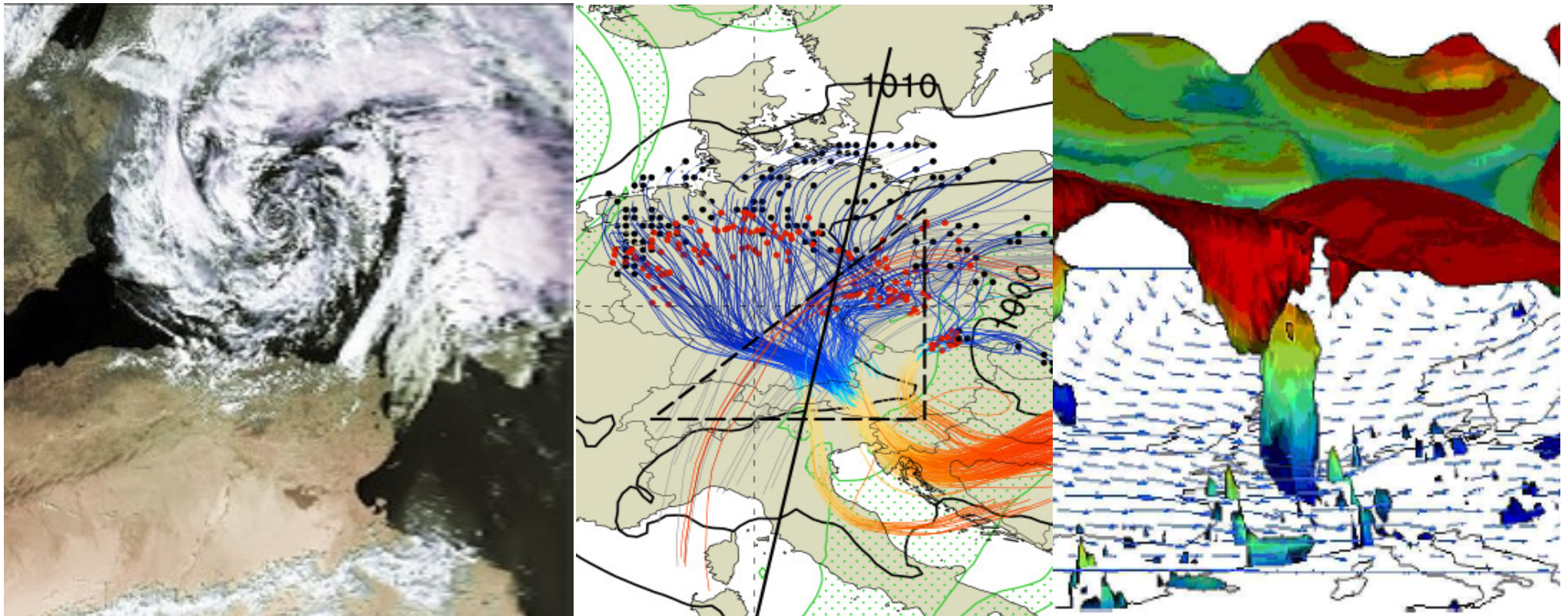


Dynamik der Atmosphäre

Heini Wernli, ETH Zürich

Vortrag VHSZH, 16. Januar 2020



Übersicht

Was meint man mit "Dynamik der Atmosphäre"?

Was sind klassische Themen in diesem Wissenschaftsgebiet?

Beispiele aus dem Bereich "Dynamik extremer Wetterereignisse"

- Starkniederschlag in Deutschland (2013)
- Sturm in Nordamerika (2007)

Was meint man mit "Dynamik der Atmosphäre"?

Definition:

Die "Dynamik der Atmosphäre" (oder "die dynamische Meteorologie") beschäftigt sich mit der **Analyse**, der **Interpretation**, dem **Verständnis** und der **Vorhersage atmosphärischer Strömungen** auf allen Skalen (d.h. von einer kleinräumigen Gewitterböe bis zum hemisphärenumspannenden Jetstream)

Kürzer formuliert:

Dynamik ist die Physik der Strömungen in der Atmosphäre

Was meint man mit "Dynamik der Atmosphäre"?

→ Wind!

→ Wie und warum ändern sich die Winde in der Atmosphäre mit der Zeit?

→ Newton:

Änderung des Windes mit der Zeit = Beschleunigung = Summe aller Kräfte / Masse

Was meint man mit "Dynamik der Atmosphäre"?

→ Wind!

→ Wie und warum ändern sich die Winde in der Atmosphäre mit der Zeit?

→ Newton:

Änderung des Windes mit der Zeit = Beschleunigung = Summe aller Kräfte / Masse

Mathematisch ausgedrückt:
(1822: Gleichungen von Navier & Stokes)

$$\frac{D\mathbf{u}}{Dt} + (2\boldsymbol{\Omega} \wedge \mathbf{u}) = -\frac{1}{\rho}\nabla p + \mathbf{G}^* + \mathbf{F}$$

Themen in diesem Wissenschaftsgebiet

Klassische Themen

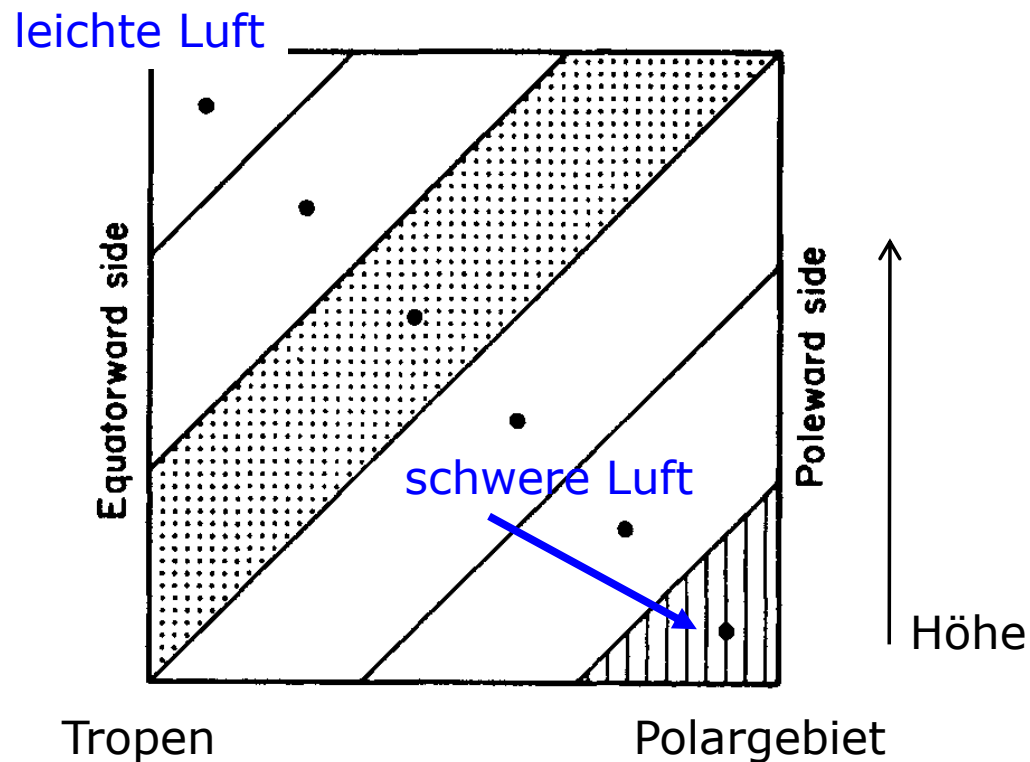
- Warum entstehen Tiefdruckgebiete?
- Welche Prozesse bestimmen das Wetter am Boden?

Neuere Themen

- Wie entstehen extreme Wetterereignisse (Stürme, Starkniederschläge, Hitzewellen)?
- Wie verändern sich die Strömungen durch den Klimawandel?

Warum entstehen Tiefdruckgebiete?

Links: Atmosphäre mit einem Nord-Süd Kontrast in der Temperatur (und damit in der Dichte)

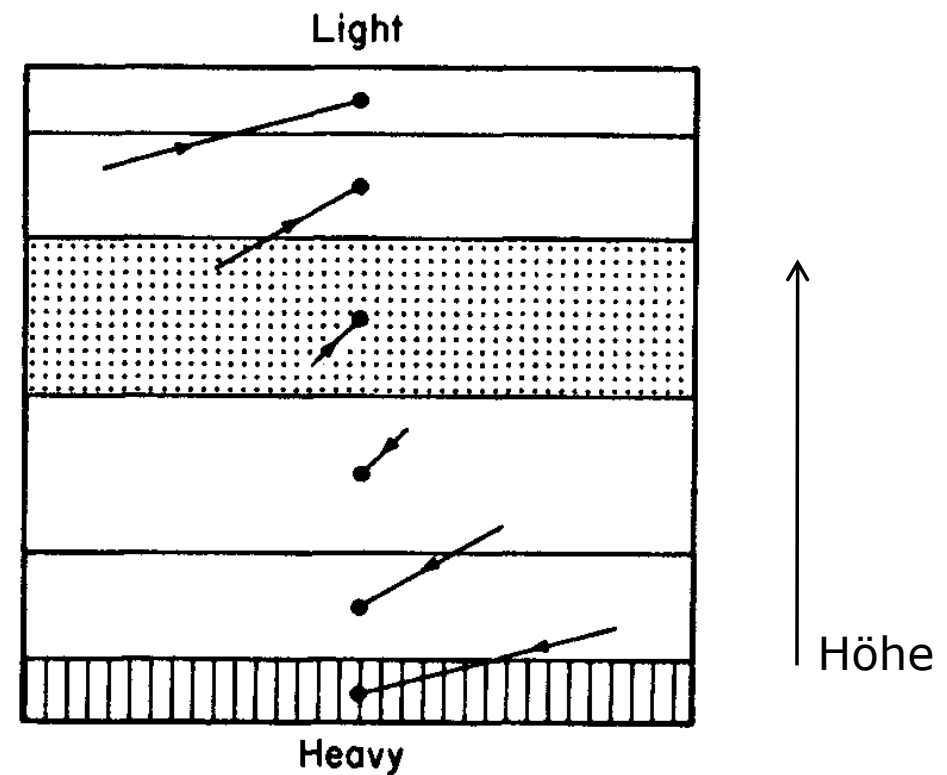
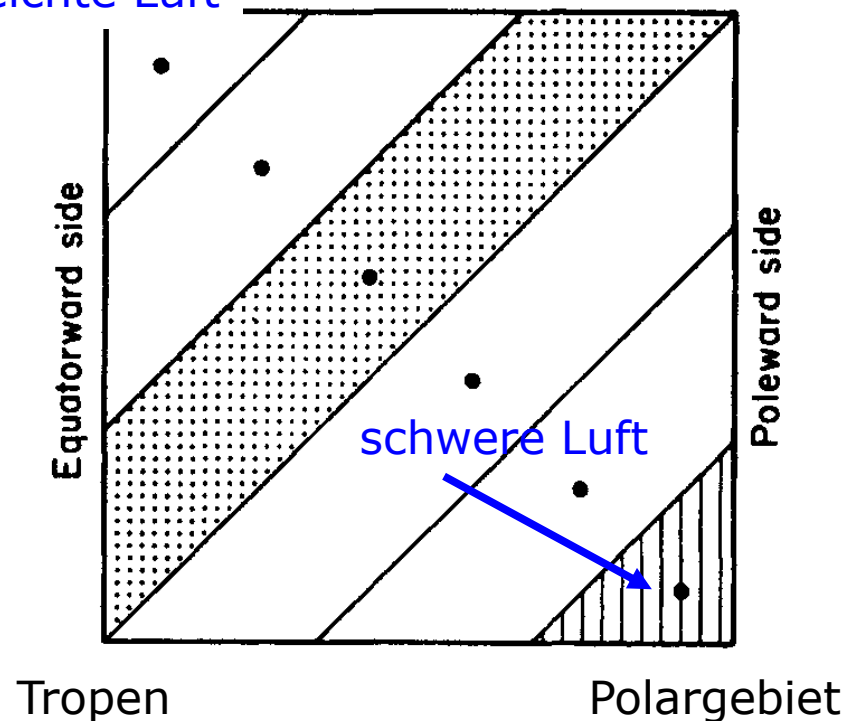


Warum entstehen Tiefdruckgebiete?

Links: Atmosphäre mit einem Nord-Süd Kontrast in der Temperatur (und damit in der Dichte)

Rechts: Atmosphäre mit horizontal gleichförmiger Temperaturverteilung

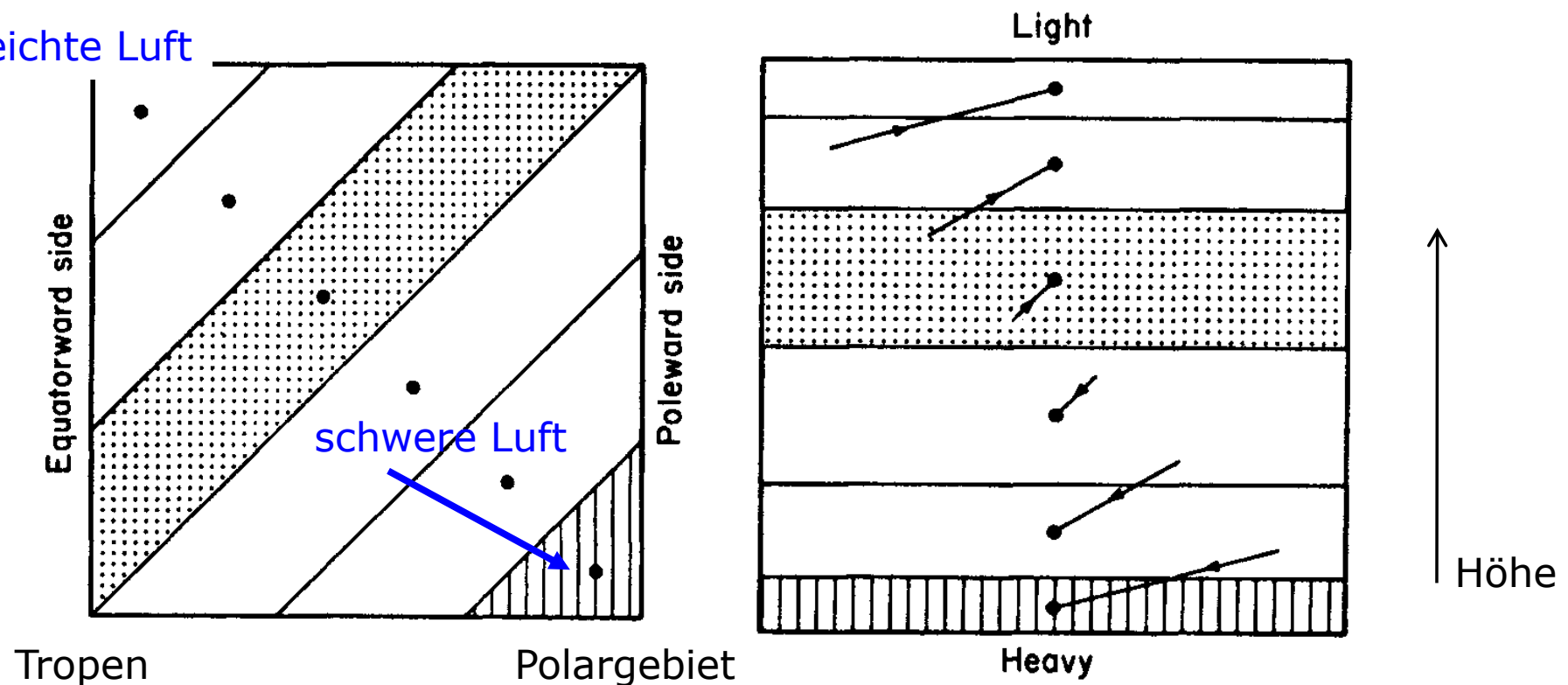
leichte Luft



Warum entstehen Tiefdruckgebiete?

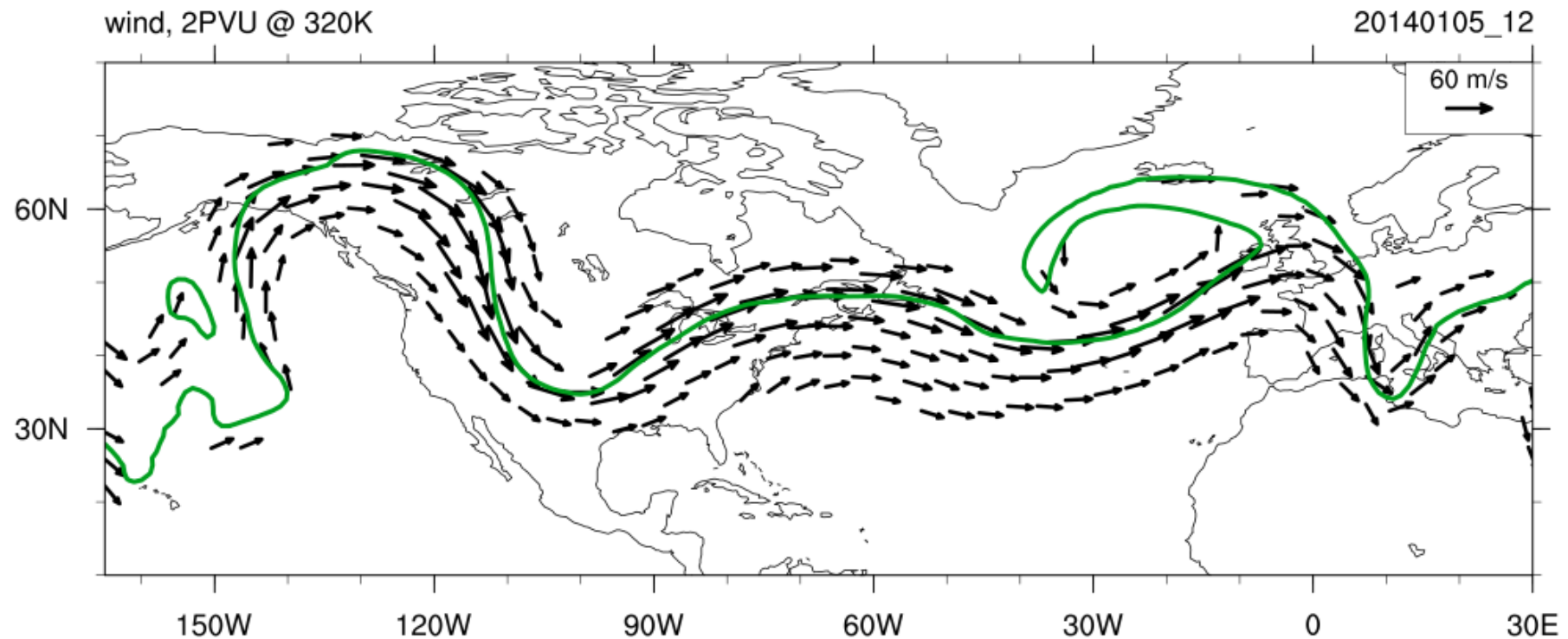
- Der Zustand rechts hat die tiefere potentielle Energie
- **Beim Übergang von links nach rechts kann potentielle in kinetische Energie (für die Zirkulation in Tiefdruckgebieten) umgewandelt werden**

leichte Luft



Was bestimmt das Wetter?

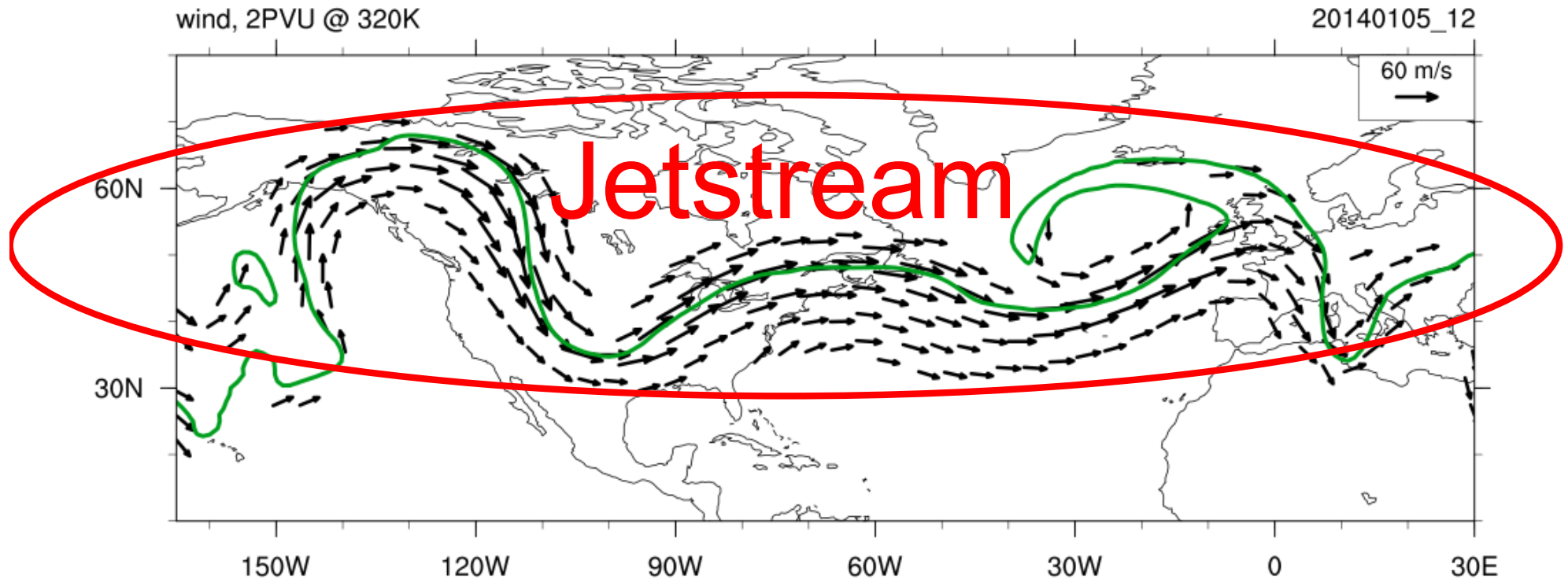
→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!



Abbildungen von Matthias Röthlisberger (U Bern)

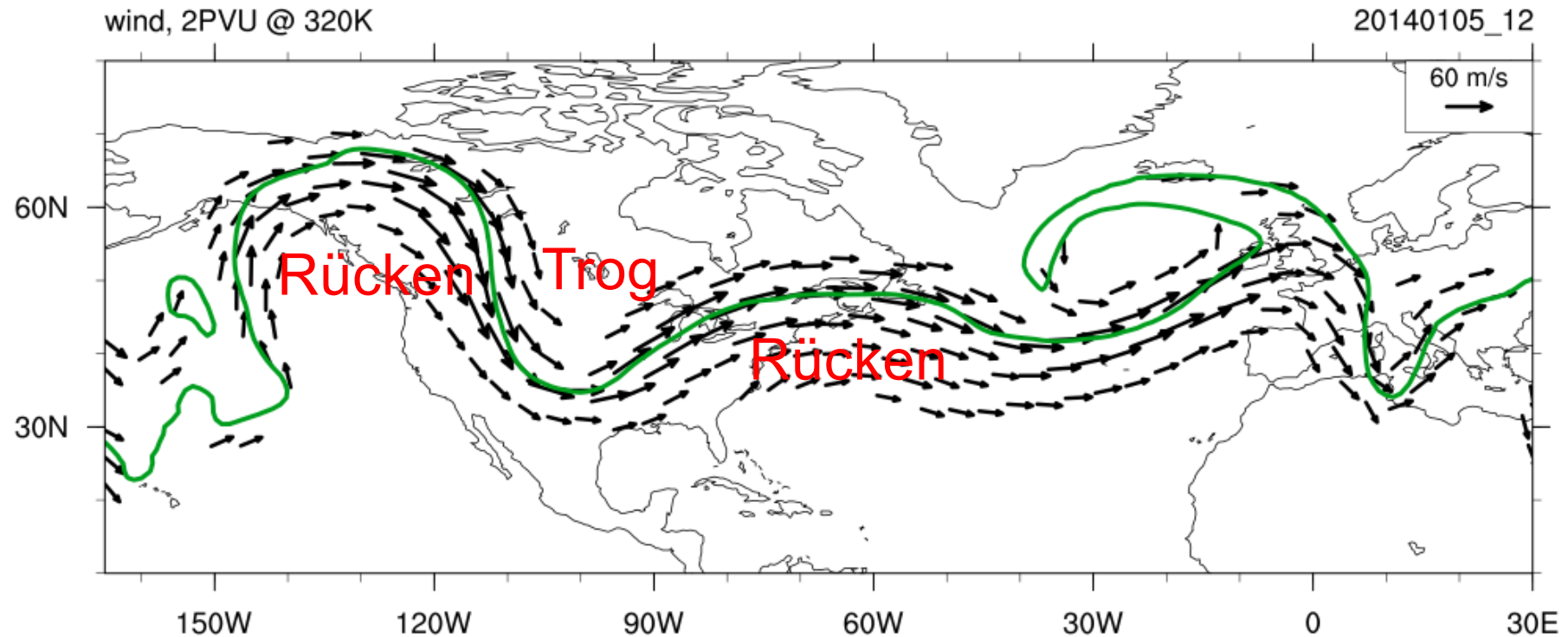
Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!



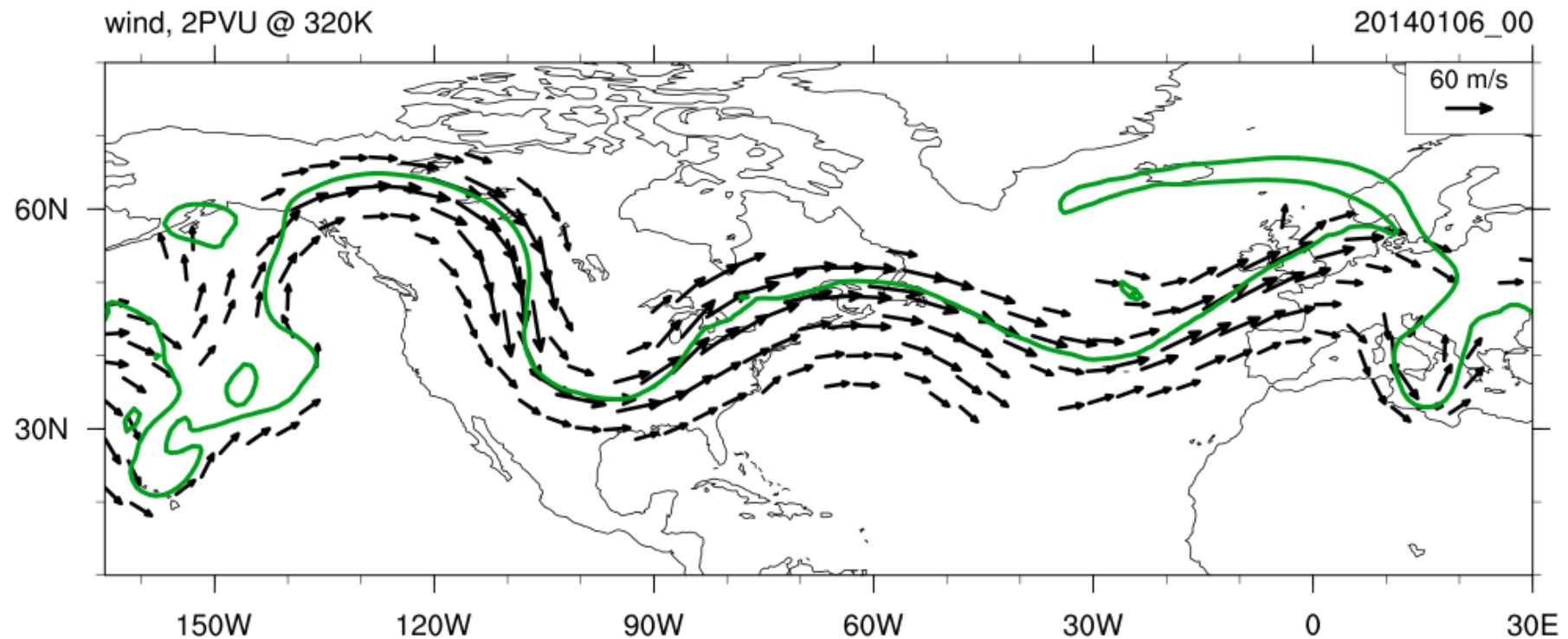
Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!



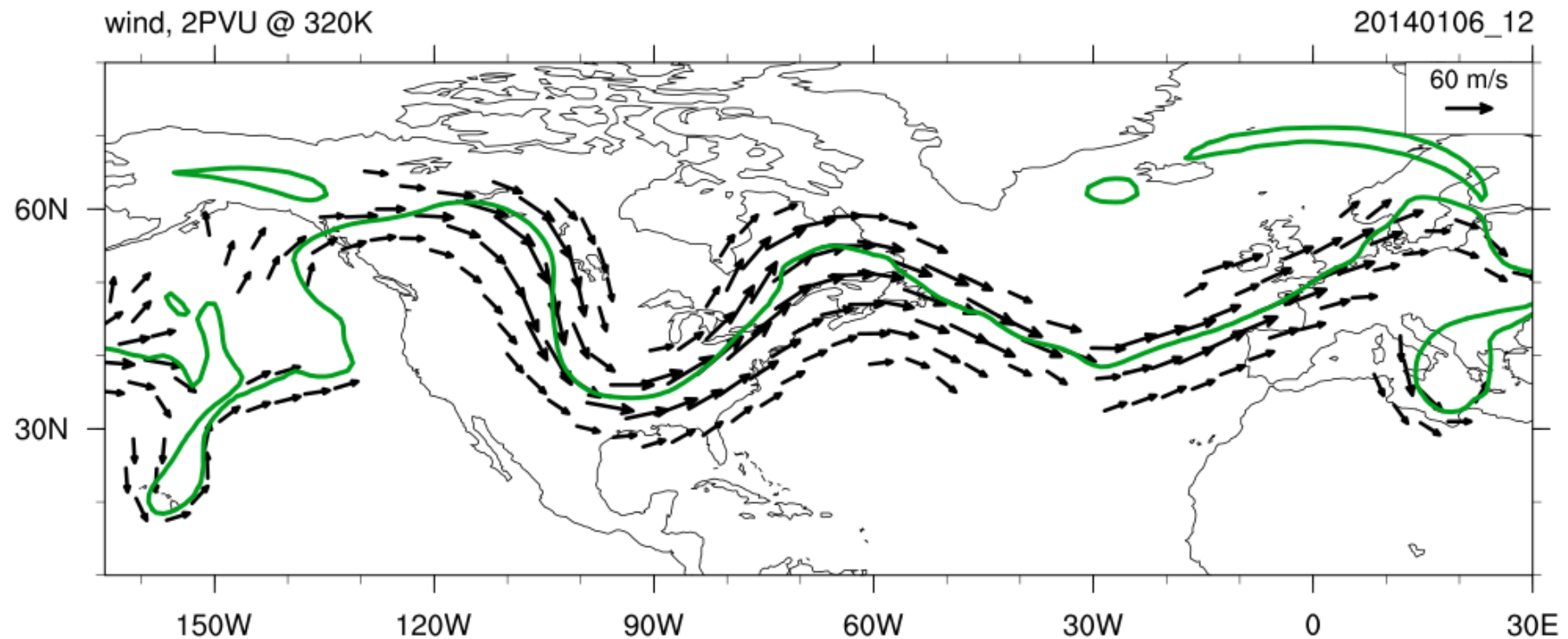
Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!



Was bestimmt das Wetter?

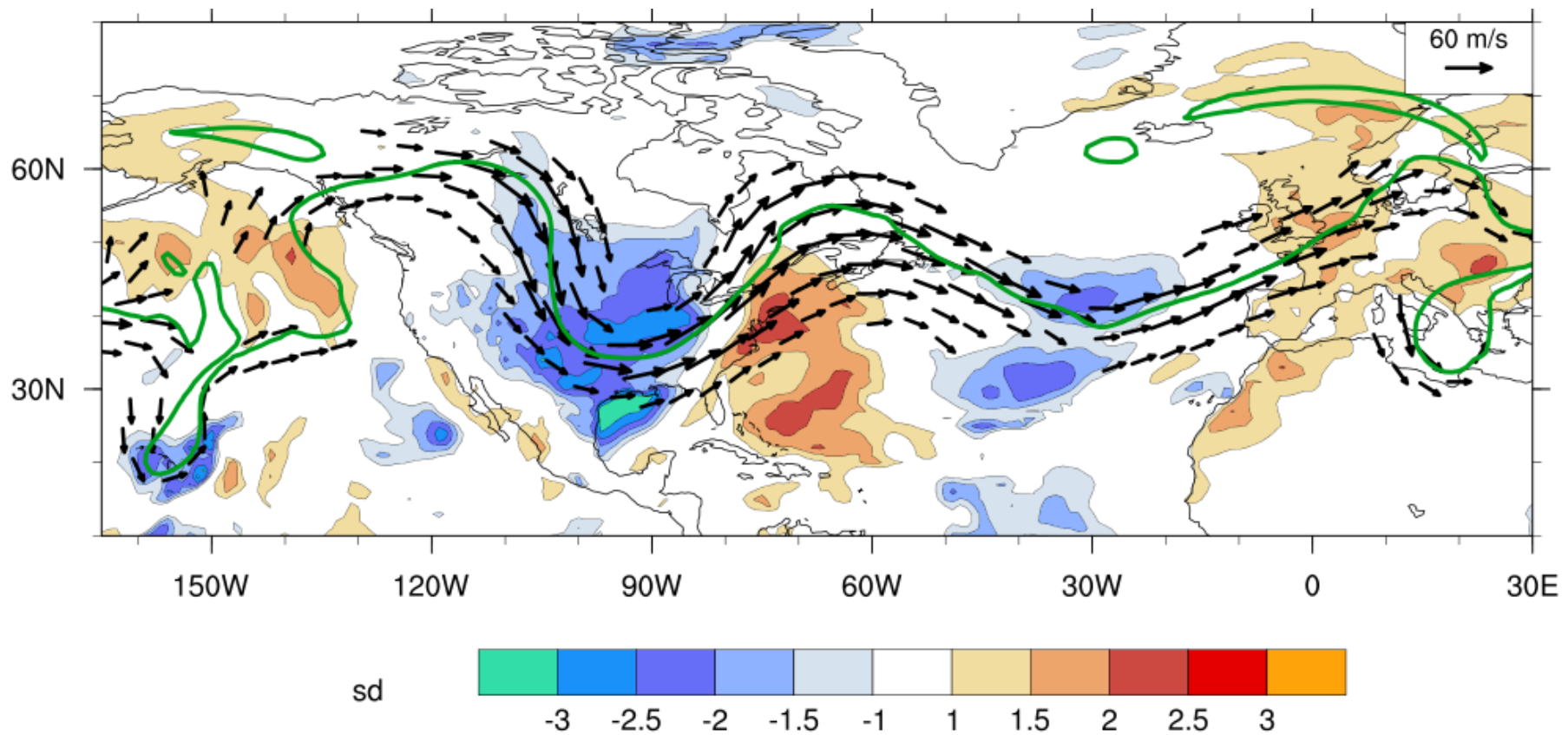
→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!



Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!

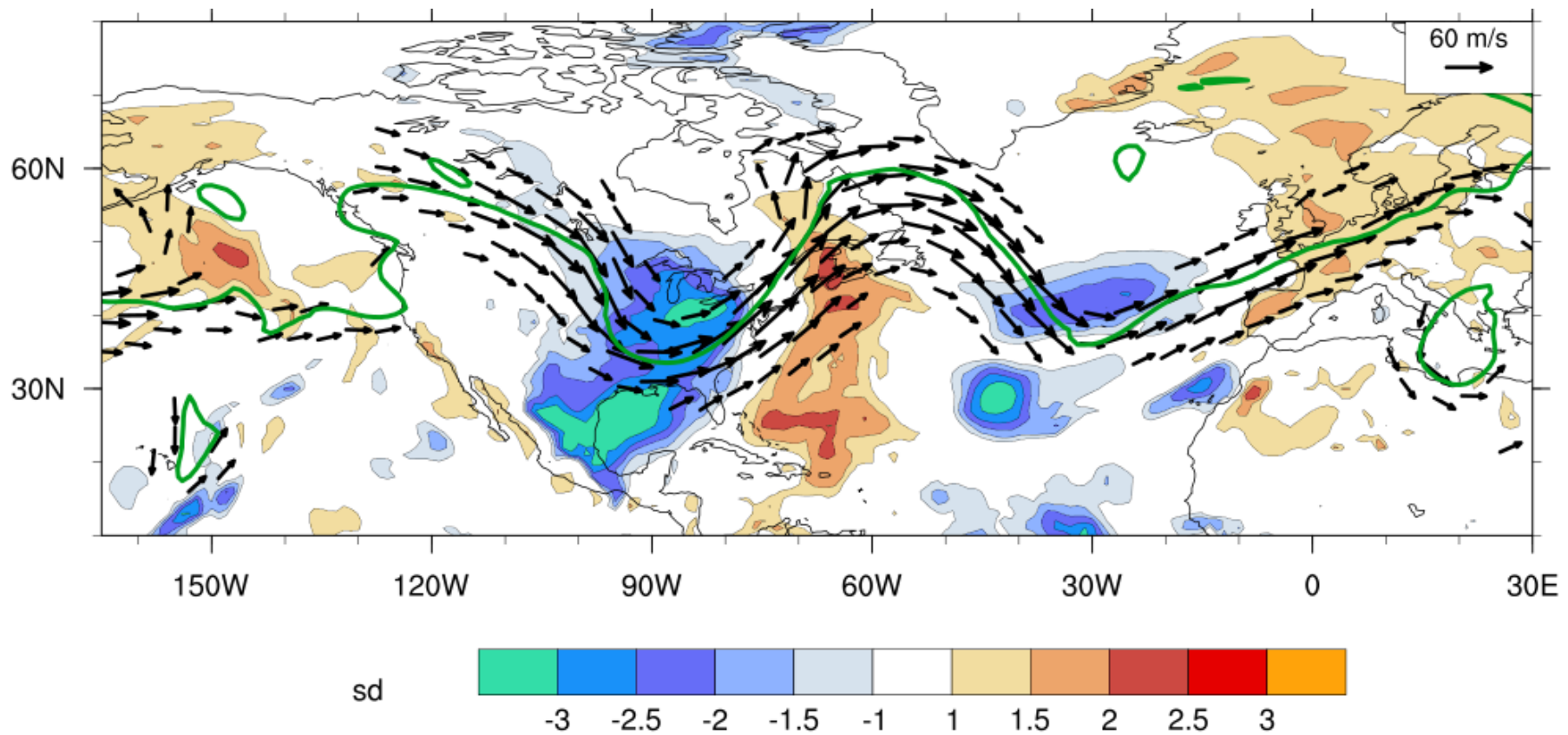
Abweichungen der Bodentemperaturen von Normalbedingungen



Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!

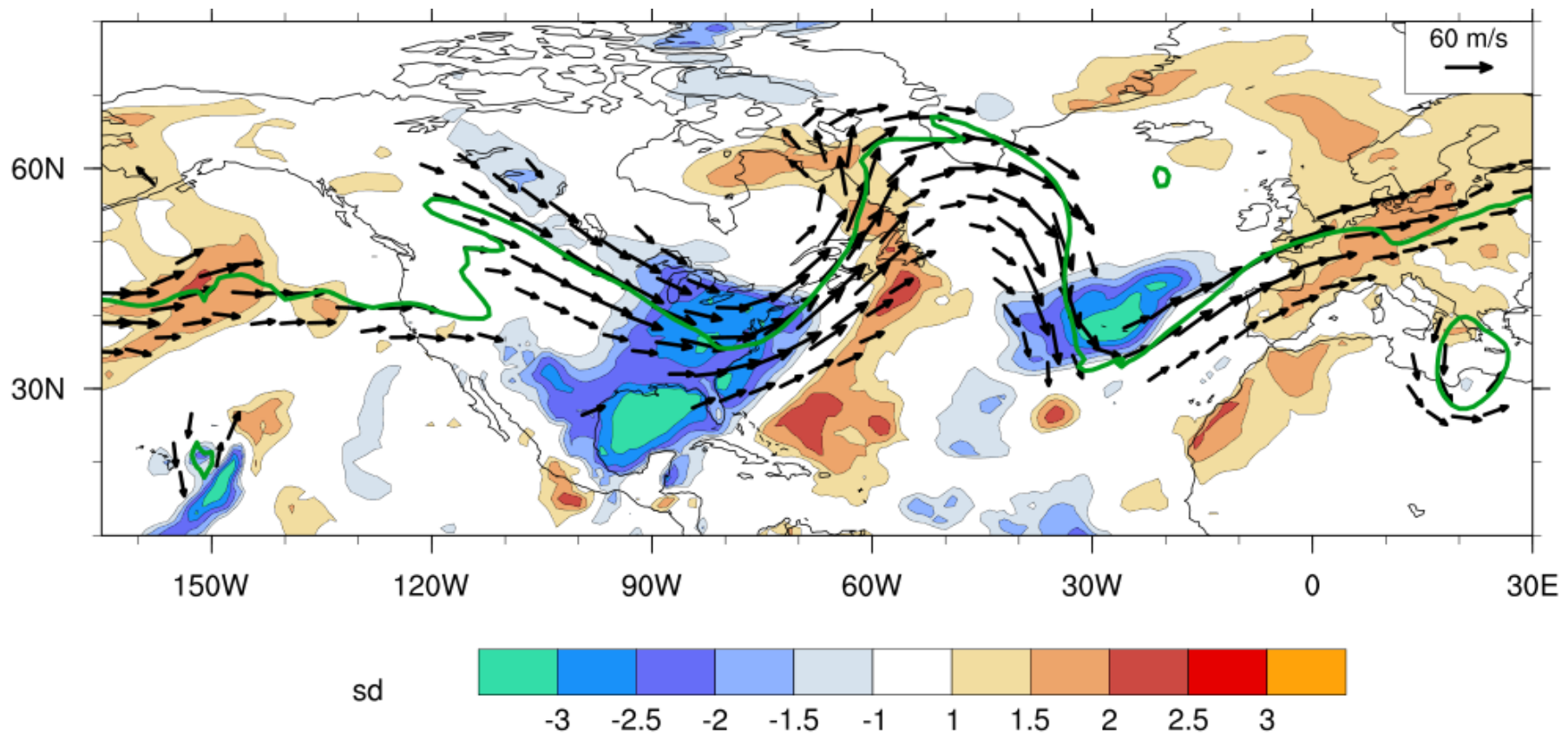
Abweichungen der Bodentemperaturen von Normalbedingungen



Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!

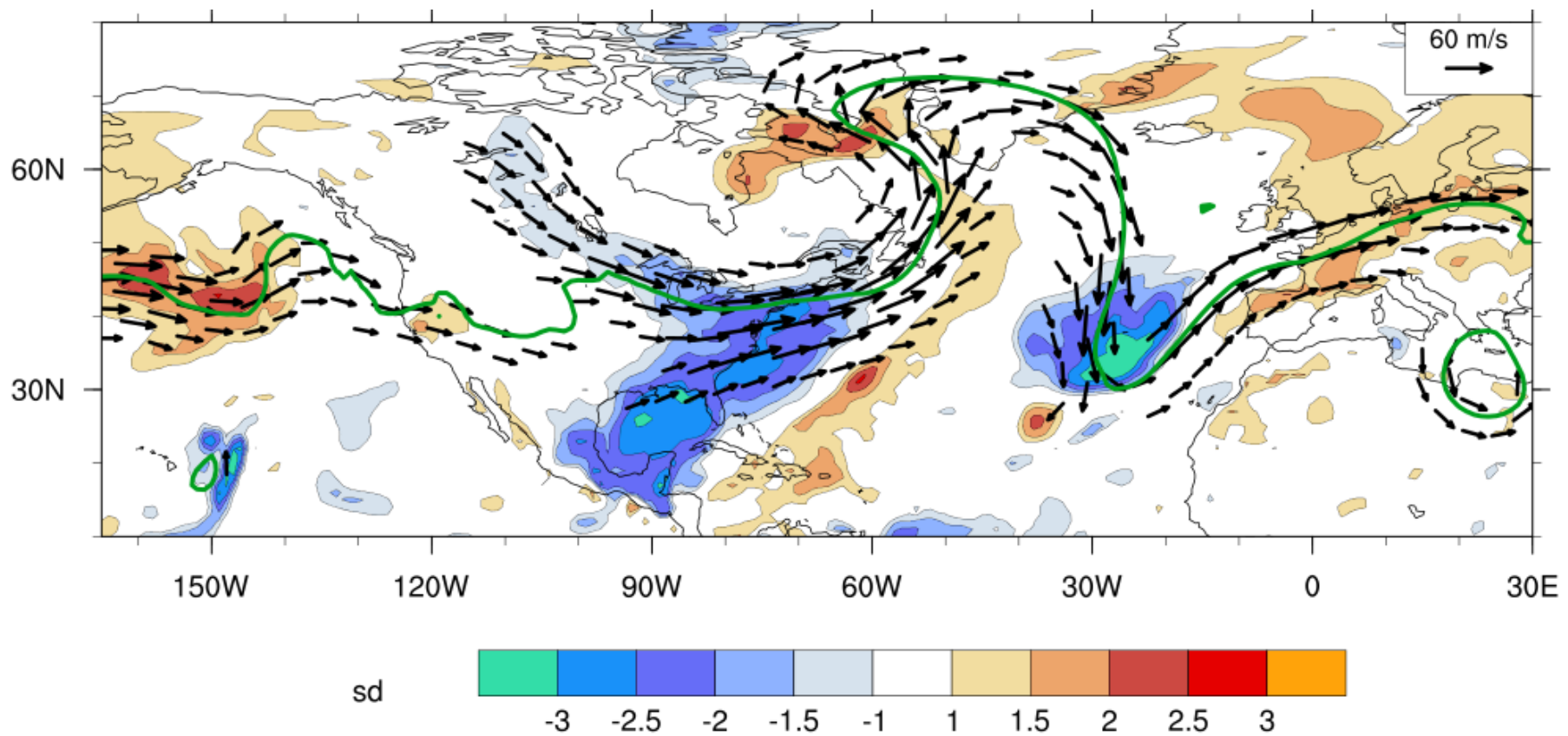
Abweichungen der Bodentemperaturen von Normalbedingungen



Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!

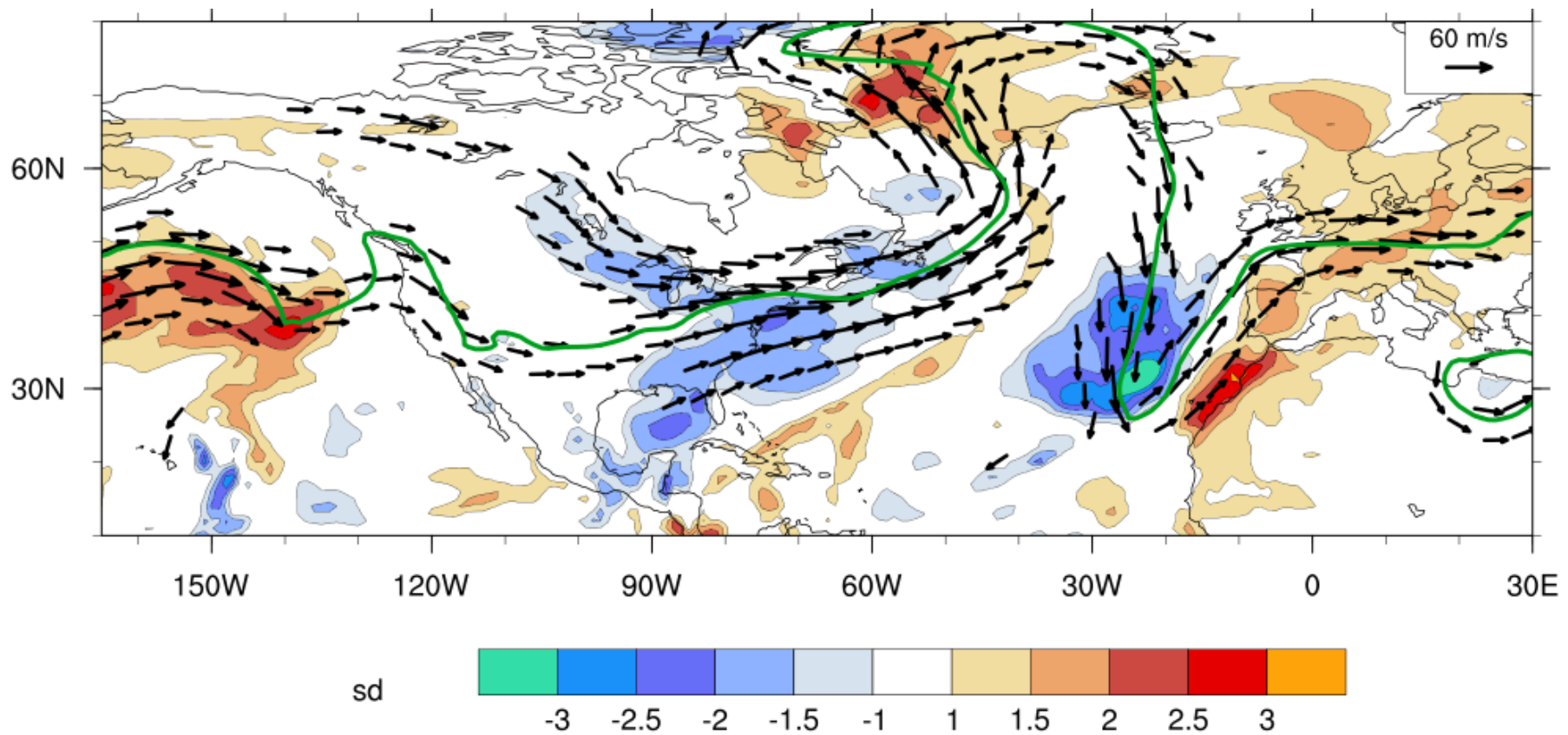
Abweichungen der Bodentemperaturen von Normalbedingungen



Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!

Abweichungen der Bodentemperaturen von Normalbedingungen



Dynamik extremer Wetterereignisse

2 Beispiele

- Starkniederschlag in Deutschland (2013)
 - Flut in Donau und Elbe; in Passau höchster Pegel seit 1501
- Ein "Lothar-ähnlicher" Sturm in Nordamerika (2007)
 - "The great coastal gale of 2007"; Hurrikan-artige Windböen bis 220 km/h an der Küste des Bundesstaates Washington

Die Juni 2013 Flut (Donau, Elbe)

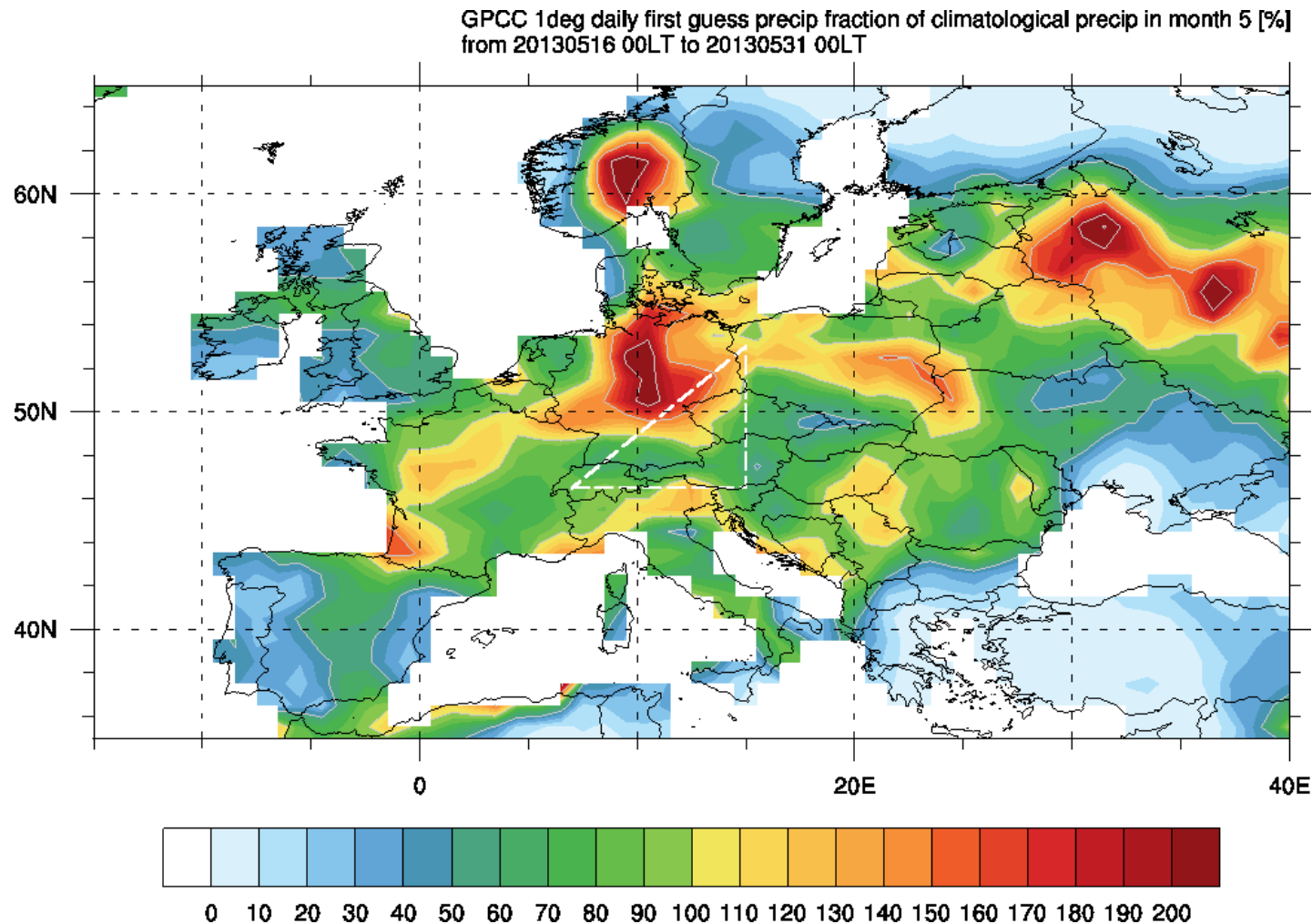
Vorbedingungen

Zyklonen und Feuchtequellen

Falschherum aufsteigende WCBs

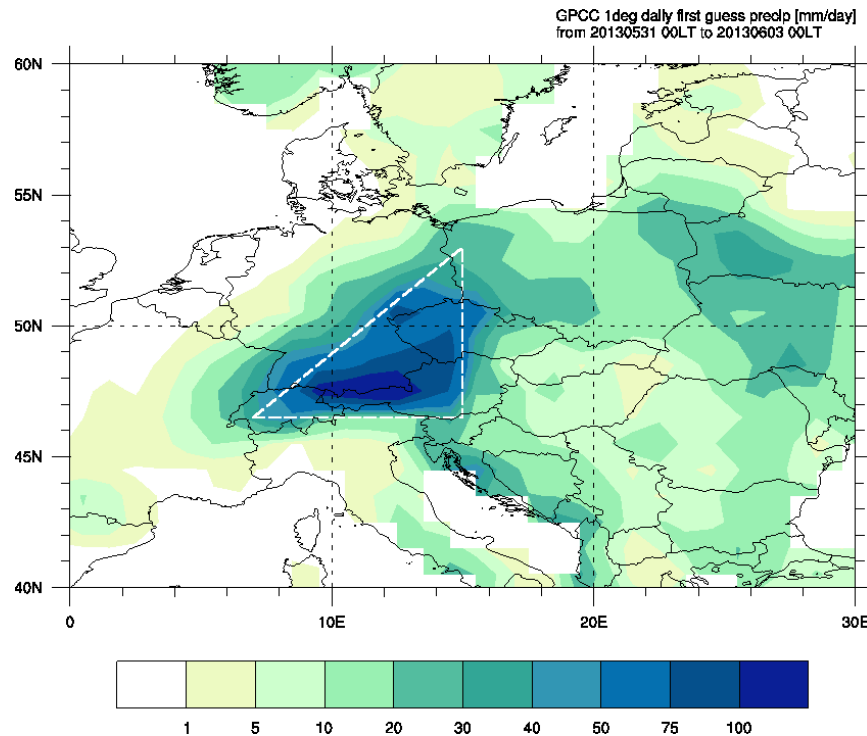


Niederschlag in den 2 Wochen vor dem Ereignis

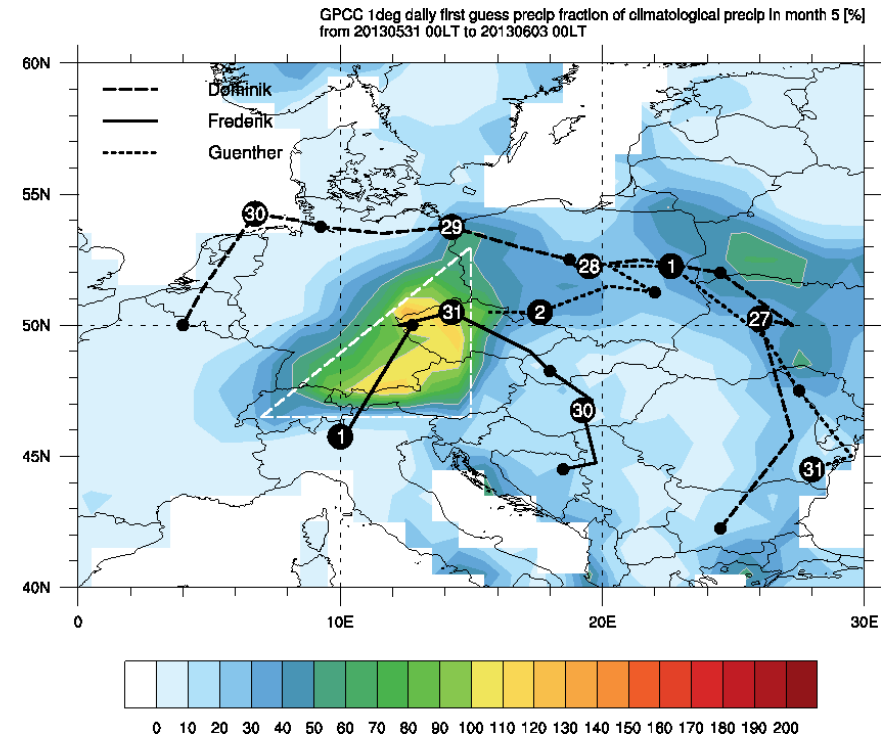


GPCC 16-31 May 2013 fraction (%) of climatological May precipitation

Starkniederschlag und Tiefdruckgebiete



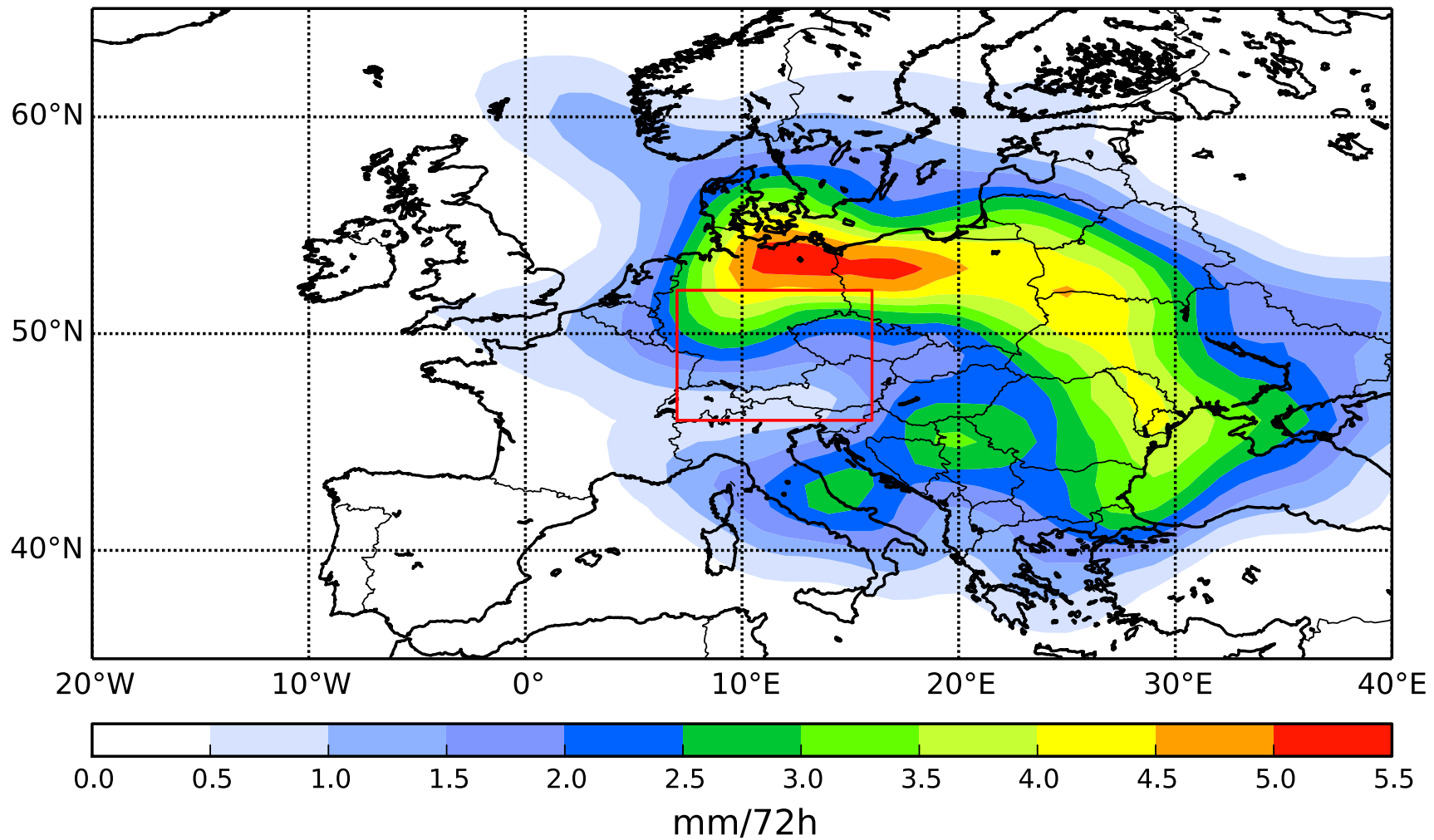
GPCC 31 May- 3 June 2013
accumulated precipitation (mm)



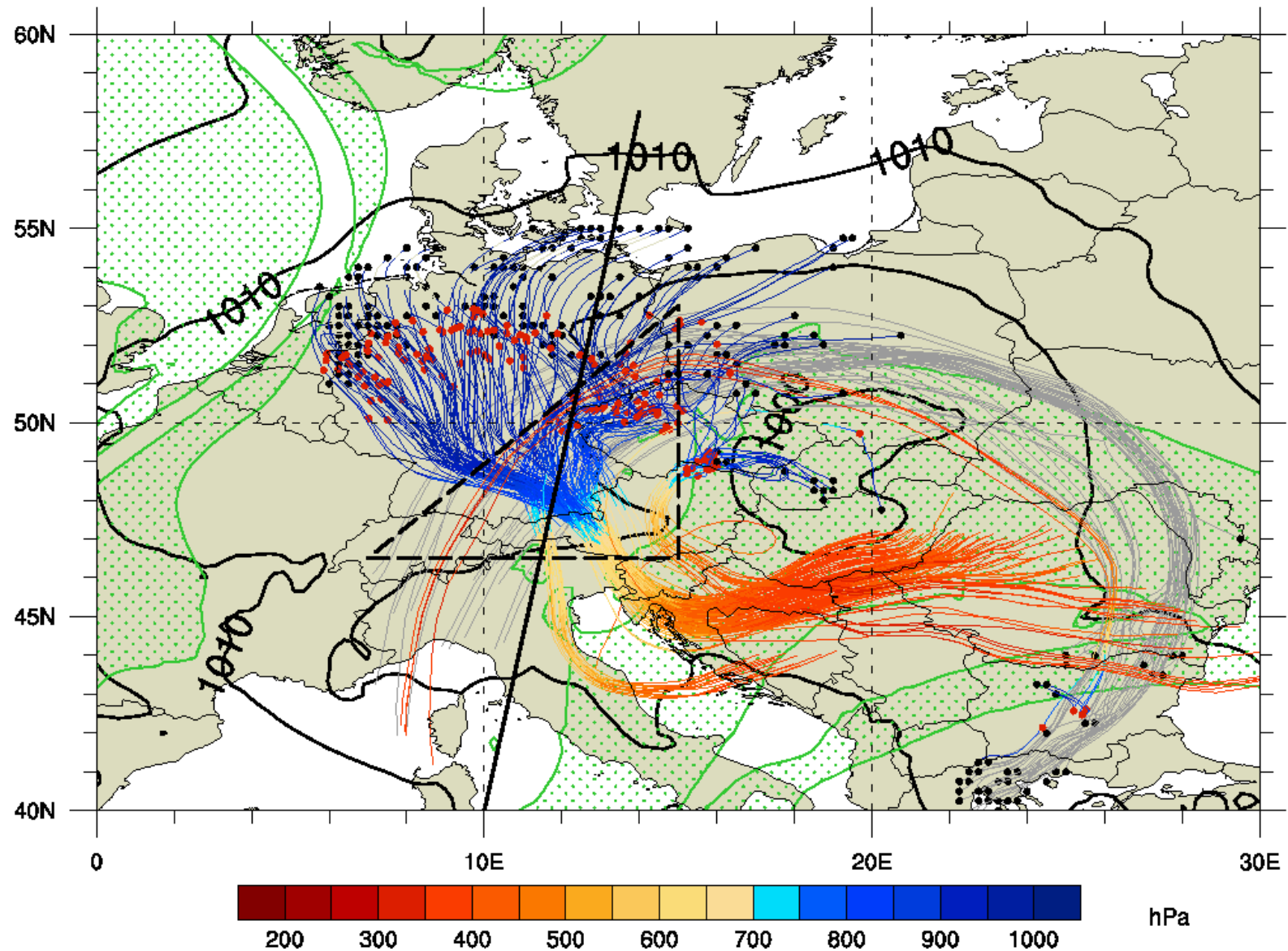
GPCC 31 May- 3 June 2013
fraction of May precipitation (mm)

Wo verdunstete das Wasser das die Flut auslöste?

Feuchtequellen des Niederschlags vom 31 Mai – 3 Juni 2013



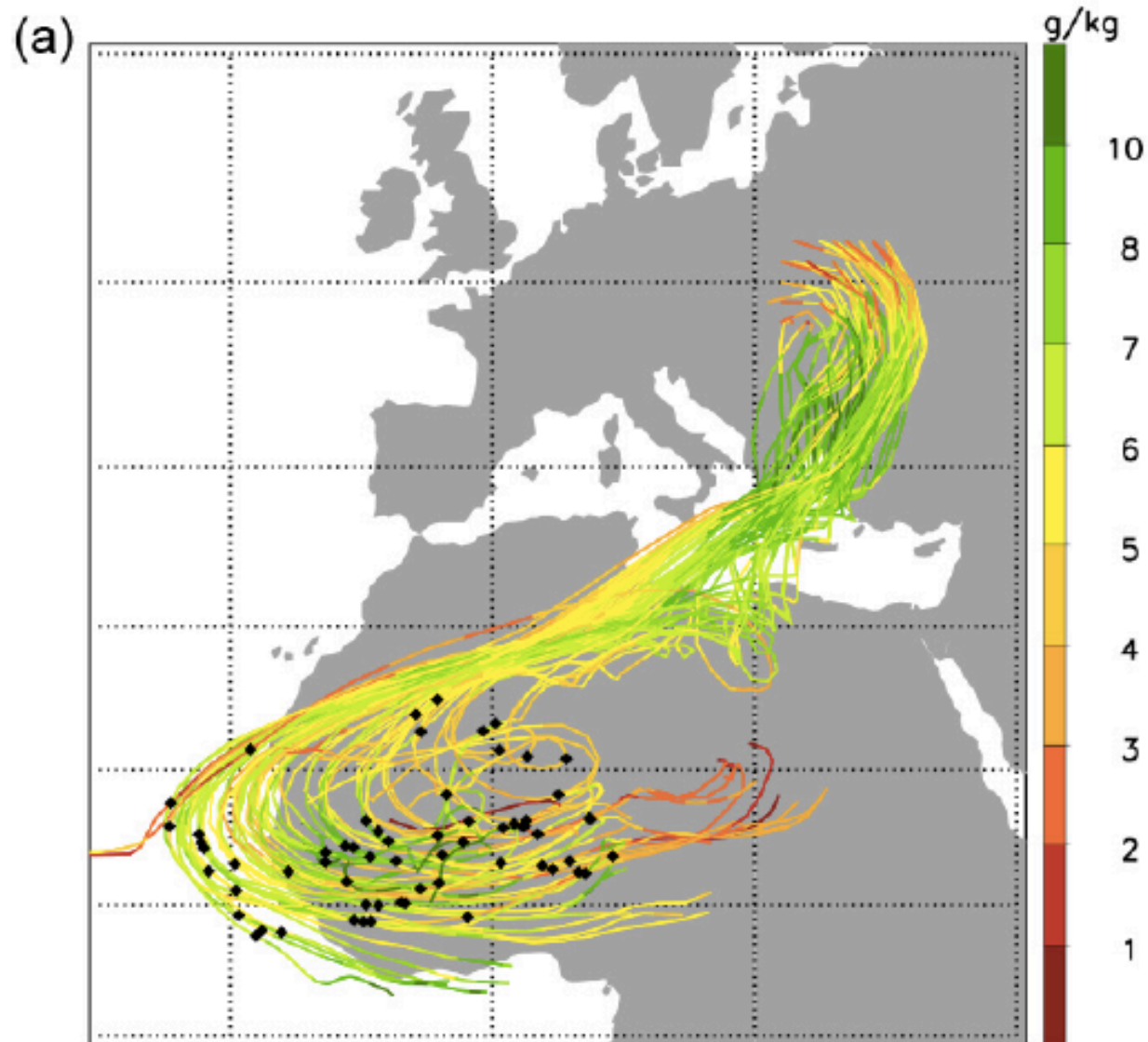
Falschherum aufsteigender “Warm Conveyor Belt”



Feuchteherkunft: Grosse Unterschiede von Fall zu Fall

Flut im Mai 2010 in Polen

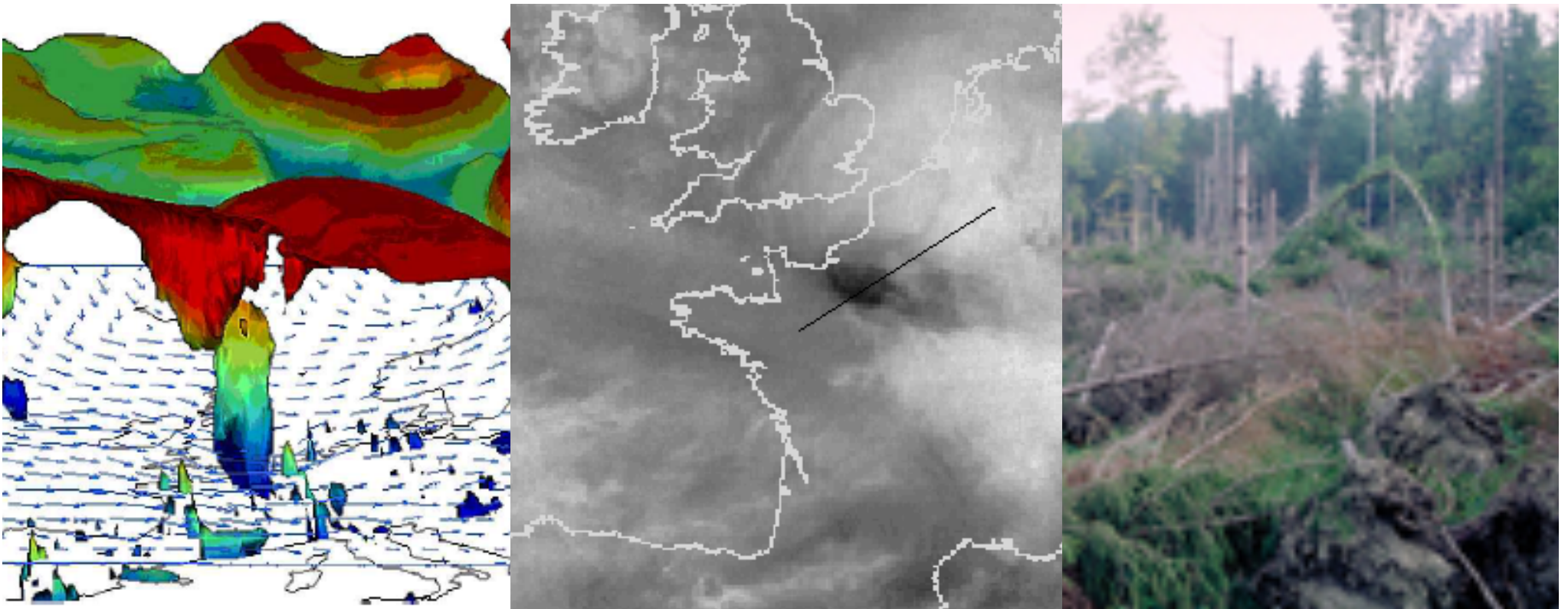
Transport von tropischer Feuchte nach Osteuropa innerhalb von 7 Tagen



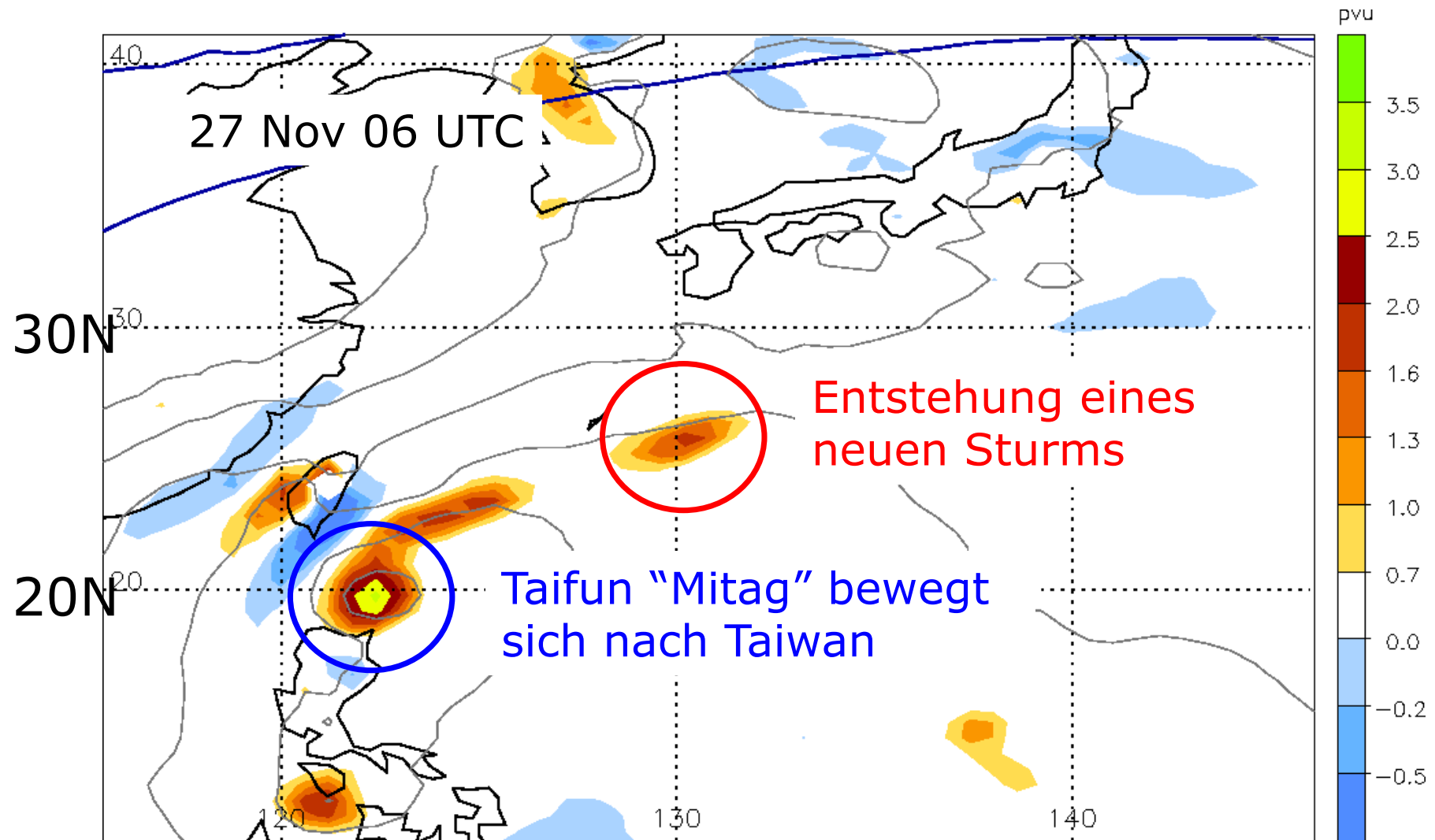
Winschall et al. 2014

Stürme wie „Lothar“ ...

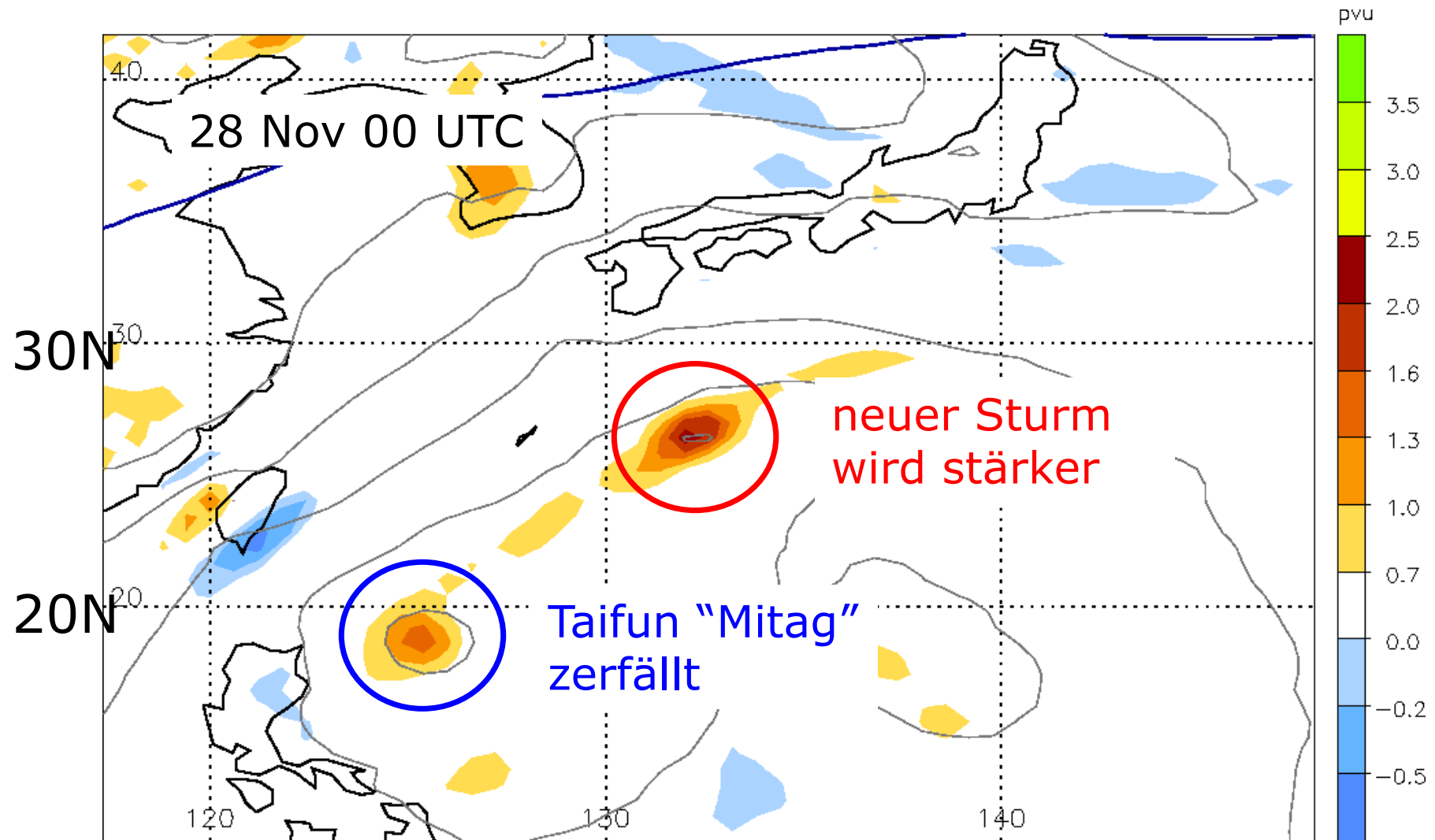
sind schwierig vorherzusagen, haben eine «eigenartige Struktur»,
propagieren sehr schnell, und sind selten ...



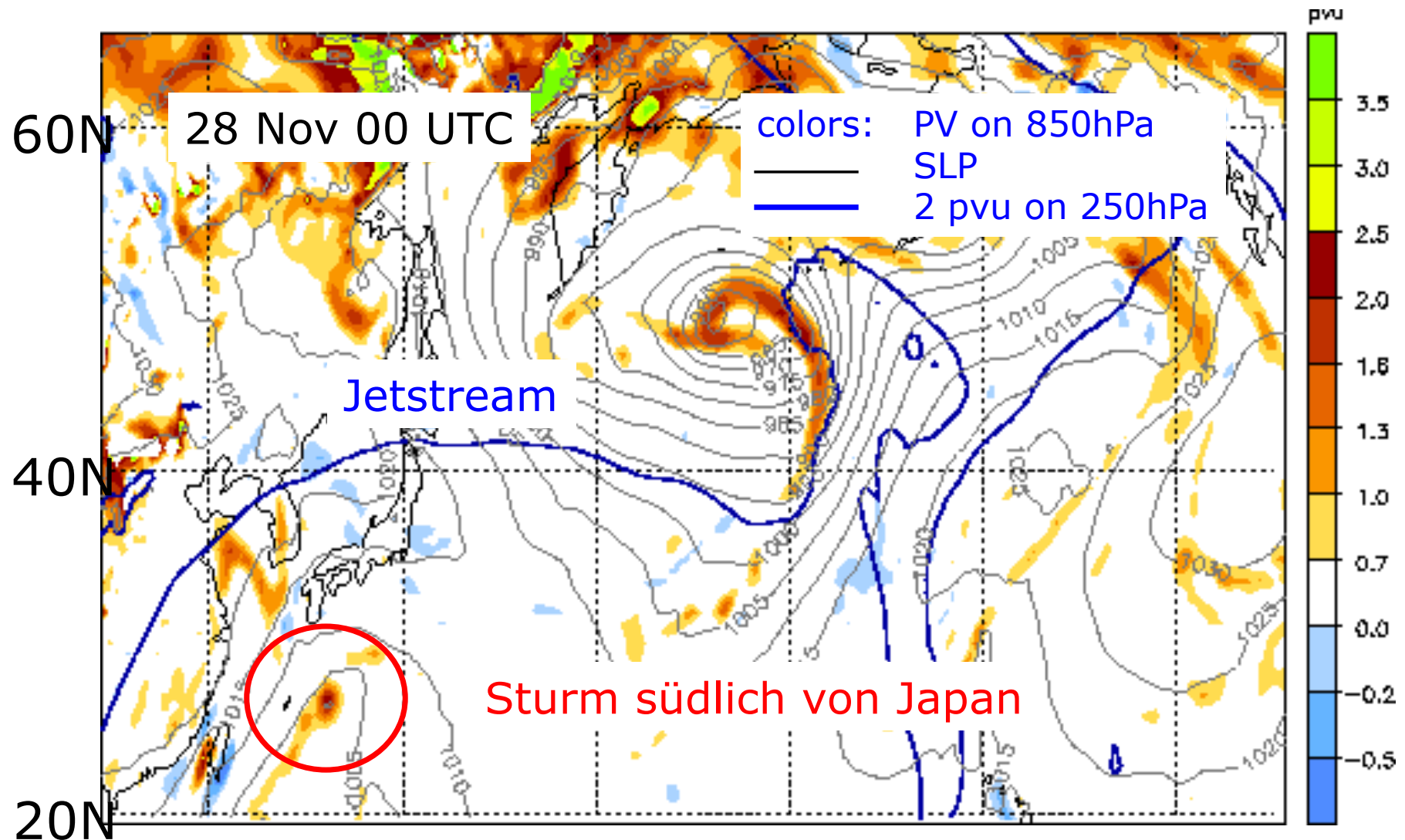
Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



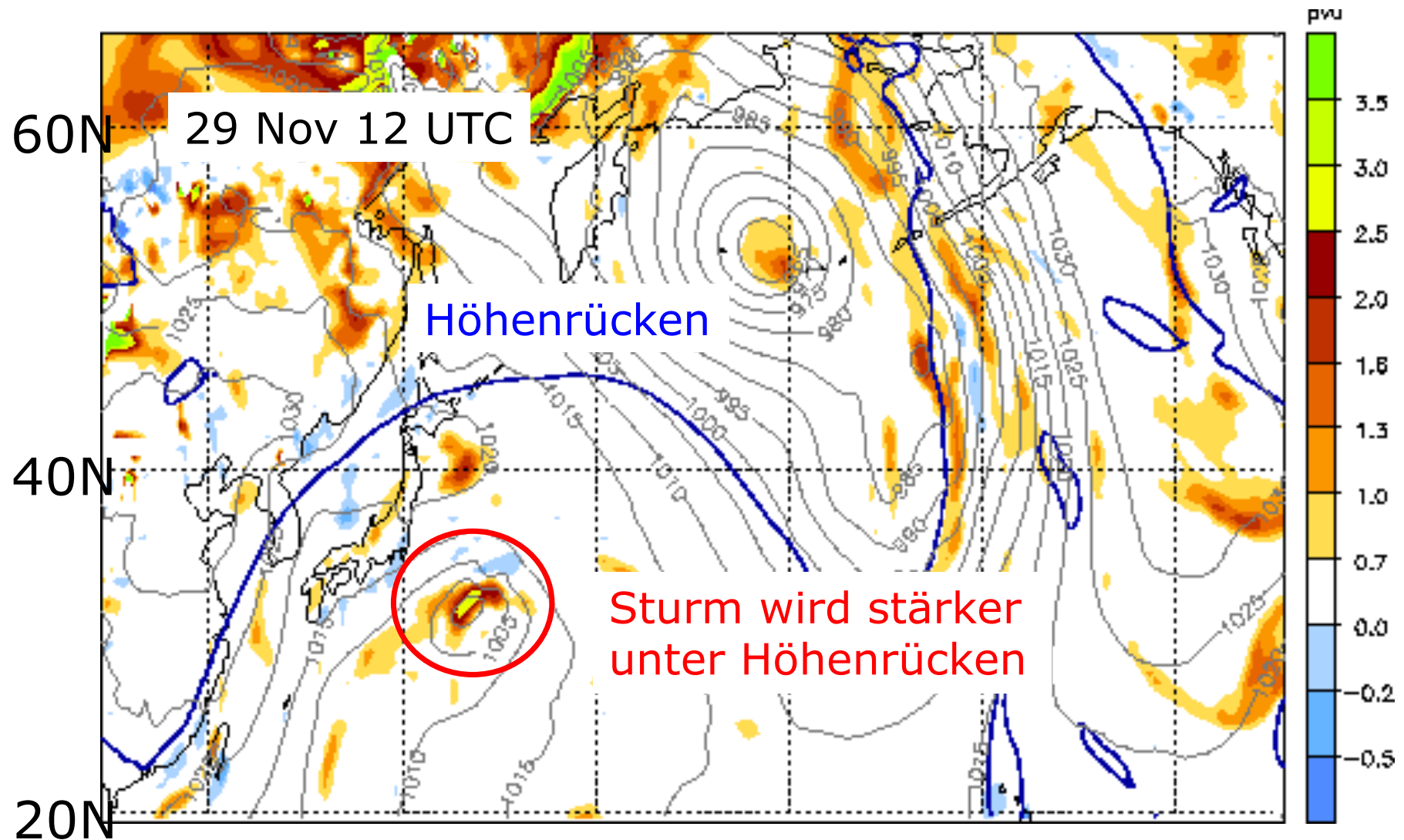
Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



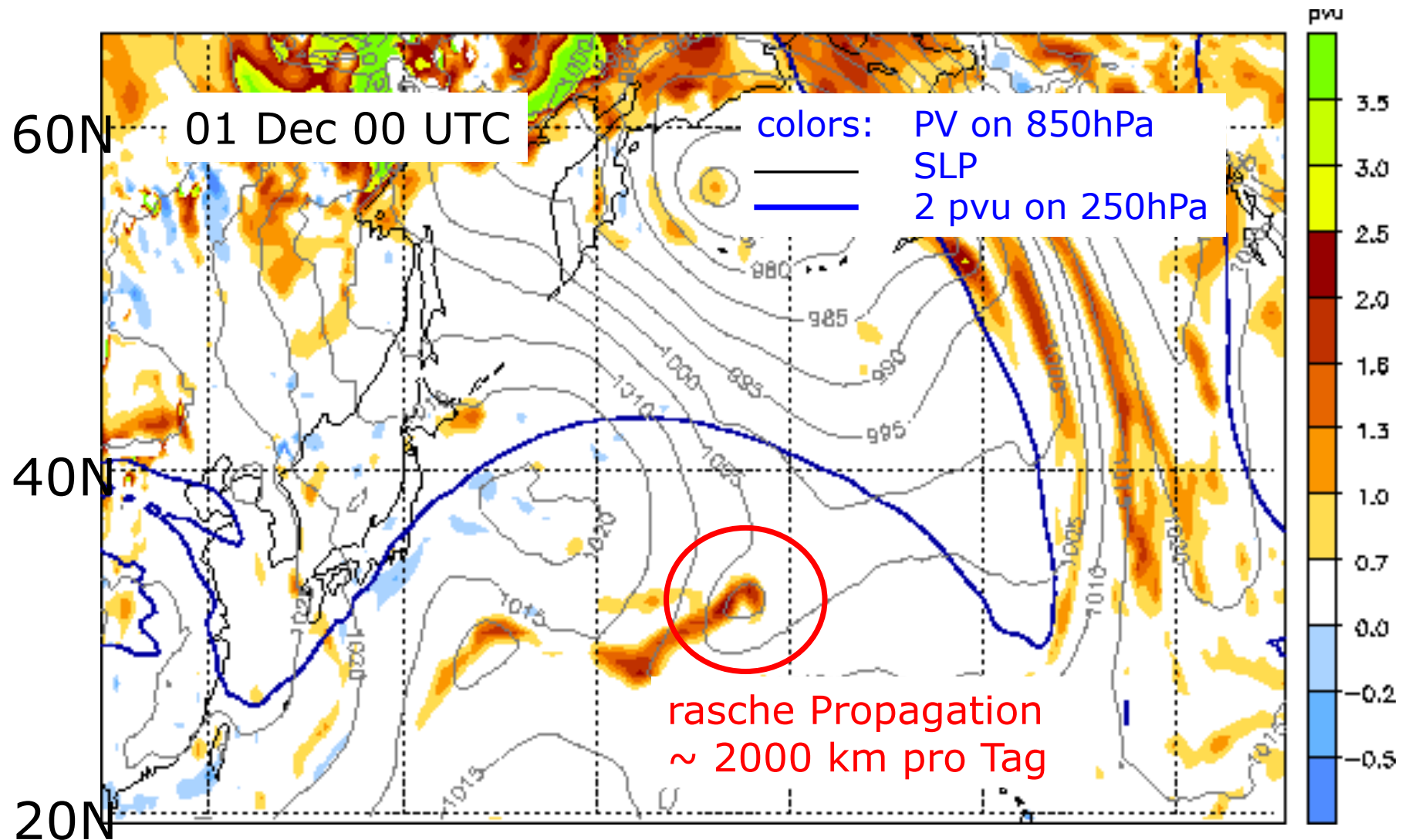
Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



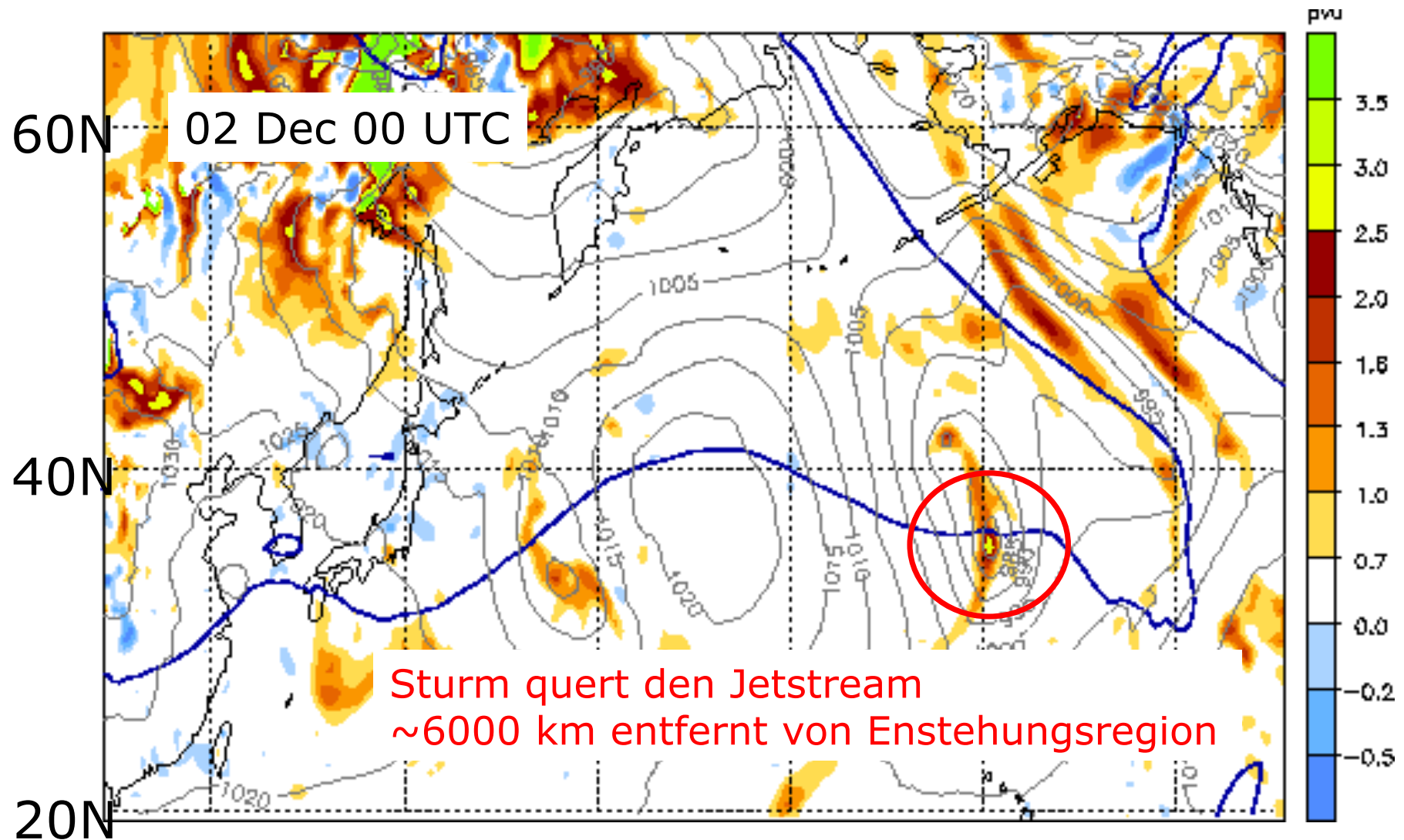
Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



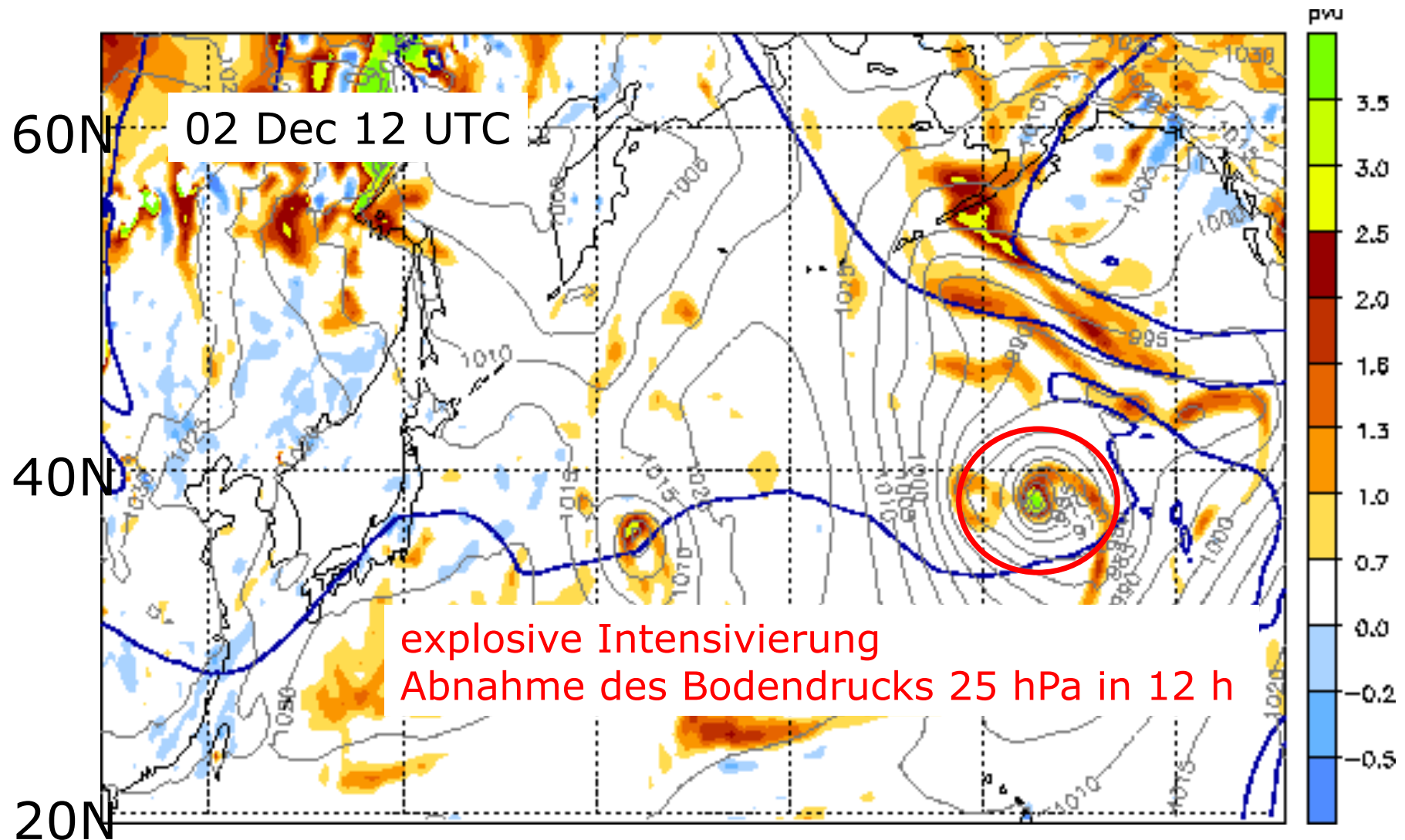
Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



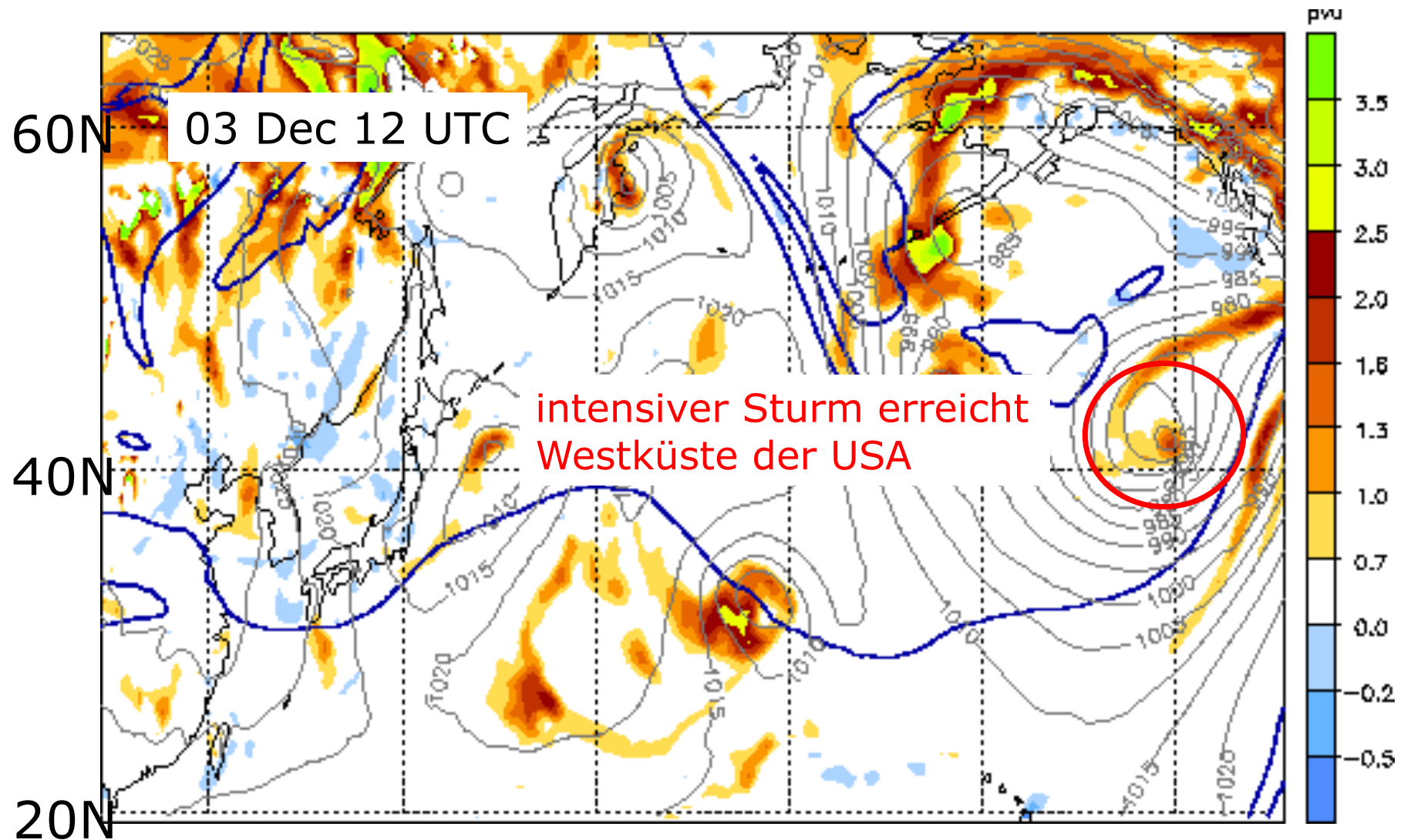
Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



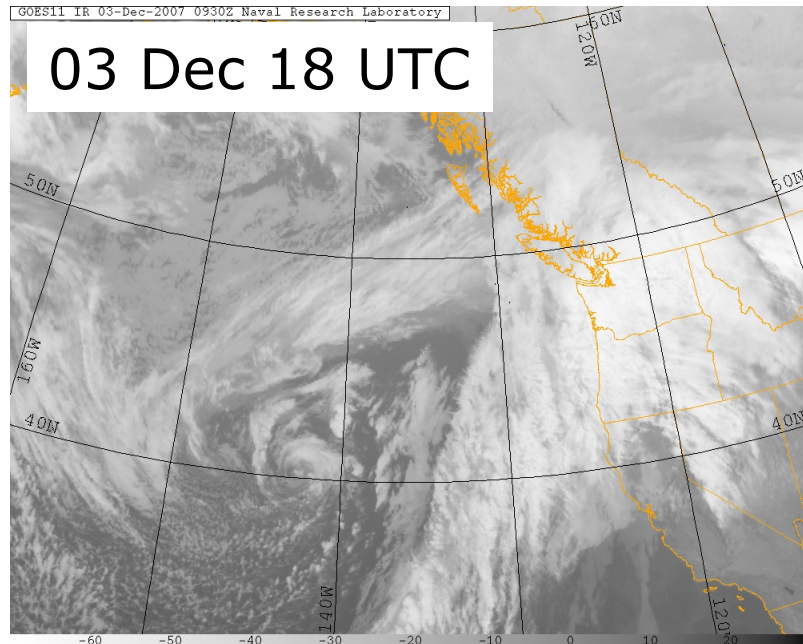
Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



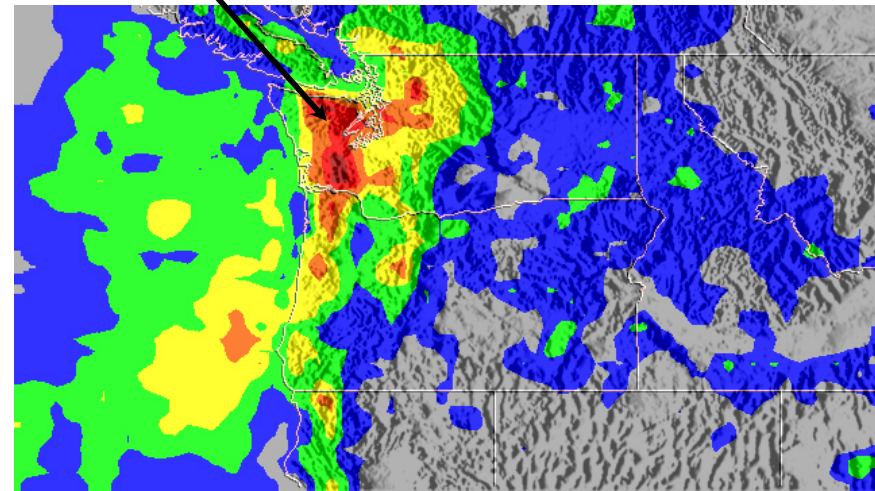
Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



Niederschlag
> 150 mm in Washington

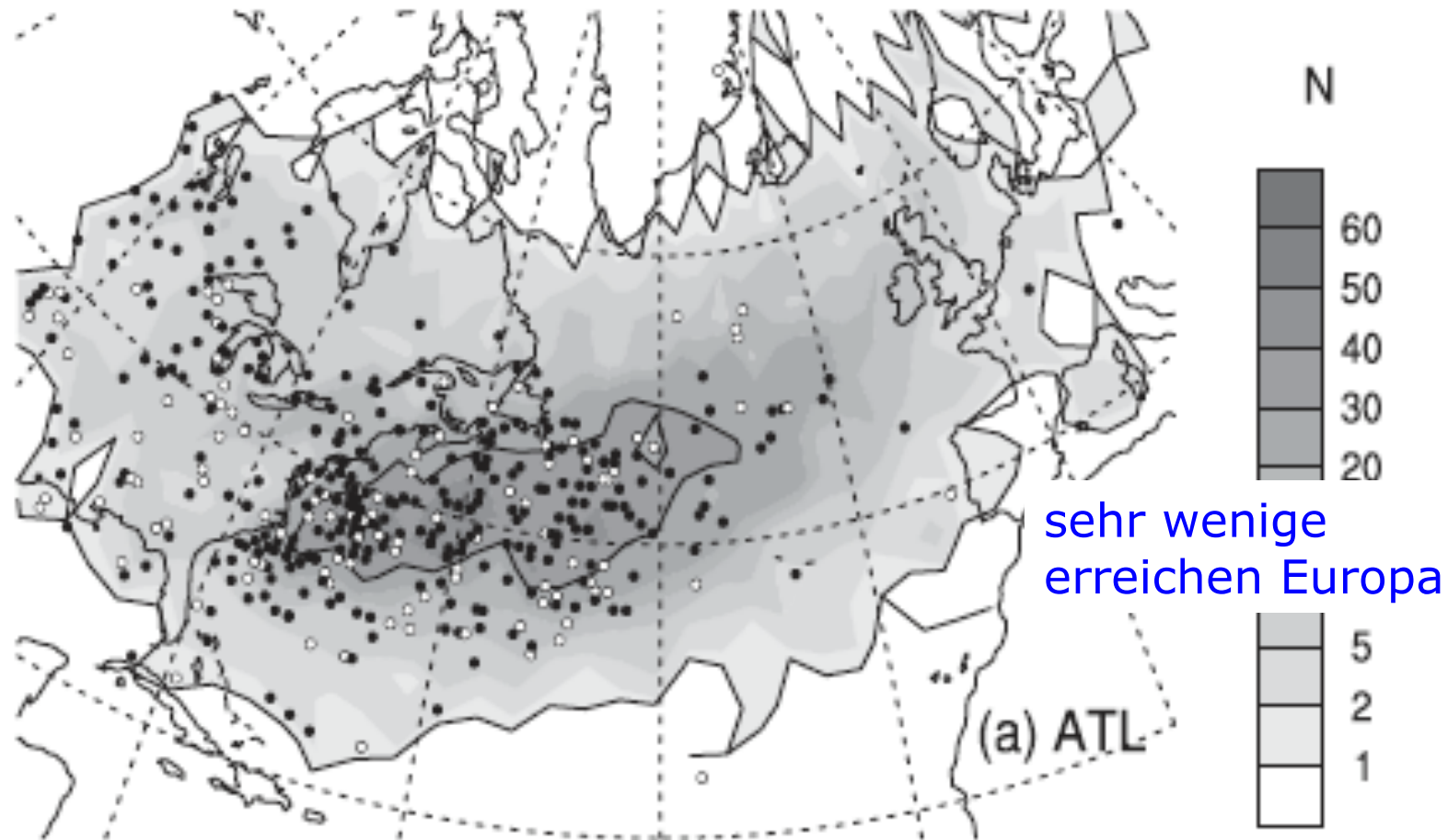


“The great coastal gale of 2007” (Wikipedia)

- Winde > 200 km/h in Washington und Oregon
- starke Niederschläge, grossräumige Überflutungen
- 18 Todesfälle; Schäden > 1 Milliarde US\$

Klimatologie von Lothar-ähnlichen Stürmen

2001-2010 im Nordatlantik



Boettcher and Wernli 2015 (QJ)

Zusammenfassung

1. Dynamik der Atmosphäre = “Physik des Windes”
2. Forschungsobjekte: Tiefdruckgebiete, Jetstream, Rücken und Tröge (Rossby-Wellen), ...
3. Extremereignisse entstehen meteorologisch durch ein komplexes Zusammenspiel verschiedener – oftmals ungewöhnlicher – Prozesse
4. Dieses Zusammenspiel kann von Fall zu Fall stark variieren
5. Der Einfluss des Klimawandels (globale Erwärmung) auf die Dynamik der Atmosphäre, d.h. auf die Strömungen / Winde ist noch ungenügend verstanden