

Sturmtief Paula

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

Vorbemerkung:

In Österreichischen Medien werden die Sturmschäden dem Sturmtief "Paula" zugeschrieben. Die nachfolgende Fallstudie wird zeigen, dass diese Zuweisung irreführend und falsch ist. Es handelt sich vielmehr um eine Vereinfachung eines komplizierten meteorologischen Sachverhalts. Da aber kein Sturmtief mit niedrigem Kerndruck für die extremen Windgeschwindigkeiten verantwortlich war, kann man den 27.1.2008 nicht ohne weiteres mit berühmten Orkanen wie Kyrill oder Emma vergleichen. Das ist Vergleich von Äpfel mit Birnen!

Einleitung:

Am letzten Jännerwochenende des Jahres 2008 ereignete sich in Österreich eine der schwersten Sturmkatastrophen seit vielen Jahrzehnten, die ausgenommen Vorarlbergs alle Bundesländer betraf. Selbst im Flachland wurden verbreitet Orkanböen gemessen, z.B. in Wolfsegg (OÖ) mit 130 km/h, Leiser Berge (NÖ) 119 km/h, Graz 119 km/h (Quelle: www.austrowetter.at).

Weitere Messtationen meldeten verbreitet 100-120 km/h von Salzburg, Oberösterreich, Niederösterreich, Burgenland, Steiermark bis nach Kärnten und Osttirol. In Lienz (Osttirol) erreichte der Sturm 100km/h, ein neuer Rekord für Nordföhn seit Aufzeichnungsbeginn.

Extreme Böen gab es auch in Mariazell (Stmk) mit 137 km/h. Auf den Berggipfeln wurden Spitzengeschwindigkeiten von 165 km/h (Feuerkogel, OÖ) bzw. 230 km/h (Schneeberg, NÖ) erreicht. Dazu wurden im Osten und Süden verbreitet zweistellige Temperaturen mit Höchstwerten von 12 bis 16°C registriert.

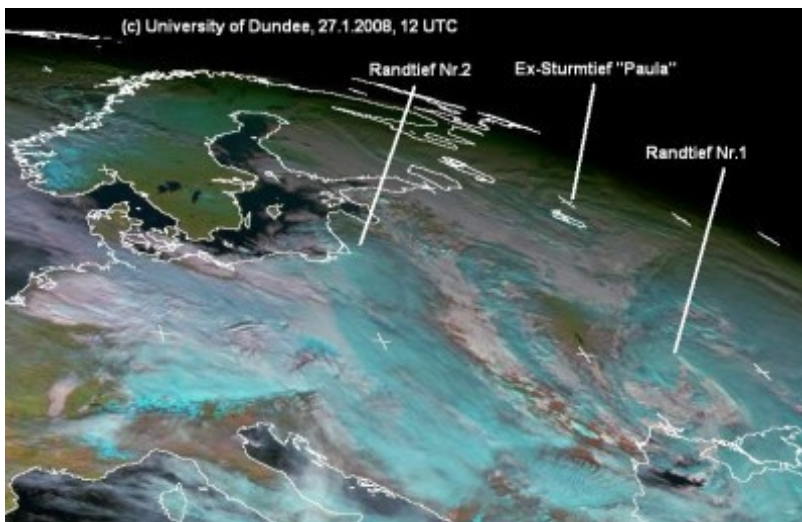
Ursache für die Orkanböen, die am 27.1.2008 in der Früh (07 MEZ) recht verbreitet auftraten, war eine **Kombination von Warmfrontniederschlag und extrem trockener Absinkluft**, in weiterer Folge gewöhnlicher **Nordföhn** bei starken Höhenwinden.

Im Gegensatz zu gewöhnlichen Sturmereignissen war keine labile Schichtung präsent, also auch kein Kaltfrontdurchgang wie bei Emma oder Kyrill.

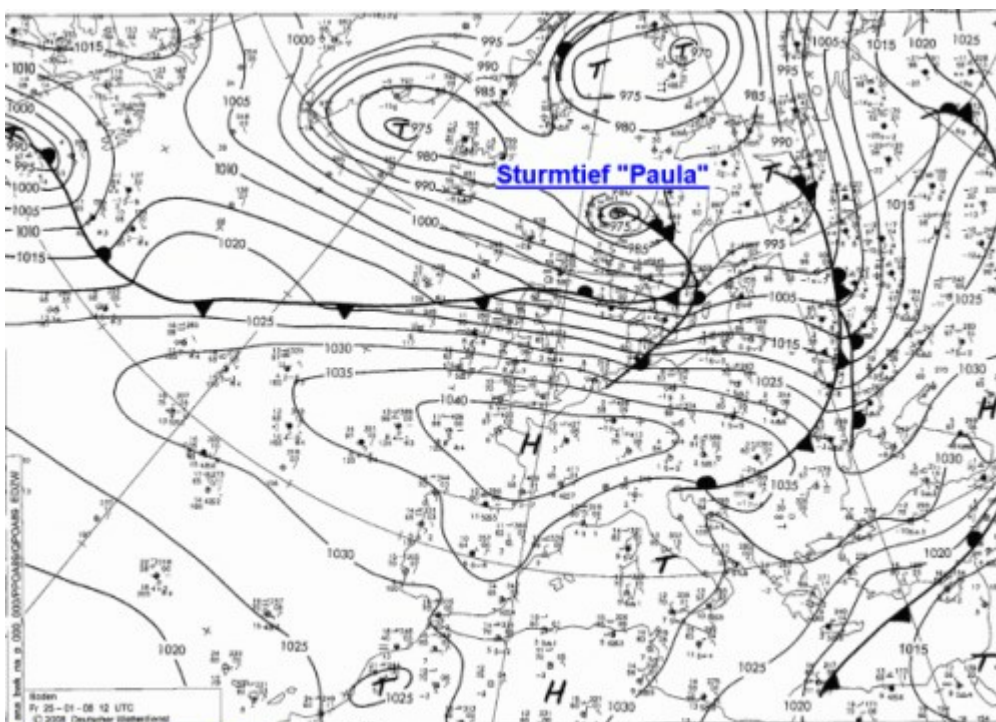
Folgende Fallstudie entstand u.a. in Zusammenarbeit mit Georg Pistotnik (ZAMG):

2. Chronologischer Ablauf

Abgezeichnet hat sich die Sturmlage in den Wettervorhersagekarten bereits am 22. Jänner 2008. Entgegen Medienberichten wie im ORF oder in der Ausgabe der "Presse"-Zeitung vom 28. Jänner 2008 handelte es sich weder um ein Sturmtief noch um eines mit dem Namen "Paula", wie etwa in den Nachrichten und in Feuerwehrkreisen immer wieder zu hören war. Auch zog es nicht von der Ukraine über Polen nach Westen.

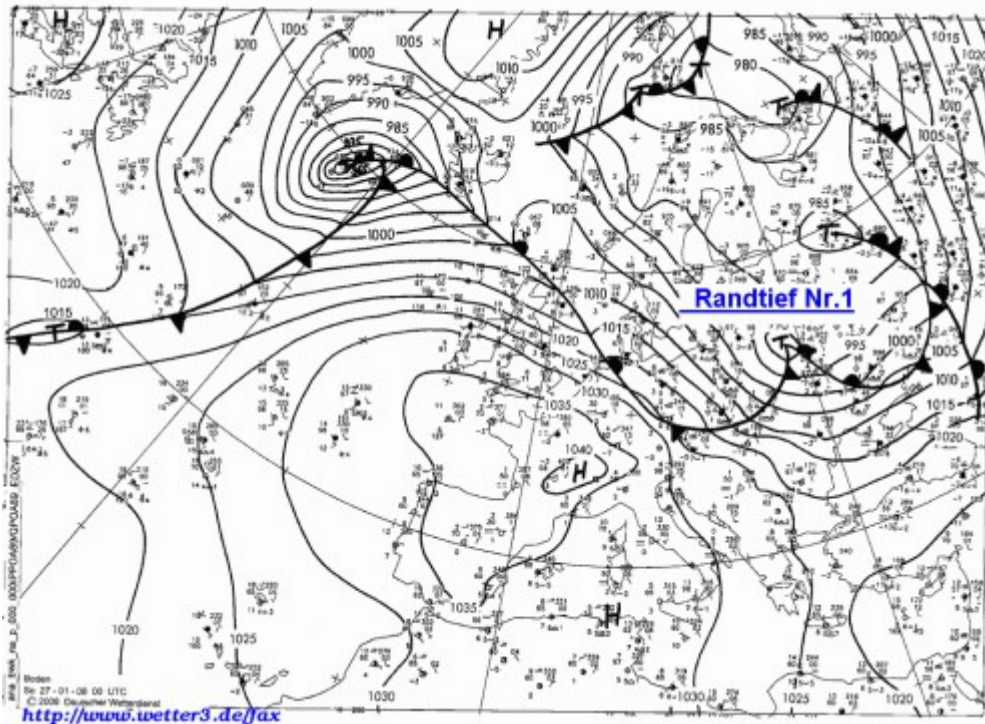


Das Sturmtief "Paula" lag am Mittwoch, 23. Jänner, über Neufundland und zog bis Freitag, 25. Jänner, weiter zur Norwegischen See. Seine Frontenausläufer beeinflussten mit Niederschlag und Wind vor allem die Nord- und Ostseeregion - in Österreich war von "Paula" nichts zu spüren.



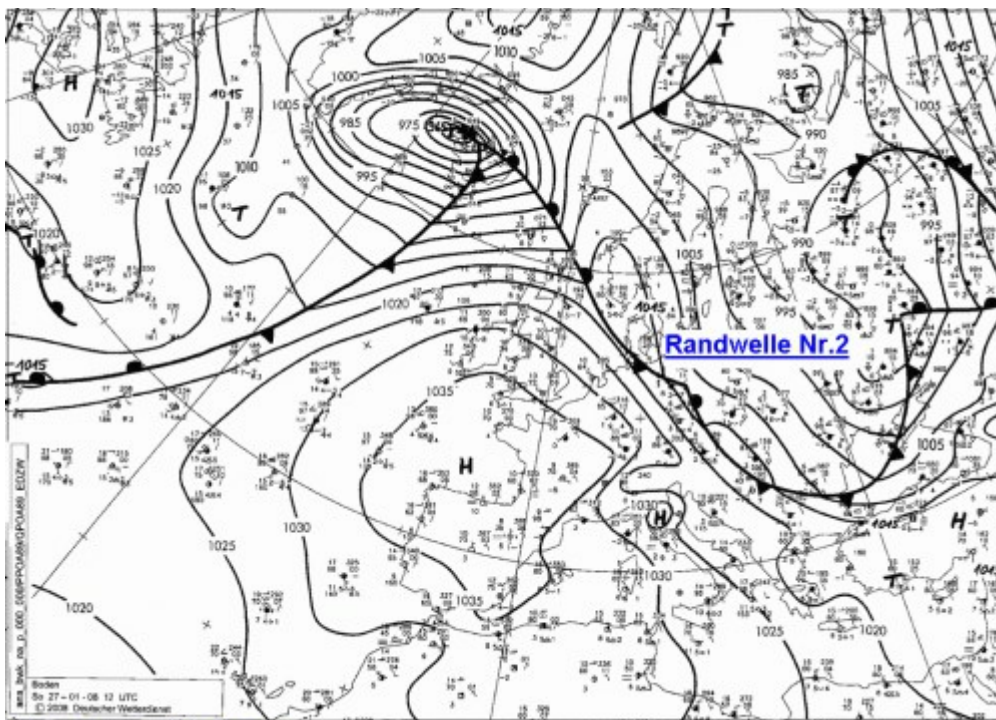
<http://www.wetter3.de/fax>

Am **Freitag, 25. Jänner 2008 um 13 Uhr** lag Sturmtief "Paula" über der Norwegischen See. Seine Warmfront überquerte zu diesem Zeitpunkt den Norden Deutschlands. Die Kaltfront erstreckte sich vom Skagerrak über die Nordsee und Schottland bis weit in den Nordatlantik. Sie begann dabei zu verwellen, d.h. südlich der Kaltfront stieß wärmere Luft nach Norden vor und aus der Kaltfront wurde teilweise eine Warmfront.



Am **Samstag, 26. Jänner 2008 um 7 Uhr** war von "Paula" fast nichts mehr zu sehen. Der Tiefdruckwirbel hatte sich deutlich abgeschwächt und lag zu diesem Zeitpunkt über dem Westen Russlands. Die oben angesprochene Welle an der Kaltfront vertiefte sich zu einem eigenständigen Wirbel, den hier als "Randtief Nr.1." bezeichnetem Tiefdruckgebiet, welches von [Wetterpate](http://www.wetter3.de) keinen Namen erhielt. Das Randtief zog rasch über die Ostsee weiter nach Polen und Weißrussland. Zwischen diesem und einem kräftigem Hochdruckgebiet über Westeuropa verschärften sich die Druckgegensätze dabei deutlich und in den Nachmittagstunden machte sich dies vor allem in Niederösterreich durch erste schwere Sturmböen im Donauraum sowie am Alpenostrand bemerkbar. Die Spitzen lagen bis dahin zwischen 70 und 100km/h, in Wiener Neustadt (NÖ) wurden zu Mitternacht 104km/h erreicht (entspricht der Windstärke 11). Auch aus dem Burgenland und der Obersteiermark wurden Sturmböen gemeldet.

Während sich **in der Nacht auf Sonntag, 27. Jänner 2008**, das namenlose Randtief nach Osten verlagerte und an Einfluss auf Österreich verlor, näherte sich von Nordwesten eine weitere Störung an, die ebenfalls namenlos blieb. Es handelt sich um eine sogenannte **Randwelle**, das heißt, ein Gebiet tiefen Luftdrucks, welches keinen abgeschlossenen Tiefdruckkern am Boden aufweist und in eine großräumige Strömungszirkulation eingebunden ist. Diese Randwelle war nun nicht mehr der ehemaligen Kaltfront des längst vergangenen Sturmtiefs "Paula" zuzuordnen, sondern aus dem nachfolgenden Sturmtief über dem Nordatlantik namens "**Quitta**". Als dessen mächtige Warmfront das Hochdruckgebiet über Westeuropa umrundete, **löste sich besagte Randwelle ab** und wanderte mit der straffen nordwestlichen Strömung rasch weiter nach Mitteleuropa südostwärts.



<http://www.wetter3.de/fax>

Am **27. Jänner 2008, 13 Uhr**, befand sich das "Zentrum" des tiefen Luftdrucks über Polen und die mitgeführten Frontenausläufer sorgten vom Tiroler Unterland, Salzburger Land, Ober- und Niederösterreich bis zur Obersteiermark und dem Burgenland für teilweise anhaltende und gebietsweise ergiebige Niederschläge, hinzukam vor allem im Mühl- und Waldviertel sowie an den Nordstaulagen der Alpen eine anfangs recht niedrige Schneefallgrenze von 600m bis 800m, die gemeinsam mit dem Sturm für widrige Straßenverhältnisse sorgte. In den Nachmittagstunden zog sich der Großteil des Niederschlagsgebietes auf den Westen Österreichs, vor allem Salzburger Land und südliches Oberösterreich zurück.

Zusammenfassung:

Am 26. und 27. Jänner 2008 gab es je ein Sturmtief mit je einer Randtiefentwicklung:

Sturmtief "**Paula**" beeinflusste Norddeutschland am 25.1.2008. An seiner Kaltfront entstand **Randtief Nr.1**, das am 26.1.2008 vor allem Ostdeutschland, Polen, Tschechien und den Osten Österreichs betraf. Randtief Nr.1 wurde von Sturmtief "**Quitta**" auf dem Nordatlantik beschleunigt (= Downstream-Development). Gleichzeitig bildete sich an der Warmfront von "Quitta" eine weitere **Randtiefentwicklung**, die am 27.1.2008 das bis dahin im Alpenraum wetterbestimmende Hochdruckgebiet umrundete. Strenggenommen hätte man in dessen Zusammenhang von Sturmtief "Quitta" sprechen müssen.

Die Namensdebatte hat im Prinzip auch nur den Nachteil, dass schlicht die Größe der beteiligten Störung massiv *überschätzt* wird. Die besagten kleinräumigen Randtiefs brachten den Sturm, indem sie über Österreich hinwegzogen, wohingegen von Orkanwirbeln wie "Kyrill" oder "Emma" die Hauptgefahr von ihren Kaltfronten respektive Gewitterlinien ausgeht, die mit Orkanböen in relativ kurzem zeitlichen Abstand über das Land hinwegfegen. Die Tiefdruckgebiete selbst ziehen weit nördlich an Österreich vorbei (sonst wäre von Österreich nicht mehr viel übrig).

3. Die Ursache der Orkanböen

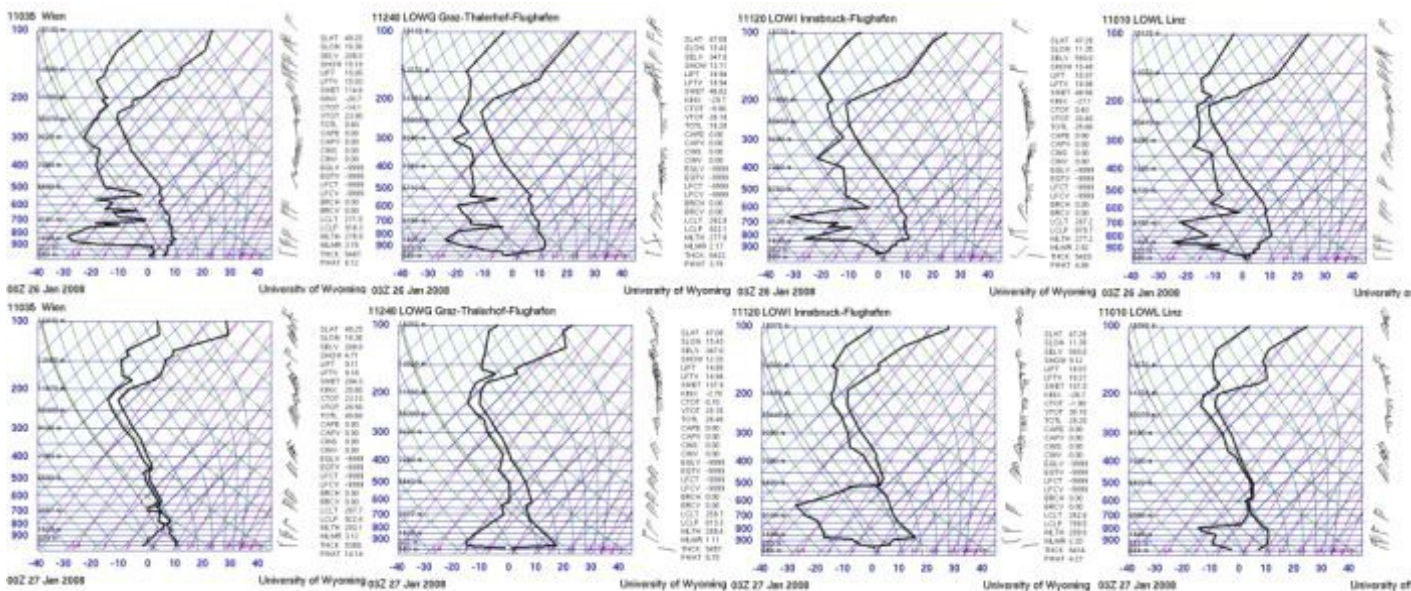
Im Gegensatz zu "Orkan Kyrill" ein Jahr vorher, welcher vor allem die Waldgebiete Ober- und Niederösterreichs schwer traf, aber innerhalb vierundzwanzig Stunden über Mitteleuropa von West nach Ost hinweg zog, dauerte dieser Sturm insgesamt über vierzig Stunden an, was auf die eingebetteten Randtiefs und -wellen zurückzuführen ist.

Die Spitzenböen traten jedoch alle gemeinsam mit einsetzendem Niederschlag auf. Sofern Niederschlag nicht mit Feuchtkonvektion verbunden ist, wirkt er gewöhnlich dämpfend auf die Windentwicklung, da die Schichtung angefeuchtet und stabilisiert wird. So beobachtet man in niederschlagsreichen Warmsektoren von Sturmtiefs wesentlich schwächere Spitzenböen als ohne Niederschlag.

Ein wesentlicher Faktor bei der Entstehung von starken Windböen in Zusammenhang mit Niederschlag ist die **Verdunstungskälte**. Der Niederschlag verdunstet in trockener Luft, dafür wird der Umgebungsluft Wärme entzogen, sie kühlt ab. Die kalte, schwere Luft sinkt ab und löst Abwinde aus - selbst, wenn keine Schauer oder Gewitter in der Nähe sind.

3.1 Radiosondenaufstiege

Folgende Radiosondenaufstiege von Wien (1 MEZ), Graz , Innsbruck und Linz (jeweils 4 MEZ) stammen jeweils vom 26. Jänner (obere Reihe) und 27. Jänner (untere Reihe), entnommen der Sounding Map der Universität Wyoming.



Alle Sondenaufstiege zeigen bereits am **Samstag, 26. Jänner 2008**, eine ausgeprägte **Absinkinversion** in den mittleren Schichten, deren Obergrenze bei etwa 500-600hPa lag. Typisch für Absinkinversionen sind die tannenbaumartigen Zacken der (linken) Taupunktskurve und entsprechend zahlreiche Zwischeninversionen bzw. - isothermien der Lufttemperatur. Die Absinkluft hat sich an allen Stationen noch nicht bis zum Boden herarbeiten können, da sich in der Bodenschicht zusätzlich eine Strahlungsinversion durch die langwellige Ausstrahlung und Abkühlung - ausgebildet hat.

In der Nacht auf **Sonntag, 27. Jänner 2008**, hat sich die extrem trockene Absinkluft weitgehend bis zum Bodenniveau herabgearbeitet. Gleichzeitig hat mit der neuen Randwelle Warmluftadvektion eingesetzt, die zu einer deutlichen Anfeuchtung der mittleren und höheren Luftschichten geführt hat. Besonders eindrücklich sieht man diese Feuchteschicht im Linzer Aufstieg zwischen 600hPa und 450hPa.

In Graz auf der Alpensüdseite ist die Anfeuchtung dank Nordföhnluft noch nicht in tiefere Schichten vorgedrungen. In Innsbruck - relativ weit westlich des Hauptniederschlagsfeldes gelegen - hat sich die Absinkluft noch am längsten gehalten. In Wien dagegen ist bis in tiefere Schichten ein recht feuchtes Höhenprofil vorhanden, das in der Bodenschicht in ein "**inverted-V**" übergeht. Dieser Begriff wird gewöhnlich nur bei hochbasiger Feuchtkonvektion (!) gebraucht, bei dem herabfallende Niederschlagsteilchen aus einer Schauer- oder Gewitterwolke für starke Verdunstungskälte und entsprechender Abwindbeschleunigung sorgen. Wenn man alle Sondenaufstiege vergleicht, ist dieses "umgedrehte V" überall mehr oder weniger stark ausgeprägt vorhanden.

3.2 Niederschlagsentwicklung

Darum war es auch kein Zufall, dass die stärksten Böen österreichweit mit der Vorderkante des Niederschlagsfeldes bzw. mit einsetzendem Niederschlag zusammenfielen. An fast allen Stationen traten die stärksten Böen kurz vor oder erst während dem Einsetzen des Warmfrontniederschlags auf und waren mit **sinkender Temperatur** und **steigender Luftfeuchte** verbunden. Dieses Indiz spricht am stärksten **gegen** eine turbulente Herabmischung des Höhenwindes, da in letzterem Fall eine Temperaturzunahme und eine Feuchteabnahme hätte beobachtet werden müssen.

Gegen Mitternacht griff der Warmfrontniederschlag in unergiebigster Form auf die Gebiete des Wald- und Weinviertels über und erfassten auch das Wiener Becken. In Wien lagen die Spitzenböen wesentlich niedriger als andersorts, was sich auf die im Vergleich zu den anderen Orten wesentlich weniger trockene Bodenschicht zurückführen lässt, siehe hierzu den Sondenaufstieg vom 27. Jänner 2008, 01 MEZ.

Das erste Niederschlagsfeld der quasi-stationären Warmfront wurde durch die vorherrschende trockene Absinkluft zerfleddert und zog nach Südosten ab. In den Morgenstunden verstärkten sich die Niederschlagssignale von Norden her und vereinten sich zu einem geschlossenen Band mit zunehmend mäßiger, örtlich auch starker Intensität. Gleichzeitig intensivierten sich die Windspitzen im Bereich der Niederschläge deutlich. Georg Pistotnik schreibt dazu:

An allen Stationsmeldungen finden sich die gleichen, völlig vom Tagesgang losgelösten Signale: Zuerst Temperaturanstieg, Windzunahme und extreme Abtrocknung (nördlich der Alpen und auf den Bergen kontinuierlich, inneralpin und alpensüdseitig in Form plötzlicher Nordföhndurchbrüche), dann beginnender **Temperaturrückgang und Anfeuchtung gleichzeitig mit den stärksten Böen**, schließlich Einsetzen des Regens mit deutlicher Abkühlung und einkehrender Ruhe. An manchen Stationen wiederholte sich dieses Muster in abgeschwächter Form zwei oder drei Mal und zeigte, dass auch innerhalb des großen Niederschlagsfeldes gewisse Intensitätsschwankungen auftraten und eine teilweise Regeneration der trockenen "sub-cloud layer" erlaubten.

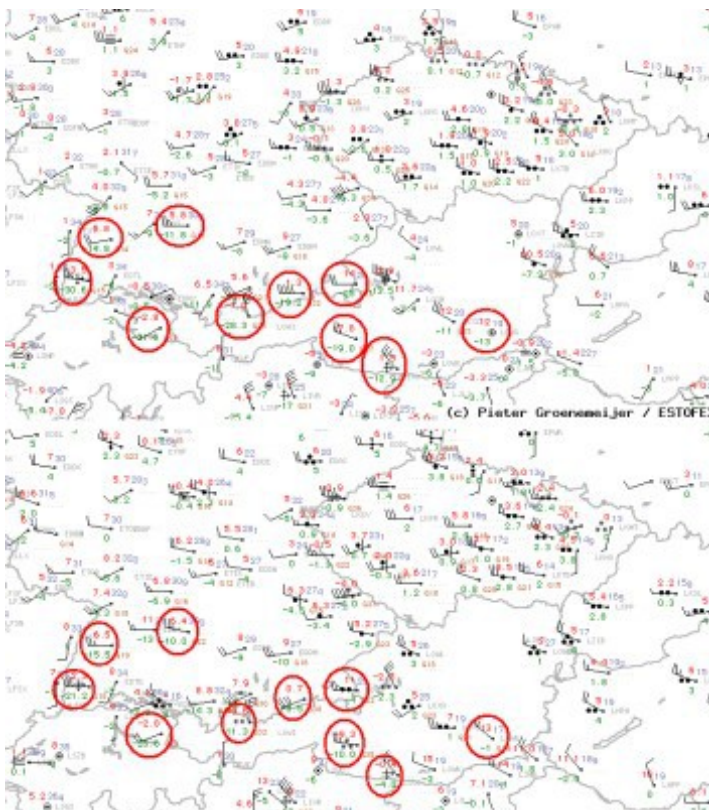
In den Regionen nördlich des Alpenhauptkamms traten die stärksten Böen oft nur ein oder zwei

Stunden lang auf, ehe der einsetzende ergiebige Regen durch zunehmende Verdunstungskälte in den bodennahen Schichten ein **Kaltluftpolster** erzeuge, das den Höhenwind vom Boden entkoppelte. Südlich des Alpenhauptkamms traten auch nach einsetzendem Niederschlag weiterhin heftige Böen auf, da der nun dazu kommende Nordföhn das Kaltluftpolster stetig durch turbulente Durchmischung wegerodierte.

*Aber sogar an jenen Stationen, die keinen Niederschlag mehr registrierten, war am Sonntagvormittag ein deutlicher Temperaturrückgang und gleichzeitiger Anstieg der Feuchte feststellbar, und bis auf wenige bevorzugte Nordföhnschneisen (wo es noch bis zum Abend stürmisch blieb) waren die stärksten Böen auch hier eng an diese Zeitspanne gekoppelt. Und gerade in diesem Randstreifen des Niederschlagsfeldes - von Lienz über die Gurktaler Alpen und die steirischen Randgebirge bis ins mittlere Burgenland - traten sogar die verheerendsten Schäden auf, da die **Kombination aus Verdunstungs- und Lee-Effekten** offenbar den **vertikalen Impulstransport** maximierte.*

Weiter südlich im Klagenfurter Becken und der südlichen Steiermark, wo das Niederschlagsfeld schon genügend weit entfernt war, waren die Böen viel schwächer als am unmittelbaren Alpensüdrand, da der Beitrag der Verdunstungskälte hier schon fehlte. Hier handelte es sich also eher um ein "gewöhnliches" Nordföhnereignis ohne zusätzliche Effekte durch Niederschläge, welcher die Tageswelle der Temperatur dämpfte.

Welche extremen Taupunktdifferenzen sich vor dem einsetzenden Niederschlag aufbauen konnten, sieht man gut in den Synopmeldungen von ESTOFEX:



Besonders markant sind die Taupunktdifferenzen nördlich des Alpenhauptkamms (in Klammern 6 Stunden später):

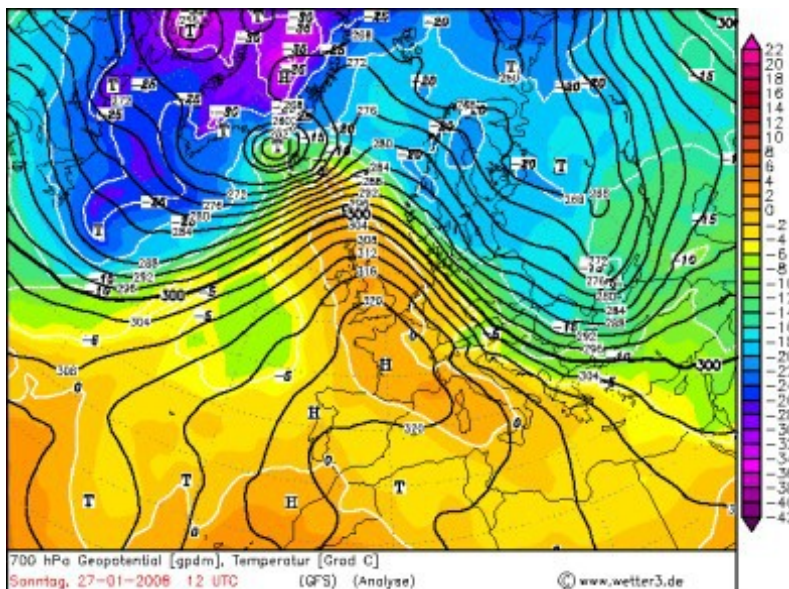
- Feldberg/Schwarzwald: 34K (23,5)
- Säntis: 33,5 K (29,5)

- Zugspitze: 35 K (21)
- Wendelstein: 20 K (9)
- Sonnblick: 27 K (19)
- Salzburg: 39 K ! (15)
- Stötten: 27,5 K (16)

Am stärksten fällt die Anfeuchtung im Alpenvorland (Salzburg) aus, wo die relative Luftfeuchte von 5 auf 35 % ansteigt. Die extrem trockene Luft erklärt auch, weshalb um die Mittagszeit in Bad Tölz am Alpennordrand Schneeregen bei +10 Grad beobachtet wurden, oder Eiskörner in Stuttgart bei +8 Grad, zum Teil sogar Schneefall.

3.3 Höhenwind und -kaltluft

Nachfolgend einzelne Analysiskarten des GFS-Modells, die die Gesamtsituation in Österreich sehr gut beschreiben:



In 700hPa, entsprechend ca. 3km Höhe, herrschte auf der Vorderseite eines kräftigen Hochdruckgebiets über Frankreich eine straffe, nordwestliche Strömung, die den gesamten Zentral- und Ostalpenraum mit starker Isohypsendrängung überquerte. Die Temperaturen in diesem Niveau pendelten von -6°C über dem Mühlviertel, -7°C bis -8°C im zentralen Alpenraum bis -5°C in der südlichen Steiermark.

Init : Sun,27JAN2008 06Z Valid: Sun,27JAN2008 12Z

700hPa Wind (kt)



Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Im GFS-6z-Lauf wurden für den Mittagstermin des Sonntags Mittelwinde von flächig 50-60 Knoten, im Bereich des Alpenhauptkamms und auf der Alpensüdseite verbreitet 80-90Kn, örtlich sogar 95Kn vorhergesagt. Das entspricht etwa 150-175 km/h! So traten die Spitzenböen auch in jenen Gebieten auf, wo die höchsten Mittelwinde in 700hPa vorherrschten.

Der Schneeberg (2079m) mit 230 km/h zeigt auch bei gewöhnlichen Sturmtiefereignissen mit 850 hPa-Winden von 40 Kn bereits Böen über 100 km/h. Gemäß 00 und 12z-Aufstieg von Wien wurden jedoch nie mehr als 60 Kn Mittelwind in 850 hPa erreicht, was immer noch einem Plus von 60 Kn bei den Spitzenböen entspricht, also die doppelte Windgeschwindigkeit! Ohne zusätzliche Verdunstungskälte ist der Spitzenwert nicht erklärbar.

Die Windspitzen wurden jeweils **ein bis zwei Stunden, bevor der Niederschlag den Boden erreichte**, gemeldet - meist **zwischen 07 MEZ und 10 MEZ**. Zwischen 06 und 12 UTC kann in den Analysekarten bei wetter3 eine Abkühlung in 700hPa und 850hPa festgestellt werden. Da in 500hPa in diesem Zeitraum bereits geringfügige Warmluftadvektion vorhanden war, die mit der Randwelle einherging, ist die Abkühlung in 700hPa und 850hPa vermutlich auf den einsetzenden Niederschlag und der damit verbundenen Abkühlung durch Verdunstungskälte zurückzuführen.

3.4 Nordföhn

Die Labilisierung der unteren Troposphäre durch die stratiforme (!) Niederschlagsbildung ermöglichte auf der Alpensüdseite neben der starken Verdunstungskühlung und Abwindbeschleunigung auch den Herabtransport der starken Höhenwinde durch Föhn. Beide Effekte sind nicht eindeutig trennbar.

Föhn hat zweifellos auf der Alpensüdseite geherrscht:

Im Flachland Kärntens und der Steiermark lagen die Höchstwerte am 27. Jänner 2008 bei 12-17°C, was dem trockenadiabatischen Abstieg von den vorherrschenden -8°C in 700hPa entspricht. Da die Temperaturverteilung über den Alpen nicht so einheitlich ist, wie es die Modellkarten suggerieren (immerhin ragen einige Gipfel über 3000m hinaus) und zusätzlich durch Niederschlag und Wolken

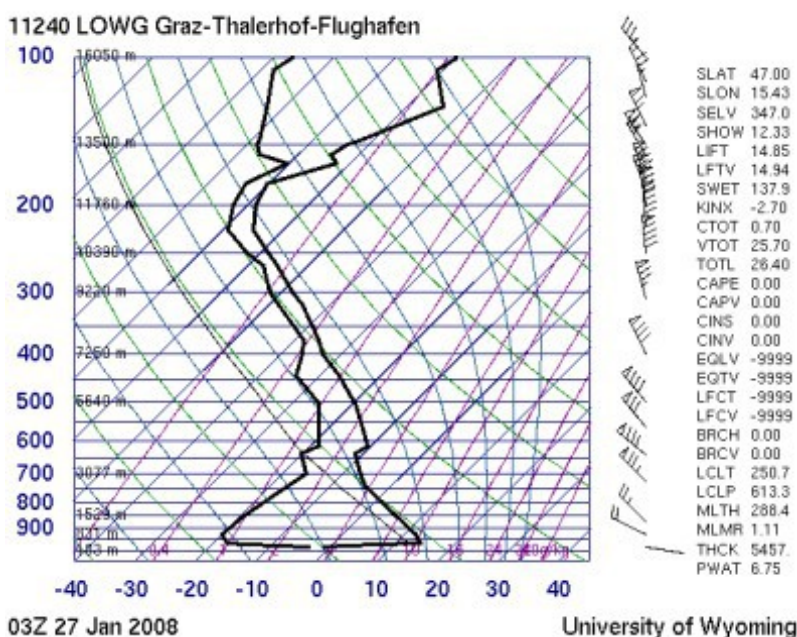
im Luv des Alpenhauptkamms gebietsweise niedrigere Temperatur geherrscht haben sollten, kann man davon ausgehen, dass die Föhnluft auf der Alpensüdseite aus etwa 3 km Höhe stammte. Jedoch wurden die Höchstwerte **vor** den Terminen der Spitzenböen beobachtet, mit den Spitzenböen sanken die Temperaturen deutlich ab.

Schlussfolgerung:

Der Nordföhn war nicht die alleinige Ursache für die Spitzenböen an der Alpensüdseite.

Er beseitigte aber das bodennahe Kaltluftpolster und regenerierte die trockene Schicht unterhalb der Wolkenuntergrenze (sub-cloud layer). Dadurch konnte der da hineinfallende Niederschlag ständig Verdunstungskälte erzeugen.

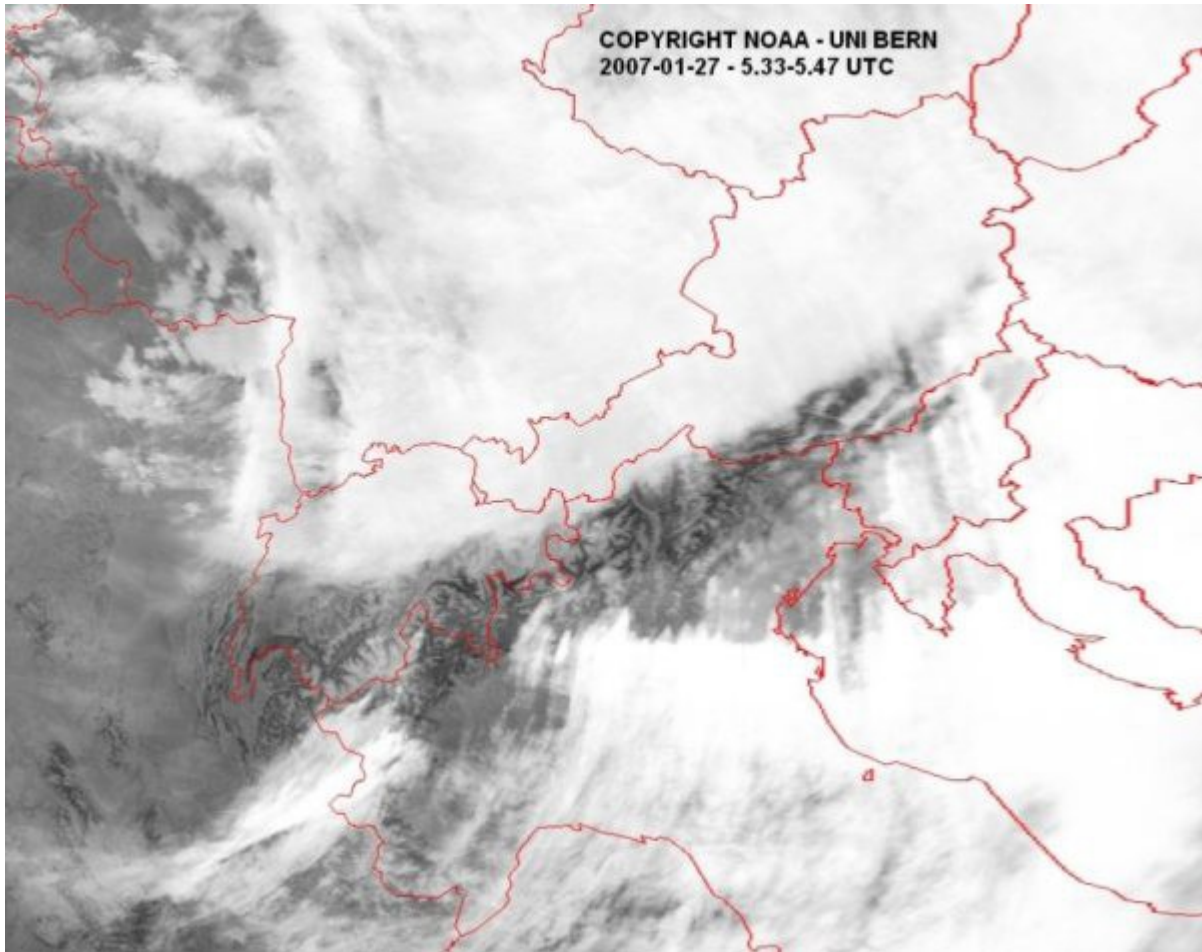
Anhaltender Niederschlag in den Mittags- und Nachmittagsstunden feuchtete die trockene Schicht an und sorgte für eine Abnahme der Windspitzen an der Alpensüdseite.



Der Sondenaufstieg von Graz am Sonntag morgen um Uhr zeigt exemplarisch, wie eng Windstille und Orkan bei einer Föhnlage in Kombination mit Niederschlag liegen kann. Wenn der Föhn es schafft, das Kaltluftpolster am Boden wegzumischen, weht Orkan. Im Raum Graz wurden beispielsweise in den Vormittagstunden aus einem Stadtteil Windstille oder schwache Winde gemeldet, während andernorts schwere Sturmböen herrschten.

Am Boden herrscht noch feuchte Kaltluft mit leichten Minusgraden, darüber nimmt die Temperatur stark auf bis zu 14°C zu, und das auf lediglich 140m Höhendistanz. Der Temperatur- und Feuchteverlauf darüber bis etwa 2500m ist typisch für Föhnluft. Die Isotherme verläuft parallel zu den Trockenadiabaten, der Taupunkt beinahe parallel zu den Linien gleichen Mischungsverhältnisses. Am Boden herrschte noch schwacher Ost-südostwind, während darüber zunehmender Nordwestwind blies, in 3 km Höhe bereits mit 75 Kn. Wenige Stunden später wurden in Graz Windspitzen bis 135 km/h gemessen.

3.5 Auswirkungen im Satellitenbild



Das Satellitenbild der Uni Bern zeigt für den Sonntag morgen eine scharfe Wolkenkante entlang des Alpenhauptkamms bzw. knapp südlich davon. Nördlich dominieren hohe und mittelhohe Wolken mit Niederschlägen, die jedoch in der extrem trockenen Luft in tieferen Schichten zunächst größtenteils verdunsteten.

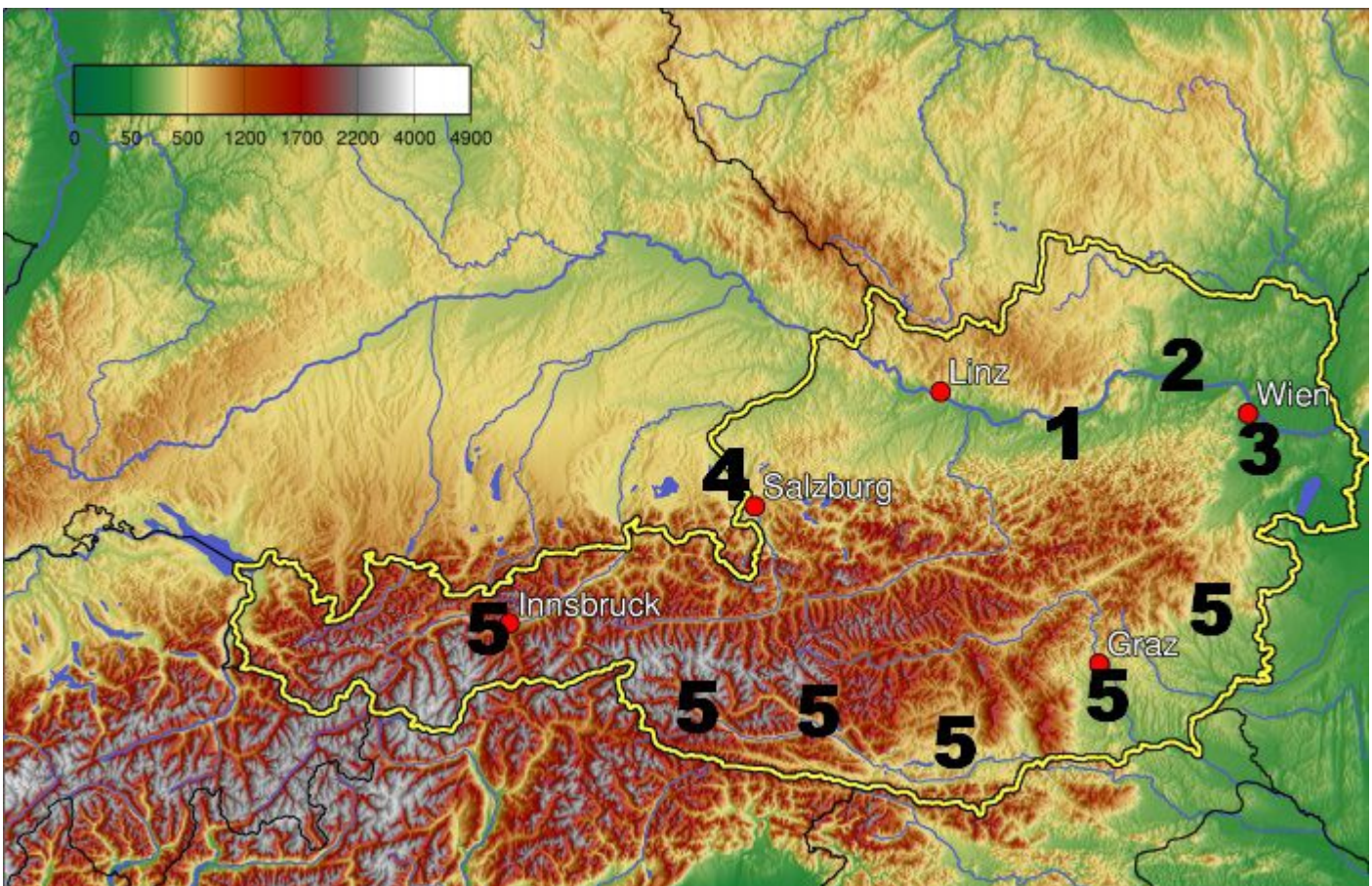
Auf der Alpensüdseite hingegen kann sich in der Föhnluft teilweise die Sonne durchsetzen. Im Süden der Schweiz wurden Höchstwerte bis zu 21°C (Lugano) und darüber gemessen. Über Südostkärnten erzeugten die durch den Föhn hervorgerufenen Leewellen sogenannte "stehende Rotoren", die sich als parallel verlaufende Wolkenbänder äußerten - im Lee des deutschen Erzgebirges noch viel markanter und eindrucklicher ausgeprägt:



Die stehenden Rotoren breiteten sich weit ins Böhmisches Becken aus.

4. Orographische Ursachen

Die Windspitzen auf der Alpennordseite waren insgesamt schwächer als auf der Alpensüdseite, da das Maximum der herabtransportierbaren Höhenwinde niedriger war und die Schichtdicke der trockenen Absinkluft geringer als auf der Alpensüdseite war.



Die durchziehende Randwelle sorgte mit der westnordwestlichen Anströmung für

Kanalisierungseffekte im Donauraum, wohingegen beispielsweise im Mühl- und Waldviertel tendenziell schwächere Spitzen als im Donauraum beobachtet wurden.

Die Zahlen auf der Karte stehen für verschiedene Ursachen von zusätzlicher Windbeschleunigung im Bereich des flächigen Starkwindfelds:

- Im **Bereich 1** ist der **Venturi-Effekt** Verursacher die beobachteten Starkwinde. Die Gleichung lautet $A \cdot v = \text{const.}$ Verringert sich der Querschnitt - hier das Donautal, so muss die Geschwindigkeit zunehmen.
- Im **Bereich 2** kommt ein **Bernoulli-Effekt** hinzu, der mit der Umwandlung potentieller in kinetischer Energie zu tun hat (wie bei einem Wasserfall). Dort, wo das Tal eng ist, steht eine gedachte Flüssigkeit entsprechend hoch. Ab da, wo das Tal breiter wird, hat die Flüssigkeit entsprechend mehr Platz und ihre Höhe sinkt ab. Da die potentielle Energie bei gleichem Volumen (und Dichte) direkt proportional zur Höhe ist, nimmt diese mit der Talverbreiterung ab. Energie kann jedoch nach dem Erhaltungssatz nicht verloren gehen und wird somit in kinetische Energie umgewandelt (Bewegung, Wind).
- Im **Bereich 3** sind mehrere Effekte gleichzeitig vorhanden, einmal das Überströmen des Wienerwalds mit **Föhneffekten**, weiters die Auswirkungen des **Bernoulli-Effekts** und drittens der **Kanteneffekt**, welcher beim Umströmen des Alpenostrands ebenfalls mit einer Geschwindigkeitszunahme einhergeht (= gap flow mit einer Wand).
- Im **Bereich 4** tritt ebenfalls ein Düseneffekt auf, wo der Wind annähernd parallel zum Alpennordrand weht und sich die Stromlinien zum Gebirge hin drängen. Zusätzlich kann bei längerandauernder Nordwestströmung - wie in diesem Fall gegeben - die Corioliskraft wirken und ein **barrier jet** entstehen.
- In den mit 5 gekennzeichneten Bereichen kam der Nordföhn als zusätzlicher Windbeschleuniger hinzu

4.1 Innsbruck (580m), Inntal

In Innsbruck wurden zu Mittag bei stark auffrischendem Westwind Spitzenböen von 76 km/h am Flughafen gemeldet. Die teilautomatische Station (TAWES) erreichte sogar 90 km/h - auch im restlichen Stadtgebiet, vor allem aber in Hötting, erreichte der Wind Sturmstärke. Der Höchstwert in Innsbruck wurde mit +13,4°C erreicht. Da die Temperatur in 1500m bei 0°C und in 3000m bei -7°C lag, mussten Luftpakete aus den Höhen dazwischen ins Inntal abgesunken sein, vermutlich aus etwa 2000m. Hierfür kommt bei nordwestlicher Anströmung zum jetzigen Kenntniszustand nur die Seefelder Senke bzw. der Einschnitt bei Mittenwald in Frage. Im Gegensatz zum beobachteten Föhn auf der Alpensüdseite blieb es in Innsbruck ganztägig mit hohen und mittelhohen Wolken bedeckt, aus denen zeitweise ein paar Tropfen fielen.

4.2 Irdning (673m), Ennstal

In Irdning wurden am Sonntagvormittag Spitzenböen bis 145km/h gemessen, im wenige Kilometer entfernten Aigen waren es immerhin noch 115km/h. Die Temperatur lag bei etwa 10-11°C und der Wind kam in Aigen aus Südwest. Vermutlich handelt es sich um umgelenkten Nordwestföhn vom

Salzkammergut herunter, was zu den 850hPa-Temperaturen von ca. 0 bis 1°C passen würde. Ein zusätzlicher Kanalisierungseffekt zwischen Totem Gebirge und Dachstein könnte diese hohen Windspitzen begünstigt haben.

4.3 Mariazell (867m), Bürgeralpe (Nordsteiermark)

In Mariazell wurde mit 137 km/h ebenfalls ein Spitzenwert erreicht, bei nur 43km/h Mittelwind. Die Temperatur lag bei +6,4°C - passend zu den 0°C in 850hPa, die zu dem Zeitpunkt etwa vorherrschten. Da der Wind aus Nordwesten kam, blieb nur der Weg über bzw. am Ötscher (1863m) vorbei.

5. Schäden

Mindestens 20 Verletzte, ca. 100 000 Haushalte ohne Strom, alleine in der Steiermark waren 750 Stromleitungen unterbrochen, über 4500 Feuerwehreinsätze waren die Folge. Versicherungsschäden von 70-90 Millionen Euro wurden registriert.

Schätzungen gehen von rund 6,2 Millionen Festmetern Holz aus, die durch die Sturmfrage geschlagen wurden. Bei einem Gesamtanteil von 988 Mio Festmetern in Österreich, entspricht das etwa 0,6%. Forstexperten sprechen von den schwersten Waldschäden seit dem Zweiten Weltkrieg.

Außerdem gab es bereits etliche Todesopfer und Schwerverletzte bei den Aufräumungsarbeiten, die durch die Borkenkäfergefahr nötig wurden.