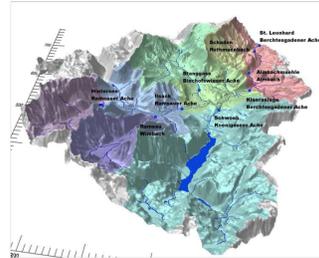


# Hydrologische Modellierung im komplexen Gelände der Berchtesgadener Alpen: Schneedynamik, Karstprozesse und Klimaimpaktanalyse

Michael Warscher, Gabriele Kraller, Helmut Franz, Stefanie Vogl, Thomas Marke, Ulrich Strasser und Harald Kunstmann  
Kontakt: michael.warscher@kit.edu

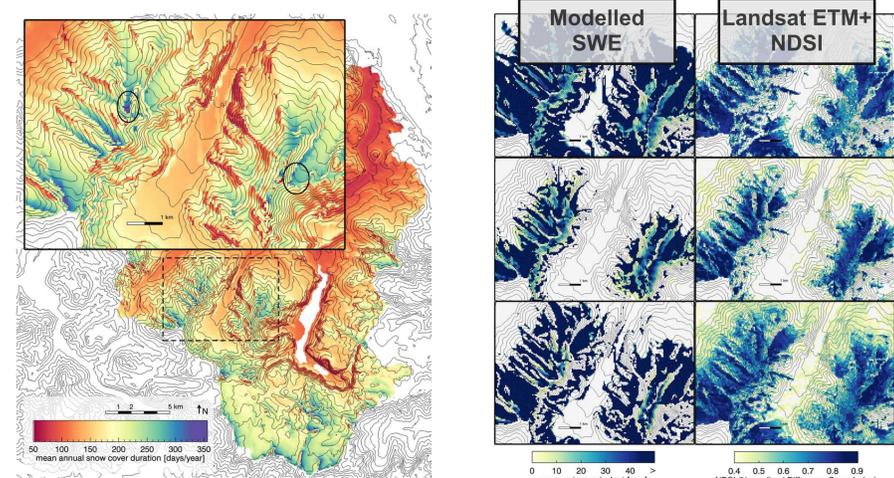
## MOTIVATION UND UNTERSUCHUNGSGEBIET

Extreme Topographie, heterogene klimatische Bedingungen und oft unbekannte hydrogeologische Gegebenheiten führen zu großen Unsicherheiten in der Quantifizierung der Wasserbilanz alpiner Einzugsgebiete. Der Wasserhaushalt im Gebiet des Nationalparks Berchtesgaden ist stark geprägt von der Dynamik der Schneedecke und von karsthydrologischen Prozessen. Diese Studie zeigt die Entwicklung und Anwendung hochgebirgsspezifischer hydrologischer Modellansätze am Beispiel des Einzugsgebiets der Berchtesgadener Ache (433 km<sup>2</sup>).



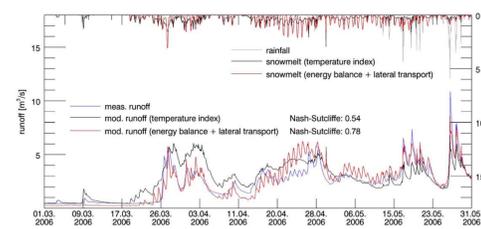
## ERGEBNISSE

**Schneedeckendynamik** Das Energiebilanzverfahren und die Simulation von lateralen Schneetransportprozessen führt gegenüber simplen Temperatur-Index Methoden zu großen Veränderungen in der modellierten räumlich-zeitlichen Schneedeckenverteilung und der folgenden Schneeschmelz- und Abflussdynamik. Die Schneebedeckungsdauer hängt dabei ab von Exposition, Höhe, Steilheit und dem umgebenden Gelände.



Modellierte mittlere Schneebedeckungsdauer 2001-2010 (Energiebilanzverfahren und lateraler Schneetransport)

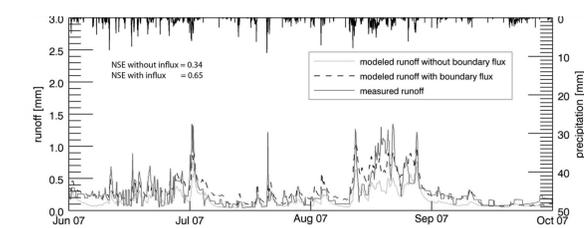
Schneewasseräquivalent SWE (links) und Normalized Difference Snow Index NDSI (rechts) von oben nach unten am 07.04.2002, 30.05.2004 und 01.05.2005



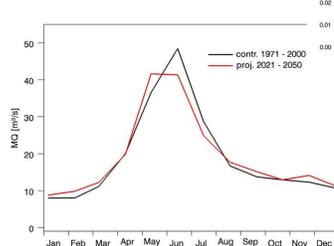
Snow module	Hintersee	headwater	total
T-index	0.57	0.46	0.62
EnBal	0.62	0.49	0.63
EnBal + grav. slides	0.65	0.51	0.64
EnBal + grav. slides + wind red.	0.68	0.52	0.64

Einfluss verschiedener Schneemodellansätze auf die Performanz des Modellsystems in der Abflussreproduktion. Die Tabelle oben zeigt die Modellgüte nach Nash-Sutcliffe

**Karsthydrologische Prozesse** Die statistisch-empirische Methode des künstlichen neuronalen Netzes wird angewandt um unbekannte karsthydrologische Prozesse zu berücksichtigen. Die Implementierung als dynamische Randbedingung (Zufluss in der gesättigten Zone) führt zur verbesserten Abbildung vorher nicht reproduzierbaren Abflussverhaltens.



Modellierter Abfluss vor und nach der Korrektur durch das neuronale Netz im Teilinzugsgebiet Königsseetal



Mittlere Monatsabflüsse (links) und relative Häufigkeiten für stündliche Abflussraten am Pegel St. Leonhard (oben), Vergleich zwischen Kontrolle 1971-2000 und Szenario 2021-2050

## METHODEN

• **Flächendifferenziertes, physikalisch-basiertes Wasserhaushaltsmodell: WaSiM-ETH**  
Horizontale Auflösung 50 m, Zeitliche Auflösung 1 h

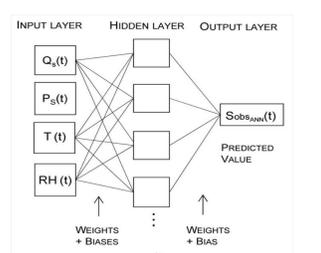
• Neue Ansätze zur Simulation der **Schneedeckendynamik**:  
**Energiebilanz** zur Bestimmung von Schmelze und (Re-)Sublimation  
**Lateraler Schneetransport**, gravitativ und windgetrieben (Warscher 2013)

• Berücksichtigung unbekannter **hydrogeologischer Prozesse (Karst)** durch ein **künstliches neuronales Netz** (Kraller 2012)

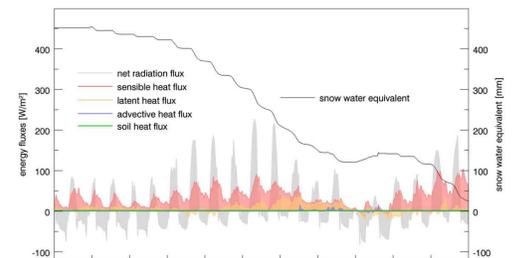
• **Klimaimpaktanalyse** mit regionalisierten, Bias-korrigierten Szenarielaufen (Kontrolle 1971-2000, Szenario A1B 2021-2050)



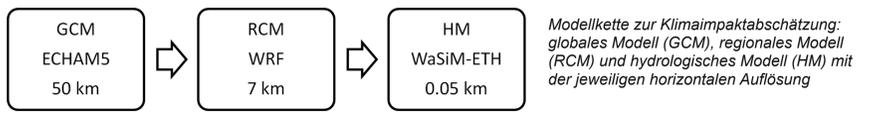
Simulation von gravitativen Schneerutschungen



Struktur und Input-Variablen des neuronalen Netzes zur Berücksichtigung von karsthydrologischen Einflüssen



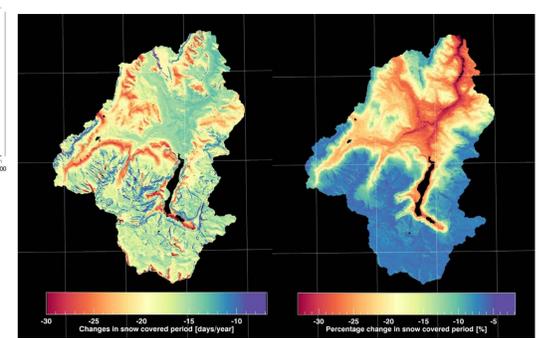
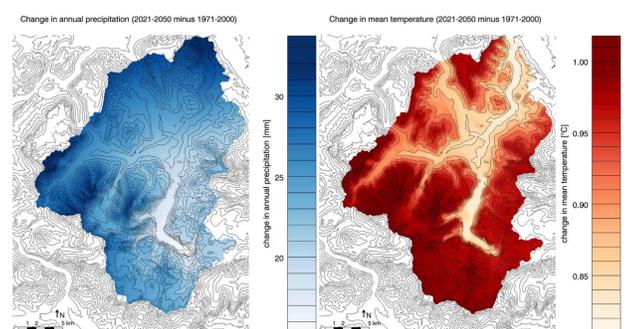
Modellierte Energieflüsse und Schneewasseräquivalent (SWE) der Schneedecke an der Station Kühroint (Frühling 2006)



Modellkette zur Klimaimpaktabschätzung: globales Modell (GCM), regionales Modell (RCM) und hydrologisches Modell (HM) mit der jeweiligen horizontalen Auflösung

## Klimaimpaktanalyse

- Höhenabhängige Änderung von Temperatur und Niederschlag
- Schneefall ↓, Regen ↑, Gesamtniederschlag ↑
- Höhenabhängige Abnahme der Schneebedeckungsdauer
- Geringe Änderungen in mittleren Monatsabflüssen
- Änderung der Häufigkeitsverteilung stündlicher Abflussraten



Absolute (links) und relative Änderung (rechts) der mittleren Schneebedeckungsdauer zwischen 1971-2000 und 2021-2050

## REFERENZEN

- KRALLER, G., WARSCHER, M., KUNSTMANN, H., VOGL, S., MARKE, T., STRASSER, U.: *Water balance estimation in high Alpine terrain by combining distributed modeling and a neural network approach (Berchtesgaden Alps, Germany)*, Hydrol. Earth Syst. Sci., doi:10.5194/hess-16-1969-2012, 2012.
- MARKE, T., STRASSER, U., KRALLER, G., WARSCHER, M., KUNSTMANN, H., FRANZ, H., VOGEL, M.: *The Berchtesgaden National Park (Bavaria, Germany): a platform for interdisciplinary catchment research*, Environmental Earth Sciences, doi:10.1007/s12665-013-2317-z, 2013.
- STRASSER, U., WARSCHER, M., LISTON, G. E.: *Modeling Snow Canopy Processes on an Idealized Mountain*, J. Hydrometeorol, doi:10.1175/2011JHM1344.1, 2011.
- WARSCHER, M., STRASSER, U., KRALLER, G., MARKE, T., FRANZ, H., KUNSTMANN, H.: *Performance of Complex Snow Cover Descriptions in a Distributed Hydrological Model System - A Case Study for the High Alpine Terrain of the Berchtesgaden Alps*, Water Resour. Res., doi:10.1002/wrcr.20219, 2013.

Gefördert von

Nationalparkverwaltung Berchtesgaden

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit