

- Die **Qualität** der Abflussvorhersage wird durch **zahlreiche Fehlerkomponenten** beeinträchtigt
- negative Auswirkungen auf die wesentlichen Charakteristiken, wie z.B. **Zeitpunkt, Höhe und Volumen** der Hochwasserwelle haben

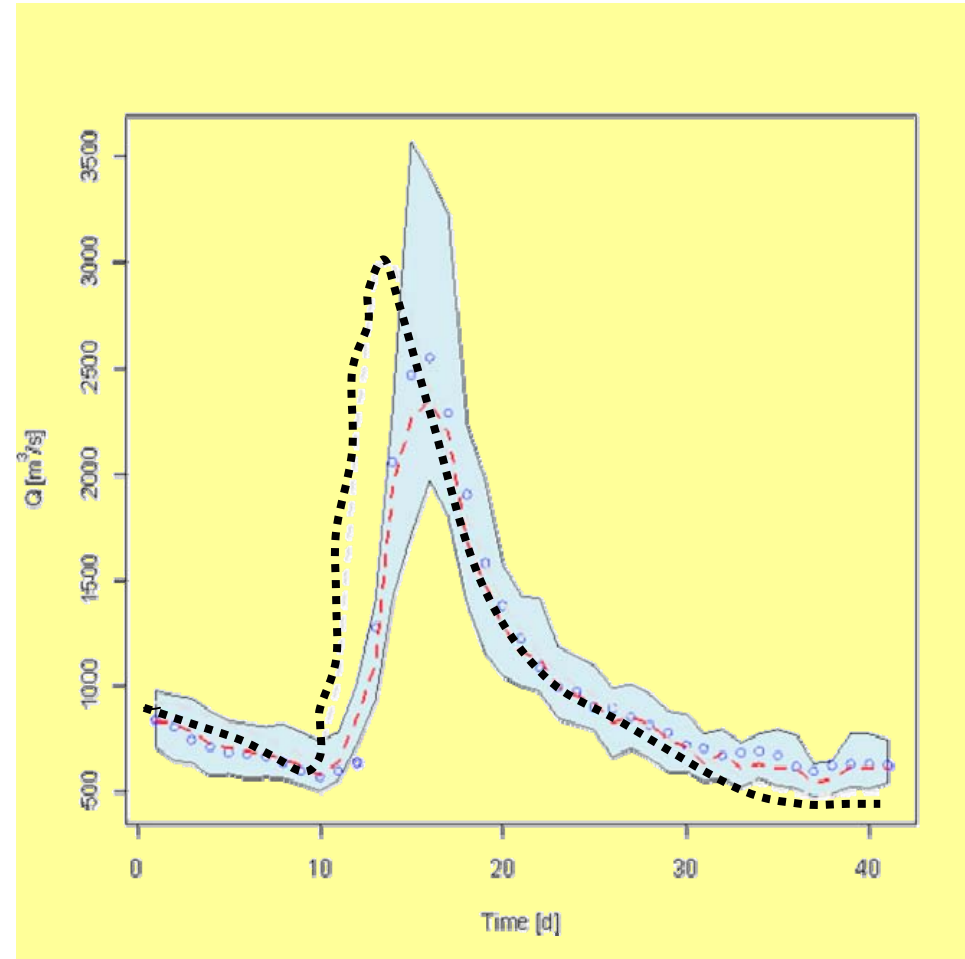
..... simuliert (prognostiziert)

ooo gemessen

Nach Modellnachführung:

-- korrigierte Simulation

□ 95% Unsicherheitsbereich



Qualitätsverbesserung durch **Fehlerkorrektur** und Angabe von **Prognoseunsicherheit**

Fehlerkorrektur

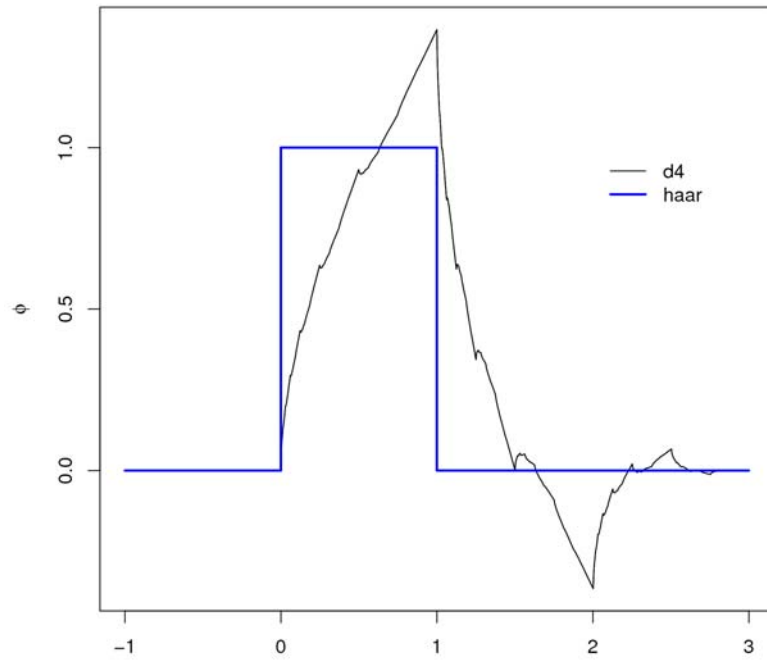
1. Wavelet-transformation der gemessenen und simulierten Abflusszeitreihen um die Fehler verursacht durch unterschiedliche Zeit-Raum Prozesse erfassen zu können
2. Für die einzelnen Vorhersagezeitschritte wird ein Vector AutoRegressives Model mit eXogenous Input (VARX) im Wavelet Raum angepasst

Prognoseunsicherheit

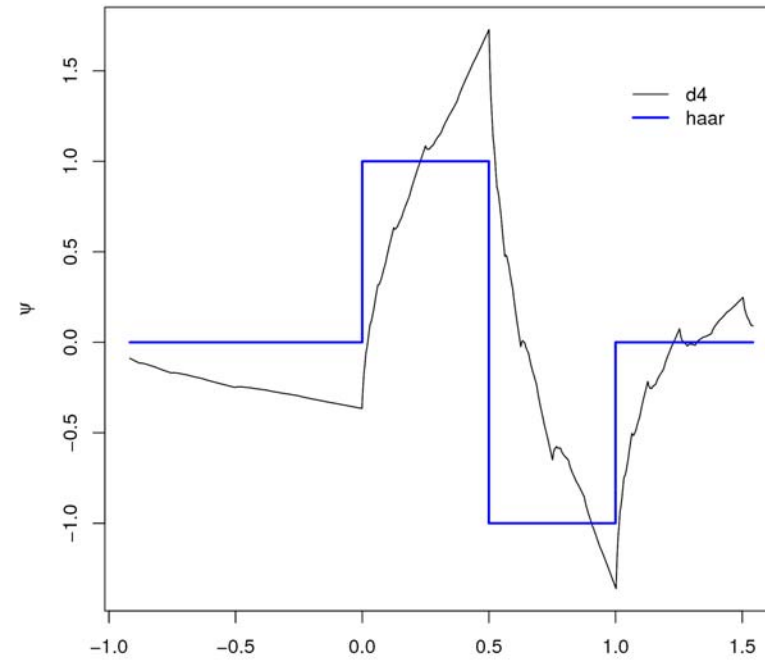
Hydrological Uncertainty Processor (HUP, Krzysztofowicz (1999))

- Das Wort „Wavelet“ bedeutet soviel wie „kleine Welle“
- Wavelets sind mathematische Funktionen bei der Wavelet-Transformation zur Signalanalyse
- Ähnlich wie die Sinus-Funktionen der Fourier-Transformation
- Anstelle der Sinus Funktion -> „Mutter“ und „Vater“-Wavelets
- Wavelets können gestreckt bzw. gestaucht (skaliert) werden oder an eine bestimmte Stelle des Signals verschoben werden
- **-> Details und geglaettete Informationen**

Father wavelet



Mother wavelet

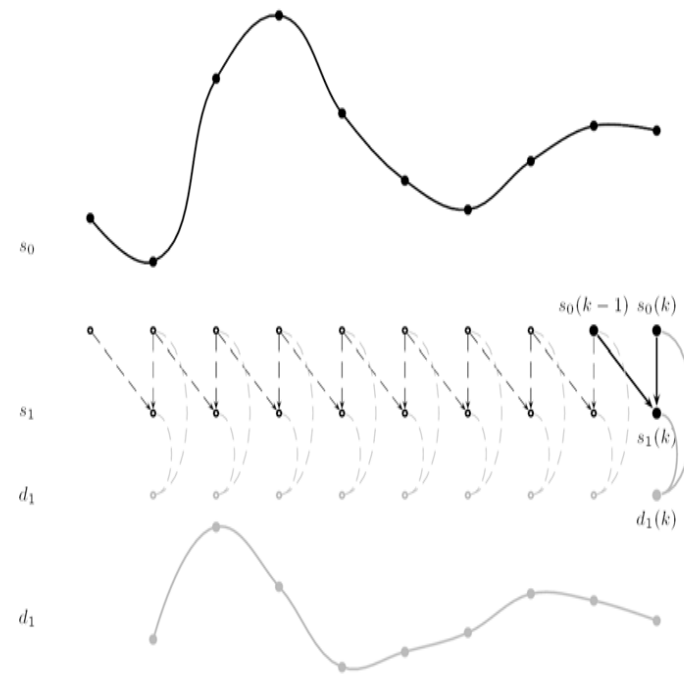


Zur Berechnung der ersten Wavelet - Auflösung wird das Ausgangssignal gefaltet mit Tiefpassfilter $h(1/2,1/2)$:

$$s_1(k) = \frac{1}{2} [s_0(k) + s_0(k-1)]$$

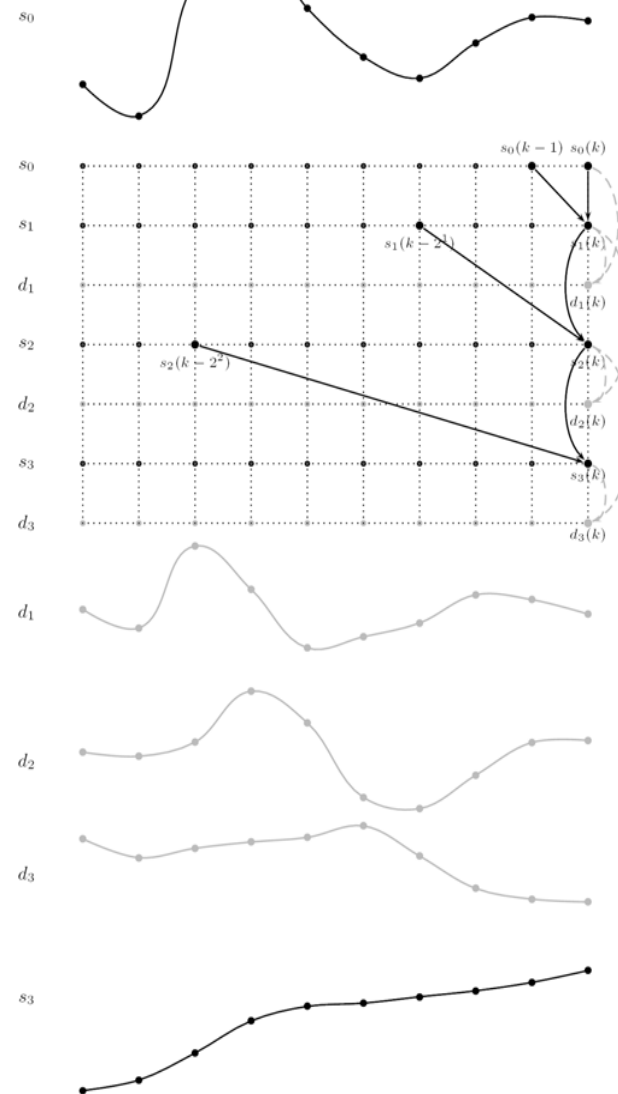
Durch Bildung der Differenz zwischen dem geglätteten Signal und dem Ausgangssignal bekommt man die Wavelet Koeffizienten (Details):

$$d_1(k) = s_0(k) - s_1(k)$$

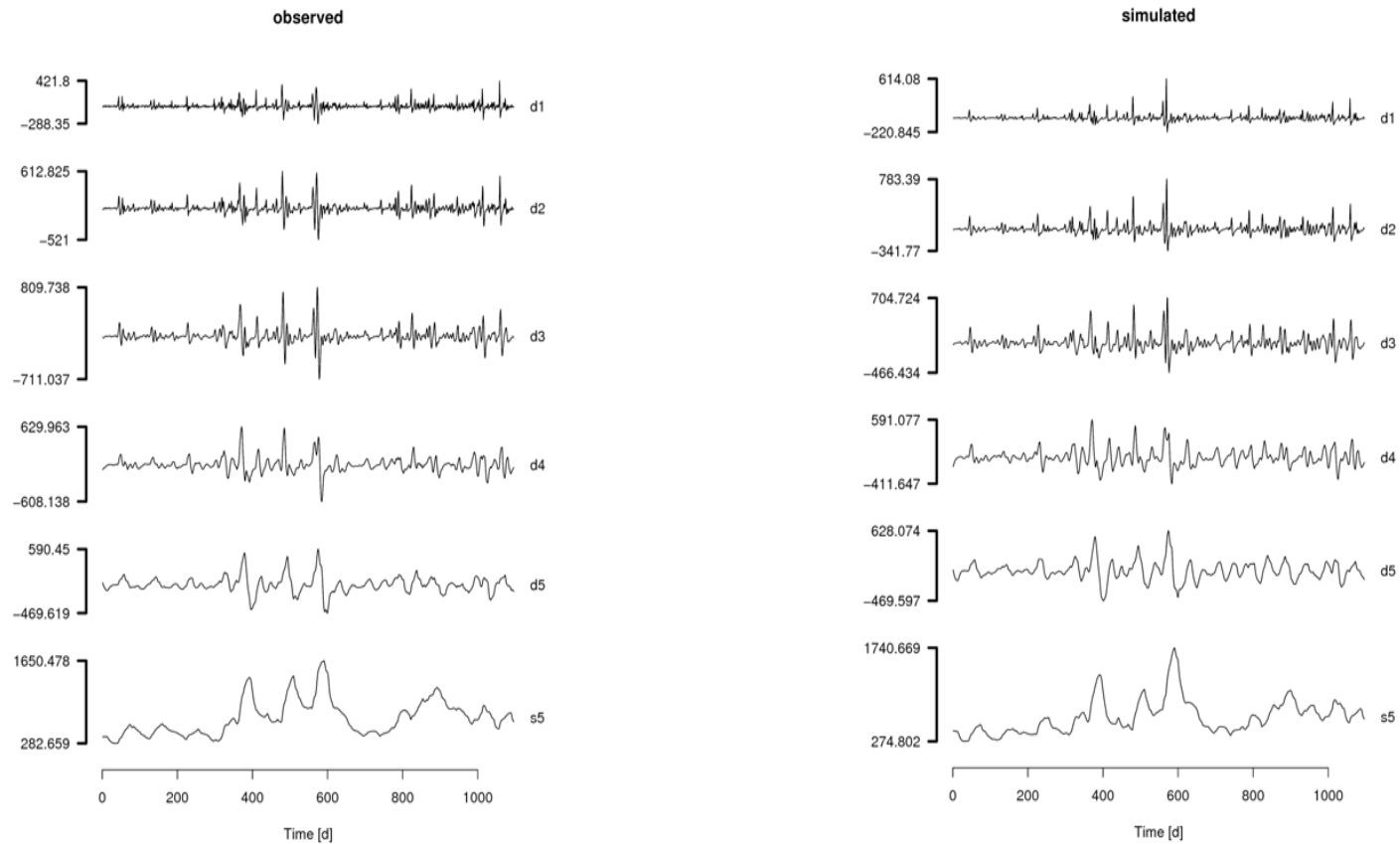


Je nach Art der
 Ausgangsdaten wird
 dieser Prozess von
 Glätten und
 Differenzenbildung
 wiederholt bis zur
 gewünschten
 Auflösung

Beispiel der Wavelet transformation für 3 Auflösungen

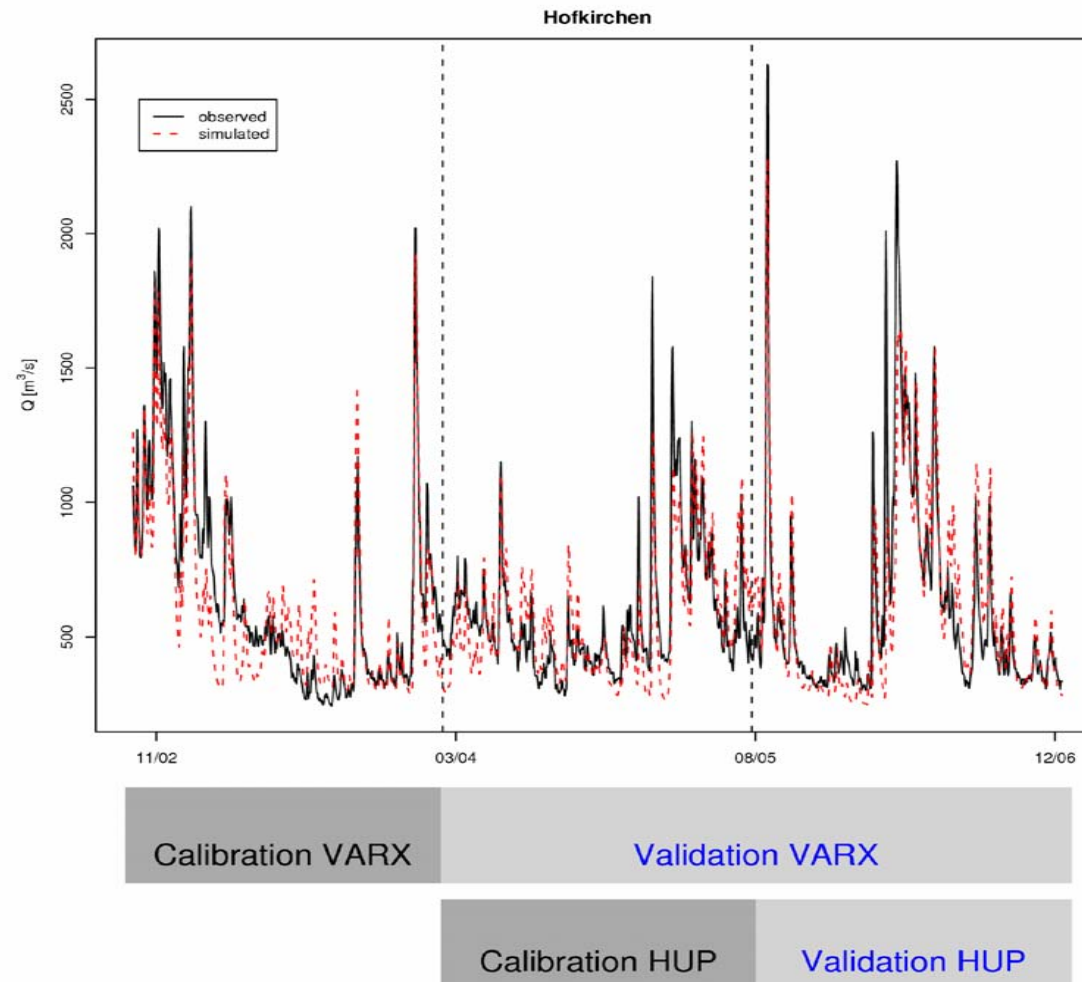


Resultierende Zeitreihen der transformierten beobachteten und simulierten Abflussganglinien



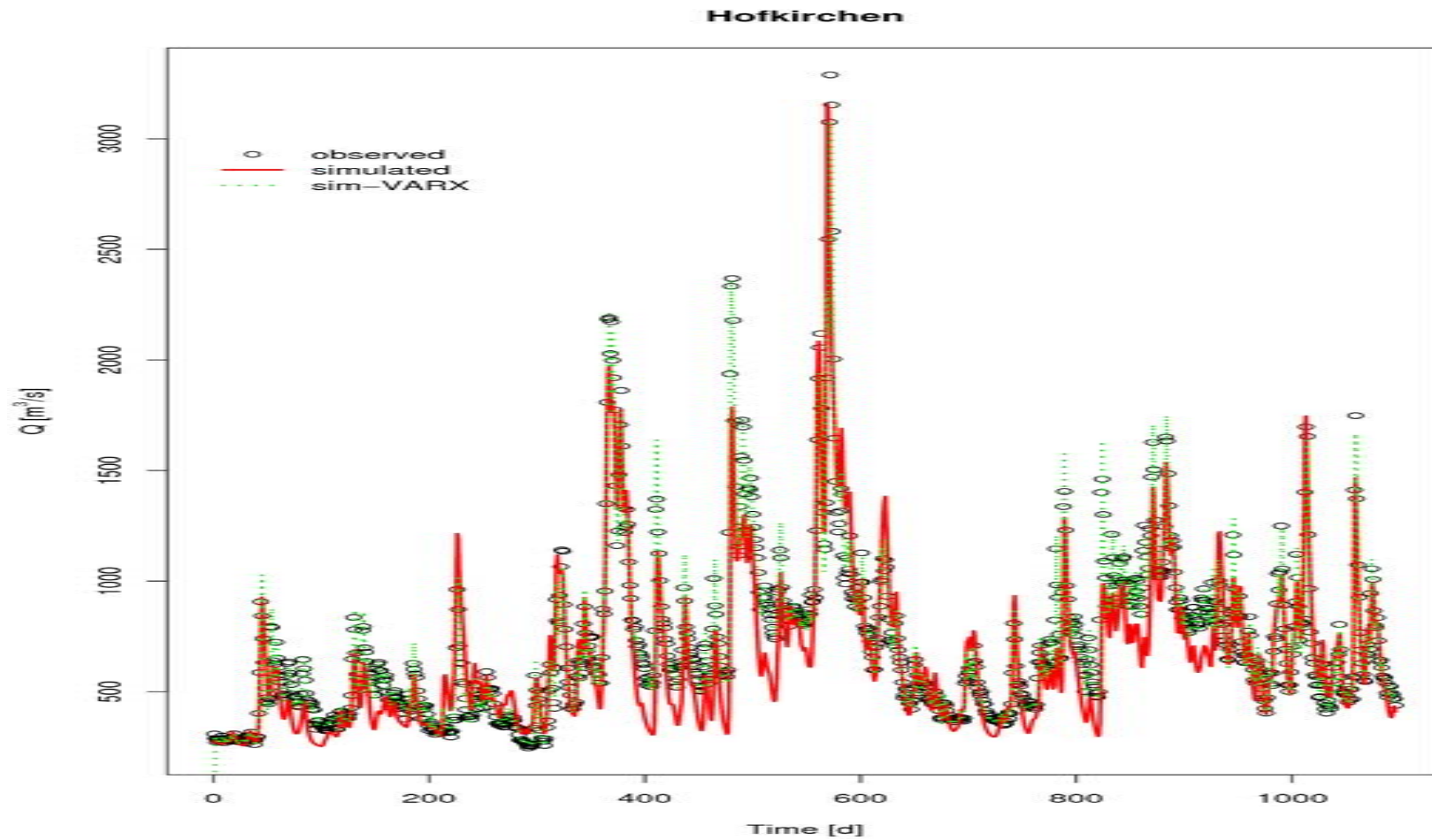
Wavelet transformation in 5 Auflösungen

- **Das *Vector Autoregressive Model* (VAR): flexibles Model, berücksichtigt die zeitliche Entwicklung und die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Zeitreihen**
 - generalisiertes univariates AR model (gemessene Werte)
- **Vorhersagen vom VAR Model können von möglichen zukünftigen Entwicklungen zusätzlicher Variablen (Simulationen) abhängig gemacht werden**
 - VAR model mit eXogenous input (VARX)
- **Umwandlung in Zustand-Raum (state-space) Form**
 - Kalman Filter (sequentielle Parameternachführung bei Ankunft von neuen Beobachtungswerten)

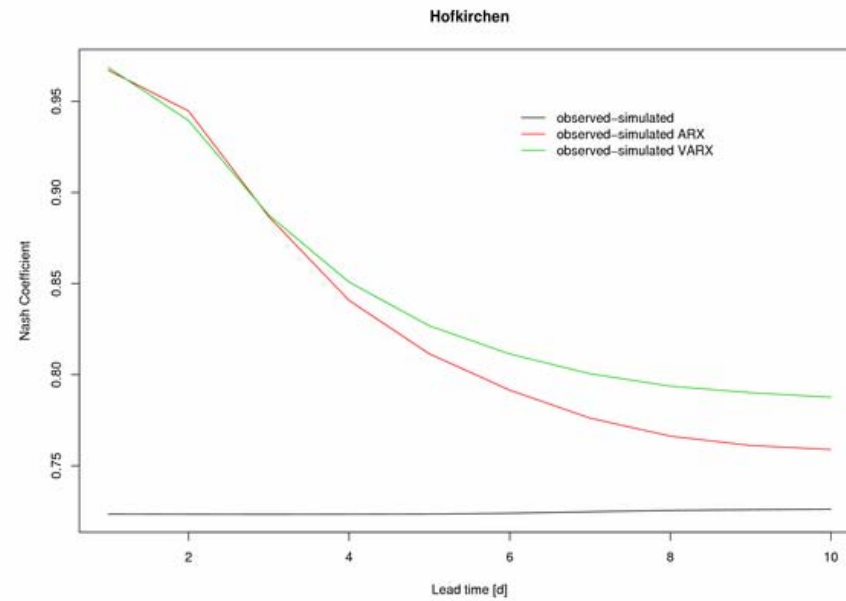
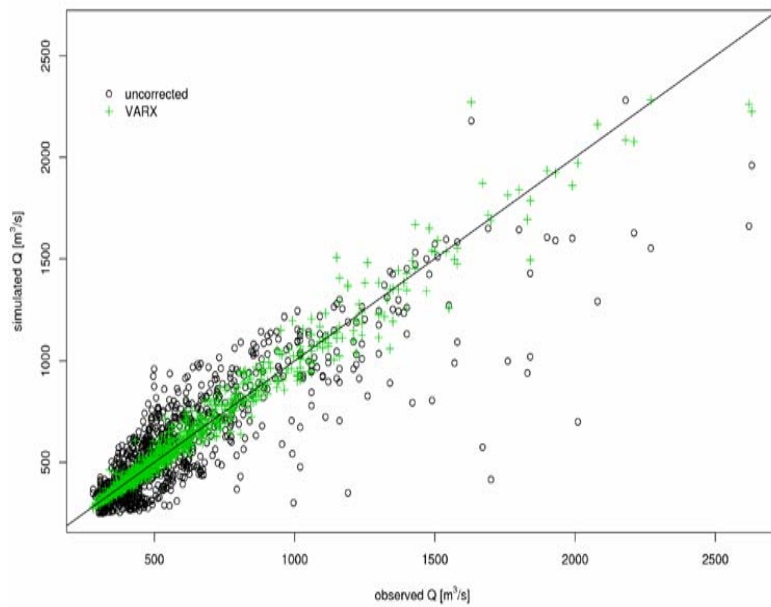


Beobachtete und simulierte Abflussganglinien

One step ahead Predictions



VARX result

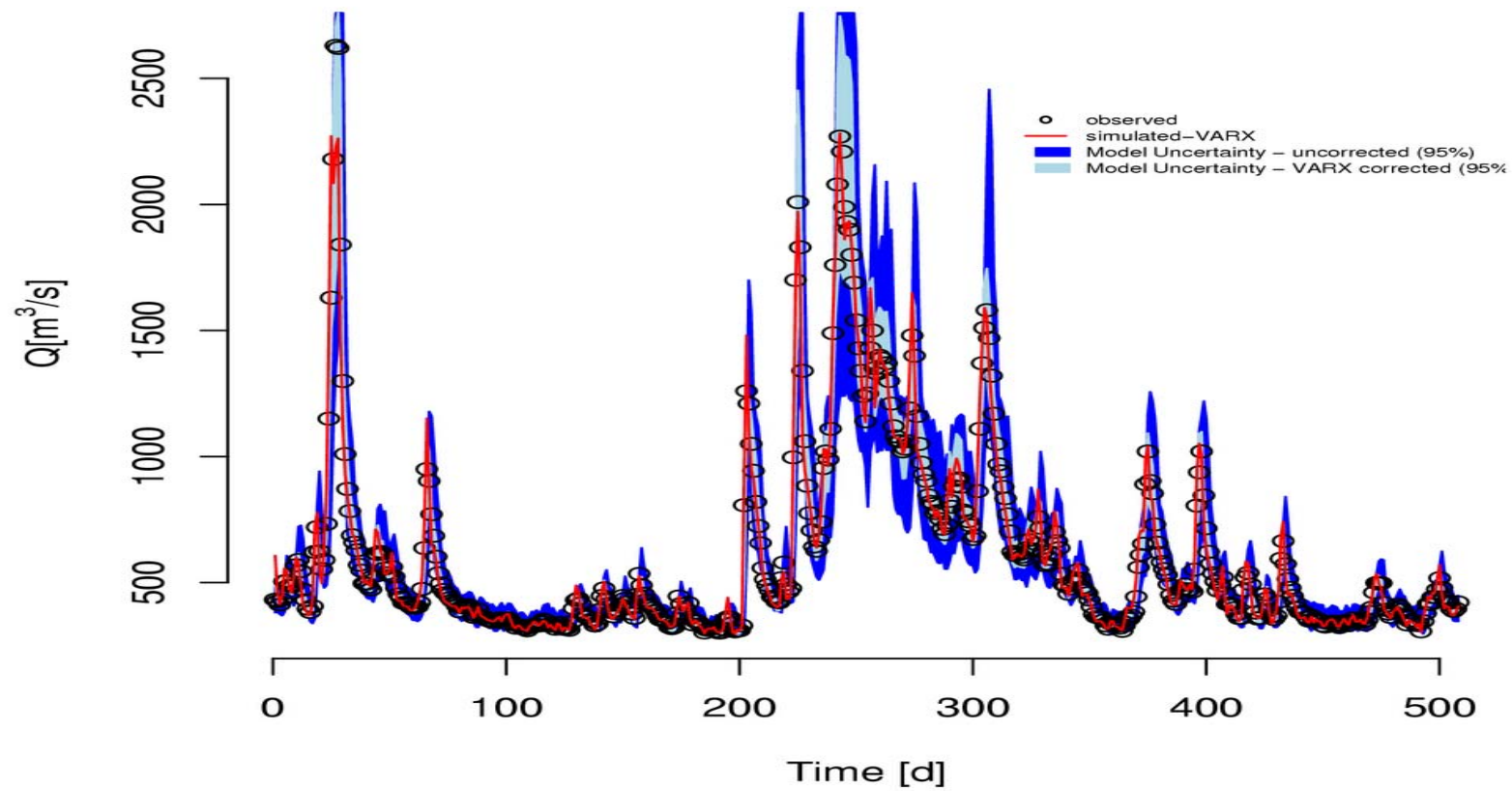


Aufteilung der Prognoseunsicherheit:

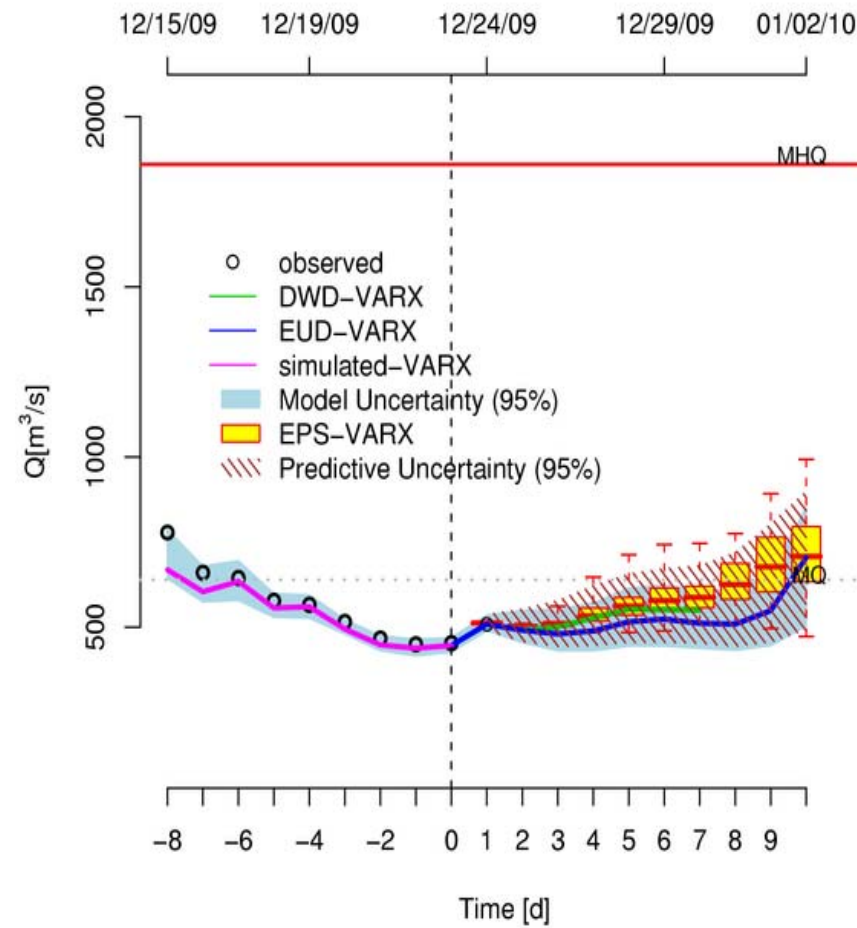
1. Hydrologische Model Unsicherheitsprozessor (HUP)
2. Input Unsicherheit (Meteorologische Vorhersage Unsicherheit)
3. Integrator

Zusammenfassung des HUP's

- **Transformation der Variable in den Normal-Raum (Meta-Gaussian)**
- **Einfache Annahmen:**
 - Prior: Autoregressive Abhängigkeitsstrukturen
 - Likelihood: Regression zwischen beobachteten and simulierten (vorhergesagten) Durchfluss
 - Posterior
- **Prognoseverteilung:**
 - Wahrscheinlichkeit des Eintreffens des vorhergesagten Abflusses unter Berücksichtigung aller verfügbaren Informationen (vergangene beobachtete und zukünftige simulierte Abflüsse)

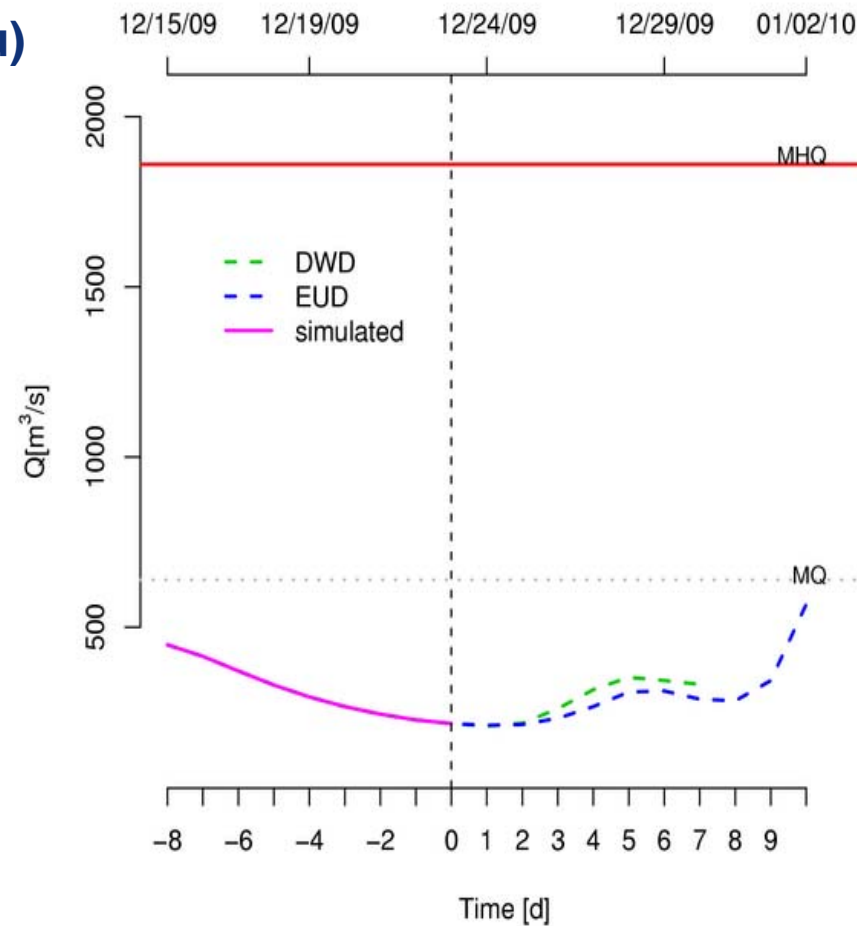


Vorhersagezeitschritt 1 Tag



Echtzeit Fehlerkorrektur

Vorhersage vom 24. 12. 2009 fuer Hofkirchen (Donau)



Wetter Vorhersage
von:

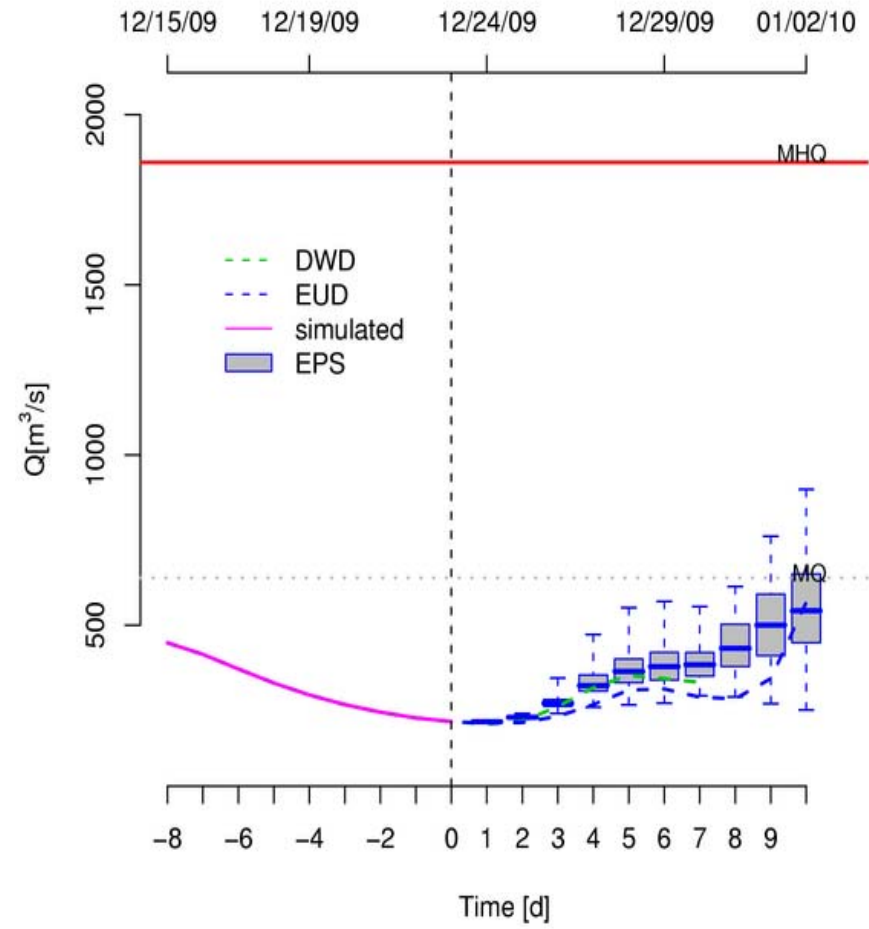
23/12/09 12:00

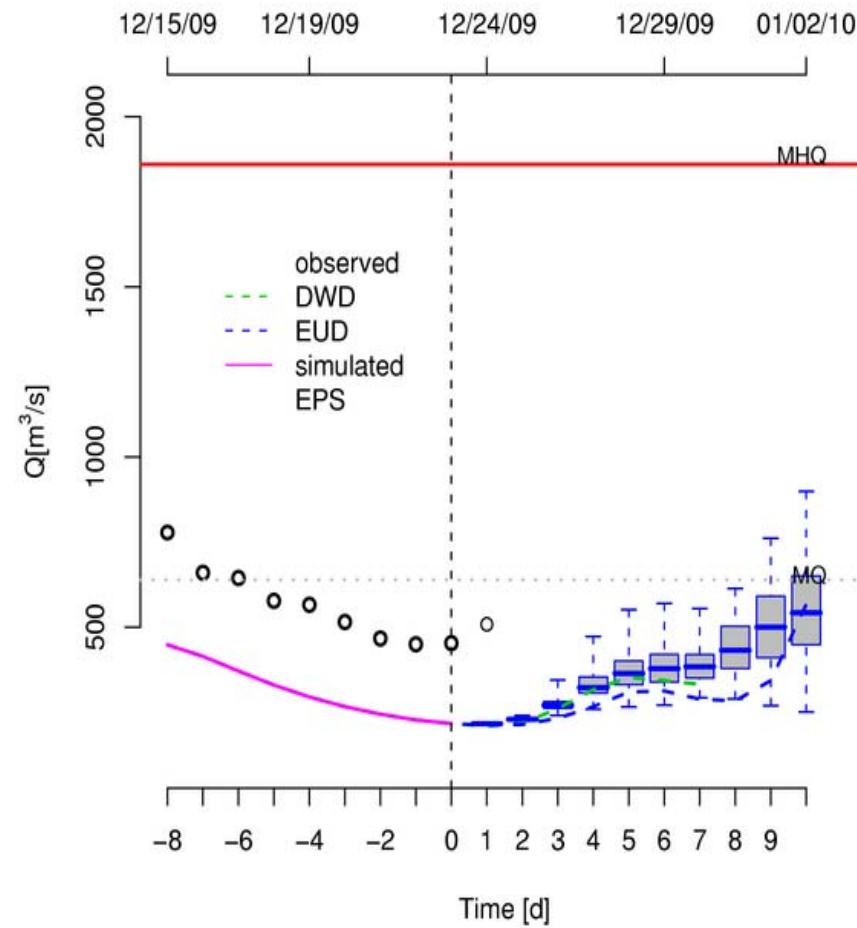
Am JRC:~

23/12/09 22:00

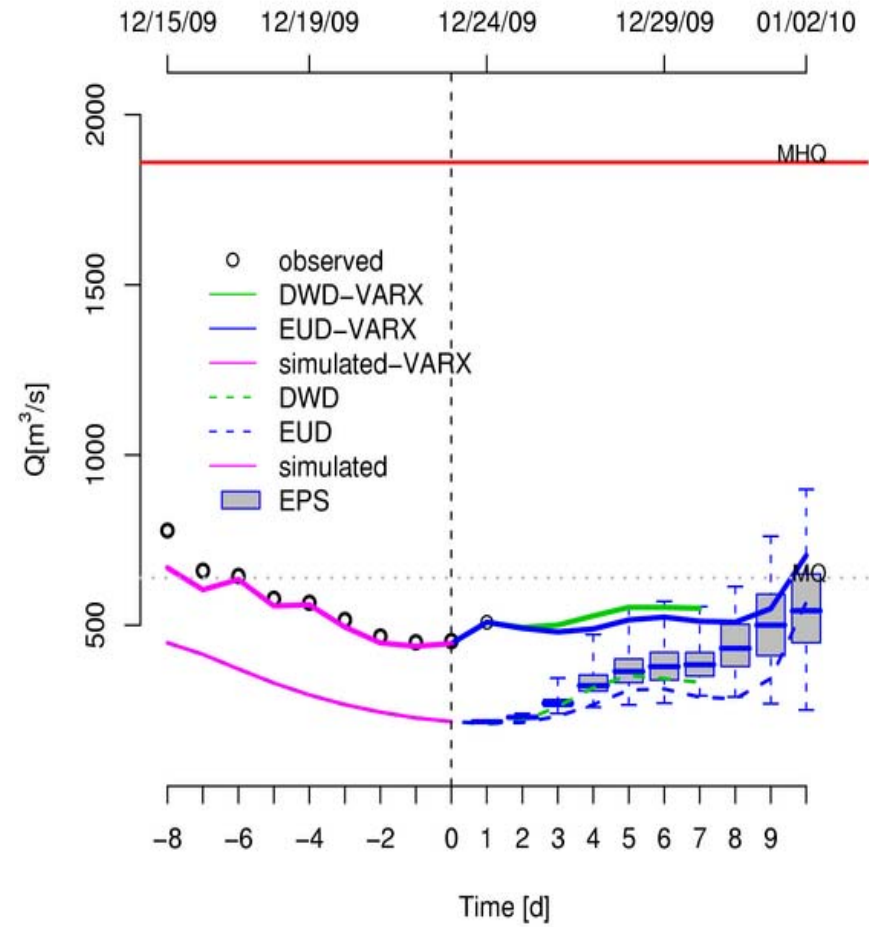
Abflussvorhersage
fertig:~

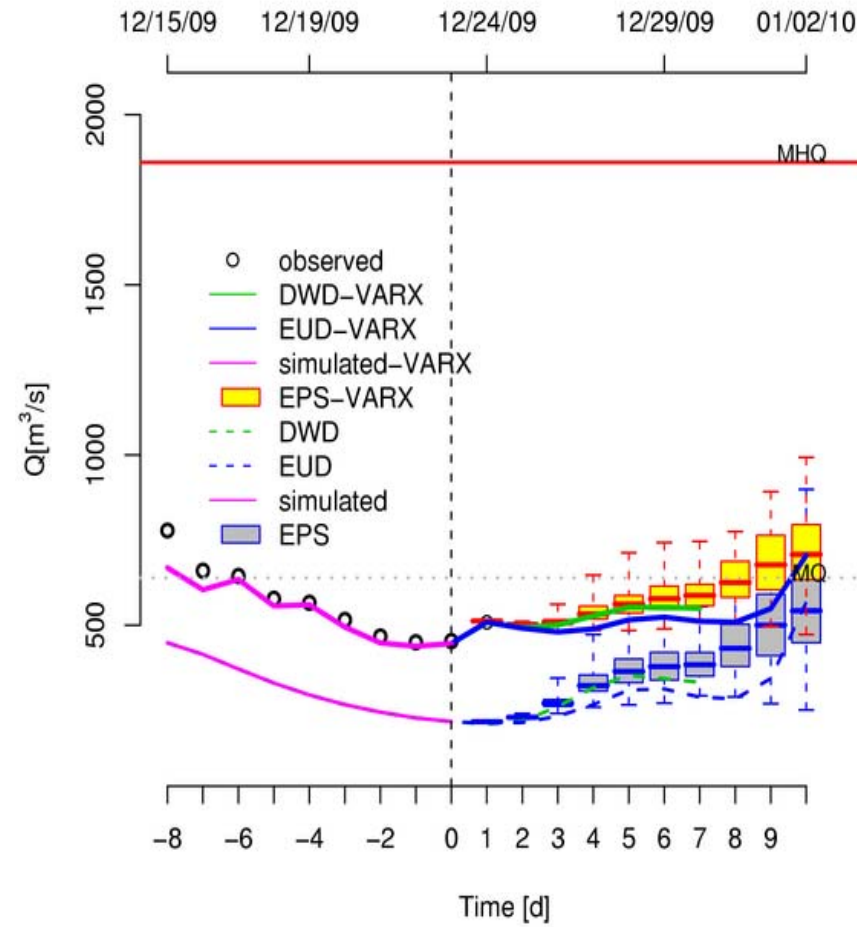
24/12/09 00:00

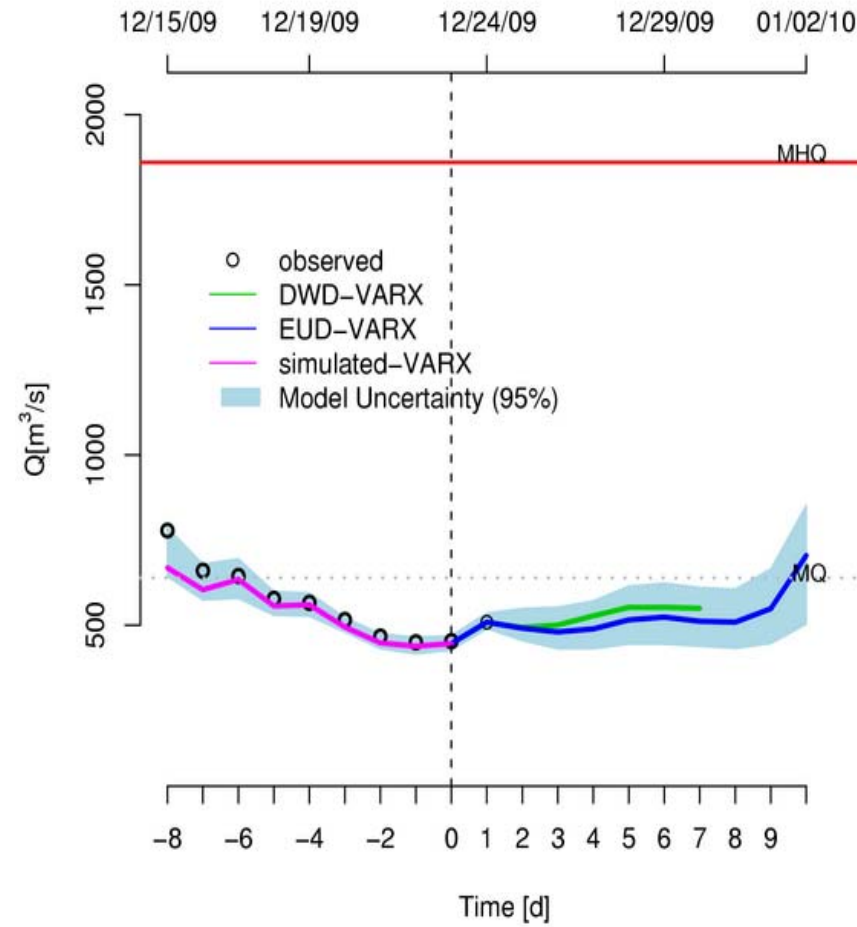


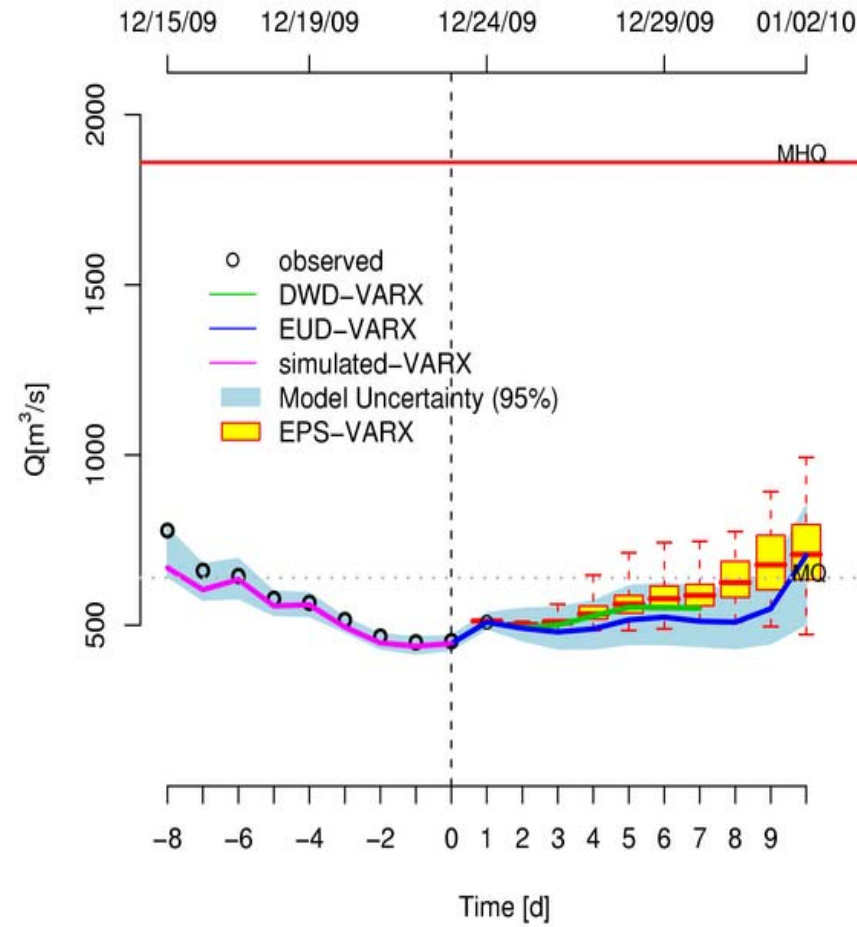


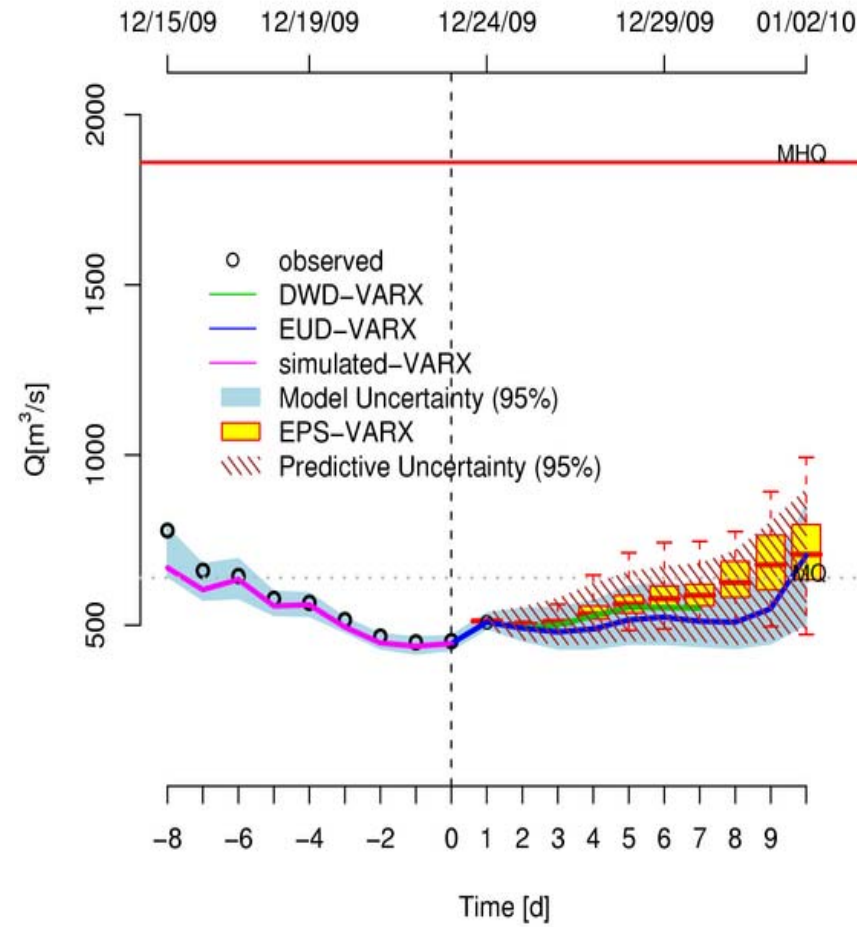
Um ca. 6:00
kommen die
Echtzeitdaten des
Abflusses

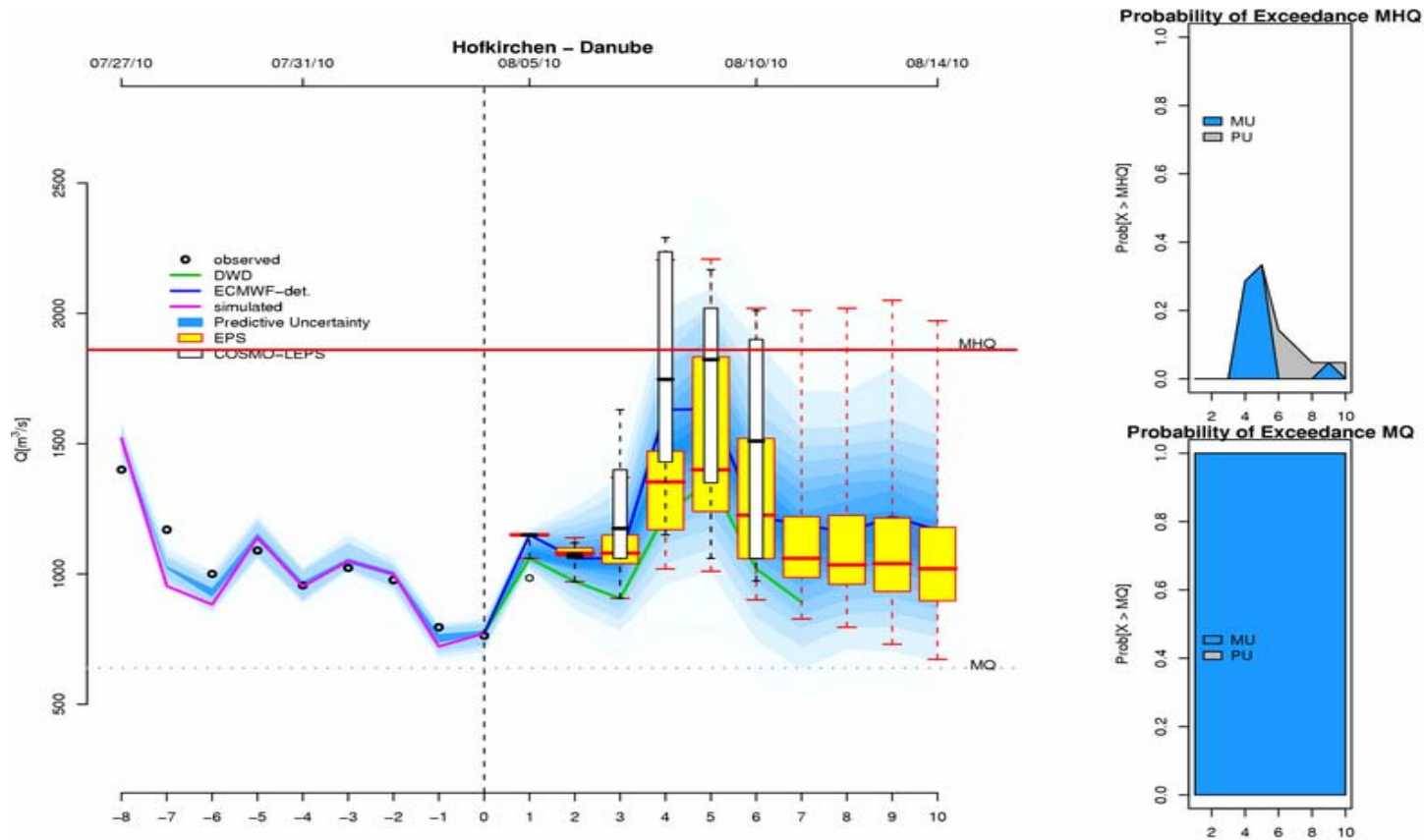








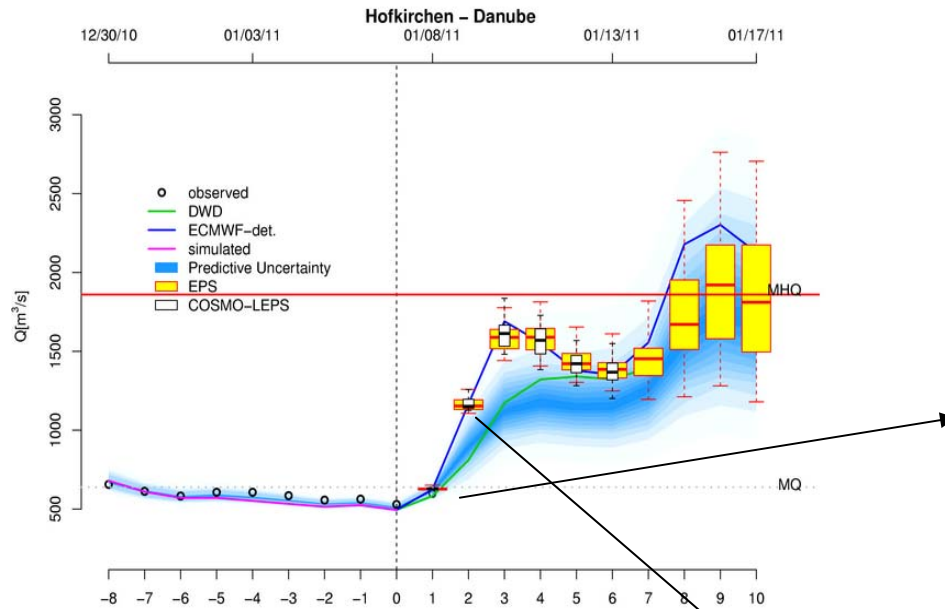




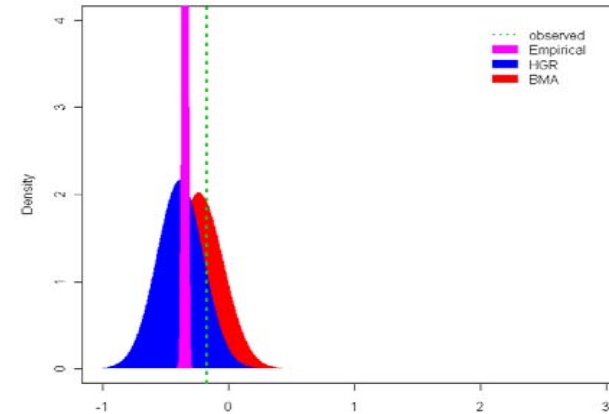
**Und so ist es momentan operationell im EFAS
 implementiert**

Weitere Schritte (under construction):

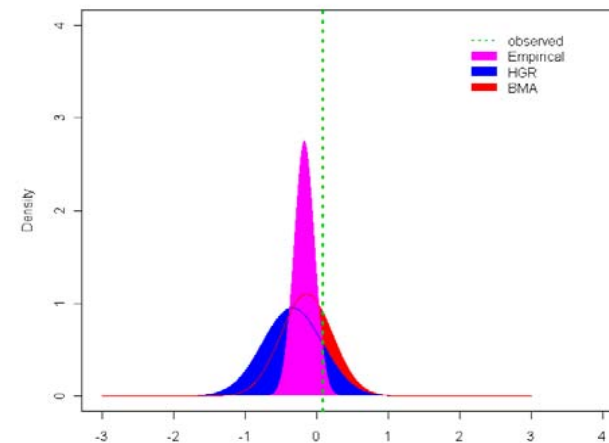
- **Verbesserung des Input Unsicherheitsprozessors:**
 - Zur Zeit empirische Gewichtung der Vorhersagen (25% DWD, 25% ECMWF det., 1% pro EPS Member)
 - Untersuchte Methoden zur Berechnung optimaler Gewichtungen
 - Bayesian Model Averaging
 - Heteroscedastische Gaussian Regression
 - Generalized Additive Model
- **Erste Ergebnisse: optimierte Gewichtung wesentliche Verbesserung**



Vorhersagezeit 1 Tag



Vorhersagezeit 2 Tage



References:

Bogner, K. & Pappenberger, F. (accepted), 'Multiscale Error Analysis, Correction and Predictive Uncertainty Estimation in a Flood Forecasting System', *Water Resources Research*.

Krzysztofowicz, R. (1999), 'Bayesian theory of probabilistic forecasting via deterministic hydrologic model', *Water Resources Research* 35(9), 2739–2750.