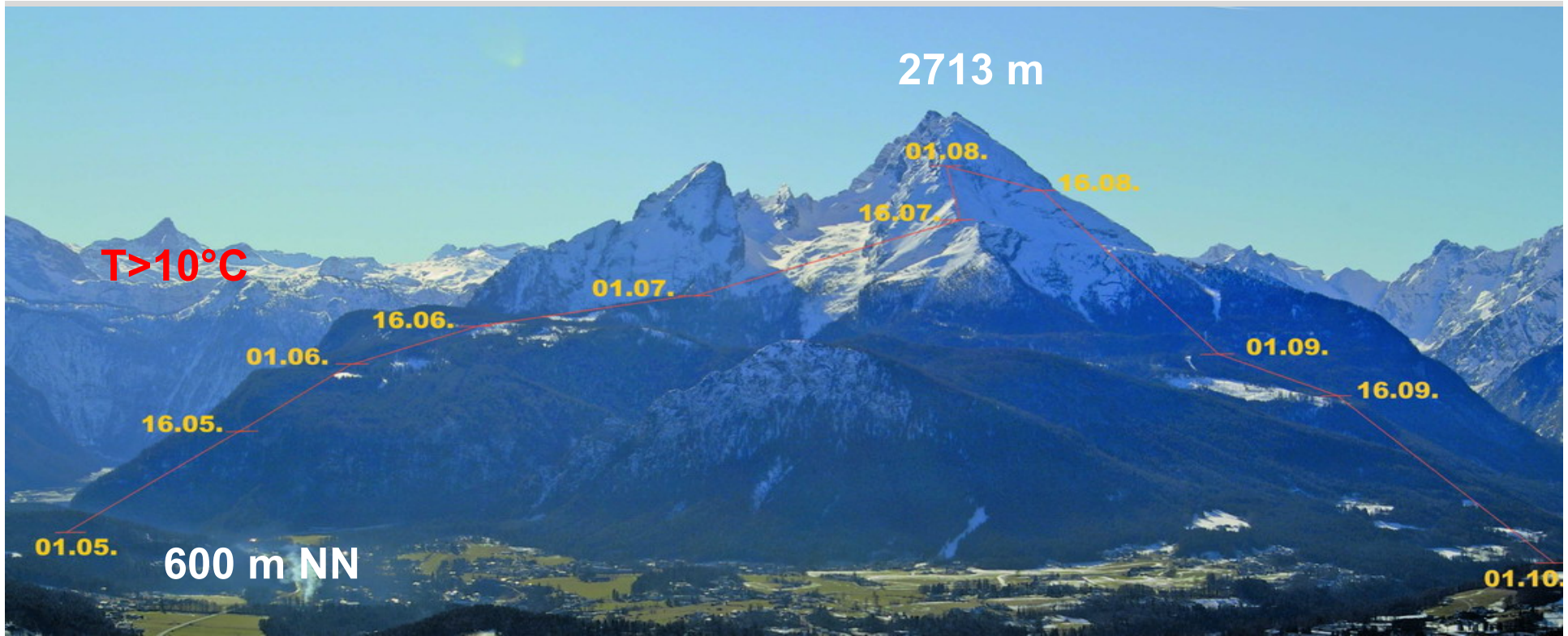


# Klima und Wasser im Nationalpark Berchtesgaden: Was erwarten wir für die Zukunft?

Harald Kunstmann, M. Warscher, G. Smiatek, U. Strasser, H. Franz

Universität Augsburg & KIT - Campus Alpin, Garmisch-Partenkirchen

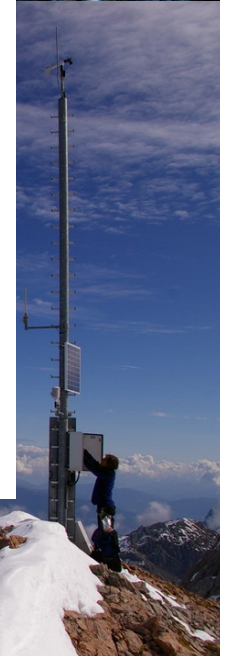
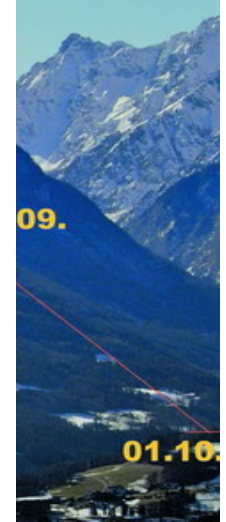
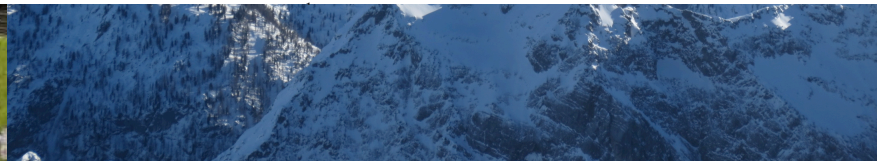
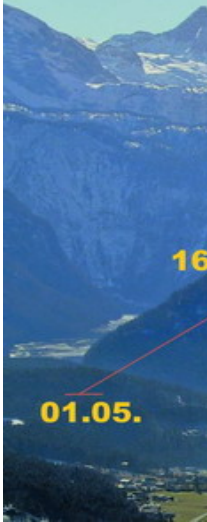




WARSCHER ET AL.: COMPLEX SNOW DESCRIPTIONS IN A HYDROLOGICAL MODEL

**Table 1.** Altitude, Set of Recorded Parameters, and Temporal Resolution for the Meteorological Stations of the Automatic Network in the Berchtesgaden National Park<sup>a</sup>

ID	Station	Altitude (MSL)	Parameters	Temporal. Resolution	Operator
1	Reiteralm 1	1753 m	T, H, WS, WD	10 min	LWD
1	Reiteralm 2	1679 m	T, H, TS, SD	10 min	LWD
1	Reiteralm 3	1611 m	T, H, P, GR, RR, SD	10 min	LWD
2	Hinterseeau	839 m	T, H, WS, WD, GR, RR, SD	10 min	NPV
3	Hinterberghorn	2270 m	T, H, WS, WD, GR, RR	10 min	NPV
4	Blaueis	1651 m	T, H, WS, WD, GR, RR, SD	10 min	NPV
5	Brunftbergtiefe	1238 m	T, H, P, WS, WD, GR, RR, SD	10 min	NPV
6	Trischübel	1764 m	T, H, P, WS, WD, GR, RR, SD	10 min	NPV
7	Steinernes Meer	1900 m	T, H, P, WS, WD, GR, RR, SD	10 min	NPV
8	Funtenseetauern	2522 m	T, H, WS, WD	10 min	LWD
9	Watzmanngrat	2630 m	T, H, WS, WD, GR, RR	10 min	LWD
10	Watzmannhaus	1919 m	T, H, WS, WD, GR, RR	10 min	LWD
11	Falzalm	1484 m	T, H, P, WS, WD	10 min	LWD
12	Kühroint	1407 m	T, H, P, WS, WD, GR, RR, TS, SD, SWE	10 min	LWD
13	Schönau	617 m	T, H, P, GR, DR, SS, WS, WD, AP	10 min	DWD
14	Höllgraben	640 m	T, H, P	10 min	LWD
15	Jenner	1219 m	T, H, P, WS, TS, SD	10 min	LWD
16	Schlunghorn	2155 m	T, H, WS, WD, GR, RR	10 min	NPV
	Lofer	625 m	T, P, H, WS, WD, GR, SS, AP	1 h	ZAMG
	Loferer Alm	1623 m	T, P, H, WS, WD, GR, SS, AP	1 h	ZAMG
	SBG Flughafen	430 m	T, P, H, WS, WD, GR, SS, AP	1 h	ZAMG
	Schmittenhöhe	1973 m	T, P, H, WS, WD, GR, SS, AP	1 h	ZAMG
	Mülldeponie Winkel	699 m	P	1 day	NPV
	Königsberg Pegel	1532 m	P	1 day	NPV
	Schapbach	953 m	P	1 day	NPV
	Kühroint (mech.)	1418 m	P	1 day	NPV
	Lahneralm	1240 m	P	1 day	NPV
	St. Bartholomä	604 m	P	1 day	NPV
	Wimbachschloss	926 m	P	1 day	NPV
	Brunftbergtiefe (mech.)	1238 m	P	1 day	NPV
	Auf dem Gries	1435 m	P	1 day	NPV
	Bindalm	1119 m	P	1 day	NPV
	Eckau	1015 m	P	1 day	NPV
	Lahnwaldfütterung	840 m	P	1 day	NPV
	Mittereis	1325 m	P	1 day	NPV
	Halsalm	1088 m	P	1 day	NPV



**Hervorragende Infrastruktur  
für Klima- und Klimaimpaktforschung  
im NP-BGL**



# Motivation und Innovation

- Prozessverständnis und **Quantifizierung des Wasserhaushalts** im komplexen Gebiet des Nationalparks Berchtesgaden
- Abschätzung möglicher **Auswirkungen** eines veränderten **Klimas** auf den **regionalen Wasserhaushalt**
- Optimiertes **hydrologisches Modell**:  
**Integration** von Methoden zur **gebirgsspezifischen Schneemodellierung**



# Herausforderung

## ■ Komplexe Orographie

Königssee: 603 m ü. NN, Watzmann Mittelspitze: 2713 m ü. NN  
→ große Höhengradienten: 2110 m / ca. 3.5 km

## ■ Große Niederschlags- & Temperaturgradienten

Tallagen: 1500 mm/a, Gipfelregionen: 2600 mm/a

## ■ Wasserhaushalt

- Schnee als Niederschlagsspeicher
- Große absolute Schneemengen
- Raumzeitlich hoch variable Schneedecke
- Abflussbildung abhängig von Schneedecke

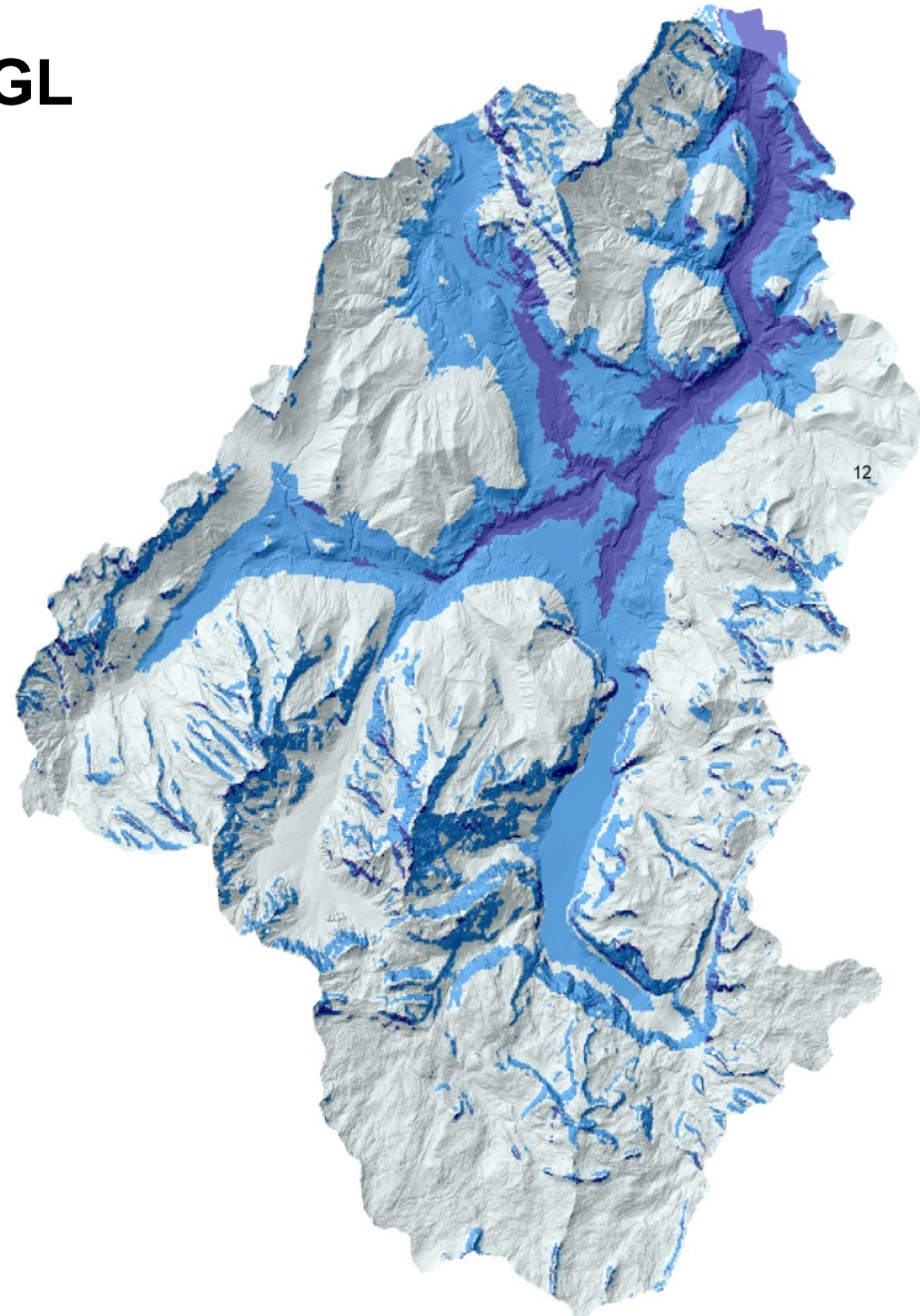
## ■ Meteorologische Daten: dt=1h notwendig!

	Jahresmittel (2002 - 2007)
Niederschlag (mm)	1611.4
Regen (mm)	1111.5
Schneefall (mm)	499.9
Verdunstung (mm)	493.7
Abfluss (mm)	1013.3
Temperatur (°C)	5.6
Schneebedeckungsdauer (Tage)	144

# Schneedynamik im NP--BGL

Durchschnittliche Veränderungen  
im Jahresverlauf  
(11/2001 – 10/2010)

weiß = viel Schnee  
hellblau = weniger Schnee  
dunkelblau = kein Schnee



# **Verbesserung des Schneemodells**

## **Verbesserte Beschreibung der Schneedeckendynamik**

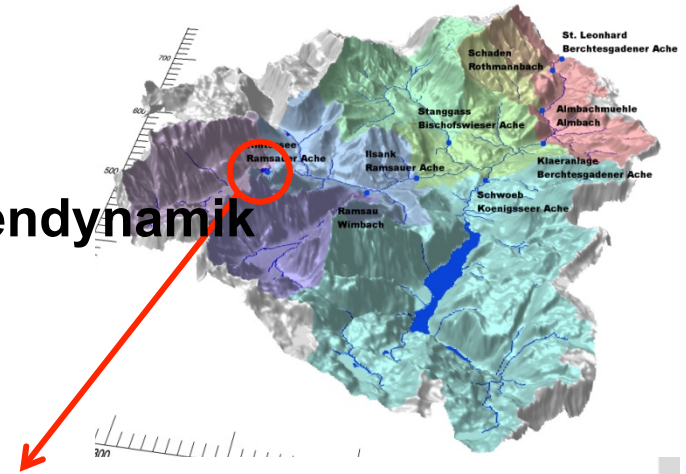
- **volle Energiebilanz**
- **gravitative Rutschungen**
- **Windverfrachtung**



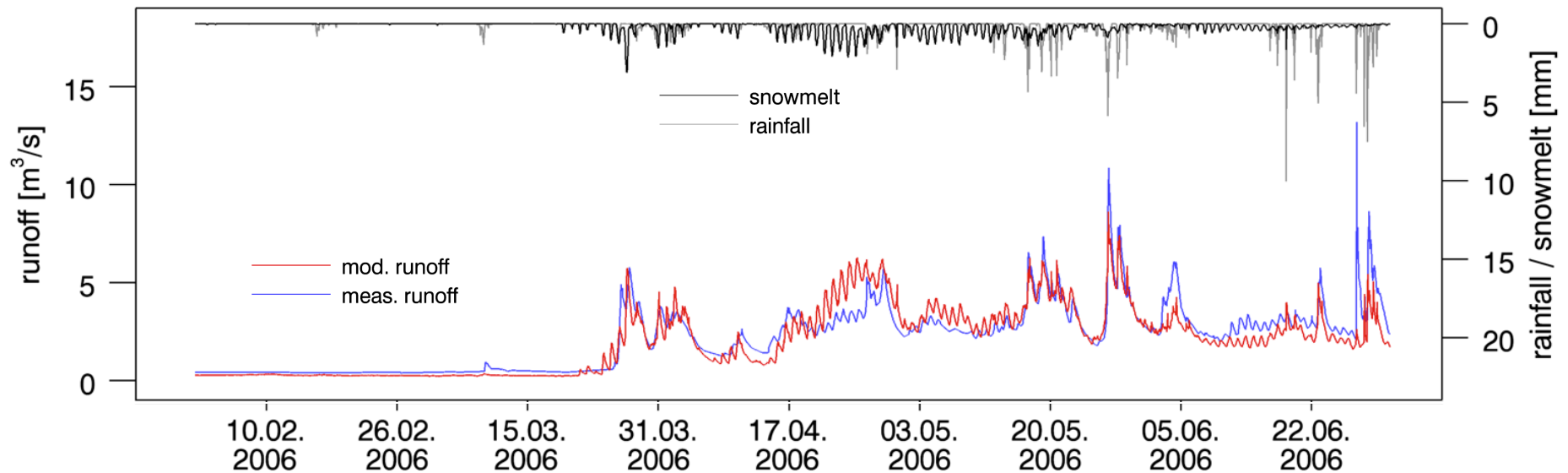
# Verbesserung des Schneemodells

## Verbesserte Beschreibung der Schneedeckendynamik

- volle Energiebilanz
- gravitative Rutschungen
- Windverfrachtung

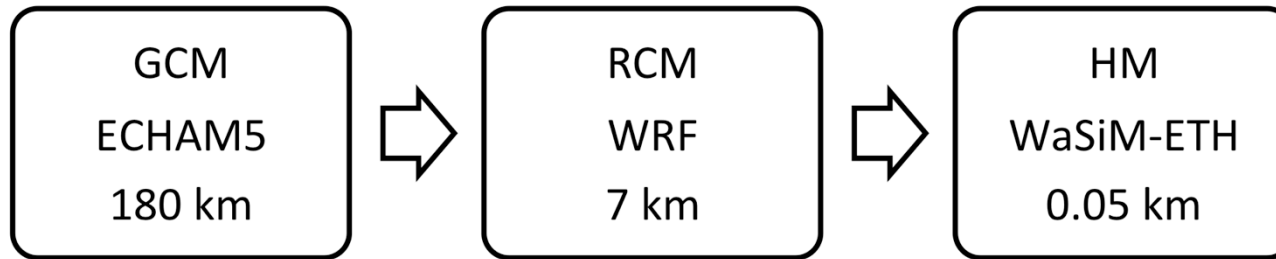


*Abfluss, Schneeschmelze und Niederschlag am Pegel „Hintersee“*



Schneemodul:	T-Index	Energiebilanz	E-Bal + Grav. Rutsch.	E-Bal + Grav. + Wind
	Nash-Sutcliffe = <b>0.52</b>	Nash-Sutcliffe = <b>0.58</b>	Nash-Sutcliffe = <b>0.69</b>	Nash-Sutcliffe = <b>0.76</b>

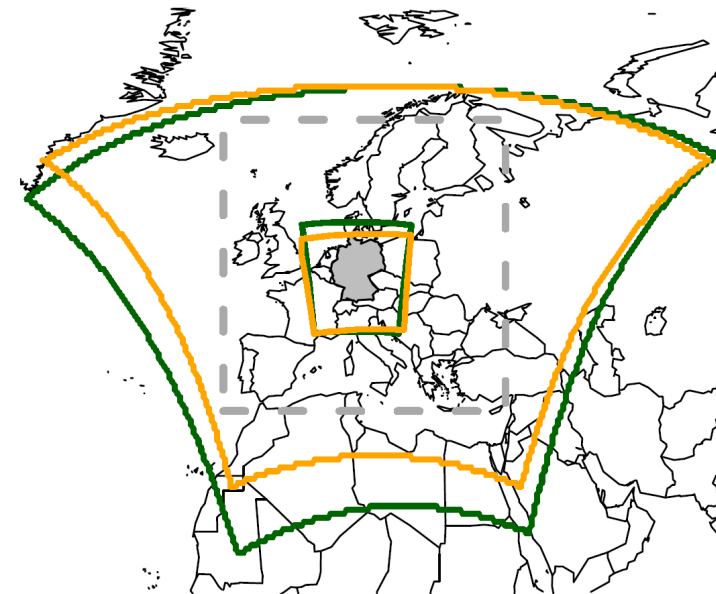
# Modellkette zur hydrologischen Klimaimpakt-Abschätzung



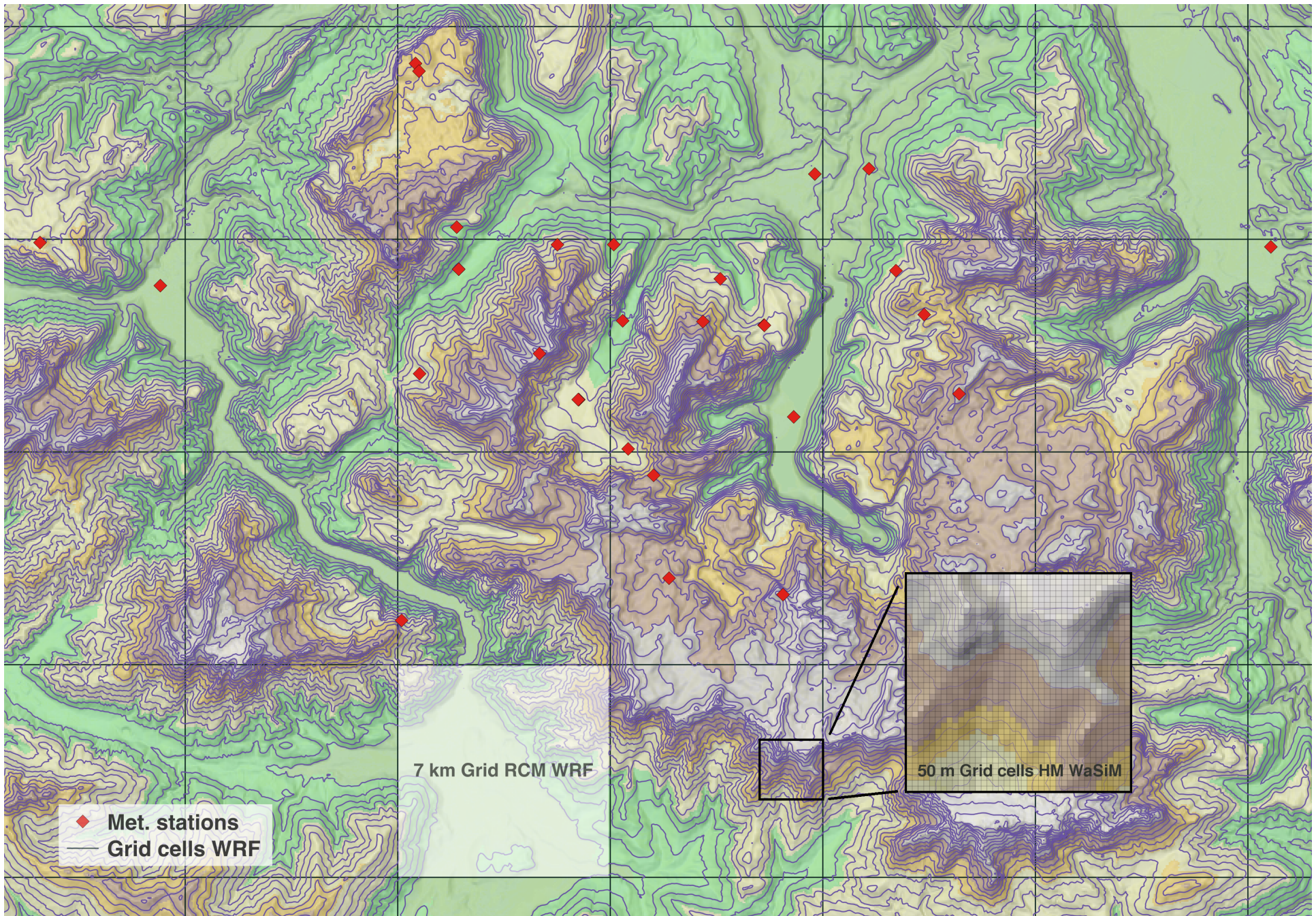
GCM **ECHAM5-MPI/OM** T63 / L32  
 RCM WRF 42 km / 7 km  
 LSM WaSiM 50 m

Kontrolle 1971 – 2000  
**Szenario A1B** 2021 – 2050

Bias- und Höhenkorrektur Niederschlag:  
**Quantile-Mapping**



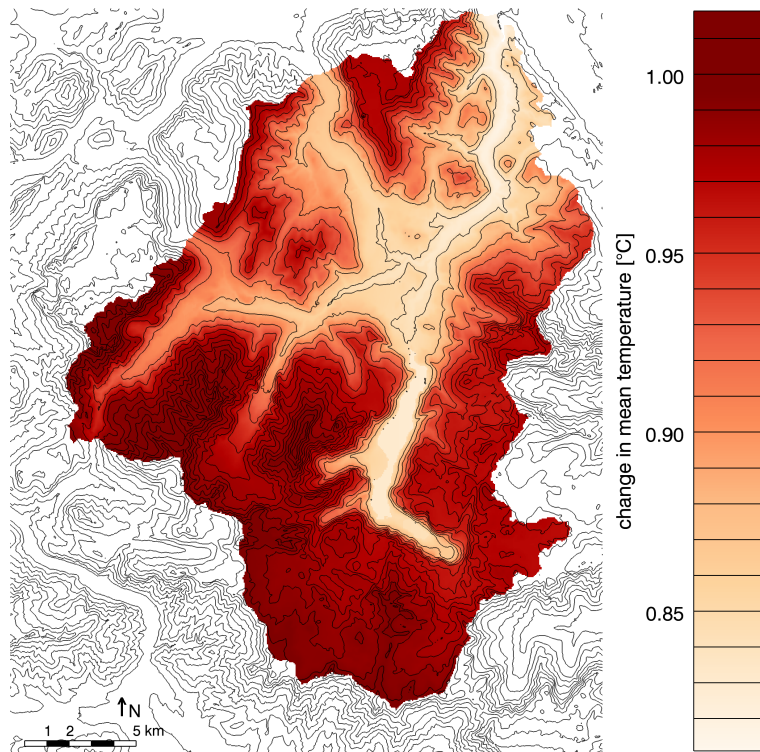
Berg et al. (2013)  
 Wagner et al. (2013)



# Regionaler Impact Klimaänderung

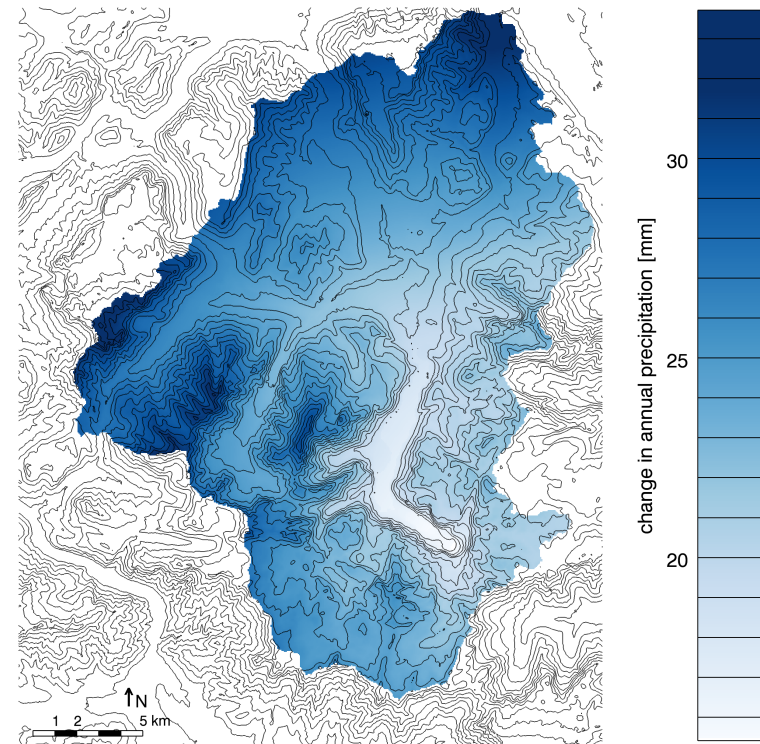
## Temperatur

Change in mean temperature (2021-2050 minus 1971-2000)



## Niederschlag

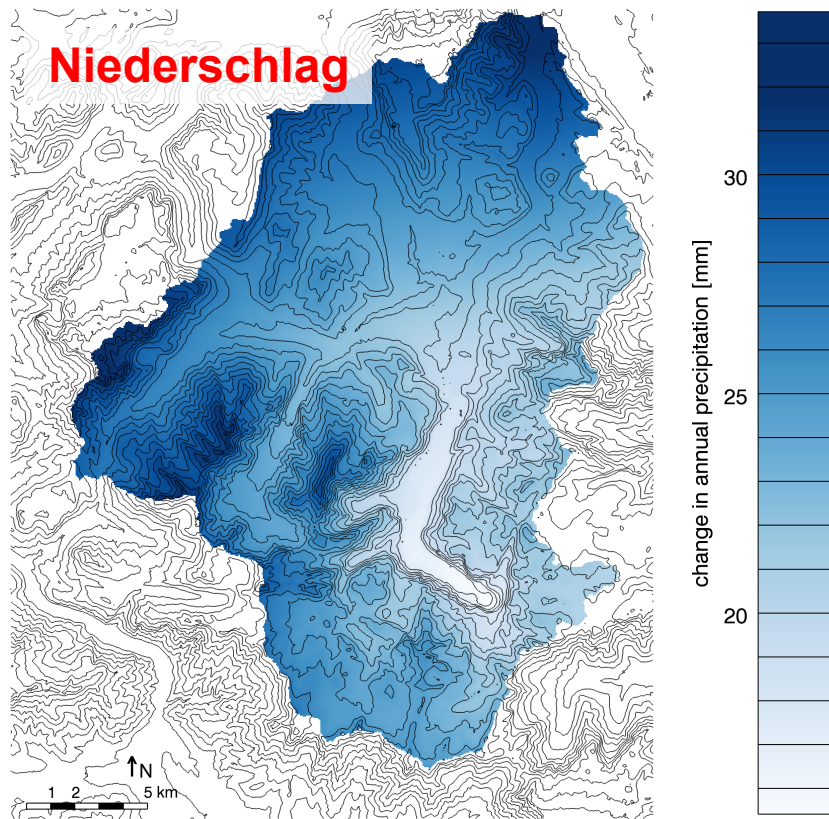
Change in annual precipitation (2021-2050 minus 1971-2000)



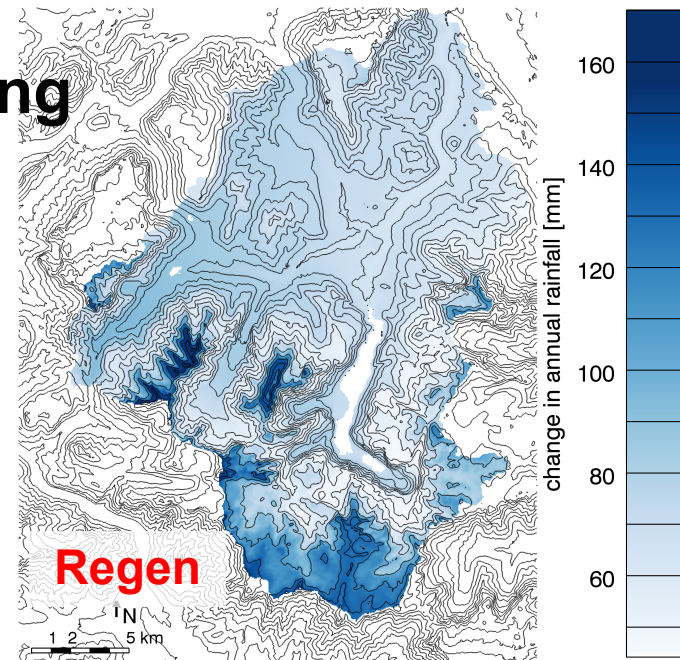
ECHAM5, Szenario A1B → WRF → WaSiM + AMUNDSEN, 2021-2050 vs. 1971-2000

# Regionaler Impact Klimaänderung

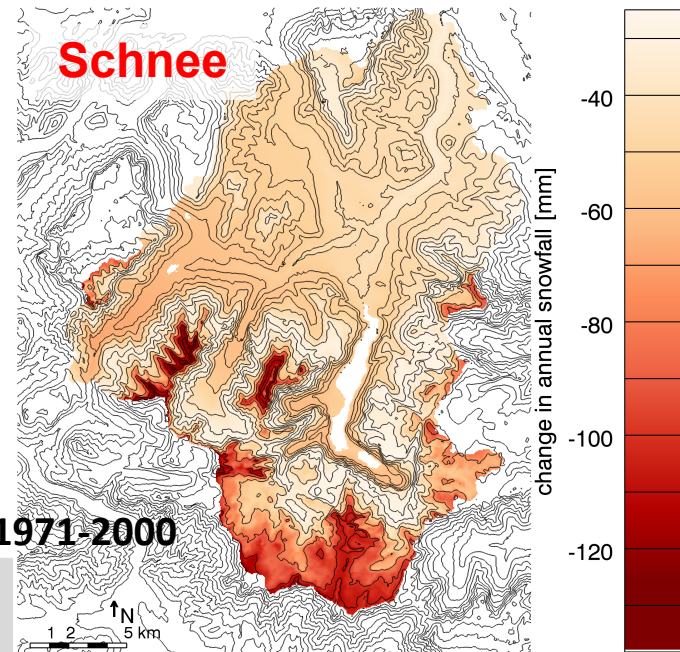
Change in annual precipitation (2021-2050 minus 1971-2000)



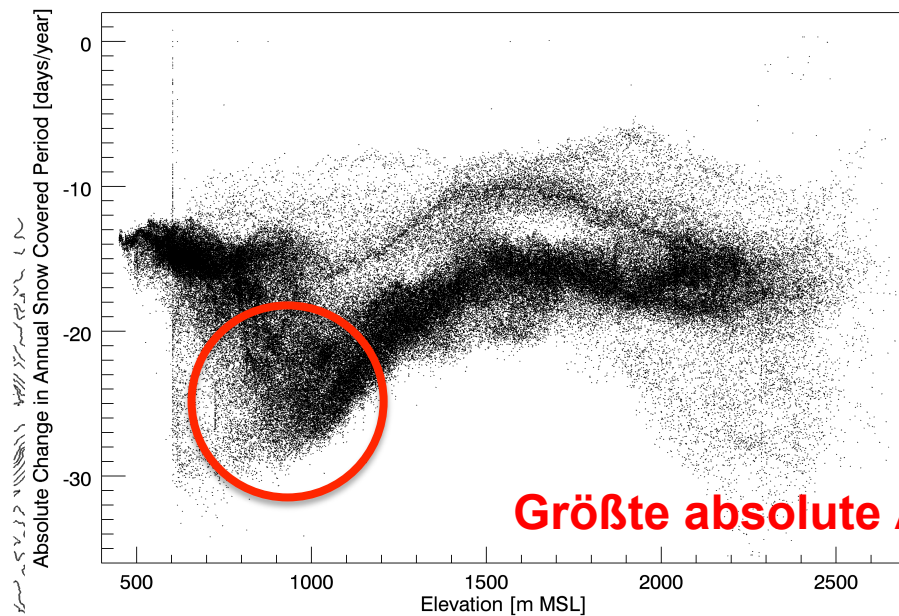
Change in annual rainfall (2021-2050 minus 1971-2000)



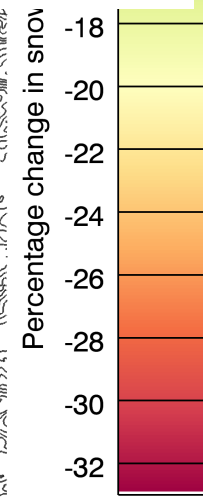
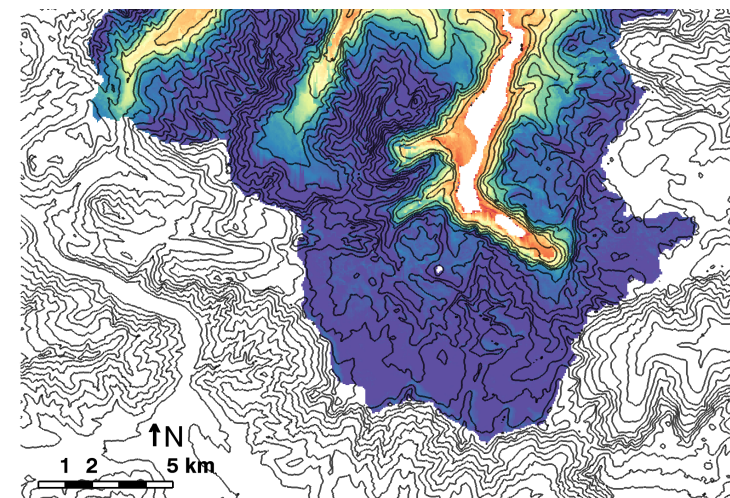
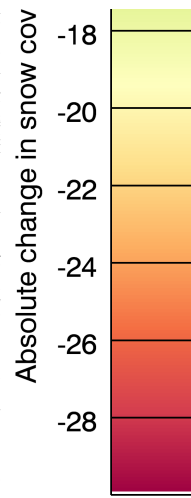
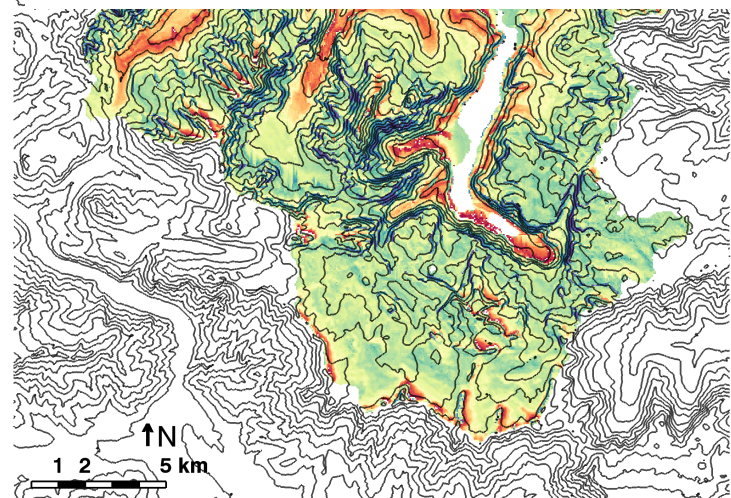
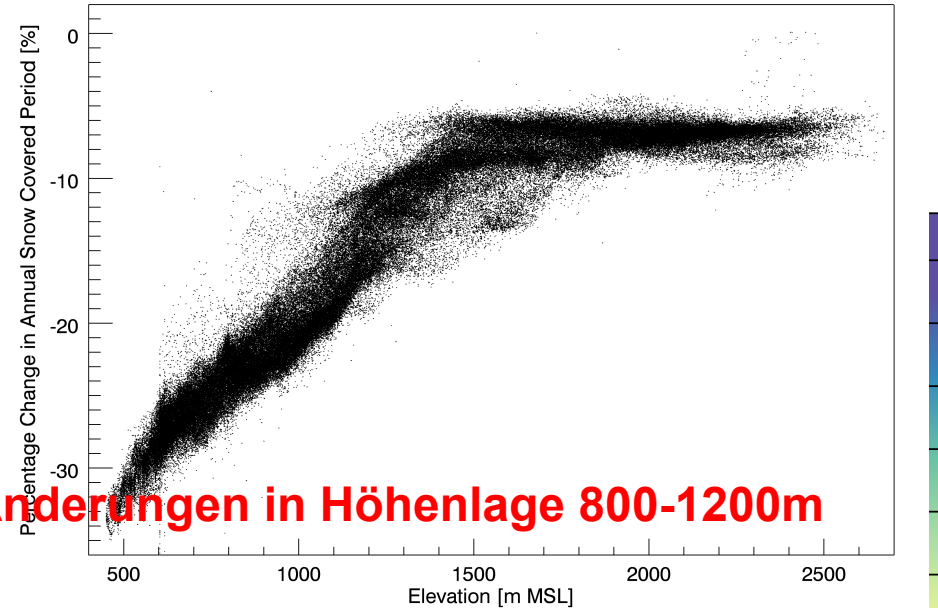
Change in annual snowfall (2021-2050 minus 1971-2000)



ECHAM5, Szenario A1B → WRF → WaSiM, 2021-2050 vs. 1971-2000



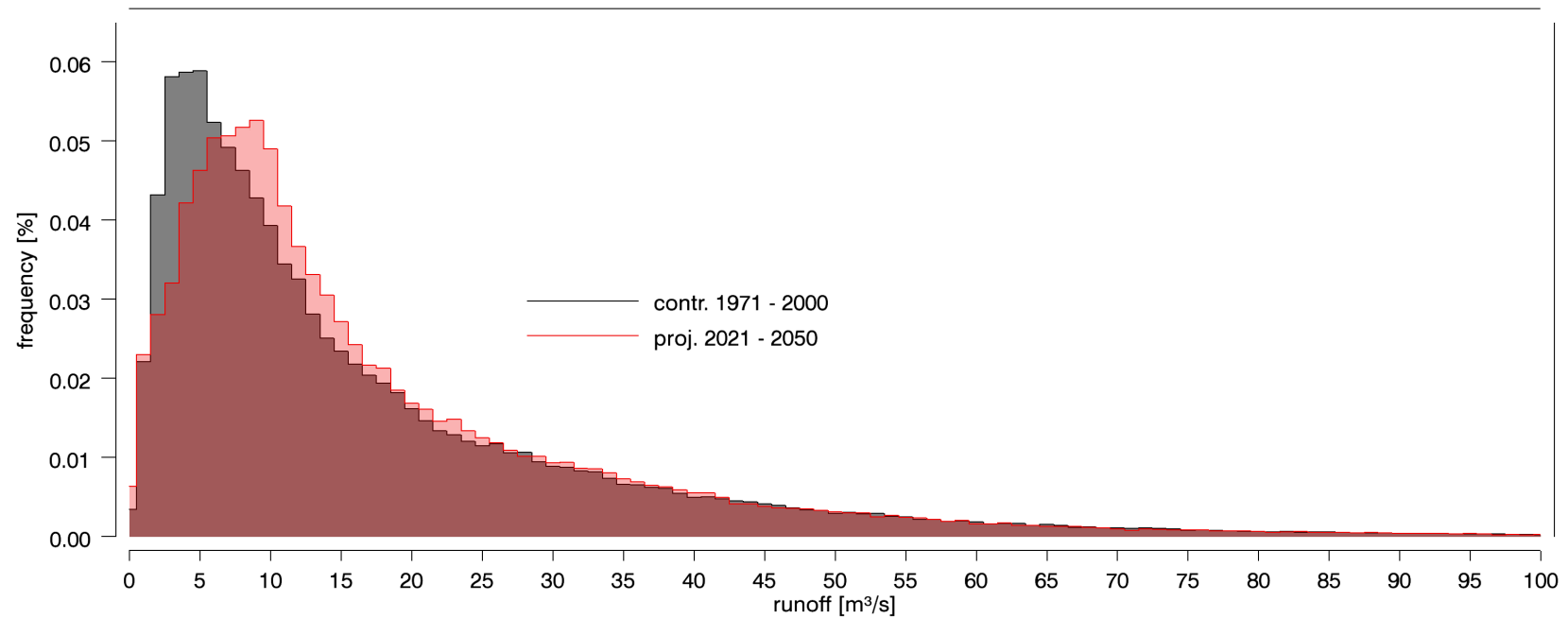
**Größte absolute Änderungen in Höhenlage 800-1200m**



## Änderung der mittleren Schneebedeckungsdauer 2021-2050 vs. 1971-2000

ECHAM5, Szenario A1B → WRF → WaSiM

# Regionaler Impact Klimaänderung



## Änderung der stündlichen Abflussraten 2021-2050 vs. 1971-2000

ECHAM5, Szenario A1B → WRF → WaSiM

# Klimaimpakt WaterNPB

- **Komplexe verbesserte Schneedeckendynamik in WaSiM entwickelt: seit 2014 in offizielle WaSiM Version integriert und für alle nutzbar**
- **Klimaimpaktstudie** (ECHAM5, Szenario A1B → WRF@7km, QM → WaSiM, 2021-2050 vs. 1971-2000):
  - **Abnahme** der saisonalen **Schneebedeckung** bis zu **30 Tage**
  - **MQ: absolute Änderung** relativ **gering**
  - Stündliche Abflussraten: **leichte Verschiebung** in Richtung **Niedrig- und Hochwasserereignisse**



## Ausblick

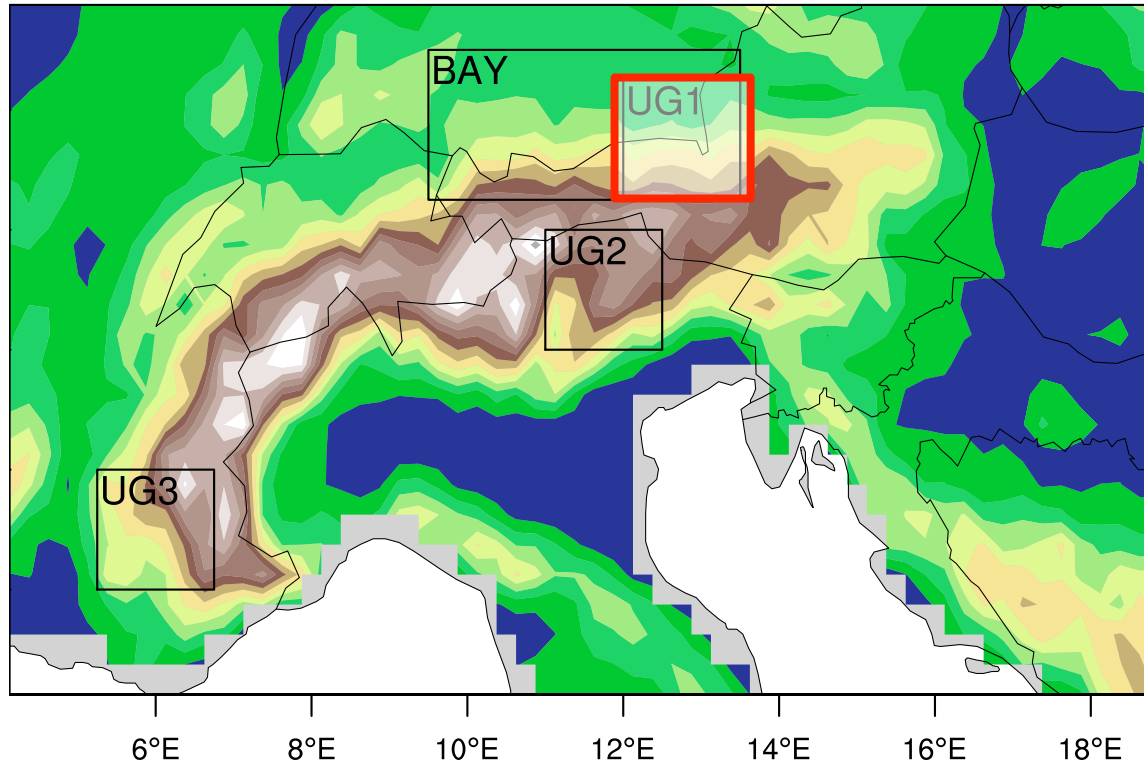
- <http://www.euro-cordex.net/>

Acronym	RCM	GCM	RCP
cclm	CCLM	MPI-ESM-LR	4.5
dmi	HIRHAM5	EC-EARTH	4.5
ipsl	WRF331F	IPS-CM5A-MR	4.5
knmi	RACMO22E	EC-EARTH	4.5
smhi	RCA4	HadGEM2-ES	4.5

Auflösung horizontal: ca. 12 km

- Uni Augsburg / KIT Campus Alpin:  
**Hochaufgelöste WRF Simulationen mit  $dx=5\text{km}$ , RCP 4.5**  
**Weiterentwicklung Copula-basierter Biaskorrekturverfahren**  
**für ALLE Antriebsgrößen  $P$ ,  $T$ ,  $R_n$ ,  $RH$ ,  $v$**

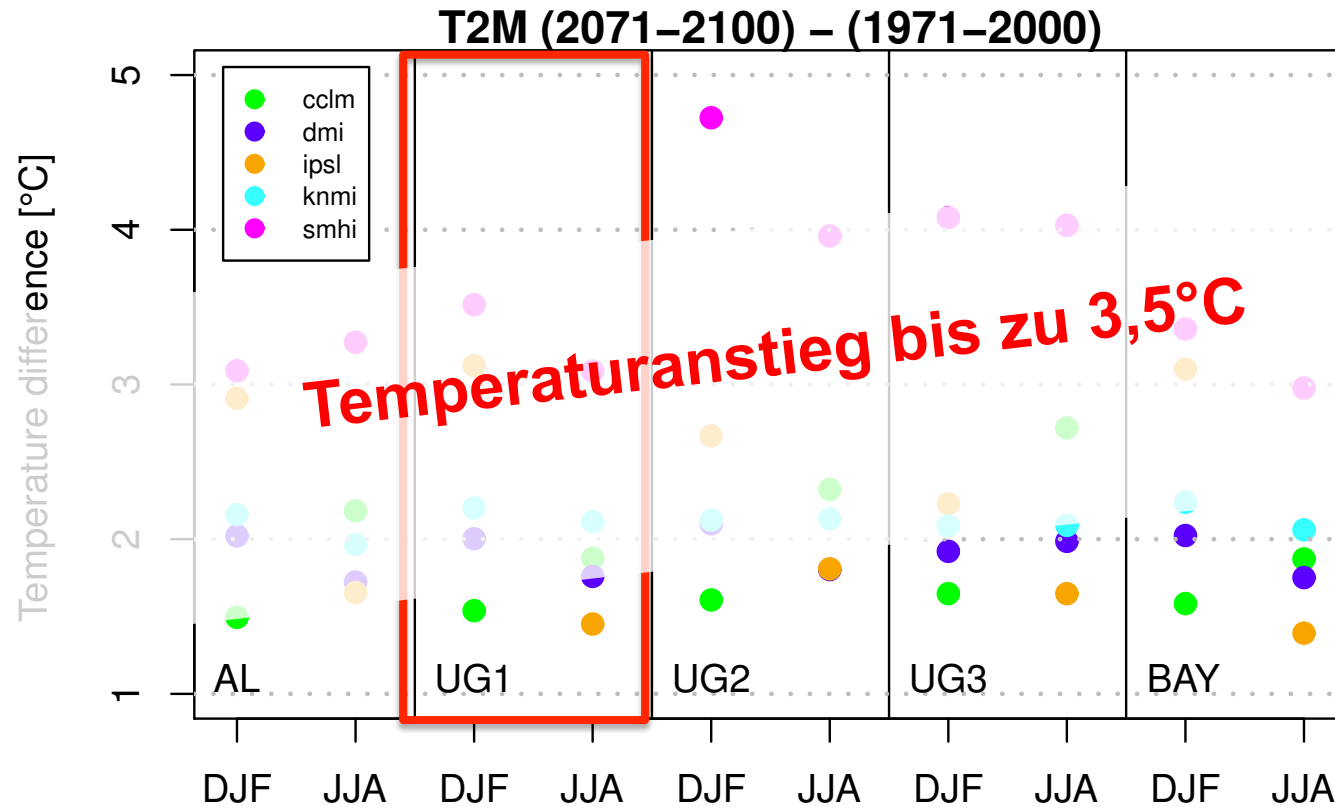
# Ausblick



**UG1: Nationalpark Berchtesgaden / Chiemgau**

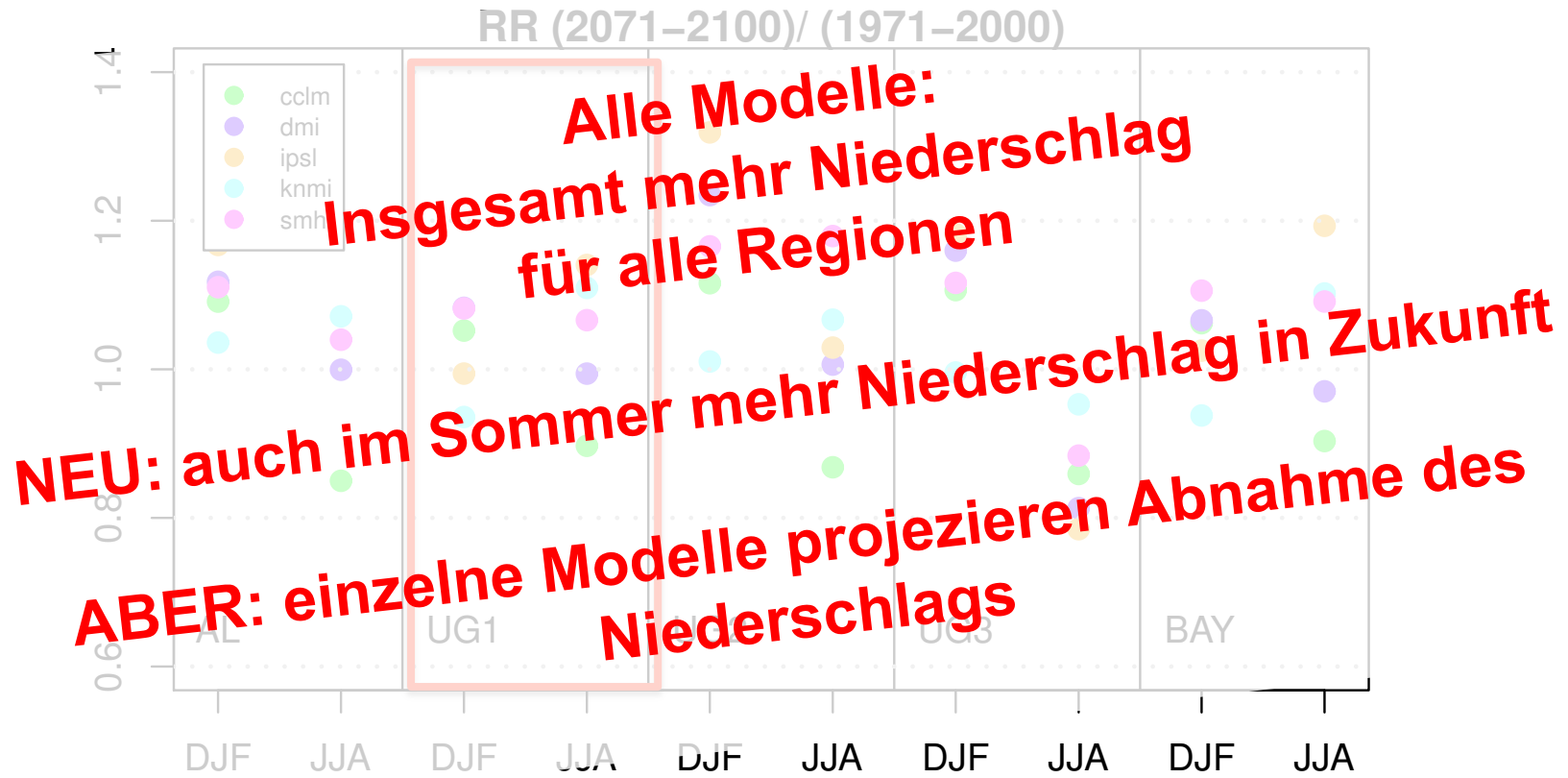
# Ausblick

## Temperaturänderung



# Ausblick

## Niederschlagsänderung



## **Bis Ende 2017**

- **Weiterentwicklung von Methoden zur Bias-Korrektur ( $dt=1h$ ) und zur lokale Verfeinerung für alle schneerelevanten Zustandsgrößen**
- **Neue hochaufgelöste regionale Klimasimulationen mit  $dx=5km$**
- **Analyse stabiler Wasserisotope zum Prozessverständnis aller Phasenübergänge (Schmelze, Verdunstung, Sublimation)**
- **Verbesserte Berücksichtigung der Schnee-Baum Interaktion innerhalb des Wasserhaushaltsmodells**

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

... und für die Förderung:

StMUV 32722/TUF01UF-32722 (Bias I)

StMUV 66747/TKP01KPB-66747 (Bias II)

