

Nach dem Hochwasser ist vor dem Hochwasser: Einsatz gekoppelter Modellsysteme zur Verlängerung von Vorwarnzeiten

FU Berlin, 29.05.2007
Andreas Marx

Motivation



Hochwasserereignis	Total (Mio. €)	Versichert (Mio. €)
Bayern 1999	393	30
Bayern 2005	205	46
D/A/CH 1999	409	40
D/A/CH 2005	3000	1700



Nach heftigen Regenfällen von Böhmen bis Bern

Verheerendes Hochwasser im Alpenraum

Sieben Tote in der Schweiz und in Österreich Weite Teile Südbayerns überschwemmt

München (SZ) - Nach tagelangem Dauerregen sind große Flächen des Alpenraums überschwemmt. Bei Erdbeben und Überflutungen starben in der Schweiz und in Österreich sieben Menschen. Viele Orte sind nicht mehr zugänglich. Im bayerischen Voralpenland übertraf die Flut das Jahrhunderthochwasser von 1999. Die Donau-Städte Passau und Regensburg sind gefährdet.

„Wir haben gigantische Wassermassen“, sagte der bayerische Umweltminister Werner Schnappauf (CSU) am Dienstag. Fachleute schätzen, dass die Flut das Pfingsthochwasser von 1999 übertreffen werde. Das öffentliche Leben brach in weiten Teilen des Voralpenlandes zusammen. Garmisch wurde von der Außenwelt abgeschnitten. In Kempten, Augsburg, Penzberg sowie den Landkreisen Weilheim-Schongau, Garmisch-Partenkirchen und Bad Tölz-Wolfratshausen lösten die Behörden Katastrophenalarm aus. Während aus Bayern zunächst keine Todesopfer gemeldet wurden, starben in der Schweiz mindestens fünf Menschen in den Fluten, viele sind vermisst. Im Zürcher Oberland wurde eine Leiche aus dem Dorfbach von Dürnten geborgen, im Bündnerland ertrank eine 72-Jährige in der Landquart. In Brienz kam eine Jugendliche ums Leben, eine junge Frau wurde schwer verletzt. Am Montag waren bereits zwei Feuerwehrleute tödlich verunglückt. Im österreichischen Otztal begrub eine Steinlawine einen Mann. Eine Frau wurde beim Abgang einer Mure in der Steiermark tödlich verletzt.

Die Niederschläge erreichten Rekordwerte. Im Berner Oberland fielen bis Dienstagmorgen binnen 48 Stunden 205 Liter Wasser pro Quadratmeter. In der Schweiz waren Brienz und das Oberhasli vom Wasser eingeschlossen, für Grindelwald und Lauterbrunnen wurde eine Luftbrücke eingerichtet. Bern ist überflutet.

In Kroatien riefen die Behörden für den Norden des Landes den Notstand aus. In Tschechien standen Teile Böhmens unter Wasser. Ungarn rechnet mit Schäden von 40 Millionen Euro.

In Bayern wurden Sonthofen, Kempten und Garmisch überschwemmt. An der Loisach und der Iller hielten viele Dämme der Flut nicht stand. Bei Augsburg drohte eine Autobahnbrücke einzustürzen. Die A 8 München-Stuttgart wurde deshalb gesperrt, ebenso die A 95 München-Garmisch und die A 93 bei Kufstein. Eingeschlossene wurden mit Hubschraubern gerettet. Fast tausend Anwohner in Kempten mussten ihre Häuser verlassen. Die Anrainer der Donau bereiteten sich auf die Wassermassen vor. Entlang des Stroms wurde für Mittwoch die höchste Meldstufe erwartet.

Bayerns Ministerpräsident Edmund Stoiber (CSU) unterbrach den Wahlkampf, um sich ein Bild von der Lage zu machen. Union und FDP sagten ihren für Mittwoch in Berlin geplanten „Wechselgipfel“ ab. Innenminister Otto Schily (SPD) wollte am Mittwoch ins Flutgebiet reisen, Bundeskanzler Gerhard Schröder (SPD) am Donnerstag. Am kommenden Dienstag will das bayerische Kabinett über die Unterstützung für die Betroffenen beraten. Stoiber sagte, er setze auf eine „Gemeinschaftsaktion von Land, Bund und EU“. Schröder kündigte an, die Bundesregierung werde jede ihr mögliche Hilfe leisten sowie alle Kräfte auf



- Einsiedl: 216 mm/48h
- Ettal: 192 mm/48h

Forderung nach wirksamer auf Höchstaussieherstellung

- Hydrologische Modellierung
- Numerische Wettervorhersage
- Abflussvorhersage – Frühwarnung
- regionale Auswirkungen der Klimaänderung

- Kurze Niederschlag-Abfluss Reaktionszeit \Rightarrow Kurze Frühwarnzeiten!
- Schneedeckendynamik/Schmelzwasser beeinflusst das Abflussgeschehen
- Hohe räumliche Niederschlagsvariabilität (Lee-Luv, Staueffekte)
- Alpen: “klimasensitive“ Region:
kleine Änderung in großskaliger Zirkulation \Rightarrow große regionale Änderung

Wie kann ein Frühwarnsystem geschaffen werden?

Niederschlagsradar (*Nowcasting*): Vorhersagezeiten zu kurz
⇒ wegen kurzen Reaktionszeiten: Wettervorhersage

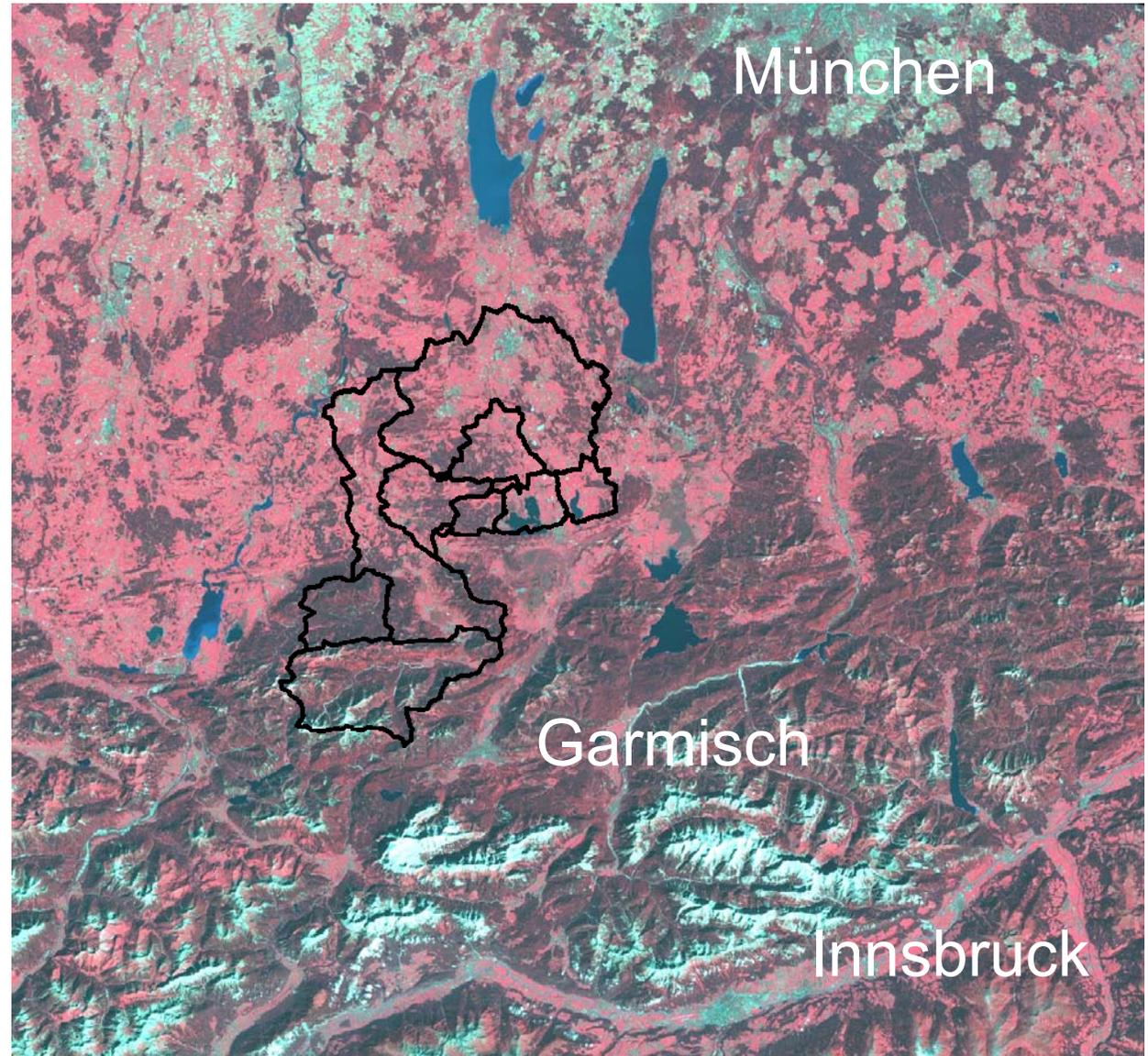
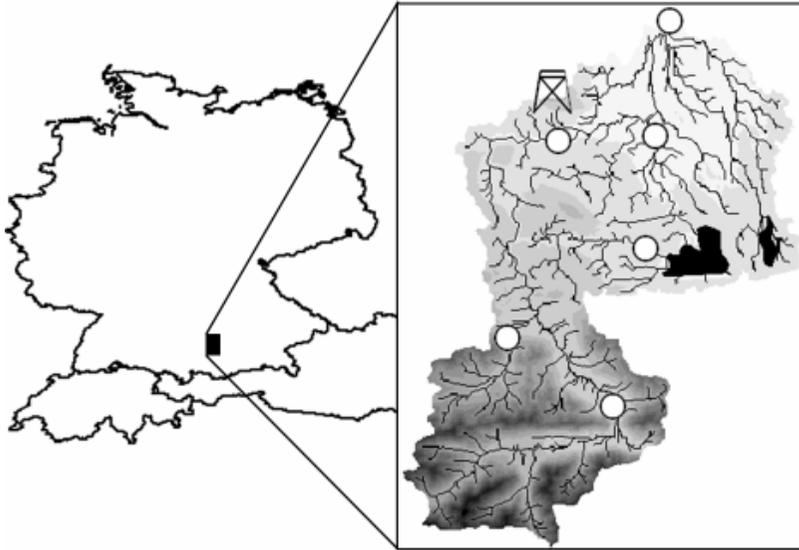
Atmosphärenmodellierung ⇒ Niederschlag, Temperatur, etc.:
Herausforderung alpine Orographie:
kleine räumliche Unsicherheit im Niederschlag ⇒ große Fehler im Abfluss

Wellenfortpflanzung: In Ursprungsgebieten nicht möglich
⇒ prozessorientierte hydrologische Modellierung (z.B. Infiltration, Bildung von Oberflächenabfluss)

Hydrologische Modellierung ⇒ Abfluss:
Herausforderung alpine Abflussprozesse (z.B. Verkarstung),
Schneedeckendynamik

⇒ Abflussvorhersage erfordert **Modellsysteme** für atmosphärische Prozesse und Abflussprozesse!

Ammer-Einzugsgebiet



Landsat TM (30m)
[ch 7-5-3]
1991-30-08

- Fläche: 710 km²

- Komplexe Orographie

- Höhe: 530-2190m N.N.

- Mittlerer Niederschlag: 1400 mm/a

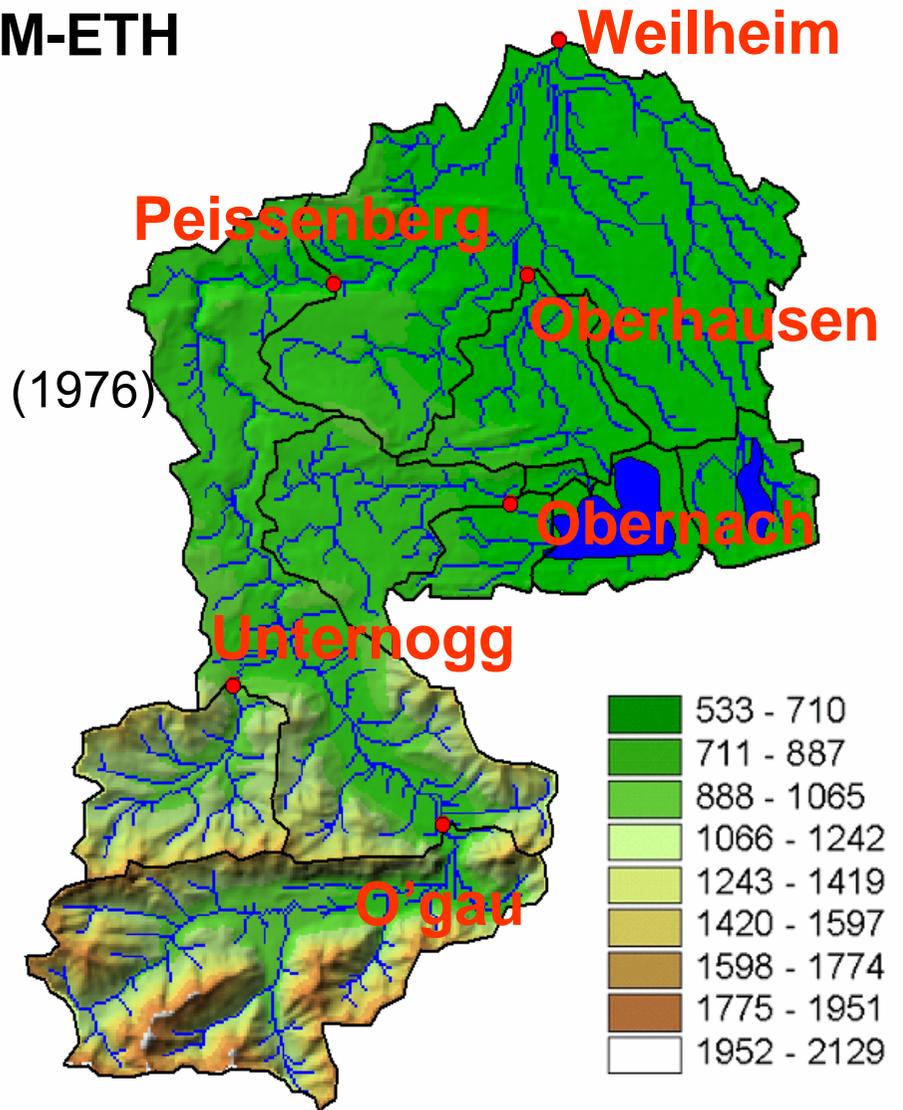
- Tage mit Schneebedeckung: 127/a

- Temperaturgradient: $\approx 0.6 \text{ }^\circ\text{C}/100\text{m}$

Modellkomponente 1: Hydrologisches Modell

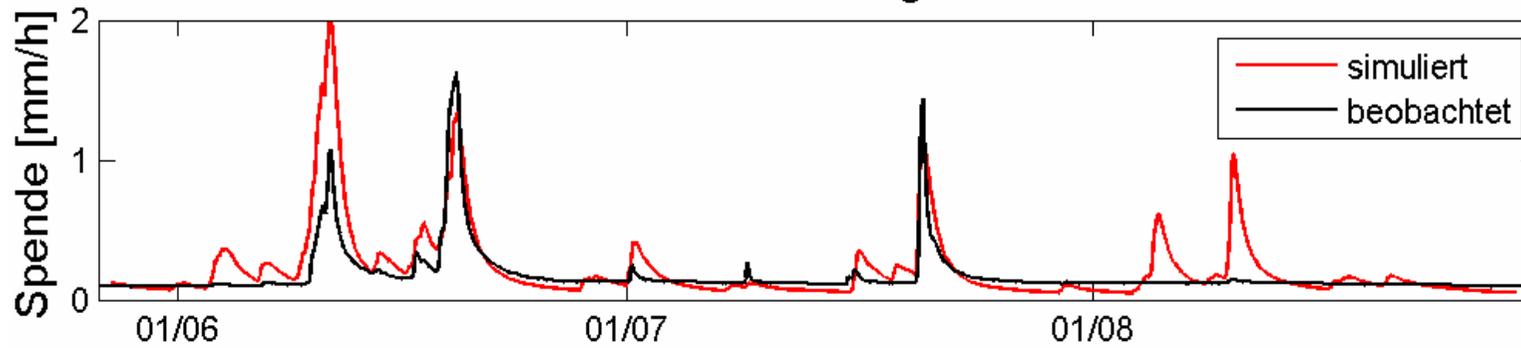
Wasserhaushalts-Simulations-Modell WaSiM-ETH

- flächendifferenziertes Modell
- physikalisch basierte Prozessbeschreibungen
 - Richardsgleichung (Richards, 1931)
 - hydraulische Leitfähigkeit nach van Genuchten (1976)
 - Evapotranspiration nach Penman-Monteith (Monteith, 1975; Brutsaert, 1982)
 - Schneespeichermodell (Anderson, 1993)
- **Initialisierung von Speicherzuständen möglich**
- Zeitschritt 1h
- horizontale Auflösung 100 m
- Kalibrierung 5 emp. Parameter pro Teil-EZG **auf Basis von Stationsdaten**: Speicherzu- und auslaufkonstanten und Leitfähigkeitsparameter

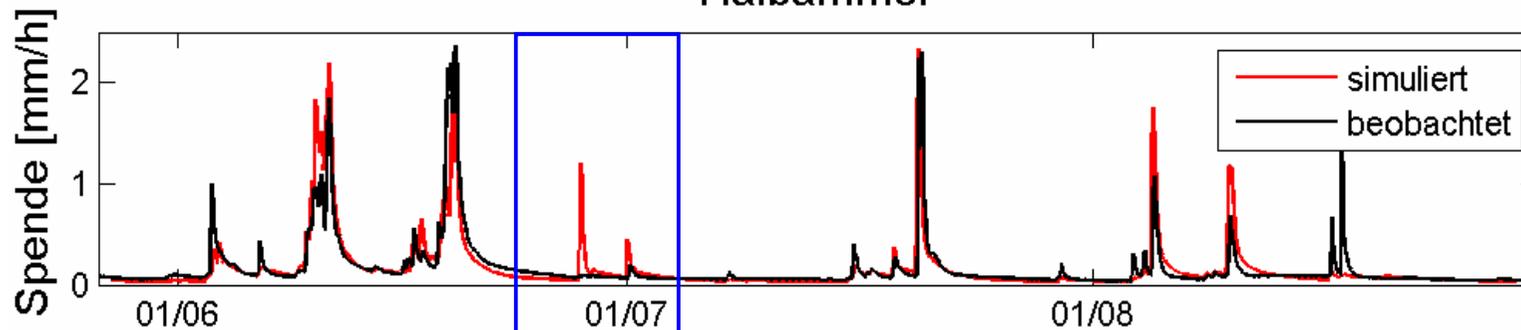


Ergebnisse der Kalibrierung

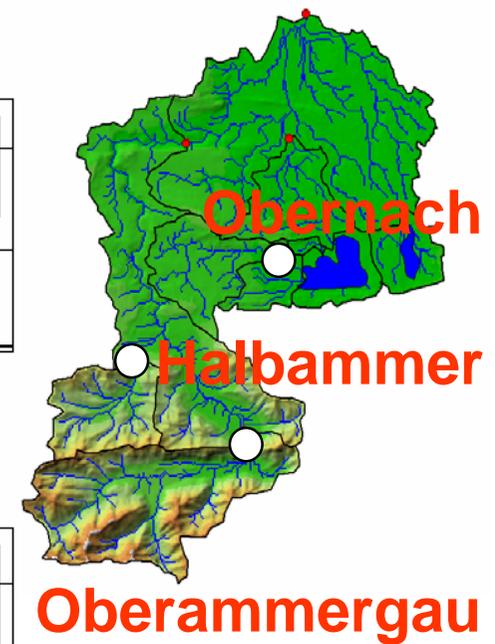
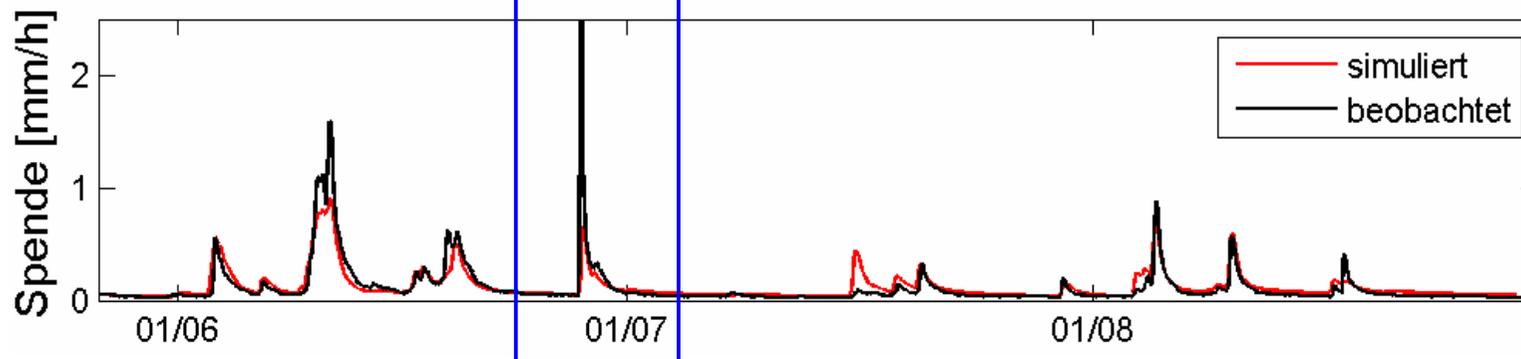
Oberammergau



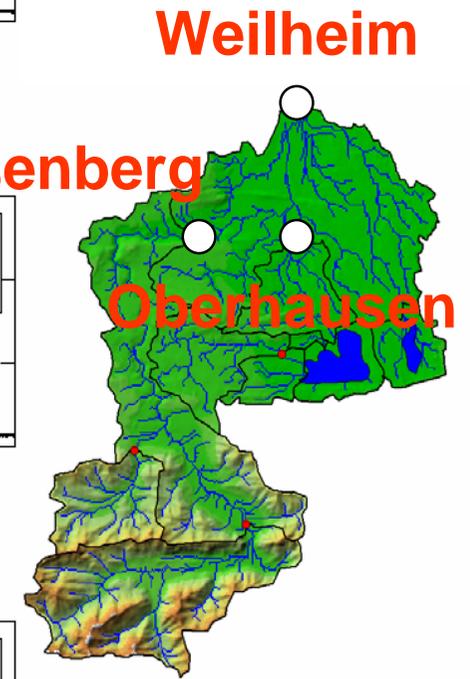
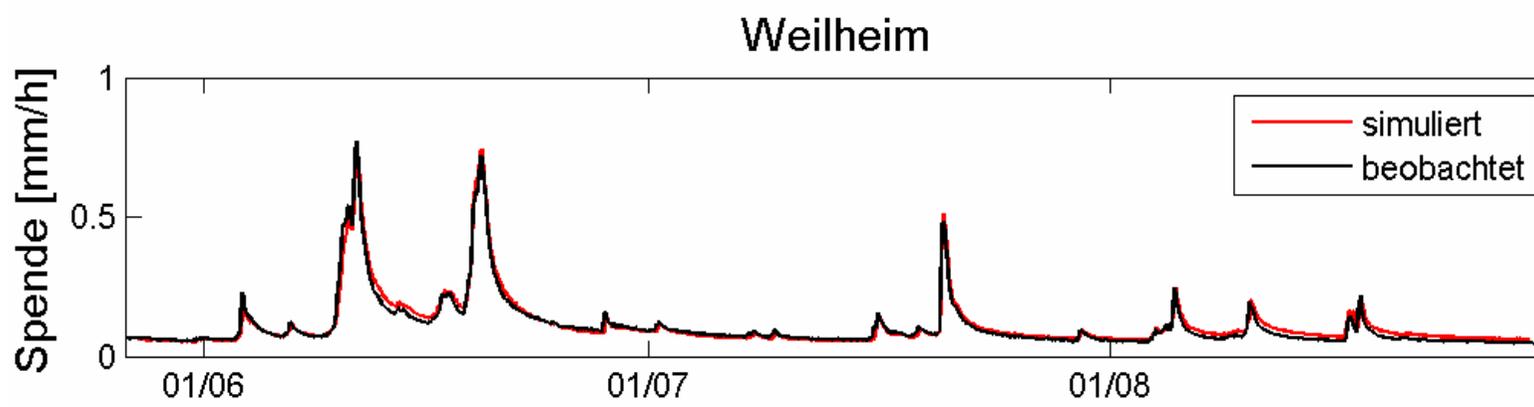
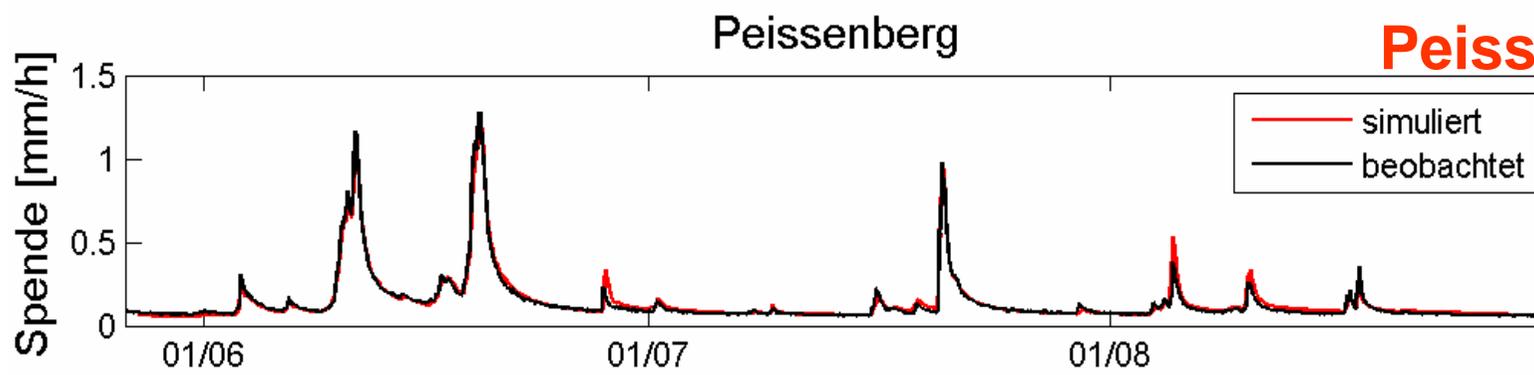
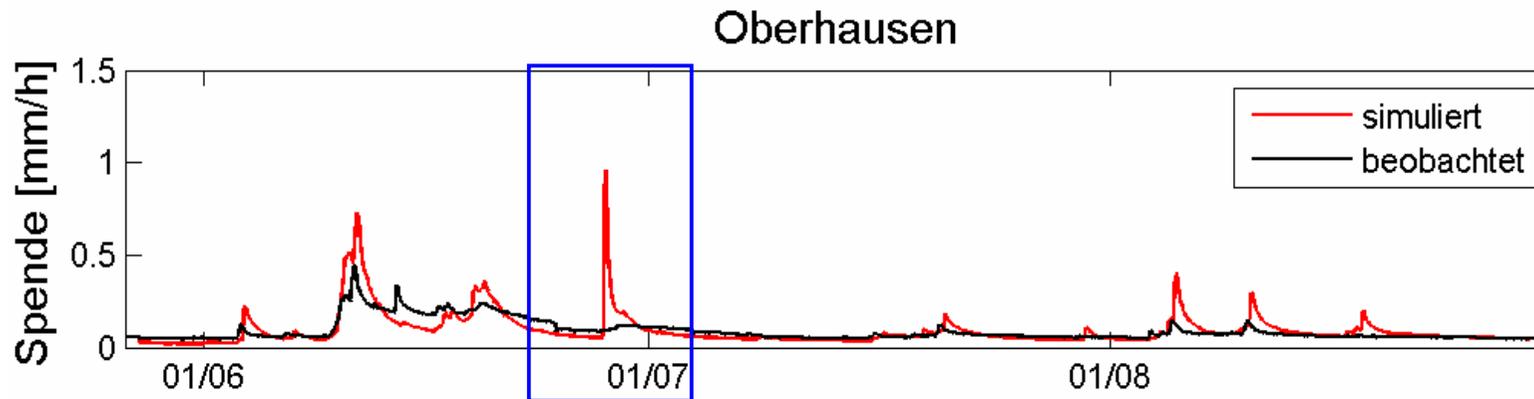
Halbammer



Obernach



Ergebnisse der Kalibrierung

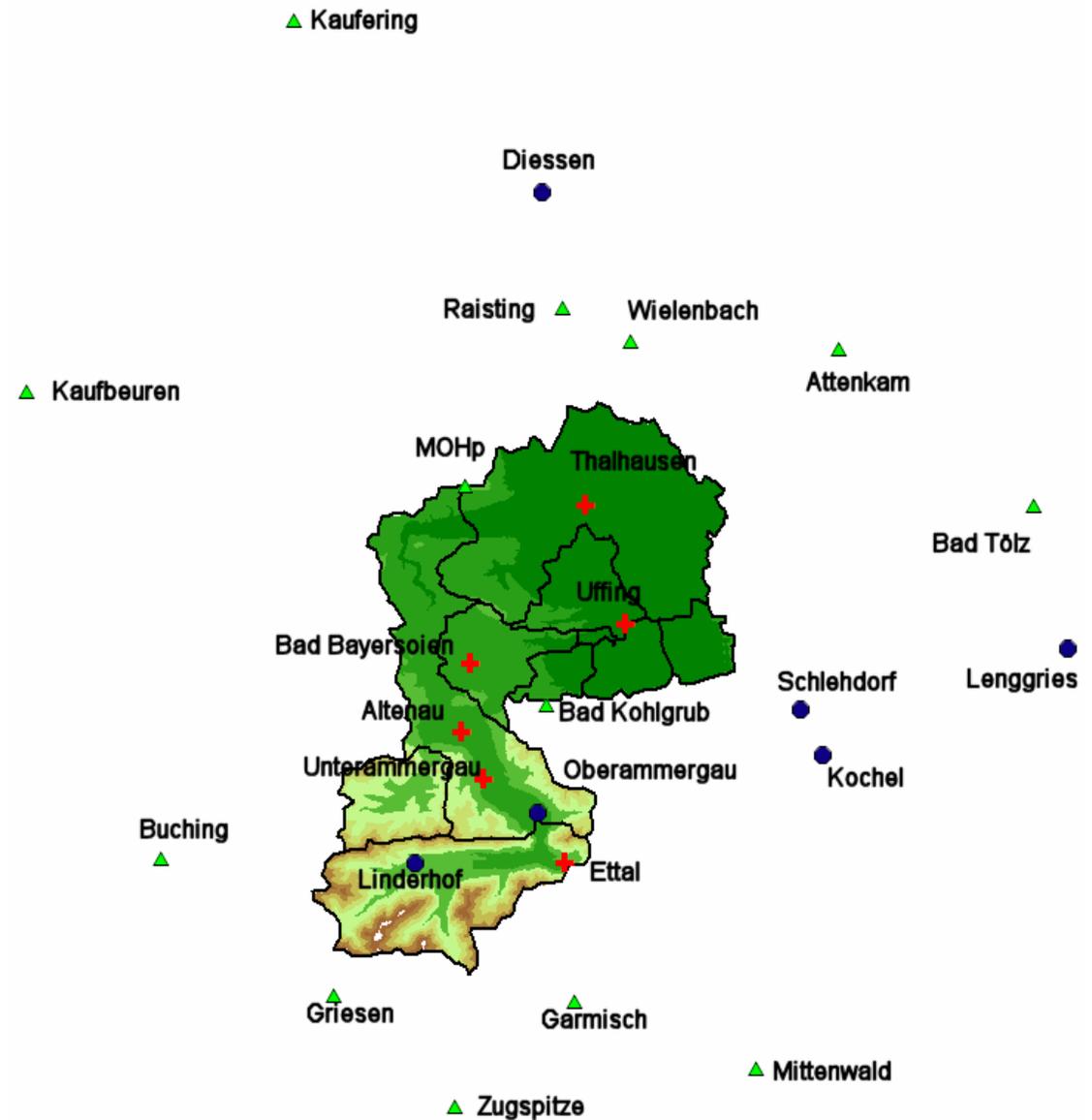


Hydrologische Modellierung: Messstationen

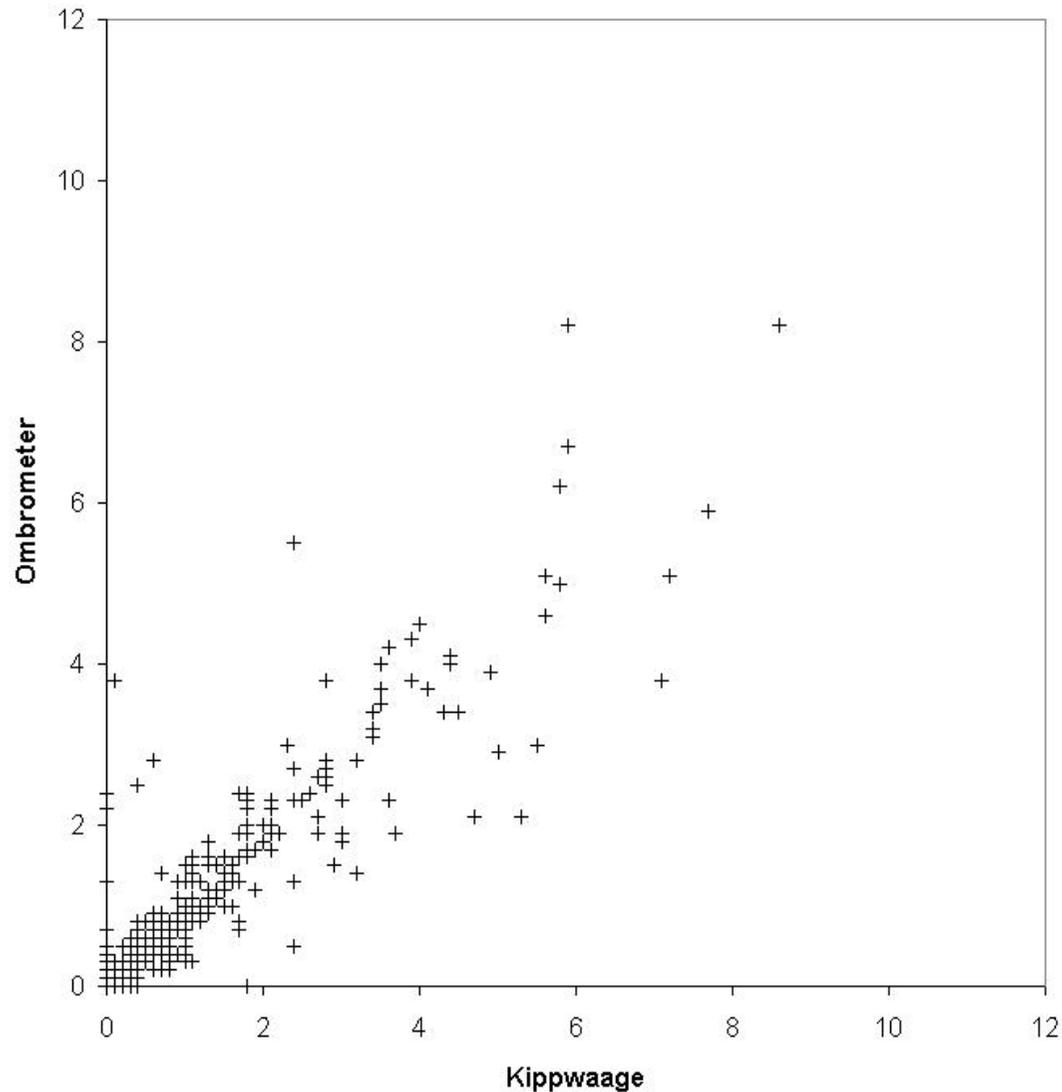
München Stadt

Verfügbare Stationen
Sommer 2001:
Nur grüne Dreiecke!

1. Wenig dichtes Messnetz



Vergleich Niederschlagsmessung HHP [mm/h], Juni-August 2001



- Zwei Niederschlagsmessgeräte
- unterschiedliche Messprinzipien
- Entfernung ~ 4m

2. Repräsentativität von Punktmessungen für die Fläche?

Liefern Radardaten die Lösung?



Insgesamt ~65000 Szenen
für den Zeitraum
Juni-August 2001

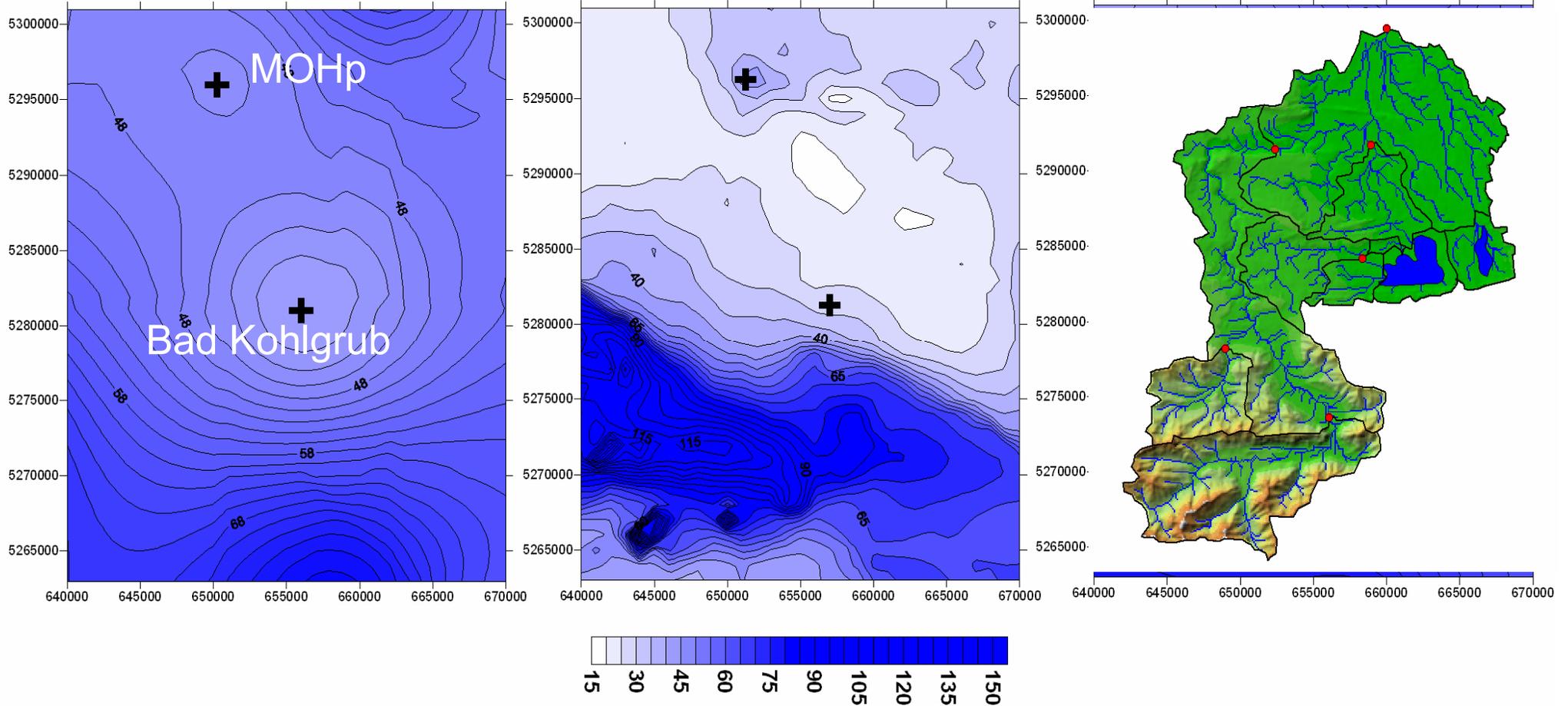
3-minütige Radardaten vom Meteorologischen Obs. Hohenpeißenberg

Eingangsdaten: Niederschlagsfelder

IDW

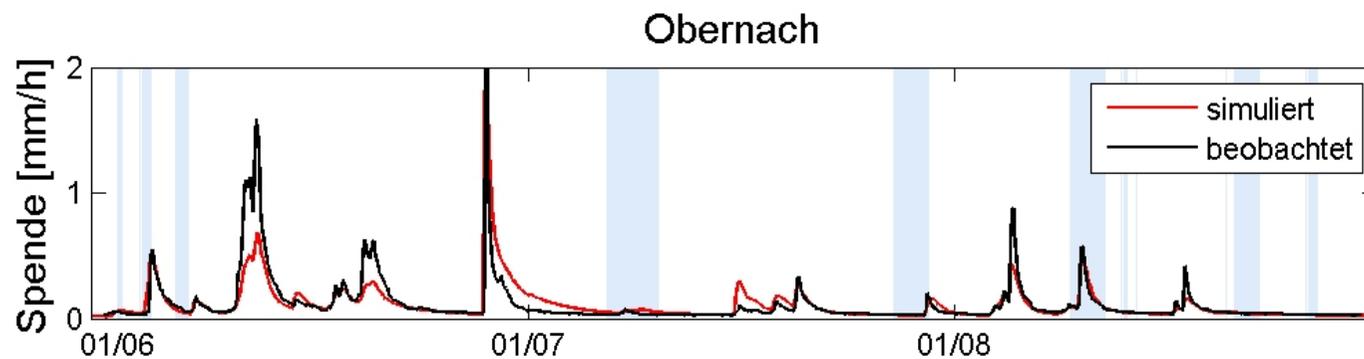
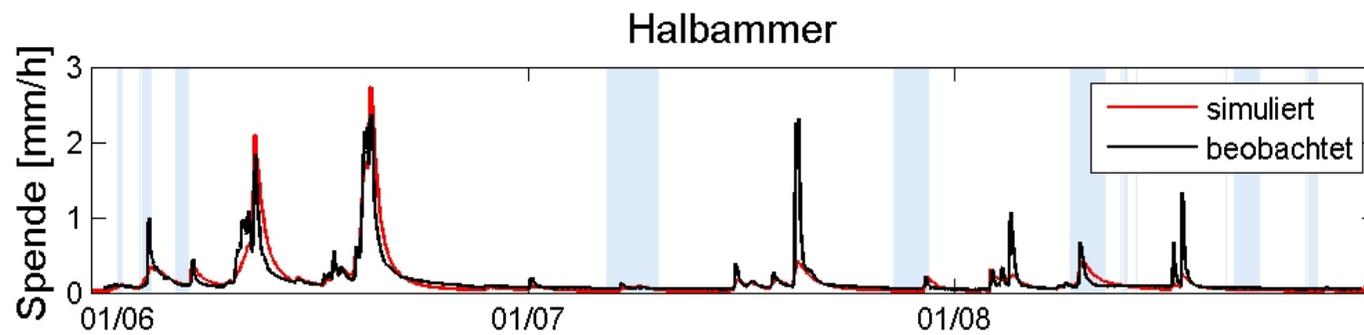
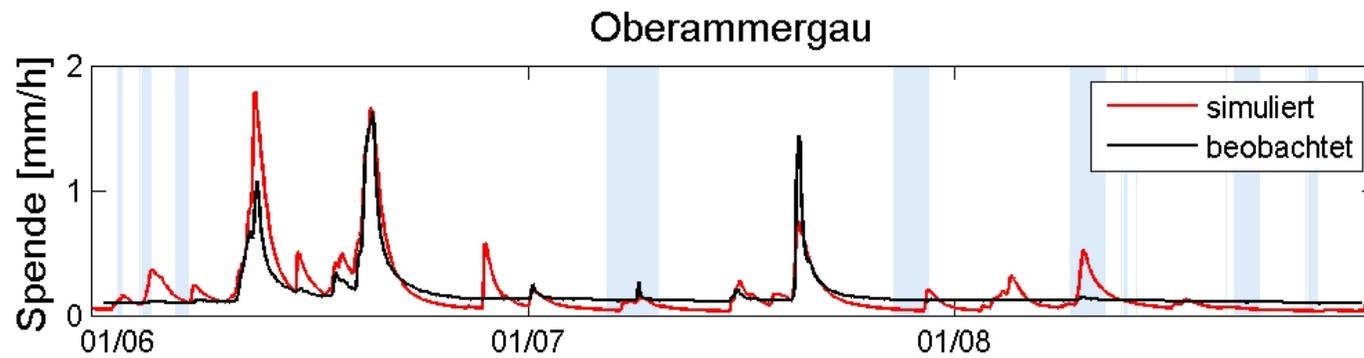
Radar (Q-Z/R)

Ordinary Kriging



Niederschlagssumme 17.-21.06.2001 [mm]

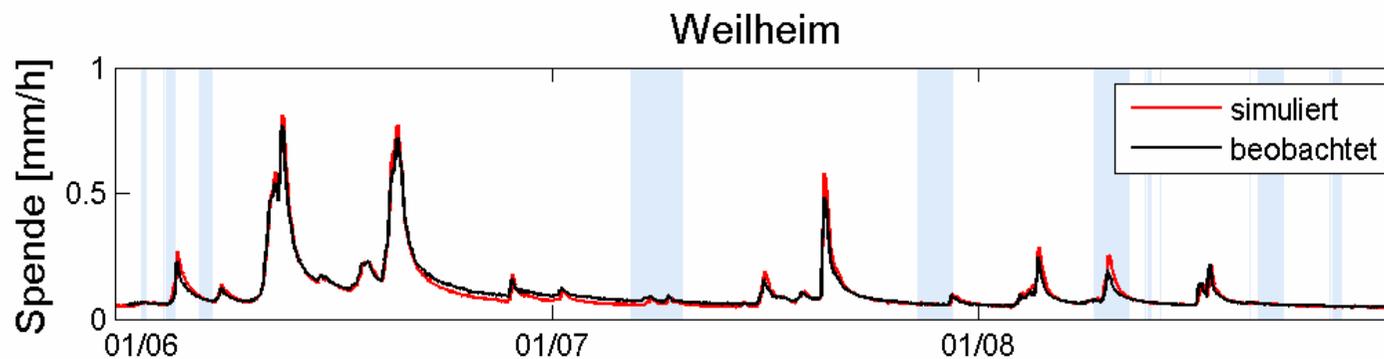
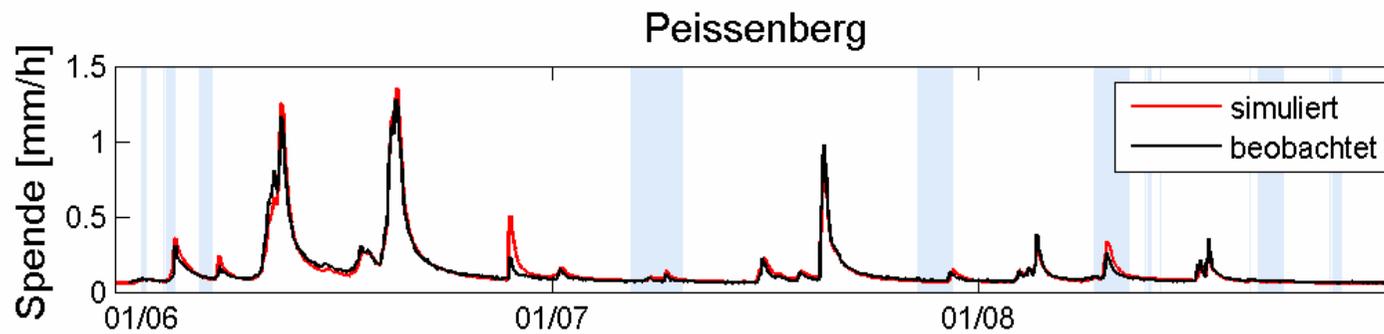
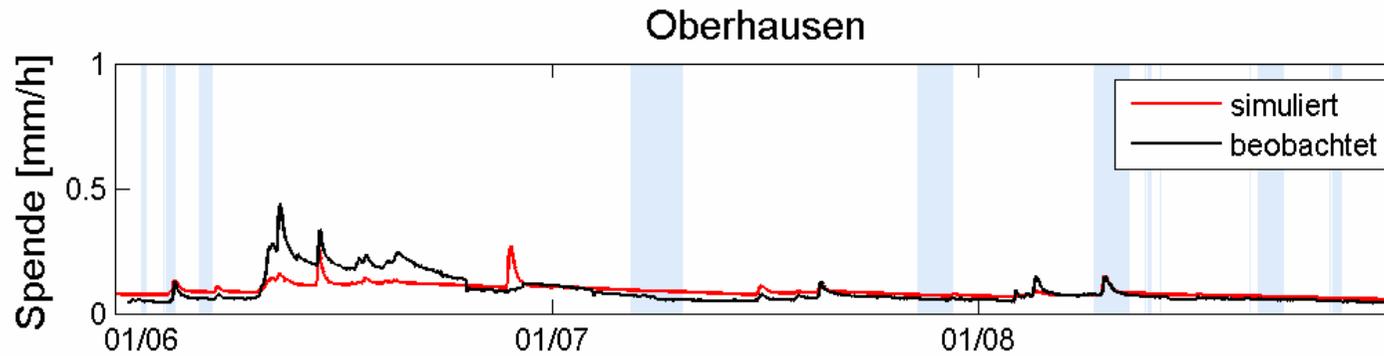
Radarbasierte Simulationen



Sommer 2001

Blau hinterlegt:
Radardatenlücken

Radarbasierte Simulationen

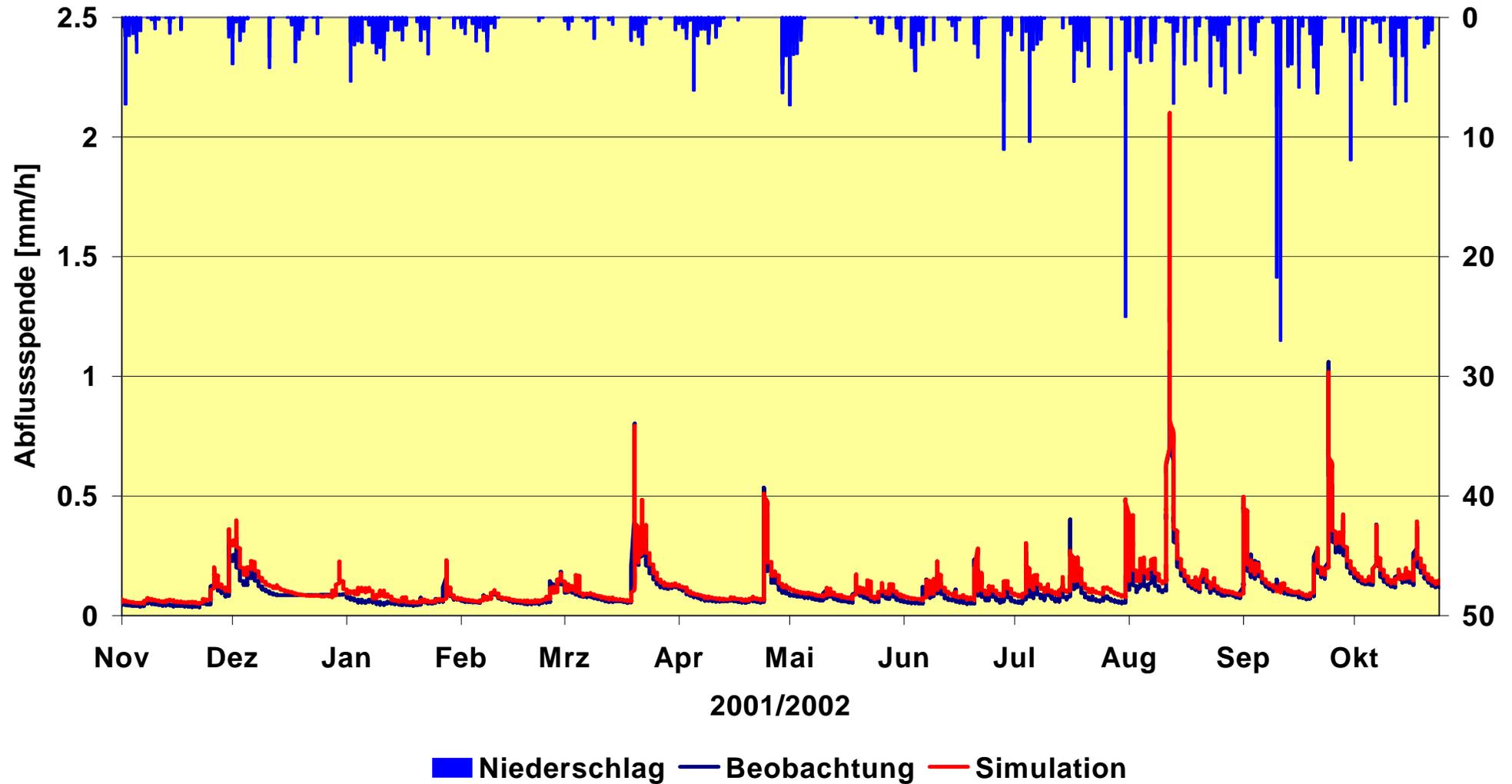


Sommer 2001

Blau hinterlegt:
Radardatenlücken

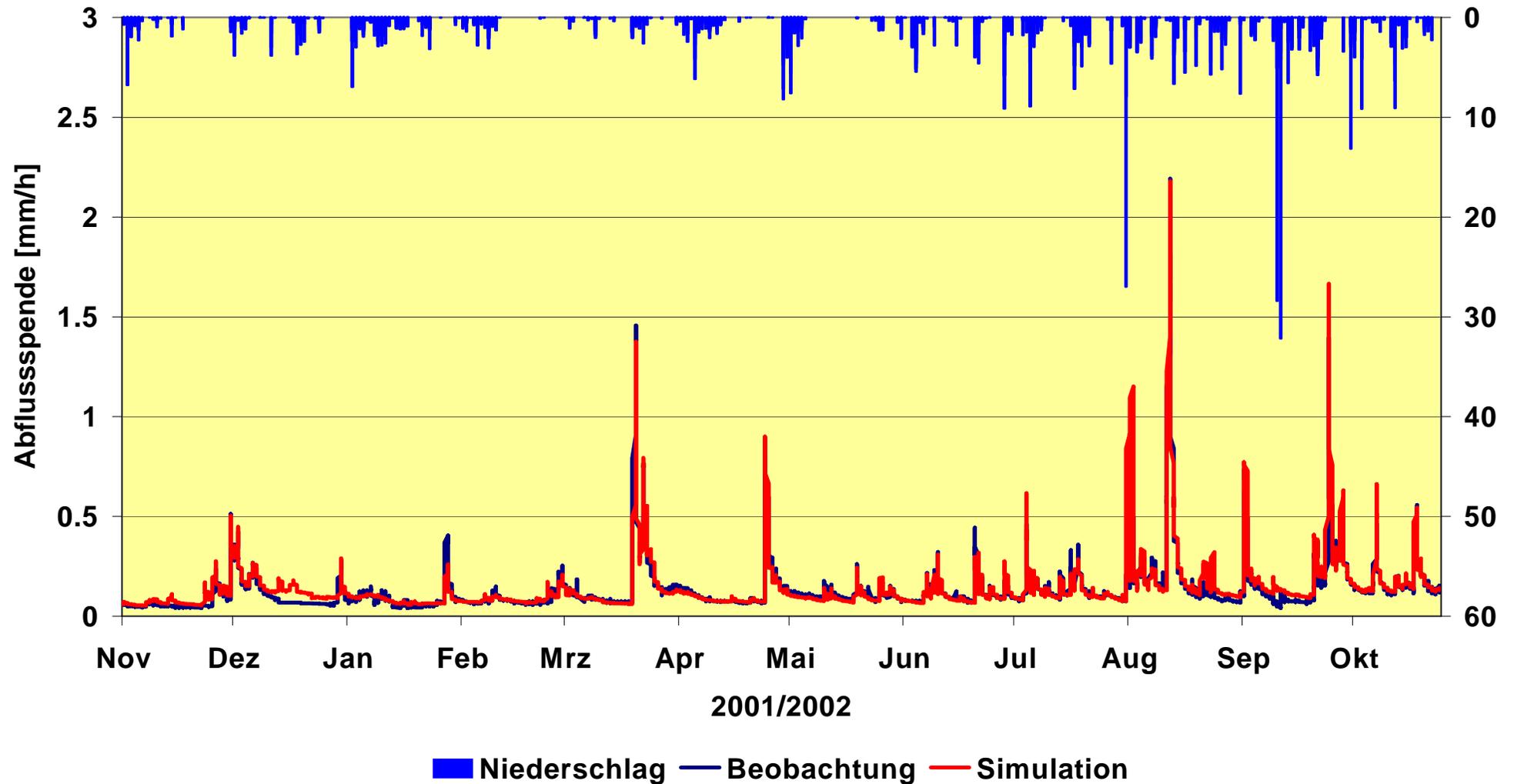
Ergebnisse der Validierung

Weilheim

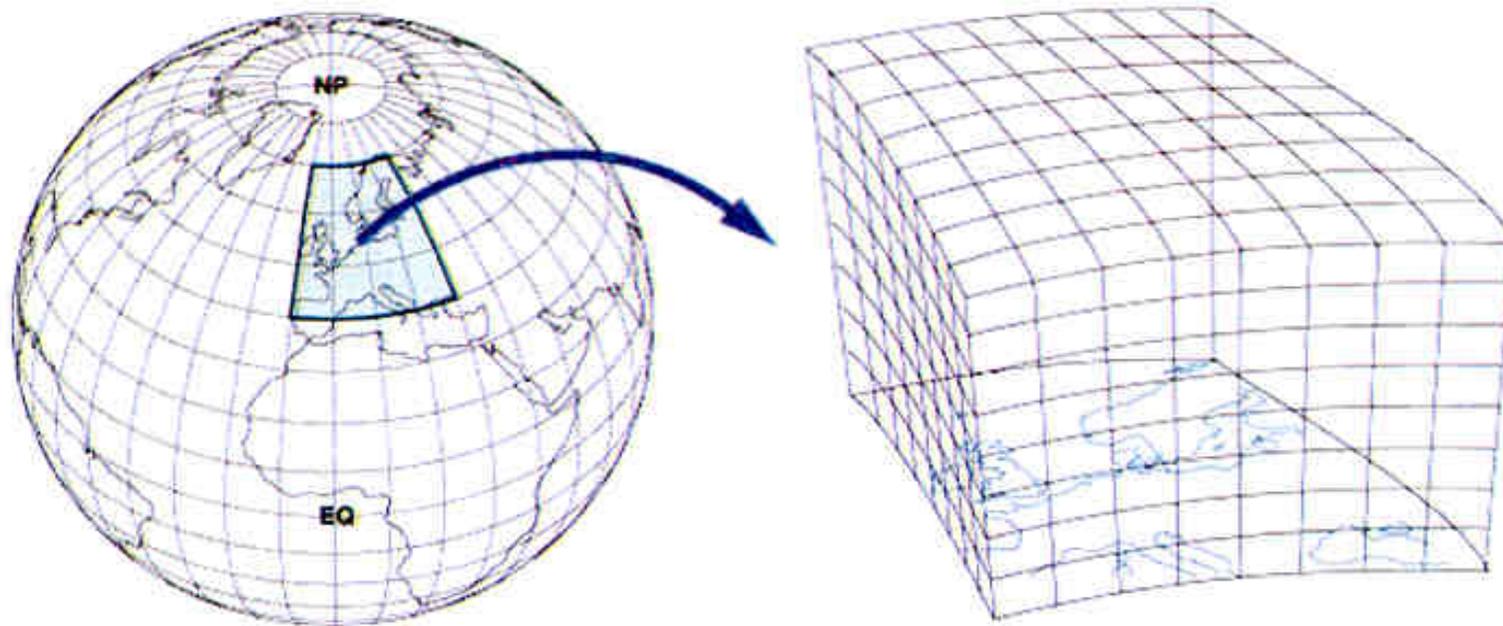


Ergebnisse der Validierung

Peißenberg



Modellkomponente 2: Atmosphärisches Modell

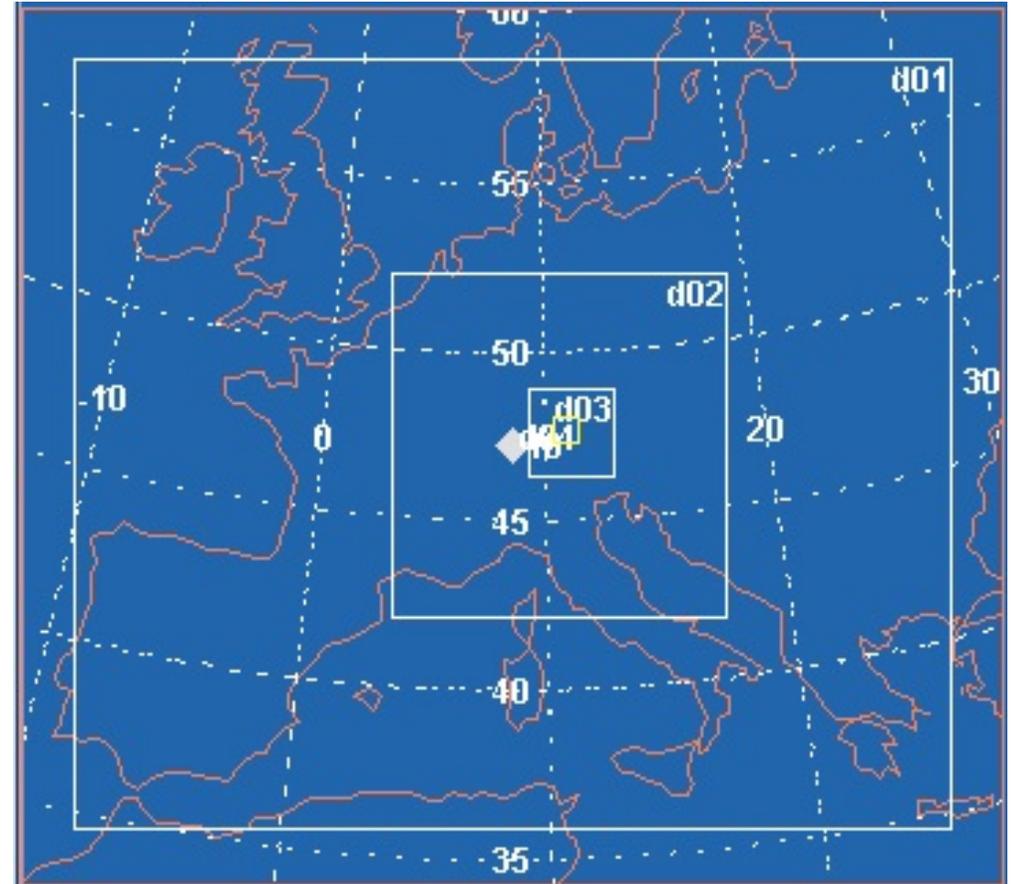


- Modell Weather Research and Forecast (WRF) seit 2004
- Erhaltungsgleichungen für Energie & Impuls
- bis zu 7 Erhaltungsgleichungen für Feuchtevariablen
- verschiedene Parameterisierungsschemen für *subgrid*-skalige Prozesse (z.B. für turbulente Grenzschicht & konvektive Niederschläge)
- $\Delta t \approx 6 \text{ sec}-3 \text{ min}$, $80 \times 80 \times 25 = 160,000$ Gitterpunkte
- FD-Schemen zur numerischen Lösung

Regionales Modell WRF Weather Research and Forecast

- Setup:
 - d01 54 km
 - d02 18 km
 - d03 6 km
 - d04 2 km

- 33 geländefolgende Höhengschichten

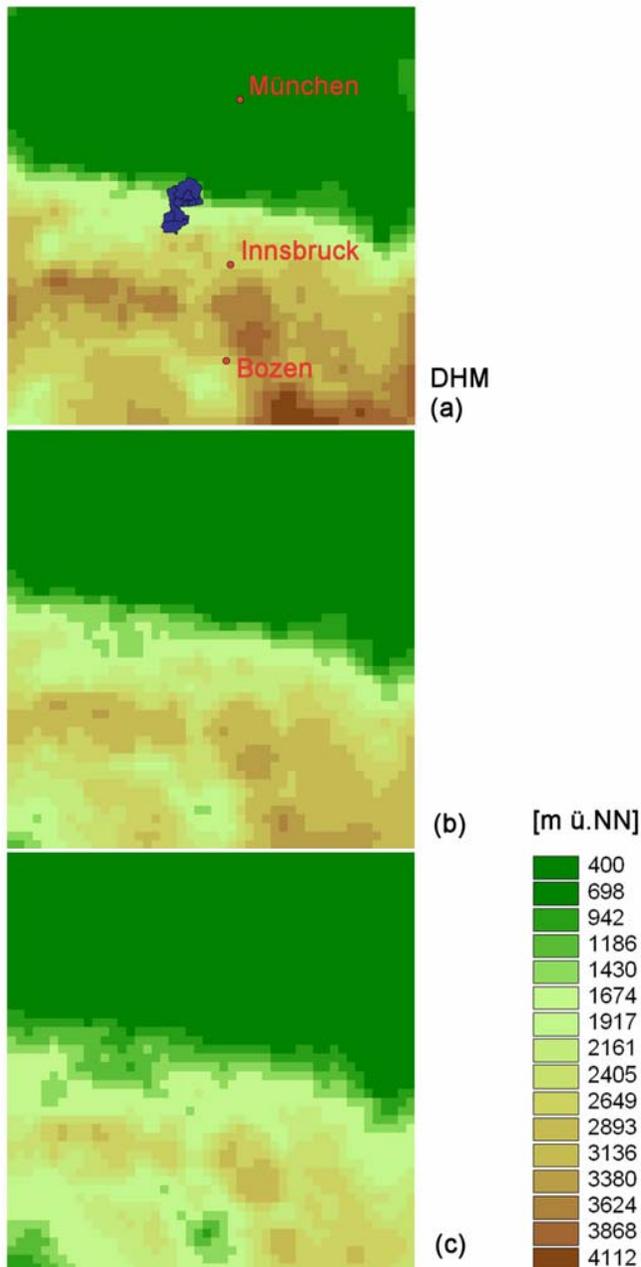


Wie gut sind die NWP-Daten für die hydrologische Modellierung?

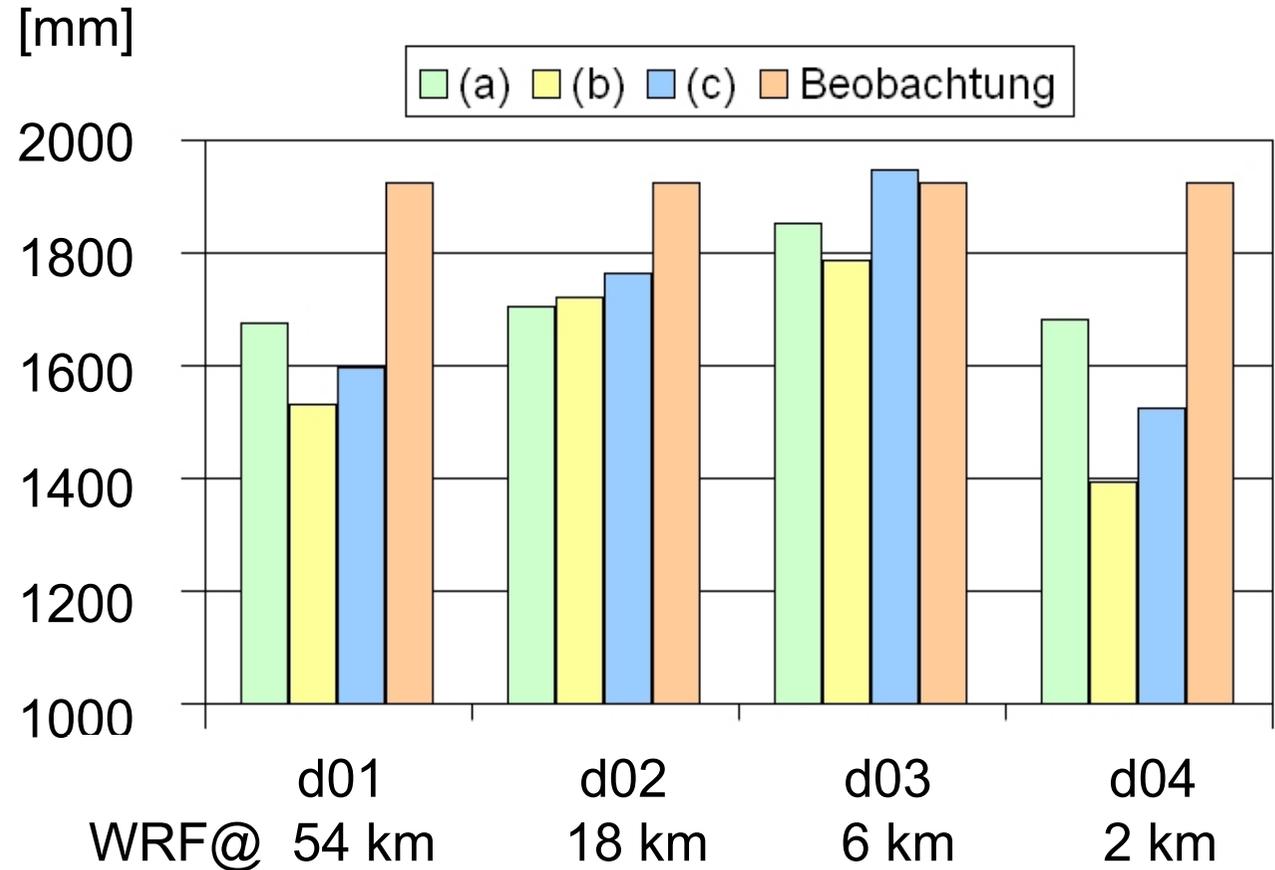
→ Aufbau eines Ein-Wege gekoppelten Modellsystems WRF-WaSiM

Basierend auf 72h-Vorhersagen für das Augusthochwasser 2005 wurden Sensitivitätsstudien bezüglich Niederschlag und Temperatur durchgeführt:

- **Globale Antriebsdaten:**
 - a) GFS Forecast- und
 - b) GFS Analyse-Daten
- **Parametrisierungen für:**
 - a) gridskaliger Niederschlag
 - b) Kumulus Niederschlag
 - c) PBL (Grenzschicht) Optionen
 - d) 2 Landoberflächenmodelle (LSM)
- 3 WRF-Höhenmodelle
- **Wettervorhersagedaten in 4 Domains (54-2km)**



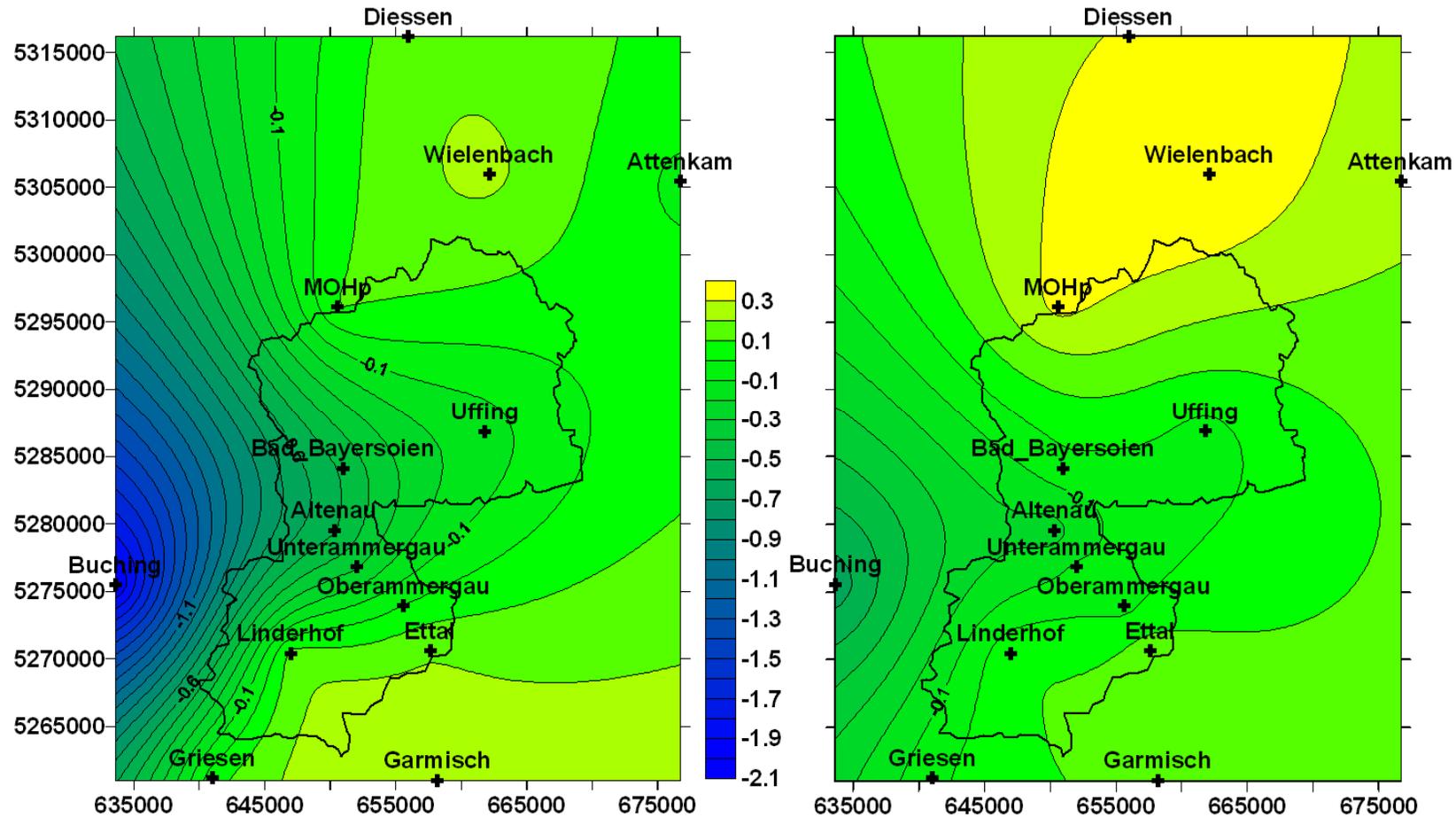
Wieviel Niederschlag berechnet WRF?



Niederschlagssumme von 18 Stationen und korrespondierende 2×2 WRF-Gridzellen

Auswirkung unterschiedlicher Parametrisierungen

Relativer Fehler ZWEIER 72h-Niederschlagsvorhersagen (Hochwasser 2005) mit unterschiedlichen Parametrisierungen für grid- und subgridskaligen Niederschlag, Grenzschicht (PBL) und Landoberfläche (LSM) im Vgl. zu Beobachtungen.

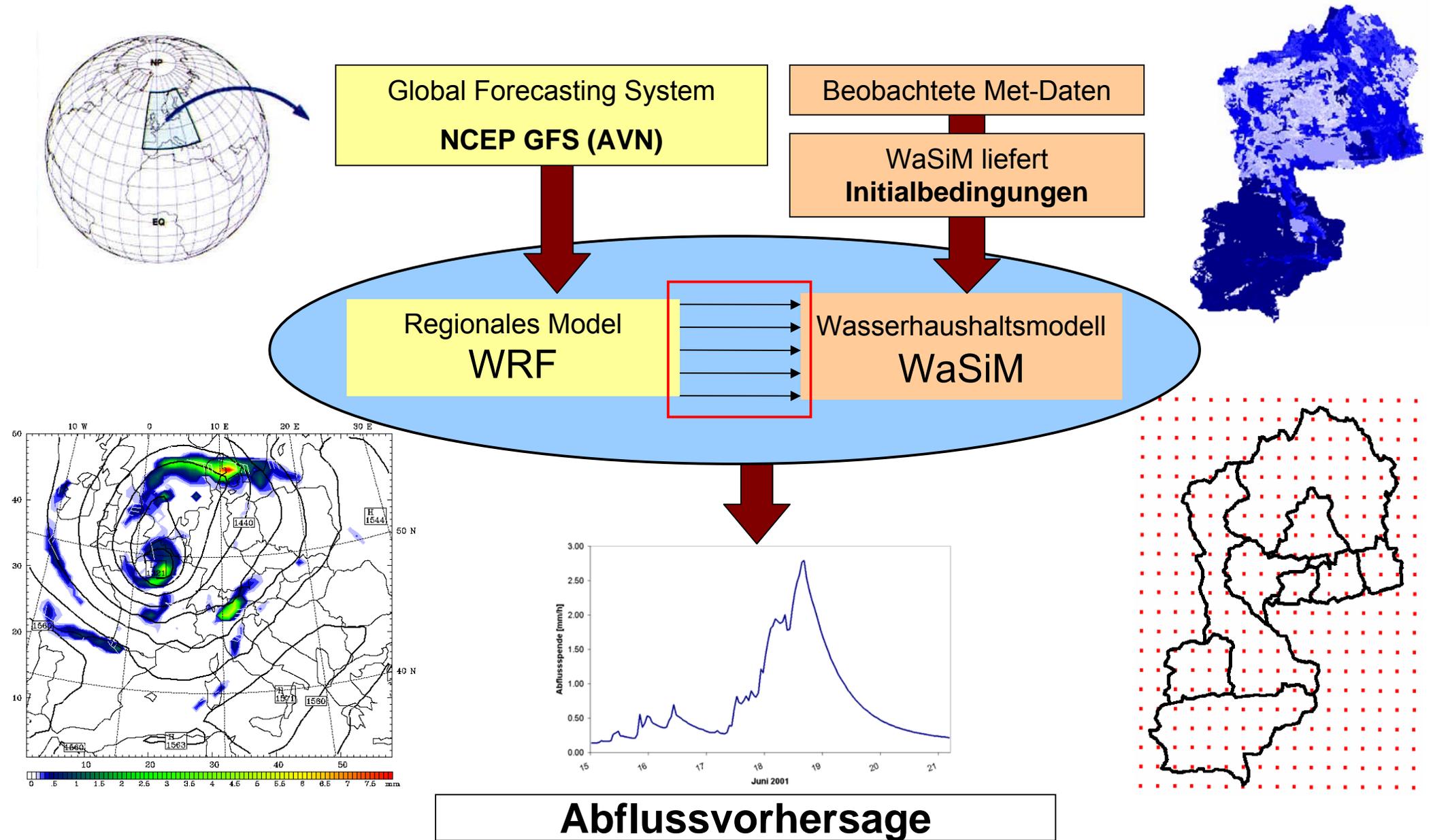


NCEP (2 km) -

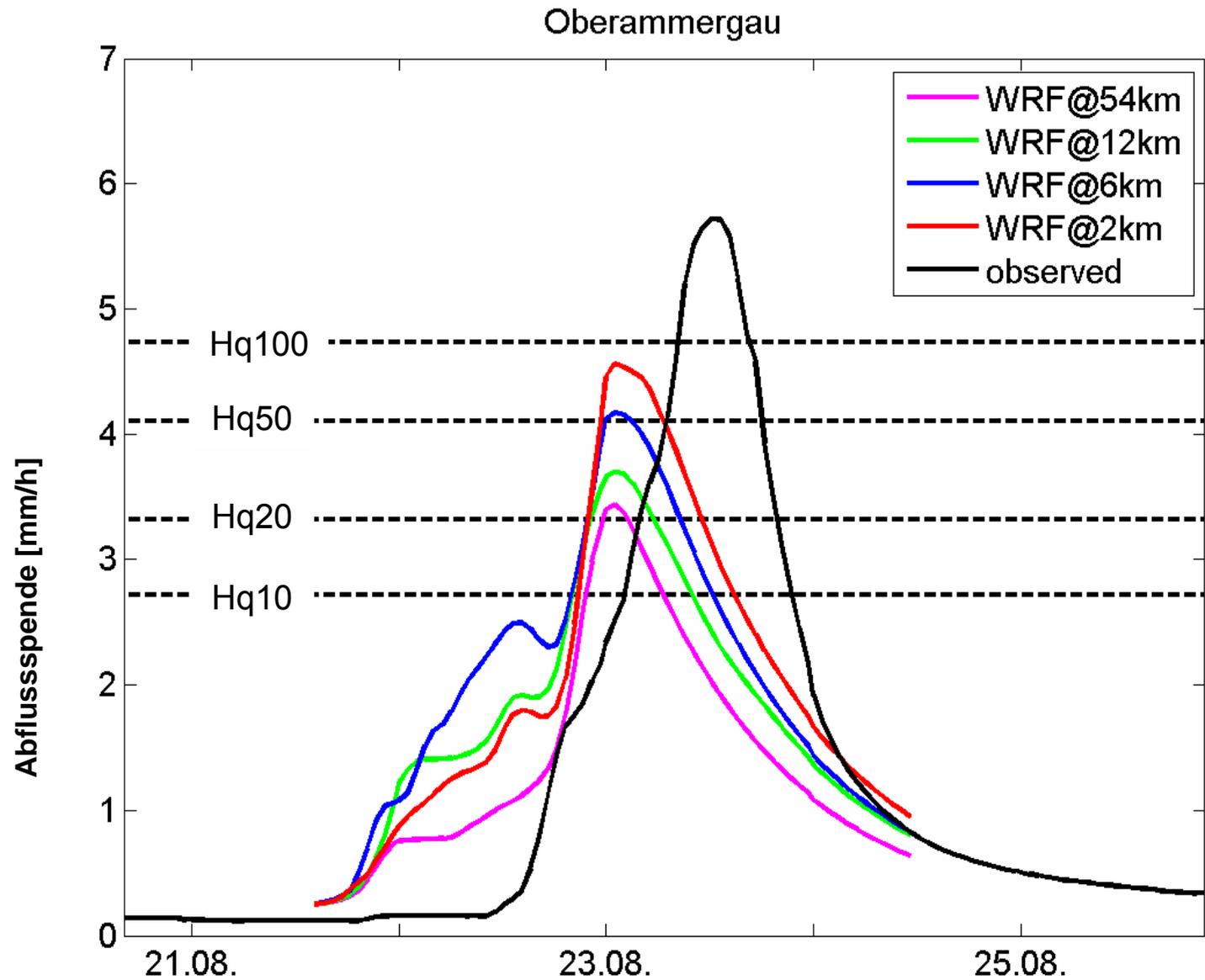
Eta (15 km)-Parametrisierung

Hochwasserfrühwarnung

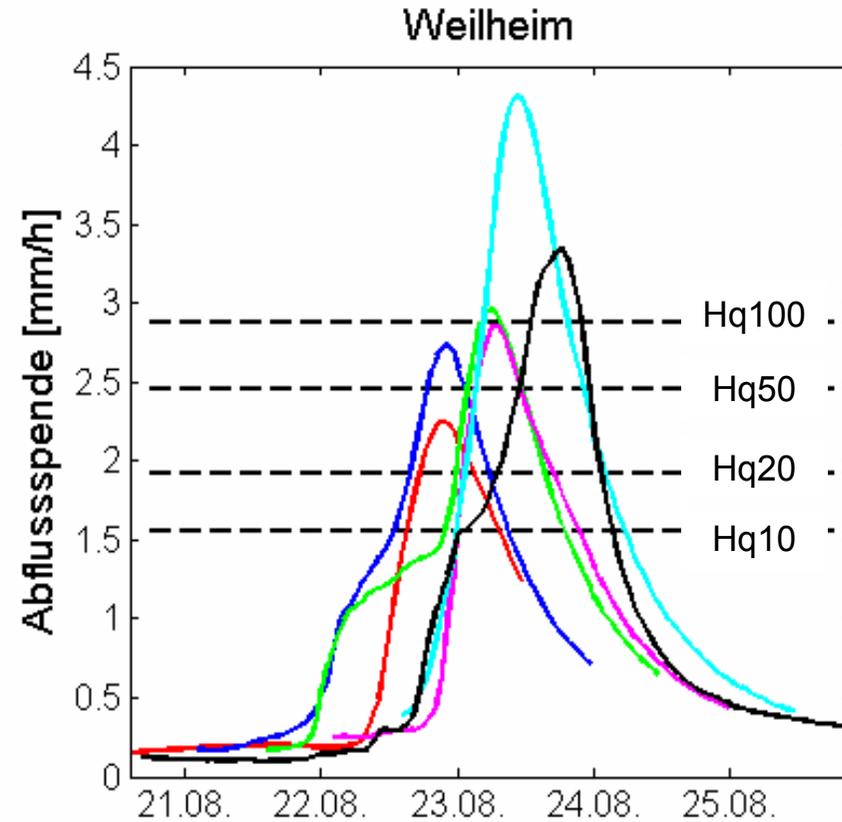
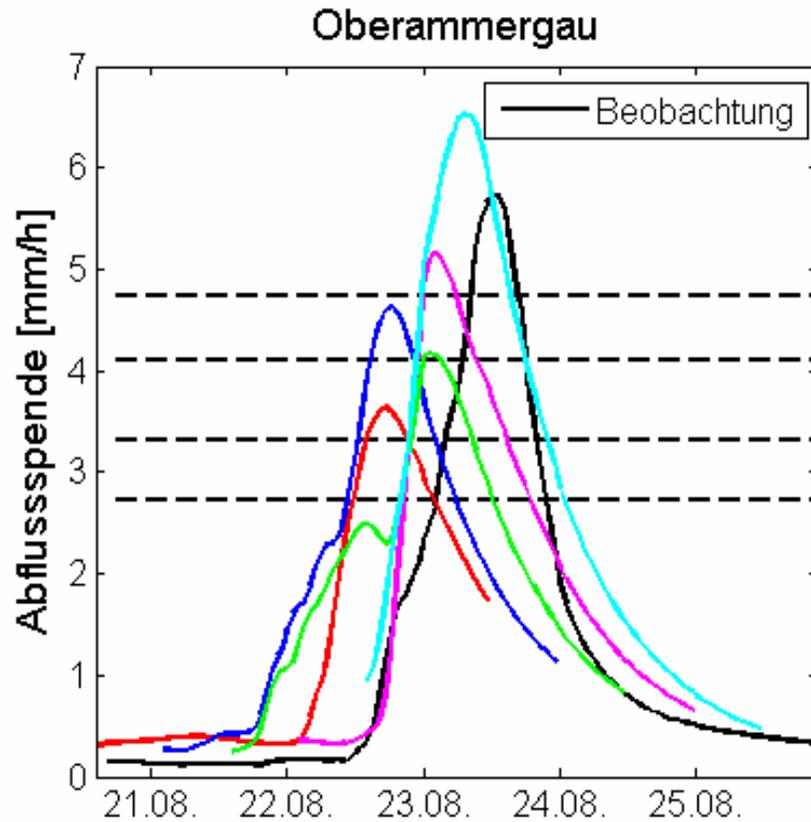
Das Hochwasserfrühwarnsystem



Auswirkung unterschiedlicher WRF-Auflösungen



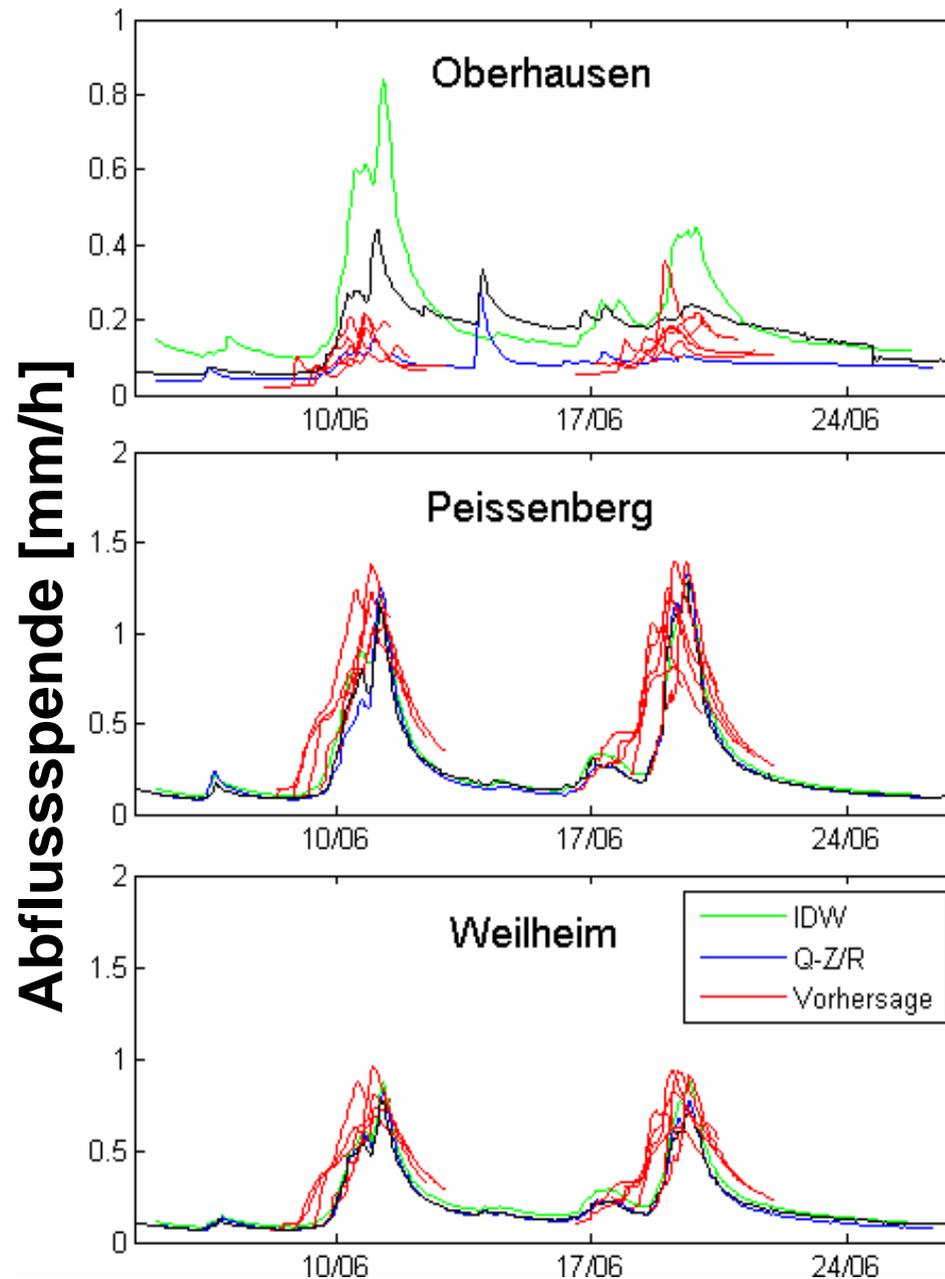
Hochwasser 2005: zeitliche Entwicklung



48h - Vorwarnzeit ist realistisch!



Validierung des gekoppelten Modellsystems



13 Vorhersagen für zwei
Abflussereignisse im Juni 2001

Validierung zeigt gute
Ergebnisse, wo beide
Teilkomponenten es zulassen!

Klimawandel und Hochwasser

Hintergrund:

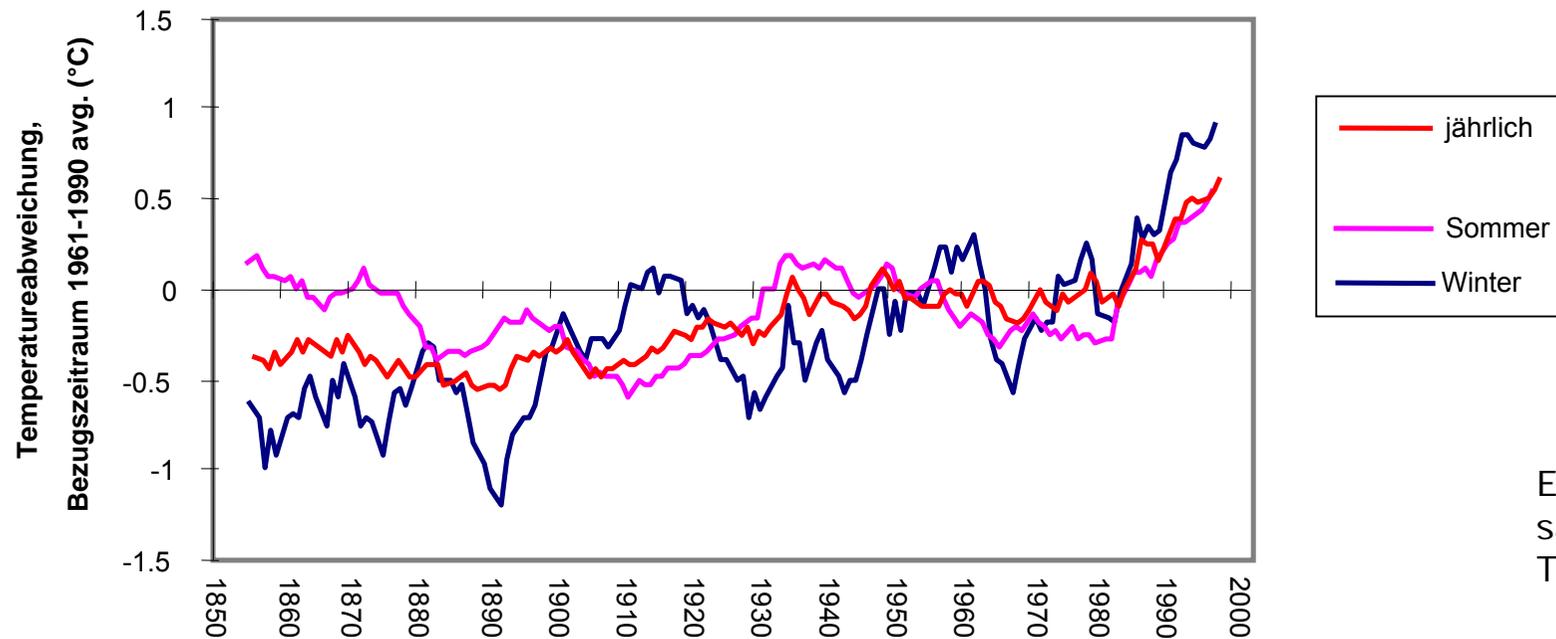
- Höhere Temperaturen \Rightarrow höhere Verdunstungen
- Warme Luft kann mehr Feuchtigkeit transportieren \Rightarrow erhöhter atm. Wassergehalt
- Latente Wärmeenergie \Rightarrow höherer atmosphärischer Energieinhalt

\Rightarrow Intensivierung des Wasserkreislaufs

Folgen

- Veränderte Intensitäten
- Veränderte zeitliche & räumliche Verteilung

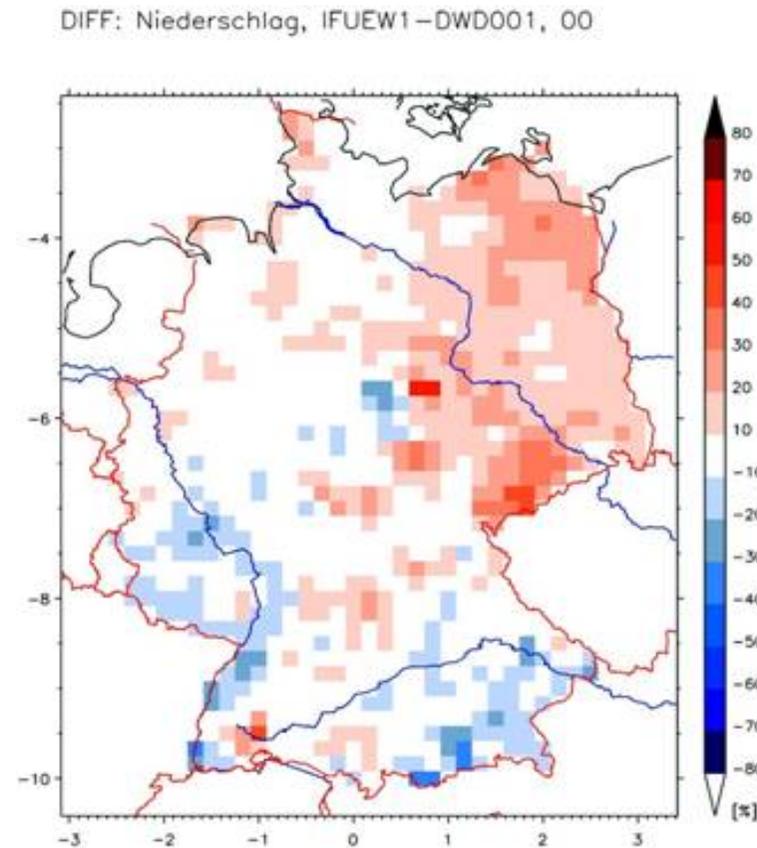
\Rightarrow Zunahme von Hochwassergefahr



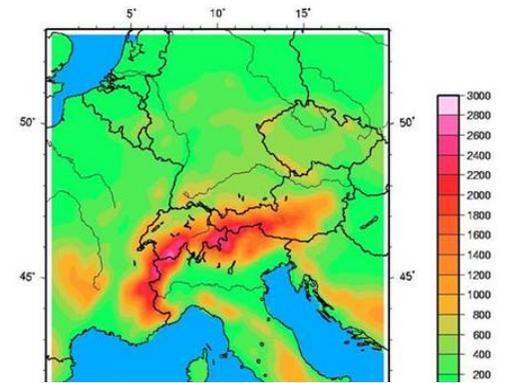
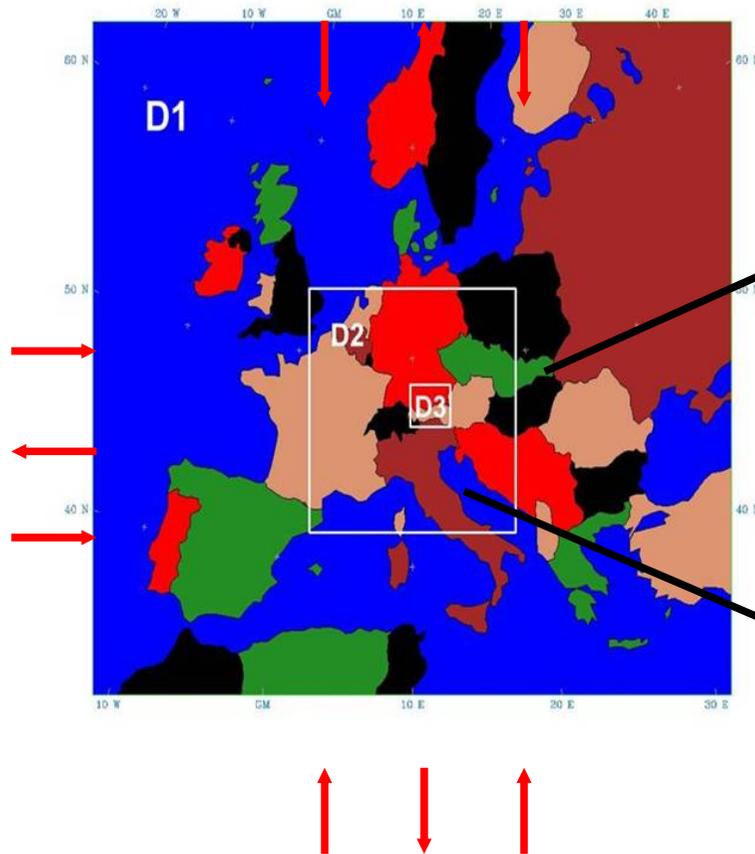
Europa: jährliche und saisonale mittlere Temperaturabweichung

- Globale Temperatur: $+ 0.7 \pm 0.2$ °C in den letzten 100 Jahren
- Europa: $+0.95$ °C, Sommer $+0.7$ °C , Winter $+1.1$ °C
- **Alpen $+1.6$ °C**

Wie gut reproduziert das atmosphärische Modell den Niederschlag?

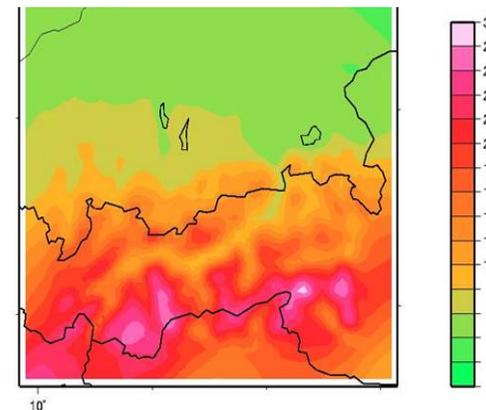


Unterschied [%] simulierter Niederschlag MM5 (19 km)
vs. DWD interpolierte Stationsdaten 1979-1993



BayForUV Domain3

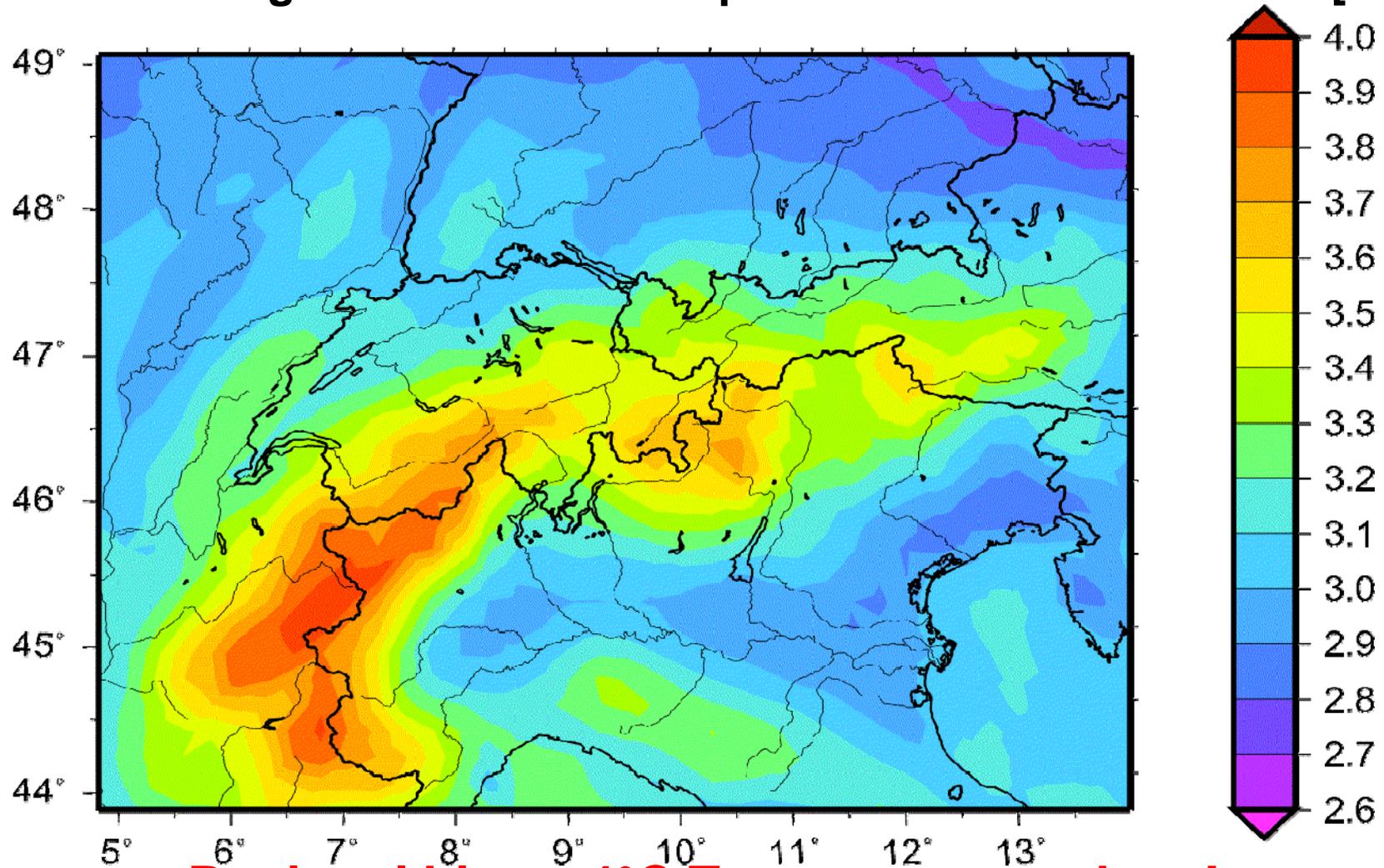
Orografie in
20x20 km²
Auflösung



Orografie in
4x4 km²
Auflösung

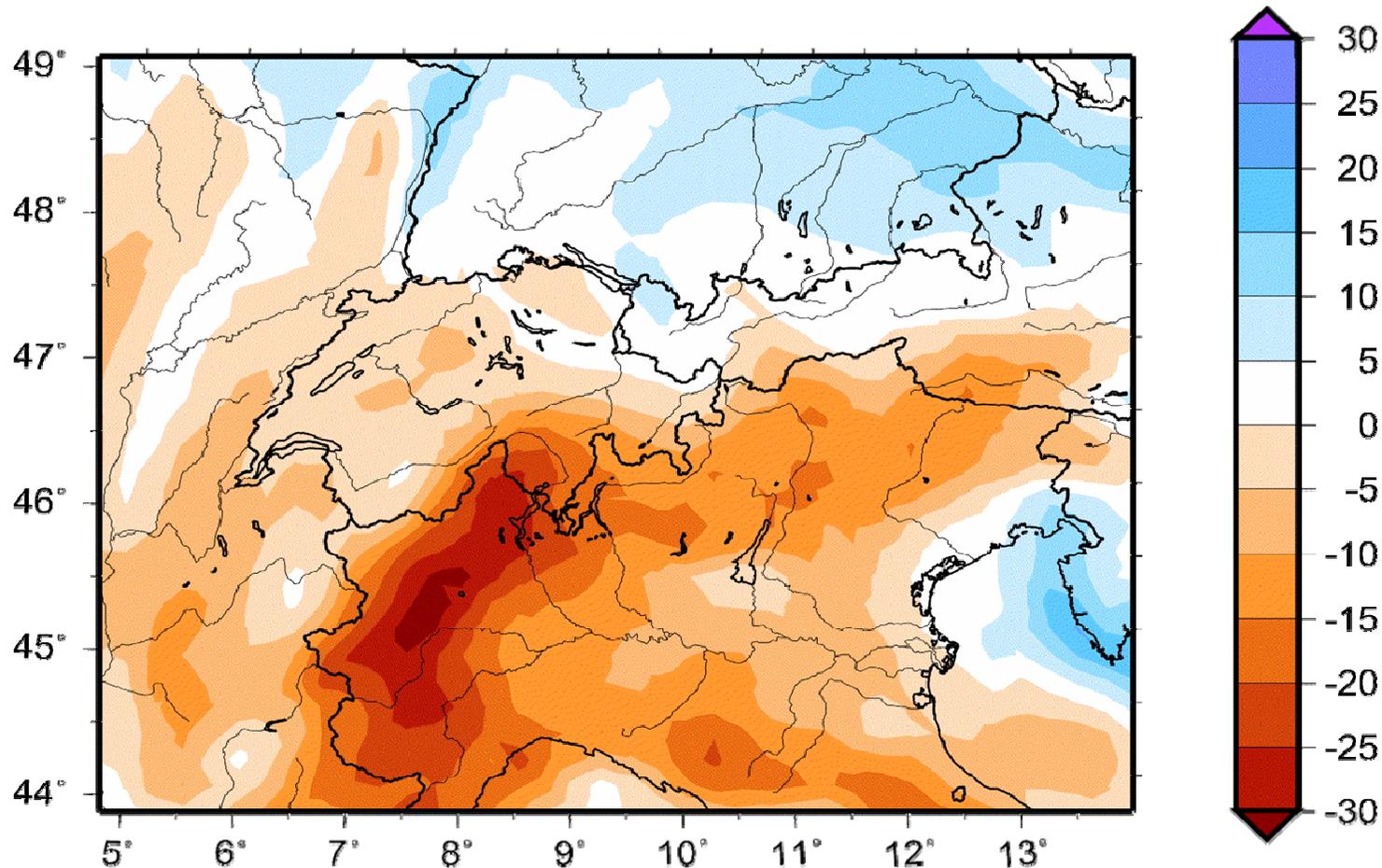
Antrieb Globales Klimaszenario ⇒ Langfristige Entwicklung Wasserhaushalt

Änderung mittlere Jahrestemperatur 2070-99 vs. 1960-89 [°C]



⇒ Regional bis zu 4°C Temperaturzunahme!

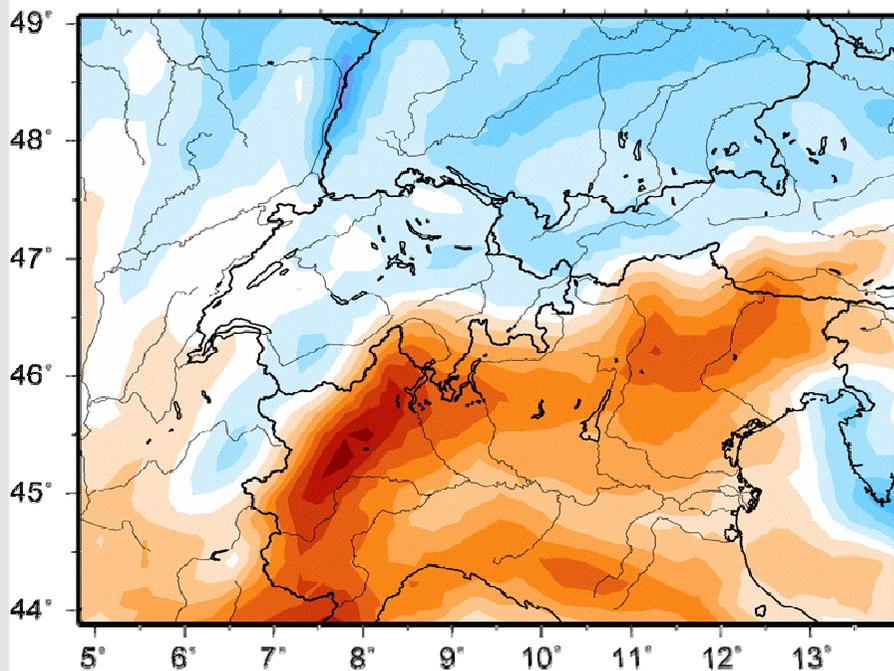
Änderung mittlerer Jahresniederschlag 2070-99 vs. 1960-89 [%]



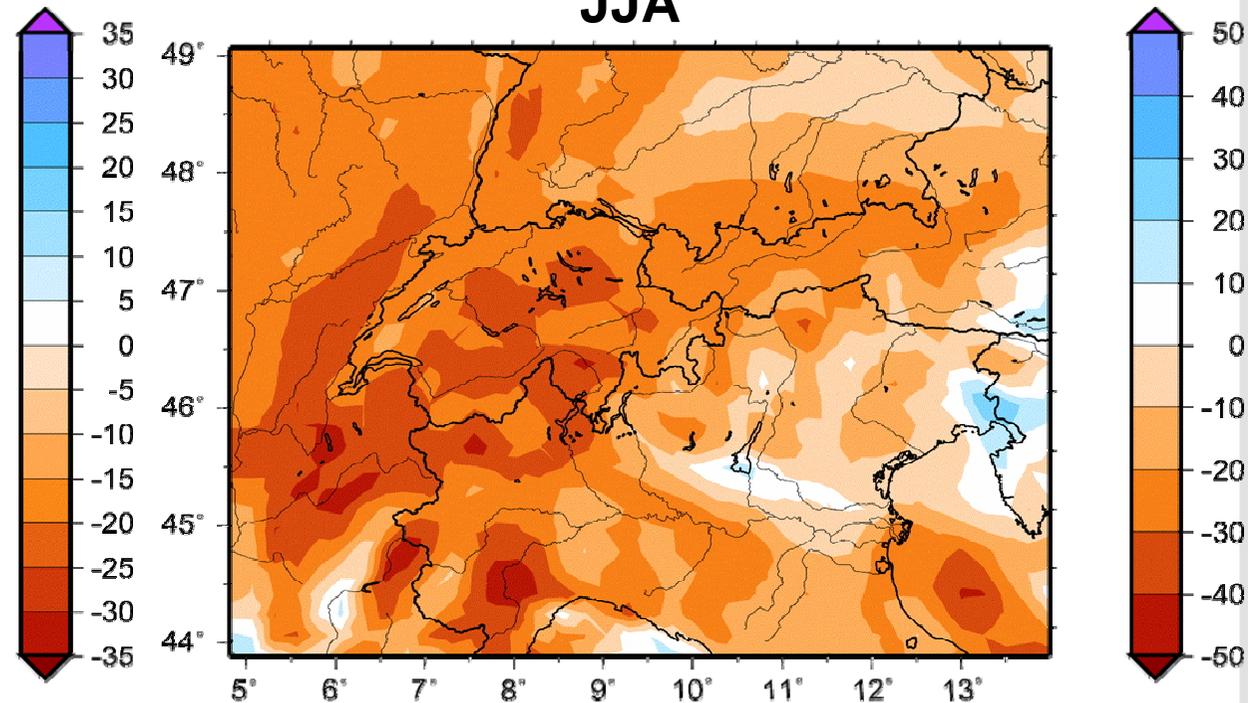
⇒ **Regional bis zu 30% weniger Gesamtniederschläge, aber ...**

Änderung saisonale Niederschläge 2070-99 vs. 1960-89 [%]

DJF

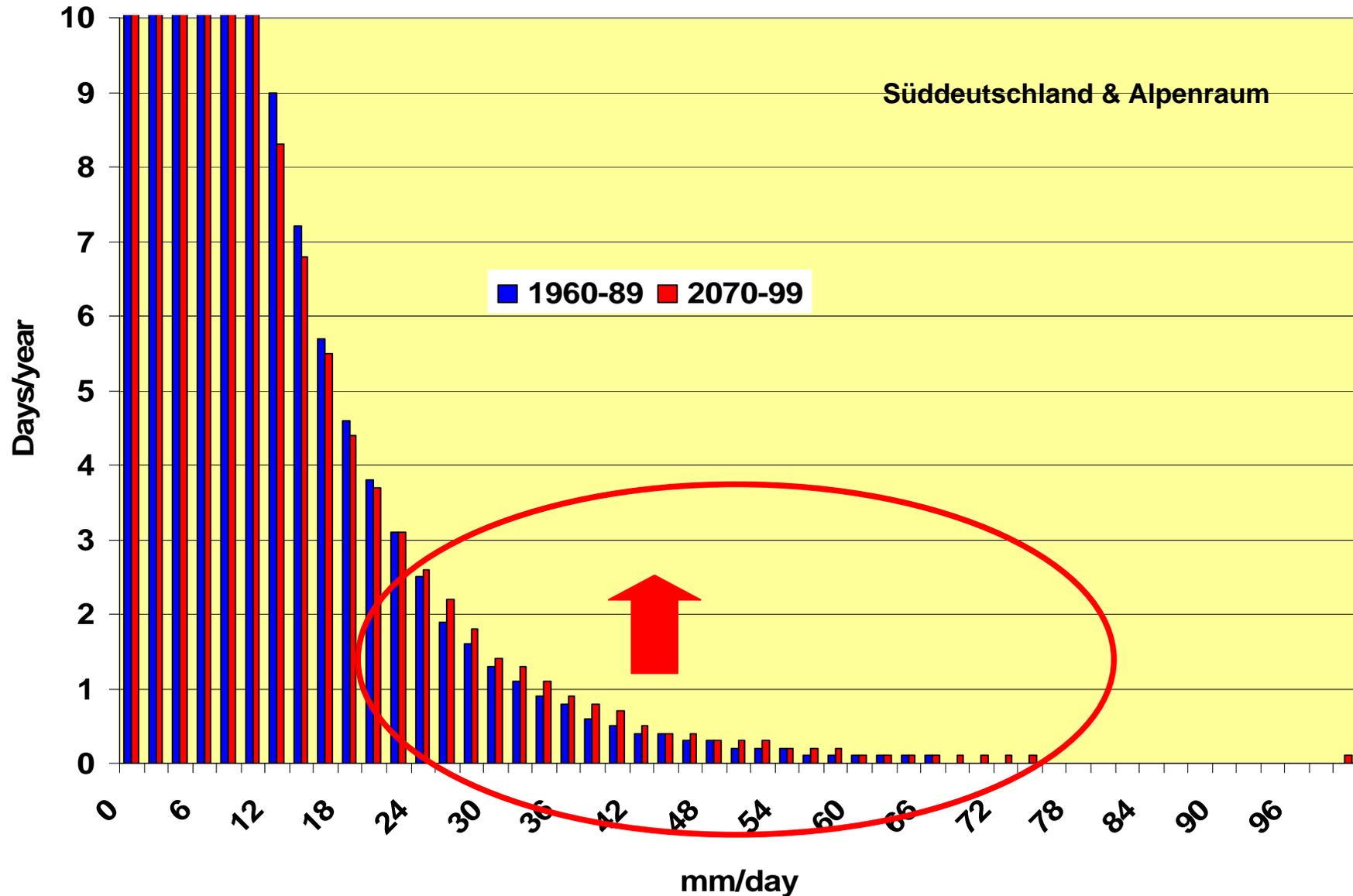


JJA



- **Winterniederschlag: gegenläufige Trends Nordalpen vs. Südalpen
+20% Nordalpen vs. -30% Südalpen**
- **Sommerniederschlag: bis zu 40% weniger**

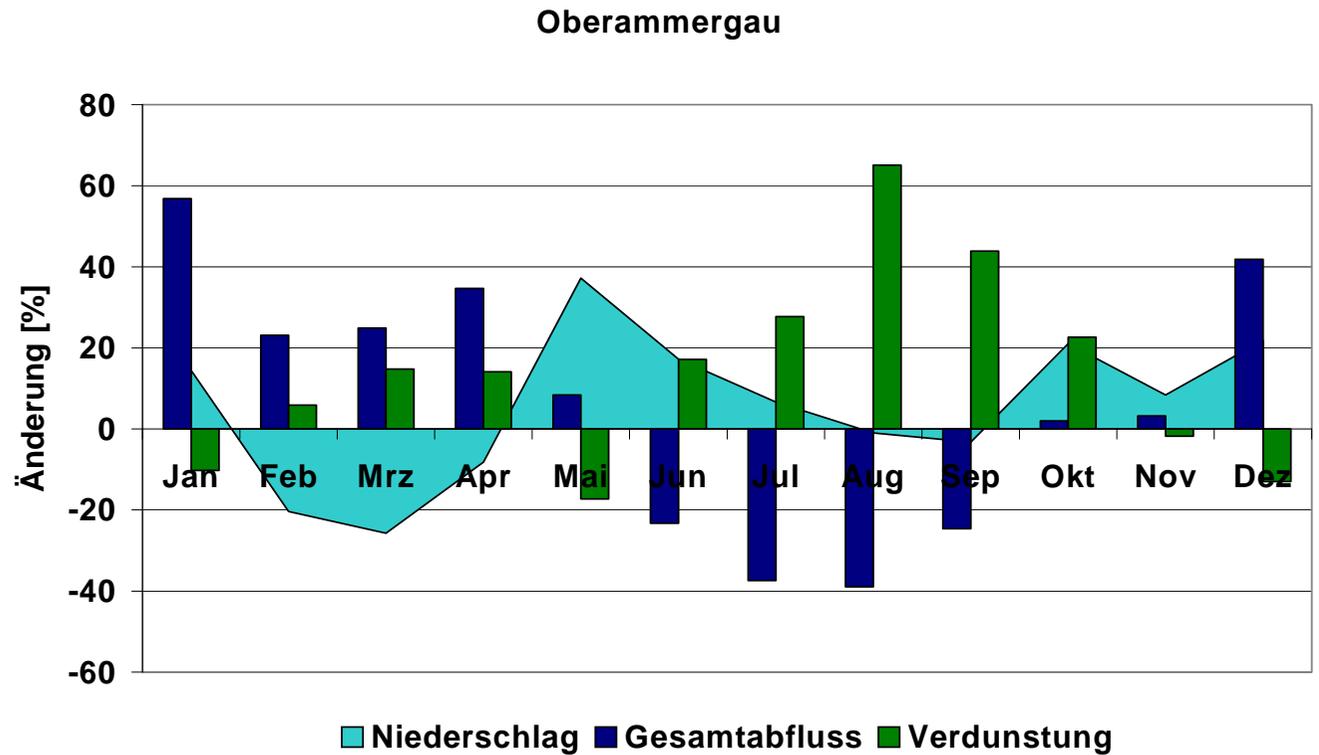
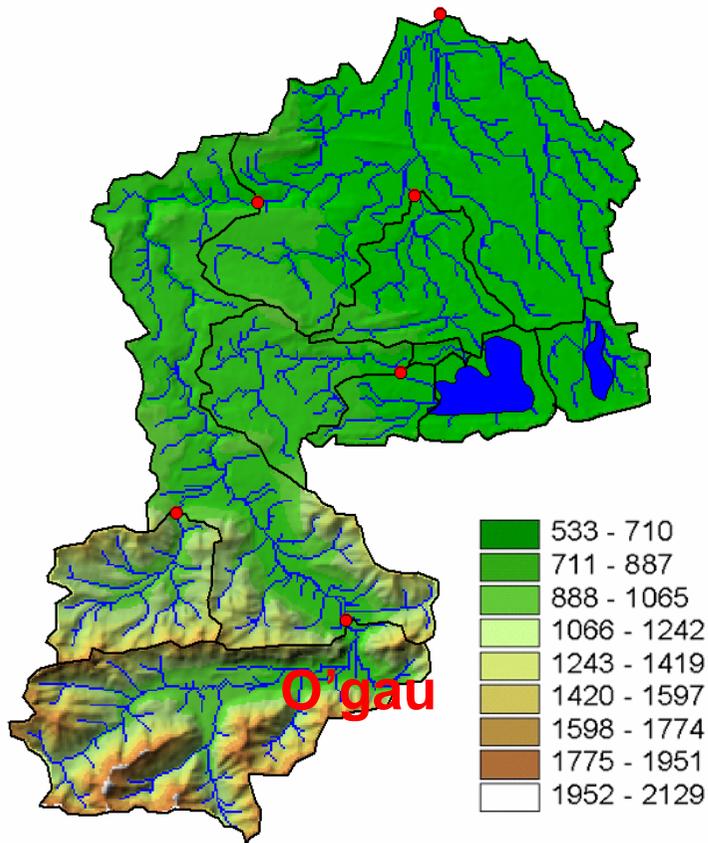
Regionale Klimaänderung Alpenraum



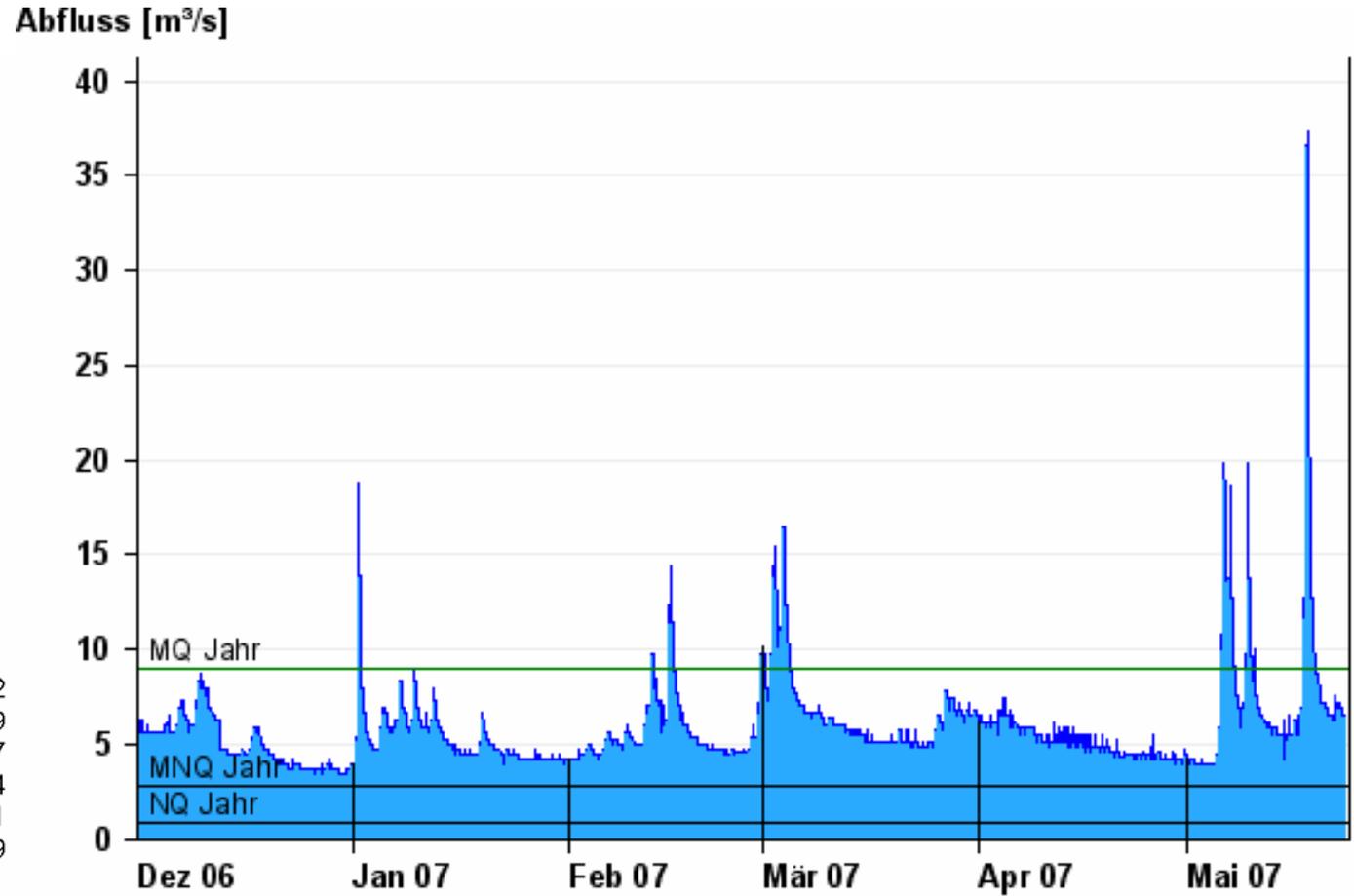
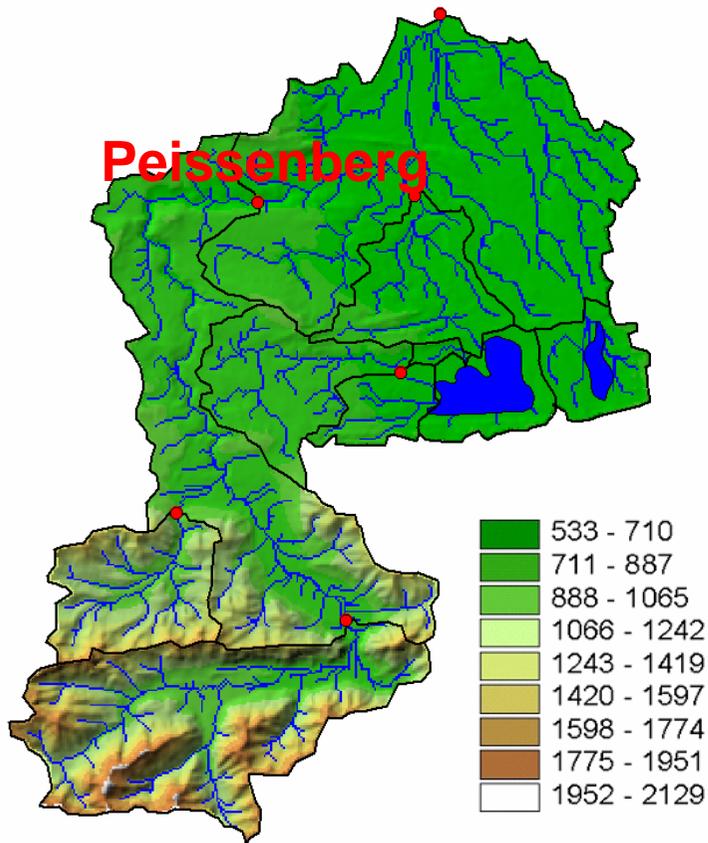
Zunahme der Häufigkeit von Starkniederschlägen !

Langfristige Entwicklung des Wasserhaushalts im Ammer Einzugsgebiet

Langfristige Entwicklung des Wasserhaushaltes

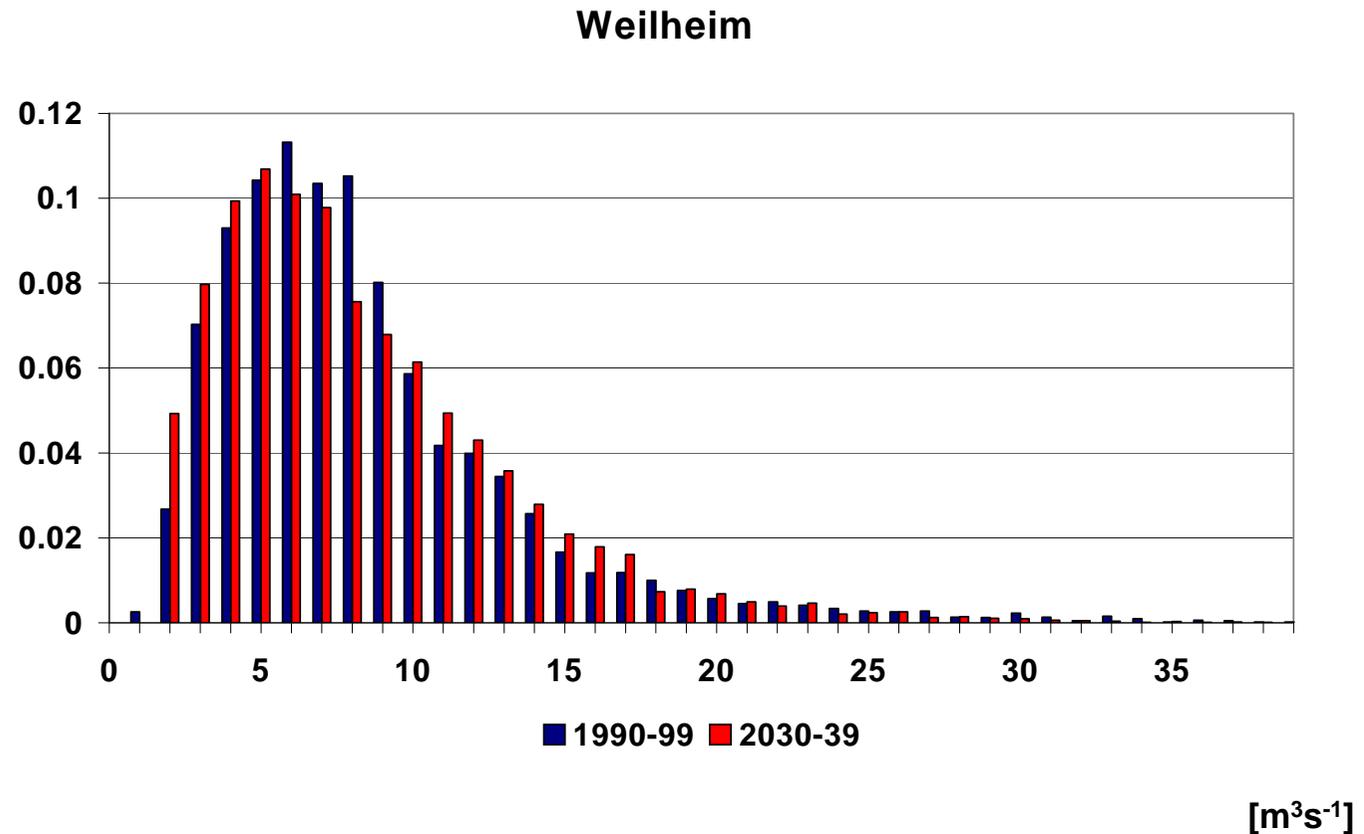
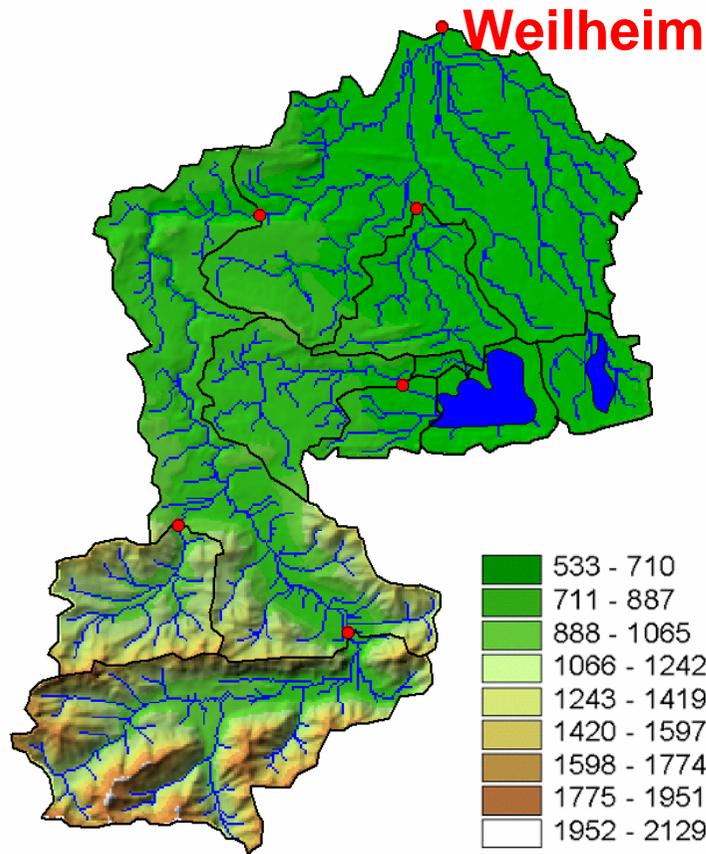


Zunahme Winter-, Verminderung der Sommerabflüsse



Zunahme Winterabfluss

Langfristige Entwicklung des Wasserhaushaltes



Veränderung der Häufigkeiten: Zunahme von Hochwasser & Niedrigwasser!

- Es ist möglich, extreme Niederschlags- und Abflussereignisse zu simulieren
- Beste Wetter- und Abflussvorhersage bei WRF@6km mit NCEP high resolution model setup
- 48-Stündliche Vorwarnung ist realistisch für das Ammer-EZG, aber
 - der genaue Zeitpunkt und
 - der absolute maximale Durchfluss können nicht vorhergesagt werden
- Die insgesamt über 500 Wetter- und Abflussvorhersagen mit unterschiedlichen WRF-Parametrisierungen und DHM für das Hochwasser Aug. 2005 waren für eine *Ensemble*-Strategie ungeeignet
- Nächste Schritte : Operationalisierung des Vorhersagesystems WRF-WaSiM
- Test des Systems in MAP D-Phase

Gekoppeltes Modellsystem zur **integrierten Betrachtung** von Landoberfläche & Atmosphäre alpiner EZG, eingesetzt für

Hochwasserfrühwarnung

- 1) Möglichkeit der Prognose extremer Niederschlags- und Abflussereignisse
- 2) 48-Stündliche Vorwarnung ist realistisch für das Ammer-EZG, aber der genaue Zeitpunkt und der absolute maximale Durchfluss können nicht vorhergesagt werden

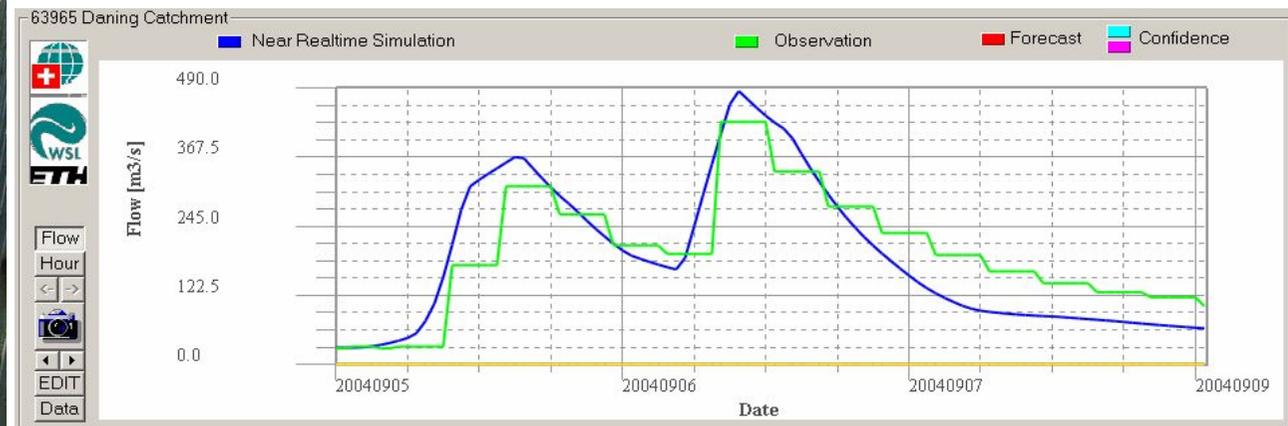
Gekoppeltes Modellsystem zur **integrierten Betrachtung** von Landoberfläche & Atmosphäre alpiner EZG, eingesetzt für

Räumlich hochaufgelöste Abschätzung zur langfristigen Entwicklung des Wasserhaushalts

- 1) winterliches Niedrigwasser weniger ausgeprägt, Zunahme winterlicher Hochwasser (weniger Schnee, mehr Regen)
- 2) weniger Abfluss im Sommer: prognostizierter NS-Rückgang, fehlendes Schmelzwasser, höhere Verdunstung
- 3) Tendenz zu häufigeren Starkniederschlägen und hohen Abflüssen!

Gekoppeltes Modellsystem weltweit eingesetzt zur Entscheidungsunterstützung und nachhaltiges Wassermanagement:

Hochwasservorhersage Zuflüsse des 3-Schluchten Staudamms - China (Kooperation WSL (CH), ETH (CH), CWRC (C))



Danke für Ihre Aufmerksamkeit.

