

# Projektbericht

## Das Virtuelle Alpenobservatorium – Forschungsschwerpunkt alpine Hydrologie The Virtual Alpine Observatory – research focus Alpine hydrology

Die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus auf der Zugspitze liefert seit 15 Jahren Messdaten zu Klima, alpinem Wasserhaushalt und alpiner Umwelt. Es werden die im Schwerpunkt alpiner Wasserhaushalt durchgeführten Maßnahmen und die anvisierten Ziele für die Zugspitze und das Zugspitzplatt vorgestellt. Mit den gewonnenen Daten sollen die Stoff- und Energieflüsse für das Zugspitzplatt integrativ untersucht werden, um mit den Ergebnissen eine verbesserte Prognosesicherheit von Landoberflächenmodellen zu erreichen. Mögliche Ansatzpunkte für eine Zusammenarbeit mit weiteren, interessierten Institutionen werden aufgezeigt.

*The environmental research station "Schneefernerhaus", located on the peak of the Zugspitze mountain, has been supplying measured data on climate, Alpine water balance and environment for 15 years. The actions implemented within the scope of the core theme Alpine water balance and the targeted objectives for the Zugspitze mountain and the Zugspitzplatt plateau are presented. The data measured are to allow an integrative analysis of the material and energy flows for the Zugspitzplatt. The results of this analysis will be used to allow an improved forecasting accuracy of land surface models. Potential starting points for cooperation with further institutions interested in the subject-matter are listed.*

Seit 15 Jahren liefert die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) auf der Zugspitze Messdaten an Wissenschaftler in ganz Deutschland zur weiteren Verbesserung der Klimaprognosen und zur Bewertung der Wirkung aktueller Anpassungsmaßnahmen. Auf Anregung der UFS bündeln die alpinen Höhenforschungsstationen in Italien, Frankreich, der Schweiz, Österreich und Deutschland ihre Forschungsaktivitäten in Form eines „Virtuellen Alpenobservatoriums (VAO)“. Deren Schwerpunkte sind die Themen Atmosphäre, alpine Umwelt und alpiner Wasserhaushalt.

Dieser Artikel soll die im Schwerpunkt alpiner Wasserhaushalt durchgeführten Maßnahmen und die anvisierten Ziele im Bereich von Zugspitze und Zugspitzplatt vorstellen. Da das Schneefernerhaus nicht ausschließlich für die Konsortialpartner offen steht, sondern auch für interessierte Fachleute anderer Institutionen, sollen neben der Information auch mögliche Anknüpfungspunkte aufgezeigt werden. Bei den hydrologischen Fragestellungen arbeiten die Universität Augsburg, die Ludwig-Maximilians Universität München und das Helmholtz Zentrum München zusammen. Der Bayerische Lawinenwarndienst (LWD) unterstützt die Forschungseinrichtungen in Belangen, die das meteorologische Messnetz betreffen. Die Schwerpunkte der Projektpartner liegen im Bereich der experimentellen Hydrologie und der statistischen Klimatologie (Augsburg), der Modellierung

und Fernerkundung (LMU) und der Erfassung von Radionukliden und deren Transport durch die Schneedecke (HZM). Durch die integrative Untersuchung von Stoff- und Energieflüssen auf dem Zugspitzplatt sollen die heute existierenden Unsicherheiten bei der Beschreibung des alpinen Wasserkreislaufs minimiert und damit einhergehend eine größere Prognosesicherheit von Landoberflächenmodellen erzeugt werden.



**Abbildung 1**

Die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (2.960 m NN)  
Environmental research station "Schneefernerhaus" (2.960 m a.s.)

Weitgehende Einigkeit besteht in der Einschätzung, dass die Hochgebirge besonders stark vom globalen Klimawandel betroffen sind und auch in Zukunft sein werden (IPCC 2007). Dies betrifft die räumliche und zeitliche Verteilung von Niederschlägen ebenso wie die Art der Niederschläge. In diesem Kontext gelten die europäischen Alpen als einer der sensitivsten Hochgebirgsräume (z.B. BAVAY et al. 2009, JACKSON & PROWSE 2009, STEWART 2009, WINSTRAL & MARKS 2014). Gleichzeitig haben die Hochgebirge und insbesondere auch die Alpen eine nicht zu unterschätzende hydrologische Bedeutung als Wasserversorger für die Vorländer (VIVIROLI et al. 2007). Betroffen von den prognostizierten Veränderungen der Abflussregime und von häufiger auftretenden Extremereignissen sind daher nicht nur die vergleichsweise geringe Anzahl der im Hochgebirge lebenden Menschen, sondern ebenfalls die Bewohner der anschließenden Vorländer und damit u.a. die Wasser- und Energiewirtschaft sowie der Wintertourismus als wichtige Wirtschaftsfaktoren. Eine tiefgreifende Untersuchung von Auswirkungen des Klimawandels auf den alpinen Wasserhaushalt wird deshalb als vordringliche Forschungsaufgabe angesehen (DE JONG et al. 2009, MERZ et al. 2011, VIVIROLI et al. 2011).

Die heute existierenden Unsicherheiten in der Beschreibung des hydrologischen Kreislaufs im Gebirge können v.a. auf die geringe Verfügbarkeit von Messdaten zurückgeführt werden (DE JONG et al. 2005, VIVIROLI et al. 2011, WASTL & ZÄNGL 2008). Diese liegt wiederum in der Komplexität des Gebirgsraumes mit extremen

Höhengradienten und der großen räumlichen Heterogenität verschiedenster Landoberflächenparameter begründet. Auch wenn die europäischen Alpen als eines der am besten erforschten Gebirge gelten, gibt es hier in den Hochlagen nur wenige Messstationen, die über lange Datenreihen verfügen. Dieses Defizit wirkt sich in der Folge direkt auf die Validität von Landoberflächenmodellen und Fernerkundungsprodukten aus, die nur an wenigen Punkten mit empirischen Daten entwickelt bzw. validiert werden können (SCHÖNER et al. 2009).

Um dieses Defizit zu adressieren, wurde das Zugspitzgebiet im Rahmen der VAO Aktivitäten mit einer sehr guten Messausstattung versehen, indem die bisherige Infrastruktur gezielt erweitert wurde. So wurden zusätzliche hydrometeorologische Stationen installiert, die auch Kernparameter der Schneedecke wie Schneehöhe, Schneedichte und Oberflächentemperatur aufzeichnen können. Ergänzend wurde an der UFS ein Long Range LIDAR installiert, das die Schneeverteilung im Gebiet des Platts hochauflösend analysieren kann. Diese Messungen stehen im Kontext mit einem europäischen Netzwerk von Observatorien zur Überwachung der Alpen (VAO), das über eine zentrale Datenerhaltung im Alpen-Datenanalysezentrum (Alpen-DAZ) verfügen wird.

Für hydrologische Untersuchungen ist das Untersuchungsgebiet Zugspitzplatt hervorragend geeignet. Dies liegt an der ganzjährig guten Erreichbarkeit und den geologischen Gegebenheiten, die es erlauben, das Zugspitzplatt nahezu als Großlysimeter anzusprechen. Aufgrund der bestehenden Datendichte und Datenqualität, des Vorhandenseins eines definierten Gebietsauslasses und der Erreichbarkeit eignet sich das Gebiet ausgezeichnet für die Anwendung, Validierung und Weiterentwicklung von Messmethoden und Modellen in der Hochgebirgshydrologie. So wird es in Kooperation mit den Partnerobservatorien möglich sein, bisherige Forschungsdefizite aufzuarbeiten.

Für die schneehydrologische Modellierung werden anerkannte und prozessbasierte Modelle (z.B. ALPINE 3D) zum Einsatz kommen, die eine umfassende Beschreibung der alpinen Hydrologie inklusive der relevanten Energie- und Massenflüsse ermöglichen (BERNHARDT et al. 2010, BERNHARDT et al. 2012, BERNHARDT & SCHULZ 2010, LEHNING 2010, MICHLMAYR et al. 2008, MOTT & LEHNING 2010, POMEROY et al. 2012). Durch den Einsatz von terrestrischem Laserscanning unter Verwendung einer Wellenlänge von 1.064 nm lassen sich modellierte Schneedeckenentwicklungen und Massenbilanzen von Gletschern operationell und zeitlich sowie räumlich hochauflösend überprüfen. Ein besonderes Augenmerk wird hier auf den lateralen Schneetransporten liegen, da diese bisher kaum auf der Eventskala quantifiziert werden konnten. Bei Schmelz- und Gefrierprozessen innerhalb von Schneedecken erfolgt eine Fraktionierung der Isotope des Wassers, so dass mit Hilfe von isotopehydrologischen Verfahren die korrekte Abbildung der Prozesse im Schneedeckenmodell verifiziert werden wird (z.B. ZHOU et al. 2008). Die Berücksichtigung von Wasserinhaltsstoffen, wie Radionukliden, im Modell soll laufzeitabhängige Unsicherheiten, wie sie von KIRCHNER (2003) thematisiert wurden, reduzieren und somit zu einer robusteren Beschreibung des alpinen Wasserhaushalts führen. Die an Zugspitze und Sonnblick vorhandenen langen meteorologischen und teilweise glazialhydrologischen Datenreihen gestatten zudem eine weitreichende Modellvalidierung über einen langen historischen Zeitraum.

Neben der Modellentwicklung werden Untersuchungen verschiedener Gebietscharakteristika durchgeführt. Oberflächenanalysen werden eine genaue Abgrenzung von Recharge-Gebieten zulassen. So kann der Input in den Karstkörper flächendifferenziert beschrieben werden und eine genaue Ableitung der Laufzeiten im Karstkörper in Abhängigkeit vom jeweiligen Inputgebiet wird möglich. Diese Untersuchung wird durch eine Analyse der Wasserinhaltsstoffe vor dem Eintritt und nach dem Austritt aus dem Karstkörper ergänzt.

Ziel des gesamten Vorhabens ist also eine umfassende Analyse der Wasserflüsse und der Wasserinhaltsstoffe im Hochgebirge. Diese kombinierte Betrachtung ist bisher einzigartig und wird zu einer genaueren Beschreibung des alpinen Wasserkreislaufs und der relevanten Speicher im Hochgebirge führen. Das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz fördert die bayerischen Aktivitäten mit 3 Mio. Euro für drei Jahre.

#### **Anschriften der Verfasser:**

Dr. Matthias Bernhardt  
Dipl. Geogr. Stefan Härer  
Department für Geographie, LMU München  
Luisenstr. 37, 80333 München

Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
Prof. Dr. Karl Friedrich Wetzel  
Institut für Geographie, Universität Augsburg  
Alter Postweg 118, 86159 Augsburg

Prof. Dr. Karsten Schulz  
Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW)  
Universität für Bodenkultur  
Muthgasse 18, 1190 Wien, Österreich

#### **Literaturverzeichnis:**

- BAVAY, M., M. LEHNING, T. JONAS & H. LÖWE (2009): Simulations of future snow cover and discharge in Alpine headwater catchments. – *Hydrological Processes* 23 (1), 95–108
- BERNHARDT, M., G.E. LISTON, U. STRASSER, G. ZANGL & K. SCHULZ (2010): High resolution modelling of snow transport in complex terrain using downscaled MM5 wind fields. – *Cryosphere* 4 (1), 99–113
- BERNHARDT, M. & K. SCHULZ (2010): SnowSlide: A simple routine for calculating gravitational snow transport. – *Geophysical Research Letters* 37 (11); DOI: 10.1029/2010GL043086
- BERNHARDT, M., K. SCHULZ, G.E. LISTON & G. ZANGL (2012): The influence of lateral snow redistribution processes on snow melt and sublimation in alpine regions. – *Journal of Hydrology* 424, 196–206
- DE JONG, C., D. COLLINS & R. RANZI (2005): *Climate and Hydrology in Mountain Areas*. – John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 384 S.
- DE JONG, C., D. LAWLER & R. ESSERY (2009): *Mountain Hydroclimatology and Snow Seasonality-Perspectives on climate impacts, snow seasonality and hydrological change in mountain environments*. Preface. – *Hydrological Processes* 23 (7), 955–961

- IPCC (2007): Fourth Assessment Report: Climate Change (AR4). – Intergovernmental Panel on Climate Change; [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- JACKSON, S.I. & T.D. PROWSE (2009): Spatial variation of snowmelt and sublimation in a high-elevation semi-desert basin of western Canada. – *Hydrological Processes* 23 (18), 2611–2627
- KIRCHNER, J.W. (2003): A double paradox in catchment hydrology and geochemistry. – *Hydrological Processes* 17, 871–874
- LEHNING, M. (2010): Distribution of the snow cover in the high mountains: a multi-scale methods on the example of Löt-schental. – *Erdkunde* 64 (1), 81–82
- MERZ, R., J. PARAJKA & G. BLOESCHL (2011): Time stability of catchment model parameters: Implications for climate impact analyses. – *Water Resources Research* 47, W02531; DOI: 10.1029/2010WR009505
- MICHLMAYR, G., M. LEHNING, G. KOBOLTSCHNIG, H. HOLZMANN, M. ZAPPA, R. MOTT & W. SCHÖNER (2008): Application of the Alpine 3D model for glacier mass balance and glacier runoff studies at Goldbergkees, Austria. – *Hydrological Processes* 22 (19), 3941–3949
- MOTT, R. & M. LEHNING (2010): Meteorological Modeling of Very High-Resolution Wind Fields and Snow Deposition for Mountains. – *Journal of Hydrometeorology* 11 (4), 934–949
- POMEROY, J., X. FANG & C. ELLIS (2012): Sensitivity of snowmelt hydrology in Marmot Creek, Alberta, to forest cover disturbance. – *Hydrological Processes* 26 (12), 1892–1905
- SCHOENER, W., I. AUER & R. BOEHM (2009): Long term trend of snow depth at Sonnblick (Austrian Alps) and its relation to climate change. – *Hydrological Processes* 23 (7), 1052–1063
- STEWART, I.T. (2009): Changes in snowpack and snowmelt runoff for key mountain regions. – *Hydrological Processes* 23 (1), 78–94
- VIVIROLI, D., D.R. ARCHER, W. BUYTAERT, H.J. FOWLER, G.B. GREENWOOD et al. (2011): Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and policy. – *Hydrological Earth System Sciences* 15 (2), 471–504
- VIVIROLI, D., H.H. DURR, B. MESSERLI, M. MEYBECK & R. WEINGARTNER (2007): Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. – *Water Resources Research* 43 (7), W07447; DOI: 10.1029/2006WR005653
- WASTL, C. & G. ZÄNGL (2008): Analysis of mountain-valley precipitation differences in the Alps. – *Meteorologische Zeitschrift* 17 (3), 311–321; DOI: 10.1127/0941-2948/2008/0291
- WINSTRAL, A. & D. MARKS (2014): Long-term snow distribution observations in a mountain catchment: Assessing variability, time stability, and the representativeness of an index site. – *Water Resources Research* 50 (1), 293–305
- ZHOU, S.Q., M. NAKAWO, S. HASHIMOTO & A. SAKAI (2008): Preferential exchange rate effect of isotopic fractionation in a melting snowpack. – *Hydrological Processes* 22, 3734–3740