

# **Großräumige Flussgebietsmodellierung Deutschland:** Aufbau, Kalibrierung und Validierungsstrategien des WHM LARSIM-ME für die Flussgebiete Mitteleuropas

P. Krahe, E. Nilson, B. Klein & P. Helmke

Referat M2: Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen  
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

*Hydrotec*  
Ingenieurgesellschaft für  
Wasser und Umwelt mbH

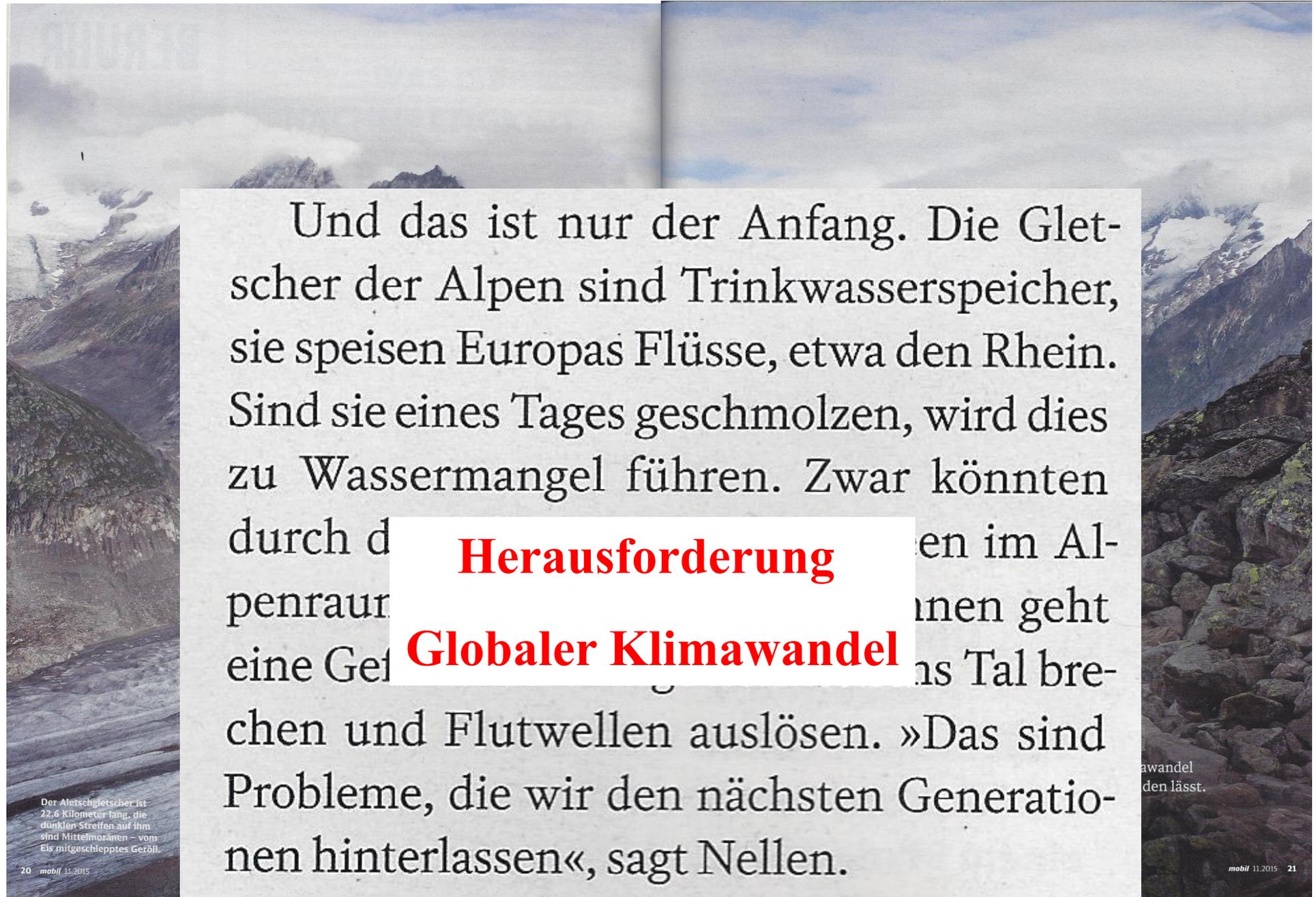
**Aquante**  
Gesellschaft für Wasser und Umwelt mbH

**HYDRON**  
UMWELT und  
WASSERWIRTSCHAFT

# Gliederung

- > Einleitung
- > Überblick LARSIM-ME
  - > Datengrundlagen
  - > Regionalisierungsverfahren
  - > Feinkalibrierung
  - > Automatische Optimierung
  - > Unsicherheiten
- > Erweiterte Validierung
- > Ausblick





# Einleitung

## Anforderungen

Monitoring  
Wasserhaushalt

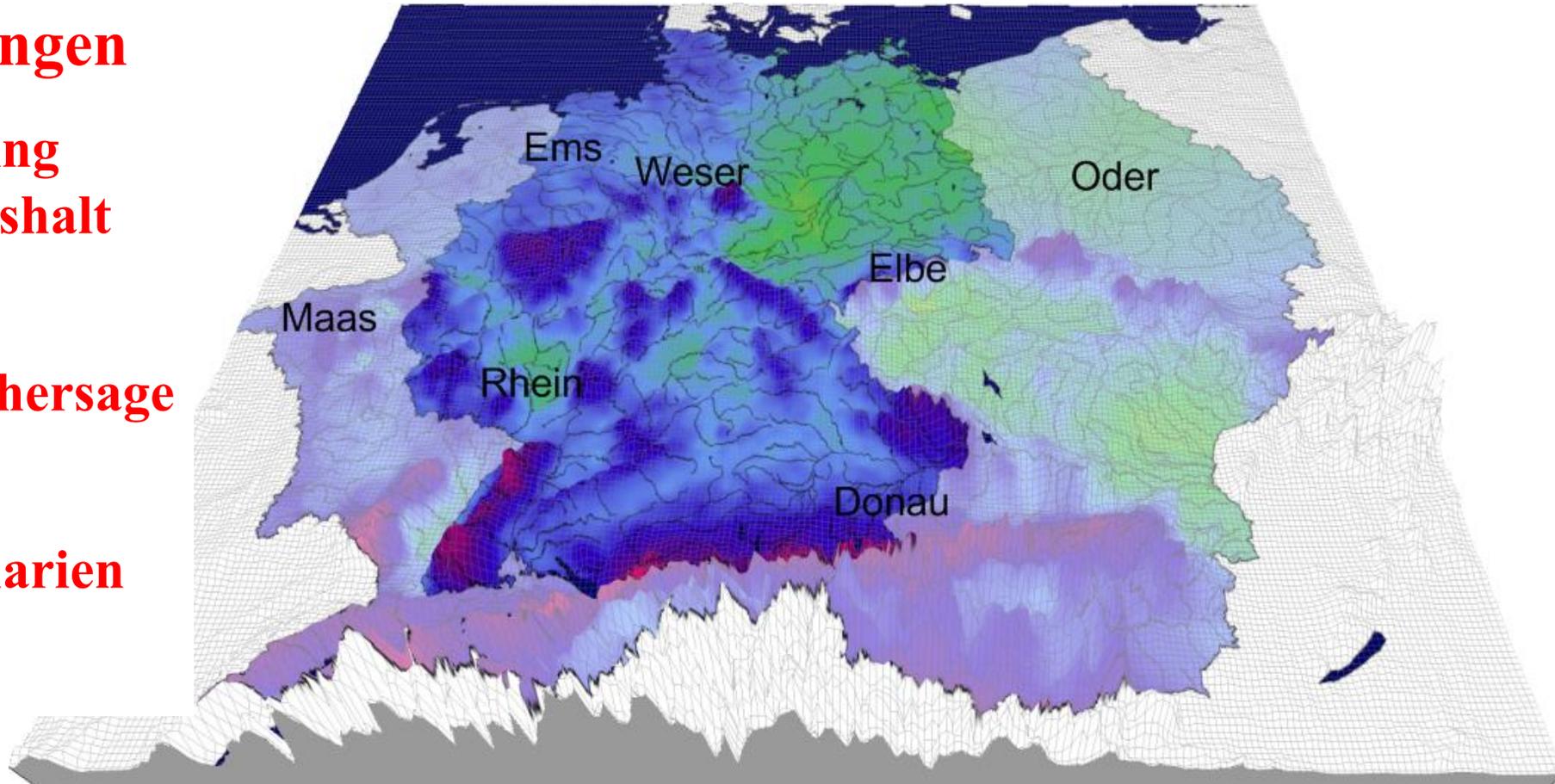
...

Saisonale Vorhersage

...

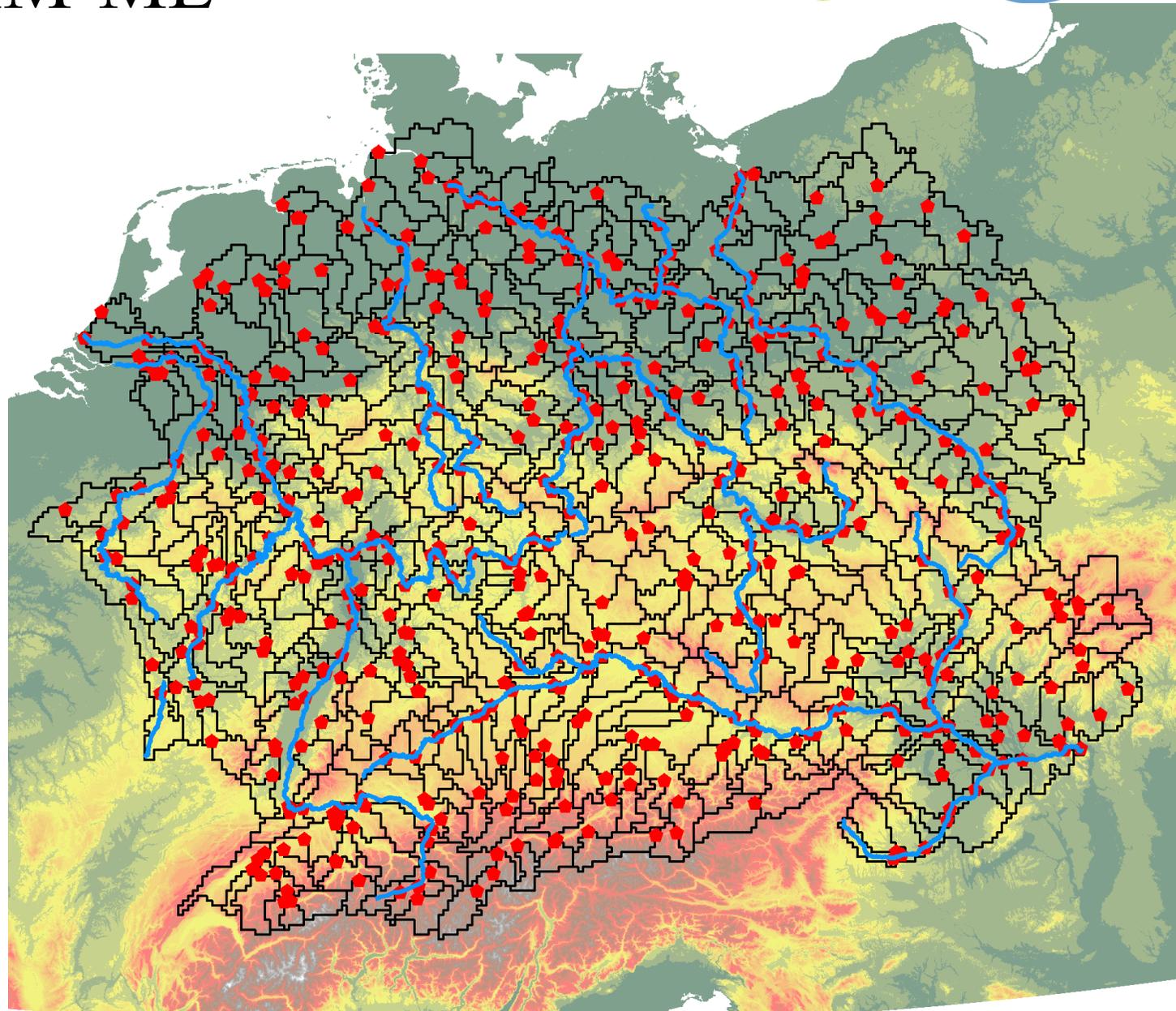
Abflussszenarien

...

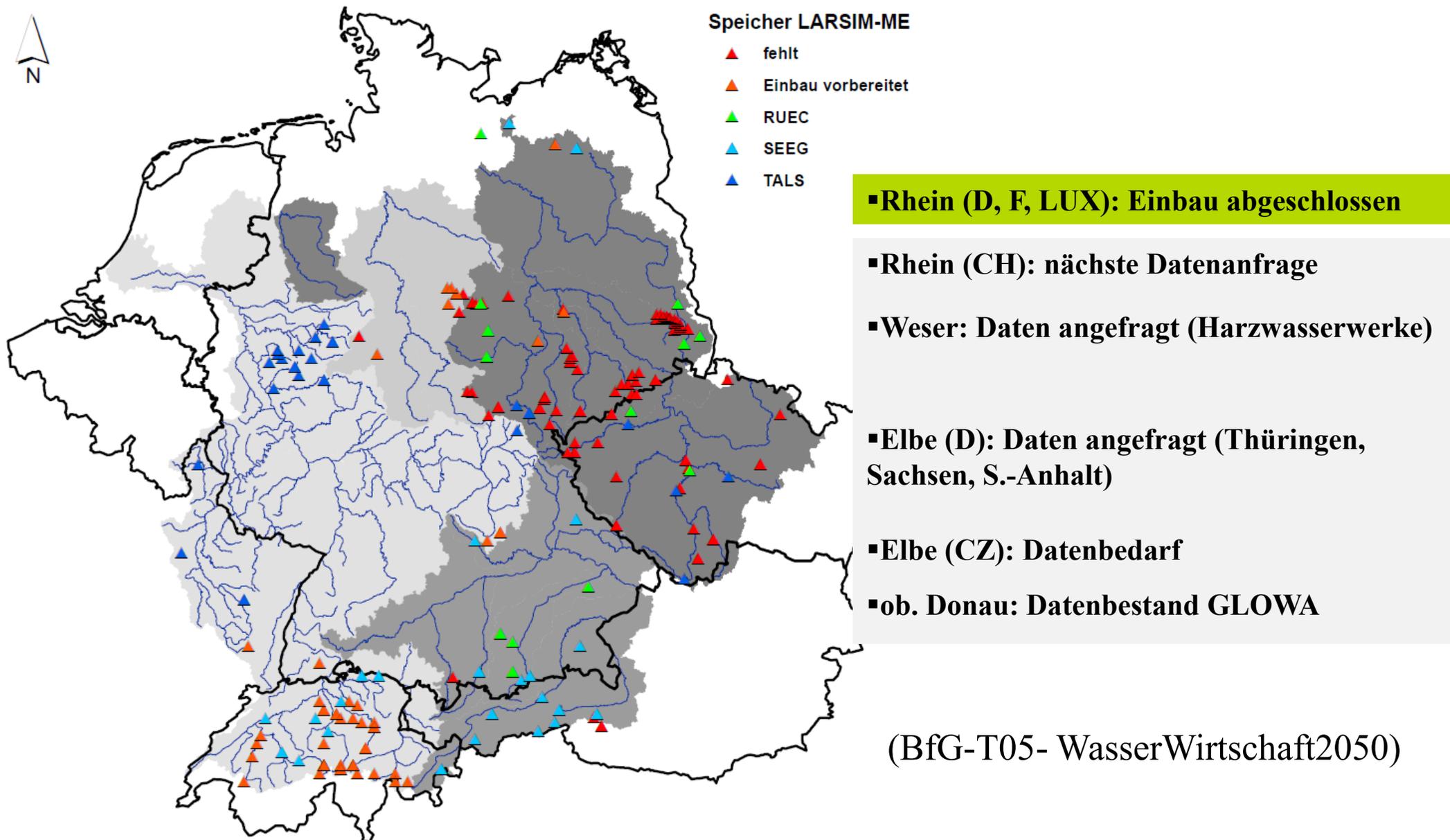


# Überblick LARSIM-ME

- Deutsche FGE'S mit intern. Anteilen (ca. 800 000 km<sup>2</sup>)
- 439 Pegel (~ 1Pegel/1800 km<sup>2</sup>)
- Tageswerte
- Einheitliche Datengrundlage (5 x 5 km<sup>2</sup> Raster)
- Berücksichtigung anthropogener Maßnahmen (Speicher, Überleitungen, ...)
- Objektivierete und vereinheitlichte Parameterschätzung

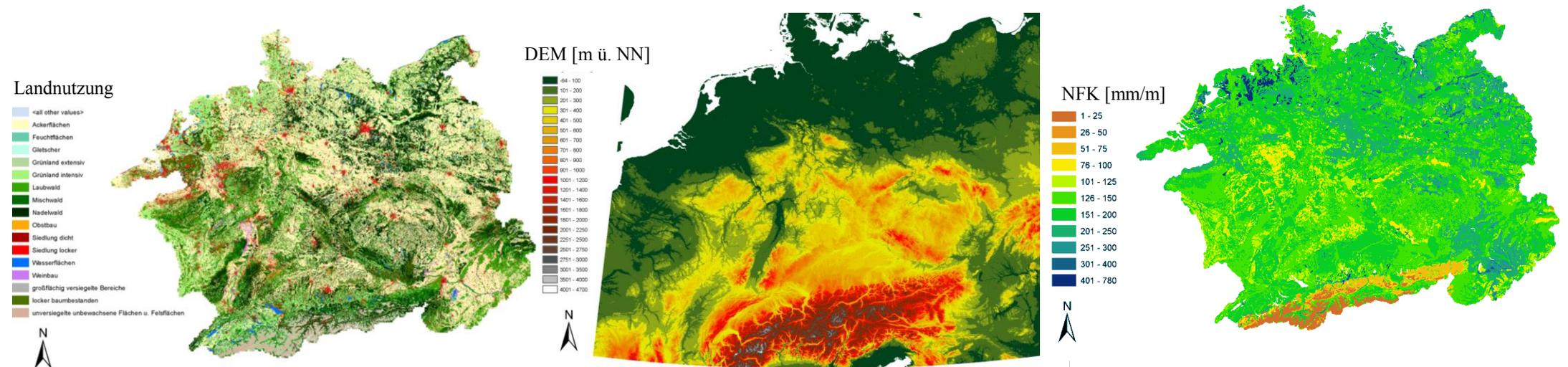


# LARSIM-ME: Wasserwirtschaftliche Maßnahmen



# Datengrundlage

- Boden: Verschneidung + Homogenisierung JRC European Soil Database + BUEK 1000
- Landnutzung: Corine Landcover CLC 2006 (+ Schweiz 1992-1997)
- DEM: Hydrosheds
- Meteorologie Modellerstellung: HYRAS Niederschlag + Temperatur (außerhalb HYRAS-Gebiet E-OBS); Globalstrahlung JRC-MARS



# Hydrometeorologische Daten DWD/BfG-HYRAS

Parameter	Zeitll. Auflösung	Räuml. Auflösung	Gebiet	Validierung
Niederschlag v2.0	Tageswerte	1 x 1 km <sup>2</sup> 5 x 5 km <sup>2</sup>	KLIWAS- Gebiet	Ja
Temperatur v1.01	Tageswerte	5 x 5 km <sup>2</sup>	KLIWAS- Gebiet	Ja
Rel. Feuchte v1.01	Tageswerte	5 x 5 km <sup>2</sup>	Bundesgebiet und EZG Rhein+Donau	Ja

Globalstrahlung/  
Sonnenscheindauer

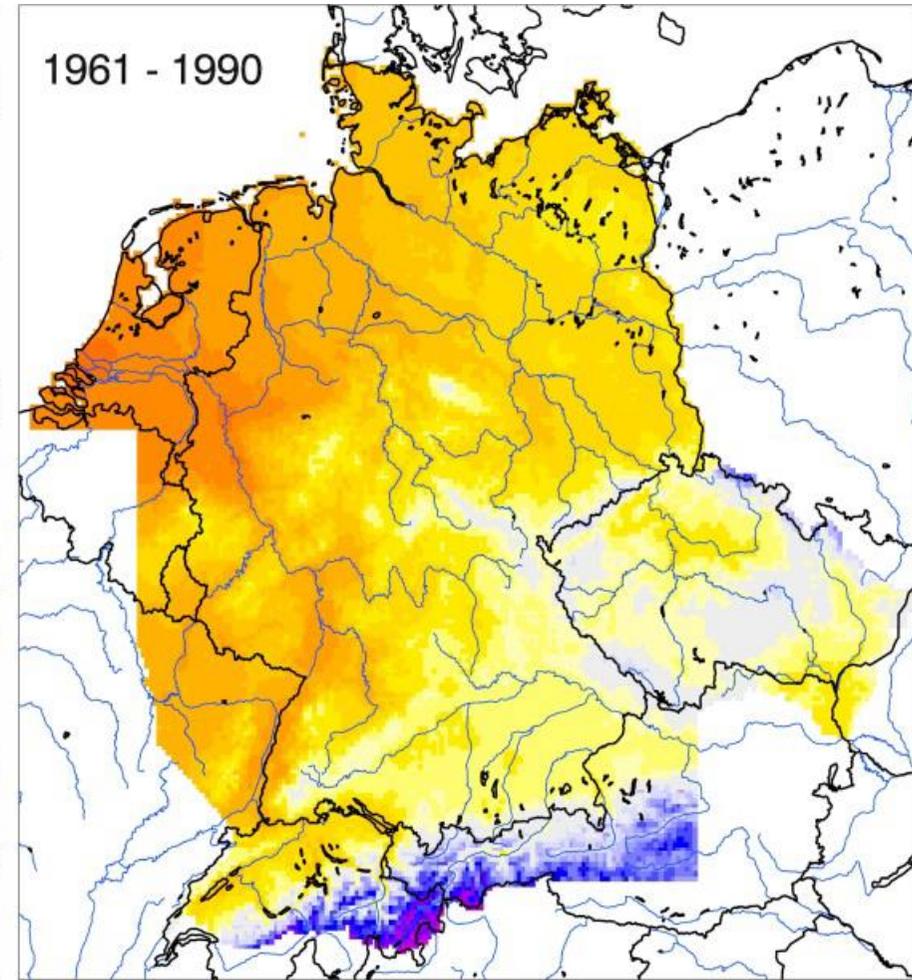
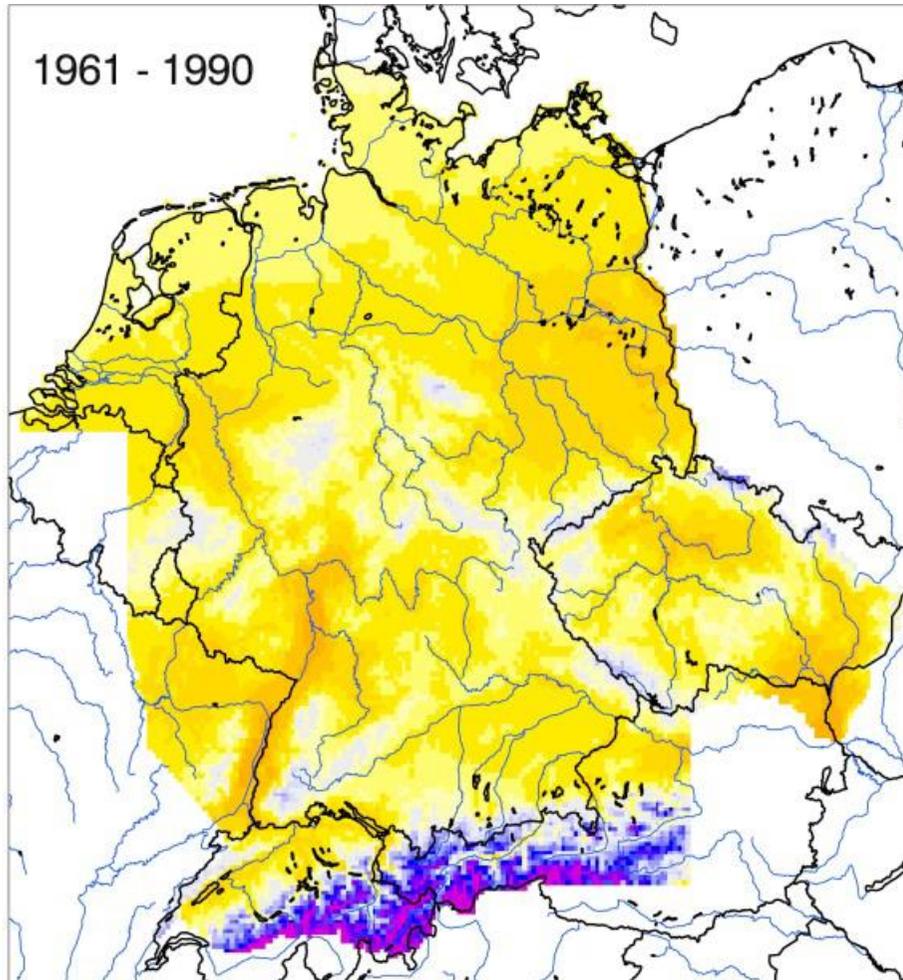
DWD/BfG-HYRAS-RSDS  
v0.21

Windstärke/-geschwindigkeit

???



# Hydrometeorologische Daten

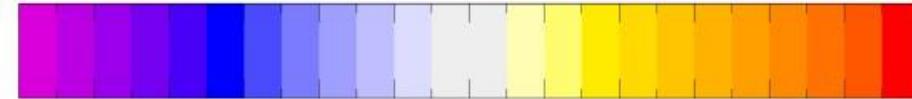


summer daily temperature

[°C]

winter daily temperature

[°C]



▪ Mittlere Temperatur für den meteorologischen

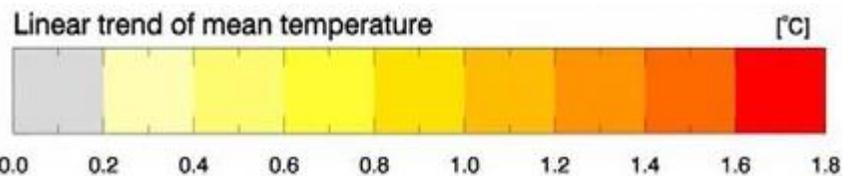
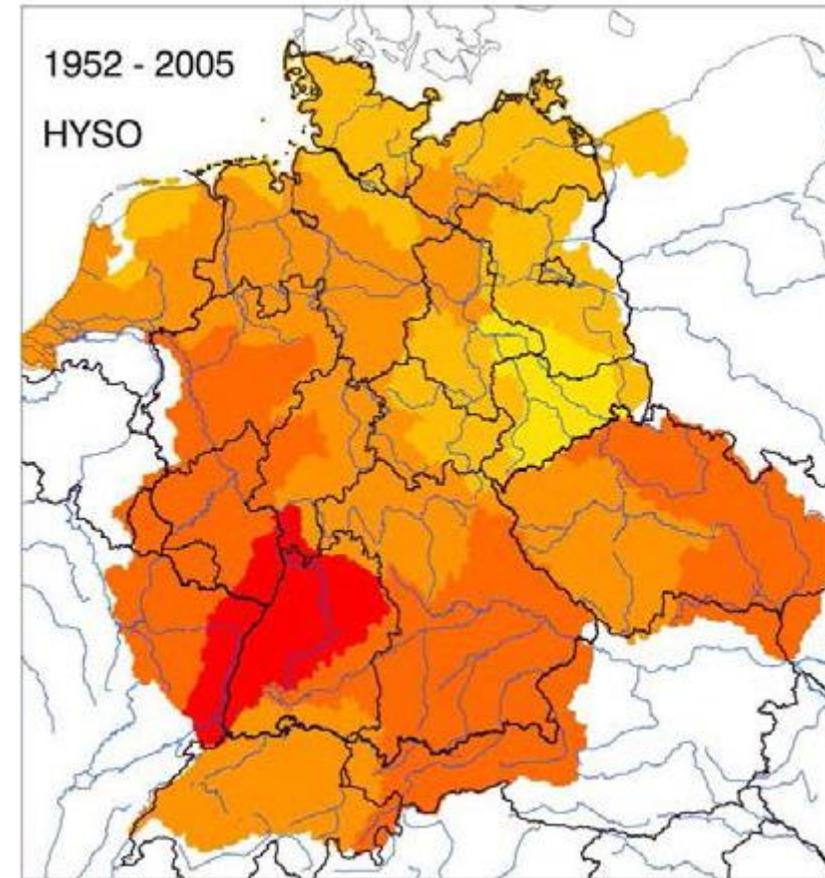
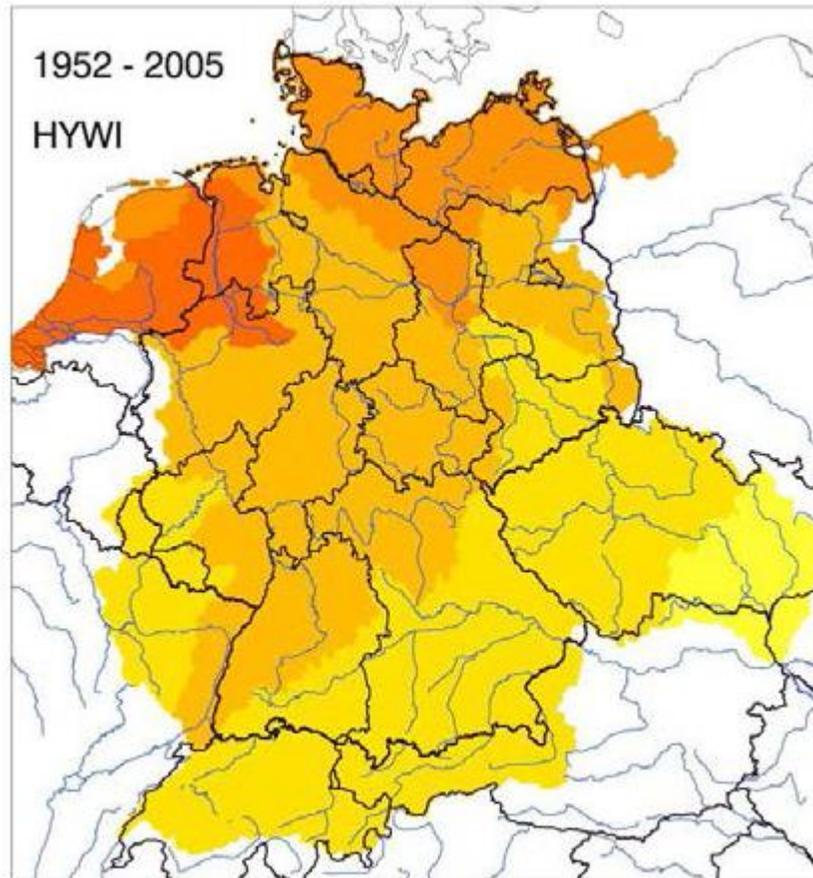
▪ Sommer (links) und Winter (rechts) in der Klimanormalperiode (1961-1990) aus

-2 -1 0 1 2 3 5

▪ DWD/BfG-HYRAS-TAS und -HURS.

FRICK et al., 2014

## Linearer Trend (1952-2005) der Lufttemperatur (HYRAS Referenzdaten)

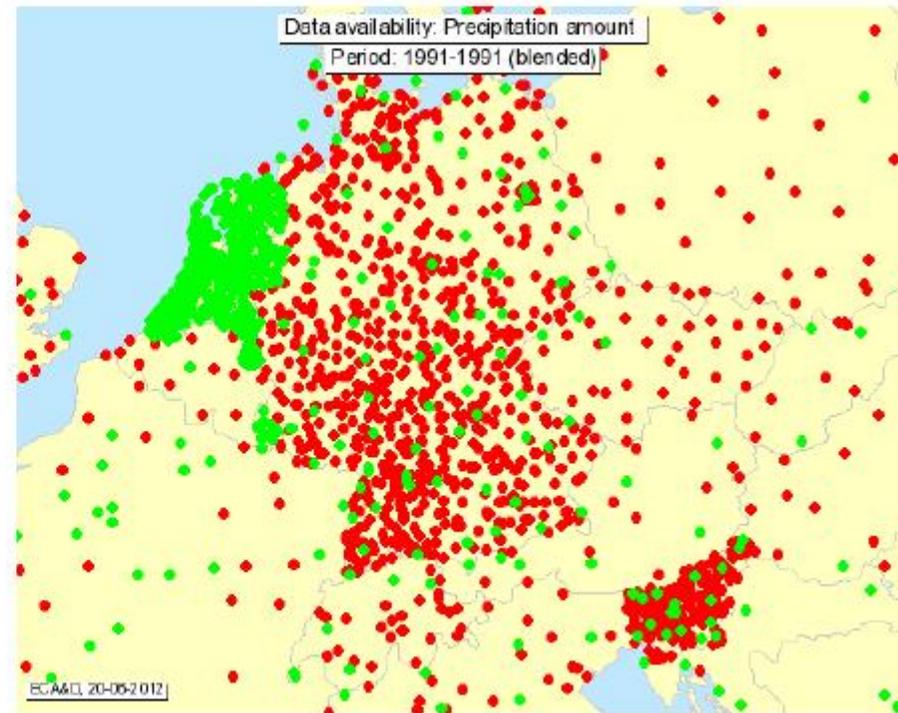
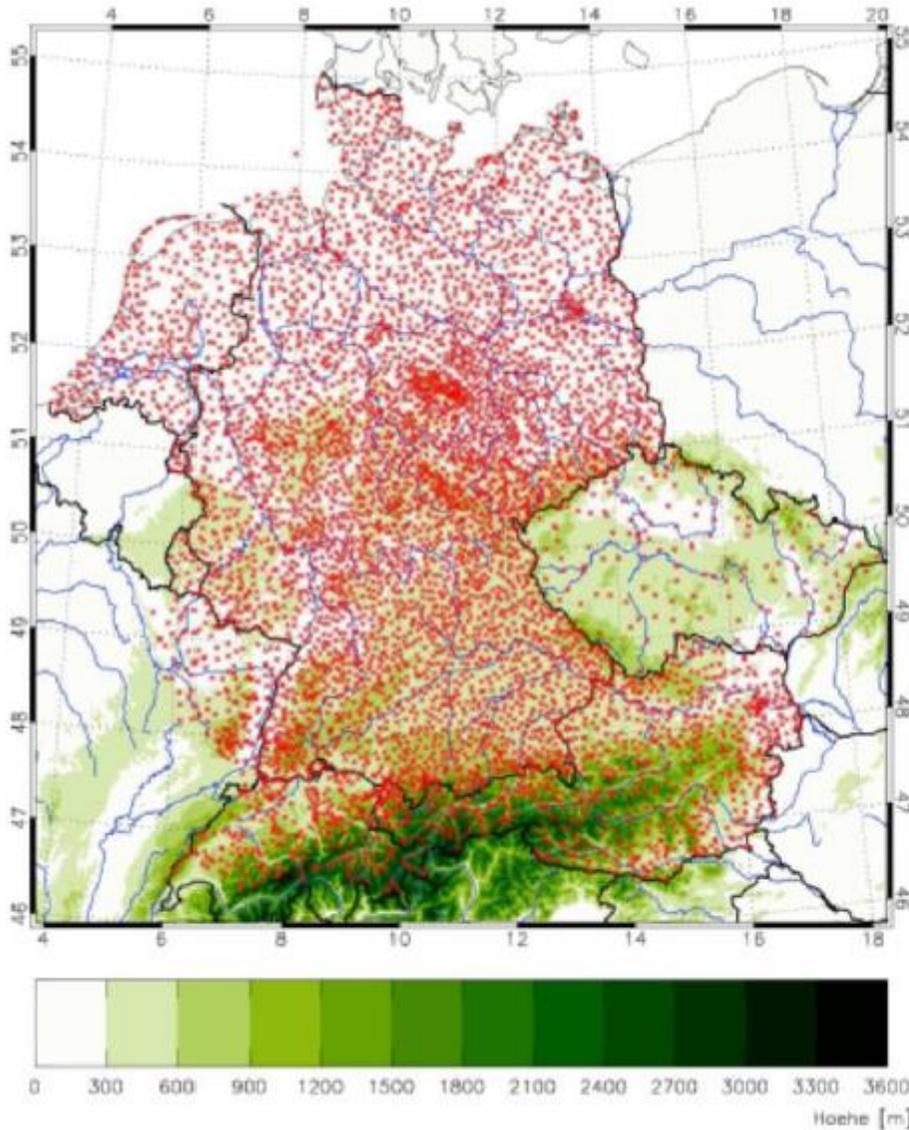


FRICK et al., 2014

# Hydrometeorologische Daten

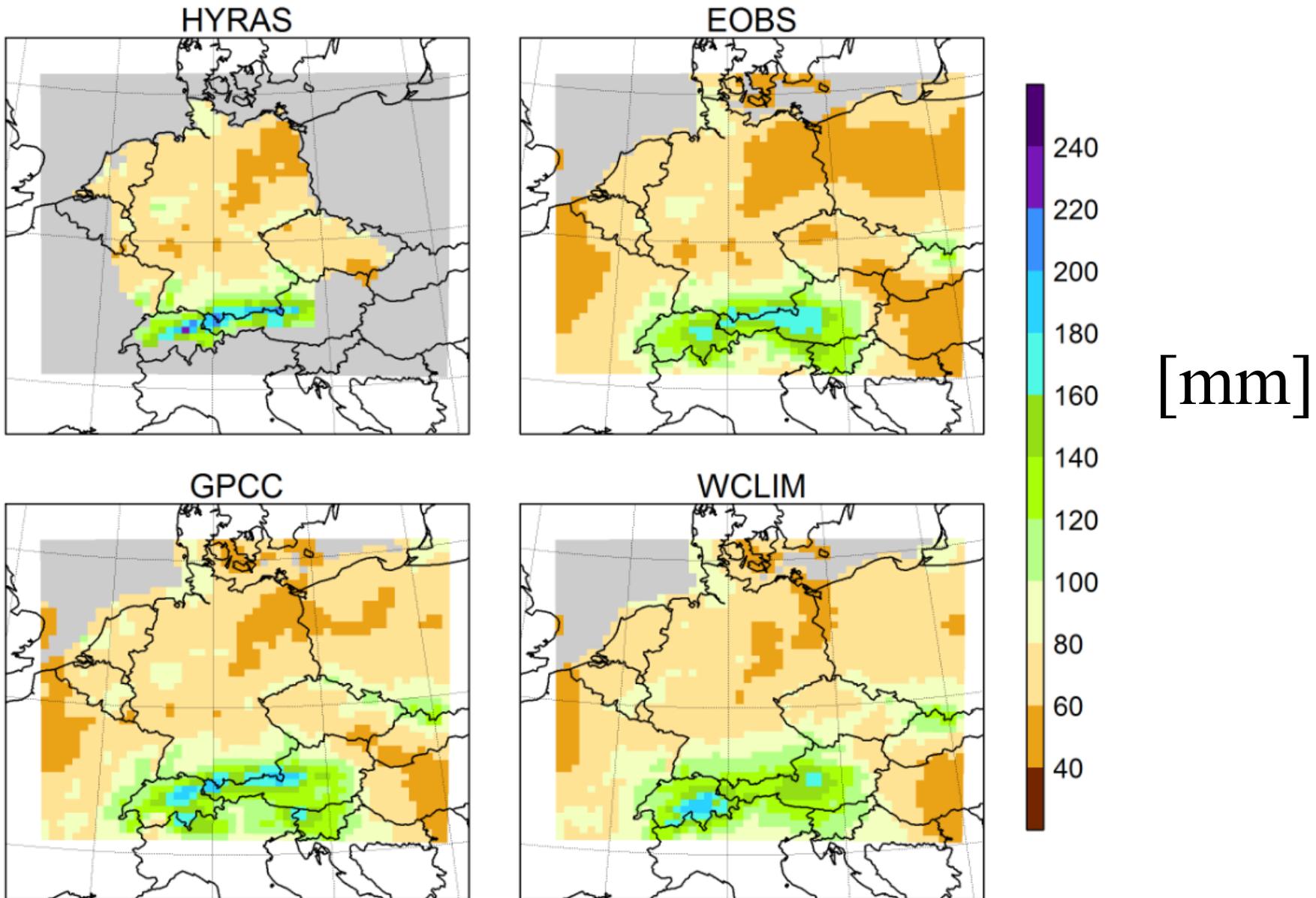
## Stationsdichte: Niederschlag

- KLIWAS
- WETRAX
- ASG Rhein
- KLIWA
- GRADE
- ...

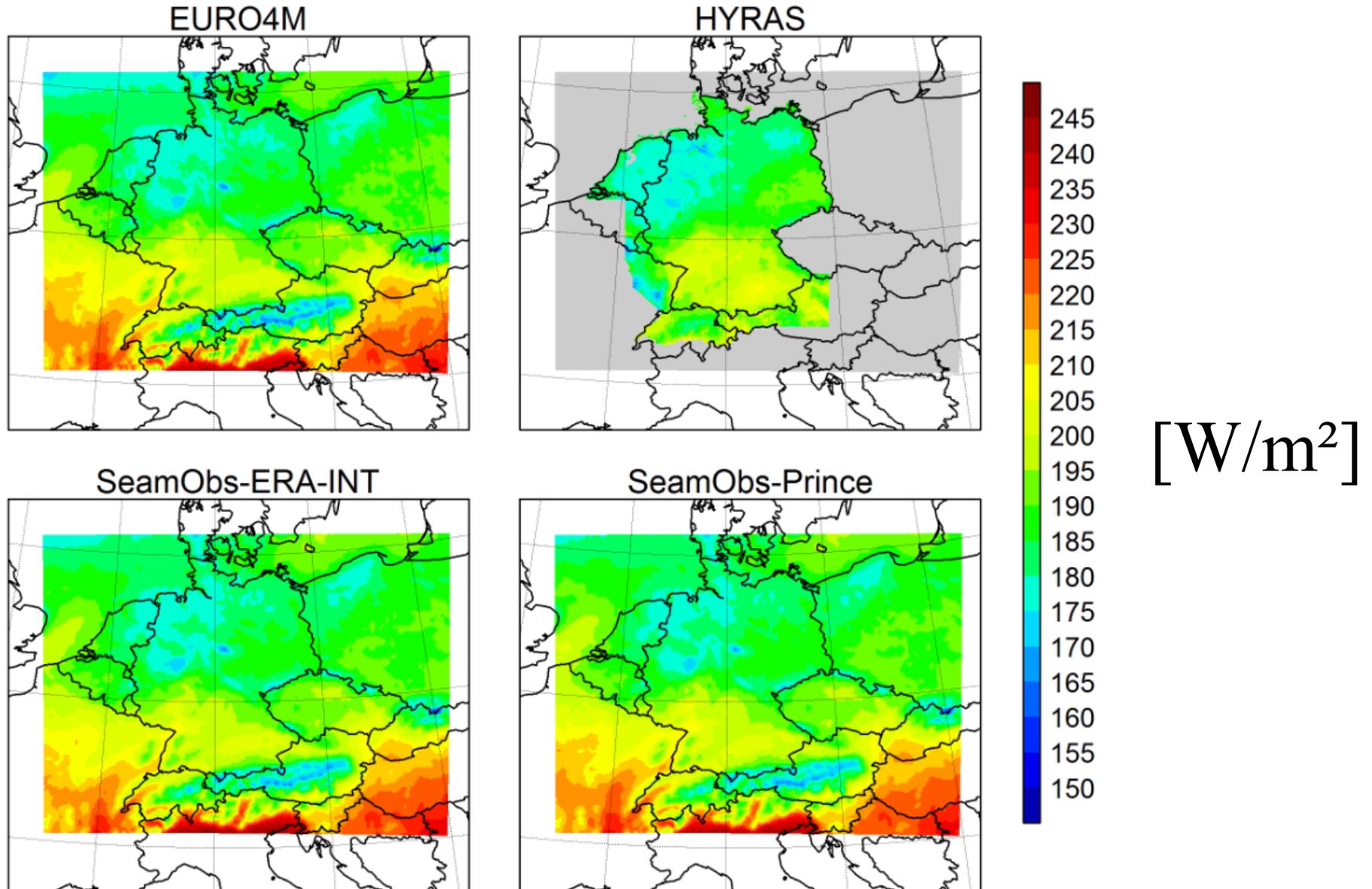


Source: Hegnauer et al., 2014

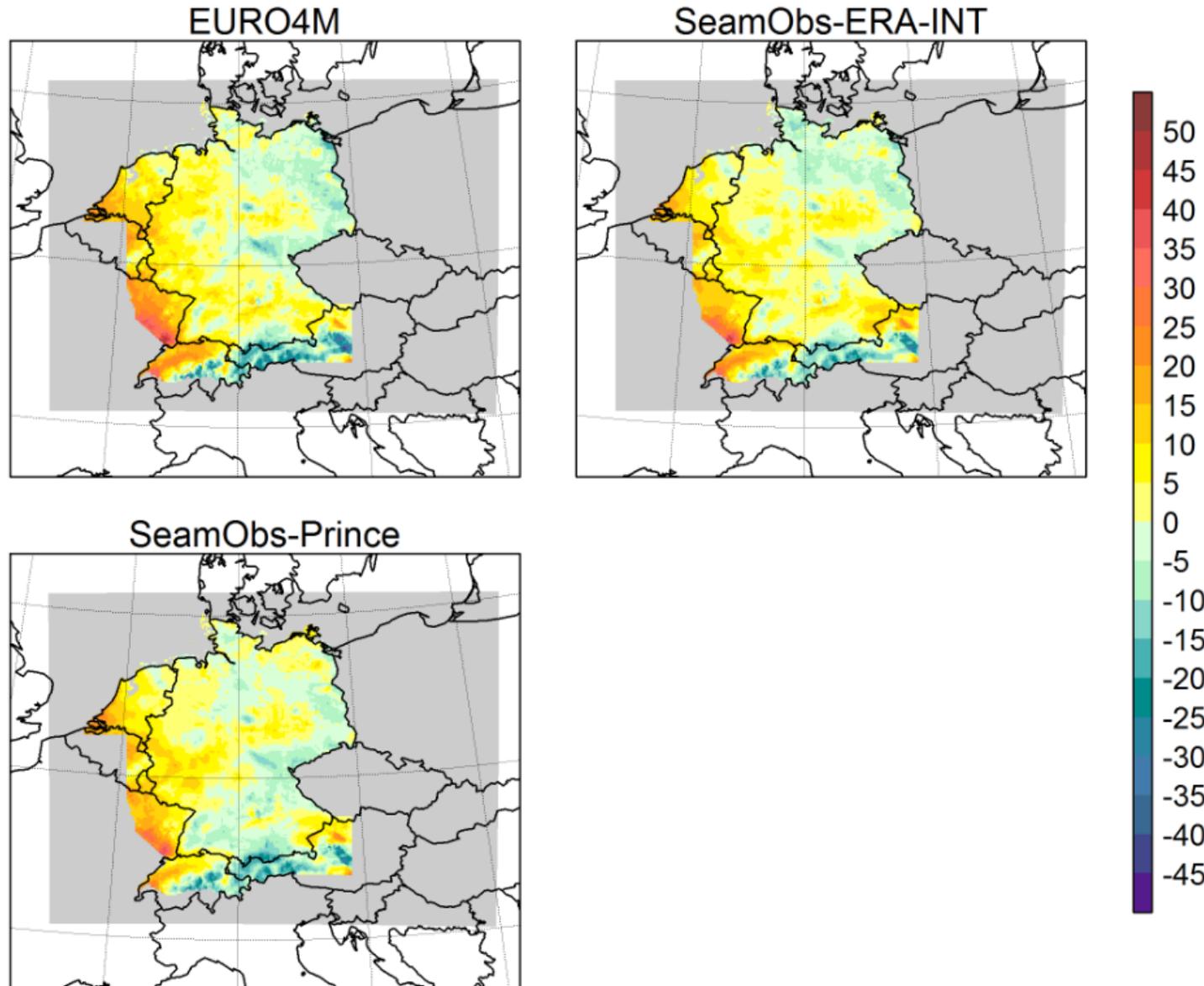
## Climatology prec 1951-2000 August



## Climatology dswrf 1991-2006 August



## Difference Climatology - HYRAS dswrf 1983-1990 August

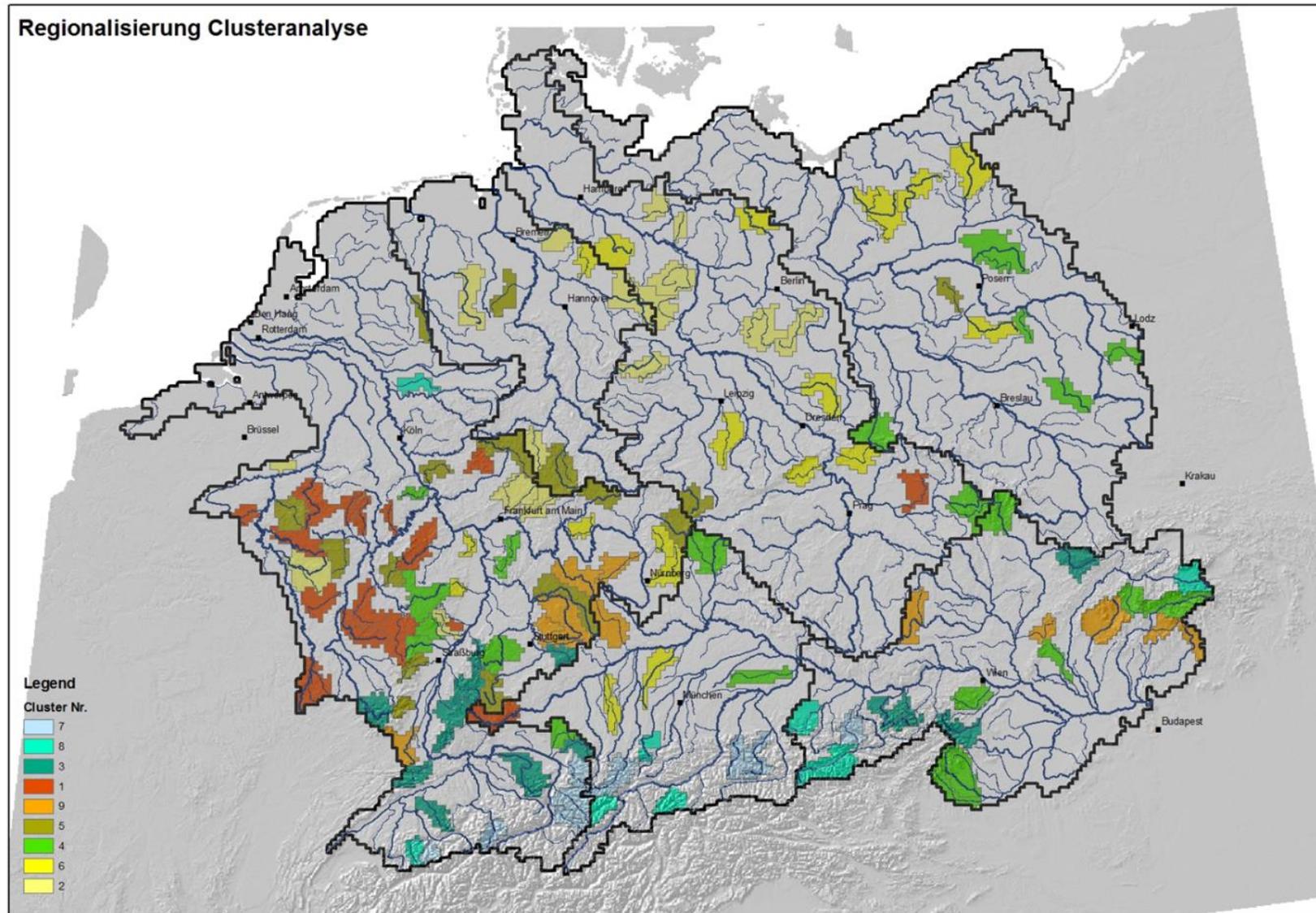


- **These:** regionalisierte Parametersätze erlauben robustere Aussagen bei instationären Klima- und Landnutzungsbedingungen (z. B. Klimawandel)
- Ziel: Gebiete mit ähnlichen Gebietseigenschaften sollen ähnliche Parameterkombinationen in LARSIM erhalten

## Vorgehen

- Ableitung von Clustern mit ähnlichen Gebietseigenschaften an Hand von hydrologischen Kenngrößen für relativ unbeeinflusste Gebiete (132 Pegel)
- ➔ Wahl von 9 Clustern
- Reklassifizierung an Hand von Geokenngrößen und regelbasierte Übertragung der Klassifizierung auf das gesamte Modellgebiet
- **Kalibrierung** von 6 – 12 Pegeln pro Cluster zur Ableitung der Parameterbandbreiten und der Modellparameter (Klassenmittelwerte) sowie **Übertragung** auf das Gesamtgebiet
- Feinkalibrierung Obere Donau (ohne Inn) und Elbe innerhalb der Parameterbandbreiten pro Cluster (Widerspruch zu These?)
- Test mathematische Optimierung unter Berücksichtigung der Parameterbandbreiten

# Regionalisierung ~ Clusteranalyse Abfluss



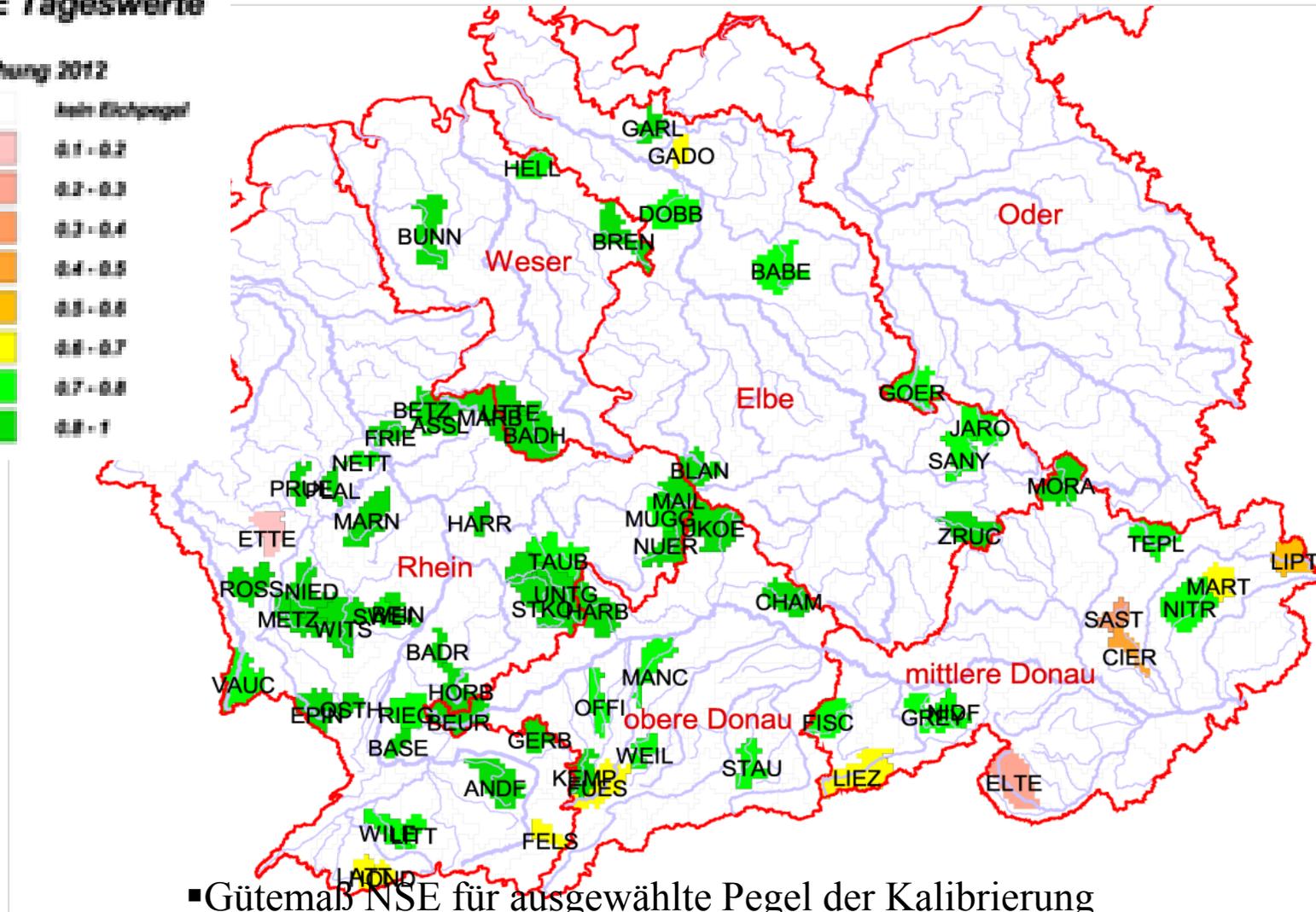
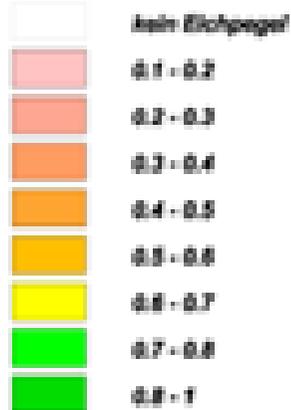
# LARSIM-ME Modellkonfiguration

- **Verdunstung**
  - > **Gras-Referenzverdunstung** nach Penman Wending
  - > **optional auch potentielle Verdunstung** nach Oudin
  - > **Maximale Evapotranspiration** nach ATV-DVWK-M 504  
**(+10% vom Bewuchs abhängiger Faktor)**
  - > Aktuelle Verdunstung nach ATV-DVWK-M 504 **mit Kalibrierparameter r nach Disse**
- **Schnee** Tag-Grad-Verfahren mit Setzung der Schneedecke nach Bertle und mit Angabe maximaler Schneeretention), für **ASG-Rhein**:
  - > **Schneehöhenzonierung (25 km<sup>2</sup> zu 25 x 1 km<sup>2</sup>)**
  - > **Schneemassentransport (innerhalb des 25 km<sup>2</sup> Rasters)**
- **Flood-Routing** Verfahren nach Williams mit  $dV/dQ$
- **Rückhaltebecken** mit Berücksichtigung von Flood Routing
- **Talsperren bzw. Seesteuerung** sowie **Verzweigungen**

# Kalibrierung repräsentativer PKB's

## NSE Tageswerte

### Elückung 2012



■ Gütemaß NSE für ausgewählte Pegel der Kalibrierung für die Regionalisierung

# Parameterbandbreiten pro Cluster

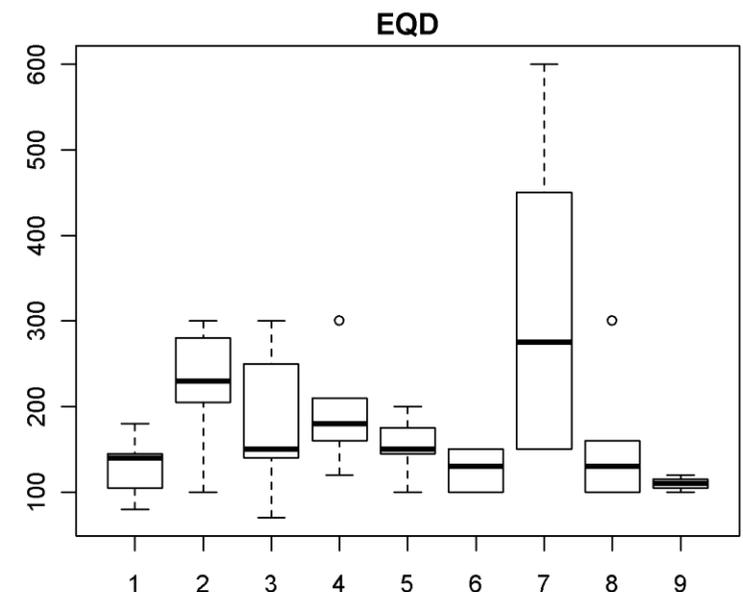
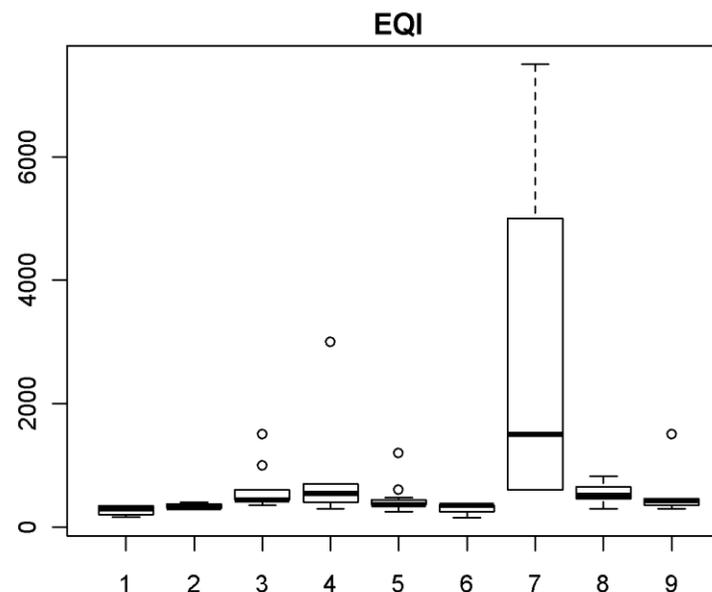
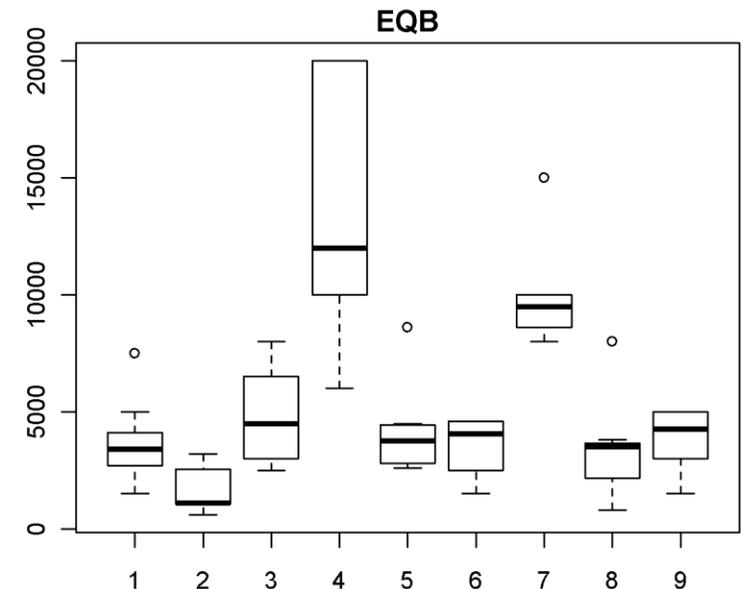
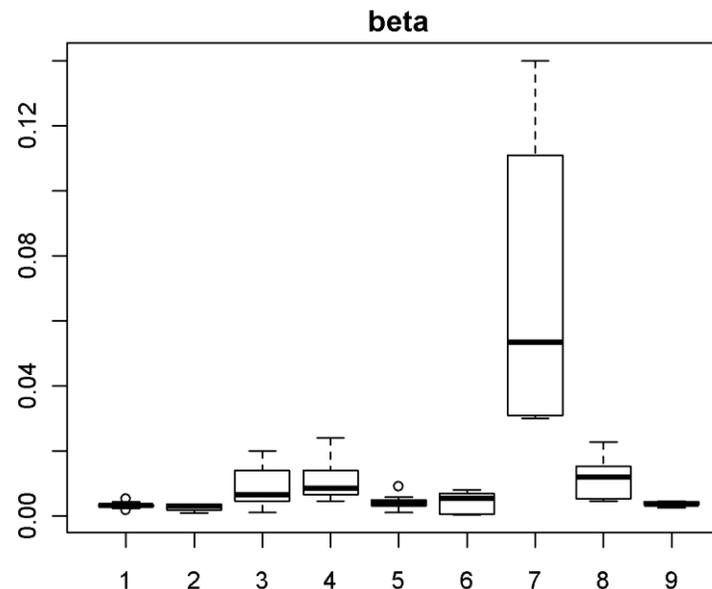
Cluster 7, 8: „Gebirge“

Cluster 3: „Gebirge, tiefere  
Lagen und obere  
Mittelgebirgslagen“

Cluster 1, 5, 9, 4:  
„Mittelgebirge“

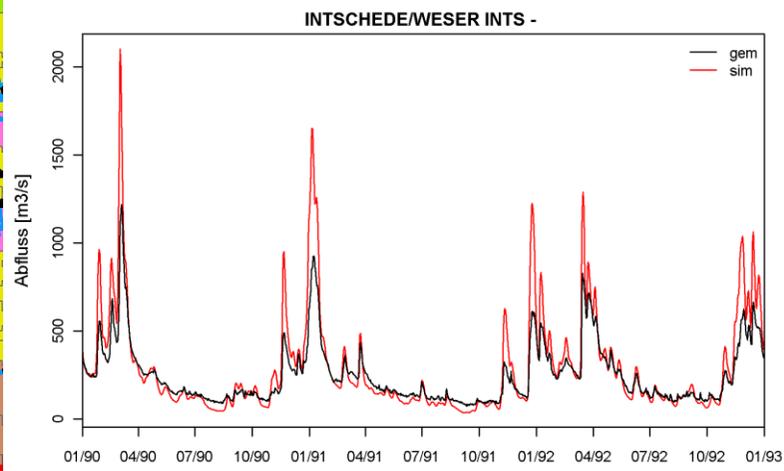
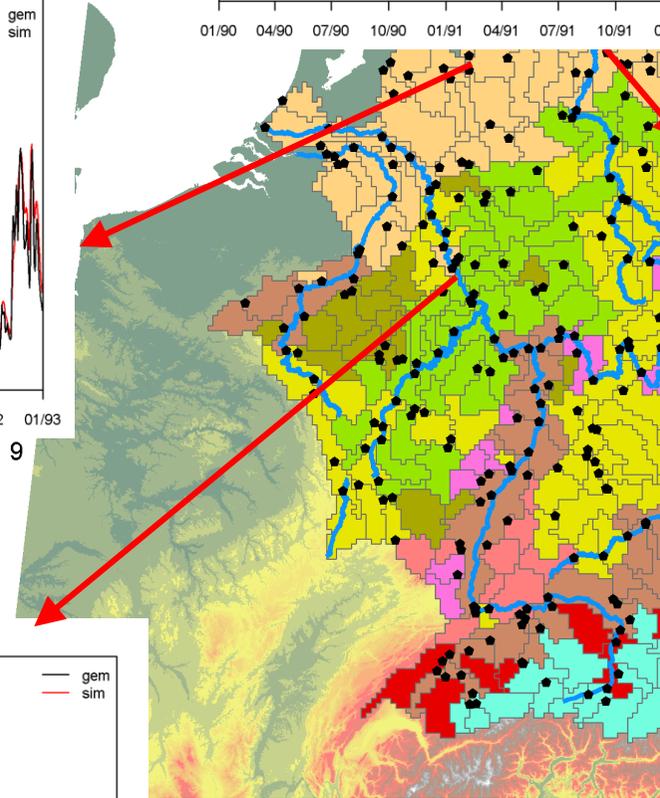
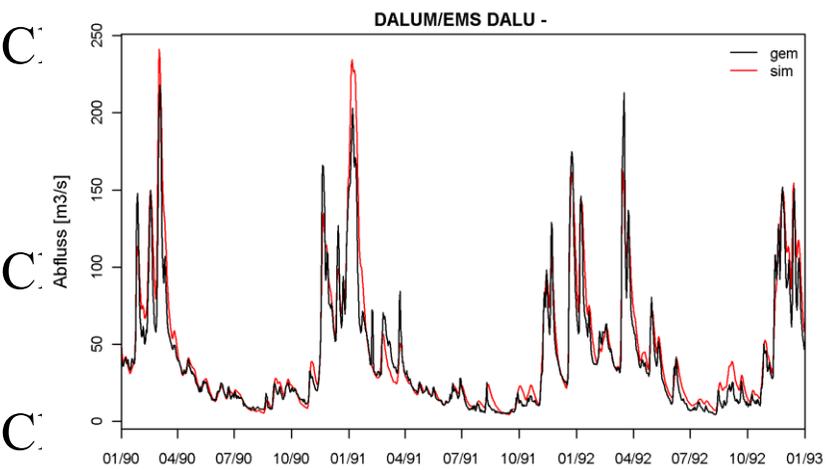
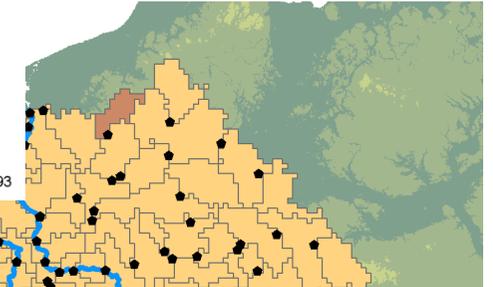
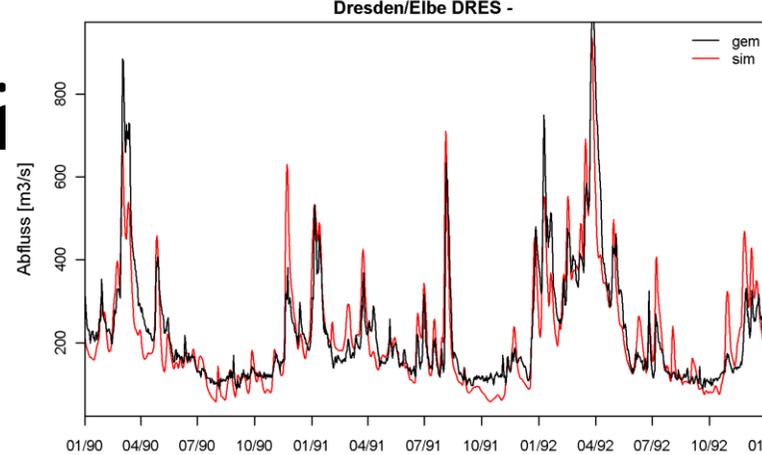
Cluster 2, 6: „untere (flache)  
Mittelgebirgslagen und  
Tiefland“

Kalibrierung:  
6 - 12 Pegel pro Cluster



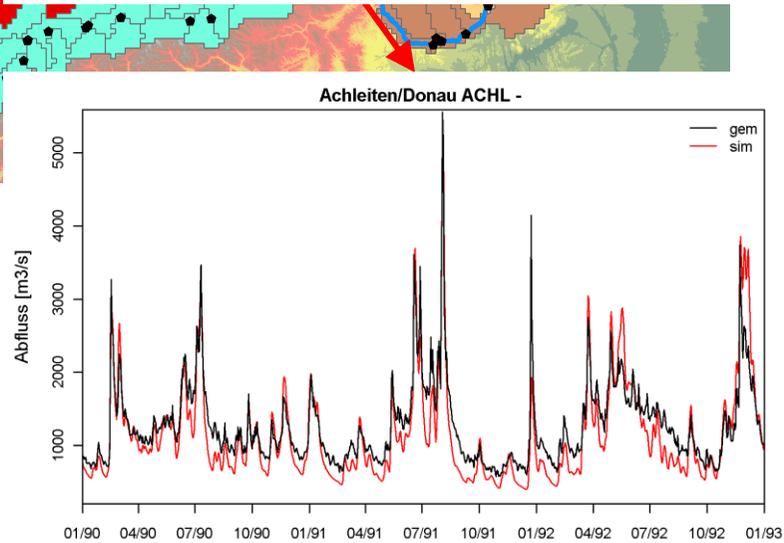
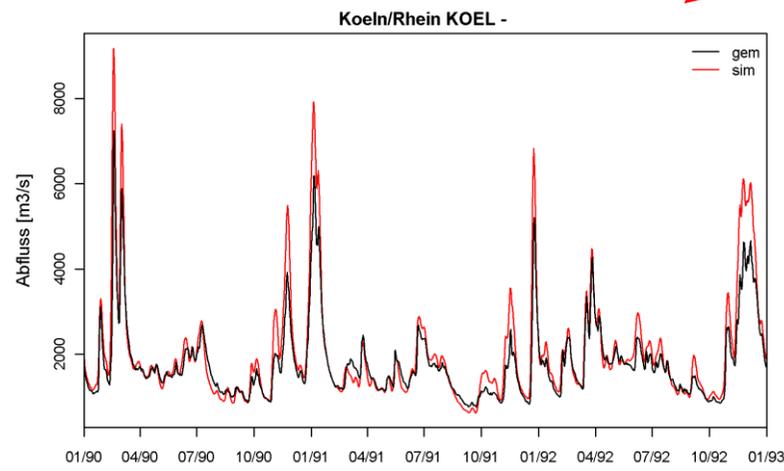
# LARSIM-ME Ergebnis

Cluster 7, 8: „Gebirge“

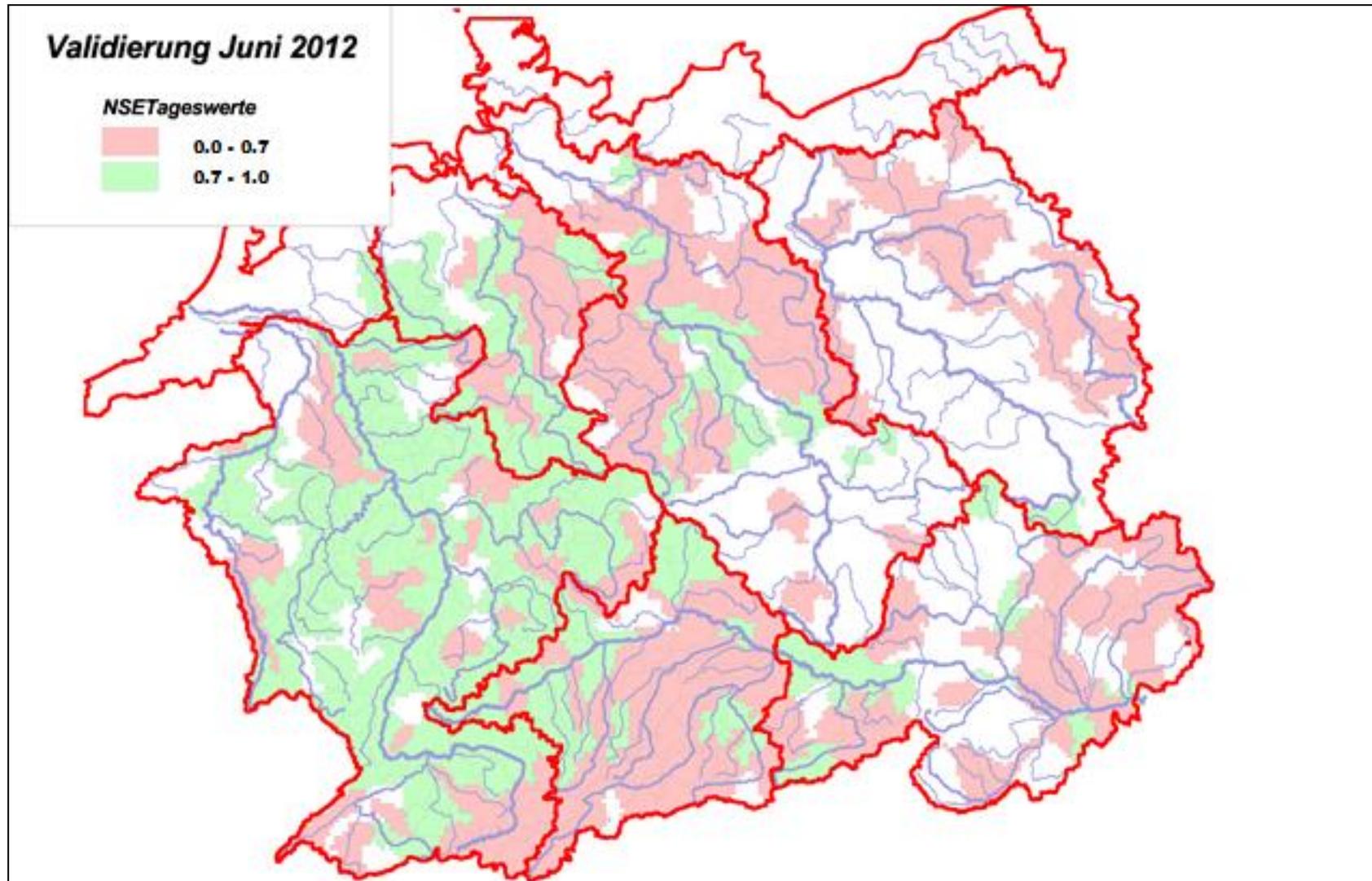


Mittelgebirgslagen und Tiefland“

9



# LARSIM-ME Validierung Regionalisierung

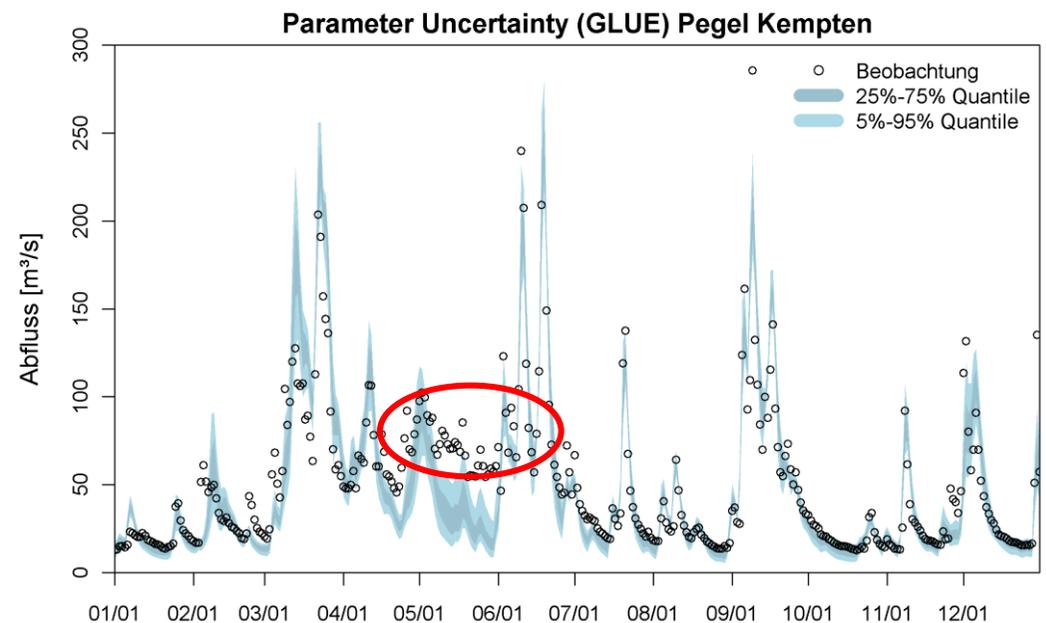
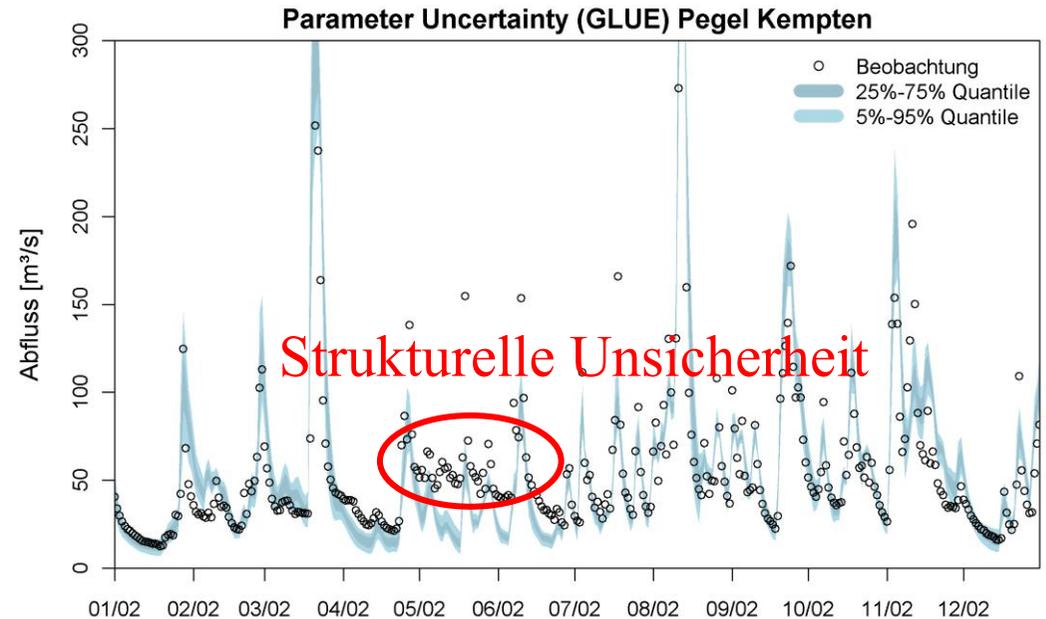
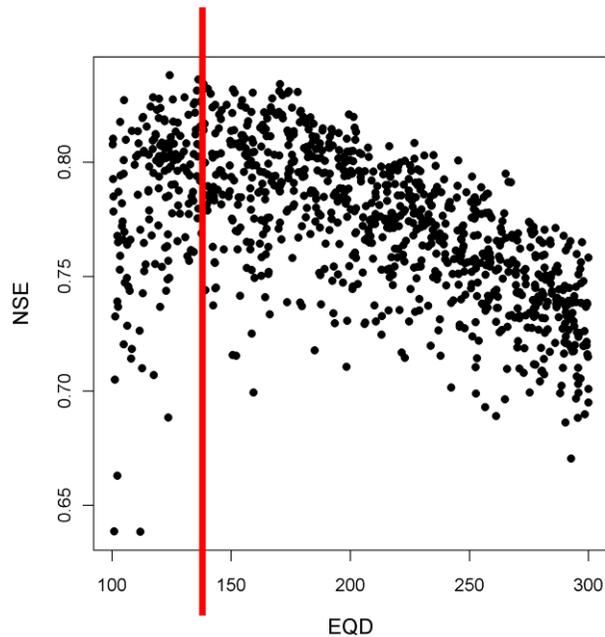


Nash-Sutcliffe-Effizienz (NSE) Tageswerte  
(Auswerteperiode 1.11.1976 bis 31.10.2005)

# Parameter- ~ strukturelle Unsicherheit

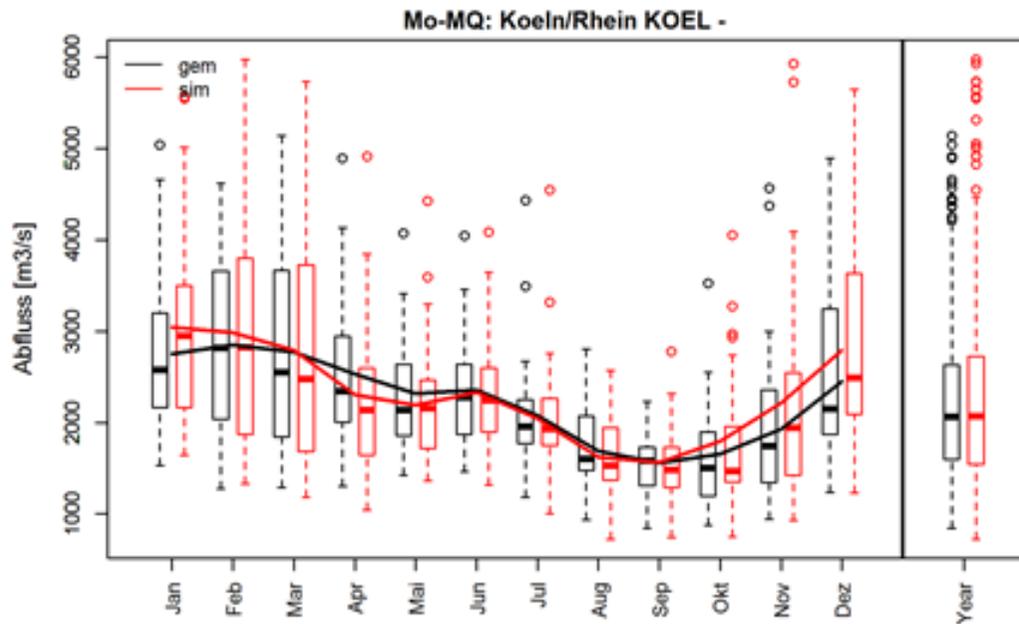
## Pegel Kempton - Iller:

- Cluster 8: „Gebirge“
- GLUE-Analyse** mit 1000 Parametersätzen
- Variation Parameter: beta, EQB, EQI, EQD, Dmin, Dmax, TGr, GTF, BSF
- Parametervariation gleichverteilte Zufallszahlen innerhalb Cluster-Parameter Bandbreiten

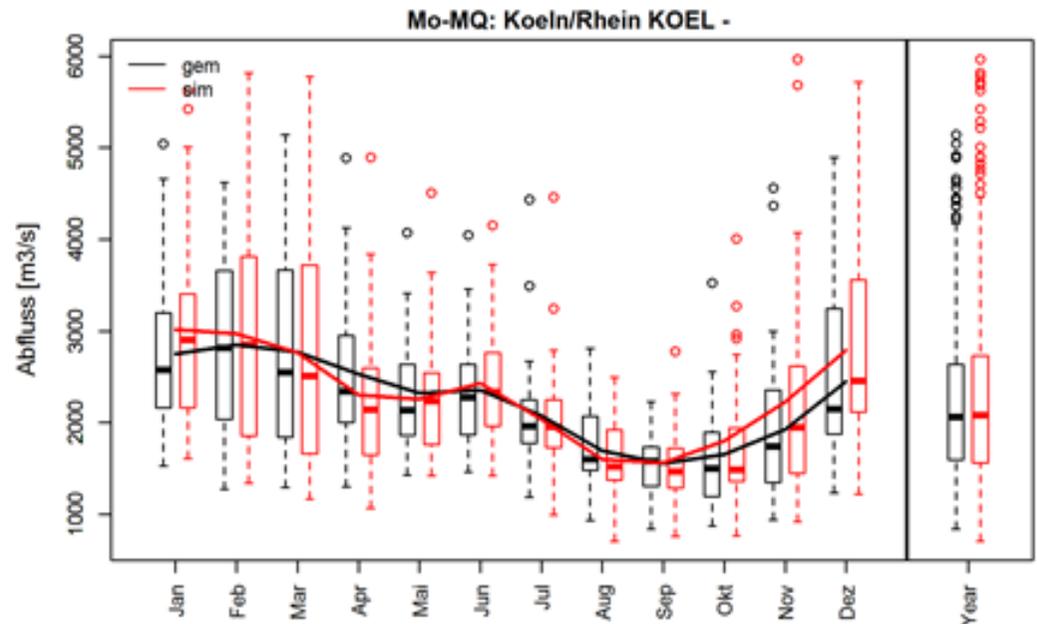


# Unsicherheit ~ verschiedene hydmet. Daten

Pegel	NSE <sub>neu</sub>	NSE <sub>alt</sub>	KGEmon <sub>neu</sub>	KGEmon <sub>alt</sub>	Bias <sub>neu</sub>	Bias <sub>alt</sub>
	[/]	[/]	[/]	[/]	[/]	[%]
Andelfingen	0,81	0,8	0,94	0,95	-4,4	-3
Basel Rheinhalle	0,86	0,85	0,9	0,88	-0,9	0,2
Bollendorf	0,9	0,91	0,94	0,93	-4,6	-6,1
Köln	0,8	0,79	0,82	0,82	2,7	3



**HYRAS (Stand 2013)**



**Hymet. Daten Kalibrierung  
(Stand 2011)**

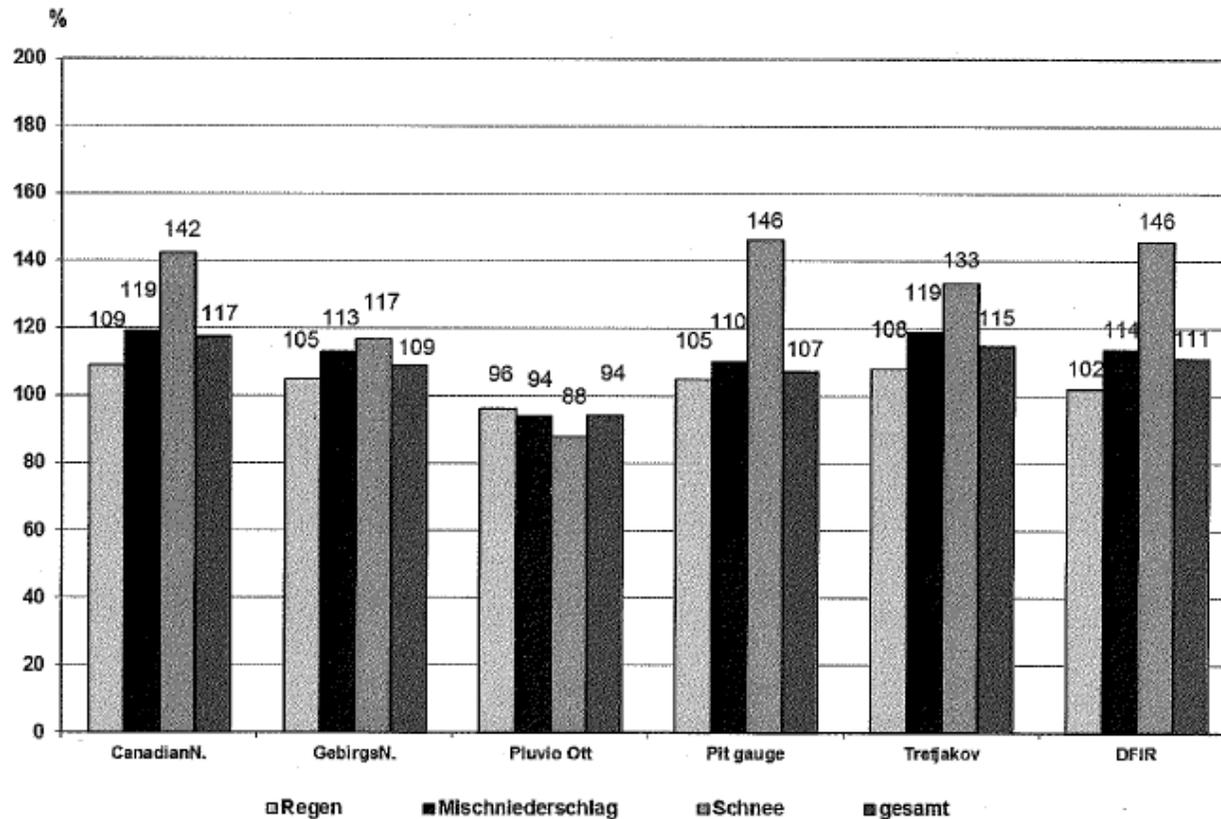
# Unsicherheit ~ Niederschlagskorrektur

- oder auch : **Neue Gerätegeneration – andere Fehler ?**



Deutscher Wetterdienst  
Wetter und Klima aus einer Hand

Niederschlagsvergleichsmessungen Wasserkuppe, Zeitraum 10/2004 bis 06/2013  
Prozentualer Vergleich verschiedener Messgeräte zum Hellmann-Standard



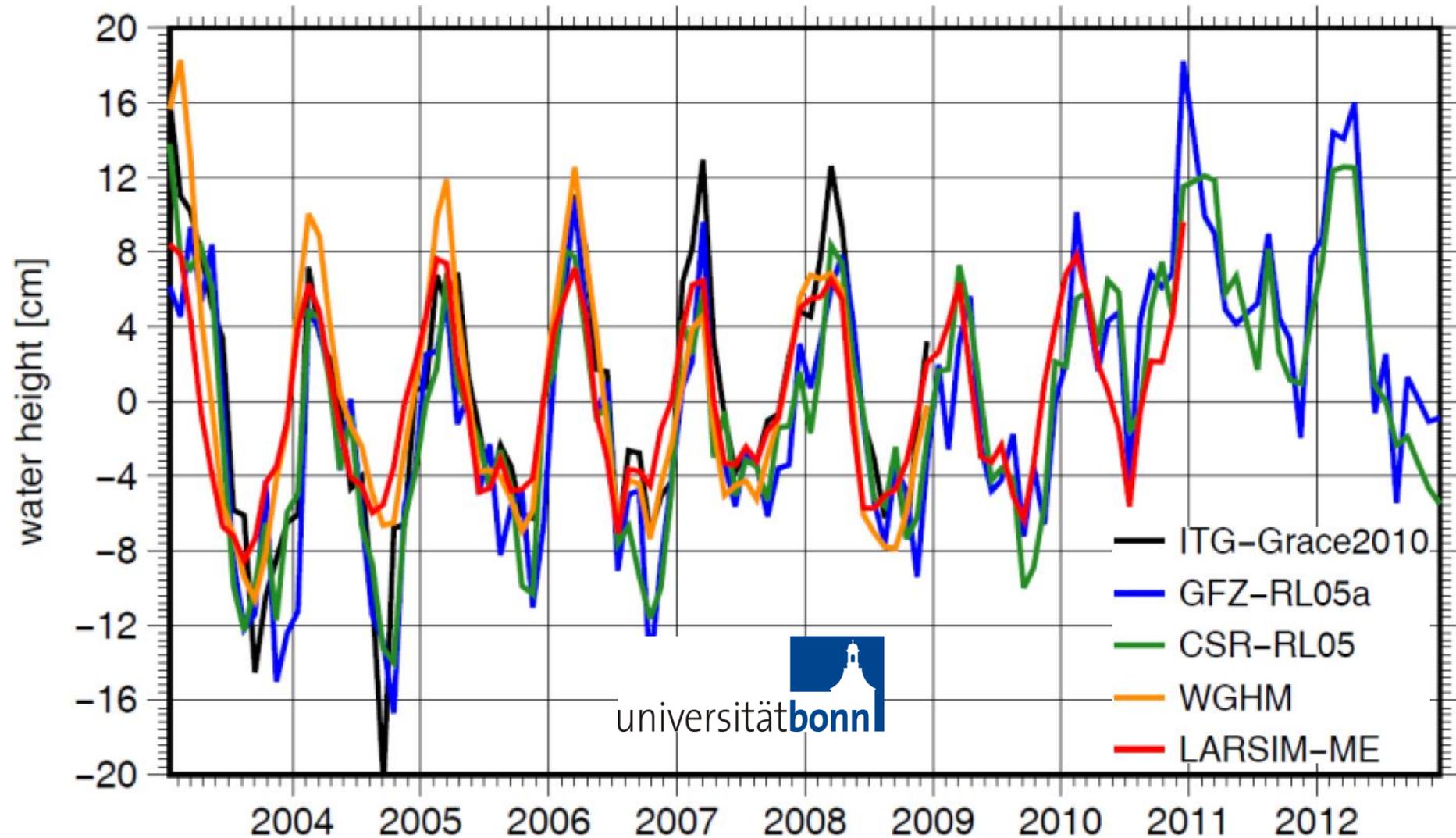
N-Station

Wasserkuppe

(Mittelgebirge)



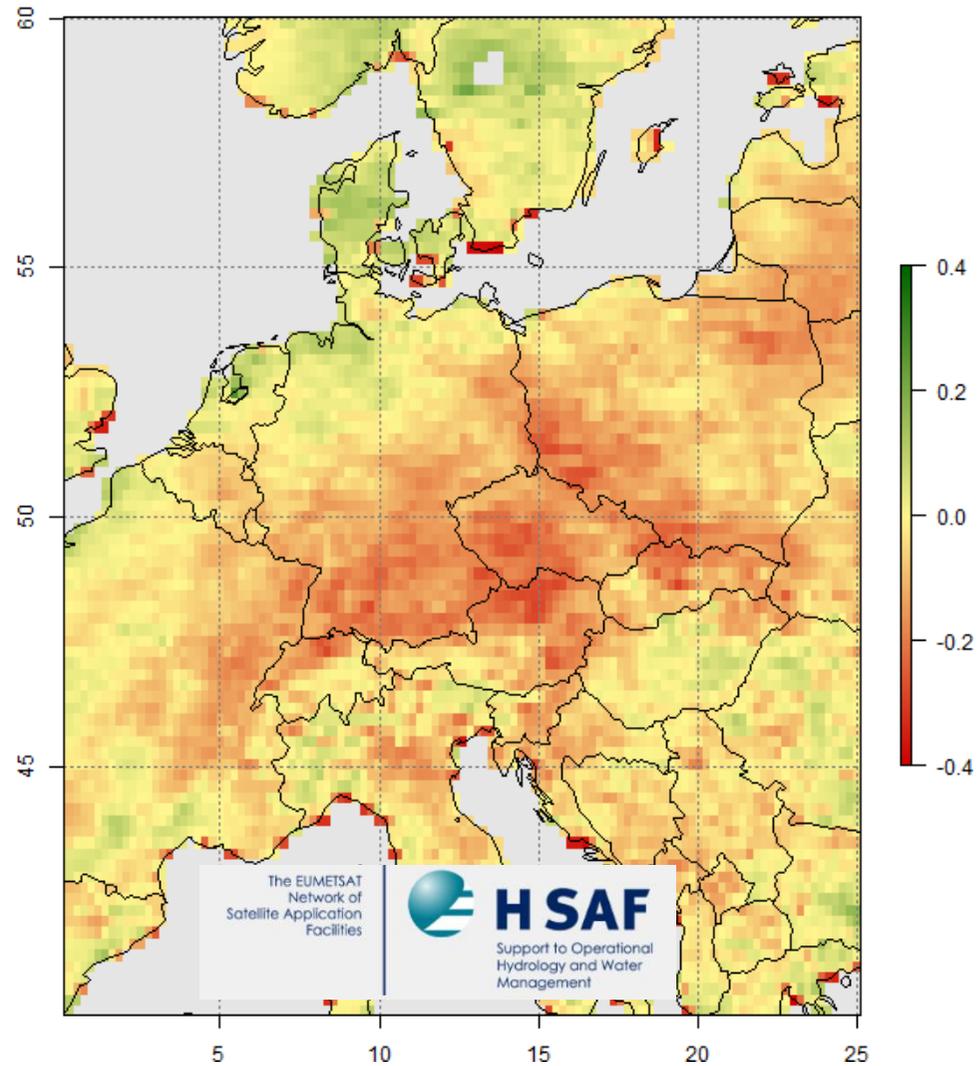
## Water storage change in the Elbe catchment)



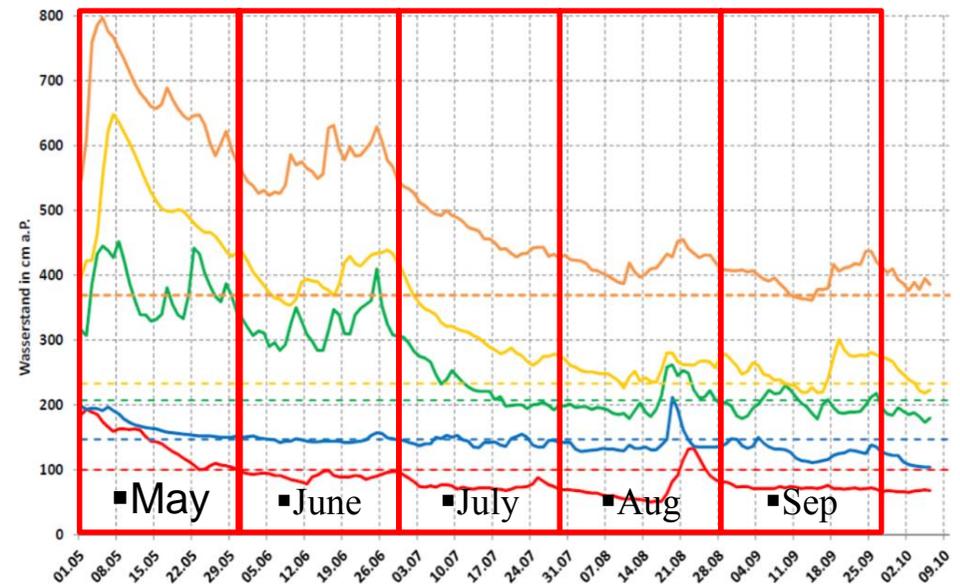
Source: Eicker et al. (2014)

# Erweiterte Validierung Bodenfeuchte

H-SAF H14 SWIANO\_0\_100  
September 2015



- Soil moisture (H14 product)
- Monthly anomaly 10/2014 to 09/2015 (vs. 5 year mean)
- 0-100 cm depth average



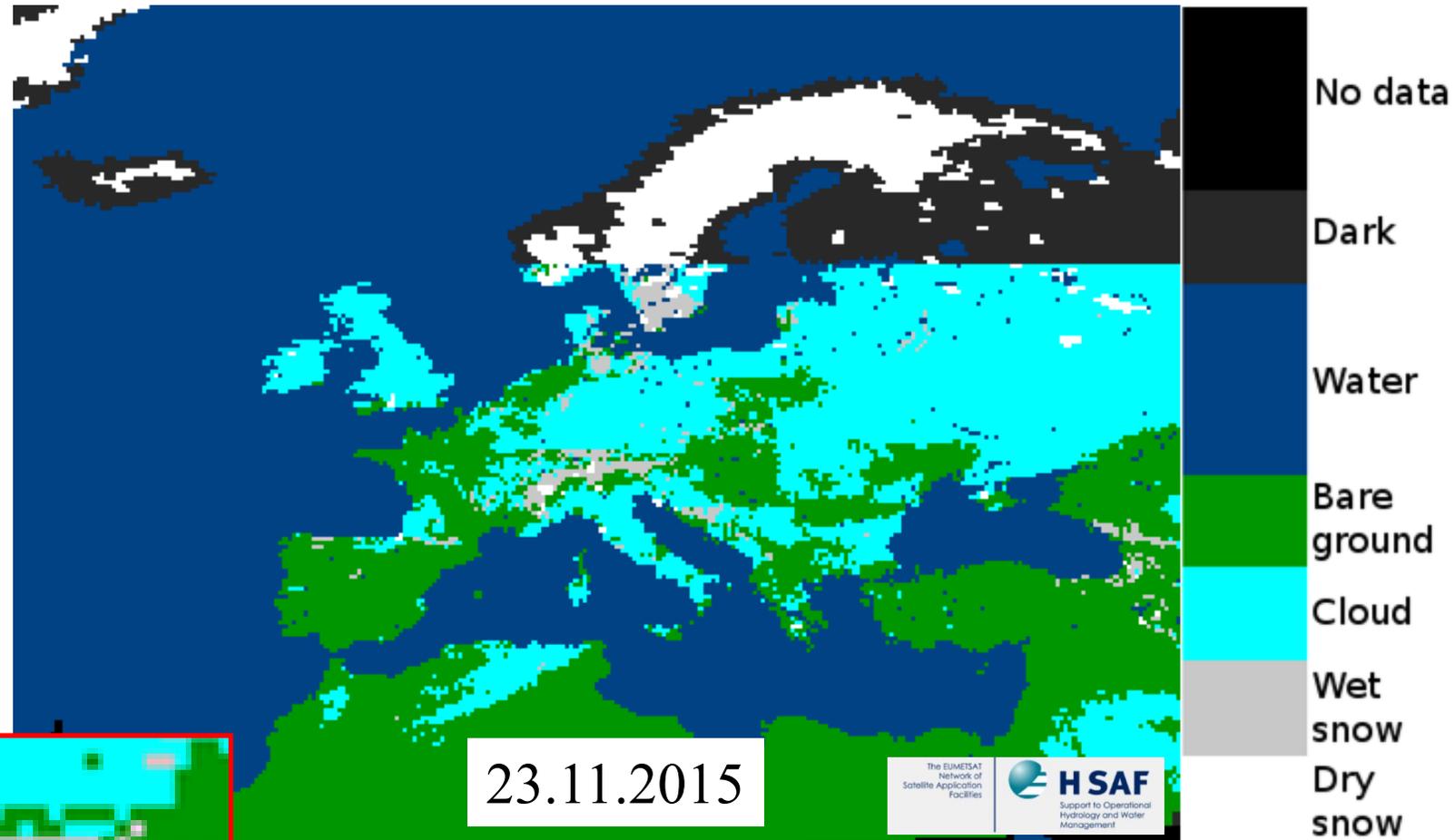
■ Danube Lower and Upper Rhine Elbe Weser

■ Source: P. Helmke (pers. Comm), data: <http://hsaf.meteoam.it/>

# Erweiterte Validierung Schnee

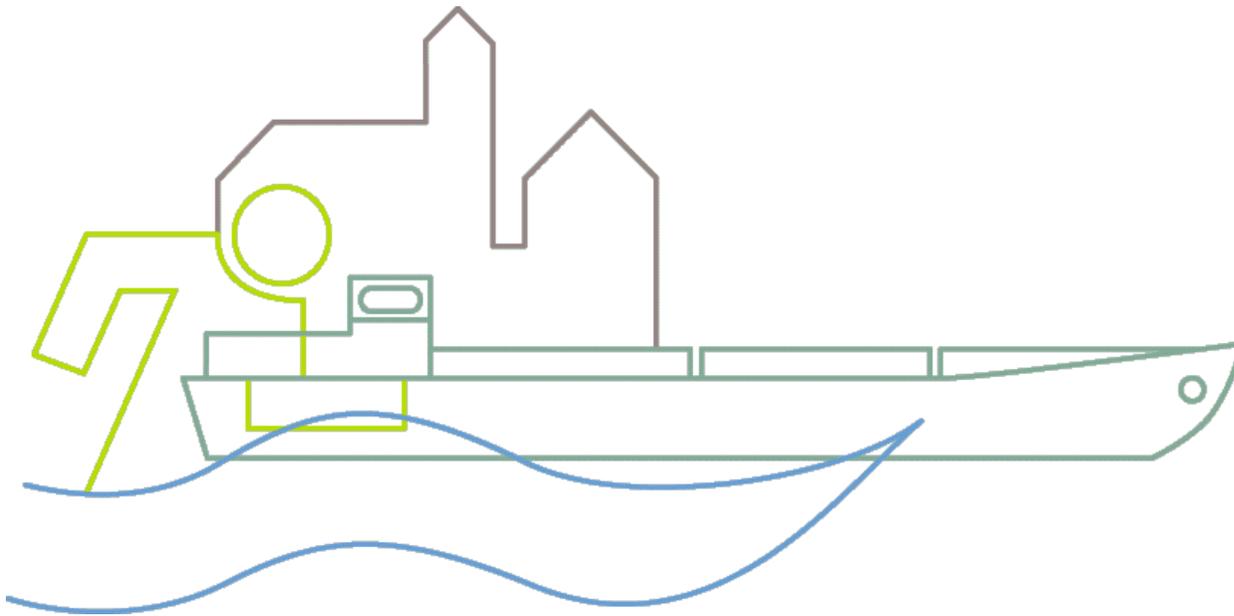
SN OBS 2 - H11

Snow status  
(dry/wet)  
by  
MW  
radiometry



# Ausblick

- Weiterentwicklung Hydrometeorologische Eingangsdaten
- Analyse Einfluss unterschiedlicher Verdunstungsansätze auf Wasserhaushalt
- Analyse unterschiedlicher Beobachtungsdatensätze auf Wasserhaushalt
- Berücksichtigung der Höhenverteilung in den LARSIM-Elementen (5km x 5km) in den verbleibenden alpinen Gebieten
- Weiterentwicklung Modelle Rhein und Weser (Einbau Speicher, Überleitungen, Feinkalibrierung, math. Optimierung, DA-Verfahren)
- Iterative Verbesserung Regionalisierungsverfahren



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

Peter Krahe

Referat M2 - Wasserhaushalt, Vorhersagen, Prognosen

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1

56068 Koblenz

Tel.: 0261/1306-5234, Fax: 0261/130-5280

E-Mail: [krahe@bafg.de](mailto:krahe@bafg.de)

[www.bafg.de](http://www.bafg.de)

**Projektteam:**

Klein, B., Carambia, M., Lingemann, I.,  
Hohenrainer, J., Krahe, P., Nilson, E.,  
Malte Knoche (BfG)

Wolf-Schumann, U., Buchholz, O., Dorp,  
M., Hellbach, C. (Hydrotec)

Richter, K.-G., Elpers, C., Hunger, M.,  
Krauter, G., Vollmer, S. (Aquantec)

Gerlinger, K., Böhm, M., Henn, N.  
(Hydron)