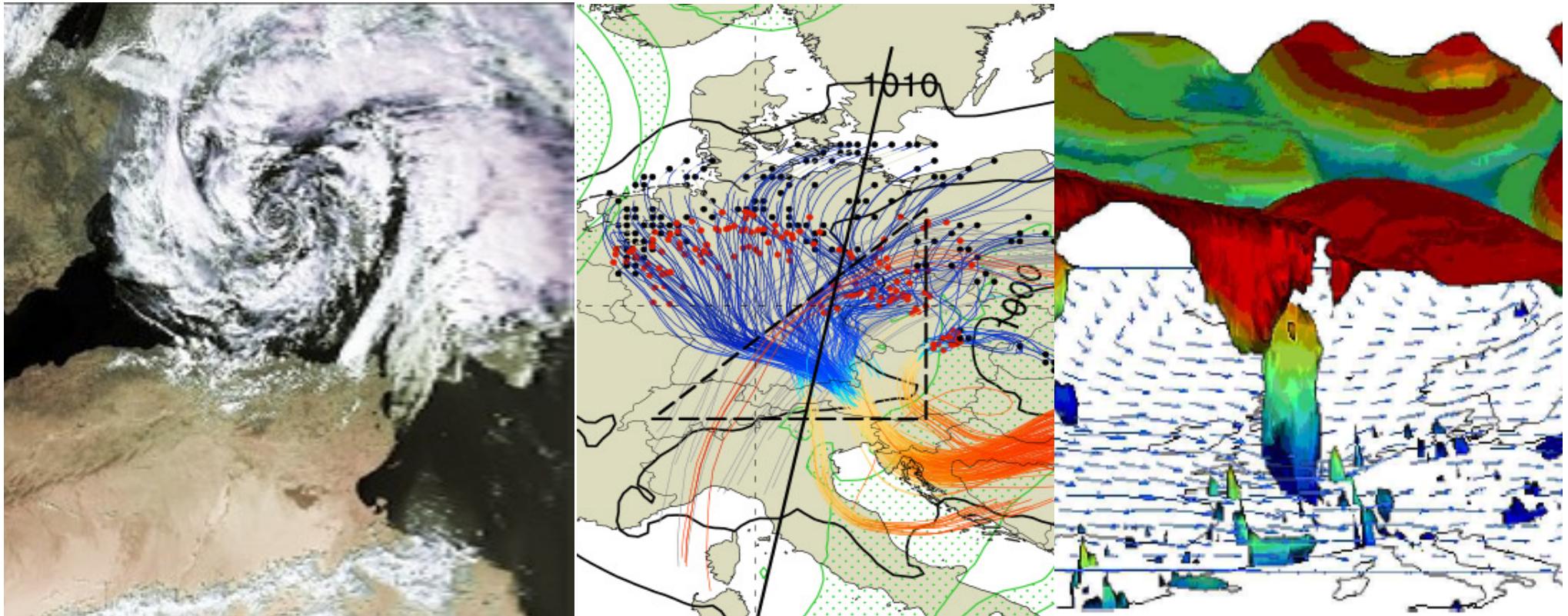


# Dynamik der Atmosphäre

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)

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

# **Themen in diesem Wissenschaftsgebiet**

## Klassische Themen

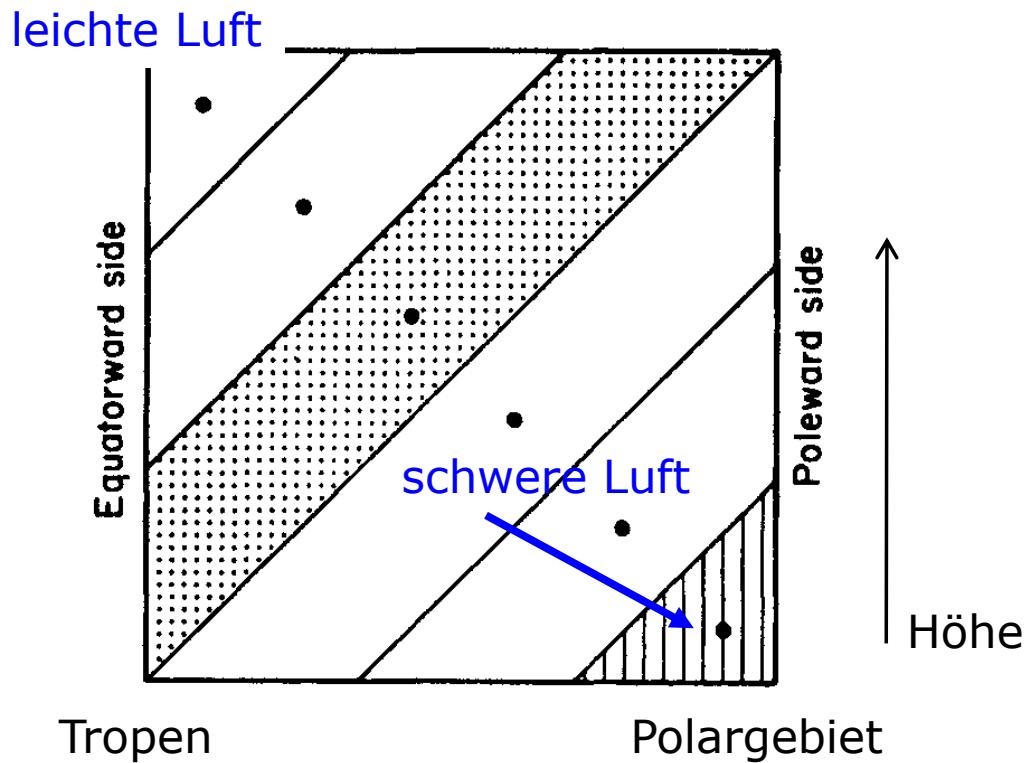
- Warum entstehen Tiefdruckgebiete?
- Welche Prozesse bestimmen das Wetter am Boden?

## Neuere Themen

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

## Warum entstehen Tiefdruckgebiete?

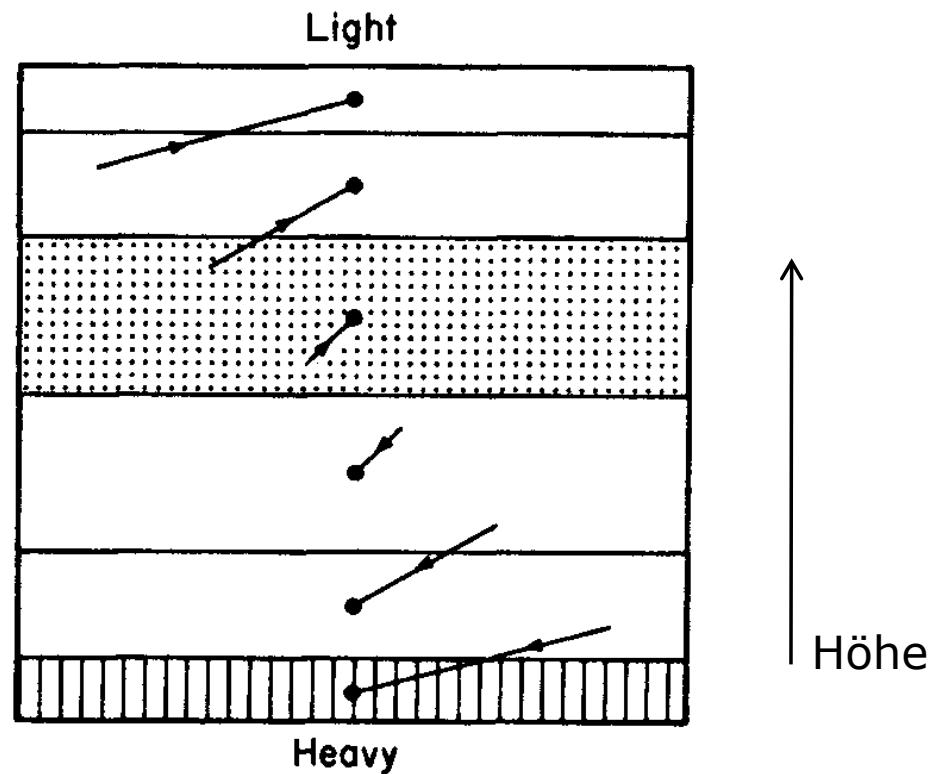
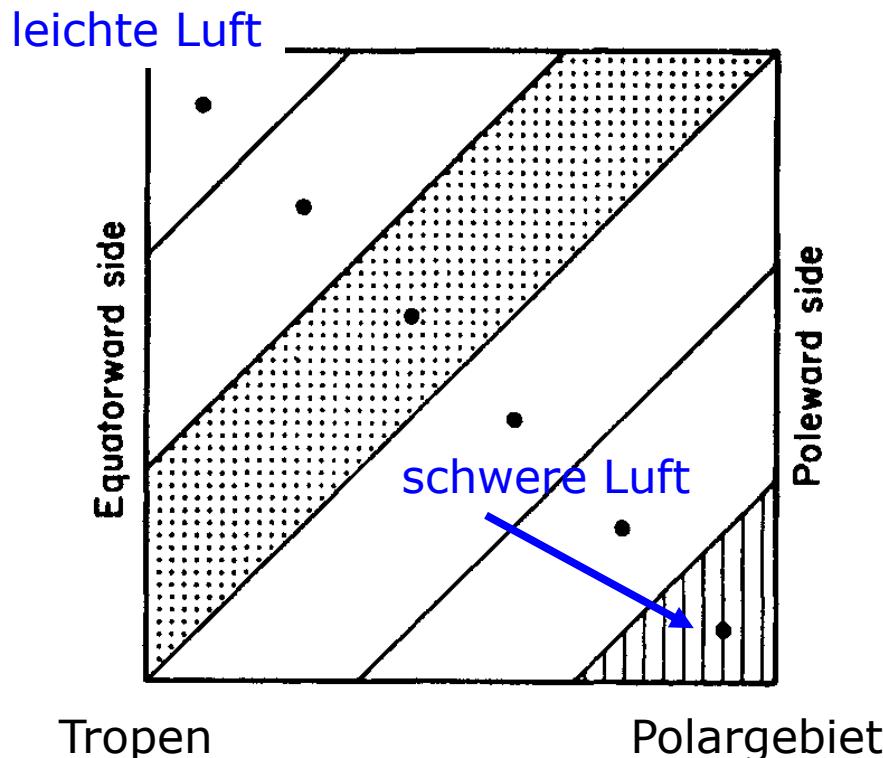
Links: Atmosphäre mit einem Nord-Süd Kontrast in der Temperatur (und damit in der Dichte)



## Warum entstehen Tiefdruckgebiete?

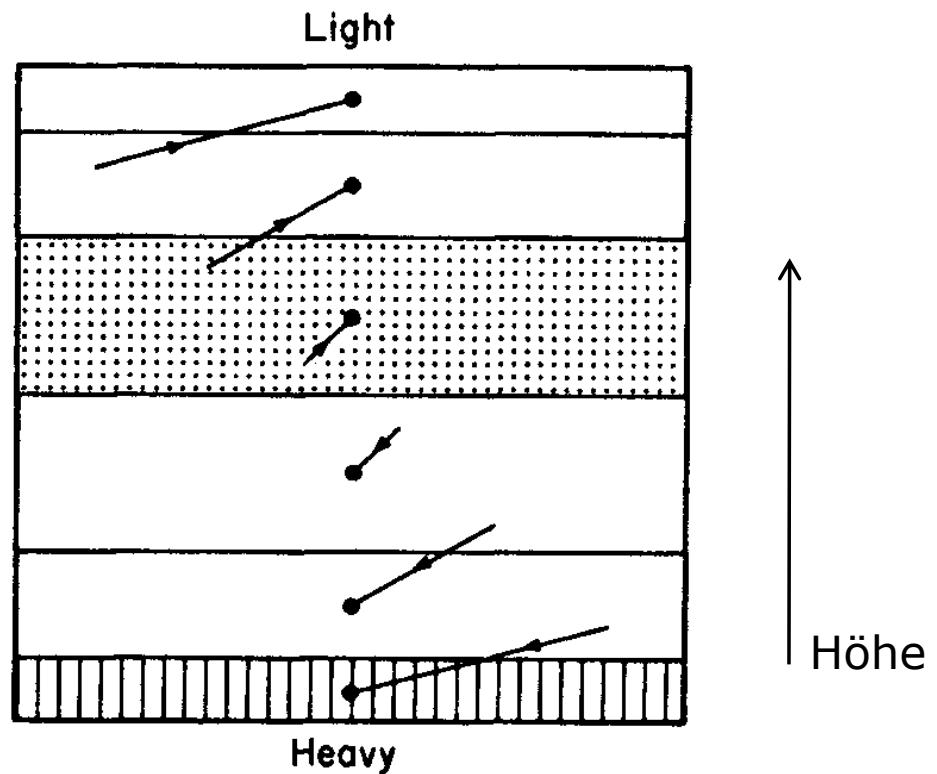
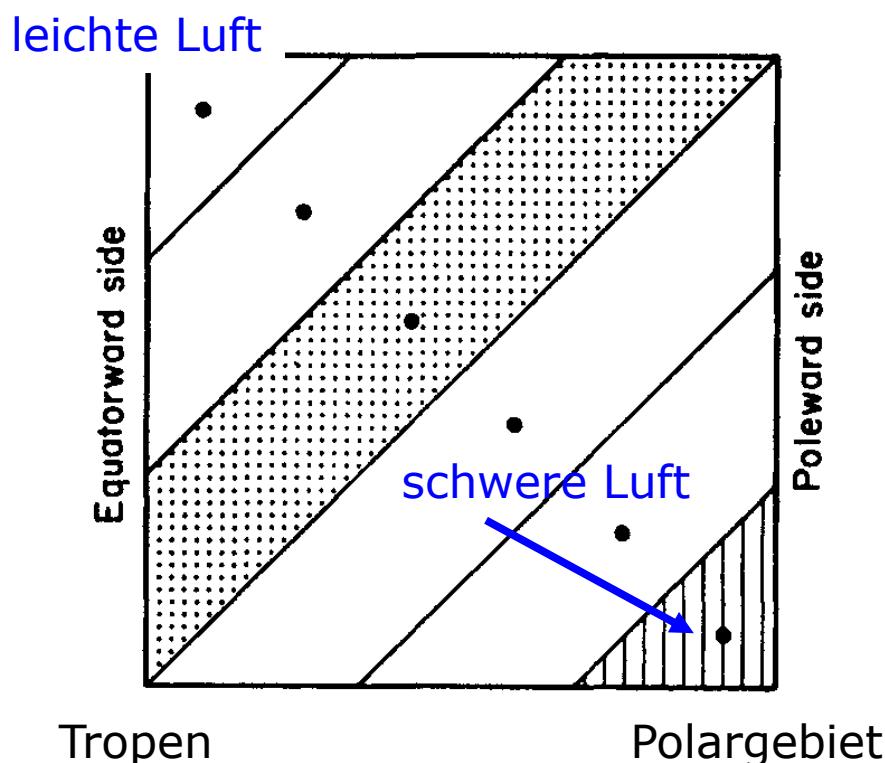
Links: Atmosphäre mit einem Nord-Süd Kontrast in der Temperatur (und damit in der Dichte)

Rechts: Atmosphäre mit horizontal gleichförmiger Temperaturverteilung



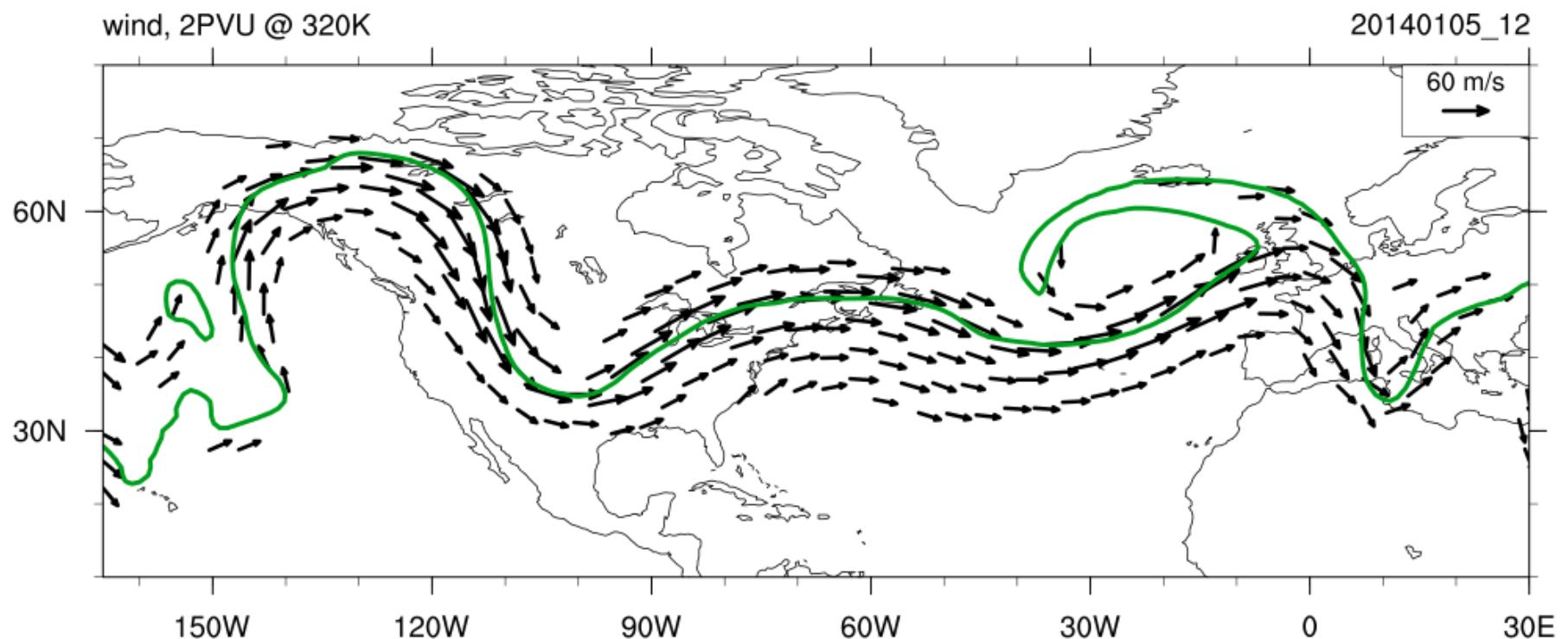
## Warum entstehen Tiefdruckgebiete?

- 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



# Was bestimmt das Wetter?

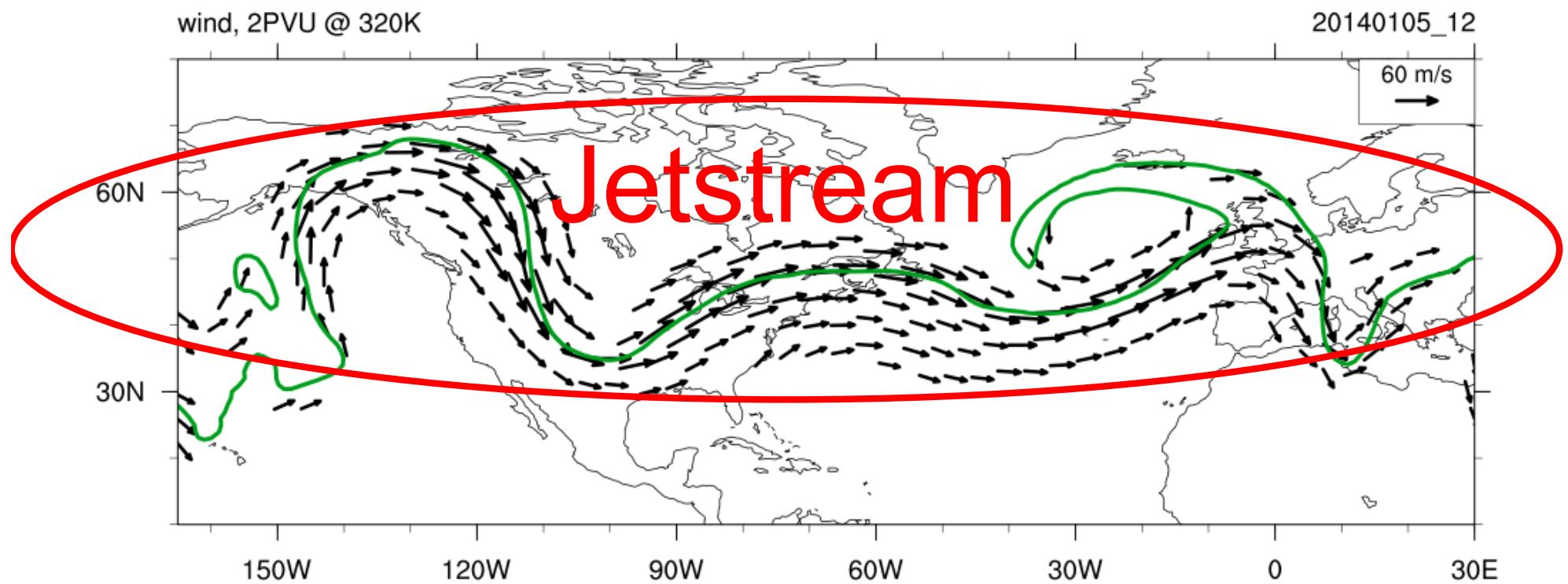
→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!



Abbildungen von Matthias Röhlisberger (U Bern)

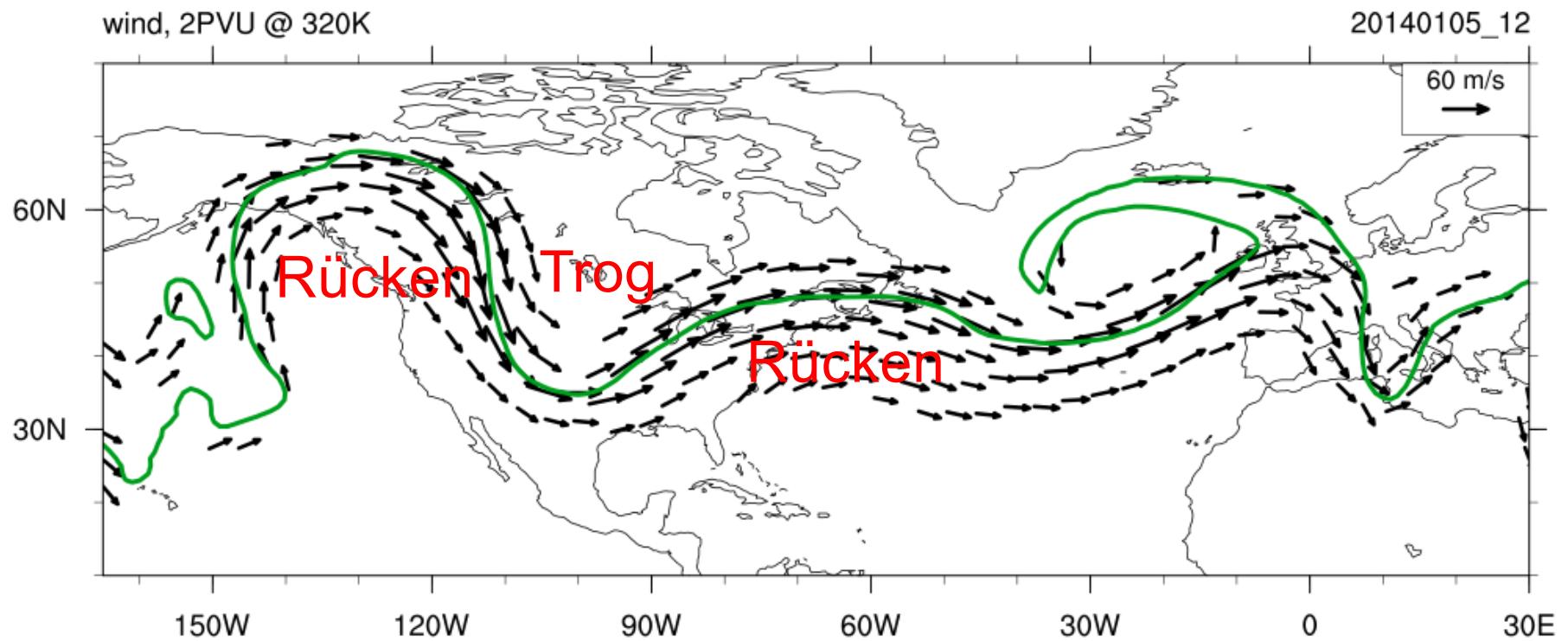
# Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!



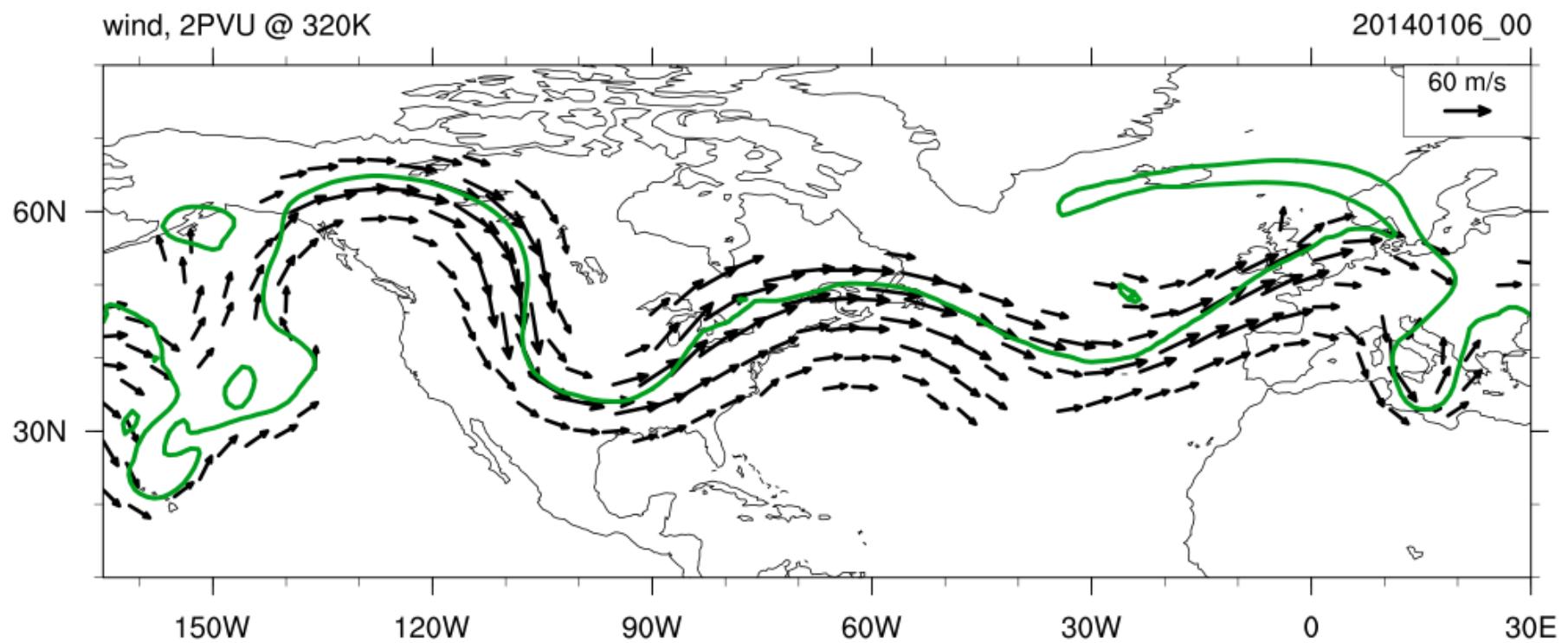
# Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!



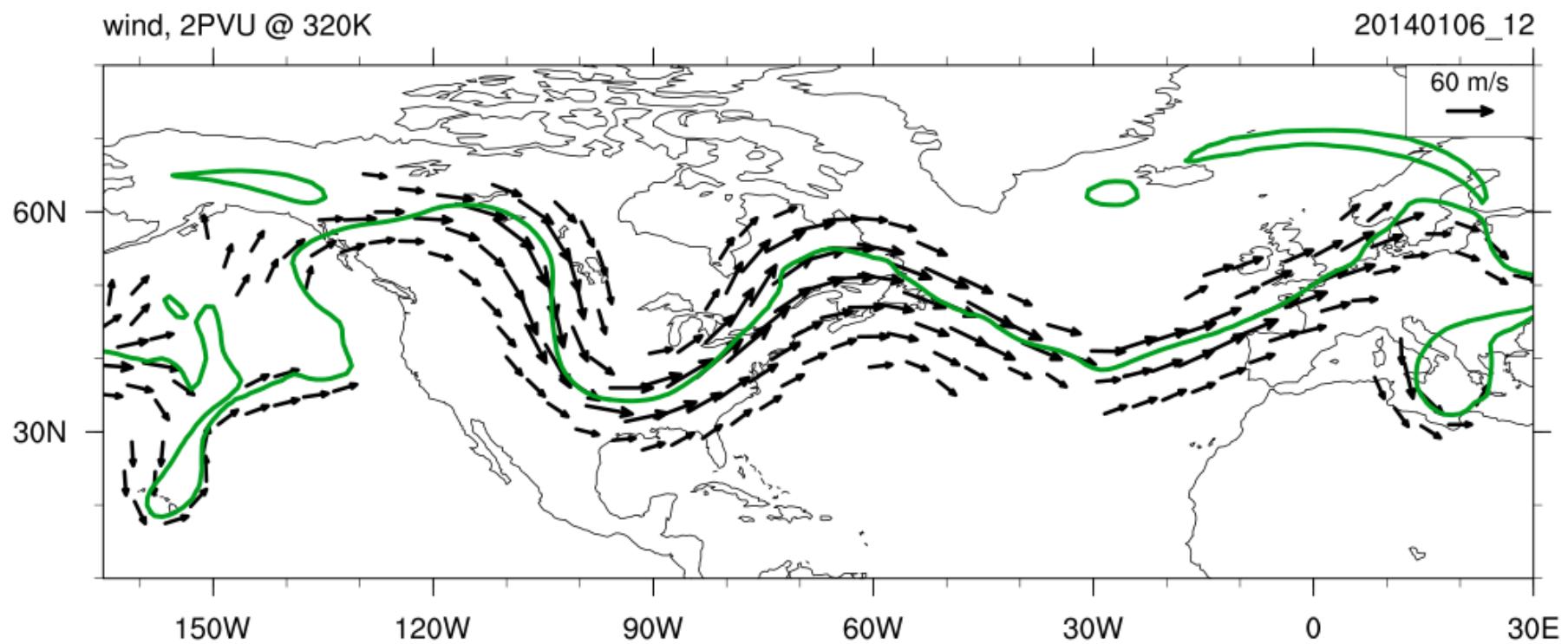
# Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!



# Was bestimmt das Wetter?

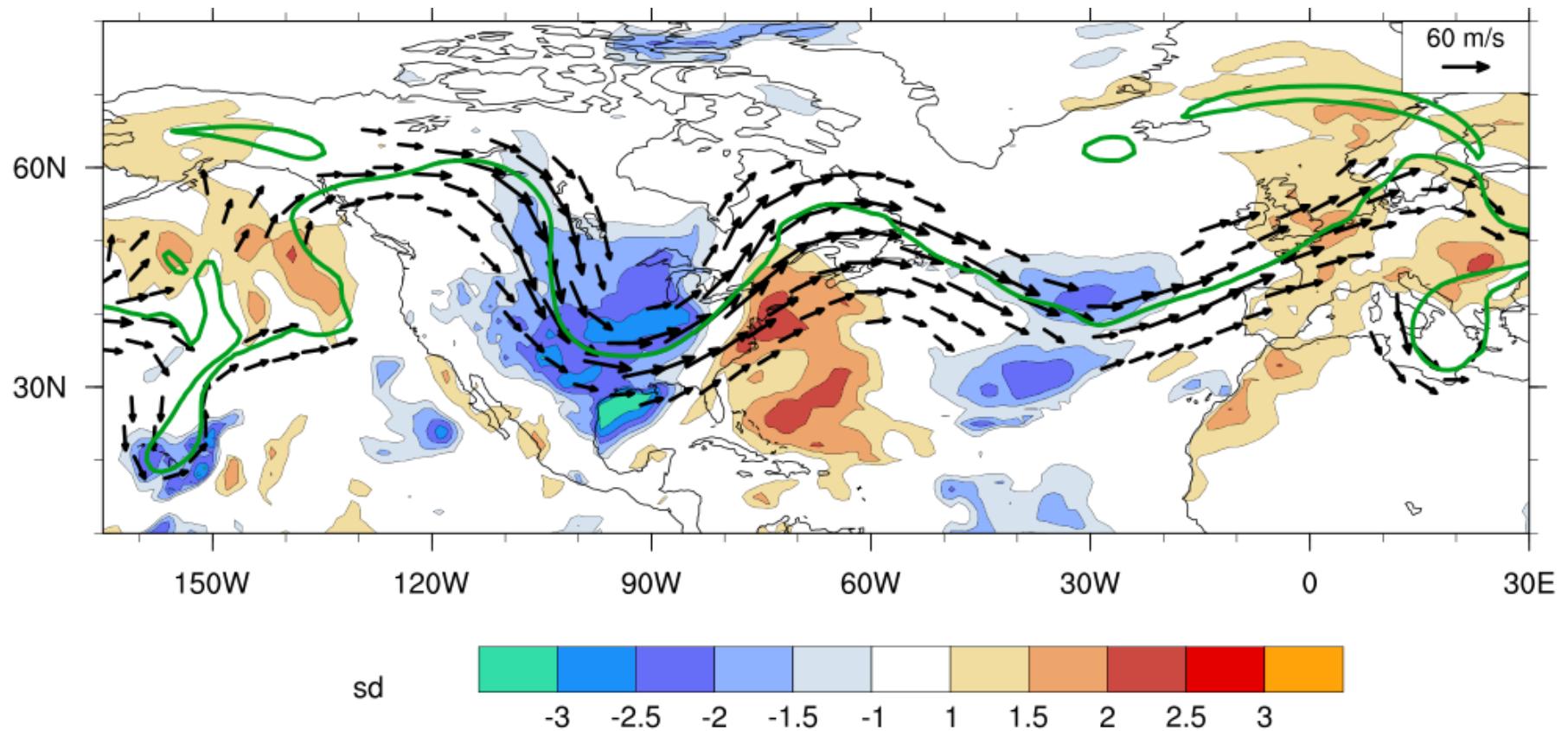
→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!



# Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!

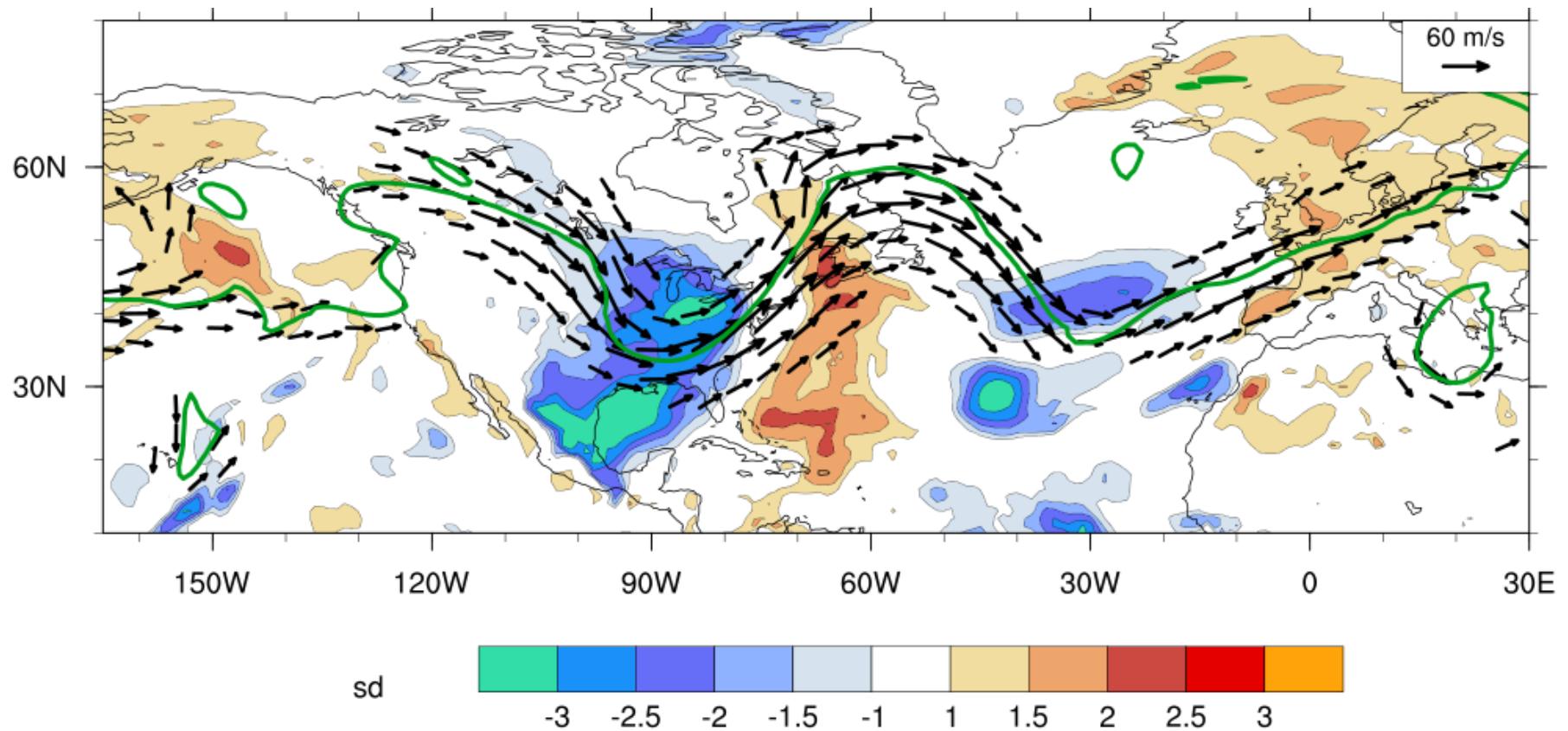
Abweichungen der Bodentemperaturen von Normalbedingungen



# Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!

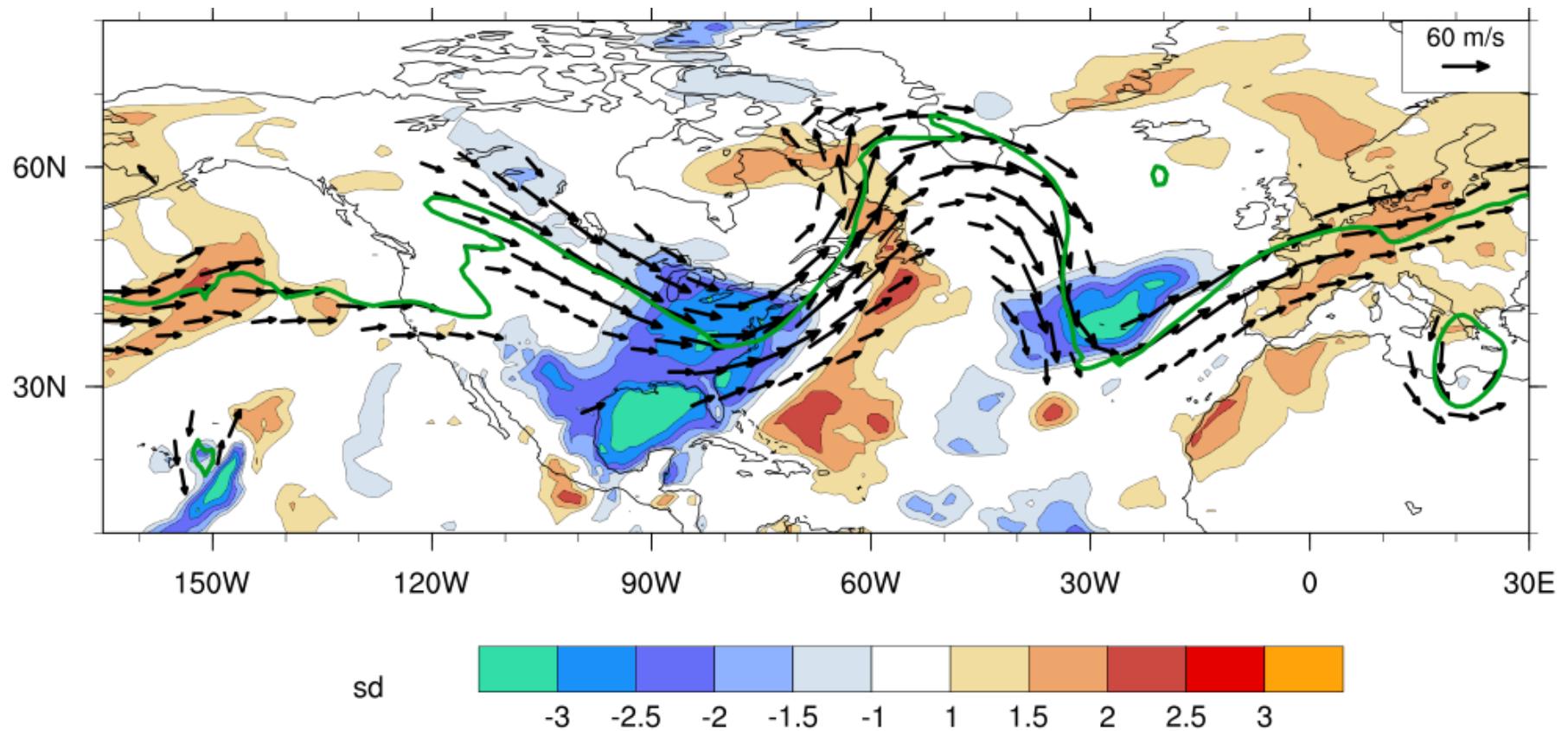
Abweichungen der Bodentemperaturen von Normalbedingungen



# Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!

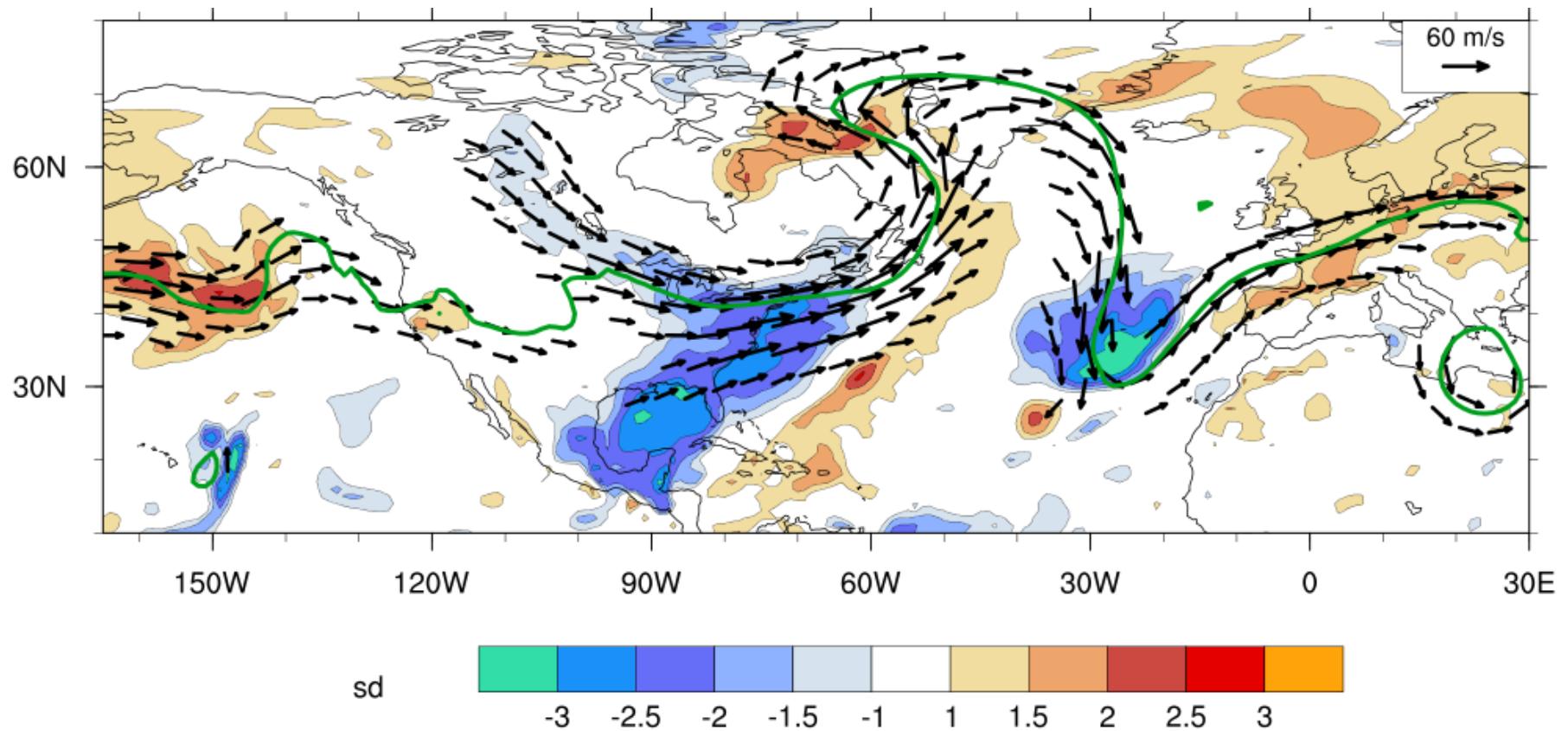
Abweichungen der Bodentemperaturen von Normalbedingungen



# Was bestimmt das Wetter?

→ Strömungen und Wellen in 5-10 km Höhe!

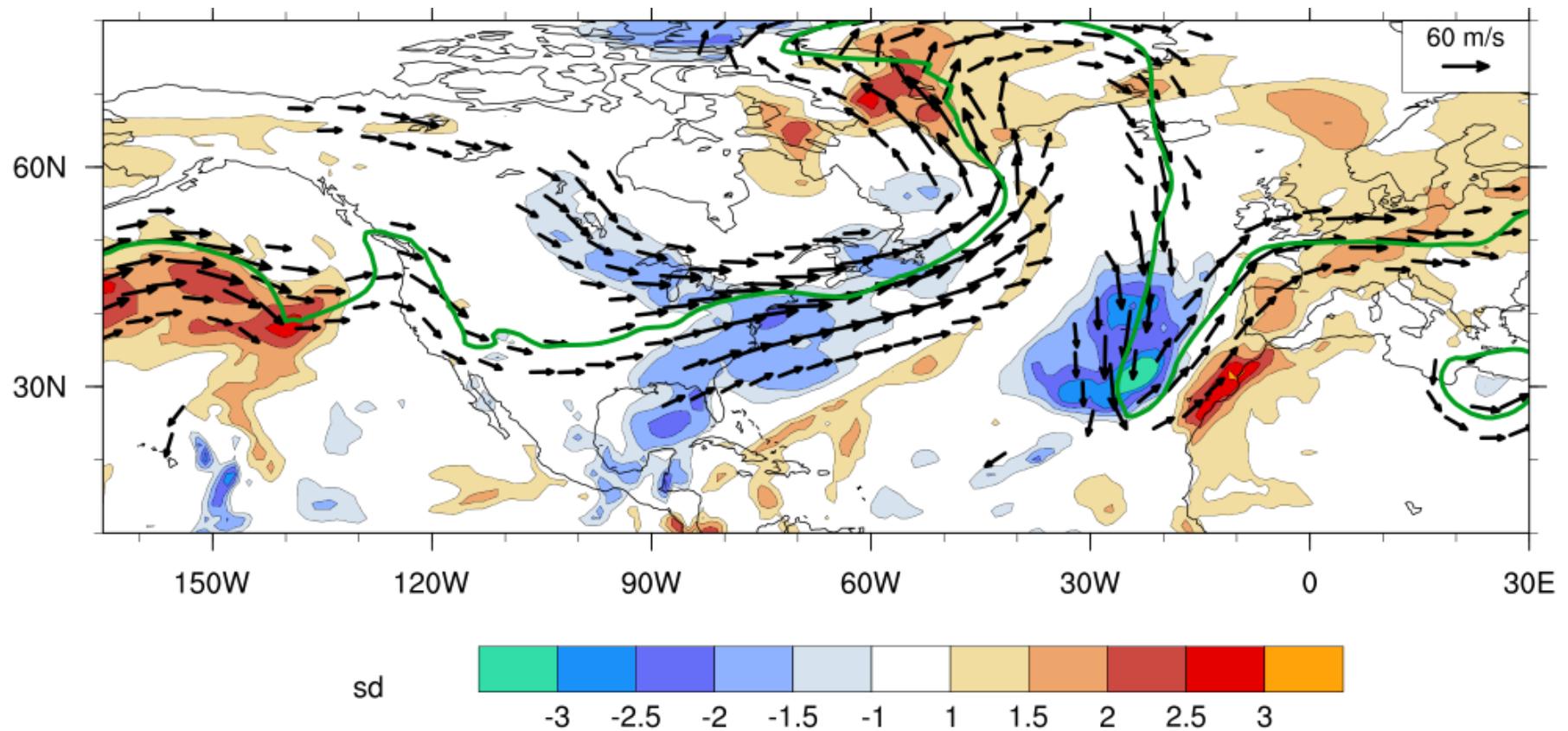
Abweichungen der Bodentemperaturen von Normalbedingungen



# 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)

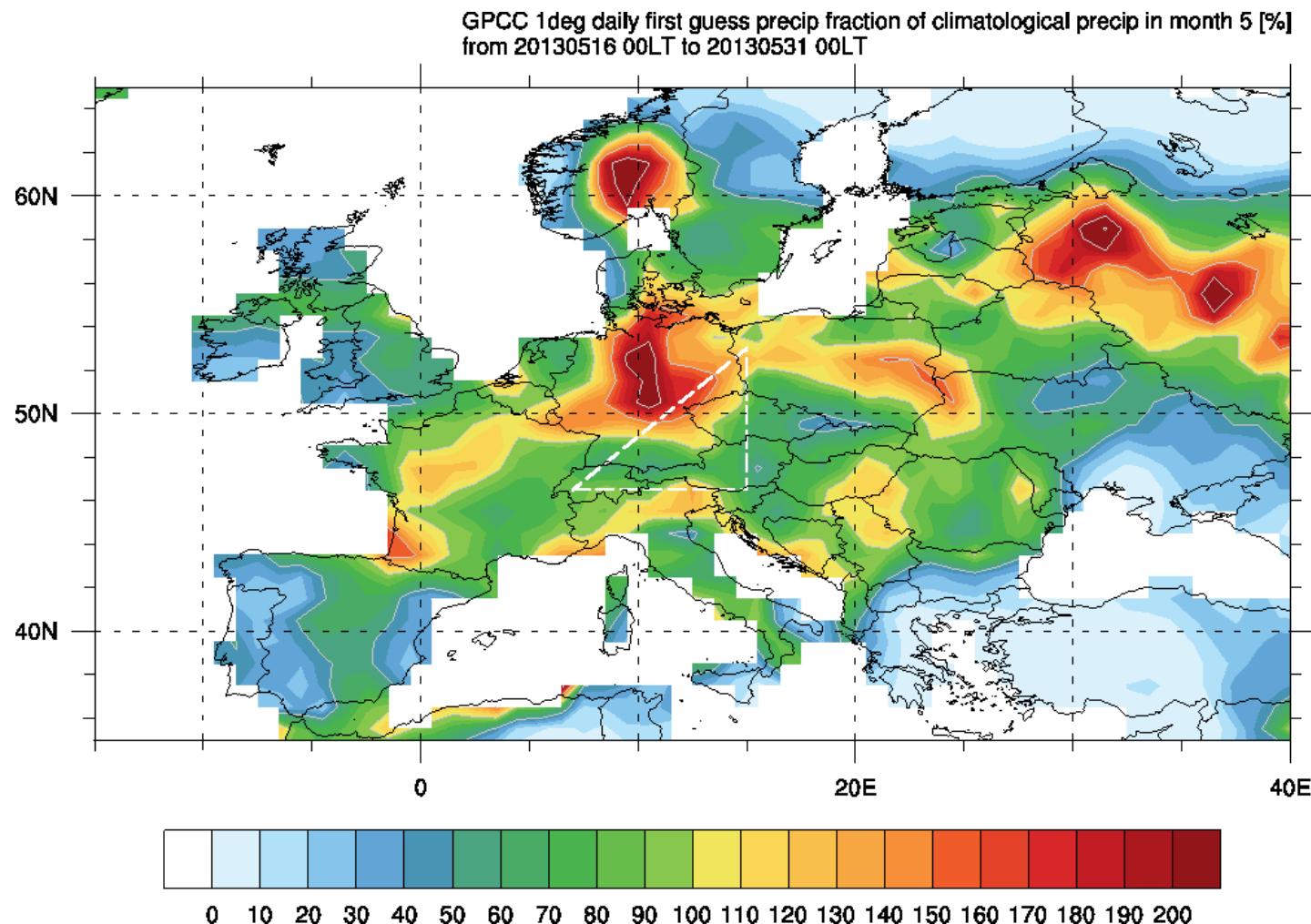
Vorbedingungen

Zyklonen und Feuchtequellen

Falschherum aufsteigende WCBs

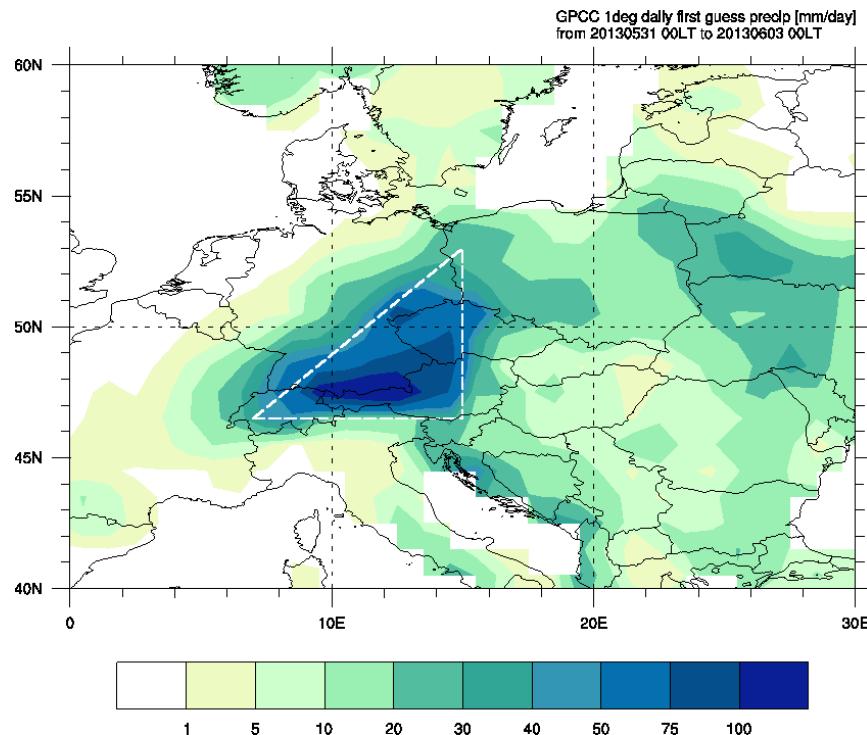


# Niederschlag in den 2 Wochen vor dem Ereignis

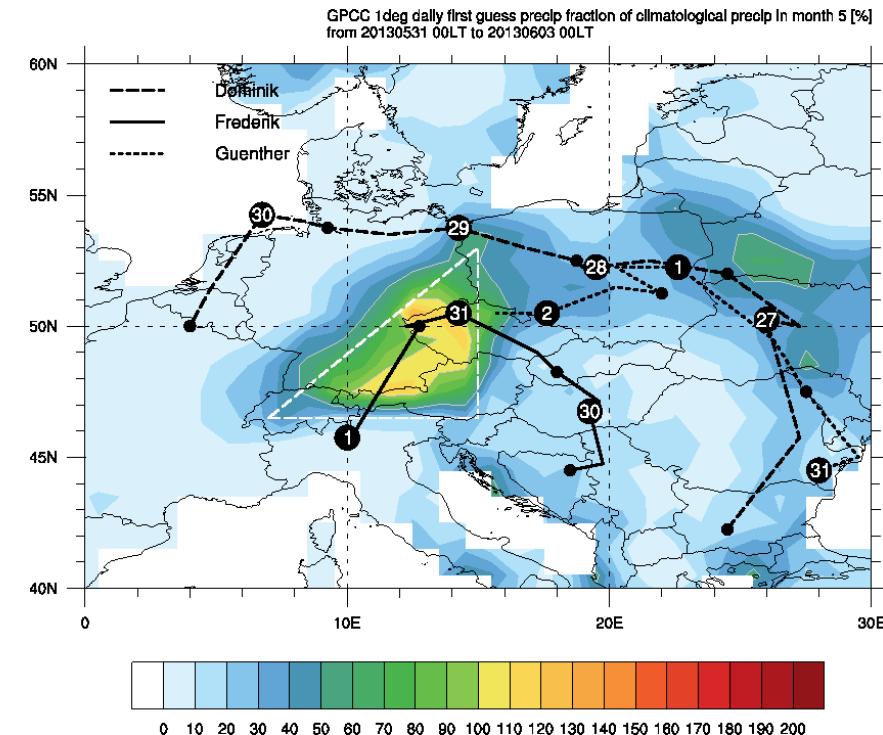


GPCC 16-31 May 2013 fraction (%) of climatological May precipitation

# Starkniederschlag und Tiefdruckgebiete



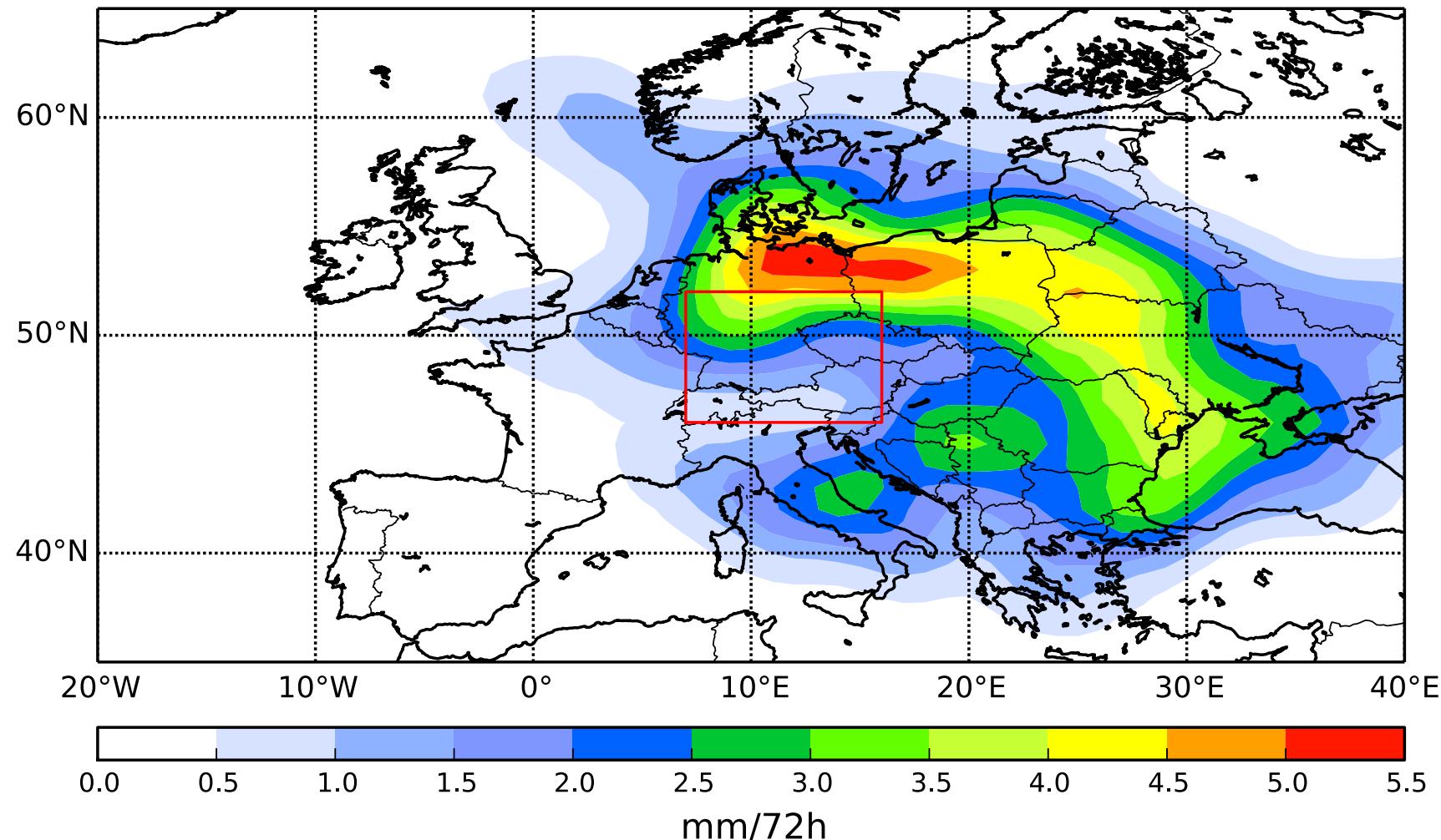
GPCC 31 May- 3 June 2013  
accumulated precipitation (mm)



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

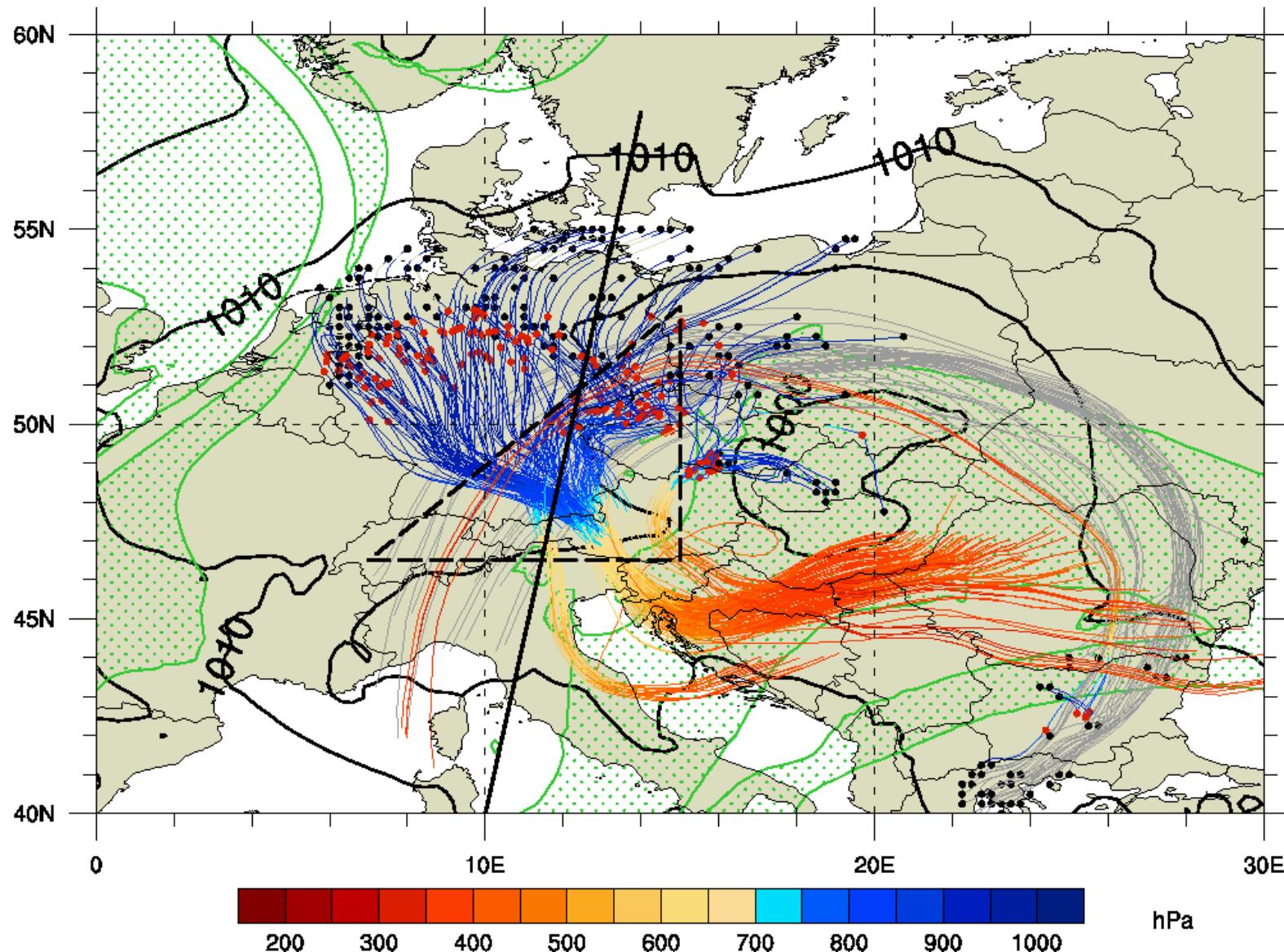
# Wo verdunstete das Wasser das die Flut auslöste?

Feuchtequellen des Niederschlags vom 31 Mai – 3 Juni 2013



Grams et al. 2014

# Falschherum aufsteigender "Warm Conveyor Belt"

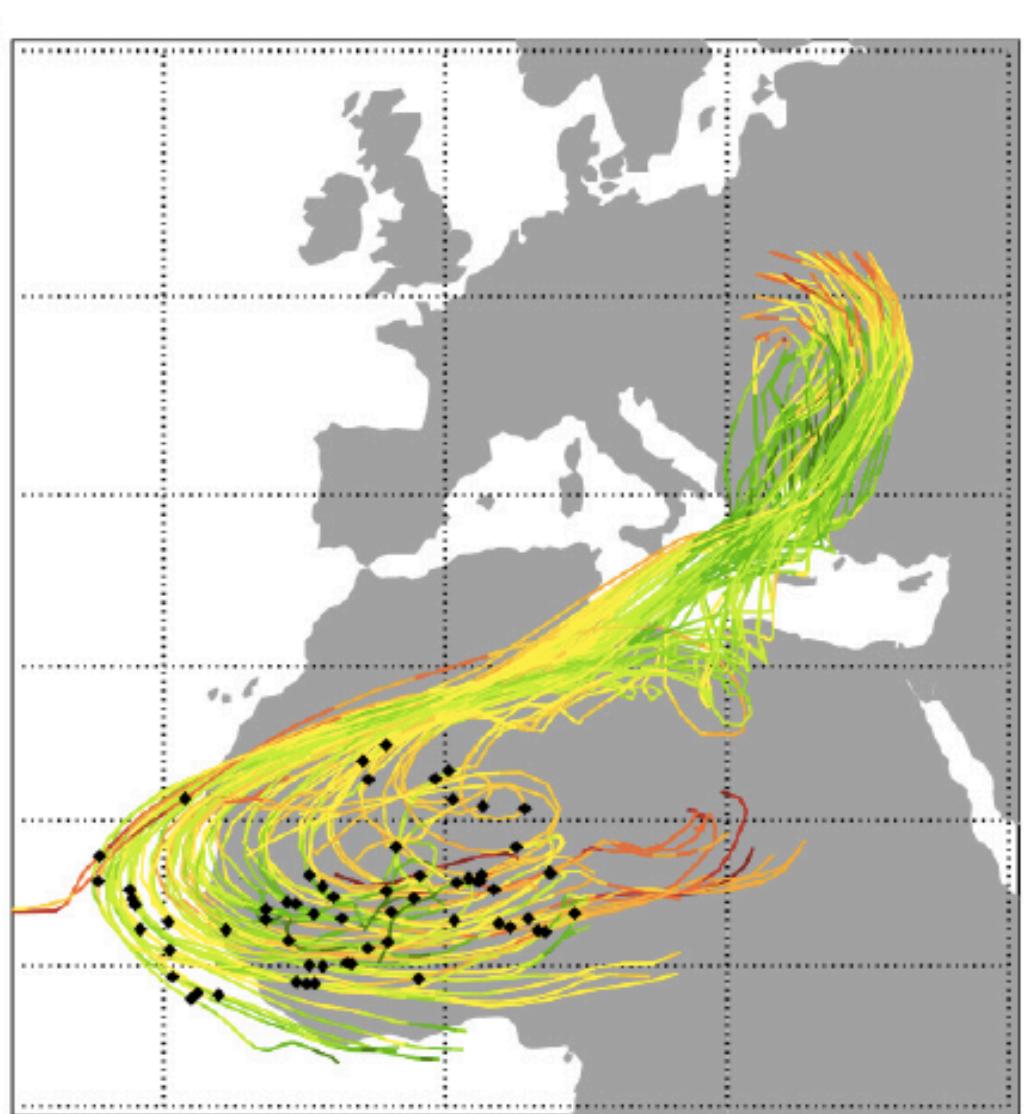


# Feuchteherkunft: Grosse Unterschiede von Fall zu Fall

Flut im Mai 2010 in Polen

Transport von tropischer Feuchte nach Osteuropa innerhalb von 7 Tagen

(a)



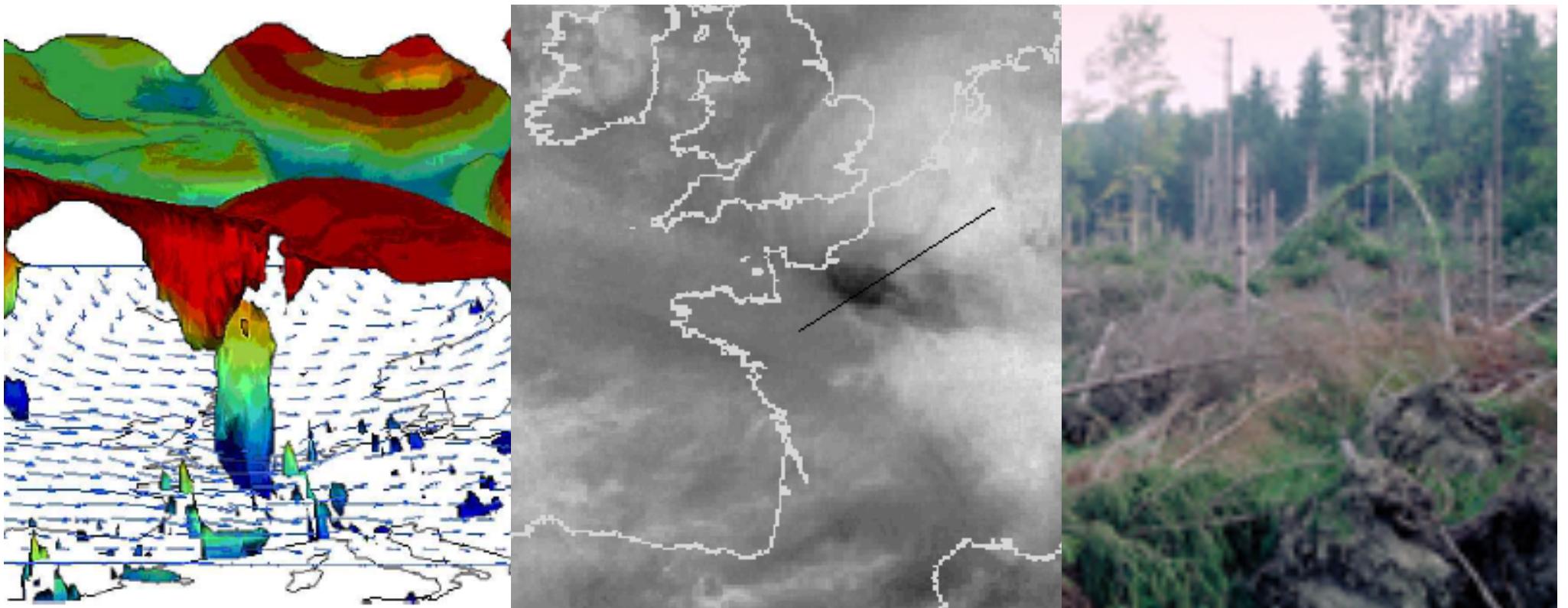
$\text{g}/\text{kg}$

10  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1

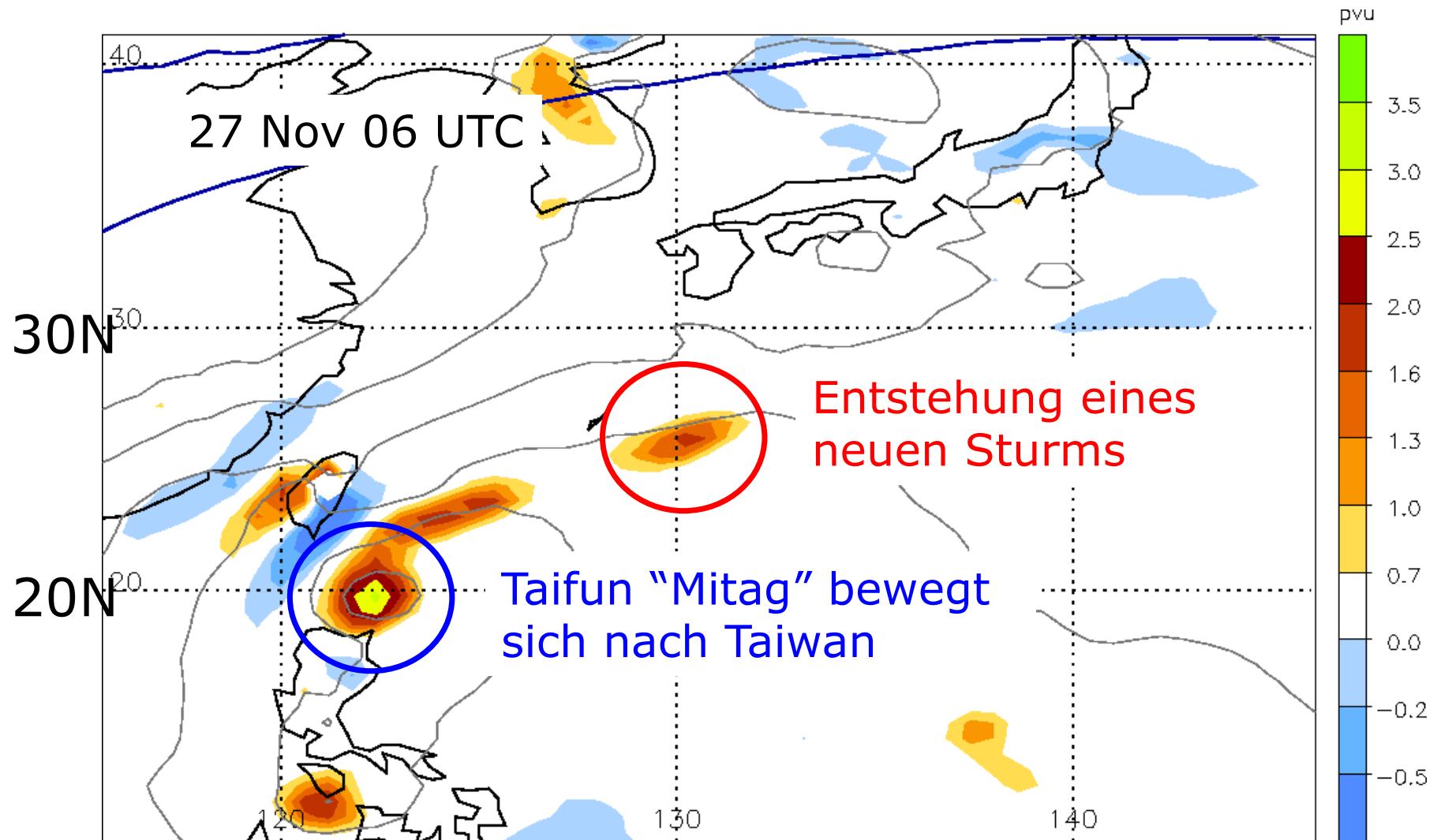
Winschall et al. 2014

## Stürme wie „Lothar“ ...

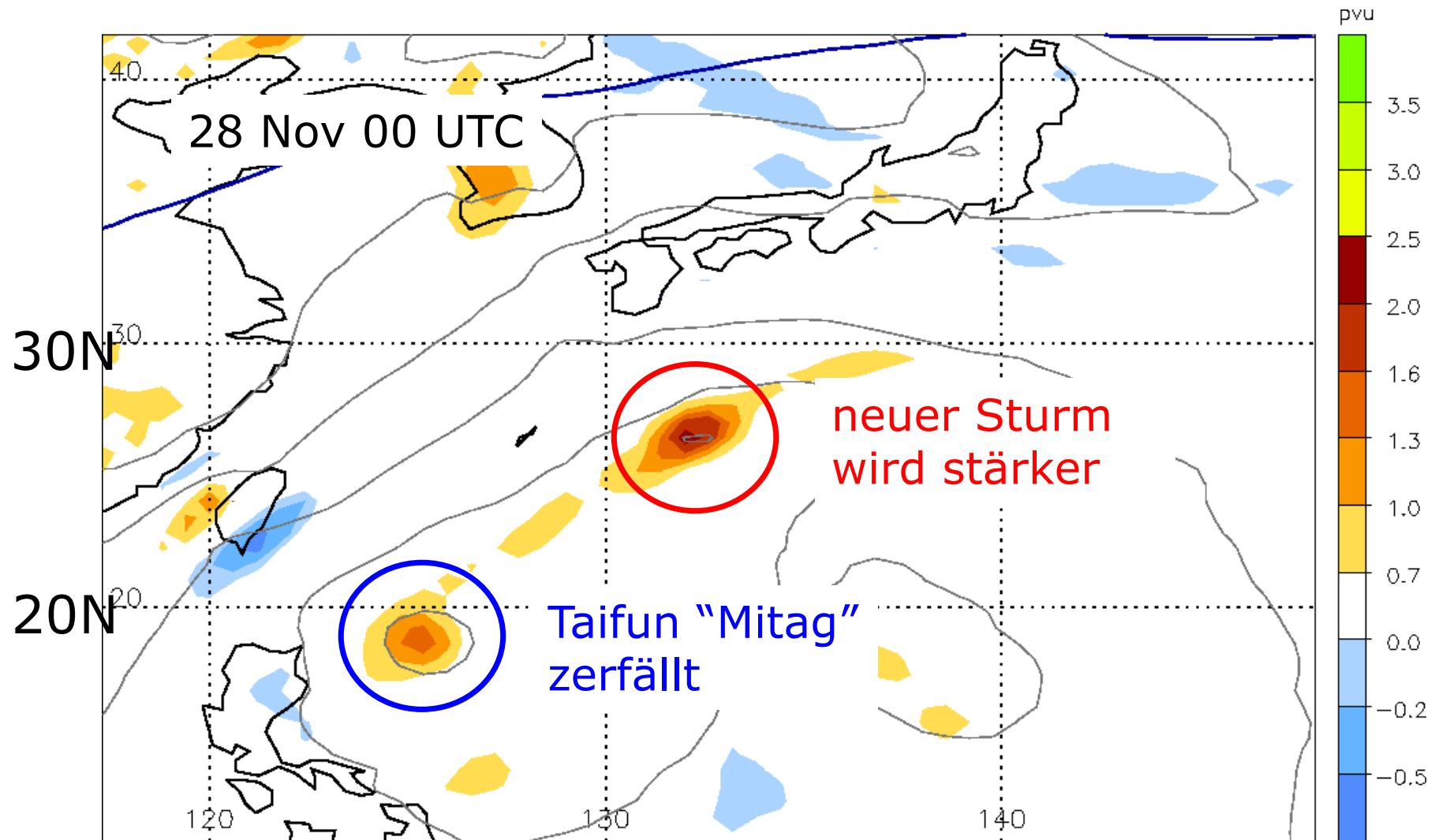
sind schwierig vorherzusagen, haben eine «eigenartige Struktur», propagieren sehr schnell, und sind selten ...



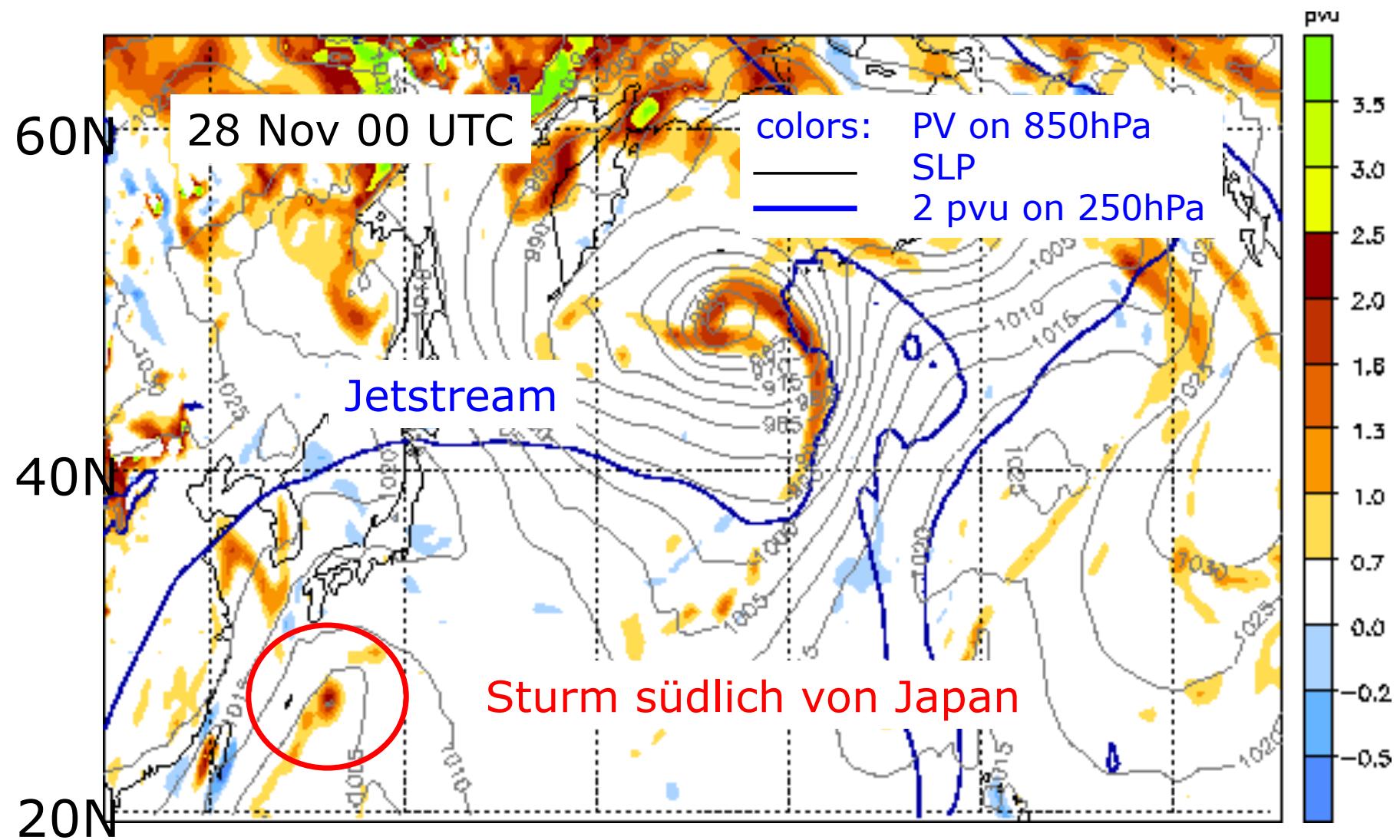
## Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



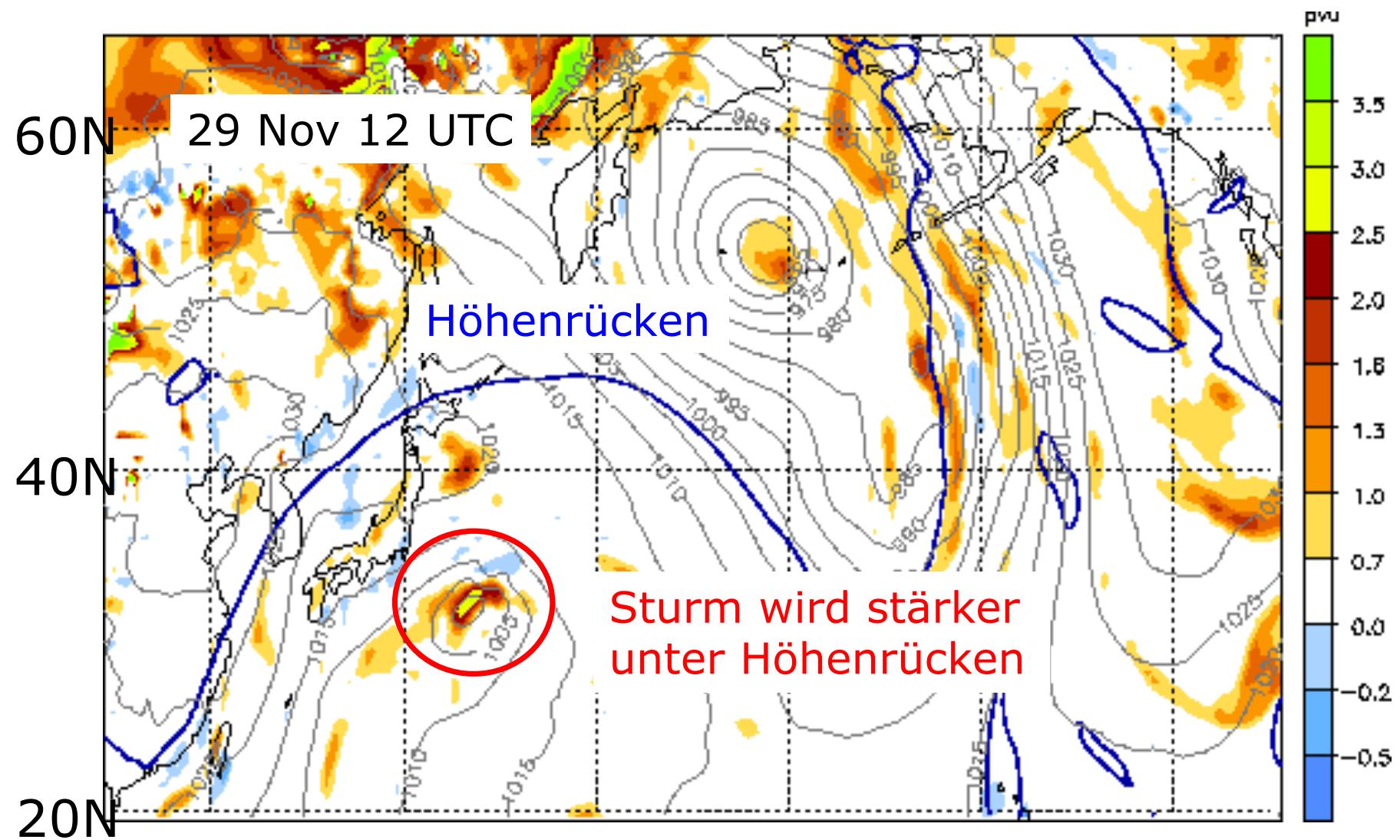
## Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



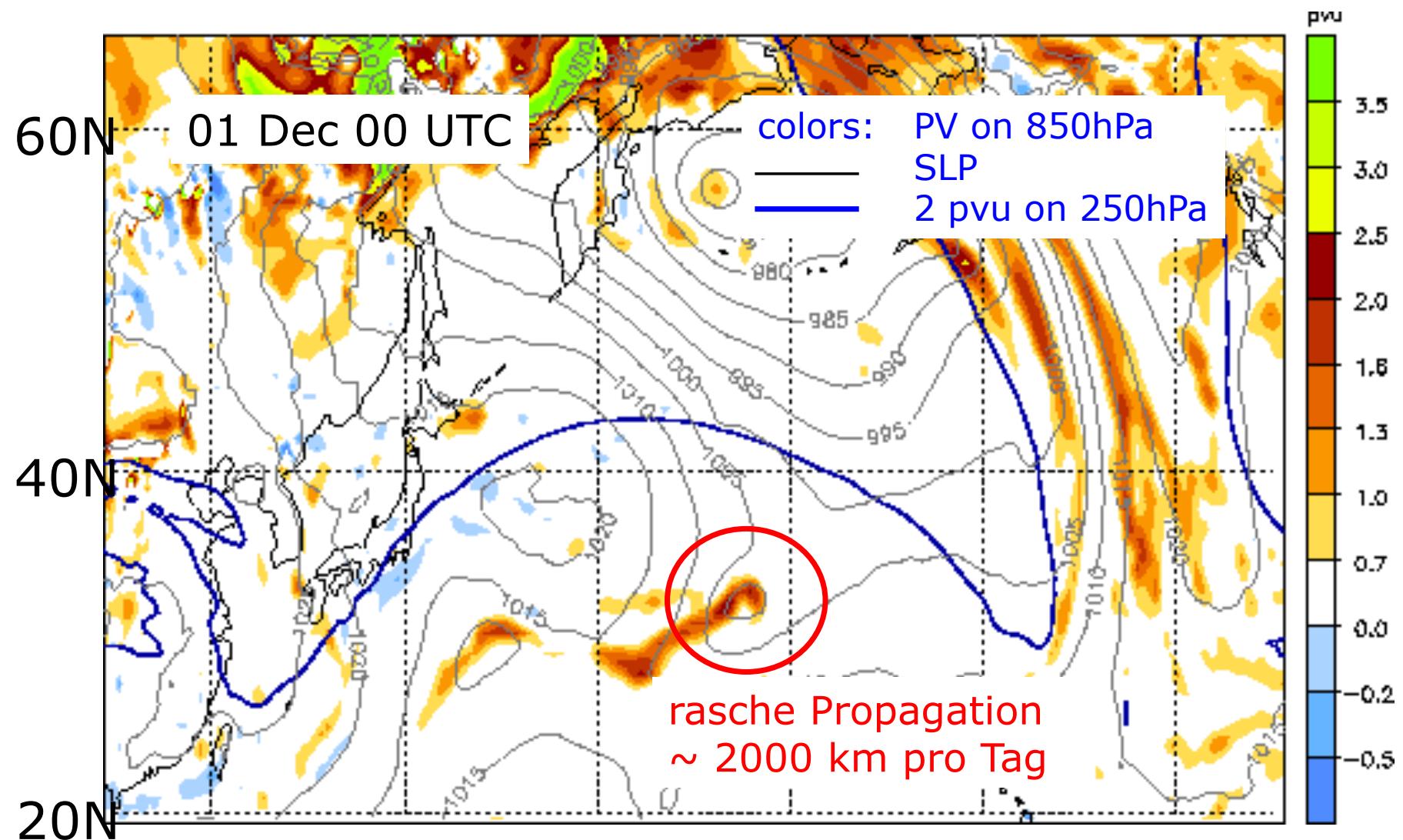
## Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



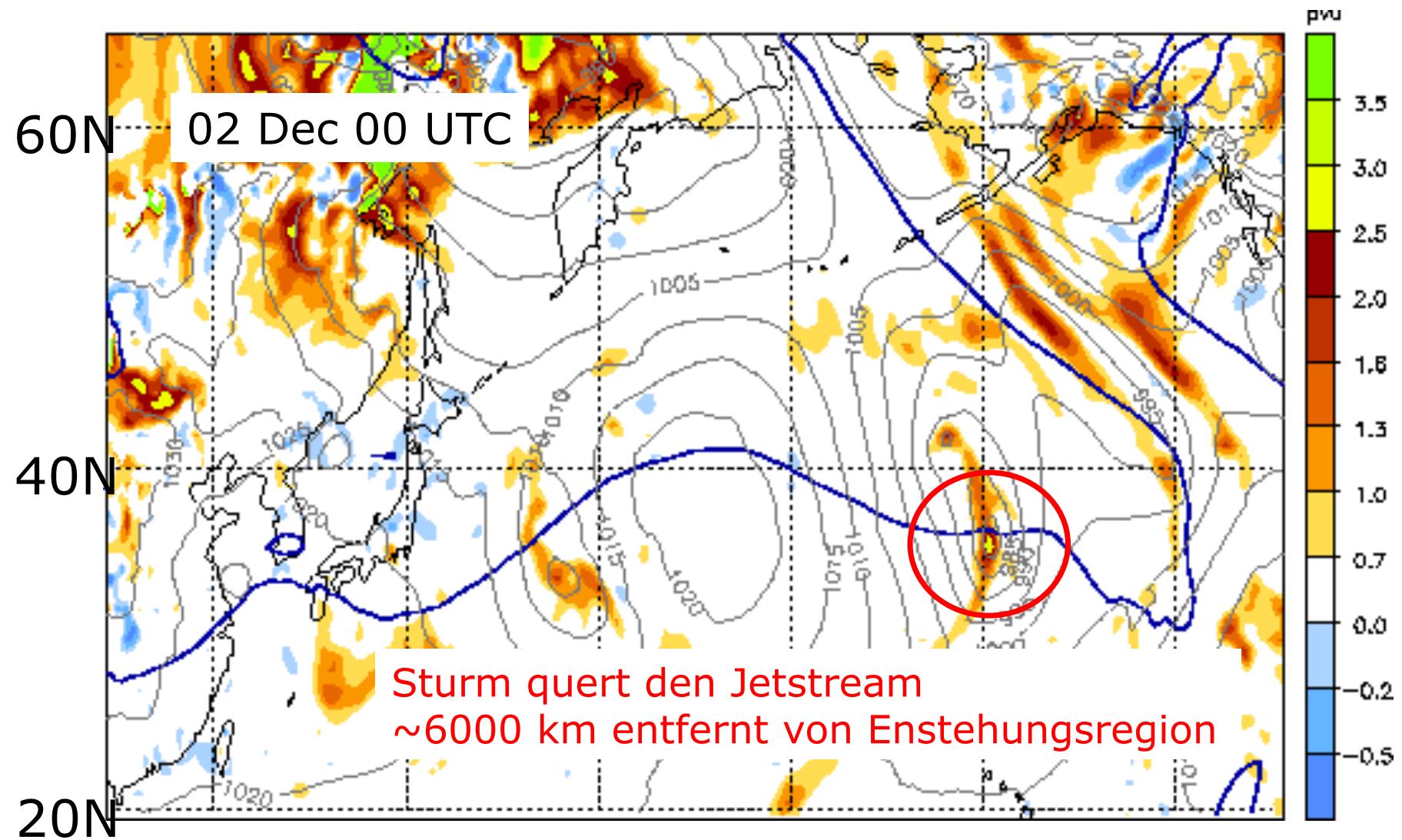
## Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



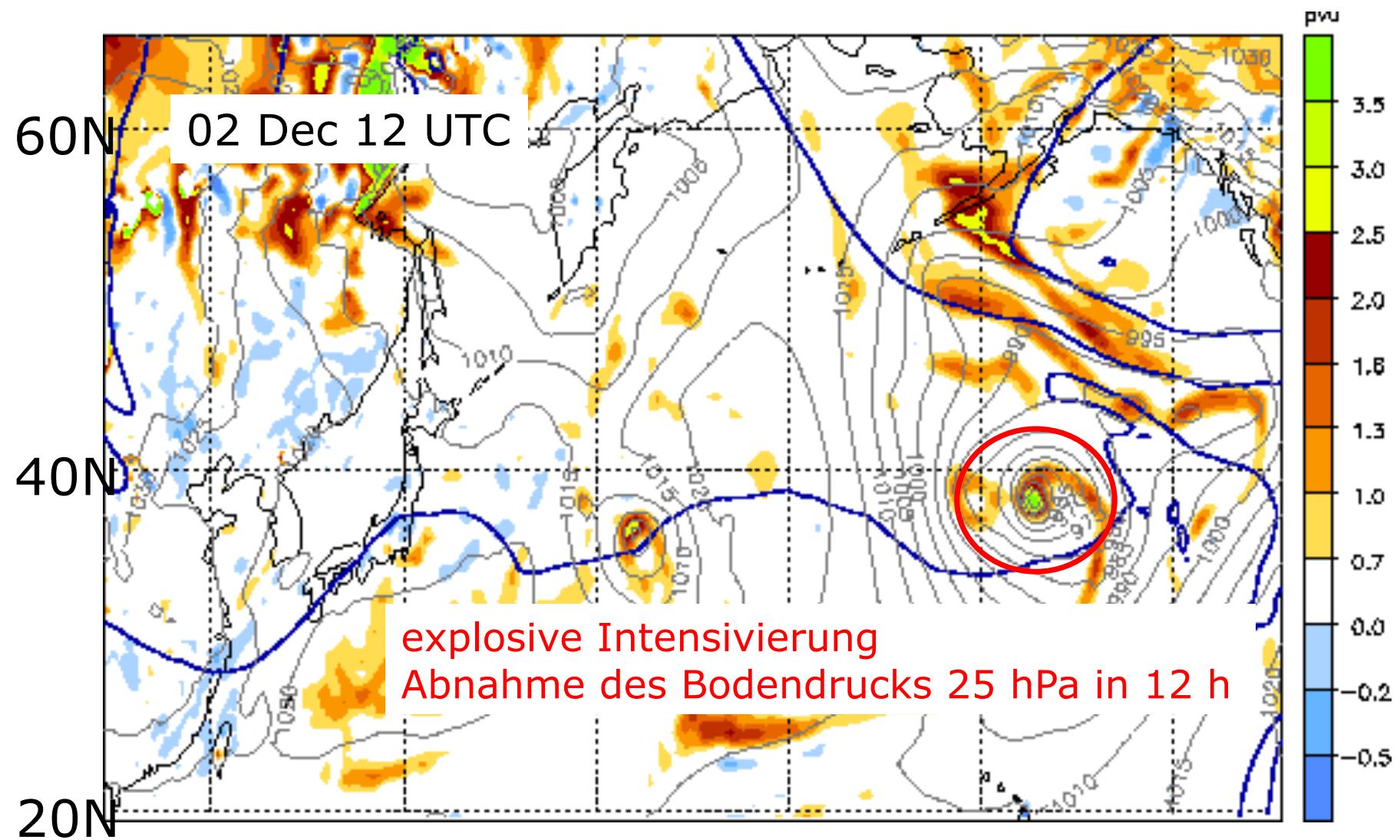
## Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



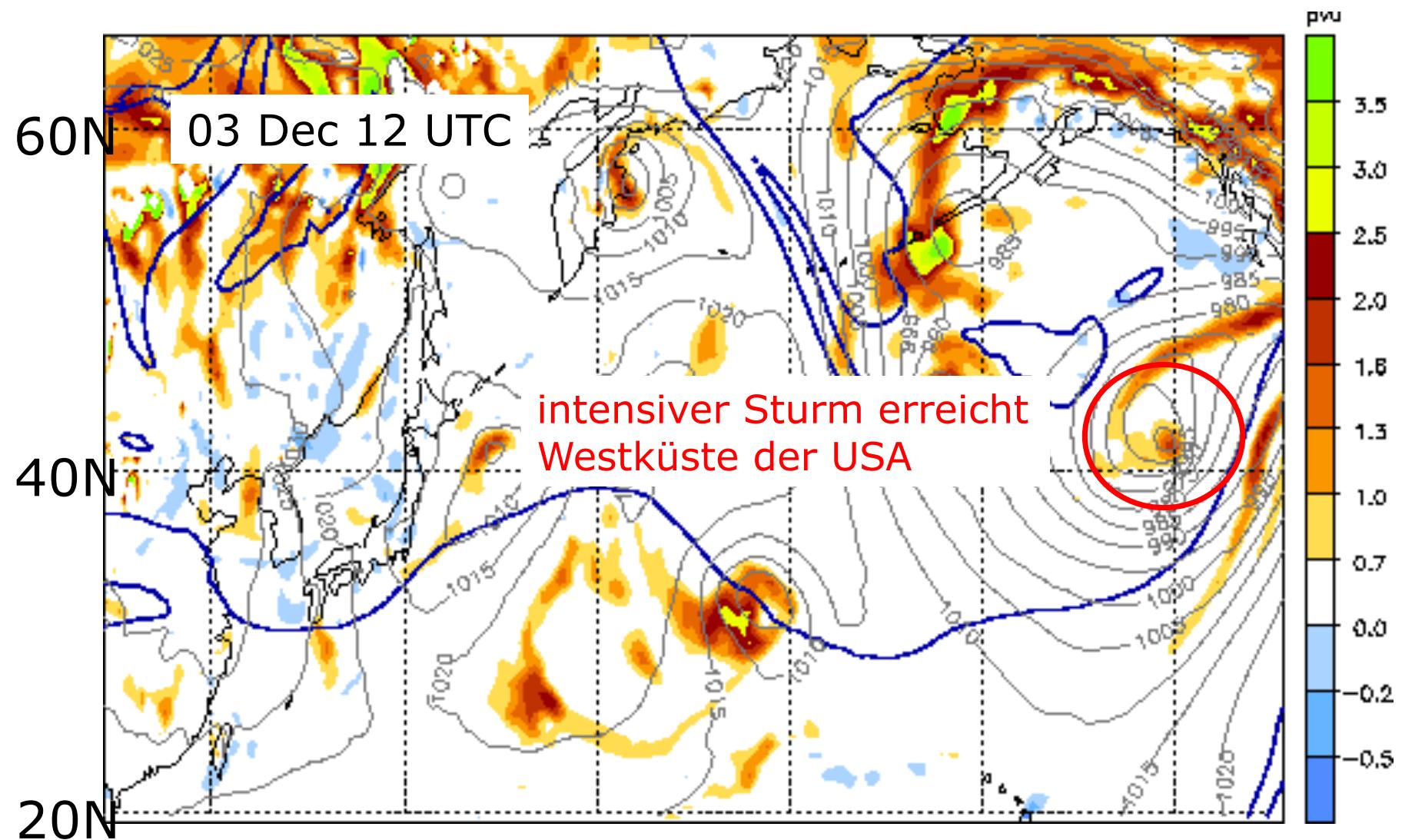
## Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



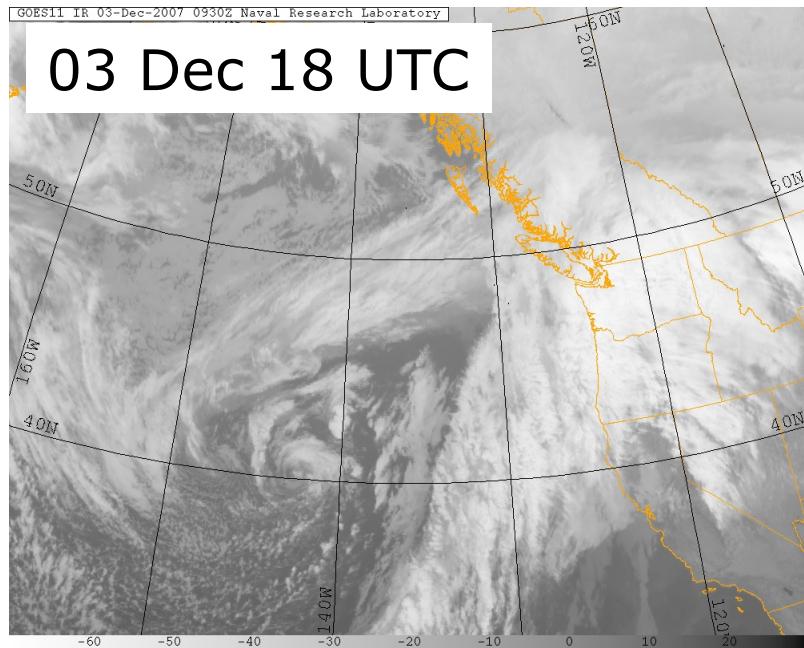
## Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



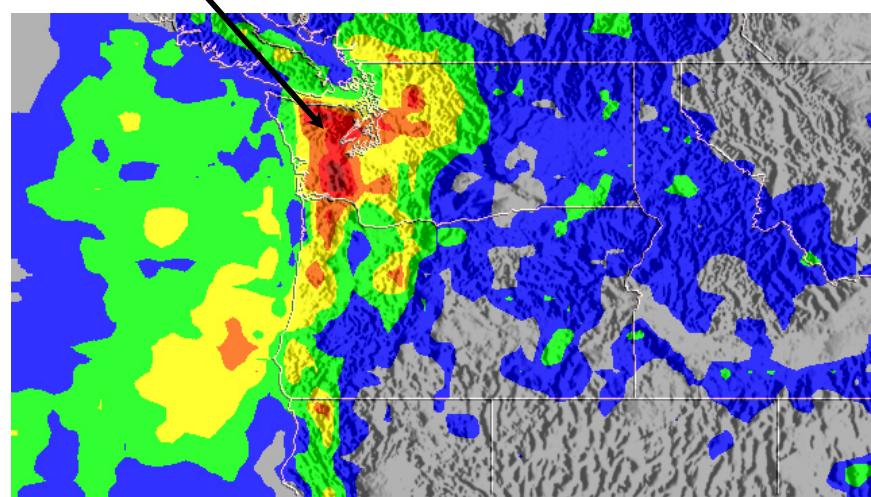
## Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



## Lothar-ähnlicher Sturm im Nov 2007 (N Pacific)



Niederschlag  
>> 150 mm in Washington

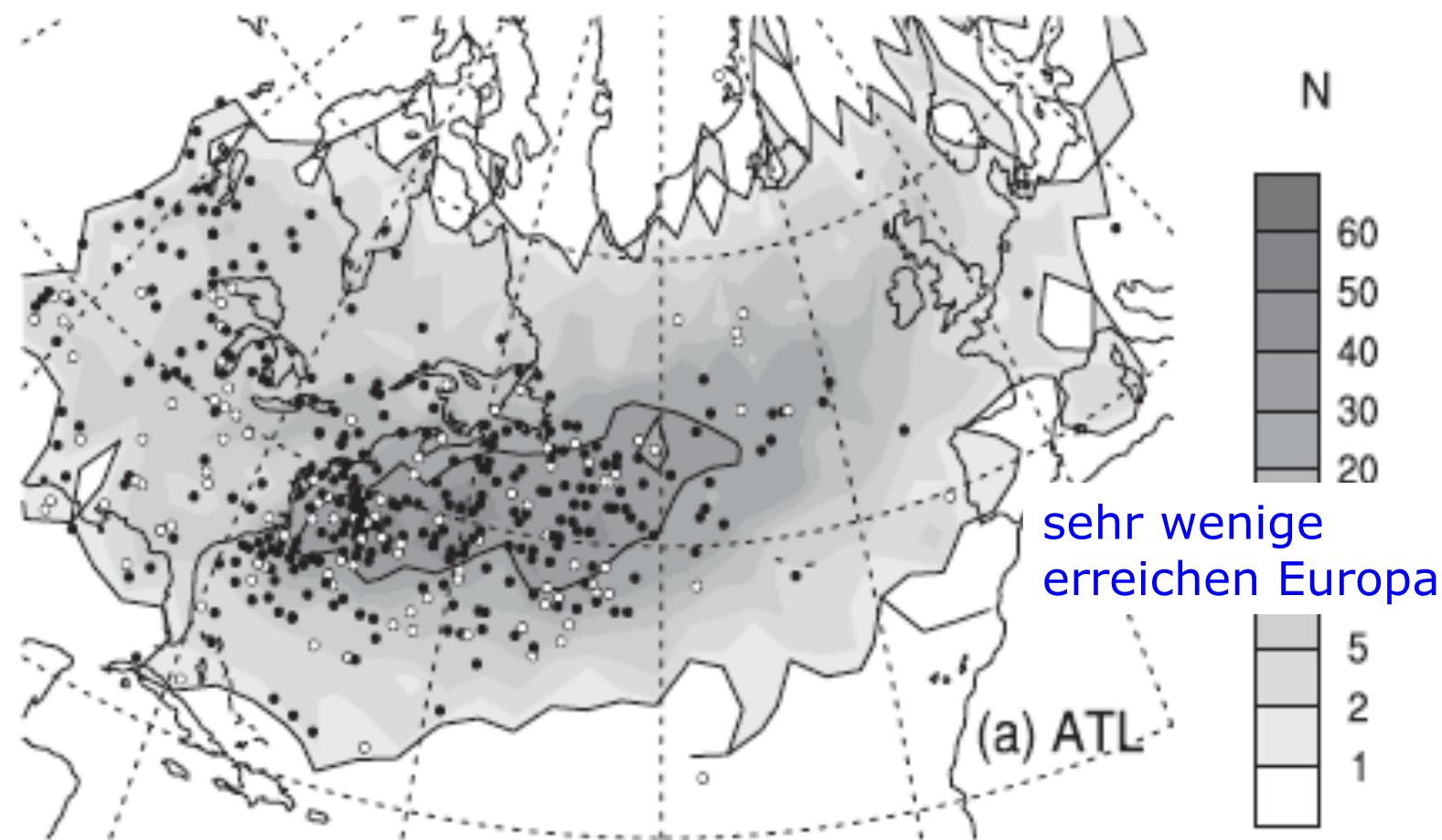


“The great coastal gale of 2007” (Wikipedia)

- 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