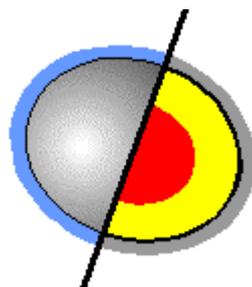


# StartClim.12

**Innovativer Zugang zur Analyse  
des Hochwasserereignisses August 2002  
im Vergleich zu ähnlichen  
Extremereignissen der jüngeren  
Vergangenheit**

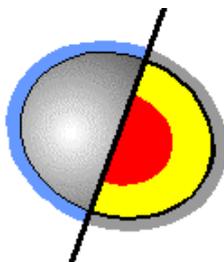
**Institut für Meteorologie  
und Geophysik  
Universität Wien**



**Mag. Simon Tschannett**

**Mag. Barbara Chimani**

**O. Univ. Prof. Dr. Reinhold Steinacker (PI)**



**Institut für Meteorologie und Geophysik  
Universität Wien**

**A-1090 Wien, Althanstrasse 14, UZA II**

**Tel: +43 (0)1 4277 51930**

**Fax: +43 (0)1 4277 51902**

**<http://www.univie.ac.at/IMG-Wien>**

Wien, November 2003

Teilprojekt von StartClim

“Startprojekt Klimaschutz: Erste Analysen extremer Wetterereignisse  
und ihrer Auswirkungen in Österreich“

Projektleitung: Institut für Meteorologie und Physik  
der Universität für Bodenkultur Wien

Türkenschanzstr. 18, 1180 Wien

URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>

## Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Kurzfassung / Abstract</b> .....                     | <b>4</b>  |
| <b>12-1 Fragestellung</b> .....                         | <b>5</b>  |
| <b>12-2 Kooperation mit anderen Teilprojekten</b> ..... | <b>6</b>  |
| <b>12-3 Daten und Analyse</b> .....                     | <b>7</b>  |
| <b>12-3.1 Datengrundlagen</b> .....                     | <b>7</b>  |
| <b>12-3.2 Analyseverfahren</b> .....                    | <b>8</b>  |
| <b>12-4 Methode</b> .....                               | <b>9</b>  |
| <b>12-4.1 Bildung der Ableitungen</b> .....             | <b>9</b>  |
| <b>12-4.2 Bedeutung ausgewählter Ableitungen</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>12-5 Wetterlagen der Fallstudien</b> .....           | <b>12</b> |
| <b>12-5.1 12.-17. September 1995</b> .....              | <b>12</b> |
| <b>12-5.2 8.-13. Jänner 1999</b> .....                  | <b>13</b> |
| <b>12-5.3 5.-14. August 2002</b> .....                  | <b>15</b> |
| <b>12-6 Ergebnisse</b> .....                            | <b>18</b> |
| <b>12-6.1 Skalenanalyse</b> .....                       | <b>18</b> |
| <b>12-6.2 Aussagen der Ableitungen</b> .....            | <b>19</b> |
| <b>12-6.2.1 Laplace</b> .....                           | <b>19</b> |
| <b>12-6.2.2 Zweite Zeitableitung</b> .....              | <b>21</b> |
| <b>12-6.2.3 Niederschlagsereignis 1995</b> .....        | <b>22</b> |
| <b>12-7 Ausblick</b> .....                              | <b>26</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b> .....                       | <b>28</b> |
| <b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b> .....        | <b>30</b> |

## **Kurzfassung / Abstract**

### **Kurzfassung:**

In diesem Projekt wurde versucht, einen neuen, innovativen Ansatz zur Einschätzung und Beurteilung von Extremwetterlagen zu finden. Entgegen der üblichen Methode der Wetterlagenklassifikation, bei der entweder der zeitliche Verlauf meteorologischer Parameter an einer Station oder aber die flächige oder räumliche Struktur betrachtet wird, kann jetzt mit der zeitlichen und räumlichen Verknüpfung von Parametern, die auf einem regelmäßigen Gitter im zwei-, drei- oder vierdimensionalem Raum gewonnen werden, gearbeitet werden.

Mit Hilfe von VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis) wurden Druckanalysen für unterschiedliche Extremereignisse, die Ähnlichkeiten mit dem Hochwasser 2002 aufwiesen, in der zweidimensionalen Ebene berechnet. Davon wurden im Anschluss unterschiedliche räumliche und zeitliche Ableitungen, also dreidimensionale Kennzahlen, gebildet, mit deren Hilfe Aussagen über Strömungseigenschaften (geostrophische Vorticity und deren Tendenz), Verlagerungsgeschwindigkeiten und Entwicklungen des wetterwirksamen Systems getroffen werden können. Diese Informationen wurden sowohl in Form von Zeitreihen als auch in flächiger Darstellung auf ihre Aussagekraft hin untersucht.

Aus Untersuchungen aller Extremwetterereignisse und Wettersystemen der letzten Jahrzehnte könnten mit dieser Methode charakteristische Strukturen dieser Kennzahlen gefunden werden, die letzten Endes eine (Kurzfrist-)Prognose über die lokale Wirksamkeit eines Wetterereignisses ermöglichen sollten.

### **Abstract:**

Within this project it was tried to develop a new, innovative approach for the assessment of extreme weather situations. Contrary to the usual methods of weather classifications, where either the temporal changes of meteorological parameters at one station or the plane or spatial structures are considered, a combination of temporal and three-dimensional information is used. This information was achieved using a regular grid in two-, three- or four-dimensions.

Using VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis) analyses of pressure of different weather situations, which were similar to the flood event in 2002, were calculated in 2-dimensions. These were used to calculate different temporal and spatial derivations, three-dimensional key numbers, which allow to give statements about the characteristic of the flow (geostrophic vorticity and its tendency), displacement and evolution of effective weather systems. This information was used as time series as well as two-dimensional graphics and tested with respect to its significance.

Using this kind of investigation on all the extreme weather events and weather systems of the last decades would result in finding characteristic structures of the key numbers, which should lead to a nowcasting tool to predict the local effectivity of weather phenomena.

## 12-1 Fragestellung

Zahlreiche Untersuchungen von meteorologischen Extremereignissen beschränken sich auf die Analysen langer Zeitreihen einzelner Beobachtungsstationen und Wetterparameter. Eine weitere Gruppe von relevanten Arbeiten (z.B.: Steinacker 1990) bedient sich der Auswertung von Wetter- bzw. Strömungslagenklassifikationen. Da sie sich entweder auf den zeitlichen Verlauf (eindimensional) oder auf die flächige oder räumliche Information von Feldern (zwei- bzw. dreidimensional) beschränkt, können beide Betrachtungsweisen als einseitig bezeichnet werden. Die vierdimensionale Betrachtungsweise, die heute für die Wetterprognose (und Klimamodellierung) als selbstverständlich vorausgesetzt wird, hat sich in der klimatologischen Diagnose noch kaum durchgesetzt.

In diesem Projekt wurde ein neuer Weg für die Einschätzung von Extremwetterlagen eingeschlagen. Es wurde eine vierdimensionale klimatologische Bearbeitung konventioneller Beobachtungsdaten durchgeführt und getestet. Für diesen Zweck wurde das Analysewerkzeug VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis) (Steinacker et al. 2000) eingesetzt. Dieses Werkzeug bedient sich methodisch einer flexiblen Variationsanalyse mit integriertem Datenqualitätsmodul. Die Analysedaten des Druckes auf räumlich-zeitlich regelmäßigen Gitterpunkten erlauben neben konventionellen (räumlichen) Ableitungen meteorologischer Felder zur Charakterisierung des atmosphärischen Zustandes (z.B: geostrophische Vorticity) zusätzlich auch die Bestimmung zeitlicher und/oder gemischter räumlich-zeitlicher Ableitungen für eine vierdimensionale Betrachtungsweise. Dadurch ist eine wesentliche Vertiefung des Einblicks in die dynamischen Abläufe von transienten Wettersystemen und ihrer Tendenzen möglich.

Anhand der Analyse von Extremereignissen der letzten Jahre sollte die Aussagekraft dieser „4D-Wetterlagenklassifikation“ getestet und ihre Anwendungsmöglichkeit auf längere Zeitreihen geprüft werden. Durch die Erweiterung auf vier Dimensionen ist eine wesentlich schärfere Eingrenzung von potentiellen Extremwetterlagen möglich. Außerdem sind neben (räumlichen) Intensitätsaussagen (Gradient, Laplace, etc.) von Feldern auch z.B. Tendenzen des Feldes, Verlagerungsgeschwindigkeiten von Systemen, Amplifizierung, u.s.w. quantifizierbar.

## 12-2 Kooperation mit anderen Teilprojekten

Auf Grund der Tatsache, dass in dem hier behandelten Teilprojekt ein vollkommen neuer Ansatz verwendet wurde, der erst in diesem Projekt entwickelt wurde und einer genauen Prüfung bedurfte, konnten noch kaum Kooperationen eingegangen werden.

Mit StartClim 13 "Hoch aufgelöste Niederschlagsanalysen" wurde trotzdem schon zusammengearbeitet, weil das selbe Analyseverfahren Anwendung gefunden hat. Durch die örtliche Verknüpfung dieser beiden Projekte am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien kam es auch zu intensiven und ergebnisorientierten wissenschaftlichen Diskussionen.

In Zusammenarbeit mit StartClim 14 „Prognosegüte meteorologischer Vorhersagemodelle im Zuge der Hochwasserereignisse im August 2002“ entstanden neue Ideen im Bezug auf die Abschätzung der Niederschlagsprognosegüte. So könnte etwa die Qualität der Niederschlagsprognose bei Extremwetterereignissen mit der Skaligkeit des Wettersystems oder der objektiven Bestimmung der Wetterlage aus Parametern, die mit Hilfe von StartClim 12 entwickelt wurden, korreliert sein.

Außerdem bestand ein gewisser Zusammenhang zwischen diesen drei Teilprojekten, da sie sich alle mit den mesoskaligen Aspekten der Analyse und Prognose des Hochwasserereignisses von 2002 beschäftigten.

In Zukunft wäre auch eine Zusammenarbeit mit StartClim 4 „Diagnose von Extremereignissen aus großräumigen meteorologischen Feldern (Reanalysen und GCMs)“ denkbar, weil in diesem Projekt ebenfalls Wetterlagenklassifikationen eine Rolle spielen. Hier wäre eine Verbindung sinnvoll, dies vor allem deshalb, weil mit StartClim 12 ein Übergang von der großräumigen Skala (StartClim 4) zur Mesoskala gefunden werden könnte. Außerdem wäre es möglicherweise denkbar, die in StartClim 4 eingeteilten typischen Extremwetterlagen weiter zu stratifizieren und auf die Mesoskala hin zu untersuchen.

## 12-3 Daten und Analyse

### 12-3.1 Datengrundlagen

Die für die Analysen benötigten Druckdaten sind den Synops (=stündliche Wettermeldungen) der entsprechenden Zeitpunkte entnommen. Um den reduzierten Druck analysieren zu können, wurde dieser zuerst aus dem Stationsdruck ermittelt (DWD 1998). Dazu wird die exakte Schwerebeschleunigung benötigt, die auf folgende Weise bestimmt wird:

$$grad = lat \cdot 0.017453$$

$$g = 1 - (0.0026373 \cdot \cos(2 \cdot grad)) + (0.0000059 \cdot (\cos(2 \cdot grad))^2)$$

$$g = ((g \cdot 980.616) + ((3.085462 \cdot 10^{-4} + (2.27 \cdot 10^{-7} \cdot \cos(2 \cdot grad))) \cdot h)) \cdot 0.01$$

Aus der Stationshöhe  $h$  wird auch noch die geopotentielle Höhe berechnet.

$$hgpm = \frac{g}{9.8} \cdot h$$

Da für eine genaue Druckreduktion auch der Feuchtegehalt der Luft in Form der spezifischen Feuchte benötigt wird, muss der gegebene Taupunkt auf folgende Art umgerechnet werden.

$$\ln(e_w) = \frac{-6096.9385}{T_d} + 16.635794 - \frac{2.711193}{100} \cdot T_d + \frac{1.673952}{100000} \cdot T_d^2 + 2.433502 \cdot \log(T_d)$$

$$r = \frac{0.62198 \cdot 10^3 \cdot 1.0047 \cdot e_w}{p - (1.0047 \cdot e_w)}$$

$$q = \frac{r \cdot 10^3}{(10^3 + r) \cdot 1000}$$

Mit der virtuellen Temperatur ist die Druckreduktion dann endgültig möglich.

$$T_v = T \cdot (1 + 0.6078 \cdot q)$$

$$p_r = p \cdot \exp\left(\frac{\frac{9.8 \cdot hgpm}{287.04}}{T_v + 0.00325 \cdot h}\right)$$

Die so behandelten Daten werden anschließend an VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis) weitergegeben. Vor der Analyse wird aber zuerst eine aufwendige und intensive Datenqualitätskontrolle durchgeführt.

### 12-3.2 Analyseverfahren

Die Vienna Enhanced Resolution Analysis (VERA) ist eine Analyseverfahren, die schon seit Jahren erfolgreich am IMG-Wien eingesetzt wird (Steinacker et al. 1995, Steinacker et al. 1997, Pöttschacher et al. 1996, Chimani 2002, Tschannett 2003, [www.alpenwetter.net](http://www.alpenwetter.net)). In das Analysesystem ist außer der Interpolation mit der Finiten Elemente Methode auch eine genaue und ausgereifte Datenqualitätskontrolle (Pöttschacher et al. 1997, Groehn et al. 2000, Steinacker et al. 2000, [www.univie.ac.at/IMG-Wien/daquamap/daquamain.html](http://www.univie.ac.at/IMG-Wien/daquamap/daquamain.html)) inkludiert.

Der bei der Interpolation verwendete Algorithmus ist mit dem Thin-Plate-Spline (Daley 1991) verwandt. Der allgemeine Ansatz einer Variationsanalyse lautet:

$$I(\gamma, p) = I_1(f_a) + \gamma \cdot J_p(f_a)$$

Dabei wird  $I_1$  als Schätzfunktion bezeichnet und beinhaltet die Differenz zwischen analysiertem und gemessenem Wert am gewünschten Punkt (Station oder Gitterpunkt) und ist ein Maß des Vertrauens der Analyse zu den Beobachtungen. Bei der Qualitätskontrolle, die vor der Interpolation durchgeführt wird, wird dieser erste Term jeweils auf Null gesetzt. Dies bedeutet, dass das analysierte Feld auf alle Fälle durch die Messwerte führt. Die zu untersuchende Station wird bei der Berechnung weggelassen und mit dem interpolierten Wert am gleichen Ort verglichen. In weiterer Folge wird dies für jede Station gemacht, sodass diejenigen erkannt werden können, die nicht plausible Werte gemeldet haben.

Nach der Qualitätskontrolle ist die Annahme gerechtfertigt, dass die Stationswerte frei von Fehlern sind. Das lässt zu, dass die Schätzfunktion durch die Stationswerte gelegt werden kann und somit verschwindet. Es wird daher einzig die Penaltyfunktion minimiert, die sich aus den zweiten räumlichen Ableitungen zusammensetzt. Diese Bedingung ist gleichbedeutend mit der Minimierung der kinematischen Größen Divergenz, Streckung, Scherung und Translation, die für Meteorologen aussagekräftige Parameter sind. Dies macht die Methode gut interpretierbar. Die Ableitungen werden mit der Finiten-Elemente-Methode mit Hilfe unregelmäßiger Fünfecke gebildet, deren Eckpunkte an den Messwerten liegen. Interpoliert wird auf den Punkt dieses Fünfeckes, der mit dem gesuchten Gitterpunkt am regelmäßigen Gitter übereinstimmt.

Der Verlauf der Funktion zwischen den diskreten Gitterpunkten ist bei dieser Methode nicht bekannt. Nur die Werte der Funktion an den Gitterpunkten und ihre Eigenschaften sind von Interesse.

Um noch größere Genauigkeit zu erlangen, werden noch sogenannte Fingerprints zusätzlich in die Interpolation eingebaut, durch die physikalisches Vorwissen eingeht. Dadurch kann erreicht werden, dass verschiedene bestimmte Strukturen, wie etwa Kältehochs oder strömungsbedingte Muster, die von den Daten angedeutet werden, so deutlich hervortreten, wie sie in der Natur vorkommen.

Die oben mehrmals erwähnte Datenqualitätskontrolle wird nach demselben Schema durchgeführt wie auch die Analyse. Dabei wird nicht ein Gitterpunkt als Zentralwert des Fünfeckes genommen, sondern der Ort einer Station selbst. Die Eckpunkte des Fünfeckes, die für die Kontrolle des Zentralwertes hergenommen wurden, werden in dem gleichen Arbeitsschritt ebenfalls auf diese Art und Weise getestet, wodurch bestimmt werden kann, ob der Zentralwert tatsächlich fehlerhaft ist, oder dieser Wert durch eine Struktur im zu analysierenden Feld hervorgerufen wird.

Weitere Ausführungen zu VERA und der Datenqualitätskontrolle finden sich auch in Kapitel 13-3.2 und 13-3.3.

## 12-4 Methode

Bisher wurden in der Klimatologie und Untersuchung besonderer Wetterereignisse entweder Zeitreihen einzelner Stationen betrachtet oder es wurden Klassifikationen von zweidimensionalen Feldverteilungen (Wetterlagen- oder Strömungslagenklassifikationen (Steinacker 1990)) erstellt. Eine Kombination von sowohl räumlicher als auch zeitlicher Information wird dabei bisher, im Gegensatz zu Wettervorhersagen oder Klimamodellierungen, nicht herangezogen. Mit Hilfe von Ableitungen regelmäßiger Gitterpunktsdaten in räumlicher und zeitlicher Dimension kann nun ein neuer, bisher unerforschter Weg beschritten werden. Ableitungen erlauben nämlich, Eigenschaften des Verlaufs von Werten in zeitlicher und räumlicher Hinsicht anzugeben. So kann man etwa durch Betrachtung eines Ableitungsparameters erkennen, ob der zu untersuchende Wert im Bezug zu seinen umliegenden Werten gestiegen oder gefallen beziehungsweise ob er größer oder kleiner ist. Bei Verwendung höherer Ableitungen können noch weitaus komplexere Aussagen getroffen werden.

In diesem Projekt wurde nur der Parameter Druck mit der neuen Methode betrachtet, weil dieser Parameter in der Meteorologie eine zentrale Rolle spielt. Das Druckfeld steht nämlich in enger Beziehung einerseits zum Windfeld, andererseits zum Temperaturfeld. Bei Wettermodellen ist bis heute die Güte der vorhergesagten Druckfelder immer noch deutlich besser als die der prognostizierten Niederschlagsfelder. Deshalb ist es nahe liegend, statt die vorhergesagten Niederschlagsfelder alleine zu betrachten, Zusammenhänge zwischen Druck- und Niederschlagsfeld zu nutzen, um die Niederschlagsprognose zu verbessern. Da spezielle Druckkonfigurationen (typische räumlich zeitliche Muster) massiven Niederschlagsereignissen zuzuordnen sind, ist dieser Parameter auch in Bezug auf die klimatologisch, analytische und prognostische Betrachtung von Niederschlagsextremereignissen von Bedeutung.

### 12-4.1 Bildung der Ableitungen

Als erster Schritt müssen die Analysen der zu betrachtenden Wetterlagen mit VERA berechnet werden, damit aus den daraus gewonnenen Gitterpunktsdaten (regelmäßiges Gitter mit 20 km Gitterpunktsabstand) die gewünschten Ableitungen (Saucier 1989) gebildet werden können. Obwohl es prinzipiell möglich wäre, jede mögliche Kombination von ersten, zweiten oder noch höheren Ableitungen sowohl in den räumlichen als auch in die zeitliche Dimension gekoppelt oder getrennt zu bestimmen, wurden zur ersten Untersuchung nur die Aussagekräftigsten ausgewählt. Bei diesen sollten sich deutliche Signale bei Extremereignissen oder speziellen Wetterlagen zeigen. Für die derzeit vorhandenen zweidimensionalen VERA-Analysen sind dies die zweite räumliche Ableitung (Laplace), die gemischte räumliche und zeitliche Ableitung (Laplace-t) und die zweite Ableitung der Zeit (tt).

Die Berechnung erfolgt auf einem regelmäßigen Gitter, wobei die diskrete Form des Laplace des Druckes auf folgende Weise berechnet wird:

$$Laplace_p(x, y) = \frac{p(x+d, y) + p(x, y+d) + p(x-d, y) + p(x, y-d) - 4 \cdot p(x, y)}{(d)^2}$$

x und y sind die Koordinaten des Gitterpunktes für den die Ableitung gebildet werden soll. p steht für den Druck. d ist dabei der für die diskrete Ableitung benutzte Abstand. Dieser ist ein

Vielfaches des Gitterpunktabstandes der Analyse und die Wahl der Größe des  $d$  hat großen Einfluss auf das Ergebnis. Darauf wird am Ende dieses Kapitels eingegangen.

Für die Laplace-Zeit-Ableitung wird zuerst der Laplace für  $p(x,y,t+\Delta t)$  und  $p(x,y,t-\Delta t)$  berechnet. Dies geschieht also für jeweils 2 Termine, die im zeitlichen Abstand von  $2\Delta t$  liegen. Anschließend wird dann

$$(\text{Laplace} - t)_p(x, y, t) = \frac{\text{Laplace}(x, y, t + \Delta t) - \text{Laplace}(x, y, t - \Delta t)}{2 \cdot \Delta t}$$

bestimmt.

Für die zweite Zeitableitung wurde schließlich die nachstehende Formel benutzt:

$$tt_p(x, y, t) = \frac{p(x, y, t - \Delta t) - 2 \cdot p(x, y, t) + p(x, y, t + \Delta t)}{(\Delta t)^2}$$

Wie oben erwähnt ist ein wichtiger Punkt, um sinnvolle Ergebnisse zu erzielen, die richtige Wahl der räumlichen und/oder zeitlichen Distanz, über die die Ableitungen gebildet werden sollen. Wird diese zu klein gewählt, so wird das Bild zu rau, das Signal zu Rauschen Verhältnis (signal-to-noise-ratio) wird ungünstig und die signifikanten Strukturen sind dann nicht mehr erkennbar. Wird die Distanz hingegen zu groß, so werden die gesuchten Gebilde erst recht auf Grund ihrer „Kleinräumigkeit“ nicht erkannt, weil sie geglättet wurden. Man filtert dann die gewünschten mesoskaligen Signale aus den Feldern.

Dieser Umstand kann aber dazu benutzt werden, die Skaligkeit der untersuchten Wettersysteme zu bestimmen und dadurch weiterführende Aussagen tätigen zu können. Dies geschieht durch mehrmaliges Durchführen der Ableitungen mit verschiedenem  $d$  und/oder  $\Delta t$  und anschließendem Vergleich der gewonnen Bilder. Die so gewonnen Erkenntnisse lassen eine Einteilung der Wettersysteme in verschiedene Skalen zu. Dies kann wiederum eine wichtige Kennzahl zur Charakterisierung der Wetterlage darstellen.

Bei der für diese Untersuchung benutzten VERA ist diese Wahl auf 20km Schritte limitiert, Nachfolgeversionen erlauben aber eine individuelle Wahl dieser Distanz und somit sollte eine eingehende Betrachtung der Skaligkeit von Wetterextremereignissen möglich sein.

## 12-4.2 Bedeutung ausgewählter Ableitungen

Der Laplace des Druckfeldes kann mit der geostrophischen Vorticity (Wirbelhaftigkeit) gleichgesetzt werden. Positive Werte sind dabei einer Bewegung gegen den Uhrzeigersinn, also der einem Tiefdruckgebiet entsprechenden Rotation, gleichzusetzen. Negative Werte deuten auf eine Rotation im Uhrzeigersinn, also auf ein Hoch, hin. Dabei ist nicht an einem Punkt, sobald er einen positiven Wert aufweist, ein Tiefkern. Es wird nur eine Aussage über die Rotationsrichtung der Strömung gemacht. Aber daraus lässt sich bestimmen, ob die Atmosphäre eher von zyklonaler oder antizyklonaler Strömung geprägt ist. Dies wiederum kann etwa auf spezielle Wetterlagen wie Stau oder Tief- oder Hochdruckeinfluss hindeuten. Außerdem kann mit Hilfe einer zeitlichen Aufschlüsselung des Laplace auch über die Skaligkeit des Wettersystems Auskunft gegeben werden.

Die Laplace-t-Ableitung gibt nun die Änderung des Laplace mit der Zeit an. Ist der Laplace-t positiv so nimmt der Laplace zu, die geostrophische Vorticity nimmt zu und es wird daher

das Feld zyklonal. Ein Hoch wird also etwa zu einem Tief oder ein Tief verstärkt sich. Umgekehrt bedeutet eine negative Laplace-t-Ableitung, dass die geostrophische Vorticity abnimmt. In diesem Fall wird etwa ein Tief zu einem Hoch. Auf diese Weise können wichtige Informationen über den zeitlichen Verlauf der Strömungsbedingungen gewonnen werden.

Ist die zweite zeitliche Ableitung an einem Gitterpunkt negativ, so steigt in der betrachteten Zeitspanne zuerst der Druck an und fällt dann ab. Bei anfangs fallendem und später steigendem Druck ist die zweite zeitliche Ableitung positiv. Dies ist etwa bei Frontdurchgängen der Fall, wodurch diese objektiv und genau detektiert werden können. Wird die Zeitspanne zu kurz gewählt, so dominieren die kurzfristigen kleinen Druckschwankungen infolge Turbulenz, wählt man den Zeitschritt hingegen zu lang, so sind nur noch die synoptischen Strukturen (großskalige Hoch- und Tiefdruckgebiete) präsent und nicht die mit den (Extrem-) Niederschlagsereignissen typischerweise stärker gekoppelten mesoskaligen Strukturen. Mit Hilfe des zeitlichen Verlaufs der Maxima der zweiten Zeitableitungen an mehreren Gitterpunkten lässt sich somit etwa eine Aussage über die Geschwindigkeit einer von West nach Ost durchziehenden Front treffen, aber auch in Kombination mit anderen Ableitungen wiederum die Skaligkeit der Systeme angeben.

Die gemeinsame Betrachtung mehrerer verschiedener Ableitungen könnte erlauben, genauere, detailliertere und differenziertere Aussagen über Wettersysteme zu gewinnen. Die so durch die Ableitungen gewonnen Kennzahlen weisen vermutlich bei unterschiedlichen (Extrem-) Wetterereignissen ein spezielles Muster auf, das als mehrdimensionaler Vektor aufgefasst werden kann. Untersuchungen dieser jeweiligen Vektoren könnten eine Einschätzung der zu erwartenden Stärke und Charakteristik der Wetterphänomene ermöglichen.

## 12-5 Wetterlagen der Fallstudien

### 12-5.1 12.-17. September 1995

Am 12. war über Mitteleuropa eine südwestliche Höhenströmung zu finden. Am Bodensee herrschten gradientschwache Bedingungen. Im Bereich Schottland hingegen war ein Bodentief zu finden mit einem entsprechenden Höhentief bei Irland. Dieses Höhentief wanderte unter Abschwächung nach Süden. Damit verbunden ist auch ein Vordringen kühlerer Luftmassen aus dem Norden über das europäische Festland. Gleichzeitig entwickelte sich eine schwache Tiefdruckrinne, die von Großbritannien nach Italien reichte.

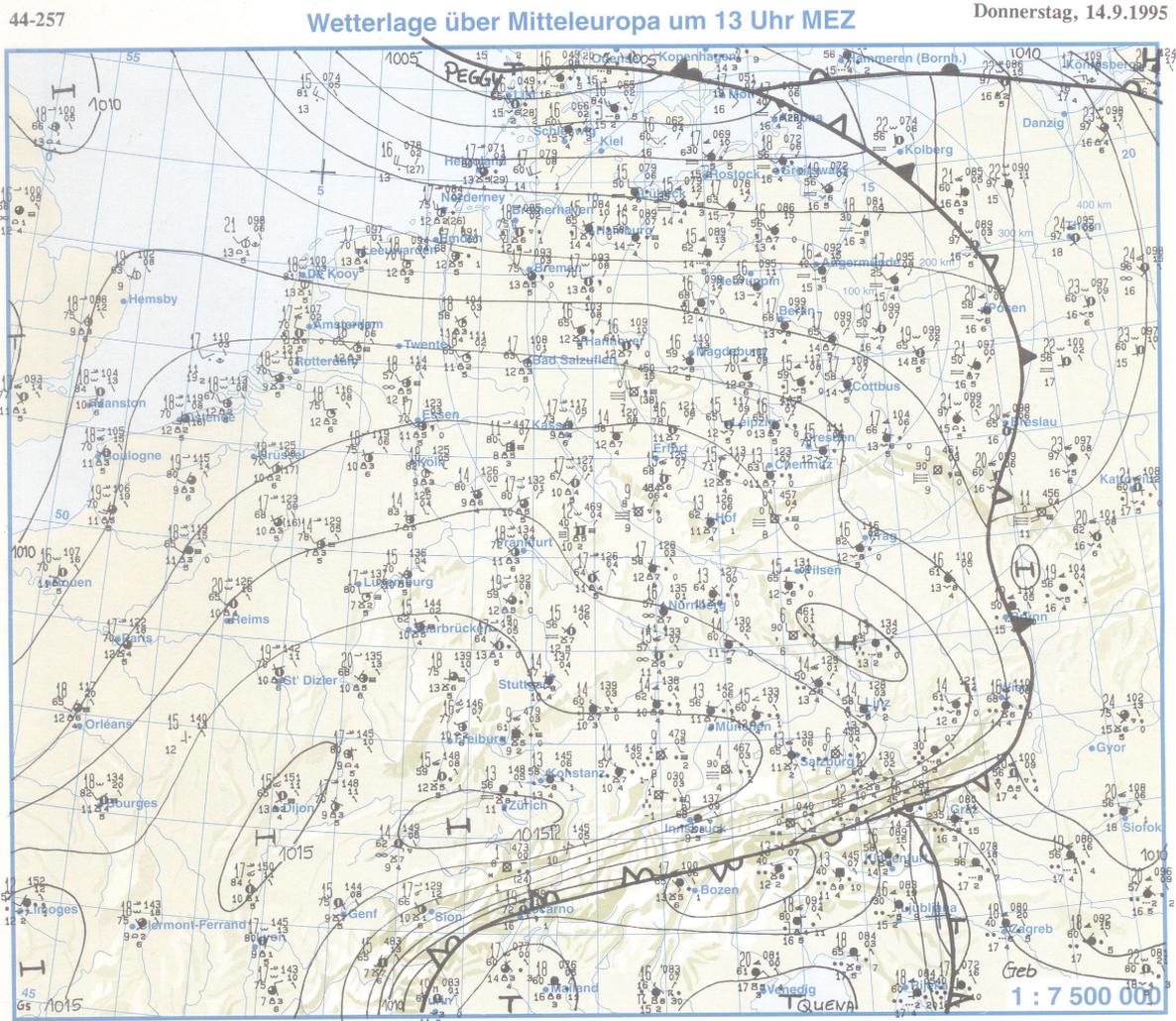


Abb.12-1: Berliner Wetterkarte (Handanalyse), Do.14.9.1995 12 UTC

Im Golf von Genua kam es zu der Entwicklung eines Tiefdruckgebietes. Am 14. erreichte der Höhentrog das Ligurische Meer, wo sich ein abgeschlossenes Höhentief ausbildete. Das sich intensivierende Bodentief (Abb.12-1) wanderte bis zum nächsten Tag bis zur Grenze Österreich-Ungarn (Abb. 12-2) und zieht dann weiter nach Osten ab. Das entsprechende Höhentief folgt dieser Zugbahn und bringt wärmere Mittelmeerluft in das betroffene Gebiet.

Entlang der Zugbahn des Tiefs kam es zu intensiven Niederschlägen, so dass es etwa in Wien zu Überflutungen kam. In Niederösterreich wurde Hochwasseralarm gegeben und auch die Bundesländer Kärnten, Steiermark und Burgenland waren von starken Niederschlägen betroffen. So fielen etwa in der Nacht zum 15. in Wien innerhalb von 12 Stunden 37mm in Graz konnten am 14. September 45mm in 12 Stunden gemessen werden.

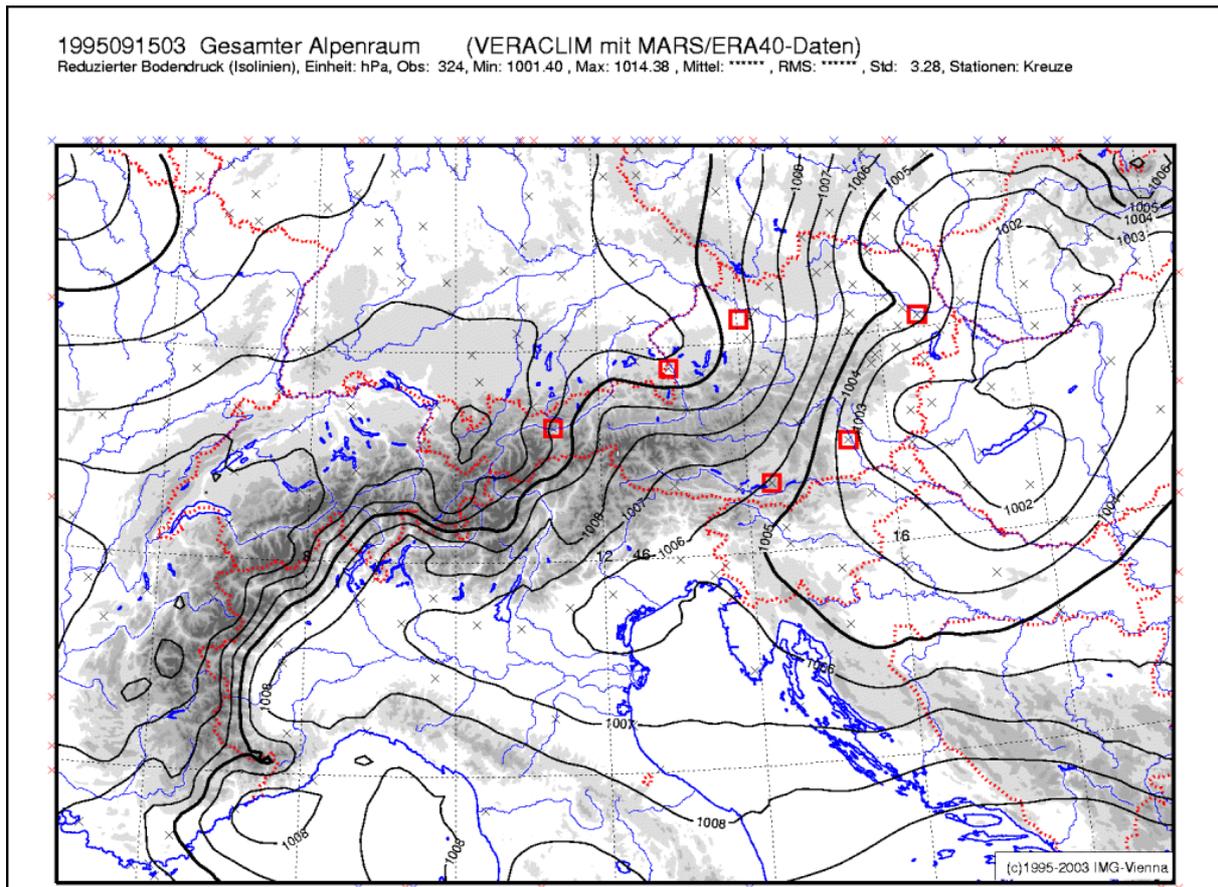


Abb.12-2: VERA-Druckanalyse (automatisch, objektiv) vom 15.09.1995 03 UTC (Bild von Christoph Lotteraner – Projekt VERACLIM<sup>1</sup>)

## 12-5.2 8.-13. Jänner 1999

Am 8. Jänner ist über Mitteleuropa eine nordwestliche Höhenströmung zu bemerken. Am Boden ist nur ein geringer Druckgradient von Süden nach Norden vorzufinden. In der Früh des nächsten Tages ist der Beginn einer Keilentwicklung über dem Atlantik und einer Trogentwicklung über Westeuropa zu bemerken. Am Boden ist eine Hochdruckzunge von Frankreich ausgehend entlang des Nordrandes der Alpen zu sehen. Die kühle Luft aus dem Norden wandert über gesamt Europa etwas weiter in den Süden. Am 10. reicht der Höhentrog bis nach Spanien, wo es zu dem Entstehen eines Bodentiefs kommt, über dem ein abgeschlossenes Höhentief liegt. Bis zum nächsten Tag ist das Höhentief nördlich der Pyrenäen in Frankreich. Der entsprechende Höhentrog verlagerte sich nach Osten. Ein kleines, mit diesem Trog verbundenes Tief westlich des Troges, wandert im Laufe des Tages nach Süden, wo es schließlich abtropft. Ein Kaltlufttrog über Spanien und Frankreich reicht bis nach Nordafrika. Das Bodentief erreicht bis zum 11. den Bereich um Sardinien. Im Laufe des Tages wandert es nach Norden (Abb. 12-3), wobei es sich abschwächt und schließlich südlich der Alpen verschwindet. Dafür bildet sich jedoch im Norden der Alpen ein Tiefdruckgebiet (Abb.12-4). Dieses zieht bis zum nächsten Morgen bis Polen. Der Höhentrog ist über Mitteleuropa zu finden und auch der Kaltlufttrog bedeckt West- und Mitteleuropa. Am 13. Jänner liegen Boden- und Höhentief wieder übereinander in der Gegend von Lettland. Über den Alpen bildet sich eine westliche Höhenströmung aus.

<sup>1</sup> VERACLIM: [www.univie.ac.at/IMG-Wien/projects/veraklim/index.htm](http://www.univie.ac.at/IMG-Wien/projects/veraklim/index.htm)

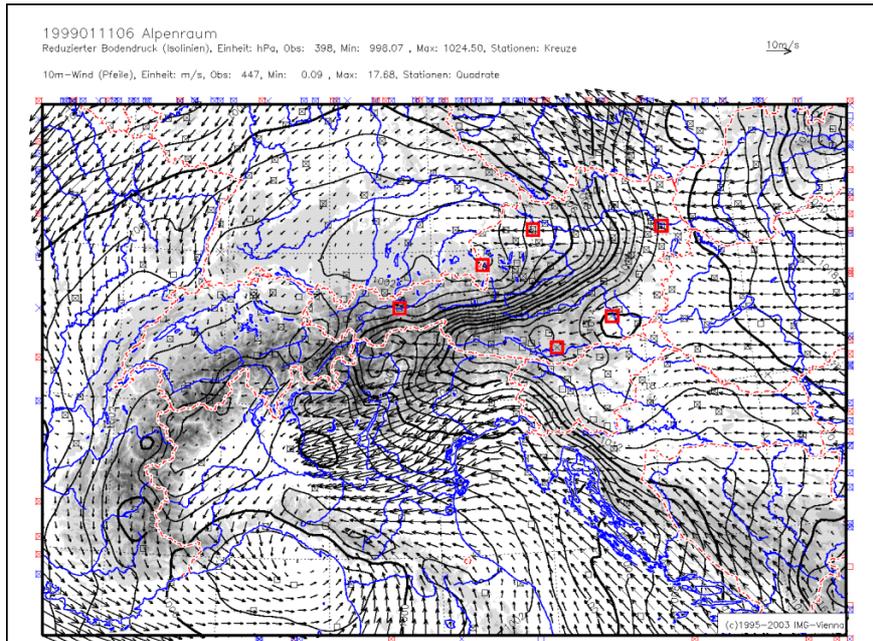


Abb.12-3: VERA-Druck- und Windanalyse (automatisch, objektiv) mit 10m-Windpfeilen vom 11.01.1999 06 UTC

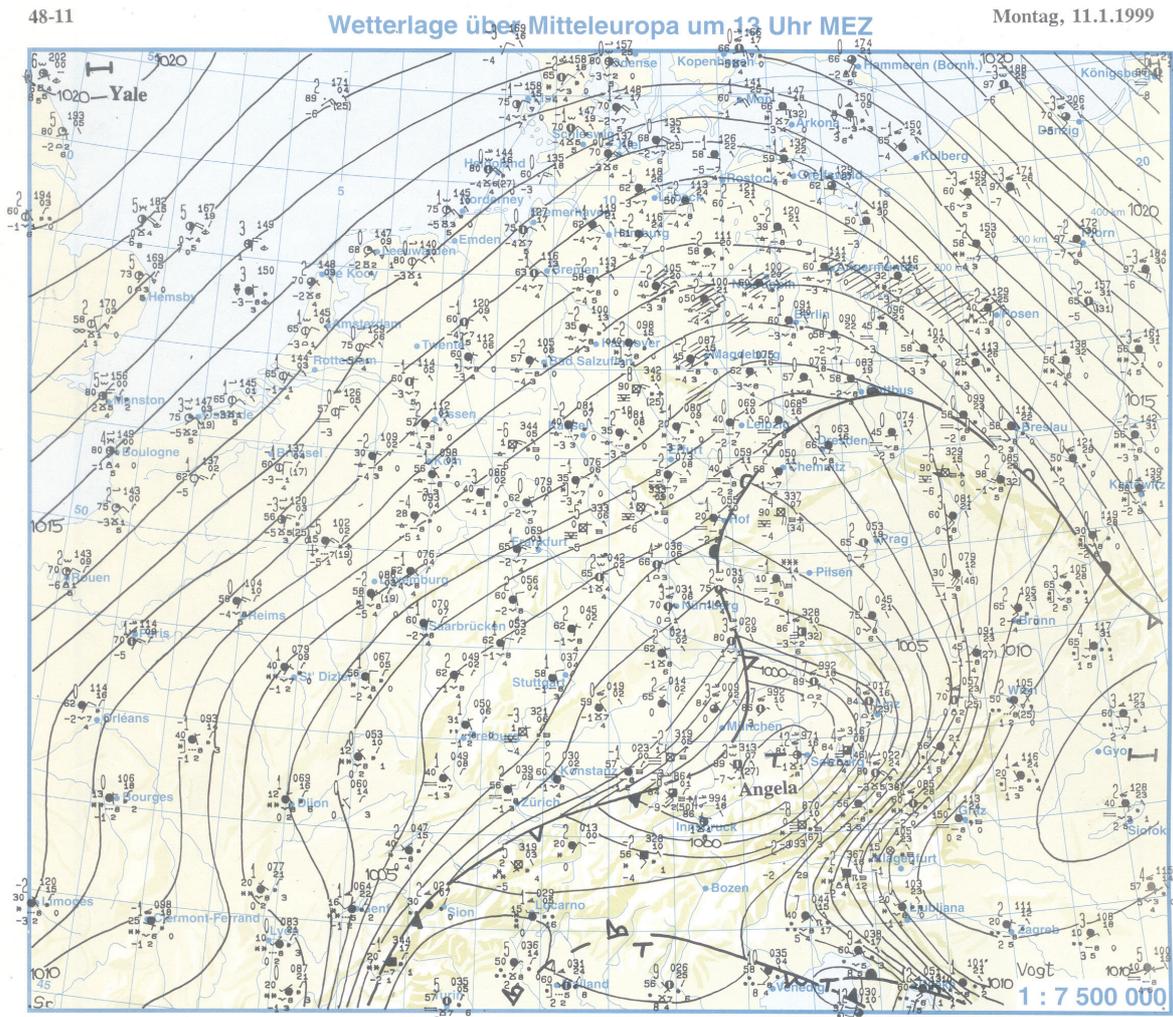


Abb.12-4: Berliner Wetterkarte (Handanalyse), Mo.11.1.1999 12 UTC

Lienz ist am 11. Jänner von einem 12-stündigen Niederschlag von 44mm betroffen, Klagenfurt erhält in derselben Zeitspanne nur 8mm. In Österreich ist der Niederschlag in dieser Periode eher gering. In Frankreich und in Spanien fallen hingegen größere Niederschlagsmengen an. In Mitteleuropa ist die Wetterlage auf Grund des Springens des Tiefs vom Süden der Alpen nach Norden sehr interessant. Dies geschieht nämlich unter Auffüllung des Tiefs am südlichen Alpenfuß und unter Ausbildung eines neuen Tiefdruckkerns im Norden der Alpen.

**12-5.3 5.-14. August 2002**

Innerhalb des Zeitraumes vom 5. bis zum 14. August 2002 gab es zwei Wetterlagen die in mehreren Gebieten Süd- und Mitteleuropas zu enormen Niederschlagsmengen und als Folge davon zu verheerendem Hochwasser mit katastrophalen Auswirkungen führten.

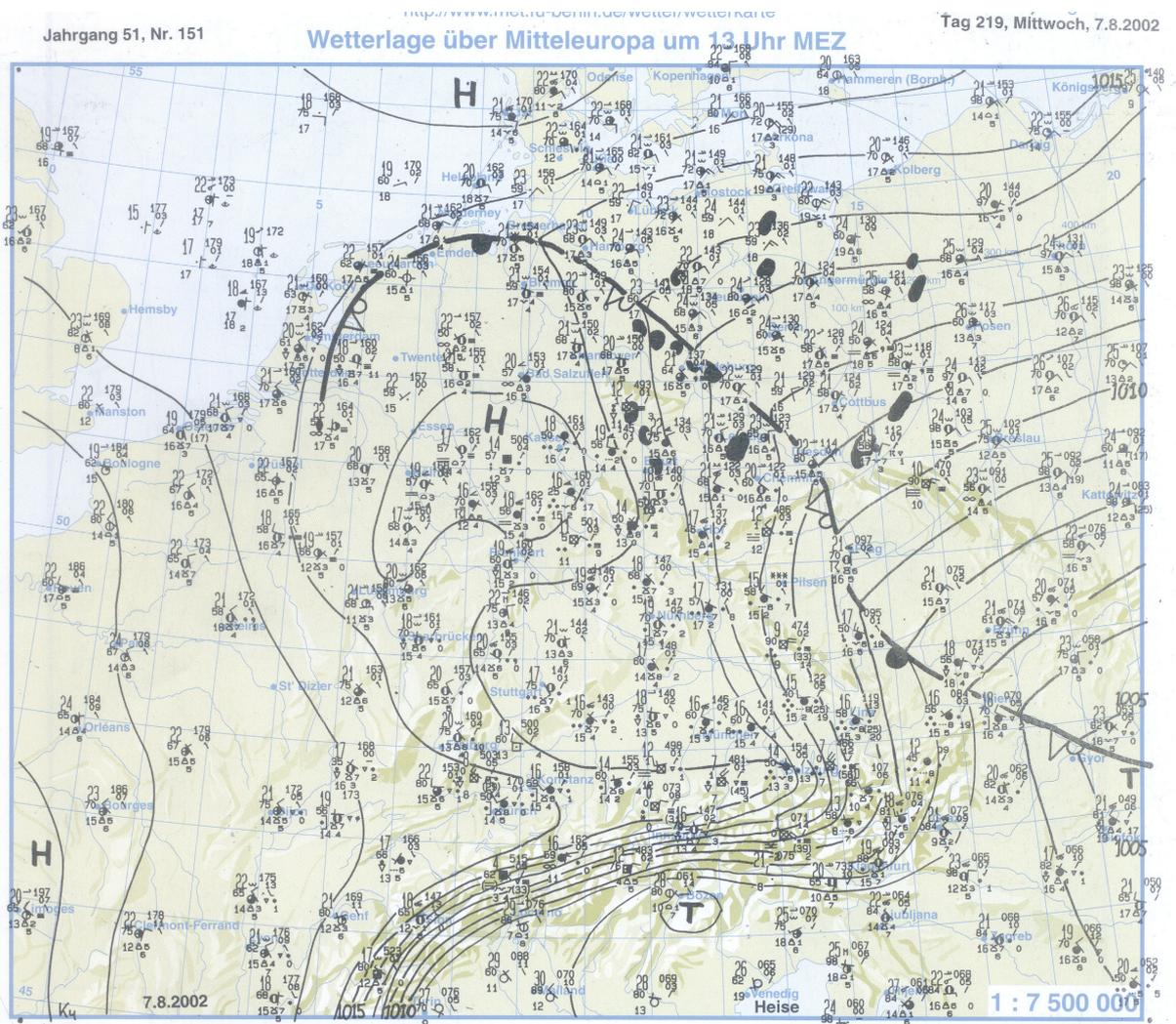


Abb.12-5: Berliner Wetterkarte (Handanalyse), Mi.7.8.2002 12 UTC

Ein länglicher Kaltlufttropfen lag mit seinem Zentrum am 6.8. 2002 über Frankreich. Bis zum 7.8. schwenkte der südliche Teil bis nach Oberitalien und induzierte dort ein moderates Genuatief (Abb.12-5). Dadurch wurde in der extrem labil geschichteten Mittelmeerluft verbreitet hoch reichende Konvektion mit Gewittern, Starkregen und Hagel ausgelöst. Der südliche Teil des Höhentiefs wanderte im Weiteren relativ rasch nach Osten ab, ohne jedoch die Verbindung zum nordwestlichen Teil aufzulösen. Dadurch blieben der Ostalpenraum und

der Nordosten Mitteleuropas für mehr als einen Tag genau in der Luftmassengrenze zwischen der kühleren atlantischen und der energiereichen, feuchtwarmen Mittelmeerluft. Die aufsteigende Luftbewegung im Bereich der Okklusion verbunden mit Konvektion in der labilen Warmluftmasse erzeugte enorme Niederschlagsmengen. Besonders groß waren die Mengen dort, wo die Luft durch die nördliche bis östliche Bodenströmung im Gebirgsstau zusätzlich gehoben wurde, wie entlang der Nordalpen und der Mittelgebirge an der österreichisch-tschechischen Grenze.

Am 10.8. strömte, kurz nach dem ersten Hochwasserereignis, hoch reichende Kaltluft vom Nordatlantik über die Britischen Inseln und Frankreich begleitet von einem scharfen Höhentrog ins westliche Mittelmeer. Unterstützt von der labilisierenden Wirkung des Mittelmeeres, löste sie im Golf von Genua eine kräftige Zyklonogenese aus. Am 10. und 11.8. war daher das westliche Mittelmeer von den Balearen bis zu den Dinarischen Alpen von den stärksten Niederschlägen betroffen.

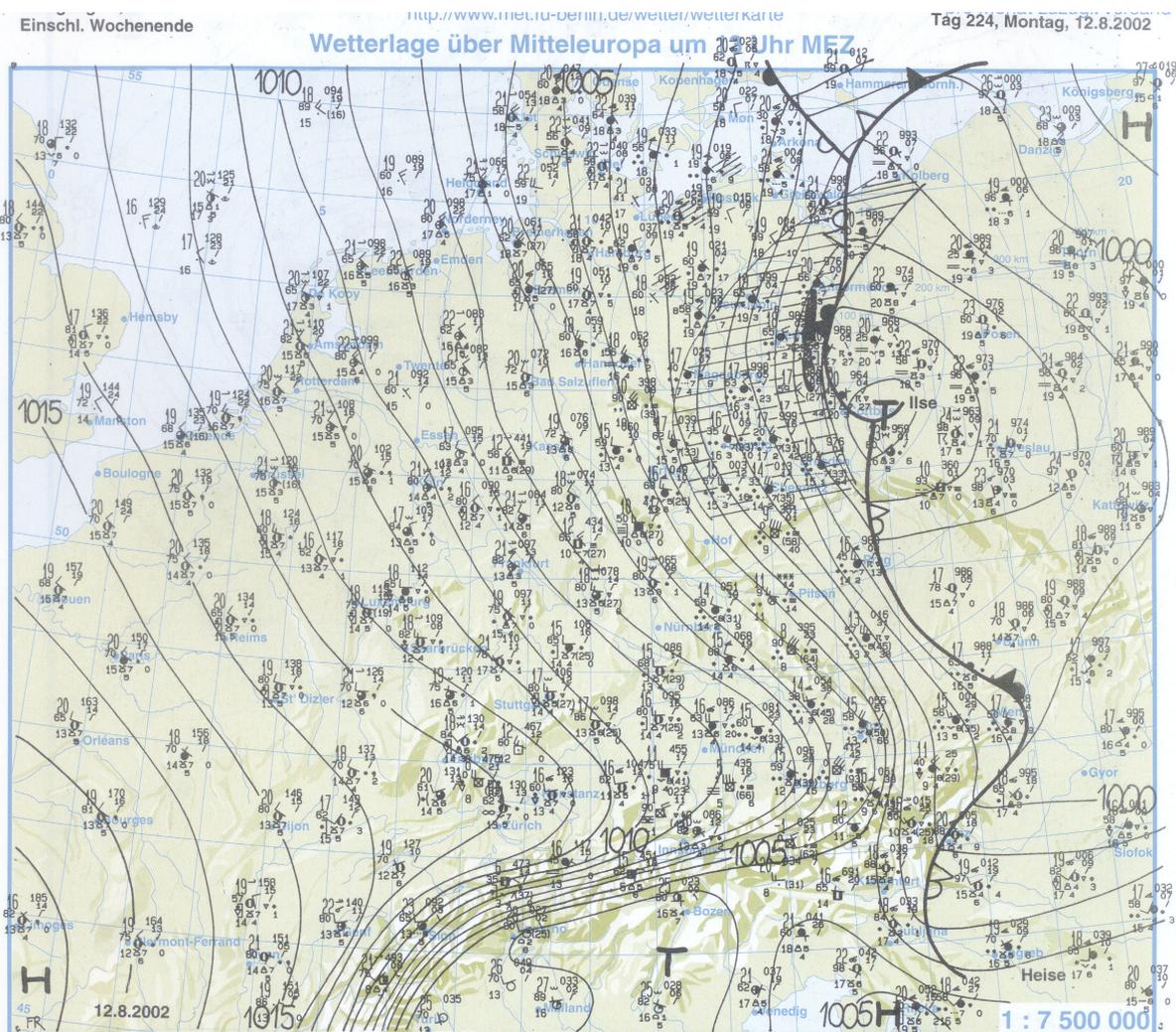


Abb.12-6: Berliner Wetterkarte (Handanalyse), Mo.12.8.2002 12 UTC

Über Oberitalien schnürte sich der Tiefdrucktrog in den höheren Atmosphärenschichten auf Grund der Intensivierung des Tiefs ab. Dadurch wurde Mittelmeerluft an der Ostflanke des Tiefdruckkomplexes weit nach Norden transportiert.

Am 11.8. wanderte das Zentrum des Bodentiefs in die obere Adria, wobei sich im Laufe des Tages ein Teiltief nördlich der Alpen entwickelte. Der Tiefdruckkomplex blieb, im Gegensatz

zu üblichen Vb-Wetterlagen<sup>2</sup>, relativ lange im Alpenraum und führte dadurch zu den lang anhaltenden, ergiebigen Niederschlägen. Im Laufe des 12.8. begann sich das Tiefdruckgebiet allmählich nach Nordosten zu verlagern, wobei sich in einem Streifen von Ostdeutschland über Tschechien bis zu den österreichischen Nordalpen eine stürmische nördliche bis nordwestliche Strömung einstellte (Abb.12-6 und Abb.12-7). In höheren Schichten wurde die feuchtwarme Mittelmeerluft in der Okklusion weiter zum Aufsteigen gezwungen. Durch zusätzliche Hebung im Stau der Gebirge kam es zu einer Verstärkung der Niederschläge.

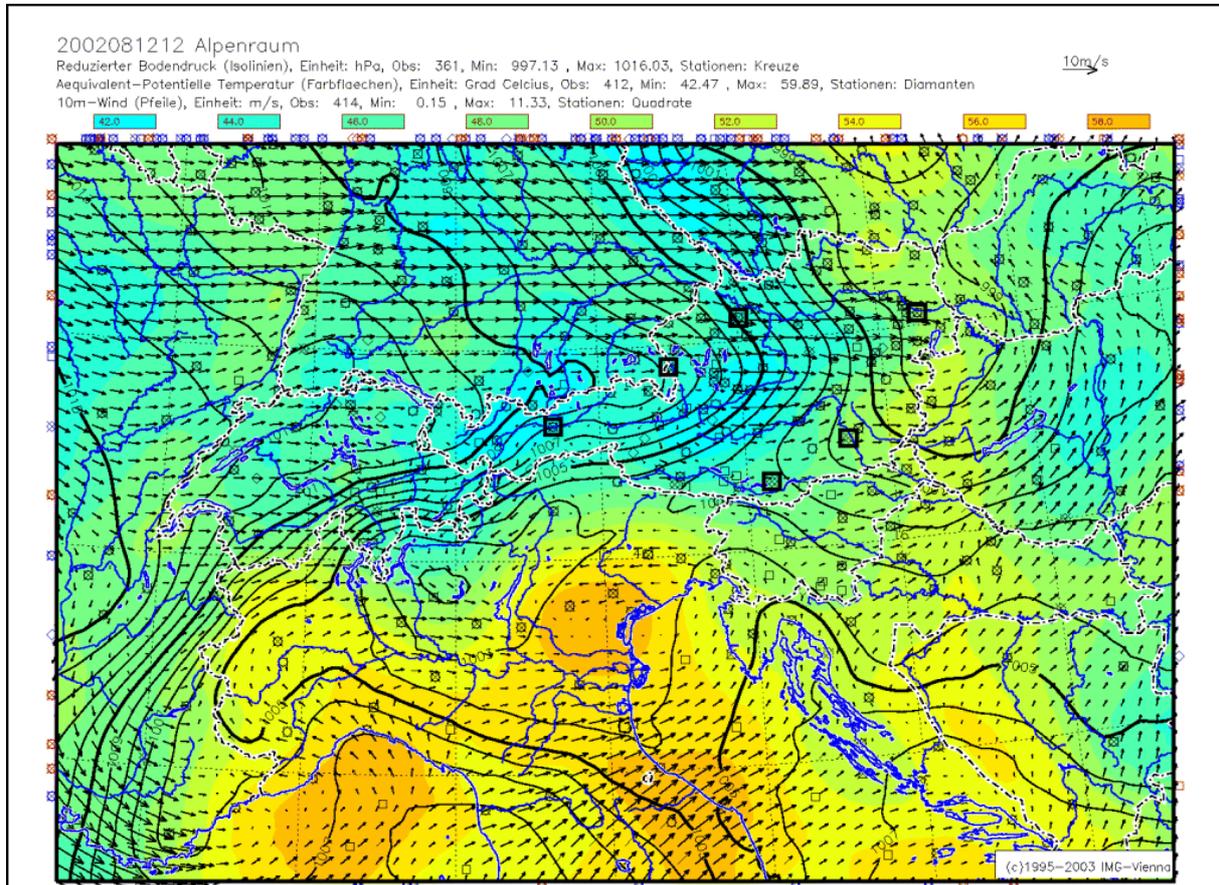


Abb.12-7: VERA-Druckanalyse und Analyse der äquivalentpotentiellen Temperatur (beides automatisch, objektiv) vom 12.08.2002 12 UTC

Trotz der Abwanderung des Tiefdruckgebietes hielten die Niederschläge besonders im Nordosten Österreichs noch bis zum 13.8. an.

Eine ausführliche Beschreibung der Wetterlage vom Hochwasserereignis August 2002 wurde von Steinacker 2002 verfasst.

<sup>2</sup> Einteilung der Zugbahnen von Tiefdruckgebieten nach van Bebber. Zyklonen, die etwa über dem Golf von Genua oder der Adria entstanden sind und am Alpenostrand entlang nach Nordost Richtung Polen ziehen, folgen der Vb-Zugbahn.

## 12-6 Ergebnisse

### 12-6.1 Skalenanalyse

Wie schon am Ende des Kapitel 12-3.1 erwähnt, kann man durch das Bilden der Ableitungen über unterschiedliche Gitterdistanzen auf die Skaligkeit des Phänomens schließen. Der Einfluss der Gitterdistanz auf das Ableitungsfeld wird hier an Hand eines Beispielles (Abb. 12-8) verdeutlicht.

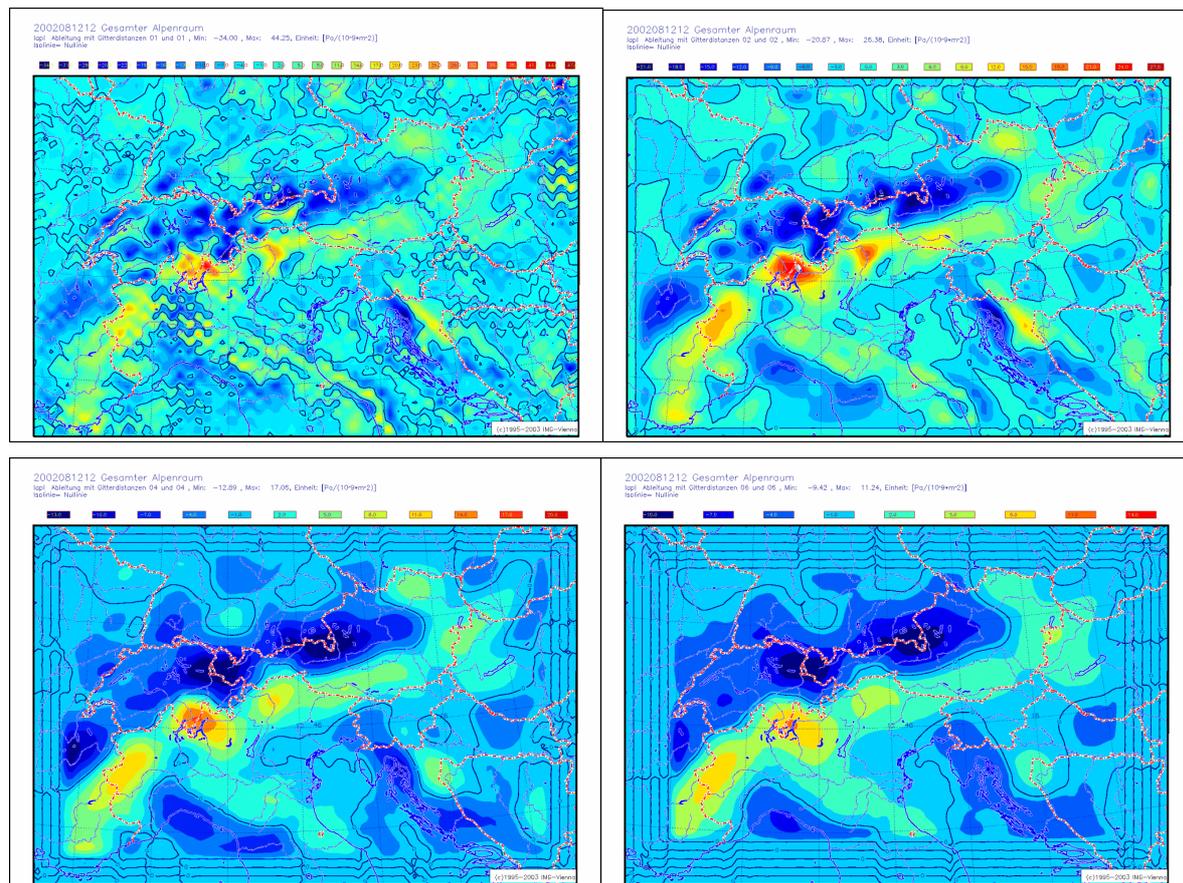


Abb.12-8: Laplace, gebildet über 1(lo), 2(ro), 4(lu) und 6 (ru) Gitterpunktdistanzen in x- und y-Richtung vom 12.8.2002 12 UTC

Links oben ist die Ableitung über eine Gitterpunktdistanz (entspricht 20 km) gebildet worden. Man sieht, dass zwar eine großflächigere Struktur erahnbar, aber noch nicht gut sichtbar ist. Schon ab zwei Gitterdistanzen (rechts oben) wird das besser. Das kleinräumige Rauschen verschwindet zum Großteil. Die Änderungen zu den Bildern bei denen die Ableitung links unten über eine Distanz von 4 Gitterpunkten und rechts unten über eine Distanz von 6 Gitterpunkten gebildet wurde, sind schon relativ ähnlich. Man merkt aber deutlich den Effekt der Glättung bei größeren Distanzen über die die Ableitung gebildet wird. Aus dieser Auswahl von Bildern kann man schließen, dass das betrachtete System eine Skala zwischen 80 und 120km hat. Da der Gradient, der zu diesem Zeitpunkt, wie in Abb. 12-6 und 12-7 gezeigt, über den Alpen liegt, eine Ausdehnung von etwa 100 km hat, ist das eine sehr gute Abschätzung.

## 12-6.2 Aussagen der Ableitungen

Es ergeben sich nach intensiver Durchsicht viel versprechende Ergebnisse. So ist etwa eine scharfe Quantifizierung im räumlichen und zeitlichen Sinne von mesoskaligen, wetterwirksamen Systemen möglich, sowie auch eine Unterscheidung zu synoptisch-skaligen Phänomenen.

### 12-6.2.1 Laplace

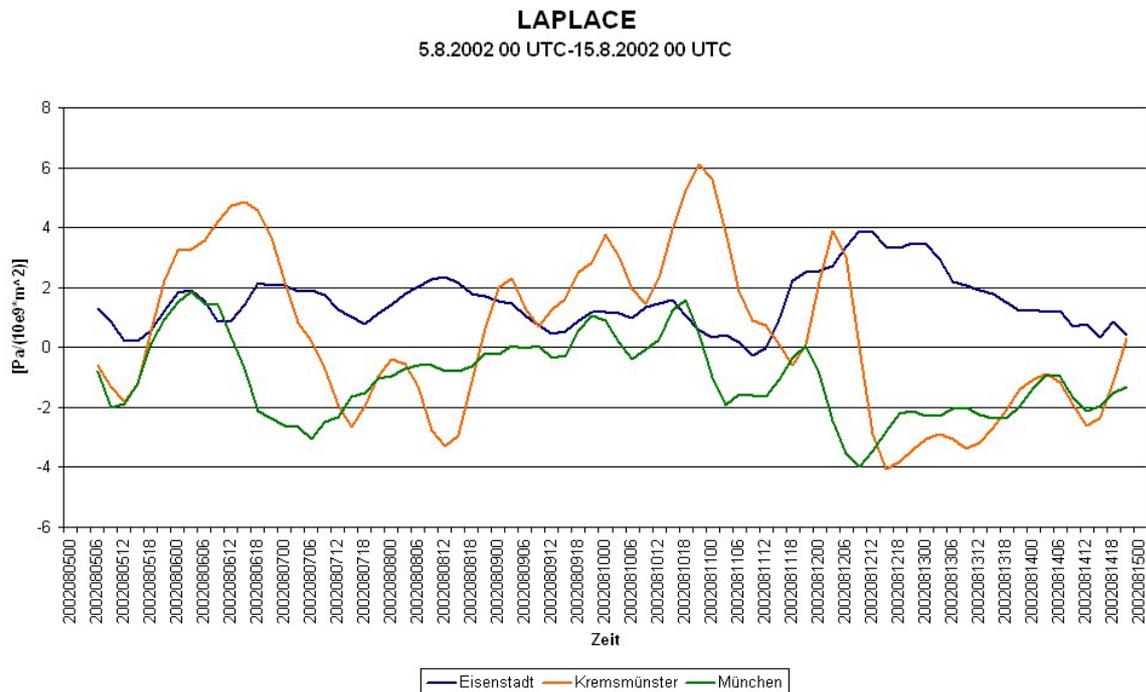


Abb.12-9: Zeitreihen des Laplace während der Hochwasserperiode 2002

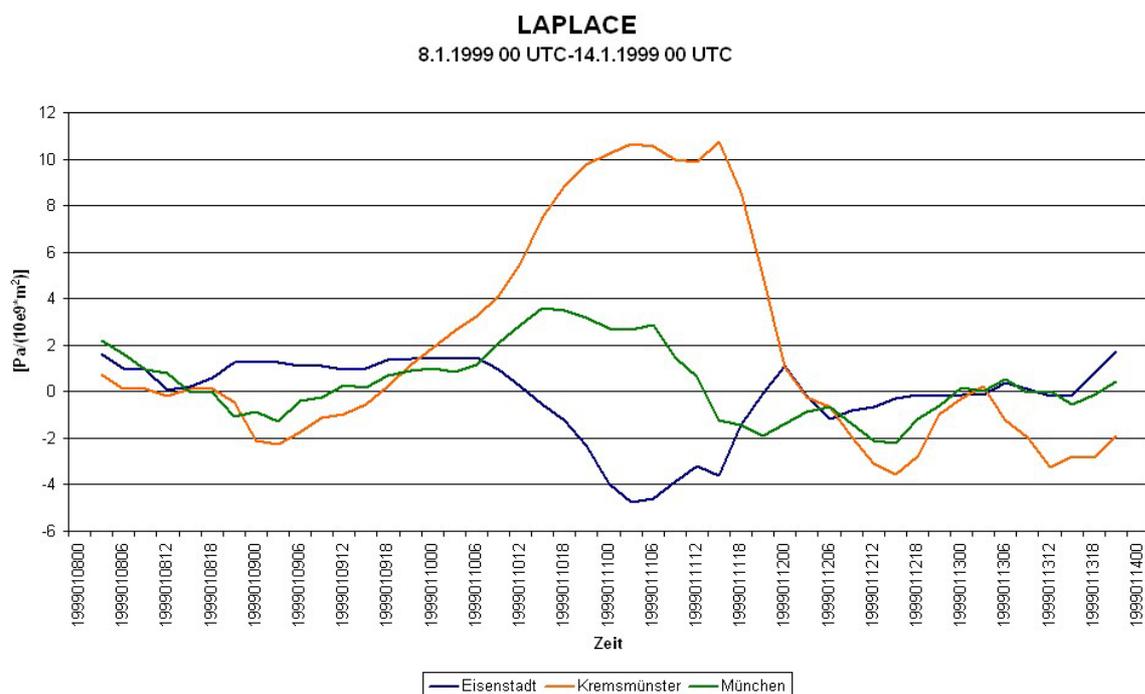


Abb.12-10: Zeitreihen des Laplace während der Niederschlagsperiode 1999

In Abb.12-9 und 12-10 sind die Zeitreihen des Laplace für die zwei Niederschlagsereignisse 1999 und 2002 an ausgewählten Gitterpunkten dargestellt. Die räumlichen Ableitungen wurden über 120 km (entspricht 6 Gitterpunkten) gebildet. Die Gitterpunkte liegen nördlich der Alpen in einem ungefähren Abstand von 200km von einander und können mit den angeführten Städten Eisenstadt, Kremsmünster und München assoziiert werden. Die Zeitreihen wurden aus von einander unabhängigen dreistündigen Analysen gewonnen, wobei für die Darstellung ein gleitendes Mittel verwendet wurde.

Vergleicht man diese zwei Abbildungen, so erkennt man deutlich den Unterschied in der Skale des beobachteten Phänomens. Besonders eindrucksvoll ist das an Hand der orangen Kurve (Kremsmünster) zu erkennen. Im Jahr 2002, in dem die Mesoskala eine wichtige Rolle bei dem Niederschlagsereignis spielte, sind deutlich mehrere, nur über einige Stunden vorhandene, Spitzen des Laplace zu bemerken. Im Jahr 1999 hingegen ist breites Maximum des Laplace über ungefähr zwei Tage hinweg zu sehen. Auch die beiden anderen Kurven in diesen Abbildungen wiesen deutlich diese unterschiedlichen Muster auf.

Interessant ist auch das Vorzeichen der einzelnen Kurven im Jahr 1999. Während das deutlich ausgeprägte Signal sowohl für München als auch für Kremsmünster positive Werte hat und somit ein Gebiet tieferen Druckes mit positiver geostrophischen Vorticity andeutet, sind die Werte für Eisenstadt negativ, was auf höheren Druck hindeutet.

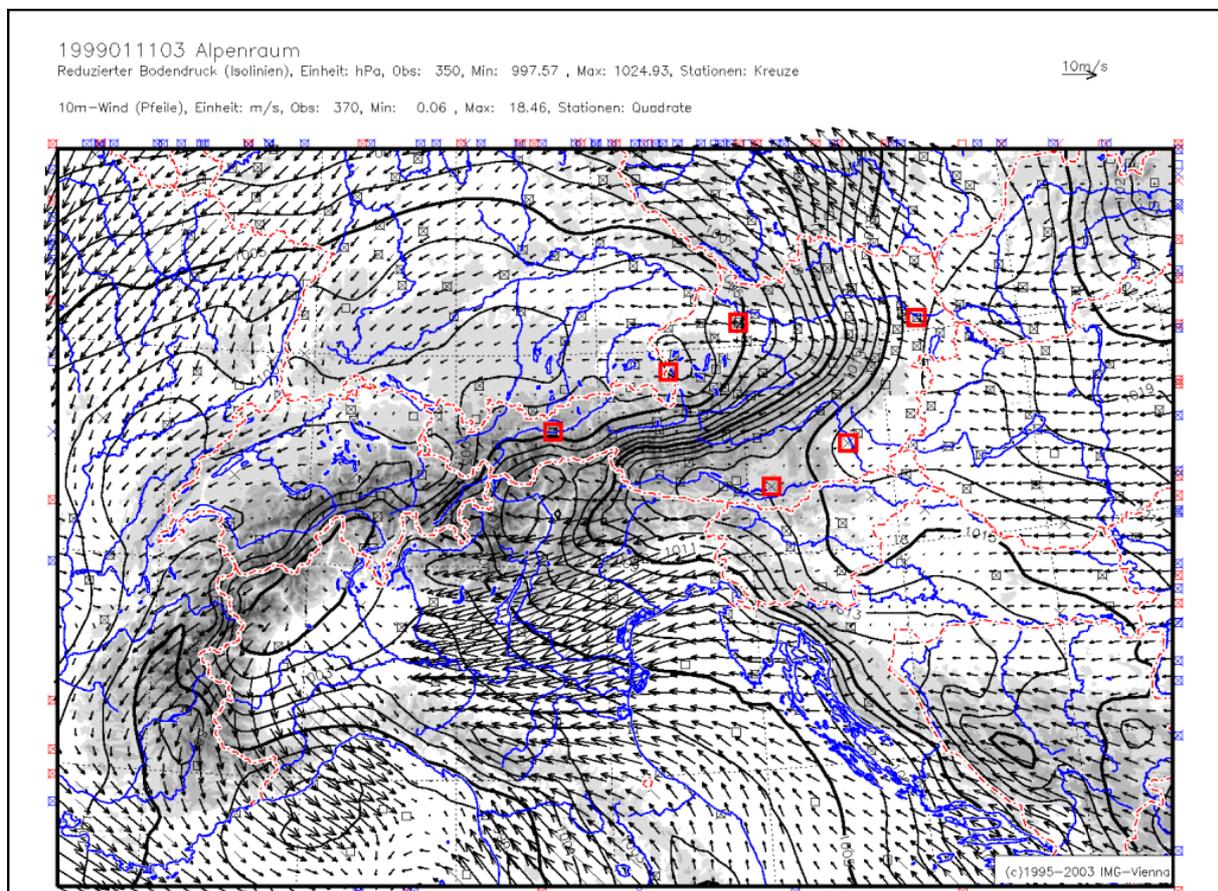


Abb.12-11: VERA-Druck- und Windanalyse (automatisch, objektiv) für den 11.1.1999 3 UTC

In Abbildung 12-11 ist die VERA-Analyse vom Druckfeld für den 11. Jänner 1999 um 3 UTC und das entsprechende Windfeld geplottet. Der starke Druckgradient entlang des Alpenhauptkammes ist deutlich zu sehen. Der höhere Druck ist dabei im Osten und Süden, der niedrigere westlich und nördlich der Alpen zu finden. Vergleicht man das nun mit der Abbildung 12-12, in der der Laplace für genau diesen Zeitpunkt dargestellt ist, so sieht man die gute Übereinstimmung des tieferen Druckes mit den positiven Laplace-Werten. Nicht nur

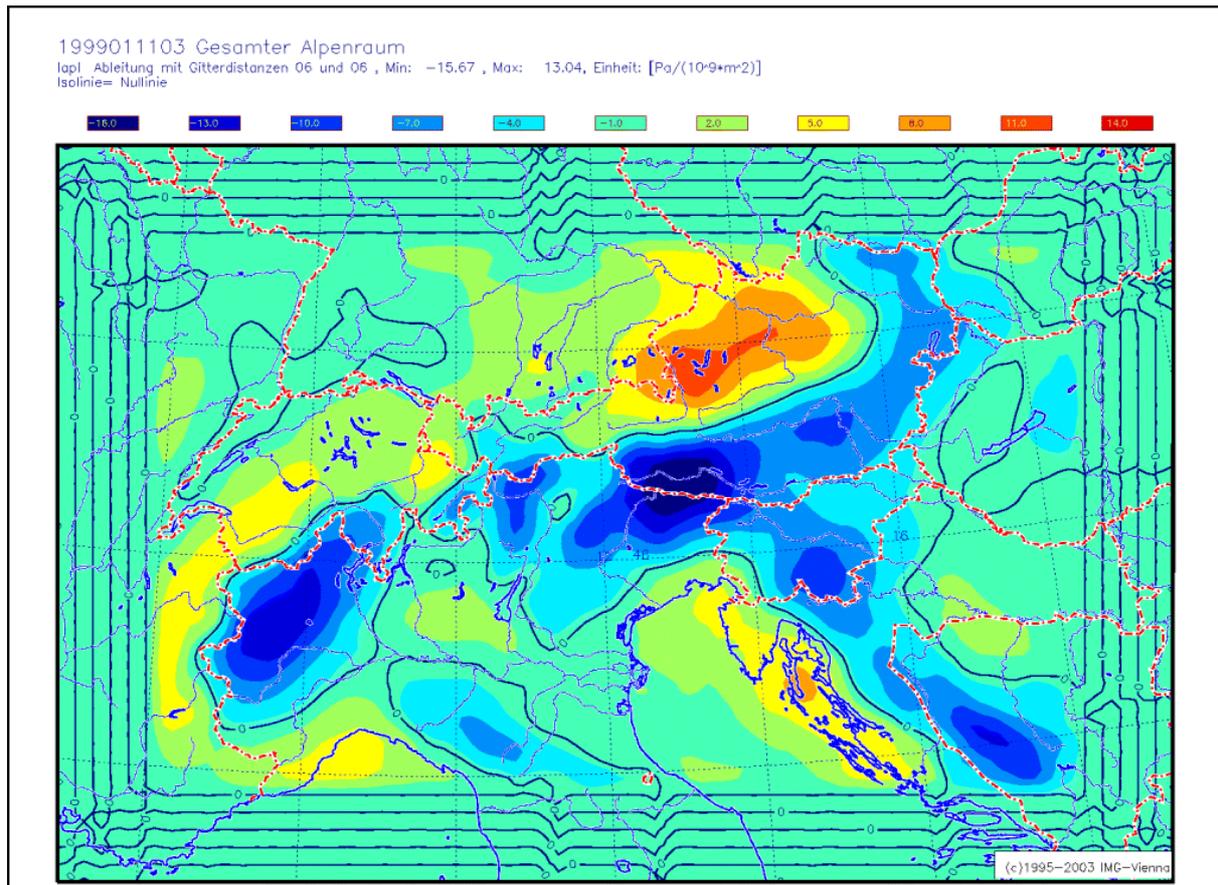


Abb.12-12: Feld des Laplace vom 11.1.1999 3 UTC, Ableitungen über 6 Gitterpunkte gebildet

der deutlich tiefere Druck am Nordrand der Alpen, sondern auch der lokal etwas tiefere Druck im Bereich der Adria ist erkennbar. Das Hoch im Nordwesten Italiens in den Alpen ist deutlich in der Abbildung 12-11 zu finden. Diese Abbildung ist auch in Übereinstimmung mit der Zeitreihe von Abbildung 12-10, in der sowohl München als auch Kremsmünster zu diesem Zeitpunkt eine positive Ableitung zeigen, Eisenstadt hingegen negative Werte aufweist. Die Nulllinien am Rand der Abbildung sind darauf zurückzuführen, dass hier aufgrund der gewählten Ableitungsdistanz keine Ableitungen gebildet werden konnten.

### 12-6.2.2 Zweite Zeitableitung

In Abbildung 12-13 ist der Unterschied zwischen langsam und schnell wandernden mesoskaligen Systemen gut erkennbar. Das erste hervorstechende Signal (~11.1.1999 15 UTC) war ein langsam wanderndes Tief, während das zweite (~13.1.1999 6 UTC) von einer rasch wandernden Front hervorgerufen wurde. Die Spitzen dieser Signale wurden im ersten Fall mit einer ungefähr 3-stündigen Verzögerung von den einzelnen Kurven erreicht, wobei die westlichste Stadt zuerst von den hohen Werten der zweiten Zeitableitung betroffen war. Die Verlagerung erfolgte eindeutig von West nach Osten hin fortschreitend, wie man der Zeitverschiebung der einzelnen Kurvenmaxima zueinander erkennen kann. Im zweiten Fall liegen die Spitzenwerte um einiges enger beieinander.

**2. ZEITABLEITUNG**  
8.1.1999 00UTC-14.1.1999 00UTC

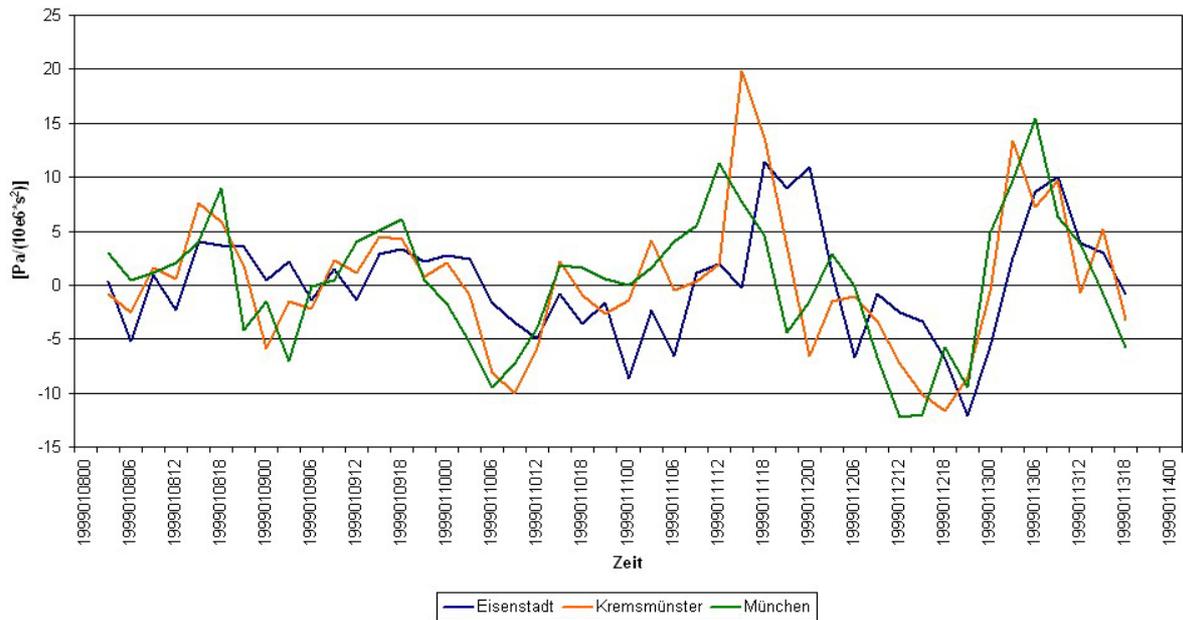


Abb.12-13: Zeitreihe der zweiten Zeitableitung während der Niederschlagsperiode 1999

**12-6.2.3 Niederschlagsereignis 1995**

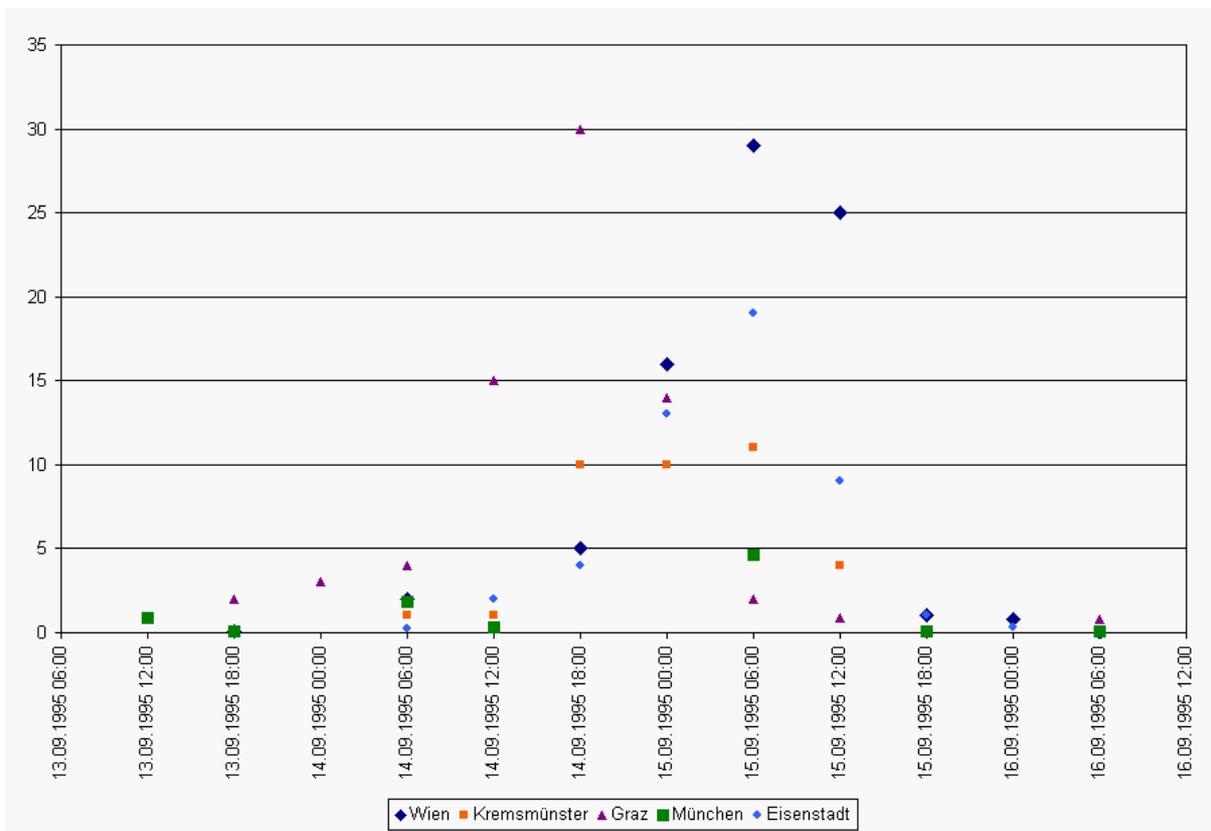


Abb.12-14: 6-stündiger Niederschlag in mm im September 1995

Vergleicht man die zeitlichen und räumlichen Niederschlagsverteilung (Abb. 12-14) im September 1995 mit den Zeitreihen des Laplace (Abb. 12-15) so sieht man, dass gleichzeitig mit dem Anstieg der 6-stündigen Niederschlagsmengen in Eisenstadt (14.9.1995 18 UTC) und Graz (14.9.1995 0 UTC) ein Anstieg des Laplace zu bemerken ist. In Kremsmünster ist mit der Abnahme des 6-stündigen Niederschlages auch eine Abnahme des Laplace, mit der Zunahme der Niederschlagsmengen ein Anstieg dieses Parameter beobachtbar. Während auch in Eisenstadt die Abnahme des Niederschlages mit einem Fallen des Laplace-Wertes in Verbindung steht, ist in Graz bei einer starken Abnahme der Niederschlagsmengen fast keine Änderung im Laplace zu sehen. Bei den geringen Niederschlagsmengen in München kann gar keine Aussage bezüglich eines Zusammenhanges mit der geostrophischen Vorticity getroffen werden.

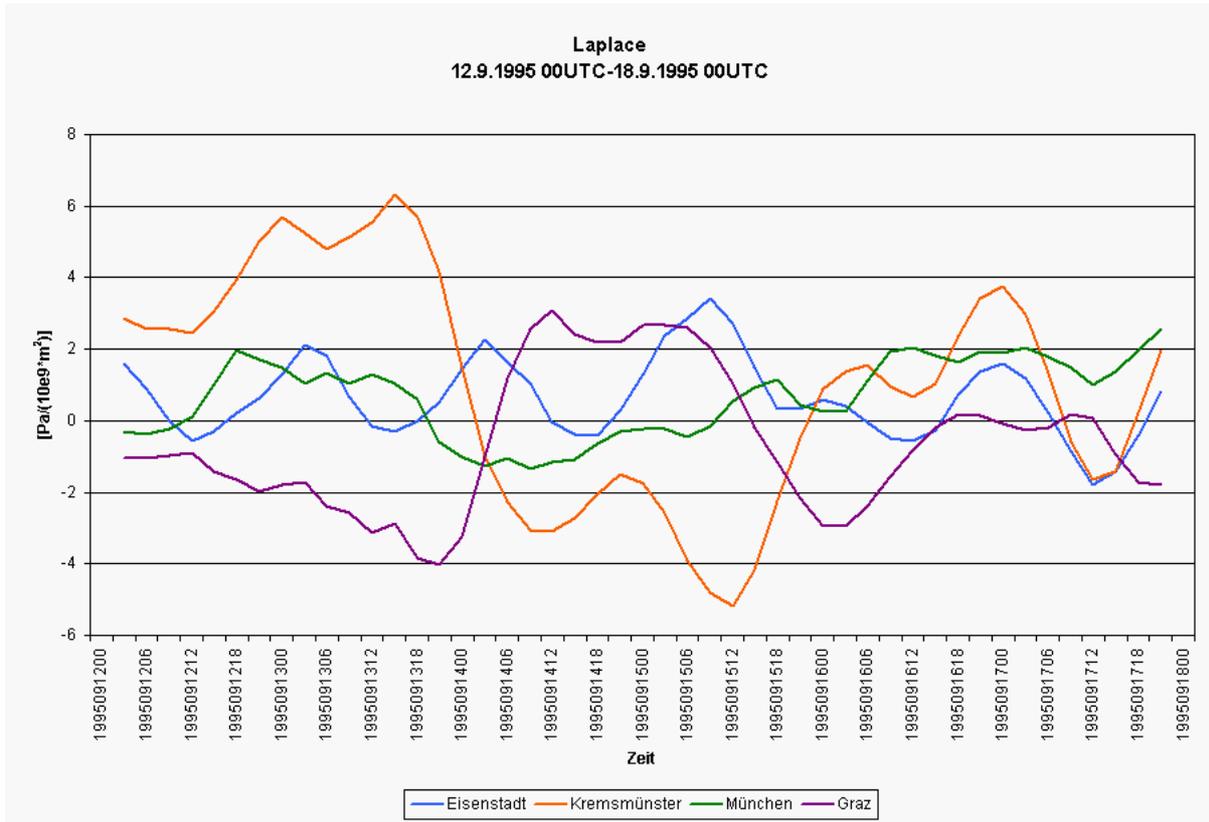


Abb.12-15: Zeitreihen des Laplace für das Niederschlagsereignis 1995

Aus dem Vergleich zwischen der Niederschlagsverteilung 1995 und der zeitlich-räumlichen Ableitung (Laplace-t, Abb. 12-16) für diesen Zeitraum kann keine Aussage getroffen werden. Allerdings bemerkt man, dass die deutlichste Zunahme der zyklonalen Vorticity in Graz zwischen dem 13.9. 18 UTC und dem 14.9. 0 UTC stattfand. Zu etwa derselben Zeit nahm in Kremsmünster noch die antizyklonale Vorticity zu, was mit einem Anstieg des Druckes gleichgesetzt werden kann. Für Eisenstadt erkennt man am 12. und 13.9. auf dieser Abbildung einen deutlichen Tagesgang mit den tiefsten Werten um ungefähr 6 UTC und den Maxima um 0 UTC. Am 15. sieht man eine Störung dieses Ablaufes. Während das Maximum noch planmäßig um 0 UTC erreicht wird, verschiebt sich das Minimum auf ungefähr 15 UTC. Man kann daraus schließen, dass die Einstellung einer antizyklonalen Strömung etwa durch ein heranziehendes Tief behindert worden ist. Bis 21 UTC findet wieder eine Umstellung auf eine zyklonalere Strömung statt. Mit dem Erreichen des Minimums der Ableitung um 6 UTC des Folgetages scheint die Störung schon abgezogen zu sein. Diese Aussagen bezüglich der Änderung der Strömung bei Eisenstadt und des Verhaltens des Druckfeldes in diesem Gebiet könnte man aus den Stationsdaten selbst kaum ableiten (Tab.12-1). Aus den hier gezeigten Druckdaten von Eisenstadt und den nächstliegenden Stationen, die so gewählt wurden, dass in jeder Himmelsrichtung eine in einem Abstand von 20-40 km liegt, ist kaum

eine Aussage über die relative Druckverteilung in diesem Gebiet oder die daraus folgende Strömung zu entnehmen. Nur um 3 UTC des 13.9. kann man eindeutig sagen, dass in Eisenstadt der höchste Druck zu finden ist. Wenn man die Zeitreihe der Ableitung für diesen Zeitpunkt anschaut, so findet man auch eine Abnahme der Ableitung.

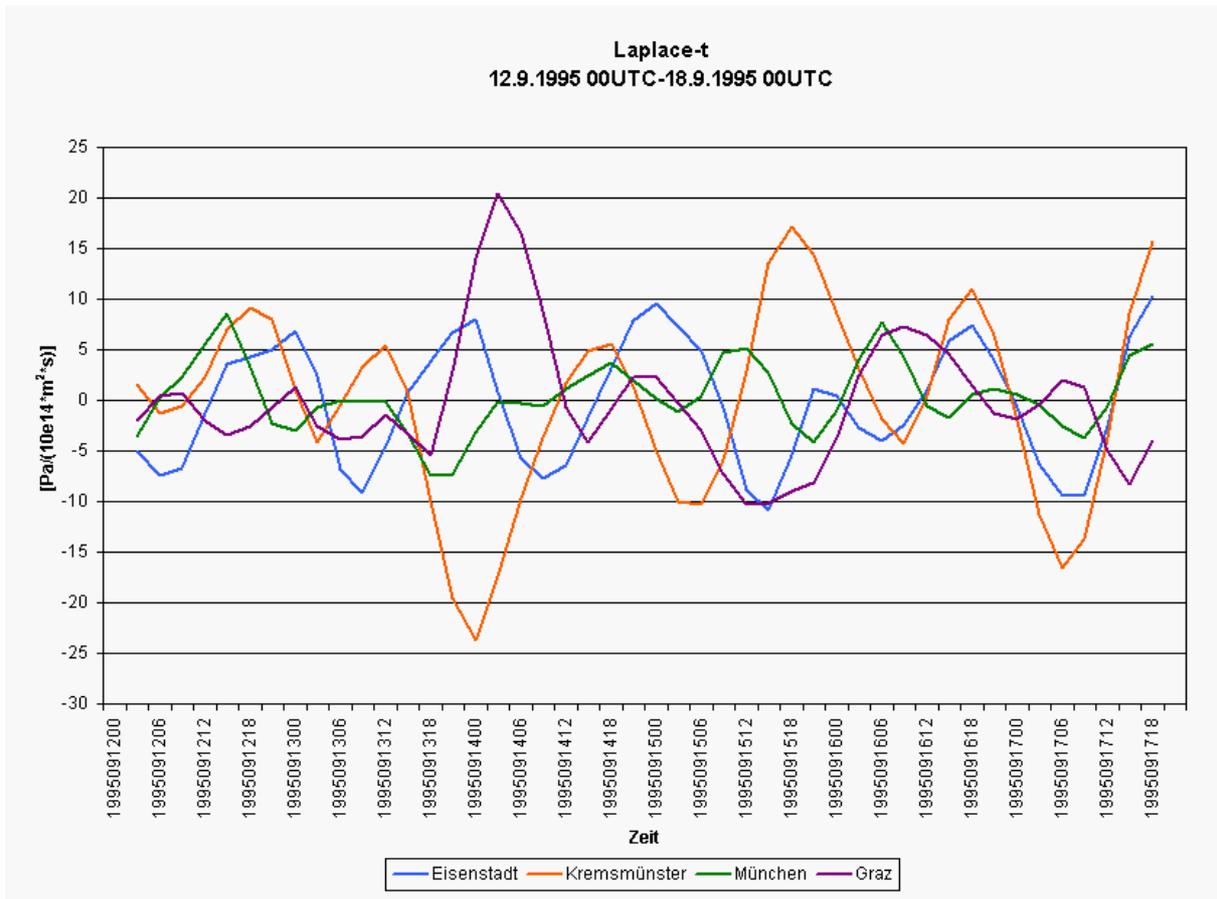


Abb.12-16: Zeitreihen des Laplace-t für das Niederschlagsereignis 1995

|                  | Wr. Neustadt | Schwechat | Neusiedel | Sopron | Eisenstadt |
|------------------|--------------|-----------|-----------|--------|------------|
| 13.09.1995 00:00 | 1015         | 1015      | 1016      | 1016   | 1016       |
| 13.09.1995 03:00 | 1014         | 1014      | 1014      | 1014   | 1015       |
| 13.09.1995 06:00 | 1014         | 1014      | 1015      | 1014   | 1015       |
| 13.09.1995 09:00 | 1013         | 1014      | 1015      |        | 1015       |
| 13.09.1995 12:00 | 1013         | 1014      | 1014      | 1014   | 1014       |
| 13.09.1995 15:00 | 1012         | 1011      |           | 1012   | 1012       |
| 13.09.1995 18:00 | 1011         | 1011      | 1011      | 1012   | 1012       |
| 13.09.1995 21:00 | 1011         | 1011      | 1011      | 1011   | 1011       |
| 14.09.1995 00:00 | 1010         | 1010      | 1011      | 1011   | 1011       |
| 14.09.1995 03:00 | 1011         | 1011      | 1010      | 1011   | 1011       |
| 14.09.1995 06:00 | 1011         | 1011      | 1010      | 1011   | 1011       |
| 14.09.1995 09:00 | 1012         | 1012      | 1011      | 1011   | 1011       |
| 14.09.1995 12:00 | 1011         | 1011      | 1010      | 1011   | 1010       |
| 14.09.1995 15:00 | 1010         | 1010      | 1009      | 1010   | 1010       |
| 14.09.1995 18:00 | 1009         | 1009      | 1008      | 1009   | 1009       |
| 14.09.1995 21:00 | 1008         | 1007      | 1007      | 1006   | 1007       |
| 15.09.1995 00:00 | 1005         | 1005      | 1004      | 1004   | 1004       |
| 15.09.1995 03:00 | 1004         | 1004      | 1002      | 1003   | 1003       |
| 15.09.1995 06:00 | 1004         | 1004      | 1002      | 1003   | 1003       |
| 15.09.1995 09:00 | 1005         | 1005      | 1003      | 1004   | 1005       |
| 15.09.1995 12:00 |              | 1006      | 1005      | 1005   | 1005       |
| 15.09.1995 15:00 |              | 1008      | 1007      | 1007   | 1007       |
| 15.09.1995 18:00 |              | 1010      | 1010      | 1010   | 1010       |
| 15.09.1995 21:00 |              | 1011      | 1010      | 1011   | 1011       |
| 16.09.1995 00:00 |              | 1012      | 1011      | 1012   | 1012       |
| 16.09.1995 03:00 |              | 1013      | 1012      | 1013   | 1012       |
| 16.09.1995 06:00 |              | 1013      | 1013      | 1013   | 1013       |
| 16.09.1995 09:00 |              | 1014      | 1013      | 1013   | 1013       |

Tab. 12-1: Druckwerte in hPa von ausgewählten Stationen um Eisenstadt während des Niederschlagsereignisses 1995

## 12-7 Ausblick

Auf Grund der kurzen Zeitspanne dieses Projektes war es nur möglich, die Ableitungsfelder einzelner besonders interessanter Wetterlagen zu bearbeiten und die Zeitreihen an ein paar ausgewählten Gitterpunkten auf ihre Aussagekraft hin zu prüfen. Dadurch wurde einige Erfahrung auf diesem neuen Gebiet gesammelt. Um allgemeinere Aussagen treffen zu können, etwa um einen genauen Zusammenhang zwischen den gebildeten Ableitungen und ihrem zeitlichen Auftreten und der Intensität der auftretenden Wetterereignisse finden zu können, wären weitere Arbeiten in dieser Richtung nötig.

In diesen könnten zum Beispiel mehrere ähnliche Wetterlagen miteinander verglichen werden, um daraus wichtige Schlüsse über den Zusammenhang ihrer Ableitungen zu ziehen. Dabei sollte auch der Bedeutung der einzelnen Ableitungen bezüglich unterschiedlicher Wetterlagen Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es steht nämlich durchaus zu erwarten, dass unterschiedliche Wetterlagen spezifische Gemeinsamkeiten in einer Ableitung haben, jedoch gravierende Unterschiede bei einer anderen Ableitung aufweisen, die für dieses Wetterphänomen nicht bedeutend ist. Diese Betrachtungen könnten erlauben, differenzierte Aussagen über Extremwetterereignisse zu gewinnen. Dies könnte durch Finden von Ähnlichkeiten des Musters der aus den Ableitungen gewonnen Kennzahlen möglich sein, speziell dann, wenn ein großer Datensatz verwendet wird.

Dabei wäre auch noch zu beachten, dass bei diesem Projekt nur auf den Parameter Druck eingegangen wurde, eine Kombination mit anderen meteorologisch wichtigen Parametern etwa der Temperatur oder dem Wind jedoch eine viel versprechende Vielfalt von neuen bisher noch nicht verfügbaren Informationen bieten würde.

In weiteren Forschungen könnten auch Tagesgänge aus den Zeitreihen der Ableitungen gefiltert werden, wie sie zum Beispiel bei Kältehochs und Hitzetiefs vorkommen, wodurch der mesoskalige, synoptische Anteil noch mehr in den Vordergrund treten würde.

Außerdem sollte auch eine gekoppelte Untersuchung der Ableitungen mit den Niederschlagsanalysen gemacht werden. Hier wäre es besonders interessant herauszufinden, ob ein eindeutiger Zusammenhang zwischen den Ableitungen und der Intensität bzw. Wetterwirksamkeit des betrachteten Systems besteht. Sollte dies der Fall sein, so wäre es möglich diese Methode nicht nur im Nachhinein anzuwenden, um genauere Aufschlüsse über das schon zurückliegende System zu erhalten, sondern schon im Vorhinein dessen Intensität und den dadurch die möglicherweise entstehenden Auswirkungen abzuschätzen und die notwendigen Schritte einzuleiten. Es wäre daher denkbar, diese Art der Analyse als wichtiges, operationelles Nowcasting Tool zu verwenden, das für den Prognostiker eine große Hilfe bei der Entscheidungsfindung sein könnte.

Ein weiterer interessanter Punkt wäre die Einbindung von vierdimensionalen Analysen, wodurch die Wetterwirksamkeit in allen drei räumlichen und der Zeitkoordinaten genauer geprüft werden könnte. Wie man an den in diesem Bericht gezeigten Zeitreihen gesehen hat, ist es möglich, mit dem verwendeten Analyseschema Zeitreihen von voneinander unabhängig gerechneten Analysen zu erstellen und dabei gute Ergebnisse zu erzielen, würde man dabei allerdings eine vierdimensionale Analyseverfahren verwenden, wären auch hier noch bessere Ergebnisse denkbar. Durch Datenausfälle, wie sie besonders im Gebiet von Kroatien, Serbien und Bosnien-Herzegowina immer wieder vorkommen, hervorgerufene Probleme bei der Zeitableitung könnten durch mehrdimensionale Analysen ebenfalls gemildert oder sogar behoben werden.

Auch eine Untersuchung bezüglich der Korrelation der prognostizierten Niederschlagsmenge und der aus den Ableitungen bestimmten Muster von Kennzahlen, die auf die Skaligkeit der Phänomene schließen lassen würde, wäre Erfolg versprechend und könnte in Zusammenarbeit mit StartClim 14 durchgeführt werden. Dies könnte nämlich eine erhebliche Verbesserung der Prognostizierbarkeit und Vorhersagegüte vor allem im lokalen,

kleinskaligen Bereich bringen. Eine Reduktion der Fehlalarme wäre so im Rahmen der Wartätigkeiten der Wetterdienststellen eventuell möglich.

Notwendig wären auch weitere Untersuchungen bezüglich der Interpretation von Laplace-t-Ableitungen. Diese enthalten durch die Tatsache, dass es sich dabei schon um dritte Ableitungen handelt, besonders viel Information und benötigen auch eine besonders ausgereifte Qualitätskontrolle der Daten, damit ein deutliches Signal, und nicht nur Rauschen, geliefert wird.

In diesem Pilotprojekt wurde noch nicht im Detail darauf eingegangen, inwieweit die auflösbare Skala von dem Gitterpunktsabstand beeinflusst wird und ob in feineren Skalen nicht noch weitere Information zu finden wäre. Dies könnte mit Hilfe eines in Entwicklung befindlichen Analysetools, das auch höhere Auflösungen zulässt, geschehen.

Es wäre auch notwendig die Eignung dieser Methode bezüglich der Erstellung einer objektiven Wetterlagenklassifikation zu testen. Im Gegensatz zu bisherigen Klassifikationen, die nur auf ganz Europa bzw. Mitteleuropa eingehen konnten und daher nur wenig aussagekräftig sind, was die Wetterwirksamkeit im Lokalen betrifft, könnten mit dieser Art der objektiven Klassifikation dann darüber wichtige und unterstützende neue Aussagen getroffen werden. Die kleinskaligen Aspekte sind nämlich besonders wichtig, weil ähnliche Wetterlagen in ihren Auswirkungen nicht gleich sind.

Durch die Bearbeitung längerer Zeiträume wären auch statistische Auswertungen, etwa stratifiziert nach Wetterlagen, wie sie auch in der Klimatologie ein beliebtes Hilfsmittel sind, denkbar. Die Anwendung dieser Methode auf die Analysen der letzten Jahrzehnte, wie sie durch das Projekt VERACLIM<sup>3</sup> vorliegen, sind Trendanalysen der Ableitungen möglich. Dadurch wäre es denkbar, Aussagen darüber zu treffen, ob sich Änderungen in dieser Zeitspanne ergeben haben, und daraus Schlüsse über Entwicklung der Häufigkeit und Ausbildung von Extremwetterlagen zu ziehen.

---

<sup>3</sup> VERACLIM: [www.univie.ac.at/IMG-Wien/projects/veraklim/index.htm](http://www.univie.ac.at/IMG-Wien/projects/veraklim/index.htm)

## Literaturverzeichnis

- Berliner Wetterkarte e.V.: *Berliner Wetterkarte*. Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin.
- Daley, R., 1991: *Atmospheric Data Analysis*. Cambridge University Press.
- Deutscher Wetterdienst, 1998: *Aspirations-Psychrometer-Tafeln*. Vieweg.
- Doswell III, C., and F. Caracena, 1988: Derivative estimation from marginally sampled vector point functions. *Journal of Atmospheric Science*, **45**, 242–253.
- Gandin, L., 1988: Complex quality control of meteorological observations. *Monthly Weather Review*, **116**, 1137–1156.
- Groehn, I., R. Steinacker, C. Häberli, W. Pöttschacher, and M. Dorninger, 2000: Data quality control of MAP (DAQUAMAP). *MAP Newsletter* (13).
- Pöttschacher, W., C. Häberli, and R. Steinacker, 1997: The error detection and correction module of CALRAS and VERA. *MAP Newsletter* (7), 88–89.
- Pöttschacher, W., R. Steinacker, and M. Dorninger, 1996: Vera - A high resolution analysis scheme for the atmosphere over complex terrain. *MAP Newsletter* (5), 64–65.
- Saucier, W., 1989: *Principles of Meteorological Analysis*. Dover Publications.
- Steinacker, R., 1990: Eine ostalpine Strömungslagenklassifikation. Manuscript, Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Innsbruck, 16pp; [www.univie.ac.at/IMG-Wien/weatherregime/STROEMUNGSLAGENKLASSIFIKATION.pdf](http://www.univie.ac.at/IMG-Wien/weatherregime/STROEMUNGSLAGENKLASSIFIKATION.pdf)
- Steinacker, R., M. Dorninger, and W. Pöttschacher, 1995: Meteorological applications of high resolution topographic data. *MAP Newsletter* (3), 73–74.
- Steinacker, R., W. Pöttschacher, and M. Dorninger, 1997a: Enhanced resolution analysis of the atmosphere over the alps using the fingerprint technique. *Annalen der Meteorologie*, **35**, 235–237.
- Steinacker, R., W. Pöttschacher, and M. Dorninger, 1997b: An Enhanced Resolution Analysis Scheme for the Atmosphere over Complex Terrain. *Annales Geophysicae*. Suppl. II, Europ.Geoph.Soc.,C426.

Steinacker, R., C. Häberli, and W. Pöttschacher, 2000: A Transparent Method for the Analysis and Quality Evaluation of Irregularly Distributed and Noisy Observational Data. *Monthly Weather Review*, **128**, 2303–2316.

Steinacker, R., 2002: Synoptische Beschreibung der Hochwasserkatastrophe vom August 2002. Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien. [www.univie.ac.at/IMG-Wien/vera/synsit.html](http://www.univie.ac.at/IMG-Wien/vera/synsit.html)

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Abb.12-1: Berliner Wetterkarte (Handanalyse), Do.14.9.1995 12 UTC .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>Abb.12-2: VERA-Druckanalyse (automatisch) vom 15.09.1995 03 UTC (Bild von Christoph Lotteraner – Projekt VERACLIM) .....</b>             | <b>13</b> |
| <b>Abb.12-3: VERA-Druckanalyse (automatisch) mit 10m-Windpfeilen vom 11.01.1999 06 UTC .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>Abb.12-4: Berliner Wetterkarte (Handanalyse), Mo.11.1.1999 12 UTC .....</b>  | <b>14</b> |
| <b>Abb.12-5: Berliner Wetterkarte (Handanalyse), Mi.7.8.2002 12 UTC.....</b>  | <b>15</b> |
| <b>Abb.12-6: Berliner Wetterkarte (Handanalyse), Mo.12.8.2002 12 UTC .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>Abb.12-7: VERA-Druckanalyse und Analyse der äquivalentpotentiellen Temperatur (beides automatisch) vom 12.08.2002 12 UTC.....</b>        | <b>17</b> |
| <b>Abb.12-8: Laplace, gebildet über 1(lo), 2(ro), 4(lu) und 6 (ru) Gitterpunktdistanzen in x- und y-Richtung vom 12.8.2002 12 UTC .....</b> | <b>18</b> |
| <b>Abb.12-9: Zeitreihen des Laplace während der Hochwasserperiode 2002.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>Abb.12-10: Zeitreihen des Laplace während der Niederschlagsperiode 1999 .....</b>  | <b>19</b> |
| <b>Abb.12-11: VERA-Druckanalyse für den 11.1.1999 3 UTC .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>Abb.12-12: Feld des Laplace vom 11.1.1999 3 UTC, Ableitungen über 6 Gitterpunkte gebildet .....</b>                                      | <b>21</b> |
| <b>Abb.12-13: Zeitreihe der zweiten Zeitableitung während der Niederschlagsperiode 1999 .....</b>   | <b>22</b> |
| <b>Abb.12-14: 6-stündiger Niederschlag im September 1995 .....</b>  | <b>22</b> |
| <b>Abb.12-15: Zeitreihen des Laplace für das Niederschlagsereignis 1995.....</b>  | <b>23</b> |
| <b>Abb.12-16: Zeitreihen des Laplace-t für das Niederschlagsereignis 1995 .....</b>   | <b>24</b> |

### Tabellen

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tab. 12-1: Druckwerte in hPa von ausgewählten Stationen um Eisenstadt während des Niederschlagsereignisses 1995 .....</b> | <b>25</b> |
|--|-----------|