

Atmosphärische Zirkulationsdynamik markanter Abflussereignisse in Mitteleuropa

Jucundus Jacobeit, Matthias Nonnenmacher & Andreas Philipp

Institute of Geography, University of Würzburg, Am Hubland, D-97074 Würzburg, Germany

Zusammenfassung

Mittels EPCA werden aus den täglichen 500-hPa-Geopotentialfeldern, die vor markanten Abflussereignissen in Mitteleuropa ausgebildet sind, charakteristische Zirkulationsmuster-Sequenzen extrahiert. Es werden ausgewählte Beispiele für Winter und Sommer bezüglich verschiedener Pegelmessstationen gezeigt.

Hintergrund

Im Rahmen eines DFG-Projekts sind in den vergangenen Jahren Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen der langfristig variierenden Hochwasserhäufigkeit in Mitteleuropa und Schwankungen der großskaligen atmosphärischen Zirkulation durchgeführt worden (Sturm et al., 2001; Jacobeit et al., 2003a, 2003b). Diese auf der Grundlage historischen Datenmaterials und rekonstruierter Feldvariablen über die letzten 500 Jahre erstreckten Studien zielten gemäß des Konzepts einer „Flood Hydroclimatology“ (Hirschboeck, 1988) auf längerfristig variable Zirkulationscharakteristika, die als dynamischer Hintergrund für die Auslösung hydrologischer Extremereignisse fungieren. Die Aussagemöglichkeiten eines derartigen Vorgehens werden jedoch dort begrenzt, wo durch die historisch meist gröbere zeitliche Auflösung (monatlich oder gar saisonal) andersartige Zirkulationsverhältnisse in den entsprechenden Feldern in Erscheinung treten als diejenigen, die auf kürzerer Zeitskala in unmittelbarem Kontext mit einem Hochwasserereignis stehen. Studien mit höhe-

rer zeitlicher Auflösung sind wiederum nur über wesentlich kürzere Zeiträume möglich, erlauben jedoch einen spezifischen Bezug zu den betreffenden Abflussereignissen. Insbesondere lassen sich dabei vorauslaufende Sequenzen in den Strömungsfeldern identifizieren, die es unter klimadynamischen Gesichtspunkten wiederum zu systematisieren gilt. Im Folgenden wird ein derartiger Ansatz vorgestellt, der sich auf verschiedene Flussgebiete Mitteleuropas bezieht und für die letzten 50 Jahre charakteristische Zirkulationsmuster-Sequenzen im Kontext markanter Abflussereignisse herausarbeitet.

Daten und Methoden

Die seit 1948 verfügbaren NCEP/NCAR-Reanalysefelder der geopotentiellen Höhen des 500-hPa-Niveaus wurden für den Großraum Nordatlantik-Europa zunächst abflussbezogen wie folgt selektiert: jahreszeitlich differenziert wurde jeweils ein Kollektiv aus allen Feldern derjenigen Tage gebildet, an denen der Abfluss an einer bestimmten Pegelmessstation Mitteleuropas um mehr als eine Standardabweichung über dem mittleren maximalen Abfluss des betreffenden Monats lag und gleichzeitig ein um mehr als eine Standardabweichung ansteigender Abfluss im Vergleich zum Vortag zu beobachten war („markante Abflussereignisse“). Diese Kollektive wurden jeweils erweitert um alle diesen Stichtagen bis zu 7 Tage vorausgehenden Geopotentialfelder (tägliche Auflösung). Zur Bestimmung charakte-

ristischer Zirkulationsmuster-Sequenzen bietet sich die Extended Principal Component Analysis (EPCA) an (Weare & Nasstrom, 1982; von Storch & Zwiers, 1999), bei der anstelle einer einzigen Zeitreihe pro Gitterpunkt (s-modale Analyse) alle zeitversetzten Zeitreihen (im vorliegenden Fall von (Stich-)Tag 0 bis zu Tag -7) für jeden Gitterpunkt in die Auswertung einfließen. Die resultierenden Hauptkomponentenladungen gliedern sich dementsprechend in jeweils 8 aufeinanderfolgende Zirkulationsmuster, die im Folgenden auszugsweise vorgestellt werden.

Ergebnisse

Es werden Beispiele aus den Jahreszeiten Winter und Sommer gezeigt, die bislang mit Bezug auf ausgewählte Pegelmessstationen gerechnet worden sind (Winter: Köln (Rhein), Münden (Weser), Dresden (Elbe); Sommer: Rheinfeldern (Hochrhein), Achleiten (Donau), Eisenhüttenstadt (Oder)). Bei einer Anzahl markanter saisonaler Abflussereignisse zwischen 21 und 30 pro Flussgebiet lassen sich typischerweise jeweils 5 bis 7 robuste, orthogonal rotierte Zirkulationsmuster-Sequenzen extrahieren, die Gesamtvarianzerklärungsanteile von 60 – 75 % abdecken; selbst die führenden erweiterten Hauptkomponenten erreichen dabei nicht die 20 %-Marke. Beides deutet darauf hin, dass sowohl ein großer Teil selten reproduzierter Abfolgen vorhanden ist als auch ein erhebliches Maß abfolgeinterner Variabilität vorliegt.

Die winterlichen Sequenztypen – also Abfolgen von Zirkulationsmustern, die so markant ausgebildet sind oder in hinreichender Ähnlichkeit so häufig wiederkehren, dass sie hauptkomponentenanalytisch extrahiert werden – umfassen im Wesentlichen folgende Entwicklungen: westliche Strömungen

auf relativ südlicher Zugbahn, mit denen fortgesetzt Störungen über Mitteleuropa hinweggeführt werden. Als eher quasi-stationäre Konstellation tritt nach vorangehendem Hochdruckeinfluss ein Tief bei Großbritannien auf, an dessen Vorderseite Mitteleuropa mehrere Tage verbleibt (Fig. 1, linke Hälfte). Weitere ortsfeste Höhentiefs können im Zentrum oder – mit Wirksamkeit für das östliche Deutschland – im Osten Mitteleuropas zur Ausbildung gelangen. Mobile Sequenzen beinhalten das Abtropfen eines Höhentiefs aus dem isländischen Raum mit südostwärts gerichteter Zugbahn, wandernde Zyklonalwellen kleiner Amplitude oder – wie in Fig. 1 (rechte Hälfte) dargestellt – mit trogartiger Ausbildung. Die analogen Analysen für den Sommer umfassen – saisonal modifiziert – ebenfalls eine Reihe dieser Sequenztypen (Westlagen, wandernde Wellen, südostwärts driftende oder quasi-stationäre Höhentiefs), daneben aber auch Konstellationen mit kräftigem Zentraltief über dem südlichen Skandinavien oder mit winkelwest-ähnlicher Anordnung. Fig. 2 zeigt schließlich 2 besonders wirkungsvolle Abfolgen, bei denen zum einen mehrere Tiefs auf südlicher W-E-Zugbahn insbesondere den Süden Mitteleuropas erfassen, zum anderen ein bogenförmiger Verlauf mit oberitalienischem Wendepunkt angedeutet ist: diese Sequenz enthält die klassische Vb-Zugbahn, wirkt sich v. a. im östlichen Mitteleuropa aus und konnte in modifizierter Form auch während des August-Hochwassers 2002 beobachtet werden.

Bei ausgedehnteren Analysezeiträumen kann auf der Basis derartiger Sequenztypen die Frage nach zirkulationsdynamischen Bedingungen variabler Hochwasserhäufigkeiten erneut aufgegriffen werden.

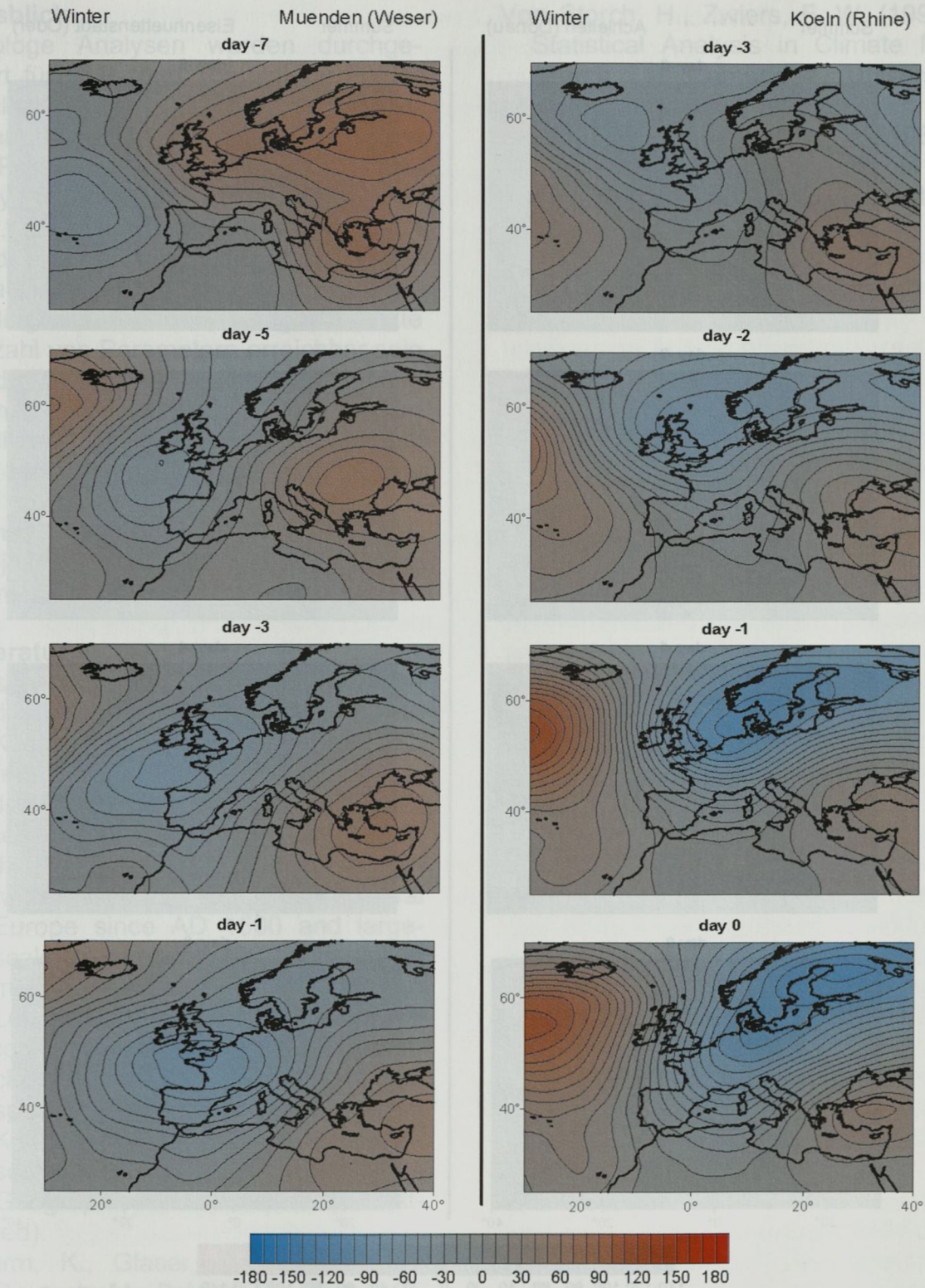


Fig. 1: Ausgewählte Zirkulationsmuster-Sequenzen (500-hPa-Niveau, gpm) vor markanten winterlichen Abflussereignissen (EPCA aller täglichen Felder ab 7 Tage vor Eintritt, Zeitraum 1948 - 1998). Links: Ereignisort (Pg) Munden (Weser), EPCA-Varianzerklärung (VE) 9 %. Rechts: Pg Köln (Rhein), VE 10 %.

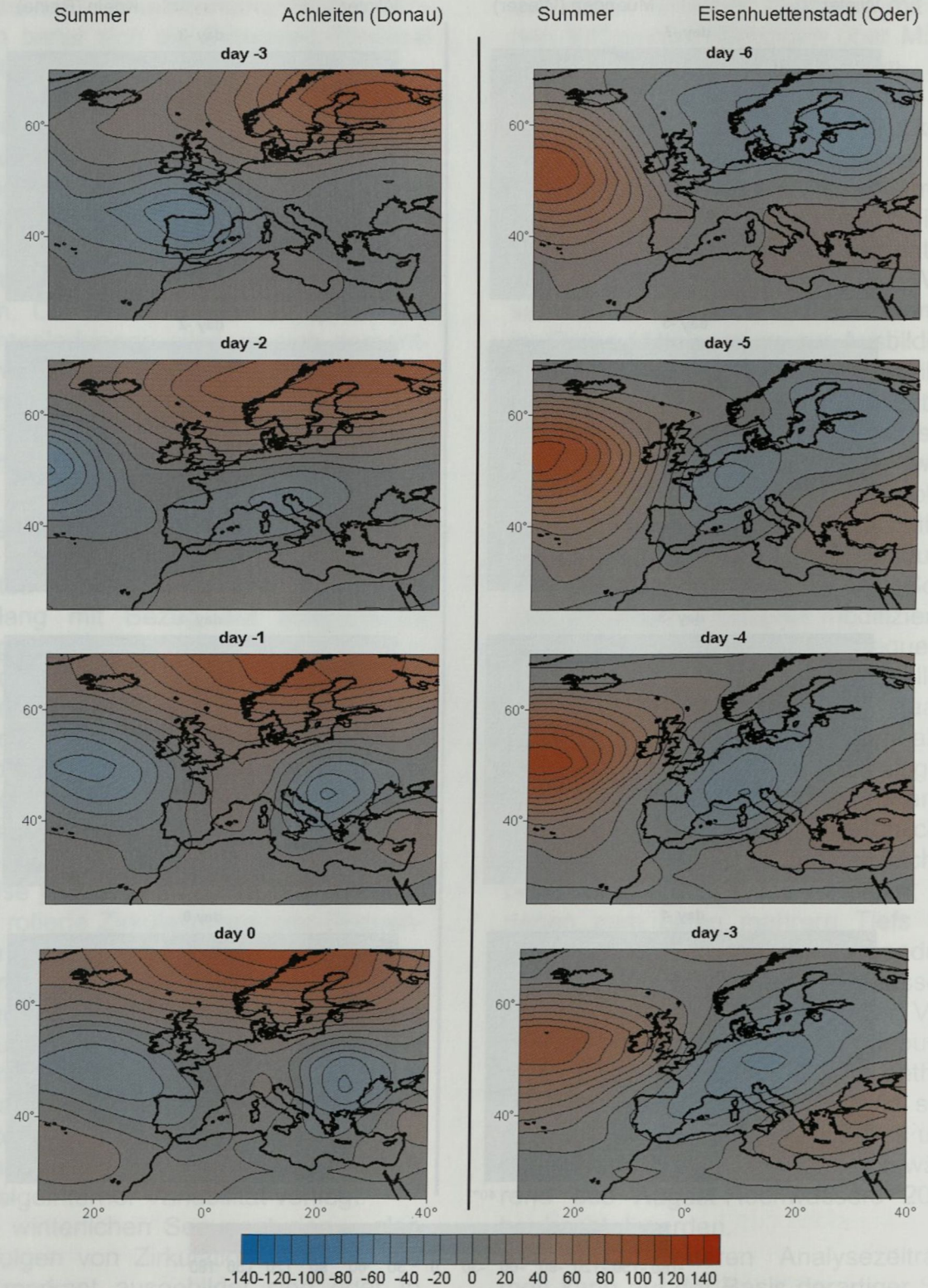


Fig. 2: Wie Fig. 1, aber für markante sommerliche Abflussereignisse. Links: Pg Achleiten (Donau), VE 14 %. Rechts: Pg Eisenhüttenstadt (Oder), VE 11 %.

Ausblick

Analoge Analysen werden durchgeführt für SLP- und kombinierte Felder (incl. geopotentieller Höhen), des weiteren sind v. a. musterintern variierende Parameter zu berücksichtigen (Vorticity, Divergenz, Vertikalgeschwindigkeit, spezifische Feuchte). Schließlich wird eine deutliche Ausweitung des Analysezeitraums angestrebt, die allerdings nur für eine eingeschränkte Anzahl von Parametern erreichbar sein wird. In diesem Zusammenhang kommt der objektiven Rekonstruktion täglicher Bodenluftdruckfelder zurück bis 1850 große Bedeutsamkeit zu, wie sie für den nordatlantisch-europäischen Raum im Rahmen des EU-Projekts EMU-LATE verfolgt wird, (www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/emulate).

Literatur

- Hirschboeck, K. K. (1988). Flood hydroclimatology. - In: Baker, V. R., Kochel, R. C. and Patton, P. C. (eds.): Flood Geomorphology. - John Wiley & Sons, 1988, 27 - 49.
- Jacobeit, J., Glaser, R., Luterbacher, J., Wanner, H. (2003a). Links between flood events in Central Europe since AD 1500 and large-scale atmospheric circulation modes. - *Geophysical Research Letters*, 30, 1172 - 1175.
- Jacobeit, J., Glaser, R., Nonnenmacher, M., Stangl, H. (2003b). Atmosphärische Zirkulationsdynamik im Kontext der langfristigen Hochwasserentwicklung in Mitteleuropa. - *Geographische Rundschau* (submitted).
- Sturm, K., Glaser, R., Jacobeit, J., Deutsch, M., Brázdil, R., Pfister, C., Luterbacher, J., Wanner, H. (2001). Hochwässer in Mitteleuropa seit 1500 und ihre Beziehung zur atmosphärischen Zirkulation. - *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 6, 14 - 23.
- Von Storch, H., Zwiers, F. W. (1999). *Statistical Analysis in Climate Research*. - Cambridge University Press, Cambridge, 484pp.
- Weare, B. C., Nasstrom, J. N. (1982). Examples of extended empirical orthogonal function analyses. - *Mon. Wea. Rev.*, 110, 481 - 485.