

## OPAQUE - Operationelle Abfluss- und Hochwasservorhersage in Quellgebieten.

AP1: Vorwarnung über kritische Wetterlagen und Langfristvorhersagen von Stationsniederschlägen mittels klimatologischem Downscaling.

### Ensemble Vorhersagen

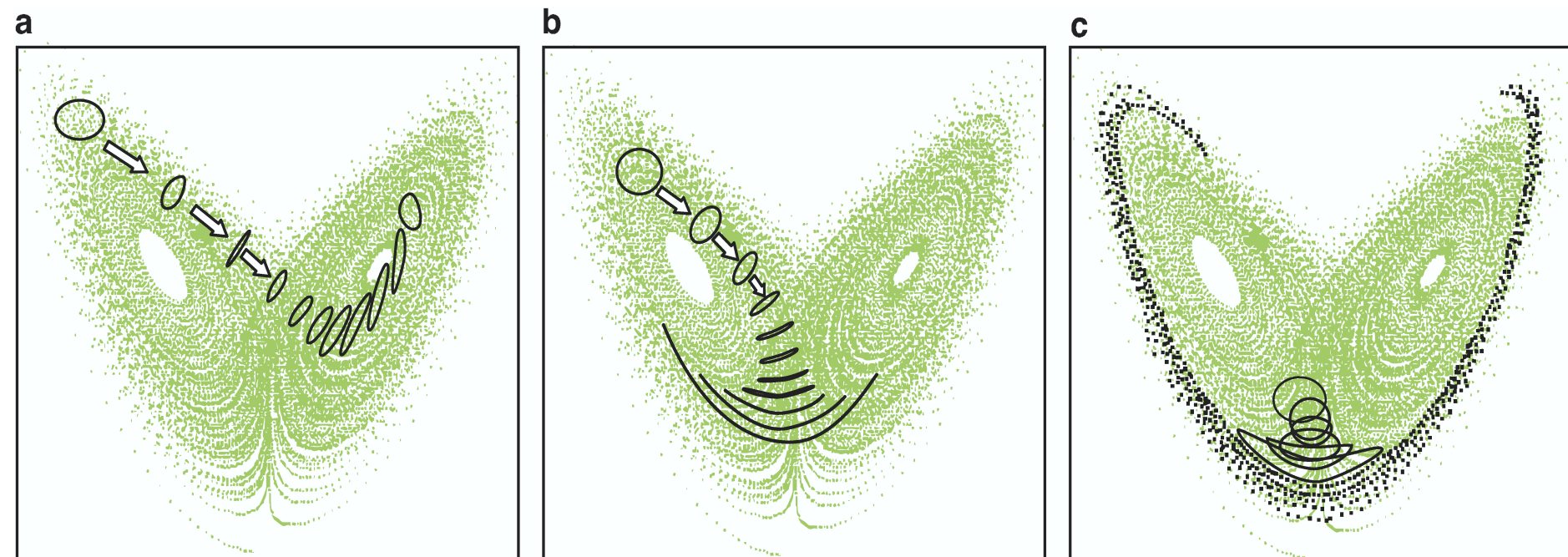


Abb. 1. Gute (a), mittlere (b) und schlechte (c) Vorhersagbarkeit je nach Systemzustand. Eine Anfangsunsicherheit, symbolisiert durch den Kreis, deformiert sich mit wachsendem Vorhersageschritt zu immer breiteren Ellipsen. [Quelle: ECMWF]

Zur Abschätzung der Unsicherheit von Wettervorhersagen werden ensembles herangezogen. Hierbei wird das entsprechende Modell bei der Initialisierung stochastisch gestört, wobei die Störung den unvollständig bestimmbar Jetzt-Zustand reflektiert (Beobachtungs- und Modellfehler, Diskretisierung; siehe Abb. 1).

Anhand hydrologisch besonders relevanter Zeiträume, z.B. der Elbe-Flut 2002, wird diese Vorhersagbarkeit genauer studiert. Abb. 2 zeigt einen passenden Zirkulationsindex (PC #1 der GPH) für den August 2002, mit Vorhersagen jeweils initialisiert an den Tagen 5.-8. August. Eine gute (=eindeutige) Vorhersagbarkeit, zumindest für diesen Index, ist spätestens ab dem 6. August erkennbar. Die ungestörten Kontrollvorhersagen vom 6. und 7. August deuten übrigens auf ein noch stärkeres Ereignis.

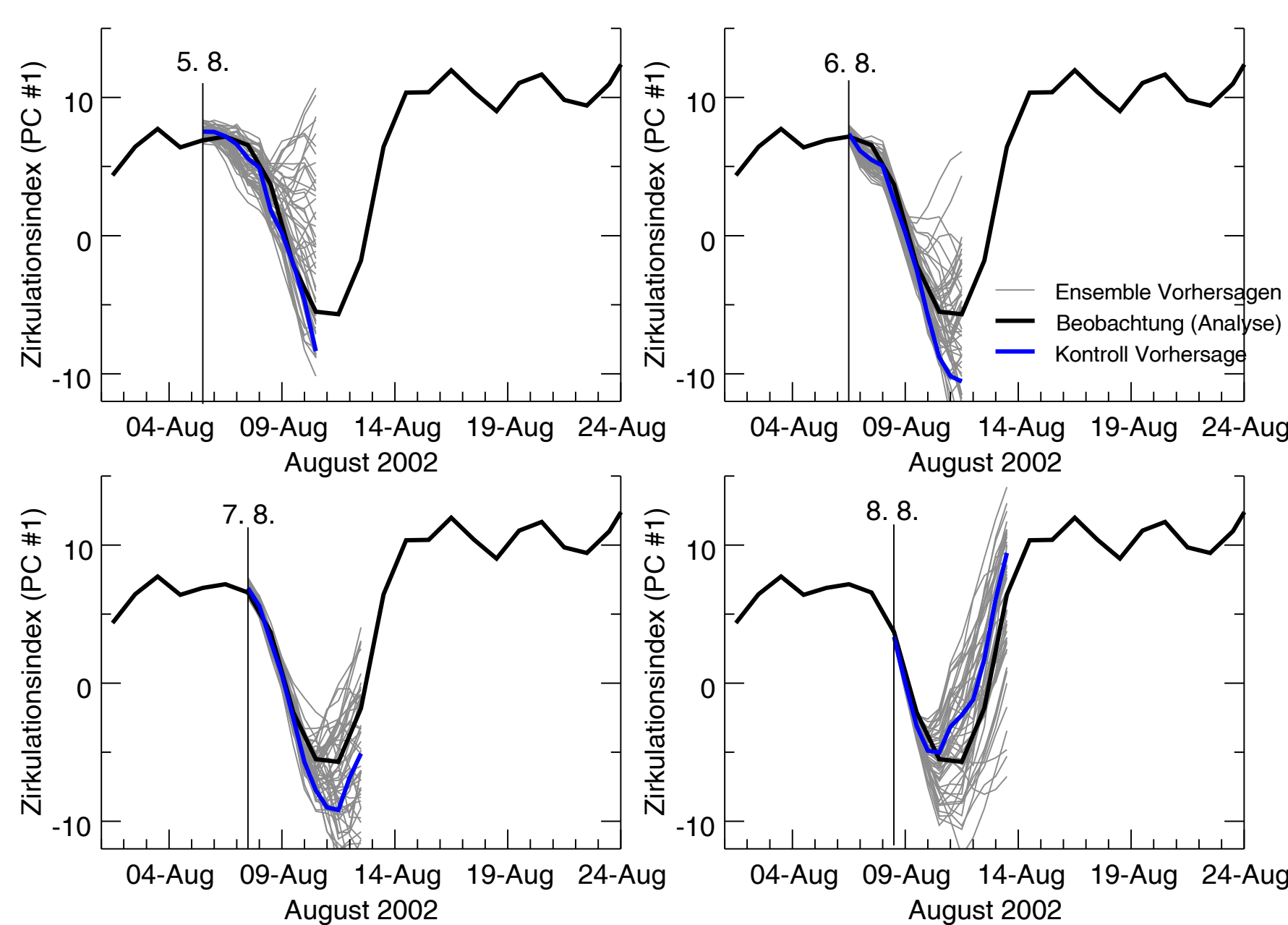


Abb. 2. Ensemble Vorhersagen des ECMWF für Mitte August 2002, exemplarisch für die Hauptkomponente des Geopotentials. Ab spätestens dem 6.8. werden die Prognosen eindeutig.

### Expanded downscaling

Für die Regionalisierung der Ensemble Vorhersagen

### Appendix

Für zwei multivariate Zeitreihen  $x$  und  $y$  wird ein  $E$  gesucht, welches die folgende beschränkte Regression erfüllt:

$$\min \|y - xE\| \quad \text{f.a. } E \text{ mit } E'x'xE = y'y$$

Dies führt zunächst zu einem numerisch sehr komplexen nichtlinearen Optimierungsproblem („NLP“). Durch geeignete Transformationen läßt sich das Problem allerdings auf das sog. „orthogonale Prokrustes Problem“ zurückführen, für welches ein geschlossener Lösungsterm existiert. Damit ergibt sich für  $E$ :

$$E = G_x^{-1} V U' G_y$$

wobei  $G_x$  und  $G_y$  die Cholesky-Faktoren von  $x'x$  bzw.  $y'y$  sind und  $U$  und  $V$  sich aus der Singulärwertzerlegung

$$U \Sigma V' = G_y y' x G_x^{-1}$$

wird das expanded downscaling (EDS) angewendet. Das EDS stellt eine Erweiterung der multiplen Regression dar und hat seine Brauchbarkeit in zahlreichen deutschen und europäischen Impaktstudien unter Beweis gestellt (Bürger 1996, 2002; Menzel and Bürger 2002; Bürger and Chen 2005). Während die Regression nur auf die Fehlerminimierung abhebt, versucht das EDS zugleich, die simulierten Amplituden realistisch zu halten. Dies ist vor allem relevant für Regressionen hydrologischer Variablen, die in der Regel schlecht mit der großräumigen Zirkulation korrelieren und Extremereignisse nur sehr schlecht wiedergeben.

In der ursprünglichen Formulierung (Bürger 1996) ist das EDS numerisch sehr komplex und verlangt erhebliche Computer-Ressourcen (Großrechner). Im Rahmen von OPAQUE ist es jetzt gelungen, einen geschlossenen Lösungsterm analytisch herzuleiten, wodurch sich die Entwicklungs- und Simulationszeiten drastisch verkürzen und weitaus größere Gebiete zu simulieren möglich wird (s. Appendix).

### Anwendungsgebiete, Daten

Das EDS liefert für jedes Einzugsgebiet ein Modell, welches die tägliche atmosphärische Zirkulation linear auf die gewählten multivariaten Stationswerte abbildet, und zwar in einer Weise, die den Fehler minimiert und gleichzeitig die beobachtete Kovarianz der Stationswerte erhält. Es wird also jedes Einzugsgebiet räumlich konsistent simuliert.

Für OPAQUE sind EDS Anwendungen für die folgenden Einzugsgebiete geplant (grün: Simulation begonnen; rot: Daten noch nicht vollständig verfügbar):

- Iller
- Obere Donau
- Goldersbach
- Weißeritz

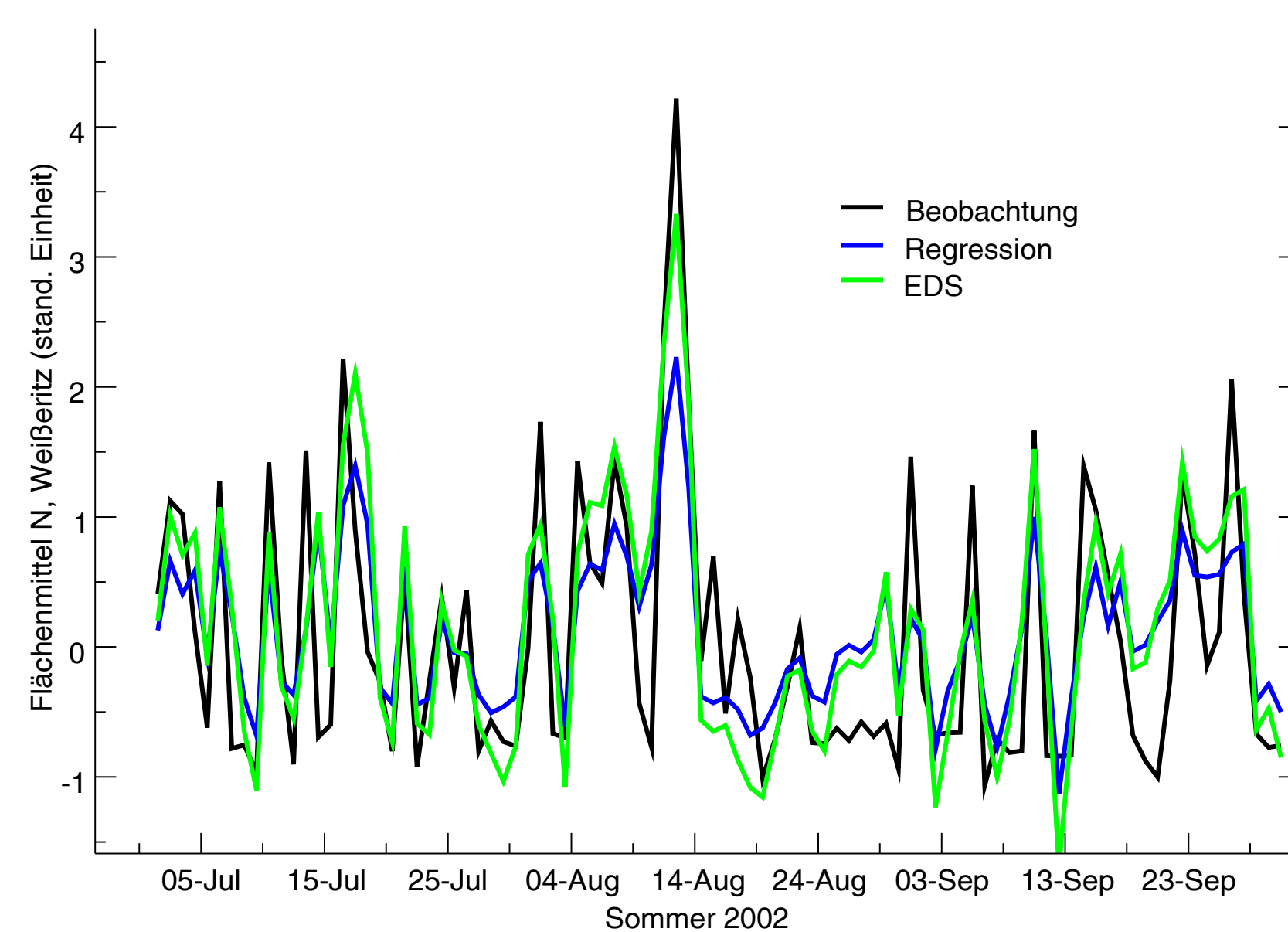


Abb. 3. Gemessenes und simuliertes Gebietsmittel des Niederschlags im Sommer 2002 für die Weißeritz, basierend auf den vorhandenen

berechnen.

Die EDS-Matrix  $E$  liefert unter allen linearen Modellen zwischen  $x$  und  $y$  dasjenige, welches gleichzeitig den Fehler minimiert und die Varianz erhält.

### Referenzen

- Bürger G., 1996. Expanded downscaling for generating local weather scenarios. *Clim. Res.* 7, 111-28.
- Bürger, G., 2002. Selected precipitation scenarios across Europe. *J. Hydrol.*, 262, 99-110.
- Menzel, L. and G. Bürger, 2002. Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). *J. Hydrol.*, 267, 53-64.
- Bürger, G., and Y. Chen, 2004. Regression-based downscaling of spatio-temporal variability for hydrologic applications. *J. Hydrol.*, 311 (1-4), 299-317.

(21) standardisierten Stationswerten.

Für ein Feld von 63 Stationen aus dem Einzugsgebiet der Weißeritz wurde das EDS bereits kalibriert und getestet. Diese vorläufigen Resultate sehen allerdings schon recht vielversprechend aus, wie die Abbildung 3 exemplarisch für den Sommer 2002 zeigt. Deutlich zu sehen die verstärkten Amplituden relativ zur ursprünglichen Regression. Das Hauptereignis am 12. August, mit einem Gebietsmittel von 4.2 (in Standard Einheiten, SE), was etwa einem 200-jährigen Ereignis entspricht, wird sehr gut wiedergegeben.

### Regionalisierte Vorhersagen

Für dasselbe Gebiet (Weißeritz) wurden bereits erste Versuche von EDS-regionalisierten Vorhersagen unternommen, wieder exemplarisch für den Sommer 2002. Die letzte Abbildung 4 zeigt das Gebietsmittel aus 6 Vorhersagen (5d - 0d), jeweils initialisiert am 7. - 12. August. Diese basieren auf der optimal initialisierten, ungestörten „Kontrollvorhersage“ (welche das ECMWF außerdem mit höherer Auflösung rechnet).

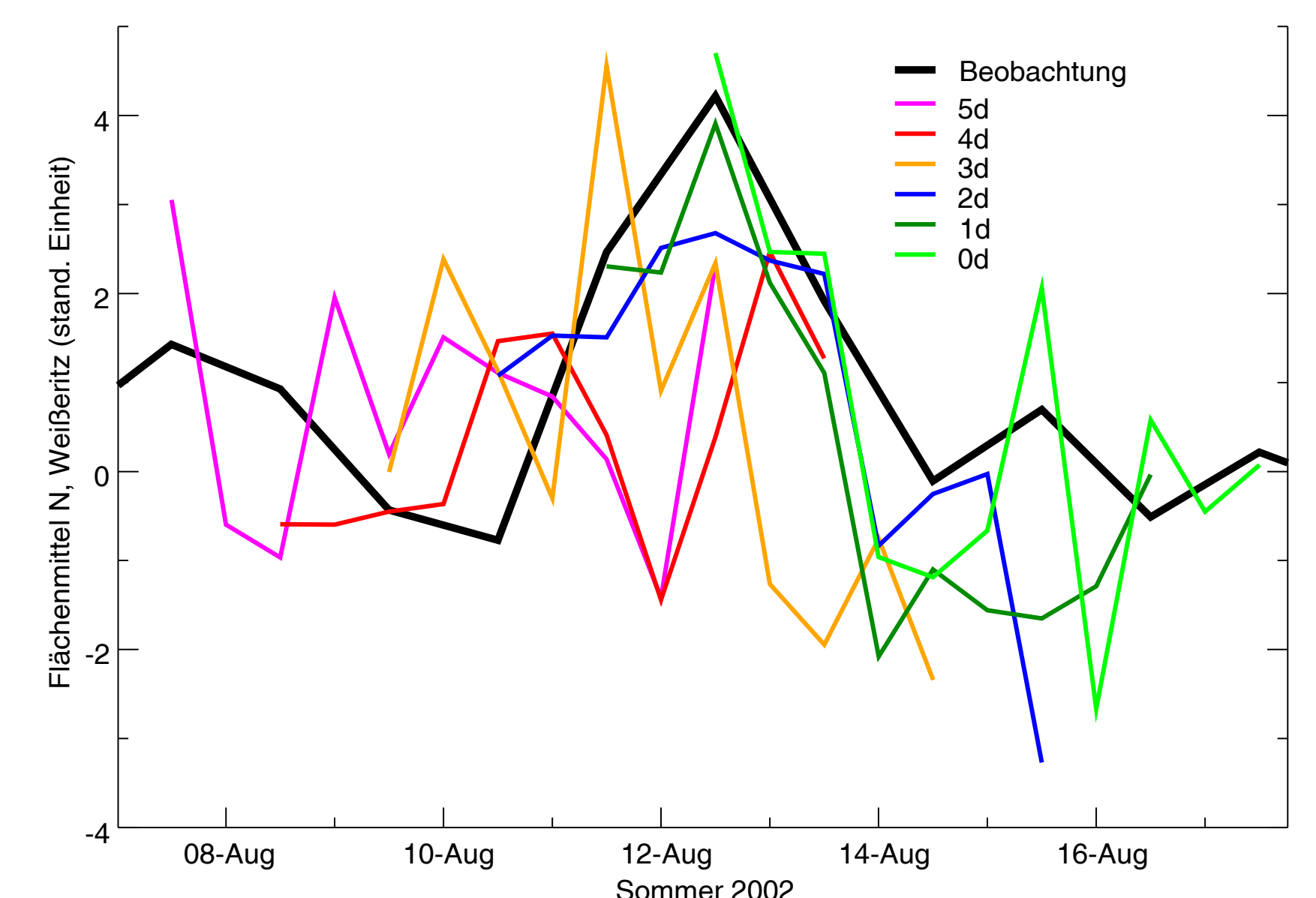


Abb. 4. Vorläufige regionalisierte 5d - 0d Niederschlagsvorhersagen, August 2002 für die Weißeritz. Die Vorhersagen basieren jeweils auf der ECMWF Kontrollvorhersage.

Für den 12. August deuten alle Vorhersagen (außer 4d) auf erhöhte Werte. Wirkliche Extrema ( $\sim 4$  SE) werden allerdings erst ab der 1d Prognose berechnet. Interessanterweise zeigt die 3d-Prognose schon für den 11. August ein Extremum von mehr als 4 SE.

### Ausblick

- Probabilistische regionalisierte Vorhersagen durch Heranziehen der Ensembles.
- Definition der Vorwarnstufen.
- Eventuell Komplementierung der gezeigten (perfect-prog) Vorhersagen durch lag-basierte EDS Vorhersagen.