schicht ist nordföhnbedingt bis 750 hPa gewachsen, die heftigen Winde darüber durch die Inversion entkoppelt. Infolge der Warmluftadvektion stieg die Temperatur in 850 hPa, 700 hPa und 500 hPa um jeweils 5 K an. Bei einer Temperatur von -2°C an der Obergrenze der Nordföhnschicht (2500 m) sind bei vollständiger Durchmischung +19°C in Graz (ca. 400 m) möglich - diese wurden am 2. März auch erreicht.

Schlussfolgerung:

Nach Abzug von EMMA wurden mit einer niedertroposphärischen Südwestströmung wärmere Luftmassen zur Alpensüdseite advehiert. Die theoretisch höheren Maximalwerte wurden dank der

verbliebenen Nordföhnschicht erreicht, die maximale Durchmischung ermöglichte. Absinkbedingt hatte sich in 700 hPa eine Inversion ausgebildet, die die heftigen Höhenwinde darüber entkoppelte. Folglich war zwar Nordföhn beteiligt, aber ohne schadensträchtige Böen.

4. Kaltfrontpassage von EMMA: ein Derecho

Viele Synoptiker fühlten sich an die Kaltfront von KYRILL im Vorjahr erinnert und in der Tat war die im Radar- und Satellitenbild sichtbare Ausprägung der Gewitterlinie sowie die damit einhergehenden Downbursts und Tornados bei EMMA ähnlich zum Vorgängersturm. In diesem Fall wurde KYRILL sogar noch übertroffen, da die Gewitterlinie langlebiger und ausgedehnter war.

4.1 Definition eines Derechos

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

- **konzentriertes Gebiet** mit Beobachtungen von konvektiv verursachte Windschäden oder konvektiven Böen von **mehr als 94 km/h** mit einer Hauptachsenlänge von **mindestens 400 km**
- **nichtzufälliges Erscheinungsbild: Muster einer chronologischen Verlagerung** als Einzelpfad (fortschreitend) oder eine Serie von Pfaden (in Serie).
- **mindestens 3 Beobachtungen**, 64 km oder weiter voneinander entfernt, mit F1-Schäden oder Böen bis/über 119 km/h
- **nicht mehr als 3 Stunden Abstand** zwischen nachfolgenden Windböenereignissen

Die Linearisierung der Kaltfront begann um Mitternacht vor den westfriesischen Inseln und arbeitete sich bis 2. März, 3 UTC auf eine Linie Ärmelkanal - westliche Ostsee vor. Zwischen 5 und 8 UTC wurde die maximale Blitzdichte erreicht, danach nahmen die Entladungen ab. Gewitter erreichten dennoch 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), Mühlendorf (137km/h), Salzburg (140 km/h) Wels (126km/h), Wien (140km/h).

Die Tornadoliste von Thomas Sävert listet 3 bestätigte Tornados und 29 Verdachtsfälle auf, sowie 1 Downburst. In Österreich war vor allem Oberösterreich schwer getroffen, etwa das Salzkammergut, wo Zeitungsberichte (leider verfallen) auf F2-T4 -Schäden schließen lassen. [Bestätigt](#) ist außerdem ein F3-Downburst in Braunau am Inn.

Schlussfolgerung:

Aufgrund der Beobachtungsdaten erscheint die Bezeichnung Derecho für die Ausdehnung der Squall line gerechtfertigt. Jüngst wurde meine damals aufgestellte These von Christoph Gatzert (ESTOFEX) bei der European Conference on Severe Storms (ECSS) in Palma de Mallorca (2011)

während eines Vortrags zu Derechos in Europa bestätigt, da namentlich als Fallbeispiel aufgeführt.

4.2 Linienfördernde Faktoren

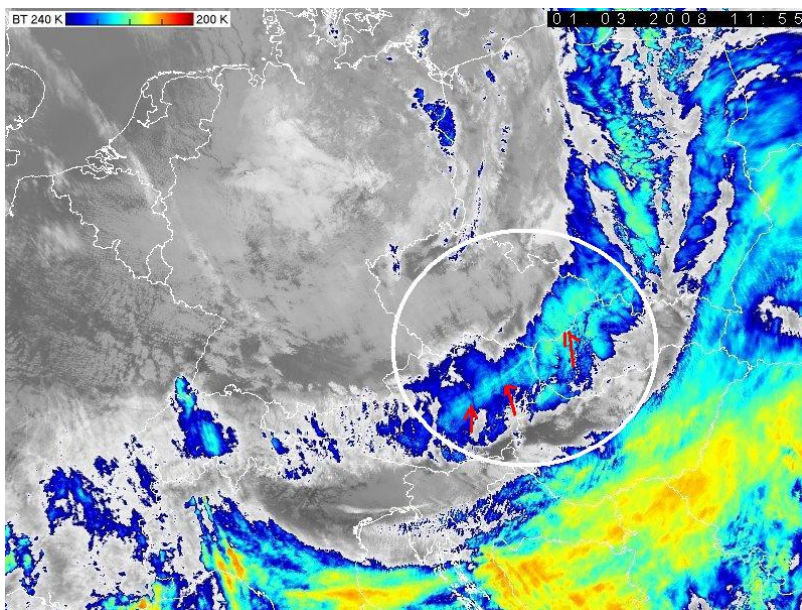
Folgende Faktoren begünstigen Gewitterlinien im Winter:

- feuchtilabil geschichtete untere und mittlere Troposphäre
- starker horizontaler Temperaturunterschied (thermisch direkte Zirkulation)
- niedertroposphärisches Starkwindband ("Low-Level-Jet")
- Warm- und Kaltluftadvektion treffen im rechten Winkel aufeinander
- flächig ausgeprägtes Maximum an differentieller zyklonaler Vorticityadvektion

Im Sommer begünstigen zusätzlich trockene Luftschichten die Ausbildung eines Cold Pools, welcher wiederum den horizontalen Temperaturunterschied verstärkt.

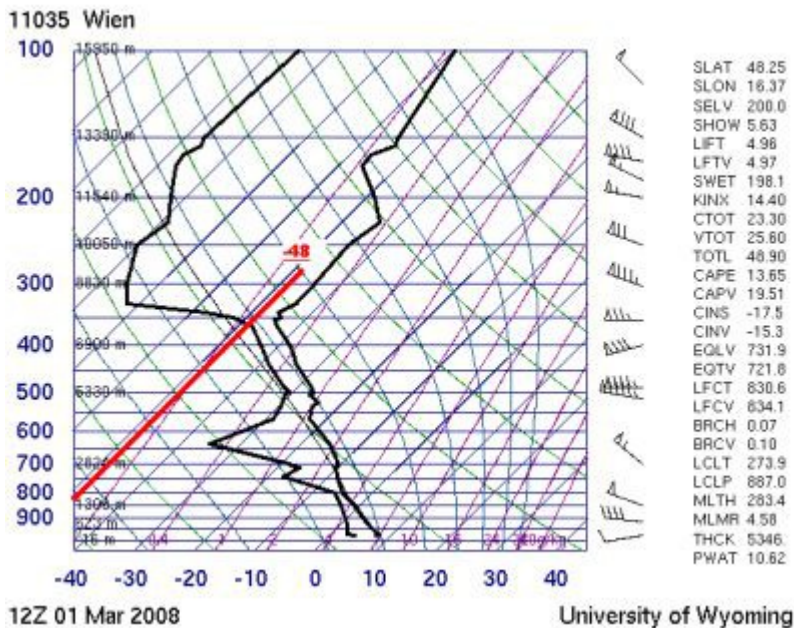
Nachfolgend einige Karten während der Kaltfrontpassage, die das Vorhandensein der genannten Faktoren verdeutlichen:

IR-Satellitenbild vom 1.3.2008, 11:55 UTC, mit Wolkenobergrenzentemperatur (in K)



Das IR-Bild von NOAA zeigt die Kaltfrontpassage zum Zeitpunkt, als Wien mit Spitzenböen von 130 bis 170 km/h überquert wurde. Die Wolkenobergrenzentemperaturen lagen verbreitet unter -30°C , entlang der schmalen Linien sanken sie sogar auf etwa -48°C ab. Weiter südlich macht sich das warme Förderband durch flächig hochreichende Aufgleitbewölkung bemerkbar, dazwischen hatte sich eine wolkenfreie Zone gebildet - dazu später mehr.

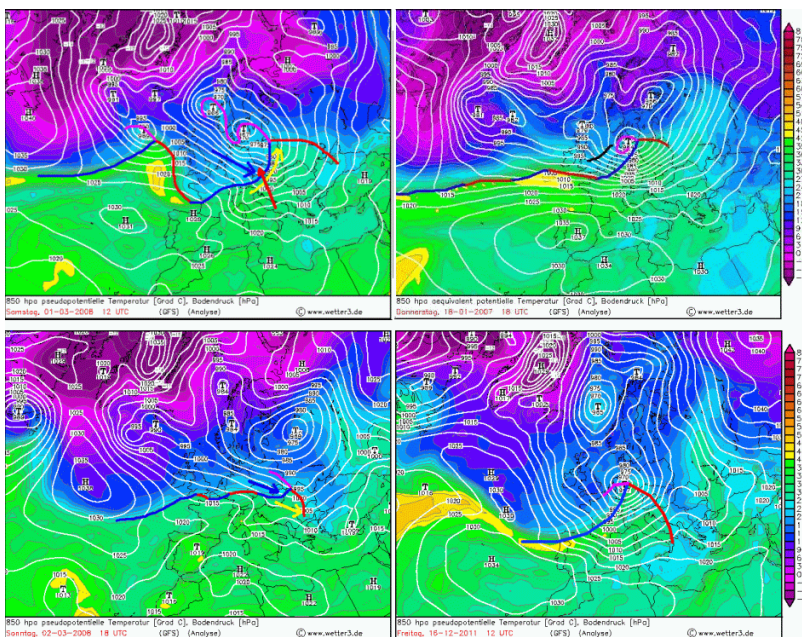
zugehöriger Radiosondenaufstieg vom 1. März 2008, 12 UTC (Wien)



Die Sonde von Wien wurde eine Stunde nach Frontdurchgang gestartet, als es bereits erkennbar stabilisiert hatte. Einstrahlungsbedingt wäre zu diesem Zeitpunkt die Freisetzung von CAPE bis höchstens 550 hPa möglich gewesen. Die gemessenen -48°C (rot eingefärbt die zugehörige Isotherme) wären erst in 200 hPa erreicht worden. Plausibler erscheint die Annahme, dass sich die -48°C bei Frontpassage auf etwa 400 hPa befanden. Hinzu kommt das **Entrainment von Stratosphärenluft**, dessen Verdunstungskälte die Wolkenobergrenzentemperatur senkt.

850 hPa-Thetae + Bodendruck, Vergleich EMMA mit weiteren Sturmzyklonen

Die oben erwähnte Ausrichtung der Kaltluft- zur Warmluftadvektion bestimmt die Dominanz des Liniencharakters. Je rechtwinkliger die Verlagerung der Kaltfront zur Ausrichtung der präfrontalen Warmluftadvektion, desto intensiver der frontogenetische Hebungsantrieb.



Das 4er-Panel zeigt EMMA (l.o.), KYRILL (r.o.), FEE (l.u.) und JOACHIM (r.u.).

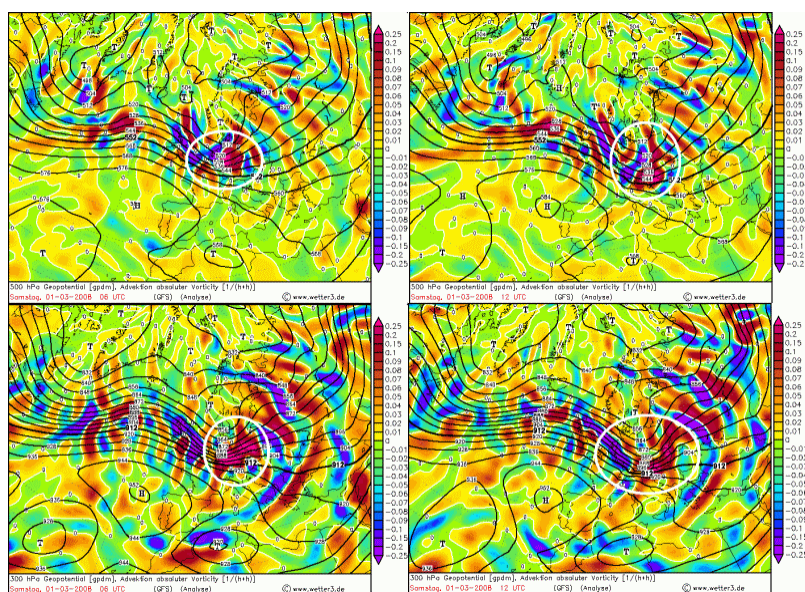
Bei **EMMA** ist der Winkel zwischen WLA und KLA am schärfsten ausgeprägt. Der konzentrierte Rückgang von Thetae rückseitig der Kaltfront ist vermutlich Folge der kräftigen Schauer- und Gewittertätigkeit. In der Regel sorgt der starke Druckgradient ja für anhaltend hohe Durchmischung ("maskierte" Kaltfront). Zu sehen ist außerdem der Leetrog in der Poebene infolge der Gebirgsüberströmung.

Bei **KYRILL** ist der Winkel zwischen WLA und KLA zwar schwächer, was aber durch den stärkeren Druckgradienten ausgeglichen wird (kleinere Solenoide). In weitere Folge schwächte sich der Druckgradient jedoch durch die Wellenbildung vor Irland weiter ab, sodass die Kaltfront von Kyrill im Südwesten Deutschlands an Ausprägung und Intensität verlor.

Beim EMMA's Nachfolgesturm, **FEE**, waren sowohl der Druckgradient schwächer als auch der Winkel zwischen WLA und KLA flach, also nahezu strömungsparallele Verhältnisse vorhanden. Als Ergebnis war die Aktivität an der Kaltfront schwach, die Kaltfront als solche kaum im Radar- und Satellitenbild erkennbar, da ziemlich zerfleddert.

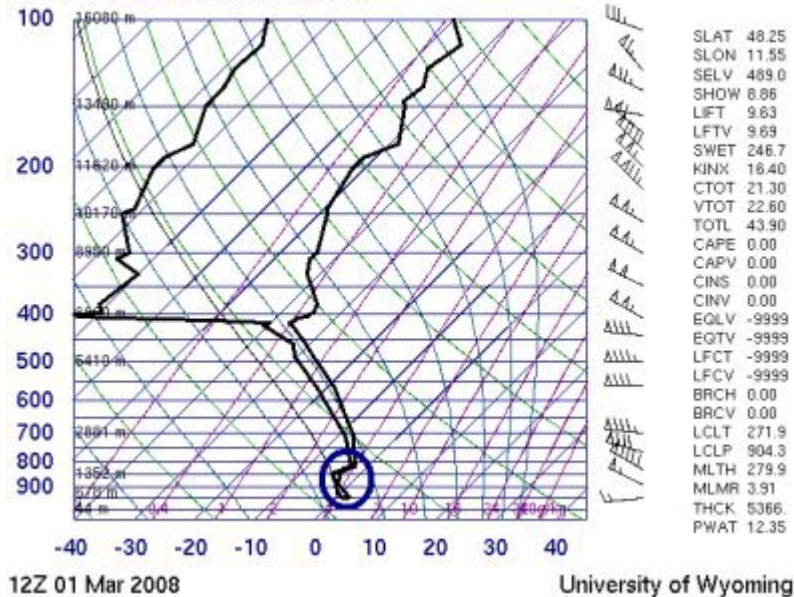
JOACHIM stellte als Shapiro-Keyser-Zyklone einen Spezialfall dar. Liniencharakter war nur über Frankreich gegeben, wo der Winkel relativ spitz und die Temperaturunterschiede relativ groß waren. Mit Nähe zum Okklusionspunkt und föhnbedingtem Absinken löste sich die Linie über Südwestdeutschland auf, danach bildeten sich vermehrt Lücken im Niederschlagsgebiet aus (mehr dazu in der irgendwann erscheinenden Fallstudie zu JOACHIM).

500 hPa + 300 hPa Geopotential + Absolute Vorticityadvektion, 1. März 2008, 6+ 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.

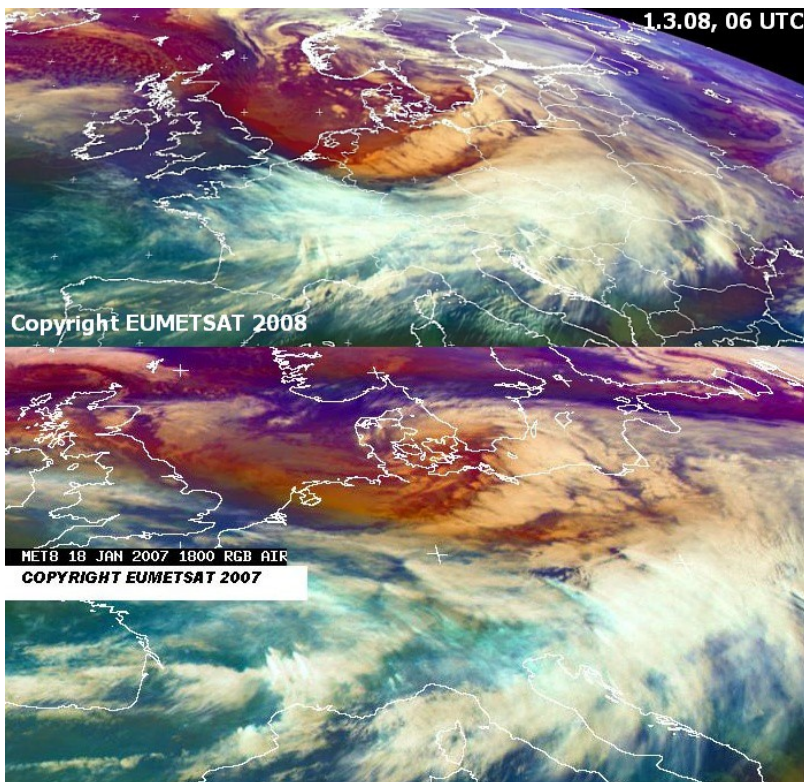
10868 Muenchen-Oberschlsheim



Der Radiosondenaufstieg von München, etwa zwei Stunden nach Frontdurchgang zeigt im Gegensatz zu Sondenaufstiegen weiter stromaufwärts sehr deutlich die Folgen des Luftmassenwechsels. Bodennah hat die Luft auf $+2^{\circ}\text{C}$ abgekühlt und das durch heftigen Niederschlag, daraus resultierender Verdunstungskälte und Hagel gebildete Kaltluftpolster ist rund 1500m dick. 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 mit Annäherung der Front noch verschärft wurde.

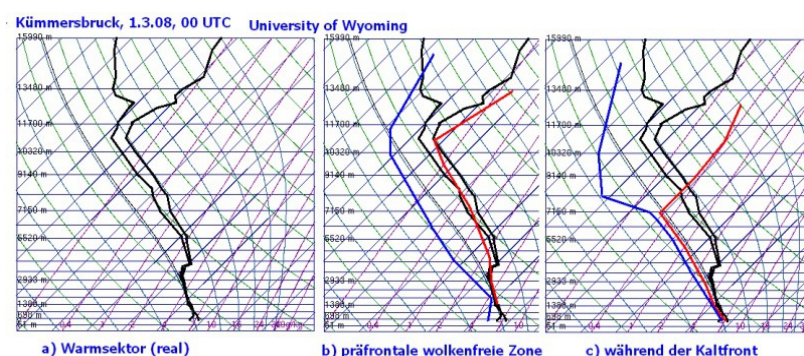
4.3 Schwerewellen an und Auflockerungen vor der Kaltfront

Während der Kaltfrontpassage von EMMA traten an der Kaltfront periodische, wabenförmige Strukturen auf, die denen während der Kaltfrontpassage von KYRILL ähnelten:



In beiden Fällen sorgte ein ausgeprägtes warmes Förderband für kräftigen Regen im Warmsektor. Ebenso überströmte die Stratosphärenluft die Kaltfront und drang bis in den Warmsektor vor. Dies war vermutlich ausschlaggebend für das "präfrontale Absinken" mit Wolkenauflockerungen vor der Kaltfront. Der Verlauf der Jetachse ist sehr gut anhand der scharf begrenzten Cirrenbewölkung ersichtlich, sie deutet den linken Jetauszug im Bereich der Kaltfront an und weist entsprechend auf niedrige statische Stabilität hin - Voraussetzung für die Bildung von mesoskaligen Schwerewellen.

Was die präfrontale wolkenfreie Zone betrifft, habe ich bisher gerätselt. Leider gibt es keinen repräsentativen Aufstieg aus diesem Bereich - nur davor im warmen Förderband, aus der Kaltfront sowie rückseitig der Kaltfront. Mithilfe verschiedener Aufstiege, u.a. Meiningen, Kümmersbruck, Prag, Lindenberg und Idar-Oberstein habe ich zwei "fiktive" Aufstiege skizziert, die die Bedingungen im trockenen Bereich und mit Eintreffen der Kaltfront darstellen.



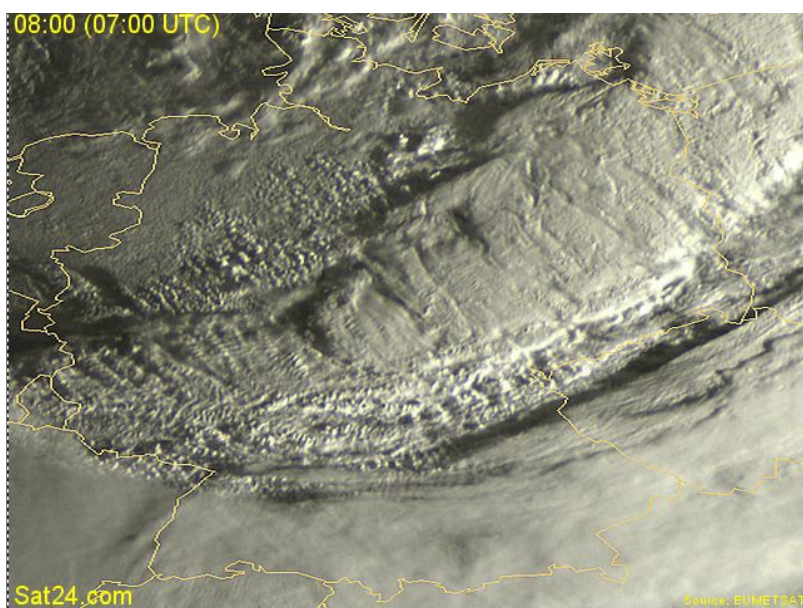
Im warmen Förderband **[a)]** ist die Schichtung stabil und gesättigt, mit dem Überströmen durch Stratosphärenluft trocknet die obere und mittlere Troposphäre ab. Übrig bleibt eine niedertroposphärische Feuchteschicht **[b)]**, da die Stratosphärenluft nicht bis zum Boden vordringt, sondern absinkbedingt eine Inversion ausgebildet wird. Die Überlagerung der feuchten Bodenluft und trockenen Höhenluft erzeugt jedoch **potentielle Instabilität**, die nachfolgend unter das starke

Höhendivergenzgebiet gerät und durch Hebung in **bedingte Instabilität** umgewandelt wird. Die resultierende Luftschichtung **[c]** ist feuchtneutral bis feuchtlabil und ermöglicht freien (erzwungenen) Aufstieg bis zur stark gesunkenen Tropopause.

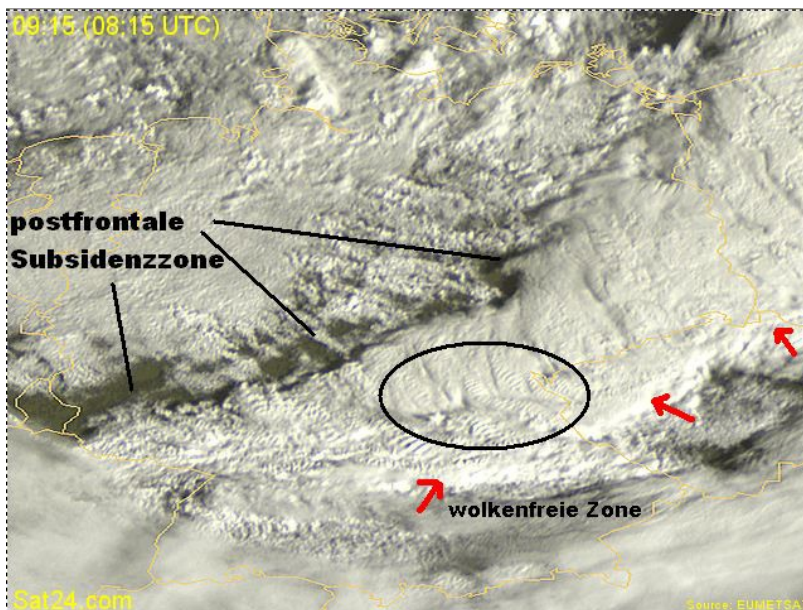
Naturgemäß ist die freigesetzte Labilitätsenergie vergleichsweise gering, was aber durch die enorme vertikale Windscherung überkompensiert wird. So können auch bei minimalem CAPE schwere Gewitter entstehen, in diesem Fall oft begleitet von schweren Fallwindböen und auch einzelnen Tornados.

4.4 Kaltfrontpassage im Satellitenbild

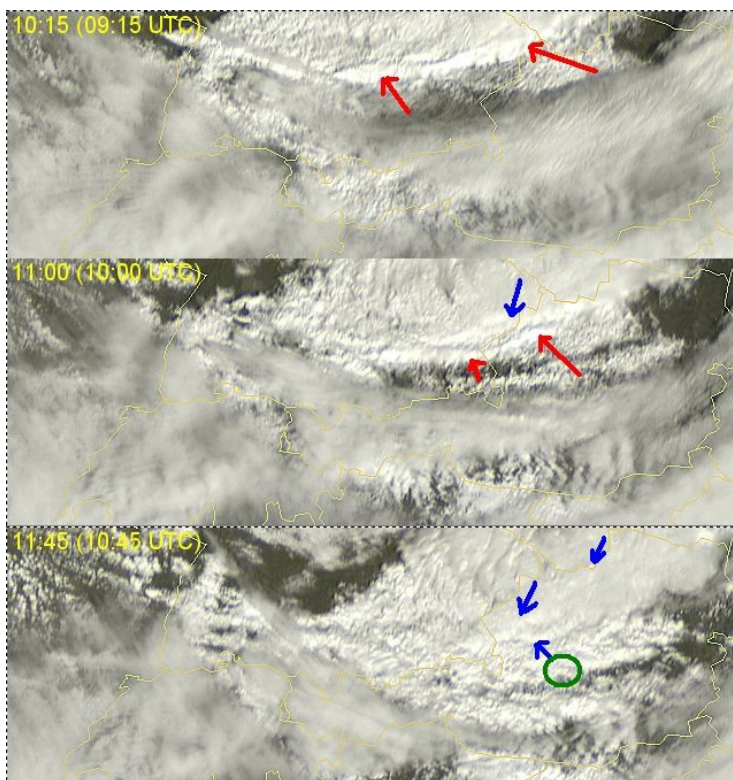
Nachfolgende Satellitenbilder aus dem sichtbaren Bereich von Sat24 werfen einen näheren Blick auf die Kaltfrontpassage über Deutschland und Österreich:



Am 01. März 2008 um 7 UTC 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 8.15 UTC hat die Gewitterlinie das Erzgebirge überquert (siehe rote Pfeile) und behält den linearen, leicht ausgebeulten Charakter entlang ihrer gesamten Längsachse. Nach der Linie kristallisiert sich eine postfrontale Subsidenzzone mit Wolkenauflösung heraus. Im eingekreisten Bereich (und weiter südwestlich) bilden sich in Verlagerungsrichtung der Kaltfront kleinräumige Schwerewellen aus, evtl. Folge der Überströmung der fränkischen Mittelgebirge.



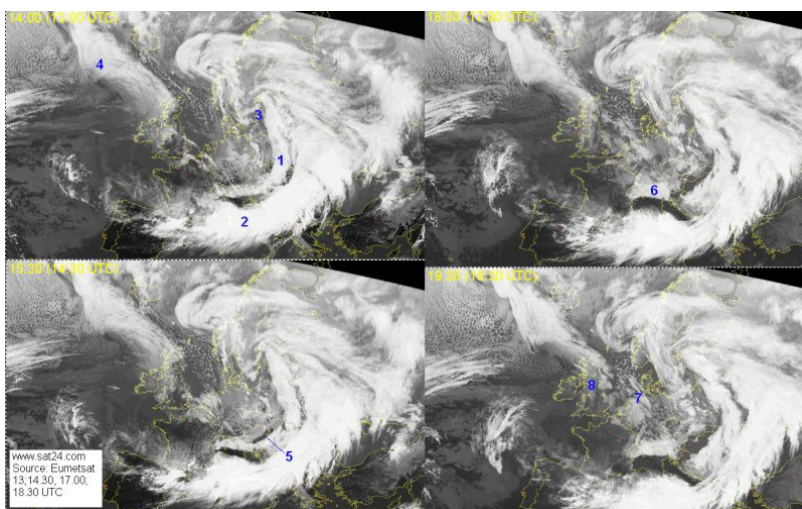
sat24.com, Source : Eumetsat, Date: 2008-03-01, 9.15.-10.45 UTC

Für Süddeutschland und Österreich in der Abfolge 9.15, 10.00 und 10.45 UTC der Verlauf der Gewitterlinie zunächst noch klar erkennbar, ebenso die wolkenarme Zone davor im Wald- und Weinviertel. Im nachfolgenden Bild scheint sich über dem Innviertel bzw. Flachgau eine zur eigentlichen Gewitterlinie vorlaufende Konvergenzlinie zu entwickeln, jeweils rot und blau gekennzeichnet. Weitere 45 Minuten 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 (nicht gezeigt) recht hohe Intensitäten und könnten den schweren Downburst in Obertraun (grün markiert) verursacht haben.

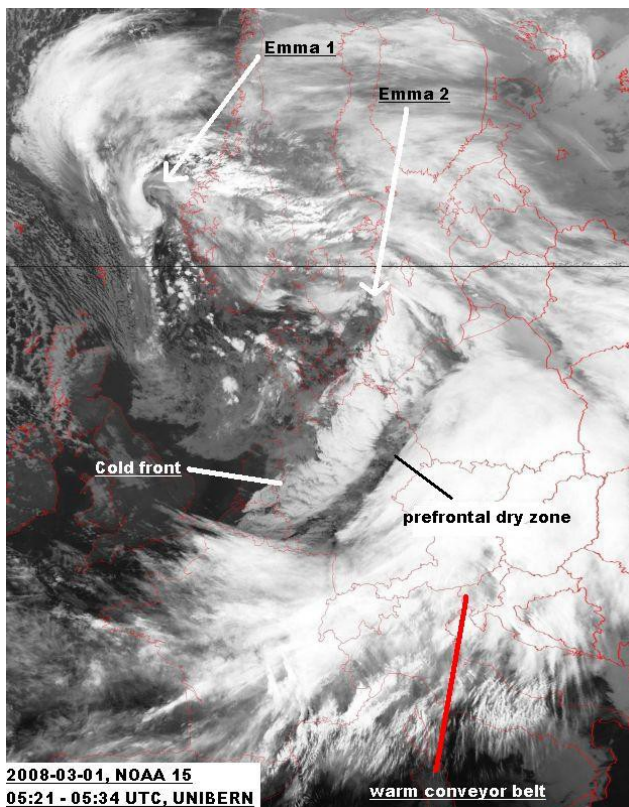
5. Ausgewählte Satellitenbilder zu EMMA und FEE

Abschließend folgen ausgewählte Satellitenbilder zu charakteristischen Merkmalen der beiden Sturmwirbel.

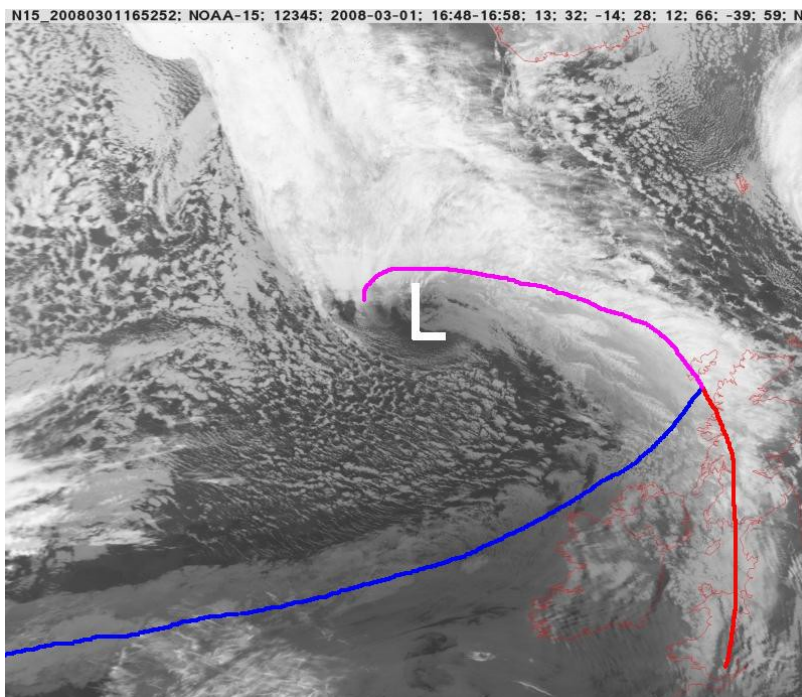


Die IR-Satellitenbild-Serie vom 01. März zeigt den Durchzug der Kaltfront EMMA von Österreich bis zum Nordbalkan. Im Bild oben links gekennzeichnet sind... (1) die Kaltfront selbst, (2) das warme Förderband mit der kompakten hohen und mittelhohen Bewölkung, (3) der Tiefdruckkern EMMA 2 über der westlichen 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 EMMA von Nordwesten her rasch (8) der Aufgleitbereich Fees nach. Der Trogeinfluss EMMA war also nur von kurzer Dauer, schon in den Nachtstunden setzte von Westen her Aufgleiten und nachfolgend auch Niederschläge ein.

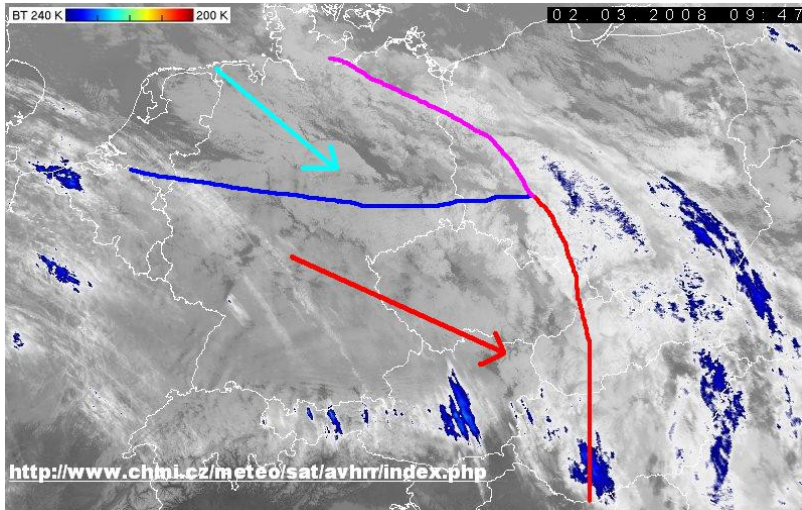


Das wohl eindrucksvollste Bild während der Sturmtiefpassage von EMMA stammt von NOAA, 01. März 2008, 06.30 MEZ. Über Südeuropa fegt das warme Förderband mit stark gescherten Cirrenbändern hinweg, vom Saarland bis Brandenburg erstreckt sich die (in der oberen und mittleren Troposphäre) wolkenarme Zone, 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**.

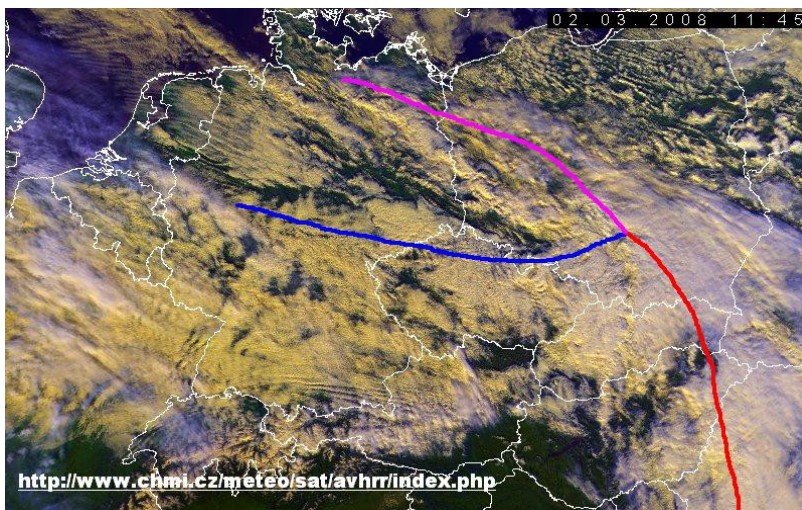


Bei Sturmtief und späterem Randtief FEE erklären sich die enorm niedrigen Wolkenobergrenzen am 01. März 2008, 17.50 MEZ, vor allem durch die Lage der Kaltfront unter einem Höhenrücken mit

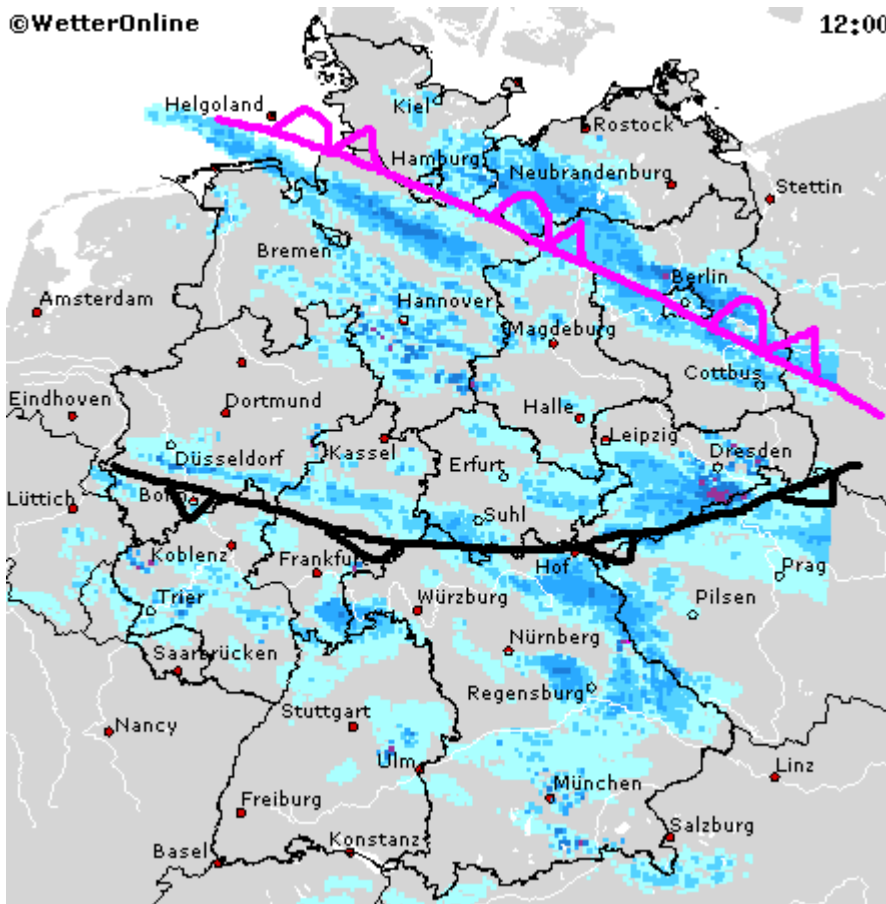
viel Warmluft. Die Warmfront selbst ist allerdings vorwiegend in niederen Schichten noch mit einem markanten Luftmassenwechsel verbunden, in mittleren Schichten schwächen sich die Luftmassengegensätze ab und in höheren Schichten liegt die Warmfront bereits kaltseitig der Jetachse. Die stärkere Bewölkung entlang der Okklusionsfront profitiert dagegen von dem Hebungsantrieb durch den 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 (Keilogenese) an, welche die Kaltfront zur Absenkung der Wolkenobergrenzen zwingt. Die eingezeichneten Pfeile zeigen außerdem, dass Warm- und Kaltluftadvektion nun nahezu parallel zueinander verlaufen, womit an der Kaltfront zunehmend **Frontolyse** einsetzt.



Um 11.45 UTC 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 durchsetzter, aber sonst stratiformer Niederschlag - zu markanten Schauern oder Gewittern kommt es hier nicht mehr.



So zeigt auch das Radarbild von Wetteronline um 11.00 UTC recht verstreute Regengebiete mit einem schwachen Liniencharakter entlang der Kaltfront sowie entlang der Okklusionsfront.

6. Zusammenfassung

Die Fallstudie zeigt detailliert die Entwicklung von Orkan EMMA und dem Nachfolgesturm FEE am 1. und 2. März 2008. In der Nacht zum 1. März 2008 bildete sich über Norddeutschland eine von Gewittern durchsetzte Kaltfront, die bis Mittag den Norden und Osten Österreichs überquerte und über weite Strecken Orkanböen hervorbrachte. Die Bedingungen für ein Derecho wurden damit erfüllt. Bemerkenswert ist eine schmale, wolkenarme Zone mit lediglich tiefer Bewölkung vor der Kaltfront, die sich im Satellitenbild mehrfach abzeichnete. Verantwortlich hierfür war vermutlich Stratosphärenluft, die die hohe und mittelhohe Bewölkung im Warmsektor verdunstete, ehe potentielle Instabilität an der Kaltfront in bedingte Instabilität umgewandelt und freigesetzt wurde. Auch Schwerewellen in verschiedenen Größenordnungen - entlang der Kaltfront sowie in Verlagerungsrichtung der Kaltfront - wurden nachgewiesen, ursächlich hier statische Instabilität und Höhendivergenz sowie Orographie.

Nach EMMA folgte Sturmtief FEE, das durch den Keilaufbau stark abgeschwächt und ohne eigenständigen Tiefdruckkern in die Zirkulation von EMMA als Randtief eingegliedert wurde. Es sorgte dennoch für Sturmböen, von Ostdeutschland bis Nordösterreich sogar für schwere bis orkanartige Sturmböen.

In deutschen Medienberichten sowie bei allen deutschen Wetterdiensten wurde Randtief FEE als

individuelles Sturmtief erwähnt, während in Österreich seitens des ORF nur 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.

Diese Fallstudie wurde am 21. März 2008 erstellt und bis zum 25. März 2012 überarbeitet.

7. Quellen

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