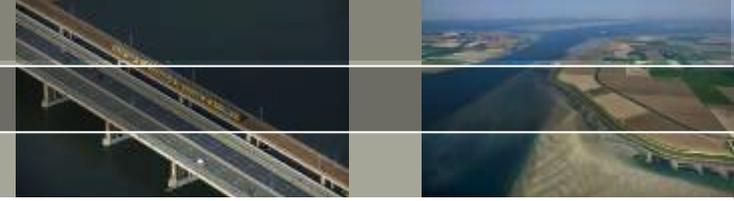




# Probabilistische Vorhersagen mit Ensemble Methoden

Maarten Smoorenburg, Jan Verkade, et al.,

Delft-FEWS Anwendertreffen, Wien, 7 September 2017



# Probabilistischen Vorhersagen: Team

Deltares Abteilungen

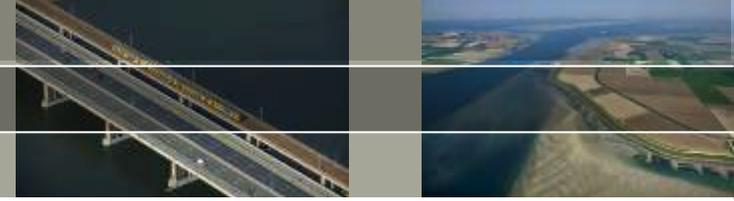
Operational Water Management

Marine and Coastal Information Science

Stichwörter: **Probabilistische Vorhersagen**, **Daten-Assimilation**, Decision Support Systems, Echtzeit-Flutkatastrophenmanagement



**Deltares**



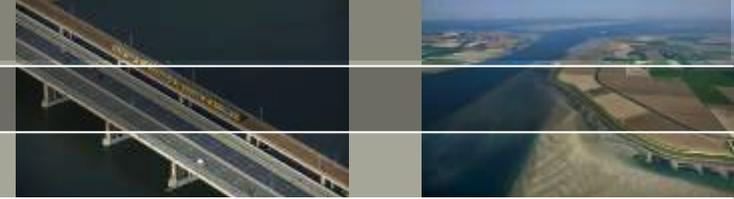
# Ziele des Vortrags

- Informieren: was machen wir?
- Diskussion / Austausch:
  - Erfahrungen (Produkten/Methoden)
  - Interessen
  - Was braucht man zur vernuenftichen Entscheid?

Jan Verkade in 2012:

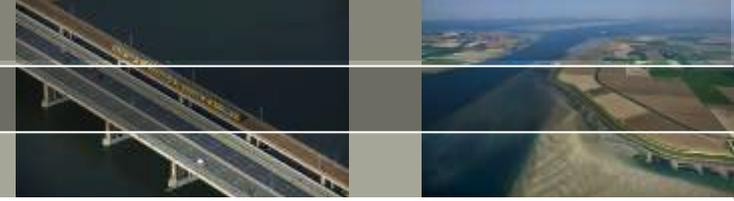
*„Zukünftig werden probabilistische Vorhersagen der Stand der Technik sein. Wir müssen schön jetzt darüber nachdenken, wie die probabilistischer Vorhersagen effektiv zu nutzen:*

- *Aufteilung der Verantwortung: Vorhersageproduzent und Entscheidungsträger*
- *Visualisierung und Kommunikation*
- *Entscheidungsprozesse“*



# Contents

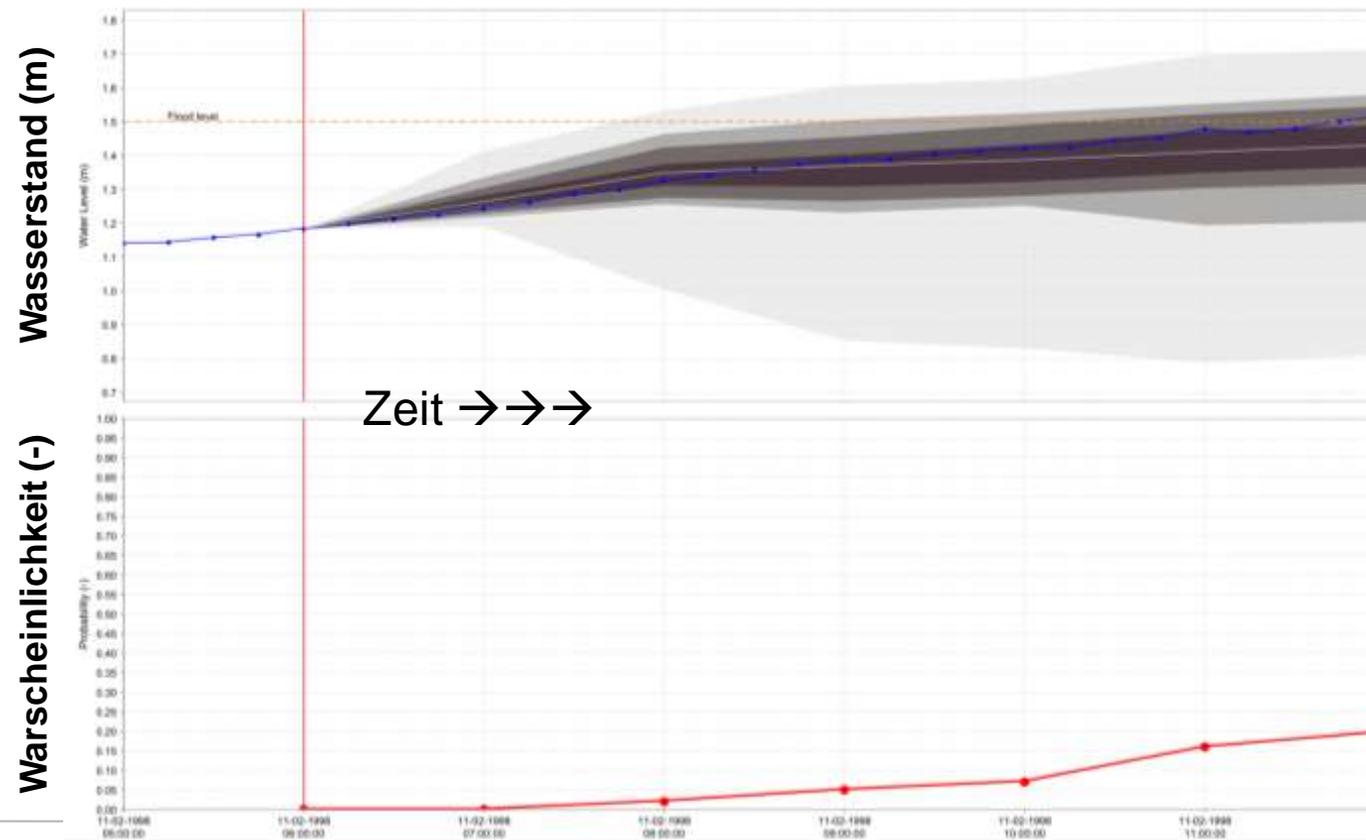
1. Was ist eine probabilistische Vorhersage?
2. Warum probabilistische Vorhersagen → Erfahrungen
3. Ensemble Methoden
4. Sonst noch etwas?
  - a) Verifizierung
  - b) Entscheidungsunterstützungssystemen
5. Schlussfolgerungen

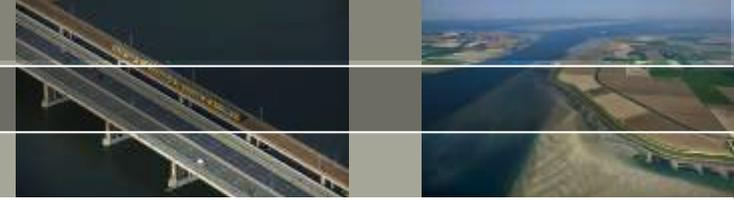


# Was ist eine probabilistische Vorhersage?

Probabilistik: Wahrscheinlichkeitstheorie

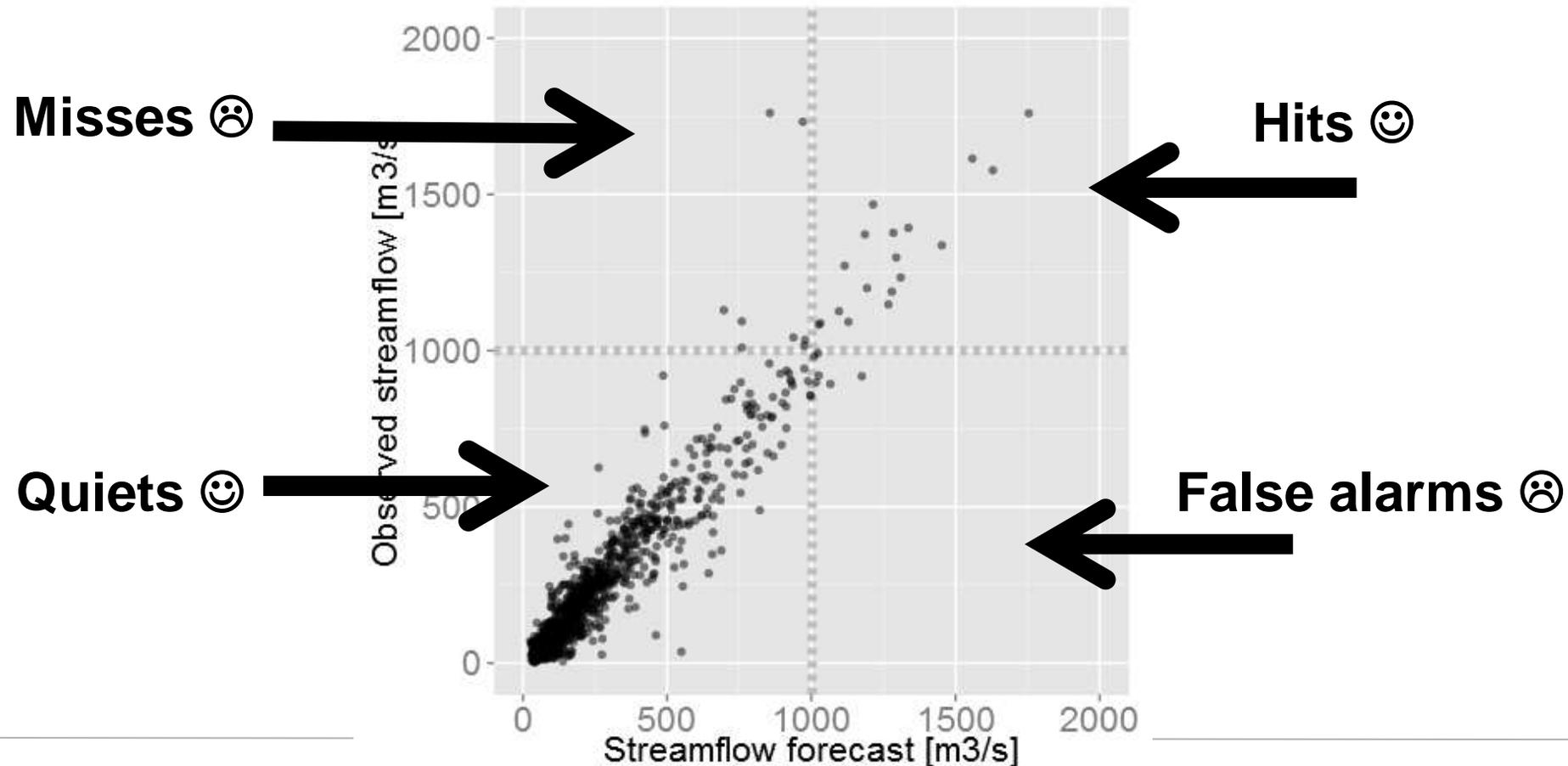
Probabilistische Vorhersage: Vorhersage auf Basis von Wahrscheinlichkeiten

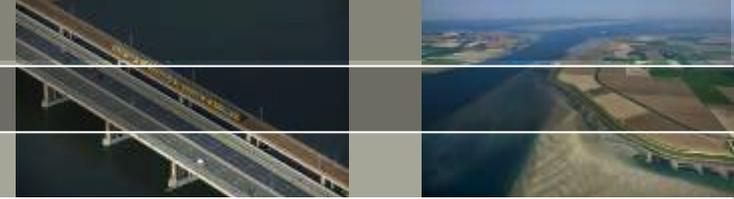




# Warum probabilistische Vorhersagen?

1. Es wird deutlich dass die Vorhersage mit Unsicherheiten behaftet ist.





# Warum probabilistische Vorhersagen?

1. Es wird deutlich dass die Vorhersage mit Unsicherheiten behaftet ist.
2. Aufteilung der Verantwortung zwischen Vorhersager und Entscheidungsträger

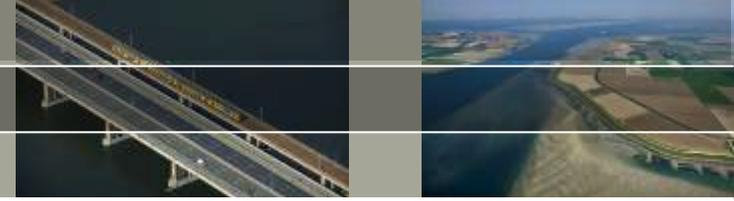


# Warum probabilistische Vorhersagen?

1. Es wird deutlich dass die Vorhersage mit Unsicherheiten behaftet ist.
2. Aufteilung der Verantwortung zwischen Vorhersager und Entscheidungsträger
3. Ermöglichen eine risikobasierte Entscheidungsfindung

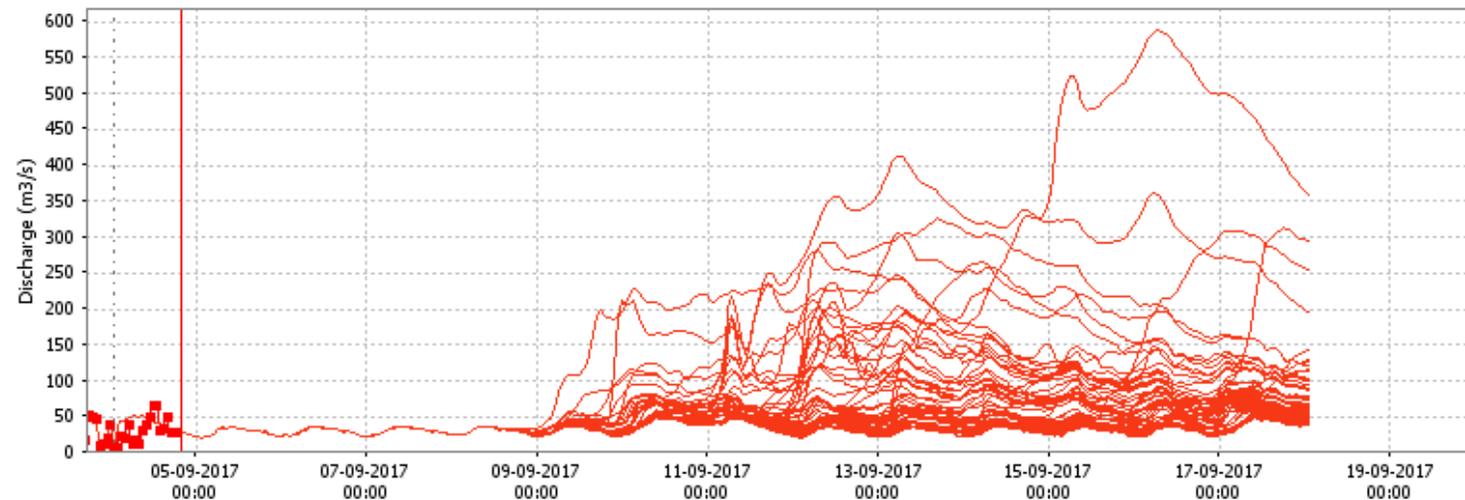
***Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit x Schaden***



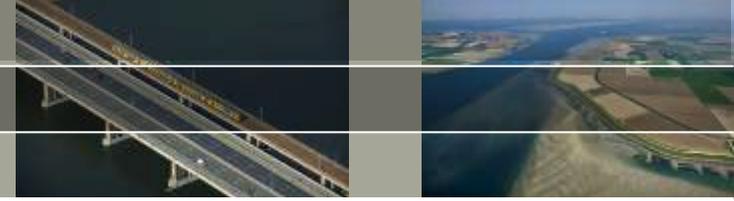


# Warum probabilistische Vorhersagen?

1. Es wird deutlich dass die Vorhersage mit Unsicherheiten behaftet ist.
2. Aufteilung der Verantwortung zwischen Vorhersager und Entscheidungsträger
3. Ermöglichen eine risikobasierte Entscheidungsfindung
4. Erlauben verlängerten Vorwarnzeit



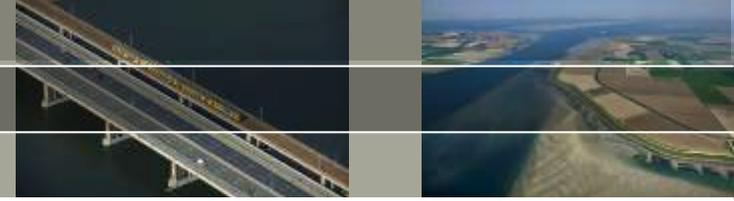




# Umgehen mit Unsicherheiten

- Unsicherheit reduzieren → 'offline' Aktivität
- Einschätzen Unsicherheiten = probabilistische Vorhersagen ('on- und offline')
- ... akzeptiere dass Vorhersagen Fehler haben können
- ... aber du weißt die Wahrscheinlichkeit deren Auftreten

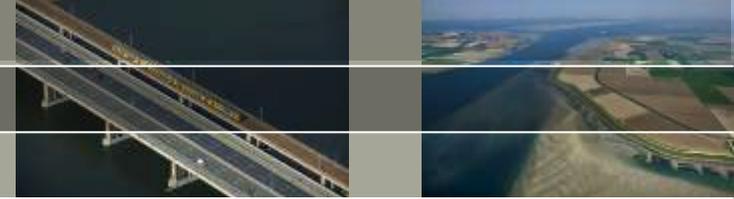




# Erfahrungen

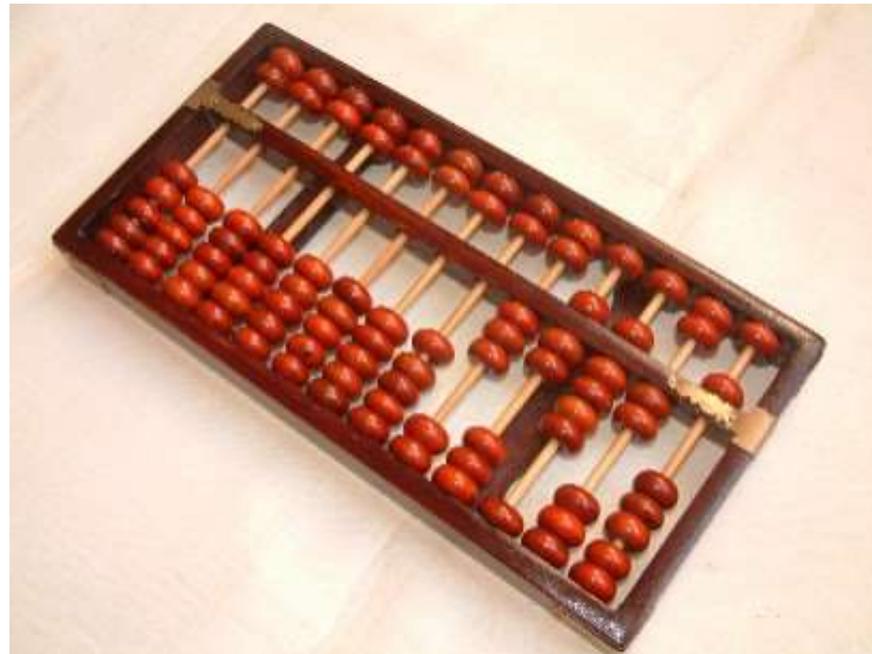
- Entscheidungsträger können mit Wahrscheinlichkeiten umgehen (!)

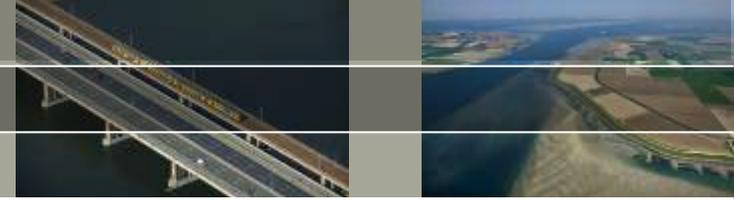




# Erfahrungen

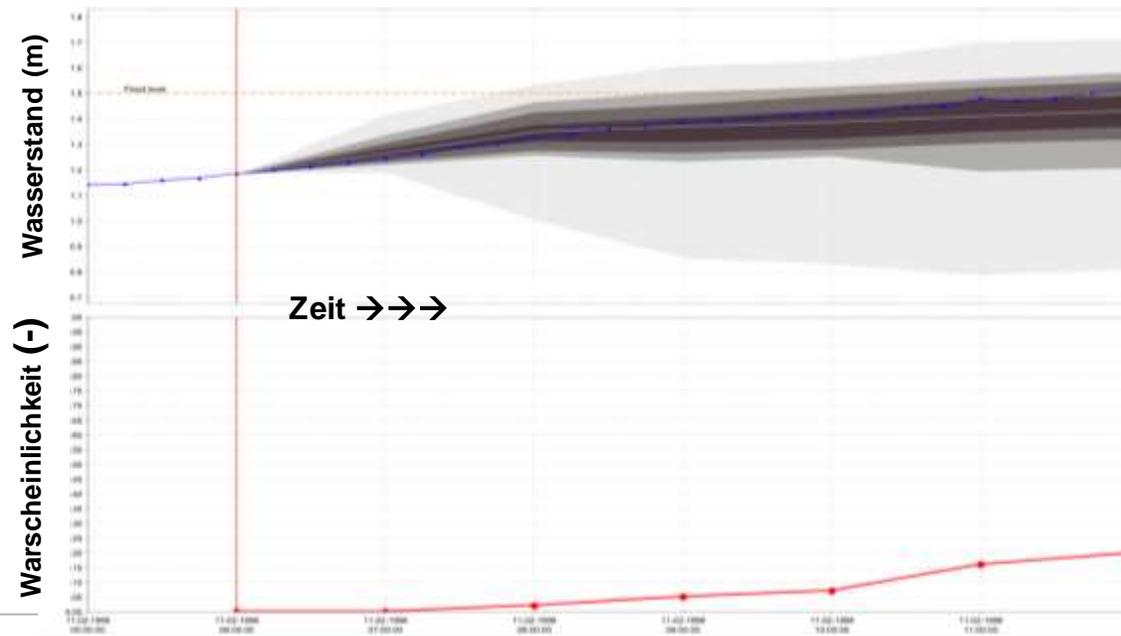
- Entscheidungsträger können mit Wahrscheinlichkeiten umgehen (!)
- Vorhersager haben gerne einen formalen Methodik zum Unsicherheitsbereich beschreiben

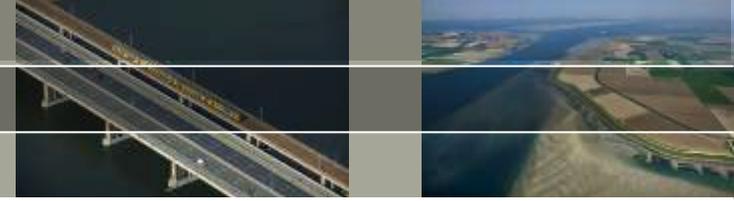




# Erfahrungen

- Entscheidungsträger können mit Wahrscheinlichkeiten umgehen (!)
- Vorhersager haben gerne einen formalen Methodik zum Unsicherheitsbereich beschreiben
- Die grafische Darstellung von probabilistischen Vorhersagen ist nicht einfach





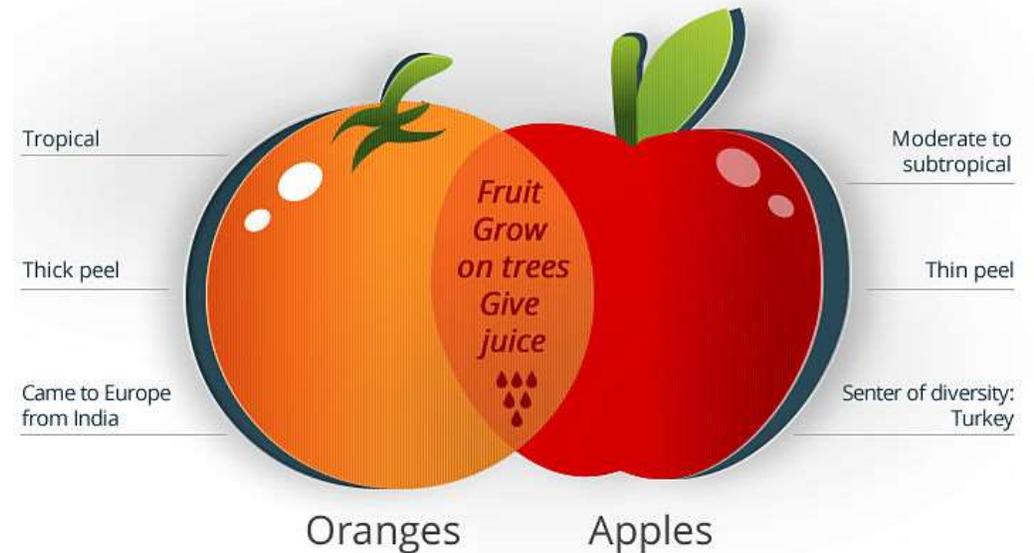
# Erfahrungen

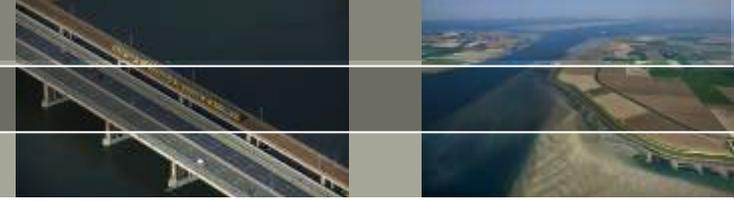
- Entscheidungsträger können mit Wahrscheinlichkeiten umgehen (!)
- Vorhersager haben gerne einen formalen Methodik zum Unsicherheitsbereich beschreiben
- Die grafische Darstellung von probabilistischen Vorhersagen ist nicht einfach
- Größtes Problem: “information overload”



# Erfahrungen

- Entscheidungsträger können mit Wahrscheinlichkeiten umgehen (!)
- Vorhersager haben gerne einen formalen Methodik zum Unsicherheitsbereich beschreiben
- Die grafische Darstellung von probabilistischen Vorhersagen ist nicht einfach
- Größtes Problem: “information overload”
- Nutzer von Vorhersagen sind sich möglicherweise nicht über die Unsicherheiten im Klaren (!)





# Einige Verfahren

Pre-processing (vordefinierten PDF von Daten / Parameter)

Post-processing (z.B. Error Statistics, Bias Correction, Ensemble Dressing)

## Ensemble Methoden

- Ensemble Forecasts

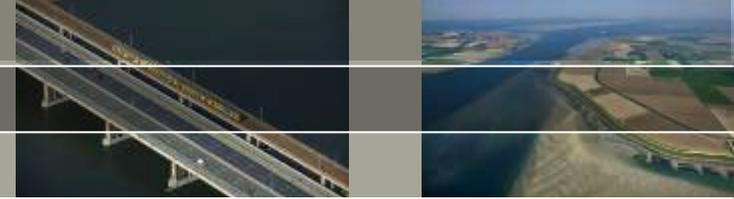
- Ensemble Nowcasts

- Historische Ensembles (Klima / Hydrologie)

- Multi-model Ensembles (und Poor man's ensembles)

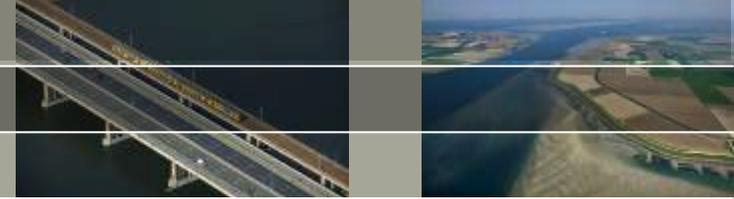
- Time-lagged* ensembles?

- Daten-Assimilation (e.g., Ensemble Kalman Filtering)

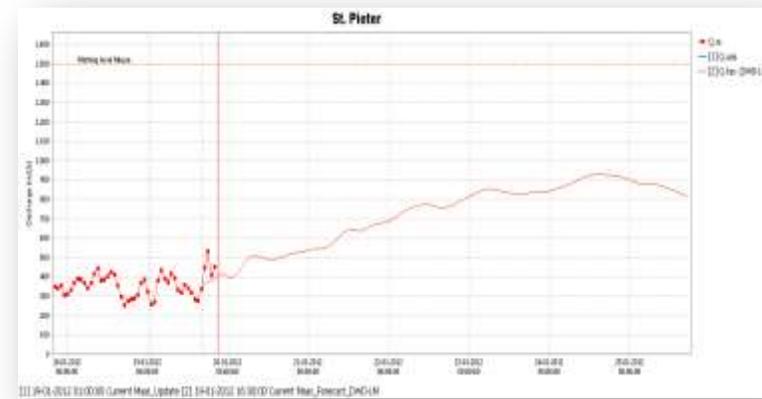
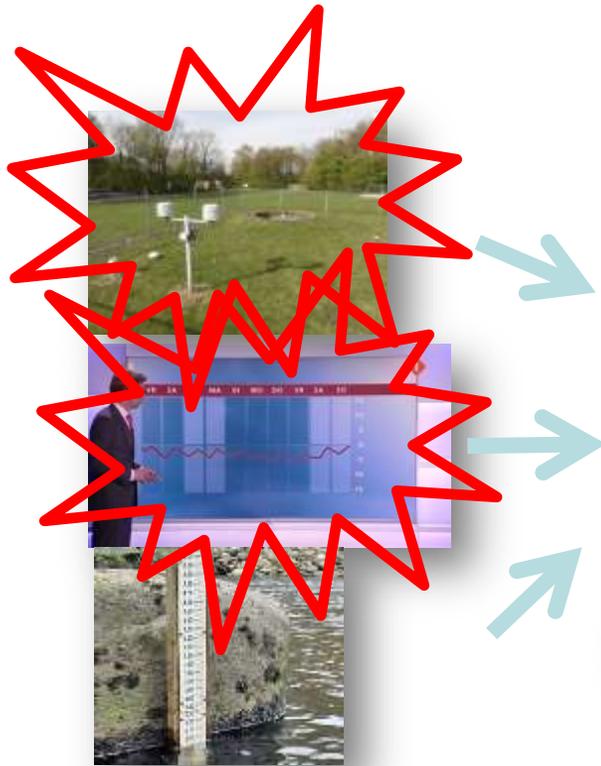


# Ensembles und Delft-FEWS

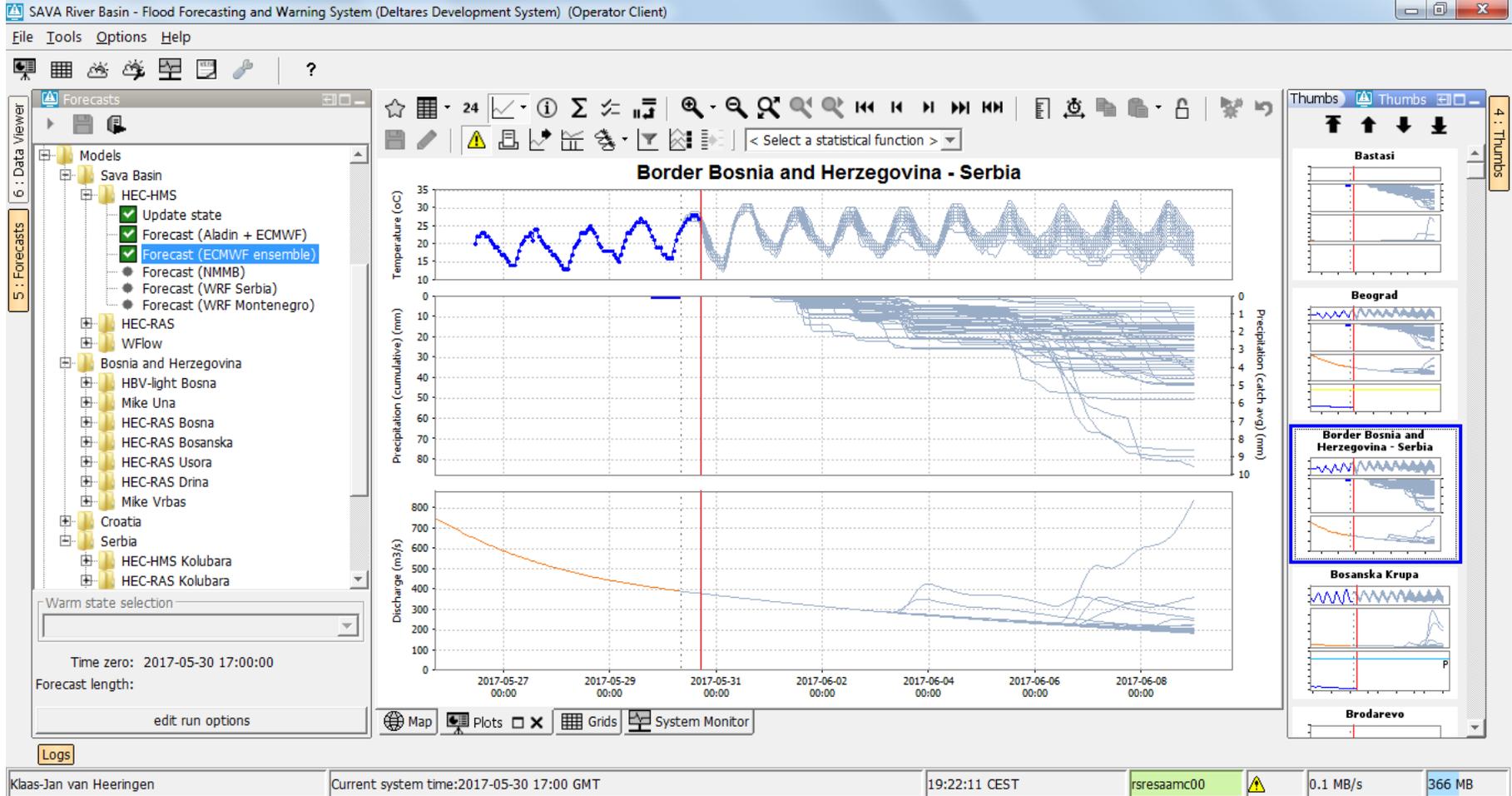
- FEWS ist '*Ensemble-aware*': Einfaches Parallel Rechnen
- Verschiedene Dateiformate (GRIB, NetCDF, HDF4, etc),  
... sogar mit dynamische Zeitschritten und Gitterdefinitionen
- Verschiedene statistische Auswertungen
- FEWS kann Ensembles generieren und kombinieren: time-lagged Ensembles, Historical Ensembles, reduzierte Ensembles
- Unterstützt Ensemble Kalman Filter Methoden mit OpenDA

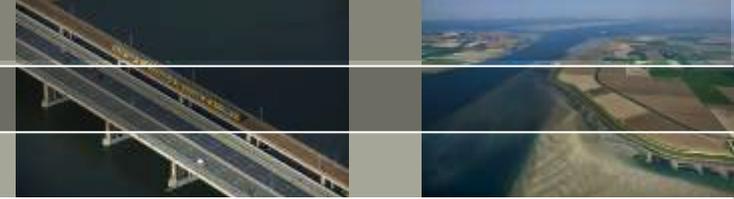


# Ensemble Wetter Prognosen



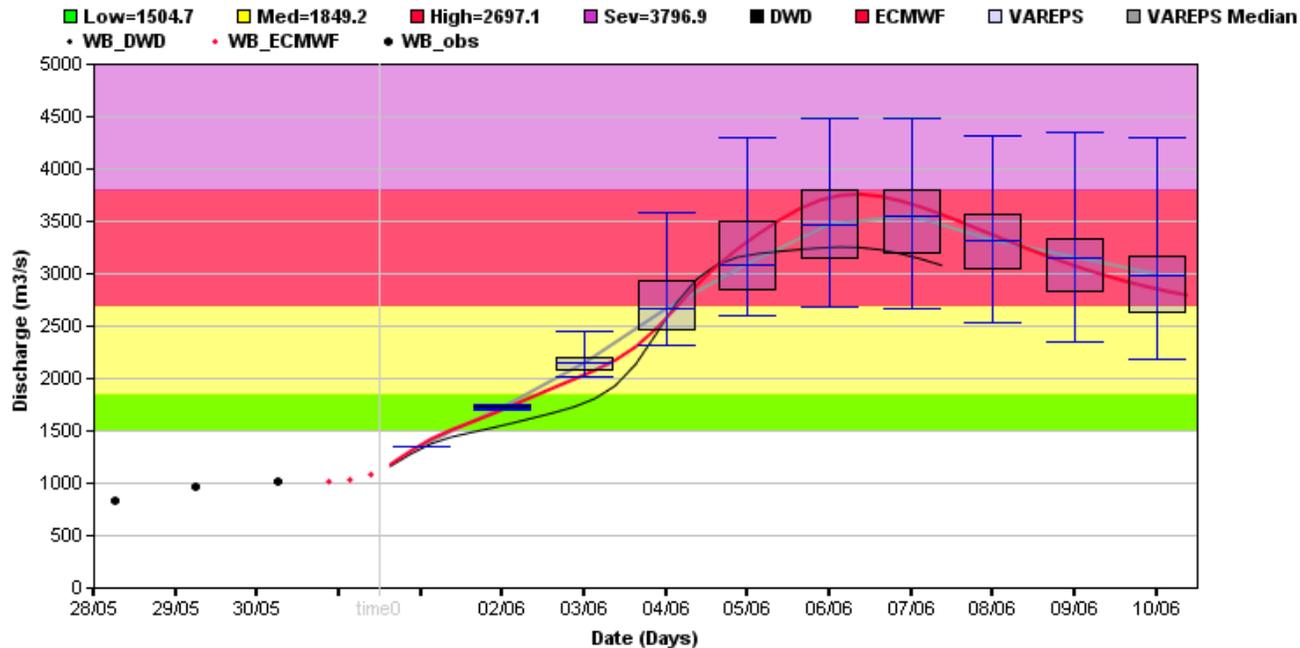
# Meteo Ensembles @ Multi-Nation Sava River System



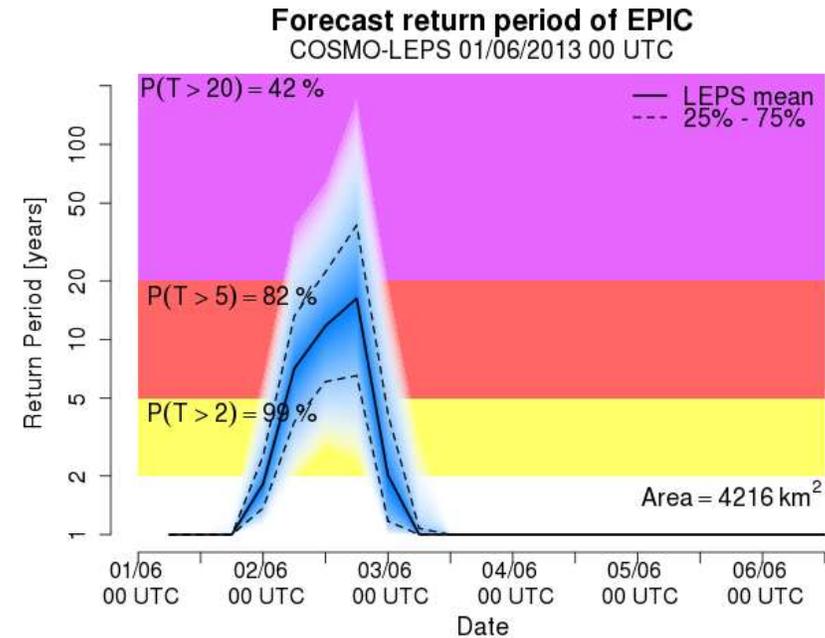


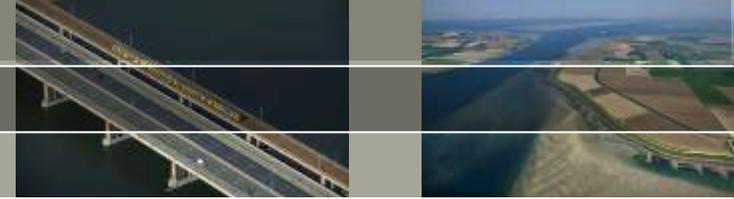
# Meteo Ensembles @ EFAS System (EU)

## Hochwasser



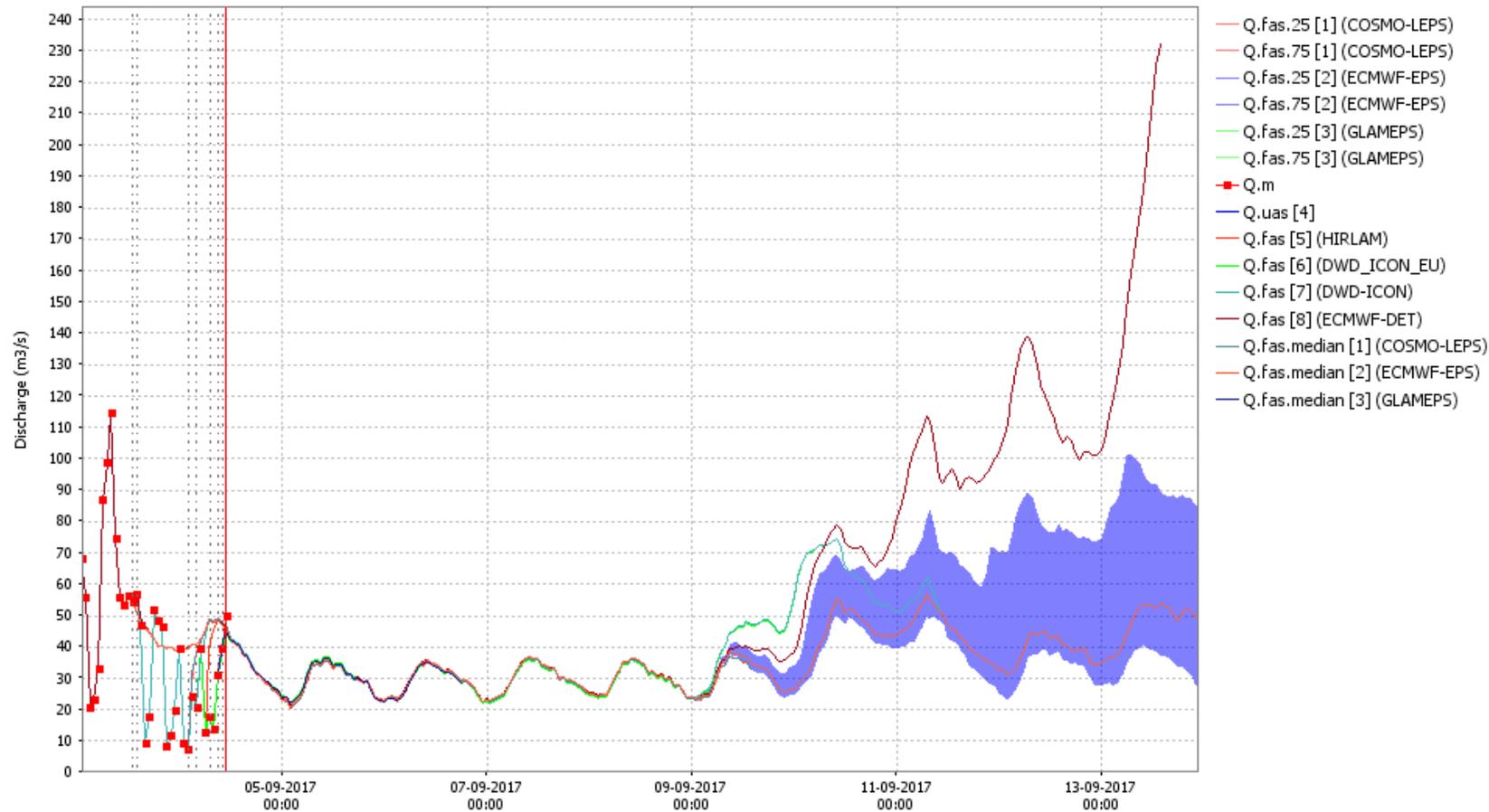
## Sturzflut

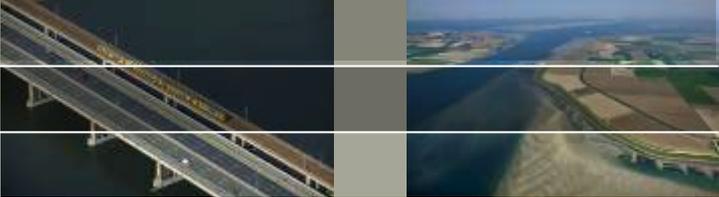




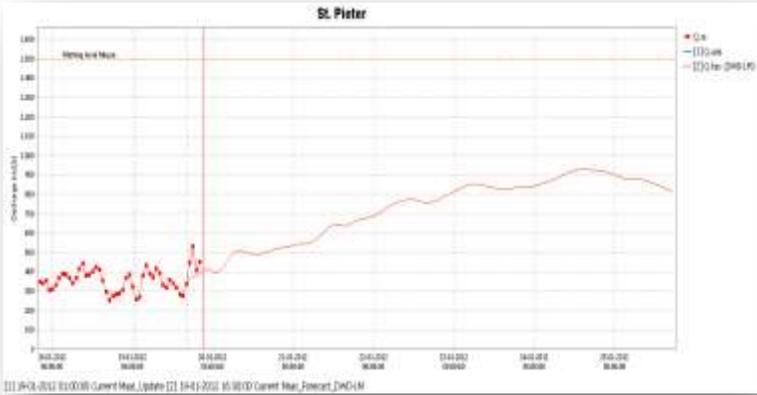
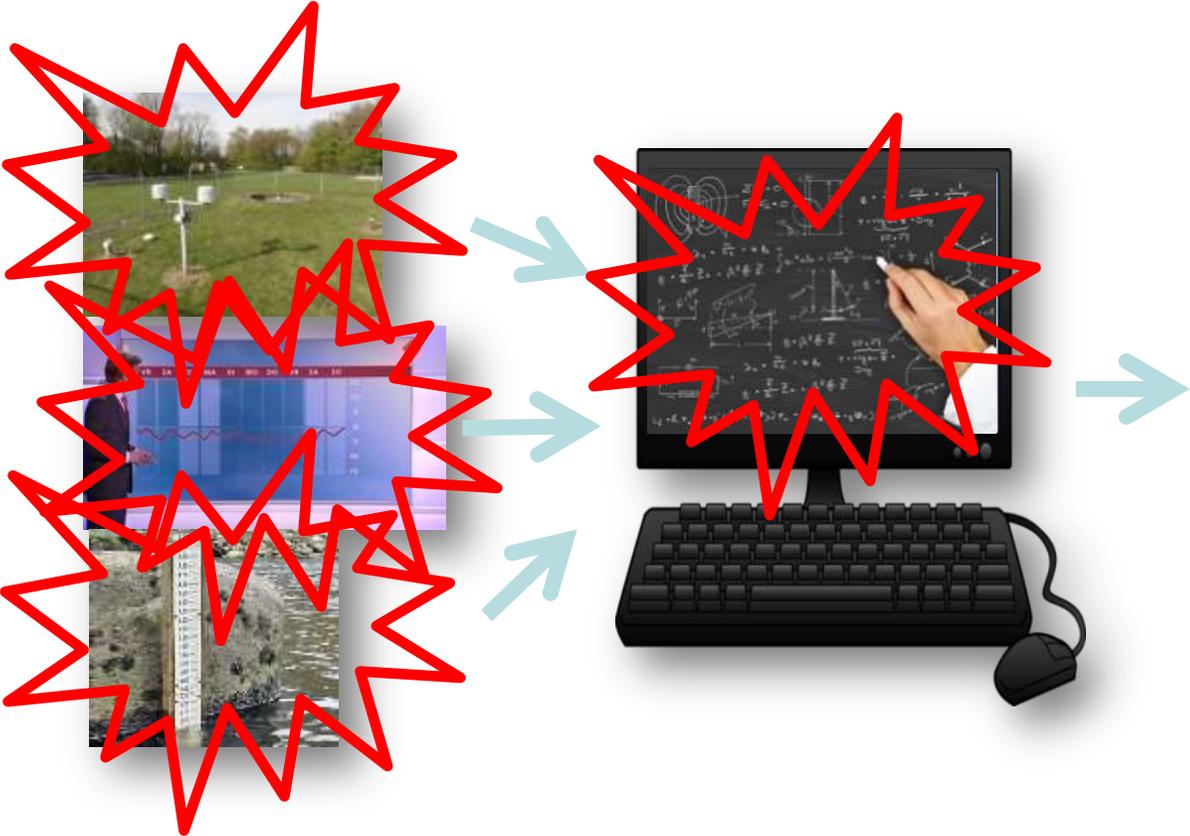
# Poor Man's Ensemble @ Rijkswaterstaat

St. Pieter





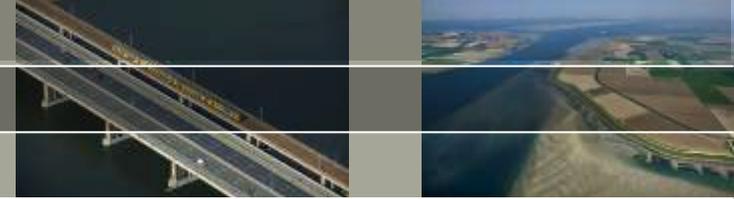
# Multi-Model Ensembles



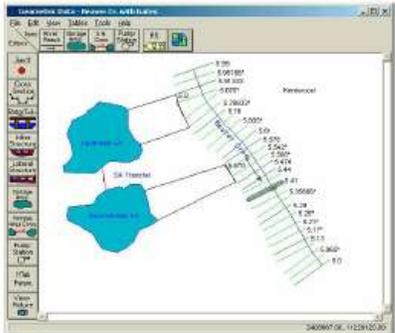
# Multi-model Ensemble @ Po (Italien)

Niederschlag-Abfluss Modellen

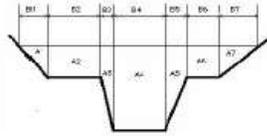
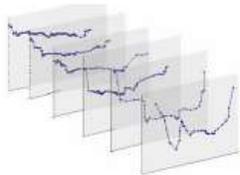
Hydraulische Modellen



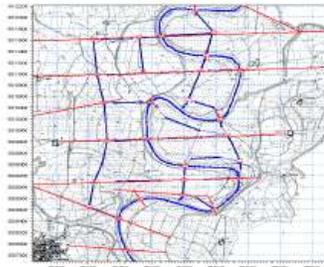
Hec-RAS



PAB model



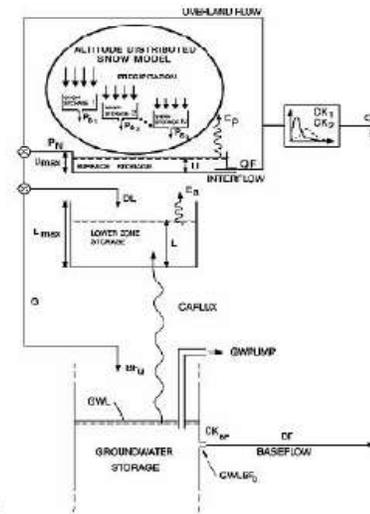
Mike II



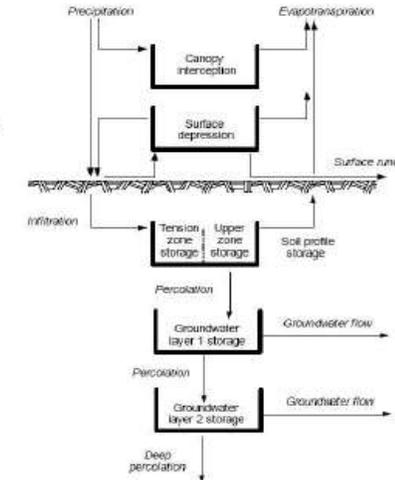
Delft Hydraulics Sobek



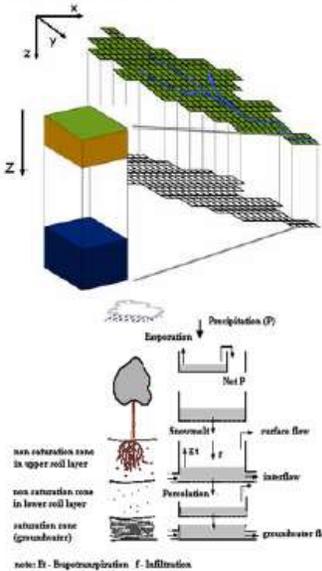
DHI-NAM

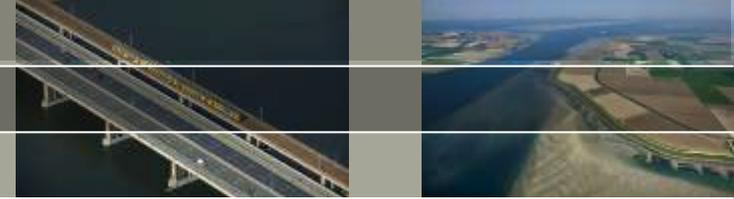


HEC-HMS

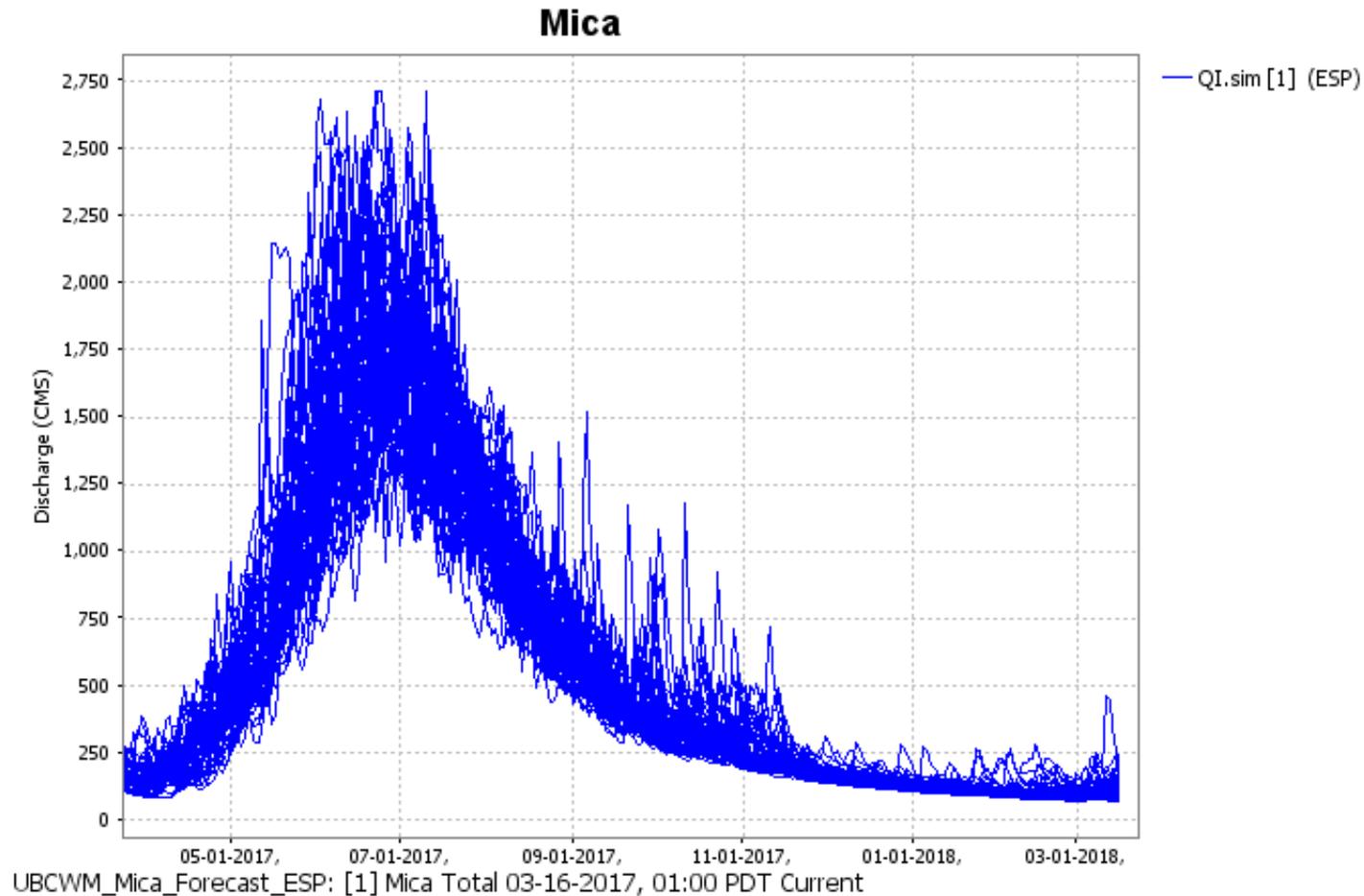


Topkapi model

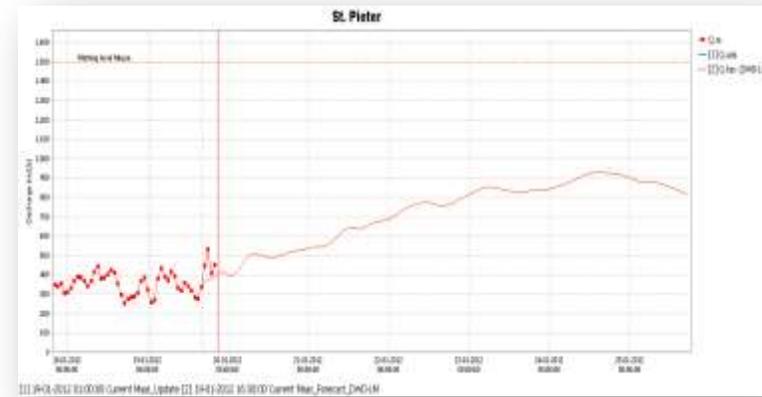
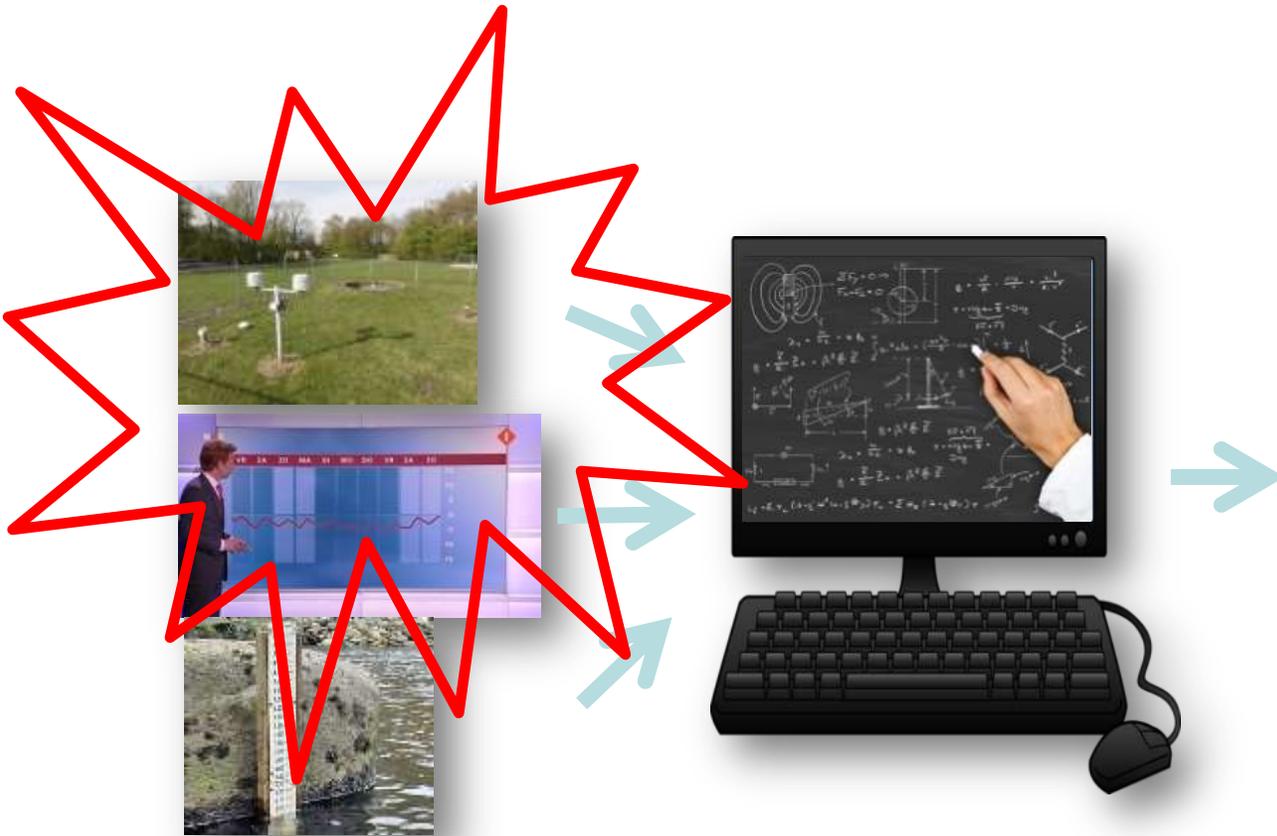
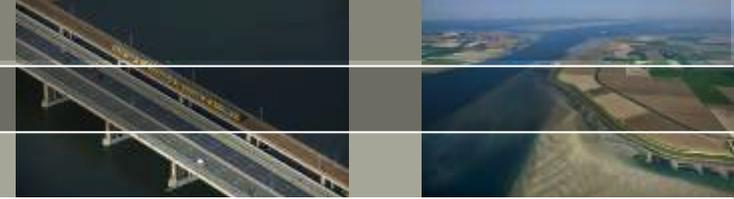


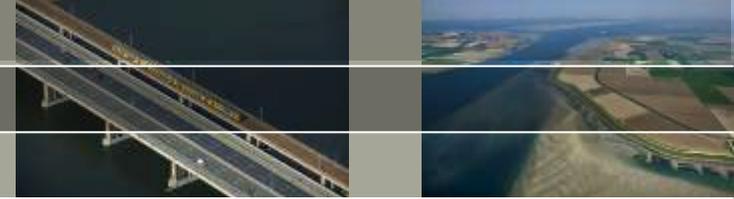


# Variierten Parameter and Anfangsbedingungen @ British Columbia

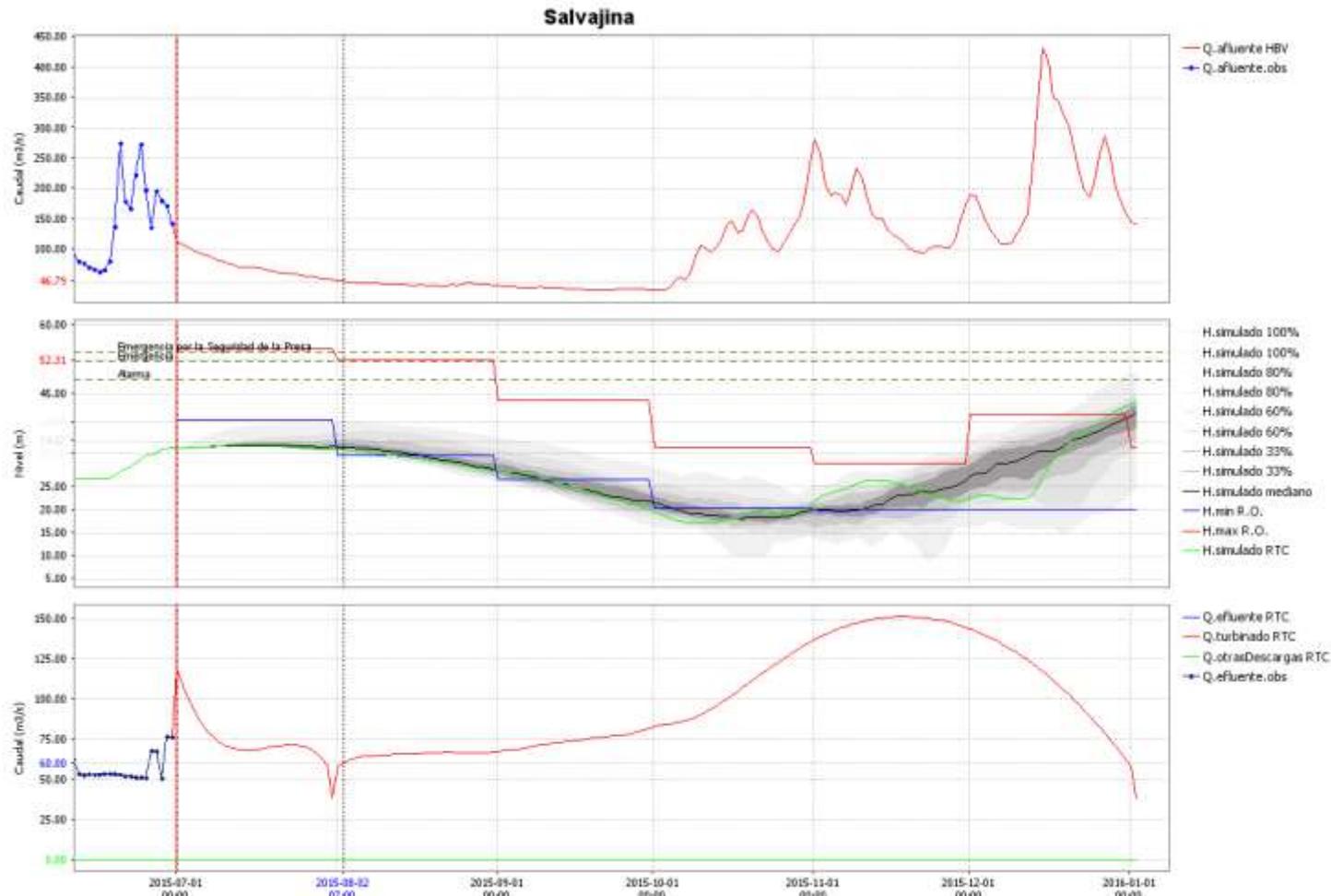


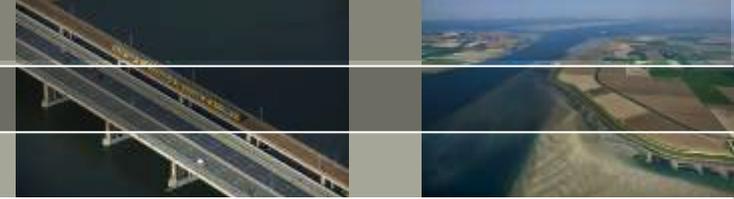
# Klimatologische Ensembles





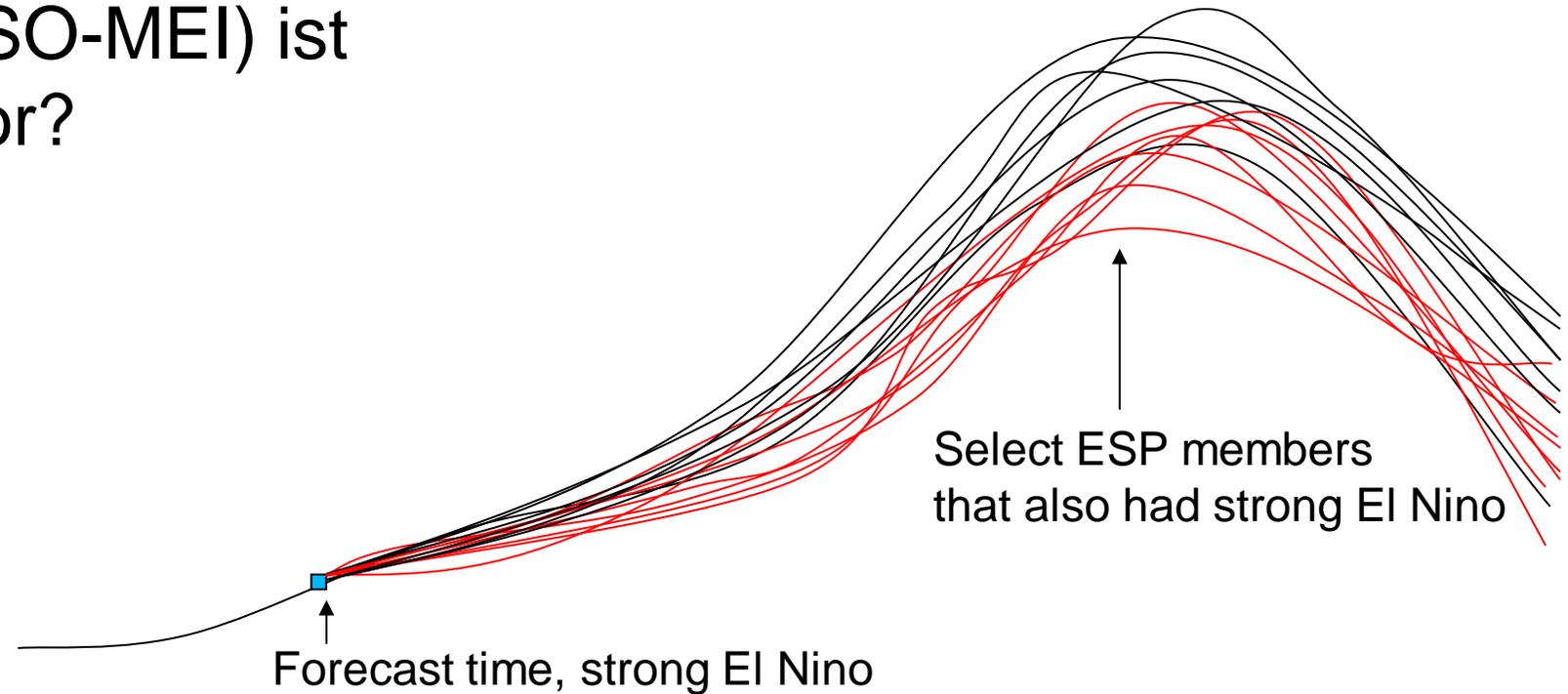
# Klimatologische Ensembles @ Salvajina Reservoir (Kolumbien)



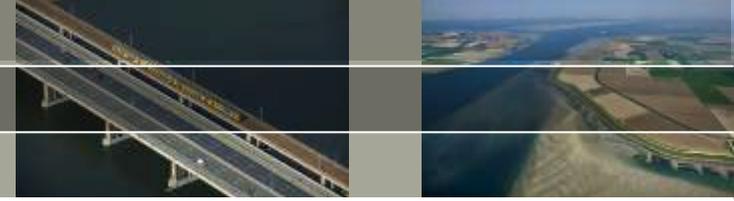


## Reduzierte Ensembles @ Bonneville Power Administration (VS)

El Nino Signal (ENSO-MEI) ist  
sinnvolle Prädiktor?



*Beckers et al., 2016: ENSO-Conditioned Weather Resampling  
Method for Seasonal Ensemble Streamflow Prediction*

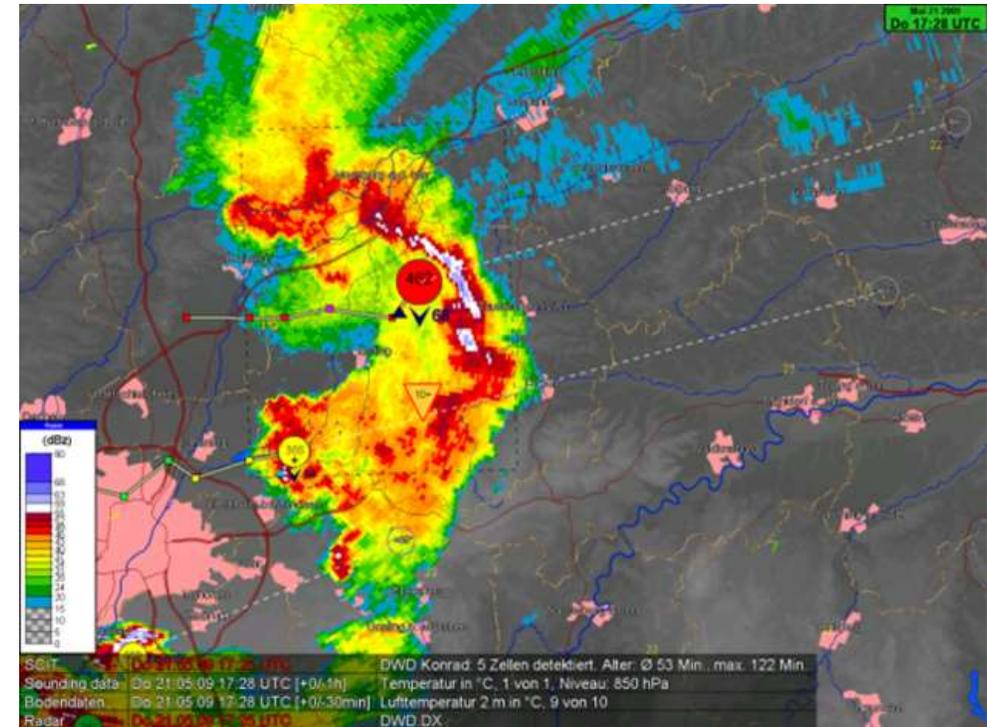


# Nowcasts

Sehr relevant für Frühwarnung bei kleinräumigen Ereignissen / Katastrophen

Beispiele:

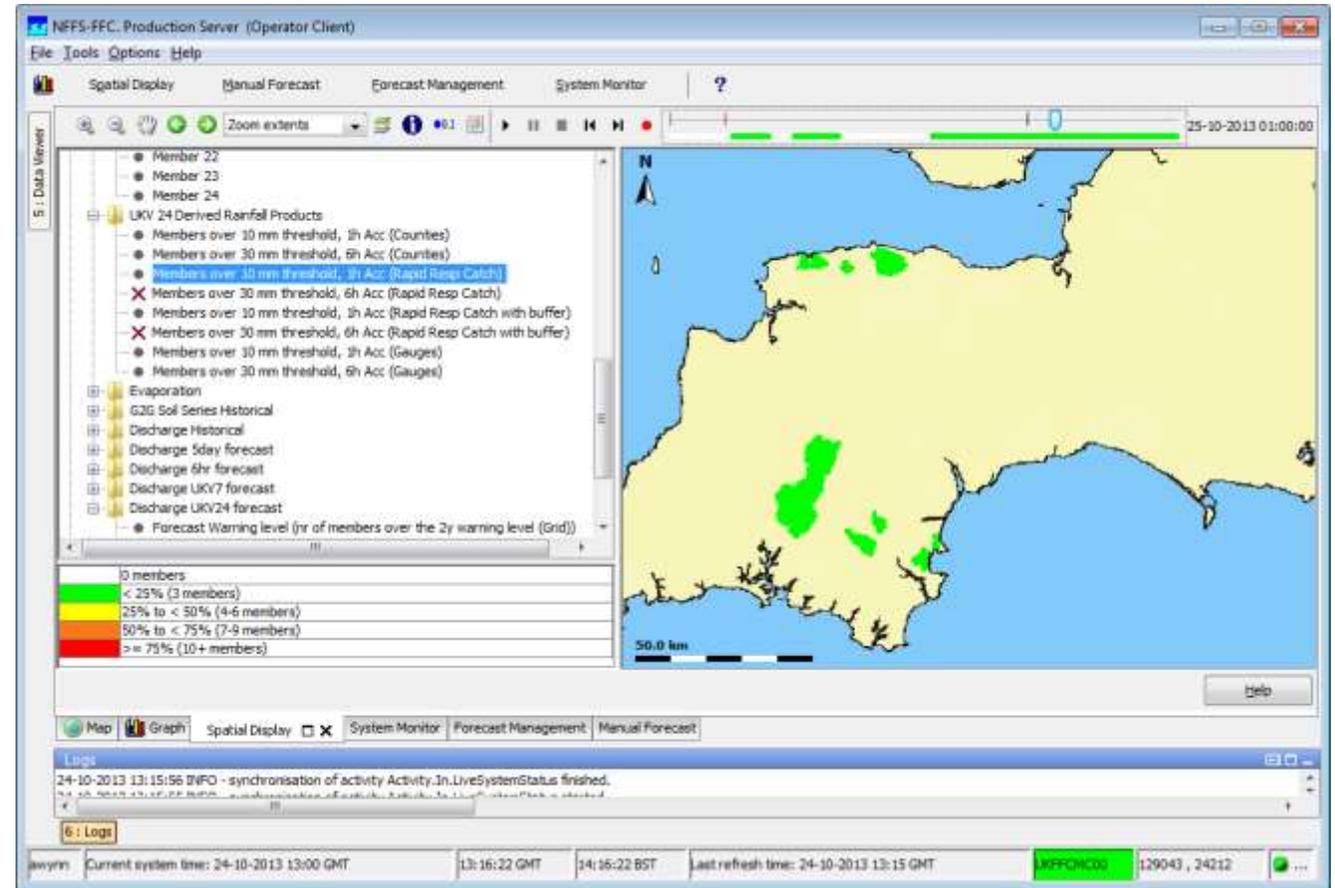
- UKMO und BoM: Short Term Ensemble Prediction System (STEPS), und mehr...
- ZAMG: INCA, mit laufenden Verbesserungen?
- DWD: KONRAD und CellMOS

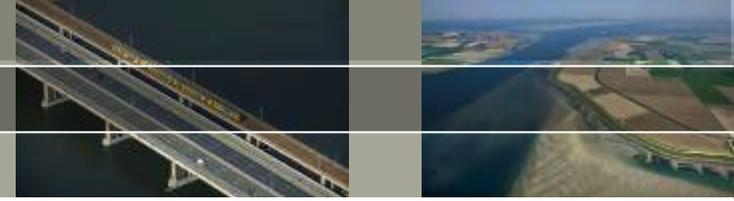


KONRAD (DWD)

# Warnungen mit STEPS / UKV @ UK (NFFS System)

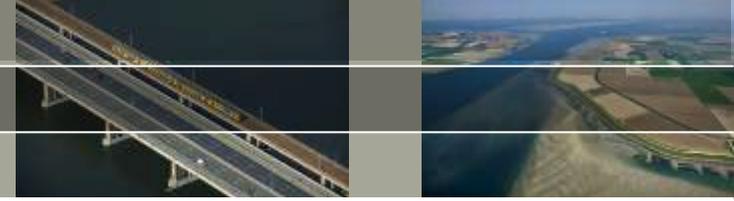
Time-lagged Ensembles von  
jede 15 Minuten neu  
gestartete Vorhersagen





## Sonst noch etwas?

1. Verifizierung
2. Entscheidungsunterstützungssystemen

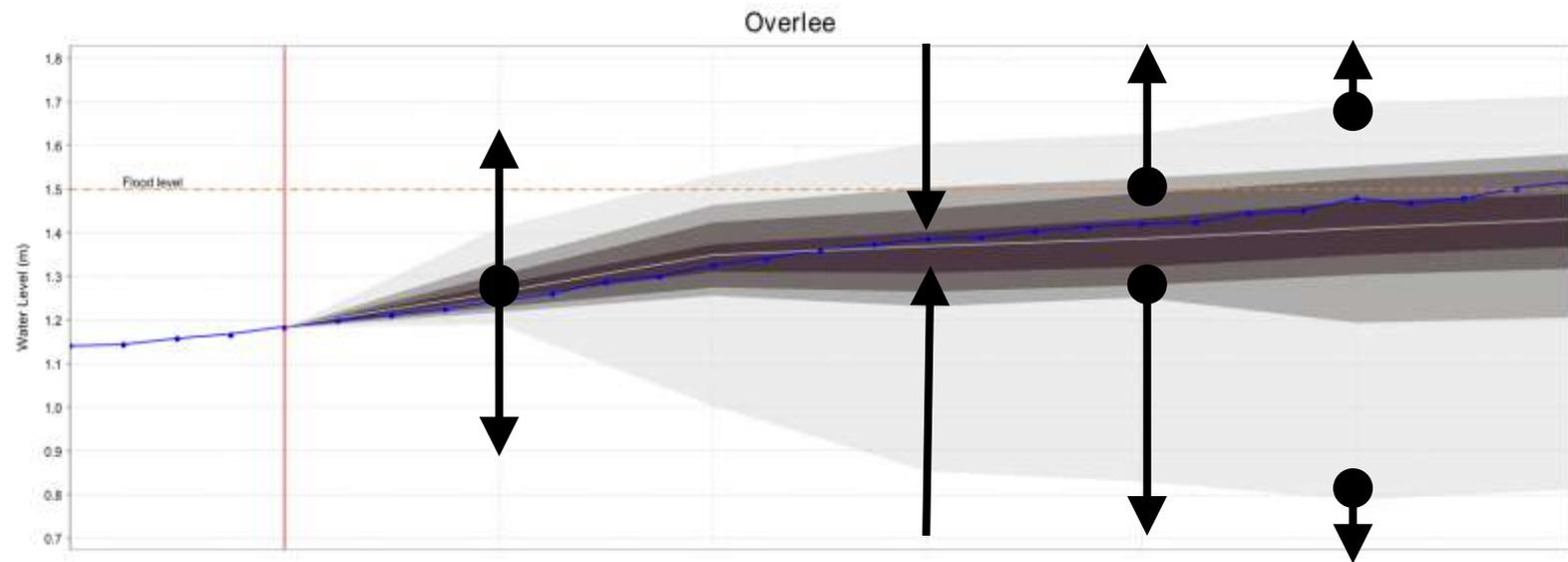
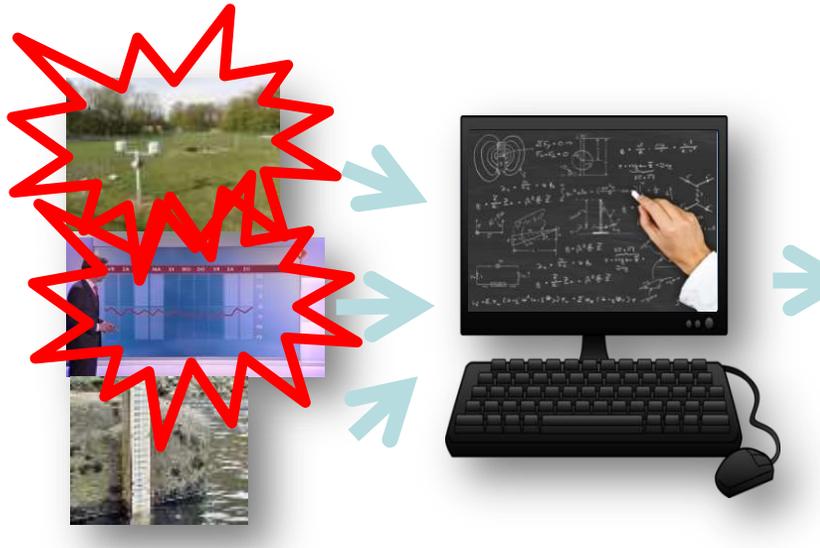


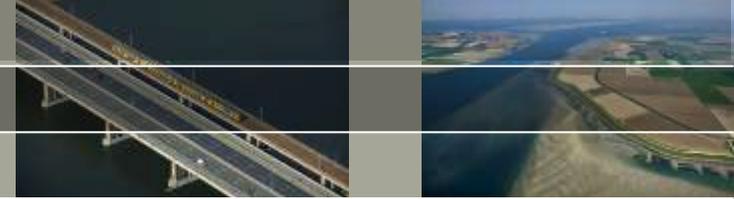
# Verifizierung

Vorhersage Qualität: *Sharpness*, *Reliability* (und Wert?)

Bei Deltares benutzen wir EVS oder die R *Verification* Bibliothek

**Aufgepasst:** Vorhersagenprodukten ändern sich!





# Entscheidungsunterstützungssystemen

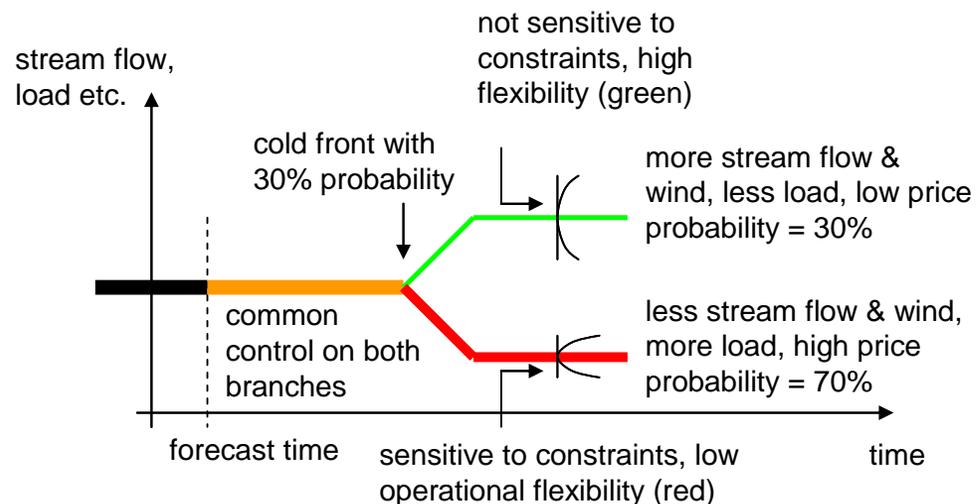
Direkt (FEWS Visualisierungen)

- Vorhersager hat Einsicht und kann dies Kommunizieren
- Vergleichen mit Referenzsituationen (Klimatologische Ensembles)

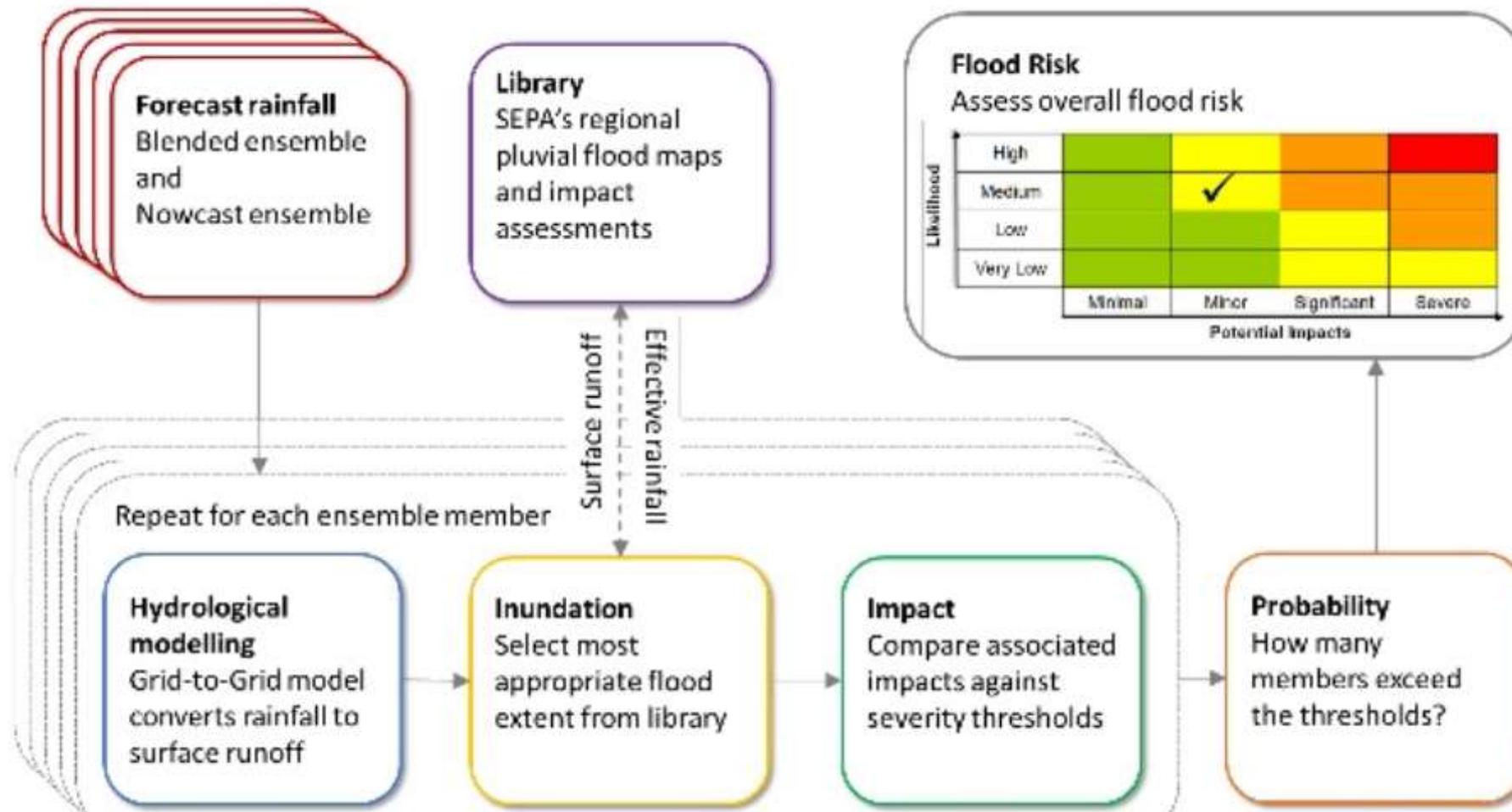
Weiter rechnen mit Ensembles:

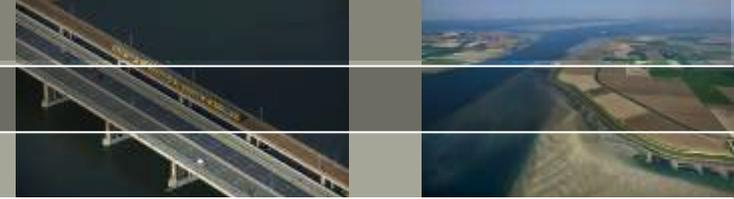
- z.B. RTC Tools rechnet mit Ensemble Forecast Trees für robustem Entscheid

- Auswirkungen Quantifizieren



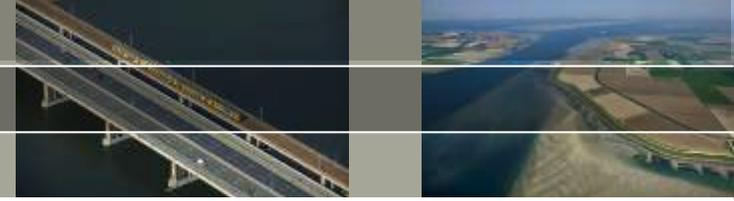
# Kombinieren Auswirkung und Warscheinlichkeit @ EA / SEPA





# Schlussfolgerungen

- Probabilistische Vorhersagen sind die Zukunft
- Wichtig für Frühwarnung und Entscheidungshilfe
  - Was ist die richtige Frage?
  - Welche maßgeschneiderte Lösung?



## More information

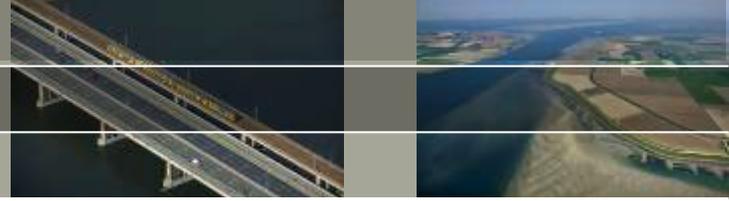
### Ensemble Verification:

- Int. FEWS User Days 2016:  
<http://oss.deltares.nl/web/delft-fews/dfud-2016>
- Software: EVS, MET, und R's Verification Bibliothek

Kurz *Probabilistic Forecasting* (Jan Verkade, October 27<sup>th</sup>, nach den Int. FEWS User Days)

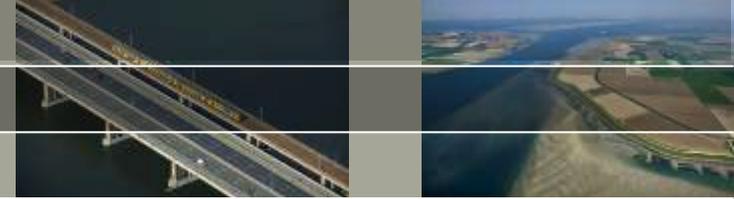
### Literatur:

- Murphy, A.H. 'What Is a Good Forecast? An Essay on the Nature of Goodness in Weather Forecasting'. *Weather and Forecasting* 8, no. 2 (1993): 281–293.
- Murphy, A.H., and R.L. Winkler. 'A General Framework for Forecast Verification'. *Monthly Weather Review* 115, no. 7 (1987): 1330–1338.



# Extra slides

Extra slides



## Risikobasierte Entscheidungen im operativen Einsatz?

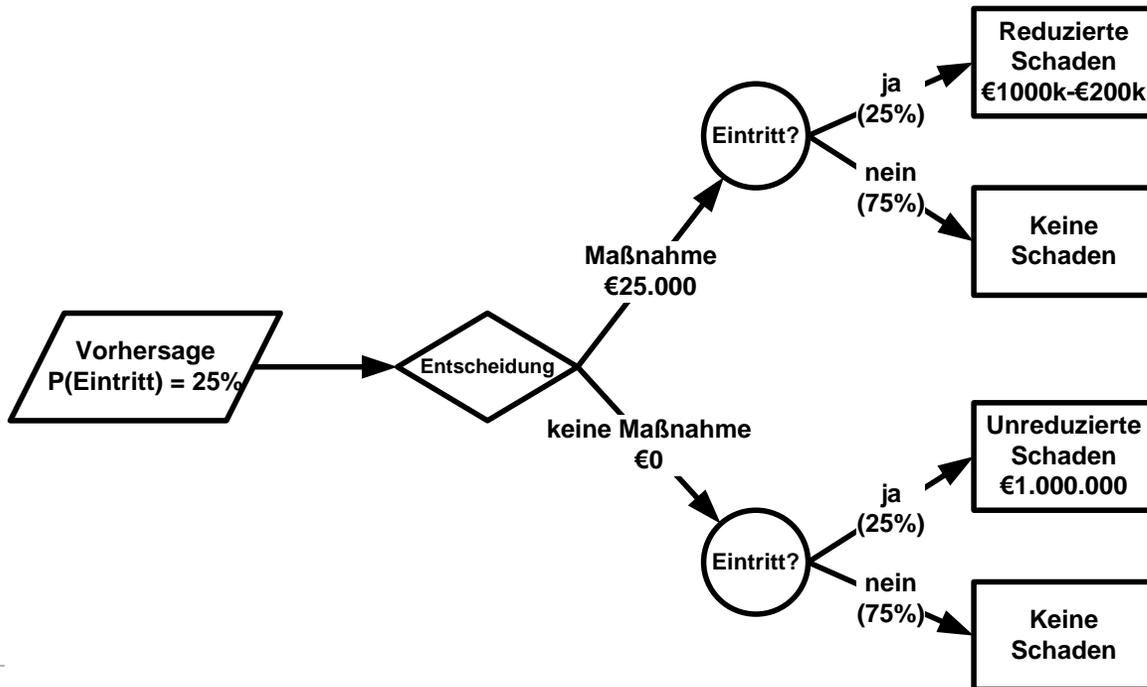
Voraussetzungen für Risikobetrachtungen:

- Hochwasserfolgen müssen in Geld ausgedrückt werden können
- Reduzierung der Hochwasserschäden durch schadensmindernde Maßnahmen müssen in Geld ausgedrückt werden können
- Die Kosten der schadensmindernde Maßnahmen müssen in Geld ausgedrückt werden können
- oft schwierig, besonders im operativen Einsatz
- Risikobetrachtungen sind nur sinnvoll, wenn Entscheidungen häufig getroffen werden
- Hochwasserereignisse treten in der Regel selten ein
- Risikobetrachtungen sind sehr abstrakt
- nicht für alle Arten von Entscheidungen (und für alle Entscheidungsträger) geeignet

# Risikobasierte Entscheidungsfindung

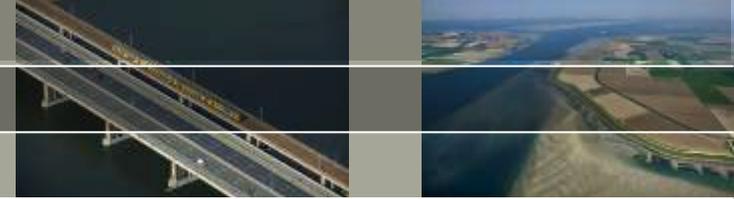
Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit x Schaden

→ Operational: nicht so sinnvoll für seltene Ereignisse



$$E = €25.000 + 25\% \times €800.000 = €225.000$$

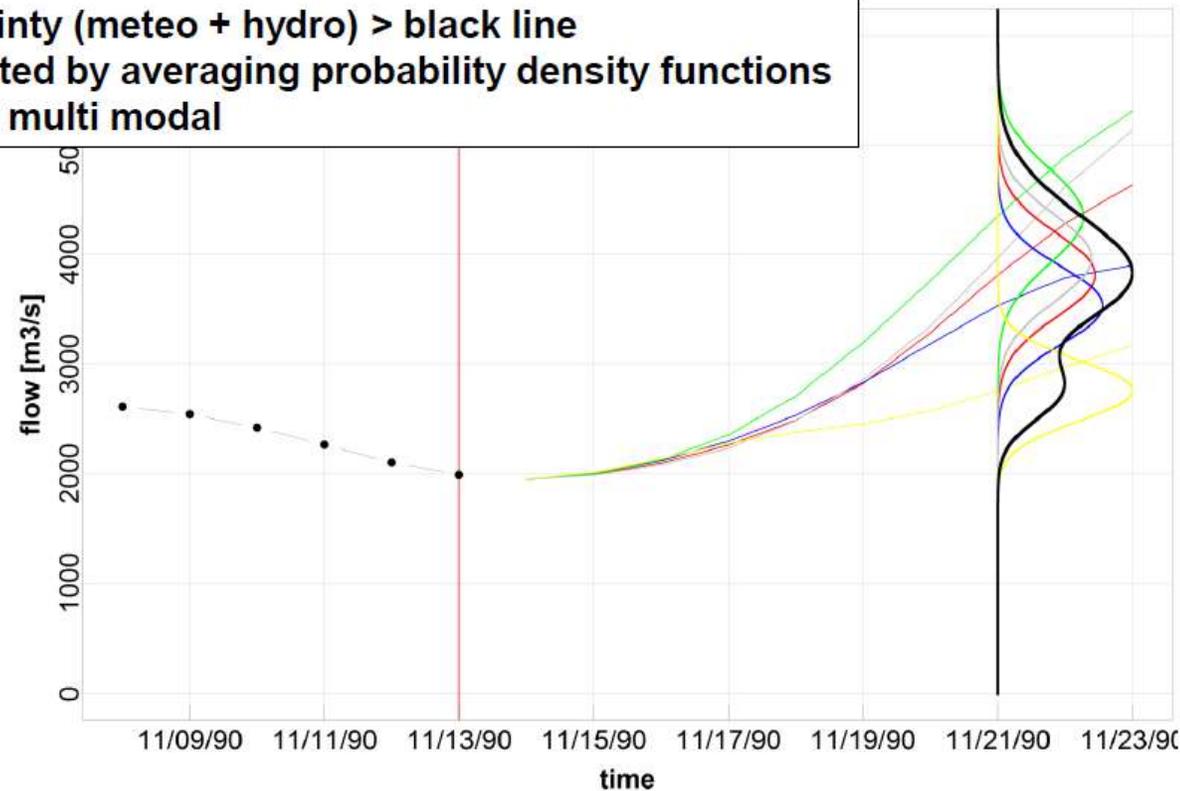
$$E = €0 + 25\% \times €1.000.000 = €250.000$$

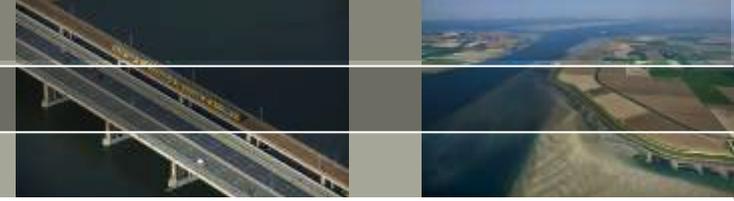


# Post-processing - Ensemble dressing

Quantile regression on residuals of hindcasts with 'perfect data' to estimate total modelling uncertainty

Uncertainty (meteo + hydro) > black line  
• estimated by averaging probability density functions  
• can be multi modal





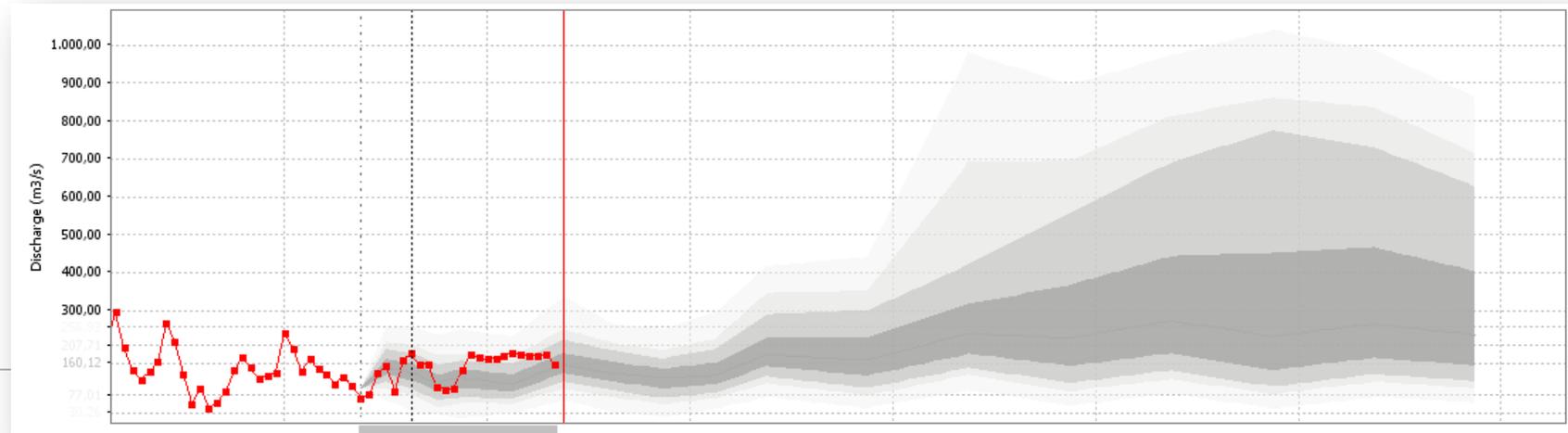
# Post-processing: pros and cons

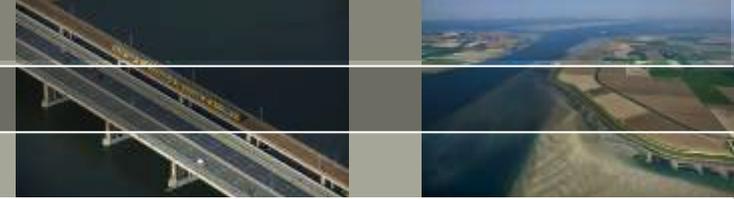
## Advantages:

- Computationally light
- All sources of uncertainty included

## Disadvantages:

- Approach does NOT yield hydrographs
- Can't really extrapolate outside of domain of 'observed'
- Assumption: "past performance"





## Probability forecasts: current “State of the art”

- Lots of recent research into techniques for estimating uncertainties: ensembles, post-processing, combinations
- As yet unresolved:
  - Reliable probability forecasts for extreme events – skill measure to actually assess extremes?
  - How to manage change?
  - Effective USE of probability forecasts: decision making, visualization, communication, etc.