

Internationaler LARSIM-Anwenderworkshop  
Koblenz, 13./14. März 2018

## **Diagnose von mit LARSIM ME simulierten Abflüssen und Abflusskomponenten in ausgewählten Flussgebieten Mitteleuropas**



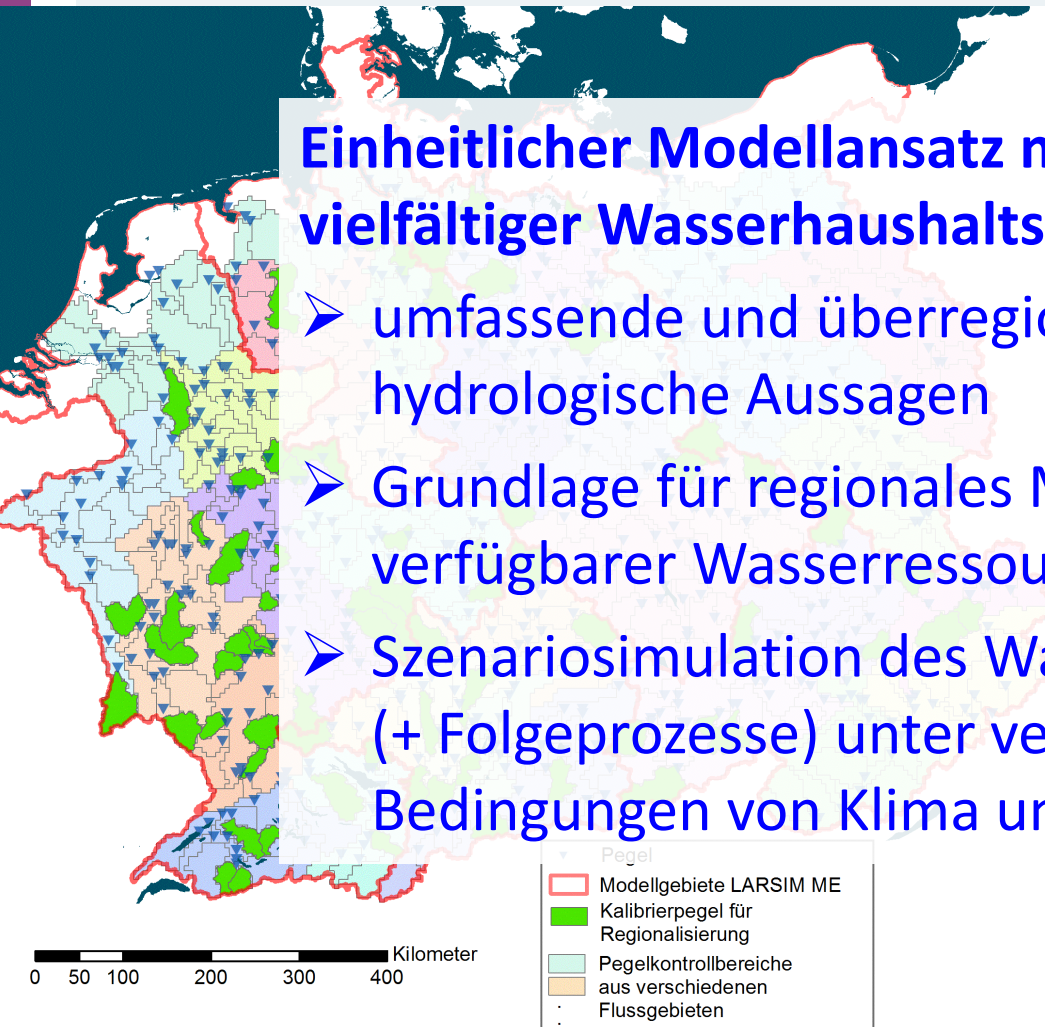
M. Helms, E. Nilson, P. Krahe  
Bundesanstalt für Gewässerkunde

- **Modelle** für die **Flussgebiete** von Donau, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder

## Einheitlicher Modellansatz mit Ausgabe vielfältiger Wasserhaushaltsgrößen:

- umfassende und überregional vergleichbare hydrologische Aussagen
- Grundlage für regionales Monitoring verfügbarer Wasserressourcen
- Szenariosimulation des Wasserhaushalts (+ Folgeprozesse) unter veränderlichen Bedingungen von Klima und Landnutzung.

- **regionalisierte Variante:**  
Clusterregionen nach Abfluss-  
größen  
Kalibrierung in 72 ~ unbeeinflussten  
Kopf-EZG zur anschließenden Regio-  
nalisierung in Clusterregionen
- **meteorol. Input:** Rasterdaten N, T,  $R_G$
- **anthropogene Einflüsse** implementiert  
(Modellzustand 2016)



# Ansätze zur Diagnose/Validierung hydrologischer Modelle



Expertennetzwerk  
Wissen Können Handeln

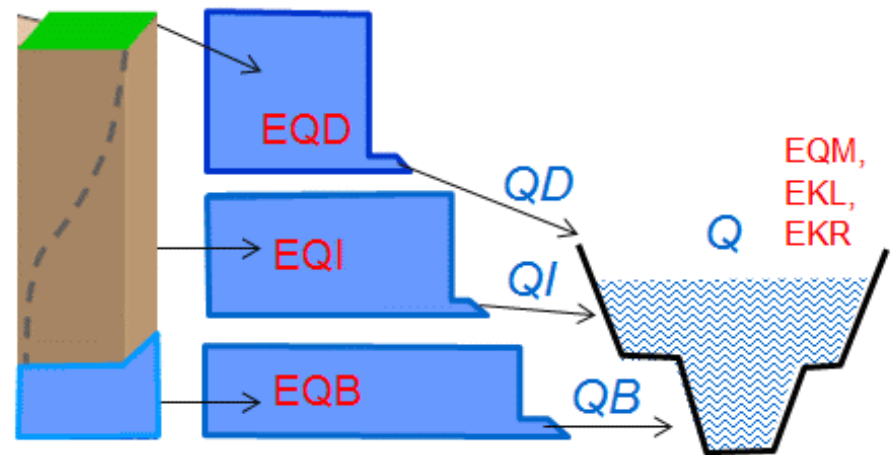
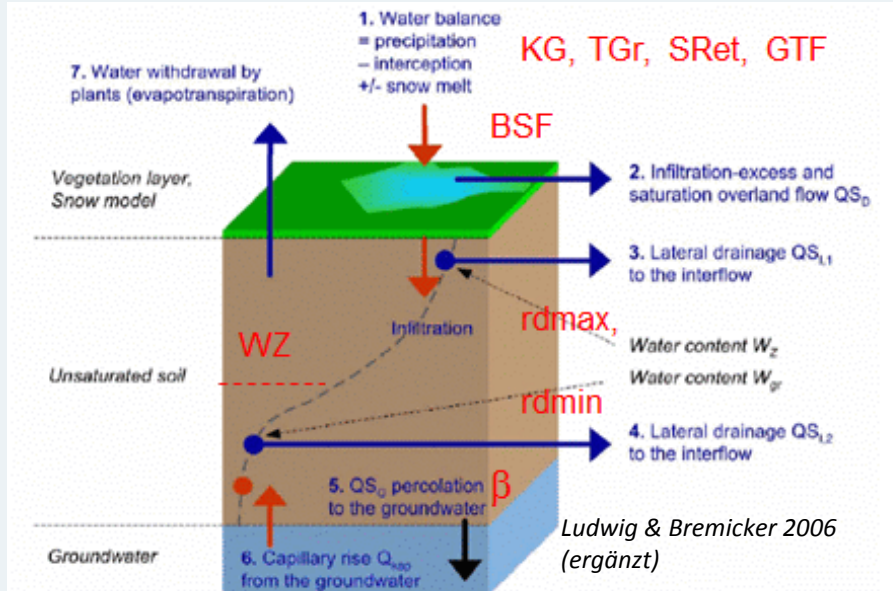
## Einfacher Diagnoseansatz:

- Gütemaß (z. B. N-S-Effizienz NSE) der Anpassung: simulierte vs. beob. Gesamtabflussganglinie

## Erweiterte Diagnoseansätze:

- differenzierte Gütemaße, z. B. Zerlegung NSE
  - ⇒ Bias, Varianz, Korrelation.
- Einbeziehung systeminterner Prozessvariablen:
  - Abflussreihen einzugsgebietsinterner Pegel
  - Daten weiterer beob. WH-Komponenten
    - detaillierte hydrometeorologische Daten
    - Feldmessungen
    - Fernerkundungsdaten
- Nutzung von benchmark-Modellen/-Verfahren
- Bezug von Gütemaßen (z. B. NSE) auch auf Phasen/Fälle oder Abflusskomponenten
- Parameterstabilität in verschiedenen Zeiträumen
- Parameteridentifizierbarkeit (dotty plots).
- visueller Ganglinienvergleich

## Modellstruktur LARSIM ME





# Untersuchungsgebiete / Pegel aus verschiedenen Landschaftsräumen

**Ilmenau/  
Pegel  
Bienenbüttel**

**Oberer Main/  
Pegel Mainleus,  
Schwübitz,  
Kemmern**

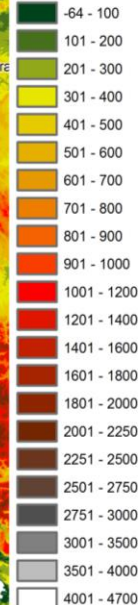
**Alz, T. Achen/  
Pegel Staudach,  
Stein, Seebruck,  
Altenmarkt,  
Burgkirchen**

## Legende

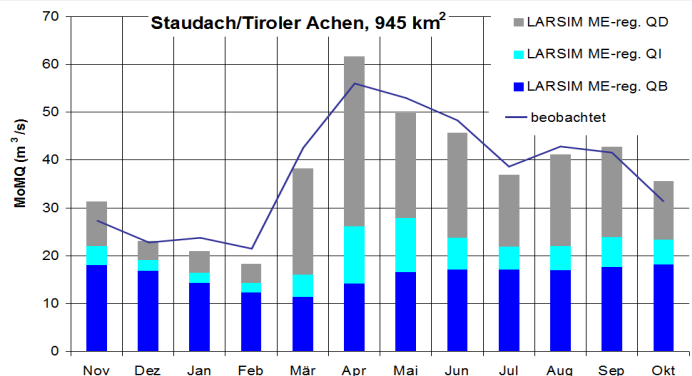
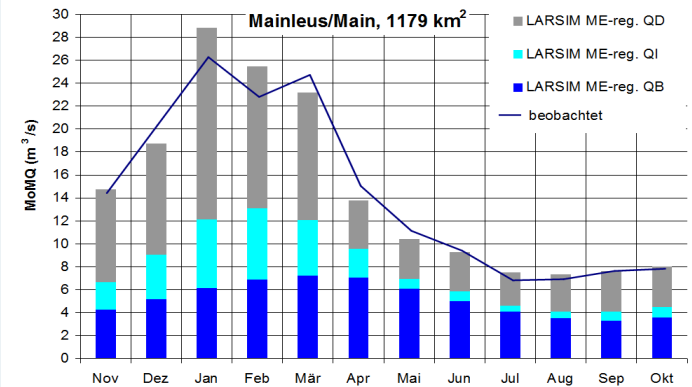
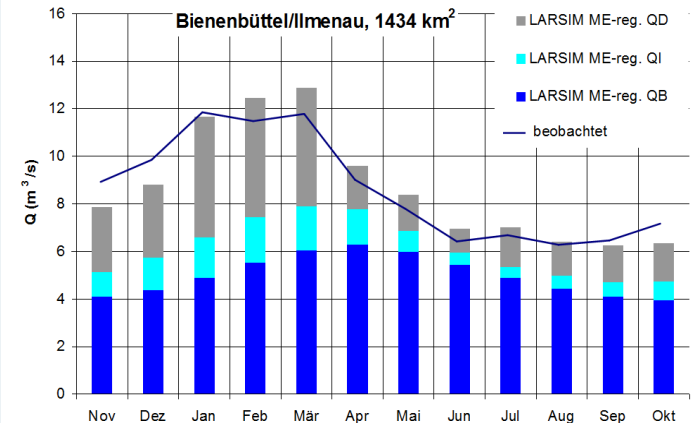
Untersuchungsgebiete

Städte

Geländehöhe (m ü NN)

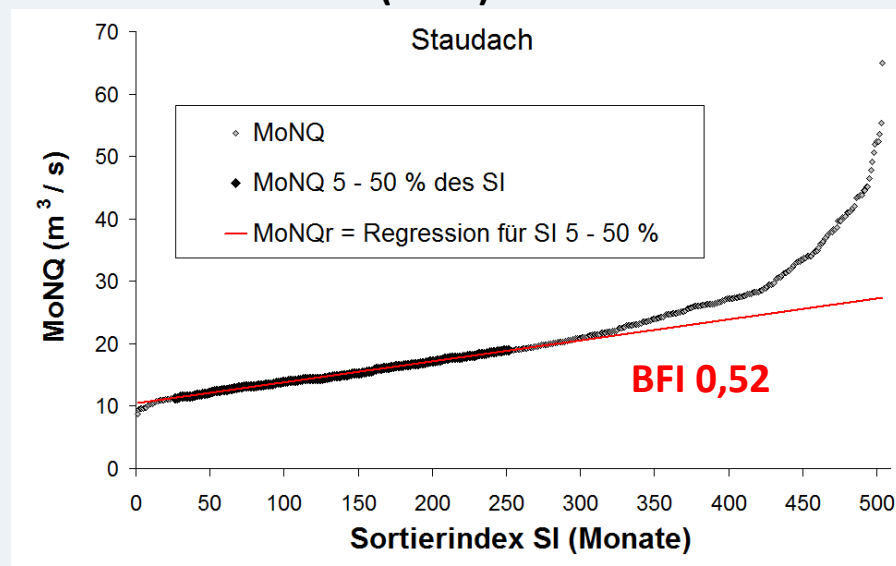


Kilometer  
0 25 50 100 150 200



## bzgl. Abflusskomponenten, Grundwasserneubildung (GWN) und Baseflow Index (BFI)

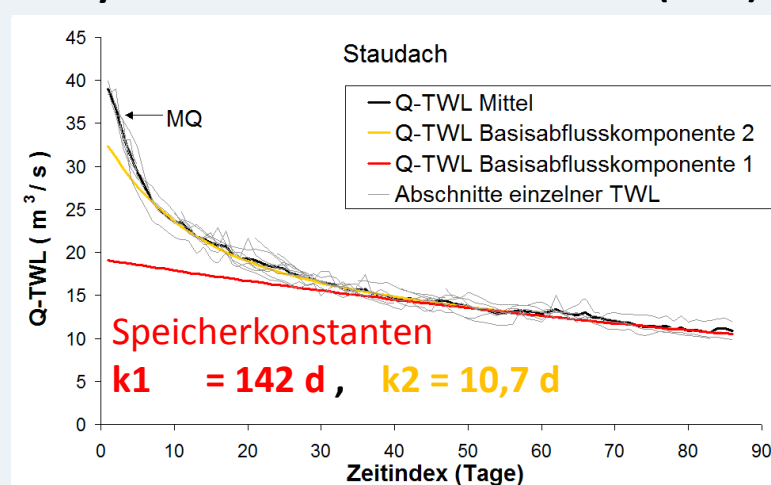
### Verfahren nach Kille (1970):



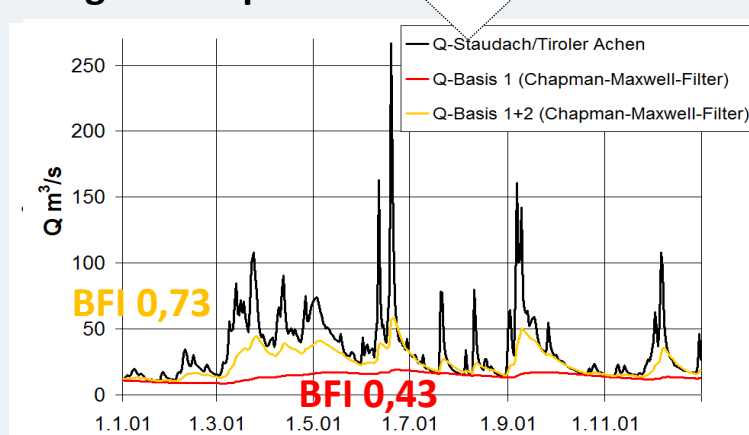
### Literaturangaben:

- Karten für BFI bzw. GWN aus Bodenwasserhaushaltsmodellen u. regionalisierten BFI nach Kille
- HAD (2003), Neumann (2005): dtld.'weite GWN
- Kunkel et al. (2006): GWN in NRW, NI, HB, HH
- KLIWA (2012): BFI und GWN für BW, BY, RP

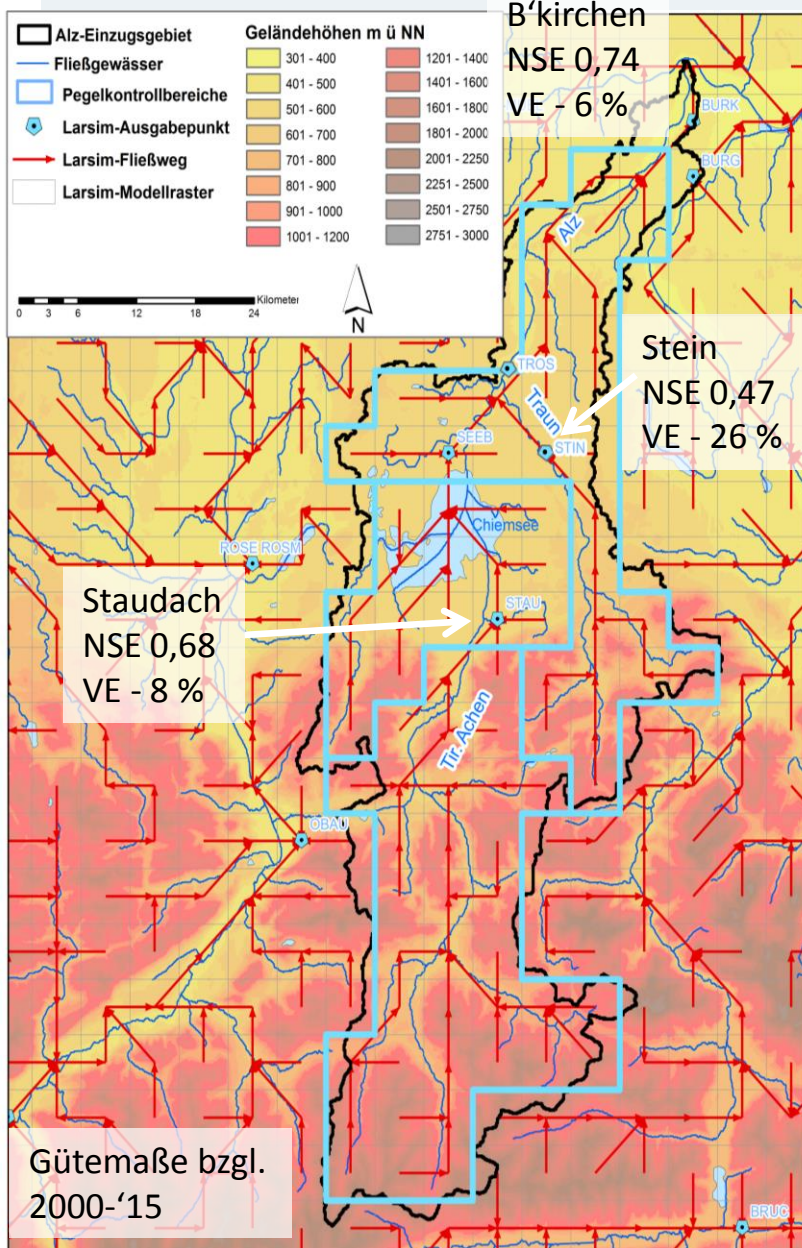
### Analyse von Trockenwetterfalllinien (TWL)



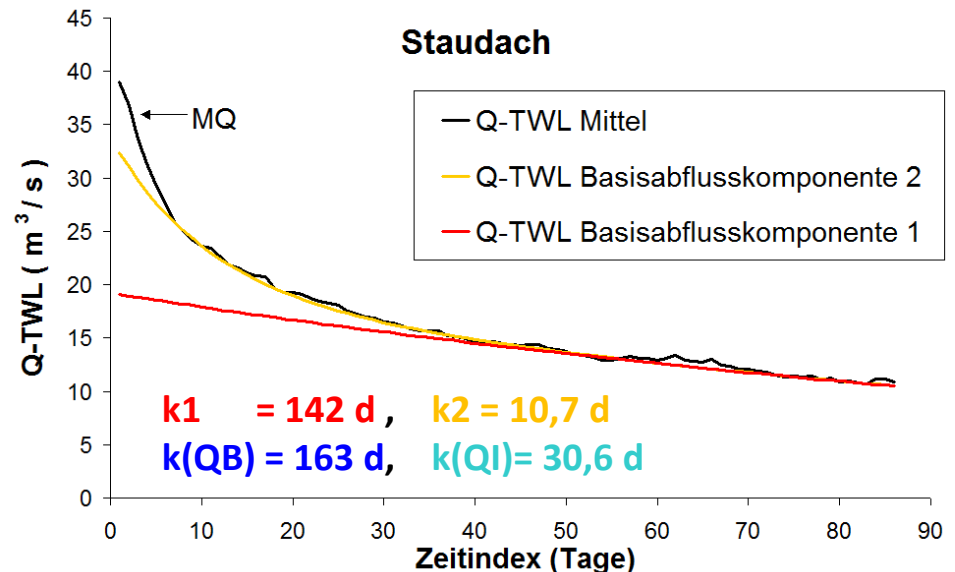
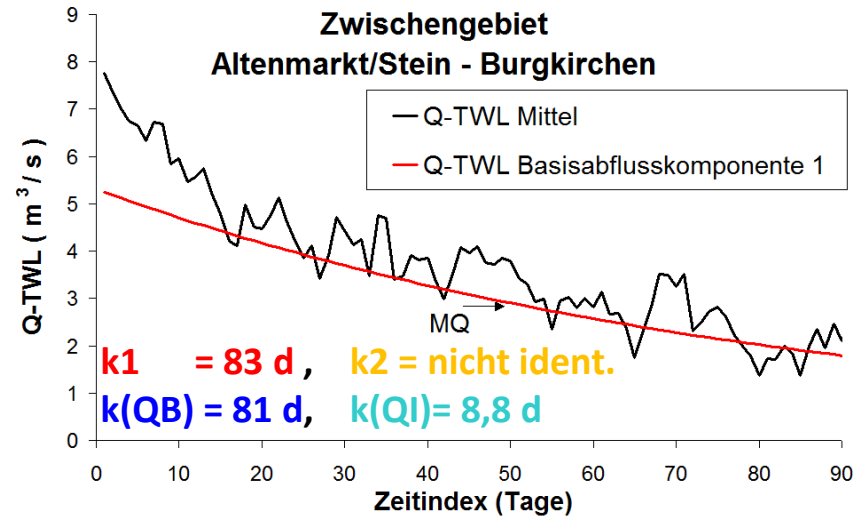
### Ganglinienseparation



# Diagnose LARSIM ME-Simulation im EZG von Alz und Tiroler Achen



## TWL-Analyse, Speicherkonstanten $k$ (TWL, LARSIM ME)



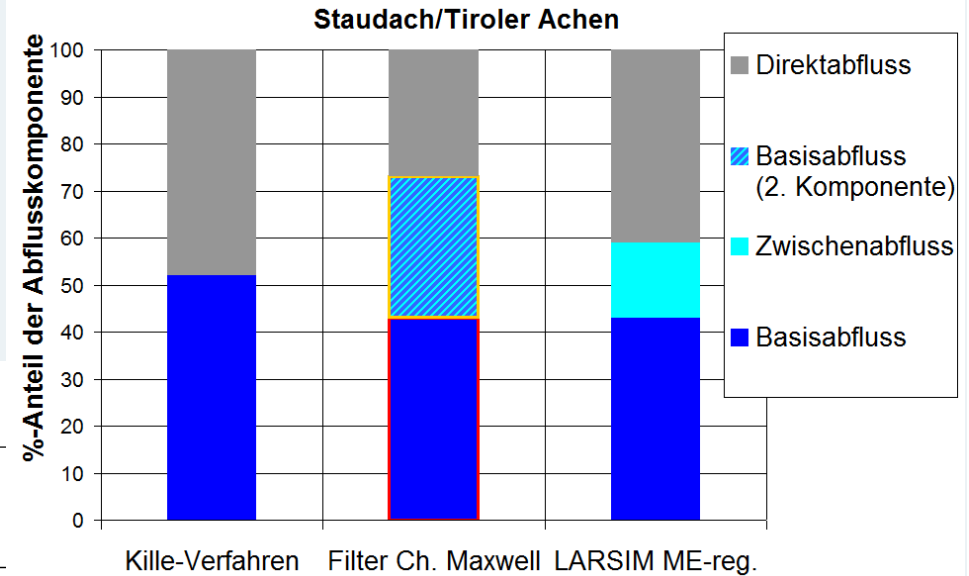
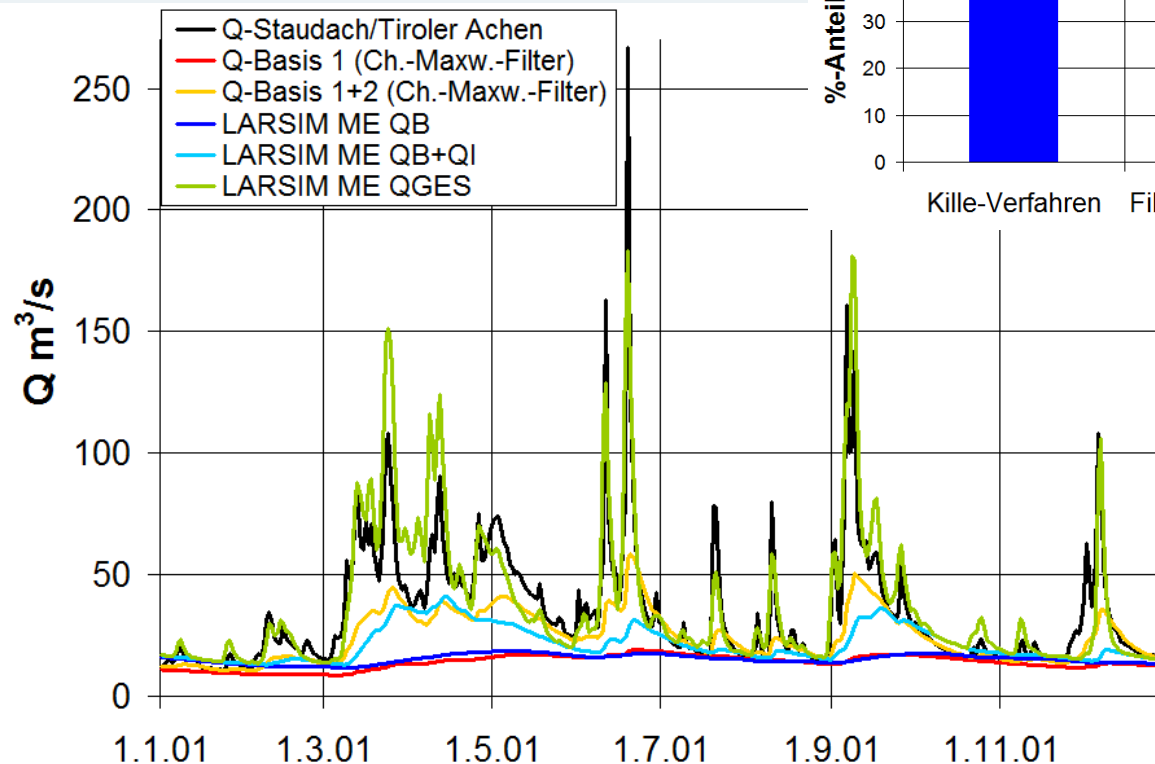
# Diagnose LARSIM ME-Simulation im EZG von Alz und Tiroler Achen

## Tiroler Achen/Pegel Staudach (945 km<sup>2</sup>)

Zeitraum 2000-2015

### Diagnose Gesamtabfluss:

- annähernd zufriedenstellend
- großskalig zunehmend besser (Alz/Burgkirchen)



### Diagnose Komponenten:

#### Basisabfluss:

- annähernd plausibel
- grundwasserbürtig, Talaquifere

#### Zwischenabfluss:

- zu geringe Fülle u. Dynamik
- Speicherkonstante zu hoch
- vermutlich auch gw.'bürtig, Gebirgsmassive

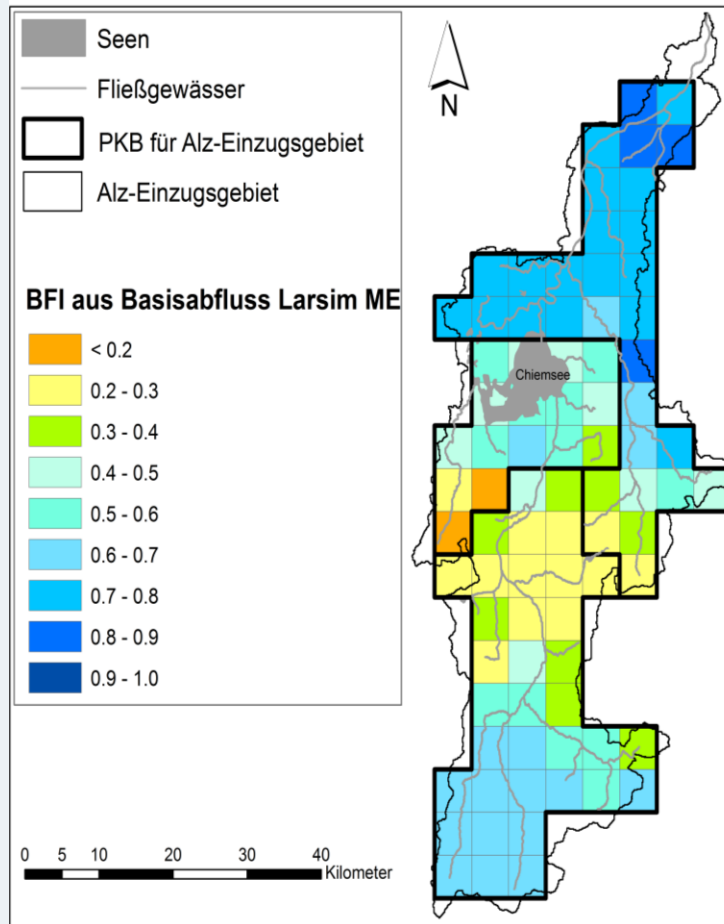


# Diagnose LARSIM ME-Simulation im EZG von Alz und Tiroler Achen

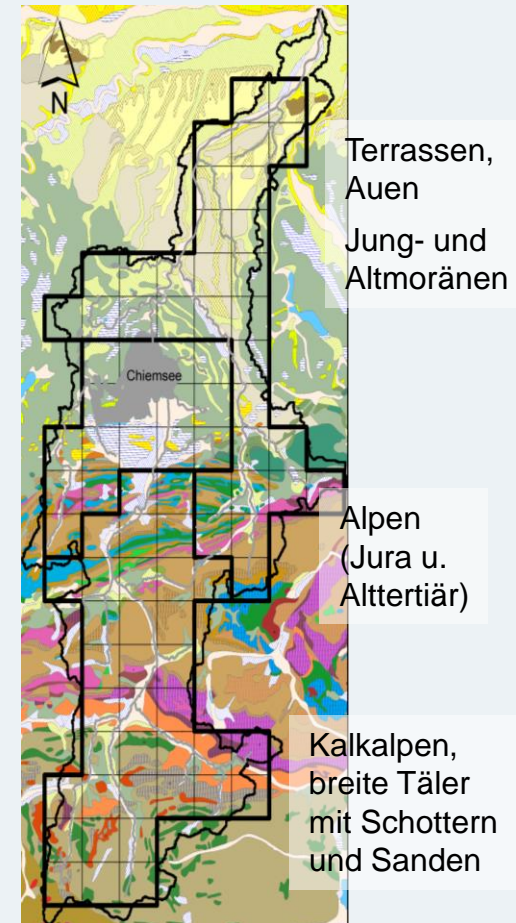


Expertennetzwerk  
Wissen Können Handeln

Räumliche Verteilung der simulierten Basisabflüsse bzw. BFI  
ggü. Geologie und Landschaft plausibel interpretierbar.



LARSIM ME:  $BFI = QB / Q_{ges}$



Geologische Karte,

Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt



# Verbesserte LARSIM ME-Simulation im EZG der Tiroler Achen/P. Staudach



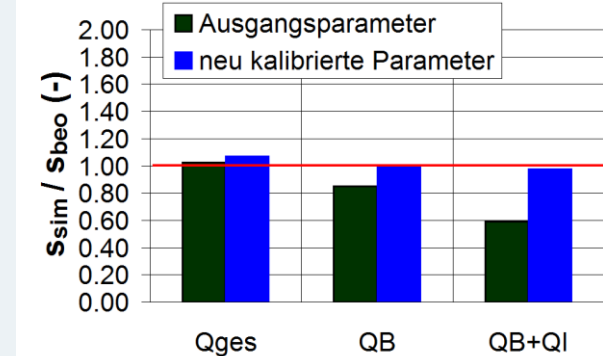
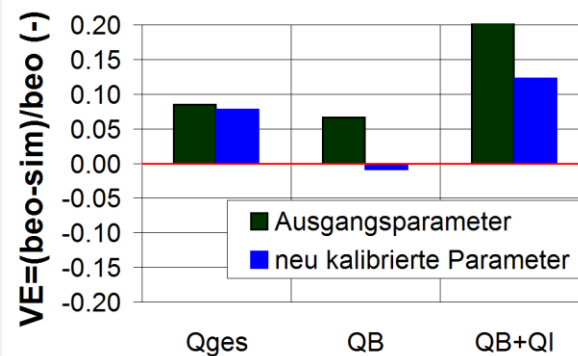
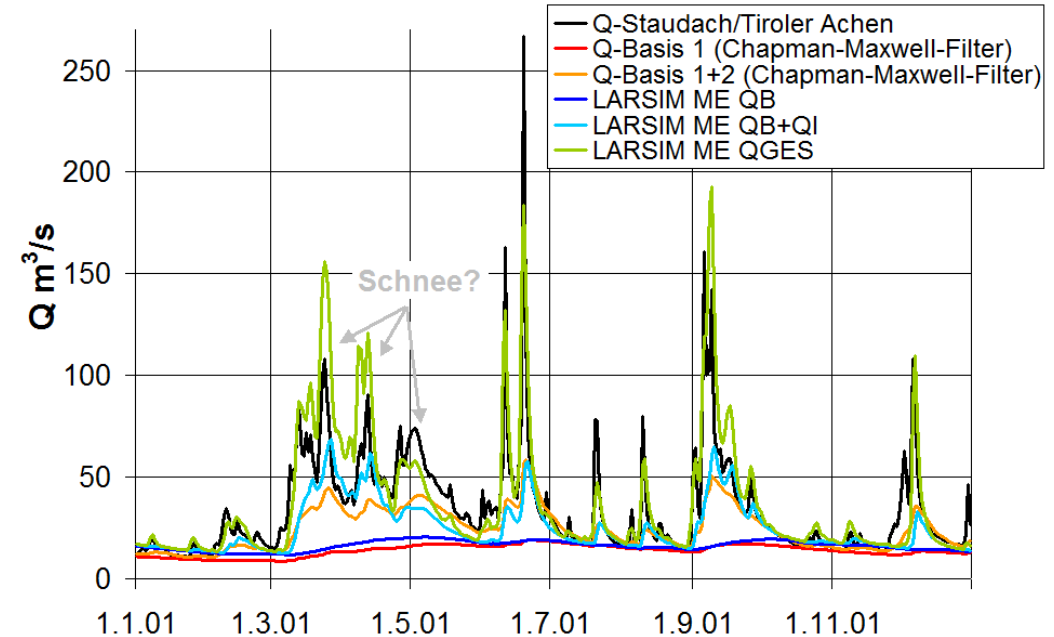
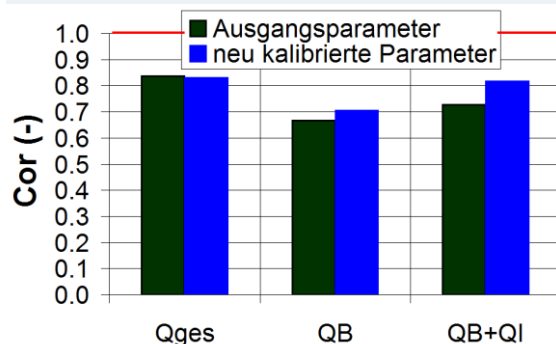
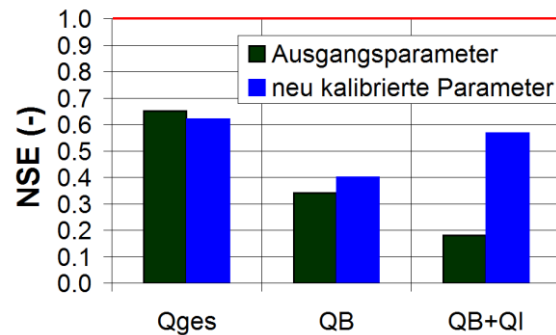
Expertennetzwerk  
Wissen Können Handeln

## Parameteranpassung (2000-'12):

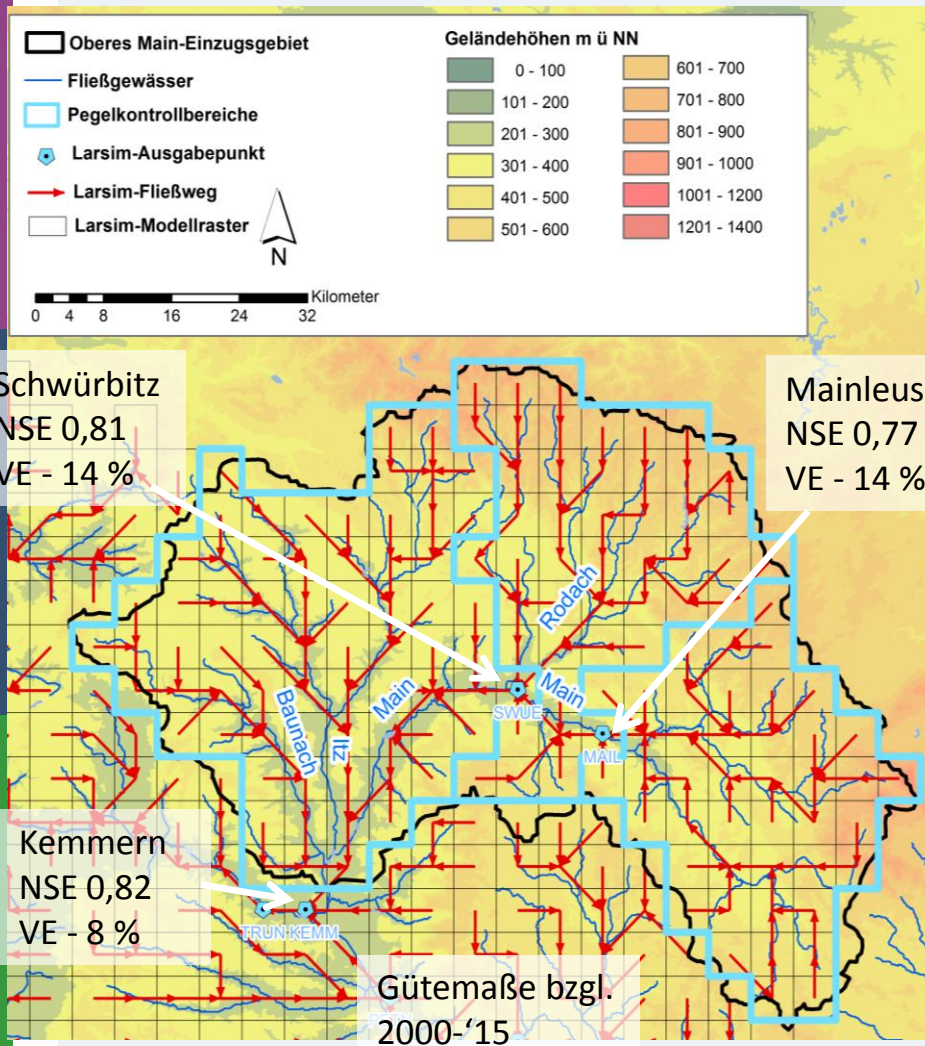
1. **EQB** und **EQI** gesetzt nach TWL-Analyse.
2.  $\beta$  kalibriert für QB
3. **Dmax** und **BSF** multiobjektiv kalibriert (Kompromiss für die Abflusskomponenten)

## Andere Parameter nicht modifiziert, da

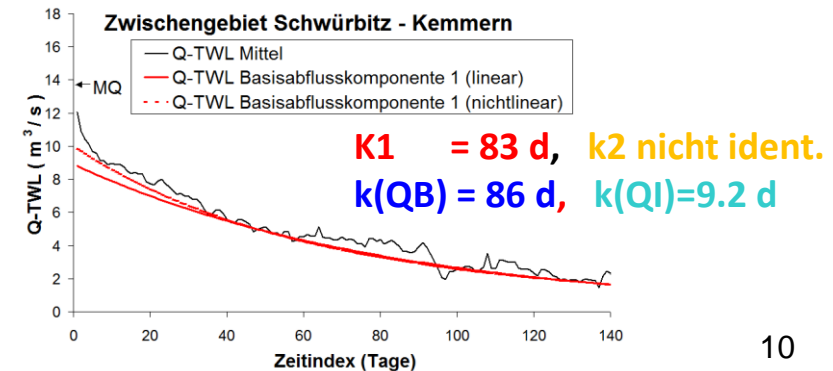
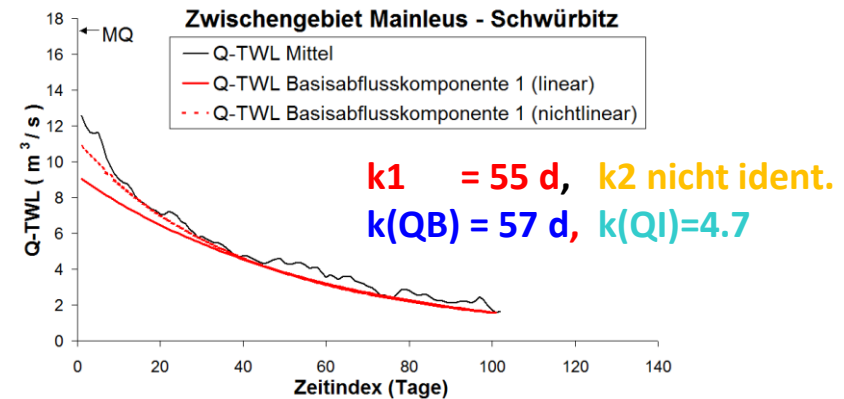
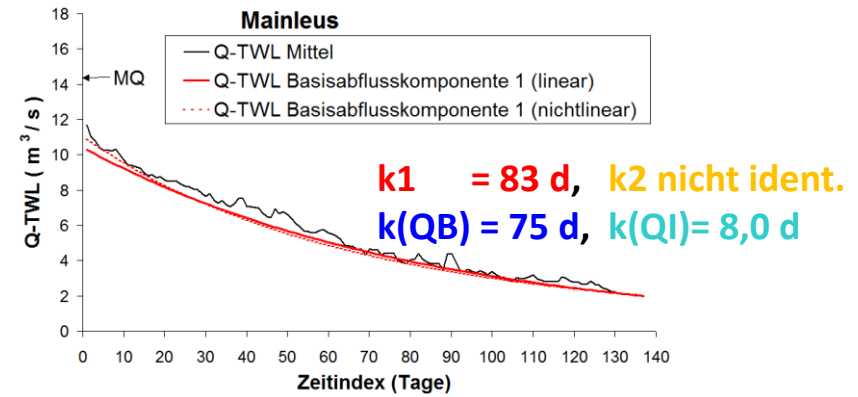
- bestätigt,
- nicht identifizierbar oder
- bisher nicht untersucht (Schnee)



# Diagnose LARSIM ME-Simulation im EZG des Oberen Mains



## TWL-Analyse, Speicherconst. $k$ (TWL, LARSIM ME)



# Diagnose LARSIM ME-Simulation im EZG des Oberen Mains



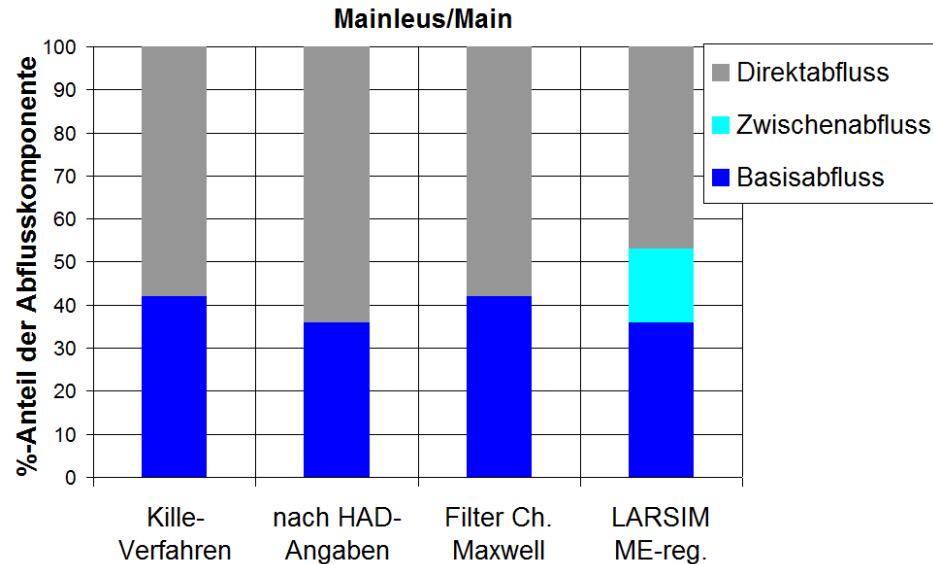
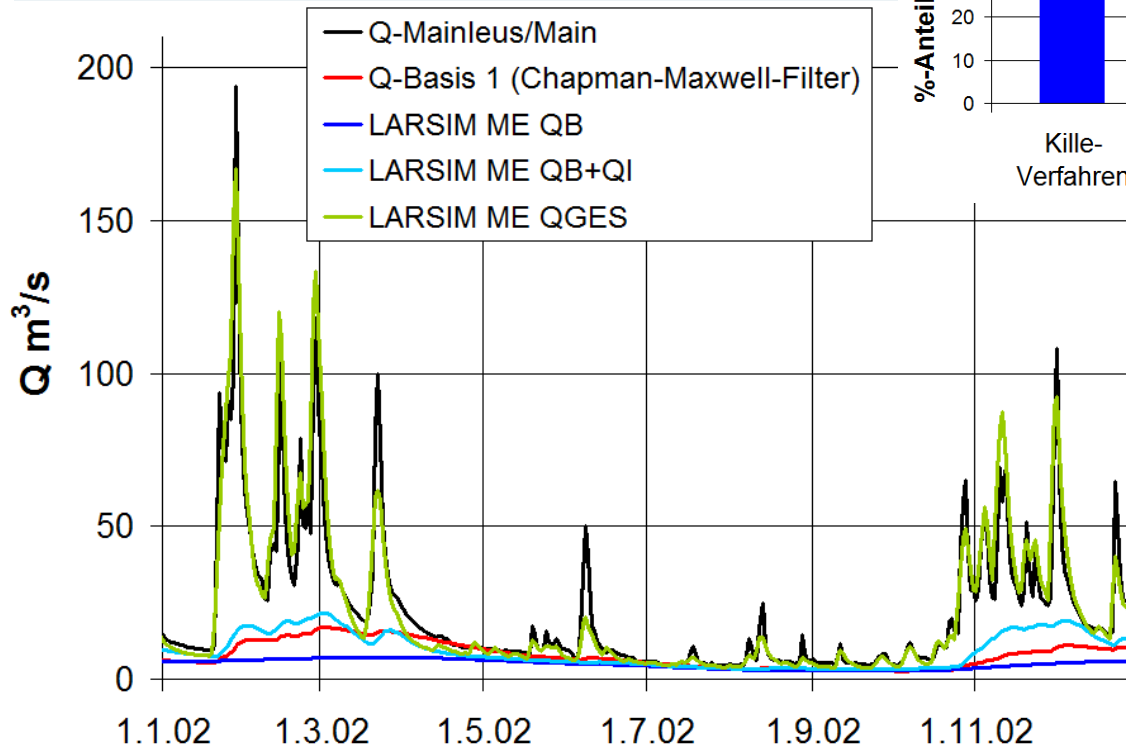
Expertennetzwerk  
Wissen Können Handeln

**Main/Pegel Mainleus (1179 km<sup>2</sup>)**

2000-2015

## Diagnose Gesamtabfluss:

- zufriedenstellend
- großskalig noch besser (Main/Kemmern)



## Diagnose Komponenten:

- Basis-/Zwischenabfluss nach TWL-Analyse kaum trennbar.
- LARSIM ME-Zwischenabfluss vermutlich teilweise grundwasserbürtig.

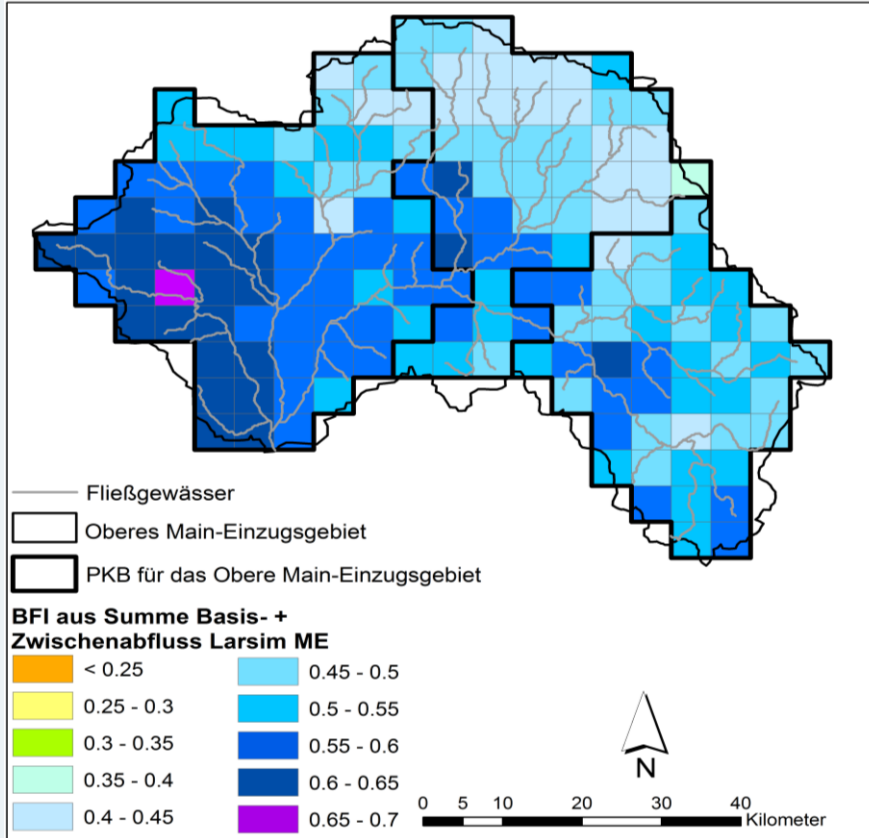


# Diagnose LARSIM ME-Simulation im EZG des Oberen Mains

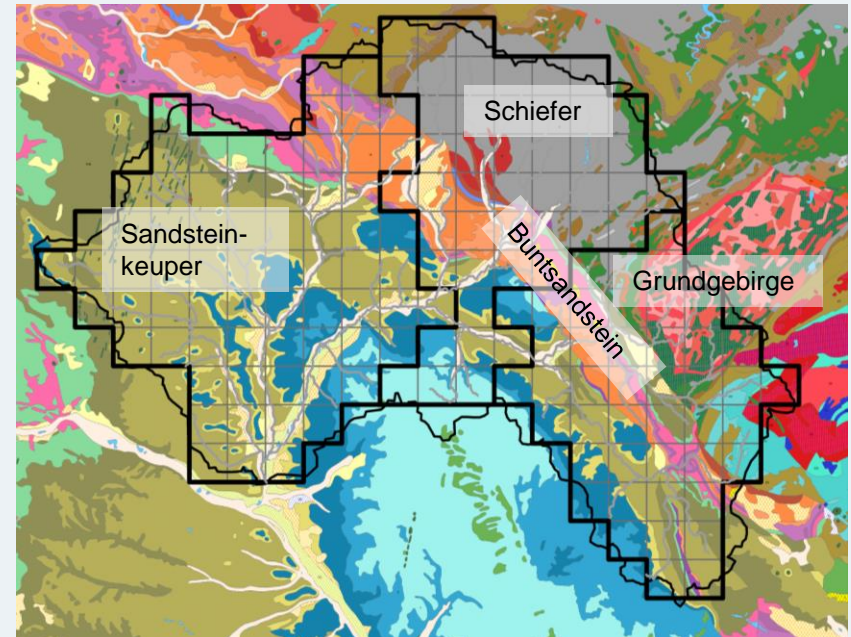


Expertennetzwerk  
Wissen Können Handeln

Räumliche Verteilung der Summe der simulierten Basis- und Zwischenabflüsse bzw. entspr. BFI ggü. Geologie und Landschaft plausibel interpretierbar.



LARSIM ME:  
 $BFI = (QB + QI) / Q_{ges}$



Geologische Karte

Datenquelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt

# Verbesserte LARSIM ME-Simulation im EZG des Oberen Mains/P. Mainleus

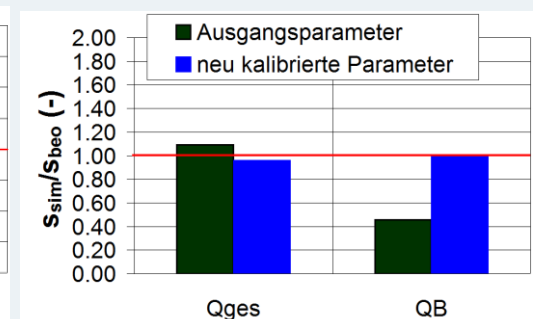
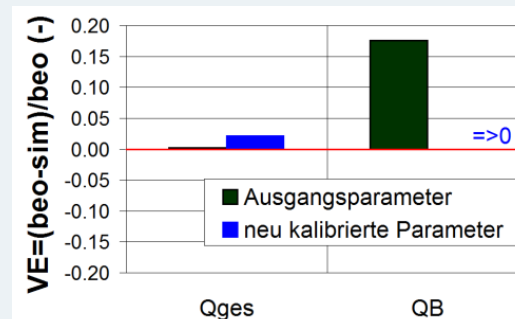
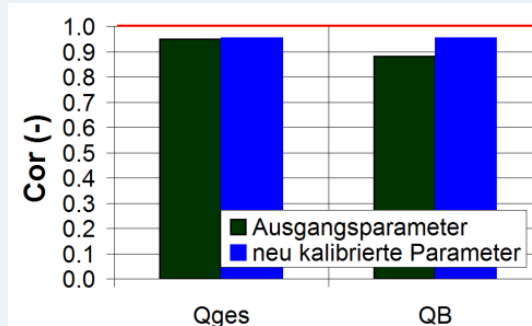
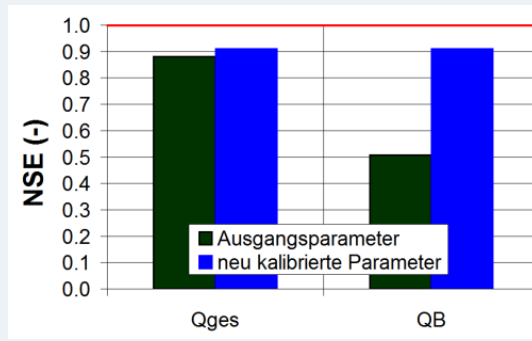
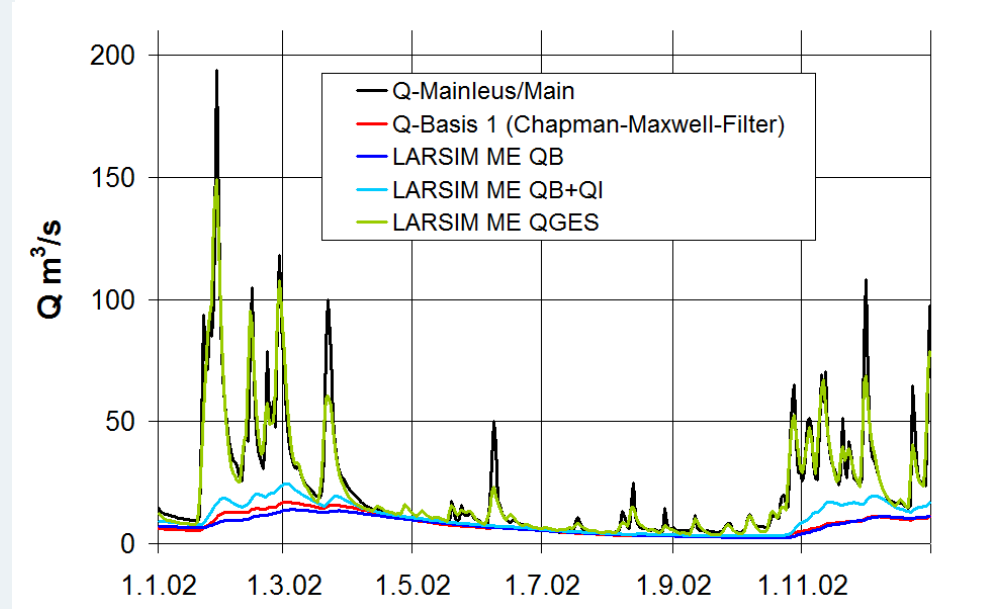


Expertennetzwerk  
Wissen Können Handeln

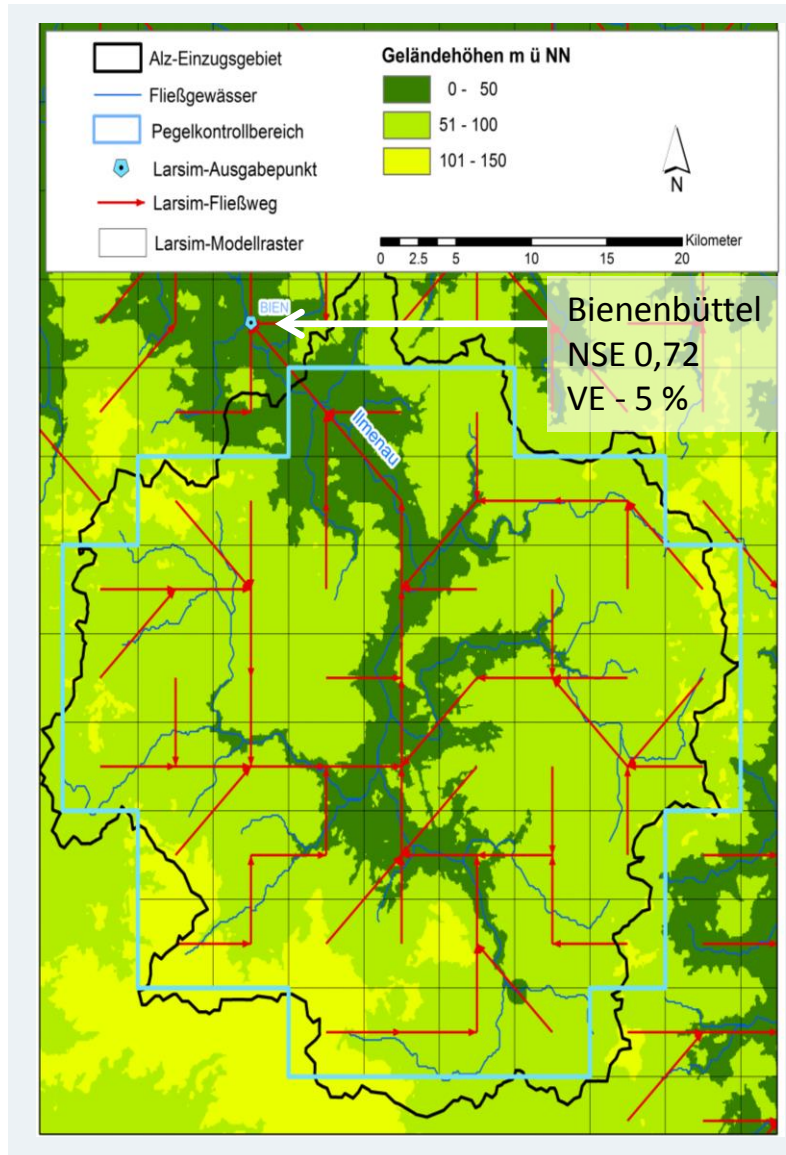
## Parameteranpassung (2000-'05):

1. **EQB** gesetzt nach TWL-Analyse.
2.  $\beta$  und **f<sub>bas-fak</sub>** (=9) kalibriert für QB
3. **BSF** multiobjektiv kalibriert  
(Kompromiss für QB und Qges).

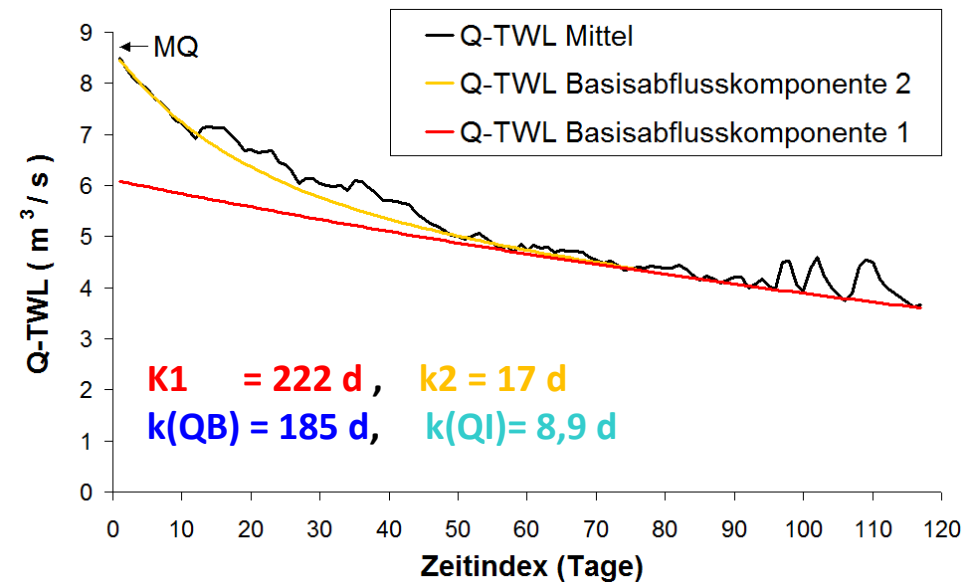
**Andere Parameter** nicht modifiziert, vgl. s.o.



# Diagnose LARSIM ME-Simulation im EZG der Ilmenau



TWL-Analyse, Speicherconst.  $k$  (TWL, LARSIM ME)





# Diagnose LARSIM ME-Simulation im EZG der Ilmenau



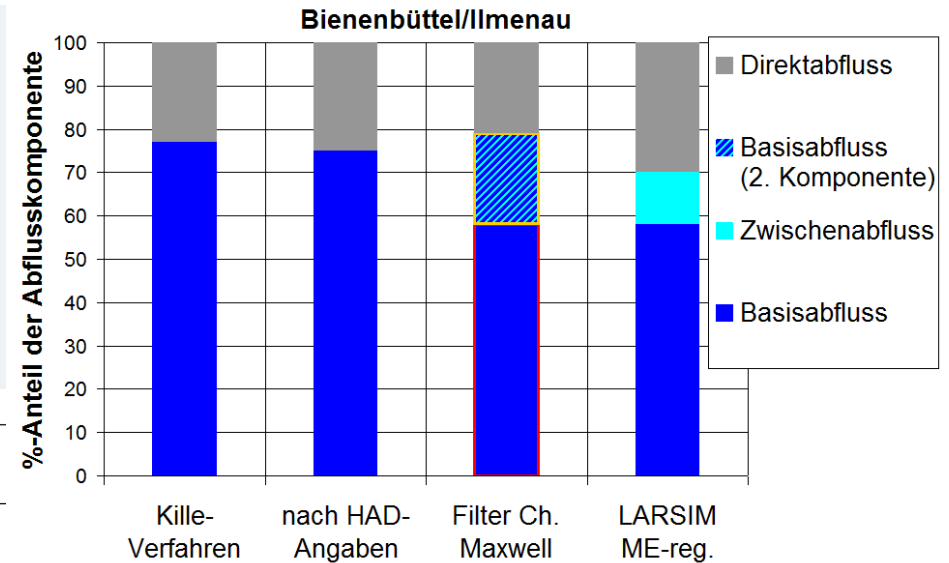
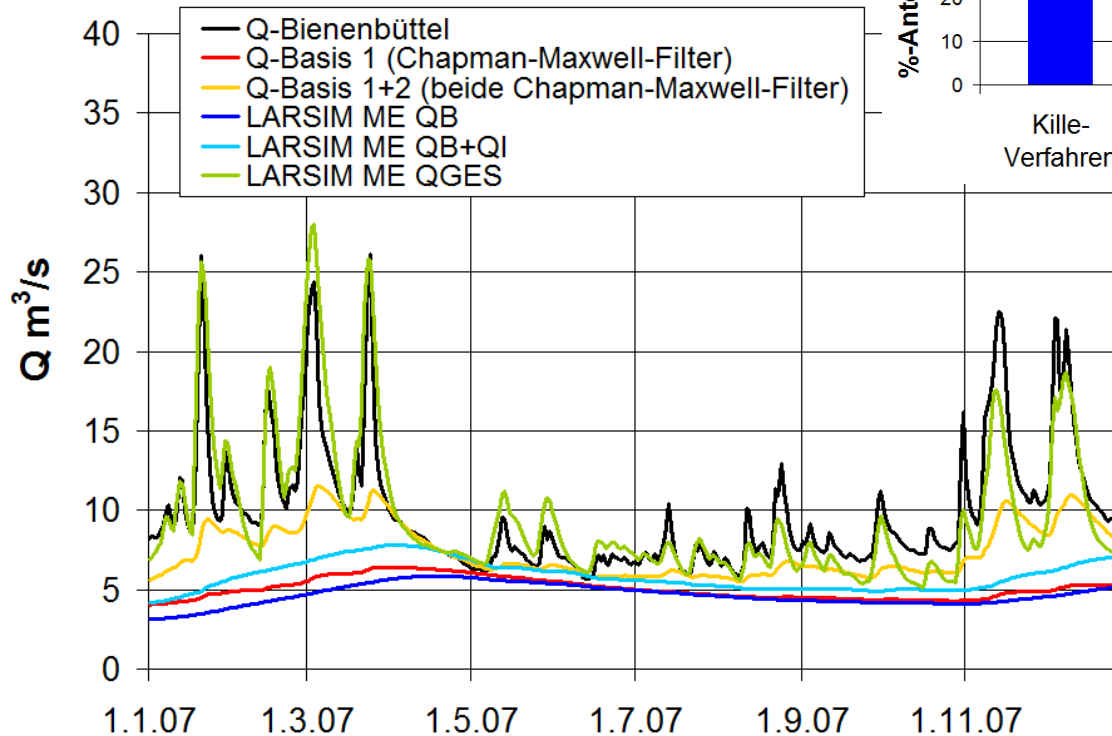
Expertennetzwerk  
Wissen Können Handeln

**Ilmenau/Pegel Bienenbüttel (1434 km<sup>2</sup>)**

2000-2014

**Diagnose Gesamtabfluss:**

- annähernd zufriedenstellend



## Diagnose Komponenten:

### Basisabfluss:

- annähernd plausibel
- entspricht Teil der grundwasserbürtigen Komponente (vermutl. tieferes Stockwerk)

### Zwischenabfluss:

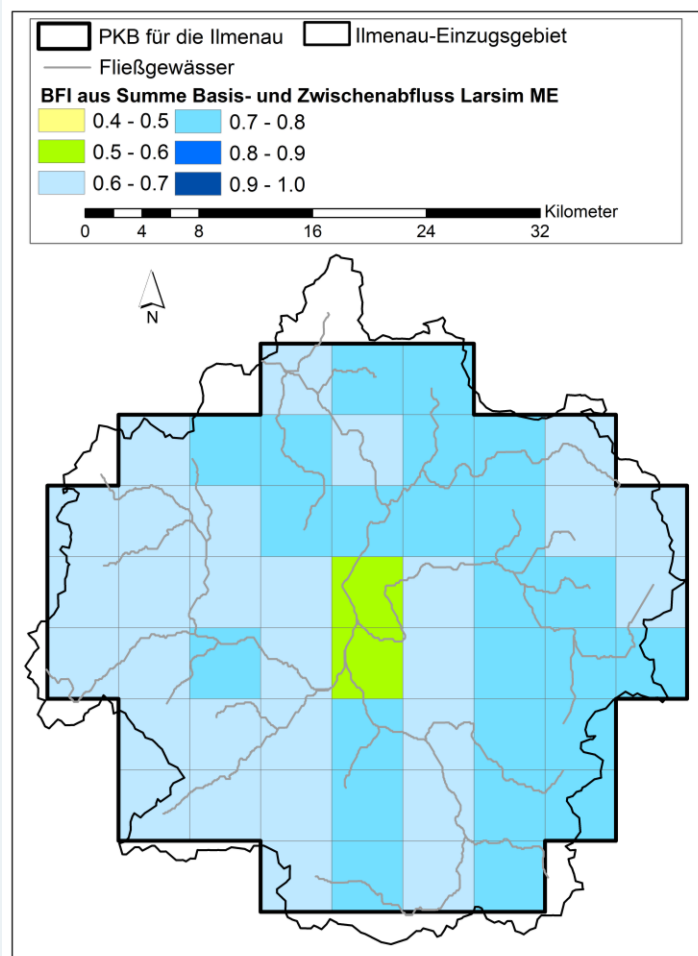
- zu geringe Fülle und Dynamik
- sim. Zwischenabfluss entspricht vermutl. gw.'bürtigem Abfluss (oberflächennahes Stockwerk)

# Diagnose LARSIM ME-Simulation im EZG des Ilmenau

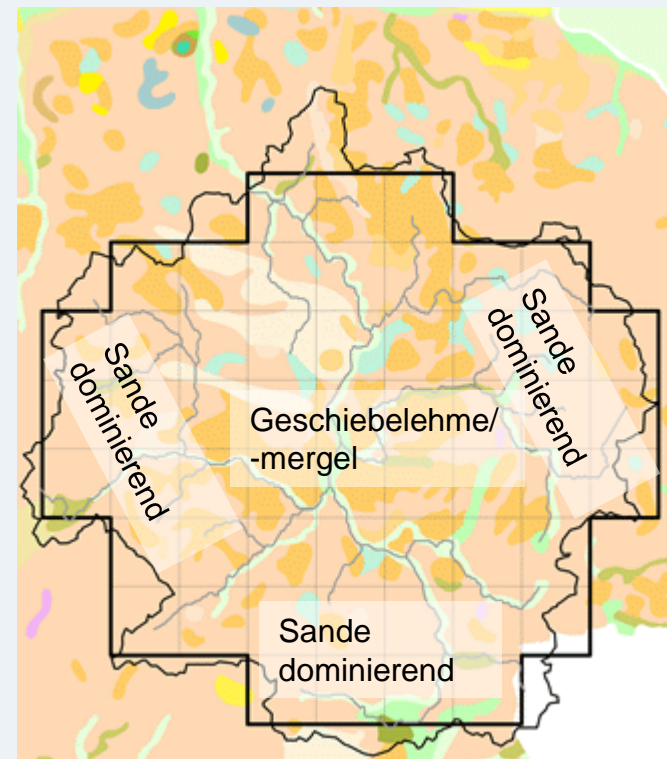


Expertennetzwerk  
Wissen Können Handeln

Räumlich relativ homogene Verteilung der Summe der simulierten Basis- und Zwischenabflüsse bzw. entspr. BFI ggü. Geologie und Landschaft plausibel.



LARSIM ME:  $BFI = (QB + QI) / Q_{ges}$



Geologische Karte

Datenquelle: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover

# Verbesserte LARSIM ME-Simulation im EZG der Ilmenau/P. Bienenbüttel



Expertennetzwerk  
Wissen Können Handeln

## Parameteranpassung (2000-'14):

1. **EQB** gesetzt nach TWL-Analyse.

2.  $\beta$  kalibriert für QB

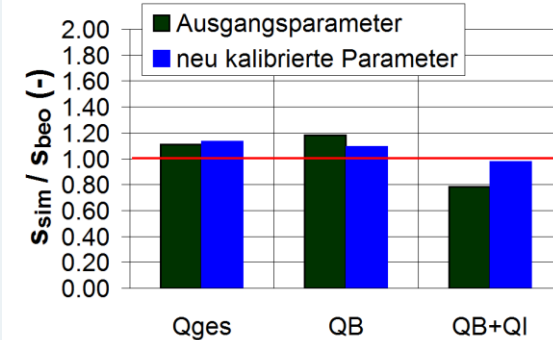
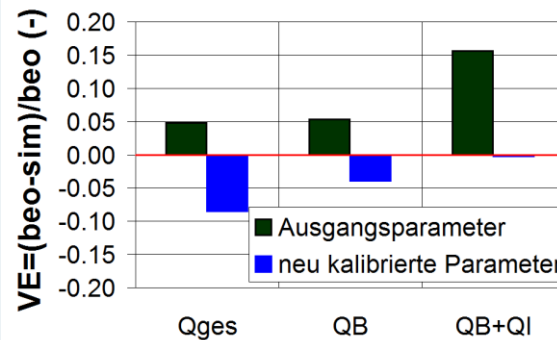
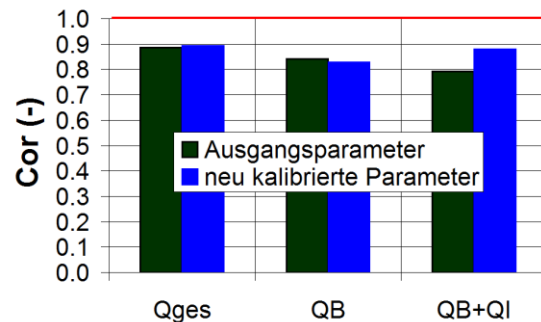
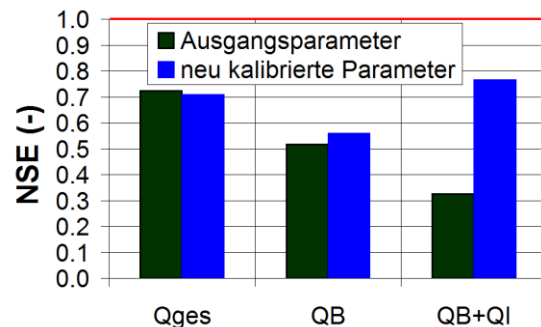
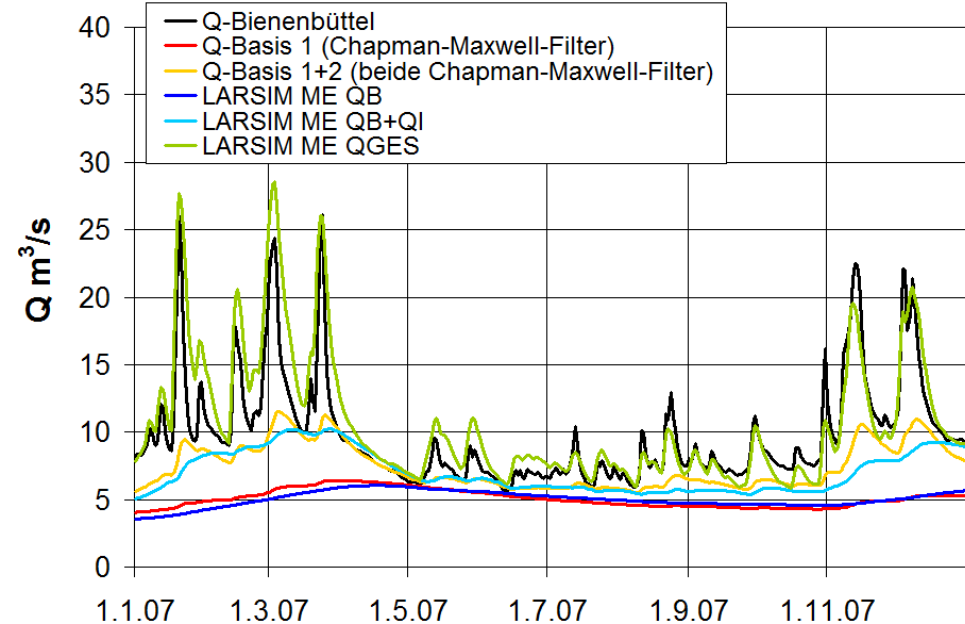
**WZBo (=0,1)** reduziert ( $\rightarrow$  rasche Reaktion QI)

3. **EQI, Dmax, BSF** multiobjektiv kalibriert  
(Kompromiss für Abflusskomponenten).

Dabei **EQI =150**  $\rightarrow$  rasche Reaktion QI.

**Andere Parameter** nicht modifiziert, vgl. s. o.

**Insgesamt hohe Parameterunsicherheit !**



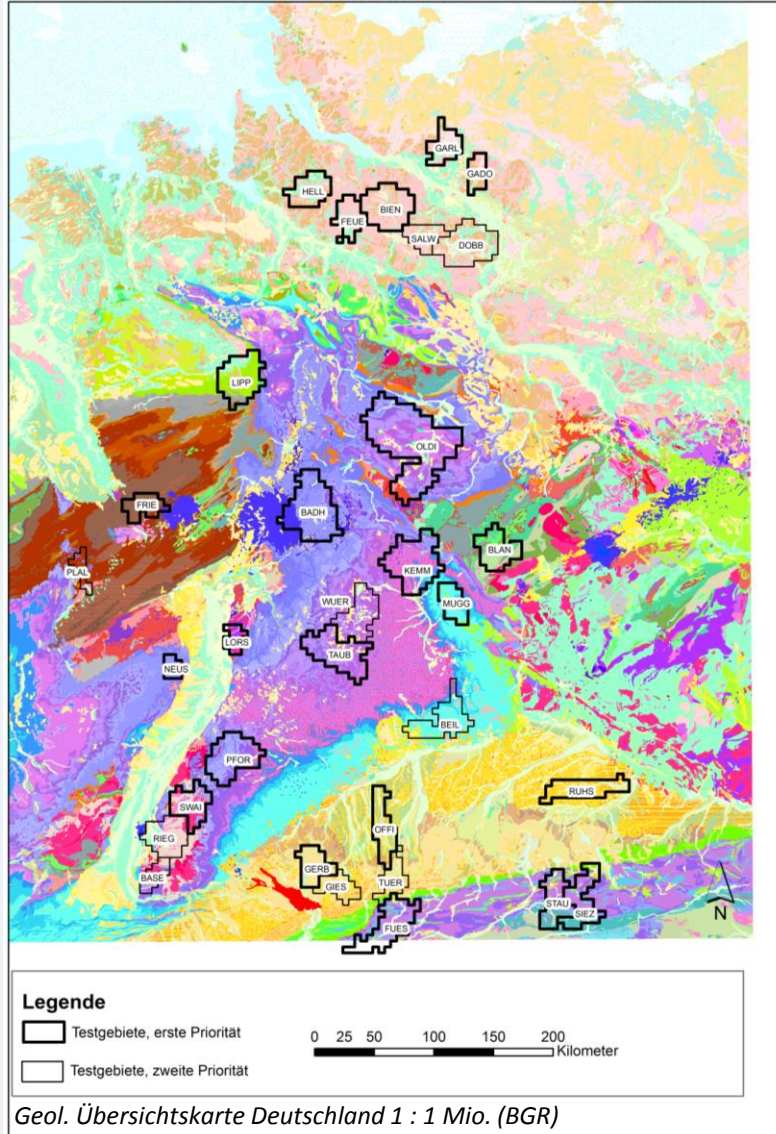


# Erweiterte Auswahl wenig beeinflusster und landsch. homogener Testgebiete

BMVI

Expertennetzwerk

Wissen Können Handeln



## Landschaftsbereiche (ggf. zusammenzufassen):

### Alpen:

- Kalkalpen
- Flysch/Kreide (tonig-mergelig)

### Alpenvorland:

- Jungmoräne
- Tertiärhügelland/Molasse
- Schotterterrassen

### Mittelgebirge:

- Tiefengestein (Plutonite, Gneise)
- Schiefergestein
- (vulkanisch, u. a. Vogelsberg)

### Schichtstufenland:

- unterer/mittlerer Buntsandstein
- oberer BSS/unterer Muschelkalk (Ton, Mergel)
- Hauptmuschelkalk (kalkig, Karst)
- unterer/mitt. Keuper (Ton, Gips)
- mitt./oberer Keuper (Sandsteine)
- Lias/Dogger (tonig, mergelig)
- Malm (kalkig, Karst)

### Kreidebecken (Ton- bis Kalkstein, teilw. Sandstein)

### Mittelgebirgsvorland (Löss, Börden, Becken-/Hügelland)

### Glaziale Akkumulationslandschaften Norddt. Tiefebene:

- Altmoräne (Saale-Eiszeit)
- Sander/Geest
- vermoorte Glaziallandschaften
- Jungmoräne (Weichsel-Eiszeit)

- **LARSIM ME für alle Flussgebiete Deutschlands mit internationalen Anteilen vorliegend**
  - einheitlicher Modellansatz → überregional vergleichbare hydrologische Aussagen.
  - umfassende Ausgabeoptionen für raumzeitlich verteilte Komponenten des Wasserhaushalts (u.a. Abflusskomponenten) in ihrem hydrologischen Zusammenhang
- **regionalisierte Modellvariante erfasst bereits wesentliche Aspekte des natürlichen Wasserhaushalts unter sehr verschiedenen Landschaftsbedingungen**
  - mindestens gute Ausgangsbasis für weitere Modellentwicklung
- **Methodik für eine verteilte Modelldiagnose entwickelt und angewandt:**
  - Bezug auf Gesamtabfluss, Abflusskomponenten, GWN, BFI
  - skalierende gezielte Betrachtung
  - Nutzung etablierter hydrologischer Referenzmethoden (benchmarks)
  - räumliche Muster des BFI im Flussgebiet

→ Hinweise auf Modellunsicherheiten, landschaftsspezifischer Charakteristika und notwendige Modellverbesserungen und –interpretationen (Hypothesenbildung)
- **Modellverbesserungen durch gezielte, multiobjektive Nachkalibrierung für Abflusskomponenten**
  - zunächst exemplarisch umgesetzt in drei Flussgebieten und
  - zu erweitern (Testgebietsauswahl, Regionalisierung)

Vielen Dank für  
die Aufmerksamkeit !

**Ziele:** → zuverlässige und großräumige Erfassung des Wasserhaushalts  
→ Grundlage des reg. Monitorings verfügb. Wasserressourcen für nachhaltige Wasserwirtschaft  
→ Prognosefähigkeit für Szenarien unter veränderlichen Bedingungen (u. a. Klimawandel)