

LARSIM-Workshop 2015 Straßbourg

# Die Berücksichtigung der Unsicherheit der meteorologischen Eingangsdaten in der Hochwasservorhersage

Alfons Vogelbacher,  
Daniel Waldmann

## Inhalt

- Unsicherheitsbereiche und Trendvorhersagen
- Statische und dynamische Unsicherheitsangaben
- Meteorologische Ensemblevorhersagen
- Erstellung der Unsicherheitsbänder - Berechnung von Perzentilen
- Vorhersageberechnung und Visualisierung mit HUGO

## Einführung von Unsicherheitsbändern

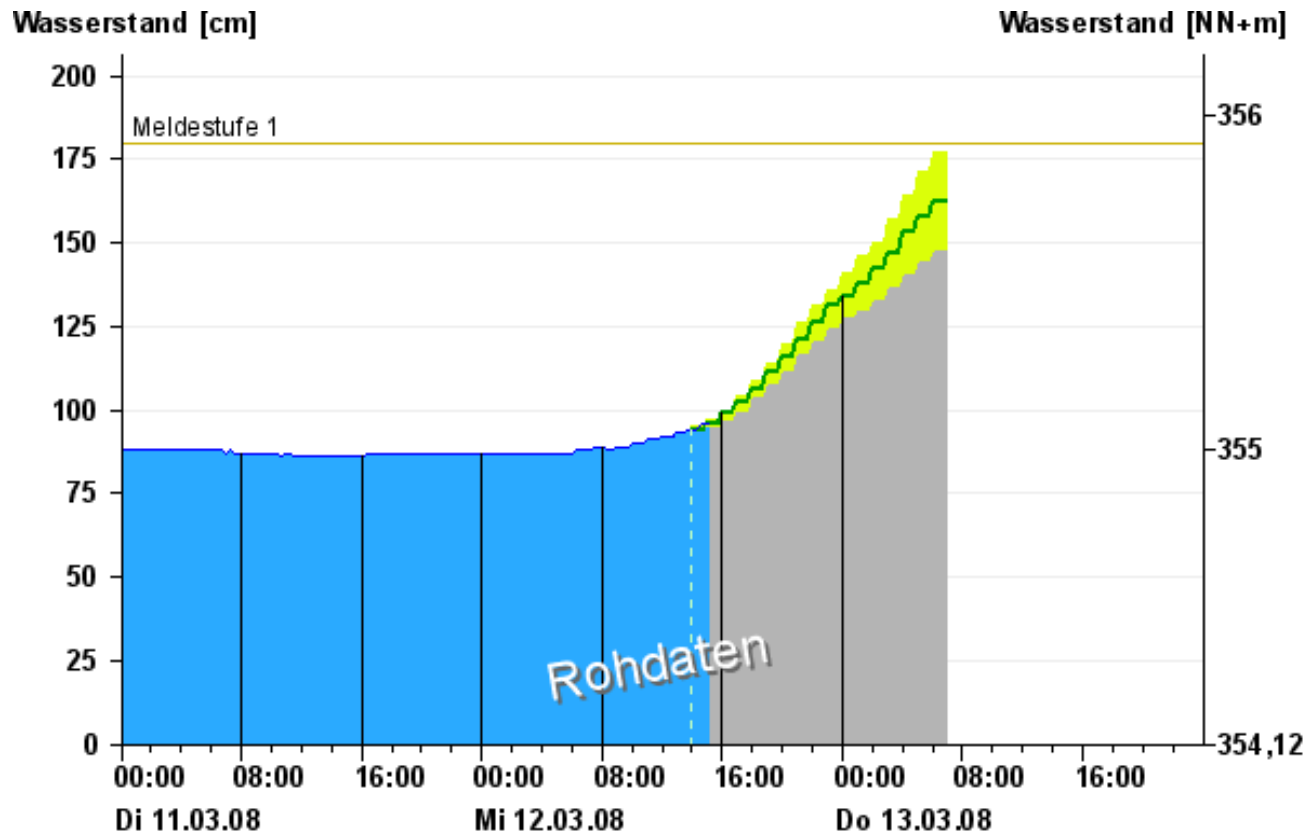
- Auslöser August-Hochwasser 2005
- Kritik an Genauigkeit der Vorhersagen
- Beschluss zur Berechnung von Unsicherheitsbereichen
- Ziel: Unsicherheit der Vorhersagen an die Kunden vermitteln
- Einführung statischer Unsicherheitsbändern in 2007 mit Visualisierung des 90% und des 10% Quantils

## Statische Unsicherheitsbänder

- **Unsicherheitsbereiche werden durch eine statistische Analyse der Abweichungen vergangener Vorhersageergebnisse von den Messwerten ermittelt.**
- Sie unterscheiden sich je nach hydrologischer Situation für Mittel- und Niedrigwasser und für die Phasen vor Hochwasser, während Hochwasser und nach Hochwasser.
- Aus der statistischen Analyse lassen sich Quantile der Abweichungen über Verteilungsfunktionen in Abhängigkeit der Vorhersagezeit ableiten. Die Ergebnisse der Berechnung der 10%- und 90%-Perzentile werden auf die Vorhersagen angewandt.
- **Praktisch bedeutet dies, dass im statistischen Mittel die obere Begrenzung in 1 von 10 Fällen überschritten und die untere Grenze in 1 von 10 Fällen unterschritten werden kann.**

## Unsicherheitsangaben

- 2007 wurden die Unsicherheitsbänder eingeführt

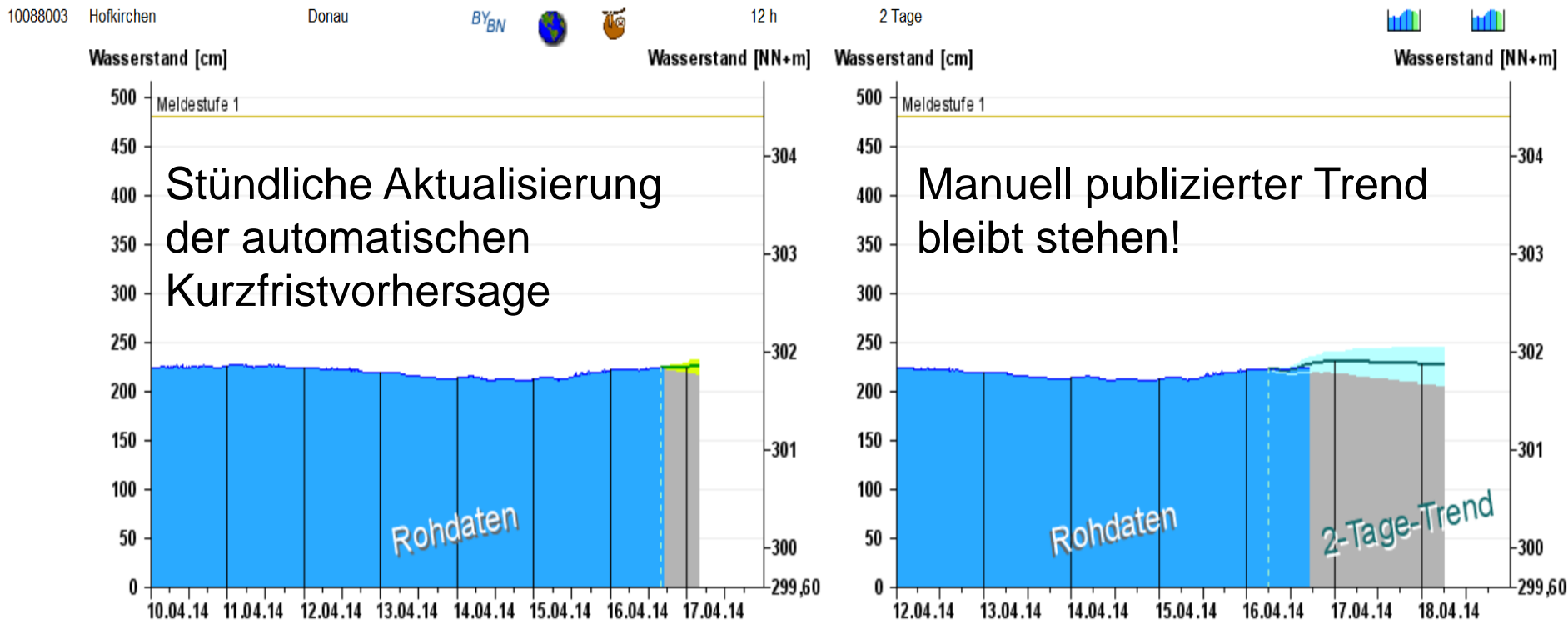


## Einführung von Trendvorhersagen 2014

- Trotz Angabe von Unsicherheiten beschränkte sich die Herausgabe der Vorhersagen auf einen Vorhersagehorizont, der im Bereich von Laufzeiten der Hochwasserwelle und Reaktionszeiten der Pegeleinzugsgebiete auf den Niederschlag beschränkt blieb.
- Dies waren überwiegend 6 – 12 und in Einzelfällen maximal 24 Stunden.
- Vorhersagen, die auch den Vorhersagezeitraum der Niederschlagsvorhersage umfassten, wurden lediglich behördenintern in der Wasserwirtschaft kommuniziert und dienten als Grundlage für die Hochwasserwarnungen der Wasserwirtschaftsämter.
- Beim Hochwasser im Juni 2013 wurden diese längeren Vorhersagen in der Öffentlichkeit diskutiert und es wurde u.a. von den Politikern gefordert, auch die längeren Vorhersagen der Öffentlichkeit publik zu machen.
- Es wurde die Trendvorhersage erfunden, die für eine Auswahl von Pegeln über einen Vorhersagehorizont von 48 Stunden parallel zur bisherigen kürzeren Vorhersage publiziert wird.

## Trenderstellung im Routinebetrieb

- Manuelle werktägliche Vorhersagenerstellung durch HVZ
- Trendvorhersage wird weniger häufig aktualisiert als Kurzfristvorhersage



## Numerische Wettervorhersagen

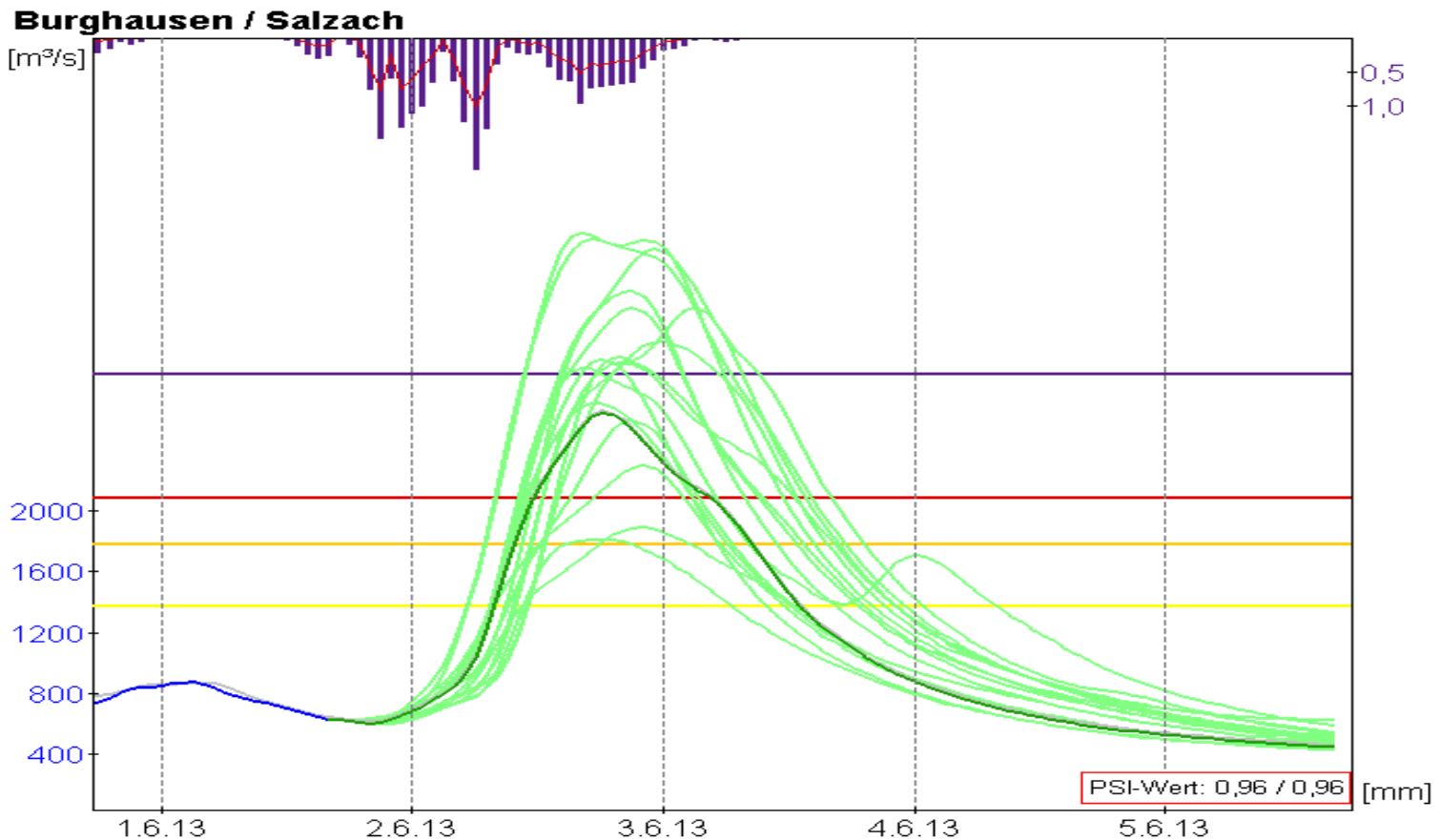
Name	Organisation	Rasterlänge	Vorhersagedauer	Aktualisierung
COSMO-DE	DWD	3 km	21 h	Alle 3 h
COSMO-EU	DWD	7 km	48 bzw 78 h	Alle 6 h
COSMO-LEPS	DWD	10 km	132 h	2 x täglich
ICON	DWD	40 km	174 h	Alle 12 h
SNOW4	DWD	3 km	42 bzw 72 h	Alle 6 h
ALMO	Meteo Schweiz	7 km	72 h	Alle 12 h
ALADIN	ZAMG	10 km	48 h	Alle 12 h
GFS	NOAA, USA	40 km	180 h	Alle 6 h
MOSS	Meteomedia	Für Stationen	96 h	Täglich



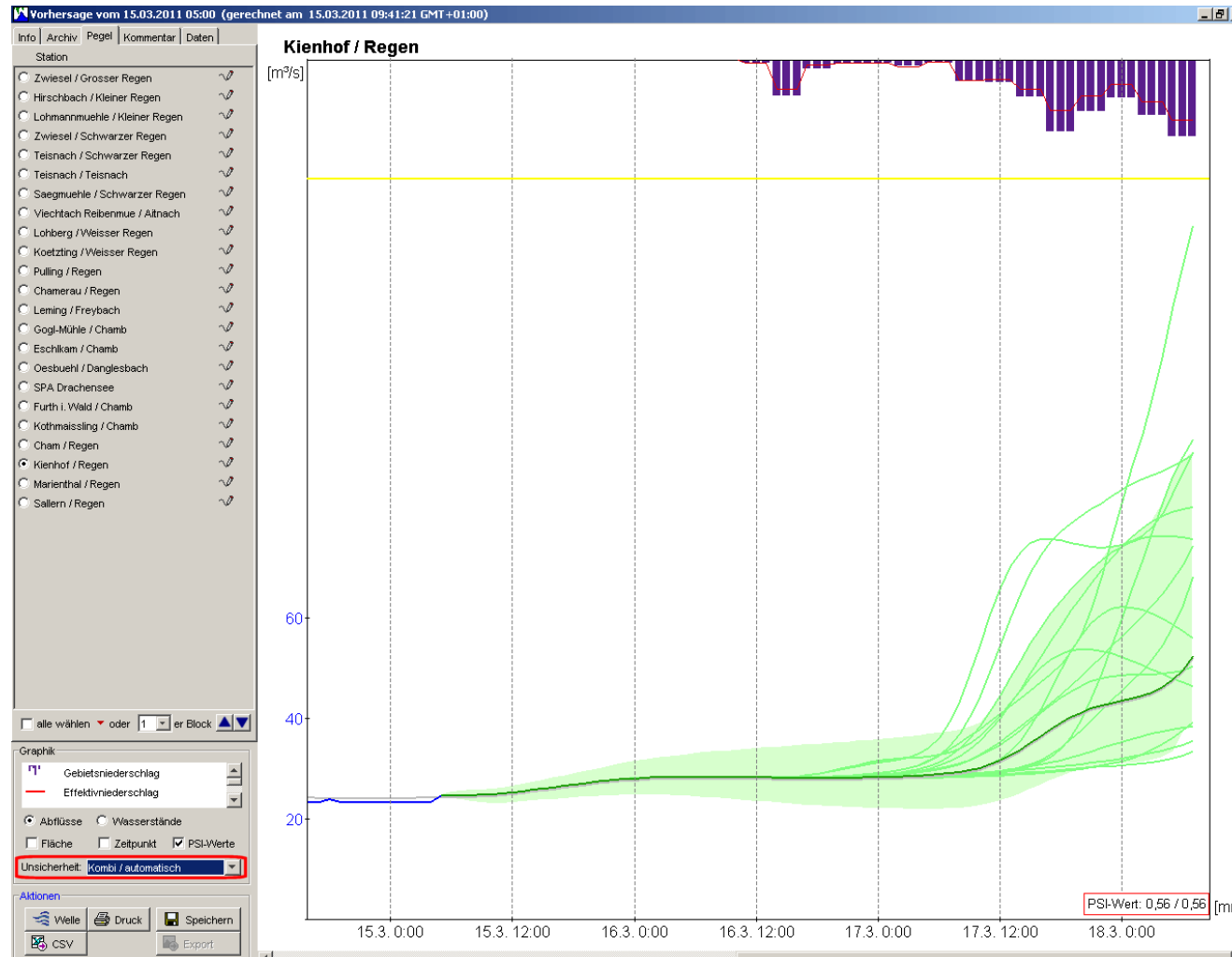
## Meteorologische Ensemblevorhersagen

- „Echte“ Ensemblevorhersagen basieren auf physikalisch zu begründenden Variationen der Anfangs- und Randwerte, der assimilierten Beobachtungen (Messfehler) und der Störung sensibler Parameter des Modells.
- ECMWF-Ensemblevorhersage (ENS), 2xtäglich, 51 Member, 30/60 km 62 Schichten, 15-Tage
- COSMO-LEPS: Aus ECMWF-Ensemble 16 repräsentative Mitglieder als antreibende Anfangs- und Randfelder für das COSMO-LEPS Modell, Gitterweite 10 km Vorhersagezeitraum 132 h.
- COSMO-DE-EPS: Unterschiedliche Member durch 4 verschiedene Globalmodelle (GME (ICON), GSM, GFS und IFS) kombiniert mit „Störungen“ der Anfangswerte und Parameter. In Einzelfällen Gruppierungen bzw. Häufungen der Ergebnisse um die vier verschiedenen „Hauptvorhersagen“.
- PEPS: Mehrere (z.B. vier) verschiedenen Globalmodelle

## Vorhersage mit meteorologischer Ensemble Vorhersage (COSMO-LEPS)



## Unsicherheitsband aus Ensemblevorhersagen und statischem Fehler



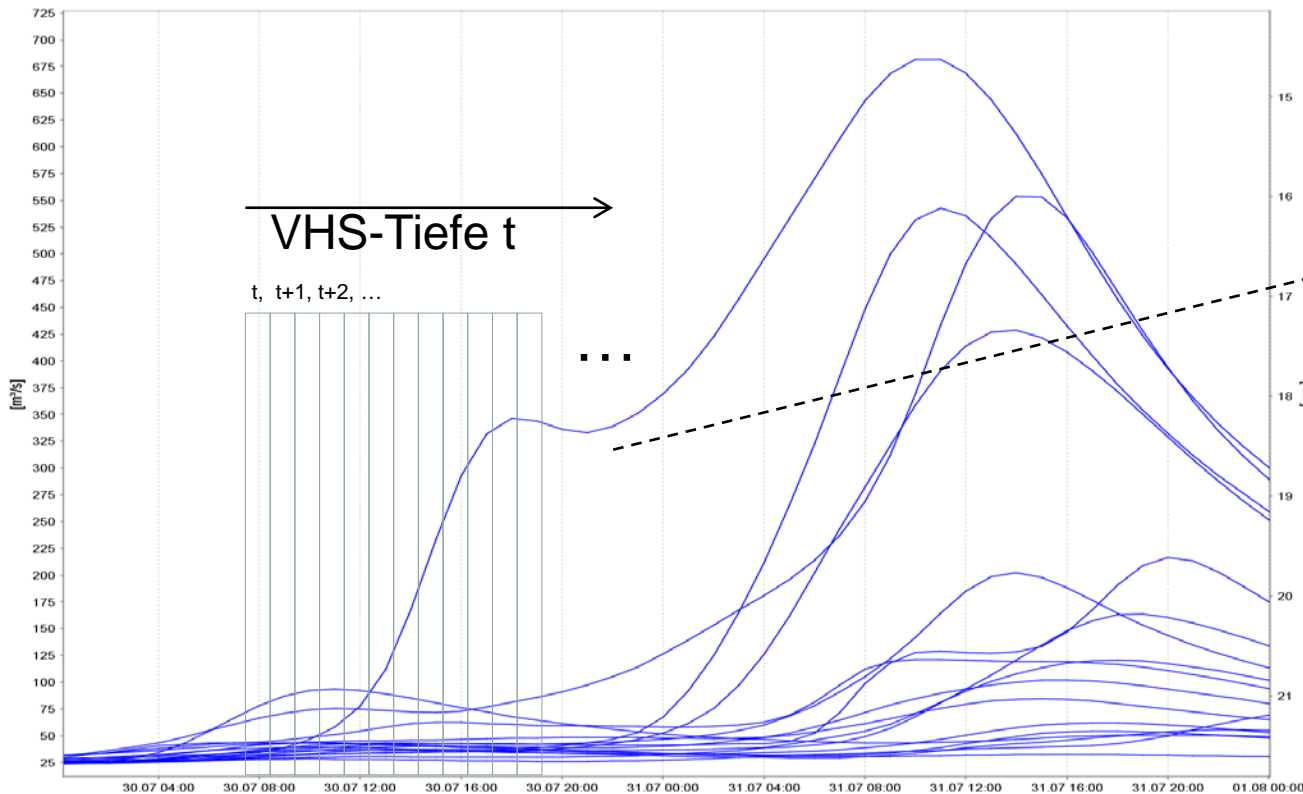
## Erstellung Unsicherheitsbänder – einfacher Ansatz

- Perzentile aus empirischer Häufigkeit
- Lage auf den gegebenen empirischen Werten, z.B. bei 20 Werten auf dem 3.-höchsten und dem 3.-niedrigsten Wert

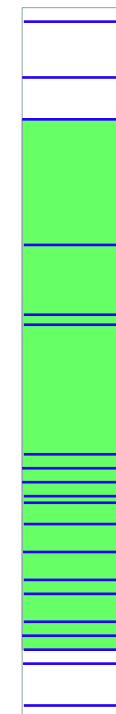
Nachteile:

- große Stichprobe notwendig
- Schätzung ist inkonsistent
- „eckiger Verlauf der Bänder

## Erstellung Unsicherheitsbänder – einfacher Ansatz



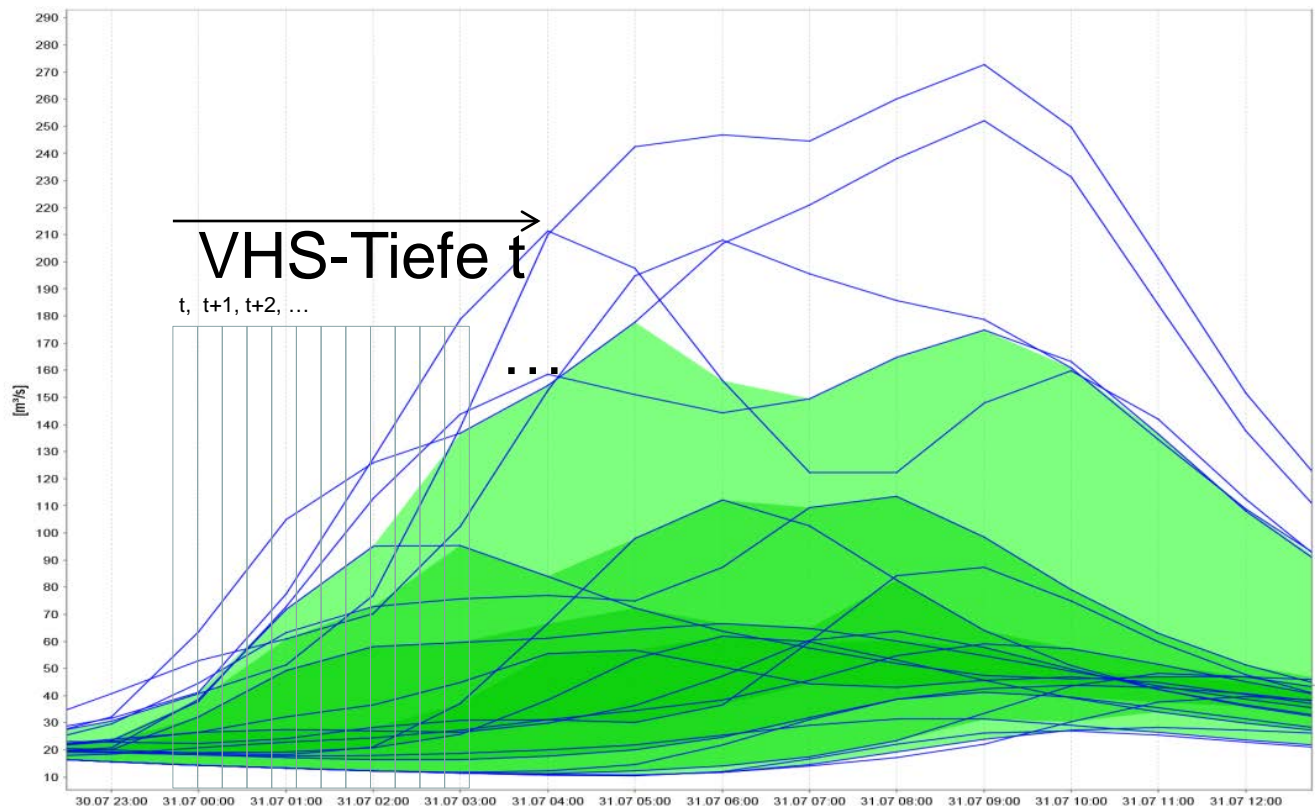
z.B. 20 Ensembles zu  
VHS-Zeitpunkt t:



**P90:** 18 Member  
unterhalb

**P10:** 2 Member  
unterhalb

## Erstellung Unsicherheitsbänder – einfacher Ansatz



## Schätzung über Verteilungsfunktion

- Anpassung Dichtefunktion für jeden Vorhersagezeitpunkt (z.B. Normalverteilung, 2 Parameter)
- Ermittlung der Quantile aus der Verteilungsfunktion

Aber:

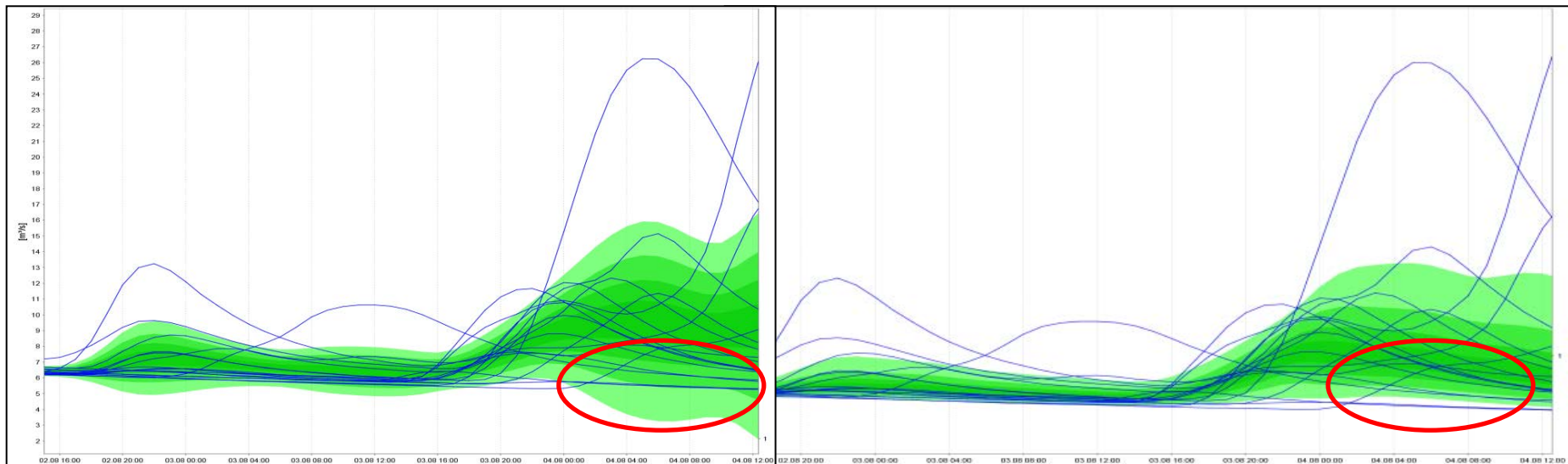
- Normalverteilung ist nicht gegeben, rechtsschiefe Verteilung der Abflusswerte
- „falsche“ Berechnung vor allem sichtbar bei den Abweichungen nach „unten“

## Erstellung der Unsicherheitsbänder

Berechnung mit Normalverteilung

Lösung:

- Verwendung einer Transformation um normalverteilte Daten zu erhalten

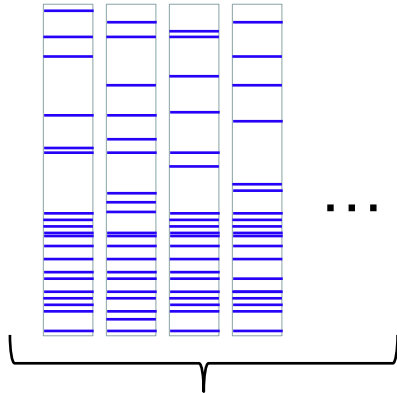




## Schätzung über Verteilungsfunktion mit transformierten Werten

- Box-Cox Transformation der Werte für jeden Vorhersagezeitschritt
- Anpassung der Normalverteilung und Berechnung der Perzentile
- Box-Cox Rücktransformation der Perzentilwerte

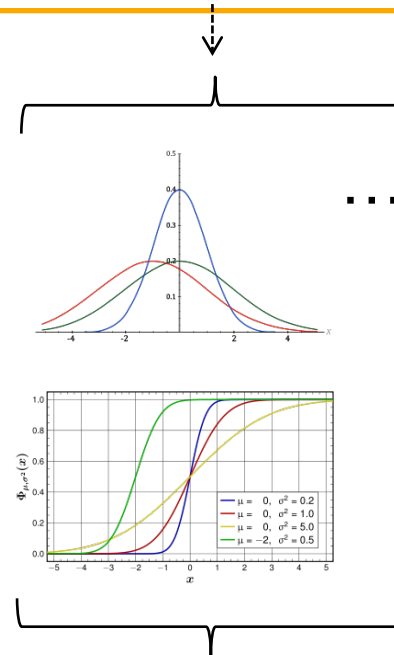
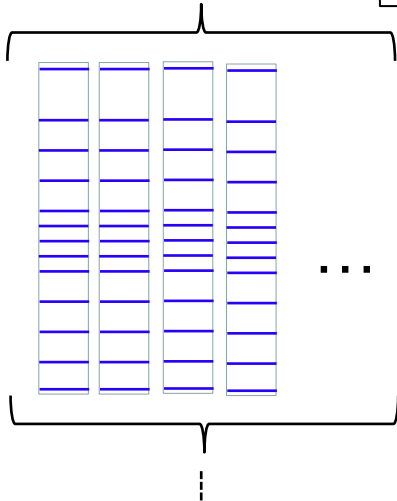
## VHS-Zeitpunkte $t$



Box-Cox

$$h(x) = \begin{cases} x^\lambda - 1, & \lambda \neq 0 \\ \log x, & \lambda = 0 \end{cases}$$

1. Box-Cox-Transformation für alle  $t \Rightarrow$  normalverteilte Daten

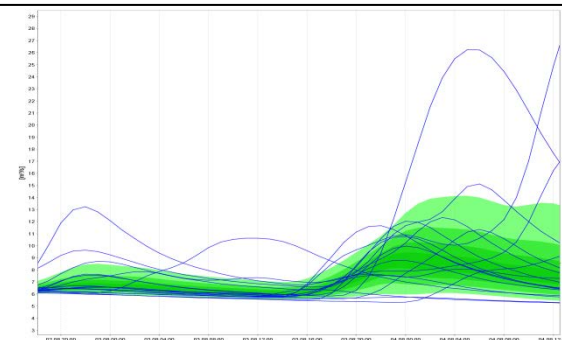


Box-Cox

2. Normalverteilte Dichtefunktion für alle  $t$  erstellen und mit Verteilungsfunktion Perzentile berechnen

3. Box-Cox-Rücktransformation der berechneten Perzentile

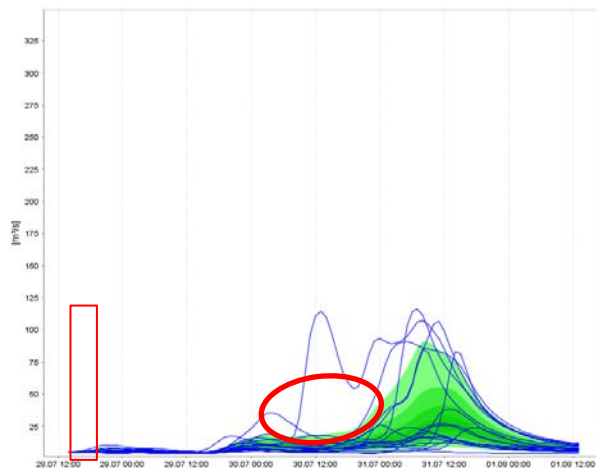
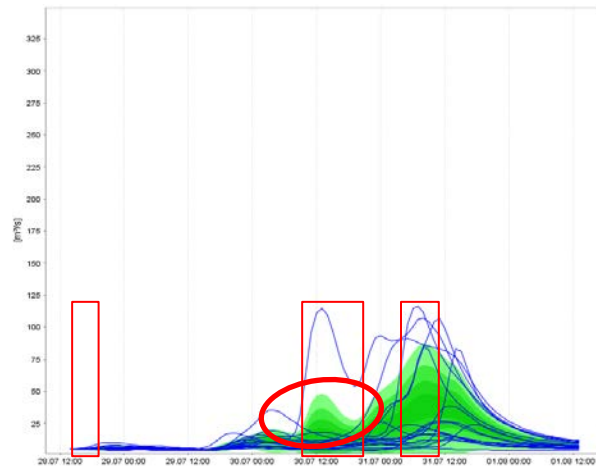
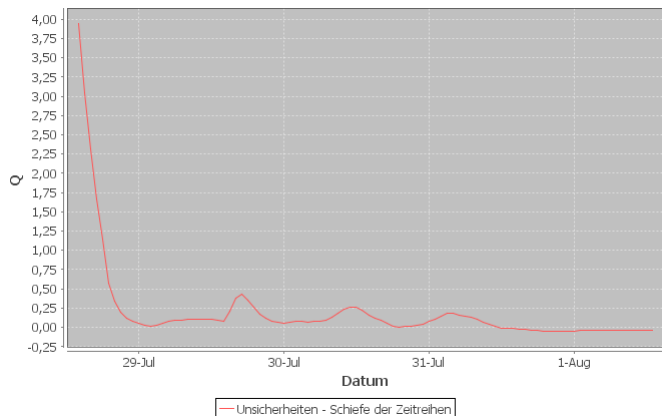
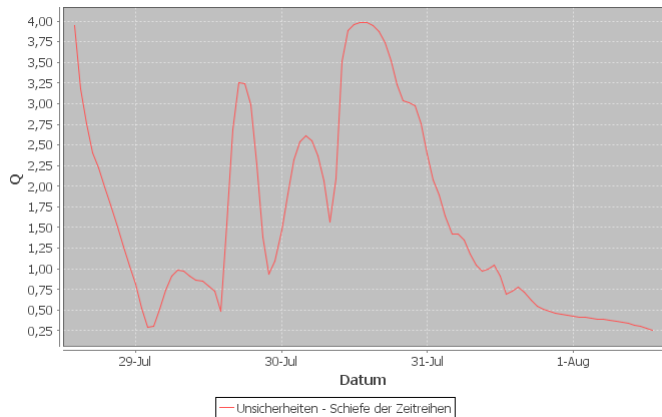
Ergebnis: Perzentil-Werte der Abflüsse für jedes  $t \Rightarrow$  Perzentilbänder



## Zusätzliche Gütetests

- Box-Cox-Transformation mit Maximum-Likelihood-Parameterschätzung
- Erzeugung der Normalverteilung basierend auf der Statistik ( $\mu$  und  $\sigma$ ) der transformierten Werte
- Prüfung mit Kolmogorov-Smirnov-Test (Signifikanzniveau  $\alpha=0.05$ ), ob die transformierten Werte der erzeugten Normalverteilung tatsächlich entsprechen

## Erstellung der Unsicherheitsbänder – Erweiterter Ansatz



Ohne Transformation:

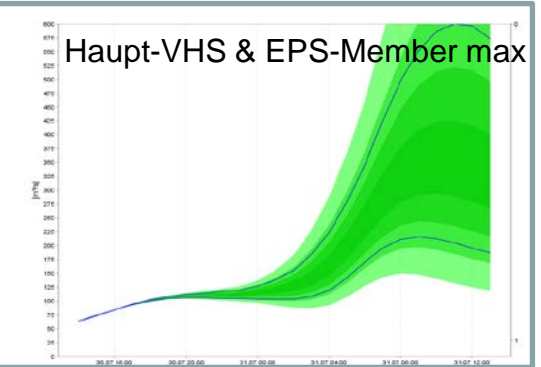
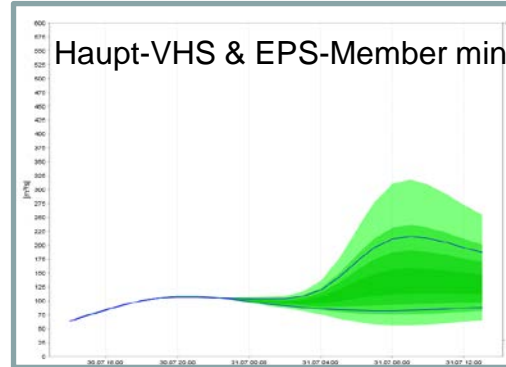
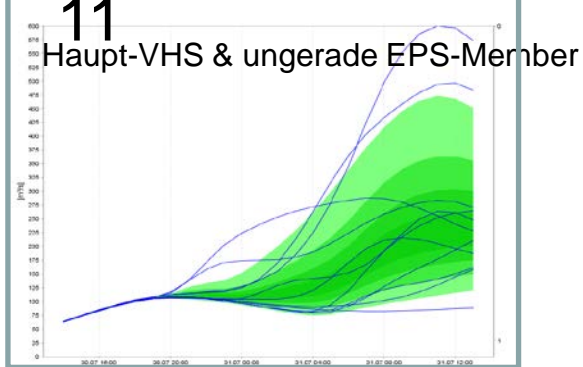
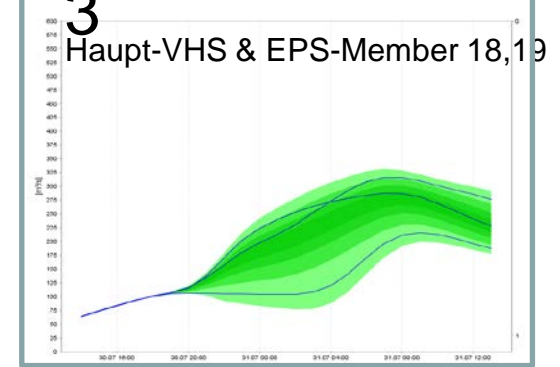
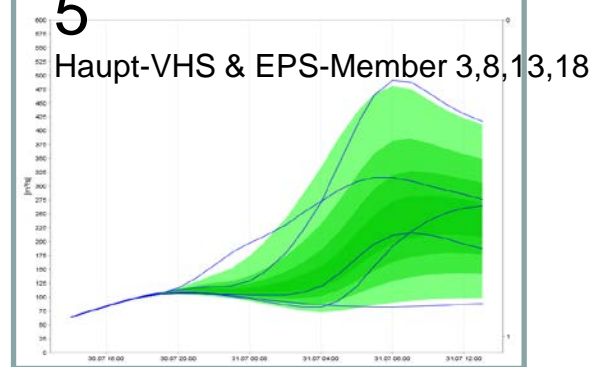
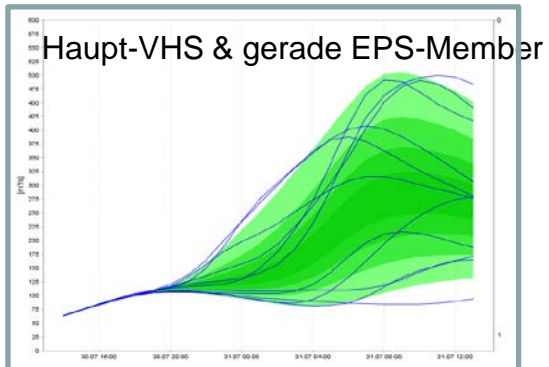
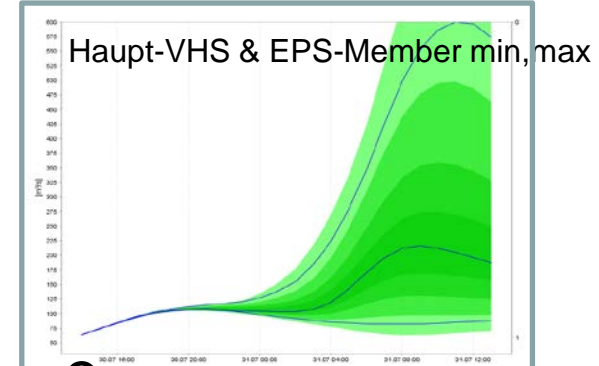
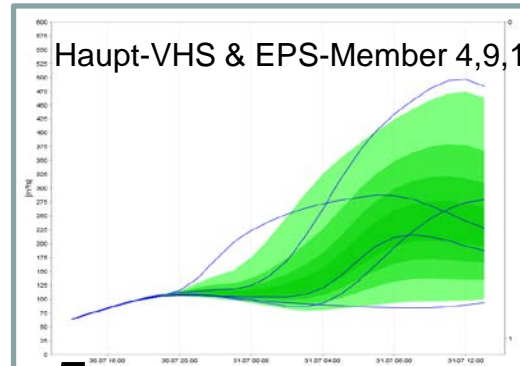
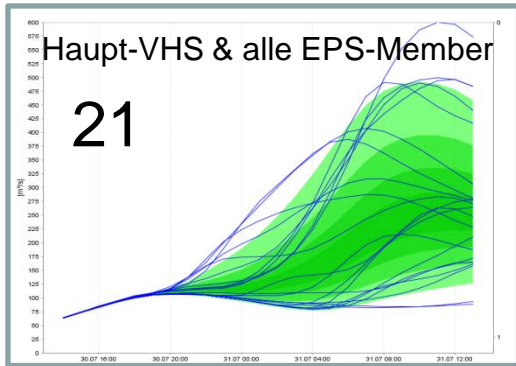
- Schiefe kontinuierlich zu hoch (linke Abb.)
- K-S-Test 19 mal abgelehnt (Abb. rechts, rote Boxen)

Mit Transformation:

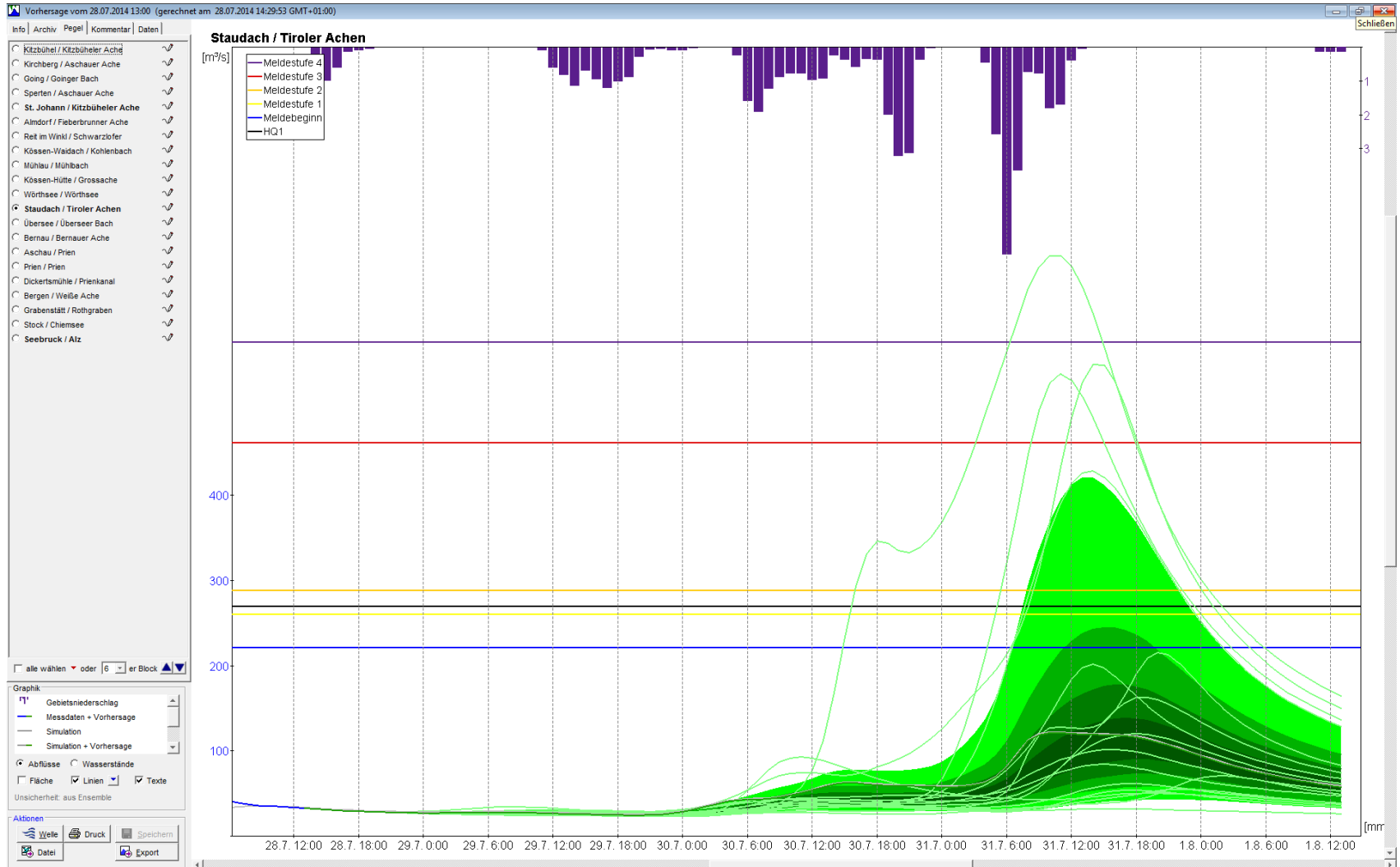
- Schiefe geht schnell nahe 0 (linke Abb.)
- K-S-Test wird 4 mal abgelehnt, i.d.R. zu VHS-Beginn bei geringer Streuung (Abb. rechts, rote Box)

## Wieviele Member werden benötigt

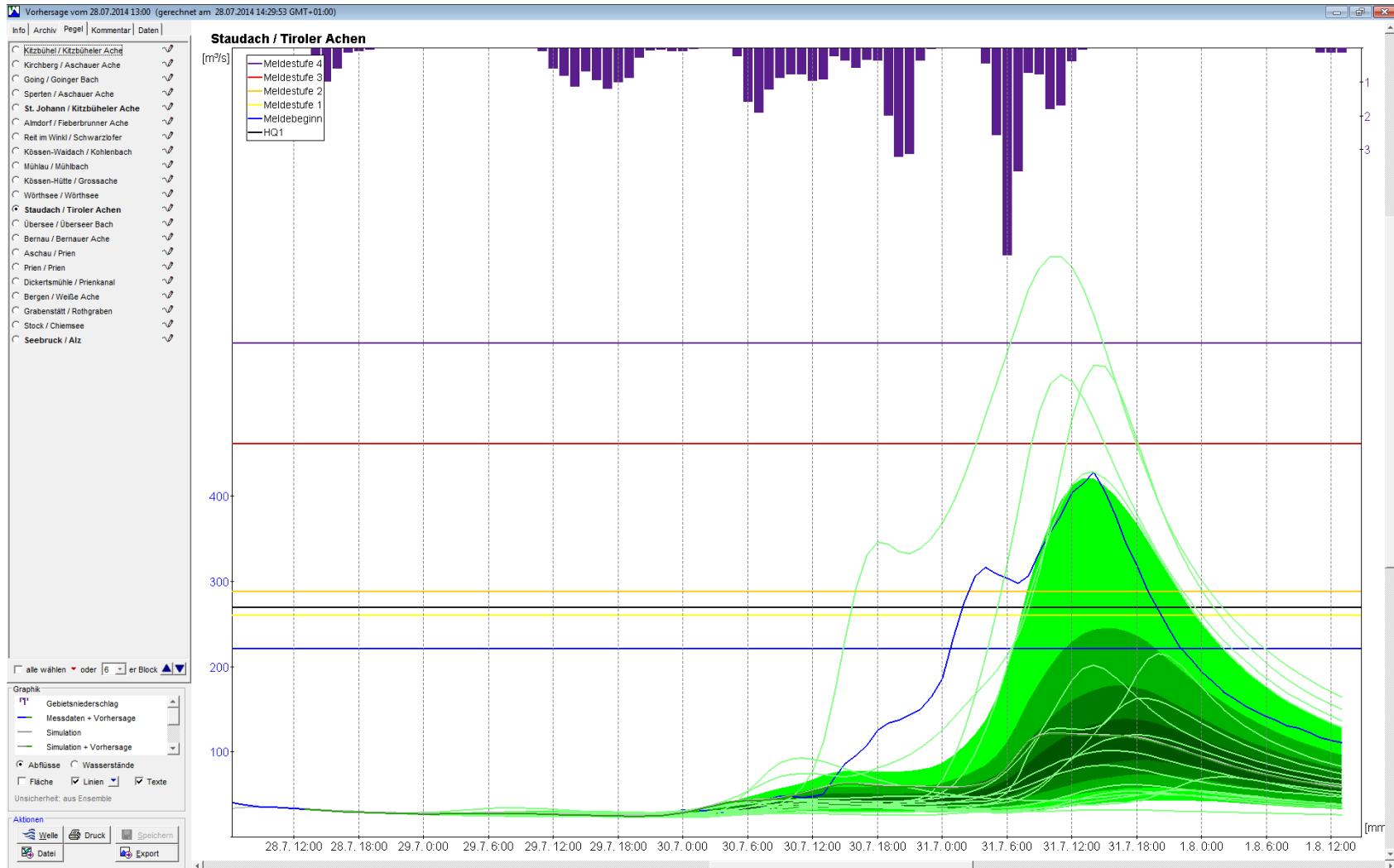
- Durch die Anwendung einer Dichtefunktion mit lediglich 2 Parametern ist eine Berechnung rein technisch schon mit 2 Membern möglich.
- Eine zuverlässige Schätzung der Spannweite bzw. der Perzentile ist damit allerdings nicht gegeben.
- Das Verfahren wird beim Poor-Men-Ensemble mit 4–5 unterschiedlichen Vorhersagen angewandt, wobei die Ergebnisse vom Anwender zu plausibilisieren sind.



# Darstellung in Hugo



# Darstellung in Hugo





## Schlussfolgerungen und Ausblick

- Die Einführung der Unsicherheitsbänder erfüllte den Zweck, die Unsicherheit in den Vorhersagen zu kommunizieren.
- Hinsichtlich der Zuverlässigkeit und quantitativen Genauigkeit der Perzentil Bestimmung sind im Einzelfall noch Zweifel angebracht.
- Für die Fehleranalyse der Vorhersagen steht ein relativer kurzer Auswertezeitraum zur Verfügung
- Nachrechnungen (hindcast) berücksichtigen die Weiterentwicklung der Modelle.
- Verlängerung des Analysezeitraumes in die Vergangenheit ist nicht möglich, da die notwendigen Eingangsdaten fehlen.
- Die generelle Nutzung der Ensemblevorhersagen für die Erzeugung der Unsicherheitsbänder der 10% und 90% Perzentile steht noch aus.