

Der Dynamische Zustandsindex (DSI)

Interpretation und Anwendung auf der
synoptischen Skala

Diplomarbeit

Diplomand: Torsten Weber

Übersicht

1. Motivation
2. Theorie
3. Daten
4. Synoptische Anwendung
5. Fallstudie: Orkan "Lothar"
6. Zusammenfassung

1. Motivation

- Kann der DSI auf der synoptischen Skala (speziell auf Druckflächen) eingesetzt werden?
- Welche Prozesse können mit dem DSI auf dieser Skala sichtbar gemacht werden?
- Wie lassen sich die für den DSI typischen Dipolstrukturen auf Druckflächen erklären?

2. Theorie – Herleitung des DSI

Energie-Wirbel-Theorie (Névir, 2004)

Gesamt-Energie

$$H = \int_V \rho \left(\frac{\mathbf{v}^2}{2} + \Phi + e \right) d\tau$$

Potentielle Enstrophie

$$\mathcal{E}_p = \int_V \rho \frac{\Pi^2}{2} d\tau$$

Zeitliche Evolution des Systems ist gegeben, wenn gilt:

$$H \neq f(\mathcal{E}_p)$$

2. Theorie – Herleitung des DSI

Energie-Wirbel-Theorie (Névir, 2004)

Gesamt-Energie

$$H = \int_V \rho \left(\frac{\mathbf{v}^2}{2} + \Phi + e \right) d\tau$$

Potentielle Enstrophie

$$\mathcal{E}_p = \int_V \rho \frac{\Pi^2}{2} d\tau$$

Stationärer Grundzustand ist gegeben,
wenn gilt:

$$H = f(\mathcal{E}_p)$$

2. Theorie – Herleitung des DSI

Allgemeine 3D Bewegungsgleichung
in vollständiger Form

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} + 2\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v} + \nabla \Phi - \frac{1}{\rho} \nabla \cdot \mathbf{T} = 0$$

2. Theorie – Herleitung des DSI

Allgemeine Energie-Wirbel-Grundgleichung
für eine kompressible Strömung mit Antrieb und Dissipation

$$\rho \Pi \mathbf{v} + \xi_a \frac{\partial \theta}{\partial t} - \xi_a \frac{d\theta}{dt} - \mathbf{F}_R \times \nabla \theta = \nabla \theta \times \left(\nabla B + \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} \right)$$

mit

$$B = \frac{\mathbf{v}^2}{2} + \Phi + c_p T$$

2. Theorie – Herleitung des DSI

Für eine stationäre adiabatische Atmosphäre folgt:

$$\rho \Pi \mathbf{v} + \cancel{\xi_a \frac{\partial \theta}{\partial t}} - \cancel{\xi_a \frac{d\theta}{dt}} - \cancel{\mathbf{F}_R \times \nabla \theta} = \nabla \theta \times \left(\nabla B + \cancel{\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t}} \right)$$

↑
zeitliche Änderungen

↑
Antrieb

↑
Reibung

↑
zeitliche Änderungen

2. Theorie – Herleitung des DSI

Für eine stationäre adiabatische Atmosphäre folgt:

$$\rho \Pi \mathbf{v} = \nabla \theta \times \nabla B$$

2. Theorie – Herleitung des DSI

Allgemeiner stationärer Wind

$$\mathbf{v}_{st} = \frac{1}{\rho\Pi} \nabla \theta \times \nabla B$$

Geostrophischer Wind

$$\mathbf{v}_{h,g} = \frac{1}{f} \mathbf{k} \times \nabla_h \Phi$$

2. Theorie – Herleitung des DSI

Allgemeiner stationärer Wind

$$\mathbf{v}_{st} = \frac{1}{\rho\Pi} \nabla \theta \times \nabla B$$

Kontinuitätsgleichung in stationärer Form

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{v}_{st}) = 0$$

2. Theorie – Herleitung des DSI

Allgemeiner stationärer Wind

$$\mathbf{v}_{st} = \frac{1}{\rho\Pi} \nabla\theta \times \nabla B$$

Kontinuitätsgleichung in stationärer Form

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{v}_{st}) = \frac{\partial(\Pi, \theta, B)}{\partial(x, y, z)} = 0$$

2. Theorie – Definition des DSI

Dynamic State Index

Dynamischer Zustandsindex
im z-System

$$\rho DSI := \frac{\partial(\Pi, \theta, B)}{\partial(x, y, z)}$$

2. Theorie – Definition des DSI

Dynamic State Index

Dynamischer Zustandsindex
im p-System

$$DSI = -g \frac{\partial(\Pi, \theta, B)}{\partial(x, y, p)}$$

2. Theorie – Erläuterung des DSI

Im stationären adiabatischen Fall:

$$DSI = 0$$

Im instationären diabatischen Fall:

$$DSI \neq 0$$

2. Theorie – Erläuterung des DSI

Im instationären diabatischen Fall:

$$DSI \neq 0$$

Die Einheit:

$$DSI = \left[\frac{K^2 m^4}{kg^2 s^3} \right]$$

2. Theorie – Erläuterung des DSI

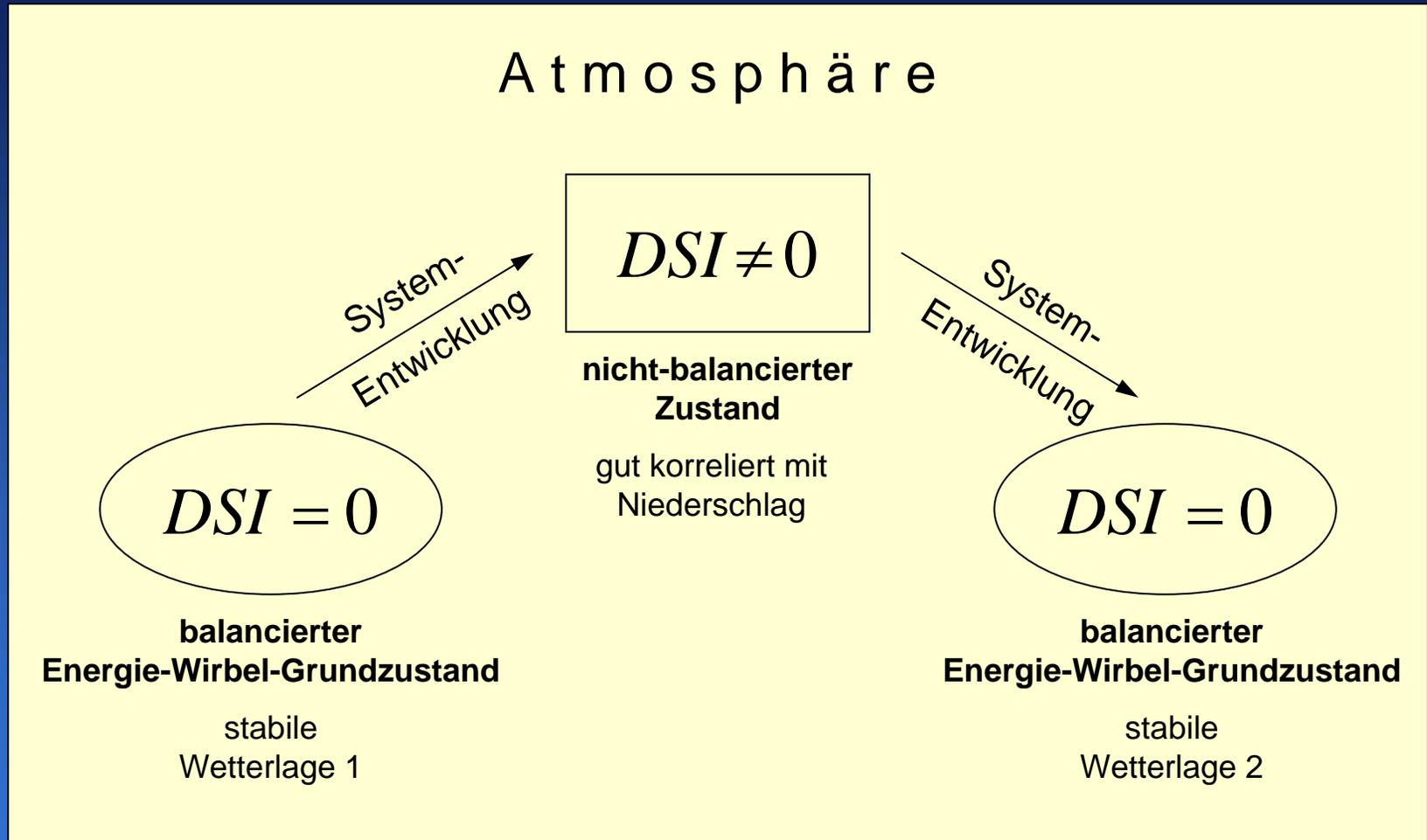
Im **instationären diabatischen** Fall:

$$DSI \neq 0$$

Die Einheit:

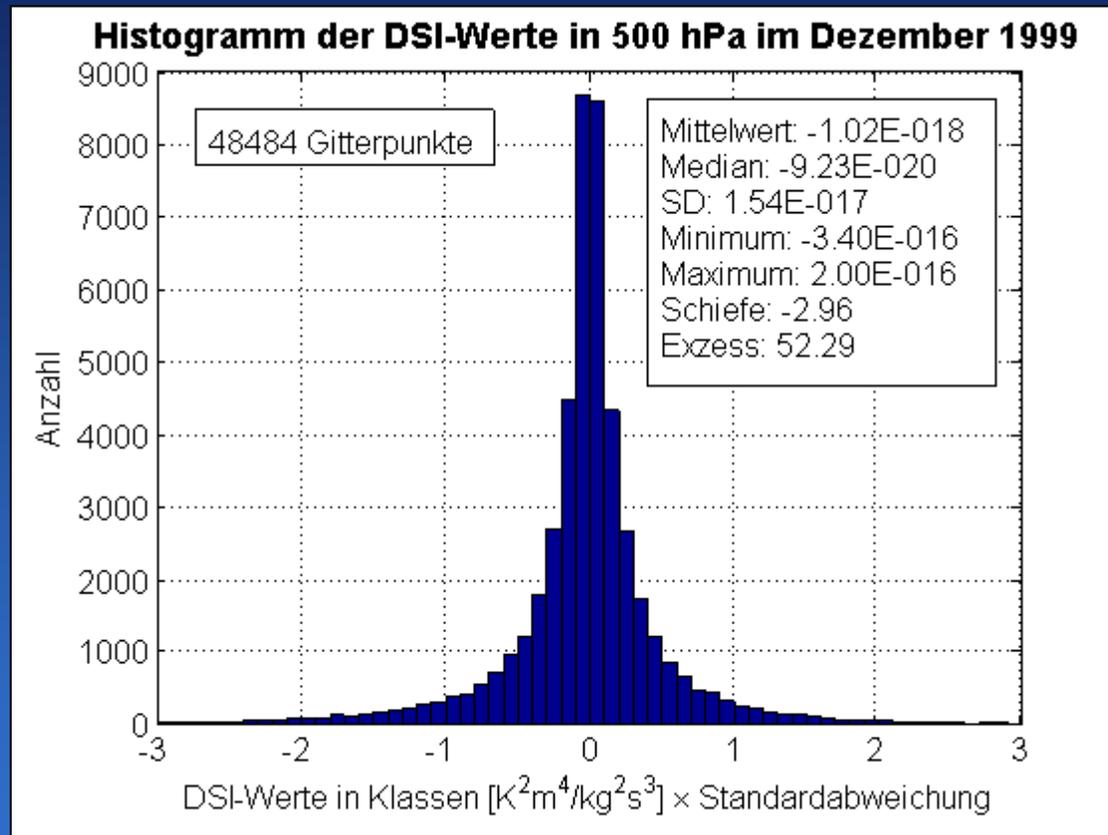
$$DSI = \left[\frac{\Pi^2}{s} \right] \quad \text{mit} \quad \Pi = \left[\frac{K m^2}{kg s} \right]$$

2. Theorie – Erläuterung des DSI



2. Theorie – Erläuterung des DSI

Häufigkeitsverteilung des DSI



Region: Europa ($35,0^\circ N - 75,0^\circ N$, $12,5^\circ W - 42,5^\circ O$)

3. Daten – ERA-40

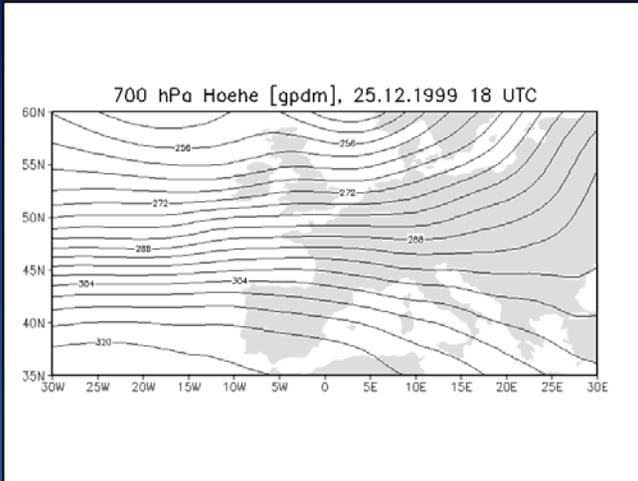
Eigenschaften der ERA-40 Daten:

- Globale Re-Analysen in 6 h-Intervallen von 1957 – 2002
- Variablen auf 23 Druckflächen sowie auf Erdoberfläche
- Gitterabstand $2,5^\circ$

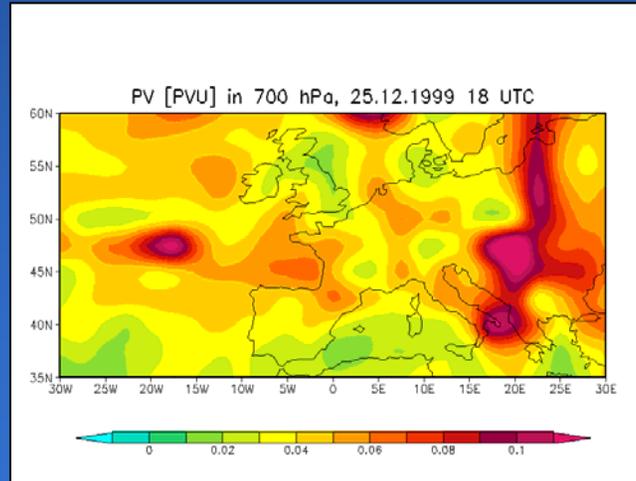
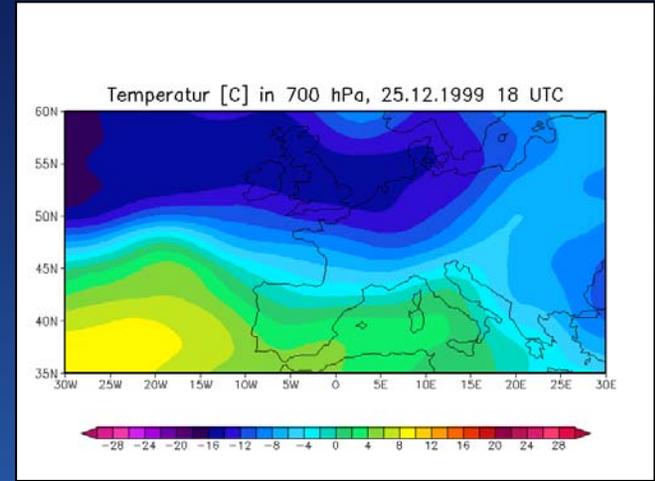
Verwendete Druckflächen, Regionen und Zeiträume:

- 14 Druckflächen
(1000, 925, 850, 775, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70 hPa)
- Europa ($35,0^\circ$ N – $75,0^\circ$ N, $12,5^\circ$ W – $42,5^\circ$ O), 1999 und 2000
- Atlantik-Europa ($20,0^\circ$ N – $60,0^\circ$ N, $100,0^\circ$ W – $30,0^\circ$ O), Dezember 1999

4. Synoptische Anwendung

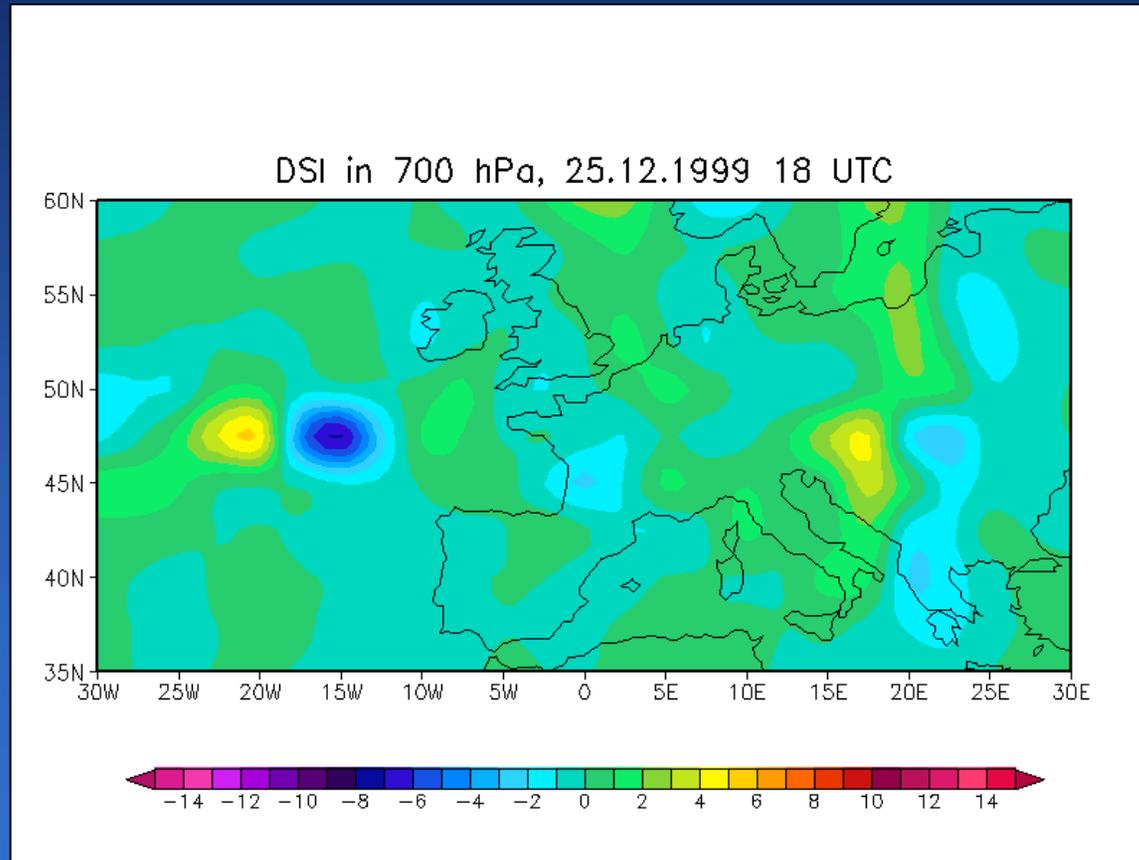


Φ -, T- und PV-
Karte in 700 hPa
am
25.12.1999 18 UTC



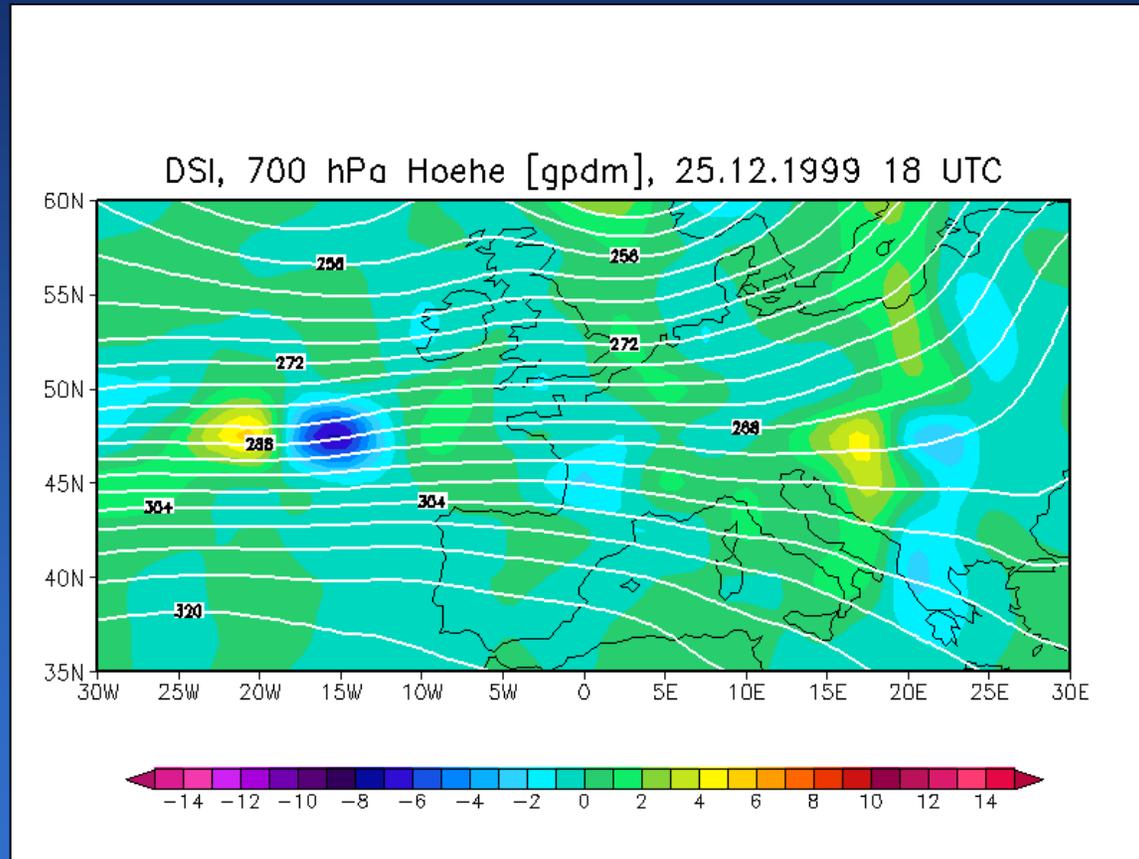
4. Synoptische Anwendung

DSI-Karte



4. Synoptische Anwendung

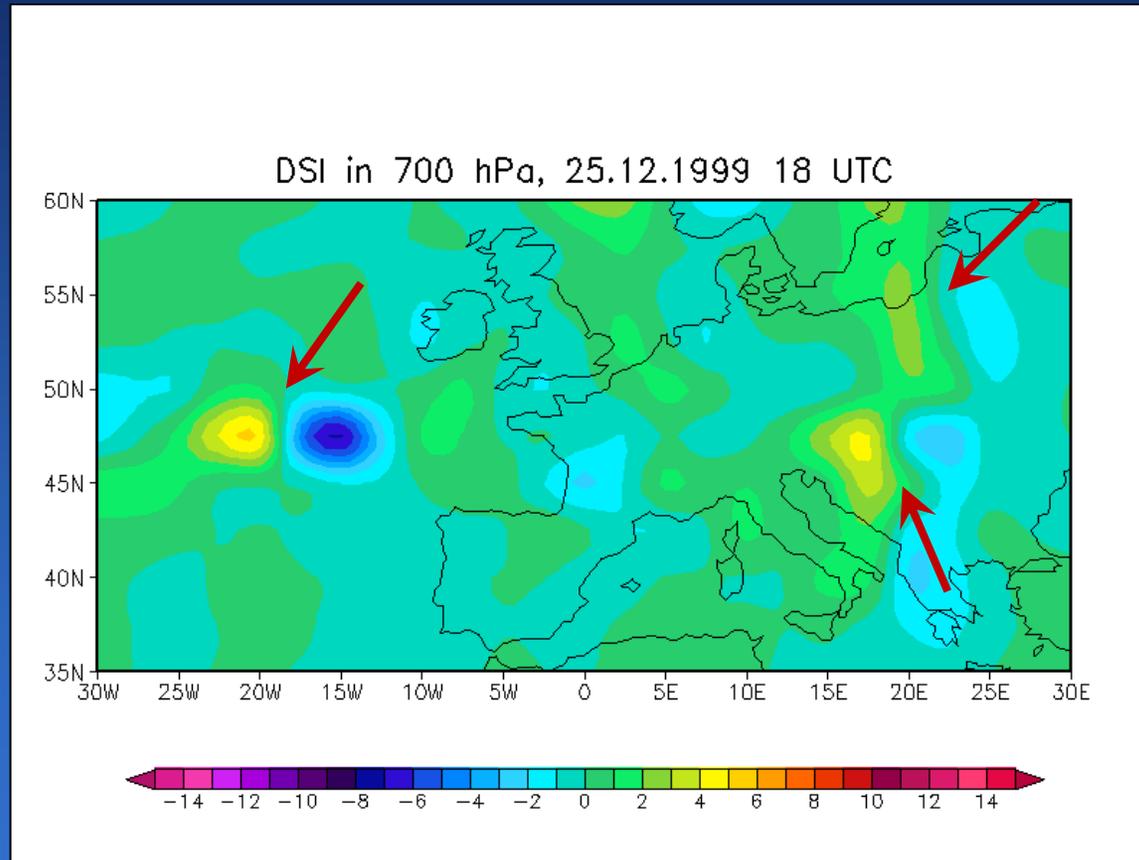
DSI-Karte



4. Synoptische Anwendung

DSI-Karte

Dipolstrukturen



4. Synoptische Anwendung

Trennung nach Prozessen

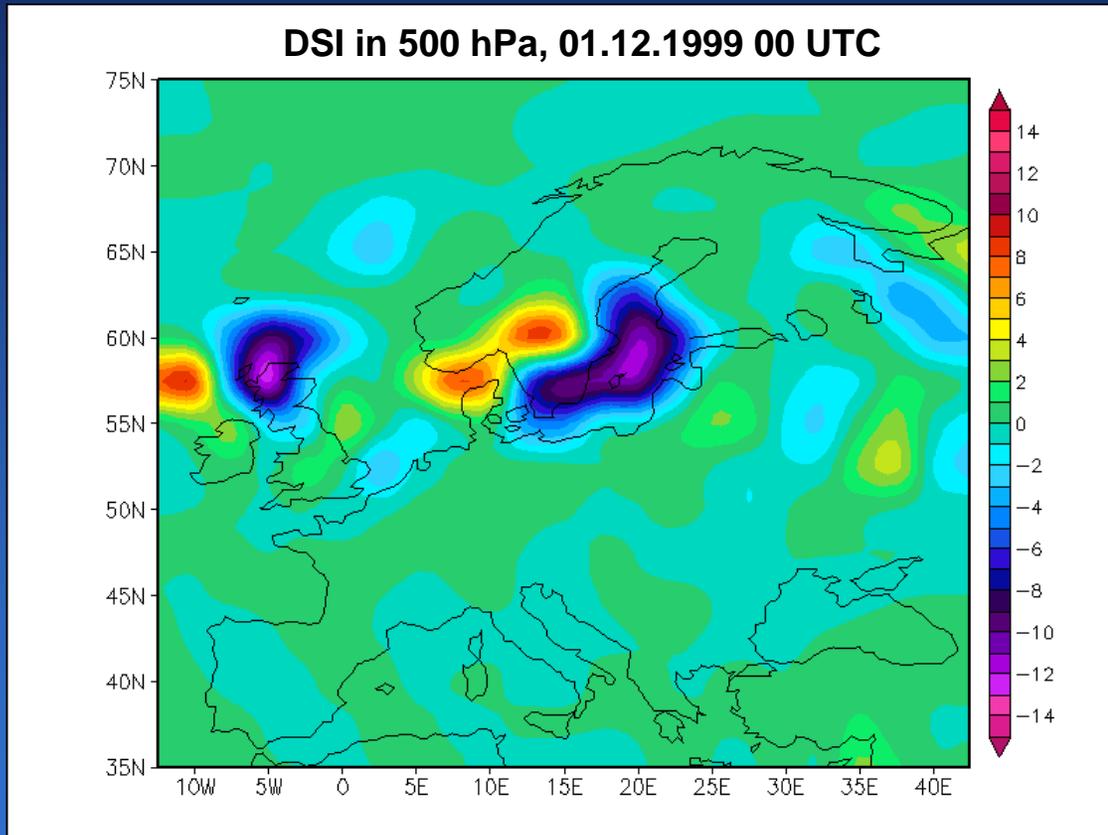
$$DSI = DSI_{adv} + DSI_{diab}$$

$$DSI_{adv} \approx \mathbf{v} \cdot \nabla \left(\frac{\Pi^2}{2} \right)$$

$$DSI_{diab} \approx Q \left(\frac{\Pi^2}{2} \right)$$

4. Synoptische Anwendung

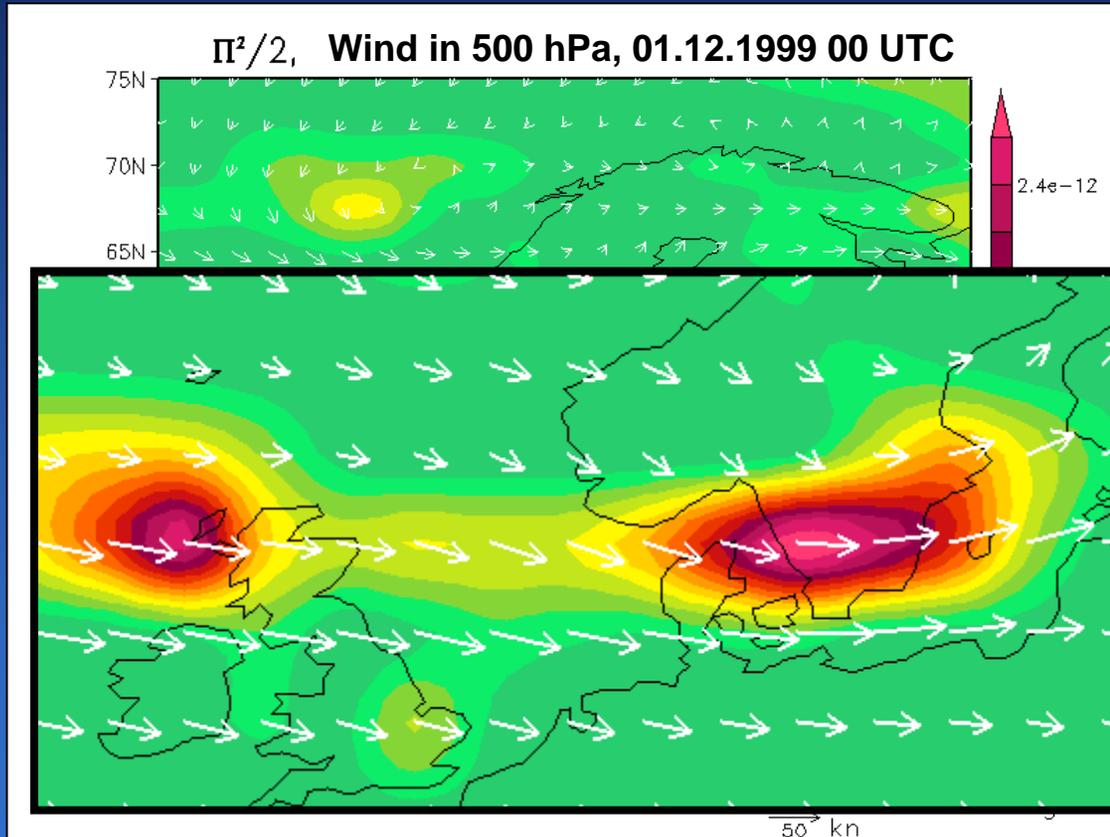
Der advektive Anteil des DSI



$$DSI_{adv} \approx \mathbf{v} \cdot \nabla \left(\frac{\Pi^2}{2} \right)$$

4. Synoptische Anwendung

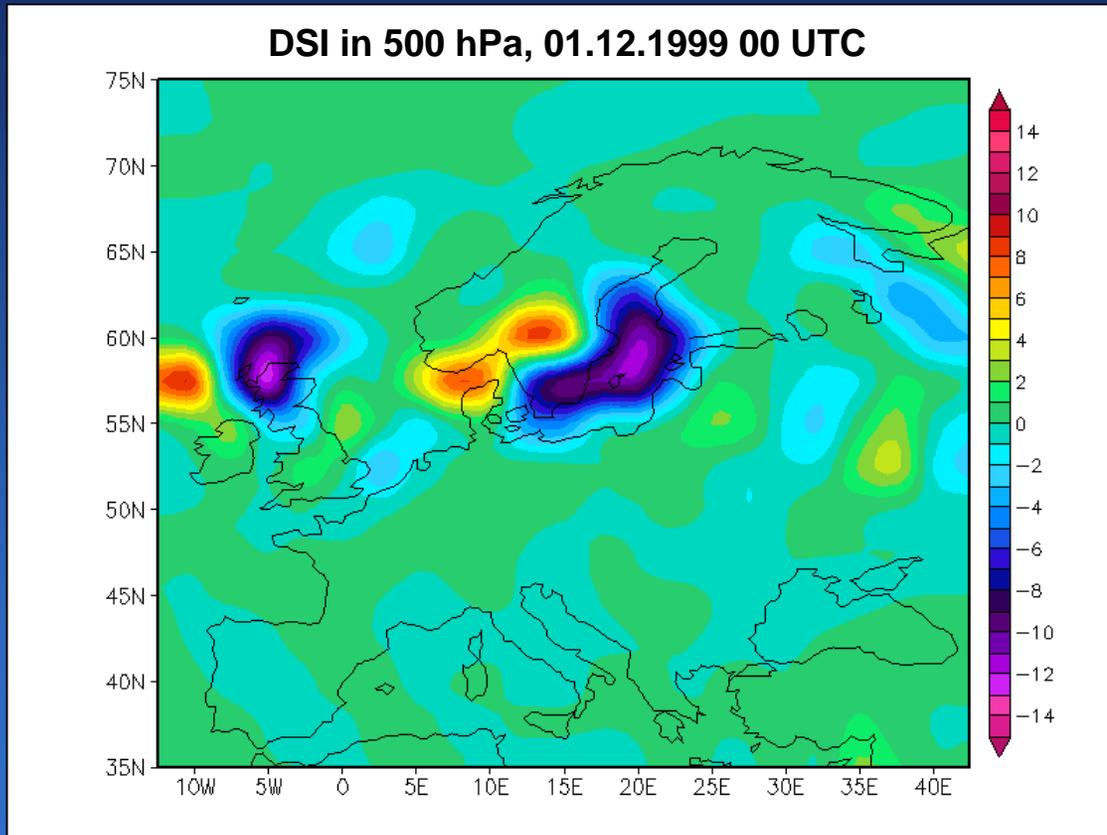
Der advektive Anteil des DSI



$$DSI_{adv} \approx \mathbf{v} \cdot \nabla \left(\frac{\Pi^2}{2} \right)$$

4. Synoptische Anwendung

Der advektive Anteil des DSI

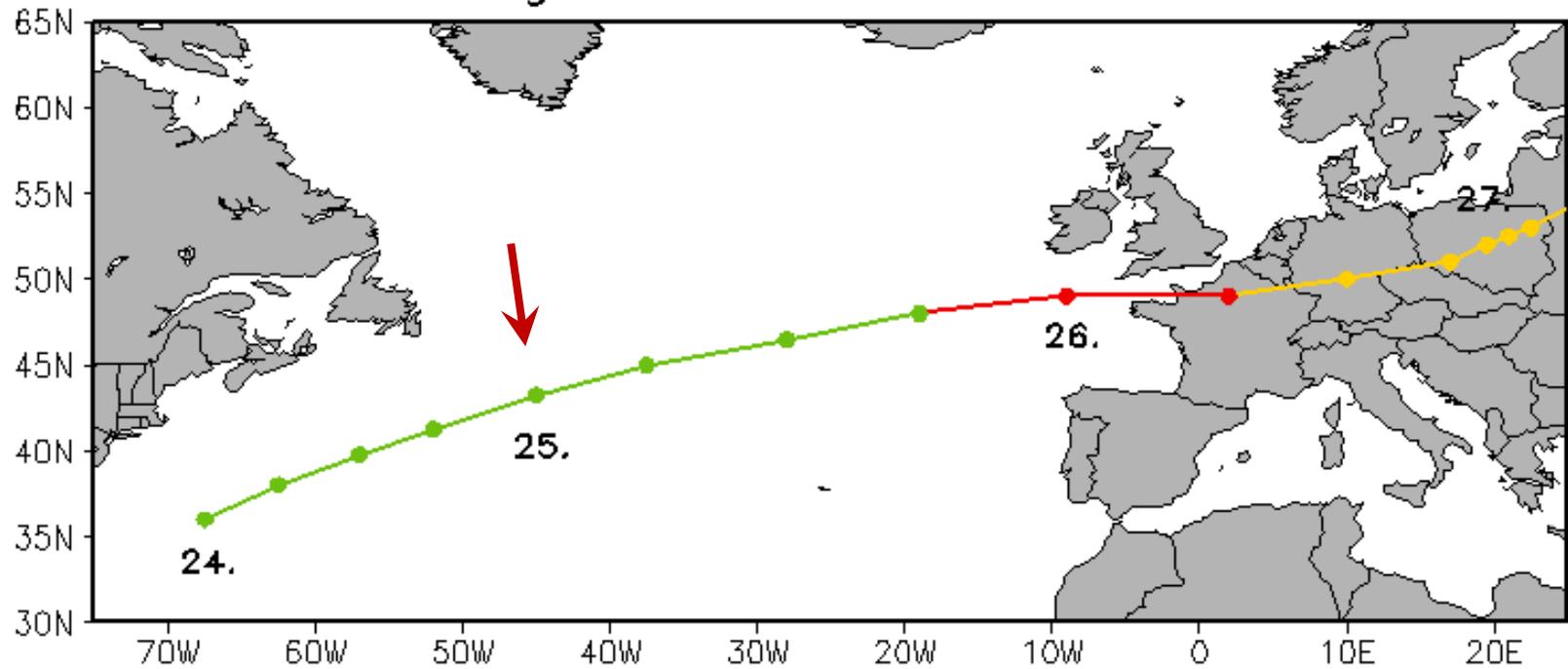


$$DSI_{adv} \approx \mathbf{v} \cdot \nabla \left(\frac{\Pi^2}{2} \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\Pi^2}{2} \right) \approx -DSI_{adv}$$

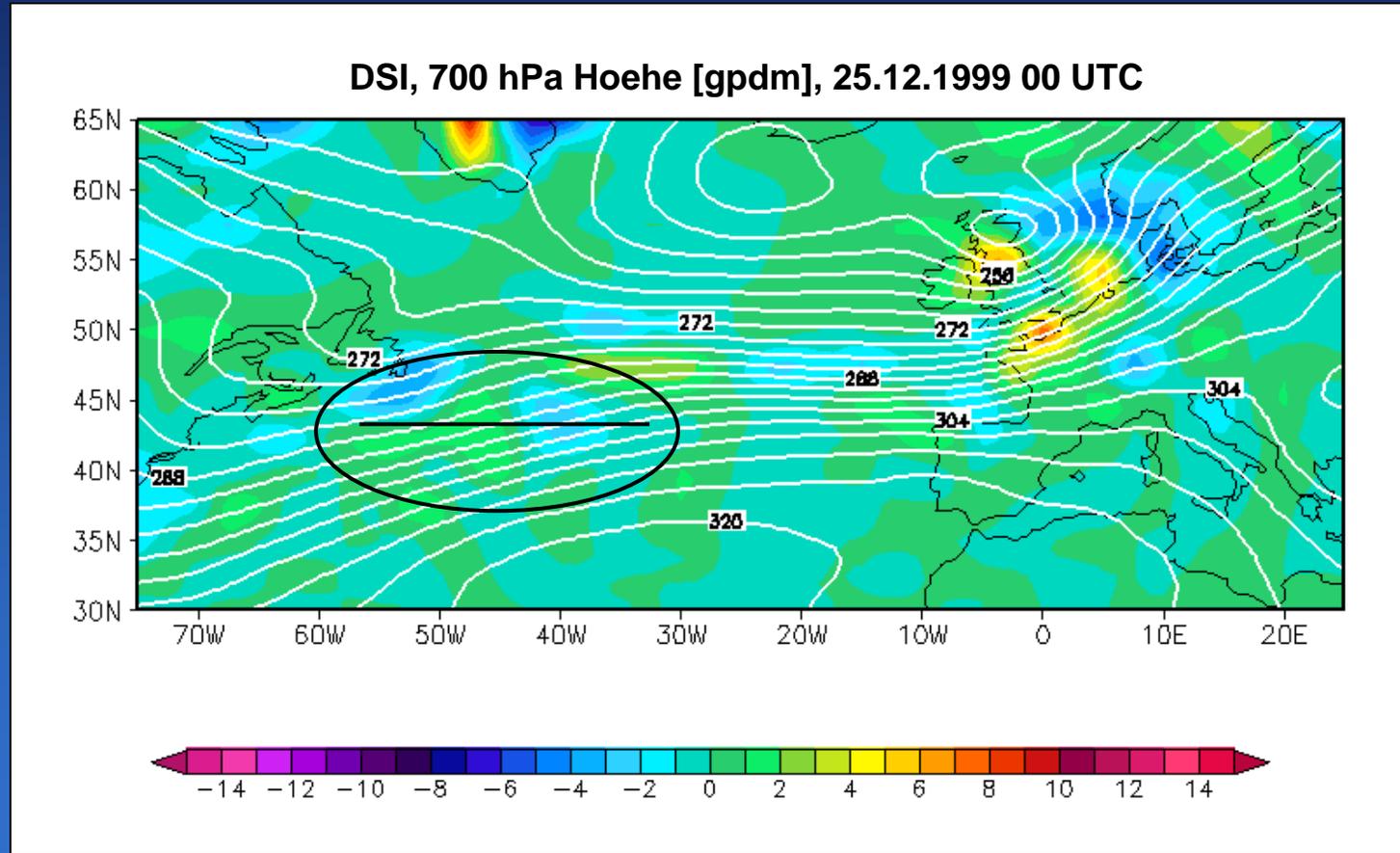
5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

Zugbahn des Orkans "Lothar"



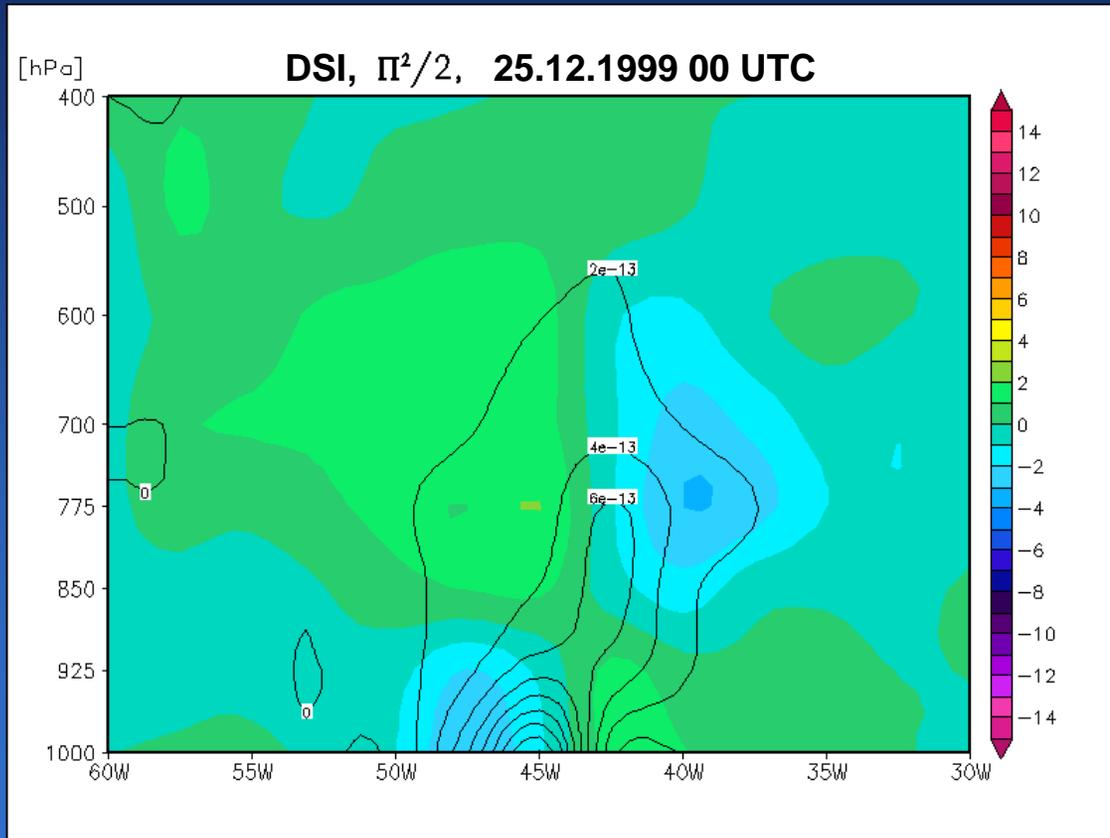
5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

Horizontalschnitt in 700 hPa



5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

Vertikalschnitt in 42,5° N geogr. Breite

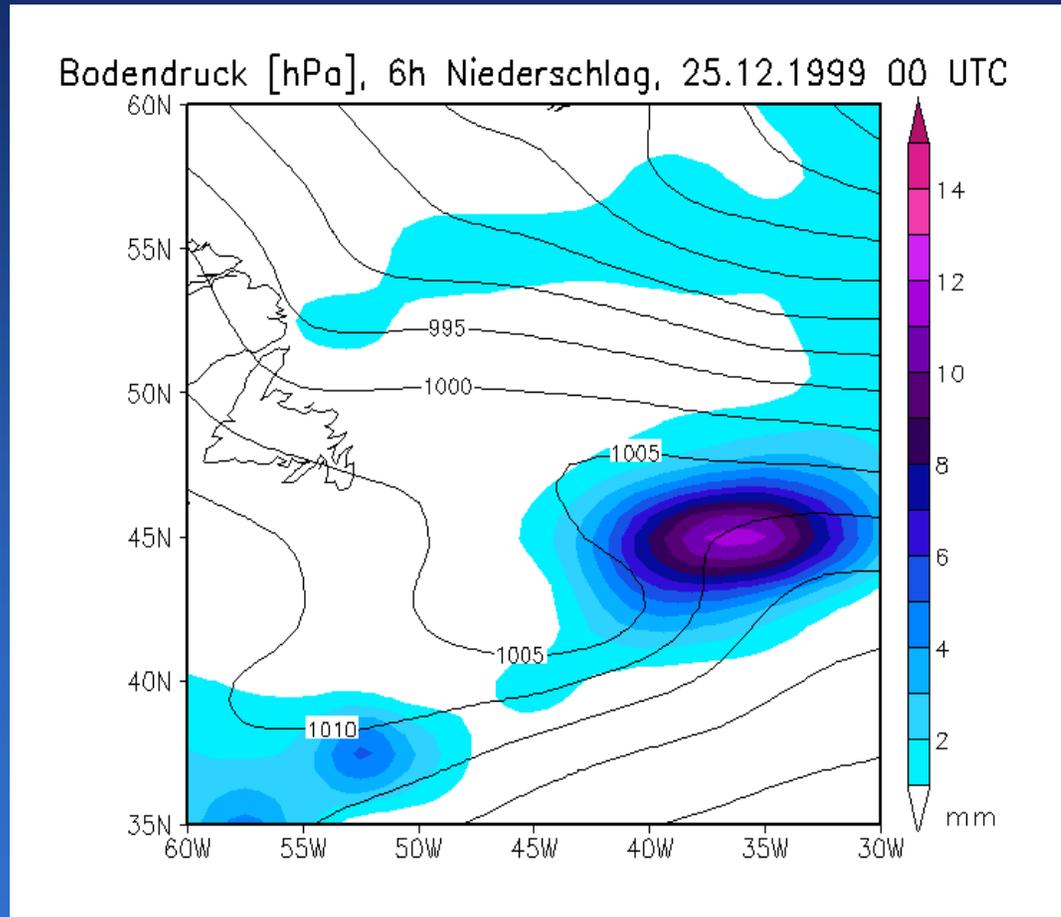


$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\Pi^2}{2} \right) \approx -DSI_{adv}$$

$$DSI_{diab} \approx Q \left(\frac{\Pi^2}{2} \right)$$

5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

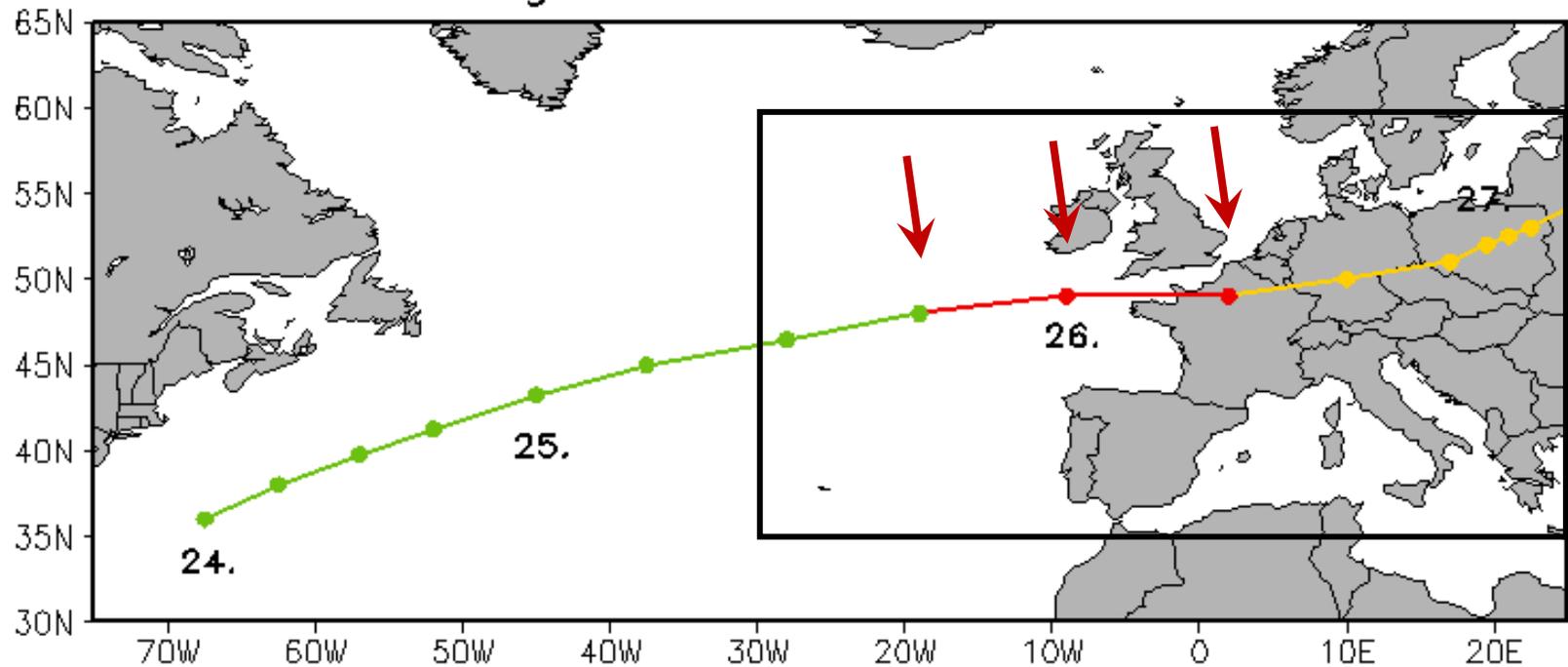
Niederschlagsmengen in 6 Stunden



5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

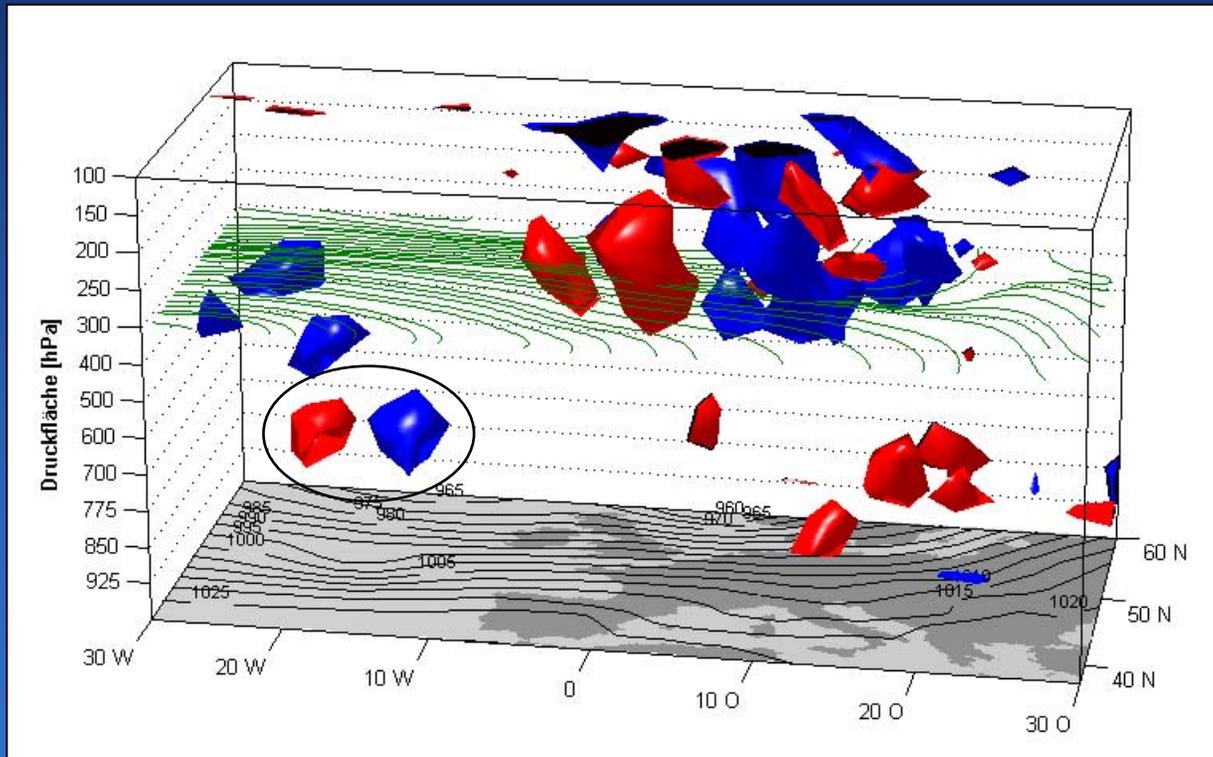
Intensivierungsphase

Zugbahn des Orkans "Lothar"



5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

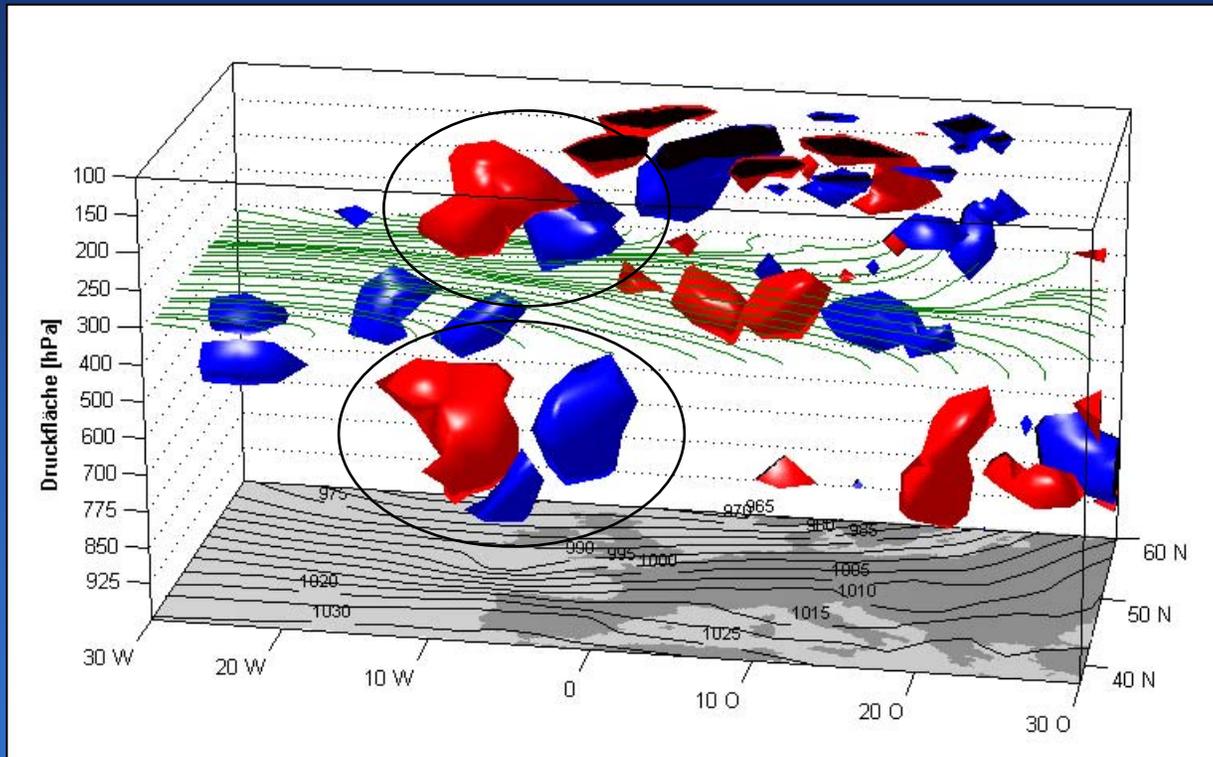
25.12.99 18 UTC



- DSI-Isofläche -3/3
(rot – positiv)
(blau – negativ)
- 300 hPa Stromlinien
(grün)
- Isobaren (schwarz)

5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

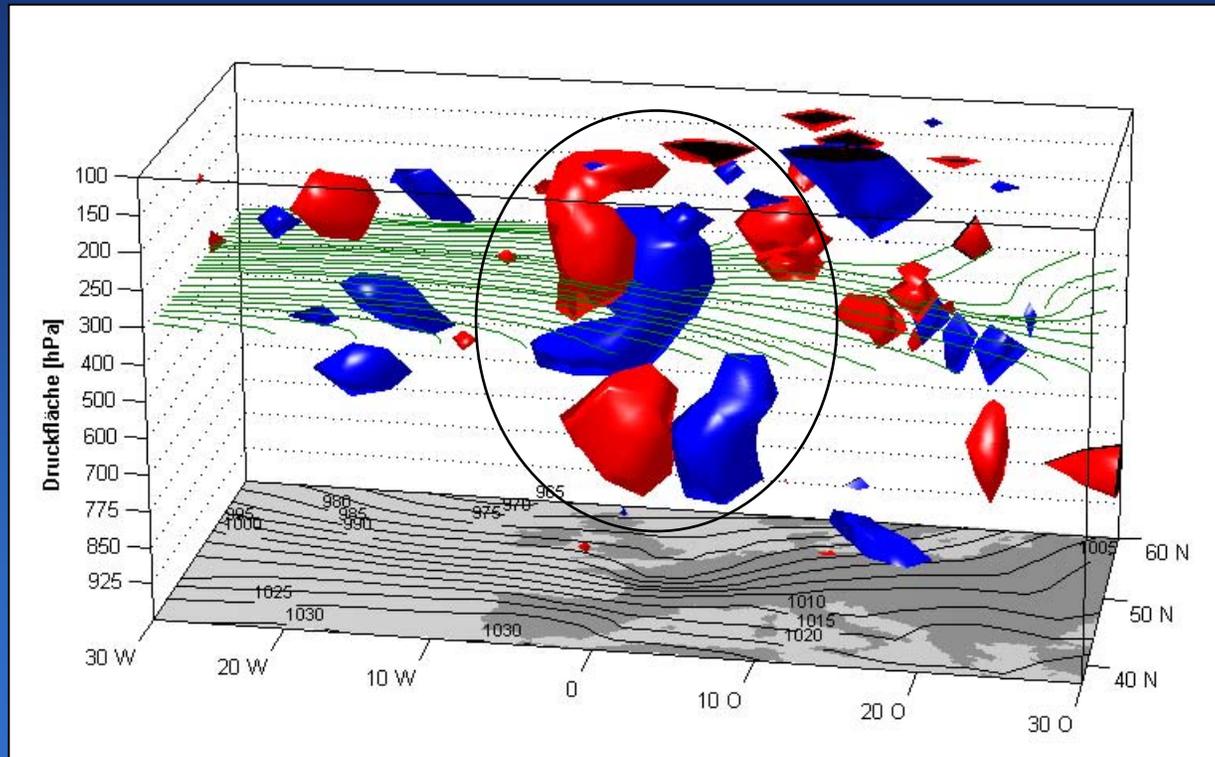
26.12.99 00 UTC



- DSI-Isosfläche -3/3
(rot – positiv)
(blau – negativ)
- 300 hPa Stromlinien
(grün)
- Isobaren (schwarz)

5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

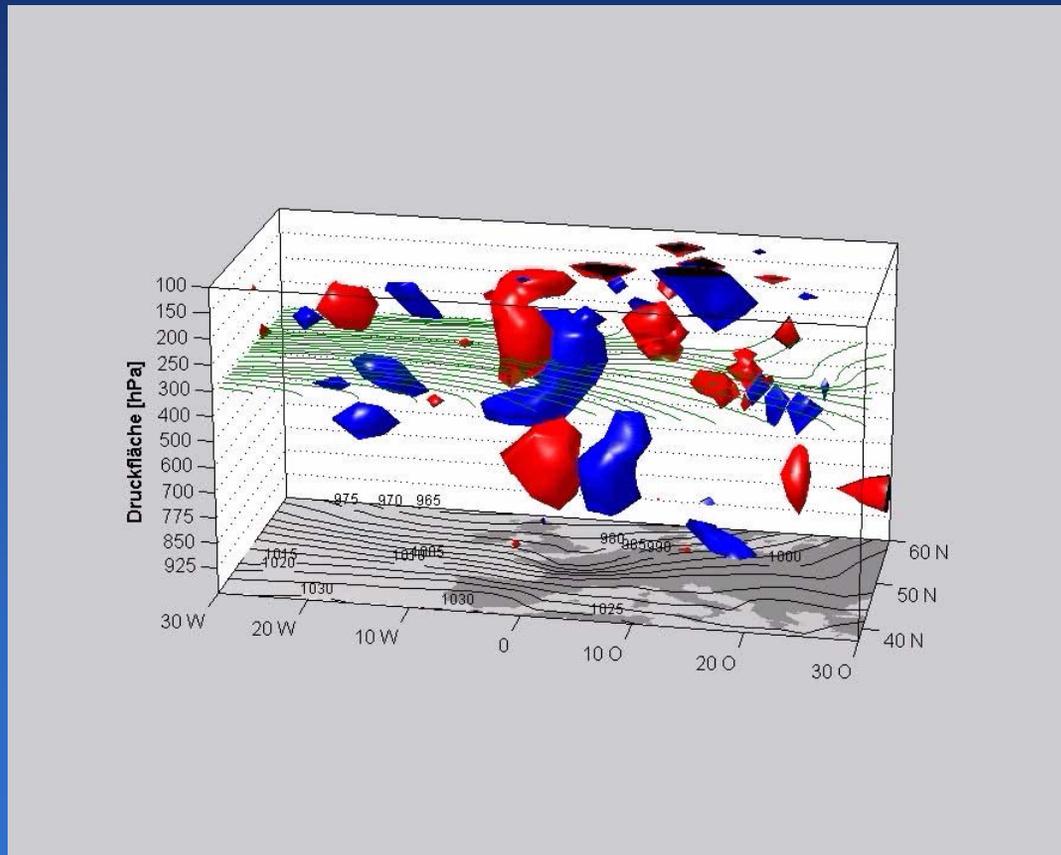
26.12.99 06 UTC



- DSI-Isofläche -3/3
(rot – positiv)
(blau – negativ)
- 300 hPa Stromlinien
(grün)
- Isobaren (schwarz)

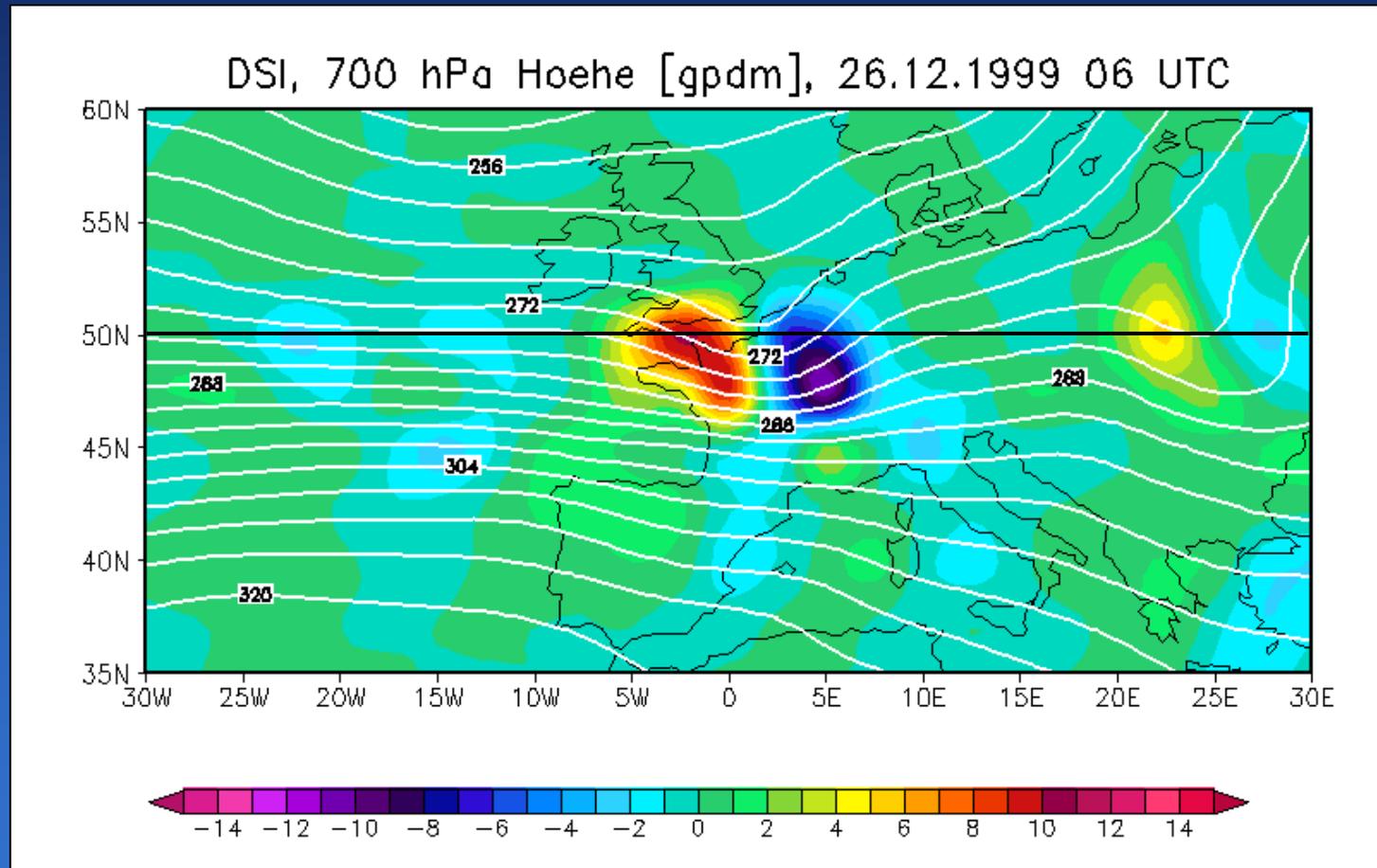
5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

26.12.99 06 UTC



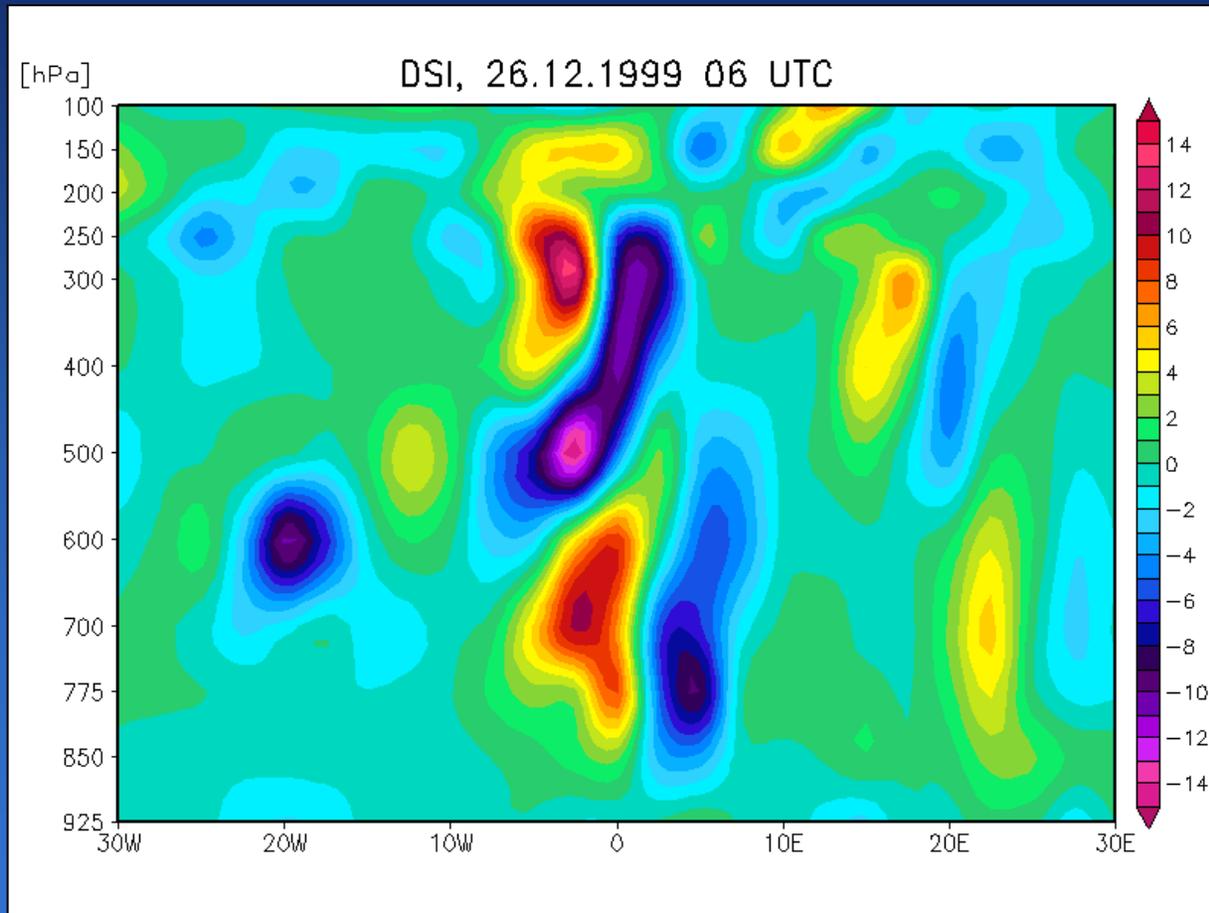
5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

Horizontalschnitt in 700 hPa



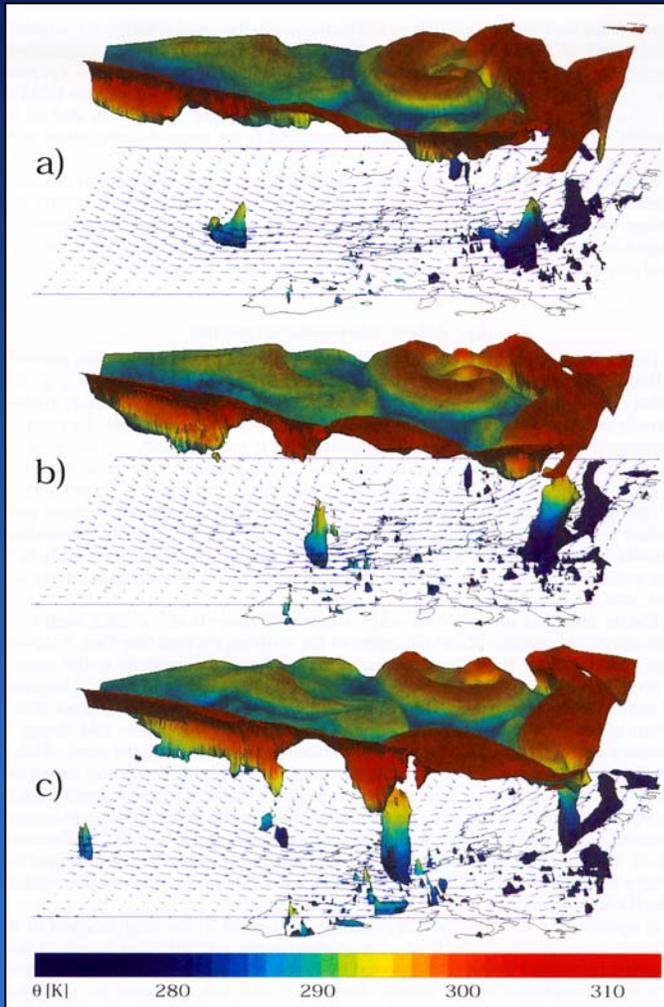
5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

Vertikalschnitt in 50,0° N geogr. Breite



5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

25.12.99
18 UTC



26.12.99
00 UTC

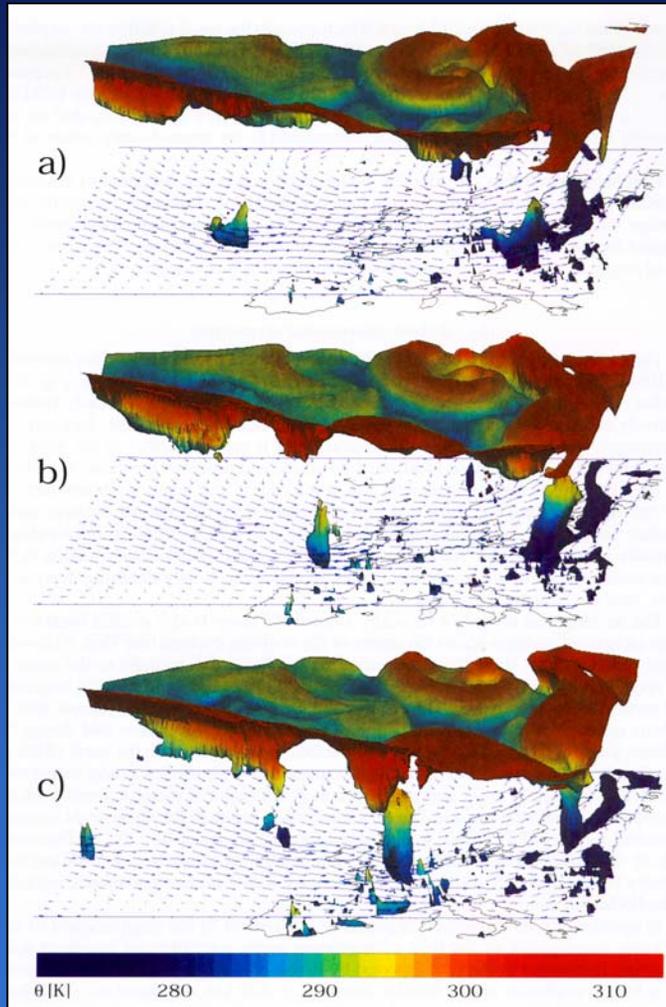
26.12.99
06 UTC

- PVU 2-Isosfläche
- Potentielle Temperatur (farbig)
- 850 hPa Windvektoren
- HRM-Simulation ("Europa-Model")
- Gitterabstand $0,25^\circ$

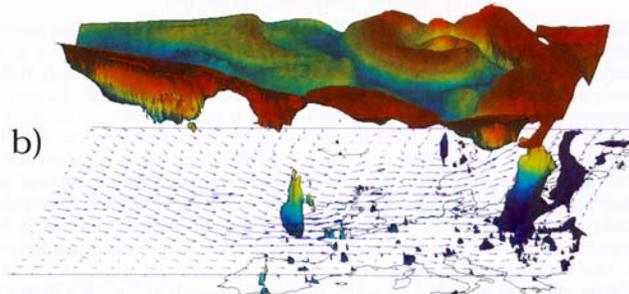
(Wernli et al., 2002,
Q. J. R. Meteorol. Soc., 128, 405-429.)

5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

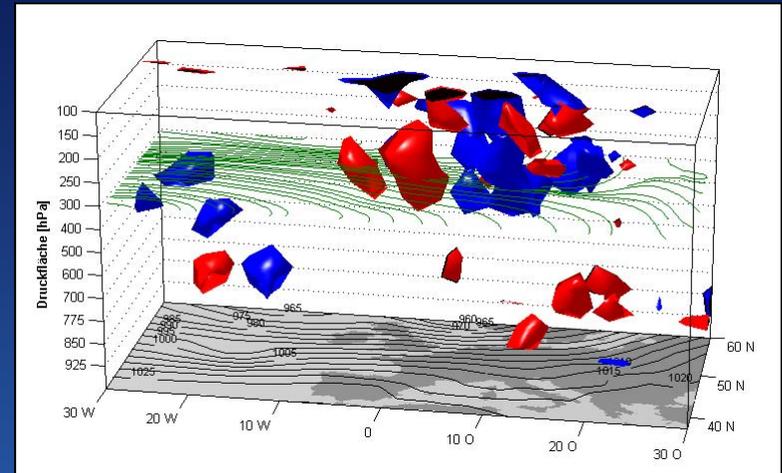
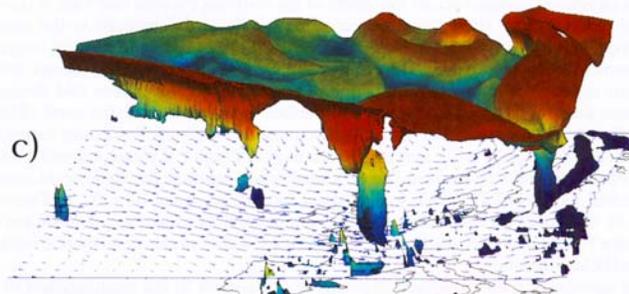
25.12.99
18 UTC



26.12.99
00 UTC

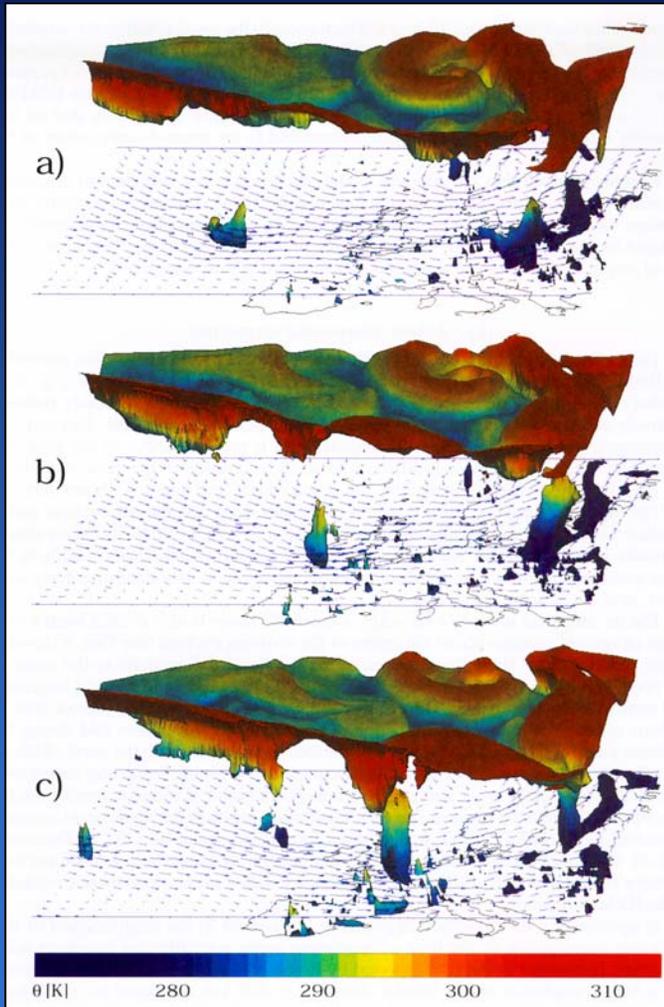


26.12.99
06 UTC



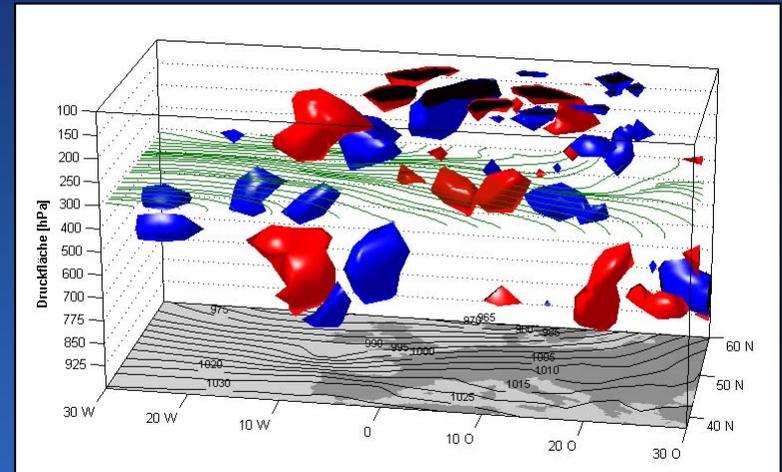
5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

25.12.99
18 UTC



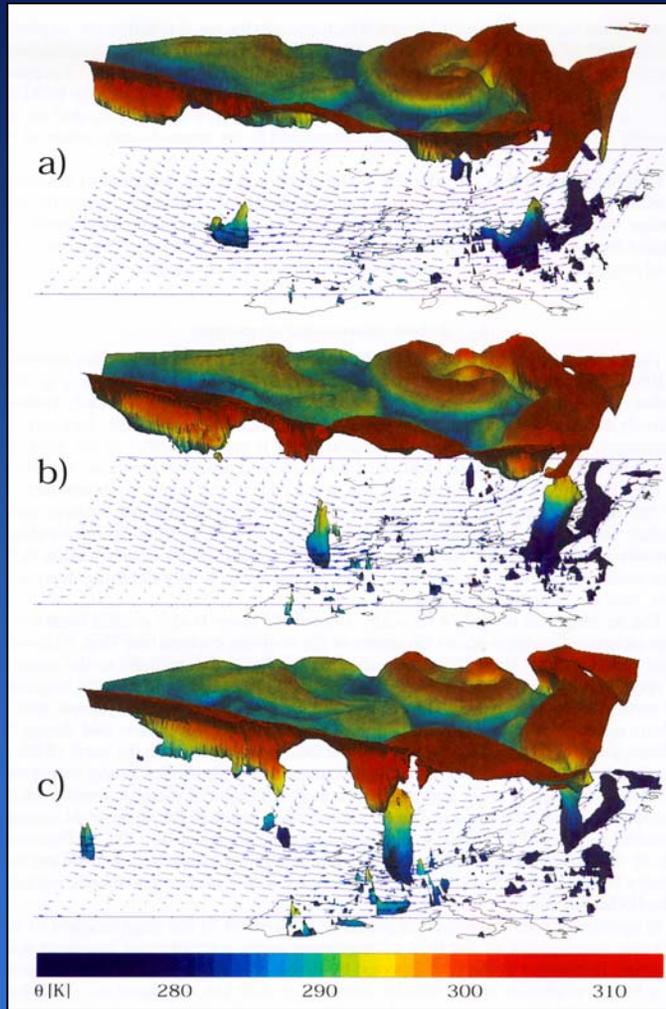
26.12.99
00 UTC

26.12.99
06 UTC

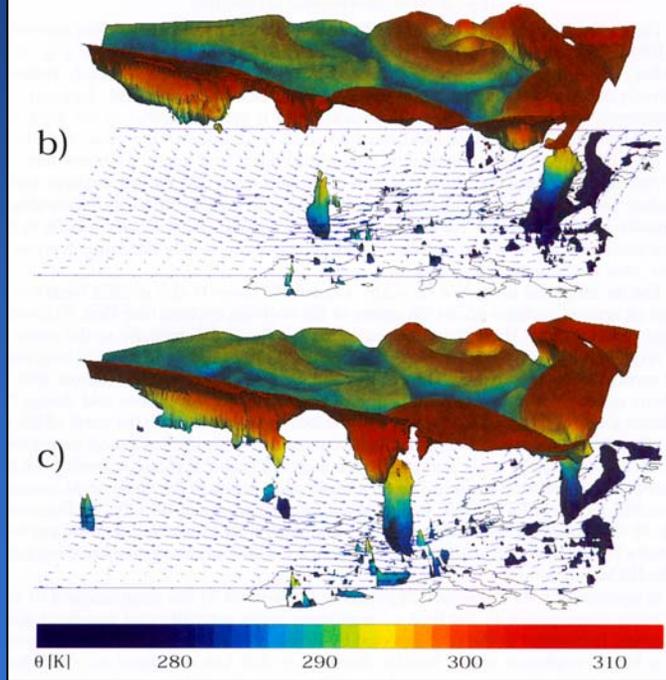


5. Fallstudie: Orkan "Lothar"

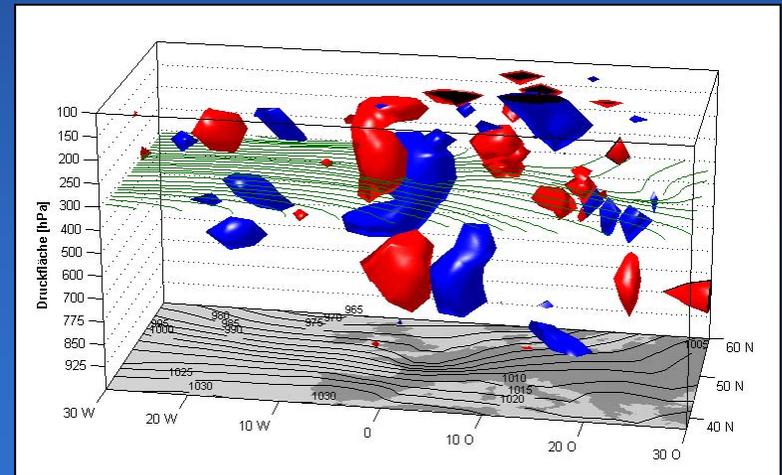
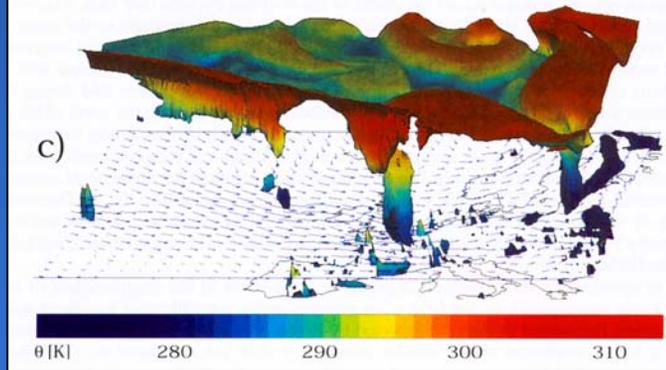
25.12.99
18 UTC



26.12.99
00 UTC



26.12.99
06 UTC



6. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

- Der DSI macht die dynamischen Entwicklungen auf der synoptischen Skala prozessorientiert sichtbar
- Der Index zeigt System-Änderungen an, die durch Instationarität und Diabasis verursacht werden
- Maß einer wirbeldynamischen Leistung
- Diabatische Prozesse können unter Verwendung klassischer Variablen (Druck, Temperatur, Wind) mit dem DSI diagnostiziert werden

Der Dynamische Zustandsindex (DSI)

Interpretation und Anwendung auf der
synoptischen Skala

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!