

Automatische Kalibrierung von LARSIM-ME

Herausforderungen, Erkenntnisse und Ergebnisse

Bastian Klein

Referat M2 - Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen

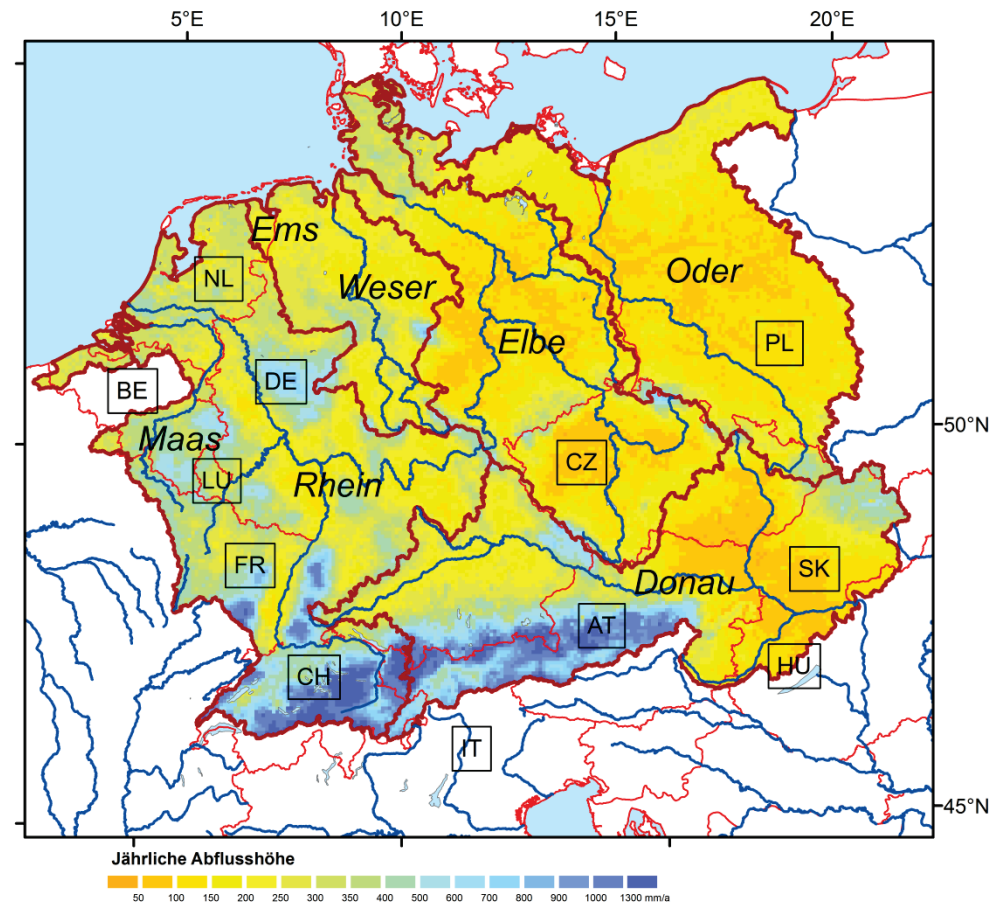
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Internationaler LARSIM-Anwenderworkshop 2018

12. - 14. März 2018 in Koblenz

LARSIM-ME

- Deutsche Flusseinzugsgebiete mit internationalen Flussgebietsanteilen (ca. 800 000 km²)
 - Tageswerte
 - Einheitliche Datengrundlage (5km x 5km Raster)
 - Meteorologischer Input HYRAS (Niederschlag, Temperatur, Globalstrahlung)
 - Berücksichtigung anthropogener Beeinflussungen (Speicher, Überleitungen, ...)
 - Modellerstellung 2011 – 2013 durch Ingenieurbüros Hydrotec und Aquantec
 - Anwendungsbereiche: Gewässerkundliche IST-Beschreibung, Klimafolgenforschung und längerfristige Vorhersagen
 - Objektivierete Parameterschätzung, ähnliche Gebiete sollen auch ähnliche Parameterkombinationen haben
- ➔ Entwicklung Regionalisierungsverfahren



Verwendete LARSIM-Optionen

- Potentielle Verdunstung Penman-Wendling
- Aktuelle Verdunstung Ansatz nach Disse (1995)
- Schnee: Tag-Grad Verfahren + Snow Compaction

Regionalisierung (2011-2013)

- These: mit regionalisierten Parametersätzen robustere Aussagen bei instationären Klimabedingungen (z. B. Klimawandel) möglich
- 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)
- Reklassifizierung an Hand von Geokenngrößen und Anwendung auf das gesamte Modellgebiet
- Kalibrierung von 6 – 12 Pegeln pro Cluster zur Ableitung der Parameterbandbreiten und der regionalisierten Modellparameter (Klassenmittelwerte)
- Feinkalibrierung Obere Donau (ohne Inn) und Elbe innerhalb der Parameterbandbreiten pro Cluster

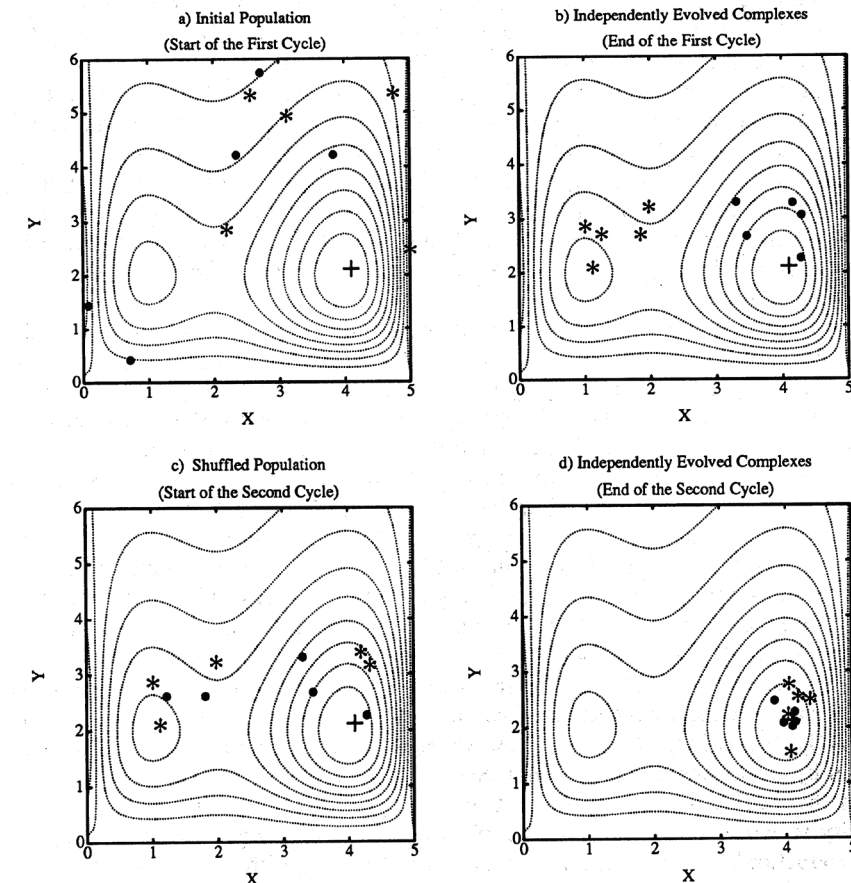
Automatische Kalibrierung

- Untersuchung unterschiedlicher automatischer Optimierungsverfahren für LARSIM-ME
- Neue Optionen Schneemassentransport, Höhenzonierung, Schneeregen
➔ alte Parametergrenzen aus Regionalisierung nicht mehr gültig
- Ziel möglichst gute Anpassung der simulierten und beobachteten Ganglinie
- Gute Abbildung von Hochwasser- und Niedrigwasserereignissen sowie der Wasserbilanz mit einem Parametersatz
➔ Untersuchung unterschiedlicher Zielfunktionen für die Optimierung
- Ziel ein möglichst robustes (evtl. auch wissenschaftliche unsauberes 😊) Optimierungsverfahren für die automatische Kalibrierung von LARSIM-ME zu entwickeln
- Technische Umsetzung und Sammlung von Erfahrungen
- Im nächsten Schritt Kombination des Regionalisierungsverfahrens und der automatischen Kalibrierung

- Shuffled Complex Evolution (SCE-UA) Method (Duan et al. 1992): (Theoretisch) globale Parameteroptimierung

- Monte-Carlo-Methode

- Generiere x (z.B. 1000) zufällige Parameterkombinationen
- Wähle n (z.B. 5) besten Simulationen
- Mittlere Parameterwerte



SCE-UA (Duan et al. 1992)

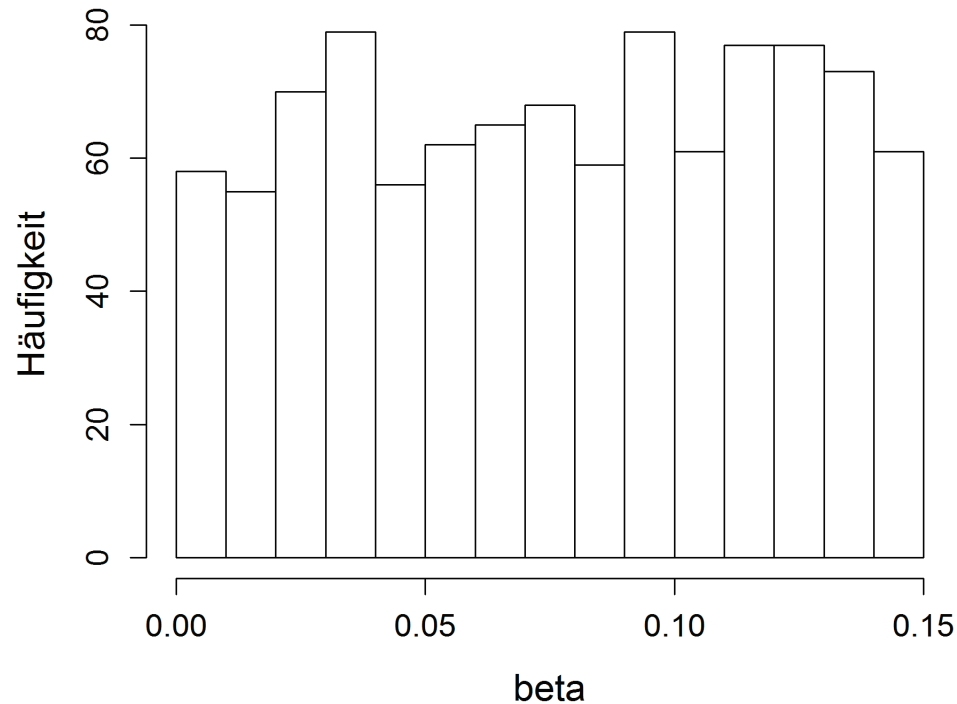
Parameter

Parameter		min	max
KG	Korrekturfaktor Gebietsbiederschlag	0.9	1.4
TGr / Tmit_Sr	Grenztemperatur Schnee	-3	3
Tb	Bezugstemperatur bei Grad-Tag Verfahren	-3	3
GTF	Grad-Tag Faktor	1	10
Tspann_Sr	Temperaturspannweite	2	6
SRet	Retention flüssiges Wasser in Schneedecke	5	47
Grasref_r	Berechnung tatsächliche Verdunstung	3	6
BSF	Bodenfeuchte-Sättigungsflächenfunktion (Direktabfluss)	0.1	0.5
Dmax	Drainage oberer Bodenspeicher (Interflow)	0	10
Dmin	Drainage mittlerer Bodenspeicher (Interflow)	0	10
beta	Vertikale Drainage tiefer Bodenspeicher	0.000(00)2	0.15
EQD	Rückhaltekonstante Direktabfluss	50	1000
EQI	Rückhaltekonstante Interflow	150	10000
EQB	Rückhaltekonstante Basisabfluss	1000	30000

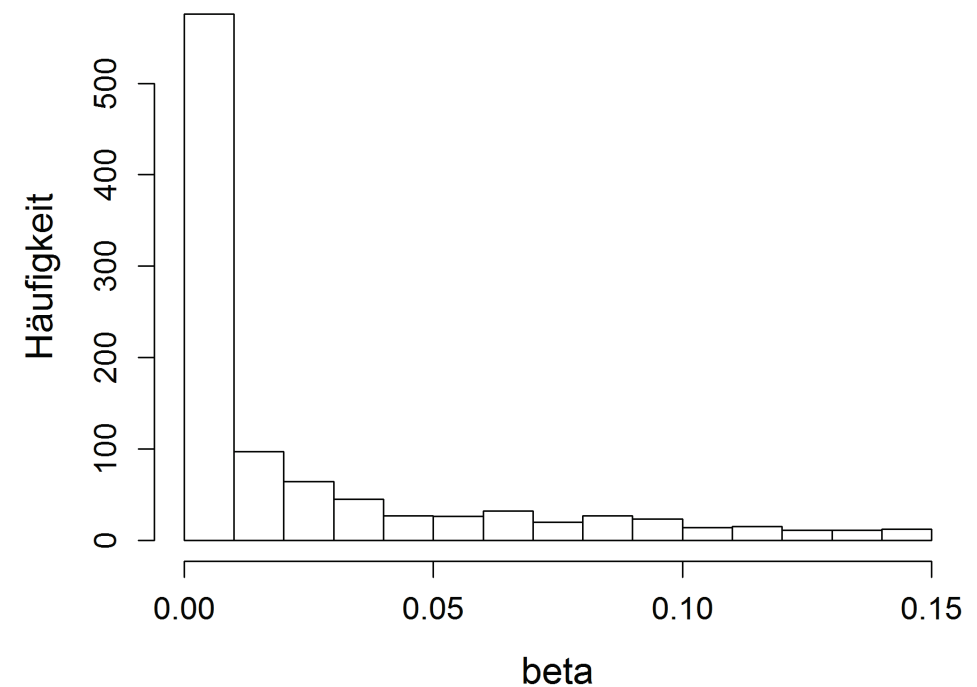
Parametertransformation

- log-Parametertransformation: beta, BSF, EQB, EQI, EQD

Beispiel Einfluss Parametertransformation beta



100 gleichverteilte Zufallszahlen
zwischen 0.0002 und 0.15



100 gleichverteilte Zufallszahlen
zwischen
 $\log(0.0002) = -8.5$ und $\log(0.15) = -1.9$

Zielfunktion Optimierung

- Kombination aus NSE, NSE der logarithmierten Abflusswerte und KGE' Monatswerte

$$GOF = \frac{1}{3} \left(\overset{\text{Niedrigwasser}}{NSE} + \overset{\text{Hochwasser}}{NSE \log} + \overset{\text{Wasserbilanz}}{KGE'_{mon}} \right)$$


$$KGE' = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + (\beta-1)^2 + (\gamma-1)^2}$$

↙
↑
↖

Korrelation Verhältnis Mittelwerte Verhältnis Variationskoeffizienten

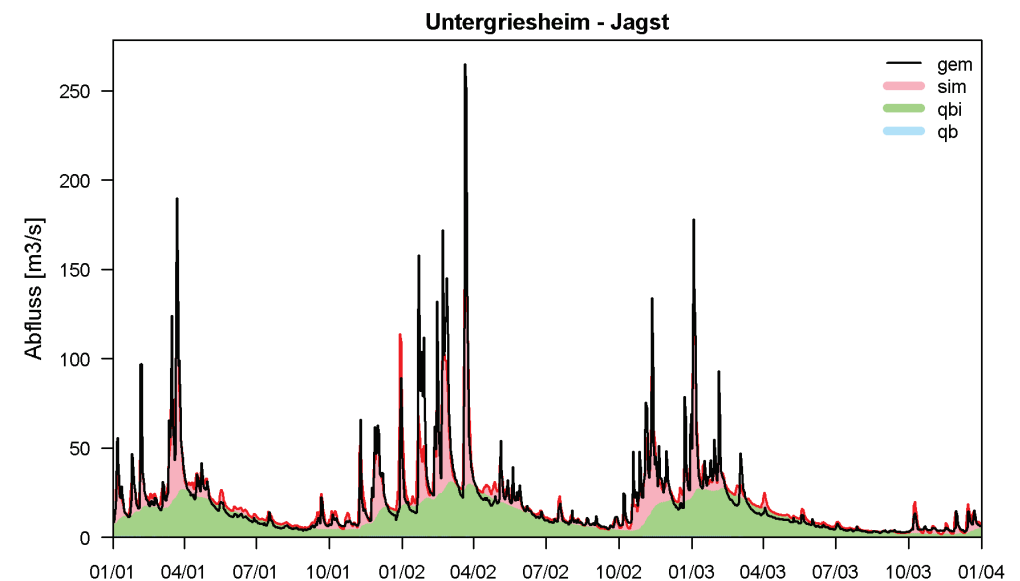
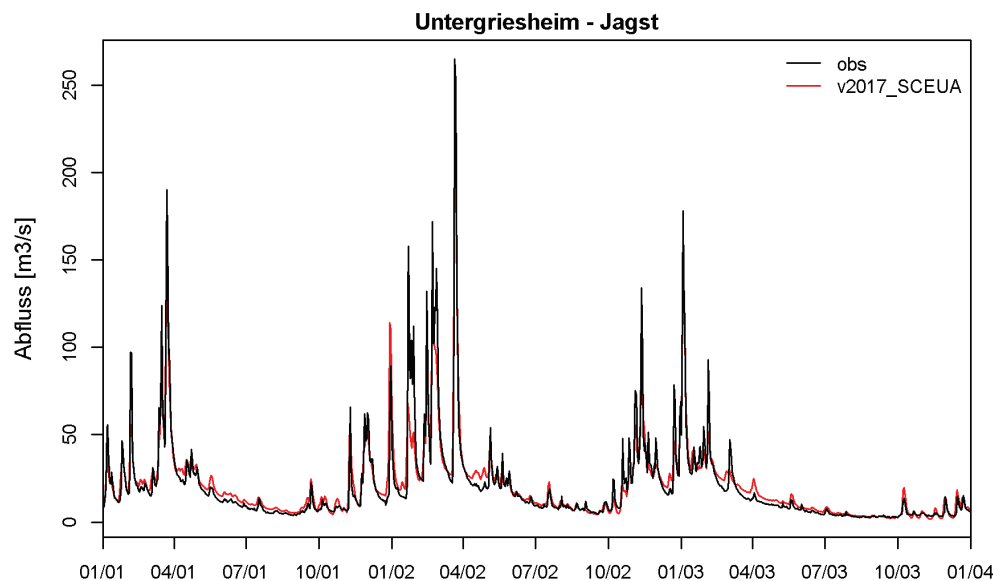
Kalibrierungsperiode: 1997-2006

Vorgehen

- Zweistufige Kalibrierung
 - 1 Stufe alle Parameter (ohne Gerinneparameter)
 - 2 Stufe Abflusskonzentrationsparameter EQB, EQI, EQD und Gerinneparameter EKM, EKL (zwischen 0.3 und 3)
- R-LARSIM-Adapter für Optimierungsläufe 
- SCE-UA: Maximale Anzahl Simulationen: 1200 / 500
- Monte-Carlo: Anzahl Simulationen: 3000 / 500
- klassische Kalibrierung in Fließrichtung
- Anzahl Gebiete: Rhein 113, Donau 48, Elbe 63 = 224 Pegel

Einfluss Parametertransformation

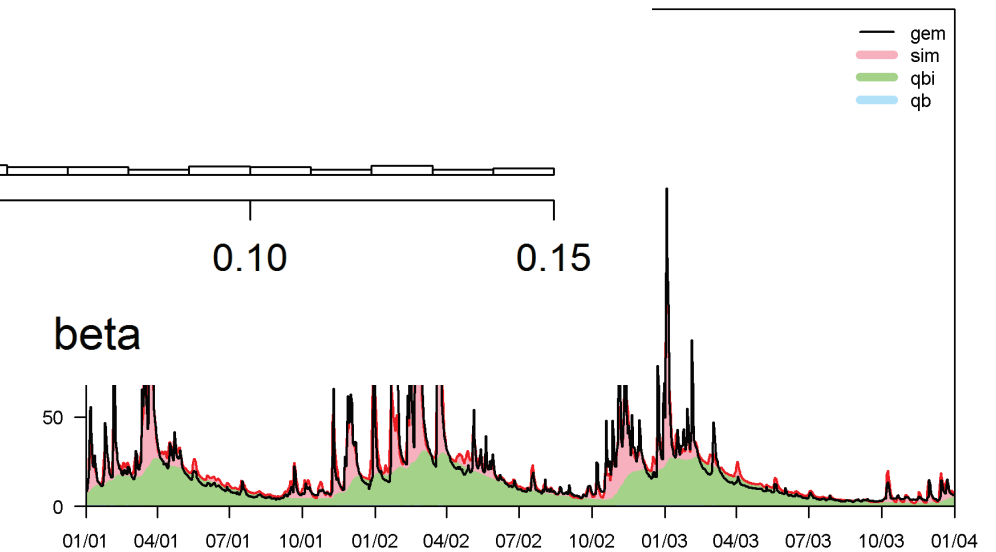
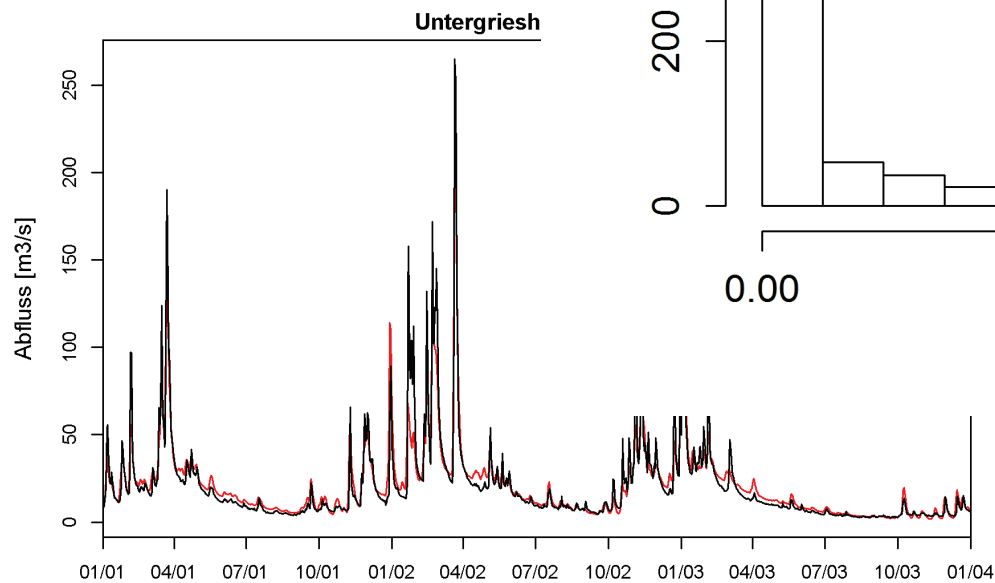
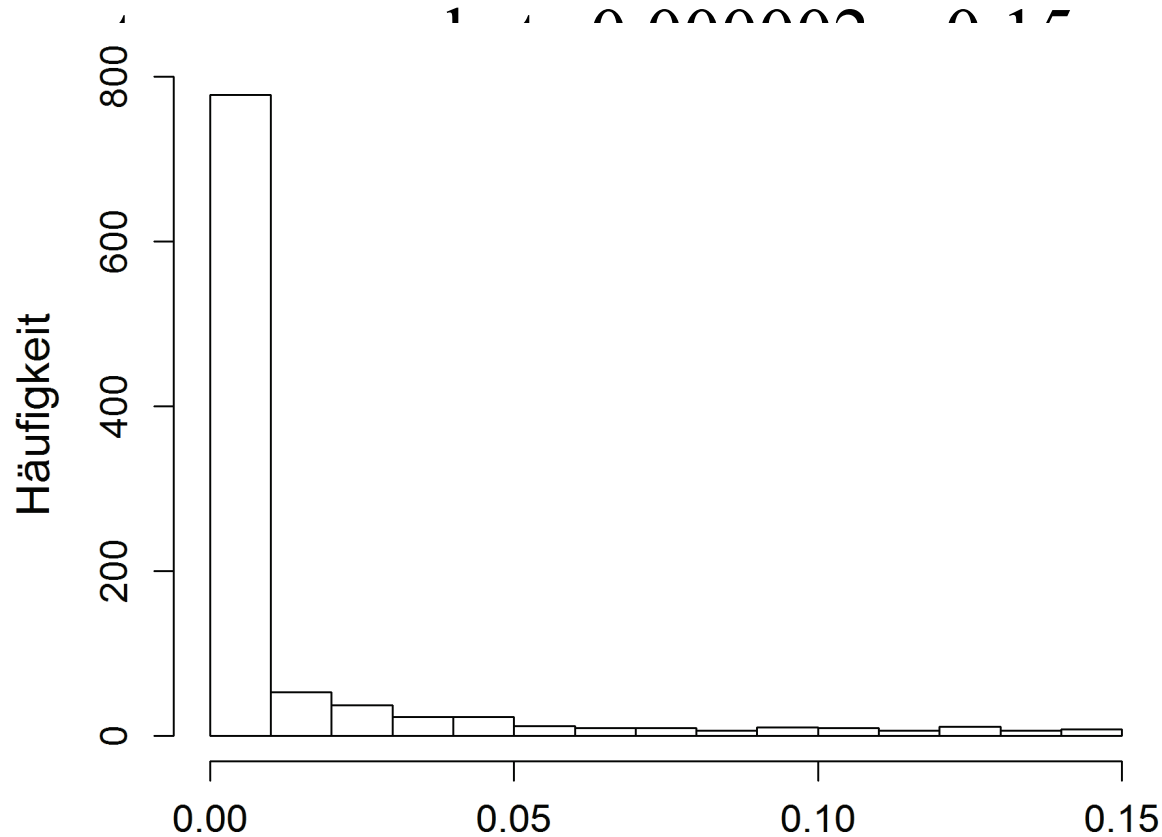
- 1 Versuch Parametergrenzen beta 0.000002 – 0.15
- Bsp. Pegel Untergriesheim / Jagst:
Gütemaße nach Optimierung (1997-2006):
NSE = 0.82, logNSE = 0.88, KGE_{mon} = 0.93



Abflusskomponenten

Einfluss Parametertransformation

- 1 Versuch Par
- Bsp. Pegel Un
Gütemaße nac
 $NSE = 0.82$, k



Abflusskomponenten

Einfluss Parametertransformation

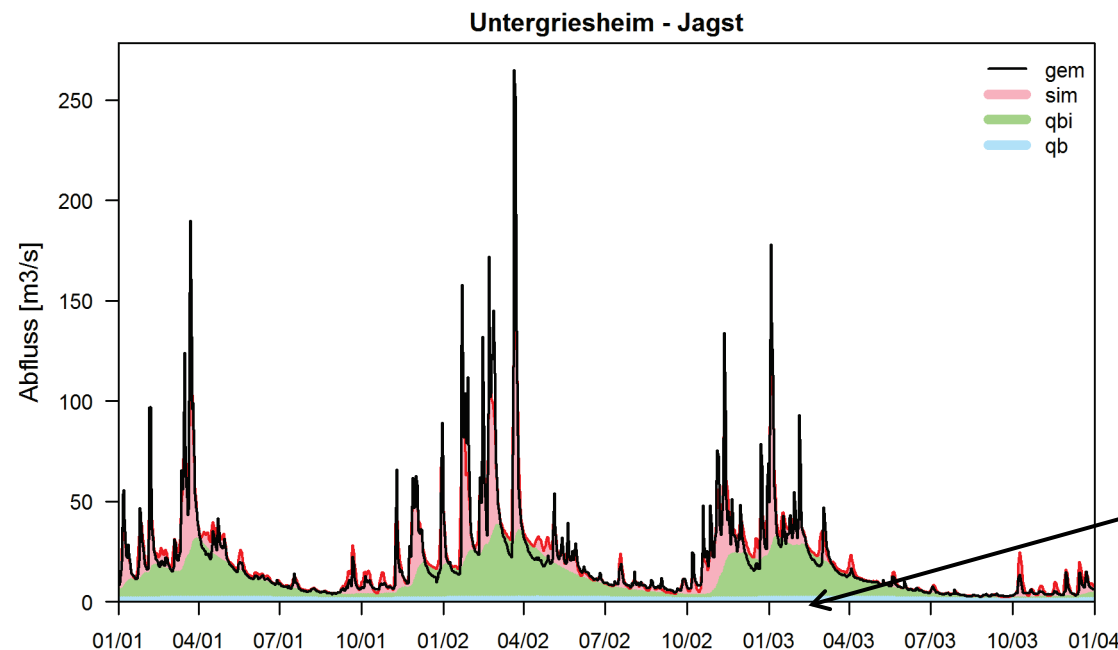
- 2 Versuch Parametergrenzen beta 0.0002 – 0.15

- Bsp. Pegel Untergriesheim / Jagst:

~~Gütemaße nach Optimierung (1997-2006):~~

NSE = 0.86, logNSE = 0.90, KGE_{mon} = 0.95

Höhere Güte

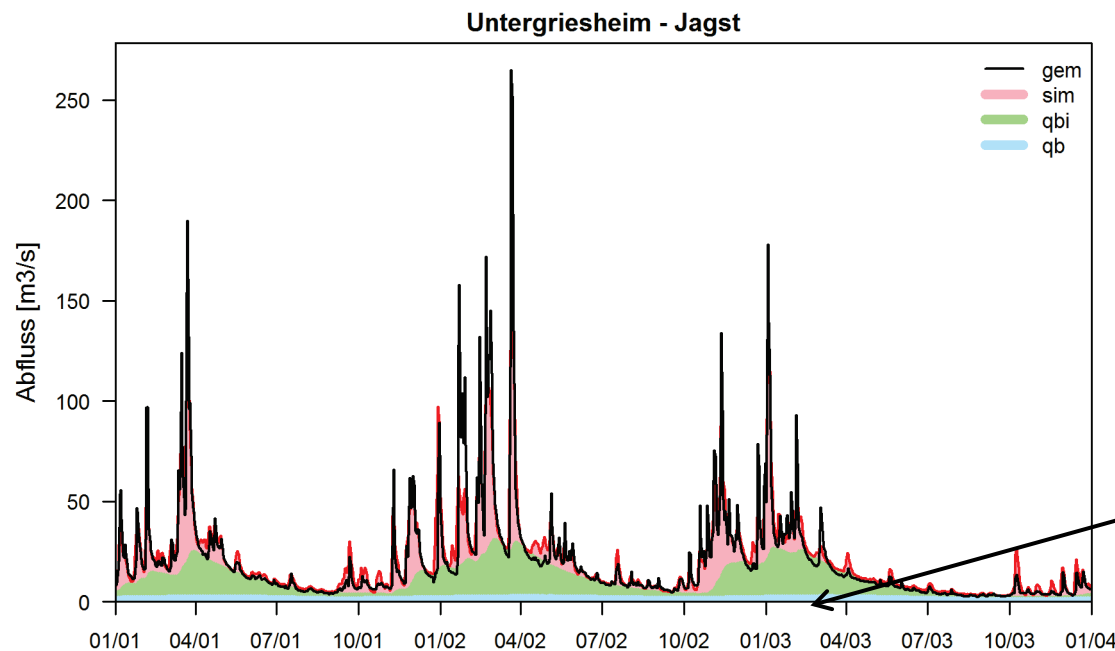


Etwas mehr Basisabfluss
wenig Dynamik

Ergebnis Monte-Carlo Methode

- Bsp. Pegel Untergriesheim / Jagst:
Gütemaße nach Optimierung (1997-2006):
NSE = 0.83, logNSE = 0.88, KGEmon = 0.92

Ähnliche Güte

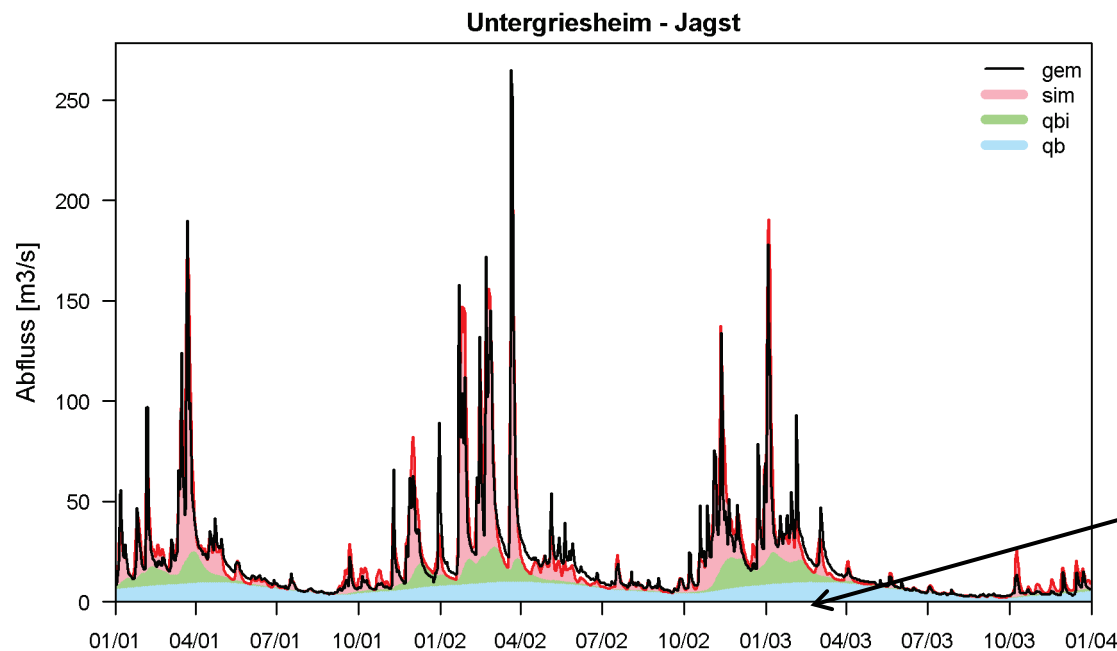


Wenig Basisabfluss
wenig Dynamik

Manuelle Kalibrierung

- Bsp. Pegel Untergriesheim / Jagst:
Gütemaße nach Kalibrierung (1997-2006):
NSE = 0.81, logNSE = 0.88, KGEmon = 0.91

Ähnliche Güte

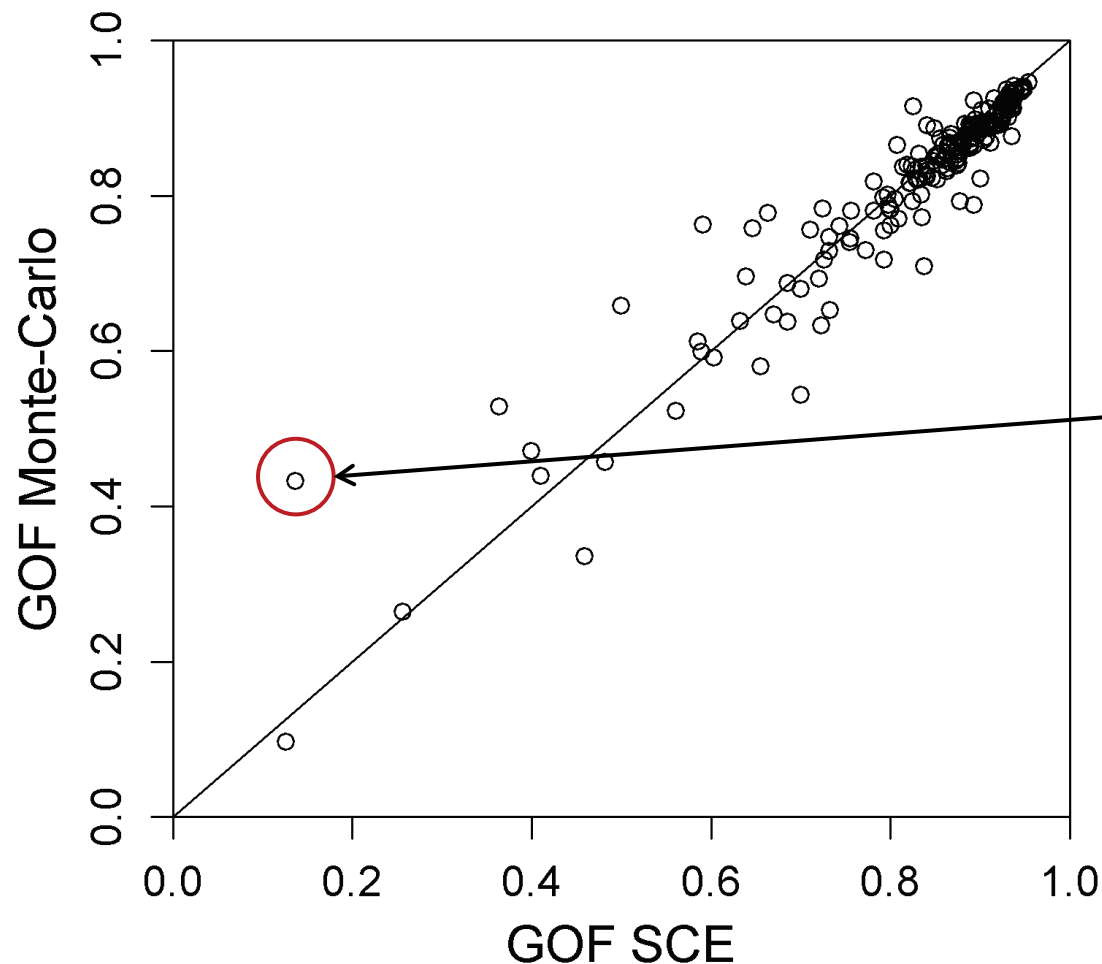


Mehr Basisabfluss
mehr Dynamik
klassische Aufteilung

1 Schlussfolgerung

- Gute manuelle Kalibrierung führt zu ähnlichen Ergebnissen wie automatische Kalibrierung, aber lehrbuchmäßige Abflussaufteilung!
 - Parametertransformation in Kombination mit Parametergrenzen kann Ergebnis negativ beeinflussen (extreme Verzerrung der Parametergrenzen)
 - Parameteroptimierung führt (bisher) zu zu wenig Basisabfluss mit wenig Dynamik, keine lehrbuchmäßige Aufteilung der Abflusskomponenten
- ➔ Ursache Wahl Gütemaße??? Parametertransformation???
- ➔ Abflussaufteilung in LARSIM evtl. doch nicht lehrbuchmäßig???
Zusätzliche schnelle Basisabflusskomponente erforderlich die jetzt im Interflow abgebildet wird???
- ➔ Weitere Untersuchungen erforderlich

Vergleich Monte-Carlo und SCE-UA



SCE-UA nur theoretisch globale
Optimierungsmethode
limitiert durch Anzahl
Simulationen mit LARSIM-ME

- ➔ Ähnliche Güte der beiden Methoden
- ➔ Bei hohen Gütewerten SCE-UA besser

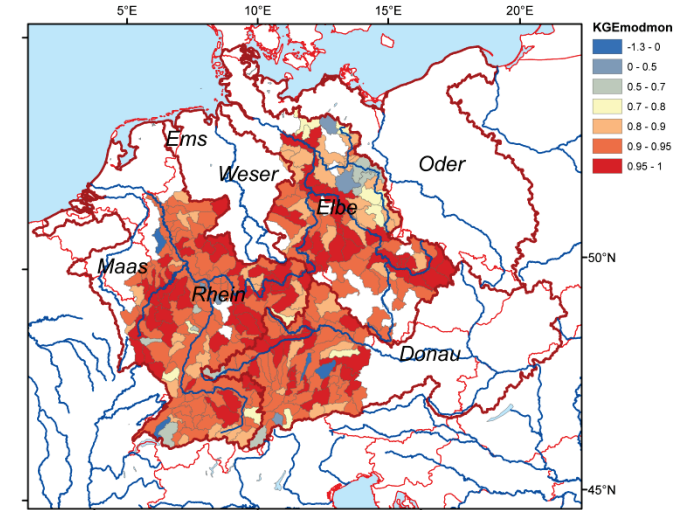
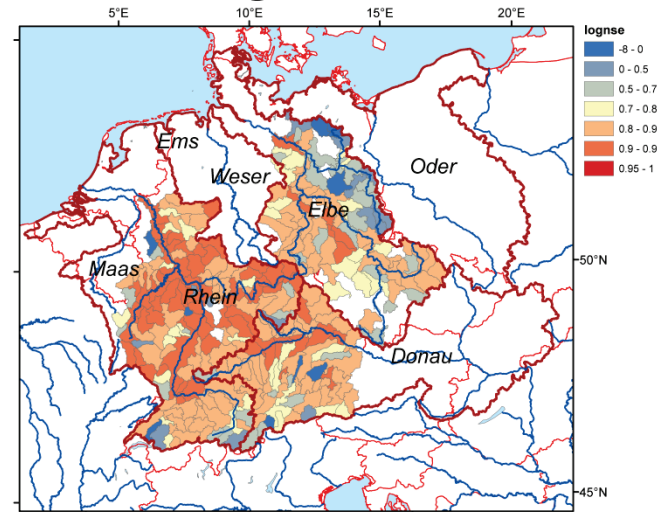
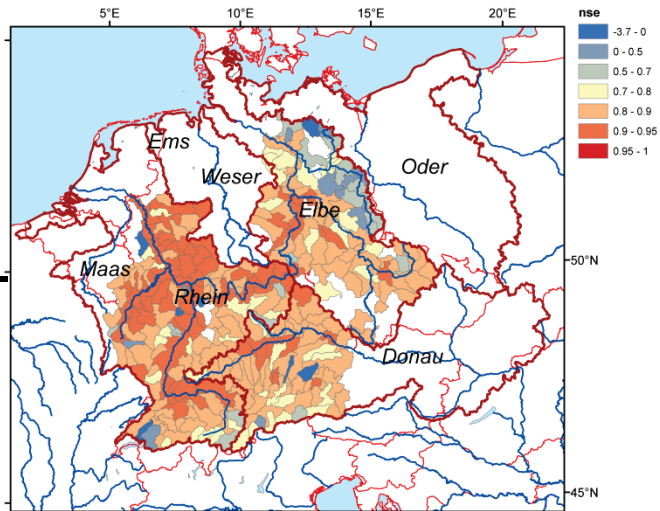
Räumliche Verteilung Güte

NSE

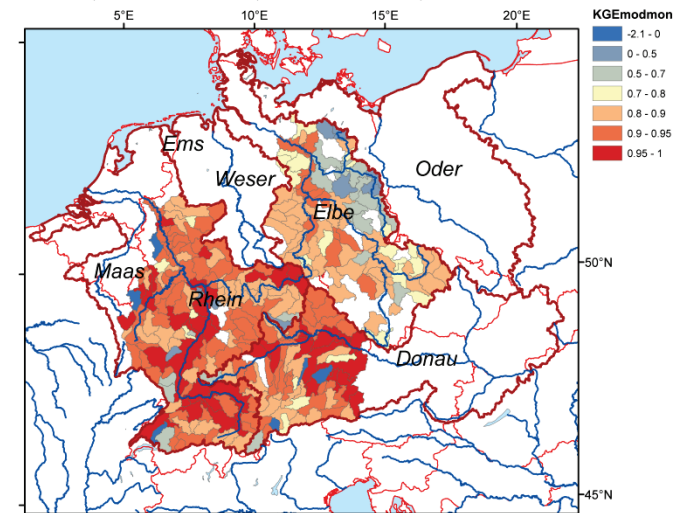
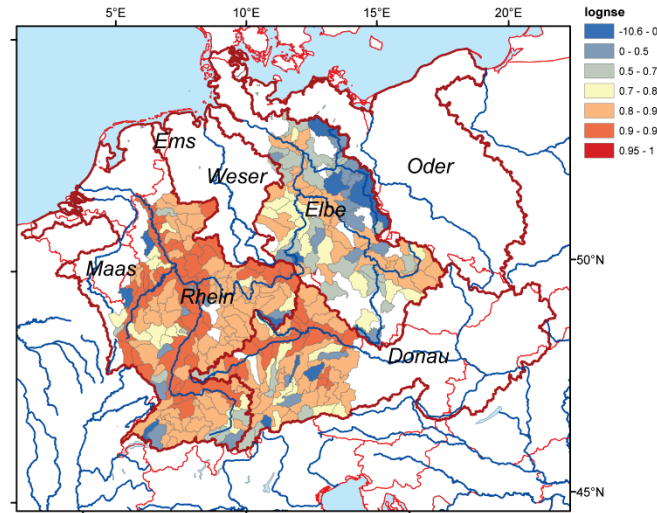
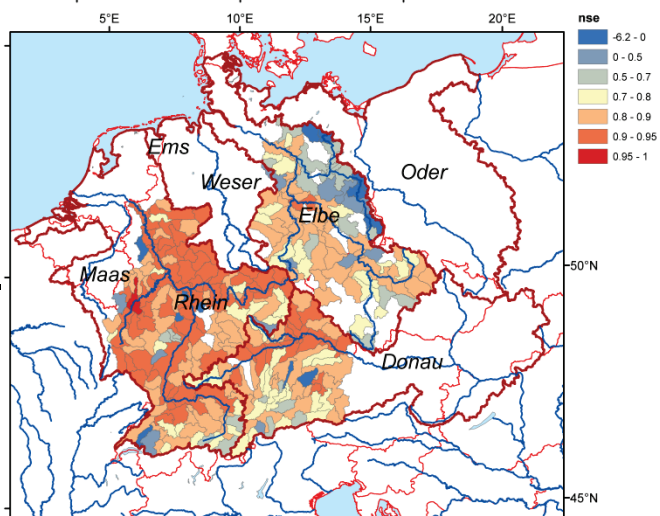
logNSE

KGE_{mon}

1997-
2006



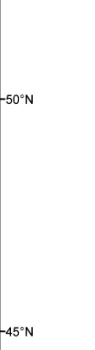
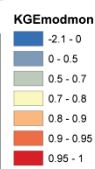
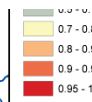
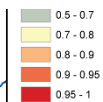
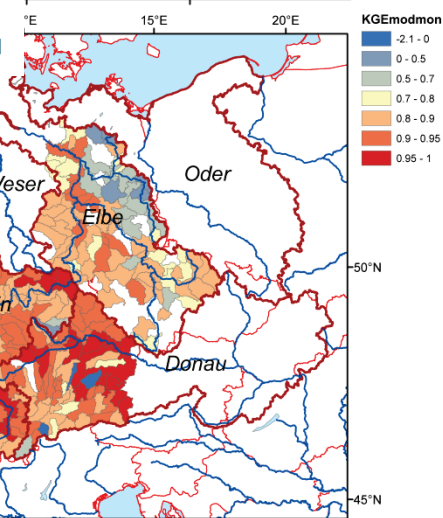
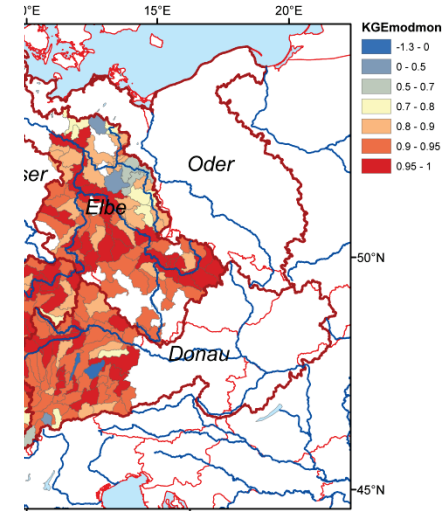
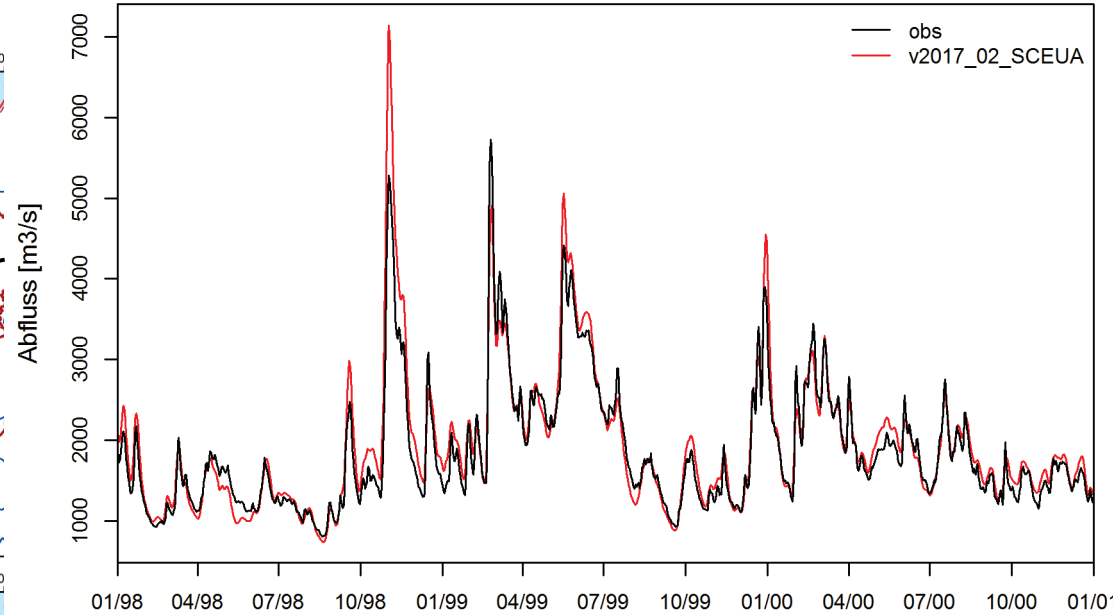
1987-
1996



Räumliche Verteilung Güte

NSE

Kaub - Rhein



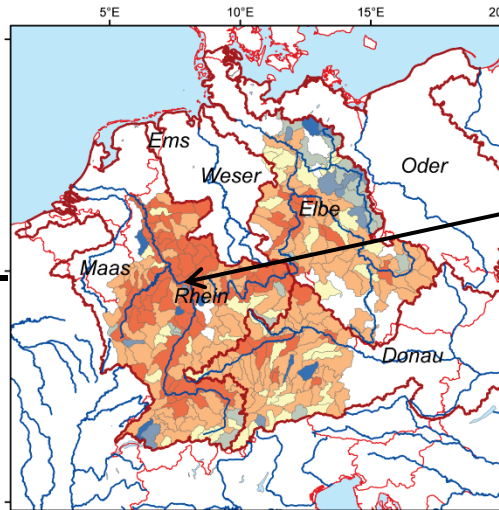
1997-
2006

1987-
1996

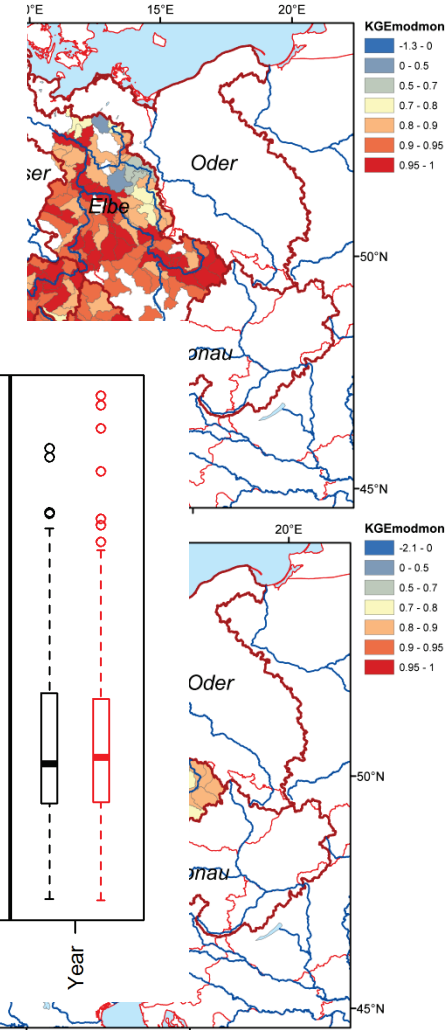
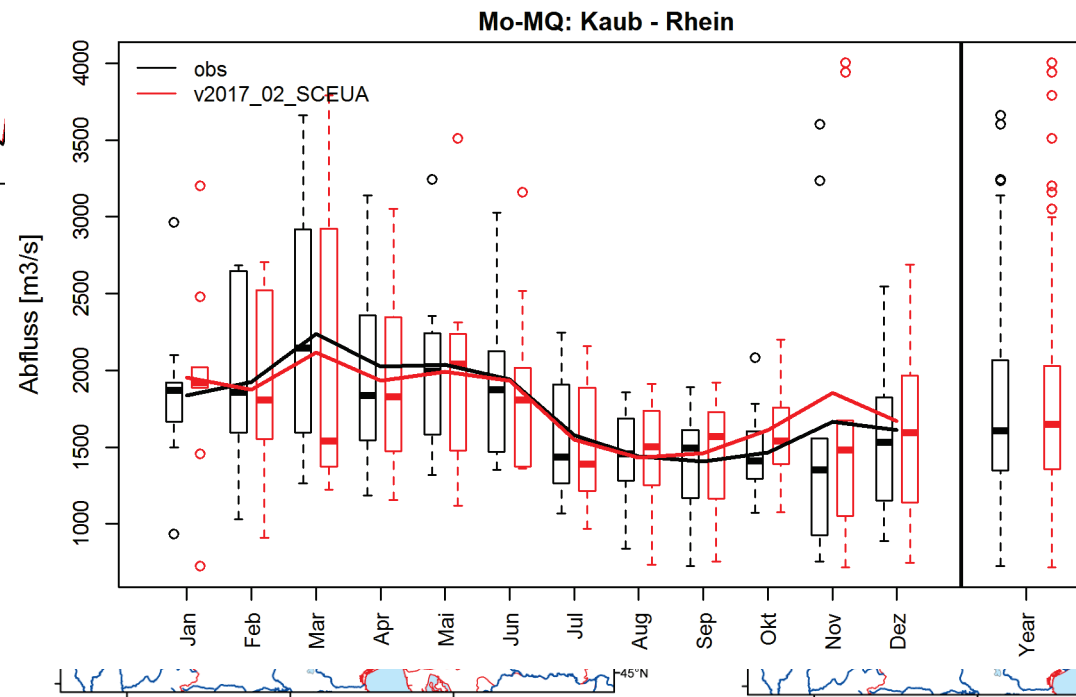
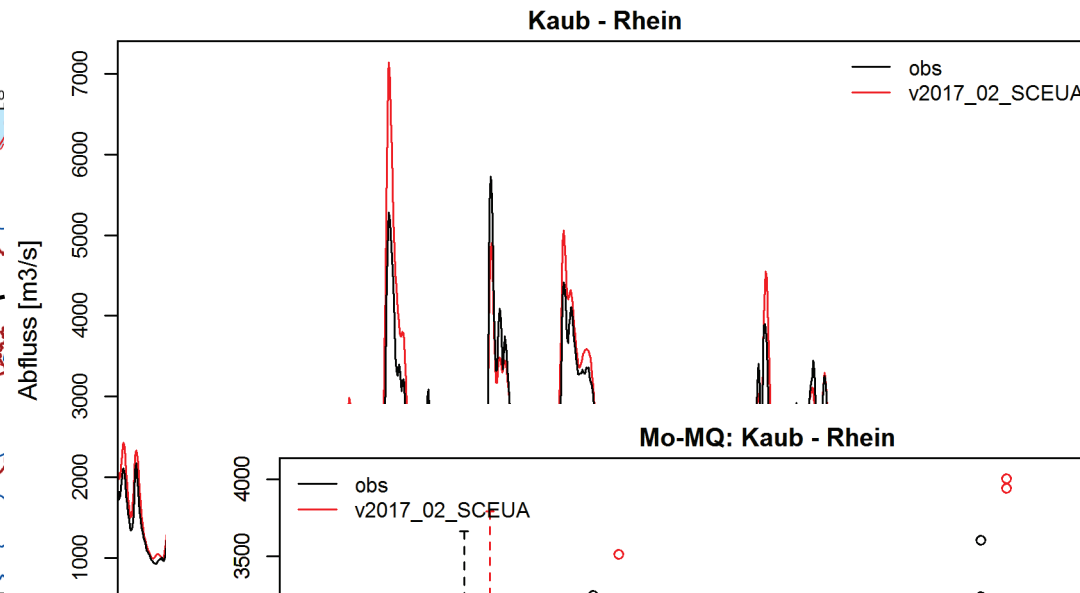
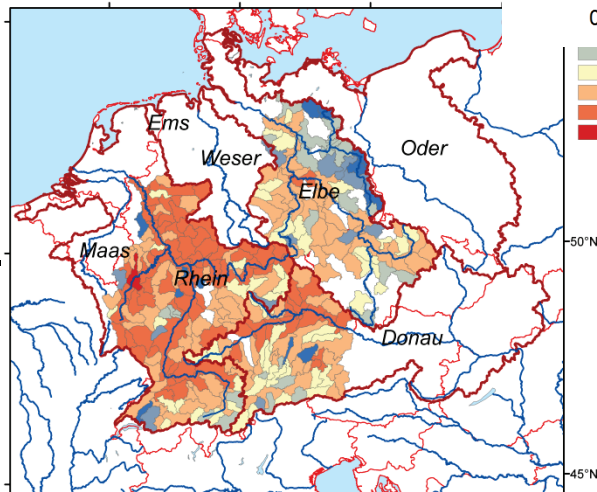
Räumliche Verteilung Güte

NSE

1997-
2006

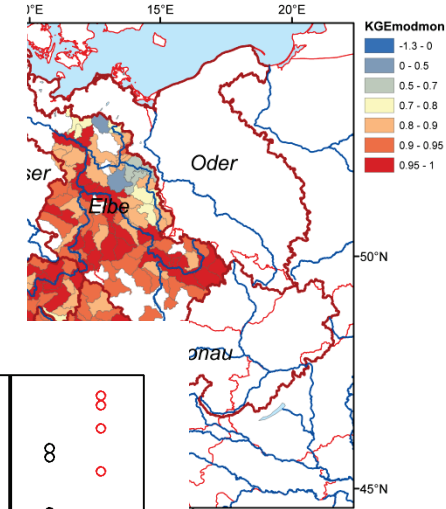
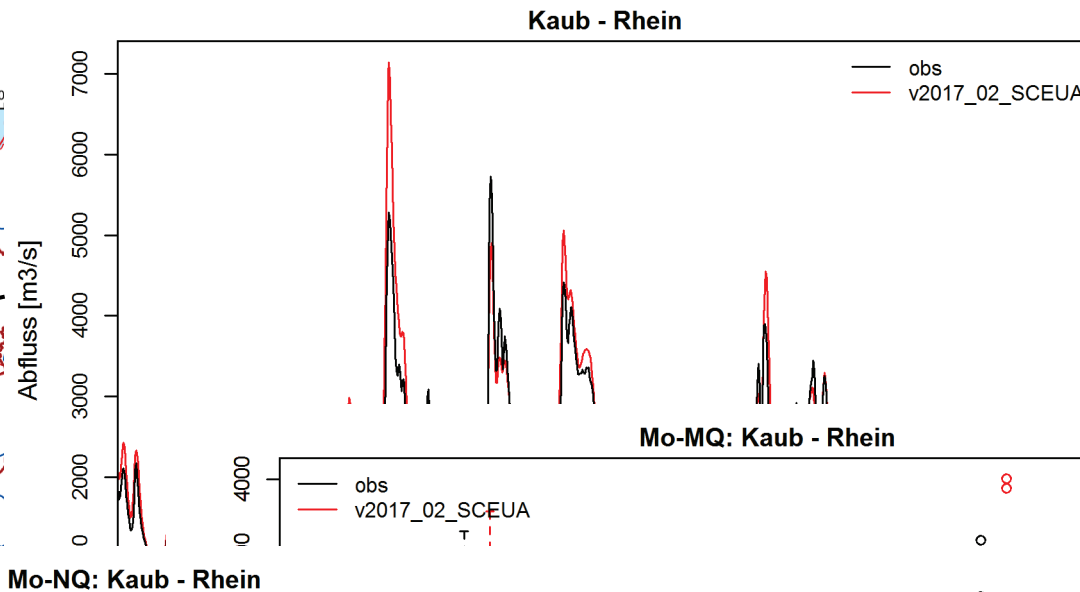
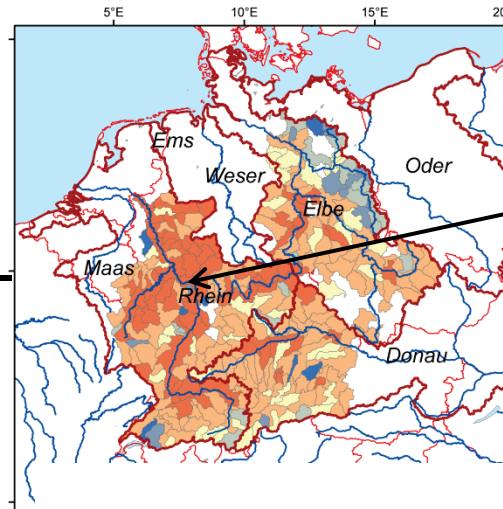


1987-
1996

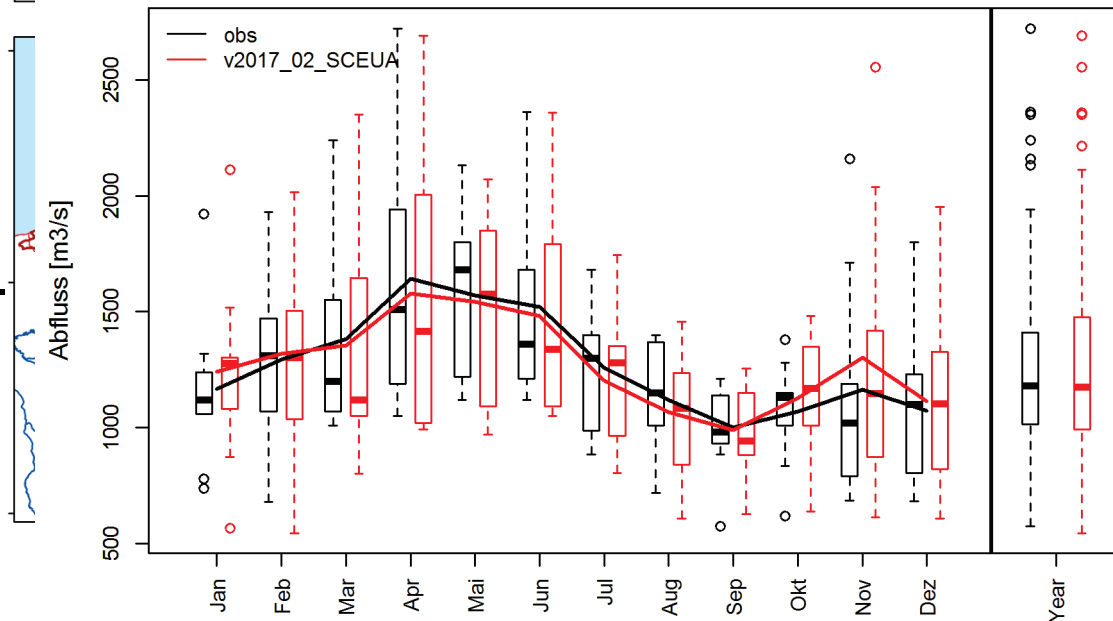


Räumliche Verteilung Güte

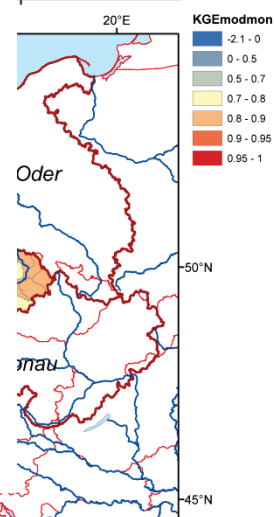
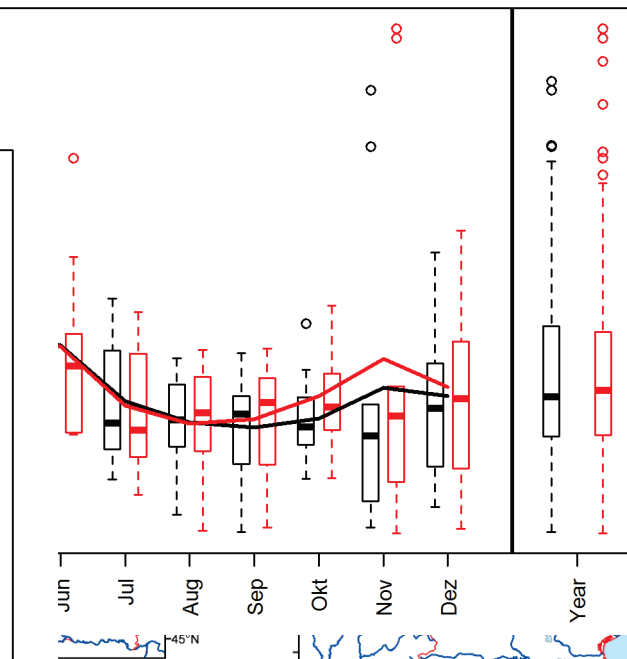
NSE



Mo-NQ: Kaub - Rhein



Mo-MQ: Kaub - Rhein



1997-
2006

1987-
1996

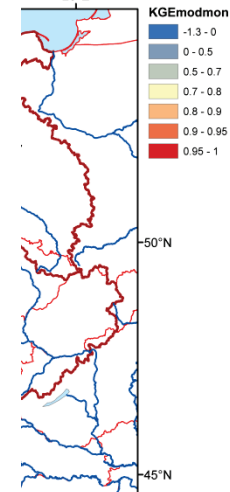
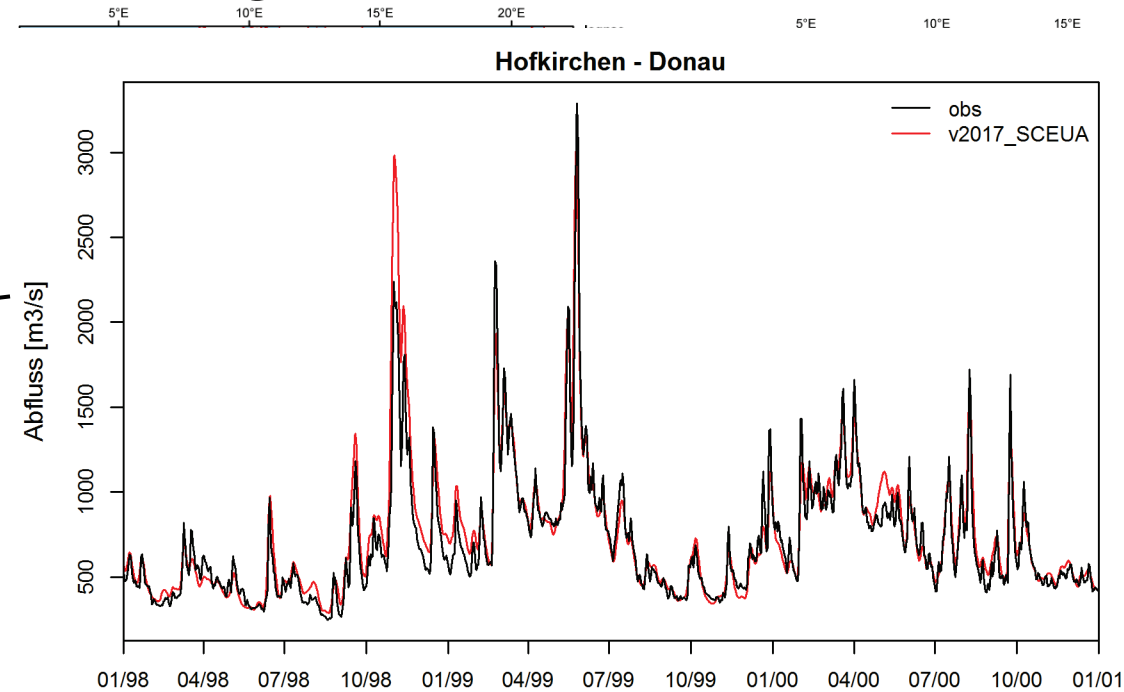
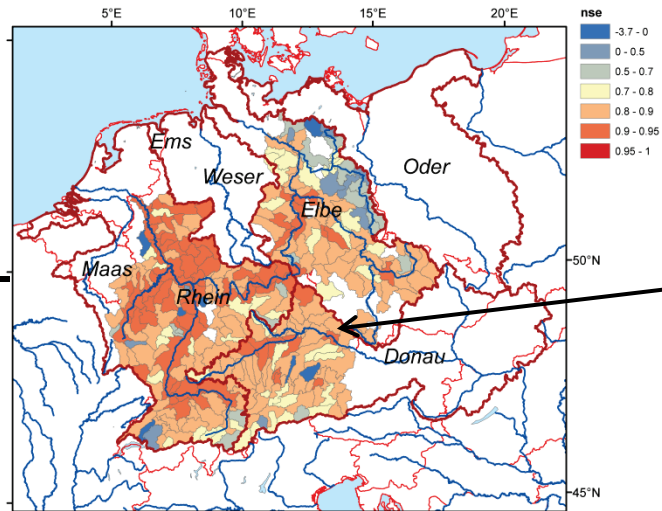
Räumliche Verteilung Güte

NSE

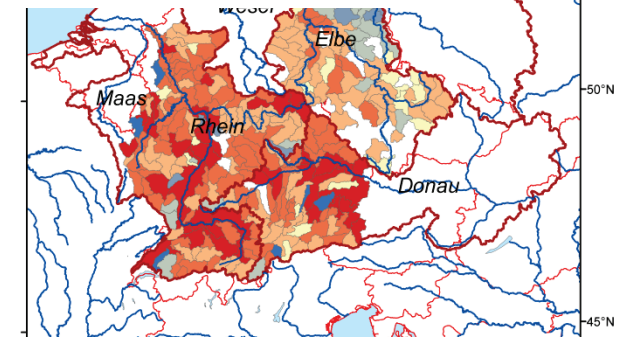
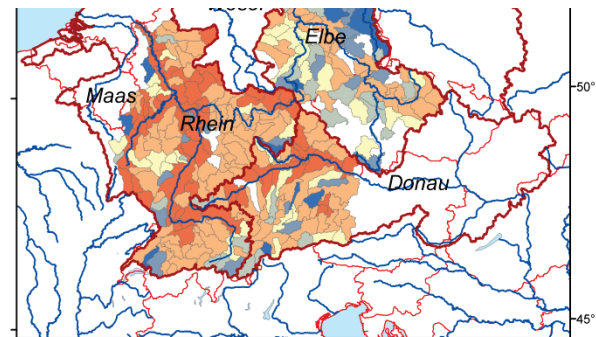
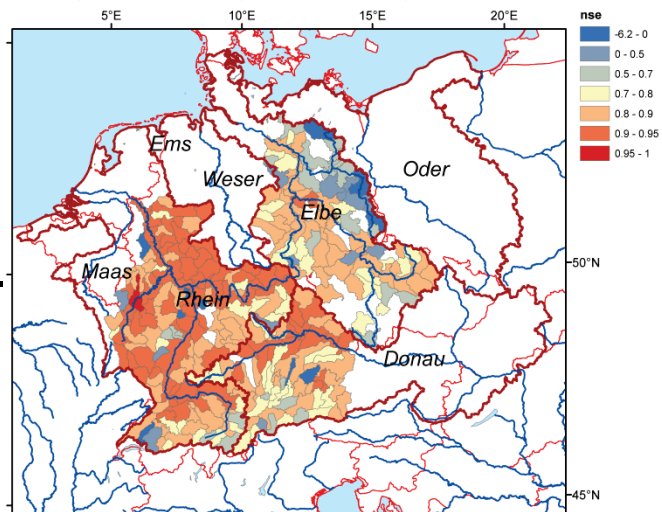
logNSE

KGE_{mon}

1997-
2006



1987-
1996



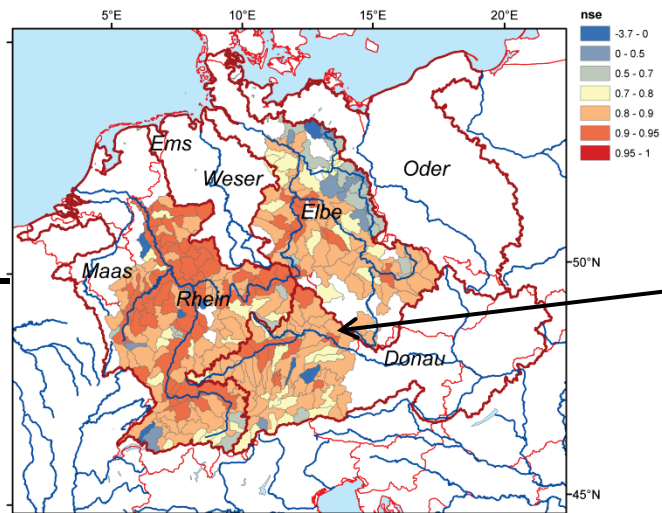
Räumliche Verteilung Güte

NSE

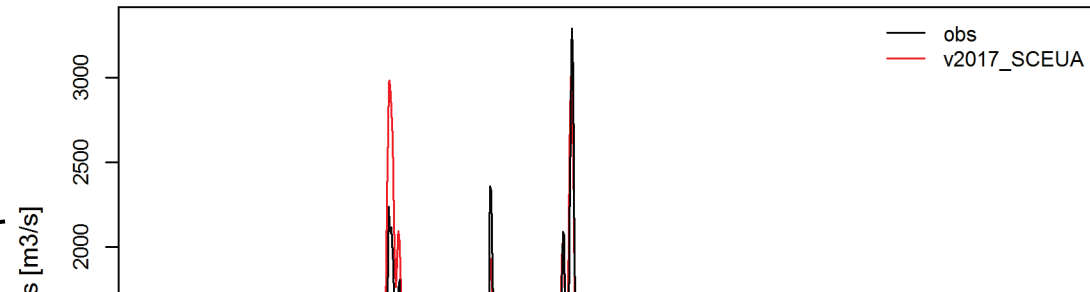
logNSE

KGE_{mon}

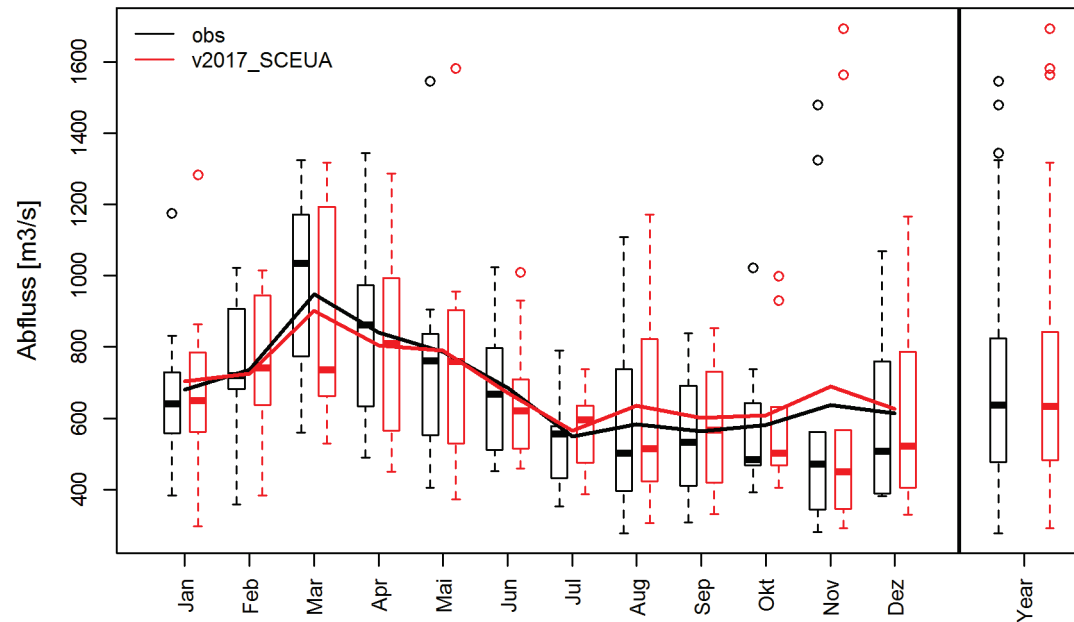
1997-
2006



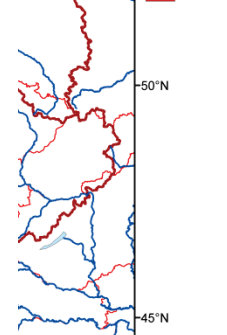
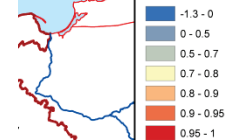
Hofkirchen - Donau



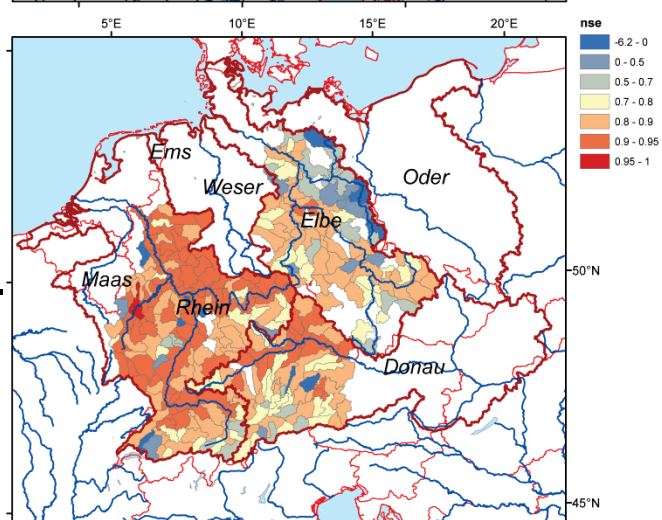
Mo-MQ: Hofkirchen - Donau



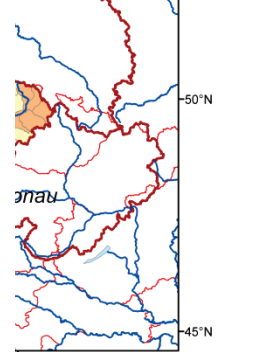
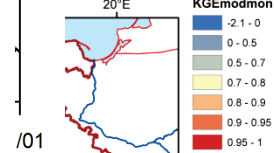
KGE_{modmon}



1987-
1996



KGE_{modmon}



Räumliche Verteilung Güte

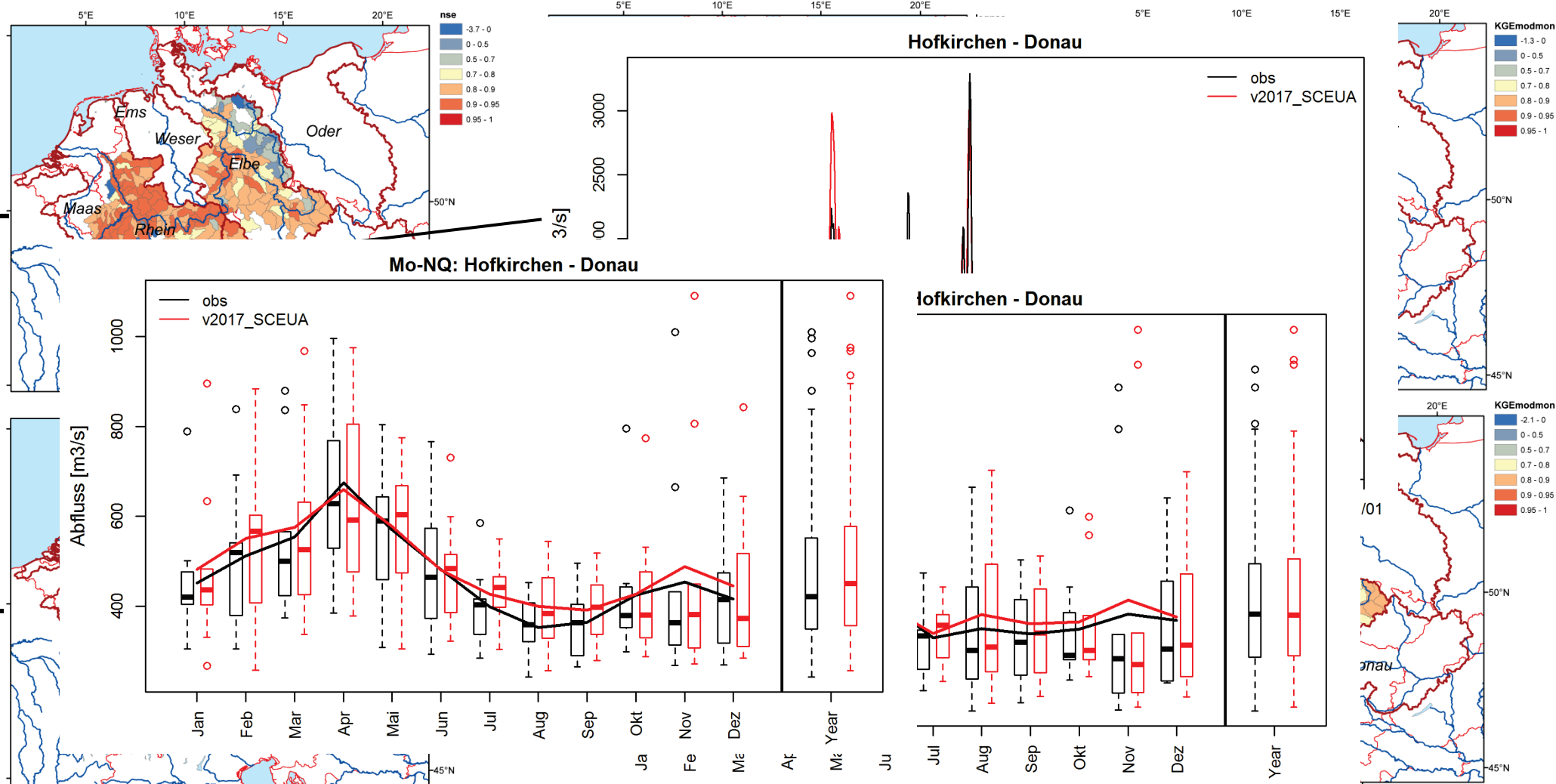
NSE

logNSE

KGE_{mon}

1997-
2006

1987-
1996



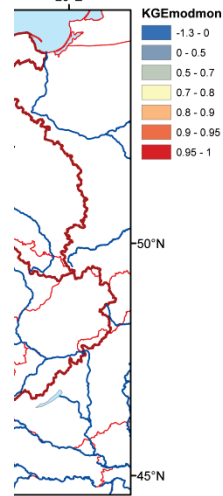
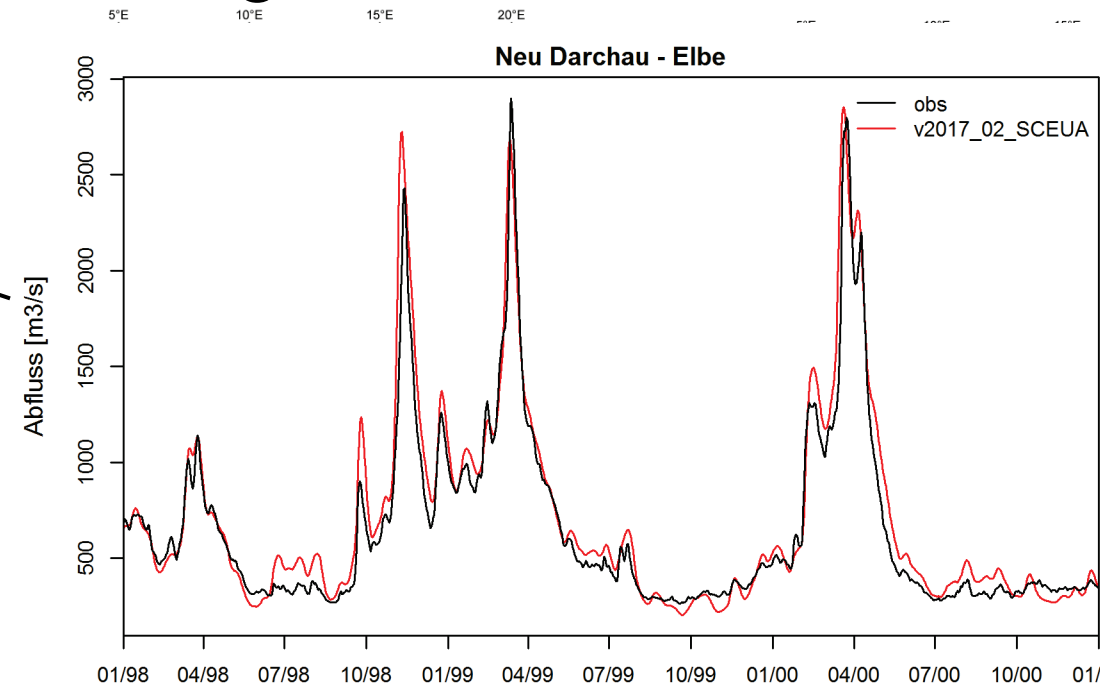
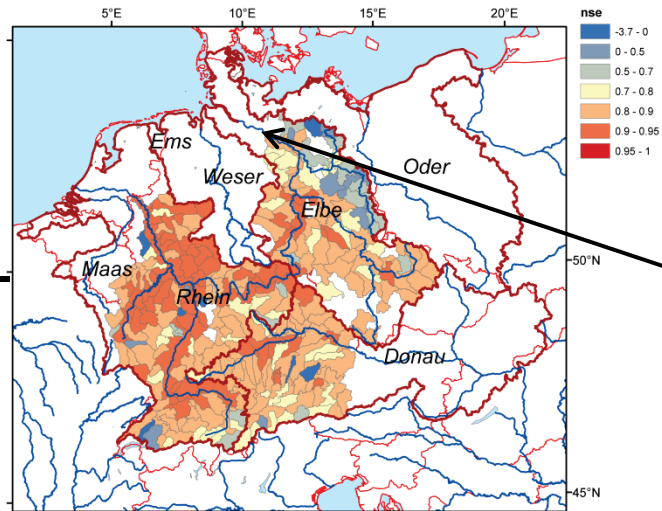
Räumliche Verteilung Güte

NSE

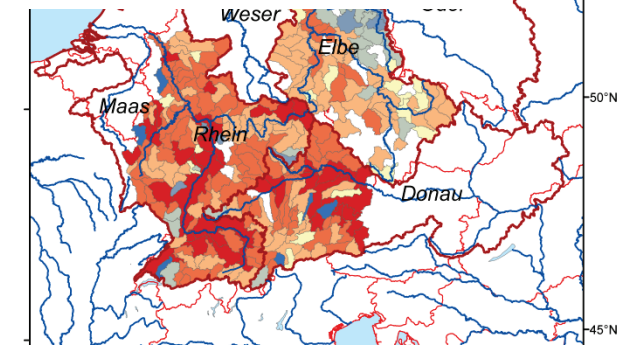
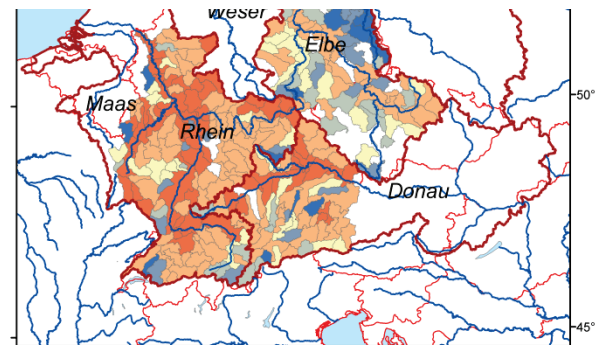
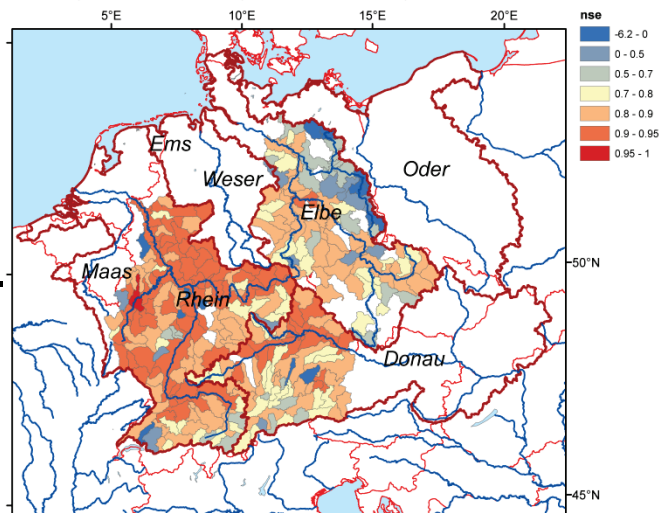
logNSE

KGE_{mon}

1997-
2006



1987-
1996



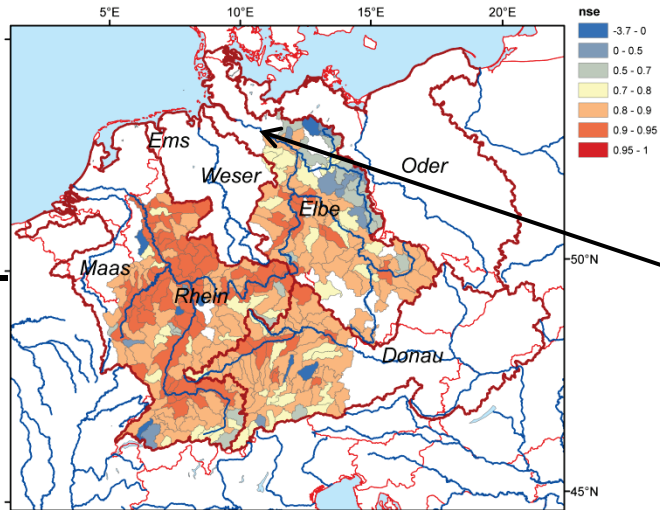
Räumliche Verteilung Güte

NSE

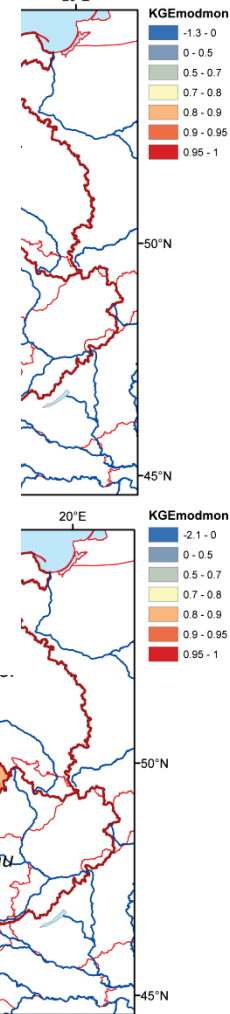
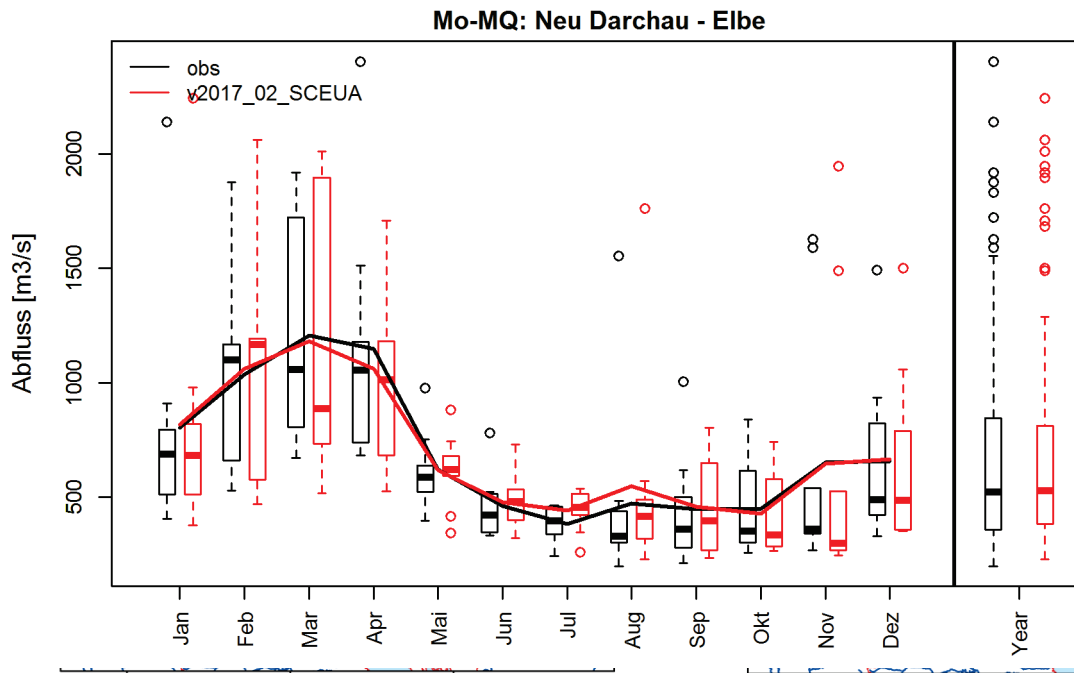
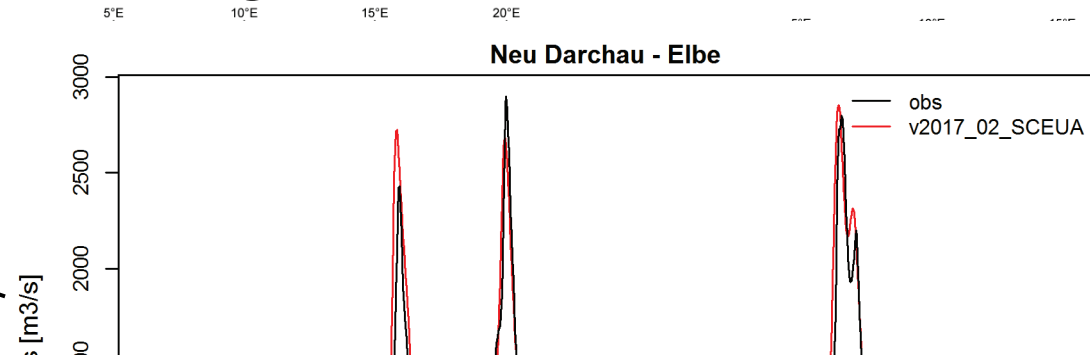
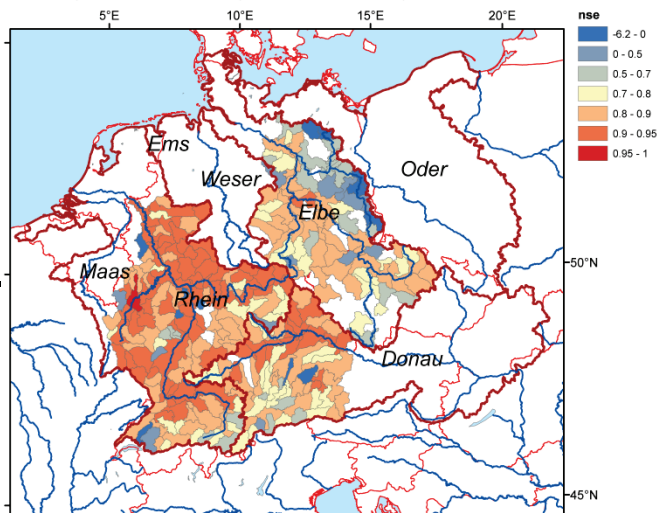
logNSE

KGE_{mon}

1997-
2006

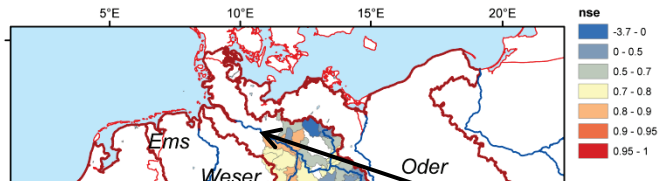


1987-
1996

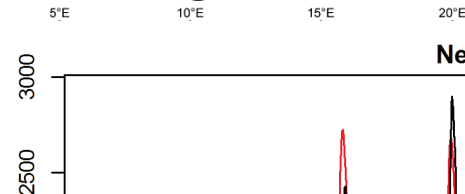


Räumliche Verteilung Güte

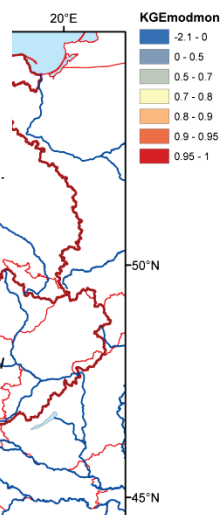
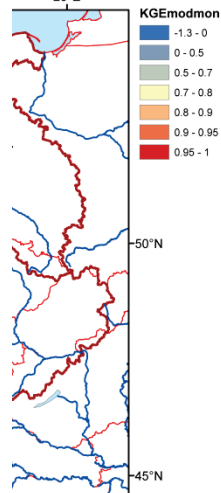
NSE



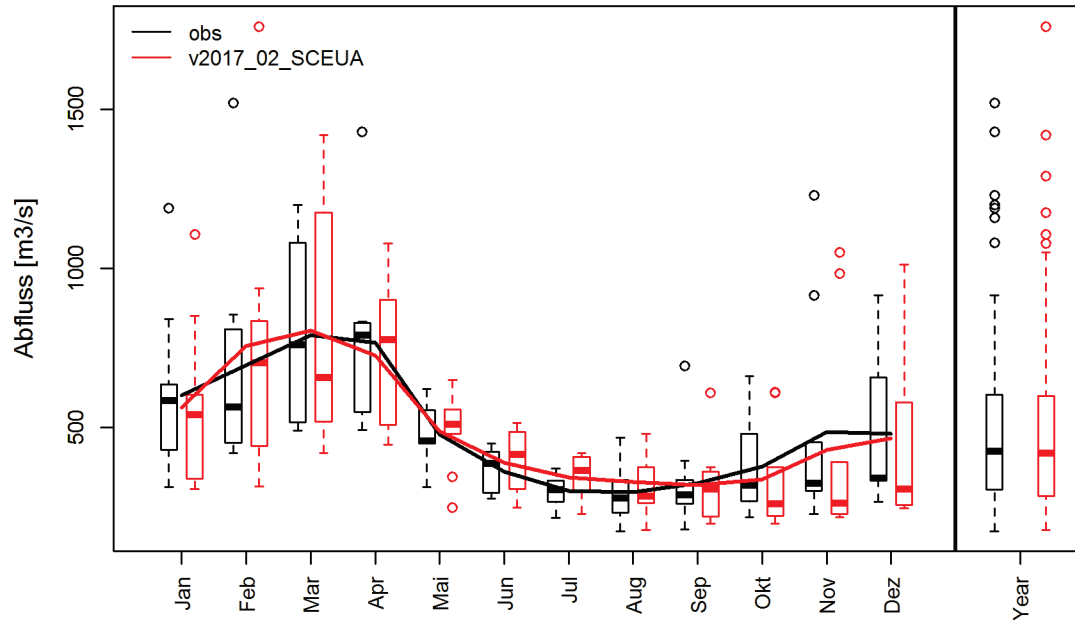
logNSE



KGE_{mon}

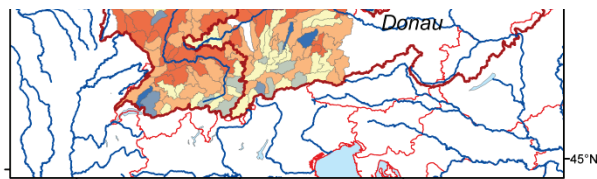
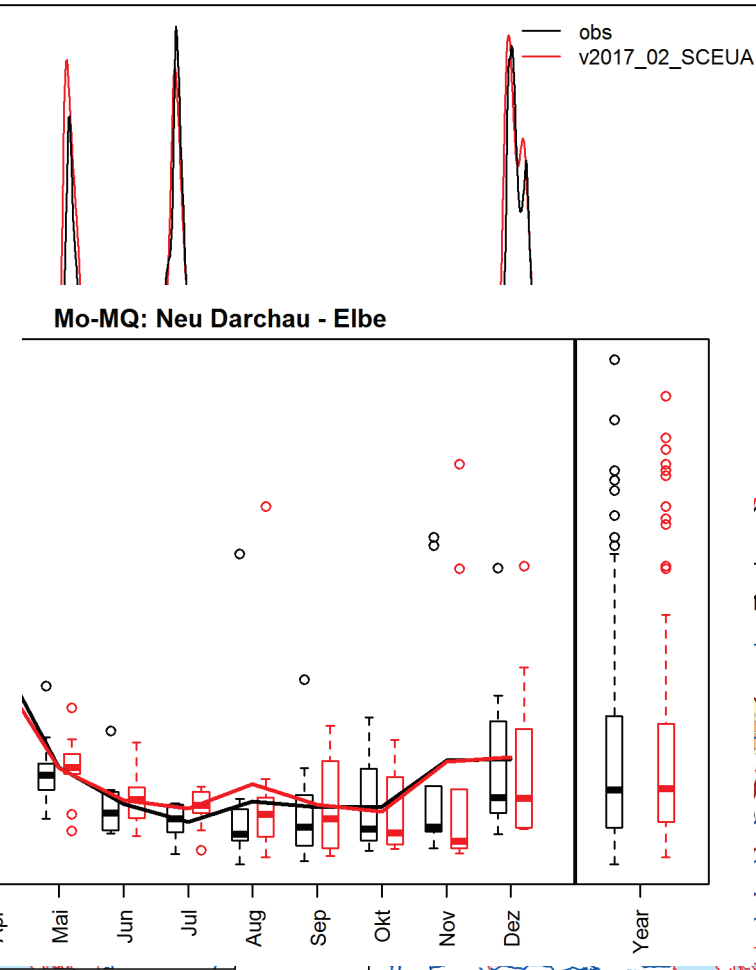


Mo-NQ: Neu Darchau - Elbe



Neu Darchau - Elbe

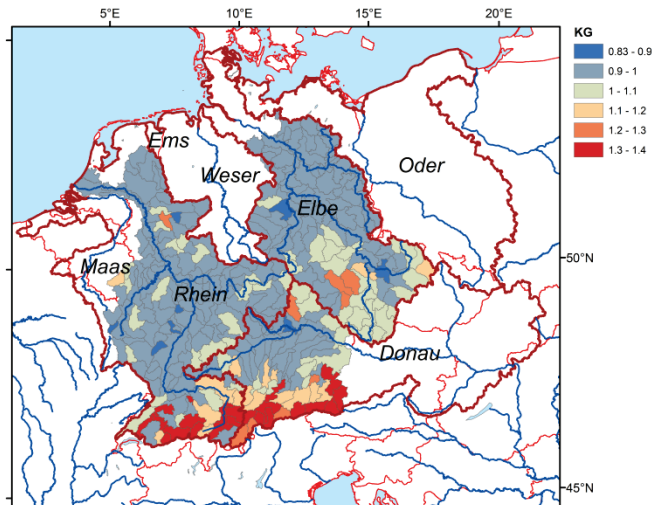
Mo-MQ: Neu Darchau - Elbe



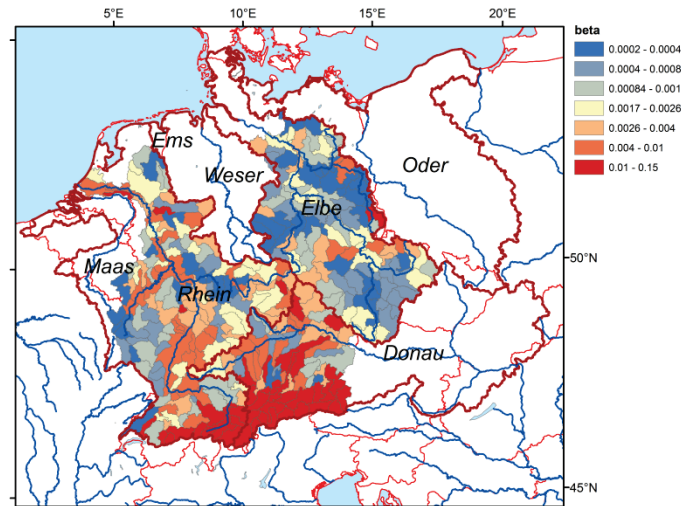
1996
2000
1998

Räumliche Verteilung Parameter

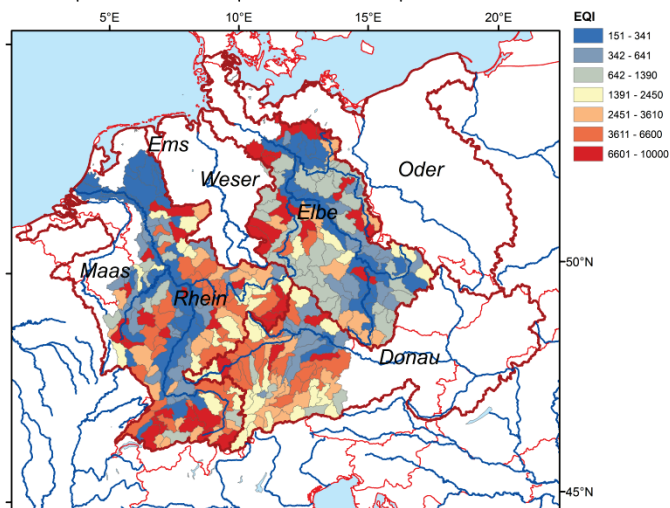
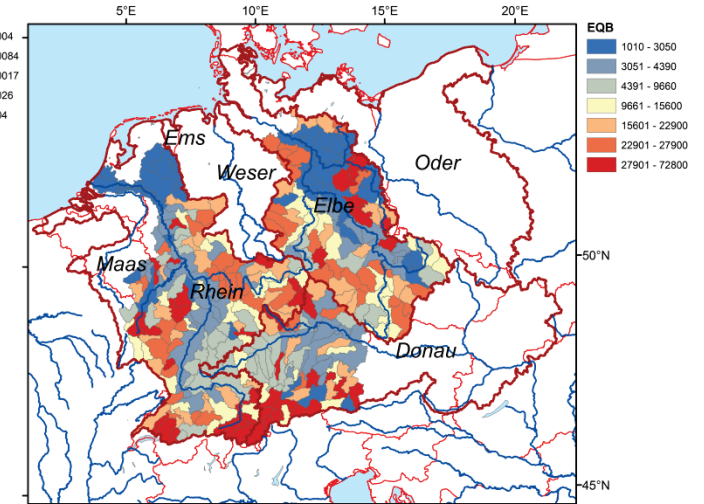
KG



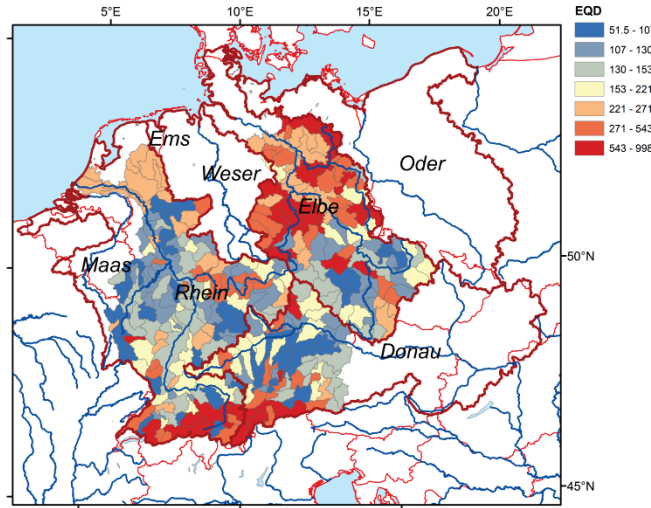
beta



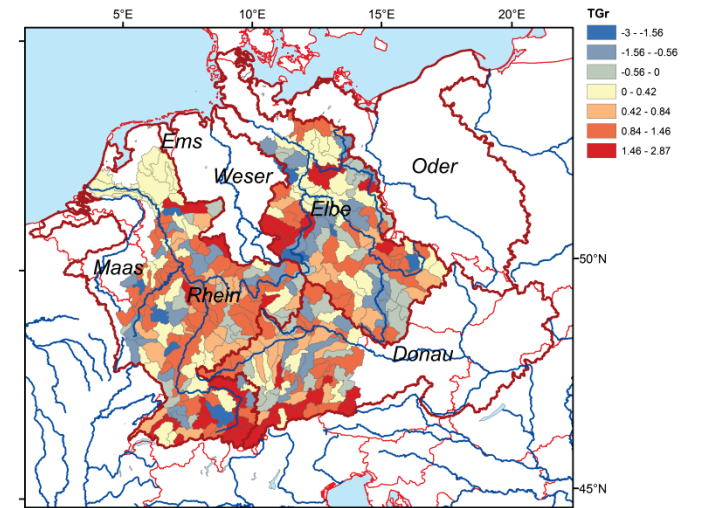
EQB



EQI



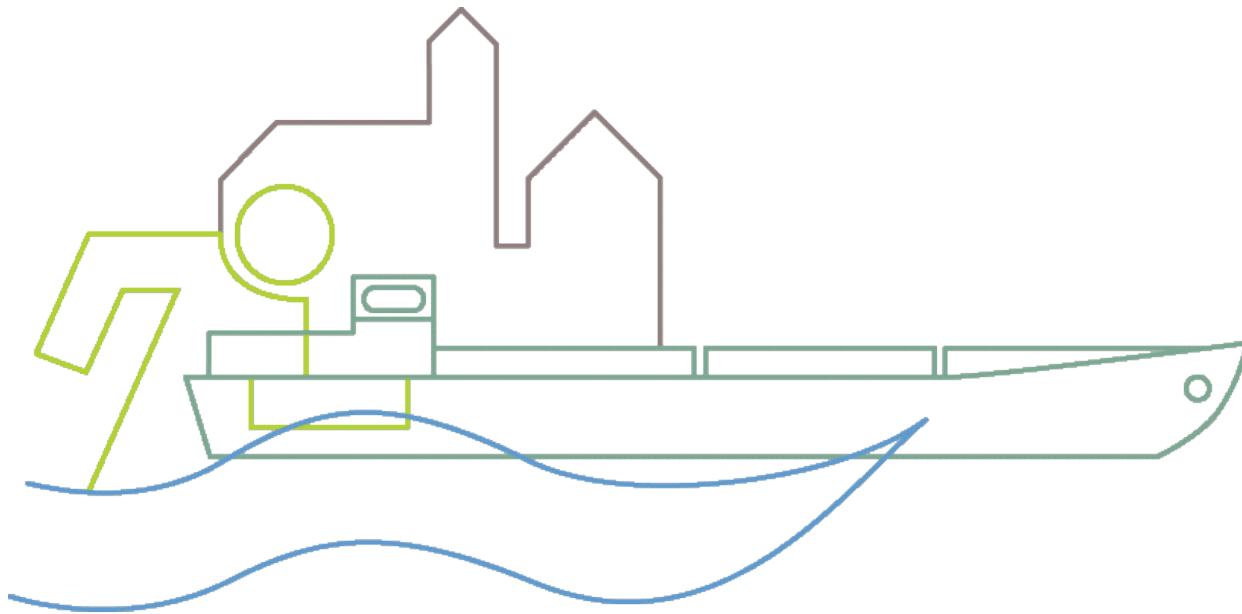
EQD



Tgr / Tmit_Sr

Fazit

- Automatische Kalibrierung von LARSIM-ME technisch umgesetzt
- Monte-Carlo und SCE-UA liefern ähnliche Ergebnisse, aber bei Monte-Carlo mehr Simulationen erforderlich
- Gute manuelle Kalibrierung liefert ähnliche Ergebnisse wie automatische Kalibrierung, aber bessere Ergebnisse bei der klassischen Abflussaufteilung! Manuelle Kalibrierung höherer personeller und finanzieller Aufwand (223 Pegel)!!!
- Evtl. liefert automatische Kalibrierung Hinweise auf strukturelle Unsicherheiten → zusätzliche schnelle Basisabflusskomponente???
- Weitere Untersuchungen erforderlich
- Evtl. Entwicklung mehrstufiges Verfahren analog zur LARSIM-Kalibrieranleitung zur realistischer Abbildung Abflusskomponenten
- Kombination von Regionalisierung und automatische Kalibrierung



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr.-Ing. Bastian Klein
Referat M2 - Wasserhaushalt, Vorhersagen und Prognosen
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Tel.: 0261/1306-5256, Fax: 0261/130-5280
E-Mail: klein@bafg.de
www.bafg.de

Projektförderung:



Funded under the Horizon
2020 Framework Programme
of the European Union
Grant Agreement No 641811



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung