

# Ein Drei-Standbeine-Ansatz zur Ermittlung zukünftiger Niederwasserabflüsse in Österreich

Gregor Laaha · Klaus Haslinger · Daniel Koffler · Juraj Parajka ·  
Wolfgang Schöner · Alberto Viglione · Judith Zehetgruber · Günter Blöschl

Online publiziert: 25. November 2015  
© Springer-Verlag Wien 2015

**Zusammenfassung** Die Kenntnis zukünftiger Niederwasserabflüsse ist eine wichtige Grundlage für Wasserwirtschaft und Umweltpolitik. Derzeitige Klimaprognosen sind jedoch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet, weshalb alternative Informationsquellen in die Beurteilung einbezogen werden sollten. Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts *Climate Impacts On Low Flows And Droughts (CILFAD)* wurde daher ein innovativer Drei-Standbeine-Ansatz entwickelt, von dem in diesem Beitrag berichtet wird. Das erste Standbein der Klimawandelanalyse bilden Trendanalysen von 408 Pegeln in Österreich und Nachbarregionen in Bayern, der Slowakei und Ungarn, die räumliche und zeitliche Aspekte in Betracht ziehen. Das zweite Standbein bilden Ensembleprojektionen von Klimaszenarien mittels Wasserhaushaltsmodell, die Unsicherheiten der Modellierung berücksichtigen. Das dritte Standbein bildet ein innovativer Ansatz, der stochastische Simulationen der für den Wasserhaushalt maßgeblichen Klimagrößen mit dem Wasserhaushalts-

modell kombiniert. Innerhalb des Mehr-Standbeine-Ansatzes werden die Einzelanalysen miteinander überlagert, wobei neben den Erwartungswerten auch die Unsicherheiten der einzelnen Verfahren einbezogen werden. Aufgrund der Analysen dürften in den Alpen die Winterniederwasserabflüsse aufgrund des Temperaturanstieges deutlich zunehmen, was als günstig zu betrachten ist. Diese Aussage gilt als relativ gesichert, da sich die unterschiedlichen Informationen decken und ein temperaturbedingter Anstieg gut prognostizierbar ist. Weniger gesichert sind Aussagen für Flachlandregionen, da hier Veränderungen des Niederschlags eine Rolle spielen, die schwer prognostizierbar sind. In den Flachlandregionen Ost- und Südöstereichs könnte am ehesten eine Abnahme der Niederwasserabflüsse im Sommer eintreten, was als ungünstig zu betrachten ist. Keine signifikanten Änderungen der Niederwasserabflüsse sind im Norden zu erwarten, und nur geringe Änderungen im Südwesten. Die Ergebnisse der Studie stützen sich auf unterschiedliche Informationsquellen und sind daher robuster als Einzelanalysen, die sich entweder auf beobachtete Trends oder auf Klimaprojektionen stützen.

## A three-pillar approach to assessing future low flows in Austria

**Abstract** Accurately predicting future low flows offers an important basis for water management and environmental policy. However, given the considerable degree of uncertainty involved in current climate prognoses, alternative sources of information should also be taken into account. Accordingly, an innovative three-pillar approach was developed in the context of the interdisciplinary research project *Climate Impacts On Low Flows And Droughts (CILFAD)*, an approach detailed

in this paper. The first pillar of the climate change analysis consists in trend analyses of 408 stream gauges in Austria and neighboring regions of Bavaria, Slovakia and Hungary, which include both spatial and temporal aspects. In turn, the second pillar involves ensemble projections of climate scenarios on the basis of water balance models that reflect the uncertainties inherent in modeling. The third pillar is an innovative approach that couples the water balance models with stochastic simulations of those climate parameters most essential to the water balance.

In the course of the three-pillar approach, the individual analyses are combined, a process in which both the expected values and the uncertainties of the respective methods are reflected. The analyses indicate that in the Alps winter low flow discharges will likely increase in response to rising temperatures. This statement can be considered relatively reliable, given the fact that the different sources of available information agree and a temperature-based increase can be fairly well predicted. Predictions for lowland regions are less reliable, as they involve changes in precipitation that are considerably more difficult to predict. The lowland regions of eastern and southeastern Austria are the most likely candidates for a summertime decrease in low flows, which would have adverse effects on available water resources. In contrast, there are unlikely to be any significant changes concerning low flows in northern Austria, and only small changes in southwest Austria. The results of the study are based on a range of different sources of information, making it more robust than individual analyses, which are normally based on either observed trends or on climate projections.

## 1. Einleitung

Fließgewässer bilden eine wirtschaftliche Lebensader unseres Landes und erfüllen

Assoc. Prof. DI Dr.techn. G. Laaha (✉) ·  
DI D. Koffler · DI J. Zehetgruber  
Institut für Angewandte Statistik und EDV,  
Universität für Bodenkultur Wien,  
Peter Jordan-Straße 82,  
1190 Wien, Österreich  
E-Mail: gregor.laaha@boku.ac.at

Mag. K. Haslinger ·  
Univ.-Prof. Dr. W. Schöner  
Abteilung Klimaforschung, Zentralanstalt  
für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG),  
Hohe Warte 38,  
1190 Wien, Österreich

Priv.-Doz. Dr. J. Parajka, PhD ·  
Dr. A. Viglione ·  
Univ.-Prof. DI Dr.techn. G. Blöschl  
Institut für Wasserbau und  
Ingenieurhydrologie, Technische  
Universität Wien,  
Karlsplatz 13,  
1040 Wien, Österreich



**Abb. 1** Drei-Standbeine-Ansatz zur Untersuchung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Niederwasserabfluss

eine Reihe ökonomischer Funktionen, wie etwa Wasserversorgung und -entsorgung, Transport, Energie, Fischerei, Erholung und Tourismus. Österreichs Flüsse und Bäche bilden aber auch einen einzigartigen Lebensraum für eine Vielzahl heimischer Tier- und Pflanzengesellschaften (Jungwirth 2003). Viele dieser Funktionen werden durch das Wasserdargebot in trockenen Perioden des Jahres bestimmt, da solche Niederwasserereignisse einen limitierenden Zustand für sie darstellen.

Bei der Einschätzung der wasserwirtschaftlichen Auswirkungen von Niederwässern sind neben der Abflussmenge auch der saisonale Auftretenszeitpunkt von Bedeutung (Laaha und Blöschl 2006). So sind etwa für die Wassergüte sommerliche Niederwasserperioden besonders ungünstig, da bei geringen Abflüssen erhöhte Stoffkonzentrationen auftreten, die im Sommer mit hohen Wassertemperaturen einhergehen. Sommerniederwässer treten für gewöhnlich im Flachland auf und werden durch andauernde Hitze und Trockenheit ausgelöst. In den Alpen treten Niederwässer hingegen im Winter auf und sind auf Frost und Schneebedeckung zurückzuführen. Änderungen von Temperatur und Niederschlag, wie sie durch aktuelle Klimamodelle prognostiziert werden, lassen daher Folgen auf das Niederwasserdargebot befürchten, die saisonal unterschiedlich ausfallen werden, und sich in Stärke und Vorzeichen unterscheiden.

Obwohl die Entstehungsmechanismen von Niederwässern also bekannt sind und Klimaprognosen aus globalen und regionalen Klimamodellen vorliegen, ist eine zuverlässige Abschätzung der Folgen des Klimawandels auf Abflüsse dennoch schwierig (Blöschl und Montanari 2010).

Insbesondere eine klimabedingte Änderung der Niederschläge im Alpenraum in ihrer jahreszeitlichen und regionalen Verteilung ist eine schwer prognostizierbare Größe; ein Umstand, der in Kombination mit der hohen Komplexität alpiner Abflussbildungsprozesse zu erheblichen Unsicherheiten bei der Abflussprognose führt. Die Informationen der Klimamodelle alleine sind zu unsicher, um hier eine zuverlässige Abschätzung zu ermöglichen.

## 2. Innovativer Forschungsansatz

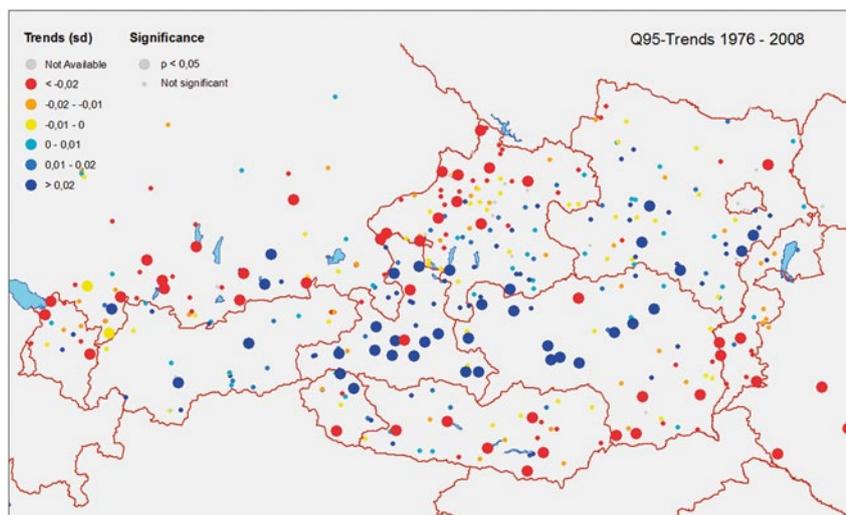
Im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts „Climate Impacts On Low Flows And Droughts (CILFAD)“ wurde daher ein alternativer Ansatz gewählt, der in Laaha et al. (2014) und Laaha et al. (eingereicht in HESS) eingehend beschrieben wird. Während sich bisherige Niederwasserstudien primär auf die recht unsicheren Klimamodellprognosen stützten, wurde im Rahmen des Projektes CILFAD ein Mehr-Standbeine-Ansatz entwickelt, der unterschiedliche Informationsquellen erschließen soll (Abb. 1). In Analogie zur Bauwerksgründung in unsicherem Terrain weisen die einzelnen Informationsfundamente zu große Unsicherheiten auf, um für sich alleine ein tragfähiges Ergebnis zu erzielen. Der Mehr-Standbeine-Ansatz stützt sich hingegen auf unterschiedliche Informationsfundamente und ermöglicht somit robustere Abschätzungen zukünftiger Niederwasserabflüsse, als das aufgrund von Einzelanalysen möglich ist.

Das erste Standbein der Klimawandelanalyse bilden die zeitlichen Charakteristiken der gemessenen Niederwasserabflüsse. Hierzu wurde eine umfassende Trendstudie durchgeführt, die lokale Analysen an 408 Einzelpegeln in Österreich und Nachbarregionen in Bayern, der Slowakei und Ungarn sowie räumliche Trendanalysen und Raum-Zeit-Analysen in kohärenter Weise kombiniert (Laaha et al. 2014). Die Untersuchung fokussiert zunächst auf das Erkennen von realen, d. h. in den letzten 30 bis 50 Jahren tatsächlich gemessenen Änderungen des Niederwasserabflusses. In einem weiteren Schritt werden die beobachteten Trends in die Zukunft fortgeschrieben und bilden so ein einfaches Szenario für den Klimawandel unter der Annahme, dass die beobachteten Trends zukünftig fortauern.

Das zweite Standbein bilden Klimaprojektionen mit Wasserhaushaltsmodellen, wie sie auch in vielen internationalen

Studien verwendet werden. Für die Klimaprognosen wurden verschiedene Simulationsläufen aus dem reclip:century-Projekt (Loibl et al. 2011) für die IPCC-Szenarien A1B, B1 und A2 erschlossen. Sie umfassen vier Simulationsläufe des regionalen Klimamodells COSMO-CLM RCM, angetrieben durch zwei globale Klimamodelle (ECHAM5 und HADCM3). Das Ensemble der Klimaprojektionen berücksichtigt somit Unterschiede aufgrund des angenommenen Emissionsszenarios sowie Modellunsicherheiten der Klimamodellierung. Die resultierenden regionalen Klimasignale wurden zunächst im Vergleich zu langjährigen Klimabeobachtungen, die aus dem HISTALP-Projekt für den Alpenraum vorliegen, analysiert. Die Analyse stützt sich auf meteorologische Trockenheitsindizes, wie den Standardisierten Niederschlags- und Verdunstungsindex SPEI (Vicente-Serrano et al. 2010), für den im Untersuchungsgebiet ein guter Zusammenhang mit dem Niederwasserabfluss nachgewiesen werden konnte (Haslinger et al. 2014). Die Analysen zeigen für die österreichischen Alpen und den Norden Österreichs eine gute Übereinstimmung von Simulationen und Beobachtungen. In diesen Regionen ist das Vertrauen in zukünftige Szenarien größer als im Süden und Osten Österreichs, wo die Simulationsläufe stärker von den Beobachtungen abweichen. Die aus den Klimaszenarien prognostizierten Änderungen von Niederschlag und Temperatur wurden schließlich als Eingangsgrößen in das Wasserhaushaltsmodell TUWmodel (Viglione und Parajka 2014) verwendet, um Klimaprojektionen der Abflüsse unter Anwendung des gängigen Delta-Change-Ansatzes zu berechnen. In der vorliegenden Studie wurden meteorologische Messreihen der Zeitperiode 1976 bis 2008 mit einem Klimafaktor beaufschlagt, der den aus den Klimamodellszenarien zu erwarteten mittleren Änderungen entspricht. Daraus resultieren projizierte Klimareihen für einen zukünftigen Zeitabschnitt, die besser den lokalen Gegebenheiten entsprechen als die unmittelbaren Projektionen der Klimamodelle. Die Ergebnisse der Analysen bilden Projektionen zukünftiger Niederwasserabflüsse gemeinsam mit Aussagen über deren Unsicherheit.

Das dritte Standbein bildet ein innovativer Ansatz, der stochastische Simulationen der für den Wasserhaushalt maßgeblichen Klimagrößen mit dem Wasserhaushaltsmodell kombiniert. Während beim Delta-Change-Ansatz die aus Klimaszenarien prognostizierte



**Abb. 2** Trends gemessener Niederwasserabflüsse innerhalb der Periode 1976 bis 2008. Berechnungen basieren auf den Jahreswerten von Q95 (Abfluss, der an 95 % der Tage im Jahr erreicht oder überschritten wird). *Blaue* Symbole: Abflusszunahme, *rote* Symbole: Abflussabnahme; *große* Symbole kennzeichnen signifikante Trends. Trends sind in Standardabweichung per Jahr angegeben. Aus Laaha et al. (in Vorbereitung)

Änderung Eingang findet, werden beim stochastischen Ansatz die Zeitreihencharakteristiken von Niederschlag und Temperatur mit einem statistischen Modell für die Projektion erschlossen und in die Zukunft fortgeschrieben. Die Simulationen basieren auf dem Ansatz von Sivapalan et al. (2005), der bereits in Viglione et al. (2012) zur Niederschlagssimulation in Österreich verwendet wurde und diskrete Niederschlagsereignisse aufgrund dreier voneinander unabhängiger Zufallsparameter (Ereignisabstand, Dauer, mittlere Niederschlagsintensität) generiert. Die Simulationsläufe werden durch das Wasserhaushaltsmodell in ein Ensemble von Abflussreihen transformiert, die in der Folge statistisch ausgewertet werden. Das Verfahren ermöglicht eine Abschätzung des erwarteten zeitlichen Trends und dessen Vertrauensband unter der Annahme, dass beobachtete Trends der ins Modell eingehenden Klimagrößen fort-dauern. Diese Annahme ist schwächer als jene der Trendszenarien beobachteter Abflüsse, da die Abflussbildungsprozesse im Einzugsgebiet ein hochgradig nichtlineares Verhalten aufweisen, das sich mit dem Klimasignal überlagert. Wie beim ersten Standbein, der Niederwasser-trendanalyse, basiert der Ansatz auf tatsächlich beobachteten Änderungen und ist somit als realer anzusehen als die Szenarien der Klimamodellierung.

### 3. Bewertung von Einzelanalysen

Von den Einzelanalysen ist bekannt, dass die Unsicherheiten jedes Verfahrens erheblich sein können. Bei Trendanalysen des Niederwassers (1. Standbein) sind die Datenreihen meist zu kurz, um aus ihnen gesicherte Aussagen über ein Trendverhalten abzuleiten. So sind Persistenz und Linearität der Trends, welche für die Prognose angenommen werden, schwer verifizierbare Annahmen. Bei den stochastischen Projektionen (3. Standbein) ist die Informationslage günstiger als bei Trendanalysen des Niederwassers, da meteorologische Messreihen in der Regel länger vorliegen als jene des Abflusses. Jedoch sind längere Messreihen oft inkonsistent, und die Unsicherheiten des stochastischen Modells werden durch Modellfehler des Wasserhaushaltsmodells verstärkt. Schließlich bieten globale und regionale Klimamodelle, wie sie bei den Klimaprojektionen (2. Standbein) verwendet werden, zwar eine einzigartige Möglichkeit, die Wirkung von Treibhausgasemissionen auf das Klima abzuschätzen. Die Modellstruktur ist jedoch zu grob, um kleinskalige Größen wie Niederschläge zuverlässig ableiten zu können. Vor allem in Gebirgsregionen und klimatischen Übergangsbereichen sind Klimaprojektionen des Niederschlags daher mit hohen Unsicherheiten behaftet, welche wiederum durch das Wasserhaushaltsmodell verstärkt werden.

### 4. Synthese der Informationen

Innerhalb des Mehr-Standbeine-Ansatzes werden die Einzelanalysen überlagert und miteinander verglichen. Da unterschiedliche Informationen und Methoden verwendet werden, entsteht dabei ein Informationsgewinn. Bei der Synthese der Projektionen können zwei Fälle auftreten. Im ersten Fall stimmen die Projektionen gut überein. Da sie aus unterschiedlichen Informationsquellen erstellt wurden, steigt das Vertrauen in die Prognose, und eine Mittelung der unabhängigen Prognosewerte wird in der Regel eine bessere Schätzung als die Einzelanalysen ergeben. Im zweiten Fall liefern die Prognoseverfahren unterschiedliche Aussagen. Aufgrund der jeweiligen Datenlage sind die Verfahren unterschiedlich zuverlässig. In diesem Fall würden in einem Expertenansatz die Projektionen nach ihrer relativen Güte, die regional unterschiedlich ausfallen wird, gewichtet, um zu einer Gesamteinschätzung zu kommen. Da sich die unterschiedlichen Informationen widersprechen, wird das Vertrauen in die Prognose aber geringer sein als im Fall der sich stützenden Prognosen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde in der vorliegenden Studie unterschieden, ob es sich bei den Aussagen um tragfähige (harte) Aussagen handelt bzw. weniger Vertrauen in diese Aussagen gelegt werden kann (mittelharte sowie weiche Aussagen). Die Vorgehensweise ist analog zu den IPCC Reports des UNO-Weltklimarats (Field und Intergovernmental Panel on Climate Change 2012) und hat den Vorteil, dass die Unsicherheit der Prognosen in Entscheidungen über Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel berücksichtigt werden kann.

### 5. Resultate

Die Ergebnisse der Studie bestehen in Methodenentwicklungen und Prognosen für Österreich und Nachbarregionen in Bayern, der Slowakei und Ungarn. Die Aussagen beziehen sich auf die mittlere Änderung der Niederwasserabflüsse für die Prognosezeiträume 2021 bis 2050 und 2051 bis 2080 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1976 bis 2008. Aufgrund der Trendanalysen (Abb. 2) konnten vier Regionen mit ähnlichem Trendverhalten unterschieden werden, die den niederschlagsbezogenen Klimaregionen aus dem HISTALP-Projekt (Auer et al. 2007) weitgehend entsprechen. Die Trendregio-

nen entsprechen den Alpen, einer Zone nördlich der Alpen, einer Zone im Osten und Südosten sowie Gebieten im Südwesten Österreichs. Für die Region nördlich der Alpen ergeben Trendextrapolationen der beobachteten Niederwasserabflüsse sowie stochastische Projektionen keine signifikante Änderungen, Klimamodellszenarien hingegen einen geringen Anstieg in naher Zukunft, sowie eine Abnahme in der fernerer Zukunft. Da sich die Informationen widersprechen, die Effekte gering und mit großer Unsicherheit behaftet sind, lässt die Synthese aller Informationen somit keine signifikante Änderung in der Periode 2020 bis 2050 (mittelharte Aussage) und am ehesten eine geringe Abnahme in der Periode 2050 bis 2080 (weiche bis mittelharte Aussage) erwarten. Die Region südlich der Alpen lässt eine Untergliederung in zwei Zonen mit unterschiedlichen Klimafolgen erkennen. Der Südwesten (etwa Oberkärnten) verhält sich ähnlich wie die Region nördlich der Alpen. Hier führen alpine Einflüsse der höhergelegenen Gewässerabschnitte zu einer Dämpfung von klimabedingten Trends zu geringeren Niederwasserabflüssen. Die Niederwasserprojektionen lassen für 2021–2050 keine signifikanten Änderungen (mittelharte Aussage) und für 2051–2080 eine Abflussabnahme von ca. 10–20% (mittelharte bis weiche Aussage) erwarten. Der Südosten (Burgenland, Weststeiermark, Ostkärnten) zeigt ein räumlich homogeneres Verhalten. Die Niederwasserprojektionen ergeben für 2021–2050 eine geringfügige Abnahme (mittelharte Aussage) und für 2051–2080 eine deutlichere Abflussabnahme von etwa 20–30%

(mittelharte Aussage). Hier ist im Sommerhalbjahr also eine Verschärfung der Niederwassersituation zu erwarten. In den Alpen zeigen Klimaszenarien eine gute Übereinstimmung mit beobachteten Trends. Hier treten Niederwässer typischerweise im Winter auf und sind durch die saisonale Lufttemperatur gesteuert, deren Entwicklung durch Klimamodelle relativ gut prognostizierbar ist. Die kombinierte Information der Projektionen ergibt eine Zunahme um 20–40 % für 2020 bis 2050 (harte bis mittelharte Aussage) und um 30–50 % für 2050 bis 2080 (mittelharte Aussage).

## 6. Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Projekts CILFAD wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf den Niederwasserabfluss in Österreichs Flüssen und Bächen durch Anwendung eines innovativen Drei-Standbeine-Ansatzes untersucht. In den Alpen Österreichs werden die Abflüsse bei Winterniederwasser wegen höherer Lufttemperaturen deutlich zunehmen, was als günstig zu betrachten ist. In den Flachlandregionen Ost- und Südösterreichs kann eine Abnahme der Abflüsse bei Niederwasser eintreten. Hierdurch kommt es vor allem im Sommerhalbjahr zu einem geringeren Wasserdargebot, was als ungünstig zu betrachten ist. Keine signifikanten Änderungen der Niederwasserabflüsse sind im Norden und Südwesten Österreichs zu erwarten. Diese Aussagen gelten aufgrund von Unterschieden bei der Prognostizierbarkeit von Sommer- und Winterniederwasserprozessen und bei der Synthese der Informa-

tionen als unterschiedlich sicher. So ist der temperaturbedingte Anstieg in den Alpen eine harte Aussage während die vor allem niederschlagsbedingte Abnahme in den Flachlandregionen im Südosten und Südwesten relativ weiche Aussagen darstellen.

Die Ergebnisse der Studie stützen sich auf unterschiedliche Informationsquellen. Dadurch sind ihre Aussagen robuster als die von Einzelanalysen, die sich entweder auf beobachtete Trends oder auf Klimaprojektionen stützen. Es muss jedoch weiterhin mit erheblichen Unsicherheiten gerechnet werden. Die verbleibenden Unsicherheiten sind u. a. auf die relativ kurzen Messreihen zurückzuführen, die eine Einschätzung des Klimawandels in Bezug auf die natürliche Klimavariabilität erschweren. Für eine bessere Einschätzung könnten rekonstruierte Klima- und Abflussreihen herangezogen werden, die im Folgeprojekt DALF-Pro untersucht werden sollen.

## 7. Danksagung

Die Studie wurde aus Mitteln des Klimafonds, Austrian Climate Research Programme, Projekt CILFAD (GZ B060362) und DALF-Pro (GZ B464822), sowie das ‚Predictability of Runoff‘ Projekt der Österreichischen Akademie der Wissenschaften gefördert. Die Autoren danken dem Hydrographischen Zentralbüro (HZB) und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) für die Bereitstellung der Daten. Die Studie ist ein Beitrag zu UNESCOs FRIEND-Water Programm. ■

## Literatur

- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., et al (2007): HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *Int J Climatol* 27:17–46. doi:10.1002/joc.1377
- Blöschl, G., Montanari, A. (2010): Climate change impacts—throwing the dice? *Hydrol Process* 24:374–381.
- Field, C. B., Intergovernmental Panel on Climate Change (2012): Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York
- Haslinger, K., Koffler, D., Schöner, W., Laaha, G. (2014): Exploring the link between meteorological drought and streamflow: Effects of climate-catchment interaction. *Water Resour Res* 50:2468–2487. doi:10.1002/2013WR015051
- Jungwirth, M. (ed) (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas, Wien
- Laaha, G., Blöschl, G. (2006): Seasonality indices for regionalizing low flows. *Hydrol Process* 20:3851–3878. doi:10.1002/hyp.6161
- Laaha, G., Koffler, D., Haslinger, K., et al (2014): Climate Impacts on Low Flows and Droughts – Final Report. Climate and Energy Fund, Vienna
- Laaha, G., Koffler, D., Zehetgruber, J., et al (in Vorbereitung): Low flow trends in Austria from local and regional information.
- Laaha, G., Parajka, J., Viglione, A., et al (eingereicht in HESS): A three-pillar approach to assessing climate impacts on low flows.
- Loibl, W., Formayer, H., Schöner, W., et al (2011): Reclip: century 1 Research for climate protection: century climate simulations: models, data and ghg-scenarios, simulations.
- Sivapalan, M., Blöschl, G., Merz, R., Gutknecht, D. (2005): Linking flood frequency to long-term water balance: Incorporating effects of seasonality. *Water Resour Res* 41. doi:10.1029/2004WR003439
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., López-Moreno, J. I. (2010): A multiscale drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *J Clim* 23:1696–1718.
- Viglione, A., Parajka, J. (2014): TUWmodel: Lumped Hydrological Model for Education Purposes. R package.
- Viglione, A., Castellarin, A., Rogger, M., et al (2012): Extreme rainstorms: Comparing regional envelope curves to stochastically generated events. *Water Resour Res* 48. doi:10.1029/2011WR010515