

MANUSKRIPTE

GEOGRAPHICA AUGUSTANA

Peter Chifflard, Daniel Karthe
Martin Reiss, Christian Opp, Michael Groll

**Beiträge zum 46. Jahrestreffen
des Arbeitskreises Hydrologie
vom 20.-22. November 2014
in Marburg**

GEOGRAPHICA AUGUSTANA

**Peter Chiffard, Daniel Karthe,
Martin Reiss, Christian Opp, Michael Groll**

**Beiträge zum 46. Jahrestreffen
des Arbeitskreises Hydrologie
vom 20.-22. November 2014 in Marburg**

Peter Chiffard, Daniel Karthe, Martin Reiss, Christian Opp, Michael Groll

**Beiträge zum 46. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie vom 20.-22.November 2014
in Marburg**

Augsburg 2015

ISBN 978-3-923273-94-2

ISSN 1862-8680

Copyright: Institut für Geographie, Universität Augsburg 2006

Alle Rechte vorbehalten

**Umschlaggestaltung Jochen Bohn
Textverarbeitung Peter Chiffard
Druck Digitaldrucke Bayerlein GmbH Neusäß**

Virtuelles Alpenobservatorium – Statusbericht

Georg Strobl & Karl-Friedrich Wetzel

Universität Augsburg, Institut für Geographie, Lehrstuhl für Physische Geographie und Quantitative Methoden

1. Einleitung

Hochgebirge stellen Räume mit einer überproportional großen hydrologischen Bedeutung dar. Dennoch ist der alpine Wasserhaushalt bis heute erst in begrenztem und unzureichendem Maße erfasst (vgl. VIVIROLI et al. 2011). Der Grund dafür ist die große räumliche Heterogenität aller relevanter Parameter, welche sich nur schwer erfassen und bilanzieren lässt. Insbesondere die genauere Abschätzung hydrologischer Folgen des Klimawandels hat jedoch unmittelbare gesellschaftliche Relevanz, sei es in der Wasser- und Energiewirtschaft oder auch der Tourismusbranche. In diesem Kontext fokussiert sich daher ein Teil des international vernetzten Forschungsprojektes „Virtuelles Alpenobservatorium II“ (VAO-II) an der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) auf zentralen Aspekten der Wasserbilanzierung in Hochgebirgsräumen infolge des Klimawandels. Oberstes Ziel des Forschungsvorhabens ist es dabei die Kenntnisse zum Wasserhaushalt alpiner Gebiete entscheidend zu verbessern. Dabei kommt der Erfassung der für die Wasserbilanz im alpinen Raum besonders wichtigen Schmelzwasserflüsse aus Gletscher- und Schneeschmelze mittels innovativer Monitoringkonzepte und empirischer Methoden eine besondere Bedeutung zu. Seit Januar 2014 werden vor allem Änderungen des lokalen Niederschlags, der Schneerücklagen und des Gletschervolumens sowie des Schmelzwasseranteils am Abfluss im nordalpinen Zugspitzgebiet zusammen mit Projektpartnern der LMU München und der Boku Wien untersucht. Im Folgenden wird vorrangig der Abfluss des Zugspitzgebiets betrachtet.

2. Das Untersuchungsgebiet

Das Zugspitzgebiet eignet sich aufgrund verschiedener Charakteristika in besonderem Maße für die hydrologische Hochgebirgsforschung. Das anstehende Gestein bildet stark verkarstete, gut wasserwegiger Wettersteinkalk, welcher von den mergelig-tonigen Partnach-Schichten unterlagert wird (MILLER 1962). Zusammen mit seiner Muldenstruktur weist das Untersuchungsgebiet eine nahezu einmalige geologische Besonderheit auf, welche einem natürlichem Großlysimeter gleichkommt. Die gesamte Entwässerung des Gebietes erfolgt demnach über den Quelltopf der Partnach (STROBL & WETZEL 2012, RAPPL et al. 2010). Weiterhin stellt das Zugspitzgebiet einen herausragend instrumentierten Hochgebirgsraum dar, welcher aufgrund sehr guter infrastruktureller Erschließung aus Seil- und Zahnradbahn ganzjährig erreichbar ist. Diese einzigartigen Voraussetzungen ermöglichen somit eine hoch aufgelöste zeitliche und räumliche Analyse und Quantifizierung

hydrologischer sowie klimatischer Parameter und liefern entsprechend eine außergewöhnliche Grundlage für eine detaillierte Analyse des alpinen Wasserhaushalts.

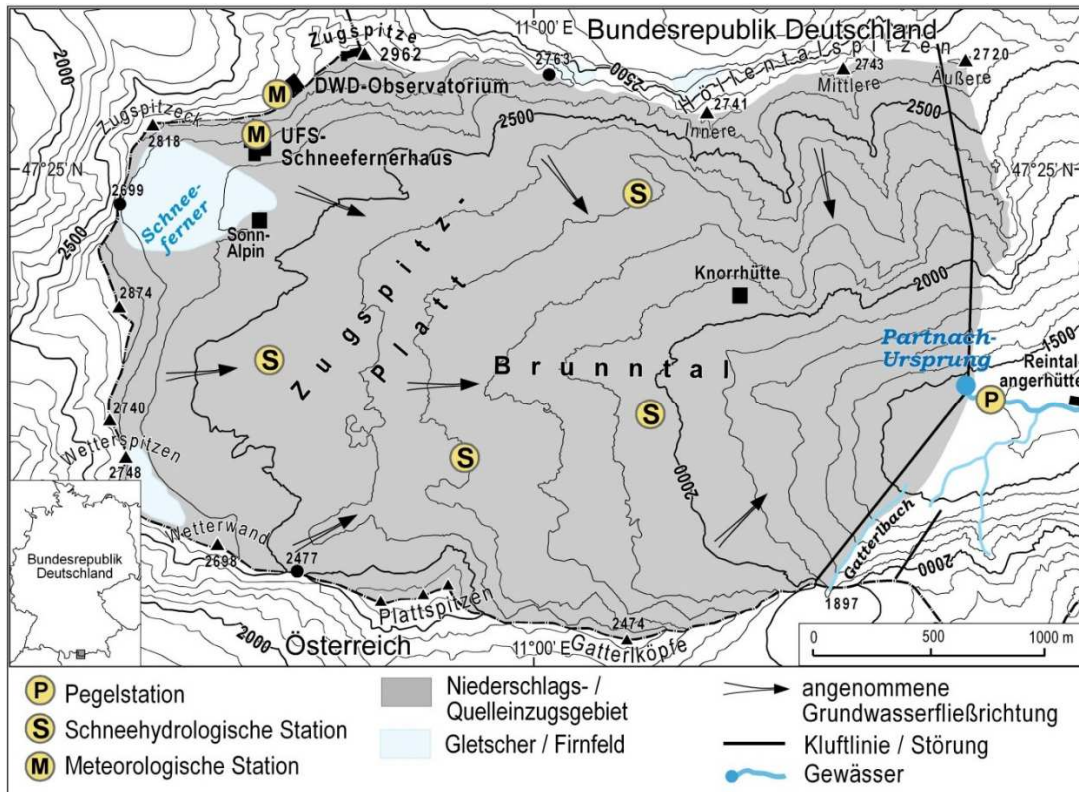


Abb. 1: Untersuchungsgebiet Zugspitzplatt mit Messinstrumentierung

3. Instrumentierung und Datenlage

Auf dem Zugspitzplatt befinden sich 4 schneehydrologische Messstationen der UFS und des Bayerischen Lawinenwarndienstes (LWD), an welchen kontinuierlich im 10-Minuten-Intervall hydroklimatologische Parameter gemessen werden (vgl. Abb. 1). Neben den meteorologischen Zustandsgrößen - Lufttemperatur und Luftfeuchte in 3m und 5m, Strahlungsbilanz aus kurz- und langwelliger Strahlung, Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie Niederschlag - werden hier wichtige Schneedeckenparameter - Schneetemperatur in unterschiedlichen Höhen (Boden, 1m Höhe, Schneeoberfläche) sowie die absolute Schneehöhe erfasst. Weiterhin stehen im Zugspitzgebiet langjährige klimatologische Daten (seit 1900) des DWD zur Verfügung. Kontinuierliche Messreihen der hydrologischen Verhältnisse für das gesamte Untersuchungsgebiet liegen seit Herbst 2013 vor. In unmittelbarer Nähe des Partnach-Ursprungs befindet sich seit Sommer 2014 an einer Wehranlage des DAV eine neue vollautomatische Pegelstation. Hier wird der Wasserstand mittels keramischer Drucksonde sowie redundant über ein Pegelradar erfasst, das die durchschnittliche Wasserspiegelhöhe einer ca. 1 m²

großen Wasseroberfläche mittelt. Weiter werden die physikochemischen Parameter elektrische Leitfähigkeit und Wassertemperatur, sowie flüssige Niederschläge per Niederschlagskippswaage erfasst. Alle Daten werden in einer 5-minütigen zeitlichen Auflösung erhoben und mit Datenfernübertragung übermittelt. Seit Sommer 1996 liegen zudem - mit einzelnen Unterbrechungen - Pegeldata eines Hilfspegels an gleicher Stelle vor. Die Berechnung von Abflüssen (Q) aus den aktuellen Pegeldata (W) erfolgt über eine Wasserstand-Abfluss-Beziehung (W/Q-Beziehung), die von SCHIRMER et al. (in diesem Heft) mit der Salzverdünnungsmethode erstellt wurde.

4. Untersuchungsmethoden

Die vorhandenen in unterschiedlichen Zeitintervallen vorliegenden Abflussdata wurden mittels statistischer Methoden homogenisiert und in eine einheitliche Datenstruktur mit 1-stündlicher Auflösung überführt. Anschließend wurden die hydrologisch bedeutsamen Abfluss-Hauptwerte bestimmt. Während der Wintermonate können an der Pegelstation technisch- oder witterungsbedingt keine verlässlichen Abflusswerte erfasst werden, da die Partnach zeitweise trocken fällt oder das Messgerinne durch Schnee- und Eis verfüllt ist. In der Datenauswertung wurde entsprechend nur das hydrologische Sommerhalbjahr (Mai – Oktober) berücksichtigt. Auch in den Sommerhalbjahren liegen teils unterschiedlich lange Aufzeichnungszeiträume vor, da in einzelnen Jahren Lawinenschnee die Pegeldata verfälscht haben oder die Messstelle aufgrund von Lawinengefahr nicht eingerichtet werden konnte.

5. Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung der Sommerhalbjahre verdeutlicht die Abflussschwankungen der Partnach (vgl. Tab. 1). In Abhängigkeit von Schneerücklagen und somit der Höhe von Schneeschmelzabflüssen sowie sommerlichen Niederschlagsereignissen treten am Partnach-Ursprung während des Sommerhalbjahrs mittlere monatliche Abflüsse von $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$ – $3,28 \text{ m}^3/\text{s}$ auf ($\text{NMQ}_{\text{MONAT}}$ – $\text{HMQ}_{\text{MONAT}}$). Die Spannweite einzelner Abflussextrémwerte reicht sogar von $0,32 \text{ m}^3/\text{s}$ – $16,77 \text{ m}^3/\text{s}$ (NNQ_{SHJ} – HHQ_{SHJ}). Jahre mit hohen durchschnittlichen sommerlichen Abflüssen weisen dabei vor allem hohe Abflüsse in den Monaten Juni und Juli auf. Dies ist gleichzeitig der Zeitraum der intensivsten Schneeschmelze und es zeigt sich die Relevanz der winterlichen Schneerücklage für den Abfluss des folgenden Sommerhalbjahrs. Die Abflusskoeffizienten nach Pardé von 1,61 und 1,47 in den Monaten Juni und Juli (vgl. Tab. 1), die auf Basis der Monatsmittel und des mittleren sommerlichen Abflusses berechnet wurden, verdeutlichen dies weiter und charakterisieren ein nivales, alpines Abflussregime. Während Abflussmaxima vornehmlich durch andauernde sowie heftige konvektive Sommerniederschläge verursacht werden, sind niedrige Abflüsse vor allem in frühsummerlichen Trockenperioden durch geringe Schneerücklagen

auf dem Zugspitzplatt und somit einem geringem Füllungsstand des Karstspeichers verursacht. Die Niedrigwasserperioden im Herbst wiederum sind fast ausschließlich auf das Ausbleiben flüssiger Niederschläge zurückzuführen. In dieser Jahreszeit sind die Schneedecken ausgeapert und die Schmelzwasserabflüsse aus Gletscherresten gehen aufgrund abnehmender Temperaturen stetig zurück, sodass keine signifikante Speisung des Karstkörpers erfolgt. Die Abflussganglinien in Abb. 2 zeigen diesen Rückgang mit auslaufendem Karstspeicher und stetig sinkenden Abflüssen deutlich. Weiterhin werden anhand der Abflussganglinien und Dauerlinien der Sommerhalbjahre 2011 und 2014 die erheblichen Differenzen im Abflussgang einzelner Jahre verdeutlicht (vgl. Abb. 2). Bei nahezu identischen Schneerücklagen nach Daten der DWD-Messstation Zugspitze (Winterhalbjahr 2010/11: 858mm, 2013/14: 856mm) werden die Unterschiede der Dauerlinien nur durch die hohen Niederschläge im Sommer 2014 verursacht.

Tab. 1: Mittlere Abflüsse, Extremwerte und monatliche Pardé-Koeffizienten am Partnach-Ursprung während des hydrologischen Sommerhalbjahres (SHJ) im Zeitraum 1996 – 2014

MQ	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	NNQ _{SHJ}	MQ _{SHJ}	HHQ _{SHJ}
1996	NA	NA	NA	1,62	NA	NA	1,00	1,62	3,90
1997	NA	NA	2,08	1,59	0,62	NA	0,32	1,43	5,26
1998	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1999	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2000	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2001	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2002	NA	NA	1,89	2,22	1,08	0,83	0,57	1,51	8,41
2003	NA	2,07	1,63	0,84	0,80	0,72	0,59	1,21	4,46
2004	NA	3,06	3,27	2,00	1,07	0,87	0,59	2,05	6,36
2005	1,40	2,82	3,28	2,50	1,21	0,88	0,59	2,02	16,77
2006	1,67	2,97	1,66	1,44	0,85	0,64	0,50	1,54	8,12
2007	0,86	1,12	1,00	0,82	0,84	0,57	0,46	0,87	2,68
2008	0,65	1,72	1,67	1,10	0,62	0,52	0,44	1,05	3,01
2009	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2010	0,62	1,65	1,73	1,01	0,82	0,42	NA	1,04	3,20
2011	1,01	1,51	1,10	0,93	0,63	0,58	0,37	0,96	4,02
2012	1,26	3,11	2,34	1,33	0,94	0,72	0,41	1,62	5,98
2013	0,78	2,37	2,31	1,18	1,15	0,74	0,47	1,42	4,97
2014	0,96	2,50	2,91	1,99	1,22	0,87	0,40	1,74	16,43
NMQ _{MONAT}	0,62	1,12	1,00	0,82	0,62	0,42			
MMQ _{MONAT}	1,02	2,26	2,07	1,47	0,91	0,70			
HMQ _{MONAT}	1,67	3,11	3,28	2,50	1,22	0,88			
Pardé-Koeff.	0,73	1,61	1,47	1,04	0,65	0,50			

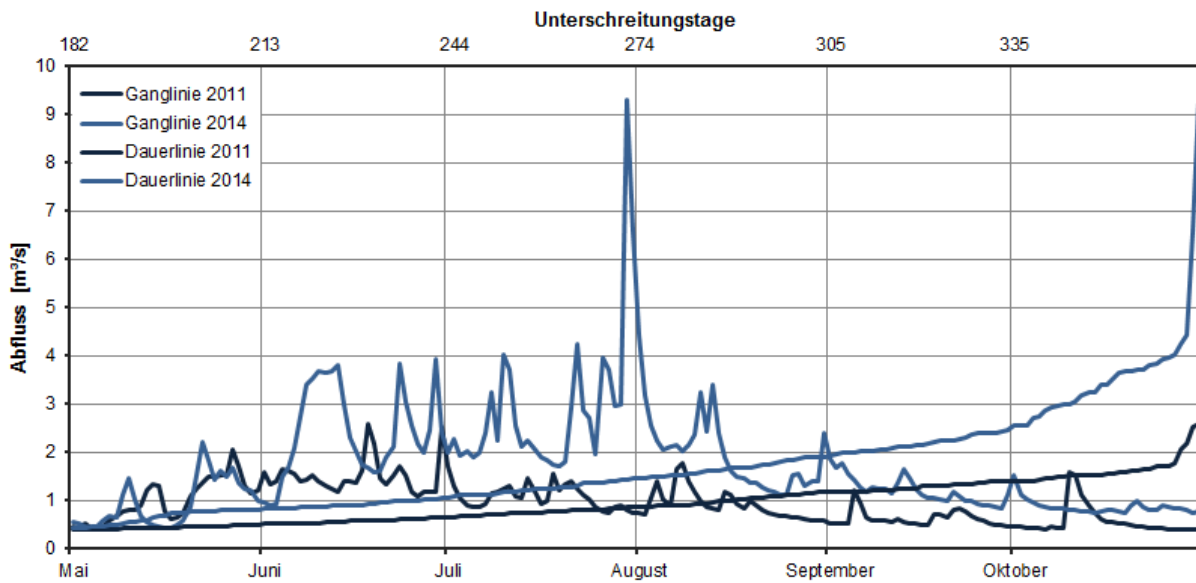


Abb. 2: Ganglinien und Dauerlinien mittlerer täglicher Abflüsse der Sommerhalbjahre 2011 und 2014 am Pegel Partnach-Ursprung

6. Zusammenfassung und Ausblick

An der Pegelstation Partnach-Ursprung liegen für 14 Jahre Daten zu Abflüssen in unterschiedlicher Qualität vor. Erste Auswertungen der Zeitreihen zeigen eine erhebliche Schwankung der Abflüsse. Zwischen Schneerücklage und sommerlichem Abfluss besteht ein deutlich nachweisbarer Zusammenhang. Sommerliche Starkregenereignisse verursachen die Abflussmaxima im Jahresgang. Der Herbst ist vom Auslauf des Karstkörpers geprägt. Weiterführende statistische Analysen lassen sich derzeit aufgrund des geringen Stichprobenumfangs und unterschiedlicher Datenqualität in den einzelnen Jahren nicht vornehmen. Für die Zukunft sind ein weiterer Ausbau der Messinstrumentierung, weitere Messkampagnen sowie der Aufbau eines kontinuierlichen, zeitlich und räumlich hochaufgelösten schnee- und glazialhydrologischen Monitorings im Zugspitzgebiet geplant, auf deren Grundlage letztlich Konzepte, Modelle und Methoden (weiter-) entwickelt werden sollen, die später auch in vergleichbaren Gebieten ohne ausreichende Instrumentierung genutzt werden können.

7. Danksagung/ Förderhinweis

Das Forschungsvorhaben wird gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz. Ein herzlicher Dank ergeht an Herrn Dr. David Morche (Universität Halle) für die Bereitstellung zusätzlicher Abflussdaten. Weiterhin sei dem Bayerischen Lawinenwarndienst (LWD), dem Deutschen Alpenverein (DAV) und der Bayerischen Zugspitzbahn Bergbahn AG (BZB) für Unterstützung gedankt.

8. Literatur

- Miller, H. (1963): Die tektonischen Beziehungen zwischen Wetterstein- und Mieminger Gebirge (Nördliche Kalkalpen). In: Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen, Band 118, S. 291-320, 1963. Stuttgart.
- Rappl, A., K.-F. Wetzel, G. Büttner & M. Scholz (2010): Tracerhydrologische Untersuchungen am Partnach-Ursprung. In: Hydrologie und Wasserwirtschaft, 54. Jahrgang, Heft 4, August 2010, S. 220-230. Koblenz.
- Strobl, G., K.-F., Wetzel: Tracerhydrologische Untersuchungen im Zugspitzgebiet – Abgrenzung des Partnachgebietes im Osten. In: Chiffard, P., B. Cyffka, D. Karthe, K.-F. Wetzel [Hrsg.]: Beiträge zum 44. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie am 15.-17. November 2012 in Lunz am See. Geographica Augustana 13, 27-30.
- Viviroli, D.; Archer, D. R.; Buytaert, W.; Fowler, H. J.; Greenwood, G. B.; Hamlet, A. F.; Huang, Y.; Koboltschnig, G.; Litaor, M. I.; López-Moreno, J. I.; Lorentz, S.; Schädler, B.; Schreier, H.; Schwaiger, K.; Vuille, M.; Woods, R. (2011): Climate change and mountain water resources: overview and recommendations for research, management and policy. *Hydrology & Earth System Sciences*, 15, S. 471-504.