Deutsche Hydrologische Gesellschaft, DHG

Österreichische Gesellschaft für Hydrologie, ÖGH

# 2. Workshop zur Alpinen Hydrologie

## *Hydrologische Prozesse im Hochgebirge im Wandel der Zeit*

**15.11. bis 17.11.2017**

**Universitätszentrum / Alpine Forschungsstelle Obergurgl**

## Hintergrund

Die Auswirkungen unterschiedlicher Umweltänderungen (Landnutzung, Besiedlung, Klima, Infrastruktur) für die Hydrologie von Hochgebirgsregionen und damit auch für die der Alpen sind z.T. auch besonders ausgeprägt und für eine Reihe angewandter Fragestellungen relevant. Zu den wichtigsten Auswirkungen gehören diejenigen auf hydrologische Prozesse und den Wasserhaushalt. Hier sind nicht nur die längerfristigen Mittelwerte von Bedeutung, sondern auch die Bedingungen bei hydrologisch extremen Situationen, also bei Hochwasser und Wassermangel.
In diesem Kontext spielen die Hydrologie und die Wasserressourcen in Hochgebirgsregionen eine mehrfach wichtige Rolle.

1. Sie sind besonders verwundbar bzgl. Klimaänderungen: Durch die bereits eingetretene und erst recht durch die zu erwartende Erwärmung verringern sich im Hochgebirgsraum die Schnee- und Eisressourcen, wodurch sich die Saisonalität der Wasserhaushaltskomponenten, ökohydrologische Regime, wie auch die Ausprägung von Extremereignissen verändern.
2. Sie bilden die wesentliche natürliche und ökonomische Grundlage für die Entwicklung und den Lebensstandard in den Alpen wie auch in anderen Gebirgsregionen: Wasser ist die wichtigste Ressource zur Erzeugung elektrischer Energie (Wasserkraftwerke), die Schneebedeckung in Zeit und Raum ist die Grundlage für den Wintertourismus, und die Abflüsse im Sommer (zum Teil aus Schneedecken und Gletschern) sind die Voraussetzung zur Bewässerung von landwirtschaftlichen Intensivkulturen in den tief liegenden Haupttälern.
3. Sie sind auch vielfach Auslöser von Naturgefahren: Bedingt durch Relief, erhöhte Wassermengen, Phasen und Phasenübergänge und insbesondere auch mitgeführte Feststoffe bergen Lawinen, Bergstürze, Murgänge, Hochwasserereignisse besondere Gefahren, deren Auftreten sich als Folge des Klimawandels auch verschärfen kann.

Die nationalen hydrologischen Gesellschaften Österreichs und Deutschlands wollen daher zu diesem Thema zum zweiten Mal einen Wissensaustausch und Diskussion initiieren und laden dafür vom 15.11.-17.11.2017 in den Gebirgsort Obergurgl in den Ötztaler Alpen/Tirol ein.

## Themen

- Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrologie und Geomorphologie der Alpen in den letzten 150 Jahren
- Neue Methoden der Messung und des Monitorings von hydrologischen Prozessen im Hochgebirge
- Neue Modellierungsansätze zur Simulation und Vorhersage der hydrologischen Prozesse im Hochgebirge (inkl. Schnee und Eis) sowie ihre Unsicherheiten
- Naturgefahren als Folge hydrologischer Ereignisse und Bedingungen
- Auswirkungen des Tourismus auf Hydrologie und Geomorphologie und vice versa

## Struktur des Programms

Der Workshop fokussiert auf aktuelle wissenschaftliche Fragen der alpinen Hydrologie, wobei sowohl methodische als auch angewandte Aspekte angesprochen sind. Es soll ein intensiver wissenschaftlicher Austausch erfolgen, in dem über laufende Untersuchungen und Ergebnisse (inkl. deren Unsicherheiten und Grenzen) berichtet wird.
Konferenzsprache ist Deutsch. Beiträge auf Englisch sind ebenfalls möglich. Die Gesamtzahl der Teilnehmer ist begrenzt, um den Diskussionscharakter des Workshops zu gewährleisten.

## Wissenschaftliches Komitee

- Ludwig Braun (Bayer. Akademie der Wissenschaften, München, t.b.c.)
- Axel Bronstert (Univ. Potsdam), DHG
- Hubert Holzmann (BOKU, Wien, t.b.c.), ÖGH
- Gertraud Meißl (Univ. Innsbruck)
- Ole Rössler (Univ Bern, t.b.c.)
- Bettina Schaefli (Univ. Lausanne, t.b.c.)
- Karsten Schulz (BOKU, Wien), ÖGH
- Jan Seibert (Univ. Zürich, t.b.c.)
- Kerstin Stahl (Univ. Freiburg), DHG
- Ulrich Strasser (Univ. Innsbruck)
- Markus Weiler (Univ. Freiburg), DHG

## Organisationskomitee

- DHG Geschäftsführung: Christiane Hauger
- Gertraud Meißl (Univ. Innsbruck)
- Kerstin Stahl (Univ. Freiburg)
- Markus Weiler (Univ. Freiburg)
- Axel Bronstert (Univ. Potsdam)

## Kontakt und Anmeldung

Geschäftsstelle Deutsche Hydrologische Gesellschaft
co/ Universität Freiburg, Professur für Hydrologie
Friedrichstr. 39
79098 Freiburg

Tel.: +49 761 / 203 9275

Email: geschaeftsstelle@dhydrog.de
Internet: www.DhydroG.de

# Programm

## 2. Workshop zur Alpinen Hydrologie
## *Hydrologische Prozesse im Hochgebirge im Wandel der Zeit*

### Mittwoch, 15.11.2017

18:00 Uhr **Begrüßung und Welcome-Rezeption**

18:30 Uhr **Abendessen**

Vorträge 20 min. plus Fragen/Diskussion

### Donnerstag, 16.11.2017

**Themenblock 1 - Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrologie und Geomorphologie der Alpen in den letzten 150 Jahren**
**Chair: Karsten Schulz, Rapporteur: Axel Bronstert, Gertraud Meißl, Markus Weiler**

8:30 – 9:00 Uhr **Daphné Freudiger (Univ. Freiburg)**
Physiographische und klimatische Prädiktoren für die Gletscherflächenänderung von 1850 bis 2010

9:00 – 9:30 Uhr **Doris Düthmann (TU Wien)**
Änderungen der Evapotranspiration in alpinen Gebieten über die letzten 40 Jahre

9:30 – 10:00 Uhr **Kerstin Stahl (Univ. Freiburg)**
„Peak Water“ – Wann, Wo, Warum.

10:00 – 10:30 Uhr **Kaffeepause + Poster**

10:30 – 11:00 Uhr **Bernhard Eichner (Univ. Innsbruck)**
Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrologie und den Geschiebehaushalt alpiner Einzugsgebiete

11:00 – 11:30 Uhr **Johannes Schöber (TIWAG Innsbruck)**
Der Sedimenthaushalt der Gletscherbäche im Einzugsgebiet des Speichers Gepatsch in den Ötztaler Alpen in der Periode von 1964-2015

11:30 – 12:00 Uhr **Axel Bronstert (Univ. Potsdam)**
Änderungen der hydrologischen Regime im Hochgebirge infolge der Klimaänderungen: Beispiele aus Norwegen und Österreich

12:00 – 13:00 Uhr **Mittagessen**

13:00 – 16:00 Uhr **Freizeit**

15:30 – 16:00 Uhr **Kaffeepause + Poster**

**Themenblock 2 - Neue Methoden der Messung und des Monitorings von hydrologischen Prozessen im Hochgebirge – Chair: Hubert Holzmann, Rapporteur: Axel Bronstert, Gertraud Meißl, Markus Weiler**

16:00 – 16:30 Uhr **Markus Herndl (Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein)** Forschungsstation am Stoderzinken (1830 m) – Messtechnik und ausgewählte Ergebnisse zu Wasser- und Nährstoffflüssen

16:30 – 17:00 Uhr **Kay Helfricht (IGF, Innsbruck)**
Korrekturen des festen Niederschlages unter Verwendung der Schneehöhe

17:00 – 17:30 Uhr **Jakob Garvelmann (KIT Garmisch-Partenkirchen)**
Monitoring und Modellierung von Mikrometeorologie und Schneedeckenvariabilität in bewaldeten, subalpinen Untersuchungsgebieten im Schwarzwald und den nördlichen Ostalpen

17:30 – 18:00 Uhr **Martina Schink (Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein)**: Eine Methode zu Quantifizierung von Niederschlag und Verdunstung im Winter im alpinen Raum

18:00 – 19:00 Uhr **Poster + Bier** (Themenblöcke 1-3)

19:00 - 20:00 Uhr **Abendessen, anschl. weitere Gesprächstreffen**

## Freitag, 17.11.2017

**Themenblock 2 - Neue Methoden der Messung und des Monitorings von hydrologischen Prozessen im Hochgebirge – Chair: Markus Weiler, Rapporteur: Axel Bronstert**

8:30 – 9:00 Uhr **Stefan Achleitner (Univ. Innsbruck)**
Verbesserungen in der schnee-hydrologische Modellierung durch den kombinierten Einsatz von Daten aus der Fernerkundung und kontinuierlichen Neutronen Sensormessungen

9:00 – 9:30 Uhr **Gertraud Meißl (Univ. Innsbruck)**
Vergleich der Ergebnisse einer Klein- und Großberegnungsanlage – Auswirkungen der Landnutzung und Vorfeuchte auf den Oberflächenabfluss in alpinen Einzugsgebieten

9:30 – 10:00 Uhr **Jan Schmieder (Univ. Innsbruck)**
Abfluss- und Tracerreaktion eines Hochgebirgsvorfluters (Rofenache bei Vent in den Ötztaler Alpen)

10:00 – 10:30 Uhr **Michael Engel (Univ. Bozen)**
Schmelzprozesse und Abflussdynamik in vergletscherten Einzugsgebieten: Hydrologische Erkenntnisse aus 6 Jahren tracer-basierter Forschung in Südtirol

10:30 – 11:00 Uhr **Kaffeepause + Poster**

**Themenblock 3 - Neue Modellierungsansätze zur Simulation und Vorhersage der hydrologischen Prozesse im Hochgebirge (inkl. Schnee und Eis) sowie ihre Unsicherheiten - Chair: Kerstin Stahl, Rapporteur: Axel Bronstert, Gertraud Meißl, Markus Weiler**

11:00 – 11:30 Uhr **Daniel Günther (Univ. Innsbruck)**
Evaluierung energiebilanzbasierter Schneemodelle

11:30 – 12:00 Uhr **Anna Sikorska (Univ. Zürich)**
Fuzzy-Hochwasser-Klassifizierung für die Verbesserung des Verständnisses von Hochwasserprozessen in Alpengebieten unter Einfluss des Klimawandels

12:00 – 12:30 Uhr **Irene Kohn (Univ. Freiburg)**
Bedeutung der Kalibriermethode bei der hydrologischen Langzeitmodellierung von zehn alpinen Einzugsgebieten

12:30 – 13:30 Uhr **Mittagessen**

13:30 – 14:00 Uhr **Matthias Speich (WSL Birmensdorf)**
Integrierte Modellierung von Hydrologie, Walddynamik und Gletscherrückzug unter verschiedenen Klimaszenarien: Ergebnisse aus ausgewählten Einzugsgebieten in der Schweiz

14:00 – 14:30 Uhr **Judith Mayer (Univ. Freiburg)**
Modellierung meso-skaliger teilvergletscherter Einzugsgebiete in den Alpen mit korrigierten Klimamodelldaten

14:30 – 15:00 Uhr **Elena Stoll (alpS Innsbruck)**
Zukünftige Gletscherentwicklung und veränderte Abflussregime im Ötztal

15:00 – 15:30 Uhr **Markus Weiler (Univ. Freiburg)**
Abflusskomponente im Gebirge - warum es so schwer ist Gletscher-, Schnee- und Regenanteile im Abfluss zu bestimmen

15:30 – 16:00 Uhr **Kaffeepause + Poster**

16:30 – 16:30 Uhr **Diskussion/Workshops zu allen Themenblöcken**

16:30 Uhr **Abreise oder gemütliches Beisammensein**

18:30 Uhr **Abendessen**

# Posterbeiträge

**Franziska Koch (Univ. München):** Snow cover properties and soil moisture derived from GPS signals

**Teresa Pérez Ciria (Univ. Innsbruck)**: Wavelet analysis of streamflow in Alpine catchments at multiple spatial and temporal scales

**Petra Schmocker-Fackel (BAFU, Bern):** Hydro-CH2018

**Karsten Schulz (BOKU Wien)**: Obersulzbach - Hydrological changes due to glacier retreat

**Michael Stölzle (Univ. Freiburg)**: Die großen Speicher sind oben! Ein Methodenvergleich zur Bestimmung von Gebietsspeichern in alpinen Gebieten

**Marit van Tiel (Univ. Freiburg)**: Changes in streamflow variability in Swiss glacierized catchments

# Kurzfassungen

## Vorträge

Außerdem:

**Kerstin Stahl (Univ. Freiburg):** „Peak Water“ – Wann, Wo, Warum.

**Markus Weiler (Univ. Freiburg):** Abflusskomponente im Gebirge - warum es so schwer ist Gletscher-, Schnee- und Regenanteile im Abfluss zu bestimmen

## Physiographische und klimatische Prädiktoren für die Gletscherflächenänderung von 1850 bis 2010

**Daphné Freudiger**[1], Markus Weiler[1], Kerstin Stahl[2]

[1]Professur für Hydrologie, Universität Freiburg, Freiburg, 79098, Deutschland
[2]Professur für Umwelthydrosysteme, Universität Freiburg, Freiburg, 79098, Deutschland

Ein gutes Verständnis der für den Gletscherrückgang in den Alpen verantwortlichen Prozesse ist für hydrologische Studien von Bedeutung, da der Abfluss in alpinen Einzugsgebieten stark von der Gletscherschmelze abhängt. Eine Analyse vergletscherter Flächen von 976 Einzugsgebieten in den Schweizer Alpen zeigte, dass zwischen 1850 und 2010 alle Gletscher zurückgingen. Die relativen Flächenänderungen zu 1850 waren aber unterschiedlich. Um diese Unterschiede zu analysieren, wurde ein Generalized Linear Model (GLM) verwendet, das die relative und die mittlere jährliche absolute Gletscherflächenänderung ($\Delta A_{rel}$ und $\Delta A_{abs}$ resp.) anhand physiographischer und klimatischer Prädiktoren beschreibt. Als Prädiktoren wurden die ursprüngliche Gletscherfläche, die mittlere Gletscherhöhe, die mittlere Hangneigung auf und um den Gletscher, die mittlere Gletscherexposition und potentielle Einstrahlung, der mittlere Jahresniederschlag, die mittlere Temperatur sowie die Windgeschwindigkeit und der Windeffekt (im Windschatten oder windexponiert) getestet. Die Analyse wurde erst für den ganzen Datensatz und dann gruppiert für Gebiete mit kleinen (< 1km²), mittleren (1-20 km²) und großen (<20km²) Gletscherflächen separat durchgeführt. Das GLM-Model konnte allgemein 74% der Varianz von $\Delta A_{rel}$ und 94% der Varianz von $\Delta A_{abs}$ erklären, wobei die großen Gletscher jeweils den besten Fit (88% und 90% resp.) und die kleinen den schlechtesten (61% und 68% resp.) zeigten. Interessante Muster sind bei den individuellen Effekten der Prädiktoren zu erkennen. Bei $\Delta A_{abs}$ wurden bei der schrittweisen automatischen Modelloptimierung die Prädiktoren Niederschlag, Hangneigung auf und um den Gletscher, Windeffekt und Höhe für die jeweiligen Flächenklassen gewählt. Im Vergleich zum Einfluss der ursprünglichen Fläche war ihr Einfluss jedoch gering. Je größer die Fläche desto größer war $\Delta A_{abs}$. Während für den ganzen Datensatz die ursprüngliche Fläche auch die wichtigste Rolle spielte um $\Delta A_{rel}$ zu erklären, waren für die einzelnen Flächenklassen für $\Delta A_{rel}$ unterschiedliche Prädiktoren wichtig. Für die kleinen und mittleren Gletscher hatten die Hangneigung um den Gletscher sowie der Windeffekt den größten Effekt auf die relative Gletscherflächenänderung. Der Grund ist eine Reduktion von $\Delta A_{rel}$ durch steile Hänge um den Gletscher und eine Verminderung der Windexposition der Gletscherfläche. Ein größerer Input an Niederschlägen über Schneeumverteilung für die Gletscher, die von steilen Hängen umrandet sind oder im Windschatten liegen, ist also eine mögliche Erklärung für diese Resultate. Die Hangneigung vom Gletscher selbst verstärkte im Gegenteil dazu den Gletscherrückgang. Bei den großen Gletschern spielten ursprüngliche Fläche, Höhe und Windexposition die wichtigste Rolle und hatten einen positiven Einfluss auf $\Delta A_{rel}$. Diese Analyse zeigt, dass die Gletscherflächenänderung in den Alpen komplex ist und von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird, die je nach Größe des Gletschers eine unterschiedliche Rolle spielen. Während der Gletscherrückgang von den großen Gletschern hauptsächlich durch ihre Größe und Höhe bedingt ist, hängt der Gletscherrückgang von den kleineren Gletschern eher von ihrer geographischen Lage ab.

## Änderungen der Evapotranspiration in alpinen Gebieten über die letzten 40 Jahre

**Doris Duethmann,** Juraj Parajka, Günter Blöschl

TU Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie

Der Klimawandel ist von großer Bedeutung für den Wasserhaushalt und es ist wichtig zu verstehen, wie klimatische Änderungen einzelne Komponenten des Wasserkreislaufs beeinflussen. Die Evapotranspiration ist ein wichtiger Prozess, der den Wasser- und Energiekreislauf verbindet. Änderungen der Evapotranspiration sind relevant für die Bodenfeuchte, Grund- und Oberflächenwasserressourcen und sie beeinflussen das regionale Klima. Mit dem Klimawandel sind deutliche Änderungen der Evapotranspiration zu erwarten – wie hoch diese ausfallen werden, ist allerdings noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Die Analyse von Änderungen der Evapotranspiration in der Vergangenheit ist wichtig, um besser zu verstehen, wie sich die Einflussfaktoren auf Änderungen in der Evapotranspiration auswirken und somit Änderungen der Evapotranspiration unter sich ändernden klimatischen Bedingungen besser vorhersagen zu können.

In diesem Beitrag untersuchen wir Änderungen in der aus der Wasserbilanz abgeleiteten Gebietsverdunstung in mehr als 150 Gebieten in Österreich über den Zeitraum 1977-2014. In 2/3 der Gebiete hat die Evapotranspiration signifikant ($p \leq 0.05$) zugenommen. Im Mittel über alle untersuchten Gebiete beträgt die Zunahme ~30 mm Dekade$^{-1}$ (bei einer mittleren Verdunstung von 480 mm y$^{-1}$).

Die Änderungen der Evapotranspiration gehen einher mit Zunahmen der Globalstrahlung, der Lufttemperatur und Änderungen in weiteren klimatischen Größen. Allerdings können die Änderungen in der aus klimatischen Größen abgeleiteten Referenzverdunstung die Zunahmen in der Gebietsverdunstung nur teilweise erklären. Wir vermuten, dass sich ein Teil des Anstiegs der Evapotranspiration auf eine Zunahme des Niederschlags und somit der zur Verfügung stehenden Feuchte in einem Teil der Gebiete zurückführen lässt. Ein weiterer vermuteter Treiber sind Änderungen der Vegetation. Neben den direkten Auswirkungen auf die Referenzverdunstung tragen Zunahmen in Lufttemperatur und Strahlung zu einem stärkeren Vegetationswachstum bei, welches die Evapotranspiration vermutlich zusätzlich erhöht hat.

## Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrologie und den Geschiebehaushalt alpiner Einzugsgebiete

**Bernhard Eichner**, Stefan Achleitner, Johannes Kammerlander, Thomas Einfalt, Alrun Jasper-Tönnies, Alexander Strehz, Michael Chiari

Arbeitsbereich Wasserbau - Institut für Infrastruktur, Fakultät für Technische Wissenschaften, Universität Innsbruck

Alpine Einzugsgebiete dienen sowohl als Wasser- als auch als Feststoffquellen dem gesamten darunter liegenden Flusssystem. Durch die stark wechselnden Abflüsse und den damit verbundenen Sedimenttransport beeinflussen und prägen sie maßgeblich das ganze Gewässernetz. Während der Geschiebetransport in größeren und flacheren Flüssen bereits gut durch empirisch ermittelte Formel erfasst werden kann, fällt dies bei steilen Gebirgsbächen schwerer. Einerseits kommt es aufgrund der morphologischen Strukturen, wie stark variierende Querschnittsänderungen und Richtungswechsel, Absturz-Becken-Sequenzen oder gar Kaskaden, zu erheblichen Energieverlusten, wodurch weniger Strömungskraft zum Transport verfügbar bleibt. Andererseits führen die häufig langanhaltenden niedrigen Abflussverhältnisse dazu, dass lediglich die Feinanteile der Gewässersohle mobilisiert werden. Dadurch kommt es zur Ausbildung einer Deckschicht, welche wiederum mehr Widerstand gegen eine komplette Mobilisierung aufweist. Durch diese Eigenheiten und einer meist auftretenden Verfügbarkeitslimitierung von Sedimenten kommt es in Gebirgsbächen zu keinem eindeutigen Zusammenhang zwischen Abfluss und Geschiebetransport.

Im vom Klimafonds geförderten Forschungsprojekt DevoBeTA-CC (**De**velopment **o**f **Be**dload **T**ransport in **A**lpine Catchments under **C**limate **C**hange) bilden 20 Wasserfassungen der *Tiroler Wasserkraft AG* (TIWAG) die Datengrundlage für die langfristige Entwicklung des Geschiebetransports alpiner Einzugsgebiete. Dabei werden sowohl die hydrologischen Veränderungen als auch die örtliche und zeitliche Variabilität der Geschiebefrachten untersucht. Ausgehend von diesen Langzeitdaten wurden hydrologische Wasserhaushaltsmodelle mittels Monte-Carlo-Simulation kalibriert, deren Ergebnisse als Eingangsgröße für nachfolgende 1D-Geschiebetransport-Simulationen dienen. Diese Transport-Modelle wurden mit Hilfe von Linienzahlanalysen und vor Ort durchgeführten Geschiebemessungen kalibriert.

Um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Hydrologie und den Geschiebehaushalt abschätzen zu können, sind verschiedene globale Klimamodelle und -szenarien als Antrieb für ein regionales Modell verwendet worden. Die daraus erhaltenen Ergebnisse für Niederschlags- und Temperaturdaten wurden durch räumliches und zeitliches Downscaling in ein feineres Raster überführt worden. Dieses entspricht dem für die Kalibrierung der hydrologischen Modelle verwendeten INCA-Raster (*Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – ZAMG*) mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde. Daraus ergibt sich eine Modellkette von Klimawandelszenarien als Input für hydrologische Modellierungen, deren Ergebnisse wiederum Geschiebetransport-Simulationen antreiben. Je nach Szenario (ECHAM5 und HADCM3) variieren die hydrologischen Ergebnisse, wobei sich die Resultate nicht linear auf die simulierten Geschiebefrachten auswirken.

**Der Sedimenthaushalt der Gletscherbäche im Einzugsgebiet des Speichers Gepatsch in den Ötztaler Alpen in der Periode von 1964-2015**

**Johannes Schöber** und Bernhard Hofer

TIWAG AG, Innsbruck

Die TIWAG – Tiroler Wasserkraft AG betreibt nunmehr seit über 50 Jahren das Kaunertalkraftwerk in den westlichen Ötztaler Alpen mit dem Jahresspeicher Gepatsch als zentralem Element und legte dabei seit dem Beginn der Planungsarbeiten in den 1950er Jahren und insbesondere seit Inbetriebnahme des Kraftwerkes im Jahr 1964 ein besonderes Augenmerk auf den Sedimenthaushalt im Einzugsgebiet des Kraftwerkes und dessen Umfeld. Die Sedimentationsvorgänge im Speicher Gepatsch werden für eine mehr als 50-jährige Periode bis zum Jahr 2015 beschrieben. In diesem Jahr konnte die Verlandung des Speichers Gepatsch im Zuge einer Totalentleerung genau vermessen werden. Bis 2015 sind 4,9 Mio. m³ des Stauraumes verloren gegangen. Dies entspricht 3,5% des gesamten Stauraumes mit 140 Mio. m³.

In der gesamten Betriebsdauer des Kaunertalkraftwerks stehen Aufzeichnungen des Abflusses sowie drei Gletscherinventare zur Verfügung. Die Daten zeigen erhöhte Abflüsse in den letzten 2 Jahrzehnten, die mit den Veränderungen der Gletscher zusammenhängen. Zur Rekonstruktion des Sedimenthaushaltes stehen kontinuierlichen Messreihen der Jahresgeschiebefrachten (50 Jahre Daten aus den Entsanderkammern der Wasserfassungen des Kaunertalkraftwerks) und der Schwebstoffkonzentrationen (etwa 10 jährige Reihen) in den Zubringerbächen des Speichers zur Verfügung. Unter Verwendung dieser Daten kann die Gesamtverlandung des Speichers rekonstruiert werden. Der Geschiebeanteil an der Gesamtverlandung kann aus den umfangreichen Messdaten abgeleitet werden. Mittels Regressionsmodellen werden der Schwebstoffanteil der Verlandung in Abhängigkeit des Abflusses und der Gletscher berechnet. Unterschiedliche empirische Modelle und Rekonstruktionen der Verlandung des Speichers Gepatsch haben Abweichungen zu den Messungen in der Größenordnung von 3 und 11 %. Die erstellten Methoden ermöglichen genaue Berechnungen des Sedimenthaushalts in den hochalpinen Gewässern im Einzugsgebiet des Kaunertalkraftwerkes aber auch darüber hinaus im Großteil der vergletscherten, kristallinen Zentralalpen Österreichs.

**Änderungen der hydrologischen Regime im Hochgebirge infolge der Klimaänderungen: Beispiele aus Norwegen und Österreich**

Klaus Vormoor, Christoph Kormann, Till Francke, **Axel Bronstert**

Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Lehrstuhl für hydrologie und Klimatologie

Änderungen der hydro-klimatologischen Bedingungen im Hochgebirge sind insbesondere bezüglich möglicher Änderungen der hydrologischen Regime von Bedeutung. Dabei geht es darum inwieweit sich die Mechanismen und die zeitliche Ausprägung unterschiedlicher Prozesse des Wasserkreislaufs ändern. Solche Änderungen betreffen generell alle Teilprozesse des Wasserkreislaufs. Für Wassermanagementbelange in Gebirgsregionen und auch in den Regionen, die Wasserressourcen aus Bergregionen nutzen sind dabei die möglichen Änderungen des Niederschlags (Aggregatzustand, Menge und Intensität), der Verdunstung (Menge und Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit) und des Abflusses (Entstehungsmechanismen, Menge und Variabilität) die wichtigsten Fragen.
Dieser Beitrag stellt detaillierte Analysen zu Änderungen des Regimes der genannten Prozesse aus Österreich (alpine Einzugsgebiete in Tirol, Österreich) und aus Norwegen (sechs verschiedene, repräsentative Einzugsgebiete in Norwegen) vor. Dafür werden Methoden aus der mathematischen Datenanalyse, hier vorwiegend statistische Verfahren, und aus der prozess-basierten Modellierung kombiniert. Auf Basis der Analyse der aktuellen Situation und in den vergangenen Jahrzehnten wird durch prozess-orientierte Simulation der Frage nachgegangen, wie sich die Wasserressourcen in solchen Hochgebirgsregionen in den nächsten Dekaden weiter entwickeln werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass es keine allgemein gültigen Aussagen zu den Trends der hydrologischen Regime in Hochgebirgsregionen gibt. Vielmehr erzeugen die Interaktionen aus der Höhenabhängigkeit der hydrologischen Prozesse, den regions-, höhen- und jahreszeitspezifischen Dargeboten des Niederschlags und dessen Aggregatzustand und des regions-, höhen- und jahreszeitspezifischen Energiedargebotes der Atmosphäre in Form von Strahlung und Wärme eine sehr große Anzahl an unterschiedlichen möglichen Entwicklungen der hydrologischen Regime in Hochgebirgsregionen.
Durch die zeitlich sehr hoch aufgelöste Analyse von langjährigen Beobachtungsdaten aus den Tiroler Alpen (Tagesdaten als Grundlage seiner Zeitreihenanalyse und nicht wie sonst üblich Jahresmittelwerte oder saisonale Werte) gelang es, die Ursache der gefundenen Trends zu ermitteln. Dabei wird deutlich, dass erst die höhen- und jahreszeitabhängige Analyse der Teilprozesse und deren Überlagerungen eine Projektion der zu erwartenden langfristigeren Änderungen ermöglicht. Die Untersuchung der Überlagerungsphänomene ist von besonderer Wichtigkeit, weil dadurch künftige Entwicklungen der Wasserverfügbarkeit erst beurteilbar werden, die etwa aufgrund von gegenläufigen Trends in der Abflussbildung und der Verdunstung entstehen.
Die Analyse aus den unterschiedlichen Einzugsgebieten Norwegens konzentriert sich auf Änderungen in den Hochwasserbedingungen. bzgl. der Relevanz und Stärke von Änderungen des Hochwasserregimes in verschiedenen Regionstypen. Dadurch wird eine wissenschaftlich-basierte hydrologische „Projektion“ der Entwicklung solch gemischter

Hochwasserregime für die nächsten Dekaden und auch der damit verbundene Unsicherheiten ermöglicht. Auch hier lässt sich schlussfolgern, dass allgemeingültige Aussagen zu Entwicklung der Hochwasserbedingungen nicht sinnvoll sind, da die die Ergebnisse durch die regions-, höhen- und jahreszeitlichen Spezifika geprägt werden.

Die Untersuchungen erzielten wichtige Kenntnisse für die hydrologisch orientierte Klimawirkungsforschung für Hochgebirgsregionen. Diese gehen deutlich über den Rahmen dessen hinaus, was üblicherweise in den Klimawirkungsprojektionen hierzu veröffentlicht wird, etwa in den IPCC-Berichten.

**Forschungsstation am Stoderzinken (1830 m) – Messtechnik und ausgewählte Ergebnisse zu Wasser- und Nährstoffflüssen**

**Herndl, M.**[1], Birk, S.[2], Winkler, G.[2], Schink, M.[1], Kandolf, M.[1], Bohner, A.[1]

[1] Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal, Österreich, E-Mail: markus.herndl@raumberg-gumpenstein.at
[2] Institut für Erdwissenschaften, Universität Graz, Heinrichstraße 26, 8010 Graz

In Österreich sind rund 13% der Gesamtkatasterfläche Almflächen. Neben der landwirtschaftlichen Nutzung sind Almregionen wie z.B. die Nordöstlichen Kalkalpen aber auch sehr wichtig für die Trinkwasserversorgung. Sowohl die Übernutzung von Almflächen als auch die Nutzungsaufgabe können eine Bedrohung für diese Ressource darstellen. Wegen der oft kurzen Verweilzeit des Wassers an der Oberfläche ist die Filter-, Puffer- und Transformationskapazität der Almvegetation und des -bodens so wichtig für die Qualität des Karstquellwassers. Um den Einfluss von Atmosphäre, Boden und Pflanze auf die Quantität und Qualität von Grundwasserneubildung auf einen Almstandort erforschen zu können, bedarf es langfristiger und umfassender Datenreihen zu Niederschlag, Verdunstung, Nährstoffentzug und -auswaschung.

Um den Anforderungen an Erfassung von langfristigen Datenreihen zu Wasser- und Stoffbilanzen auf einem Almstandort gerecht zu werden, wurde im Jahr 2005 an der Westseite des Stoderzinkens (1830 m Seehöhe), Obersteiermark, eine Forschungsstation errichtet. Die Forschungsstation besteht im Wesentlichen aus zwei Einheiten, einer Lysimeter- und einer Wetterstation.

Die Lysimeterstation besteht aus einem wägbaren monolithischen Lysimeter (Oberfläche = 1 m²; Tiefe = 0,9 m), einem monolithischen Bodenwassersammler (Oberfläche = 0,071 m²; Tiefe = 0,6 m) sowie einem Freilandmessprofil. Die Wetterstation besteht aus einer Basis-Wetterstation, wo in 2 m Höhe Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Globalstrahlung, relative Feuchte und Lufttemperatur gemessen werden. Der Niederschlag kann durch ein laseroptisches Distrometer, eine Niederschlagswaage, vier Niederschlagssammler im Sommer und ein Schneekissen mit Schneehöhensensor zusätzlich im Winter ermittelt werden.

Ergebnisse zu Wasserflüssen aus einer Analyse über fünf Jahre hinweg zeigen für den Standort hohe jährliche Niederschlagssummen die Werte von bis zu 2600 mm erreichen können, meist eine kurze Vegetationsperiode und beträchtliche Sickerwassermengen, die Maxima von rund 2000 mm pro Monat erreichen können.

Ergebnisse zu Nährstoffflüssen zeigen dass der durchschnittliche jährliche Eintrag über den Niederschlag am Standort für Stickstoff rund 10 kg und für Schwefel 5 kg ha-1 betrug. Stoffausträge sind auf diesem Standort hauptsächlich über die Sickerwassermenge zur Schneeschmelze getrieben, welche z.B. bei Nitrat Frachten von bis über 5 kg pro ha und Monat erreichen können.

Aktuell werden auf der Forschungsstation Grundlagendaten zu Stoffflüssen von organischen Stoffen erhoben und bilanziert. Auch die Analyse von Verdunstung und der Vergleich mit Evapotranspirationsmodellen sind momentan Gegenstand von Arbeiten.

## Korrekturen des festen Niederschlages unter Verwendung der Schneehöhe

**Kay Helfricht**[1], Lea Hartl[1], Roland Koch[2], Marc Olefs[2]

1 Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung (IGF), Österreichische Akademie der Wissenschaften, Innsbruck
2 Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), Abteilung Klimafolgen,Wien

Besonders der feste Niederschlag unterliegt einem systematischen Messfehler. Bei entsprechend kalter und windiger Witterung im Gebirge werden Hydrometeore an den Niederschlagsmessern vorbei geweht. Ein weiterer Teil verdunstet an den beheizten Geräten. Dieser Messfehler wird zumeist durch eine fixe, prozentuale Korrektur oder durch Abhängigkeiten von Wind und Temperatur korrigiert.
Im Projekt pluSnow wird die umfangreiche Datengrundlage von zeitlich hoch aufgelösten, optischen Schneehöhenmessungen an TAWES Stationen der ZAMG zur Plausibilisierung und Korrektur von Niederschlagsmengen analysiert. Eine erste Bedarfsanalyse unter Verwendung bestehender Korrekturformeln an den Stationen, welche mit dem optischen Laser-Schneehöhensensor SHM 30 ausgestattet sind, zeigt die Bandbreite der Unterschätzung des Niederschlages in Abhängigkeit von der Seehöhe. Im flächenbezogen bedeutsamen Bereich von 500 m bis 1500 m NN zeigt sich eine Unterschätzung von 10 % bis 30 %.
Zumeist werden Schneehöhen mit Ultraschallsensoren gemessen. Diese besitzen eine hohe Unsicherheit im Bereich von Zentimeter bis Dezimeter aufgrund der Abhängigkeit der Signallaufgeschwindigkeit von Luftfeuchte, Temperatur und Wind. Vor allem bei Schneeniederschlag kann das zurückgestreute Signal aus dem Volumen kommen und nicht von der Reflektion an der Schneeoberfläche stammen. Hier verspricht der optische Laser-Schneehöhensensor eine bessere Performance. Korrelationsanalysen von Niederschlagsmenge und Schneehöhenzuwachs aus den Laserdaten zeigen vor allem im mittleren Höhenbereich einen sehr hohen Zusammenhang auf Basis von 60-minütigen Werten wie auch auf Basis von 10-minütigen Werten. Hingegen sind die Korrelationen gering im Bereich der Stationen im Flachland, wo es vermehrt auch zu Mischniederschlägen kommt, so wie auch an den Gipfelstationen mit viel Windeinfluss.
Für den quantitativen Vergleich zwischen Niederschlag und Schneedeckenzuwachs muss die Schneedichte bekannt sein. Diese wurde an vier Stationen mit Kombination aus SWE-Messung und Schneehöhenmessung auf stündlichen Werten ermittelt. Hier zeigt sich, dass bestehende Formeln mit Bedacht auf die zeitliche Auflösung des Modells gewählt werden sollten. Die berechnete Neuschneedichte ist mit Werten zwischen 40 und 80 $kgm^{-3}$ deutlich geringer als der gebräuchliche Schätzwert von 100 $kgm^{-3}$. Die Variabilität der Neuschneedichten in den berechneten Werten kann nur vage mit Hilfe von meteorologischen Parametern erklärt werden. Hier sind zukünftige Arbeiten mit feinerer Sensorik wünschenswert.

**Monitoring und Modellierung von Mikrometeorologie und Schneedeckenvariabilität in bewaldeten, subalpinen Untersuchungsgebieten im Schwarzwald und den nördlichen Ostalpen**

**Jakob Garvelmann[1]**, Stefan Pohl[2], Kristian Förster[3], Michael Warscher[1,4], Ulrich Strasser[3], und Harald Kunstmann[1,4]

[1]Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMK-IFU)
[2]Universität Freiburg, Professur für Hydrologie
[3]Universität Innsbruck, Institut für Geographie
[4]Universität Augsburg, Institut für Geographie3

Die Modellierung der räumlichen Verteilung und zeitlichen Entwicklung der Schneedecke in bewaldeten, subalpinen Lagen stellt eine sehr große Herausforderung dar. Messdaten in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bieten die Möglichkeit, die wichtigsten Prozesse zu quantifizieren um somit die Modellierung zu verbessern, und die Modellergebnisse optimal validieren zu können.
Mit einem innovativen experimentellen Ansatz, wurden detaillierte, räumlich verteilte, Messdaten zur Mikroklimatologie und Schneehöhe erhoben. Dieser besteht aus der Kombination von bereits vorhandenen Wetterstationen mit einem engmaschigen Netzwerk aus zahlreichen, autonom operierenden Messstationen (SnoMoS), ergänzt durch den Einsatz von Intervallkameras. Dabei wurden die SnoMoS und Intervallkameras auf möglichst alle Höhenlagen und Expositionen in den Untersuchungsgebieten verteilt. Um die Einflüsse der Vegetation zu untersuchen, wurden jeweils Stationspaare (Wiese/Wald) eingesetzt. Die SnoMoS liefern Messdaten zu Lufttemperatur und -feuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung, Luftdruck, Oberflächentemperatur und Schneehöhe. Die Bilder der Intervallkameras ergänzen diese Daten durch Informationen über Wetterbedingungen, Niederschlagsphase, Schneehöhe, und über den Schneeinterzeptionsprozess. Ein solches Messnetz wurde in den Wintern 2010/11 bis 2013/14 im Schwarzwald eingesetzt. In den Wintern 2014/15 bis 2016/17 wurden Messdaten in den Ammergauer, den Kitzbüheler, sowie den Berchtesgadener Alpen erhoben. Der Datensatz umfasst die täglichen Schneehöhen von 65 Stationspaaren, sowie 2-stündliche Messungen zur Mikrometeorologie an über 100 Stationspaaren (Windgeschwindigkeit: n=110, Globalstrahlung: n=108, Lufttemperatur: n=142, Luftfeuchte: n=136). Außerdem stehen über 30 Zeitreihen zur Schneeinterzeptionsdynamik zur Verfügung.
Der Einfluss der Waldbedeckung auf die erhobenen mikrometeorologischen Daten ist deutlich zu erkennen. Der Tagesgang der Lufttemperatur im Wald ist deutlich gedämpft, die Luftfeuchte etwas höher. Die größten Unterschiede zwischen Wald und Freiland wurden bei Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung gemessen. Die Windgeschwindigkeit ist im Wald im Mittel um etwa 80% reduziert, die eingehende Globalstrahlung im Mittel um etwa 90% reduziert. Das Schneewasseräquivalent im Wald ist im Mittel um 34 % geringer und die Schneebedeckungsdauer im Schnitt um 7 Tage kürzer. Bei den Schmelzraten im Wald zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden Studiengebieten mit Reduktionen der Schmelzraten um 28% im Vergleich zu den unbewaldeten Standorten im Schwarzwald und um 12 % im subalpinen Bereich der nördlichen Ostalpen.

Die Messdaten der SnoMoS eignen sich außerdem hervorragend zur Evaluierung und Weiterentwicklung von bestehenden Modellen der Mikroklimatologie in bewaldeten subalpinen Gebieten. Die Bilder der Intervallkameras zeigen die Dynamik des Interzeptionsprozesses, die abhängig von den meteorologischen Bedingungen sehr unterschiedlich sein kann.

Des Weiteren wurden die SnoMoS-Daten, sowie die Messdaten von je nach meteorologischer Variable bis zu 20 fest installierten Klimastationen im Nationalpark der Berchtesgadener Alpen und Umgebung verwendet, um verschiedene meteorologische Felder basierend aus unterschiedlichen Stationskombinationen zu generieren. Diese meteorologischen Felder dienten als Input für die Modellierung des Wasserhaushalts im Untersuchungsgebiet mit dem hydrologischen Model WaSiM, mit dem Ziel den bestmöglichen Inputdatensatz zu finden. Da das Untersuchungsgebiet zu etwa 48 % bewaldet ist, wurden in das Model WaSiM mehrere Weiterentwicklungen zur Berücksichtigung der Schnee-Wald-Interaktionen implementiert. Die im Wald erhobenen SnoMoS-Daten ermöglichen dabei die Validierung des weiterentwickelten Models.

**Eine Methode zu Quantifizierung von Niederschlag und Verdunstung im Winter im alpinen Raum**

**Martina Schink**[1], Markus Herndl[1], Veronika Slawitsch[1], Matthias Kandolf[1], Georg von Unold[2]

[1] Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal, Österreich, E-Mail: martina.schink@raumberg-gumpenstein.at

[2] METER Group AG, Mettlacher Straße 8, D- 81379 München, Deutschland

Die Wasserbilanz auf einem alpinen Standort im Winter ist je nach Höhenlage beeinflusst von Schneefall und Verdunstung (Sublimation). Die Quantifizierung von Niederschlag in Form von Schnee ist zwar möglich, aber durch Einflüsse wie Wind und Verdunstungsverluste am Niederschlagsmessgerät nur sehr schwer exakt zu ermitteln. Für die Darstellung einer korrekten jährlichen Wasserbilanz an alpinen Standorten ist es aber notwendig, die Parameter Niederschlag sowie Verdunstung möglichst genau zu quantifizieren.

An der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde 2012 eine Lysimeteranlage mit 6 Bodenmonolithen für Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt errichtet. Das Lysimeterhexagon besteht aus wägbaren Monolithlysimeter mit je einer Oberfläche von 1 m² und einer Tiefe von 1,5 m. In den Tiefen 10, 30 und 50 cm sind TDR-Trime Sonden zur Wassergehaltsmessung, sowie kombinierte Tensiometer T08 zur Bestimmung des Matrixpotentials und der Bodentemperatur installiert. Das Sickerwasser wird in einem Sickerwassertank mit integrierter Waage ermittelt.

Wägbare monolithische Lysimeter sind in der Lage Niederschlag und Verdunstung hochpräzise zu ermitteln. Allerdings kommt es im Winter durch die Schneedeckenbildung zu einer Verfälschung der Wiegesignale. Die Fa. Meter Group, ehemals Fa. UMS AG entwickelte ein technisches Schneetrennsystem für Lysimeter, welches in der Lage ist, die Schneeauflast am Lysimeter von der umgebenden Schneedecke mechanisch zu trennen und somit die Genauigkeit der Gewichtsmessung unter einer Schneelast zu erhöhen. Gemäß Gebrauchsmusterschutz 20 2009 000 642.5 wird ein Schneetrennverfahren eingesetzt, das durch Intervallauslenkung des Lysimetergefäßes die Sinterbrücken der Schneekristalle bricht. Ein Motor bewegt zwei kardanisch aufgehängte Schubstangen im 90° Winkel und das Lysimeter wird in X- und Y-Richtung ausgelenkt. Die rotierende Bewegung des Lysimeters bewirkt eine Abtrennung der Schneedecke am Lysimeter von der Umgebung.

Erste Ergebnisse im Vergleich zu einem Lysimeter der nicht mit dem Schneetrennsystem ausgestattet war zeigen, dass sowohl in der Schneeakkumulations- als auch in der Schmelzphase die störende Krafteinwirkung der umliegenden Schneedecke reduziert wurde. Die durch die Schneedecke verursachten Gewichtsschwankungen wurden eliminiert und Winterniederschlag und Sublimation konnten im Zeitraum der Beobachtung gut quantifiziert werden.

Ein Bewertung der Effekte, die Tauglichkeit und Grenzen des Schneetrennsystems unter unterschiedlichen Bedingungen und Schneehöhen kann aufgrund des kurzen Beobachtungszeitraums nur bedingt getroffen werden. Daher wurden die restlichen 5 Lysimeter im Jahr 2015 ebenfalls mit dem Schneetrennsystem ausgestattet um gesicherte Aussagen bezüglich Validität des Systems zu erreichen. Auswertungen dahingehend sind derzeit noch in Bearbeitung.

**Verbesserungen in der schnee-hydrologische Modellierung durch den kombinierten Einsatz von Daten aus der Fernerkundung und kontinuierlichen Neutronen Sensormessungen**

Paul Schattan[1], Johannes Schöber[2], Christine Fey[1], Gabriele Baroni[3], Sascha E. Oswald[3], Till Francke[3], Matthias Huttenlau[1], Robert Kirnbauer[4] & **Stefan Achleitner[5]**

1 alpS GmbH Innsbruck
2 TIWAG AG, Innsbruck
3 Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam
4 Forschungsbereich für Ingenieurhydrologie und Wassermengenwirtschaft, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, TU Wien
5 Arbeitsbereich Wasserbau, Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck

Die Arbeit befasst sich mit der kombinierten Anwendung von Satelliten basierten Schneeflächendaten und in-situ Schneewasseräquivalentmessungen zur Kalibrierung eines schnee-hydrologischen Modells. Satellitendaten sind dabei operationell beziehbar. Die Messung des Schneewasseräquivalent stellt - unabhängig ob automatisch erfasst oder mittels händischen Messungen - einen Punktwert dar und muss hinsichtlich der Repräsentativität für die Nutzung zur Modellkalibrierung hinterfragt werden. In dieser Arbeit kommen daher zusätzlich innovative Schneewasserwertmessungen auf einer lokalen, räumlich Skale zur Anwendung.
Insgesamt wurden untersucht, ob (I) Modellresultate durch die Kombination der Feldmessungen und Fernerkundungsdaten verbessert werden und (II) welche Messdaten am besten geeignet sind. Dazu wurden die Schneebedingungen im Umfeld der Station Weißsee in einem Teileinzugsgebiet des Pegels Gepatschalm (52km2) im hinteren Kaunertal zwei Winter lang detailliert untersucht und folgende Datensätze gewonnen: (a) kontinuierliche Schneemessungen an einer Wetterstation (Schneewasseräquivalent auf der Punkt-Skale), (b) zahlreiche terrestrischer Laserscanning Messkampagnen zur Gewinnung flächendetaillierter Schneehöhenmessungen im Umfeld der Wetterstation und (c) kontinuierliche Daten des Schneewasseräquivalent basierend auf der Auswertungen eines Neutronen Sensors, der die Abminderung der kosmischen Einstrahlung durch die Schneedecke misst. Die Daten des Neutronen Sensors repräsentieren das mittlere Schneewasseräquivalent innerhalb eines Radius von ca. 250m. Als Fernerkundungsdaten werden zahlreiche Schneebedeckungskarten (Landsat 8 und Sentinel-2A), die das gesamte Einzugsgebiet des Pegels Gepatschalm abdecken, verwendet. Die Kalibrierung wurde für verschiedene multi- kriterielle Zielfunktionen aus Abfluss, Schneeflächendaten und in-situ Schneewasseräquivalent durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass die Verwendung der räumlich repräsentativen Schneewasseräquivalentdaten (abgeleitet aus Messungen des Neutronen Sensors) zu weitaus besseren Modellergebnissen führt, als die Verwendung der Daten der Punktskale (Schneewasseräquivalent der Wetterstation).

**Vergleich der Ergebnisse einer Klein- und Großberegnungsanlage – Auswirkungen der Landnutzung und Vorfeuchte auf den Oberflächenabfluss in alpinen Einzugsgebieten**

**Gertraud Meißl**[1], Klaus Klebinder[2], Christoph Mayerhofer[(1,2)], Bernhard Kohl[2], Gerhard Markart[2]

1 Institut für Geographie, Universität Innsbruck, Österreich
2 Institut für Naturgefahren, Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Innsbruck, Österreich

Seit den 70er Jahren wurden im Ostalpenraum zahlreiche Beregnungsversuche durchgeführt, um Abfluss- und Erosionsprozesse auf der Plotskale zu untersuchen. Für das Verständnis von Abflussbildungsprozessen auf der Hangskale zeigten Vergleichsstudien, dass Beregnungsanlagen mit größerer Beregnungsfläche (≥40 m²) bessere Ergebnisse liefern als Kleinberegnungsanlagen (≤ 4 m²). Trotzdem werden letztere sehr häufig eingesetzt, weil sie leichter transportiert werden können sowie der Versuchsaufwand und Wasserbedarf deutlich geringer sind.
Ziel unserer Untersuchungen war daher die Identifikation von Standortseigenschaften, aus denen eine Abschätzung der Repräsentativität der Ergebnisse der Kleinberegnungen abgeleitet werden kann. Dazu wurden Starkregenversuche (Dauer 1h, Niederschlagsintensität 100 mm h-1) auf acht Testflächen in den Ostalpen mit unterschiedlicher Landnutzung, Beweidungsintensität und Bodenvorfeuchte durchgeführt. Den 14 Großregenversuchen (40 – 80 m²) standen 39 Versuche mit einer Kleinberegnungsanlage (1 m²) gegenüber.
Auf intensiv beweideten Flächen liefert die Kleinberegnungsanlage wegen des verdichteten Oberbodens und kurzen Fließwegs signifikant höhere Oberflächenabflusskoeffizienten als die Großregenanlage. Auf Mähwiesen mit nur kurzer herbstlicher Beweidung zeigten beide Beregnungsanlagen ähnliche Ergebnisse, teilweise lagen die mit der Kleinberegnungsanlage gemessenen Abflusskoeffizienten auch unter jenen der Großregenanlage. Die gemessenen Oberflächenabflussvolumina zeigten eine starke Abhängigkeit von der Bodenvorfeuchte und der Beweidungsintensität.

Details siehe unter:
Mayerhofer Ch., Meißl G., Klebinder K., Kohl B., Markart G. (2017): Comparison of the results of a small-plot and a large-plot rainfall simulator - Effects of land use and land cover on surface runoff in Alpine catchments. Catena 156: 184-196.

## Abfluss- und Tracerreaktion eines Hochgebirgsvorfluters (Rofenache bei Vent in den Ötztaler Alpen, Österreich)

**Jan Schmieder**, Florian Hanzer, Thomas Marke und Ulrich Strasser

Universität Innsbruck, Institut für Geographie

Die Wasserverfügbarkeit in den Alpen ist für die Energiegewinnung, die Landwirtschaft und den Tourismus von zentraler Bedeutung. Daher ist fundiertes Wissen über die Herkunft und Fließpfade des Wassers wichtig, vor allem um zukünftige Zustände des hydrologischen Kreislaufes prozessorientiert abbilden zu können. In dieser Studie präsentieren wir auf tages- und jahreszyklischer Skala das Abflussverhalten und die Tracerreaktion eines Hochgebirgsvorfluters, welcher durch Schnee- und Eisschmelze, Regen und Grundwasser gespeist wird.

Ein perzeptives Modell der Abflussbildung wurde auf Grundlage der Analyse eines zweijährigen Tracerdatensatzes von Sauerstoff-18 und elektrischer Leitfähigkeit abgeleitet. Dieses Modell beschreibt Abflussbildungsprozesse im Einzugsgebiet eines Vorfluter mit glazialem Abflussregime während sechs typischer Systemzustände, klassifiziert als i) winterlicher Basisabfluss, ii) frühe Schneeschmelze, iii) Hauptschneeschmelze, iv) Schnee-/Gletscherschmelze, v) Hauptgletscherschmelze und vi) Gletscherschmelze/Regen. Die identifizierten Perioden unterscheiden sich im Schneebedeckungsgrad, Ausbildungsgrad des Drainagesystems des Gletschers, Abfluss, Tracersignatur und deren Variabilität, Lufttemperatur, Niederschlag und Bodensättigung.

In einem weiteren Schritt wurden die Abflusskomponenten mithilfe eines tracerbasierten Mischungsmodells auf Ereignis- (tägliche Auflösung) und Jahresskala (monatliche Auflösung) abgeschätzt. Maximale Abflussanteile (tägliche Auflösung) betrugen 75% für Schneeschmelze, 69% für Eisschmelze, 23% für Regen und 81% für Grundwasser. Die monatlich abgeschätzten Schnee- und Eisschmelzanteile wurden mit Ergebnissen verglichen, welche mit dem flächenverteilten, energiebilanzbasierten hydroklimatologischen Modell AMUNDSEN simuliert wurden.

**Schmelzprozesse und Abflussdynamik in vergletscherten Einzugsgebieten: Hydrologische Erkenntnisse aus 6 Jahren tracer-basierter Forschung in Südtirol**

**Michael Engel**[1], Daniele Penna[2], Giacomo Bertoldi[3], Werner Tirler[4], Francesco Comiti[1]

[1]Fakultät für Naturwissenschaften und Technik, Freie Universität Bozen, Italien
[2]Fachbereich für Landwirtschaft, Ernährung und Forstwirtschaft, Universität Florenz, Italien
[3]Institut für Alpine Umwelt, EURAC, Bozen, Italien
[4]Eco-Research srl, Bozen, Italien

Die Änderung des Klimas zeigt sich in alpinen Einzugsgebieten besonders deutlich durch den Rückgang von Schneebedeckung, Gletschern und Permafrost. Dies beeinflusst die Schmelzprozesse und Abflussdynamik der Gebirgsbäche und damit die Verfügbarkeit von Frischwasser in der Region und folglich auch im gesamten Flusseinzugsgebiets.
In diesem Zusammenhang soll die vorliegende Arbeit einen Überblick über die tracer-basierte Erforschung von Schmelzprozessen und Abflussdynamik in zwei vergletscherten Einzugsgebieten in Südtirol, Italien geben:
Im Oberen Matschtal (Einzugsgebietsgröße: 62 km²) , Teil des Ötztal-Stubai-Komplexes, wurden seit 2011 die räumlich-zeitliche Variabilität von Abflusskomponenten wie Schnee- und Gletscherschmelze sowie Grundwasser mittels stabiler Wasserisotope ($\delta^2$H und $\delta^{18}$O) und elektrischer Leitfähigkeit auf verschiedenen Zeitskalen untersucht. Zum einen wurden auf monatlicher Skala die dominierenden Abflusskomponenten des Saldurbachs bestimmt sowie der Anteil der Schneeschmelze an der Grundwasserneubildung abgeschätzt.
Dieser Messansatz zur Bestimmung der räumlich-zeitlichen Variabilität von Abflusskomponenten wurde in ein größeres Einzugsgebiet mit heterogener Geologie übertragen. Das benachbarte Suldental (Einzugsgebietsgröße: 131 km²), Teil der Ortler-Cevedale-Gruppe, wurde seit 2014 hydrochemisch untersucht. Am Gebietsauslass wurden neben hydrometrischen Daten auch Trübung und Sedimenttransport ermittelt und mit Hilfe von stabilen Wasserisotopen, verfügbar durch ein tägliches Wasserbeprobungsschema, in Beziehung zu den dominierenden Abflusskomponenten gesetzt. Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten in diesem Gebiet lag in der Analyse der Signaturvariabilität der Schneesschmelze und der Schwermetallfreisetzung durch aktive Blockgletscher.
Zusammenfassend konnten die gesammelten Erkenntnisse zur Entwicklung eines konzeptionellen Modells des Saldur-Einzugsgebiets genutzt werden, das die Gewässerreaktion auf die saisonale Schmelzwasserdynamik widergibt und wahrscheinlich auch für andere vergletscherte Einzugsgebiete gilt.

## Sensitivitätsanalyse energiebilanzbasierter Schneemodelle

**Daniel Günther**[1], Florian Hanzer[1], Thomas Marke[1], Richard Essery[2] und Ulrich Strasser[1]

[1] Universität Innsbruck, Institut für Geographie

[2] University of Edinburgh, School of Geoscience

Die in einer saisonalen Schneedecke gespeicherte Wassermenge, sowie der Zeitpunkt und die Intensität der Schmelze ist in vielen Regionen der Welt von entscheidender Bedeutung für das Wasserressourcenmanagement und hat weitreichende Auswirkungen auf die Bewertung des Dürre- und Hochwasserrisikos. Vor allem im Angesicht eines sich veränderten Klimas bedingen verlässliche Aussagen über die Auswirkungen auf den Wasserkreislauf kalter Regionen die Anwendung robuster Schneemodelle. Viele der in den letzten drei Jahrzehnten entwickelten Schneemodelle folgen dem gleichen Prinzip und lösen die Energie- und Massenbilanz der Schneedecke (möglichst) physikalisch basiert, variieren aber dabei in der Komplexität, mit der die physikalischen Prozesse abgebildet werden. Typischerweise werden prozessbasierte Modelle nicht kalibriert, sondern die Annahme getroffen, dass die verwendeten Parameter reale, im Feld bestimmbare Größen darstellen. Tatsächlich sind viele Parameter physikalisch orientierter Schneemodelle dennoch abstrakt oder nicht leicht messbar. Darüber hinaus benötigen physikalisch basierte Schneemodelle eine Vielzahl meteorologischer Antriebsdaten. Üblicherweise stammen diese aus Standardbeobachtungen an operationellen Klimastationen. Da einige Variablen wie langwellige Einstrahlung und Niederschlagsphase nur in Einzelfällen direkt gemessen werden, ist es für flächenverteilte Anwendungen nicht nur erforderlich, verfügbare meteorologische Daten zu interpolieren, sondern auch ungemessene Größen aus anderen Beobachtungen abzuleiten; die Eingabedaten selbst werden damit zu modellierten Größen.
In dieser Studie werden systematisch unterschiedlich komplexe punktbasierte und flächenverteilte Energiebilanz-Schneemodelle untersucht und dabei ihre Sensitivität auf ungemessene Antriebsdaten und Parametrisierungen herausgearbeitet. Wir zeigen dabei in einer zweiteiligen globalen Sensitivitätsanalyse an der Schneeforschungsstation Kühtai (1920 m ü. NN., 40 km westlich von Innsbruck) die Wechselwirkung von Modellkomplexität, Antriebsdaten und Parametrisierung und überprüfen die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf flächenverteilte Modellierungen im Einzugsgebiet des Längentalbachs (9.2 km2) über einen Zeitraum von 10 Jahren. Durch Kopplung des flächenverteilten hydroklimatologischen Modells AMUNDSEN und des eindimensionalen Schneethermodynamik-Modells FSM konnte eine flexible Struktur geschaffen werden, welche die Durchführung sehr effizienter Modellvergleiche ermöglicht. Eine mehrstufige Validierung der Punkt und Einzugsgebietssimulationen ergab keine „beste“ Simulation, zeigt aber, wie sich die verschiedenen Konfigurationen auf die Modellgüte auswirken. So können trotz der gegebenen Parameterunsicherheit und der erheblichen zwischenjährlichen Variabilität die robustesten Modellstrukturen identifiziert
werden.

**Fuzzy-Hochwasser-Klassifizierung für die Verbesserung des Verständnisses von Hochwasserprozessen in Alpengebieten unter Einfluss des Klimawandels**

**Anna E. Sikorska** und Jan Seibert

Geographisches Institut, Universität Zürich, Zürich, Schweiz

**Zusammenfassung:**

Die Bildung von natürlichen Hochwasserereignissen in Alpengebieten kann aufgrund von verschiedenen hydrologischen Prozessen stattfinden. Dies sind z.B. starke Niederschläge, intensive Schneeschmelze, oder auch Gletscherschmelze. Je nachdem welche Prozesse auftreten, können diverse Hochwasserganglinien beobachtet werden. In Realität ist es aber schwierig nur einzelne Hochwassertypen pro Hochwasserereignis zu definieren, da die meisten Ereignisse aufgrund *gemischter* Faktoren auftreten. Parallel dazu kann der Klimawandel die Bildung von verschieden Hochwassertypen stark beeinflussen: Aufgrund einer höheren Lufttemperatur kann die Schneeschmelze intensiviert werden und zu einer anderen Jahreszeit auftreten; Eine weniger dicke Schneedecke führt zu selteneren Hochwasserereignissen zufolge Schneeschmelze dafür aber zu häufigeren Ereignissen aufgrund starker Niederschläge. Um solche Hochwasserereignisse im Wandel der Zeit besser vorherzusagen, sollten alle wichtigen hydrologischen Prozesstypen im Einzugsgebiet identifiziert und quantifiziert werden.

In dieser Arbeit stellen wir eine neue Fuzzy-Hochwasser Klassifizierung vor, die es erlaubt gleichzeitig viele Hochwassertypen pro jedem Hochwasserereignis zu definieren. Unsere Methodik basiert auf einem Schema, in welchem die Kategorisierung von Haupthochwassertypen mit unscharfen ("*fuzzy*") Zugehörigkeiten erfolgt. Die Zugehörigkeiten sind anhand der Wahrscheinlichkeit quantifiziert. Somit definieren diese Zugehörigkeiten wie

stark ein Ereignis zu verschiedenen Hochwassertypen gehört, bzw. welche Prozesse in der Bildung des Ereignisses eine wichtige Rolle spielen könnten. Ein solches Schema ermöglicht die Unsicherheiten in der Hochwasser-Kategorisierung zu implementieren. Wir spezifizieren hier sechs verschiedenen Hochwassertypen: Sturzfluten, Kurzregen, Langregen, Regen auf Schnee, Schneeschmelze und Gletscherschmelze. Die „Fuzzy" Klassifizierung erlaubt es für ein Ereignis gemischte Typen zu identifizieren.

Unsere Analyse basiert auf Niederschlags- und Abflussmessungen von neun Einzugsgebieten in der Alpenregion und Datenmengen von jeweils 30 Jahren. In diesen Einzugsgebieten untersuchten wir auch, inwiefern der Klimawandel merkbare Auswirkungen auf oben genannten Hochwassertypen hat, bzw. ob die Schneeschmelz-Ereignisse seltener und Niederschlags-Ereignisse häufiger auftreten. Wir zeigen auch, dass die Kategorisierung von Hochwasserarten sowohl unser Verständnis von Hochwasserprozessen als auch die Hochwasservorhersagen in den Alpengebieten verbessert. Dementsprechend können Hochwasserschutzmassnahmen im Einzugsgebiet auf den jeweiligen Hochwassertyp besser abgestimmt sein und dadurch das Überflutungsrisiko minimieren.

## Bedeutung der Kalibriermethode bei der hydrologischen Langzeitmodellierung von zehn alpinen Einzugsgebieten

**Irene Kohn**[1], Marc Vis[2], Daphné Freudiger[1], Jan Seibert[2], Markus Weiler[1], Kerstin Stahl[1]

[1] : Universität Freiburg (Deutschland), [2] : Universität Zürich (Schweiz)

Alpine Einzugsgebiete zeichnen sich durch eine besonders hohe Komplexität und räumliche Variabilität hydrologischer Prozesse bei vergleichsweise schlechter Verfügbarkeit von Beobachtungsdaten aus. Um die hydrologische Reaktion auf veränderte Umweltbedingungen abschätzen zu können, ist in vielen Fällen die Anwendung eines hydrologischen Modells für größere Sets von Einzugsgebieten, einschließlich vieler Gebiete ohne Abflussmessdaten, erforderlich. Für solche Untersuchungen eignen sich Modelle begrenzter Komplexität und Datenerfordernisse, die jedoch in der Regel von einer Kalibrierung mittels beobachtungsbasierter Daten abhängen. Aus der Existenz von Gletschern als zusätzlichem Speicher und verschiedenen Prozessen, deren Effekte hinsichtlich der Abflussbildung sich gegenseitig kompensieren können, resultiert für alpine Gebiete zudem ein großes Potential für Äquifinalitätsprobleme bei der Langzeitmodellierung. Um die Modellparameterwerte möglichst gut einzugrenzen, empfiehlt sich daher eine Multi-Kriterien-Kalibrierung unter Einbeziehung von Daten zur Schnee- und Gletscherbedeckung. Anstatt stationsbezogene Schneedeckenhöhen-, Schneewasseräquivalent- oder Gletschermassenbilanzserien, die nur für einzelne intensiv untersuchte Gebiete verfügbar sind, zu verwenden, wurden in dieser Studie flächenhaft verfügbare beobachtungsbasierte Datensätze für die Größen Schnee und Gletscher verwendet, um deren Eignung für die Parameteridentifikation mittels automatischer Kalibrierung für die Modellierung von zehn teilvergletscherten Einzugsgebieten der Schweizer Alpen über das vergangene Jahrhundert (Periode: 1901-2006) zu untersuchen. Verschiedene Modellkalibrierungen erlauben die Abschätzung des Effekts einer Kalibrierung mittels einer Teilperiode oder teilweisen Verwendung der Beobachtungsdaten gegenüber der Kalibrierung mit allen verfügbaren Daten. Während für einzelne Gebiete eine gute Übereinstimmung vorliegt, zeigen viele der Gebiete Diskrepanzen zwischen Modellierung und beobachtungsbasierten Daten. Es wird deutlich, dass die konsistentesten Ergebnisse, und damit die mutmaßlich robustesten Parametersätze, nur erreicht werden, wenn sowohl die Gletscherbeobachtungsdaten als auch die Schneebeobachtungsdaten in die Kalibrierung miteinbezogen werden, obwohl die Effekte auf abflussbezogene Gütemaße relativ gering ausfallen. Bei der Betrachtung der simulierten langzeitlichen Veränderungen saisonaler Abflüsse werden teilweise deutlichere Unterschiede sichtbar. Als klares Defizit erwies sich für diese Studie das Fehlen von Beobachtungsdaten zur sommerlichen Schneedeckenentwicklung in den hochalpinen Lagen. Darüber hinaus zeigt sich die zentrale Relevanz von Problemen mit langfristigem Schneedeckenauf- und -abbau (überjährliche Zeitskalen) in der Modellkalibrierung alpiner Einzugsgebiete.

**Integrierte Modellierung von Hydrologie, Walddynamik und Gletscherrückzug unter verschiedenen Klimaszenarien: Ergebnisse aus ausgewählten Einzugsgebieten in der Schweiz**

**Matthias J. R. Speich**[a,b], Daniel Farinotti[a,c], Heike Lischke[a], Massimiliano Zappa[a]

[a] Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf, Schweiz
[b] Institut für Terrestrische Ökosysteme, ETH Zürich, Zürich, Schweiz
[c] Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Zürich, Schweiz

Wir präsentieren Ergebnisse von Simulationen mit dem integrierten glazio-öko-hydrologischen Modell FORHYCS-ICE, das auf der Kopplung zwischen einem hydrologischen Modell (PREVAH), einem Wald-Landschaftsmodell (TreeMig) und einem Modul zur Parameterisierung von Gletscherrückgang (deltaH). Alle Ursprungsmodelle sind räumlich verteilt, und in dieser Studie wird FORHYCS-ICE mit einer Maschenweite von 200m angewendet.

Das hydrologische Modell berechnet die tägliche Wasserbilanz jeder Gitterzelle, und verfügt über ein empirisches Abflussbildungsmodul. Das Wald-Landschaftsmodell simuliert Wachstum und Mortalität von Baumarten in jeder Gitterzelle mit einer jährlichen Auflösung. Beide Modelle sind über gemeinsame Variablen miteinander gekoppelt. Der aus der simulierten Bestandesstruktur abgeleitete Blattflächenindex (LAI) ersetzt in den hydrologischen Berechnungen die landnutzungsabhängige Parameterisierung. Ein Trockenheitsindex, basierend auf dem Verhältnis von tatsächlicher und potenzieller Transpiration während der Vegetationsperiode, beeinflusst Wachstum und Mortalität, wobei ein artspezifischer Parameter die Trockenheitstoleranz vorgibt. FORHYCS-ICE enthält auch ein Verfahren zur Schätzung der effektiven Wurzeltiefe, und somit der Wasserspeicherkapazität der Wurzelzone, als Funktion von Boden, Klima und Bestandeseigenschaften. Für das Gletschermodul wurde die Mächtigkeit der Eisschicht in jeder vergletscherten Zelle als Zustandsvariable eingeführt. Die Simulation von Gletscherrückzug erfolgt als Funktion der jährlichen Massenbilanz in allen zu einem bestimmten Gletscher gehörenden Zellen. Die Massenbilanz wird auf alle Zellen in Abhängigkeit ihrer relativen Höhe neu aufgeteilt. Somit wird die Fliessdynamik des Gletschers berücksichtigt. Sobald die Eisdicke in einer Zelle einen bestimmten Schwellenwert unterschreitet, gilt die Zelle als Eisfrei. Es handelt sich hierbei um die erste Implementierung des deltaH-Moduls in einem Modell mit dieser räumlichen Auflösung, da bisherige Anwendungen eine viel höhere Auflösung (z.B. 25m) verwendeten.

Die ausgewählten Einzugsgebiete sind repräsentativ für die verschiedenen hydro-klimatischen Regionen der Schweiz. Die inneralpinen Einzugsgebiete der Navizence (Val d'Anniviers) und Lonza (Lötschental) weisen einen starken Höhengradienten auf und decken somit den Übergang zwischen warmen Trockentälern und hochalpinen Regionen ab. Die Einzugsgebiete der Lütschine und Dischma sind repräsentativ für die Gebirgsregionen auf der nördlichen Alpenseite. Das südalpine Ticino-Einzugsgebiet zeichnet sich insbesondere durch sein Niederschlagsregime aus, mit intensiveren und konzentrierteren Ereignissen als in den anderen Gebieten. Schliesslich werden mit dem Emme-Einzugsgebiet die Bedingungen in Flachland und Voralpen untersucht. Die Simulationen beziehen sich auf eine nähere (2021-2050) und fernere Zukunftsperiode (2070-2100) und decken verschiedene

Klimaszenarien und -modellketten ab. Erste Simulationen und Modellexperimente weisen auf grosse räumliche Unterschiede hinsichtlich der Klimasensitivität von Vegetation und Gletschern hin, und zeigen somit auch ein räumlich differenziertes Bild der Rückkopplung dieser Prozesse mit der Hydrologie.

**Modellierung meso-skaliger teilvergletscherter Einzugsgebiete in den Alpen mit korrigierten Klimamodelldaten**

**Judith Meyer**[1], Irene Kohn[1], Kerstin Stahl[1], Jan Seibert[2]

1 : Universität Freiburg (Deutschland), 2 : Universität Zürich (Schweiz)

Alpine Einzugsgebiete zeigen, bedingt durch den wesentlichen Beitrag von Schnee- und Gletscherschmelze zum Abfluss, eine besonders deutliche Klimasensitivität. Hierbei spielt insbesondere auch die Sensitivität gegenüber kombinierten Veränderungen der Temperatur und des Niederschlags eine komplexe Rolle, beispielsweise bei der Schneeakkumulation durch die temperaturbedingte Lage der Schneefallgrenze bei Niederschlag. Eine Herausforderung bei der Modellierung alpiner Gebiete ist deshalb die korrekte Darstellung der meteorologischen Eingangsdaten. Bei der Modellierung von Zukunftsszenarien kommt erschwerend hinzu, dass meteorologische Eingangsdaten aus Klimamodellen einer Bias-Korrektur basierend auf historischen Beobachtungsdaten unterzogen werden müssen. Bislang wandten die meisten Studien hierfür eine univariate Korrekturmethode, also eine separate Korrektur für Niederschlag und Temperatur an. Ziel dieser Studie ist es anhand von vier alpinen Fallstudiengebieten und zehn Klimamodellprojektionsdatensätzen für jeweils zwei Emissionsszenarien den Einfluss einer multivariaten Bias-Korrekturmethode gegenüber einer univariaten Bias-Korrekturmethode auf die Ergebnisse der Zukunftsszenariensimulationen für die Variablen Abfluss, Schnee und Gletscher zu untersuchen. Konkret wurden hier die beiden Korrekturmethoden ‘multivariate quantile mapping bias correction‘ und ‘univariate quantile delta mapping bias correction‘ angewandt und verglichen. Die verwendeten Klimamodelldaten (1970-2100) entstammen dem EURO-CORDEX-Ensemble-Datenkollektiv. Als hydrologisches Modell wurde HBV-light, ein semi-distribuiertes hydrologisches Modell mit integrierter Anpassung der Gletscherfläche in jährlichen Zeitschritten, eingesetzt. Als Fallstudiengebiete dienten vier teilvergletscherte Einzugsgebiete in der Schweiz, für die bereits Modellkalibrierungen für den historischen Beobachtungszeitraum 1976-2006 basierend auf dem HYRAS-Datensatz als meteorologischer Modellinput vorlagen. Unterschiede, die aus den unterschiedlichen Bias-Korrekturmethoden (uni- vs. multivariat) resultieren, zeigen sich in den Modellierungsergebnissen vor allem bei der Betrachtung des modellierten Schneewasseräquivalents und der Modellierung der Gletscher. Dies kann beispielsweise den Zeitpunkt des kompletten Verschwindens eines Gletschers betreffen. Die Ergebnisse der Studie zeigen insgesamt, zu welch großen Spannbreiten die Modellierung mit unterschiedlichen Klimamodellantriebsdaten bei alpinen Einzugsgebieten führen kann, und unterstreichen die enorme Bedeutung der Bias-Korrektur speziell in solchen Gebieten.

## Zukünftige Gletscherentwicklung und veränderte Abflussregime im Ötztal

**Elena Stoll[1]***, Felix Österle[2], Florian Hanzer[3], Johanna Nemec[4], Stefan Berlin[1], Johannes Schöber[5], Matthias Huttenlau[1], Stefan Achleitner[6], Ulrich Strasser[3], Kristian Förster[3]

**1** alpS, Innsbruck, Österreich *(stoll@alps-gmbh.com)
**2** Wildbach- und Lawinenverbauung, Innsbruck, Österreich
**3** Institut für Geographie, Universität Innsbruck, Österreich
**4** ENVEO IT GmbH, Innsbruck, Österreich
**5** TIWAG – Tiroler Wasserkraft AG, Innsbruck, Österreich
**6** Arbeitsbereich Wasserbau, Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck, Österreich

Der Klimawandel und damit verbundene fortschreitende Schmelzvorgänge von Schnee und Eis haben vielschichtige Auswirkungen auf den Wasserhaushalt der Alpen. Klimainduzierte Gletscherentwicklungen und mögliche Veränderungen des Abflussverhaltens von Fließgewässern sind zentrale Fragestellungen glazio-hydrologischer und wasserwirtschaftlicher Forschung. Die Wasserbilanz von einzelnen Einzugsgebieten hängt neben der Gletscherschmelze auch stark von den Schwankungen der saisonalen Schneedecke ab. Die Veränderungen von meteorologischen Größen wie Lufttemperatur und Niederschlag sind somit entscheidende Variablen für die zukünftige Entwicklung von Gletschern. Eine vorübergehend zunehmende Wasserverfügbarkeit ist in den meisten glazialen Einzugsgebieten bereits überschritten; die Gletscher passen sich den neuen Klimaverhältnissen mit starkem Rückzug an, und für die kommenden Dekaden wird ein Rückgang der Gletscherschmelze erwartet.
Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich die vorliegende Studie mit zwei Kernfragestellungen:
(i) In welchem Zeitraum wird sich diese Kehrtwende bei der maximalen Wasserverfügbarkeit der Eisschmelze, auch Moment of Peak Discharge genannt, abspielen?
(ii) Inwieweit wird sich die fortschreitende Klimaerwärmung auf das künftige Abflussregime von vergletscherten Kopfeinzugsgebieten in den Ötztaler Alpen auswirken?
Um dies zu beurteilen, wird ein Gletscherevolutionsmodell mit einem hydrologischen Modell gekoppelt und in vergletscherten Einzugsgebieten der Ötztaler Alpen angewandt. Dieser Ansatz erlaubt eine möglichst realistische modelltechnische Abbildung des Einflusses des Gletscherrückgangs auf Regimeänderungen. Als meteorologische Antriebsdaten für dieses Modellsystem kommt dabei ein Ensemble aus insgesamt 31 EURO-CORDEX-Klimamodellsimulationen zum Einsatz, welches die Szenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 abdeckt. Die Auswertung der Simulationen legt nahe, dass mit einem Übergang des gegenwärtig glazialen Abflussregimes hin zu einem nivalen Abflussregime mit veränderter Saisonalität der monatlichen Abflüsse zu rechnen ist. Dies würde bedeuten, dass zukünftig der Anteil der saisonalen Schneeschmelze und flüssige Niederschläge in den Sommermonaten zu den dominierenden Anteilen im Abfluss gehören. Mit den gegebenen Szenarien könnten Gletscher nur in hohen Höhenlagen weiterhin Bestand haben, weshalb der Einfluss der Gletscherschmelze am Gesamtabfluss weiter zurückgehen wird. Den Ergebnissen zur Folge kann der Moment of Peak Discharge in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts erwartet werden.

# Kurzfassungen

## Poster

Außerdem:

**Michael Stölzle (Univ. Freiburg)**: Die großen Speicher sind oben! Ein Methodenvergleich zur Bestimmung von Gebietsspeichern in alpinen Gebieten

## Schneedeckenparameter und Bodenfeuchte abgeleitet aus GPS Signalen

**Franziska Koch**[1], Monika Prasch[1], Patrick Henkel[2], Florian Appel[3], Lino Schmid[4], Heike Bach[3], Jürg Schweizer[4] und Wolfram Mauser[1]

[1] Department für Geographie, Ludwig-Maximilians-Universität München
[2] ANavS GmbH, München
[3] VISTA GmbH - Geowissenschaftliche Fernerkundung, München
[4] WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

Für ein besseres Verständnis des Klimas und der hydrologischen Speicher ist ein kontinuierliches Monitoring relevanter Umweltparameter essentiell. Für zahlreiche hydrologische Anwendungen, wie z.B. die Abfluss- und Hochwasservorhersage in alpinen Regionen, ist bezüglich des Schneespeichers die aktuelle Kenntnis des Schneewasseräquivalents (SWE) und des Feuchtegehalts der Schneedecke (LWC) sowie für den Bodenspeicher die Bodenfeuchte, sehr wichtig. Bislang ist es aber z.T. immer noch schwierig bzw. nicht möglich, v.a. in entlegenen Gegenden bzw. im alpinen Terrain, kostengünstige, kontinuierliche Messdaten zu erhalten. Mögliche Schwachstellen derzeitiger in situ- und Fernerkundungsansätze sind z.B., dass sie oft arbeitsaufwendig, destruktiv oder für einen breiten Einsatz zu teuer sind. Zudem erfüllen sie oftmals nicht die nötige zeitliche oder räumliche Auflösung. Deshalb ist es wichtig in diesem Bereich weiter zu forschen bzw. neue kostengünstige Sensoransätze zu entwickeln sowie verschiedene Methoden zu kombinieren. Wir stellen einen innovativen Messansatz zur Ableitung von Schneedeckenparametern und der Bodenfeuchte vor, der auf die Nutzung freiverfügbare Signale des Global Navigation Satellite System (GNSS) basiert. Für die Versuchsaufbauten wurden jeweils mindestens zwei Global Positioning System (GPS) Sensoren, mit einer Antenne über dem zu beobachtenden Medium (Schnee / Boden) sowie einer Antenne unter dem zu beobachteten Medium bzw. der zu beobachtenden Schicht installiert. Zur Bestimmung des volumetrischen Feuchtegehalts im Schnee bzw. der Bodenfeuchte wurde die Abschwächung der GPS Signalstärke ($C/N_0$) mit dielektrischen Feuchtemodellen verknüpft sowie Reflexions- und Refraktionsprozesse berücksichtigt. Zur Ableitung des Schneewasseräquivalents wird zunächst vor dem ersten Schneefall der Winterperiode der Abstand zwischen den beiden Antennen anhand eines doppeldifferentiellen RTK-Positionierungsansatzes millimetergenau ermittelt. Dabei werden Uhrenfehler und Phasensprünge sowie atmosphärische Effekte eliminiert. Sobald die untere Antenne mit Schnee bedeckt ist, werden die GPS Signale im Schnee verzögert, was sich anhand von Phasenresiduen ausdrückt. Diese sind anhand einer Mapping Funktion und unter Berücksichtigung der Refraktion umgerechnet in die vertikale Richtung proportional zum SWE. Diese Ansätze haben sowohl für den Schnee als auch für den Boden sehr gute Ergebnisse gezeigt. Die GPS SWE Messung wurden am hochalpinen Testfeld Weissfluhjoch im Zeitraum von Oktober 2015 – April 2016 mit einem Schneekissen (RMSE: 11 mm) und manuellen Messungen (RMSE: 23 mm) vergleichen. Der volumetrische Feuchtegehalt, abgeleitet aus der GPS Signalstärke, zeigt zudem eine gute Übereinstimmung mit LWC-Messungen eines Bodenradars (RMSE: 4-7 pp). Die GPS Bodenfeuchtemessungen für eine oberflächennahe Schicht von 10 cm wurden an einem Testfeld am Deutschen Wetterdienst (DWD) in München durchgeführt und mit konventionellen FDR-Sonden, gravimetrischen Messungen sowie Modellergebnissen positiv validiert. Die Demonstration der in situ GNSS

Stationen wird aktuell im ESA IAP Demo Projekt SnowSense durchgeführt. Im Allgemeinen eignen sich diese Verfahren potentiell dazu in Sensornetzwerken angewandt zu werden.

## Wavelet analysis of streamflow in Alpine catchments at multiple spatial and temporal scales

**Teresa Pérez Ciria** [1], Gabriele Chiogna [1,2]

[1] Institute of Geography, University of Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck, Austria
[2] Faculty of Civil, Geo and Environmental Engineering, Technical University of Munich, Arcistrasse 21, Munich 80333, Germany

Alpine watersheds play a pivotal role in Europe for water provisioning and for hydropower production. In these catchments, temporal fluctuations of river discharge occur at multiple temporal scales due to natural (e.g., meteorological and climatic drivers) as well as anthropogenic (e.g., reservoir management) driving forces. In the last decades, modifications of the flow regime have been detected and their origin lies in the complex interplay between construction of dams for hydro power production, changes in water management policies and climatic changes. The alteration of the natural flow has negative impacts on the freshwater biodiversity and threatens the ecosystem integrity of the Alpine region. Therefore, understanding the temporal and spatial variability of river discharge has recently become a particular concern for environmental protection and represents a crucial contribution to achieve sustainable water resources management in the Alps.

In our work, time series analysis is conducted for selected gauging stations in the Inn and the Adige catchments, which cover a large part of the central and eastern region of the Alps. Although both catchments belong to different climatic zones, the watershed configuration and the streamflow properties share some similar characteristics. Moreover, both river basins are well suited for hydroelectric production. The comparison of the collected streamflow time series in the two catchments permits drawing general conclusions for the Alpine region, as well as detecting gradients in the hydrological system dynamics that depend on station elevation, longitudinal location in the Alps and catchment area.

Multi scale analyses are important to obtain a complete picture of the hydrological process. The wavelet transform (WT) is the technique selected to explore the variability of the streamflow at different temporal scales along the Adige and Inn rivers. This methodology allows us to identify statistically significant scales of intermittent fluctuations. Based on this analysis, it is possible to investigate at daily scale not only how the construction of anthropogenic structures influence the behaviour of the river discharge, but also the effects of changes in legislation or in the operation strategies of the hydropower plants. In addition, change-point analyses are performed for determining how and where a change has taken place. The wavelet change-point detection has been applied to identify the specific years when and at which scale the streamflow alteration became relevant.

The results show a change of short-term variability that can be explained by the occurrence of hydropeaking. This phenomenon is present in both catchments and strongly impacts the weekly-variability of the streamflow. The detected change-point years vary depending on the location of the gauging station: the beginning of the signal appears in the 1960s along the Adige and in the 1970s along the Inn; in the following years the signal becomes more significant possibly due to the successive construction of hydropower plants. The unanticipated decrease of the signal in the last years can be a result of the enforcement of environmental legislation and market liberalization. In conclusion, this data analysis provides

further insights into the different hydrological responses and sensitivity to hydropeaking of the study area. Furthermore, this work evidences that human activities (e.g., water management practices, changes in legislation and market regulation) have major impacts on streamflow and should be rigorously considered in hydrological models.

## Hydro-CH2018: Climate change and its consequences on hydrology in Switzerland

**Petra Schmocker-Fackel,** Fabia Hüsler, Samuel Zahner, Roland Hohmann, Olivier Overney

Federal Office for the Environment FOEN, Papiermühlestrasse 172, CH-3063 Ittigen
(petra.schmocker-fackel@bafu.admin.ch)

In the framework of the recently established National Center for Climate Services (NCCS), the FOEN's Hydrology Division is in charge of the focus area "Climate Change and its consequences on Hydrology in Switzerland Hydro-CH2018". This focus area aims at preparing the hydrological basics required to address climate adaptation measures. In addition to the continued development and maintenance of the long-term hydrological monitoring, this also includes further improving our understanding of the hydrological processes through targeted research projects. The update of hydrological scenarios based on the new CH2018 climate scenarios, potential multi-purpose use of lakes and reservoirs, water quality and ecology, as well as future changes in the hydrological cycle are of particular interest. The expected products are a state-of-the-art summary of the hydrological knowledge and the closing of knowledge gaps in order to meet the measures formulated in the national climate change adaptation strategy. Furthermore, climate services in the field of water will be developed. Such services comprise scientific information and data on the climate of the past, present and future, as well as its consequences and shall serve as the basis for decision-making in the context of climate issues. As such, they are expected to support government, political and business sectors and society to minimise climate-related risks, recognise opportunities and optimise benefits and costs.

## Obersulzbach - Hydrological Changes due to Glacier Retreat

B. Strobl[1], **K. Schulz[2],** Hubert Holzmann[2]

[1]Department of Geographie, University of Zurich, Switzerland

[2]Institute of Water Management, Hydrology and Hydraulic Engineering (IWHW), BOKU Vienna, Austria

The objective of this research is to identify the effect of glacial retreat on runoff of the Obersulzbach, a Salzach tributary in the Central Alps in western Salzburg, Austria. As a consequence of ongoing climate change, the glaciers within the Obersulzbach valley have been generally receding since approximately 1850. It is hypothesised that this leads to modified patterns and quantities of runoff observations.

Two hydrographic gauges along the Obersulzbach provide time series from 1977 until 2013 and 1989 until 2012, respectively. The discharge data is filtered to focus on discharge from glacier melt, excluding baseflow and surface runoff from precipitation and snowmelt. This is achieved by calculating the mean daily discharge variation over predominantly dry periods as an indicator for the proportion of glacial meltwater in overall discharge, defined by a threshold of total precipitation of 10mm over at least eight days. These dry periods are selected in times of typical glacial meltwater maxima during the summer months, i.e. late July until the end of September or late July until the end of August. The trends of mean daily discharge variation over these dry periods are analysed with multiple regression and partial correlation using the software “R”. Both methods either take temperature into account directly or control for it in order to remove its effect, as temperature has a significant impact on discharge variations.

Both types of analyses, i.e. multiple regression and partial correlation, yield similar results indicating an initial increase of the mean daily discharge variation until a critical point is reached, which seems to be during the 1990s. Afterwards a decrease of discharge variation indicates a lower amount of glacial melt-water as the remaining glaciers no longer sustain such a high discharge. Its initial rise until the 1990s has a much steeper and statistically more significant increase compared to the subsequent decrease. The weak statistical significance appears to be due to the shorter time series containing dry periods (since the early / mid 1990s maximum) and at least initially a merely gradual decrease. Nonetheless, when looking at all statistically significant results the data indicates that after an initial increase of glacial meltwater, the melt contribution to overall discharge started to decrease roughly two decades ago.

There are various potential explanations for this pattern, which are discussed based on literature studies. Such reasons are an initial increase followed by a reduction in total ablation area of glaciers as well as various feedback mechanisms, including changes in albedo, preferential meltwater pathways inside the glaciers and reflected and emitted radiation from surrounding slopes, as well as longer glacier bounda-ries and the change of elevation of the glacier tongue.

## Changes in streamflow variability in Swiss glacierized catchments

**Marit van Tiel** and Kerstin Stahl

Professur für Umwelthydrosysteme, Universität Freiburg

Glaciers are not only essential water resources but also have an important function as water reservoirs. As natural reservoirs they can dampen streamflow variability which is also known as the glacier compensation effect. This effect is essential for a stable water supply to downstream water users. Several studies found that the minimum coefficient of variation (CV) of annual streamflow occurs around intermediate values of glacier cover (~40%). This is due to the negative correlation between streamflow from glacierized and non-glacierized parts of a catchment: warm and dry conditions favor streamflow production from the glacierized part and cold and wet conditions from the non-glacierized part of the catchment. When one part is dominating, the compensation effect is lost and variability increases since the streamflow signal is either dominated by precipitation variability or variability in radiation and glacier net balance. However, the relation between variability and glacier cover has up to now mostly been shown by an analysis of streamflow of different catchments varying in degree of glacier cover, while we may also expect a change in streamflow variability over time within one catchment due to climate change and glacier retreat. Therefore, in this study, we compare this 'space-for-time substitution' approach with the analysis of long-term changes in streamflow variability over time in 19 Swiss glacierized catchments, with a current glacier cover ranging from 2% to 65%. Observed discharge time series from 53 up to 113 years of length will be analysed together with time series of precipitation and temperature and modelled glacier changes. We will assess the changes in CV of annual, seasonal, monthly and daily streamflow values and analyse it together with changes in glacier cover to investigate if the CV- glacier cover relationship also holds in time. Additionally, we will look into changes in the distributions and different percentiles of streamflow to get more insight in the decreases or increases in streamflow variability. Furthermore, variability in precipitation and temperature will be evaluated to determine their effect on streamflow variability in the two parts of the catchments: the glacierized and non-glacierized parts. Warm and dry summers in comparison to warm and highly variable summer rainfall storms in summer, for example, are expected to influence this effect of glacier cover on streamflow variability. The results of this study can be used to assess stability of future water supplies and to detect changes in extremes, such as droughts.

**Hochaufgelöste dynamische Regionalisierung von Reanalysedaten und Kopplung mit einem hydrologischen Modell im komplexen hochalpinen Gelände**

Michael Warscher[1], Kristian Förster[2], Patrick Laux[3], Ulrich Strasser[2], Harald Kunstmann[1,3]

1Institut für Geographie, Universität Augsburg
2Institut für Geographie, Universität Innsbruck
3Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Campus Alpin, Karlsruher Institut für Technologie

Um den Einfluss der räumlichen Auflösung von regionalen Klimamodellen auf die Simulation hydrometeorologischer Variablen im Gebirge zu untersuchen, werden hochaufgelöste Langzeit-Simulationen mit dem regionalen Klimamodell (RCM) WRF (Weather Research and Forecasting Model) für Europa und den Alpenraum durchgeführt. Einem zweifachen Nesting-Ansatz folgend, betragen die räumlichen Auflösungen der zwei Modell-Domains 15 und 5 km. Die Zielregion der vorgestellten Studie ist die hochalpine Region des Nationalpark Berchtesgaden. Die RCM-Daten werden mit verschiedenen Methoden Bias-korrigiert und mit dem flächenverteilten hydrologischen Modell (HM) WaSiM gekoppelt. Zur Validierung der Modellergebnisse (RCM und HM) werden ein rasterbasierter Bobachtungsdatensatz (REGNIE, DWD), meteorologische Messungen aus einem dichten Stationsnetzwerk und Abflussmessungen verwendet.

Die Ergebnisse des RCM und die antreibenden, gröber aufgelösten Reanalysedaten werden auf stündlicher, täglicher und monatlicher Basis mit Beobachtungsdaten verglichen. Der Fokus der Untersuchung liegt dabei auf den meteorologischen Variablen, mit denen in der Folge das HM angetrieben wird: Lufttemperatur und -feuchte, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung. Die Analysen zeigen, dass eine hohe räumliche Auflösung von 5 km notwendig ist, um die kleinskalige meteorologische Heterogenität im komplexen alpinen Gelände abzubilden. Die Regionalisierung durch das RCM verbessert sowohl die absoluten Werte als auch die zeitliche Dynamik der meteorologischen Variablen - insbesondere die des Niederschlags - und liefert damit einen deutlichen Mehrwert gegenüber den globalen Antriebsdaten. Dennoch zeigt sich, dass die räumliche Auflösung immer noch nicht ausreicht, um alle kleinskaligen Effekte im Einzugsgebiet zu erfassen. Zudem zeigt die Analyse, dass in den RCM-Daten systematisch gerichtete Fehler auftreten. Um diese gerichteten Fehler und skalenbedingte Höheneffekte zu korrigieren, werden mehrere statistische Methoden zur Bias-Korrektur angewandt. Das HM wird in der Folge mit den korrigierten Datensätzen angetrieben und die Ergebnisse des HM werden mit gemessenen Abflussdaten validiert.

Diese Studie zeigt, dass regionale Klimasimulationen in Gebirgsregionen mit sehr hoher räumlicher Auflösung durchgeführt werden müssen um die kleinskalige Variabilität zu reproduzieren. Trotz der erreichten Verbesserungen durch extrem hochaufgelöste RCMSimulationen ist eine nachfolgende Bias-Korrektur der Daten notwendig, um optimale hydrologische Vorhersagen zu ermöglichen.

## TeilnehmerInnen:

| | | | |
|---|---|---|---|
| assoz. Univ.-Prof. DI Dr. | Achleitner | Stefan | Arbeitsbereich Wasserbau - Institut für Infrastruktur<br>Fakultät für Technische Wissenschaften, Univ. Innsbruck<br>Technikerstraße 13a<br>A-6020 Innsbruck<br>stefan.achleitner@uibk.ac.at |
| Univ.-Prof. Dr. | Bronstert | Axel | Universität Potsdam,<br>Institut für Erd- und Umweltwissenschaften<br>Karl-Liebknecht-Str. 24-25<br>14476 Potsdam-Golm<br>axelbron@uni-potsdam.de |
| Dr. | Düthmann | Doris | Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources Management<br>Vienna University of Technology (TU Wien)<br>Karlsplatz 13/222<br>A-1040 Wien<br>duethmann@hydro.tuwien.ac.at |
| DI | Eichner | Bernhard | Universität Innsbruck – Institut für Infrastruktur<br>Arbeitsbereich Wasserbau<br>Technikerstraße 13<br>A – 6020 Innsbruck<br>bernhard.eichner@uibk.ac.at |
| Dr. | Engel | Michael | Fakultät für Naturwissenschaften und Technik<br>Freie Universität Bozen<br>Universitätsplatz 5<br>I-39100 Bozen<br>michael.engel@unibz.it |
| MSc | Freudiger | Daphné | Universität Freiburg<br>Professur für Hydrologie<br>Friedrichstraße 39<br>D-79098 Freiburg<br>dapne.freudiger@hydrology.uni-freiburg.de |
| Dr. | Garvelmann | Jakob | Karlsruhe Institute of Technology (KIT)<br>Campus Alpin - Institute of Meteorology and Climate Research (IMK-IFU)<br>Kreuzeckbahnstrasse 19<br>D-82467 Garmisch-Partenkirchen<br>jakob.garvelmann@kit.edu |
| MSc | Günther | Daniel | Institut für Geographie<br>Universität Innsbruck<br>Innrain 52f<br>A-6020 Innsbruck<br>daniel.guenther@uibk.ac.at |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dr. | Hebenstreit | Klaus | VERBUND Trading GmbH<br>Frau Gabriele Maierhofer/DP<br>ATU45644600<br>Am Hof 6a<br>A-1010 Wien<br>gabriele.mayerhofer@verbund.com |
| Dr. | Helfricht | Kay | Meteorologie, Glaziologie, Hydrologie<br>IGF - Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung<br>Österreichische Akademie der Wissenschaften<br>Technikerstr. 21a<br>A-6020 Innsbruck<br>kay.helfricht@oeaw.ac.at |
| Dr. | Herndl | Markus | Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg- Gumpenstein<br>Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft<br>Abteilung Umweltökologie<br>Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal<br>markus.herndl@ruamberg-gumpenstein.at |
| MSc. | Hofmeister | Florentin | Institut für Geographie<br>Universität Innsbruck<br>Innrain 52f<br>A-6020 Innsbruck<br>florentin.hofmeister@uibk.ac.at |
| Univ.-Prof. Dr. | Holzmann | Hubert | Inst. f. Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstr. Wasserbau,<br>Department für Wasser, Atmosphäre und Umwelt<br>Universität für Bodenkultur Wien<br>Muthgasse 18<br>A-1190 Wien<br>hubert.holzmann@boku.ac.at |
| Mag. | Klebinder | Klaus | Bundesforschungszentrum für Wald (BFW)<br>Institut für Naturgefahren<br>Rennweg 1<br>A-6020 Innsbruck<br>klaus.klebinder@bfw.gv.at |
| Dr. | Koch | Franziska | Department of Geography<br>University of Munich (LMU)<br>Luisenstr. 37<br>D - 80333 München<br>f.koch@iggf.geo.uni-muenchen.de |
| Dipl.Hyd. | Kohn | Irene | Universität Freiburg<br>Professur für Umwelthydrosysteme<br>Friedrichstraße 39<br>D-79098 Freiburg<br>irene.kohn@hydrology.uni-freiburg.de |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Dr. | Meißl | Gertraud | Institut für Geographie<br>Universität Innsbruck<br>Innrain 52<br>A-6020 Innsbruck<br>gertraud.meissl@uibk.ac.at |
| | Meyer | Judith | Universität Freiburg<br>Professur für Umwelthydrosysteme<br>Friedrichstraße 39<br>D-79098 Freiburg<br>judith.meyer@quatroforte.de |
| MSc | Pérez | Teresa | Institut für Geographie<br>Universität Innsbruck<br>Innrain 52<br>A-6020 Innsbruck<br>teresa.perez-ciria@uibk.ac.at |
| Mag. | Raffeiner | Georg | Amt der Tiroler Landesregierung<br>Sachgebiet Hydrographie und Hydrologie<br>Herrengasse 3<br>A-6020 Innsbruck<br>georg.raffeiner@tirol.gv.at |
| | Schink | Martina | Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt<br>Raumberg Gumpenstein, Institut für<br>Pflanzenbau und Kulturlandschaft<br>Abteilung Umweltökologie<br>Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal<br>martina.schink@raumberg-gumpenstein.at |
| MSc | Schmieder | Jan | Institut für Geographie<br>Universität Innsbruck<br>Innrain 52f<br>A-6020 Innsbruck<br>jan.schmieder@uibk.ac.at |
| Dr. | Schmocker-Fackel | Petra | Eidgenössisches Departement für Umwelt,<br>Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK<br>Bundesamt für Umwelt BAFU<br>Abteilung Hydrologie<br>Papiermühlestr. 172<br>CH-3003 Bern<br>petra.schmocker-fackel@bafu.admin.ch |
| Dr. | Schöber | Johannes | TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG<br>Abteilung Wasserkraftplanung<br>Hydrologie und Wasserwirtschaft<br>Eduard-Wallnöfer-Platz 2<br>A-6020 Innsbruck<br>johannes.schoeber@tiwag.at |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Univ.-Prof. Dr. | Schulz | Karsten | Institute of Water Management, Hydrology and Hydraulic Engineering (IWHW)<br>University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna (BOKU)<br>Muthgasse 18<br>A-1190 Wien<br>karsten.schulz@boku.ac.at |
| Dr. | Sikorska | Anna E. | University of Zurich<br>Department of Geography<br>Hydrology and Climate Unit<br>Winterthurerstr. 190<br>CH-8057 Zurich<br>anna.sikorska@geo.uzh.ch |
| MSc. | Speich | Matthias | Dynamic Macroecology<br>Swiss Federal Insitute for Forest, Snow and Landscape Research WSL<br>Zuercherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf<br>matthias.speich@wsl.ch |
| Univ.-Prof. Dr. | Stahl | Kerstin | Universität Freiburg<br>Professur für Umwelthydrosysteme<br>Friedrichstraße 39<br>D-79098 Freiburg<br>kerstin.stahl@hydrology.uni-freiburg.de |
| MSc | Stoll | Elena | alpS GmbH<br>Grabenweg 68<br>A-6020 Innsbruck<br>stoll@alps-gmbh.com |
| MSc | van Tiel | Marit | Universität Freiburg<br>Professur für Umwelthydrosysteme<br>Friedrichstraße 39<br>D-79098 Freiburg<br>marit.van.tiel@hydrology.uni-freiburg.de |
| Dr. | Volken | David | Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK<br>Bundesamt für Umwelt BAFU<br>Abteilung Hydrologie - Sektion Hydrologische Vorhersagen<br>CH-3003 Bern<br>david.volken@bafu.admin.ch |
| Univ.-Prof. Dr. | Weiler | Markus | Universität Freiburg<br>Professur für Hydrologie<br>Friedrichstraße 39<br>D-79098 Freiburg<br>markus.weiler@hydrology.uni-freiburg.de |