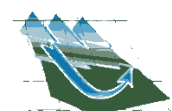


MANUSKRIPTE

GEOGRAPHICA AUGUSTANA

Peter Chifflard, Bernd Cyffka
Daniel Karthe, Karl-Friedrich Wetzel

**Beiträge zum 44. Jahrestreffen
des Arbeitskreises Hydrologie
vom 15.-17. November 2012
in Lunz am See**



GEOGRAPHICA AUGUSTANA

GEOGRAPHICA AUGUSTANA

**Peter Chifflard, Bernd Cyffka,
Daniel Karthe, Karl-Friedrich Wetzel**

**Beiträge zum 44. Jahrestreffen
des Arbeitskreises Hydrologie
vom 15.-17. November 2012 in Lunz am See**

Peter Chiffard, Bernd Cyffka, Daniel Karthe, Karl-Friedrich Wetzel

**Beiträge zum 44. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie vom 15.-17.November 2012
in Lunz am See**

Augsburg 2013

ISBN 3-923273-89-4

ISSN 1862-8680

Copyright: Institut für Geographie, Universität Augsburg 2006

Alle Rechte vorbehalten

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

Vorwort der Editoren

Das Wasser stellt eine unentbehrliche Grundlage für aquatische und terrestrische Ökosysteme sowie für das menschliche Leben dar. Alle Änderungen des Wasserkreislaufes – ganz gleich ob natürlichen oder anthropogenen Ursprungs – haben weitreichende Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Aus diesem Grund ist ein nachhaltiges Management der Wasserressourcen von erheblicher gesellschaftlicher und ökologischer Bedeutung. Zur Erreichung dieses Ziels sind sowohl Forschung jenseits disziplinärer Grenzen als auch eine transnationale Zusammenarbeit notwendig.

In diesem Sinne beschäftigt sich der Arbeitskreis Hydrologie seit 1979 mit dem Thema Wasser. Er wurde als Diskussionsplattform für die fachspezifischen Fragestellungen der Hydrologie innerhalb der Geographie gegründet und ist in den Verband der Geographen an Deutschen Hochschulen (VGDH) eingegliedert. Der Arbeitskreis versucht einen Informationsfluss zwischen Organisationen, Arbeitsgruppen und einzelnen Wissenschaftlern herzustellen und will das bestehende Angebot von hydrologisch orientierten Arbeitsgruppen innerhalb und außerhalb der Geographie ergänzen.

Für das Jahrestreffen 2012 hat der Arbeitskreis Hydrologie zum ersten Mal in seiner Geschichte in Österreich, am WasserCluster in Lunz am See getagt. Der WasserCluster Lunz wurde 2005 von der Universität Wien, der Universität für Bodenkultur Wien und der Donau-Universität Krems gegründet und führt das wissenschaftliche Erbe der Biologischen Station, die zweitälteste Station der Welt (1905 bis 2003), fort. Als interuniversitäres Zentrum für die Erforschung aquatischer Ökosysteme finden im WasserCluster Grundlagenforschung, angewandte Forschung, Management und Lehre in einem integrativen Ansatz zusammen.

Mit den in diesem Tagungsband vereinten Beiträgen wird die inhaltliche Vielfalt wasserbezogener Arbeitsfelder, die sich im Arbeitskreis Hydrologie wiederfinden, deutlich. Der Veranstalter, Peter Chiffard, der Arbeitskreis Hydrologie und der WasserCluster Lunz würden sich freuen, wenn dadurch weitere interessierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler angesprochen werden und ein kleiner Beitrag zur Zusammenführung hydrologischer Forschung geleistet werden kann.

Gleichzeitig möchte sich der Veranstalter sehr herzlich beim Land Niederösterreich, bei der Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften, der Gemeinde Lunz am See, dem Autohaus Lunz, der Raiffeisenbank Region Eisenwurzen und dem Unimarkt für die finanzielle Unterstützung bedanken.

Peter Chiffard

Bernd Cyffka

Daniel Karthe

Karl-Friedrich Wetzel

Lunz am See, Januar 2013

Inhaltsverzeichnis

Ein Gletscherschmelzmodell als Teil des Hochwasservorhersagemodells für den Tiroler Inn <i>R. Kirnbauer und J. Schöber</i>	4
Methoden zur Verifikation von modellierten Schneeausaperungsmustern - Schrägluftbilder, Satellitenbilder und räumlich hochaufgelöste LIDAR Daten <i>J. Schöber, R. Kirnbauer & F. Schöberl</i>	10
The long journey of organic carbon to the ocean starts in Alpine glaciers <i>C. Fasching, G.A. Singer, L. Wilhelm, J. Niggemann, P. Steier, T. Dittmar & T.J. Battin</i>	15
Network-scale patterns of dissolved organic matter (DOM) and carbon dioxide evasion of the upper Ybbs, Austria <i>S. Hengsberger, G. A. Singer & T.J. Battin</i>	17
Regional isotope patterns and hydrograph separation of an ungauged basin in Central Asia <i>C. Meier, M. Knoche, M. Weiler, R. Merz & S. M. Weise</i>	23
Tracerhydrologische Untersuchungen im Zugspitzgebiet – Abgrenzung des Partnachgebietes im Osten <i>G. Strobl & K.-F. Wetzel</i>	27
Einzugsgebietsmanagement- und Klimawandeleinfluss auf die Wasserqualität des Ammersees <i>M. Vetter</i>	31
Berücksichtigung von unterirdischen Zuflüssen bei der hydrodynamischen Wärmehaushaltsmodellierung mit Dyresm am Ammersee <i>T. Büche & M. Vetter</i>	35
Wie viel Dynamik braucht ein Auwald? Hydrogeomorphologische Untersuchungen im Auwald zwischen Neuburg und Ingolstadt <i>P. Fischer & B. Cyffka</i>	40
Die Entwicklung der Donau-Auen bei Wien – Ursachen, Auswirkungen und naturschutzfachliche Folgen <i>W. Reckendorfer, M. Böttiger, A. Funk & T. Hein</i>	45
Vitalität der Auenvegetation des Tarim Rivers (Nordwest China) als Funktion der Bodenfeuchte und des Grundwassers <i>M. Kuba & B. Cyffka</i>	54
Vom Substrat zur Wasserrahmenrichtlinie – gewässermorphologische und faunistische Bewertung eigendynamisch renaturierter Abschnitte der Lahn <i>M. Groll</i>	62

Die Temperaturentwicklung von Fließgewässern bei Hoch- und Niedrigwasser am Beispiel des bayerischen Lechs – Eine Analyse anhand langjähriger Temperaturreihen ausgewählter Kraftwerke	68
<i>J. Meir & K.-F. Wetzel</i>	
Das thermische Verhalten der Wertach im Bereich von Großaitingen bis Göggingen auf der Grundlage von Feldmessungen in der Zeit von November 2011 bis August 2012	72
<i>M. Mack, H. Engelsing & K.-F. Wetzel</i>	
Rekonstruktion von Scheitelabflüssen historischer Hochwässer der Ahr	76
<i>T. Roggenkamp & J. Herget</i>	
Schwall-Versuchsanlage HyTEC: Drift und Strandung von juvenilen Äschen infolge künstlicher Abflussschwankungen	79
<i>B. Zeiringer, N. Fohler, S. Auer, F. Greimel, M. Jungwirth & S. Schmutz</i>	
Hydrologische Klassifizierung und Bewertung von schwallbedingten Abflussschwankungen in Österreich	80
<i>F. Greimel, B. Zeiringer, N. Höller, M. Fuhrmann, A. Melcher & S. Schmutz</i>	
Dimensionen und Implikationen des rasanten Wasserkraftausbaus in Yunnan, SW-China	82
<i>T. Hennig</i>	
Modelling of the influence of short rotation coppice on the water balance and river discharge of the Dahme River – first progress report	87
<i>V. Choudhary, C. Reinhardt & A. Schulte</i>	
Integration of Meso- and Macroscale Approaches for Water Resources Monitoring and Management in the Baikal-Selenga-Basin	90
<i>D. Karthe, S. Chalov, P. Theuring & E. Belozerova</i>	
Global Change impacts on Mongolian water resources	95
<i>M. Malsy, T. aus der Beek, M. Heinen & M. Flörke</i>	
Wasserqualität von Bodenlösungen unter Berücksichtigung periglazialer Deckschichten: Konzept einer Vorstudie	99
<i>M. Reiss</i>	
Optimierung der Parametrisierung von N-A-Modellen für die Modellierung von Hochwasserereignissen in Gebieten mit periglazialen Deckschichten	104
<i>C. Reinhardt, K. Heller, A. Schulte & A. Kleber</i>	
Modellsimulationen zur Ermittlung des Einflusses von Reliefeigenschaften auf den Direktabfluss – ein Werkstattbericht	108

<i>J. Kranl, D. Janßen & H. Zepp</i>	
Einfluss von Trockenstress und Buchdruckerbefall auf den Bodenwasserhaushalt und das Baumwachstum von Fichten	112
<i>Y. Morgenstern & S. Ortiz</i>	
Problems and possibilities in agricultural irrigation from a soil hydrological point of view	118
<i>S. Grashey-Jansen</i>	
Beregnungs- und Färbeexperimente zur Ermittlung der hydraulischen Eigenschaften periglazialer Deckschichten	122
<i>K. Heller & A. Kleber</i>	
Explorative hydrological modeling of the Gunt Catchment, Central Pamirs	127
<i>M. Knoche, C. Ebert, E. Pohl, J. Baidulloeva, T. Rödiger, S. Weise, R. Gloaguen & R. Merz</i>	
Hydrologic model framework for river basins with a range of hydroclimatic and bioclimatic conditions	130
<i>M. Cárdenas & D. Gutknecht</i>	
Untersuchungen zur diffusen lateralen Sediment-Konnektivität in einem kleinen, ackerbaulich genutzten Einzugsgebiet der Österreichischen Böhmisches Masse	131
<i>R. E. Poepl, M. Keiler, K. von Elverfeldt, I. Zweimueller & T. Glade</i>	
Learning from Nature – Mapping of Complex Hydrological and Geomorphological Process Systems for More Realistic Modelling of Hazard-related Maps	134
<i>P. Chiffard & N. Tilch</i>	
Abschätzung von Fließgeschwindigkeiten des oberflächennahen Zwischenabflusses auf verschiedenen Substraten des Ostalpenraumes	138
<i>G. Markart, G. Bieber, H. Pirkl, A. Römer, B. Jochum, K. Klebinder, B. Kohl, S. Pfeiler, B. Sotier & K. Suntinger</i>	

Ein Gletscherschmelzmodell als Teil des Hochwasservorhersagemodells für den Tiroler Inn

Robert Kirnbauer¹ & Johannes Schöber²

¹ Technische Universität Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie

² alpS GmbH Innsbruck und Institut für Geographie, Universität Innsbruck

1. Einleitung

Der Inn ist der wichtigste Fluss Tirols. Auf seiner Lauflänge von ca. 200 km entwässert er ein Einzugsgebiet in Tirol von 6750 km². Die größten beobachteten Hochwässer verzeichnen eine Zunahme von ca. 650 m³/s beim Eintritt nach Tirol auf ca. 2200 m³/s beim Übertritt nach Bayern. Die rechtsseitigen Zubringer Fagge, Pitze, Öztaler Ache, Sill und Ziller entwässern den Alpenhauptkamm, der zu ca. 200 km² vergletschert ist. Die Abflussprozesse auf den Gletschern beeinflussen dominierend das Abflussregime des Inn, insbesondere bei jenen Vorflutern, in deren Oberläufen keine großen Speicherseen liegen (Öztaler Ache, Sill).

Wie der Inn der wichtigste Fluss Tirols, so ist das Inntal der wichtigste Wirtschafts- und Siedlungsraum. Der Siedlungsdruck im Inntal bewirkt ein Heranrücken von Wohn und Gewerbegebieten an den Fluss, wodurch es zu einer Steigerung der durch Hochwasser gefährdeten Werte und damit zu einer Zunahme des Risikos kommt. Zusätzlich bewirkt die Liberalisierung des Strommarktes einen zunehmenden Druck auf die Betreiber von Wasserkraftanlagen in Richtung einer vorausschauenden Betriebsoptimierung. Zum Schutz des Lebens- und Wirtschaftsraumes vor der Hochwassergefahr im Inntal und als Grundlage für Betriebsoptimierungen wurde daher von dem Energieversorgungsunternehmen TIWAG (Tiroler Wasserkraft AG) gemeinsam mit der Tiroler Landesregierung die Initiative ergriffen, ein Hochwasservorhersageverfahren für den Inn erstellen und installieren zu lassen (Kirnbauer u. Schönlaub, 2006).

Als Vorhersagemodell wurde ein modular aufgebautes Flussgebietsmodell gewählt. Es besteht aus den Haupt-Bausteinen

- Preprocessing des meteorologischen Input incl. meteorologische Vorhersagen
- Gletschermodell SES ("Schnee- und Eis-Schmelze")
- Niederschlag-Abfluss-Modell (HQsim) für unvergletscherte Einzugsgebietsteile der Zubringer des Inn unter Einschluss eines Routing-Modells
- Hydrodynamisches 1D-Modell für den Hochwasserwellenablauf im Inn.

In dieser Veröffentlichung wird über das Gletschermodell SES berichtet, und Hinweise auf einzelne Besonderheiten der Modellierung der auf Gletschern ablaufenden Prozesse sollen gegeben werden, denn diese beeinflussen den Hochwasserabfluss auch noch in Innsbruck. Abb. 1 zeigt die Situation an der Universitätsbrücke in Innsbruck beim Hochwasser im August 2005, bei dem es zu keinen Aus-



uferungen kam, vor allem weil die vergletscherten Einzugsgebiete aufgrund der dort herrschenden niedrigen Temperaturen nur einen geringen Teil des Abflusses am Inns beitrugen.

Abb. 1: Inn-Hochwasser 23. August 2005 in Innsbruck, Oberstrom der Universitätsbrücke.

2. Bausteine des Schmelzmodells

Das Schmelzmodell baut auf der Energiebilanzgleichung auf (Blöschl et al., 1987)

$$Q = Q_{SW} + Q_{LW} + Q_S + Q_L + Q_{Soil} \quad (1)$$

Hierin bedeuten Q die Schmelzenergie, Q_{SW} die Energie aus kurzwelliger Strahlung, Q_{LW} jene aus langwelliger Strahlung, Q_S und Q_L den fühlbaren bzw. latenten Wärmestrom und Q_{Soil} den Bodenwärmestrom. Die turbulenten Flüsse fühlbarer und latenter Wärmestrom werden mit dem vereinfachten Ansatz einer Windfunktion für den Wärmeübergangskoeffizienten beschrieben, die langwellige Strahlung als Differenz von Schnee- und Lufttemperatur mit dem Stefan-Boltzmann'schen Gesetz unter Verwendung von bewölkungsabhängigen Emissionskoeffizienten. Der entsprechende Formelapparat ist in Asztalos et al., 2007 zusammengefasst. Der Bodenwärmestrom wird als konstant angenommen. Auf Gletscherflächen ist er Null, auf offenem Boden ein Kalibrierparameter.

Für den Energieeintrag speziell in der Gletscherregion ist die kurzwellige Strahlung Q_{SW} entscheidend. Sie wird aus der Globalstrahlung Q_G mit Hilfe der Albedo a , also dem Reflexionsvermögen der Schneeoberfläche, berechnet:

$$Q_{SW} = Q_G \cdot (1 - a) \quad (2)$$

Abb. 2 zeigt den Energieeintrag in den Vernagtferner in den Haushaltsjahren 1994/95 bis 1999/2000 aufgegliedert nach turbulenten Flüssen Q_{turb} , kurzwelliger (Q_{sw}) und langwelliger (Q_{lw}) Strahlung. Dar-

aus ist zu erkennen, dass die kurzwellige Strahlung ca. zwei Drittel des Energieeintrages liefert. Somit muss ihr bei der Modellierung besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

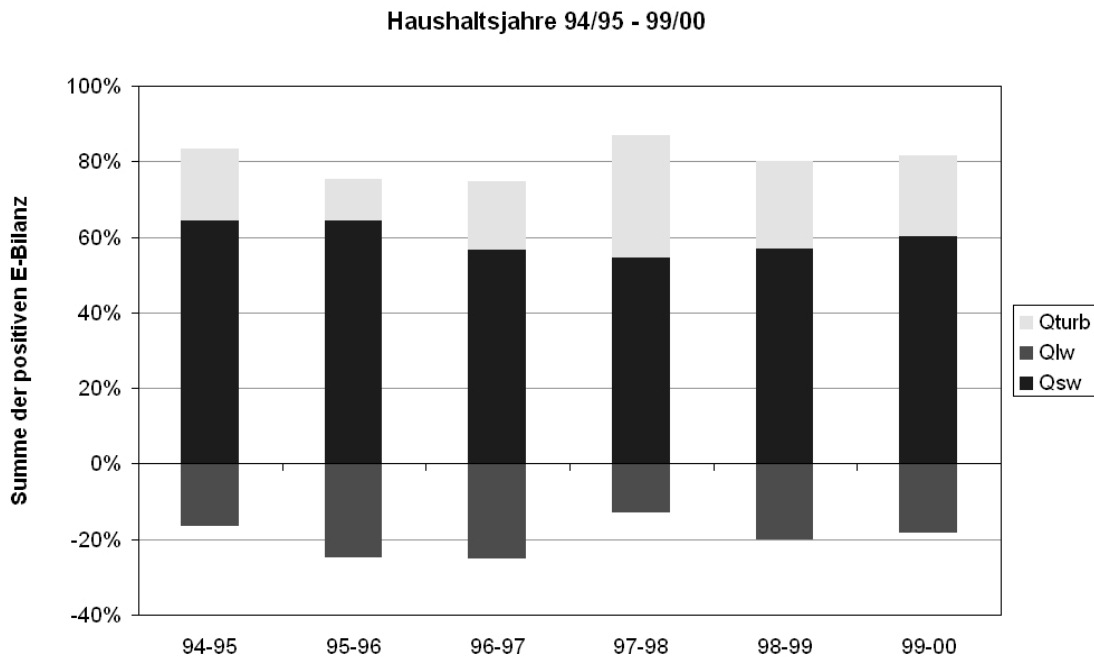


Abb. 2: Energieeintrag in den Vernagtferner in den Haushaltsjahren 1994/95 bis 1999/2000

Die schmelzwirksame Globalstrahlung entsteht aus der astronomisch möglichen Strahlung Q_{G_0} (Heindl und Koch, 1976) nach Abschwächung durch die Bewölkung B:

$$\frac{Q_G}{Q_{G_0}} = a - b \cdot B^c \quad (3)$$

a, b und c sind dimensionslose, zu kalibrierende Parameter.

Von dem für den kurzwelligen Energieeintrag in den Schnee entscheidenden Parameter, der Albedo, a in Gleichung (2) ist bekannt, dass er auf Gletschern ein äußerst dynamisches Verhalten zeigt: Mit zunehmendem Schneealter nimmt die Albedo ab, während der Ausaperung auftretende Schneeniederschläge vergrößern sie wieder auf die Neuschneealbedo; ist die Neuschneesicht geschmolzen, wird wieder der Albedowert vor dem Schneefall wirksam. Ist der Winterschnee weggeschmolzen, wird die Firn- oder die Eisoberfläche mit der jeweiligen Albedo der Strahlung ausgesetzt. Zusätzlich zeigt die Albedo auch tageszeitliche Unterschiede: Morgens und abends ist sie am größten, zu Mittag am geringsten. Die übliche Beschreibung der Abnahme der Albedo mit einer über die Zeit abnehmenden Exponentialfunktion (aging curve approach) wird dieser Dynamik bestenfalls in der langfristigen Betrachtungsweise (über Wochen und Monate) gerecht, geht aber auf die physikalischen Ursachen nicht ein. Die Metamorphose des Schnees, und damit die Änderung der Albedo, ist eine Folge der Energieaufnahme des Schnees. Dem überlagert sich das Verschmutzen der Oberfläche durch

atmosphärische Deposition und durch biologische Prozesse im Schnee. Der im Gletschermodell SES gewählte Ansatz zur Modellierung der Albedo beschreibt den Zusammenhang zwischen Albedo und Energieaufnahme mit der Gleichung

$$a(t_2) = f(a_N, a_0; Q(t_2), \Delta Q(t_2-t_1)) \quad (4)$$

mit a_N Neuschneealbedo a_0 Altschneealbedo und $\Delta Q(t_2-t_1)$ gleich der Änderung der Energiebilanz von t_1 nach t_2 . An sich müsste diese Gleichung iterativ gelöst werden, doch haben Testrechnungen gezeigt, dass bei dem in SES angewendeten Zeitschritt von einer Stunde als Schätzwert für den Wert von $Q(t_2)$ der Energieeintrag des vorherigen Zeitschrittes verwendet werden kann. Die Herleitung und ausformulierte Form der Gleichung (4) aus dem ursprünglichen Ansatz von Trofimova (1970) ist in Asztalos (2004) bzw. Asztalos et al. (2007) nachzulesen. Wie sich die Albedo in Abhängigkeit vom bisherigen Energieeintrag auf dem Gletscher im Firnbereich, auf der Gletscherzunge und im eisfreien Umfeld verhält, wird in Abb. 3 dargestellt.

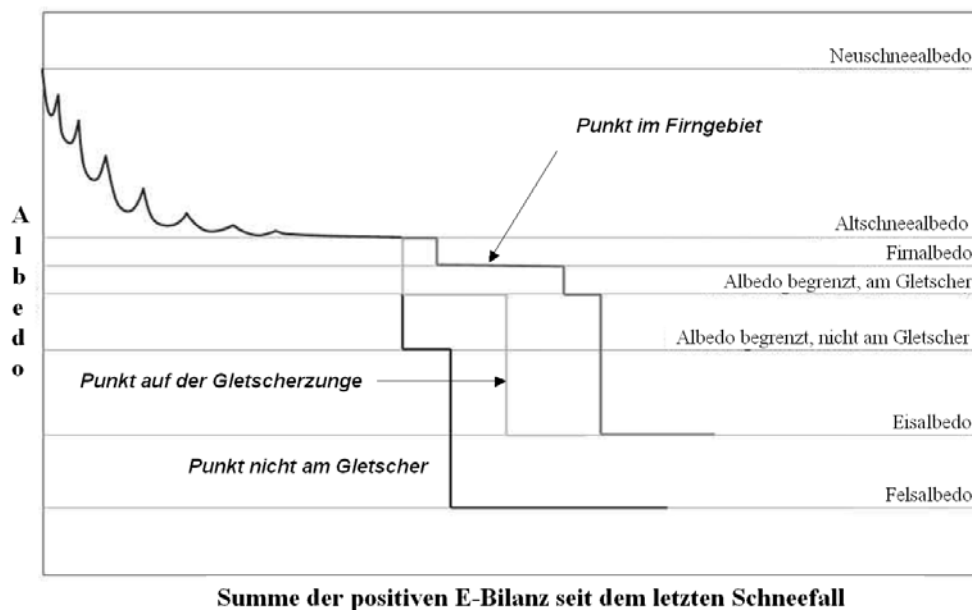


Abb. 3: Albedoverlauf auf unterschiedlichen Oberflächen als Funktion der positiven Energiebilanz seit dem letzten Schneefall.

3. Modellverifikation

Die Funktionsweise eines Schneeschmelzmodells kann am besten an Hand von Daten eines Schneelysimeters in Verbindung mit einem Schneekissen (snow pillow) überprüft werden (Kirnbauer und Blöschl, 1990). Bei einem flächendetaillierten Schmelzmodell für ein Einzugsgebiet wären die adäquaten Daten Schneewasserwerte für jedes Flächenelement. Solange solche Daten nicht greifbar waren, bestand praktisch nur eine adäquate Möglichkeit der Modellverifikation: An Hand von ter-

restrisch oder aus der Luft aufgenommenen Fotografien bzw. von Satellitenaufnahmen war es möglich, den Ausaperungszustand des Gebietes zu dokumentieren und festzustellen, ob auch das Schmelzmodell die im Bild als schneefrei bzw. schneebedeckt erkannten Elemente als schneefrei bzw. schneebedeckt identifiziert. An Hand einer Aufnahmenserie ist somit der Verlauf der Ausaperung in der Natur und im Modell vergleichbar. An Hand der örtlichen Verteilung der Unterschiede zwischen Natur und Simulation sind auch Schlüsse auf Imperfektionen des Modells möglich: Aperten z.B. Südhänge systematisch zu früh aus, dann müsste der Modellteil für die kurzwellige Strahlung überprüft und verbessert werden.

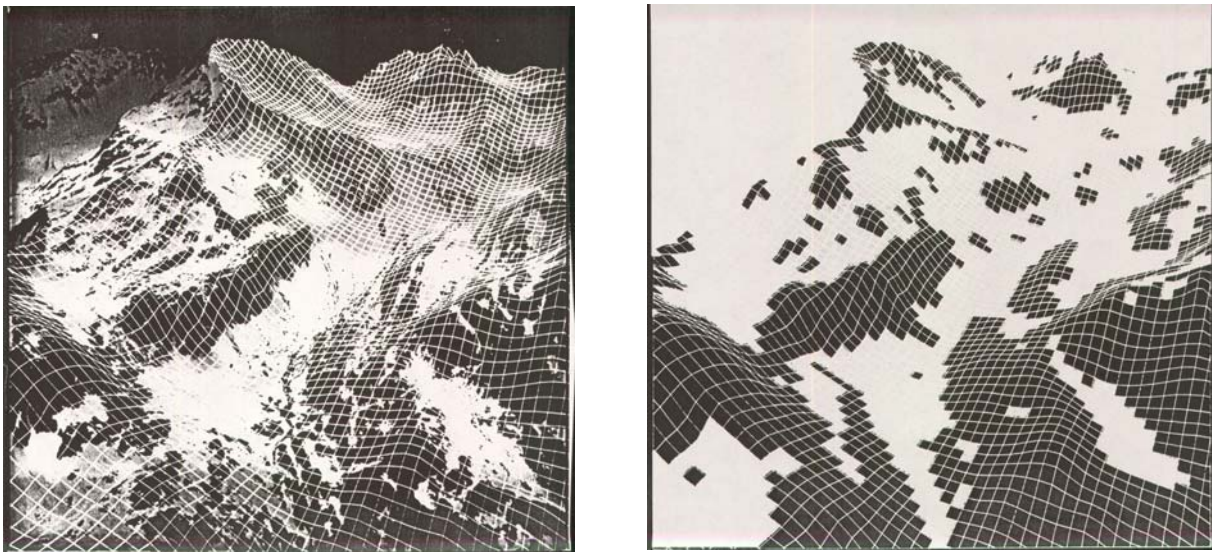


Abb. 4: Ausaperungsmuster im Längental (Kühtai/Tirol) am 26. Juni 1989. Links: Flugaufnahme mit dem 25x25 Meter-Raster des Modells (Freigabe durch das BM für Landesverteidigung). Rechts: Simulierte Ausaperung für denselben Tag; helle Flächen schneebedeckt lt. Simulation.

In Abb. 4 ist ein Beispiel für einen derartigen Vergleich zwischen Flugaufnahme und Simulation dargestellt. Daraus ist erkennbar: Das Modell beschreibt den Prozess der Ausaperung generell gut; die Feinstruktur der Schneemuster kann vom Modell nicht wiedergegeben werden, was zum Teil an der Pixelgröße, zum Teil an Imperfektionen des Modells liegt. Über Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Modellverifikation wird von Schöber et al. (dieses Heft) berichtet.

Literatur

Asztalos, J. (2004): Ein Schnee- und Eisschmelzmodell für vergletscherte Einzugsgebiete. Diplomarbeit, Technische Universität Wien, 2004. http://www.hydro.tuwien.ac.at/fileadmin/mediapool-hydro/Diverse/Lehre/Diplomarbeiten/da_asztalos2004.pdf

Asztalos, J., Kirnbauer, R., Escher-Vetter, H. und Braun, L., (2007): A distributed energy balance snow and glacier melt model as a component of a flood forecasting system for the Inn river. Pro-

- ceedings of the Alpine*Snow*Workshop, Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 53, Berchtesgaden, 2007. pp. 9-17
- Blöschl, G., Kirnbauer, R., Gutknecht, D. (1991) Distributed snowmelt simulations in an Alpine catchment. 1. Model evaluation on the basis of snow cover patterns. *Water Resources Research* **27**(1991), vol. 12, pp. 3171-3179.
- Blöschl, G., Kirnbauer, R., und Gutknecht, D. (1987) Zur Berechnung des Wärmeeintrages an einem Punkt der Schneedecke. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* **31**(1987) H. 5, pp. 149-155.
- Heindl, W. und Koch, H. (1976): Die Berechnung von Sonneneinstrahlungsintensitäten für wärmetechnische Untersuchungen im Bauwesen. *Gesundheits-Ingenieur* **97**(12).
- Kirnbauer, R. und Blöschl, G. (1990): A lysimetric snow pillow station at Kühtai/Tyrol. In: Hydrology in Mountainous Regions. I-Hydrological Measurements; the Water Cycle. IAHS/IAHS International Conference on Water Resources in Mountainous Regions. Lausanne - Switzerland. *IAHS Publ.* **193**, pp. 173-180.
- Kirnbauer, R. und Schönlaub, H., (2006): Vorhersage für den Inn. *Wiener Mitteilungen* **199**: 69–84.
- Trofimova, E.B. (1970): Metod rascheta otrazhayushchej sposobnosti snezhnogo pokrova (Eine Methode zur Berechnung der Reflexionseigenschaften von Schneeflächen). *Sredneaziatskij Nauchno Issledovatel'skij Gidrometeorologicheskij Institut* **52** (67):21–25, Leningrad.

Anschrift des Verfassers:

Robert Kirnbauer
Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/222
A-1040 Wien
Email: kirnbauer@hydro.tuwien.ac.at

Methoden zur Verifikation von modellierten Schneeaussparungsmustern - Schrägluftbilder, Satellitenbilder und räumlich hochaufgelöste LIDAR Daten

Johannes Schöber^{1,2}, Robert Kirnbauer³ & Fritz Schöberl²

¹alpS-Centre for Climate Change Adaptation Technologies, Innsbruck

²Institut für Geographie, Universität Innsbruck

³Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, TU Wien

1. Einleitung

Das Schnee- und Eisschmelzmodell SES (Asztalos et al., 2007) wird im Rahmen des Hochwasserprognosesystems des Tiroler Inns (HoPI) zur Berechnung der Abflüsse aus den vergletscherten Einzugsgebieten der Stubaier und Ötztaler Alpen verwendet (siehe auch Kirnbauer und Schöber, diese Ausgabe).

In den letzten 20 Jahren wurde die Einbeziehung von Schneebedeckungsmustern zur Validierung schnee-hydrologischer Modelle zum Stand der Technik (Blöschl et al., 1991). Neu ist die Verwendung von flächendeckenden Schneehöhendaten auf Basis von LIDAR (Light detection and ranging) Messungen. Die nun verfügbare dreidimensionale Information zur Schneebedeckung erlaubt weitere Erkenntnisse im Bezug auf die räumliche Verteilung und Variabilität der Schneedecke im Einzugsgebiet. In diesem Aufsatz werden die verwendeten Fernerkundungsdaten zur Kalibrierung und Validierung von SES im Rahmen von HoPI zusammengefasst.

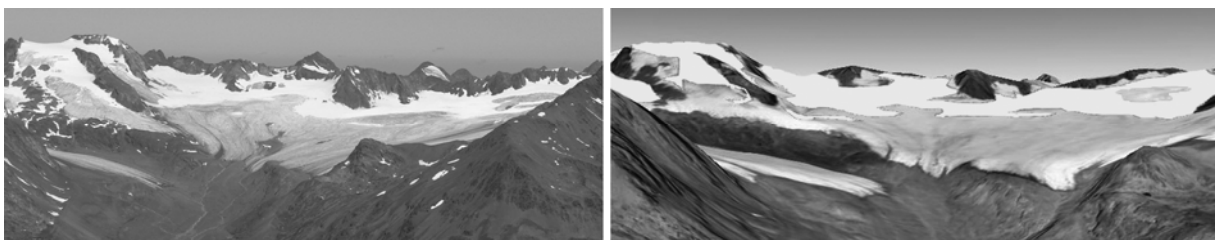


Abb. 1: Vernagtferner am 15.08.2009; links: Foto von der Kreuzspitze (3455 m), rechts: mit SES simulierte Schneedecke in Google Earth dargestellt (Quelle: Schöber et al., 2010, verändert)

2. Schrägluftbilder

In der ersten Anwendung von SES wurden simulierte Schneeaussparungsmuster mit georeferenzierten Webcam-Bildern vom Vernagtferner im Ötztal validiert (Asztalos et al., 2007). Eine weitere Anwendungsmöglichkeit von Fotos zeigt Abbildung 1. Hier wurde die simulierte Schneedecke zum Zeit-

punkt der Fotoaufnahme als Ebene über dem digitalen Geländemodell des entsprechenden Gebietes in der 3D-Ansicht eines GIS-Systems dargestellt. Bei dem Foto vom 15.08.2009 kann man die Schneegrenze deutlich als Übergang von weißen schneebedeckten Bereichen zu dunkelgrauen, ausgeparten Gletschereis erkennen. Die modellierte Schneefläche kann auf diese Weise nur qualitativ beurteilt werden. Aber das Modell gibt in diesem Beispiel das räumliche Muster der Schneedecke am Gletscher zufriedenstellend wieder. Diese Methode eignet sich besonders gut für die operationelle Hochwasserprognose, da ohne großen Prozessierungsaufwand zeitnahe Fotos zur Beurteilung der aktuellen Modellgüte herangezogen werden können. Fehler in der Abflusssimulation, die beispielsweise durch eine zu tiefe Schneefallgrenze hervorgerufen werden (=unterschätzter Abfluss), können auf diese Weise rasch aufgeklärt werden (Schöber et al., 2010).

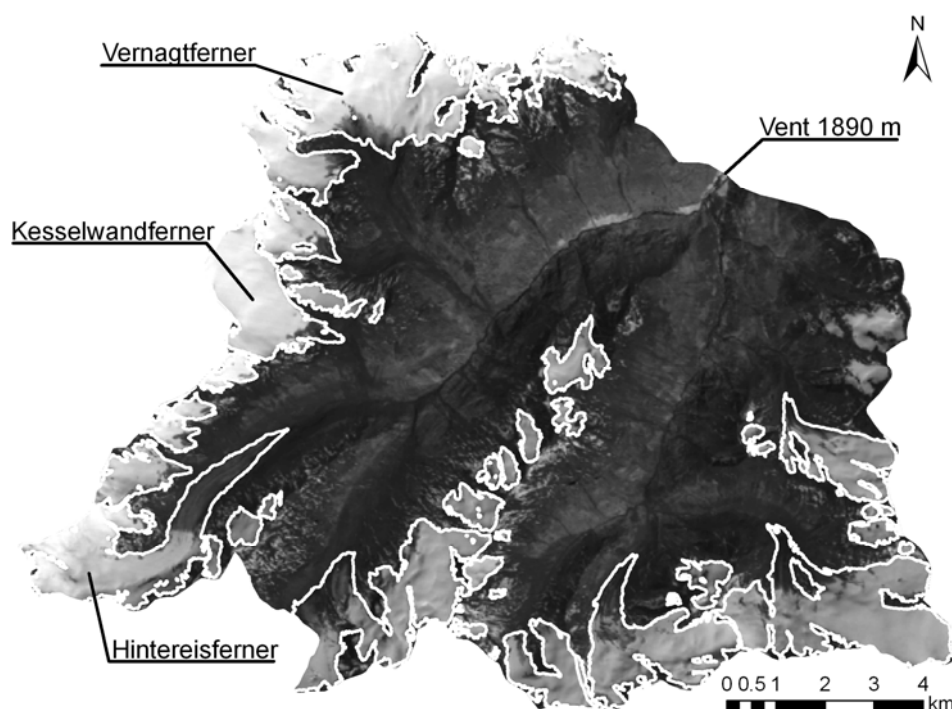


Abb. 2: Landsat Bild des Einzugsgebietes des Pegels Vent vom 04.07.2011; Weiß: Gletscher 2006

3. Satellitenbilder

Im Unterschied zu den vorgestellten, auf Schrägluftbildern basierenden Methoden haben Orthofotos und Satellitenbilder den Vorteil, dass sie in der Regel größere Gebiete abdecken. Satellitenbilder zeichnen sich weiters durch eine oftmals hohe zeitliche Wiederkehrrate aus. Im Vergleich zu Orthofotos ist die räumliche Auflösung der Daten weniger detailliert. Frei verfügbare Daten haben Auflösungen von 500 m (MODIS) und 30 m (Landsat). Für Modellierungen im hochalpinen Gelände in der Einzugsgebiets-Skala sind MODIS Daten tendenziell zu grob, Landsat Daten jedoch gut geeignet. Ein weiterer Vorteil der Satellitendaten ist, dass in der Regel auch Bilder im infraroten Wellenlängen-

bereich aufgezeichnet werden, die zur (semi-) automatischen Detektierung von schneebedeckten und aperen Flächen durch Ratiobildung mit Bildern im sichtbaren Wellenlängenbereich verwendet werden. Zur quantitativen Beurteilung der simulierten Ausaperungsmuster eignen sich Zielfunktionen, die auf 2 x 2 Kontingenztabellen basieren. Zappa, (2008) stellt eine Reihe von entsprechenden Zielfunktionen vor. Für die aus Abbildung 2 erhobenen Schneeflächen konnte eine 88 % Übereinstimmung mit den simulierten Schneemustern berechnet werden.

4. LIDAR

Die LIDAR Technologie findet in den letzten Jahren vermehrt Einzug in schnee-hydrologische Untersuchungen. Die Schneehöhe kann mittels einfacher Differenzbildung zwischen den Zellen eines schneebedeckten Geländemodells und den Zellen eines schneefreien Referenz-Geländemodells bestimmt werden. Im Fall von vergletscherten Einzugsgebieten kommen Geländemodelle aus dem Sommer vor dem jeweiligen Winter, für den die Befliegung zur Schneehöhenmessung gemacht wird, als Referenzoberfläche zum Einsatz. Der Grund dafür ist, dass sich die Gletscherflächen schon während eines Sommers stark verändern. In den Ötztaler Alpen verlieren die Gletscher rund einen Meter pro Jahr im Mittel an Masse. Das Institut für Geographie der Universität Innsbruck führt seit 2001 jährlich einen Messflug (Airborne LIDAR) im Bereich des Hintereisferners (HEF) und des Kesselwandferners (KWF) im Rofental durch, die primär zur Bestimmung der geodätischen Massenbilanz der Gletscher verwendet werden (Geist und Stötter, 2007). Diese Messaufnahmen, die zwischen Anfang September und Anfang Oktober durchgeführt werden, bilden die Basis für die Berechnung der Schneehöhe. Mittlerweile wurden fünf Befliegungen während der größten Schneeakkumulationen im Frühjahr (Ende April oder Anfang Mai) durchgeführt. Die in Abbildung 3 dargestellten Schneeakkumulationen des Winters 2002/03 wurden aus Höheninformationen des Geländemodells vom 04.05.2003 minus der aperen Oberfläche des Geländemodells vom 18.09.2002 berechnet.

Da die meisten hydrologischen Modelle die Schneedecke in Form des Schneewasseräquivalents (SWE) berechnen (z.B. SES), können diese Differenzdaten jedoch nicht direkt zum Vergleich mit Modellresultaten herangezogen werden. Die Umrechnung der Schneehöhendaten in SWE kann mittels manuell erhobenen Messwerten der Schneedichte durchgeführt werden, die während der Befliegung aufgenommen werden. Im schneebedeckten Hochgebirge ist erwartungsgemäß aber nur ein kleiner Teil des Gebiets zugänglich. Jonas et al., (2009) entwickelten ein Modell zur Abschätzung der Schneedichte, das auf Regressionen zwischen gemessenen Schneehöhendaten und Dichtedaten basiert. Diese Methode wird derzeit für die Schneeverhältnisse in Tirol angepasst. Dabei zeigt sich, dass die Schneedichte in vergletscherten Einzugsgebieten am Ende der Akkumulationsperiode nur geringen Schwankungen unterliegt und üblicherweise zwischen 380 und 400 kgm⁻³ aufweist.

Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Schneewasserwerte der Schneeakkumulationen des Jahres 2003 und zum Vergleich das mit SES berechnete Ergebnis. Die Karten haben eine räumliche Auflösung von 50 m. Im Mittel ergibt sich ein auf Basis der LIDAR-Schneehöhen abgeleitetes SWE von 727 mm. Mit SES wird ein mittleres SWE von 576 mm simuliert. Die mittlere absolute Abweichung zwischen beiden beträgt 238 mm. Vor allem im Bereich des HEF zeigen die SES-Ergebnisse deutlich geringere SWE Werte. Große Abweichungen (rechtes Bild) ergeben sich durch Lawinen, die von SES nicht simuliert werden (z.B. im orographisch rechten Bereich der Zunge des HEF). Ein weiterer nicht berücksichtigter Prozess ist die Windverfrachtung. Vor allem bei Südwind-Wetterlagen wird Schnee aus dem Nachbarzugsgebiet auf dem HEF abgelagert. Der Einfluss dieses Defizits in der Schneeakkumulation wirkt sich aber nicht allzu gravierend auf die Abflusssimulation aus.

Im Vergleich zu Daten der Schneefläche ist die Kenntnis über die Größenordnung des mittleren Wasseräquivalents von Vorteil. Mit dieser Information können beispielsweise Parameter, wie die Niederschlagszunahme mit der Höhe oder der Schneekorrekturfaktor für Niederschlag in fester Form genau bestimmt werden.

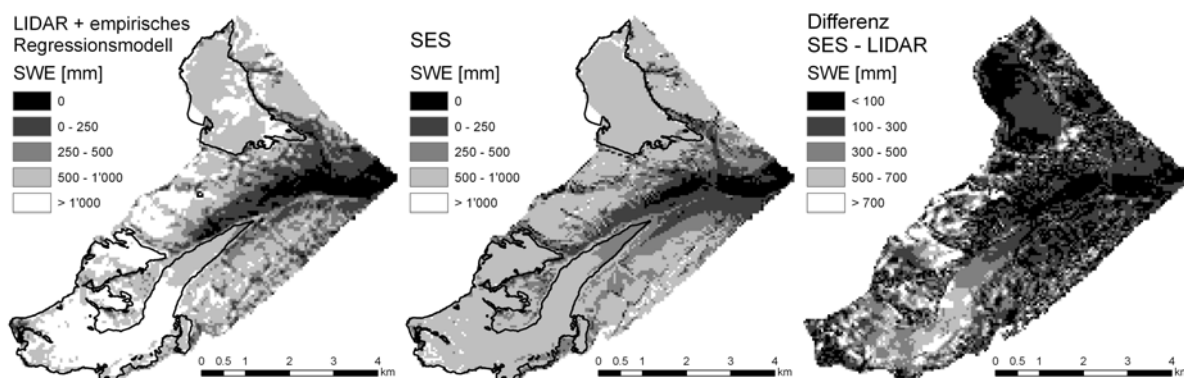


Abb. 3: Links: aus LIDAR-Schneehöhen abgeleitete Verteilung des SWE; Mitte: SWE modelliert mit SES; Rechts: Differenzkarte zwischen LIDAR und SES

5. Literaturliste

Asztalos J., Kirnbauer R., Escher-Vetter H., Braun L. (2007): A distributed energy balance snow and glacier melt model as a component of a flood forecasting system for the Inn river. Alpine*Snow*Workshop, Munich, October 5-6, 2006, Germany. *Berchtesgaden National Park research report* 53:9-17, Berchtesgaden.

Blöschl, G., Kirnbauer, R., Gutknecht, D. (1991) Distributed snowmelt simulations in an Alpine catchment. 1. Model evaluation on the basis of snow cover patterns. *Water Resources Research* 27(12):3171-3179.

Geist, T., Stötter, J. (2007): Documentation of glacier surface elevation change with multi-temporal airborne laser scanner data - case study: Hintereisferner and Kesselwandferner, Tyrol, Austria. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 41:77-106.

- Jonas, T., Marty, C., Magnusson, J. (2009): Estimating the snow water equivalent from snow depth measurements in the Swiss Alps. *Journal of Hydrology* **378(1-2)**:161-167.
- Schöber, J., Achleitner, S., Kirnbauer, R., Schöberl, F., Schönlaub, H. (2010): Hydrological modelling of glacierized catchments focussing on the validation of simulated snow patterns - applications within the flood forecasting system of the Tyrolean river Inn. *Adv. Geosci.* **27**:99-109.
- Zappa, M. (2008): Objective quantitative spatial verification of distributed snow cover simulations – an experiment for entire Switzerland. *Hydrological Sciences Journal* **53(1)**:179-191.

Anschrift des Verfassers:

Johannes Schöber

alpS GmbH

Grabenweg 68

A-6020 Innsbruck

Email: schoeber@alps-gmbh.com

The long journey of organic carbon to the ocean starts in Alpine glaciers

Christina Fasching^{1,#}, G.A. Singer^{1,#}, L. Wilhelm¹, J. Niggemann², P. Steier³, T. Dittmar² & T.J. Battin¹

¹ Department of Limnology, University of Vienna, Austria

² Institute for Chemistry and Biology of the Marine Environment, University of Oldenburg, Germany

³ Faculty of Physics, University of Vienna, Austria

These authors contributed equally

Abstract

In many alpine regions, headwaters - the smallest, but most numerous elements of fluvial networks - are nurtured by glaciers, which impact the hydrology, ecology and biogeochemistry of pro-glacial streams (Hood et al. 2008; Milner 2009). There is increasing evidence that glaciers, beside their role in the hydrological cycle, play an underestimated role in carbon cycling (Hodson et al. 2008). They store and transform organic matter (Hodson et al. 2008; Bhatia et al. 2010), which presumably supports downstream microbial life upon release (Hood et al. 2009). Yet, the origin, composition and metabolic fate of glacial organic carbon, and implications for the carbon cycle, remain debated. Ancient but bioavailable dissolved organic matter (DOM) in Alaskan glaciers was hypothesized to be of terrestrial origin (Hood et al. 2009), a notion that was recently challenged by the discovery of aerosols from fossil fuel burning imprinting on the age of DOM in supra-glacial meltwater (Stubbins et al. 2012). In Arctic glaciers proteinaceous compounds derived from microbes were found to dominate DOM (Pautler et al. 2012). Using ultrahigh-resolution mass spectrometry, we unveil the unexpectedly high biogeochemical diversity of ice DOM across 26 Alpine glaciers in Austria. Glacial DOM was dominated by a high-intensity polyphenolic population - typical for vascular plants and soils - alongside a large population of peptide-like unsaturated aliphatics - presumably of microbial origin and produced in-situ. These molecular populations contributed significantly to observed gradients in DOM radiocarbon age and bioavailability and were closely mapped by fluorescence signals derived from excitation-emission spectroscopy and parallel factor analysis (PARAFAC). We were able to trace the corresponding fluorophores from glacial ice along the fluvial continuum of pro-glacial streams and found a proteinaceous fraction to be metabolized rapidly both along the stream as in bioavailability assays. We generally found surprisingly high bioavailability of glacial DOM (59 ± 20 %) and the polyphenolic population was strongly linked with the gradient of bioavailability across the sample glaciers. Greater DOM bioavailability was also associated with higher CO₂ partial pressure in the pro-glacial streams, emphasising the role of glacial DOM as a subsidy for downstream carbon cycling. Combining our results with mass loss data, we estimate that glaciers in the European Alps deliver 0.34 Gg C yr⁻¹ to downstream ecosystems, of which 47% are potentially respired as CO₂ to the atmos-

phere. Our findings highlight the relevance of mountain glaciers for carbon cycling — a link that will change as glaciers continue to disappear.

References

- Bhatia, M. P.; Das, S.B.; Longnecker, K.; Charette, M.A. and Kujawinski, E.B. (2010): Molecular characterization of dissolved organic matter associated with the Greenland ice sheet. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **74**, 3768–3784.
- Hodson, A.; Anesio, A.M.; Tranter, M.; Fountain, A.; Osborn, M.; Prisco, J.; Laybourn-Parry, J. and Sattler, B. (2008): Glacial ecosystems. *Ecological Monographs* **78**, 41–67.
- Hood, E. and Scott, D. (2008): Riverine organic matter and nutrients in southeast Alaska affected by glacial coverage. *Nature Geoscience* **1**, 583–587.
- Hood, E. and Berner, L. (2009): Glaciers as a source of ancient and labile organic matter to the marine environment. *Nature* **462**, 1044–1047.
- Milner, A. M.; Brown, L. E. and Hannah, D. M. (2009): Hydroecological response of river systems to shrinking glaciers. *Hydrological Processes* **23**, 62–77.
- Pautler, B.G. Woods, G.C.; Dubnick, A.; Simpson, A.J.; Sharp, M.J.; Fitzsimons, S.J. and Simpson, M.J. (2012): Molecular Characterization of Dissolved Organic Matter in Glacial Ice: Coupling Natural Abundance ¹H NMR and Fluorescence Spectroscopy. *Environmental Science & Technology* doi: 10.1021/es203942y.
- Stubbins, A.; Hood, E.; Raymond, P. A.; Aiken, G. R.; Sleighter, R. L.; Hernes, P. J.; Butman, D.; Hatcher, P. G.; Striegl, R. G.; Schuster, P.; Abdulla, H. A. N.; Vermilyea, A. W.; Scott, D. T.; Spencer, R. G. M. (2012): Anthropogenic aerosols as a source of ancient dissolved organic matter in glaciers. *Nature Geoscience* **5**, 198–201.

Anschrift der Verfasserin:

Christina Fasching

Universität Wien

DeLi - Department of Limnology

Althanstr. 14

A-1091 Wien

Email: christinafasching@gmx.net

Network-scale patterns of dissolved organic matter (DOM) and carbon dioxide evasion of the upper Ybbs, Austria

Sabrina Hengsberger, G. A. Singer & T.J. Battin

University of Vienna, Department of Limnology, Austria

1. Introduction

Inland waters link terrestrial landscapes including soils and groundwater with oceans and atmosphere, their contribution to global carbon fluxes should not be underestimated. The important role of streams and rivers in the global carbon cycle is to a large part based on their unique dendritic network structure which allows most efficient hydrological drainage of the landscape, leading to collection of organic as well as inorganic carbon entering riverine ecosystems mainly through headwater streams and groundwater seepage (Battin et al. 2009, Aufdenkampe et al. 2011).

Here, we describe the spatial variability of (i) dissolved organic matter (DOM) in terms of quantity and quality, and (ii) CO₂ concentrations across an entire river network. Furthermore we describe network-scale spatial variability of (iii) hydromorphological parameters (depth, width, velocity) and the gas transfer coefficient of CO₂ (K_{CO_2}) and (iv) CO₂ evasion.

We aim at building predictive models for both DOM characteristics and gas transfer which – alongside measurements of CO₂ partial pressure – will facilitate network-scale prediction of CO₂ fluxes across the aquatic-atmospheric interface. Our study provides an empirical basis (and example) to achieve realistic upscaled estimates of CO₂ evasion fluxes for whole stream networks.

2. Methods

We studied the pre-alpine stream network of the river Ybbs in Lower Austria in the vicinity of Lunz am See. The network was sampled at 105 sites ranging from 1st to 6th stream order along the main-stem of the Ybbs (downstream of Lunz am See) and the tributaries Bodingbach, Steinbach, Ois and Seebach. The 6th order Ybbs River at the village Göstling was the lowermost downstream sampling site, which corresponds to a total catchment size of approximately 250 km². Samples were taken for CO₂ concentrations (pCO₂), and gas transfer coefficient K_{CO_2} was determined with the tracer gas method using propane in 20 experimental injections at sites distributed throughout the catchment. Also, hydromorphological key variables (slope, velocity, average depth and width) were measured at all sampling sites. Furthermore, water samples were taken to analyze dissolved organic carbon

(DOC), DOM quality by optical methods (fluorescence and absorption spectrophotometry), dissolved inorganic carbon (DIC) and nutrients.

3. Results and Discussion

(i) Quantity and quality of DOM

DOC (as a proxy for DOM-quantity) decreases downstream (Fig. 1). Low-order headwaters receive most of the terrestrial DOC due to their drainage length, density and extensive interdigitation with the terrestrial environment. Due to canopy cover and the surrounding landscape litter reaches the stream as well as roots, aboveground biomass and soil organic carbon. This organic carbon, mostly in the form of DOC, is then continuously metabolized along a fluvial network, e.g., via photolysis, shifts in microbial community composition and DOC aggregation (for instance Battin et al. 2008).

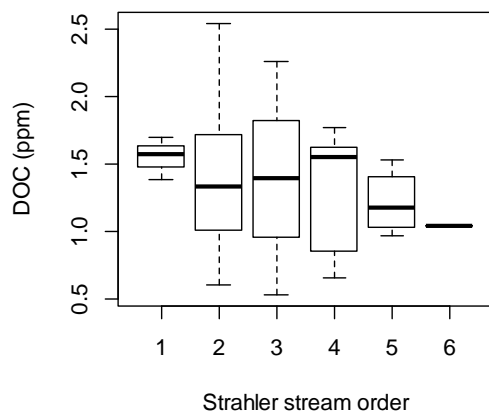


Fig. 1: Small streams receive more DOC because they interact more with their surrounding landscape.

The Fluorescence Index (FI) serves to distinguish sources of fulvic acids. It is higher for microbially derived, younger and autochthonous fulvic acids and lower for terrestrially, older and allochthonous fulvic acids (McKnight et al. 2001). Our result confirms that headwater streams are more interacting with their surrounding landscape due to their fulvic acids derived from terrestrial sources. High FI in 5th and 6th order streams indicates more autochthonous material originating from in-stream production (Fig. 2).

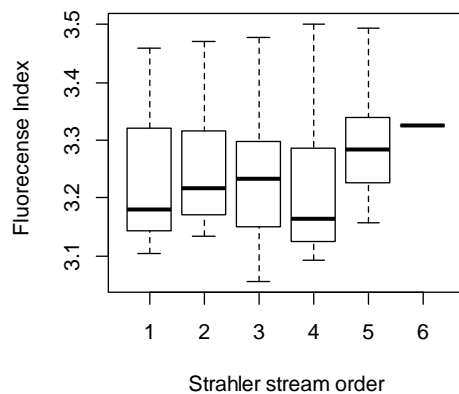


Fig. 6: Headwater streams receive fulvic acid mostly derived from terrestrial sources while fulvic acids in larger streams are microbially derived within the streams.

(ii) Partial pressure of CO₂ (pCO₂)

Across all sampled streams pCO₂ is higher during the night than during the day (Fig. 3), indicating a metabolic imprint on pCO₂ by primary production and respiration. While pCO₂ decreases with stream order during the day, the opposite pattern is suggested from the night samples. Light allows photosynthetic activity during the day, more CO₂ is used as energy source. And as there is no photosynthesis in the night and respiratory activity is high, CO₂ increases.

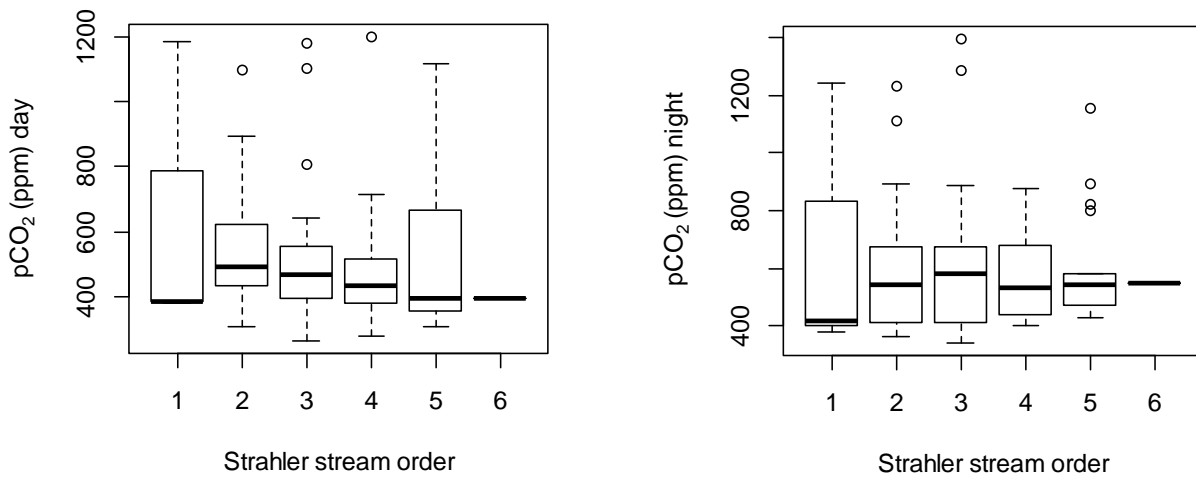


Fig. 3: CO₂-concentrations are lower during the night (left) due to uptake by primary producers.

The organic terrestrial carbon received by streams may serve as substrate for in-stream respiration. Additionally, soils may contribute DIC derived from soil respiration or rock weathering. Both processes should lead to higher pCO₂ in low-order streams. This, however, is not found in our study, as low-order streams also outgas CO₂ more efficiently. This can be explained by higher turbulence in small streams, which affects the aquatic boundary layer leading to a greater gas exchange potential at the water-air interface. Also, the mass flow of dissolved gases into the lower part of the catchment decreases downstream as more inorganic carbon converts to bicarbonate as CO₂ degasses and the pH of the stream increases (Hope et al. 2001).

(iii) Hydromorphology and gas transfer coefficient of CO₂ (K_{CO₂})

Hydraulic geometry analyses (Leopold and Maddock 1953) demonstrate positive correlations of width (w), depth (d) and velocity (v) with discharge (Q) shown in Fig. 4.

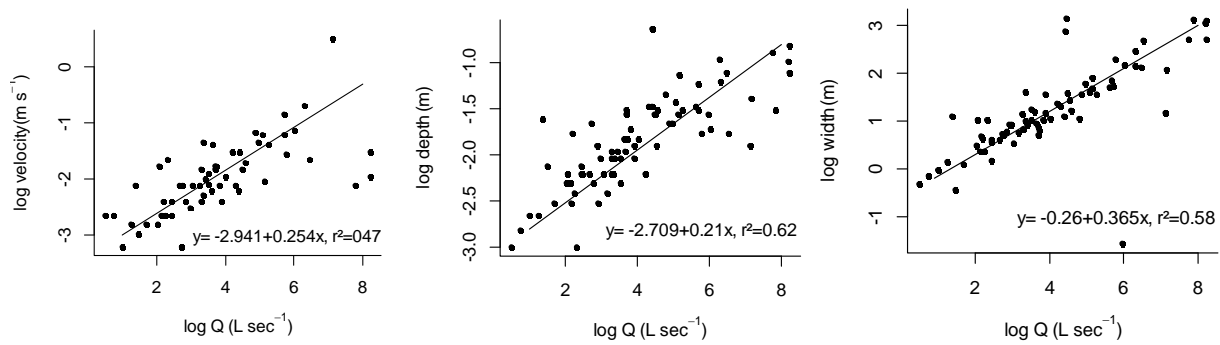


Fig. 4: The hydraulic parameters width, depth and velocity increase significantly with increasing discharge (Q).

Confirming existing literature (Hope et al. 2001), discharge emerged as the main key variable explaining K_{CO_2} . In our study K_{CO_2} was significantly related to discharge Q ($P < 0.001$) as the most powerful single predictor (Fig. 5). Highest K_{CO_2} values were observed in steeper and shallower reaches of smaller streams, where potentially more CO_2 can evade to the atmosphere.

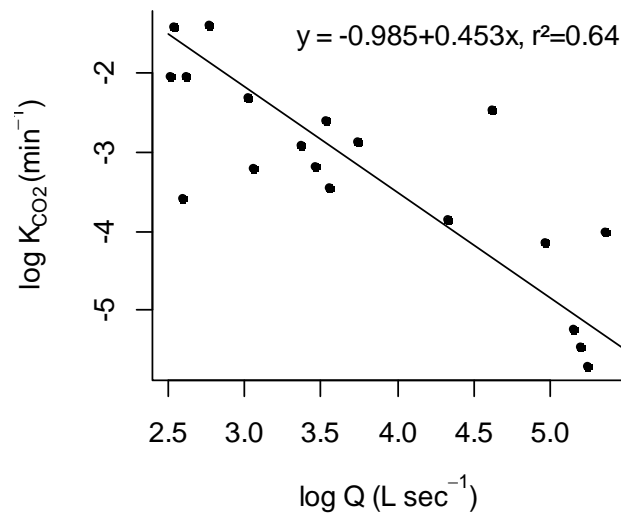


Fig. 5: The gas transfer coefficient of CO_2 derived from continuous conservative gas tracer (propane) injection depends on discharge.

A simple model, which predicts K_{CO_2} with discharge Q, is a rapid and simple method to get an idea of K_{CO_2} variability across an entire network (Fig. 6). The model emerged as suitable for obtaining estimates of K_{CO_2} for river networks after being tested with a leave-one-out cross-validation.

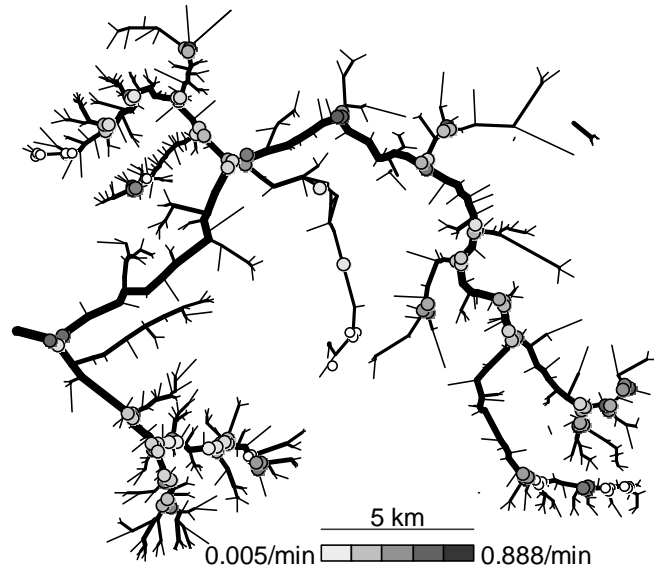


Fig. 6: A graph of the entire network with K_{CO_2} values predicted with Q , where white indicates low K_{CO_2} values.

(iv) CO₂ evasion

CO₂ evasion predicted for all sampled sites based on pCO_2 and K_{CO_2} . The correlation is not significant but shows a slight positive trend with increasing stream orders (Fig. 7).

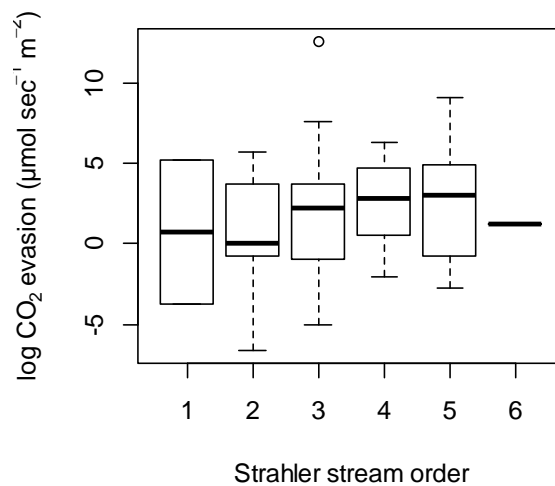


Fig. 7: The calculated CO₂ evasion (average of day and night) seems to slightly increase with increasing stream order.

Although smaller streams outgas CO₂ efficiently, the CO₂ evasion rate seems to be higher in larger streams. This suggests that CO₂ evasion depends on stream pCO_2 and its concentration gradient relative to the atmosphere rather than physically determined gas exchange velocity.

Literature

- Aufdenkampe A.K.; Mayorga E.; Raymond P.A.; Melack J.M.; Doney S.C.; Alin S.R.; Aalto R.E. and Yoo K. (2011): Riverine coupling of biogeochemical cycles between land, oceans, and atmosphere. *Frontiers in Ecology and the Environment* **9**:53-60.
- Battin T.J.; Kaplan L.A.; Findlay S.; Hopkinson C.S.; Marti E.; Packman A.I.; Newbold J.D. and Sabater F. (2008): Biophysical controls on organic carbon fluxes in fluvial networks. *Nature Geoscience* **1**:95-110.
- Battin T.J.; Luysaert S.; Kaplan L.A.; Aufdenkampe A.K.; Richter A. and Tranvik L. (2009): The boundless carbon cycle. *Nature Geoscience* **2**:598-600.
- Helms J.R.; Stubbins A.; Ritchie J.D.; Minor E.C.; Kieber D.J. and Mopper K. (2008): Absorption spectral slopes and slope ratios as indicators of molecular weight, source and photobleaching of chromophoric dissolved organic matter. *Limnology and Oceanography* **53**:955-969.
- Hope D.; Palmer S.M.; Billett M.F. and Dawson J.J.C. (2001): Carbon dioxide and methane evasion from a temperate peatland stream. *Limnology and Oceanography* **46**:847-857.
- Leopold L.B. and Maddock T. (1953): The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. *Geological Survey Professional Paper* **252**.
- McKnight D.M.; Boyer E.W.; Westerhoff P.K.; Doran P.T.; Kulbe T. and Andersen D.T. (2001): Spectrofluorometric characterization of dissolved organic matter for indication of precursor organic material and aromaticity. *Limnology and Oceanography* **46**:38-48.
- Vannote R.L.; Minshall G.W.; Cummins K.W.; Sedell J.R. and Cushing C.E. (1980): The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **37**:130-137.

Anschrift der Verfasserin:

Sabrina Hengsberger

Universität Wien

DeLi - Department of Limnology

Althanstr. 14

A-1091 Wien

Email: sabs.h@gmx.at

Regional isotope patterns and hydrograph separation of an ungauged basin in Central Asia

Christiane Meier¹, M. Knoche¹, M. Weiler², R. Merz¹ & S. M. Weise¹

¹UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH

²Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Hydrologie

1. Introduction

Water scarcity is a well known problem in wide parts of the world. Also the Central Asian lowlands, which receive their water from large rivers as the Panj and Amu Draya, are affected by water shortage amongst others due to excessive irrigation purposes. These river systems are mainly fed from snow- and glacial melt occurring in the Pamir and Tien Shan mountains (Barlow and Tippett, 2008). The Pamir region is influenced both by the Westerlies and by the Monsoon (Aizen et al., 2009).

We want to identify and quantify the runoff components of one characteristic large headwater stream (Gunt, 14,000 km²) by using the stable isotopes of water and additionally hydrochemical data to clarify the sources of precipitation and the importance of climate change on the water balance of this region. These are to be used for calibration and validation of a hydrological model of the catchment.

2. Study Area

The Gunt catchment is an east-west running basin with an altitude range of about 4,000 m (Fig. 1) with the highest elevations, Peak Karl Marx (6,726 m) and Peak Engels (6,510 m), at its southern border. Almost in the middle of the catchment there is a natural dammed lake (Yashilkul) situated with an extension of circa 40 km².

The western part of the catchment is characterized by steep erosion valleys, while the east represents a high glacier formed cold arid plateau.

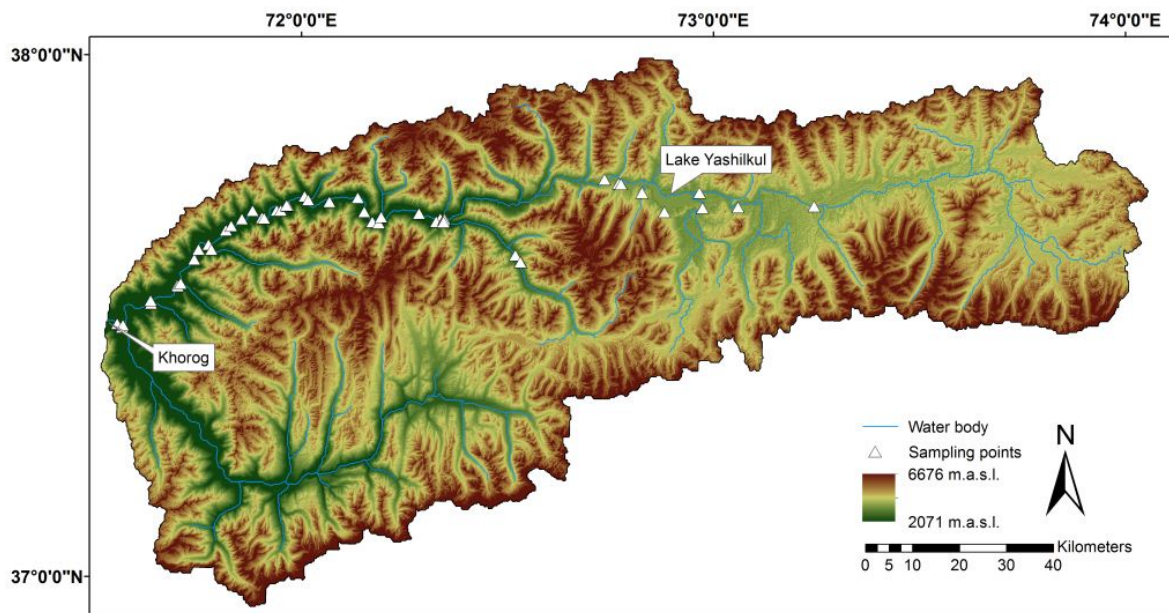


Fig. 1: Map showing the study area – Gunt catchment – with sampling points for hydrological monitoring

3. First Results

a) Regional Isotope Patterns

As a first step towards estimation of the origin, interaction and dynamics of stream and subsurface water components, samples are taken monthly from river water, ground water and precipitation. We found temporal and spatial differences in the regional patterns of the distribution of ^2H and ^{18}O in water which we link to altitude and continentality.

The monitoring data show high ^2H (-103.5 to -96.5 ‰) and ^{18}O (-14.8 to -14.0 ‰) values far in the west of the catchment, and the lowest values in the plateau area around the lake Yashilkul and in the east of the catchment (^2H : -125.0 to -131.0 ‰, ^{18}O : -16.0 to -18.0 ‰). This effect results from the increasing altitude and continentality as well as the decreasing amount of precipitation from west to east. The eastern part of the catchment is a cold alpine desert with precipitation sums of ≤ 160 mm/a while the western part is warmer and receives a little more precipitation (~300 mm/a).

Further we found out that the isotopic signature of the Gunt River is mainly formed by the lake water. Especially in the winter months the streamflow is dominated by heavier water (caused by evaporation) flowing through the natural landslide dam and is partly released artificially.

An additional pattern, that we identified through the isotopic data, is a distinction between tributaries flowing from the northern boundary to the main stream and tributaries originating in the south of the catchment (Fig. 2). The altitudes of the northern and southern mountain ranges are

similar, but however we find an enrichment of heavier stable isotopes in the northern tributaries. The enrichment bases on the atmospheric circulation that brings the precipitation first to the northern catchments and causes their higher ^2H and ^{18}O values. A second approach to explain this phenomenon lies in the northward extend of the Indian Monsoon that could have an influence on the isotopic composition of the different water sources.

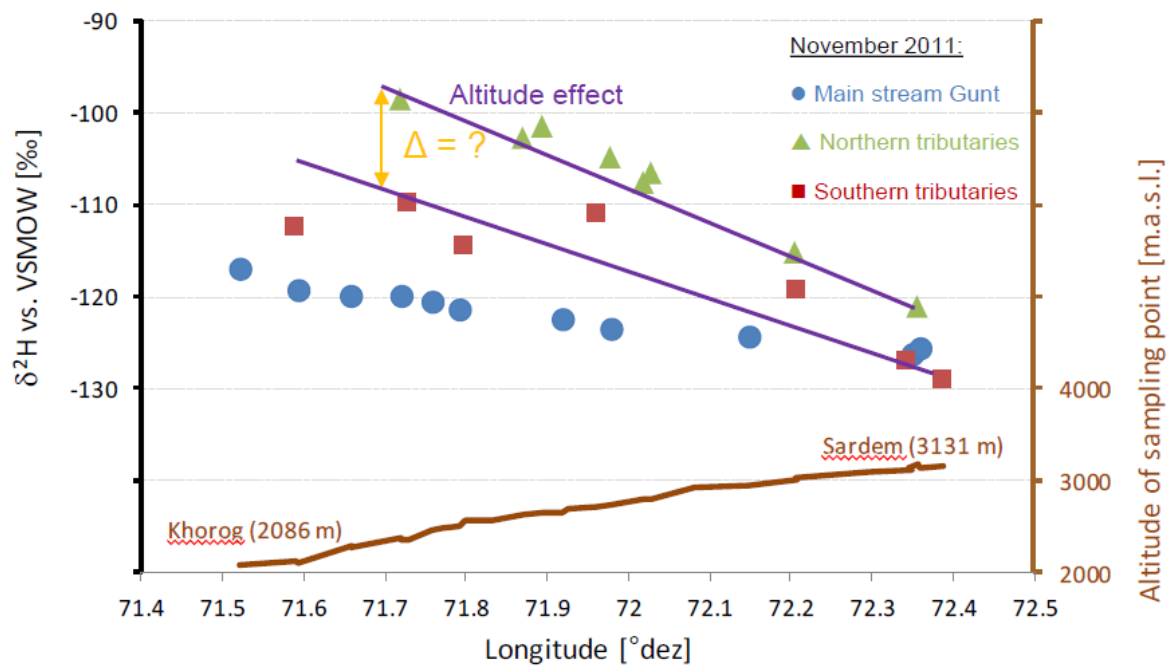


Fig. 2: Development of mean ^2H values of water samples along the main river profile.

b) Hydrograph Separation

To quantify the contribution of the tributaries to the total runoff of the main stream we used as a first approach a simple mixing equation (Eq. 1) based on the mass balances for tracer fluxes (Pinder and Jones, 1969):

$$Q_{\text{bas}} = Q_{\text{tot}} * (C_{\text{tot}} - C_{\text{dir}}) / (C_{\text{bas}} - C_{\text{dir}}) \quad \text{Eq. 1}$$

First estimations (Fig. 3) show that the contribution of the tributaries to the total stream flow of the Gunt River varies between circa 40 % during summer and zero in winter. The fraction of lakewater discharge ranges over the year from 40 to 70 %. To confirm these estimations we have to include more data of the monitoring network especially the hydrochemical parameters.

But we can state that in this Central Asian data sparse region stable isotopes are an excellent tool for quantifying runoff components.

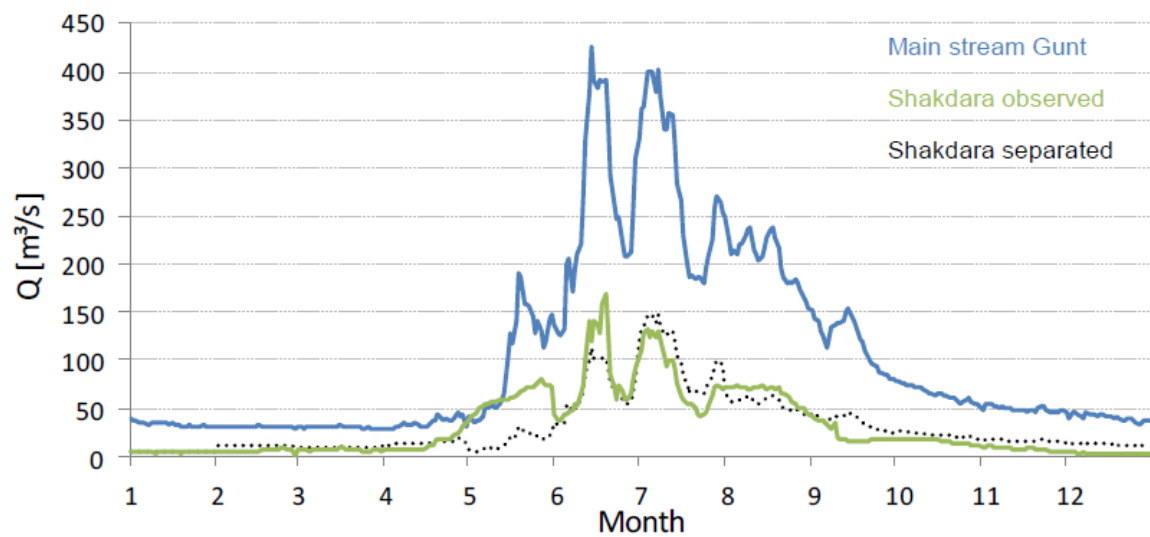


Fig. 3: First estimation of an annual hydrograph separation.

4. Literature

Aizen, V. B.; Mayewski, P. A.; Aizen, E. M.; Joswiak, D. R.; Surazakov, A. B.; Kaspari, S.; Grigholm, B.; Krachler, M.; Handley, M.; Finaev, A. (2009): Stable-isotope and trace element time series from Fedchenko glacier (Pamirs) snow/firn cores. *Journal of Glaciology* **55**:275-291.

Barlow, M. and Tippett, M. K. (2008): Variability and predictability of Central Asia river flows: Antecedent winter precipitation and large-scale teleconnections. *Journal of Hydrometeorology* **9**:1334-1349.

Pinder, G. F. and Jones, J. F. (1969): Determination of the groundwater component of peak discharge from chemistry of total runoff. *Water Resources Research* **5**:438-445.

Anschrift der Verfasserin:

Christiane Meier

UFZ - Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH

Theodor-Lieser-Str. 4

D-06120-Halle,

Email: christiane.meier@ufz.de

Tracerhydrologische Untersuchungen im Zugspitzgebiet – Abgrenzung des Partnachgebietes im Osten

Georg Strobl & K.-F. Wetzel

Institut für Geographie, Universität Augsburg

Relevanz

Hochgebirge stellen gemäß VIVIROLI et al. (2007) Räume mit großer hydrologischer Bedeutung dar. Auf Grund der überproportional hohen Niederschläge in Hochgebirgen sind sie für die Wasserversorgung der Vorländer von hoher Relevanz. Trotz der hohen hydrologischen Bedeutung sind die Kenntnisse über die Hydrologie alpiner Einzugsgebiete bis heute noch unzureichend. Da die Hochgebirge und insbesondere die Alpen vom Klimawandel jedoch voraussichtlich besonders stark betroffen sein werden (IPCC 2007), sind weitere Untersuchungen insbesondere zu den hydrologischen Auswirkungen in Hochgebirgen notwendig.

Das Gebiet

Das Zugspitzgebiet mit dem Zugspitzplatt stellt einen Hochgebirgsraum dar, der durch seine Charakteristika ideale Voraussetzungen für hydrologische Versuche liefert. Es handelt sich um eine geologische Mulde, deren Faltenachse nach Osten einfällt. Der westliche Gebietsrand ist durch Berggipfel entlang der umlaufend streichenden Muldenstruktur charakterisiert. Im Osten wird das Zugspitzplatt durch \pm Nord-Süd verlaufende Verwerfungslinien begrenzt, an deren Schnittpunkt sich der Partnach-Ursprung befindet (vgl. Abb. 1).

Von der UFS Schneefernerhaus und ihrem Messnetz, dem DWD und dem bayerischen Lawinenwarndienst werden im Gebiet hydrologische Daten in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung gewonnen, die einzigartige Voraussetzungen für hydrologische Hochgebirgsforschungen liefern.

Beim anstehenden Gestein handelt es sich nach MILLER (1962) um stark verkarsteten und somit gut wasserwegigen Wettersteinkalk, der von den mergelig-tonigen Partnach-Schichten unterlagert wird. Diese fungieren als Wasserstauer. Alles auf das Zugspitzplatt fallende Niederschlags- sowie versickerndes Schmelzwasser wird auf den Schichtgrenzen bis an die Verwerfungen geführt und tritt gesammelt am Partnach-Ursprung aus. Bisherigen Untersuchungen zufolge (WETZEL 2004, RAPPL et al. 2010) kann das Einzugsgebiet des Partnach-Ursprungs somit als hydrologisch geschlossen bezeichnet werden. Damit kann das Gebiet wie ein natürlicher Großlysimeter für Untersuchungen zum Wasserhaushalt eingesetzt werden.

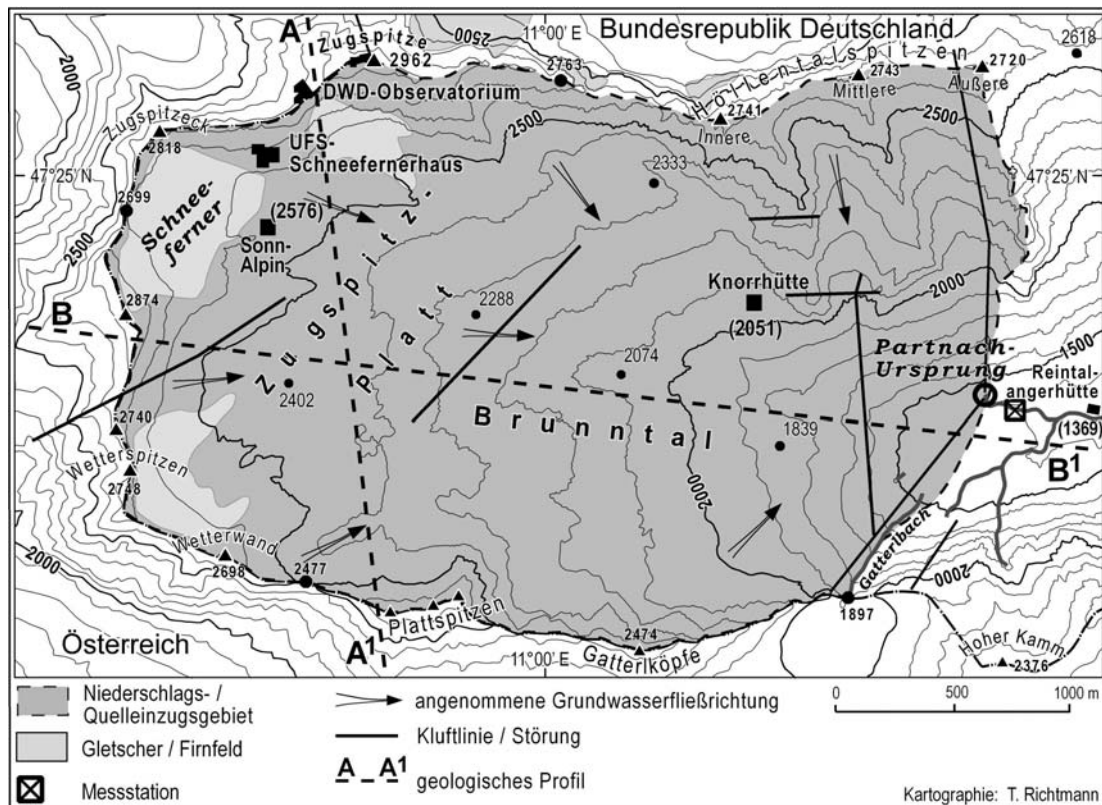


Abb.1: Das Einzugsgebiet des Partnach-Ursprungs mit Verwerfungslinien und angenommenen Fließrichtungen des Karstgrundwassers (aus Rappl et al. 2010)

Methodisches Konzept

Zur Verifizierung der Dichtigkeit des Gebietes, insbesondere im östlichen Bereich, sowie zur Bestimmung wichtiger Aquifereigenschaften wurde vom 17.08. bis 11.12.2011 ein Grundwassermarkierungsversuch durchgeführt, bei dem 4 kg eines Fluoreszenztracers (Eosin) verwendet wurden. Die Eingabe erfolgte nahe einer Verwerfungslinie, der Gatterlstörung, an der ein Wasserübertritt in das im Süden angrenzende Gaistal möglich schien. Die Probenahmepunkte befanden sich entsprechend an Bächen im Gaistal auf österreichischer Seite, der Partnach sowie allen bekannten Quellaustritten im oberen Reintal (vgl. Abb. 2).

Neben dem Austritt am Partnach-Ursprung konnte Tracer auch im weiteren Verlauf der Partnach gemessen werden. Am Hilfspegel ca. 250 m unterhalb des Quellaustrittes lag die Konzentration zeitweise etwas höher als am Partnach-Ursprung selbst. An allen weiteren Messstellen konnte trotz intensiver Beprobung über den gesamten Versuchszeitraum hingegen kein Tracerauftritt festgestellt werden.

Insgesamt konnte eine Rückgewinnungsrate von 54 % Eosin erzielt werden. Aufgrund dieser für Eosin sehr hohen Rückgewinnungsrate sowie des Tracernachweises alleine in der Partnach kann an der Hypothese eines prinzipiell geschlossenen Einzugsgebietes festgehalten werden. Die höheren Tracer-

konzentrationen ca. 250 m unterhalb des Partnach-Ursprungs müssen allerdings noch genauer untersucht werden. So ist nach derzeitigem Kenntnisstand unklar, ob hier eventuell diffus austretendes Wasser in der Partnach zu weiterer Konzentrationserhöhung beigetragen hat oder ob Artefakte (Messfehler, unterschiedliche Beprobung) dafür verantwortlich sind.

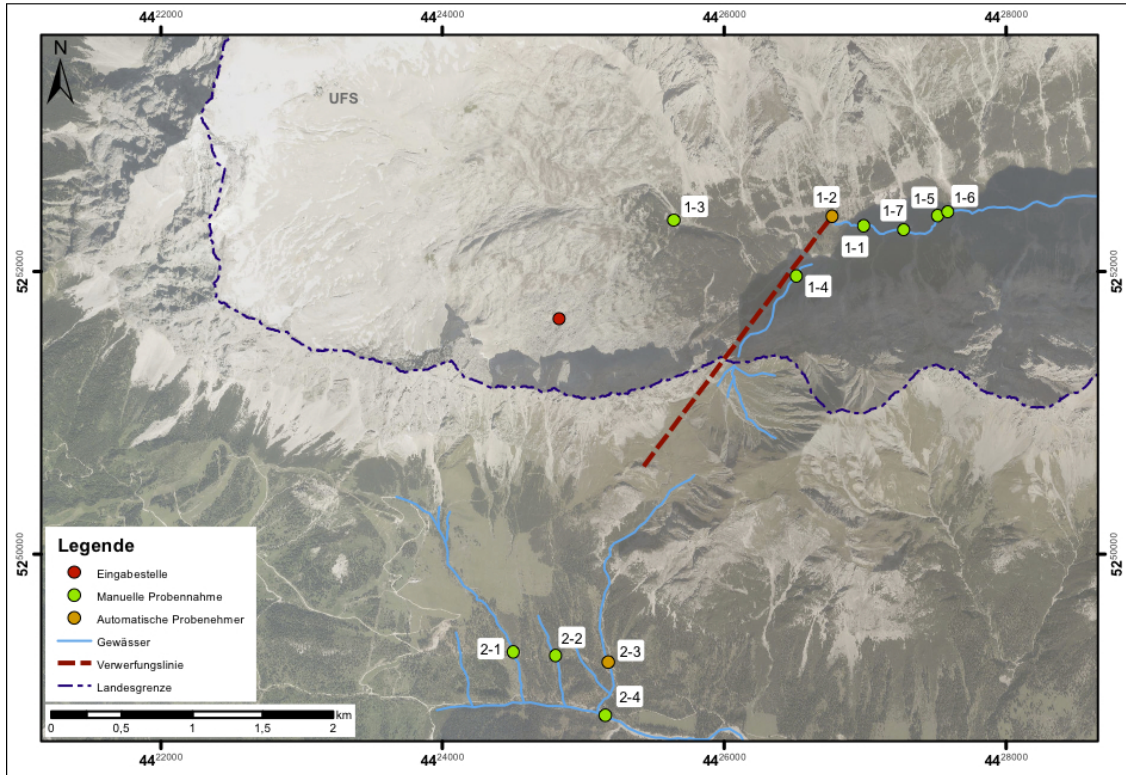


Abb. 2: Tracereingabestelle und Messpunkte (Eigene Darstellung; Datengrundlage: tirisMaps 2012).

Versuchsergebnisse und Diskussion

Der Versuchszeitraum war geprägt von stationären Rahmenbedingungen ohne starke Niederschläge. Dadurch wurde eine weitgehend ungestörte und erfolgreiche Versuchsdurchführung ermöglicht. Am Partnach-Ursprung konnte der Tracer erstmals 53,5 h nach der Eingabe festgestellt werden. Der Peak der Konzentration trat knapp 20 h darauf ein, wie aus Abb. 3 ersichtlich. Die mittlere Fließgeschwindigkeit betrug 25,5 m/h, was auf ein gut entwickeltes Karstsystem schließen lässt.

Ausblick

Die aktuellen Ergebnisse festigen die bisherigen Annahmen zum Partnach Einzugsgebiet. Der Markierungsversuch hat eindeutig bestätigt, dass auch der südöstliche Plattbereich ausschließlich über den Partnach-Ursprung entwässert. Dennoch bestehen weiterhin Unsicherheiten, etwa bei der Gebietsabgrenzung ganz im Osten. Weiterhin muss geklärt werden, ob und wie viel Wasser zwischen Partnach-Ursprung und Pegelstation austritt. Zur Validierung bisheriger sowie Gewinnung weiterer Erkenntnis-

se sind zusätzliche Markierungsversuche speziell in direkter Nähe der Verwerfungslinien sowie eine explizite Untersuchung des Quellaustritts nötig. Entsprechende Untersuchungen und Abflussmessungen sowie Versuche mit Fluoreszenztracern sind für die Zukunft geplant.

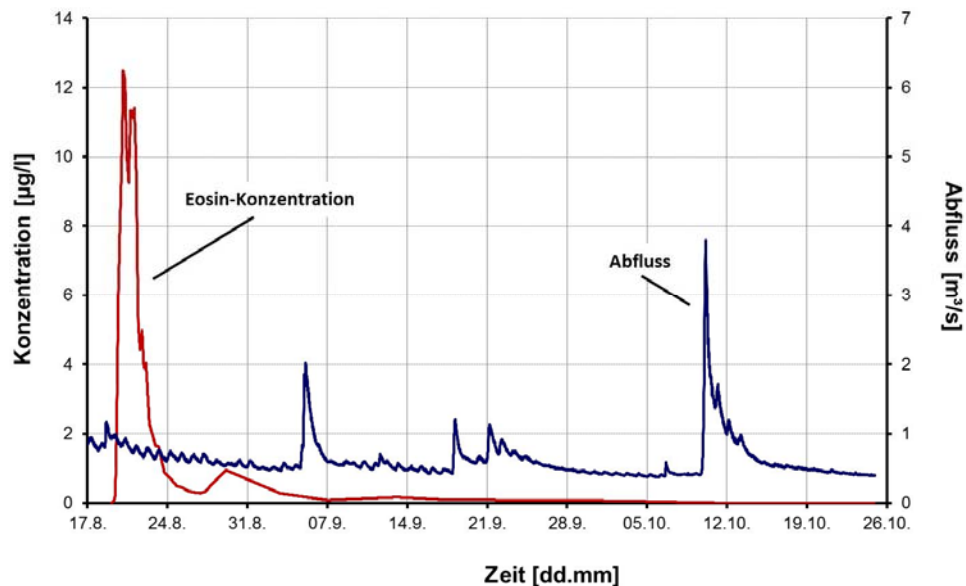


Abb. 3: Konzentrationsverlauf und Abfluss am Partnach-Ursprung von August bis Oktober 2011 (nach eigenen Daten)

Literatur

- IPCC (2007): Climate Change 2007. Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Contributions of Working Groups I, II, III and Synthesis Report. Cambridge University Press, Cambridge.
- MILLER, H. (1962): Zur Geologie des westlichen Wetterstein- und Mieminger Gebirges. Dissertation, LMU, München.
- RAPPL, A., WETZEL, K.-F., BÜTTNER, G. & M. SCHOLZ (2010): Tracerhydrologische Untersuchungen am Partnach-Ursprung. In: *Hydrologie und Wasserwirtschaft* **54/4**:220-230. Koblenz.
- VIVIROLI, D., H.H. DÜRR, B. MESSERLI, M. MEYBECK & R. WEINGARTNER (2007): Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. - *Water Resources Research* **43**, W07447, doi:10.1029/2006WR005653.
- WETZEL, K.-F. (2004): On the hydrology of the Partnach area in the Wetterstein Mountains (Bavarian Alps). - *Erdkunde* **58**:172-186, 2004.

Anschrift des Verfassers:

Georg Strobl
 Rehlingenstraße 10
 86153 Augsburg
 Email: georg.strobl@student.uni-augsburg.de

Einzugsgebietsmanagement- und Klimawandeleinfluss auf die Wasserqualität des Ammersees

Mark Vetter

Jade University of Applied Sciences, Institute for Applied Photogrammetry and Geoinformatics

1. Einleitung und Fragestellung

Es besteht ein augenscheinlicher Zusammenhang zwischen der Wasserqualität eines Gewässers und der Landnutzung im Einzugsgebiet, insbesondere dann, wenn die Wasserverweilzeiten im See hoch sind. Dies gilt weltweit und vor allem dann, wenn im Einzugsgebiet eine intensive landwirtschaftliche Nutzung stattfindet, oder wenn industrielle oder kommunale Abwässer teil- oder ungeklärt aus dem Vorfluter in einen Seekörper gelangen (Schwoerbel und Brendelberger, 2005). Ob der Klimawandel noch zusätzlich einen Einfluss auf die Wasserqualität hat (Adrian et al., 2009) und wenn ja, in welcher Intensität, ist nicht vollständig geklärt und Gegenstand vieler Untersuchungen, wie auch des LAGO-Projektes (Limnologische Auswirkungen des Globalen Wandel in Oberbayern), welches vom Bayerischen Landesamt für Umwelt gefördert wird und von 2011 bis 2014 läuft (LAGO-Projekt, 2012). Untersuchungsziel von dem Forschungsvorhaben ist es, mit Beobachtungen und Datenauswertungen von früheren limnologischen Messungen, aber auch mit Methoden der Modellierung, Szenarien für die künftigen Verhältnisse unter Berücksichtigung von regionalen Klimamodellen vorzunehmen. Die Zielstellung für die vorliegende Studie beschränkt sich auf die Frage, welche regionalen (Managementaktivitäten im Einzugsgebiet) bzw. überregionalen (Klimawandel) Einwirkungen als Einfluss auf die Wasserqualität im Ammersee lassen sich unterscheiden?

2. Untersuchungsgebiet und Methodik

In dem Projekt wird der Fokus zunächst auf den Ammersee gelegt, der hinsichtlich der Genese, des Volumens und des geogenen Backgrounds stellvertretend für viele Seen am Nordrand der Alpen angesehen werden kann. Er liegt 35 km südwestlich von München, ist an der tiefsten Stelle 83 m tief und ist gegenwärtig dimiktisch. Die Seehohlform ist glazial als Zungenbecken entstanden. Der See wäre von Natur aus heute ein oligotrophes Gewässer, wenn nicht insbesondere durch intensiven Eintrag von Nährstoffen in den letzten Jahrzehnten aus dem Ammersee-einzugsgebiet sich das Gewässer zu einem eutrophen Zustand entwickelt hätte (Lenhart, 2000). Zur Methodik sei hier nur kurz erwähnt, dass in der vorliegenden Studie Daten des Bayerischen Landesamtes für Umwelt bzw. des Wasserwirtschaftsamtes Weilheim mit verschiedenen statistischen Methoden ausgewertet wurden. Die Messungen wurden an der zentral gelegenen, tiefsten Stelle des Gewässers im monatlichen

Rhythmus (mit wenigen Ausnahmen) seit 1984 durchgeführt. Untersucht wurden diverse limnochemische, aber auch einige limnophysikalische Parameter.

3. Ergebnisse

Die Temperatur des Ammersees im Sommer ist an der Oberfläche in den letzten Jahrzehnten angestiegen. Parallel dazu hat sich, betrachtet man den Nährstoffparameter Gesamtphosphorgehalt, die Trophiesituation des Gewässers deutlich verbessert (s. Abb.1).

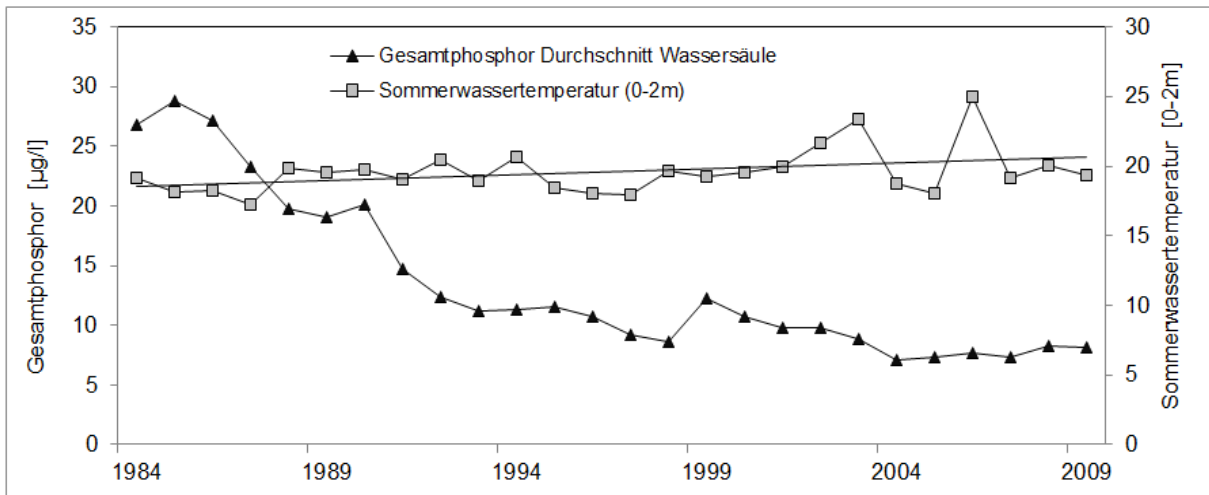


Abb. 1: Wassertemperaturentwicklung und Gesamtphosphorgehalt im Ammersee.

Ferner wurde betrachtet, wie sich das Verhältnis des hypolimnischen Sauerstoffgehaltes in Bezug zur Schmidtstabilität in den unterschiedlichen Trophiephasen im Ammersee darstellt (Abb. 2). In Abb. 2a wird der Zeitraum schlechterer Wasserqualität (1984-1997) mit einem Zeitraum deutlich besserer Wasserqualität (2002-2008) in Abb. 2b miteinander verglichen.

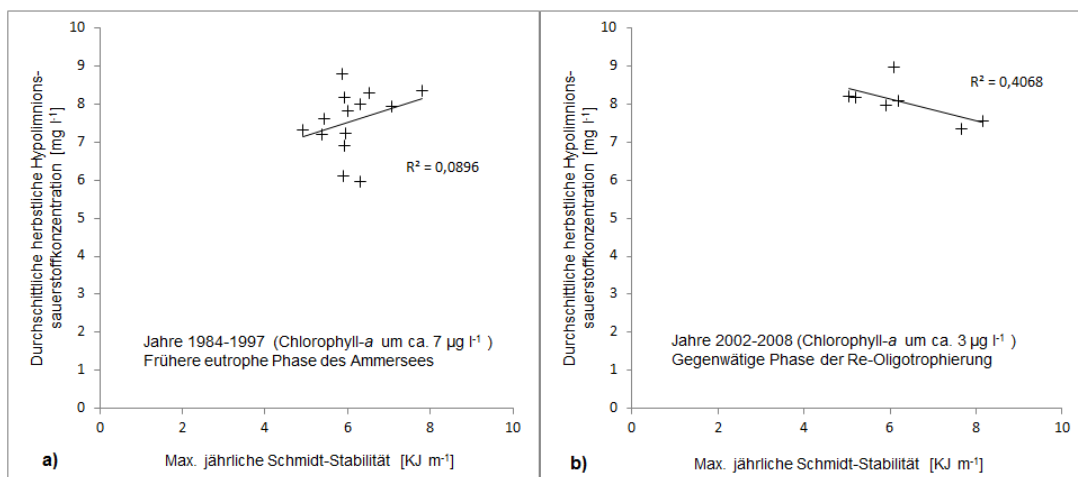


Abb. 2: Zusammenhang zwischen hypolimnischen Sauerstoffgehalt und Schmidtstabilität in Phasen unterschiedlicher Trophieverhältnisse.

Dass eine stärkere Schichtung eine verminderte Sauerstoffauffüllung im Hypolimnion zur Folge haben kann ist aus Abb. 3 ersichtlich, welche den Sauerstoffgehalt im Herbst, d.h. im September, zum Ende der sommerlichen Stratifikation im Jahr 2003 mit den Sauerstoffdurchschnittsgehalt der anderen Jahre (2000-2010) in der Tiefe in den anderen Jahren vergleicht.

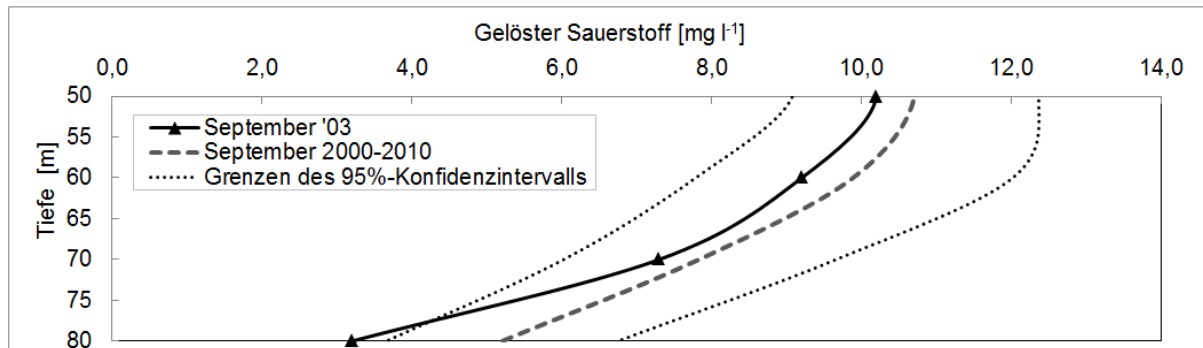


Abb. 3: Hypolimnische Sauerstoffverhältnisse 2003 im Vergleich zu den anderen Jahren

Der Wert aus dem Jahr 2003 liegt außerhalb des Konfidenzintervalls der Durchschnittswerte und kann somit als signifikant niedriger angesehen werden.

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Lobenswerte Managementaktivitäten seit den späten 1970er Jahren haben nach und nach zu einer Verbesserung der Wasserqualität geführt, so dass wir seit gut 10 bis 15 Jahren mesotrophe Verhältnisse im Ammersee vorfinden (Abb. 1). Allerdings lässt sich gegenwärtig nicht erkennen, ob dieser Reoligotrophierungstrend weiter fortgesetzt wird, was u. a. anhand der Gesamtposphorkonzentration im Gewässer betrachtet werden kann (Vetter und Sousa, 2012). Somit laufen zwei Prozesse parallel ab, die man Ursachen unterschiedlicher räumlicher Dimension zuordnen kann (regionaler und überregionaler Einfluss). Der positive regionale Einfluss zeigt sich im Erfolg der Managementaktivitäten im EZG, der überregionale Einfluss möglicherweise im Klimawandel. Dass die zwei Prozesse getrennt voneinander betrachtet werden können, wird deutlich, wenn man den Einfluss einer Schichtungsstabilität im Zusammenhang mit der Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser zum Ende der Sommerstratifikation betrachtet. Leidet der See unter hohen Nährstoffkonzentrationen, dann wirken sich diese offenbar sauerstoffzehrend aufs Hypolimnion aus. Zumindest ist nicht erkennbar, ob sich der Eintrag von Sauerstoff ins Tiefenwasser auch tatsächlich in den Messwerten in der Tiefe zeigt (Abb. 2a). Anders ist dies, wenn der See nicht unter hohen Nährstoffzufuhren leiden muss. Der See hat nicht mit einer verstärkten Sauerstoffzehrung auf Grund eines erhöhten Nährstoffgehaltes zu kämpfen und daher tritt ein anderer Effekt in den Vordergrund: eine stabilere Schichtung führt zu geringerer Sauerstoffzufuhr in das Tiefenwasser. Somit tritt ein überregionaler klimainduzierter Ef-

fekt bei einer besseren Wasserqualität zum Vorschein, der vorher in der limnologischen Reaktion des Gewässers nicht erkennbar war (Abb. 2b).

Das sich eine intensivere Schichtung tatsächlich auf die Sauerstoffzehrung in der Tiefe auswirkt, ist recht gut unter Betrachtung der Abb. 3 erkennbar. Die besonders starke Schichtung, auf Grund des besonders warmen Sommers 2003, zeigt sich deutlich mit Ausdruck eines reduzierten Sauerstoffgehaltes im Tiefenwassers, da die Schichtung eine Durchmischung erschwert. Dies ist insofern besorgniserregend, da die Stabilität der Schichtung sich im Klimawandel erhöhen könnte (Jankowski et al., 2006), was in Modellierungen für den Ammersee berechnet werden konnte (Weinberger und Vetter, 2012). Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass in Zukunft für das Wasserqualitätsmanagement im EZG weiterhin darauf zu achten ist, dass die Nährstoffzufuhr gering bleibt, damit die positiven Effekte dieser Managementaktivitäten nicht möglicherweise durch etwaige negative Belastungen des Klimawandels konterkariert werden.

Quellen

- Adrian, R.; O'Reilly, C. M.; Zagarese, H.; Baines, S. B.; Hessen, D. O.; Keller, W.; Livingstone, D. M.; Sommaruga, R.; Straile, D.; Van Donk, E.; Weyhenmeyer, G. A. and Winder, M. (2009): Lakes as sentinels of climate change. In: *Limnol. Oceanogr.* **54**, 2283-2297.
- Jankowski, T.; Livingstone, D. M.; Bührer, H.; Forster, R. and Niederhauser, P. (2006): Consequences of the 2003 European heat wave for lake temperature profiles, thermal stability, and hypolimnetic oxygen depletion: Implications for a warmer world. In: *Limnol. Oceanogr.* **51**, 815-819.
- LAGO-Projekt (Hrsg.) (2012): Internetauftritt des LAGO-Projektes. <http://www.lago.geographie.uni-muenchen.de> (Datum: 9.10.2012)
- Lenhart, B. (2000): Langfristige Entwicklung - Eutrophierung und Reoligotrophierung - am Ammersee. In: *Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie* **54**, 97-114.
- Schwoerbel, J. and Brendelberger, H. (2005): Einführung in die Limnologie. Berlin.
- Vetter, M. and Sousa, A. (2012): Past and current trophic development in Lake Ammersee – Alterations in a normal range or possible signals of climate change. In: *Fundamental and Applied Limnology* **180**, 41-57. DOI: <http://dx.doi.org/10.1127/1863-9135/2012/0123>.
- Weinberger, S. and Vetter, M. (2012): Using the hydrodynamic model DYRESM based on results of a regional climate model to estimate water temperature changes at Lake Ammersee. In: *Ecological Modelling* **244**, 38 – 48. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.06.016>.

Anschrift des Verfassers:

Mark Vetter
Jade University of Applied Sciences
Institute for Applied Photogrammetry and Geoinformatics
Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg
Email: mark.vetter@jade-hs.de

Berücksichtigung von unterirdischen Zuflüssen bei der hydrodynamischen Wärmehaushaltsmodellierung mit Dyresm am Ammersee

Thomas Büche¹ & Mark Vetter²

¹Ludwig-Maximilians-Universität München

²Jadehochschule Oldenburg

1. Einführung

Numerische Modellierung mit hydrodynamischen Wasserhaushaltsmodellen ermöglicht die Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf die Entwicklung von Seen. Es können so Veränderungen im Wärmehaushalt simuliert und weitere limno-physikalische Parameter, wie die Schmidt-Stabilität, die Lage des Metalimnions, das Eintreten von Durchmischungs- und Stagnationsphasen sowie deren Dauer abgeleitet werden. Um diese Simulationen durchführen zu können, wurde im Projekt LAGO (Limnologische Auswirkungen des Globalen Wandels in Oberbayern) das eindimensionale hydrodynamische Modell DYRESM (entwickelt am Centre for Water Research, University of Western Australia 2010) für den Ammersee erfolgreich kalibriert (Weinberger & Vetter 2012).

Neben den meteorologischen Größen wie Lufttemperatur, Wind und Globalstrahlung sind die Zuflüsse mit einer der entscheidenden Input-Parameter für die Modellierung des Wärmehaushalts eines Sees. Jedoch wurden bei der erfolgten Kalibrierung bisher, wie bei anderen vorangegangenen Modellierungsarbeiten am Ammersee (Joehnk & Umlauf 2001, Danis et al. 2003) oder Anwendungen des Modells DYRESM (Rinke et al. 2012, Tanentzap et al. 2007), nur oberirdische Zuflüsse berücksichtigt. Daher wurden nun auch potenzielle unterirdische Zuflüsse zum Ammersee in das Modell implementiert und die Auswirkungen auf die Simulationsergebnisse zur Temperaturverteilung in der Wassersäule untersucht.

2. Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgebiet dient der im bayerischen Alpenvorland gelegene Ammersee (dimiktische Zirkulationsverhältnisse, max. Tiefe 83 m) und dessen Einzugsgebiet (Abb. 1). Der See kann aufgrund gleicher Genese, ähnlicher Bathymetrie und einem typischen hydrologischen Einzugsgebiet gut stellvertretend für viele Seen im Alpenvorland für Untersuchungen zur Auswirkung des Klimawandels auf stehende Gewässer herangezogen werden.

3. Hydrologische Daten

Für den Simulationszeitraum standen zum Durchflussvolumen Daten von den Zuflüssen, Ammer, Rott und Kienbach und dem Abfluss, die Amper, zur Verfügung (Tab. 1). Eine Wasserhaushaltsanalyse für den Ammersee ergab ein Defizit für diesen Zeitraum von durchschnittlich 257175,6 m³/Tag, welches

den unbekanntem kleineren oberirdischen Zuflüssen und unterirdischen Zuflüssen zugesprochen werden muss. Dieser Betrag wurde in den bisherigen Simulationen vollständig den oberirdischen Zuflüssen addiert.

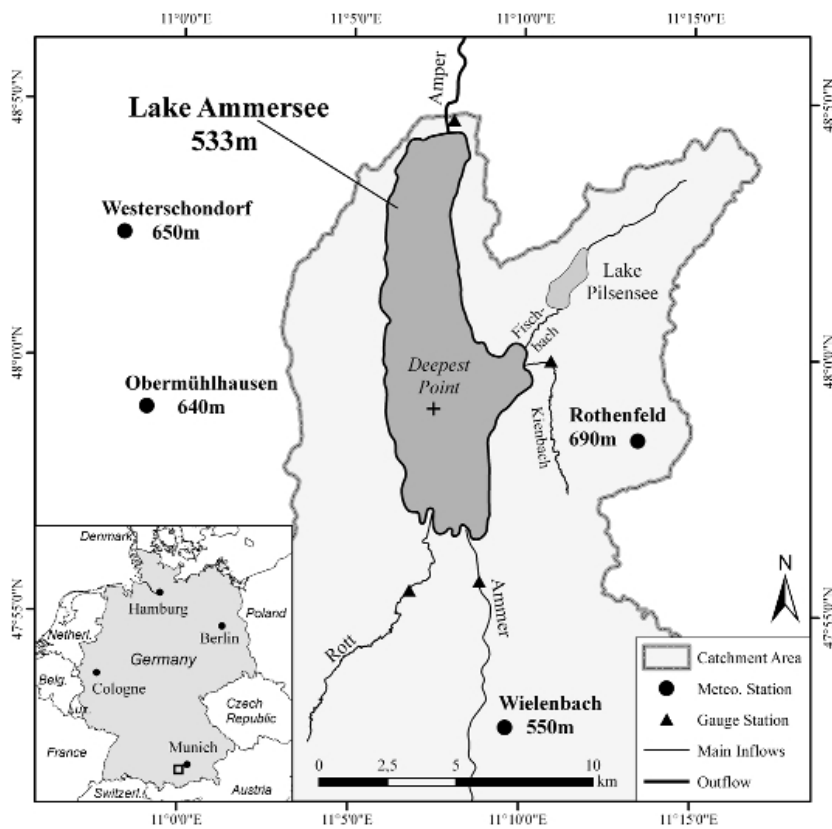


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet

Tab. 1: Kennwerte der unterirdischen Zuflüsse für die jeweiligen Simulationsszenarien. Sz = Szenario; n = Anzahl der unterirdischen Zuflüsse; V = Volumenanteil am unbekanntem Zufluss, T = Tiefe des unterirdischen Zuflusses

Sz	n	V [%]	t [m]
1	1	20	10
2	1	50	10
3	1	80	10
4	1	20	30
5	1	50	30
6	1	80	30
7	1	20	50
8	1	50	50
9	1	80	50
10	2	10/10	10/30
11	2	25/25	10/30
12	2	40/40	10/30

4. Ergebnisse

In allen 12 Szenarien (Tab. 1) bewirkt die Implementierung von einem oder mehreren unterirdischen Zuflüssen, unabhängig von Tiefe und Volumen, eine Abkühlung im Vergleich zur den Simulationsergebnissen der Kalibrierung in den Tiefen 8 – 16 m während des Sommerhalbjahres. Diese negativen Abweichungen von über 0,5°C im Monatsmittel treten bis in den Oktober auf. Die Abbildung 2 zeigt diese Abkühlung im Vergleich zur Kalibrierung exemplarisch für den Monat August.

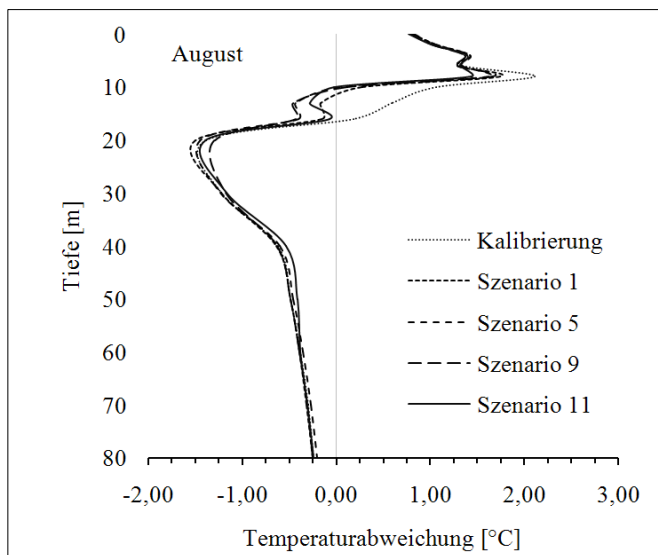


Abb. 2: Temperaturänderungen der Simulationsergebnisse gegenüber den Ergebnissen der Kalibrierung für den August. Die Temperaturwerte ergeben sich aus der Mittelung aller Tageswerte des Monats.

Zusätzlich zu den beschriebenen Veränderungen zieht sich, dass die im Vergleich zum Kalibrierungsergebnis deutlich kühleren Schichten sich im Laufe des Sommers in tiefer Schichten verlagern (von 8 – 13 m zu 13 – 20 m).

Trotz der deutlichen Veränderungen im Metalimnion ergeben die Simulationen für das Hypolimnion (20 m - Grund) nahezu die gleichen Temperaturwerte (Abweichungen nur bis maximal 0,1°C im Monatsmittel). Ebenfalls wurde in allen Szenarien eine negative Abkühlung des Epi- und Metalimnion für die Monate Oktober bis Dezember mit ca. 0,2°C im Monatsmittel simuliert. Besonders ausgeprägt ist dieses Phänomen bei einer Zuflusstiefe der Grundwasserströme von 30 m (Szenarien 4 – 6).

Eine Sonderstellung nehmen die simulierten Ergebnisse für den Sommer 2003 (keine Graphik) ein. In allen Szenarien wurden deutlich zu hohe Wassertemperaturen für das Eplilimnion (0 - 8 m) simuliert, welche die schon zu hohen Ergebnisse der Kalibrierung noch übertreffen. Besonders ausgeprägt ist diese Überschätzung in den Tiefen 4 – 8 m, in denen die Differenz zu den Kalibrierungsergebnissen mehrere °C beträgt.

5. Diskussion

In allen Szenarien werden im Vergleich zum Ergebnis der Kalibrierung des Modells für das Metalimnion niedrigere Wassertemperaturen simuliert. Dieses Ergebnis kann als eine Verbesserung

der Abbildung der Verhältnisse durch die Modellierung bewertet werden, da diese bisher zu hohe Temperaturen in diesen Schichten simuliert. Diese Ergebnisse könnten durch die geringere Zufuhr an Wärme durch die oberirdischen Zuflüsse bei gleichzeitigem konstanten, vergleichsweise kaltem Zufluss in tieferen Schichten während des Sommerhalbjahres erzielt worden sein. Demnach simuliert das Modell die Ausbildung der Springschicht in seichtere Schichten. Die Einschichtung von vergleichsweise kälteren Schichten unterhalb der Springschicht liegen wird in der Simulation ebenfalls näher zur Oberfläche abgebildet.

Ein weiteres Indiz dafür, dass sich die niedrigeren Temperaturen im Metalimnion durch eine seichtere Einschichtung der Springschicht durch das Modell ergeben, ist die durch die Simulationen mit unterirdischen Zuflüssen in Kap. 4 angesprochene Verlagerung der Schichten mit den größten (negativen) Veränderungen mit fortwährender Sommerstagnation in tiefere Schichten. Dieses ist identisch mit dem Muster der natürlichen Tieferlegung der Springschicht im Jahresverlauf.

Die simulierten Veränderungen im Hypolimnion, die durch die Berücksichtigung der unterirdischen Zuflüsse aufgetreten sind, sind sehr gering und vernachlässigbar. Dies belegt die stabile Abbildung der Seeschichtung durch das Modell, da eine Veränderung der Temperaturen in der Tiefe durch unterirdische Zuflüsse nicht zu erwarten gewesen ist und somit die Einschichtung korrekt reproduziert wurde.

Kühlere Wassertemperaturen im Zeitraum Oktober – Dezember im Epi- und Metalimnion könnten ebenfalls durch das geringere Volumen des vergleichsweise wärmeren Oberflächenzuflusses bewirkt worden sein. Eine andere Erklärungsmöglichkeit ist, dass die Ausprägung der Thermokline zu stark und somit die Ausbildung zu lange in den Herbst hinein simuliert wird. Demnach wird zuvor ein Transport von wärmeren Wassertemperaturen in die Tiefe verhindert und der Effekt des Wärmeverlusts durch die Ausstrahlung über die Oberfläche kann danach stärker zum Tragen kommen. Diese zu starke Simulierung der Springschicht würde auch das beobachtete Phänomen von 2003 der zu hohen Wassertemperaturen im Epilimnion erklären, welche einen Transport von Wärme in die Tiefe unterbindet und eine zu starke Erwärmung des Epilimnions in der Simulation bewirkt.

6. Fazit

Die Simulation des Wärmehaushalts des Ammersees unter Berücksichtigung unterirdischer Zuflüsse, mit vereinfachten Annahmen zu den Grundwasserzuströmen, erzielt plausible Ergebnisse. Die Lage der Springschicht wird während der Sommerstagnation dadurch besser abgebildet und die Ergebnisse im Metalimnion weichen somit weniger stark von den gemessenen Daten ab. Jedoch ist anzunehmen, dass durch unterirdische Zuflüsse im Modell die Ausprägung der Thermokline zu stark simuliert wird, wodurch wiederum andere Abweichungen induziert werden. Demnach sind noch genauere Untersuchungen zu den hydrogeologischen Gegebenheiten (z. B. Aufbau, Zuflussvolumen

und Temperatur) nötig um eine detailliertere Betrachtung des Einflusses von Grundwasserströmen zu ermöglichen.

Dennoch konnte gezeigt werden, dass die Berücksichtigung von unterirdischen Zuflüssen erkennbare Veränderungen in der Simulation der Seetemperaturen hervorruft und daher den Bedarf an Untersuchungen zu dieser Thematik bekräftigt sowie den Anstoß für weitergehende Analysen gibt. Des Weiteren kann festgestellt werden, dass DYRESM in der räumlichen und zeitliche Auflösung sehr genaue Ergebnisse bietet und daher trotz dem eindimensionalen Modellansatz für die Untersuchung der beschriebenen Fragestellungen sehr gut geeignet ist.

Literaturverzeichnis

- Danis, P-A.; von Grafenstein, U.; Masson-Delmotte, V.; Planton, S.; Gerdeaux, D. and Moisselin, J. M. (2004): Vulnerability of two European lakes in response to future climatic changes. *Geophysical Research Letters* **31**, L21507. DOI: 10.1029/2004gl020833.
- Joehnk, K. D. and Umlauf, L. (2001): Modelling the metalimnetic oxygen minimum in a medium sized alpine lake. *Ecological Modelling* **136**:67-80. DOI: 10.1016/s0304-3800(00)00381-1.
- Rinke, K.; Yeates, P. and Rothhaupt, K. O. (2010): A simulation study of the feedback of phytoplankton on thermal structure via light extinction. *Freshwater Biology* **55**:1674-1693. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2010.02401.x.
- Tanentzap, A. J.; Hamilton, D. P. and Yan ND. (2007): Calibrating the Dynamic Reservoir Simulation Model (DYRESM) and filling required data gaps for one-dimensional thermal profile predictions in a boreal lake. *Limnology and Oceanography-Methods* **5**:484-494.
- Weinberger, S. and Vetter, M. (2012): Using the hydrodynamic model DYRESM based on results of a regional climate model to estimate water temperature changes at Lake Ammersee. *Ecological Modelling* **244**:38-48. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2012.06.016.

Anschrift des Verfassers:

Thomas Büche

Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Geographie und Landschaftsökologie

Luisenstraße 37

80333 München

Email: thomas.bueche@geographie.uni-muenchen.de

Wie viel Dynamik braucht ein Auwald? Hydrogeomorphologische Untersuchungen im Auwald zwischen Neuburg und Ingolstadt

Peter Fischer & Bernd Cyffka

Aueninstitut Neuburg / Angewandte Physische Geographie, Kath. Universität Eichstätt-Ingolstadt

1. Einleitung und Dynamisierungsprojekt

Im Rahmen des E+E-Begleitvorhabens „Monitoring auenökologischer Prozesse und Steuerung von Dynamisierungsmaßnahmen“ arbeiten seit 2009 acht Arbeitsgruppen aus unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen (Stammel et al. 2011). Ziel des Projektes „Dynamisierung der Donauauen zwischen Neuburg und Ingolstadt“ ist es, die dynamischen Prozesse zur Förderung auentypischer Arten im bestehenden Auwald zu unterstützen oder ggf. neu anzuregen. Ein Schwerpunkt im interdisziplinär angelegten MONDAU-Projekt (MONitoring DonauAUen) ist die systematische Erfassung und detaillierte Analyse von hydrologischen und hydrogeomorphologischen Prozessen sowie deren Bedeutung und Einfluss auf die Vegetation und Fauna zu untersuchen.

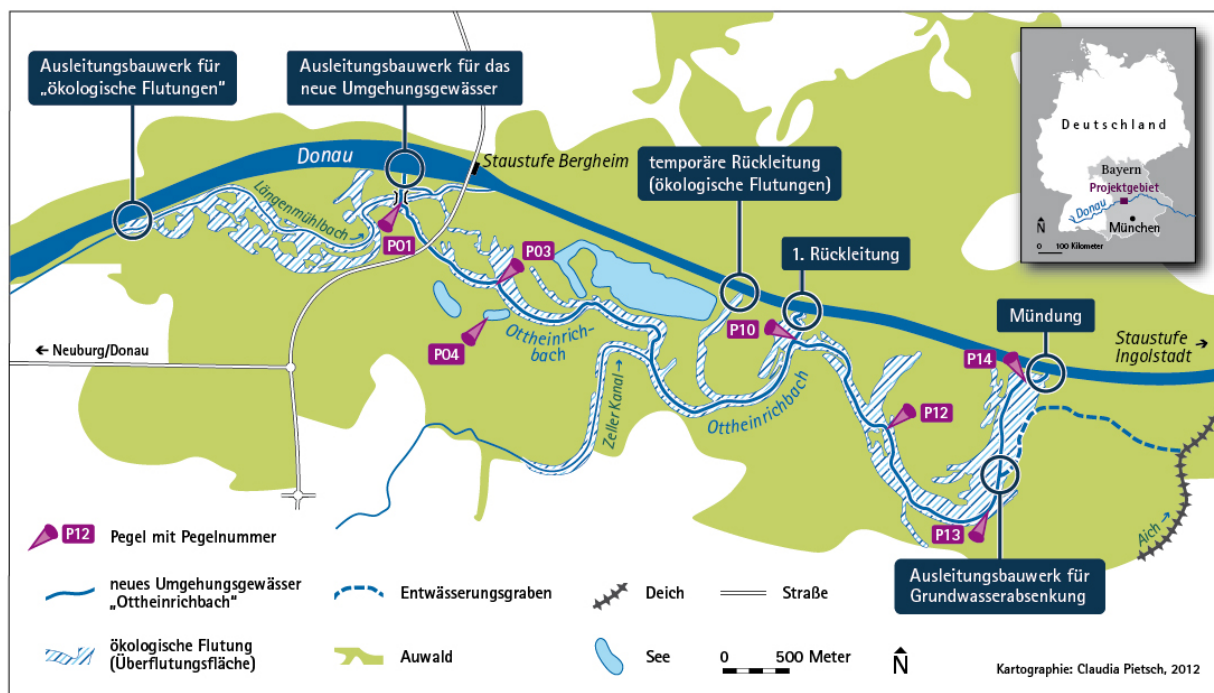


Abb. 1: Lage des Projektgebietes (2100 ha) an der oberen Donau (zwischen Flusskilometer 2471 und 2465) und die südlichen Donauauen zwischen Neuburg und Ingolstadt (Untersuchungsgebiet, 1200 ha), mit den wichtigsten Bauwerken und Fließgewässerstecken.

Neben der kontinuierlichen Ausleitung von etwa 1-5 m³/s in ein permanentes Fließgewässer (Ottheinrichbach) werden durch ökologische Flutungen und Grundwasserabsenkungen temporäre Lebens-

räume mit unterschiedlichsten Bedingungen geschaffen, denn Dynamik in den Wasserständen ist die Grundvoraussetzung für ein intaktes Auenökosystem (Heiler et al. 1995, Van Geest et al. 2005).

2. Hydrologie - erste Ergebnisse

Die Veränderung des Oberflächen- und Grundwasserspiegels wird permanent durch ein automatisiertes hydrologisches Messnetz (siehe Abb. 2) erfasst.

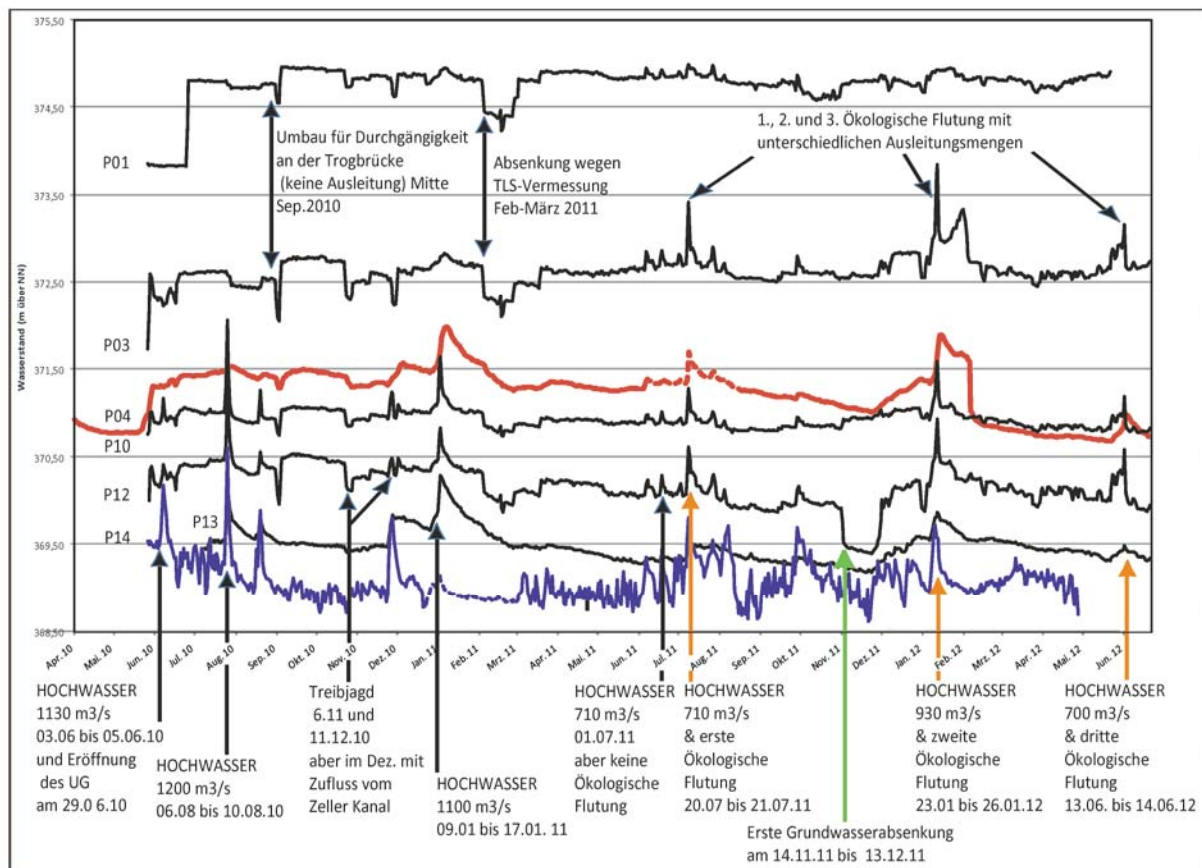


Abb. 2: Auswahl von Fließgewässerpegeln (Tagesmittelwerte) am Umgebungsgewässer und Stillgewässerpegel am „Kleinen Schlossweiher“ (rote Linie) (Pegelstandorte siehe Abb. 1). Sowohl die natürlichen (Hochwasser) als auch anthropogene Durchflussveränderungen (Bauarbeiten, wiss. Untersuchung) sind in den Hydrographen abzulesen. Die wichtigsten Ereignisse sind mit Pfeilen markiert und zeigen die jeweilige Reaktion des Wasserstandes auf die entsprechende Veränderung.

Ereignisabhängig (bei einer ökologischen Flutung oder bei einer Grundwasserabsenkung) werden weitere Pegel ausgebracht, die die Wasserstandsveränderungen in weiteren Auengewässern quantifizierbar machen und das Messnetz zusätzlich räumlich verdichten. Über die so gewonnene Wasserstandsinformation in Kombination mit Kartierungsarbeit (DGPS und Befliegung mit einer Drohne, AscTec Falcon 8, Ascending Technologies) ist eine weiträumige Erfassung der Überflutungsflächen über das gesamte Projektgebiet möglich.

3. Hydrogeomorphologie - erste Ergebnisse

Um die Gewässermorphologie und die Prozesse der fluvialen Morphodynamik (Erosion-Transport-Sedimentation) zu erfassen wird die dynamische Eigenentwicklung des Gewässers mit einem terrestrischem Laserscanner (Rieggl LMS Z420i) begleitet (siehe Abb. 3).

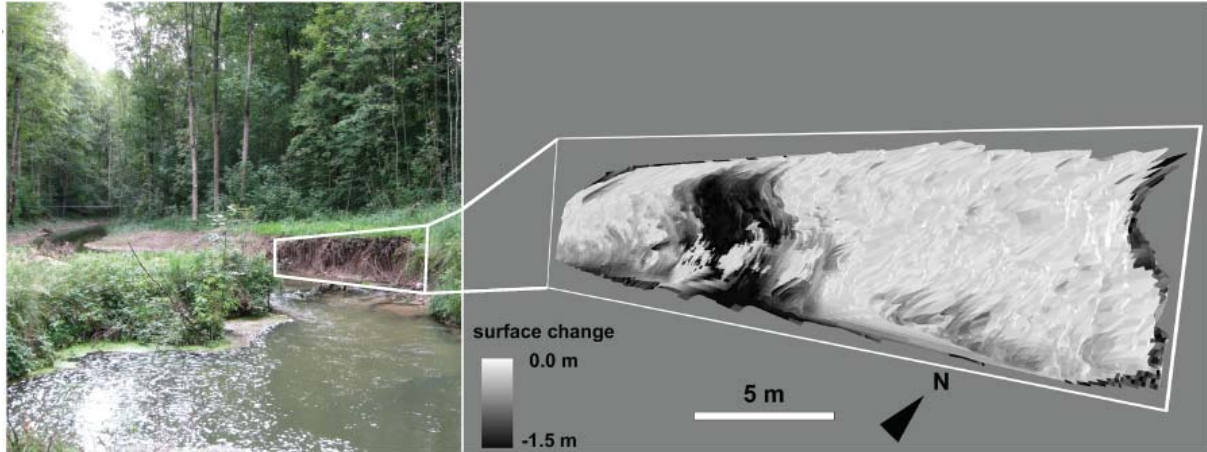


Abb. 3: Laserscanstandort „Wetterloch“, aktiver Prallhang und morphodynamischer „Hotspot“ mit Seitenerosion und Uferrückverlegung bis zu 1,5 m in sieben Monaten mit einem Erosionsvolumen von 13,3 m³ in 3D-Ansicht.

Damit können einerseits Erosionsraten an ausgewählten Prallhängen quantitativ erfasst werden und andererseits erste Anzeichen von Laufverlagerungen angezeigt werden. Weitere Messmethoden wie Geschiebe- und Schwebstoffmessung, Querprofilvermessung, Gewässerstrukturkartierung etc. ergänzen die Forschungsarbeit im und am neuen Umgehungsgewässer.

4. Diskussion und Ausblick

Die kontrollierte Einleitung des Wassers (in Zeit und Menge), in die zum Teil noch instabilen Gerinnestrukturen ist als spannendes Freilandexperiment unter naturnahen Bedingungen zu verstehen. Über den im Monitoring angewendeten „dynamischen Methodenmix“ werden möglichst viele Interaktionen und Auswirkungen des permanenten Umgehungsgewässers und der ökologischen Flutungen auf den Auenwald erfasst. Ziel soll eine möglichst naturnahe Steuerung der Ausleitungsmenge sein, die für die dynamischen Prozesse entscheidend und für eine „erfolgreiche“ Entwicklung des Auenökosystems von großer Bedeutung ist. Dabei spielt die Dynamik in den Wasserständen, als Motor des Systems, die entscheidende Rolle (siehe Abb. 4).

Durch die bekannten flussbaulichen Eingriffe in der Vergangenheit kann aber der ehemalige natürliche Zustand nicht mehr hergestellt werden (Petts et al. 1989, Schiemer et al. 1999). Allerdings kann durch eine naturnahe Steuerung in Verbindung mit einem ganzheitlichen Management, welches auch die hydrogeomorphologischen Prozesse mit berücksichtigt, eine Verbesserung des Zustandes innerhalb der Aue erreicht werden. Die erfolgreiche Wiederherstellung naturähnlicher, hydrogeomorpholo-

gischer Prozesse ist auch ein unabdingbares Desiderat für viele Renaturierungsmaßnahmen (vgl. EU-WRRL). Die Anpassung von Oberflächen- und Grundwasser an die sich ständig wechselnden Bedingungen (siehe Abb. 2), Bestrebungen des Fließgewässersystems sich wieder auf einen neuen temporären Gleichgewichtszustand einzustellen, Uferrückverlegung (siehe Abb. 3) oder wachsende Kiesinseln, sind ebenso Untersuchungsgegenstand, wie die dazugehörigen ablaufenden Prozesse. Die Bedeutung von periodisch wiederkehrenden „Störungen“ durch bettbildende Abflüsse spielt dabei eine entscheidende Rolle, die bisher durch die sogenannten ökologischen Flutungen ab einem Donauabfluss von 600 m³/s erzielt werden.

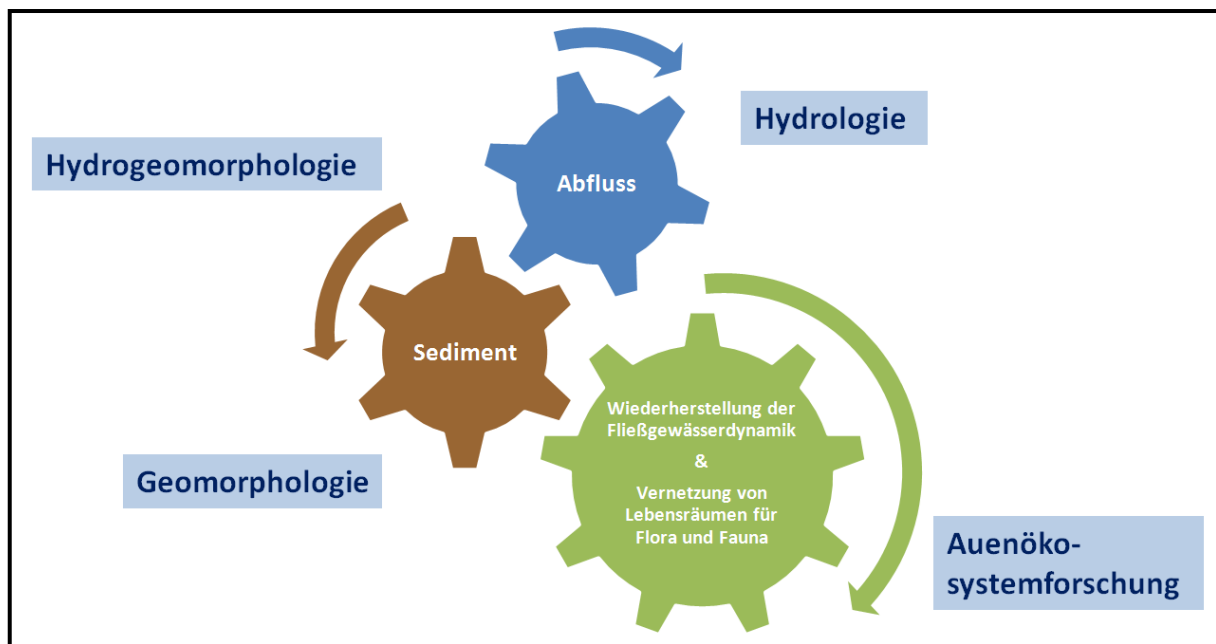


Abb. 4: Interaktion im Auenökosystem.

Die Grundvoraussetzung für eine eigenständige Entwicklung des neuen Fließgewässers wurde durch die Umsetzung der technischen Maßnahmen und Bauwerke geschaffen. So ist die ökologisch wichtige „reset-Funktion“ (Kohmann 2009) zunächst (bedingt) wieder möglich. Trotzdem bedarf es für die angestrebten weiträumigen Überflutungsflächen noch eine Steigerung in Dauer (Zeit) und Intensität (Wassermenge) von solchen Flutungsereignissen.

Die Ergebnisse aus der MONDAU-AG (Arbeitsgruppe MONitoring DonauAUen) sollen auch als Entscheidungshilfe für künftige Redynamisierungsmaßnahmen und Renaturierungsprojekte Verwendung finden. Wie dauerhaft die Maßnahmen wirken und wie die einzelnen Subsysteme ineinandergreifen, kann erst durch längerfristige Beobachtungen beurteilt werden. Aber für Teillebensräume wie beispielsweise die untersuchten Prallhänge (siehe Abb. 3) können auch detailliertere Auswertungen schon jetzt wertvolle Ergebnisse für den Erfolg des Renaturierungsprojektes in den die südlichen Donauauen liefern.

Literatur:

- Heiler, G.; Hein, T., Schiemer, F., Bornette, G. (1995): Hydrological connectivity and flood pulses as the central aspects for the integrity of a river-floodplain system. *Regulated Rivers. Research and Management* **11**:351-361.
- Kohmann, F. (2009): Hat die Gewässermorphologie eine nennenswerte Bedeutung für die Gewässerbiologie? In: Bundesanstalt für Gewässerkunde. (Hg.): Veranstaltungen 1/2010, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Gewässermorphologisches Kolloquium (3./4. Nov. 2009 in Koblenz). *Flusssysteme in Raum und Zeit* **12**:131-134, Koblenz.
- Petts, G.E., Moller, H. und Roux, A.L. (1989): Historical Change of Large Alluvial Rivers. UK
- Schiemer, F., Baumgartner, C. und Tockner, K. (1999): Restoration of floodplain rivers: The 'Danube restoration project'. *Regulated Rivers. Research and Management* **15**:231–244.
- Stammel, B., Cyffka, B., Geist, J., Müller, M., Pander, J., Blasch, G., Fischer, P., Gruppe, A., Haas, F., Kilg, M., Lang, P., Schopf, R., Schwab, A., Utschik, H. und Weißbrod, M. (2011): Floodplain restoration on the Upper Danube (Germany) by re-establishing back water and sediment dynamics: a scientific monitoring as part of the implementation. *River Systems* **20/1**:55-70.
- Van Geest, G.J., Wolters, H., Roozen, F.C.J.M., Coops, H., Roijackers, R.M.M., Buijse, A.D., Scheffer, M. (2005): Water-level fluctuations affect macrophyte richness in floodplain lakes. *Hydrobiologia* **539**:239-248.

Anschrift des Verfassers:

Peter Fischer
Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt
Professur für Angewandte Physische Geographie
Ostenstraße 18
85072 Eichstätt
Email: peter.fischer@ku-eichstaett.de

Die Entwicklung der Donau-Auen bei Wien – Ursachen, Auswirkungen und naturschutzfachliche Folgen

Walter Reckendorfer^{1,2}, M. Böttiger³, A. Funk^{1,2}, T. Hein^{1,2}

¹ WasserCluster Lunz-Biologische Station GmbH, Austria

² Institute of Hydrobiology and Aquatic Ecosystem Management, University for Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria

³ Department of Limnology, University of Vienna, Austria

Einleitung

Wasserbauliche Eingriffe wie Regulierungen, Stauhaltungen und Nutzungen in den Einzugsgebieten haben in der Vergangenheit zu starken Beeinträchtigungen von Fluss-Au-Landschaften geführt (Petts et al., 1989). Auch die Donau-Auen bei Wien (Lobau) blieben von diesen Entwicklungen nicht verschont. Ursprünglich befand sich diese Flusslandschaft in einem dynamischen Gleichgewicht, wodurch langfristig ein Ausgleich zwischen Erosion von bestehendem und der Entstehung von neuem Auegelände erfolgte (z.B. Hohensinner et al. 2008a). Wesentliche Ursachen dafür waren ein dynamisches hydrologisches Regime, hohe Geschiebefrachten, und Rückstauhochwässer, hervorgerufen durch Eisstau oder durch Ansammlungen von Totholz. Als Folge der Donau-Regulierung wurde das dynamische Gleichgewicht gestört, und das Fluss-Au-System befindet sich seither in einem hydro-morphologisch statischen Zustand, der langfristig zur Verlandung dieses Lebensraumes führt (Hohensinner et al. 2008b).

Welche Faktoren im Detail die Verlandung beeinflussen ist wenig bekannt. Von Bedeutung in diesem Zusammenhang ist sicher der Sedimenteintrag bei Hochwässern (Reckendorfer & Hein 2006). Weitere Einflussgrößen könnten die Rahmenbedingungen im Fluss selbst (Eintiefung der Donau, Reckendorfer et al 2005), sowie im Grundwasserkörper des Umlandes (Marchfeld) sein, wo es v.a. in den 1970er Jahren zu deutlichen Absenkungen der Grundwasserspiegellagen gekommen ist. Vor ca. 10 Jahren wurden erste Restaurierungsmaßnahmen mit dem Ziel den Sedimenteintrag in die Lobau zu verringern (Steuerbare Wehranlage, Hein et al. 2006) durchgeführt.

Im Zuge der Untersuchungen zum wasserwirtschaftlichen Projekt „Gewässervernetzung (Neue) Donau – Untere Lobau (Nationalpark Donau-Auen)“ sollen offene Fragen hinsichtlich der Verlandung der Lobau an Hand der räumlich-zeitlichen Veränderung der Gewässer von 1938 bis 2005 mit Hilfe einer visuellen Luftbildinterpretation beantwortet werden. Eine historische Landschaftsanalyse mittels Luftbildern ermöglicht die Veranschaulichung und Quantifizierung großflächiger Veränderungen, die ansonsten nur durch ein Monitoring über längere Zeiträume erklärt werden können. In der morpho-

logischen Entwicklung der letzten Jahrzehnte spiegeln sich auch die wesentlichen jetzt ablaufenden Prozesse wider und deren Auswirkungen auf die Landschaft und naturschutzfachlich relevante Arten und Lebensräume werden sichtbar.

Die morphologischen Veränderungen des Gewässersystems wurden mit den oben angeführten steuernden Faktoren (Sedimenteintrag, Eintiefung, Grundwasserspiegel, ...) in Beziehung gebracht. Eine statistische Auswertung der Daten mündet in ein Prognosemodell für die weitere Entwicklung der Lobau ohne Durchführung von Restaurierungsmaßnahmen. Aufbauend auf der morphologischen Entwicklung wird auch die Entwicklung naturschutzfachlich bedeutender Arten und Lebensräume (FFH) dargestellt und prognostiziert.

Methodik

Das Untersuchungsgebiet befindet sich unterhalb Wiens am linken Donauufer (Stromkilometer 1918-1908). Das Gebiet, mit einer Größe von rund 30 km², wird im Süden durch den Marchfeldschutzdamm und im Norden durch den Schönauer Rückstaudamm begrenzt. Im Rahmen der Datenanalyse wurde das Untersuchungsgebiet in 52 homogene Gewässerabschnitte unterteilt. Als Kriterium für die Abgrenzung dienten Traversen, natürliche Hochpunkte sowie Änderungen in der Morphologie eines Gewässers. Bei größeren Gewässerabschnitten erfolgte eine weitere Unterteilung.

Zur Datenerhebung und Analyse standen gescannte Luftbilder sowie digitale Orthophotos aus den Jahren 1938 bis 2005 zur Verfügung. Zwischen den insgesamt 14 Aufnahmezeitpunkten liegen Zeitspannen von mindestens ein bis höchstens 22 Jahren. Die Luftbilder aus den Jahren 1938, 1960, 1968, 1973, 1980 und 1986 wurden entzerrt und georeferenziert. Aus den Jahren 1992, 1996, 1997, 1999, 2000, 2004 und 2005 standen Orthophotos zur Verfügung.

Auf den Luftbildern wurden aquatische und semiaquatische Flächen abgegrenzt. Als Aquatische Flächen wurden jene Flächen angesprochen, die zum Zeitpunkt der Aufnahme wasserbedeckt waren. Als semiaquatische Flächen wurden jene Flächen klassifiziert, die entweder vegetationsfrei waren, oder typischen Uferbewuchs (Seggen, Schilf, Rohrkolben) aufwiesen. Für die Auswertung wurde die Summe der beiden Flächen herangezogen, damit ist die Auswertung unabhängig vom aktuellen Wasserstand zum Zeitpunkt der Aufnahmen.

Um den Einfluss unterschiedlicher Zeitspannen zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten auszuschalten, wurden Raten der durchschnittlichen jährlichen Flächenveränderung, als Verlandungsrate bezeichnet, mit der folgenden Formel berechnet:

$$\text{Verlandungsrate} = [-1 + ((F2/F1)^{(1/3)})] * 100$$

- F1: aquatische und semiaquatische Fläche zum Zeitpunkt 1 (= Ausgangszeitpunkt des Beobachtungszeitraumes)
- F2: aquatische und semiaquatische Fläche zum Zeitpunkt 2 (= Endzeitpunkt des Beobachtungszeitraumes)
- J: Differenz in Jahren zwischen Ausgangs- und Endzeitpunkt

Damit ist die Vergleichbarkeit von Zeitreihen mit unterschiedlichen Ausgangsniveaus gewährleistet. Positive Veränderungsraten ergeben sich, wenn es Zugewinne an Wasserflächen gibt, und negative Zahlen, wenn Gewässerflächen verschwinden. Anhand negativer Zahlen kann daher auf Verlandung geschlossen werden, währenddessen positive Zahlen auf Erosion hindeuten.

Für die Modellbildung wurden historische Daten zu Pegelständen der Donau und Lobau sowie dem Grundwasserstand im Marchfeld erhoben. Aus historischen Pegelständen der Donau bei Wien (Hydrografische Jahrbücher) wurde der Pegelstand bei Fischamend (Stromkilometer 1907,9; gegenüber Einströmbereich bei Schönauer Schlitz) rekonstruiert. Die Daten wurden von der Firma DonauConsult aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Für den Grundwasserstand im Marchfeld wurden Daten des Pegels Deutsch Wagram herangezogen. An Hand dieser Daten und eines digitalen Höhenmodells der Lobau wurden die folgenden hydromorphologische Parameter für die einzelnen homogenen Gewässerabschnitte mittels eines Geografischen Informationssystems (ArcGis, ESRI) abgeschätzt bzw. berechnet:

- Surrogat-Parameter für Konnektivität:
 - Distanz zum Schönauer Schlitz (m) – die Distanz eines Gewässers zum Einströmbereich beim Schönauer Schlitz in Metern;
 - Anbindung (m) – Höhe an welcher ein Gewässer mit der Donau in Verbindung steht;
 - Anbindungsfrequenz (%) – relative Häufigkeit der Anbindung an die Donau
 - Wasserspiegel (m) – Wasserspiegel am Pegel Fischamend (Strom-km 1908);
- Surrogat-Parameter für den Einfluss von Dammsickerwasser:
 - Distanz zur Donau (m) – die Distanz eines Gewässers zur Donau bzw. Neuen Donau in Metern;
 - Distanz zum Hochwasserschutzdamm (m) – die Distanz eines Gewässers zur zum Hochwasserschutzdamm in Metern;
- Surrogat-Parameter für Energie und Laubfall:
 - Direkte Sonneneinstrahlung (Stunden pro Tag);
- Surrogat-Parameter für die Permanenz eines Wasserkörpers:
 - Häufigkeit der Wasserbedeckung (%);
- Surrogat-Parameter für die Form eines Wasserkörpers:

- Mean Shape Index – Umfang / dividiert Fläche^{1/2}; je größer der shape-Index desto komplexer die Form;
- Fraktale Dimension – die Fraktale Dimension schwankt zwischen 1 für kompakte, einfache Formen und 2 für komplexe Formen (McGaril and Marks 1994);

Die Abhängigkeit der Verlandungsrate von den hydrologischen und morphologischen Parametern wurde mit einem linearem Modell (Vorwärtsselektion der Variablen) analysiert.

Ergebnisse

Im Untersuchungszeitraum von 66 Jahren zeigt sich eine signifikante Reduktion der aquatischen und semiaquatischen Flächen um 30 % ($P < 0,05$; Abbildung 1).

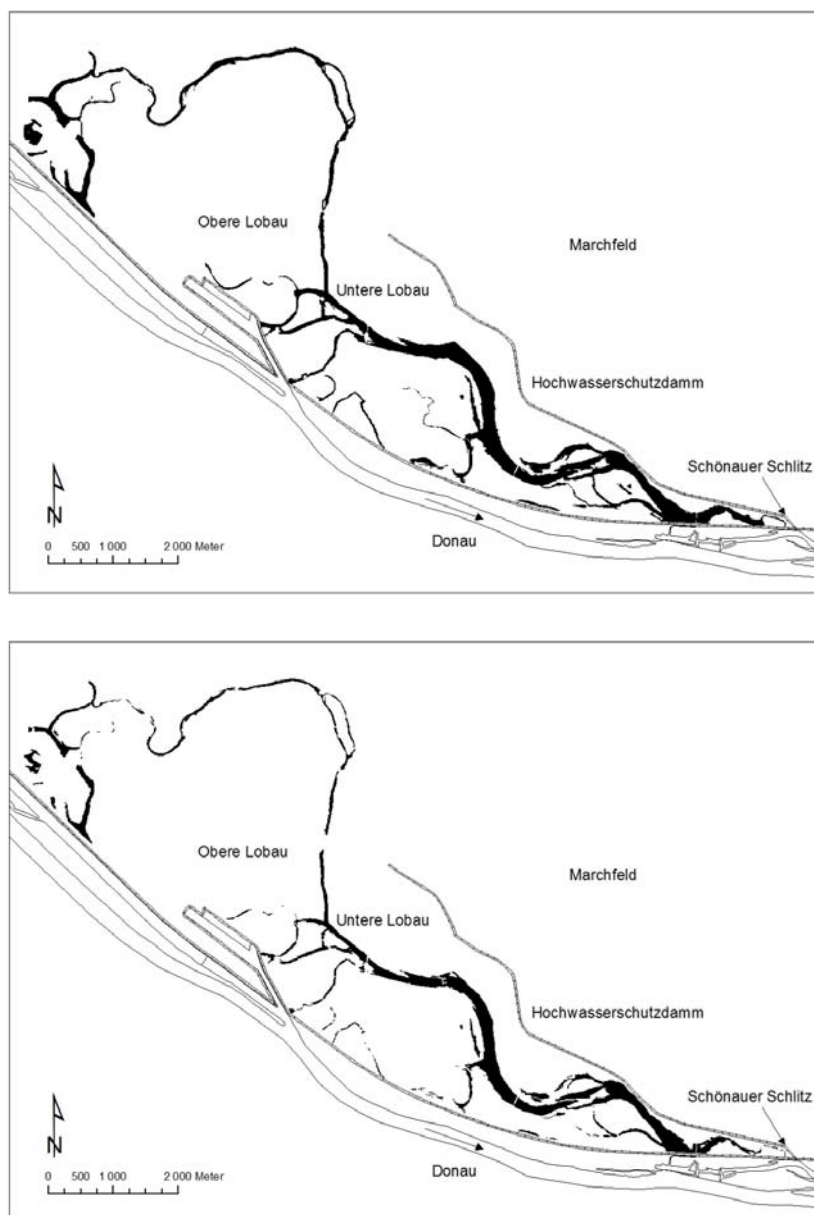


Abb. 1: Entwicklung der aquatischen und semiaquatischen Flächen während der Untersuchungsperiode (1938 – 2005).

Betrachtet man die Obere und Untere Lobau getrennt, so erkennt man in der Oberen Lobau eine höhere Verlandung. Die Begründung liegt zum Teil darin, dass kleine Gewässer schneller verlanden als große Gewässer (Abbildung 2), und die Gewässer in der Oberen Lobau geringere Wasserflächen aufweisen. Einen signifikanten Einfluss auf die Verlandung hat auch die Gewässerform. Komplexe, schmale Gewässer verlanden schneller, als breite bzw. kompakte Gewässer.

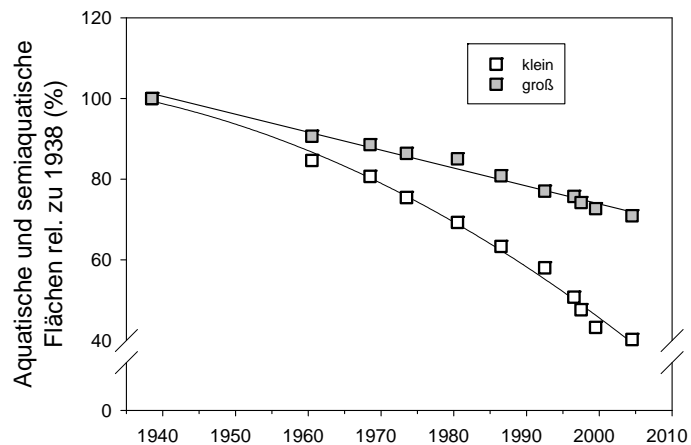


Abb. 2: Entwicklung der aquatischen und semiaquatischen Flächen während der Untersuchungsperiode (1938 – 2004) getrennt für kleine und große Gewässer.

Die mittleren Verlandungsraten schwanken zwischen 0,2 und 3,5 % pro Jahr. Zwischen 1996 und 1997 war die Verlandungsrate besonders hoch (Abbildung 3). Es zeigt sich ein signifikanter Trend mit einer Beschleunigung der Verlandungsraten in den letzten Jahrzehnten ($r = 0,62$; $p = 0,077$ ohne, bzw., $r = 0,66$; $p = 0,038$ mit Berücksichtigung der Verlandungsrate zwischen 1996 und 1997).

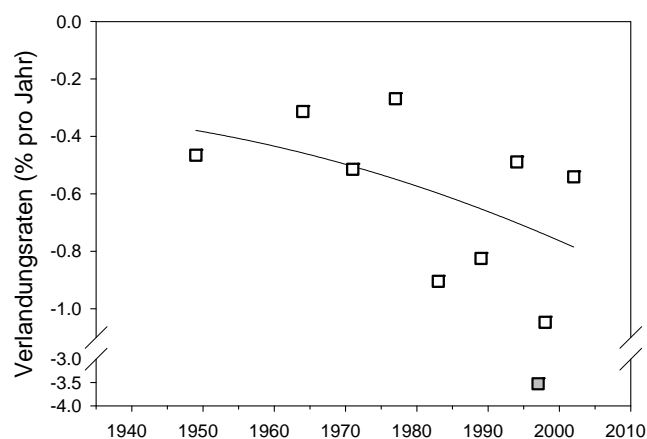


Abb. 3: Entwicklung der Verlandungsraten; Regression für weiße Quadrate; die Verlandungsrate zwischen 1997 und 1998 (in grau gekennzeichnet) wurde für die dargestellte Regression nicht berücksichtigt.

Ein allgemeines lineares Modell erklärt 29 % der Variabilität in den Verlandungsraten (Tabelle 1). Die Verlandung der Gewässer wird durch eine geringe Gewässergröße, eine langgestreckte bzw. komplexe Gewässerform, die Eintiefung der Donau sowie durch eine häufige unterstromige Anbindung gefördert.

Tab. 1: Parameter, welche die Verlandung signifikant beeinflussen; unabhängige Variable: Verlandungsrate^(1/3)

Parameter	B	SE	T	P	95% CL UG	95% CL OG	Part. Eta- Quadrat
Konstante	2,772	0,306	9,047	0,000	2,172	3,373	0,029
Log (Fläche)	0,256	0,021	12,196	0,000	0,215	0,297	0,052
Fraktale Di- mension	-3,212	0,171	-18,736	0,000	-3,548	-2,876	0,115
Eintiefungsrate	-20,930	2,042	-10,249	0,000	-24,935	-16,926	0,037
Anbindung	-0,002	0,001	-2,871	0,004	-0,003	-0,001	0,003

Auswirkungen auf FFH-Arten und Lebensräume

Die Lobau beherbergt eine Reihe von aquatischen FFH-Arten und Lebensräumen. Unter den FFH-Lebensraumtypen finden sich in der Unteren Lobau:

- LRT 3130 - Schlammfluren stehender Gewässer
- LRT 3140 - Armleuchteralgen-Gesellschaften
- LRT 3150 - Natürliche Stillgewässer mit Wasserschweber-Gesellschaften
- LRT 3260 - Fluthahnenfuss-Gesellschaften

Praktisch alle Gewässer entsprechen zumindest einem Lebensraumtyp bzw. bieten den Lebensraumtypen geeignete Bedingungen. Dies bedeutet, dass jeder Verlust an Wasserfläche auch einem Verlust an FFH-Lebensraumtypen entspricht.

Insgesamt konnten in der Lobau sechs aquatische Arten des Anhangs 2 der FFH-Richtlinie nachgewiesen werden:

- Leucorrhinia pectoralis* (Große Moosjungfer)
- Misgurnus fossilis* (Schlammpeitzger)
- Rhodeus amarus* (Bitterling)
- Triturus dobrogicus* (Donau-Kammolch)
- Bombina bombina* (Rotbauchunke)
- Emys orbicularis* (Europäische Sumpfschildkröte)

Die Amphibienarten *Triturus dobrogicus* und *Bombina bombina* sind auf Grund ihrer Lebensraumsprüche besonders durch die Verlandung der Altarme betroffen, da sie kleine, fischfreie Gewässer für ihre Fortpflanzung benötigen. Diese Gewässer werden zuerst verschwinden und somit wertvoller Lebensraum für diese Arten verloren gehen.

Diskussion

Die vorliegende Untersuchung zeigt eine starke Verlandung der Altarme im Untersuchungsgebiet, wie sie auch Schratt-Ehrendorfer & Rotter (1999), Dister (1994) und Amoros (1991) für vom Hauptstrom abgedämmte Auegebiete beschrieben wurden. Schratt-Ehrendorfer & Rotter (1999) geben für die Lobau einen Verlust von mehr als 40 ha an Gewässern und Feuchtgebieten in 50 Jahren an. Unsere Daten zeigen einen Verlust von 93 ha in 56 Jahren, davon 66 ha in der Unteren Lobau und 27 ha in der Oberen Lobau. Alle Autoren verweisen hierbei auf einen engen Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Verlandung und der Anbindung zum Strom. In Gewässern mit geringer Hochwasserdynamik, wie sie im Rückstaubereich der Unteren Lobau vorzufinden sind, wird die Bildung von Schlamm- und Sandauflagen begünstigt. Eine häufige Durchströmung führt dagegen zu einer geringeren Sedimentauflage, wie dies Reckendorfer & Steel (2004) im Zuge des Donau-Restaurierungsprojekts in der Regelsbrunner Au beobachten konnten. Schon wenige Tage Durchströmung fördern den Austrag eines Großteils der Feinsedimente aus dem Gewässerbett.

Eine rückstauende Anbindung hat allerdings den gegenläufigen Effekt: Häufig angebundene Gewässer erhalten öfters schwebstoffreiches Wasser der Donau. Im Gegensatz dazu werden isolierte Gewässer, ohne Verbindung zum Hauptstrom, nur mehr vom reinen - mit geringer Schwebstofffracht beladenem - Wasserstrom erfasst, weil das Hochwasser mit zunehmender Entfernung zum Strom bereits einen Großteil der mineralischen Fracht verloren hat (Reckendorfer et al. 2012).

Kleine Altarme zeigen besonders hohe Verlandungstendenzen. Dieser Umstand kann durch einen relativ höheren allochthonen Nährstoffeintrag bei abnehmender Gewässergröße und Gewässertiefe erklärt werden, da bei geringer werdendem Wasservolumen gleichzeitig der relative Anteil der Kontaktfläche zur Umgebung zunimmt. Durch einen Sedimenteintrag von außen kommt es darüber hinaus zu einer zunehmenden Auffüllung des Gewässerbodens und einer damit einhergehenden Verminderung des Wasservolumens, welche sich vor allem bei kleinen, seichten Gewässern in einem höheren Wasserflächenverlust bemerkbar macht.

Die Eintiefung der Donau von rund 2-3 cm/Jahr (seit 1938 etwa 1-1,5 Meter; Reckendorfer et al. 2005, Klasz et al. 2009) zeigt ebenfalls negative Auswirkungen auf das untersuchte Gewässersystem. Durch die Kies-Zugabe der Verbund Hydro Power AG, welche als Kompensation für das Kraftwerk Freudenu durchgeföhrt wird, ist dieser Trend im Bereich der Lobau allerdings derzeit gestoppt und für die zukünftige Entwicklung nicht mehr relevant.

Schlussfolgerungen

In dieser Untersuchung wie auch bei anderen Arbeiten hat sich gezeigt, dass die Augewässer im Untersuchungsgebiet verlanden, und diese Verlandung immer schneller abläuft. Um ein weiteres Zuwachsen des Altarmsystems zu verhindern und den Erhalt einer vielfältigen Aulandschaft zu si-

chern, ist es nötig, Managementmaßnahmen zu treffen, die diesem Prozess entgegenwirken. Solche Maßnahmen müssen allerdings mit Vorsicht gewählt werden, da in der Lobau viele naturschutzfachlich wertvolle Arten leben, die an die derzeitigen Bedingungen angepasst sind (Funk et al. 2012). Im Auftrag der MA 45 wird daher derzeit ein wasserwirtschaftliches Projekt („Gewässervernetzung (Neue) Donau – Untere Lobau (Nationalpark Donauauen)“) ausgearbeitet um die Verlandung der Lobau zu stoppen. Die naturschutzfachliche Herausforderung besteht darin den Lebensraum geschützter Arten zu erhalten und gleichzeitig dynamische Prozesse in ausgewählten Bereichen zu fördern.

Danksagung

Das Projekt wurde von der Europäischen Union, dem Land Wien und dem Lebensministerium im Rahmen des Programmes LE 07-13 finanziert. Wir möchten uns an dieser Stelle bei Thomas Ofenböck, Gerhard Nagel und Werner Pekarek von der Magistratsabteilung 45 der Stadt Wien für die gute Kooperation herzlich bedanken.

Der Nationalpark Donau-Auen GmbH, der Magistratsabteilung 22, der Magistratsabteilung 31 und der Magistratsabteilung 49 danken wir für die gute Zusammenarbeit.

Literatur

- Amoros, C. (1991): Changes in side-arm connectivity and implications for river system management. *Rivers* **2(2)**:105-112.
- DISTER, E. (1994): The Function, Evaluation and Relicts of Near-Natural Floodplains. – *Limnologie aktuell* **2**: 317-329.
- Funk, A., Reckendorfer, W., Blaschke, A.P. & Gschöpf, C. (2012): Ecological niche models for the evaluation of management options in an urban floodplain – conservation vs. restoration purposes. – *Environmental Science & Policy* (accepted).
- Hein T., Baranyi C. & Reckendorfer, W. (2006): Ökologische Begleituntersuchung Umbau Gänshaufertraverse, Untere Lobau: Fachbereich Hydrochemie. *Wissenschaftliche Reihe Nationalpark Donauauen* **9**, 17 Seiten.
- Hohensinner, S., Herrnegger, M., Blaschke, A.P., Habereeder, C., Haidvogel, G., Hein, T., Jungwirth, M., Weiß, M. (2008a): Type-specific reference conditions of fluvial landscapes: a search in the past by 3D-reconstruction. *Catena* **75**:200–215.
- Hohensinner, S., Eberstaller-Fleischanderl, D., Haidvogel, G., Herrnegger, M. & Weiss, M. (2008b): Die Stadt und der Strom - Historische Veränderungen der Wiener Donau-Auen seit dem 18.Jahrhundert. *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* **62**:87-93.
- Klasz, G., Schmalfuß, R., Zott, H. & Reckendorfer, W. (2009): Das Flussbauliche Gesamtprojekt für die österreichische Donau östlich von Wien. *Österreichische Ingenieur- und Architektenzeitschrift* **154**:19-30.

- McGarigal, K. & Marks, B.J. (1994): Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Reference manual. For. Sci. Dep. Oregon State University. Corvallis Oregon 62 Seiten+Append.
- Petts, G.E., Moller, H. & Roux, A.L. (Eds.) (1989): Historical Changes of Large Alluvial Rivers: Western Europe, John Wiley, Chichester, 355 pp.
- Reckendorfer W. & Steel. A. (2004): Effects of hydrological connectivity on hydrology, morphology and sediments. *Abhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich* 34, 19-30.
- Reckendorfer, W. & Hein, T. (2006): Sedimentverteilung und Sedimentbeschaffenheit in der Unteren Lobau. *Wissenschaftliche Reihe Nationalpark Donauauen* 4, 42 Seiten.
- Reckendorfer, W. Schmalfluss, R., Baumgartner, C., Habersack, H., Hohensinner, S., Jungwirth M. & Schiemer, F. (2005): The Integrated River Engineering Project for the free-flowing Danube in the Austrian Alluvial Zone National Park: contradictory goals and mutual solutions. *Archiv für Hydrobiologie Supplement* 155:613-630.
- Reckendorfer, W., Funk, A., Gschöpf, C., Hein, T. & Schiemer, F. (2012): Aquatic ecosystem functions of isolated floodplains and their implications for flood retention and management: examples from the Danube. *J. Appl. Ecol.* (in press).
- Schratt-Ehrendorfer, L. & Rotter, D. (1999): Die Donaualtwässer bei Wien im Überblick. – In: Geobotanik und Ökologie der Donaualtwässer bei Wien. (Wasser- und Verlandungsvegetation). Linz: *Biologiezentrum d. OÖ. Landesmuseums*, S. 1-22.

Anschrift des Verfassers:

Walter Reckendorfer
Technisches Büro Reckendorfer
Gänserdorferstrasse 56
2241 Schönkirchen
Email: w.reckendorfer@t-b-r.at

Vitalität der Auenvegetation des Tarim Rivers (Nordwest China) als Funktion der Bodenfeuchte und des Grundwassers

Martin Kuba & Bernd Cyffka

Angewandte Physische Geographie, Kath. Universität Eichstätt-Ingolstadt

1. Einleitung

Die Auenvegetation des Tarim im Nordwesten Chinas besteht vornehmlich aus *Populus euphratica* und *Tamarix ramosissima*, sowie *Phragmites australis* (ZERBE et al. 2011, THEVS et al. 2008/2, THEVS 2005, MA et al. 2011, WALTER 1974, HAI et al. 2006). Große Herausforderungen an das Ökosystem und dessen Erhalt stellt schon allein das hyperaride und extrem kontinentale Klima mit jährlichen Niederschlägen von unter 17mm bei einer potentiellen Evapotranspiration von 3000 mm (CHEN et al. 2012, TASHI et al. 2010).



Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes

Besonders am Unterlauf des Tarim ist das unter naturnahen Bedingungen hoch dynamische Ökosystem der sogenannten Tugai-Vegetation durch anthropogene Einflüsse (extensive Landwirtschaft,

Rodungen) stark beeinflusst. Dies belegen Daten über die Fläche der Pappelwälder entlang des Tarim River aus GIESE et al. (2005), die in Abbildung 2 dargestellt sind. Die Gesamtfläche hat sich seit 1958 (über 450 000 ha) auf weniger als 250 000 ha in den 1990er Jahren reduziert. Dabei hat sich der Anteil des Unterlaufes von knapp 12% auf nunmehr weniger als 3% (6700 ha) verringert.

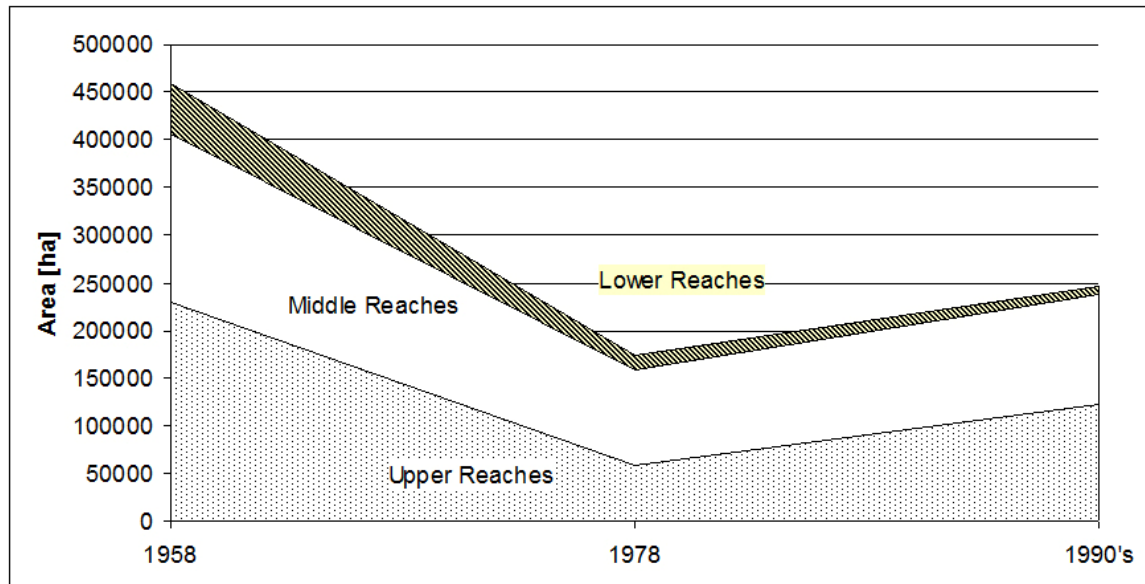


Abb. 2: Fläche der *Populus euphratica* Wälder entlang des Tarim River (Eigene Abbildung nach GIESE et al. 2006)

Als extrem bedrohlich für die gesamte Auenvegetation haben sich aber die Wasserentnahmen im Ober- und Mittellauf des Tarim herausgestellt, die dort – teilweise aber auch am Unterlauf selbst – zur Bewässerung des intensiven Baumwollanbaus genutzt werden. Diese Wasserentnahmen, sowie der Bau mehrerer Stauseen (z.B. des Daixihaizi-Reservoirs) führten dazu, dass die letzten 320 km des Flusses ab den 1970er Jahren komplett trocken fielen (CHEN et al. 2010, HAI et al. 2006). Seit Beginn des 21. Jahrhunderts wird für diesen Abschnitt des Tarim River (episodisch) Wasser aus dem Einzugsgebiet des Bosten Lake zu ökologischen Zwecken zur Verfügung gestellt (HALIK et al. 2006). Das Tugai-System ist untern naturnahen Bedingungen geprägt durch und angewiesen auf eine hohe Flusssdynamik, mit periodischen Hochwässern und hoher Sedimentfracht. Die periodischen Hochwässer erfüllen hierbei gleich mehrere Funktionen:

- Auswaschung von oberflächlich akkumuliertem Salz (HAI et al. 2006, THEVS 2005),
- Schaffung von Sandbänken, die für die Keimung der *Populus euphratica*-Samen geeignet sind und
- Schaffung geeigneter Feuchtebedingungen für die Etablierung neuer Pflanzen in den Jahren nach der Keimung. (ZERBE et al. 2011, WANG et al. 1996, THEVS et al. 2008/2, THEVS 2005).

Diese Dynamik führt zu dem charakteristischen Aufbau der Wälder in Gallerien (WESTERMANN et al. 2008; THEVS 2005; THEVS et al. 2008/2).

2. Methoden

Im Projektgebiet wurden 15 Bodenfeuchtemessstationen mit je 3 Sensoren (10HS der Firma Decagon) in unterschiedlichen Tiefen installiert (siehe Abbildung 3), die in einem 60 Minuten Intervall den volumetrischen Wassergehalt des Bodens aufzeichnen. Die Vitalitätsdaten wurden von der Xinjiang University Urumqi erhoben und kategorisieren die Bäume in 7 Klassen (1=sehr vital bis 7=Totholz liegend).

Des Weiteren wurden entlang von 2 Transekten mittels Bohrungen die vertikale Verteilung der Bodenfeuchte, der Substratkörnung und die Lage des Grundwasserspiegels in Zusammenhang mit der Vegetation untersucht. Die Lage der Transekte ist in Abbildung 3 dargestellt.

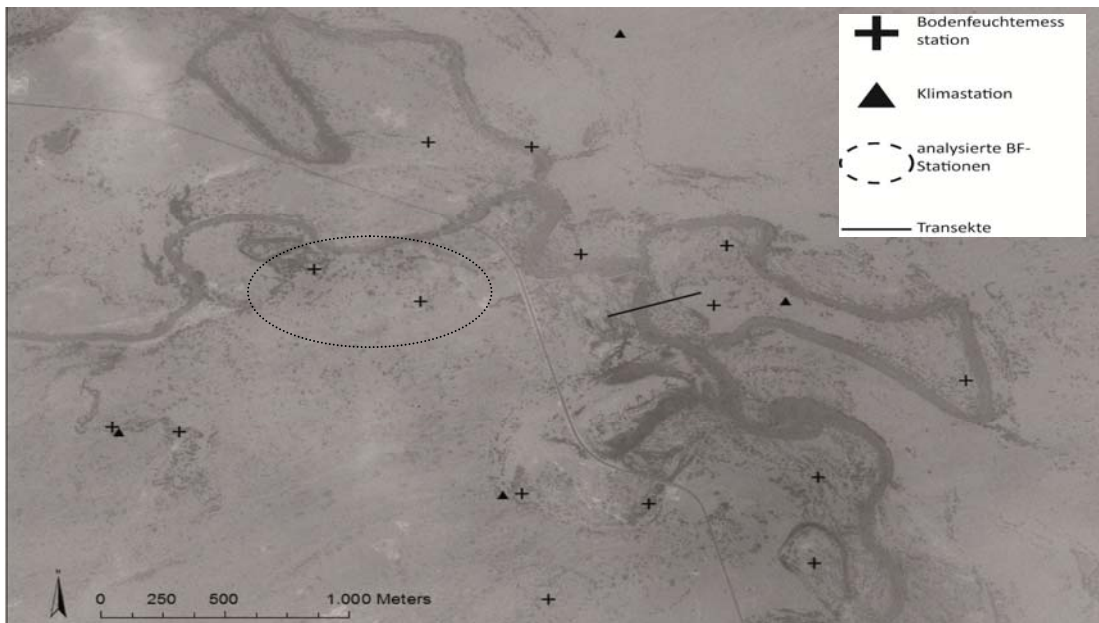


Abb. 3: Verteilung der Messpunkte im Untersuchungsgebiet.

Die Ergebnisse ausgewählter Stationen sind im Folgenden dargestellt.

3. Ergebnisse

Abbildung 4 zeigt die Messwerte zweier Bodenfeuchtelogger (schwarz umkreist in Abbildung 3), sowie die Analyse der Vitalität der Bäume in einem Umkreis von 100 m Radius.

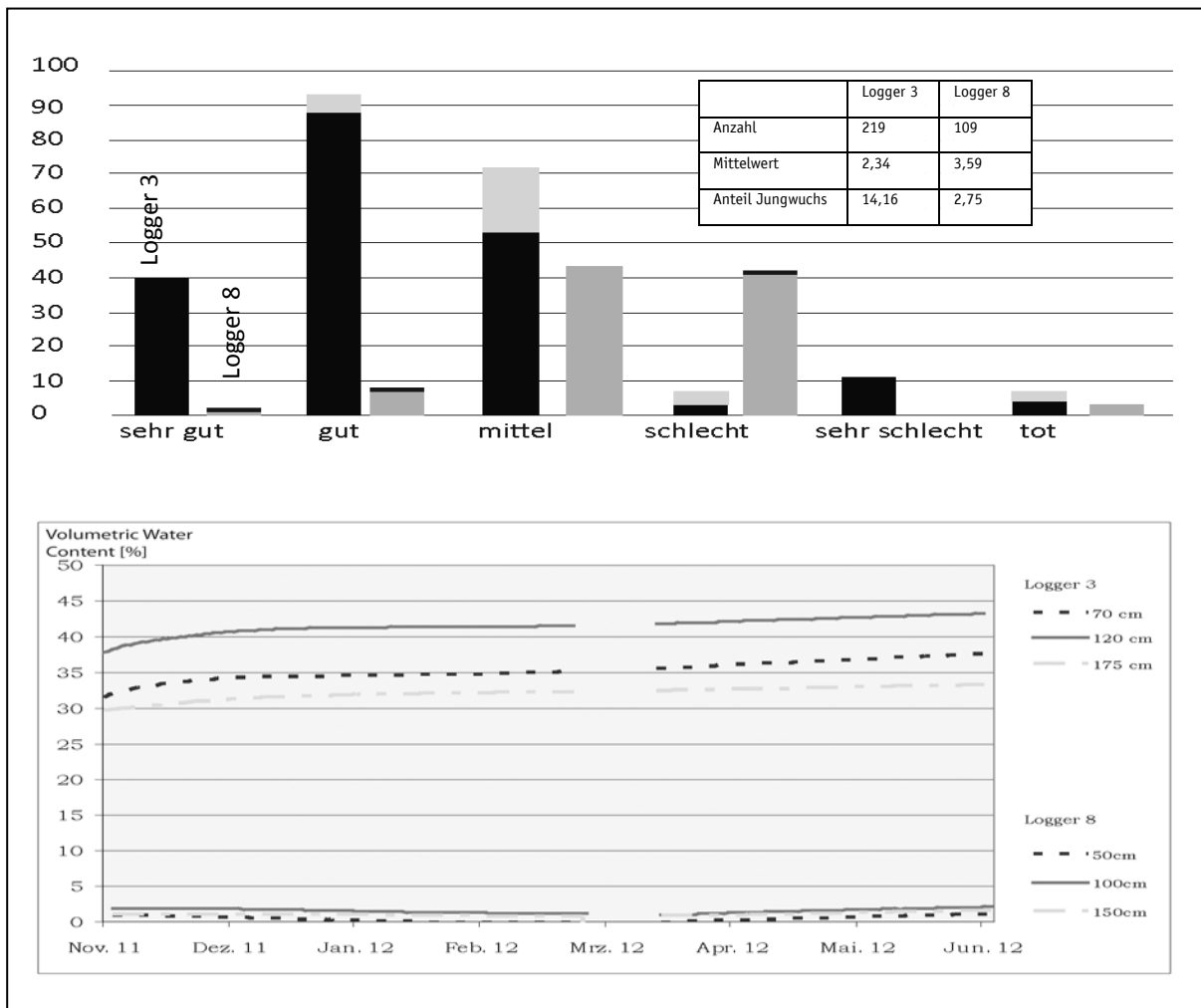


Abb. 4: Volumetrischer Wassergehalt an den beiden ausgewählten Messstationen (unten), sowie Vitalität der Bäume in 100 m Umkreis (oben).

Die beiden Messstationen sind etwas mehr als 450 m voneinander entfernt. Logger 3 ist 100 m, Logger 8 ist 315m vom Fluss entfernt. Beide liegen etwa auf demselben Niveau über dem Fluss. Obwohl sich die Plots sehr ähneln ergeben sich doch erhebliche Unterschiede in den Messungen. In der oberen Grafik sind die Werte der Bodenfeuchte der beiden Logger dargestellt. Der volumetrische Wassergehalt in den verschiedenen Tiefen an Logger 3 bewegt sich zwischen knapp 30 % und 45 %. Die Werte der Sensoren von Logger 8 hingegen bewegen sich auf gleichmäßig niedrigem Niveau von unter 5 %. Die hydrologischen Verhältnisse der ungesättigten Zone sind also an Logger 8 als deutlich schlechter zu bezeichnen als an Logger 3.

Der Vergleich der Vitalitätsdaten der Pappeln in unmittelbarer Umgebung der Logger spiegelt dies wider, wie in Abbildung 4 zu erkennen ist.

Über 90 % der Bäume um Logger 3 sind von sehr guter, guter oder mittlerer Vitalität. 14,16 % sind als Jungwuchs anzusprechen. Der Anteil dieser Vitalitätsstufen liegt bei Logger 8 unter 50 % und nur 2,75 % der Pappeln sind Jungwuchs.

Dieser Vergleich verdeutlicht den Einfluss des Bodenwasserhaushaltes auf die Auenvegetation. Der Einfluss der Korngrößenverteilung des Substrats auf den Bodenwasserhaushalt wird in Abbildung 5 deutlich. Die Diagramme zeigen Vertikalprofile der Verteilung der Bodenfeuchte und Korngrößenverteilung des linksseitigen Transektabschnitts. Es wird deutlich, dass in Bereichen mit insgesamt größerem Substrat weniger Wasseranteil haben, als jene mit insgesamt feineren. Besonders in der rechten Grafik wird dies ersichtlich. Der Bereich zwischen 210 cm und 380 cm unter Flur ist gekennzeichnet durch schluffigen Sand und hat dabei Bodenfeuchtwerte von durchgehend unter 10 %. Der Wechsel zu lehmigen Sand bei 390 cm geht einher mit einem sprunghaften Anstieg der Bodenfeuchte auf knapp 32 %.

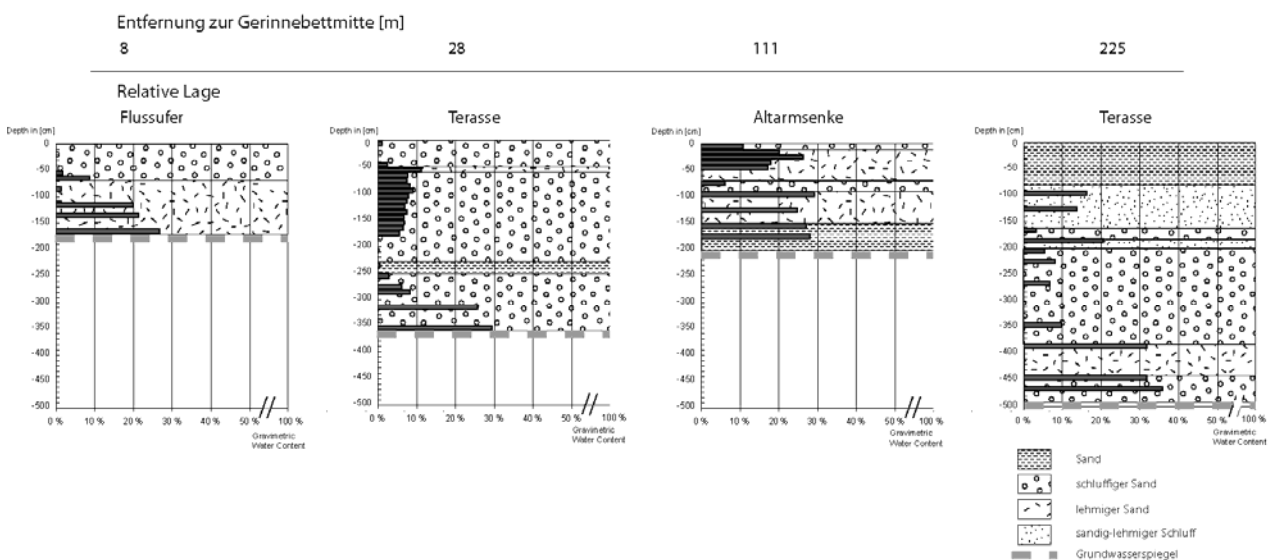


Abb. 5: Vertikale Verteilung von Korngrößen und Bodenfeuchte an ausgewählten Messpunkten der Transektaufnahme.

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse einer Transektaufnahme aus dem Mai 2012. Dargestellt ist aus Platzgründen nur das linksseitige Ufer.

Die Untersuchungen ergaben eine typische Zonierung, die die Vegetation in ufernahen Bereichen ausbildet. Besonders trifft dies für den Bereich, der durch ein Hochwasser im November 2011 betroffen war (in der Abbildung 7 schraffiert hervorgehoben) zu. In einem, je nach Topographie, 5 m bis 10 m breiten Streifen sind frisch keimte Triebe von *Populus euphratica* und *Tamarix ramosissima* zu

finden. Es ist davon auszugehen, dass diese während des zurückgehenden Hochwassers an den Uferbänken abgelagert wurden und an dieser Stelle für die Keimung geeignete hygrische Verhältnisse und Lichtbedingungen vorfinden. Ob sich diese Triebe etablieren können ist maßgeblich von den hygrischen und hydrologischen Verhältnissen der Folgejahre abhängig (THEVS et al. 2008/1).

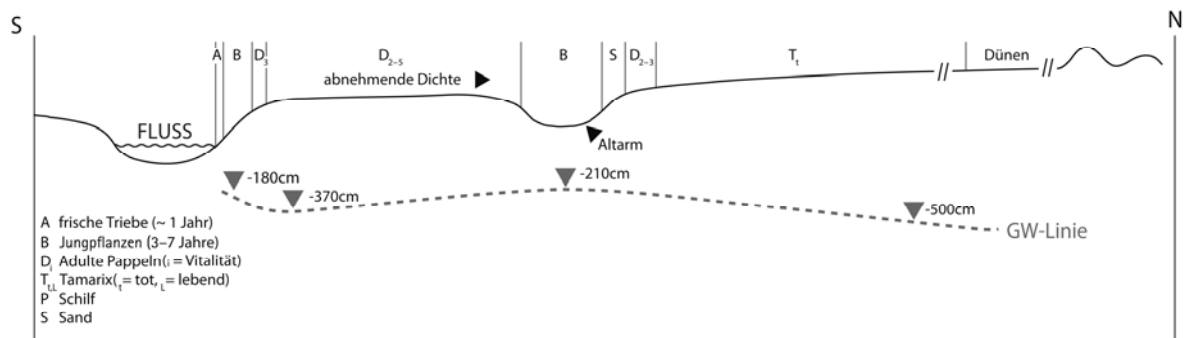


Abb. 6: Typische Zonierung der Vegetation, sowie gemessene Grundwasser-Flur-Abstände in Abhängigkeit zur Entfernung zum Gerinne.



Abb. 7: Foto der typischen ufernahen Vegetationszonierung.

Anschließend sind etwa drei- bis siebenjährige Jungpflanzen beider Spezies zu finden.

Auf dem Kamm der Uferböschung sind schließlich jeweils Reihen adulter *Populus euphratica* zu finden.

Mit zunehmender Entfernung zum Fluss ändert sich die Vegetation meist in Richtung älterer, weniger vitaler Pappelstände. Oftmals sind auch ausgedehnte Flächen mit abgestorbenen *Tamarix*-Beständen zu finden. Nur an besonderen Gunststandorten bricht dieser Trend und es kommen junge *Populus*-Bestände hoher Vitalität oder gar *Phragmites*-Standorte vor.

Diese Gunststandorte zeichnen sich meist durch eine Senke in der Topographie aus, oftmals handelt es sich um trocken gefallene Altarme des Flusses. Hier ist der Grundwasserflurabstand geringer und die Wasserverfügbarkeit somit erhöht. Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die bodenhydrologischen Verhältnisse ist die Korngrößenverteilung des Substrates. Beide Sachverhalte sind in Abbildung 5 exemplarisch dargestellt. Die Abbildung zeigt die Bodenprofile des linksseitigen Abschnittes des Transekts.

In direkter Flussnähe lag der Grundwasserspiegel zum Zeitpunkt der Bohrung bei 180 cm unter der Bodenoberfläche. In 28 m Entfernung bereits bei 370 cm. Dieser Messpunkt liegt etwa 2-3 m höher als der Erste. Der Messpunkt in der Altarmsenke liegt 111 m von der Gerinnebettmitte entfernt, der Grundwasser-Flur-Abstand beträgt nur noch 210 cm. In diesem Bereich sind junge (etwa 3-7 Jahre alte), sehr vitale *Populus euphratica* Exemplare zu finden.

In 225 m Entfernung sinkt das Grundwasser auf 500 cm unter Flur. In diesem Bereich ist kaum lebende Vegetation zu finden, jedoch ist der Bereich mit abgestorbenen Sträuchern bestanden.

4. Zusammenfassung

Die Auwaldvegetation am Unterlauf des Tarim River ist durch anthropogene Einflüsse stark gestört. Das für landwirtschaftliche Zwecke genutzte Wasser fehlt dem von hoher Dynamik geprägten Ökosystem. Es zeigt sich ein komplexer Zusammenhang zwischen den bodenhydrologischen Verhältnissen und dem Vitalitätszustand der Vegetation. Die Bodenfeuchte ist hierbei regional sehr heterogen und u. a. abhängig von der Korngrößenverteilung des Substrats und dem Grundwasserflurabstand. Unter den derzeit herrschenden Bedingungen ergibt sich eine typische Zonierung der Vegetation in einem stark degradierten Zustand.

Literatur

Chen, Yaning.; Yapeng Chen; C. Xu; Z. Ye; Z. Li; C. Zhu; X. Ma (2010): Effects of ecological water conveyance on groundwater dynamics and riparian vegetation in the lower reaches of Tarim River, China. *Hydrological Processes* **24**:170-177.

Giese, E.; D.M. Mamatkanov; R. Wang (2005): Wasserressourcen und deren Nutzung im Flussbecken des Tarim (Autonome Region Xinjiang /VR China). In: Zentrum für internationale Entwicklungs- und Umweltforschung der Justus-Liebig-Universität Gießen, *Discussion Papers* **25/2005**.

Hai, Y.; L.Wai; T. Hoppe; N. Thevs (2006): Half a century of environmental change in the Tarim River Valley – An outline of cause and remedies. In: Hoppe, T.; B. Kleinschmitt; B. Roberts; N. Thevs; Ü. Halik (Hrg.): *Watershed and Floodplain Management along the Tarim River in China's Arid Northwest*. Shaker Verlag Aachen, pp. 39 - 76.

Halik, Ü.; A. Kurban; M. Mijit; J.Schulz; F. Paproth; B. Coenradie (2006): The potential influence of embankment engineering and ecological water transfers on the riparian vegetation along the mid-

- dle and lower reaches of Tarim River. IN: Hoppe, T.; B. Kleinschmit; B. Roberts; N. Thevs; Ü. Halik (Hrg.): Watershed and Floodplain Management along the Tarim River in China's Arid Northwest. Shaker Verlag Aachen, pp. 221 - 236.
- Ma, X.; Y. Chen; C. Zhu; W. Li (2011): The variation in soil moisture and the appropriate groundwater table for desert riparian forest along the Lower Tarim River. *Journal of Geographical Sciences* **21(1)**:150 – 162.
- Tashi, Y.; P.C. Chamard; M.-F. Courel; T. Tiyip; Y. Tuexun; S. Drake (2010): The Recent Evolution of the Oasis Environment in the Talimakan Desert, China. In: Schneier-Madanes, G.; M.-F. Courel (editors) (2010): Water and Sustainability in Arid Regions – Bridging the Gap between physical and social sciences. Springer. pp. 51 - 74.
- Thevs, N. (2005): Tugay vegetation in the middle reaches of the Tarim River – Vegetation types and their ecology. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* **44(1)**:63 – 84.
- Thevs, N.; S. Zerbe; M. Schnittler; N. Abdusalih; M. Succow (2008/2): Structure, Reproduction and flood-induced dynamics of riparian Tugai forests at the Tarim River, Xinjiang, NW China. *Forestry* **81(1)**:45-57.
- Thevs, N.; S. Zerbe; J. Peper; M. Succow (2008/1): Vegetation and vegetation dynamics in the Tarim River floodplain of continental-arid Xinjiang, NW China. *Phytocoenologia* **38**:65-84.
- Walter, H. (1974): Die Vegetation Osteuropas, Nord- und Zentralasiens. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- Wang, S.; B. Chen; H. Li (1996): Euphrates Poplar Forest. China Environmental Science Press. Beijing.
- Westermann, J.; S. Zerbe; D. Eckstein (2008): Age Structure and Growth of Degraded *Populus euphratica* Floodplain Forests in North-west China and Perspectives for Their Recovery. *Journal of Integrative Plant Biology* **50(5)**:536 – 546.
- Zerbe, S.; N. Thevs (2011): Restoring Central Asian Floodplain Ecosystems as Natural Capital and Cultural Heritage in a Continental Desert Environment. In: Hong, S.-K.; J.-E. Kim; N. Nakagoshi (Editors) (2011): Landscape Ecology in Asian Cultures. Springer. pp. 277 – 297.

Anschrift des Verfassers:

Martin Kuba
 Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt
 Professur für Angewandte Physische Geographie
 Ostenstraße 18
 85072 Eichstätt
 Email: martin.kuba@ku-eichstaett.de

Vom Substrat zur Wasserrahmenrichtlinie – gewässermorphologische und faunistische Bewertung eigendynamisch renaturierter Abschnitte der Lahn

Michael Groll

Fachbereich Geographie, Philipps-Universität Marburg

Die europäischen Fließgewässer unterliegen seit Jahrhunderten einem starken anthropogenen Nutzungsdruck, welcher den morphologischen und faunistischen Charakter der Gewässer nachhaltig verändert hat. In den vergangenen Jahrzehnten rückten die Defizite der Fließgewässer zunehmend in das Blickfeld der Öffentlichkeit und seit der Verabschiedung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) wird der ökologische Zustand von degradierten Fließgewässern durch Renaturierungen verbessert. Der Ansatz der eigendynamischen Gewässerentwicklung eignet sich hierbei in besonderem Maße, da der vergleichsweise geringe finanzielle Aufwand dem in der EU-WRRL festgelegten Grundsatz der Kosteneffizienz entgegen kommt. Um das Ziel eines „guten ökologischen Zustands“ jedoch auch fristgerecht erreichen zu können, bedarf es genauer Kenntnisse über die Wirksamkeit konkreter Maßnahmen. Diese Kenntnisse können nur durch eine detaillierte Evaluation bereits umgesetzter Maßnahmen gewonnen werden. In der Praxis erfolgt eine wissenschaftliche Auseinandersetzung mit renaturierten Gewässerabschnitten jedoch ausgesprochen selten und wichtige Detailuntersuchungen zur Entwicklung der Gewässerlebensräume und der faunistischen Besiedelung bleiben in der Regel aus (z.B. Dickhaut 2005, Koenzen 2008). Speziell für das Makrozoobenthos, also den größeren wirbellosen Lebewesen der Gewässersohle, als einer der vier Qualitätskomponenten der EU-WRRL für die Bewertung der Fließgewässer kann die zentrale Frage „Welche morphologischen Prozesse und Strukturen können gefördert werden, um einen guten ökologischen Zustand zu erreichen?“ trotz mehr als 100-jähriger limnologischer Forschung noch immer nicht befriedigend beantwortet werden (Jähnig et al. 2008). Zwar existieren zahlreiche Untersuchungen, die die Abhängigkeit des Makrozoobenthos' von verschiedenen Umweltfaktoren (z.B. Geologie und Höhenlage des Einzugsgebietes) auf der Makro- und Mesoskala analysieren (z.B. Johnson und Hering 2009, Lorenz 2004). Die als Hauptlebensraum relevante Ebene der Mikrohabitate (Choriotope) jedoch ist kaum untersucht, was zumindest teilweise darin begründet liegt, dass bislang kaum Verfahren existierten, welche die Strukturen des Gewässerbetts in der erforderlichen räumlichen Auflösung erfassen können (Groll 2011).

In diesem Spannungsfeld zwischen Grundlagenforschung und Wasserwirtschaft wurden von 2006 bis 2009 umfangreiche Untersuchungen der Gewässerbettmorphologie und der Besiedelung durch das Makrozoobenthos in drei Untersuchungsgebieten im Mittellauf der hessischen Lahn (Fließgewässertyp 9.2, Sommerhäuser und Pottgiesser 2005) durchgeführt. Dabei wurden das neu entwickelte TRiS-Ha-Verfahren (Groll und Opp 2007, Groll 2011) und die PERLODES-Methodik (Meier et al. 2006) angewendet. Zwei der drei Untersuchungsgebiete wurden zwischen 1997 und 2005 eigendynamisch

renaturiert. Dem Leitbild eines Furkationsgewässers folgend wurden initiale Seitenläufe geschaffen, welche zusätzliche Habitate und Retentionsraum bieten sollen. Das dritte Untersuchungsgebiet wurde bislang noch nicht renaturiert, es bestehen jedoch konkrete Überlegungen, so dass hier ein potentiell Renaturierungsgebiet von Beginn an wissenschaftlich begleitet werden konnte.

Die Kartierung der Sohlstrukturen zeigte deutliche Unterschiede zwischen dem Hauptlauf der Lahn und den renaturierten Seitenarmen. Während im Hauptlauf vor allem grobe Sedimente (Kies, Blöcke und anthropogene Steinschüttung) vorgefunden wurden, waren die Furkationen von Feinsedimenten (Sand, Auenlehm und organischer Schlamm) geprägt. Die räumliche Verteilung der aus den Substrattypen abgeleiteten Mikrohabitate spiegelt diesen Unterschied ebenfalls wider. Darüber hinaus hat die Kartierung gezeigt, dass im Hauptlauf der Lahn ein einzelner Habitattyp (Kies und Blöcke mit wenig organischem Material) den zentralen Bereich der Sohle deutlich dominiert (57% Deckungsgrad) während in den Seitenarmen eine kleinteilige Mosaikstruktur verschiedener Habitattypen vorzufinden war und kein Typ mehr als 22% der Gewässersohle bedeckte (Abb. 1). In allen drei Untersuchungsgebieten wurden während der dreijährigen Kartierarbeiten insgesamt 32 Habitattypen ausgewiesen. Von diesen wurden 25 in den sechs Hauptlaufabschnitten nachgewiesen (zwei davon exklusiv), während in den vier renaturierten Seitenarmabschnitten 30 Habitattypen erfasst wurden (sieben davon kamen nur in den Renaturierungsbereichen vor).

Weitere Unterschiede zwischen den Hauptlaufabschnitten und den renaturierten Seitenarmen ließen sich bezüglich der zeitlichen Dynamik feststellen. Zwischen dem 16. und 19. Januar 2007 führte das Sturmtief Kyrill zu ergiebigen Niederschlägen im Lahneinzugsgebiet, welche den Pegel der Lahn in Marburg bis auf 499 cm ansteigen ließen (maximaler Abfluss 199 m³/s (HQ50, MQ = 16,7 m³/s). Die Hochwasserwelle veränderte die Gewässerbettstruktur im Hauptlauf der Lahn in 87,5% aller Messflächen, wobei es in 81,4% aller Flächen zu einer Veränderung der organischen Auflage (z.B. Totholz, CPOM, FPOM) und in 20,2% der Flächen zu einer Veränderung der Substratzusammensetzung kam. 14% der Messflächen wiesen nach dem Hochwasser einen anderen Habitattyp auf als zuvor. In den renaturierten Seitenarmen hingegen konnten zwei gegenläufige Entwicklungen beobachtet werden. Einerseits lag der Anteil der vollständig unveränderten Messflächen mit 24,4% in etwa doppelt so hoch wie im Hauptlauf der Lahn. Andererseits jedoch wiesen die Seitenarme eine deutlich höhere Dynamik in den Bereichen der Sohlsubstrate (37% Veränderung) und Habitattypen (41,6% Veränderung) auf. Der entscheidende Parameter für das Ausmaß der zu beobachtenden Dynamik war hierbei die mittlere Strömungsgeschwindigkeit bei Mittelwasser. Gewässerabschnitte, die bedingt durch ihre Lage in der Aue eine nur geringe Strömung aufweisen (z.B. Altarme) erwiesen sich selbst im Falle eines fünfzigjährigen Hochwassers als sehr stabil (55,9% aller Messflächen in einem solchen Seitenarmabschnitt blieben unverändert) und können daher als Refugialraum dienen. Bei Mittelwasser stärker durchströmte Abschnitte hingegen wurden durch das Hochwasser umfangreich umgestaltet (nur 4,8% aller Messflächen in einem solchen Seitenarmabschnitt blieben unverändert), weisen also eine

größere Dynamik auf. Im Folgejahr 2008 zeigte sich weiterhin, dass die Hauptlaufabschnitte fast vollständig in jenen Zustand zurückgekehrt waren, den sie im Jahr 2006, also vor dem Hochwasserereignis, aufgewiesen hatten.

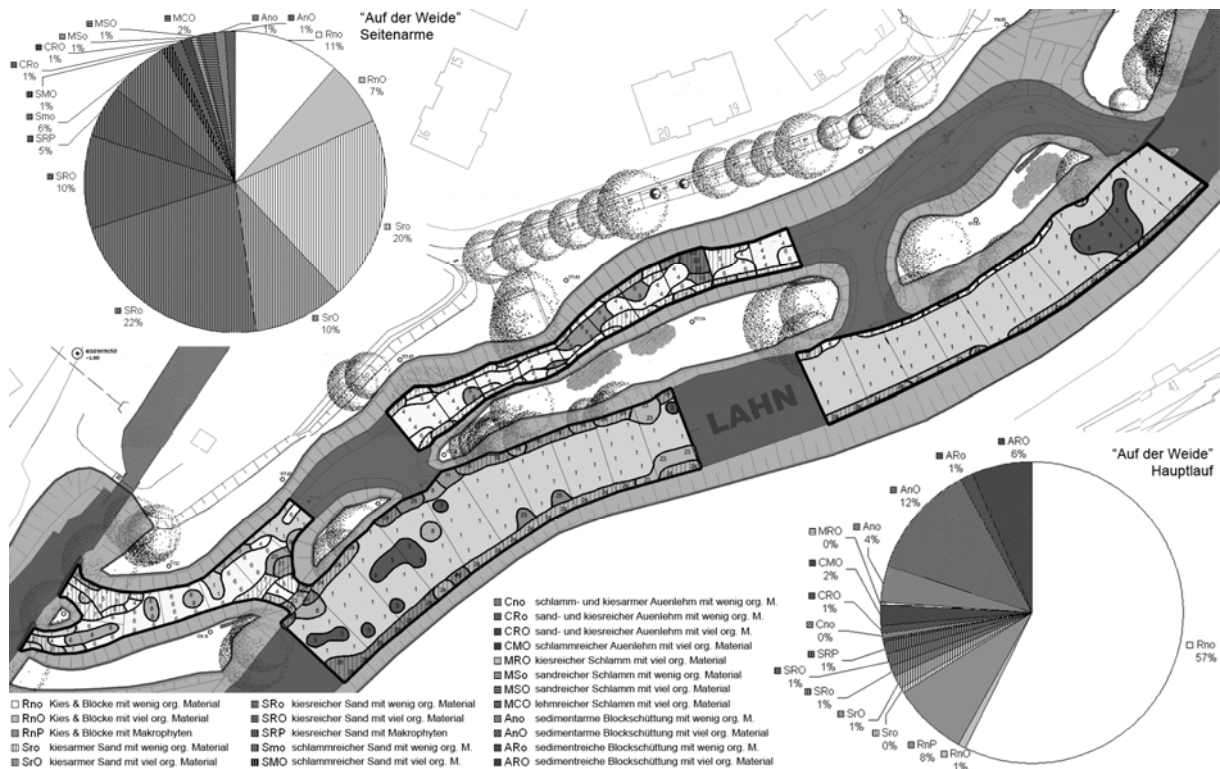


Abb. 1: Habitattypenverteilung im Untersuchungsgebiet „Auf der Weide“ im Jahr 2006.

Der Hauptlauf der Lahn kann somit als ein stabiles System bezeichnet werden, welches durch ein HQ50 zwar eine deutliche Auslenkung erfährt, anschließend jedoch in seinen Gleichgewichtszustand zurückkehrt. Die renaturierten Seitenarmabschnitte hingegen waren auch ein Jahr nach dem Hochwasserereignis durch eine starke Dynamik gekennzeichnet. Das HQ50 hatte in den renaturierten Rinnen zu Uferabbrüchen und Totholzverkläuerungen geführt, welche sich langfristig auf das Strömungsverhalten und damit den Sedimenthaushalt auswirken. Die dadurch ausgelösten Prozesse wirkten auch ein Jahr nach dem Hochwasser unvermindert an und führen auf lange Sicht zu einem neuen Gleichgewichtszustand. Die Renaturierungsbereiche können demnach als metastabile Systeme und somit als für den Prozessschutz besonders wertvoll bezeichnet werden.

Basierend auf den Ergebnissen der Sohlbettkartierung erfolgte zwischen 2006 und 2009 die habitat-spezifische Entnahme, taxonomische Bestimmung und Auswertung von 165 Proben des Makrozoobenthos nach dem PERLODES-Verfahren. Die 32 Mikrohabitattypen wurden sehr unterschiedlich durch das Makrozoobenthos besiedelt und selbst innerhalb einer Habitattypengruppe wurde eine große Variabilität nachgewiesen (Abb. 2).

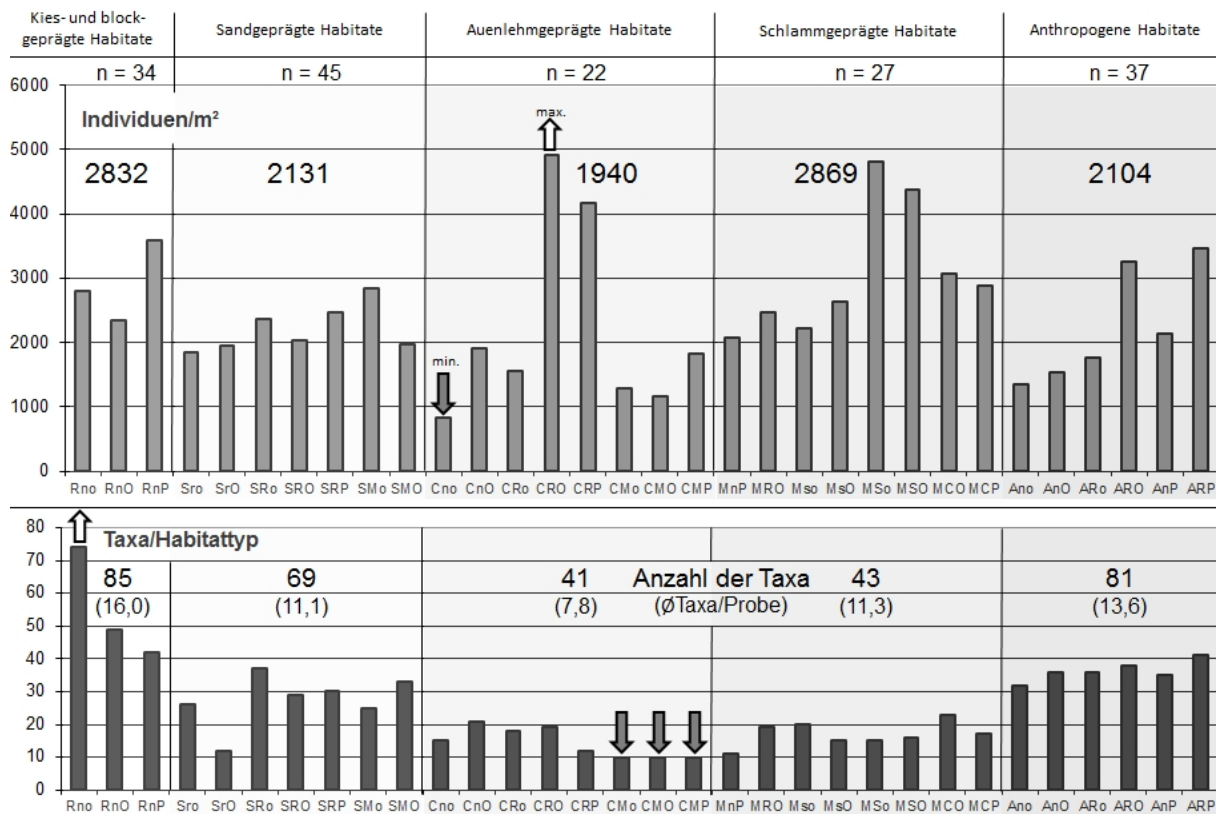


Abb. 2: Individuendichte und Taxa des Makrozoobenthos' in den Habitattypen und Habitattypengruppen

Insgesamt waren die Grobsubstrate (kies- und blockgeprägte Habitats sowie anthropogene Habitats) durch die größten Taxazahlen gekennzeichnet, während in den auenlehmgeprägten und den schlammgeprägten Habitats die geringsten Taxazahlen nachgewiesen wurden. Dies ist im Fall des Auenlehms Ausdruck des verringerten und schwer zugänglichen Interstitialraums während die Artenarmut in Gewässerbereichen mit einem hohen Anteil an organischem Schlamm durch den extrem niedrigen Sauerstoffgehalt erklärt werden kann.

Die extremen Bedingungen in den auenlehm- und schlammgeprägten Bereichen spiegeln sich auch in der Individuendichte wider. Beide Gruppen weisen Habitattypen mit sehr hohen Abundanzen (>4500 Ind./m²) bei sehr geringen Artenzahlen auf. Dieses Massenvorkommen einiger weniger Arten ist ein Indikator für eine problematische Gewässergüte.

Die Besiedelung der einzelnen Habitattypen durch die 118 nachgewiesenen Taxa erfolgte hochgradig spezialisiert. 81,4% aller Taxa wurden in weniger als einem Viertel der Habitattypen nachgewiesen und lediglich drei Taxa (*Hydrocarina* sp., *Micronecta minutissima* und *Tubifex* Gen. sp.) kamen stetig in allen Habitattypen vor. Als Hauptfaktoren für die Habitatwahl konnten die Substrattypen (Korngrößen), die Strömungsgeschwindigkeit, Wasserpflanzen (Makrophyten) und die Ufernähe identifiziert werden. Somit wirken sich die morphologischen Unterschiede zwischen dem Hauptlauf der Lahn und den renaturierten Seitenarmen direkt auf die Artenvielfalt des gesamten Gewässerökosystems

aus. 23,7% aller Taxa wurden ausschließlich in den Hauptlaufabschnitten nachgewiesen, während weitere 17,5% aller Taxa nur in den Seitenarmabschnitten vorkamen. Die faunistische Zusammensetzung der renaturierten Seitenarme spiegelt die geringere Wasserführung und die damit einhergehenden niedrigeren Sauerstoffkonzentrationen sehr deutlich wider. So lag der Anteil der EPT-Taxa (der prozentuale Anteil (Häufigkeitsklassen) der Eintagsfliegen, Steinfliegen und Köcherfliegen an der Gesamtf fauna) mit 36,4% hier niedriger als im Hauptlauf der Lahn (41,9%). Dieser Parameter ist jedoch einer der Core-Metrics für die Bewertung der ökologischen Zustandsklasse der Lahn im Sinne der EU-WRRL (Meier et al. 2006) und führt somit zu einer Verschlechterung des ökologischen Zustands des Gewässers durch die Renaturierungen. Da die durchgeführten Untersuchungen jedoch zeigten, dass die Renaturierungsmaßnahmen sowohl die morphologische und faunistische Vielfalt als auch die Dynamik der Lahn deutlich erhöht haben, muss die Bewertung des ökologischen Zustands nach der offiziellen Bewertungsmethodik in Frage gestellt werden. Ursächlich hierfür scheint das zugrunde liegende Leitbild des Fließgewässertyps 9.2 (Sommerhäuser und Pottgiesser 2005) zu sein, welches strömungsarme Seitenarme und andere Auengewässertypen nicht berücksichtigt und somit als Bewertungsreferenz für den Mittellauf der Lahn ungeeignet ist.

Literatur

- Dickhaut, W. (2005): Fließgewässerrenaturierung Heute – Forschung zu Effizienz und Umsetzungspraxis – *Abschlussbericht*. Hamburg.
- Groll, M. (2011): Beziehungen zwischen der Gewässermorphologie und dem Makrozoobenthos an renaturierten Abschnitten der Lahn. *Dissertation am Fachbereich Geographie der Philipps-Universität Marburg*.
- Groll, M. und Opp, C. (2007): Gewässerbettmorphologie und Habitate in einem renaturierten Abschnitt der Lahn - exemplarische Anwendung des TRiSHa-Verfahrens. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* **12/2007**, 369-376.
- Jähnig, S., Lorenz, A. und Hering, D. (2008): Wiederverzweigung von Flussabschnitten im Mittelgebirge: Hydromorphologie, Auenvegetation, Uferarthropoden, Makrozoobenthos. In: DGL (Hg.) *Ta-gungsbericht 2007* (Münster). Werder, 302-305.
- Johnson, R.K. und Hering, D. (2009): Response of taxonomic groups in streams to gradients in resource and habitat characteristics. In: *Journal of Applied Ecology* **46**, 175-186.
- Koenzen, U. (2008): Erfolgskontrolle von Maßnahmen zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern – Hinweise für gezielte Maßnahmen zur Kompensation von Strukturdefiziten unter Berücksichtigung der Strahlwirkung. In: DRL (Hg.): *Kompensation von Strukturdefiziten in Fließgewässern durch Strahlwirkung, Schriftenreihe des DRL* **81**. Meckenheim, 35-42.
- Lorenz, A. (2004): Mid-sized Mountain Streams – Typology, Assessment and Reliability of Sampling and Assessment Methods. *Dissertation an der Universität Duisburg-Essen*.

Meier, C., Haase, P., Rolaufts, P., Schindehütte, K., Schöll, F.; Sundermann, A. und Hering, D. (2006): Methodisches Handbuch Fließgewässerbewertung – Handbuch zur Untersuchung und Bewertung von Fließgewässern auf der Basis des Makrozoobenthos vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie – Stand Mai 2006. Essen.

Sommerhäuser, M. und Pottgiesser, T. (2005): Die Fließgewässertypen Deutschlands als Beitrag zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. In: Feld, C. K.; Rödiger, S.; Sommerhäuser, M. und Friedrich, G. (Hg.): Typologie, Bewertung, Management von Oberflächengewässern – Stand der Forschung zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie. *Limnologie aktuell* **11**. Stuttgart, 13-27.

Anschrift des Verfassers:

Michael Groll

Philipps-Universität Marburg

Fachbereich Geographie

Deutschhausstraße 10

D-35032 Marburg

Email: mgroll@gmx.net

Die Temperaturentwicklung von Fließgewässern bei Hoch- und Niedrigwasser am Beispiel des bayerischen Lechs – Eine Analyse anhand langjähriger Temperaturreihen ausgewählter Kraftwerke

Johannes Meir & Karl-Friedrich Wetzel

Institut für Geographie, Universität Augsburg

Einleitung und Themastellung

Die Folgen des Klimawandels und die Risiken, die bei der Betreibung von konventionellen Atomkraftwerken sowie der Lagerung der dabei anfallenden radioaktiven Abfälle entstehen, führen vielerorts zu der Forderung nach einem kompletten Umstieg auf die Energieerzeugung mittels erneuerbarer Energien. Um dies zu realisieren, soll auch die Wasserkraft weiter ausgebaut werden, was zu einer weiteren Verbauung der Flüsse und somit einer Beeinträchtigung lebenswerter und natürlicher Flusslandschaften führte. Ein passendes Beispiel hierfür ist der bayerische Lech mit seiner Kraftwerkstreppe (PFEUFFER 2010). Um einerseits die Wasserkraft weiter auszubauen und andererseits wertvolle Lebensräume am Fluss zu erhalten, ist eine enge Zusammenarbeit der Energieunternehmen und der Naturschutzverbände notwendig.

Ein Augenmerk gewässerökologischer Untersuchungen gilt den Gewässertemperaturen (REINARTZ 2007). Das thermische Regime eines Gewässers hat eine wichtige Indikatorwirkung für viele Lebensgemeinschaften und vor allem auch für bestimmte Fischarten in Flüssen.

Das Augenmerk dieser Arbeit liegt auf der Veränderung der Wassertemperaturen am Lech bei eher kurzfristigen witterungsinduzierten Ereignissen. Hierzu zählen zum einen Hochwasserphasen und zum anderen auffallend niederschlagsarme Perioden. Zusätzlich wurde eine 120-jährige Datenreihe der Messstelle am Hochablass Augsburg auf langjährige Veränderungen im Zusammenhang mit dem allgemeinen Klimawandel untersucht. Vor Beginn der Analyse wurden die Datensätze entsprechend SCHÖNWIESE (2006) statistisch überprüft und vereinzelt Lücken mittels Korrelations- und Regressionsanalyse ergänzt.

Einflussfaktoren der Wassertemperatur

Fließgewässer unterliegen vielen unterschiedlichen Einflüssen, die sich auf die jeweilige Temperatur des Flusswassers auswirken. Neben den natürlichen Faktoren sind vor allem die anthropogenen Faktoren immer wichtiger geworden. Die Wassertemperatur von Fließgewässern wird durch die drei Hauptfaktoren Hydrologie, Sonneneinstrahlung und Klima bestimmt (CAISSIE 2006). Unter hydrologischen Faktoren werden die Quelltemperatur, Grundwasserzuflüsse und einmündende Nebenflüsse

verstanden. In hohem Maß wird die Temperatur von der Sonneneinstrahlung beeinflusst, die je nach Breitengrad, Topographie, Ufervegetation und Flussform variiert. Unter den klimatischen Faktoren spielt nach WEBB et al. (2007) die Lufttemperatur die wichtigste Rolle, aber auch Bewölkungsgrad, Windverhältnisse sowie Niederschläge beeinflussen die Wassertemperatur.

Zu den anthropogenen Einflüssen zählt die Wasserentnahme durch Industrieunternehmen, Kraftwerke, Kläranlagen und landwirtschaftliche Betriebe und die anschließende Rückleitung häufig erwärmten Wassers (REINARTZ 2007). Außerdem wirken sich wasserbauliche Maßnahmen wie Wasserkraftwerke, Dämme, Wehre, Deiche und Flussbegradigungen sowie die Nutzungsform der umliegenden Landschaft auf die Wassertemperatur aus (STRAUCH 2011).

Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet wird von PFEUFFER (2010) im Detail vorgestellt. Der Ursprung des Lechs liegt im österreichischen Lechquellengebirge auf 1840 Metern Höhe. Er ist der drittgrößte bayerische Nebenfluss der Donau, in die er nach ca. 257 Kilometern bei Marxheim mündet. Der größte Nebenfluss des Lechs ist die Wertach, die bei Augsburg zufließt. Der Lech lässt sich in die Teilabschnitte Oberer, Mittlerer und Unterer Lech gliedern, die unterschiedliche Charakteristika aufweisen. Das eigentliche Untersuchungsgebiet bildet der Lech auf bayerischer Seite, wo er sich wegen der vielen Wasserkraftwerke und Stauseen zu einem Hybridgewässer mit einzelnen freien Fließstrecken und mehr oder weniger stehenden Gewässerverhältnissen in den Stauhaltungen entwickelt hat. Über 30 Kraftwerke bilden die Kraftwerkstreppe des bayerischen Lechs.

Dieser Studie liegen langjährige Temperaturdaten zu Grunde, die dankenswerterweise von der E.ON Wasserkraft GmbH, der Bayerischen Elektrizitätswerke GmbH BEW, der Allgäuer Überlandwerk GmbH sowie dem Bayerischen Landesamt und den Stadtwerken Augsburg zur Verfügung gestellt wurden. Die Messstationen befanden sich dabei am Kraftwerk Horn(Füssen), am Kraftwerk 01 (Roßhaupten), am Kraftwerk 07 (Finsterau), am Kraftwerk 15 (Landsberg Lech), am Kraftwerk 18 (Kaufering), am Kraftwerk 23 (Merching), am Hochablasswehr in Augsburg und am Kraftwerk Ellgau. Die Klimadaten stammen vom Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg des DWD.

Beobachtungen und Ergebnisse

Hinsichtlich der Phasen mit erhöhtem Abfluss wurden die Hochwasser im August 1970, im Mai 1999, im August 2002 und im August 2005 detaillierter untersucht. Bei einem Hochwasserereignis am Lech kommt es vor allem während des Sommerhalbjahres zu einer Abnahme der Wassertemperatur und einer erneuten Erwärmung nach Durchlaufen der Hochwasserwelle. Allerdings kann nicht eindeutig geklärt werden, ob der erhöhte Abfluss, einsetzende Niederschläge, abnehmende Lufttemperaturen oder geringere Sonneneinstrahlung wegen des hohen Bewölkungsgrades während der Schlechtwetter-

lagen die Ursache ist. Vermutlich führt die gesamte Wetterlage zu diesem Effekt. Des Weiteren nähern sich die Temperaturen der unterschiedlichen Messstellen während des Hochwassers einander an, so dass der Unterschied zwischen den niedrigeren Temperaturen flussaufwärts und den höheren Temperaturen flussabwärts geringer wird. Der anschließende Temperaturanstieg findet an den tiefer gelegenen Kraftwerken teils leicht verspätet statt.

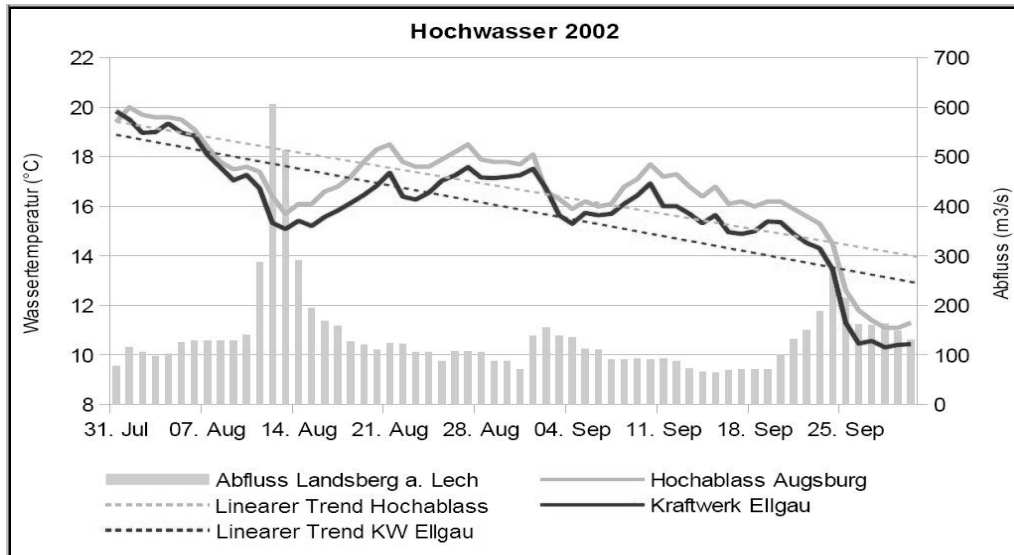


Abb. 1: Temperaturverlauf des Lechs an den Messstellen Hochablass und Werk Ellgau

Abb. 1 zeigt, dass das flussabwärts gelegene Werk Ellgau im Sommer häufig etwas niedrigere Temperaturen als die Messstellen Hochablass und Werk 23 verzeichnet, was wohl unter anderem an den Einflüssen der Stadt Augsburg und der Kanalisierung des Lechs bei Gersthofen liegt. Die Temperaturverhältnisse während der niederschlagsarmen Perioden mit geringen Abflussmengen im Sommer wurden anhand der beiden Trockenjahre 1976 und 2003 näher untersucht. Das Lechwasser erreicht dabei sehr hohe Temperaturen, die im Normalfall kurz vor dem Wetterumschwung ihre Höchstwerte erzielen. Neben einem stetigen Temperaturanstieg über den gesamten Zeitraum der Trockenperiode, findet vor allem flussabwärts eine intensivere Erwärmung statt.

Die Auswertung der langjährigen Zeitreihe hat insgesamt einen Anstieg der Jahresmitteltemperaturen von 1891 bis zum Jahr 2006 ergeben. Während die Mittelwerte des Winterquartals nur leicht angestiegen sind, haben sich die mittleren Temperaturen der Sommerquartale und auch die Jahreshöchstwerte deutlich erhöht. Dies führt, wie in Abb. 2 zu sehen ist, auch zu einer intensiven Erhöhung von Überschreitungstagen bestimmter Schwellenwerte, was vor allem für die Fließgewässerökologie von großer Bedeutung ist (REINARTZ 2007).

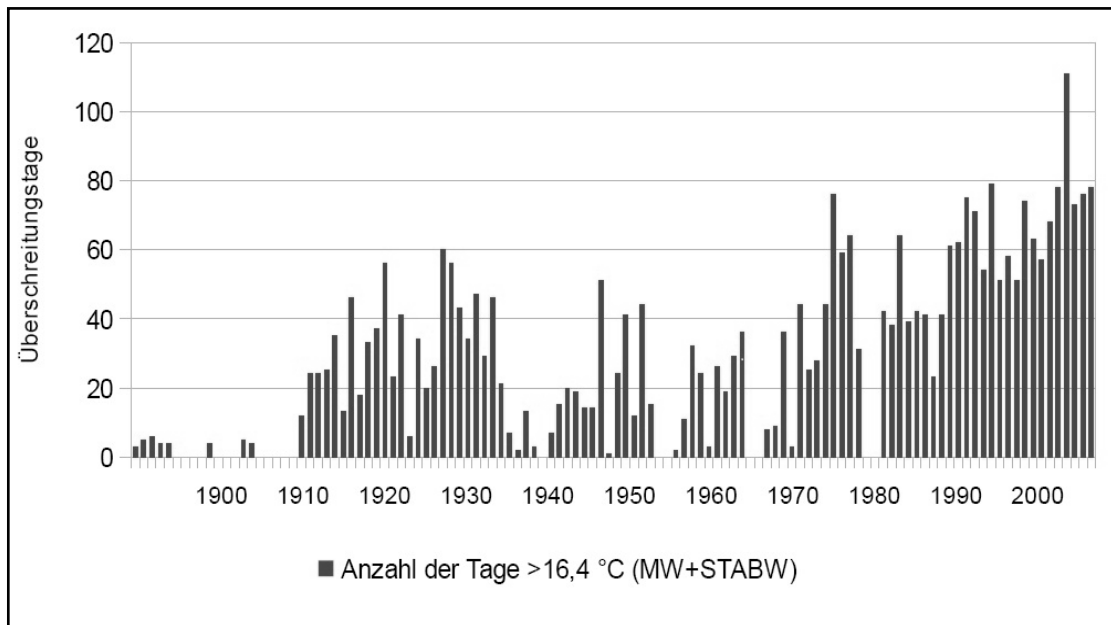


Abb. 2: Zunahme der sommerlichen Überschreitungstage des Schwellenwertes (Mittelwert zzgl. einfacher Standardabweichung der gesamten Datenreihe)

Der Analyse der Temperaturverhältnisse von Fließgewässern sollte in Zukunft noch mehr Beachtung geschenkt werden, um verlässliche Aussagen über die Einflüsse von Klimawandel und der Wasserkraftwerke einerseits und die ökologischen Auswirkungen andererseits treffen zu können.

Literatur

Caissie, D. (2006). The thermal regime of rivers: a review, *Freshwater Biology* **51**:1389 – 1406

Pfeuffer, E. (2010): Der Lech, Augsburg, 184 S.

Reinartz, R. (2007): Auswirkungen der Gewässererwärmung auf die Physiologie und Ökologie der Süßwasserfische Bayerns . Münster, 122 S.

Schönwiese, C.-D. (2006): Praktische Statistik, 4. Auflage, Stuttgart, 302 S.

Strauch, U. (2011): Wassertemperaturbedingte Leistungseinschränkungen konventioneller thermischer Kraftwerke in Deutschland und die Entwicklung rezenter und zukünftiger Flusswassertemperaturen im Kontext des Klimawandels. *Würzburger Geographische Arbeiten* **106**. Würzburg, 223 S.

Webb, B. W. et al. (2007): Recent advances in stream and river temperature research, *Hydrological Processes* **22**:902 - 918

Anschrift des Verfassers:

Johannes Meir

Georgenstraße 2, 86152 Augsburg

Email: jmeir@web.de

Das thermische Verhalten der Wertach im Bereich von Großaitingen bis Göggingen auf der Grundlage von Feldmessungen in der Zeit von November 2011 bis August 2012

Manuel Mack, H. Engelsing & K.-F. Wetzel

Institut für Geographie, Universität Augsburg

Aufgabenstellung

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die thermische Beeinflussung des Voralpenflusses Wertach durch zwei Stauhaltungsvarianten wenige Kilometer vor dessen Mündung in den Lech herauszuarbeiten. Dort betreibt die Bayerischen Elektrizitätswerke GmbH (BEW) zwei Wasserkraftwerke, die Teil einer fünfstufigen Kraftwerkstreppe sind. Dieser Abschnitt wurde deshalb ausgewählt, da die Wertach hier auf kurzer Distanz unterschiedliche Fließverhalten aufweist, welche sich zum einen durch die Stauwirkungen der Absperrbauwerke, zum anderen durch bereits vorgenommene Renaturierungsmaßnahmen ergeben. Somit besteht die Möglichkeit, die Temperaturen direkt nach den Stauhaltungen mit denen eines nahezu natürlich fließenden Gewässerabschnittes zu vergleichen. Hinzu kommt, dass sich die entsprechenden Stauhaltungen auch in ihrer Gewässermorphologie (Stauschlauch bzw. Stausee) unterscheiden und daher auch Einflüsse unterschiedlicher Stauhaltungsformen auf die Wassertemperaturen festgestellt werden sollen.

Theorie

Einen entscheidenden Einfluss auf den Wärmehaushalt bzw. die Wassertemperaturen können wasserbauliche Maßnahmen wie beispielsweise Dämme, Wehre, Wasserkraftwerke, Flussbegradigungen und Deiche mit sich bringen. Inwieweit sich diese allerdings auf den Wärmehaushalt auswirken, ist von mehreren Faktoren - wie veränderter Abfluss, Retentionszeit¹, Wassertiefe, Temperaturschichtung und Temperaturgradient - abhängig. Nach STRAUCH (2012, S. 25) haben vorangegangene Untersuchungen gezeigt, dass Dämme häufig die sommerlichen Höchsttemperaturen gesenkt und die winterlichen Minimaltemperaturen erhöht haben. Weiterhin stellte man eine Verzögerung der Temperaturab- bzw. -zunahme im Jahresverlauf im Unterwasser von Staudämmen fest, so dass sich die jährlichen Höchsttemperaturen in den Herbst verschoben. Auch die Schwankungen im Tagesverlauf können durch Stauhaltung vor allem in den Übergangsjahreszeiten gemindert werden. Durch Flussbegradigungen oder Deichbau zum Hochwasserschutz kann der Grundwasserzufluss in den Vorfluter gestört

¹ *mittlere Aufenthaltszeit des Wassers in einem Gewässerabschnitt* (Strauch 2010, S. 25)

oder unterbrochen werden. In der Folge spielt das relativ konstant temperierte Grundwasser im Vergleich zu den atmosphärischen Einflussgrößen entweder keine oder nur noch eine untergeordnete Rolle für den Wärmehaushalt des Gewässers (vgl. STRAUCH 2010, S. 25; MANIAK 2010, S. 433ff).

Methodik

Während der elfmonatigen Datenerhebung kamen mehrere so genannte Temperaturlogger zum Einsatz. Um der Aufgabenstellung gerecht zu werden und um möglichst aussagekräftige Temperaturdaten zu erhalten, stellte sich die Frage nach der sinnvollen Platzierung der Geräte in der Wertach. Der Ausbau der Messstellen erfolgte dabei schrittweise und ist als ein Prozess anzusehen, welcher in der Wertach seinen Anfang nahm. Um hierbei den Überblick zu behalten, wurden die Messstellen von Süd nach Nord in Fließrichtung durchnummeriert. Aufgrund der Tatsache, dass sich die Messstellenanzahl im Laufe der Datenerhebung vergrößerte, musste auch die Messstellenummerierung schrittweise angepasst werden.

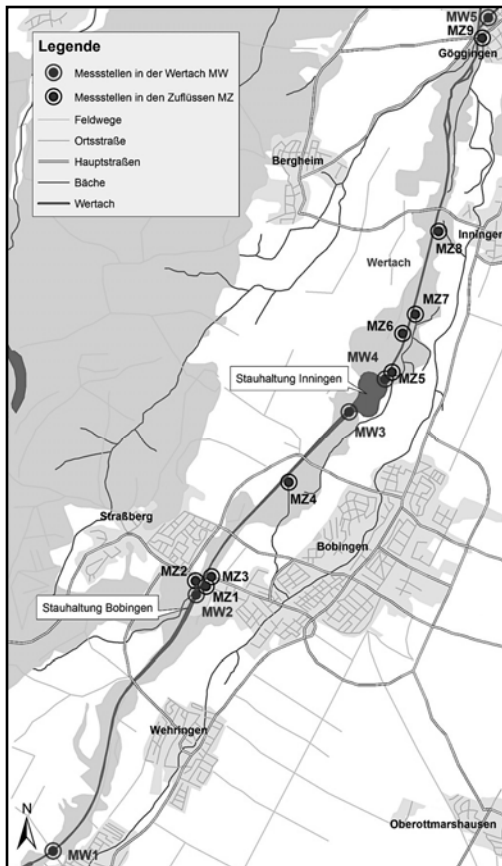


Abb. 1: Lage der Messstellen an Zuflüssen und in der Wertach (eigene Darstellung).

Abb. 1 verdeutlicht, dass direkt im Unterwasser der beiden Stauhaltungen Messgeräte (MW2 + MW3) in die Wertach eingebracht wurden, um die Temperaturen in 15-minütiger Auflösung aufzuzeichnen. Diese beiden Messstellen dienten als Basis des weitergehenden Messprogramms, da nach ihnen die Positionierung der anderen Messstellen ausgerichtet wurde. Hierbei begrenzen die Messstellen MW1 und MW5 das Untersuchungsgebiet in südlicher bzw. nördlicher Richtung. Am südlichsten Messpunkt (MW1) werden die Wassertemperaturen vor Eintritt in das Stauhaltungssystem registriert. Am nördlichsten Messpunkt (MW5) können zusätzlich die Auswirkungen der Renaturierungsstrecke von Wertach Vital I auf die Wassertemperaturen erfasst werden. Somit lässt sich abschnittsweise von Süd nach Nord anhand ausgewählter thermischer Parameter (z.B. Tagesmaxima und -minima, tägliche

Temperaturamplitude, etc.) quantitativ feststellen, in wie weit die Wassertemperaturen im Untersuchungszeitraum durch die Stauhaltungen Bobingen und Inningen oder den Abschnitt Wertach Vital I beeinflusst werden. Darüber hinaus wurden an den Zuflüssen Stichtagsmessungen von Temperatur und Abfluss durchgeführt, um mit Hilfe einer Mischungsformel den grundsätzlichen thermischen Einfluss der einzelnen Zuflüsse auf die Wertach zu bestimmen.

In Abb. 1 nicht enthalten sind die Messstellen in den Stauhaltungen. Insgesamt wurden hier 24 Temperaturlogger an 8 Messstellen eingesetzt und jeweils 30 cm unter der Wasseroberfläche bzw. über der Sohle und darüber hinaus in der jeweiligen mittleren Tiefe die Temperaturen registriert. Auf Basis dieser Daten lassen sich die thermischen Verhältnisse in den Stauhaltungen charakterisieren und Interpretationen der Temperaturdaten im Unterwasser der jeweiligen Stauhaltung verbessern.

Ergebnis

Wertach und Stauhaltungen: Anhand der Temperaturdaten wird deutlich, dass im Bereich der Stauhaltungen die Tagesgänge der Temperatur im Vergleich zum Fließabschnitt Wertach Vital I weniger stark ausgeprägt sind und die Tagesmaxima aber auch die Tagesminima vergleichsweise spät erreicht werden. Die Stauhaltungen reagieren also auf die atmosphärischen Einflüsse (Globalstrahlung, Lufttemperatur) deutlich langsamer. Dies kann durch das schlechtere Oberflächen-Volumen-Verhältnis der Stauhaltungen erklärt werden, welches wiederum in Verbindung mit der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Wasser der Grund für eine deutliche thermische Schichtung (bei Normalabfluss) in beiden Stauhaltungen ist. Diese thermische Schichtung wird durch die Daten der dort platzierten Logger bestätigt. Die schlechten Wärmeleiteigenschaften von Wasser spiegeln sich auch in den vertikalen Temperaturprofilen der Stauhaltungen wider, da die Tagesmaxima bzw. -minima in tieferen Seebereichen im Vergleich zu den Tagesmaxima bzw. -minima der oberflächennahen Wasserschichten deutlich verzögert erreicht werden.

Da sich der Betriebswassereinfluss der Turbinen am Absperrbauwerk beinahe über die komplette Seetiefe erstreckt (vertikale Ausdehnung 6.50 m) und somit ein vertikaler Wassermix über die Turbinen läuft, verbessern die Temperaturdaten aus den Stauseen die Interpretation der thermischen Verhältnisse im Unterwasser der Stauhaltungen erheblich.

Im direkten Vergleich beider Stauhaltungsvarianten können ebenfalls Unterschiede festgestellt werden. So weist die Stauhaltung Bobingen aufgrund des besseren Oberflächen-Volumen-Verhältnisses größere tägliche Temperaturamplituden mit frühzeitigeren Temperaturmaxima bzw. -minima auf. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Temperaturamplituden durch die Stauhaltungen grundsätzlich gedämpft werden. Daher zeigt der Abschnitt Wertach Vital I die höheren Temperaturen im Tages- und Jahresverlauf, wobei in den Sommermonaten bei Niedrigwasser aus gewässerökologischer Sicht (vgl. REINARTZ, 2007, S. 39ff) Probleme entstehen können.

In Tab. 1 sind exemplarisch für den Monat August die wichtigsten Temperaturwerte der Messstellen MW2 + MW4 (jeweils Unterwasser der Stauhaltungen) und der Messstelle MW5 (nach Wertach Vital I) dargestellt.

Tab. 1: Ausgewählte Temperaturparameter für den Monat August 2012 (nach eigenen Daten)

August	MW2	MW4	MW5
mittlere Wassertemperatur	19,49 °C	19,70 °C	19,60 °C
Monatsmaximum	21,59 °C	21,80 °C	23,50 °C
Monatsminimum	16,84 °C	17,32 °C	17,09 °C
über den Monat gemittelte Tagesmaxima	19,92 °C	20,09 °C	21,27 °C
über den Monat gemittelte Tagesminima	19,10 °C	19,33 °C	18,55 °C

Zuflüsse: Die Zuflüsse in die Wertach können in den Sommermonaten aus gewässerökologischer Sicht hingegen als "positiv" bewertet werden, da sie rechnerisch (unter Annahme einer kompletten Durchmischung) einen temperaturerniedrigenden Effekt von einigen wenigen Zehntelgrad mit sich bringen (abhängig von der Eigentemperatur und der Abflussmenge). Eine genaue Bilanzierung der thermischen Einflüsse der Zuflüsse lässt sich allerdings mit vertretbarem Aufwand nicht erreichen.

Literaturliste

- Maniak U. (2010⁶): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. 686 S.
 Reinertz R. (2007): Auswirkungen der Gewässererwärmung auf die Physiologie und Ökologie der Süßwasserfische Bayerns. Literaturstudie für das Landesamt für Umwelt in Bayern. 122 S.
 Strauch U. (2011): Wassertemperaturbedingte Leistungseinschränkung konventioneller thermischer Kraftwerke in Deutschland und die Entwicklung rezenter und zukünftiger Flusswassertemperaturen im Kontext des Klimawandels. - *Würzburger Geographische Arbeiten* **106**, 223 S.

Anschrift des Verfassers:

Manuel Mack

86159 Augsburg

Email: maggie-mack@gmx.de

Rekonstruktion von Scheitelabflüssen historischer Hochwässer der Ahr

Thomas Roggenkamp & Jürgen Herget

Geographisches Institut, Universität Bonn

Die Zeitreihen rezenter Pegelmessstationen sind meist zu kurz, um statistisch belastbare Aussagen zu möglichen Abflussgrößen extremer Hochwasser mit einer geringen Wiederkehrwahrscheinlichkeit tätigen zu können. Lassen sich die Scheitelabflüsse historischer Hochwässer rekonstruieren, werden die vorhandenen Messreihen verlängert und erhalten eine größere statistische Aussagekraft. Um historische Hochwässer quantitativ rekonstruieren zu können, werden Informationen zu jeweiligen Höchstwasserständen benötigt.

Für das Gebiet der Ahr, einem linken Nebenfluss des Mittelrheins, liegen Wasserstandsanzeiger aus historischen Zeiten vor. Dabei handelt es sich um Textquellen, Hochwassermarken sowie historische Fotografien. Die Wasserstandsanzeiger müssen jedoch einer kritischen Prüfung unterzogen werden, da insbesondere historische Fotografien des Ahr-Hochwassers vom 13. Juni 1910 teilweise nachträglich bearbeitet wurden und somit einen verfälschten Wasserstand anzeigen. Auch Textquellen können Ereignisse aufgrund der subjektiven Wahrnehmung unkorrekt wiedergeben.

Die ältesten Beschreibungen von Hochwässern im Ahrtal datieren auf das Jahr 1348, allerdings liegen erst seit 1804 Beschreibungen vor, welche für eine Quantifizierung historischer Wasserstände ausreichend genau sind. Anhand der vorliegenden Quellen lassen sich für vier Standorte die Wasserstände mehrerer Hochwässer rekonstruieren (Abb.1).

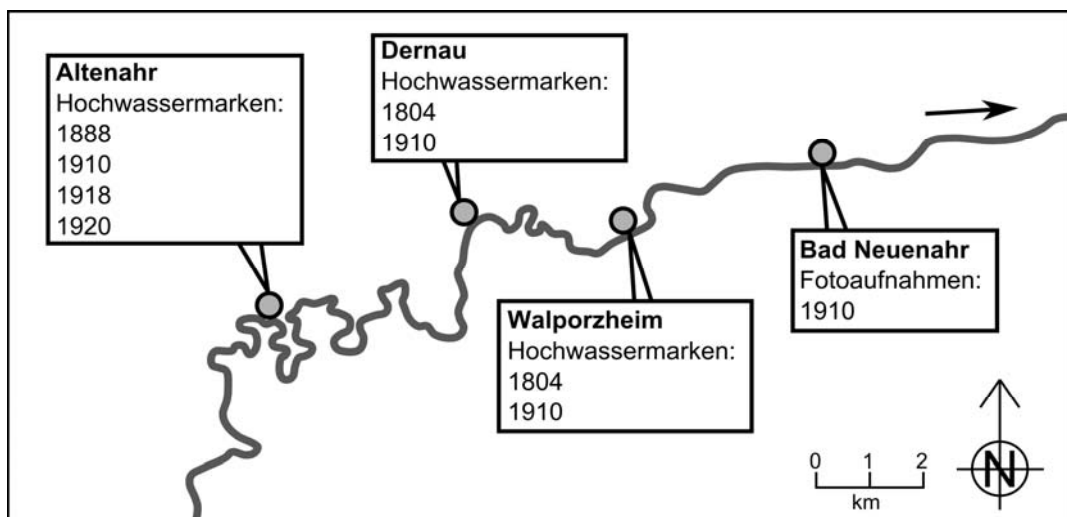


Abb.1: Lage der Untersuchungsräume und die jeweiligen historischen Hochwasser, welche rekonstruiert werden konnten (eigene Darstellung).

Die Fließgeschwindigkeit wird über die Manning-Formel abgeschätzt. Aus der Rekonstruktion der Topographie lassen sich die durchströmte Fläche sowie der Hydraulische Radius bestimmen. Das Gefälle im Untersuchungszeitraum wird als vergleichbar zum Heutigen angenommen. Um die hydraulische Rauigkeit bestimmen zu können, wird die Beschaffenheit der überspülten Flächen rekonstruiert. Da einzelne Abschnitte der überspülten Fläche in ihrer Beschaffenheit voneinander abweichen, wird die Rauigkeit für jeden Abschnitt gesondert bestimmt. Als Quellenmaterial dienen hierfür historisches Kartenmaterial, Brückenzeichnungen und Fotografien.

Aus den rekonstruierten Parametern lassen sich die Scheitelabflüsse von fünf historischen Hochwasserereignissen rekonstruieren. Dabei zeigt sich, dass sich in historischer Zeit Hochwasser ereignet haben, welche die Scheitelabflüsse rezenter Hochwasser deutlich übersteigen (Abb. 2).

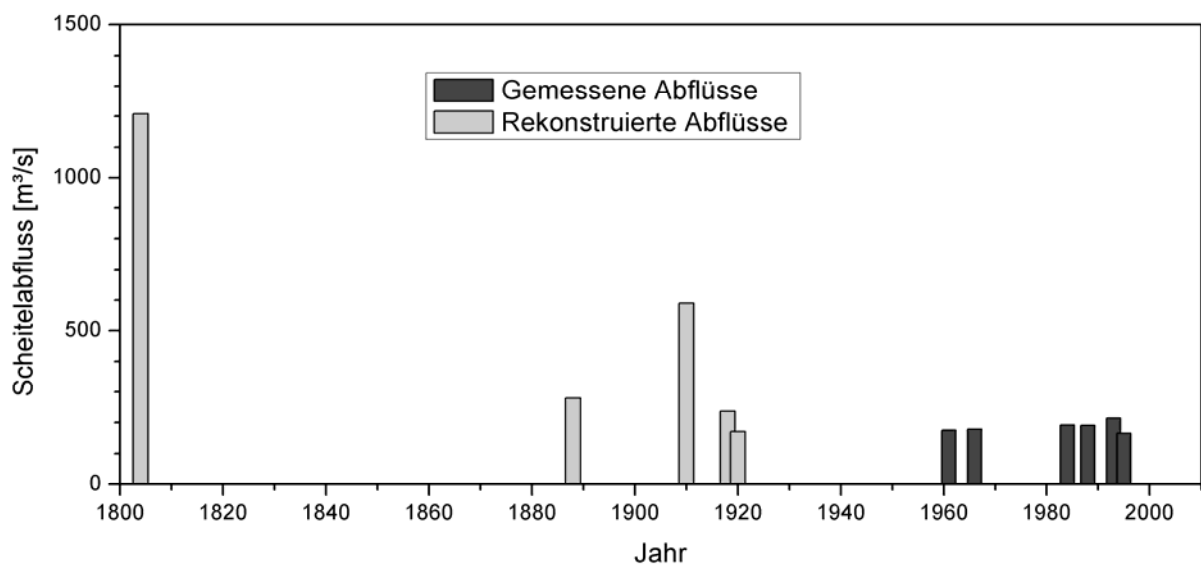


Abb. 2: Rekonstruierte Scheitelabflüsse im Vergleich zu den höchsten rezent gemessenen Abflüssen (eigene Darstellung).

Während 1993 der höchstgemessene Abfluss von $214\text{m}^3/\text{s}$ aufgezeichnet wurde, weisen beispielsweise die Hochwässer von 1804 und 1910 Scheitelabflüsse von $1200\text{m}^3/\text{s}$ und $585\text{m}^3/\text{s}$ auf.

Das Hochwasser von 1910 stellt eine zusätzliche Besonderheit dar. Es wurde durch zahlreiche Fotografien dokumentiert, welche unterschiedliche Wasserstände zeigen. Auf mehreren dieser Aufnahmen sind zusätzlich Straßenuhren zu sehen, welche die jeweiligen Wasserstände mit einer genauen Uhrzeit in Verbindung setzen (Abb. 3). Aus den daraus rekonstruierten Abflüssen lässt sich eine Abflussganglinie mit stündlicher Auflösung rekonstruieren. Die anhand der drei Fotografien ermittelten Abflüsse werden ergänzt durch den rekonstruierten Scheitelabfluss für diesen Untersuchungsraum, wobei sich der Zeitpunkt aus schriftlichen Quellen ableiten lässt.



Abb. 3: Historische Photographien mit Uhrzeitangaben zu den jeweiligen Wasserständen und die daraus rekonstruierten Abflusshöhen (Eigene Darstellung).

Die Unschärfe des Ansatzes wird durch die entsprechende Berechnung rezenter Hochwasserereignisse überprüft. Dabei werden die Hochwasserereignisse vom 30. Mai 1984 und vom 16. März 1988 anhand von Fotoaufnahmen der Höchstwasserstände rekonstruiert, wobei sich eine geringfügige Unterschätzung von 5,2% bzw. 7,4% im Vergleich zu vorliegenden Messwerten zeigt. Damit kann der methodische Ansatz als erfolgreich und die Rekonstruktionsergebnisse der historischen Hochwässer als plausibel eingestuft werden.

Literatur

- Herget, J. (2012): Am Anfang war die Sintflut: Hochwasserkatastrophen in der Geschichte. Darmstadt.
- Herget, J. u Meurs, H. (2010): Reconstructing peak discharges of historic flood levels in the city of Cologne, Germany. *Global and Planetary Change* **70**:108-116.

Anschrift des Verfassers:

Thomas Roggenkamp
 Geographisches Institut
 Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
 Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn
 Email: troggen@uni-bonn.de

Schwall-Versuchsanlage HyTEC: Drift und Strandung von juvenilen Äschen infolge künstlicher Abflussschwankungen

Bernhard Zeiringer, N. Fohler, S. Auer, F. Greimel, M. Jungwirth & S. Schmutz

Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Universität für Bodenkultur Wien

Juvenile Äschen (*Thymallus thymallus* L.) unterschiedlicher Lebensstadien (Larven mit einer Körperlänge von 15-18mm und Juvenilstadien mit 30-40mm) wurden jeweils in zwei morphologisch idente Fließrinnen besetzt, wobei in einer Rinne der Abfluss konstant gehalten wurde (Kontrollrinne) und in der anderen Rinne der Abfluss verändert wurde (Testrinne). Die Abflussveränderungen in der Testrinne simulierten jeweils ein Einzelschwallereignis mit unterschiedlichen An- und Abstiegsgeschwindigkeiten. Jedes Experiment wurde zumindest dreimal wiederholt. In beiden Rinnen wurden Äschenlarven verdriftet (aktiv und passiv), jedoch war die Driftrate der Larven in der Testrinne sechsmal höher infolge des Schwallabflusses. Nach einem Einzelschwallereignis wurde eine deutlich reduzierte Überlebensrate der Larven verglichen mit der Kontrollrinne festgestellt. Niedrige Abstiegsgeschwindigkeiten der Schwallwelle führten zu signifikant verringertem Strandungsrisiko der Äschenlarven. Drift und Strandung von juvenilen Äschen waren deutlich geringer bei Schwall, verglichen mit den Larven. Die Driftraten der juvenilen Äschen waren unabhängig von den unterschiedlichen Anstiegsgeschwindigkeiten, jedoch war das Strandungsrisiko bei niedrigen Abstiegsgeschwindigkeiten deutlich verringert. Kleinräumige Buchtstrukturen nahe der Schotterbank erhöhten die Überlebensraten, verringerten die Drift und das Strandungsrisiko.

Anschrift des Verfassers:

Bernhard Zeiringer

Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement

Universität für Bodenkultur

Max-Emanuel-Straße 17, 1180 Wien

Email: bernhard.zeiringer@boku.ac.at

Hydrologische Klassifizierung und Bewertung von schwallbedingten Abflussschwankungen in Österreich

Franz Greimel, Zeiringer, B., Höller, N., Fuhrmann, M., Melcher, A. & Schmutz, S.

Universität für Bodenkultur, Wien

Rund 60 % der österreichischen Stromerzeugung basieren auf Wasserkraftnutzung, wobei etwa 70 % des Gesamtenergiepotentials der österreichischen Fließgewässer genutzt werden. Abflussschwankungen durch schwallerzeugende Kraftwerke sind in Österreich eine der größten Eingriffe in die Fließgewässerökosysteme. Insgesamt sind österreichweit über 800 km Gewässerstrecken und mehr als 40 Alpenflüsse von Schwall beeinflusst, wobei der Großteil der betroffenen Gewässerstrecken der Äschenregion zuzuordnen ist. Die erhöhte Anzahl und Intensität von Abflussschwankungen im Vergleich zu Gewässern mit natürlicher Abflusscharakteristik kann durch Interpretation von Pegelganglinien quantifiziert werden.

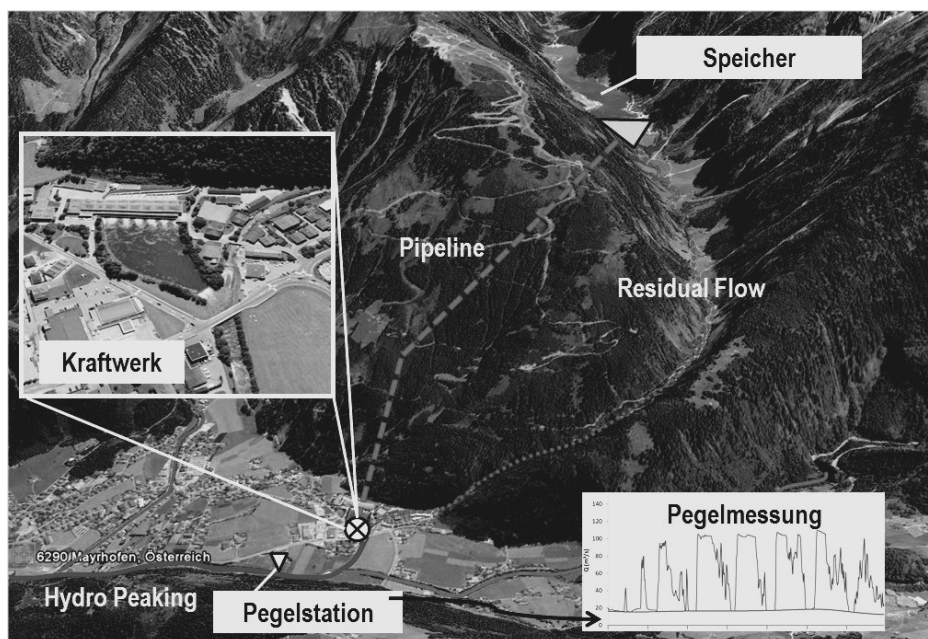


Abb. 1: Schwallkraftwerk Mayrhofen – Ziller

Ziele dieser Arbeit sind (1) die durch Schwall bedingten Abflussschwankungen mit natürlichen Fluktuationen zu vergleichen bzw. zu unterscheiden und (2) schwallbedingte Abflussschwankungen österreichweit zu kategorisieren und zu bewerten. Basierend auf einem Auslesealgorithmus wurde eine Methode entwickelt, um hydrologische Parameter für sehr große Zeitspannen und einer großen Anzahl von Pegelstationen zu erheben. Im Zuge dieser Arbeit wurden über 100 Pegel mit einer zeitlichen Auflösung von einer Abflussmessung in 15 Minuten und einer Zeitspanne von 1976 bis 2008 zur Klassifizierung und Bewertung der Abflussschwankungen herangezogen. Für jeden einzelnen zusam-

menhängenden Abflussanstieg bzw. Abflussabstieg werden die Parameter Abflusswert am Beginn/Ende des Ereignisses, maximale und mittlere An- und Abstiegsgeschwindigkeit, Dauer, Lichtverhältnisse sowie Uhrzeit und Datum des Ereignisses ermittelt. Die verschiedenen Kennzahlen der Abflussschwankungen (vgl. Abb. 2) können statistisch ausgewertet und dargestellt werden. Des Weiteren wird der Sunkabfluss ohne Schwallwellen modelliert, wodurch der Einfluss der Gebirgsspeicher auf die Ganglinien quantifiziert werden kann. Durch die Anwendung dieser Methodik an Pegelstationen mit unbeeinflussten hydrologischen Bedingungen und Pegel in schwallbeeinflussten Gewässern, können natürliche Abflussschwankungen ausgelöst durch Niederschlagsereignisse oder Schnee- und Gletscherschmelzen mit schwallbedingten Abflussschwankungen verglichen werden.

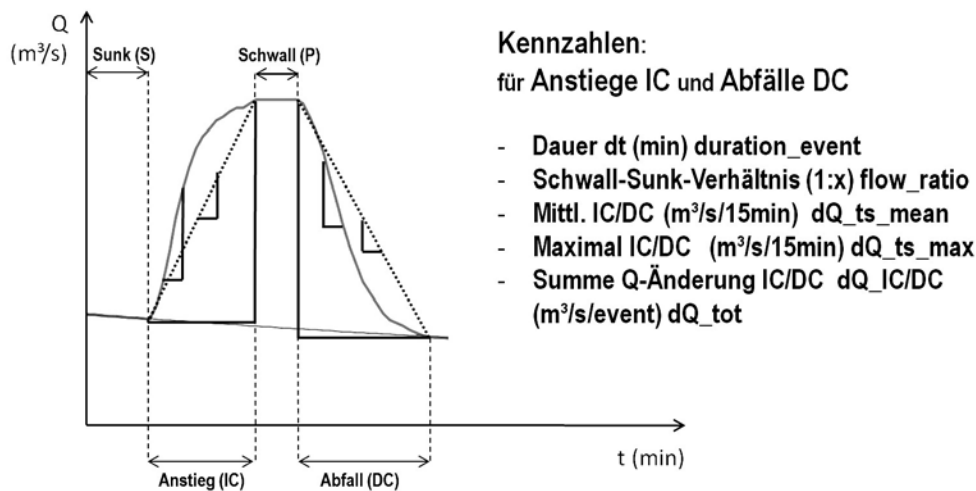


Abb. 2: Ermittelte Kennzahlen

Die schwallbeeinflussten Gewässer in Österreich weisen einen mittleren Abfluss von etwa $5\text{-}150 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Die maximal durch Schwall bedingte Wellenhöhe beträgt etwa $110 \text{ m}^3/\text{s}$, welche teilweise innerhalb von 15 Minuten ans Gewässer abgegeben werden. Die Anzahl von durch Schwall ausgelösten Abflussschwankungen beträgt bei stark schwallbeeinflussten Pegelstationen jeweils über 1000 An- und Abstiege pro Jahr, wobei teilweise Sunk-Schwall-Verhältnisse von $1:15$ jahreszeitbedingt regelmäßig überschritten werden. Natürliche Ereignisse mit vergleichbarer Intensität treten im Mittel etwa zehnmal pro Jahr auf. Die Geschwindigkeit von Schwallereignissen ist im Allgemeinen wesentlich höher als die Geschwindigkeit natürlicher Ereignisse (abhängig von der Entfernung Turbine – Pegel). Die Ergebnisse sollen ermöglichen, die Effekte von schwallbedingten Abflussschwankungen auf die Biozönose im Detail untersuchen und besser verstehen zu können.

Anschrift des Verfassers:

Franz Greimel

Institut für Hydrobiologie und Gewässermanagement, Universität für Bodenkultur

Max-Emanuel-Straße 17, 1180 Wien

Email: franz.greimel@boku.ac.at

Dimensionen und Implikationen des rasanten Wasserkraftausbaus in Yunnan, SW-China

Thomas Hennig

Fachbereich Geographie, Philipps-Universität Marburg

1. Einleitung

Um Chinas beeindruckendes Wirtschaftswachstum langfristig zu sichern baut das Land den Energiesektor in starkem Maße aus und besitzt weltweit den mit Abstand schnellst wachsenden Markt zur Erzeugung elektrischer Energie. China setzt dabei zunehmend auf regenerative Energien, wobei Hydroenergie an vorderster Stelle agiert. Allein Chinas installierte Kapazität aus Wasserkraft beträgt derzeit ca. 230 GW und ist damit deutlich größer als die gesamte installierte Kraftwerkskapazität Deutschlands, Österreichs und der Schweiz zusammen.

In diesen Planungen spielt die südwestliche Provinz Yunnan, die bezüglich ihrer Bio-, Geo- als auch ethnischen Diversität innerhalb Chinas eine herausragende Stelle einnimmt, eine Schlüsselrolle. In wenigen Jahren wird Yunnan mehr Wasserkraft installiert haben, als Länder wie die USA oder Kanada. Die Bedeutung Yunnans resultiert aus dem naturräumlich bedingten hohen Potential zum Hydroenergieausbau. Dieser Ausbau erfolgt primär durch prestigeträchtige und meist umstrittene Großstaudämme. Andererseits basiert diese Entwicklung auch auf einer enormen Anzahl von Kleinkraftwerken, zu denen in China allerdings Kraftwerke bis hin zu einer Kapazität von 50 MW gerechnet werden. Dadurch zählt Yunnan zu den weltweit progressivsten Regionen im Ausbau von Kleinkraftwerken. Diese Entwicklung macht Yunnan zukünftig zu einem der wichtigsten Stromerzeuger Chinas, wobei die Hauptliefergebiete primär die ökonomischen Zentren der Küstenprovinzen in Süd- und Ostchina sind.

Trotz der großen Relevanz des Themas gibt es nur wenige geographische Überblicksartikel zum Hydroenergieausbau in China (vgl. Huang & Yan 2009, Zhao et al. 2012). In Bezug auf Yunnan existieren bisher nur wenige regionale Studien (Dore & Xiaogang 2006, Hennig 2009), meist mit dem Fokus auf Großprojekte, v.a. am Mekong (vgl. Magee 2006; Grumbine & Xu 2011). Zu den Implikationen des Kleinwasserkraftausbaus in China existieren bisher keine empirischen Studien.

2. Hydroenergieausbau in Yunnan

SW-China, mit seinem großen Übergangsbereich vom tibetischen Plateau zu den großen Küstenebenen, besitzt das mit weitem Abstand größte Potential zum Hydroenergieausbau in China. In einer ersten Phase wurden v.a. der obere Yangtze sowie die Flüsse Wu und Hongshui, meist über Kaska-

denprojekte, zur Hydroenergieerzeugung ausgebaut. In diese Phase fällt auch der Bau des Dreischluchtendammes. Seit 2001 baut China v.a. im Kontext des ambitionierten Programms zur Erschließung der westlichen Provinzen, auch entferntere Flüsse in den Provinzen Szechuan (v.a. Flüsse Dadu & Yalong) und Yunnan (v.a. Flüsse Jinsha/Oberlauf des Yangtze, Lancang/Mekong und Nu/Salween), als sogenannte ‚hydropower bases‘ strategisch aus. Seit 2011 gibt es Ansätze den Yarlung Tsangpo in Tibet auszubauen. Die genannten Flüsse haben ein Ausbaupotential von zwischen 20.000 und fast 60.000 MW und werden als Kaskadensysteme ausgebaut.

Im Gegensatz zum Ausbau des Gelben Flusses sind hier nur wenige Projekte als große Multifunktions-Staudämme konzipiert, Bewässerung spielt somit lediglich eine untergeordnete Rolle. Viele Projekte dienen primär der Hydroenergiegewinnung und werden als run-of-river-Projekte gebaut. Mehrere, der derzeit in Yunnan im Bau befindlichen Projekte, zählen zu den weltweit größten Projekten nach dem Dreischluchtendamm und dem Itaipu-Wasserkraftwerk. Einen detaillierten Überblick zum derzeitigen Entwicklungsstand des Hydroenergieausbaus in Yunnan gibt Hennig 2011 und Hennig et al. (2012). Die meisten dieser Projekte werden von Konsortien getragen die zu den Big-Five gehören. Diese sind die aus der Zerschlagung des Energieministeriums hervorgegangenen fünf großen halbstaatlichen Energieversorger. Außerdem spielt der Träger des Dreischluchtendammes sowie die beiden Provinzregierungen eine zentrale Rolle. Nur eines der Projekte (Jin’anqiao, 2400 MW) gehört mit Hanergy mehrheitlich einem privaten Unternehmer. Lediglich in der ersten Projektphase wurden wenige ausgewählte große Wasserkraftwerke von internationalen Kreditinstitutionen finanziert (z.B. Weltbank, ADB, etc.) Alle derzeitigen Großprojekte finanziert China selbst.

Auch wenn China den einflussreichen WCD-Bericht nicht ratifiziert hat, ist es doch internationalen Standards nicht abgeneigt. Insbesondere die Umsiedlungspolitik als auch die Implementierung von Umweltstandards wurde und wird durch internationale Diskussionen beeinflusst. Einige prestigeträchtige Projekte in Yunnan mussten geändert werden, andere sind vorerst auf Eis gelegt. Einen aktuellen Überblick zu Chinas Umwelt- und Sozialstandards im Hydroenergieausbau gibt Hensengerth (2012) sowie zu Yunnan Hennig et al. (2012).

Der Ausbau dieser Großprojekte geht einher mit technischen Innovationen. So baut China derzeit die leistungsstärksten Turbinen und v.a. wird das derzeit effizienteste Fernleitungsnetz aufgebaut. 2009 ging das weltweit erste System zur Ultra-Hochspannungs-Gleichstromübertragung (UHV DC) ans Netz. Es ermöglicht bei einer Spannung von 800 kV die Übertragung von 5000 MW über eine Entfernung von über 1400 Kilometer. Mittlerweile sind aus der Region vier weitere solcher, z.T. noch leistungsstärkerer Fernleitungsnetze im Bau, die ausschließlich durch Hydroenergie erzeugten Strom in die Wirtschaftszentren Ost- und Süd-China übertragen werden.

3. Implikationen des Ausbaus von Kleinwasserkraft am Beispiel des chinesischen Irrawaddy-Einzugsgebiets

Am Beispiel des kleinen Yingjiang-Kreises (4429 km²) im chinesischen Irrawaddy-Einzugsgebietes soll exemplarisch die Auswirkungen des Aufbaus von sogenannten ‚Kleinwasserkraft-Hubs‘ (SHP-hub) aufgezeigt werden. Darunter sind kleine administrative Gebiete (meist Kreise) zu verstehen in denen v.a. über Kleinwasserkraft Kapazitäten von über 1000 MW aufgebaut werden. Diese SHP-hubs dienen vorrangig dem Stromtransfer in die oben geschilderten ökonomischen Zentren. Zu beachten ist hier, dass in China Wasserkraftwerke bis zu 50 MW als Kleinwasserkraft zählen und somit steuerlich begünstigt werden.

Der Yingjiang-SHP-Hub befindet sich am Westabfall des Gaoligongshan-Gebirges zum Irrawaddy in der Präfektur Dehong an der Grenze zu Myanmar (Burma). Der erste Strom wurde hier erst 1957 von einem 240 kW-Generator erzeugt. Bis zu Beginn der Wirtschaftsliberalisierung in 1978 wurden hier dezentral 268 Kleinstwasserkraftanlagen gebaut (<1 MW), die lediglich zu einer Siedlung gehörten und denen nur bedingt staatliche Mittel zur Verfügung standen. Die nächste Phase währte bis 2002, d.h. bis zur Liberalisierung des Strommarkts und war durch zwei Entwicklungen gekennzeichnet. Erstens war Dehong die zweite Region in China welche bereits 1995 das Programm der ‚rural electrification‘ erfolgreich umsetzte (vgl. Bhattacharya & Ohaire 2012) und das ausschließlich mit Wasserkraft. Das war möglich durch den Aufbau eines lokalen Stromnetzes (110 kV) und den Bau von ersten Kleinwasserkraftanlagen durch halbstaatliche Träger und in einem Fall durch einen Investor aus Malaysia. Parallel wurden die meisten Kleinstwasserkraftanlagen wieder geschlossen. Zu Ende dieser Phase (2002) waren 170 MW installiert, eine Dekade später (2012) sind es 3.918 MW. Diese werden von 170 kleinen Wasserkraftanlagen, 9 mittleren und einem großen Projekt (700 MW) erzeugt, weitere 840 MW werden direkt aus grenznahen Projekten in Burma eingespeist, die ausschließlich von chinesischen Unternehmen für den chinesischen Markt produzieren. Der Erfolg des Ausbaus eines solchen SHP-Hubs basiert fast ausschließlich auf privaten Unternehmen, häufig von der Ostküste Chinas sowie über den globalen Emissionshandel (CDM). Weiterhin ist der Yingjiang SHP-Hub über eine 500kV-Leitung an das Fernleitungsnetz angeschlossen.

Der Ausbau des SHP-Hubs hat ernstzunehmende Umweltauswirkungen. Durch die Vielzahl an Wasserkraftanlagen auf kleinem Raum sind fast alle potentiellen Teileinzugsgebiete ausgebaut wurden, meist als Kaskadensysteme. Bis auf drei Staudämme mit saisonaler Speicherkapazität sind alle Anlagen run-of-river-Projekte. Das hat gravierende Auswirkungen auf das Ökosystem, denn während der Trockenzeit (v.a. Nov bis Mai) trocknen weite Abschnitte des Fließgewässernetzes fast vollständig aus, da der gesamte Abfluss in die Umleitungskanäle geleitet wird. Davon sind auch mehrere Flüsse in Schutzgebieten betroffen die zu den artenreichsten Ökosystemen in ganz China gehören und Bestandteil des globalen Biodiversitätshotspots sind.

Parallel wurden ebenfalls, fast flächendeckend, strom- und emissionsintensive Verhüttungsanlagen für Rohstoffverarbeitungen (v.a. Siliziumschmelzen) aufgebaut, die v.a. den während der Regenzeit überschüssigen Strom nutzen und ebenfalls ernste Auswirkungen auf das Ökosystem haben. Weiterhin führt der Hydroenergieausbau in den peripheren Regionen zum Ausbau der Infrastruktur und damit zu einem gravierenden Landnutzungswandel.

4. Diskussion im Kontext des Wasser-Energie-Umwelt-Nexus

Der ambitionierte und mittlerweile fast alle potentiellen Einzugsgebiete umfassende Hydroenergieausbau in SW-China (v.a. Yunnan) sollte stärker im Sinne des integrativen Wassermanagements betrachtet werden. Prioritär sollte v.a. in den Oberläufen der Hochwasserschutz und Retention eine größere Bedeutung erfahren. Außerdem sollte China, mit seiner geostrategischen Gunstlage an vielen Oberläufen, seiner Verantwortung im grenzüberschreitenden Wassermanagement stärker gerecht werden.

Weiterhin hat in den vergangenen Jahren die Nexus-Diskussion stark an Bedeutung gewonnen, v.a. im Kontext des Wasser-Energie-Nahrung-Umwelt-Nexus. Im Sinne der Nexusperspektive sollte sowohl der strategische Ausbau der Wasserressourcen als auch deren wissenschaftliche Untersuchung in dieser vernetzten Perspektive erfolgen. Der Ausbau der verfügbaren Wasserressourcen, z.B. der massive Hydroenergieausbau in Yunnan, muss in seinen Wechselwirkungen (auch grenzüberschreitend!) zur Nahrungsmittelsicherung (z.B. Bewässerungslandwirtschaft, Landnutzungswandel), zur Energiesicherung (z.B. Strombedarf, Diversifizierung des Stromportfolios, etc.), sowie zur Umweltdiskussion (z.B. Reduzierung von Emissionen, Biotopschutz, etc.) gesehen und untersucht werden.

Literaturliste

Bhattacharya, S.C. und Ohiare, S. (2012): The Chinese electricity access model for rural electrification. *Energy Policy* **49**:11451-11467.

Dore J. und Xiaogang Y. (2004): Yunnan Hydropower Expansion: Update on China's energy industry reforms and the Nu, Lancang and Jinsha hydropower dams; Working paper CMU-USER and Green Watershed

Grumbine E.R. und Xu J. (2011): Mekong Hydropower Development, *Science* **332**:178-179.

Hennig, T.; Daming, H.; Xiaokun, O.; feng, Y. und Wenling, W. (2012): Review of Yunnan's Hydropower Development. Comparing small and large hydropower projects regarding their environmental implications and socio-economic consequences. *Renewable and Sustainable Energy Review* (in review).

- Hennig T. (2011): Damming China and India. Challenges and implications of the rapid hydropower development in China, India and their transboundary basins. In: Samadi-Boroujeni H. (Hrsg.), *Hydropower*, 293-320.
- Hennig, T. (2009): Entwicklungspotentiale in Südwestchina, Hintergründe und Auswirkungen zu Yunnans ambitioniertem Hydroenergie- und Verkehrsinfrastrukturausbau. *Asien* **112-113**:103-122.
- Hensengerth O. (2010): Sustainable dam development in China between global norms and local practices. *Discussion Paper/Deutsches Institut für Entwicklungspolitik* **4/2010**, Bonn.
- Huang H., und Yan Z. (2009): Present situation and future prospect of hydropower in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **13**:1652-1656.
- Magee D. (2006): Powershed Politics, Yunnan hydropower under Great Western development. *China Quarterly* **185**:24-41.
- Zhao, X.; Liu, L.; Liu, X. Wang, J. und Liu P. (2012): A critical analysis on the development of China hydropower. *Renewable Energy* **44**:1-6.

Anschrift des Verfassers:

Thomas Hennig
Fachbereich Geographie
Philipps-Universität Marburg
Deutschhausstr. 10, D-35032 Marburg
Email: hennig@staff.uni-marburg.de

Modelling of the influence of short rotation coppice on the water balance and river discharge of the Dahme River – first progress report

Veena Choudhary, Christian Reinhardt & Achim Schulte

Freie Universität Berlin, Institut für Geographische Wissenschaften

Wood was the major source of energy until the beginning of 20th Century when fossil fuels largely replaced them. The interest in renewable energy has increased in last 2-3 decades because of the negative environmental impact caused by burning of fossil fuels. Wood planted in short rotation coppices (SRC) is a well-known renewable source of energy (also known as energy crop). SRC's are grown specifically for use as fuel and offer high output per hectare with low inputs. In energy terms short rotation coppice willow dry matter has an energy content of approximately 19 MJ per kg or 45% of the energy in an equivalent volume of light fuel oil (Caslin et al. 2010). The impact of SRC willow on surface and groundwater quantity and quality will depend on many factors including the previous land-use type, varying soil type, hydrological regime and the past and future use of fertilizers and pesticides. While the water quality benefits of SRC are likely to be strongest for nitrate control planting could also help to reduce sediment delivery to water. It is widely acknowledged that soils under woodland are usually well protected and improved with measurements generally displaying consistently lower sediment losses for watercourses draining well managed woodland compared to other land uses (Nisbet et.al. 2010). The purification function of SRC is known as phytoremediation. Results from the Water Renew study found SRC species of willow, poplar and eucalyptus to be efficient in removing nitrate, phosphorus and potassium, providing scope for forming an effective wastewater polishing system (Sugiura et al. 2008).

The main aim of the presented study is to estimate the overall effect of short rotation coppice on the water balance and discharge on the catchment scale using the rainfall-runoff model SWAT (Soil and Water Assessment Tool, Arnold et al. 1998). In addition the effect of SRC on nutrient flux will be investigated. SWAT is a versatile model which has been widely used in various regions and under different climatic conditions on daily, monthly and annual basis. It belongs to the group of distributed, physically based models and was developed to predict runoff, erosion, sediment and nutrient transport from agricultural watersheds under different management practices.

The model system is a freely available tool which is linked to a GIS system (ArcView and ArcGIS) through an interface that makes data processing and visualization easy. Land use and the Soil Hydrologic Group (HYDGRP) play a dominant role in runoff estimation by SWAT, but the basic requirements of SWAT also include the Digital Elevation Model (DEM), rivers and watersheds as well as

weather data such as temperature, wind speed, relative humidity, solar radiation and precipitation. SWAT simulates surface runoff volumes for each HRU (Hydrological Response Unit) using either of the two methods: the SCS Curve Number (CN) procedure and the Green & Ampt infiltration method. The latter requires sub-daily precipitation data thus restricting its use. Figure 1 describes the framework for runoff calculation when using the SCS-CN method.

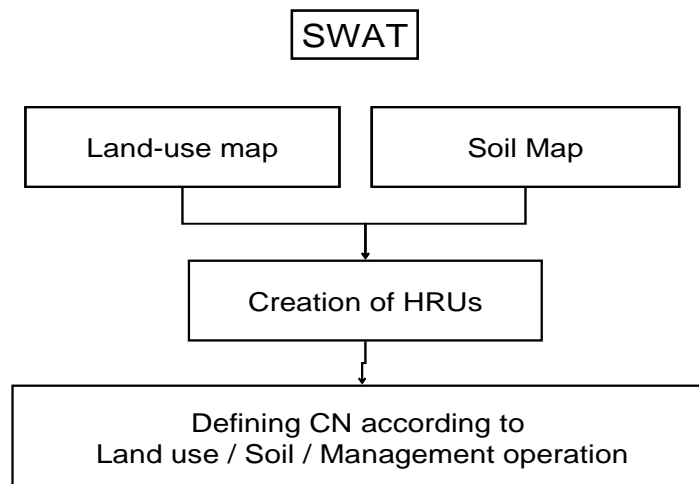


Fig. 1: Framework for the SWAT model (Source: Singh 2008)

The study is carried out in the Dahme River catchment (total area of 2100 km²), a tributary of the Spree in Brandenburg, northeastern Germany. The river is one of the main tributaries in the urban area of Berlin. The potential areas for SRC's in the Dahme catchment were located by Stork (2010) based on a GIS analysis. SRC's are expected to have an influence on the water balance, so it is important to quantify this impact for the area under investigation. Since water supply for Berlin is mainly based on bank filtration in the river and lake system of the urban area changes in river discharge of the Dahme caused by SRC'S may affect water availability in the city.

For the study CORINE Land Cover data, SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) elevation data (90 meter resolution) as well as the soil map of Brandenburg 1:300.000 (BÜK 300) are used. Climate data were provided by the German Weather Survey (DWD) as well as the State Office for Environment, Health and Consumer Protection Brandenburg (LUGV). To calibrate and validate the results discharge data of eight gauges in the watershed managed by the LUGV are available.

The presentation provides a first overview over the project including information on the current state of knowledge on SRC's and their influence on hydrological processes as well as the state of work for the development of the hydrological model.

References

- Arnold J.; Srinivasan, R.; Muttiah, R.S. and Williams, J.R. (1998): Large area hydrologic modeling and assessment: part I: model development. *Journal of the American Water Resource Association* **34**:73-89.
- Caslin, B.; Finnan, J. and McCracken, A. (eds.) (2010): Short rotation coppice willow best practice guidelines. http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Willow_Best_Practice_Guide_2010.pdf
- Nisbet, T.R.; Silgrim, M.; Shah, N.; Morrow, K. and Broadmeadow, S. (2010): Woodland and the Water Framework Directive. Final report to the Environment Agency and Forestry Commission (England). Bristol.
- Singh, A (2008): Characterizing runoff generation mechanism for modelling runoff and soil erosion in small watershed of Himalayan region. Master thesis at the International Institute for Geo-information Science and Earth Observation Twente, Netherlands.
- Stork, M. (2010): Landnutzungspotentiale großflächiger Energieholzproduktion in mesoskaligen Flusseinzugsgebieten – GIS-gestützte Potentialermittlung im Dahme Flussgebiet. Master thesis at the Humboldt University Berlin.
- Sugiura, A.; Tyrrel, S.F.; Seymour, I. and Burgess, P.J. (2008): Water Renew systems: wastewater polishing using renewable energy crops. *Water Science and Technology* **57**:1421-1428.

Anschrift der Verfasserin:

Veena Choudhary

Frei Universität Berlin

Geographische Wissenschaften

Malteserstr. 74-100, 12249 Berlin

Email: veena.iirs@gmail.com

Integration of Meso- and Macroscale Approaches for Water Resources Monitoring and Management in the Baikal-Selenga-Basin

Daniel Karthe¹, S. Chalov², P. Theuring¹ & E. Belozero²

¹ Helmholtz Centre for Environmental Research GmbH (UFZ), Magdeburg, Germany

² Faculty of Geography, Moscow Lomonosov State University, Russia

1. Introduction

As the deepest and oldest lake in the world, Lake Baikal features a unique ecosystem which was declared a world natural heritage site by the United Nations in 1996. The lake's most important tributary is the Selenga River, which has most its discharge generated in the Mongolian part of its catchment. However, data on the runoff dynamics, water contamination and fluvial transport processes of the river have been almost non-existent until very recently. Moreover, the usability of existing data is constrained by a lack of harmonized monitoring approaches in the Mongolian and Russian parts of the Selenga and its tributaries' catchments. Two research projects, started independently from each other, now intend to integrate the research results from two catchments of different scales in order to better understand hydrologically relevant processes in both regions and to use these findings for the scientific underpinning of an Integrated Water Resources Management for the Lake Baikal Basin.

2. Study Area

German-Mongolian and Russian-Mongolian teams of scientists currently investigate water availability, hydrology, water quality and the state of aquatic ecosystems in the border area between northern Mongolia and southern Russia with particular focus on the catchments of the Kharaa and Selenga rivers. The location of the catchments and basic characteristics can be found in figure 1 and table 1 respectively.

Table 1: Comparison of the Kharaa und Selenga river catchments.

	Kharaa River Basin	Baikal Selenga Basin
Catchment area	Ca. 15.000 km ²	Ca. 450.000 km ² (Selenga) Ca. 560.000 km ² (Selenga Baikal)
Average runoff near outlet (MQ)	12.1 m ³ /s	897 m ³ /s
Population	Ca. 147.000 inhabitants	Ca. 2.439.000 inhabitants
Sources: MoMo Konsortium 2009; Гармаев et al. 2010; Potemkina 2011; Касимов et al. 2011; Thorslund et al. 2012		

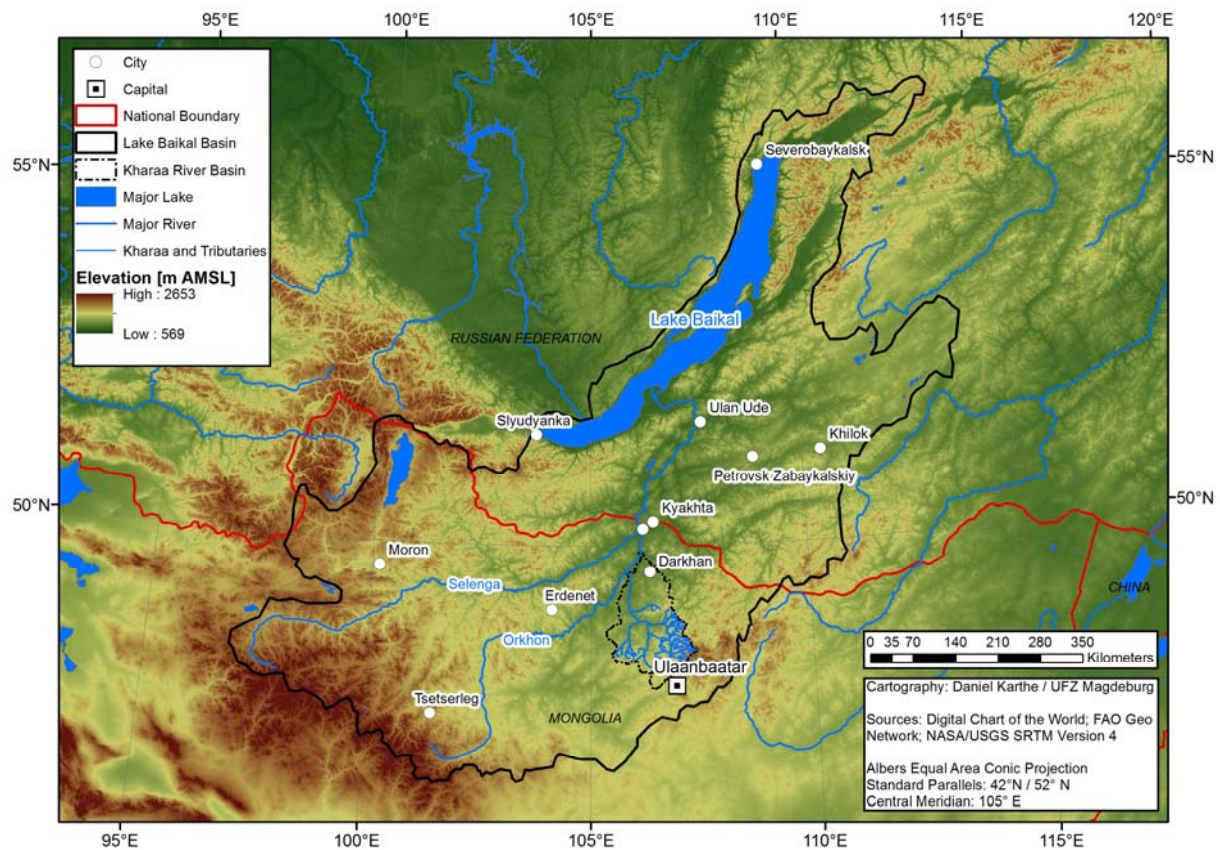


Figure 1: Location of the Kharaa and Selenga-Baikal basins.

The catchment of the Kharaa, which drains into the Orkhon River, forms a part of the Selenga River Basin. Despite the differences in scale, there are similarities in the geographical environment and water use patterns (table 2).

Table 1: Important characteristics of the Kharaa and Selenga river basins (modified after KARTHE et. al. 2012c)

Physical Environment	<ul style="list-style-type: none"> • Semi-arid continental climate with long, very cold winters • Low precipitation with a heterogenous spatial pattern and high annual variability • Vegetation: predominantly steppe and taiga • River systems largely without hydromorphological modifications
Socio-Economic Environment	<ul style="list-style-type: none"> • Low population density • Pastoralism, irrigated agriculture, forestry and mining as the most important economic activities and water users • Transformation from a centrally planned towards a market-oriented economy • Economic growth mainly driven by mining sector
Important stressors	<ul style="list-style-type: none"> • Climate and land use change contributing to water scarcity • Increasing water withdrawals due to agricultural and mining activities • Insufficient treatment of domestic and industrial waste waters and mining-related contamination of water and soil

The mountainous upstream regions mainly feature forests and are responsible for the majority of runoff generation in the catchment (Menzel et. al 2011; Chalov et al. 2012). The middle and downstream regions consist of hilly, partly forested steppe terrain and strath shaped valleys with meandering rivers and wide floodplains. Near Lake Baikal, the Selenga River branches into a wide delta, which constitutes, as the largest wetlands in eastern Siberia, a unique ecosystem (Hofmann et al. 2011; Касимов et al. 2011).

3. Results and Conclusion

The monitoring results from the Baikal-Selenga catchment generally confirm observations from the Kharaa sub-catchment in terms of hydrological behavior, ecosystem characteristics and water use and affirm its suitability as model region for the conceptual development and implementation of an integrated water resource management (Karte et al. 2011). The most essential indicators for the state of the river systems in both regions are listed in table 3.

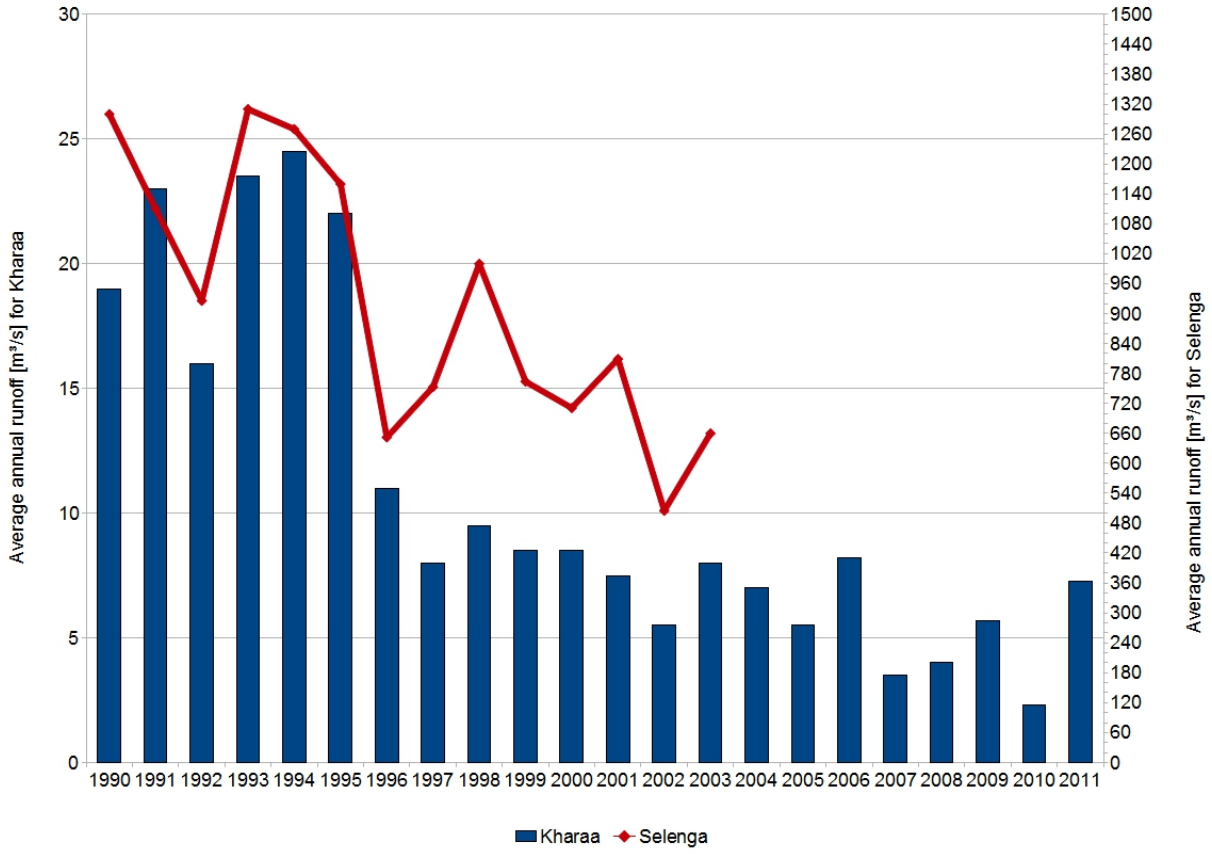


Figure 2: Mean anual discharge at the catchment outlet of Kharaa and Selenga River

Table 3: Results of the monitoring in the Kharaa and Selenga catchment.

Hydrology and Hydromorphology	<ul style="list-style-type: none"> • unregulated, natural hydromorphological state of the rivers • highly disturbed riparian vegetation due to cattle breeding, leading to high levels of riverbank erosion, • decreasing discharge and drying out of small tributaries
Water quality	<ul style="list-style-type: none"> • generally good physio-chemical water quality • increased nutrient concentrations downstream of areas with increased erosion, settlements and high intensity pastures • coal-fired power plants as main source of arsenic emissions via dry and wet ash fallout • local contamination of water and sediment with mercury, associated with mining activities
State of aquatic ecosystems	<ul style="list-style-type: none"> • macroinvertebrate communities generally show a good ecological state, though a degradation is visible in the mid –and downstream regions • unregulated rivers in the catchment are habitats of endangered fish species including <i>Hucho taimen</i> and <i>Brachymystax lenok</i>, which are strongly pressured by local fisheries and river morphology changes • fine sediment intrusion in the riverbeds are a major cause of habitat loss in the hyporheic zone
Sources: MoMo Konsortium 2009; Hofmann et al. 2010; Menzel et al. 2011; Kaus et al. 2011; Hartwig et al. 2012; Karthe et al. 2012b; Chalov et al. 2012	

At the moment the MoMo project is implementing selected elements of an integrated water resource management in the Kharaa catchment, including an environmental monitoring system, pilot waste water treatment plants, as well as a multilevel capacity development approach (Karthe et al. 2012 a). Following an intensive evaluation of these measures and their effectiveness in the model region of the Kharaa River Basin, their transfer and adaption to the more than 30 times larger Baikal-Selenga catchment can be considered.

References

- Chalov, S.R.; Zavadsky A.S.; Belozerova, E.V. et al. (2012): Suspended and Dissolved Matter Fluxes in the Upper Selenga River Basin: Synthesis. *Geography, Environment, Sustainability* **02(05)**:78-94.
- Гармаев Е.Ж. & Христофоров А.В. (2010): Водные ресурсы рек бассейна озера Байкал: основы их использования и охраны. – Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО».
- Hartwig, M.; Theuring, P.; Rode, M. & Borchardt, D. (2012): Suspended sediments in the Kharaa River catchment (Mongolia) and its impact on hyporheic zone functions. *Environmental Earth Sciences* **65(5)**:1535-1546.
- Hofmann, J.; Venohr, M.; Behrendt, H. & Opitz, D. (2010): Integrated Water Resources Management in Central Asia: Nutrient and heavy metal emissions and their relevance for the Kharaa River Basin, Mongolia. *Water Science and Technology* **62(2)**:353-363.

- Karthe, D.; Borchardt, D. & Hufert, F. (2012a): Implementing IWRM: Experiences from a Central Asian Model Region. In: Pandya, A.B. (Hrsg.) (2012): India Water Week 2012. Water, Energy and Food Security: Call for Solutions, Part A3, pp. 1-15. Delhi: Ministry of Water Resources, Government of India.
- Karthe, D.; Sigel, K.; Scharaw, B.; Stäudel, J.; Hufert, F. & Borchardt, D. (2012b): Towards an integrated concept for monitoring and improvements in water supply, sanitation and hygiene (WASH) in urban Mongolia. *Water & Risk* **20**:1-5.
- Karthe, D.; Theuring, P.; Borchardt, D. & Hufert, F. (2012c): An Integrated Water Monitoring Concept Designed for a Multi-Stressor Environment: Experiences from the Kharaa River Basin, Mongolia. Proceedings of the IWAS Young and Senior Water Professionals Conference St Petersburg.
- Касимов, Н.; Лычагин, М. & Чалов С. (2011): Разработка научно-методических основ мониторинга и прогнозирования состояния бассейна р. Селенга с целью контроля трансграничного переноса загрязняющих веществ и их выноса в оз. Байкал и оптимизации использования и охраны водных ресурсов. Bericht zum Projekt Nr. 11.519.11.5008 des Russischen Ministeriums für Bildung und Wissenschaft. („Entwicklung der wissenschaftlichen Basis für das Monitoring und die Vorhersage von grenzüberschreitenden Schadstofftransporten im Selenga-Einzugsgebiet und ihres Einflusses auf den Baikalsee).
- Kaus, A.; Karthe, D. & Borchardt, D. (2011): Incorporating fish ecology into water resources management: Current research in Northern Mongolia. In: Гуринович, А.Д. (2011): Proceedings of the IWA 1st Central Asian Regional Young and Senior Water Professionals Conference, Almaty/Kazakhstan, pp. 94-102.
- Menzel, L.; Hofmann, J. & Ibisch, R. (2011): Untersuchung von Wasser- und Stoffflüssen als Grundlage für ein Integriertes Wasserressourcen – Management im Kharaa-Einzugsgebiet (Mongolei). *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* **55(2)**88-103.
- MoMo Konsortium (2009): Integrated Water Resources Management for Central Asia: Model Region Mongolia (MoMo). Case Study in the Kharaa River Basin. Final Project Report.
- Potemkina T.G. (2011) Tendencies of formation sediment load of Baikal general tributaries at the 20th century and early 21st century. *Russian Meteorology and Hydrology* **12**:63-71.
- Thorslund, J.; Jarsjö, J.; Chalov, S.R. & Belozerova, E.V. (2012): Gold mining impact on riverine heavy metal transport in a sparsely monitored region: the upper Lake Baikal Basin case. *Journal of Environmental Monitoring* **14(10)**:2780-92.

Anschrift des Verfassers:

Daniel Karthe

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

Department Aquatische Ökosystemanalyse und Management (ASAM)

Brückstraße 3a, 39114 Magdeburg

Email: daniel.karthe@ufz.de

Global Change impacts on Mongolian water resources

Marcus Malsy, T. aus der Beek, M. Heinen & M. Flörke

Center for Environmental Systems Research, Kassel University, Germany

Mongolia features an extreme continental semi-arid to arid climate with short, hot summers and long, cold winters. This intense hydrological cycle is of high interest for global change studies as water scarcity often limits the socio-economic and ecological development. Even though the annual precipitation is low, it is characterized by high intensity and falls mostly during the summer season. Snow accounts for less than 20 per cent of the annual precipitation. In terms of air temperature high fluctuations between day and night as well as summer and winter can be noticed. The annual average air temperature is 0.7°C with winter averages of below -20°C. During the winter the fresh-water system freezes and small rivers often freeze up to the bottom. In general, the climate can be characterized by extreme variability which leads to severe challenges for humans and livestock (Worden 1991, Batima 2006). During the last 60 years an increase in average annual air temperature of 1.8°K was determined with an on-going increase in number and duration of hot days. The highest increase was found during the winter with 3.6°K. Precipitation shows a slight decreasing trend for the country, especially in winter and spring with no changes in summer and autumn. An intensified trend of air temperature warming started in the late 1980s (Batima 2006).

Besides this, also changes in socio-economy have severe impacts on water resources. As shown in Figure 1, mining (including excavation) is the dominant sector in terms of water use followed by households and livestock. Irrigation gains in importance with more than tripled water uses over the last decade (Batsukh 2008).

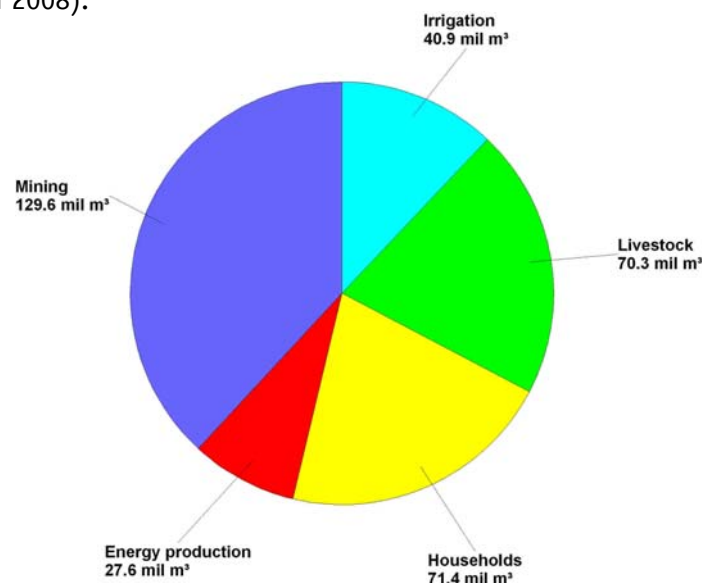


Figure 1: Current water uses in Mongolia.

The population steadily increased from less than one million in the early 1960s to 2.8 million in 2011. Furthermore, a trend towards urbanization can be found with an increase in urban population from 35% in 1960 to 68.5% in 2011 (The World Bank 2012). This leads to an increase in domestic water use due to much higher water demands in bigger settlements and cities (230-350l per day) compared to ger (yurt) areas and rural herders with 5-10l per day (Batsukh 2008), which is far below minimum requirements (Gleick 1996). Additionally, climate extremes have a big impact on livestock due to their high dependence on access to grassland. The reoccurring cold-dry Dzud events lead to high losses in number of livestock; for example, the Dzud of 2009-2010 affected over 50% of the Mongolian herders, with 75000 herders who lost all or more than half of their livestock (IPCC 2012). Within this integrated model study the hydrological and water use model WaterGAP3 (Alcamo et al. 2003) is applied to all river basins located in Mongolia on a five arc minutes spatial resolution (~ 6 x 9 km per grid cell, Verzano 2009) to model current and future Mongolian water resources. First of all, water abstractions for the sectors households, manufacturing industries, electricity production (Flörke et al. 2012), irrigation (aus der Beek 2011), and livestock (Döll 2002) are being computed and fed into the hydrological module of WaterGAP3. Hereby, simulation runs with and without the consideration of water use were conducted. For this study, also water extractions for mining purposes are accounted for. Then, water fluxes such as evapotranspiration, soil moisture and routed river runoff are modelled for each grid cell. The performance of the model is then evaluated by comparing modelled with observed river runoff for the period 1971 to 2000, which generally yields good agreement. Following the successful validation of the model results, transient bias-corrected climate change scenarios for the 21st Century are applied to estimate their impact on the water resources in Mongolia. Therefore, precipitation, radiation and air temperature output from the Global Circulation Models (GCMs) CNRM-CM3, ECHAM5, and IPSL-CM4 for the SRES-IPCC scenarios A2 and B1 are used to drive WaterGAP3 and to calculate potential changes in future water resources. Here, daily water balances are calculated for each scenario-GCM combination until the year 2100. Furthermore, two socio-economic scenarios were developed according to future national plans to examine the anthropogenic impact on Mongolian water resources. Finally, the impact resulting from socio-economic developments was compared to the climate induced impact.

Generally, an increase in mean water availability can be derived for natural conditions, i.e. without considering anthropogenic interactions. Besides, ECHAM5 shows the driest conditions while IPSL-CM4 the wettest. It further needs to be noticed that the differences between the GCMs are bigger than between the SRES-IPCC scenarios. Nevertheless, all GCM and scenario combinations lead to severe water conditions in the south of Mongolia and especially in the south east. For detailed results of climate change scenarios and its impact on Central Asian water resources, see Malsy et al.

(2012). When additionally considering future human impacts, further reduced water availability is evident, which is of high importance in regions with low natural water availability. Also, high impacts of water uses can be found around Ulaanbaatar in the Tuul River basin and in regions with high mining activities. In general, mining extension and increasing irrigation requirements pose the biggest threat to Mongolian water resources and thus also to the water related ecological systems.

References

- Alcamo, J., Döll, P., Henrichs, T., Kaspar, F., Lehner, B., Rösch, T. & S. Siebert (2003): Development and Testing of the WaterGAP 2 Global Model of Water Use and Availability. *Hydrological Science* **48(3)**:317-337.
- Aus der Beek, T., Voß, F. & M. Flörke (2011): Modelling the impact of global change on the hydrological system of the Aral Sea basin. *Physics and Chemistry of the Earth* **36**:684-694.
- Batima, P. (2006): Climate Change Vulnerability and Adaptation in the Livestock Sector of Mongolia. A Final Report Submitted to Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC), Project No. AS 06, Washington, 105 pp.
- Batsukh, N., Dorjsuren, D. & G. Batsaikhan (2008): The Water Resources, use and conservation in Mongolia. First National Report, Ulaanbaatar, 40pp.
- Döll, P. & S. Siebert (2002): Global modelling of irrigation water requirements. *Water Resour. Res.*, **38(4)**, 1037.
- Flörke, M., Kynast, E., Bärlund, I., Eisner, S., Wimmer, F. & J. Alcamo (in review): Domestic and industrial water uses of the past 60 years as a mirror of socio-economic development: a global simulation study. *Global Environ Chang.*
- Gleick, P.H. (1996): Basic water requirements for human activities: Meeting basic needs. *Water International* Vol. 21, No. 2, pp. 83-92.
- IPCC (2012): Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
- Malsy, M., aus der Beek, T., Eisner, S. & M. Flörke (accepted): Climate Change impacts on Central Asian water resources. *Adv. Geosci.*
- The World Bank: World Development Indicators. <http://databank.worldbank.org/data/> (Date: 2012.10.08).

Verzano, K. (2009): Climate change impacts on flood related hydrological processes: Further development and application of a global scale hydrological model. *Reports on Earth System Science*. 71-2009. Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany.

Worden, R.L. & A. M. Savada. (1991): Mongolia: A Country Study (Area Handbook Series). Claitor's Law Books and Publishing Division; 2 Edition, 320pp.

Anschrift des Verfassers:

Marcus Malsy

Center for Environmental Systems Research, Wilhelmshöher Allee 47, 34109 Kassel

Email: malsy@usf.uni-kassel.de

Wasserqualität von Bodenlösungen unter Berücksichtigung periglazialer Deckschichten: Konzept einer Vorstudie

Martin Reiss

Philipps-Universität Marburg, FB Geographie, reissm@geo.uni-marburg.de

1. Einleitung

Das Bodenwasser der Mittelgebirge in Deutschland wird als Zwischenabfluss (Interflow) durch periglaziale Lagen (substratbedingte Schichtungen im Bodenprofil) beeinflusst und reliefbedingt mit dem Hanggefälle lateral gerichtet bzw. oberflächenparallel abgeleitet (CHIFFLARD ET AL. 2008). Aufgrund vertikaler Schichtgrenzen ist mit zunehmender Profiltiefe durch Kompaktion und Impermeabilität von einer hydraulischen Anisotropie (KLEBER 2004) auszugehen, die sprunghafte Änderungen von Tiefenfunktionen (LÖRZ 2008) der chemischen Wasserbeschaffenheit des Bodenwassers verursachen können.

2. Untersuchungsgebiet

Eine Vorstudie wird im forsthydrologischen Forschungsgebiet Krofdorf (Krofdorfer Forst) in Hessen (Landkreis Gießen) durchgeführt. Bezogen auf vorliegende gebietshydrologische Daten aus einer über 40jährigen Untersuchungszeit, wurden bislang nur oberirdische hydrologische Gebietsprozesse empirisch-messmethodisch gekennzeichnet. Der Anteil des Bodenwassers an der Gebietswasserbilanz wurde über die oberirdisch gemessenen hydrologischen Daten modelliert (KENNEL 1998). Das Gebiet ist Bestandteil des Rheinischen Schiefergebirges und wird aus devonischen Schiefen und Grauwacken, teilweise durch Löss beeinflusst, aufgebaut. Vorherrschende Bodentypen sind Braunerden, (erodierte) Parabraunerden sowie Hang- und Quellgleye (ZAKOSEK ET AL. 1971, FÜHRER 1990).

3. Konzeptioneller Ansatz

Es erfolgt eine Kopplung theoretischer Forschungsansätze der Hydrologie und Bodenkunde. Die Zusammenführung erfolgt systemorientiert nach der Stellung der Bodenmatrix im Landschaftswasserhaushalt (Abb. 1). Werden Schichtkonstellationen periglazialer Lagen (stratified soils) innerhalb des Konzeptmodel eines Gewässereinzugsgebietes (PRICE 2011) berücksichtigt, so ergibt sich eine Integration des substratorientierten Boden-Evolutions-Konzepts (sBEK) nach LÖRZ (2008). Die Untersuchung von Bodenlösungen (Bodenwasser, Interflow) wird demnach nicht ausschließlich nach Bodenhorizonten vorgenommen. Vielmehr werden auch substratbezogene Unterschiede beachtet. Auf der Plotskala ergibt sich dadurch die Möglichkeit im Tiefenverlauf eines Bodenprofils sog. *migration bar-*

riers (OSTASZEWSKA 2010), also chemisch-physikalisch bedingte „Fronten“ durch entsprechende Schichtkonstellationen aufzuzeigen bzw. zu interpretieren. Ein solcher Ansatz wird nach PERELMAN (1977) auch als Konzept der *geochemischen Barrieren* bezeichnet. Dabei findet an einer „Barriere“ eine Prozessänderung statt, welche als sprunghafte Veränderung geochemischer Eigenschaften im Bodenprofil sichtbar wird. Solche Änderungen bzw. Verläufe im Profil bezeichnet LORZ (2008) als Tiefenfunktion.

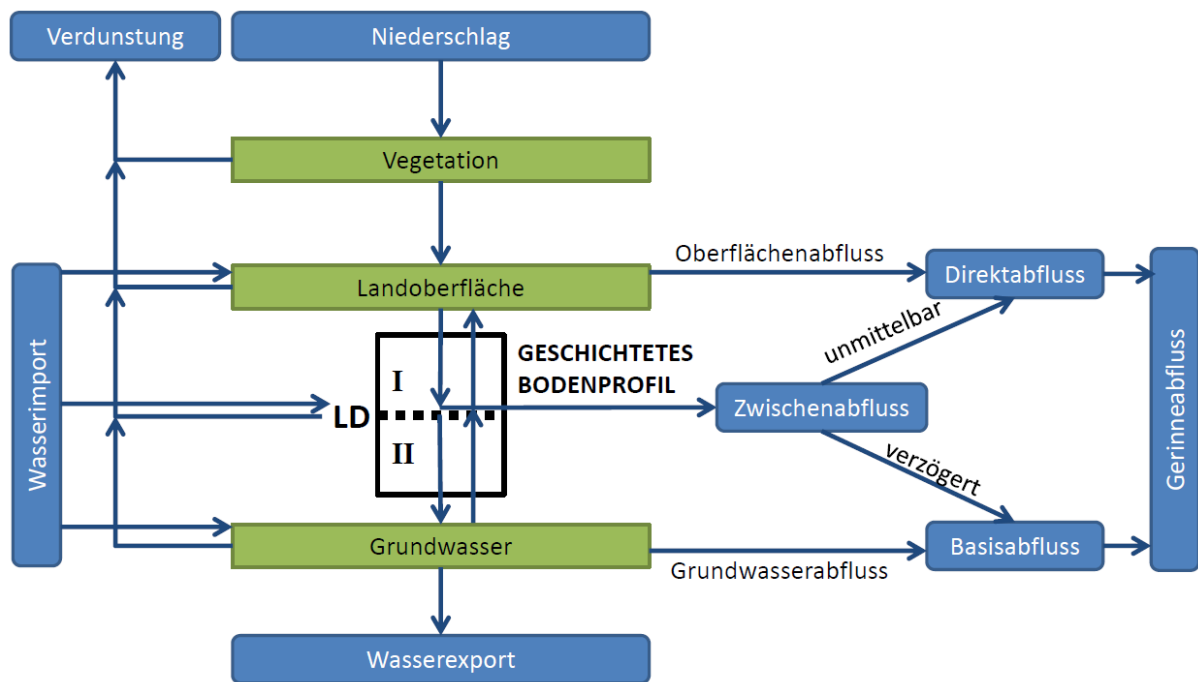


Abb. 1: Konzeptmodell eines Gewässereinzugsgebietes. Eigene Darstellung nach PRICE (2011), verändert. Erklärung: LD = lithologische Diskontinuität.

4. Material und Methoden

Die Wasserprobennahme der Bodenlösungen erfolgt mit Hilfe von Saugkerzen. Hierzu werden die *Soil Solution Access Tubes (SSAT)* der Firma Irrrometer benutzt. Die Spitze der Saugkerze ist aus Keramik und der Corpus aus transparentem Kunststoff (Butyrat) und somit für Nährstoffe und Spurenelemente (z.B. Schwermetalle) zur Probennahme geeignet (DWA 2008, GROSSMAN ET AL. 1987). Die Installation der Saugkerzen erfolgt frontal an den Bodenschürfen nach einer standardisierten Abfolge der Tiefenposition (10cm, 30cm, 50cm, 70cm, 100cm, 130cm) soweit es der Bodentyp erlaubt. Damit ist eine unmittelbare Vergleichbarkeit der einzelnen Bodenprofile gewährleistet und außerdem lassen sich somit empirische Erkenntnisse in bestehende Bodenwasserhaushaltsmodelle übertragen. Zur Gewinnung der Bodenlösung wird mittels Vakuumpumpe ein Unterdruck in der Saugkerze erzeugt. Weiterhin werden grundlegende bodenphysikalische Parameter (z.B. Korngrößenzusammensetzung, Lagerungsdichte, FDR-Messung der Bodenfeuchte) der Bodenmatrix erfasst. Die Analyse der Bodenlösun-

gen erfolgt zum Teil im Gelände durch in-situ-Messungen (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit), vor allem aber im Labor. Hierbei werden chemische Elemente mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) und Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (*inductively coupled plasma mass spectrometry*, kurz ICP-MS) selbst gemessen. Das Messprogramm ermittelt Gehalte (mg/L) für die Elemente Kalium, Calcium, Natrium, Magnesium, Eisen, Kupfer, Zink und Blei. Zur Analyse von Stickstoff- und Phosphatverbindungen werden photometrische (Extinktionsintensität) und argentometrische (Fällungstitration) Verfahren angewendet. Neben Bodenlösungen werden auch die Wässer des Oberflächenabflusses, der Quellschüttung sowie des Gerinneabflusses im Bach am Messpegel beprobt und chemisch analysiert. Damit soll ein Bezug und Vergleich zumindest zu einigen Kompartimenten im Landschafts- bzw. Gebietswasserhaushalt hergestellt werden. Eine erweiterte Interpretation von bereits durchgeführten Untersuchungen an Quellgewässern (Reiss 2011) ist zudem möglich. Eine Kooperation mit der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA in Göttingen) stellt einen Vergleich zu extern erhobenen Daten im Testgebiet sicher und wird ergänzend erarbeitet.

5. Forschungsfragen und Arbeitshypothesen

Das wesentliche Ziel der Vorstudie ist ein erster Einblick zu Fragen der Bedeutung von Schichtungen im Boden für den Standort-Wasserhaushalt und -stoffhaushalt im Untersuchungsgebiet. Dabei wird durch qualitative Untersuchungen des Bodenwassers (Bodenlösungen) das Hauptziel die Erfassung und Analyse des Zwischenabflusses (Interflow) und dessen geochemischer Einfluss im Gebietswasserhaushalt sein. Hierzu stellen sich prozessorientierte Fragestellungen (F) zu Veränderungen der Ablagerungs- und Anlieferungsverhältnisse im Kontext der Hangposition:

- Sind erhöhte Konzentrationen des Bodenwassers im Profil (vertikale Position) zu kennzeichnen?
- Sind erhöhte Konzentrationen des Bodenwassers in der Toposequenz (laterale Position an einem Hang) zu kennzeichnen?
- Welche Bodenparameter erklären diese Bodenwasserkonzentrationen?
- Ist ein wesentlicher Bodenparameter die Schichtung?
- Welche Tiefenfunktionen qualitativer Zustandsparameter lassen sich im Profil kennzeichnen?
- Sind die Tiefenfunktionen anhand von Schichtkonstellationen bzw. in Abhängigkeit von Schichtgrenzen zu interpretieren?
- Wie verteilen sich die Tiefenfunktionen lateral im Zusammenhang der Toposequenz?
- Welche qualitativen Zustandsmerkmale lassen sich dabei vergleichend mit anderen Geländewasserhaushaltskomponenten im Einzugsgebiet kennzeichnen?

Folgende Arbeitshypothesen werden aus den aufgestellten Forschungsfragen aufgestellt und in der Vorstudie überprüft:

- Qualitative Tiefenfunktionen im Standort-Wasser- und Stoffhaushalt lassen sich als vertikal sprunghafte (diskontinuierliche) Veränderungen durch substratbedingte Schichtgrenzen (Schichteffekte) kennzeichnen (Hypothese 1)
- Laterale Veränderungen qualitativer Tiefenfunktionen im Gelände-Wasser- und Stoffhaushalt werden im Wesentlichen durch Schichtkonstellationen des Bodens beeinflusst (Hypothese 2)
- Die Gewässergüte des Abflusses im offenen Gerinne wird maßgeblich durch die Wasserqualität des Interflow (Zwischenabflusses) bestimmt (Hypothese 3)

6. Ausblick

Mit der begonnenen Vorstudie im hydrologischen Testgebiet Krofdorfer Forst wird erstmalig empirisch-feldmethodisch der chemisch-physikalische Zustand des Bodenwassers (in Bodenlösungen) im Untersuchungsgebiet ermittelt. Es wird die Funktion von Bodenschichtungen durch periglaziale Lagen als geochemische Barriere überprüft. Somit werden Ergebnisse erwartet, die entsprechende Schichtkonstellationen im Bodenprofil als entscheidendes System geochemischer Prozesse und Veränderungen hinsichtlich der Wasserqualität von Bodenlösungen kennzeichnen. Die Stellung des Interflow im Gebietswasserhaushalt wird als Beitragsgröße (Parameter) zur Gewässergüte von Quell- und Fließgewässern dargestellt.

Literaturliste

- Chiffard, P.; Didszun, J. und Zepp, H. (2008): Skalenübergreifende Prozess-Studien zur Abflussbildung in Gebieten mit periglazialen Deckschichten (Sauerland, Deutschland). *Grundwasser* **13**:27–41
- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (Hrsg.) (2008): Merkblatt DWA-M 905 In situ-Erfassung von Bodenlösung. Hennef
- Führer, H.-W. (1990): Einflüsse des Waldes und waldbauliche Maßnahmen auf Höhe, zeitliche Verteilung und Qualität des Abflusses aus kleinen Einzugsgebieten – Projektstudie im Krofdorfer Buchenforst. Forstliche Forschungsberichte München 106. München
- Grossmann, J.; Quentin, K.E. und Udluft, O. (1987): Sickerwassergewinnung mittels Saugkerzen - eine Literaturstudie. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* **150**:258-261.
- Kennel, M. (1998): Modellierung des Wasser- und Stoffhaushaltes von Waldökosystemen. Fallstudien forsthydrologisches Forschungsgebiet Krofdorf und Referenzeinzugsgebiet Große Ohe. *Forstliche Forschungsberichte München* **168**.
- Kleber, A. (2004): Lateraler Wasserfluß in Hangsedimenten unter Wald. In: Lorz, C. & D. Haase (Hrsg.) (2004): Stoff- und Wasserhaushalt in Einzugsgebieten. Beiträge zur EU-Wasserrahmenrichtlinie und Fallbeispiele. Berlin, 7-22

- Lorz, C. (2008): Ein substratorientiertes Boden-Evolutions-Konzept für geschichtete Bodenprofile. Genese und Eigenschaften von lithologisch diskontinuierlichen Böden. *Relief Boden Paläoklima* **23**. Berlin, Stuttgart
- Ostaszewska, K. (2010): The Geochemical Landscape Concept and its usefulness in Physical Geography. *Miscellanea Geographica* **14/2010**:5-12
- Perelman, A.I. (1977): Geochemistry of Elements in the Supergene Zone. Israel Program for Scientific Translations: Jerusalem
- Price, K. (2011): Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review. *Progress in Physical Geography* **35**:465-492
- Reiss, M. (2011): Substratpräferenz und Mikrohabitat-Fauna-Beziehung im Eukrenal von Quellgewässern. Dissertation am Fachbereich Geographie der Philipps-Universität Marburg. <http://archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z2011/0108/pdf/dmr.pdf>
- Zakosek, H., Romschinski, A. & A. Sedlatschek (1971): Die Böden der Teilgebiete A und B des Forschungsgebiets Krofdorf. Unveröffentlichter Kurzbericht Hessisches Landesamt für Bodenforschung. Wiesbaden

Anschrift des Verfassers:

Martin Reiss

Fachbereich Geographie

Philipps-Universität Marburg

Deutschhausstr. 10, D-35032 Marburg

Email: reissm@geo.uni-marburg.de

Optimierung der Parametrisierung von N-A-Modellen für die Modellierung von Hochwasserereignissen in Gebieten mit periglazialen Deckschichten

Christian Reinhardt¹, K. Heller², A. Schulte¹ & A. Kleber²

¹*Freie Universität Berlin, Institut für Geographische Wissenschaften*

²*Technische Universität Dresden, Institut für Geographie*

1. Einführung

Periglaziale Hangsedimente, die sich im späten Quartär als Folge von Frostverwitterung, Kryoturbation und Solifluktion gebildet haben, sind in den zentraleuropäischen Mittelgebirgen nahezu flächendeckend verbreitet und bilden dort das Ausgangsubstrat für die holozäne Bodenbildung. Die sedimentologischen Eigenschaften der Deckschichtenkomplexe, die sich in Basis-, Mittel- und Hauptlage gliedern, tragen wesentlich zur Steuerung schneller unterirdischer Abflussprozesse bei. Obwohl die hydrologische Funktion mittlerweile sehr gut dokumentiert ist (z.B. bei Kleber et al. 1998, Chiffard et al. 2008, Heller & Kleber 2011, Hümann et al. 2011), fehlt ein Transfer dieses geomorphologisch-hydrologischen Grundlagenwissens in den Bereich der angewandten hydrologischen Wissenschaften bzw. eine Anknüpfung an die wasserwirtschaftlichen Praxis weitestgehend. An dieser Stelle setzen die vorliegenden Untersuchungen an, deren Ziel darin besteht, am Beispiel der Modellierung von Hochwasserereignissen mit einem konzeptionellen N-A-Modell optimierte Parametrisierungsansätze aufzuzeigen und herauszuarbeiten, wie sensitiv diese Modelle hinsichtlich hanghydrologischer Prozesse in den periglazialen Deckschichten sind.

Aufbauend auf Prozessstudien zur Deckschichtenhydrologie im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde (Osterzgebirge) werden dazu am Beispiel einer N-A-Modellierung der Oberen Flöha (Mittleres Erzgebirge) zwei unterschiedliche Ansätze verfolgt. In einem ersten Schritt wird zunächst veranschaulicht, wie die Prozesskenntnisse aus den Felduntersuchungen an der Freiburger Mulde Eingang in die Modellkalibrierung finden und damit auch die Entscheidungen bei typischen Problemen mit equifinalen Kalibrierungen unterstützen. Der zweite Ansatz befasst sich mit der Frage, ob aufgrund der flächendeckenden Verbreitung periglazialer Deckschichten in Mittelgebirgen die klassische Differenzierung nach Bodentypen in N-A-Modellen für solche Gebiete überhaupt notwendig ist, oder ob die unterschiedlichen Bodentypen ohne Einschränkungen bei der Modellgüte vereinfachend durch flächenhafte Deckschichten ersetzt werden können.

2. Methoden

Die Untersuchungen basieren auf einem Niederschlag-Abfluss-Modell der Oberen Flöha, welches mit dem Modellsystem NASIM (Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen) entwickelt wurde (Reinhardt 2010, Reinhardt et al. 2011). Für das Hochwasser vom April 2006 (HQ_{10}) wurden dabei im Hinblick auf die Deckschichten zwei unterschiedliche Kalibrierungs- bzw. Parametrisierungsvarianten untersucht. Variante 1 entspricht einer konventionellen Modellstruktur mit Bodentypen und einer Parametrisierung mit entsprechenden Leitprofilen, denen horizontbezogene Standardwerte bodenhydrologischer Parameter (GPV, FK, kf-Werte etc.) zugeordnet werden. Im Rahmen der Modellkalibrierung wurde für die vertikale und horizontale hydraulische Leitfähigkeit anhand einer Sensitivitätsanalyse mit zwei Zielfunktionen (Effizienzquotient nach Nash & Sutcliffe (1970), Hochwasserscheitel) die optimale Parameterkombination ermittelt und mit dem bestehenden Prozessverständnis zur Deckschichtenhydrologie abgeglichen. Eine zusätzliche Validierung der Ergebnisse erfolgte durch Abgleich mit dem Scheitelwert des Extremhochwassers vom August 2002 ($\approx HQ_{200}$). Variante 2 beinhaltet ein vereinfachtes Modell unter Vernachlässigung der Bodentypen und Beschränkung auf die Klassen "Auenböden" (Talböden) und "Periglaziale Deckschichten" (Hänge). Die Parametrisierung basiert dabei auf Daten von bodenhydrologischen Untersuchungen in einem 0,06 km² Quelleinzugsgebiet bei Mulda, welches nur 15 km nördlich des Modellgebietes Obere Flöha im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde liegt (Heller & Kleber 2011).

3. Ergebnisse und Diskussion

Erste, vorläufige Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass im Fall der konventionellen Modellparametrisierung mit Bodentypen sowohl der Verlauf der Ganglinie des Hochwassers von 2006 als auch dessen Scheitelwert dann gut abgebildet werden können, wenn bei der Kalibrierung von anisotropen hydraulischen Bodeneigenschaften mit höherer horizontaler und geringerer vertikaler Leitfähigkeit ausgegangen wird. Andere Kombinationen der Eichparameter (gesamt 32 Varianten) können zwar ebenfalls hohe Effizienzquotienten (Equifinalität) ergeben, jedoch weicht der Scheitelabfluss dann deutlich stärker vom Beobachtungswert ab. Gleiches gilt, wenn der Hochwasserscheitel vom August 2002 zur Validierung einbezogen wird.

Die Fließprozesse in den Deckschichten können mit konzeptionellen N-A-Modellen naturgemäß nur vereinfacht abgebildet werden. Dennoch ist festzuhalten, dass die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zum gegenwärtigen Prozessverständnis passen, demzufolge die Deckschichten hydraulisch anisotrop wirken und horizontale Fließprozesse begünstigen. So zeigen die Prozessstudien im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde, dass bei einer mittleren Bodenvorfeuchte die Basislage eine vertikal stauende Wirkung aufweist und dadurch der Zwischenabfluss in der darüber liegenden Haupt- oder

Mittellage gefördert wird. Bei hoher Vorfeuchte setzen zusätzlich auch horizontale Fließprozesse in der Basislage ein, die durch die hangparallele Einregelung des Bodenskeletts begünstigt werden. Darüber hinaus deuten die Ergebnisse an, dass mit einer vereinfachten Parametrisierung des N-A-Modells mit flächenhaften auftretenden Deckschichten und deren hydrologischen Parametern eine nahezu identische Modellgüte erreicht werden kann, wie mit der konventionellen Parametrisierung mit Bodentypen. Sowohl die Gerinneabflüsse als auch die einzelnen Abflusskomponenten Oberflächen-, Zwischen- und Basisabfluss unterscheiden sich in den Modellvarianten nur geringfügig. Unter der Annahme einer flächendeckenden Verbreitung periglazialer Deckschichten in den zentraleuropäischen Mittelgebirgen kann deshalb bei der Entwicklung von Hochwassermodellen in diesen Gebieten in Erwägung gezogen werden, auf die Differenzierung nach Bodentypen zu verzichten und damit N-A-Modelle weniger komplex gestalten zu können. Dies setzt jedoch voraus, dass die vertikale Gliederung der Deckschichtenkomplexe einschließlich der Schichtmächtigkeiten im jeweiligen Modellgebiet hinreichend genau bekannt ist und entsprechende hydrologische Parameter verfügbar sind. Zu berücksichtigen gilt auch, dass beim gegenwärtigen Stand der Untersuchungen erst zwei Hochwasserereignisse für ein spezifisches Einzugsgebiet betrachtet wurden. In einem nächsten Schritt sollen deshalb zusätzliche Einzugsgebiete einbezogen werden, die im Hinblick auf die Hochwasserentstehungstypen (Starkregen, Schneeschmelze) und Scheitelabflüsse eine größere Spannweite und damit eine breitere Basis für die Modellierung bieten.

Literatur

- Chiffard, P., Didszun, J. und Zepp, H. (2008): Skalenübergreifende Prozessstudien zur Abflussbildung in Gebieten mit periglazialen Deckschichten (Sauerland, Deutschland). *Grundwasser* **13**:27-41.
- Heller, K. und Kleber, A. (2011): Einfluss periglazialer Deckschichten auf die oberflächennahen Fließwege am Hang – eine experimentelle Prozessstudie im Osterzgebirge, Sachsen. In: Blöschl, G. und Merz, R. (Hrsg.): *Hydrologie & Wasserwirtschaft - von der Theorie zur Praxis. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* **30.11**:50-56.
- Hümann, M., Schüler, G., Müller, Ch., Schneider, R., Johst, M. and Caspari, Th. (2011): Identification of runoff processes – The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods. *Journal of Hydrology* **409**:637-649.
- Kleber, A., Lindemann, J., Schellenberger, A., Beierkuhnlein, C., Kaupenjohann, M. and Peiffer, S. (1998): Slope deposits and water paths in a spring catchment, Frankenwald, Bavaria, Germany. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **50**:119-126.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. 1970: River flow forecasting through conceptual models. Part I: Discussion of principles. *Journal of Hydrology* **10**:282-290.
- Reinhardt, Ch. (2010): Dezentraler Hochwasserrückhalt im Einzugsgebiet der Oberen Flöha (Mittleres Erzgebirge) – Modellierung der Potentiale von dezentralen Maßnahmen an Fließgewässern als Elemente des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Aachen.

Reinhardt, Ch., Bölscher, J., Schulte, A. and Wenzel, R. (2011): Decentralised water retention along the river channels in a mesoscale catchment in Southeastern Germany. *Physics and Chemistry of the Earth* **36**:309-318.

Anschrift des Verfassers:

Christian Reinhardt

Frei Universität Berlin, Geographische Wissenschaften

Malteserstr. 74-100, 12249 Berlin

Email: christian.reinhardt@fu-berlin.de

Modellsimulationen zur Ermittlung des Einflusses von Reliefeigenschaften auf den Direktabfluss – ein Werkstattbericht

Julius Kranl, Dirk Janßen & Harald Zepp

Geographisches Institut, Ruhr-Universität Bochum

Das Geographische Institut der Ruhr-Universität Bochum ist an der Entwicklung des hydrologischen Modells AHEM (Automatisches Hydrologisches Echtzeit-Modell) beteiligt, das unter anderem das Relief als Einflussgröße heranzieht. Das Abflussverhalten vor allem kleinerer Fließgewässer des Mittelgebirges ist abhängig von den geometrischen Eigenschaften des Einzugsgebiets und der zugehörigen Hänge (CHIFFLARD 2006, BAUMGARTNER 1996). In AHEM sollte für alle mittels verschiedener GIS-Verfahren abgegrenzten Hangeinheiten des zu modellierenden Gesamteinzugsgebiets eine charakteristische Direktabflussganglinie implementiert werden. Durch eine Clusteranalyse wurden aus den ca. 1200 Hangeinheiten 29 repräsentative ausgewählt, für die das Abflussverhalten in Direktabflussphasen mit der Software HYDRUS 3D simuliert wurde. Diese ermöglicht die dreidimensionale Simulation von Flüssen in porösen Medien durch die numerische Lösung der Richards-Gleichung (ŠIMŮNEK 2007).

Die bisherigen Ergebnisse erlauben vergleichende Interpretationen der resultierenden Ganglinien des Direktabflusses unter Berücksichtigung der jeweiligen geometrischen Eigenschaften der Hänge. Um Zusammenhänge auch statistisch zu belegen und zu quantifizieren, sollen multivariate Regression Trees (MRT) mit geometrischen Eigenschaften als unabhängigen und jeweils einer Eigenschaft der Ganglinie als abhängiger Variable erstellt werden.

Konzept

Nach Festlegung einer horizontal und vertikal möglichst plausiblen Bodenfeuchteverteilung außerhalb von Direktabflussphasen wurden Berechnungen der ausgewählten Hänge simuliert. Am Hangfuß oder bei konvergenten Hängen am tiefsten Geländepunkt wird der Abfluss in einer zeitlichen Auflösung von 30 Minuten ausgegeben.

Die Ganglinie nach Beregnung wurde für jeden Hang mit der Ganglinie des Hangs ohne Niederschlag bei gleichem anfänglichem Feuchtezustand verglichen. Letztere repräsentiert nach Erreichen des Scheitels die Leerlaufganglinie des Hangs (Abb. 1). Der Scheitel ist erst dann zu erwarten, wenn sich im unteren Hangbereich und/oder der Aue gesättigte Verhältnisse eingestellt haben. Simulationen mit gesättigten Bereichen als Ausgangszustand waren mit HYDRUS 3D nicht oder nur bedingt möglich, so dass diese Zustände erst innerhalb des Simulationszeitraums erreicht werden konnten.

Die Berechnung erfolgte stets erst dann, wenn die Steigung der Leerlaufganglinie bereits deutlich abgenommen hatte (Abb. 1).

Für jeden Zeitschritt wurde die Differenz zwischen Abfluss mit und ohne Niederschlag gebildet. Hieraus resultiert eine neue Ganglinie, die bis zu einem festzulegenden Zeitpunkt als Annäherung an die Direktabflussganglinie anzusehen ist (Abb. 2).

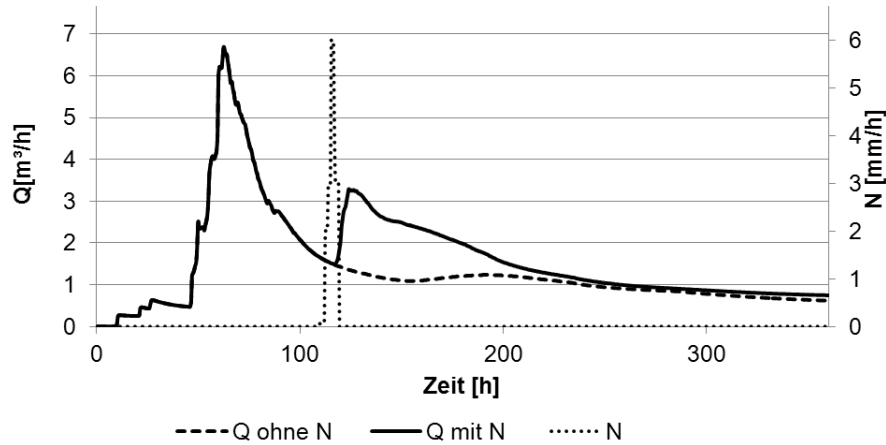


Abb. 1: Festlegung des Berechnungszeitpunkts

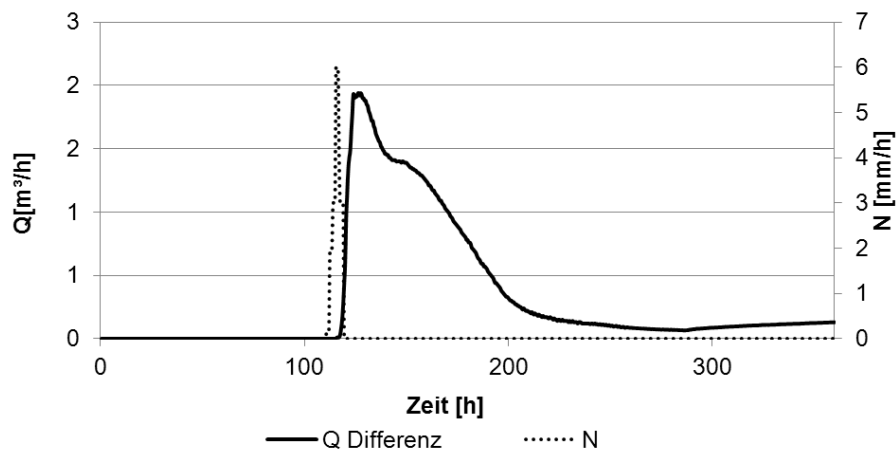


Abb. 2: Differenzganglinie aus Ganglinien mit und ohne Beregnung

Definition des Gebietsauslasses

Zur Erfassung des Abflusses werden die tiefsten Oberflächenpunkte der Hänge als **Seepage Face** definiert. An diesen Punkten kann Wasser das System verlassen (ŠIMŮNEK 2007). Das entsprechende Volumen wird zu jedem Zeitschritt erfasst (ŠIMŮNEK 2007). Für das gewählte Seepage Face wurde die Einstellung gewählt, dass Wasser das System erst bei Erreichen gesättigter Verhältnisse verlassen kann (ŠIMŮNEK 2007). Dies ist sinnvoll, weil Direktabfluss in nennenswerte Höhe nicht aus den teilgesättigten Lehmböden austritt.

Je nach Geometrie bestand das Seepage Face aus dem unteren Bereich einer Mulde und/oder dem Bereich entlang einer Kante. Das Seepage Face deckte dabei die Oberfläche sowie die vertikalen Randflächen der Geometrie ab.

Da HYDRUS 3D keinen Oberflächenabfluss simulieren kann, sollte die Oberfläche potentieller Stauwasserbereiche Teil des Seepage Face sein. Bei gesättigten Verhältnissen an der Oberfläche wird weiter zufließendes Wasser also direkt dem Vorfluter zugeschlagen. Bei der zeitlichen Auflösung der Simulationsausgabe von 30 Minuten wird so die zeitliche Komponente des Oberflächenabflusses korrekt erfasst. Im Modell würde das Stauwasser ohne Seepage Face mit großer zeitlicher Verzögerung wieder infiltrieren und erst dann als Zwischenabfluss abfließen.

Definition der Bodenfeuchte

Die Feuchteverteilung zu Beginn der Simulation sollte den Zustand eines relativ feuchten Hangs wiedergeben, dessen Gesamtwassergehalt wenig oberhalb des Wassergehalts bei Feldkapazität – unter Annahme einer horizontal und vertikal einheitlichen Feuchteverteilung – liegt. Das entsprechende Wasservolumen sollte nun im Rahmen der Möglichkeiten von HYDRUS 3D sowohl vertikal als auch horizontal möglichst realitätsnah verteilt werden. Die horizontale Feuchteverteilung auf Basis der Geländehöhe ist Abb. 3 zu entnehmen. Im Übergangsbereich zum Festgestein wird die Feuchte bis zur Grenzfläche auf annähernd Sättigung erhöht.

Mit der in Abb. 3 dargestellten Feuchteverteilung ergibt sich ein minimaler Pressure Head von -2 Meter und ein maximaler Pressure Head von -0,3 Meter konnte die gewünschte Vorgabe hinsichtlich des Gesamtwassergehalts eingehalten werden.

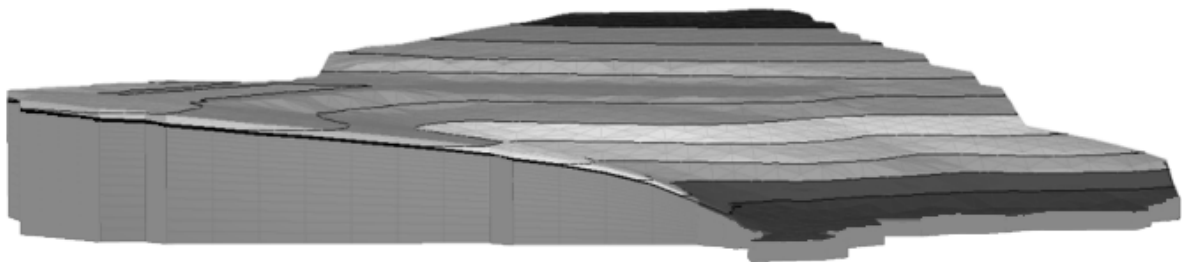


Abb. 3: Horizontale Bodenfeuchteverteilung eines Hangs zu Beginn der Simulation (schwarze Linien trennen Bereiche mit gleicher Feuchteklasse); Spannweite der Feuchte: Hangfuß = -0,3 Meter Pressure Head; höchster Punkt = -2 Meter Pressure Head)

Statistische Analyse: Multivariate Lineare Regression Trees

Mit Multivariate Lineare Regression Trees (MRT) kann der Einfluss mehrerer unabhängiger Variablen auf eine abhängige Variable untersucht werden. Entsprechend sind auch Aussagen zur Bedeutung der unabhängigen Variablen untereinander sowie ggf. Wechselwirkungen möglich.

Es sollen mehrere MRT erstellt werden, die jeweils den Einfluss der Geometrie auf eine Eigenschaft der Ganglinie ausdrücken. Die geometrischen Eigenschaften der simulierten Hänge sollen bei allen durchzuführenden MRT über Variablen aus folgendem der Analyse zur Verfügung gestellten Variablen-satz beschrieben werden:

1. Umfang
2. Fläche
3. Kreisförmigkeits-Index= $(\text{Fläche} \cdot 4 \cdot \pi) / [(\text{Umfang})]^2$ (1=kreisförmig; 0=rechteckig)
4. Längster Fließweg
5. Differenz zwischen höchstem und tiefstem Punkt
6. Mittlere Hangneigung
7. Mittlere Wölbung des Längsprofils (> 0 konkav, < 0 konvex)
8. Mittlere Wölbung des Querprofils (< 0 konkav, > 0 konvex)
9. Länge eines Gewässers am Hangfuß in m (bei Kopfgebieten: 0m)

Als abhängige Variablen sollen folgende Kenngrößen dienen:

1. Zeitspanne zwischen Niederschlagsbeginn und maximalem Abfluss
2. Verhältnis maximaler / minimaler Abfluss während der Direktabflussphase
3. Dauer des Abflussrückgangs vom Maximum auf 40% des Maximums (bzw. Minimum, wenn Q nie < 40% Maximum)
4. Anzahl Scheitelpunkte

Für jede dieser Variablen soll eine MRT durchgeführt werden.

Der MRT hat gegenüber einer Multiplen Linearen Regressionsanalyse (MLR) den Vorteil, dass der Einfluss von Faktoren unmittelbar und gut visualisiert abgelesen werden kann.

Literatur

- Baumgartner, A. (1996): Allgemeine Hydrologie. Quantitative Hydrologie; 2. Auflage. Berlin.
- Chiffard, P. (2006): Der Einfluss des Reliefs, der Hangsedimente und der Bodenvorfeuchte auf die Abflussbildung im Mittelgebirge. Experimentelle Prozess-Studien im Sauerland. *Bochumer Geographische Arbeiten* 76.
- Šimůnek, J.; Sejna, M.; van Genuchten, M. Th. (2007): The HYDRUS Software Package for Simulating the Two- and Three-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. User Manual (Version 1.02).

Anschrift des Verfassers:

Julius Kranl

Geographisches Institut, Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstr. 150, 44780 Bochum

Email: julius.kr@t-online.de

Einfluss von Trockenstress und Buchdruckerbefall auf den Bodenwasserhaushalt und das Baumwachstum von Fichten

Yvonne Morgenstern & Sonia Ortiz

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

Mit dem prognostizierten Klimawandel in Mitteleuropa ist mit einem häufigeren Auftreten von extremen Wetterereignissen, wie Stürmen und langen Trockenwetterperioden zu rechnen. Ein erhöhtes Auftreten von Käferkalamitäten und ein geringeres Baumwachstum könnten die Folgen sein. Die Entwicklung eines satellitengestütztes Monitoring von Waldflächen könnte hierbei zu einer wesentlichen Verbesserung bei der Erfassung des Waldzustandes bzw. Waldschäden auf großen Flächen sein. Zur Gewinnung von Referenzdaten wurde im Jahr 2009 ein Feldversuch auf einer 10 ha großen Versuchsfläche bei Biberach ($48^{\circ}8'N$, $9^{\circ}43'E$, 574 m ü. NN) in Baden-Württemberg durchgeführt. Auf dieser wurde Wasserstress und Buchdruckerbefall experimentell verursacht. Das Freilandexperiment wurde von der Abteilung Biometrie und Informatik der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) koordiniert und von den Abteilungen Waldschutz sowie Boden und Umwelt unterstützt. Die Feldversuche dienten vorrangig zur Auswertung und Interpretation von Satellitendaten (TerraSAR-X und RapidEye Bildern (Ortiz, 2012)). Des Weiteren wurden die Daten genutzt, um Wasserhaushaltsberechnungen durchzuführen und kritische Trockenstressphasen zu bestimmen. Mit der Entnahme von Bohrkernen konnte zudem auch der Einfluss auf das Baumwachstum anhand von Jahrringanalysen quantifiziert werden.

Untersuchungsfläche

Innerhalb der Versuchsfläche wurden sechs visuell einfach abzugrenzende Fichtengruppen von jeweils acht Bäumen ausgesucht (Abbildung 1). Die Fläche A1 wurde als Nullfläche ohne Behandlung definiert. An drei Fichtengruppen (A2, B2, W2) wurden im April 2009 Lockstoffe (Pheromondispenser) befestigt, die zum Befall aller Bäume mit Buchdruckern führten. Des Weiteren wurde an zwei Fichtengruppen (W1 und W2) durch Kappung der Wurzeln im Radius von einem Meter um den Baum und durch Errichtung von Trockendächern (Mai und September 2009) an zwei weiteren Gruppen (B1 und B2) Wasserstress an den Bäumen verursacht.

An allen sechs Fichtengruppen wurde die Bodenfeuchte in drei Bodentiefen 0, 30 und 60 cm mittels einer FDR-Sonde (Delta-T) im 14-tägigen Abstand mit je drei Messwiederholungen gemessen (Abbildung 2). Diese Daten dienten zur Kalibrierung des 1D-Wasserhaushaltsmodells LWF-Brook90 (Hammel und Kennel, 2001).

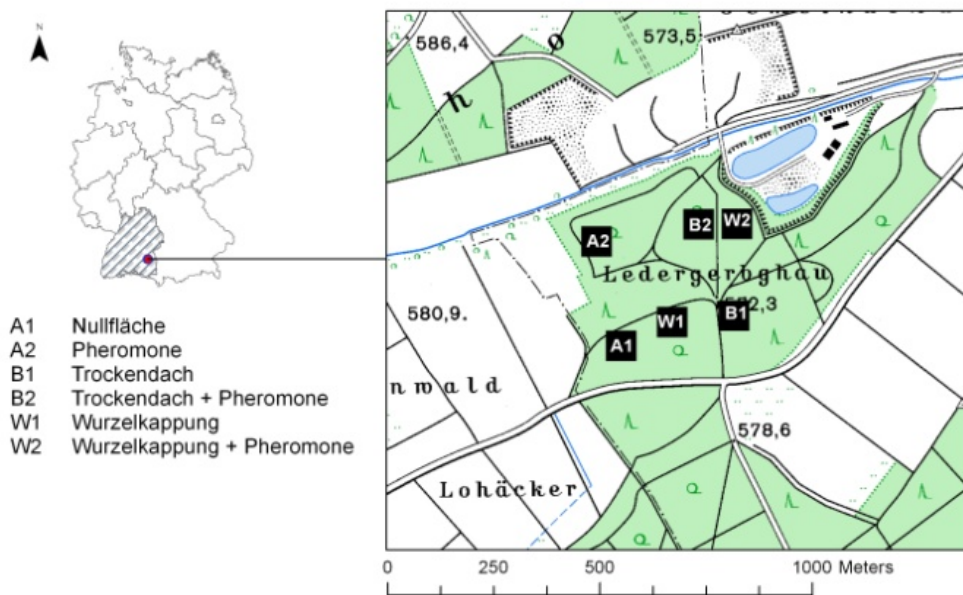


Abb. 1: Lage der Untersuchungsfläche bei Biberach in Baden-Württemberg mit den sechs Baumgruppen – A1, A2, B1, B2, W1 und W2

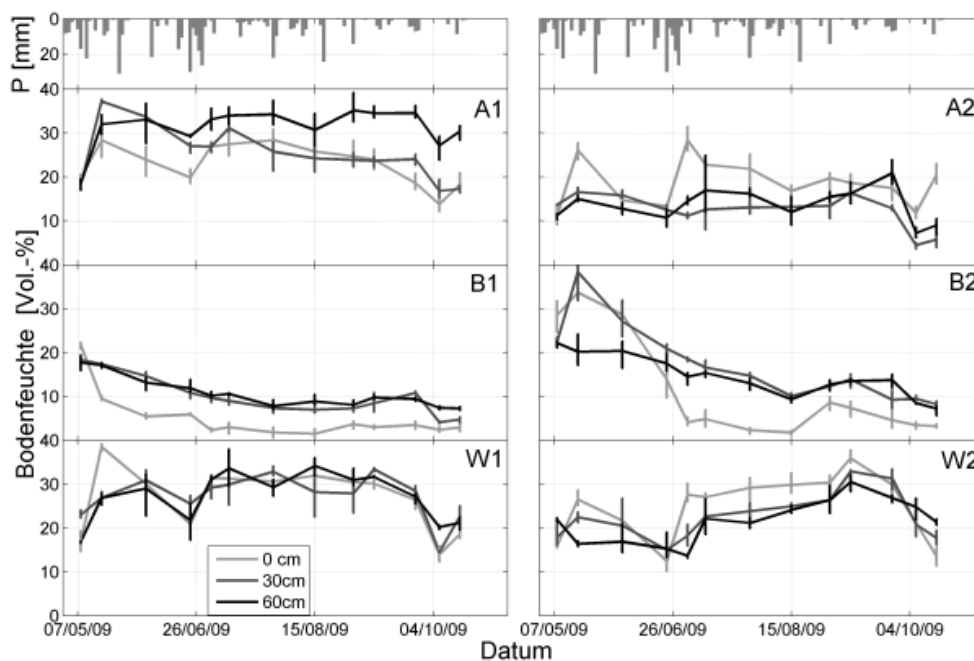


Abb. 2: Mittelwerte, Maximum und Minimum der Bodenfeuchtemessungen in den drei Messtiefen (0, 30, 60 cm) jeweils mittig pro Plot gemessen sowie Verlauf der Tagesniederschläge P in dem Untersuchungszeitraum Mai –Oktober 2009

Modellkalibrierung

Aufgrund der geringen Datenmenge (13 Stichtagsmessungen der Bodenfeuchte) sowie der großen Bandbreite an Modellparametern wurde zunächst eine Sensitivitätsanalyse (Monte-Carlo Ansatz) mit 32 Modellparametern und anschließend eine Parameteroptimierung mit dem SCEM-UA Algorithmus (Vrugt et al., 2003) pro Baumgruppe durchgeführt. Pro Plot ergaben sich daher unterschiedliche, sensitive Modellparameter, sowohl in der Anzahl ($n=3$ bis 13) als auch in der Stärke der Sensitivität. Besonders oft waren der Blattflächenindex (LAI), die maximale Pflanzenleitfähigkeit (MXKPL) sowie Abflussparameter (Anteil zum schnellen Abfluss, Infiltrationsexponent) und Bodenparameter (MvG-Parameter: $n, \alpha, \theta_s, \theta_r, \tau$) sensitiv. Als Gütekriterium wurde der Nash-Sutcliff und der RMSE verwendet. Für die Parameteroptimierung mit SCEM-UA-Algorithmus musste ein möglicher Wertebereich der zu optimierenden Modellparameter und eine Zielfunktion (Minimierung der Abweichungen zwischen gemessenen und modellierten Werten) vorgegeben werden. Die Plots B1 und B2 konnten mit einem Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,7 bis 0,91 sehr gut modelliert werden, da die Modellierung während der Dachinstallation ohne Niederschlagseintrag erfolgen konnte. Die Flächen A1 und A2 wiesen ein R^2 zwischen -0,04 und 0,78 auf. Dies könnte auf die unzureichende Wiedergabe der Bodenfeuchtedynamik mit 14-tägigen Bodenfeuchtemessungen zurückzuführen sein. Noch schwieriger erwies sich die Modellierung der Wurzelkappung. Die Parameter Wurzelverteilung und Wurzellänge wurden zwar drastisch reduziert, jedoch konnte keine Einschränkung der Transpiration erreicht werden. Das Modell LWF-Brook90 schränkt die Transpiration nicht ein, solange genügend Bodenwasser für die Transpiration zur Verfügung steht. Die Modellergebnisse können in diesem Fall somit nicht den realen Verlauf der Transpirationsrate widerspiegeln.

Modellergebnisse

Anhand der Modellierungsergebnisse konnte die zeitliche Entwicklung der Bodenwassermenge (bezogen auf einen Meter Bodentiefe) und der Transpirationsraten pro Tag dargestellt werden (Abbildung 3). Für jeden Plot wurde eine kritische Trockenstressgrenze bestimmt, ab der Wachstumseinschränkungen auftreten können. Diese stellt sich bei Fichte bei einem Matrixpotential von ca. -1100 hPa ein (v. Wilpert, 1990). Auf den Flächen B1 und B2 (mit Dach) wurde diese kritische Trockenstressgrenze nach 21 bzw. 33 Tagen unterschritten.

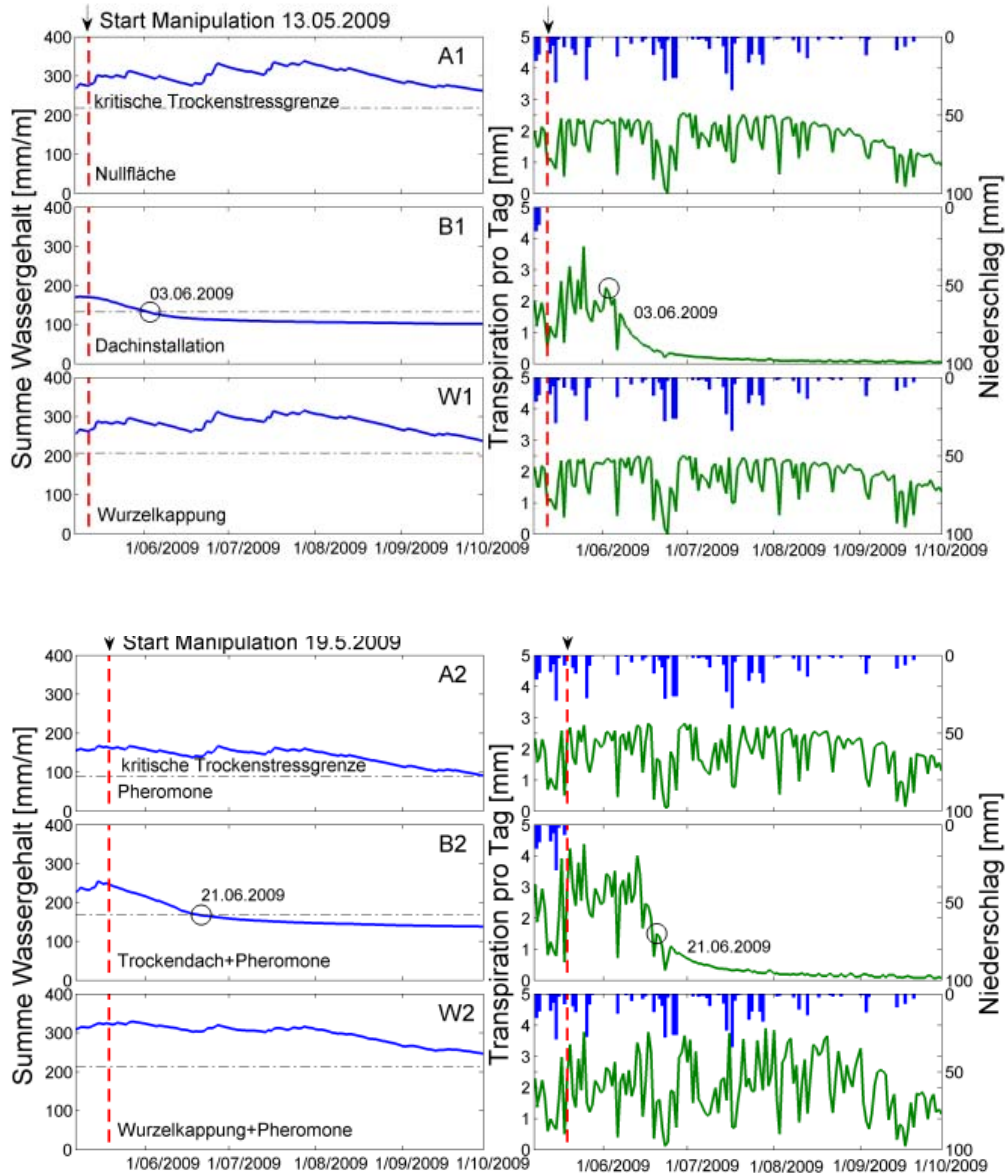


Abb. 3: Modellierter Verlauf der Bodenwassermenge bezogen auf einen Meter und der Transpirationsrate pro Tag

Auswirkung auf das Baumwachstum

Um den Einfluss der Manipulation auf das Baumwachstum zu überprüfen, wurden an jeder Baumgruppe je drei Bohrkern entnommen und die Jahrringbreiten für die Jahre 2008 bis 2010 bestimmt (Abbildung 4). Im Gegensatz zur Modellierung reagierten alle behandelten Baumgruppen im Jahr 2009 mit Wachstumseinschränkungen im Vergleich zur Nullfläche, die sogar ein deutlich stärkeres Wachstum im Jahr 2009 aufwies. Die Änderungen zwischen 2008 und 2009 waren an den Plots A1 und A2 signifikant ($p < 0,05$). Die anderen Plots reagierten alle mit einem Trend zu verringertem

Wachstum. Während auf Plot A2 (nur Käferbefall) im Jahr 2010 wieder eine Zunahme der Jahrringbreiten verzeichnet werden konnte, zeigten die Plots mit induziertem Wasserstress (B1, B2, W1) immer noch Wachstumseinschränkungen.

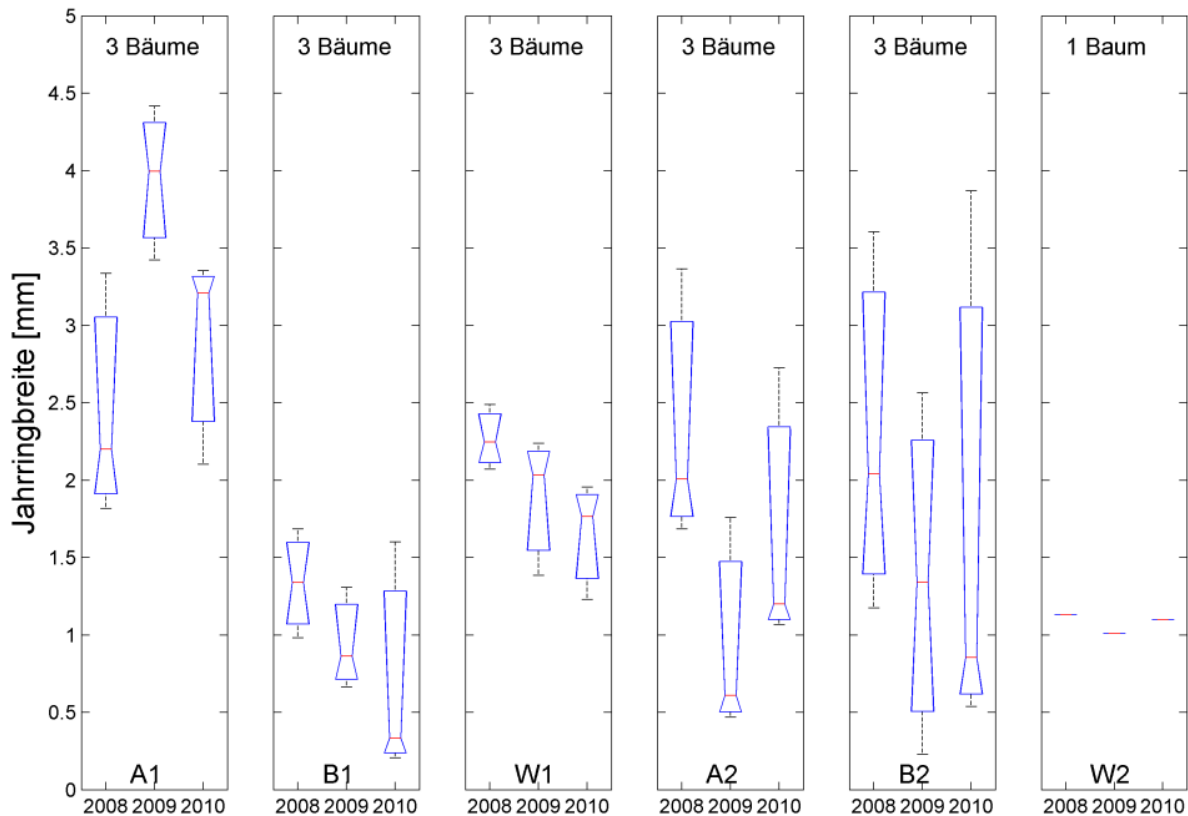


Abb. 4: Vergleich der Jahrringbreiten zwischen 2008, 2009 und 2010, Bohrkerne von drei Bäumen pro Plot, W2 nur noch ein Baum lebend

Mit Hilfe der Feldversuche konnten gezeigt werden, dass durch Käferbefall und Trockenstress das Baumwachstum vermindert und die Anfälligkeit der Bäume auf weiteren Buchdruckerbefall verstärkt wird. Nach einer Trockenperiode von 21-33 Tagen erreichten die Plots B1 und B2 die kritische Trockenstressgrenze, bei der Fichten mit Wachstumseinschränkungen reagieren.

Literatur

Hammel, K. und Kennel, .M. (2001): Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90. *Forstliche Forschungsberichte München* **185**.

Ortiz, S., Breidenbach, J., Knuth, R. and Kändler, G. (2012): The Influence of DEM Quality on Mapping Accuracy of Coniferous- and Deciduous-Dominated Forest Using TerraSAR-X Images. *Remote Sensing* **4**:661–681.

Vrugt, J.A., Gupta, H.V., Bouten, W. and Sorooshian, S. (2003): A Shuffled Complex Evolution Metropolis algorithm for optimization and uncertainty assessment of hydrologic model parameters. *Water Resour. Res* **39 (8)**:1–16.

von Wilpert, K. (1990): Die Jahrringstruktur von Fichten in Abhängigkeit vom Bodenwasserhaushalt auf Pseudogley und Parabraunerde. Ein Methodenkonzept zur Erfassung standortsspezifischer Wasserstressdispositionen. Institut für Bodenkunde u. Waldernährungslehre d. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen* **2**.

Anschrift der Verfasserin:

Yvonne Morgenstern

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

79007 Freiburg

Email: yvonne.morgenstern@forst.bwl.de

Problems and possibilities in agricultural irrigation from a soil hydrological point of view

Sven Grashey-Jansen

Universität Augsburg, Institut für Geographie

1. Introduction

Approximately 70% of the global water withdrawal and 85% of the consumptive water use are for irrigation (Goodwin and O'Connell 2008). Unfortunately water use efficiency in the agricultural sector is very poor with more than 50% water losses (Hezarjaribi and Sourell 2007). In most cases the main goal in water management is to optimize irrigation water use efficiency (IWUE) not only to produce high quality, high yielding crops but also to ensure that runoff and leaching are minimized (Sadler et al. 2000). Mostly climatic and phenological factors are used to regulate irrigation. But irrigation efficiency is strongly influenced by soil properties.

2. Materials and Methods

Since 2003 soil tensiometric time-series data were measured in an hourly time resolution and recorded in irrigated orchards in South Tyrol (Northern Italy). Intervals of irrigation were registered by pressure sensors in the irrigations lines. The pedological field-research at soil pits was combined with analysis in the laboratory which provided quantitative information about the particle-size distributions at all measuring points.

The gained database (built by 131 seasonal time-series (April-November) of soil water tensions in different soil depths) made it possible to use statistical methods to describe the influence and efficiency of irrigation on different soils and in different soil depths (Grashey-Jansen 2008, 2010 and 2012). Furthermore, the derivation of pedotransferfunctions (Grashey-Jansen and Timpf 2010, Grashey-Jansen 2011) made simulative approaches concerning precision irrigation possible.

The statistical analyses and simulation approaches were performed using the proprietary software SPSS®, the free statistical software environment of R and the generic environment for modelling and experimenting SeSA_m (Shell for Simulated Agent Systems).

3. Results and Discussion

Figure 2 shows the time lags of the irrigation signals between 20cm and 40cm and 20cm and 60 cm soil depth of three different soil profiles each composed of equal soil textures (Sa, LoSa, SiLo). The time lags were calculated by cross correlations of 18 tensiometric time series captured at these locations.

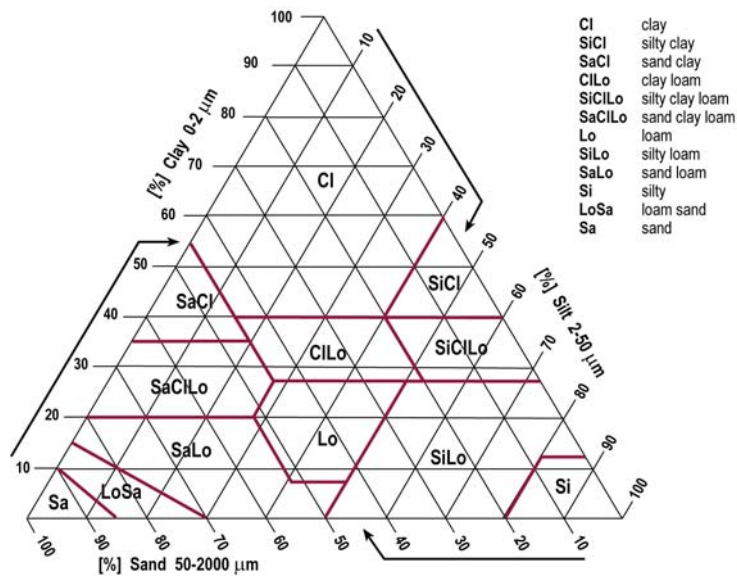


Fig. 1: Legend for Figure 2 and Figure 3.

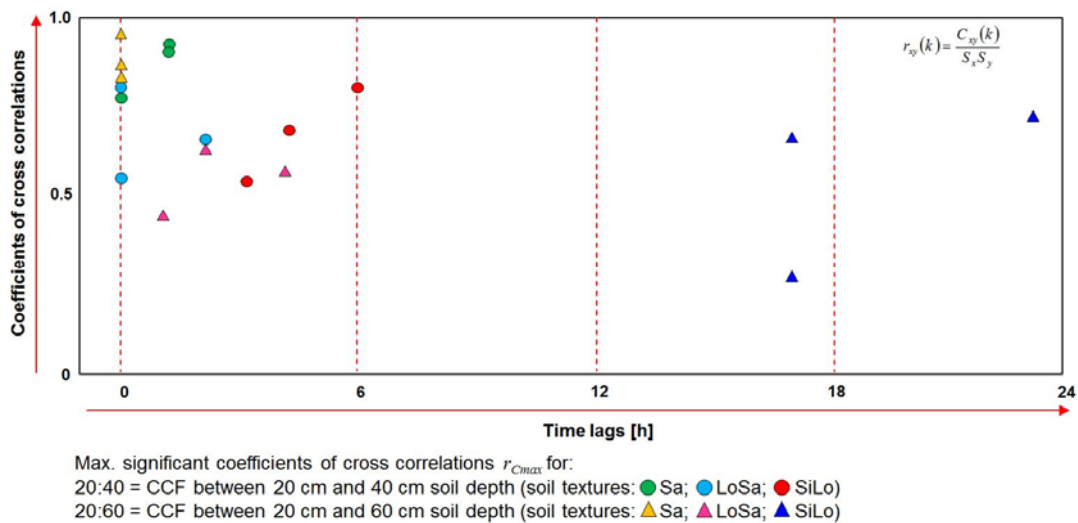


Fig. 2: Significant coefficients of cross-correlations in the 24-hour timeframe of three uniform soil profiles (significance level $\alpha = 0.01$).

The shortest time lags can be detected for the sand profile (Sa). Irrigation signals need less than two hours to pass the soil depth of 60cm due to higher ratios of macro and medium pores. In the loam sand profile (LoSa) signals cause significantly longer time lags to reach the depth of 60cm. The silty loam texture with a higher ratio of micropores in the third profile causes signal delays up to 23 hours.

There are significant time differences in the soil hydrological response to the water-influx. The results of tensiometric time series analysis indicate that the pedological characteristics with their

spatial variability decisively control the efficiency of irrigation (e.g. Grashey-Jansen 2008). As a consequence appropriate and precise irrigation must take soil conditions into account. Grashey-Jansen and Timpf (2010) created an agent-based simulation of a soil dependent precision irrigation system. The model calculates an irrigation plan to ensure water application which is efficient and meets the demands (Figure 3). Thereby, the irrigation does not happen intermittently but in a continuous and dynamic way. This means that the amount of the water applied during the irrigation process is subject to controlled dynamic fluctuations. The irrigation plan shows these dynamics. The intensity of irrigation is variable during the whole period of irrigation because each soil depth (= area of virtual sensor nodes) contains the amount of water which corresponds to its maximal volume of water content at field capacity. This explains the varying values of the effective water amount. In addition to the intensity of irrigation the duration of irrigation is also controlled. Because of this dynamic way of irrigating the soil is given the needed water gradually, following the soil hydrological characteristics.

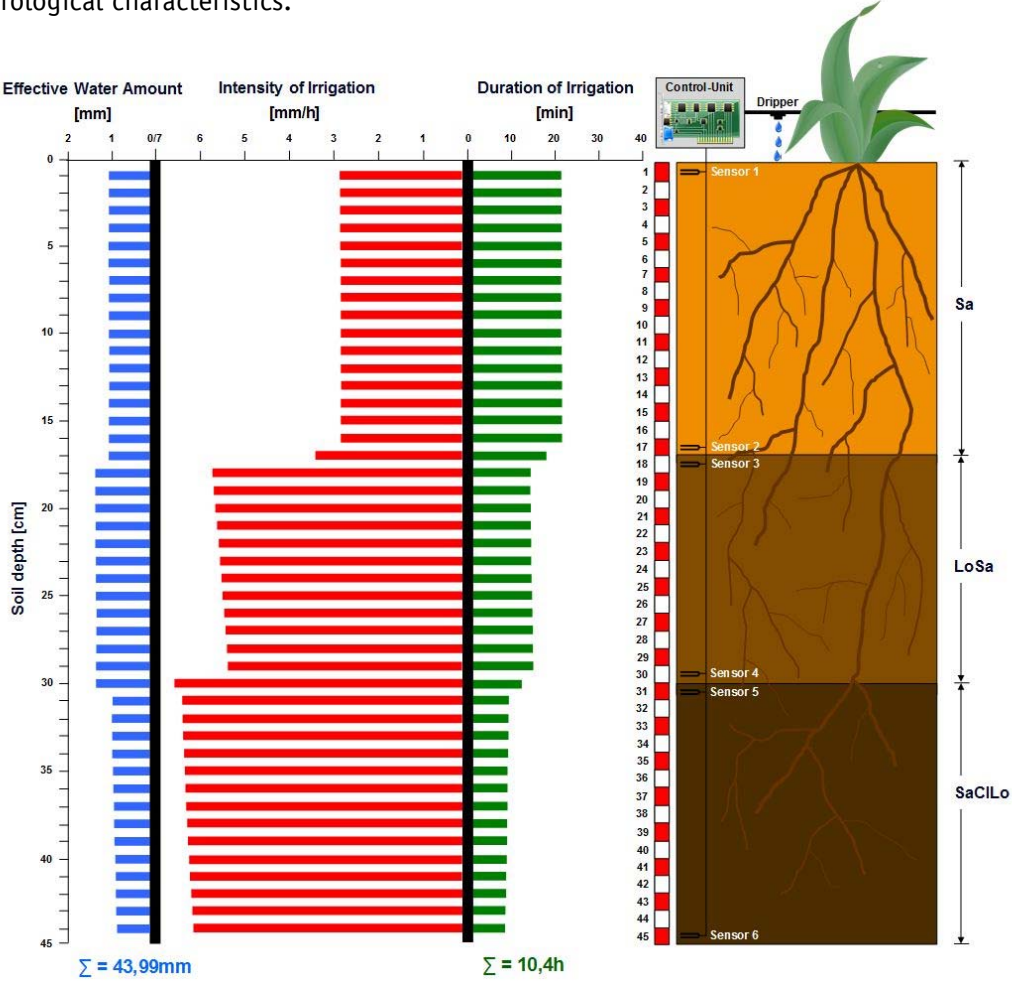


Fig. 3: Output of a simulated irrigation schedule with the corresponding soil profile.

4. Conclusions

To optimize irrigation practice economically and ecologically it is essential to provide an objective basis for the irrigation process. However, atmospheric parameters as well as groundwater proximity must not be overrated: close attention to the pedological conditions should be a primary consideration. Soil physical properties can change enormously over small distances but the composition and properties of the cultivated soils are rarely taken into consideration. An approach of precision irrigation requires precise knowledge of soil properties. The presented irrigation plan adapts to measured soil water dynamics, differentiating between different soil strata and soil depths.

Literature

- Goodwin, I. and O'Connell, M.G. (2008): The future of irrigated production horticulture – world and Australian perspective. *Acta Horticulturae* **792**:449–458.
- Grashey-Jansen, S. (2008): Raum-zeitliche Differenzierung der Bodenwasserdynamik auf obstbaulich genutzten Standorten in Südtirol unter Bewässerungseinfluss. *Geographica Augustana* **3**. Augsburg.
- Grashey-Jansen, S. (2010): Pedohydrological case study of two apple-growing locations in South Tyrol (Italy). *Agricultural Water Management* **98**:234-240.
- Grashey-Jansen, S. and Timpf, S. (2010): Soil hydrology of irrigated orchards and agent-based simulation of a soil dependent precision irrigation system. *Advanced Science Letters* **3/3**:259-272.
- Grashey-Jansen, S. (2011): Simulation einer sensorgestützten Präzisionsbewässerung von Standorten im Südtiroler Obstanbau. In: *Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften* **32/33**:49-56.
- Grashey-Jansen, S. (2012): The influence of physical soil properties on the water supply of irrigated orchards – some examples from Val Venosta (South Tyrol/Northern Italy). *Journal of Environmental Biology (Special Issue: Environment and Geography in Mediterranean)* **33**:417-424.
- Hezarjaribi, A. and Sourell, H. (2007): Feasibility study of monitoring the total available water content using non-invasive electromagnetic induction-based and electrode-based soil electrical conductivity measurement. *Irrigation and Drainage* **56**:53-65.
- Sadler, E. J., Evans, R., Buchleiter, G., King, B. and Camp, C. (2000): Venturing into precision agriculture. *Irrigation Journal* **50 (3)**:15–17.

Anschrift des Verfassers:

Sven Grashey-Jansen
Geographisches Institut , Universität Augsburg
Universitätsstr. 10, D-86159 Augsburg
Email: sven.jansen@geo.uni-augsburg.de

Berechnungs- und Färbeexperimente zur Ermittlung der hydraulischen Eigenschaften periglazialer Deckschichten

Katja Heller & Arno Kleber

Institut für Geographie, Technische Universität Dresden

1. Einführung

Die Minderung von Schäden durch Hochwasserereignisse bzw. Schadstofftransportprozesse ist nur auf der Basis ausreichender Informationen über die Abflussbildungsprozesse in den Einzugsgebieten zu erreichen (Uhlenbrook 2005). Letztere sind aufgrund ihrer Komplexität und Nichtlinearität jedoch nicht vollständig verstanden (McDonnell et al. 2007). In den Mittelgebirgen beispielsweise sind die hydrologischen Prozesse maßgeblich von den Eigenschaften der Hänge abhängig (Graham et al. 2010). Der oberflächennahe Untergrund an den Hängen der zentraleuropäischen Mittelgebirge ist nahezu flächendeckend aus periglazialen Deckschichten („Lagen“) aufgebaut. Diese gliedern sich in Haupt-, Mittel- und Basislage und unterscheiden sich hinsichtlich ihrer sedimentologischen und bodenphysikalischen Eigenschaften (Kleber 2004). In einem 6 ha großen Quelleinzugsgebiet im Ost-erzgebirge wird seit 2007 untersucht, welchen Einfluss diese flächenhaft verbreitete Struktur der periglazialen Deckschichten auf die Abflussbildungsprozesse am Hang hat.

2. Material und Methoden

Das ausschließlich forstlich genutzte Untersuchungsgebiet nahe der Ortschaft Mulda, dessen quellnahes Relief als Hangdelle ausgebildet ist, liegt in 521 bis 575 m ü. NHN. Der anstehende Gneis wird von Zwei- und Dreischichtprofilen überlagert. Neben hydrometrischen, hydrochemischen und geoelektrischen Messverfahren (Heller 2012) wurden Färbeexperimente mit Brilliant Blue zur visuellen Erfassung der kleinräumigen Fließwege des Wassers innerhalb und zwischen den Schichten durchgeführt. An einem Standort mit dreischichtigem Aufbau wurde im Innenring eines Doppelring-Infiltrometers (30 cm) 18 l gefärbtes Wasser innerhalb von 24 Minuten versickert. Zusätzlich wurden mit Hilfe einer Berechnungsanlage auf einer 2,25 m² großen Fläche mit zweischichtigem Aufbau 40 l m⁻² mit einer Intensität von rund 12 mm h⁻¹ aufgebracht. Bei beiden Versuchen wurde eine Brilliant Blue-Konzentration von 3 g l⁻¹ verwendet. Um Zwischenabfluss direkt beobachten zu können, wurde eine Interflowgrube (Abb. 1) an einem Dreischichtprofil angelegt und innerhalb von 3,5 Stunden mit 171 l m⁻² künstlich beregnet. Der Abstand zwischen der beregneten Fläche und der Grube betrug 50 cm. Die Hangneigung am Standort liegt bei 15 °. Die Auffangrinnen wurden unterhalb der organischen Auflage in 11 cm u. GOK sowie an der Grenze zwischen Haupt- und Mittellage

in 56 cm u. GOK installiert. Zwischen Mittel- und Basislage war aufgrund des hohen Steingehaltes kein Rinneneinbau möglich.



Abb. 1: Interflowgrube mit Beregnungsanlage
(Foto: K. Knaack)

3. Ergebnisse und Diskussion

Das aufgegrabene Dreischichtprofil des Doppelring-Infiltrometersversuchs (Abbildung 2) zeigt, dass sich der Farbtracer in der Hauptlage gleichmäßig unterhalb des Innenrings in vertikaler Richtung ausbreitete. In der Mittellage verteilte sich das gefärbte Wasser sowohl hangab- als auch hangaufwärts in zu den Schichtgrenzen paralleler Richtung. Dies deutet auf wasserstauende Eigenschaften der liegenden Basislage hin, die selbst nur an wenigen Stellen gefärbt war. Dieses Farbverteilungsmuster ist damit zu interpretieren, dass die Basislage aufgrund ihrer hohen Lagerungsdichte das Wasser anstaute, so dass es sich in der Mittellage vorwiegend in lateraler Richtung ausbreitete. Das mit der Anlage beregnete Zweischichtprofil zeigte die stärksten Verfärbungen ebenfalls in der Hauptlage. Diese waren zungenförmig, überwiegend scharf abgegrenzt, verliefen meist entlang von Wurzelbahnen und endeten größtenteils an der Grenze zur Basislage (Döhler 2011).

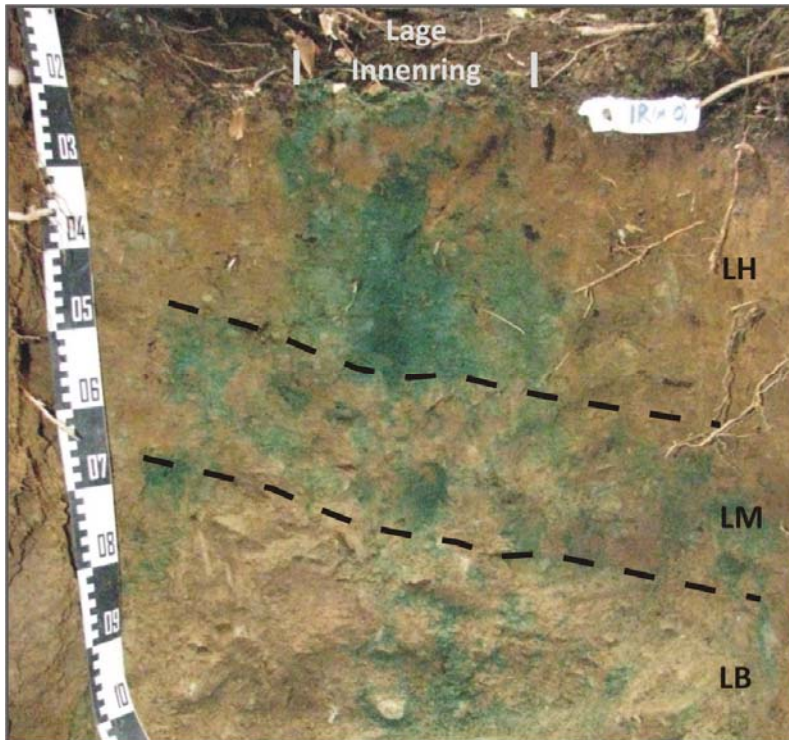


Abb. 2: Mit Brilliant Blue markiertes Dreischichtprofil nach Färbeversuch mit Doppelring-Infiltrationsmeter (LH = Hauptlage, LM = Mittellage, LB = Basislage) (Foto: R. Hübner)

Die Verfärbungen im Bereich der Basislage beschränkten sich weitestgehend auf ein Steinnest mit ungewöhnlich lockerer Lagerung. An dieser Stelle konnte Wasser rasch vertikal perkolieren. Die geringere Verfärbung der umliegenden Basislage ist unterschiedlich zu interpretieren. Entweder der Farbttracer adsorbierte durch die langsame Versickerung bereits überwiegend im Hangenden, wie es auch von Ketelsen & Meyer-Windel (1999) als Nachteil des Tracers beschrieben wird, oder aber die höhere Lagerungsdichte der Basislage behinderte die weitere vertikale Versickerung.

Bei dem Beregnungsexperiment an der Interflowgrube wurden nach 45 Minuten und etwa 50 l m^{-2} erste einzelne Wasserfäden innerhalb der organischen Auflage sichtbar. Nach 1,5 Stunden und etwa 100 l m^{-2} konnten Wasseraustritte in der zunehmend aufgesättigten Mittellage beobachtet werden. Am Ende des Versuchs war die Feuchtefront bis in die obere Basislage vorgedrungen und es zeigte sich auch in dieser Schicht austretendes Wasser. Damit bestätigt sich, dass in der Hauptlage überwiegend vertikale Wasserbewegungen vorherrschen. Durch die stauenden Eigenschaften der Basislage kam es zudem zur Aufsättigung der Mittellage und zu kleinräumigem Zwischenabfluss. Mit zunehmender Wasserzufuhr gelangte die Feuchtefront bis in die obere Basislage und führt dort ebenfalls zu Interflow.

4. Schlussfolgerungen und Methodenkritik

Sowohl die Farbtracerversuche als auch das Beregnungsexperiment an einer Interflowgrube verdeutlichen, dass periglaziale Deckschichten durch ihre unterschiedlichen bodenphysikalischen und sedimentologischen Eigenschaften die Fließwege des Wassers beeinflussen. In der locker gelagerten Hauptlage überwiegt vertikale Versickerung entlang von Wurzelbahnen. Durch die meist sehr dicht gelagerte Basislage staut sich das Wasser in der darüberliegenden Mittellage. In die oberen Bereiche der Basislage gelangt Wasser vorwiegend über Störungszonen bzw. nach Aufsättigung der Mittellage. In Mittel- und Basislage kann dadurch Interflow entstehen.

Die Beregnungsversuche mit Brilliant Blue sind aufgrund der Sorptionseigenschaften des Tracers nur bedingt geeignet, um die bodeninneren Fließwege nachverfolgen zu können. Das Infiltrationsexperiment mit dem Doppelring-Infiltrimeter brachte dagegen verwertbare Ergebnisse. Qualitative Aussagen über die Fließwege des Wassers sind auch über eine Interflowgrube möglich. Allerdings ist eine Quantifizierung des Zwischenabflusses schwierig, da die Installation der Auffangrinnen in den grobskelettreichen Schichten Probleme bereitete, wodurch Wasser zum Teil unterhalb der Rinnen abfloss und ein Einbau an der Grenze zur bzw. in der Basislage nicht möglich war.

Literatur

- Döhler, S. (2011): Wie Regen in den Boden sickert. Farbtracerversuche mit Brilliant Blue FCF zum Nachweis von präferentiellem Fliesen in periglaziären Lagen unter Wald. - Diplomarbeit, Technische Universität Dresden.
- Graham, C., McDonnell, J. J. and Woods R. (2010): Hillslope threshold response to storm rainfall: (1) A field based forensic approach. - *Journal of Hydrology*, doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.12.015.
- Heller, K. (2012): Einfluss periglazialer Deckschichten auf die oberflächennahen Fließwege am Hang - eine Prozessstudie im Osterzgebirge, Sachsen. - Dissertation, Technische Universität Dresden.
- Ketelsen, H. & S. Meyer-Windel (1999): Adsorption of Brilliant Blue FCF by soils. - *Geoderma* **90**:131-145.
- Kleber, A. (2004): Lateraler Wasserfluß in Hangsedimenten unter Wald. - In: Lorz, C. & D. Haase (Hrsg.) (2004): Stoff- und Wasserhaushalt in Einzugsgebieten. - *Beiträge zur EU-Wasserrahmenrichtlinie und Fallbeispiele*. - Springer, Berlin, Heidelberg: 7-22.
- McDonnell, J.J., Sivapalan, M., Vaché S, K., Dunn, Grant, G., Haggerty, R., Hinz, C., Hooper, R., Kirchner, J., Roderick, M. L., Selker, J. and Weiler M. (2007): Moving beyond heterogeneity and process complexity: A new vision for watershed hydrology. - *Water Resources Research* **43**:W07301.

Uhlenbrook, S. (2005): Von der Abflussbildungsforschung zur prozessorientierten Modellierung - ein Review. - *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* **49(1)**: 13-24.

Anschrift der Verfasserin:

Katja Heller

Institut für Geographie

Technische Universität Dresden

Email: katja.heller@mailbox.tu-dresden.de

Explorative hydrological modeling of the Gunt Catchment, Central Pamirs

Malte Knoche¹, C. Ebert¹, E. Pohl², J. Baidulloeva³, T. Rödiger¹, S. Weise¹, R. Gloaguen² & R. Merz¹

¹⁾ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Halle(Saale)

²⁾ Technische Universität Freiberg, Remote Sensing Group, Freiberg

³⁾ Hydrometeorological Service of Tajikistan, Dushanbe

1. Introduction

The River Gunt Catchment in the Central Pamirs covers 17.000 km², spanning over altitudes between 2200 and 6700m a.s.l. with an average altitude of 3500 to 4000m. About five percent of the catchment area is glaciated. The cold-arid environment is dominated by winter precipitation and dry summers. The runoff characteristics are typical for arid regions, including fast runoff events and infiltration excess runoff. These semi-arid characteristics are accompanied by a typical alpine hydrology with steep slopes, permafrost, snowmelt and glaciation. Almost 84% of the catchment area is classified as potential permafrost area while 94 % out of that area is permafrost probable (Mergili et al. 2012).

These conditions are not well represented by standard hydrological model approaches. Further, the hydrometric network is not dense enough to use standard calibration techniques. Scope of our work is to identify the dominant hydrological processes of a catchment which is representative for a winter precipitation mountainous areas in Central Asia and merge the available data with an appropriate model. We present the first results of our work.

2. Data

Information on physical subsurface properties, such as soil properties or hydraulic conductivities is not available for that remote area. Also permafrost active layer thickness or the depth of permafrost layers has not been investigated yet. Therefore, we test different hypotheses on the subsurface structure in an explorative modeling approach.

Just ten meteorological stations inside and around the basin provide forcing data for hydrological analyses. All these stations are located in valleys, between 2000 and 3800m. For precipitation interpolation and analyses, measurements between 3800m and 7000m are missing.

It is difficult to outline orographic effects, because meteorological stations in the western Pamirs (where precipitation is highest) are located deep in the valleys, while stations in the eastern Pamirs (where precipitation is lowest) are located on the plateau. As a result, a trend with decreasing rain-

fall from west to east misleadingly shows up as a reverse altitude effect. The study area receives almost 100 percent of the precipitation as snow. We use satellite-based snow cover data as qualitative indicator to identify local precipitation minima and maxima. Based on these data and the few meteorological stations, we validate different precipitation datasets in space and time. Those are two quasi-global remote sensing precipitation datasets (TRMM and CMORPH), one continental-scale interpolation product for Asia (APHRODITE) and one continental-scale reanalysis for Asia (WRF-10). Correlations of the gridded datasets with rain-snow gauge stations are generally weak. Only the WRF-10 reanalysis dataset (Maussion et al. 2011) shows acceptable correlations to ground stations. TRMM (Huffman et al. 2007) generally underestimates the precipitation in the Pamirs. The CMORPH dataset (Joyce 2004) with the best spatial resolution is uncorrelated to rain-snow gage stations. The APHRODITE precipitation interpolation (Yatagai et al. 2012) shows some correlation to the ground stations, while the spatial distribution contradicts that of the snow cover estimated from optical sensors.

Further, we compared two different temperature datasets (WRF-10, MOD11C1) with measurements from meteorological stations. The results show, that MODIS land surface temperature cannot be used without further modifications.

3. Modeling

Lake level fluctuations complement the discharge time series of two hydrometric stations at the rivers Gunt and Shakh dara. Those time series are the base for hydrograph separations based on stable isotopes and hydrochemical parameters. This work is presented by Christiane Ebert in the same workshop. After separating the runoff into meltwater, baseflow and lake outflow, these components are to be used to calibrate the different runoff processes individually. The recession times and processes are to be identified as well as potential locations of groundwater recharge. Therefore we identify hypothetical recharge areas based on image classification and test these hypotheses in a hydrological model. We have chosen this explorative modeling approach because the existing sources of soil and subsurface information are very rare, containing partly misleading information.

Litertaur

Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T., Gu, G., Nelkin, E. J., Bowman, K. P., Hong, Y., et al. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology* **8(1)**, 38.

Joyce, R. J., Janowiak, J. E., Arkin, P. A., Xie, P., & Al, J. E. T. (2004). CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution. *Journal of Hydrometeorology* **5**:487–503.

- Maussion, F., Scherer, D., Finkelnburg, R., Richters, J., Yang, W., & Yao, T. (2011). WRF simulation of a precipitation event over the Tibetan Plateau, China – an assessment using remote sensing and ground observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, **15(6)**:1795–1817.
- Mergili, M., Kopf, C., Müllebner, B., & Schneider, J. F. (2012). Changes of the Cryosphere and Related Geohazards in the High-Mountain Areas of Tajikistan and Austria: a Comparison. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*
- Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N., & Kito, A. (2012). APHRODITE **: Constructing a Long-term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia Based on a Dense Network of Rain Gauges. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 120308120053009.

Anschrift des Verfassers:

Malte Knoche

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

Department Catchment Hydrology

Theodor-Lieser-Str. 4, 06120 Halle

Email: malte.knoche@ufz.de

Hydrologic model framework for river basins with a range of hydroclimatic and bioclimatic conditions

Maria Cárdenas & Dieter Gutknecht

Institute for Hydraulic Engineering and Water Resources Management, Vienna University of Technology

This presentation reports on the first steps in the development of a regional scale runoff modelling framework for a river basin that features a wide range of diverse hydroclimatic and landscape conditions across the basin.

A new approach will be tested based on an ecohydrologically and water balance oriented landscape classification concept. As starting point the Holdridge life zone system concept will be used which is based on indices of precipitation, evapotranspiration and temperature and differentiates landscapes with respect to climatic and elevation zones. Further steps of the projects will include the search for additional indices that can be used to define the controls on the dominant runoff processes in relations to water balance and landscapes characteristics, respectively. The final model framework will be constructed around a group of modules, each of the modules representing specific conditions with respect to the geomorphologic and ecohydrologic characteristics of the particular landscape type.

The selected test river basins are located in 2 regions of Peru, the Piura region (12,000 Km²) and the Lambayeque region (10,000 Km²). They feature a wide range of hydroclimatic and landcover situations with diversity of landscapes (from high mountaneous andean areas to flat coastal areas, from forested areas to desert areas, and from permanent to ephemeral lakes). A very particular feature exists in the form of the lake Ramon next to the coast of the sea which exhibits a strong build-up in the time of ENSO/El Niño episodes, reaching an extent of about 2,000 Km² in area and around 8,000 million m³ in volume in the ENSO event 1997-98, and a strong redrawing at the end of such an episode.

Anschrift der Verfasserin:

Maria Cárdenas Gaudry

Technische Universität Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie

Karlsplatz 4, A-1040 Wien

Email: cardenas@hydro.tuwien.ac.at

Untersuchungen zur diffusen lateralen Sediment-Konnektivität in einem kleinen, ackerbaulich genutzten Einzugsgebiet der Österreichischen Böhmisches Masse

Ronald E. Poepl¹, M. Keiler², K. von Elverfeldt³, I. Zweimueller⁴ & Thomas Glade¹

¹Institut für Geographie und Regionalforschung, Universität Wien, Österreich

²Geographisches Institut, Universität Bern, Schweiz

³Institut für Geographie und Regionalforschung, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt, Austria

⁴Department für Evolutionsbiologie, Universität Wien, Österreich

1. Hintergrund

Das Potenzial für diffusen lateralen Sedimenteintrag aus Einzugsgebietsflächen in ein Fließgewässer (i.e. diffuse laterale Sediment-Konnektivität) wird generell durch die Erodierbarkeit des Bodens sowie durch die Erosivität und Transportkapazität des Oberflächenabflusses gesteuert. Die assoziierten Prozesse werden wiederum durch eine Vielzahl von Faktoren, wie Relief oder Landnutzung beeinflusst. Insbesondere für ackerbaulich genutzte Gebiete wird ein Zusammenhang zwischen der Ufervegetation und einer Reduktion des lateralen Sedimenteintrags in Fließgewässer angenommen. In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss topographischer Faktoren sowie der Ufervegetation auf die diffuse laterale Sediment-Konnektivität in einem kleinen Einzugsgebiet der Österreichischen Böhmisches Masse untersucht. (vgl. Poepl et al. 2012)

2. Untersuchungsgebiet und Methoden

Das Einzugsgebiet der Fugnitz hat eine Gesamtfläche von ca. 138 km² und befindet sich in der östlichen Böhmisches Masse im Norden Niederösterreichs an der Grenze zur Tschechischen Republik. Das humid-temperate Klima in dieser Region wird durch mittlere jährliche Gesamtniederschlagsraten von 500-600 mm mit Maxima zwischen April und September und eine Jahresmitteltemperatur von 8,5°C charakterisiert. Die sanft-wellige Rumpfgebirgslandschaft weist eine mittlere Hangneigung von ca. 2,6° auf. Die Landbedeckungs- und Landnutzungsverhältnisse sind sehr heterogen: ackerbauliche Flächen (56%), Wald (34%), Wiesen (7%), verbaute Flächen (3%). Entlang des Ober- und Mittellaufs der Fugnitz dominiert ackerbauliche Nutzung und die Uferzonen (Gewässerrandstreifen) weisen hier Gras- und/oder Gehölzvegetation auf. (vgl. Poepl et al. 2012)

Auf Basis eines Digitalen Geländemodells (DGM) mit einer Auflösung von 1 m x 1 m wurden mittels ArcGIS Fließwege zwischen ackerbaulichen Nutzflächen im Talboden und dem Hauptgerinne berechnet. Die errechneten Fließwege wurden anschließend durch Zuweisung topographischer und die Ufervegetation betreffender potenzieller Einflussfaktoren für diffuse laterale Sediment-Konnektivität

parametrisiert. Die Parameter wurden zuvor entweder DGM-basiert generiert (Hangneigung, Hangwölbung, Hanglänge, pot. verfügbare Wassermenge (flow accumulation)), oder im Gelände erhoben (Art und Breite der Ufervegetation, Vorhandensein von Uferwällen, Pflugrichtung, Existenz von parallel zum Gerinne verlaufenden Feldwegen). Die diffuse laterale Sediment-Konnektivität zwischen ackerbaulichen Nutzflächen und Gerinne wurde basierend auf der Existenz von Sediment-Konnektivitätsindikatoren (durchgängige Rillen (Abb. 1a), Fließmarken (Abb. 1b)) im Gelände erhoben. Mittels Logistischer Regression wurde der Einfluss der erhobenen Parameter (erklärende Variablen; numerisch bzw. binär) auf die diffuse laterale Sediment-Konnektivität (abhängige Variable) berechnet. (vgl. Poepl et al. 2012)

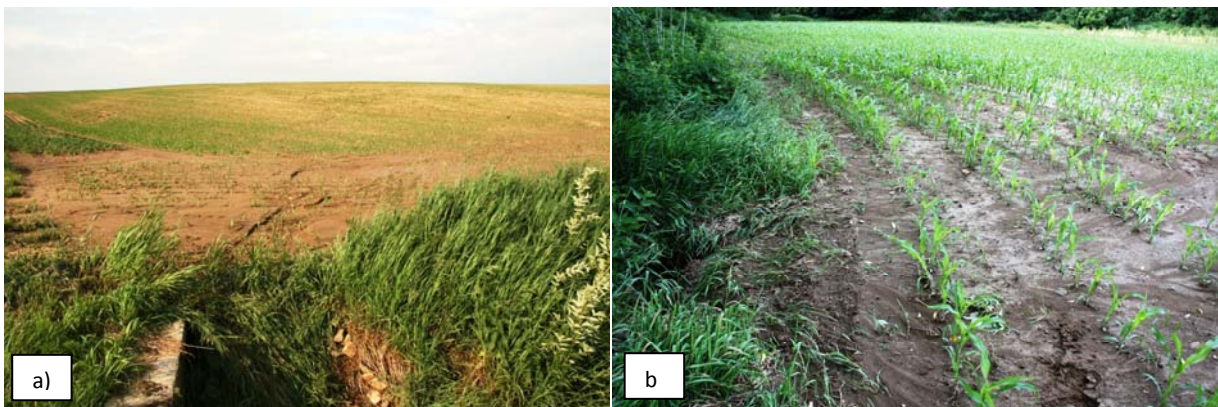


Abb. 1: Erhebung von Sediment-Konnektivitätsindikatoren zwischen ackerbaulichen Nutzflächen und Gerinne im Gelände: a) Rillen, b) Fließmarken; Quelle: Poepl et al. (2012).

3. Ergebnisse und Diskussion

Mit dieser Studie konnten der Einfluss von topographischen Faktoren und der Art der Ufervegetation auf die diffuse laterale Sediment-Konnektivität statistisch nachgewiesen werden. Im Rahmen der Logistischen Regression wurden zwei Szenarien berechnet (Unterschied = unterschiedliche Kombination von Inputparametern), welche beide ähnliche Ergebnisse lieferten (siehe Tab. 1 bzw. Tab. 2). Beide Szenario-Berechnungen ergaben, dass das Vorhandensein von Uferwällen sowie von parallel zum Gerinne verlaufenden Feldwegen die Wahrscheinlichkeit für diffuse laterale Sediment-Konnektivität signifikant reduziert (negativer Regressionskoeffizient). Das Ergebnis ist auf die potenziell dämmende Wirkung von Uferwällen und Feldwegen zurückzuführen. Sind diese Strukturen vorhanden, wird Sediment aus ackerbaulichen Flächen in diesen Bereichen bevorzugt abgelagert und somit nicht ins Gerinne eingetragen. Uferwälle wurden ausschließlich in Uferzonen mit Gehölzvegetation vorgefunden. Die Bildung dieser Formen ist auf biogeomorphe Prozesse zurückzuführen, wobei angeliefertes Sediment vorrangig entlang oberflächiger Wurzeln und Stämme akkumuliert wird. Aus den Ergebnissen von Szenario 2 (Tab. 2) kann geschlossen werden, dass ein zunehmender Grasanteil in der Ufervegetation (= abnehmender Anteil an Gehölzvegetation) die Wahrscheinlichkeit für laterale

len Sedimenteintrag erhöht (positiver Regressionskoeffizient). Diese Ergebnisse zeigen auf, dass Ufergehölzstreifen über ein höheres Potenzial verfügen den lateralen Sedimenteintrag zu reduzieren als Gewässerrandstreifen die ausschließlich Grasvegetation aufweisen. Des Weiteren konnte in der Analyse von von Szenario 1 (Tab. 1) festgestellt werden, dass die Wahrscheinlichkeit für diffusen lateralen Sedimenteintrag mit steigender Hangneigung der angrenzenden ackerbaulichen Flächen zunimmt (positiver Regressionskoeffizient). (vgl. Poepl et al. 2012)

Tab. 1: Einflussfaktoren für diffuse laterale Sediment-Konnektivität: Ergebnisse der Logistischen Regression - Szenario 1 (Quelle: Poepl et al. 2012)

Erklärende Variable	Regressionskoeffizient B1	Standardfehler	Wald-Koeffizient	Signifikanz	Exp(B)
Hangneigung	0,671	0,497	1,826	0,177	1,957
Feldweg	-1,199	0,551	4,734	0,030	0,302
Uferwall	-20,821	13.243,806	0,000	0,999	0,000

Tab. 2: Einflussfaktoren für diffuse laterale Sediment-Konnektivität: Ergebnisse der Logistischen Regression - Szenario 2 (Quelle: Poepl et al. 2012)

Erklärende Variable	Regressionskoeffizient B1	Standardfehler	Wald-Koeffizient	Signifikanz	Exp(B)
Feldweg	-2,683	0,592	20,564	0,000	0,068
Uferwall	-3,924	1,090	12,939	0,000	0,020
Ufervegetation: Grasanteil	0,330	0,085	14,910	0,000	1,390

Literaturliste

Poepl, R.E., Keiler, M., von Elverfeldt, K., Zweimueller, I., Glade, T. (2012): The influence of riparian vegetation cover on diffuse lateral sediment connectivity and biogeomorphic processes in a medium-sized agricultural catchment, Austria. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, DOI:10.1111/j.1468-0459.2012.00476.x

Anschrift des Verfassers:

Ronald E. Pöpl

Institut für Geographie und Regionalforschung, Universität Wien

Universitätsstr. 7, A-1010 Wien

Email: ronald.poepl@univie.ac.at

Learning from Nature – Mapping of Complex Hydrological and Geomorphological Process Systems for More Realistic Modelling of Hazard-related Maps

Peter Chiffard¹ & Nils Tilch²

¹ *Department of Geography, Philipps-University Marburg*

² *Geological Survey of Austria, Department of Engineering Geology, Vienna, Austria*

Introduction

Hydrological or geomorphological processes in nature are often very diverse and complex. This is partly due to the regional characteristics which vary over time and space, as well as changeable process-initiating and -controlling factors. Despite being aware of this complexity, such aspects are usually neglected in the modelling of hazard-related maps due to several reasons. But particularly when it comes to creating more realistic maps, this would be an essential component to consider.

The first important step towards solving this problem would be to collect data relating to regional conditions which vary over time and geographical location, along with indicators of complex processes. Data should be acquired promptly during and after events, and subsequently digitally combined and analysed.

Study area

In June 2009, considerable damage occurred in the residential area of Klingfurth (Lower Austria; fig. 1) as a result of great pre-event wetness and repeatedly heavy rainfall, leading to flooding, debris flow deposit and gravitational mass movement. One of the causes is the fact that the meso-scale watershed (16 km²) of the Klingfurth stream is characterised by adverse geological and hydrological conditions. Additionally, the river system network with its discharge concentration within the residential zone contributes considerably to flooding, particularly during excessive rainfall across the entire region, as the flood peaks from different parts of the catchment area are superposed.

Objectives

The main targets of the detailed geological and hydrological mapping include the investigation and documentation of i) the information about the processes and the process systems and their complex spatial-temporal interactions and ii) the local situation (geology, vegetation and land use). Additionally first significant correlations between i) local situations, ii) dominant processes and iii) the

spatial-temporal variability of the process-induced hazard potential (e.g. bed load potential induced by mass movements and fluvial erosion) should be deduced from this dataset.

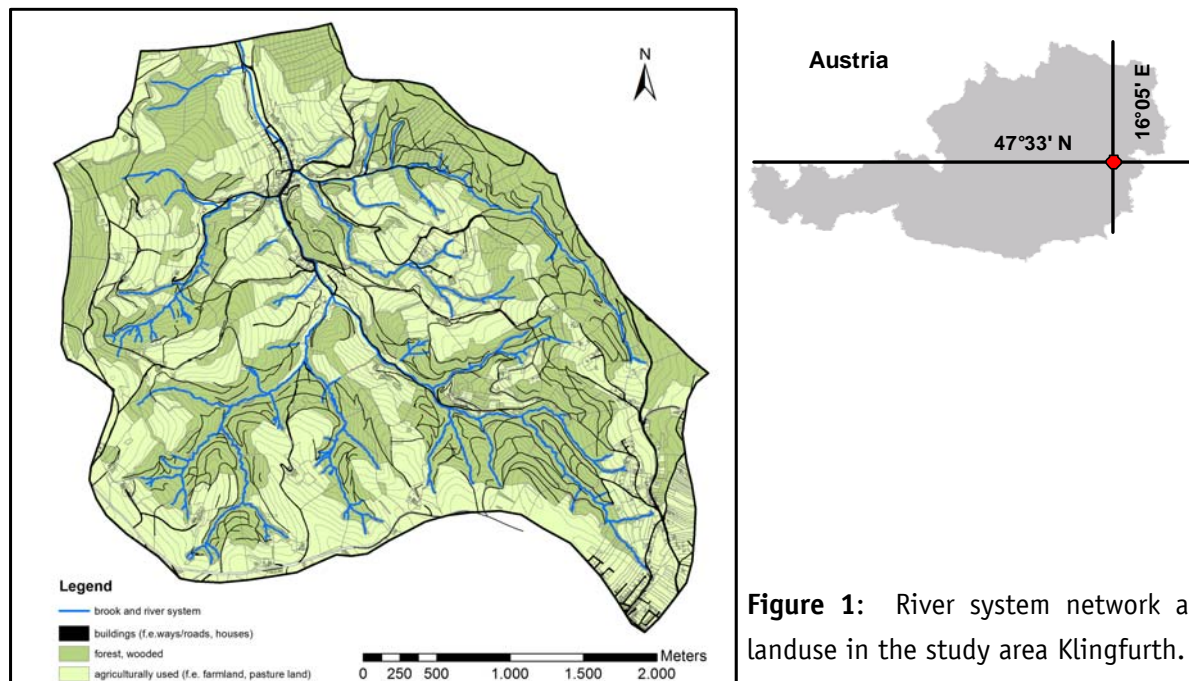


Figure 1: River system network and landuse in the study area Klingfurth.

First results of the mapping and analysis

Hydro(geo)logical surveys across the entire catchment area have shown that over 600 gravitational mass movements of various type and stage have occurred (Fig.2). 516 of those movements have acted as a bed load source, while 325 mass movements had not reached the final stage yet and could thus supply bed load in the future. It should be noted that large mass movements in the initial or intermediate stage were predominately found in clayey-silty areas and weathered material, where the fluvial bank erosion only plays a minor role as an initiating factor. On the other hand, fluvial bank erosion does appear to be a cause of smaller mass movements in their final stage which develop spontaneously, most noticeably in regions of gravel-rich soils (coarse-grained) and of shallow weathered material (several decimetres). Numerous marks of surface runoff were found over the entire catchment area to a greatly variable extent and intensity. In the more eastern parts of the catchment, these signs can be linked especially to anthropogenic concentrated inputs of surface discharge e.g. drainage system of streets. Their spread is limited, but usually associated with huge erosion channels of up to 2 m depth.

In the western parts of the catchment, however, signs of surface discharge are more commonly found in forests. Depending on their location, they can be a result of an up-hill infiltration surplus in areas of fields and pastures, or an infiltration surplus in the forest itself. In many places, rapid

interflow through biologically-created macro-pores takes place, which often re-emerges at the surface in the form of return flow. In general, it is noticeable that marks of surface runoff often terminate at the scarps of landslides, which were not caused by fluvial bank erosion. The excess water produces a strong local saturation of the ground, which gives a higher landslide-susceptibility of the embankment.

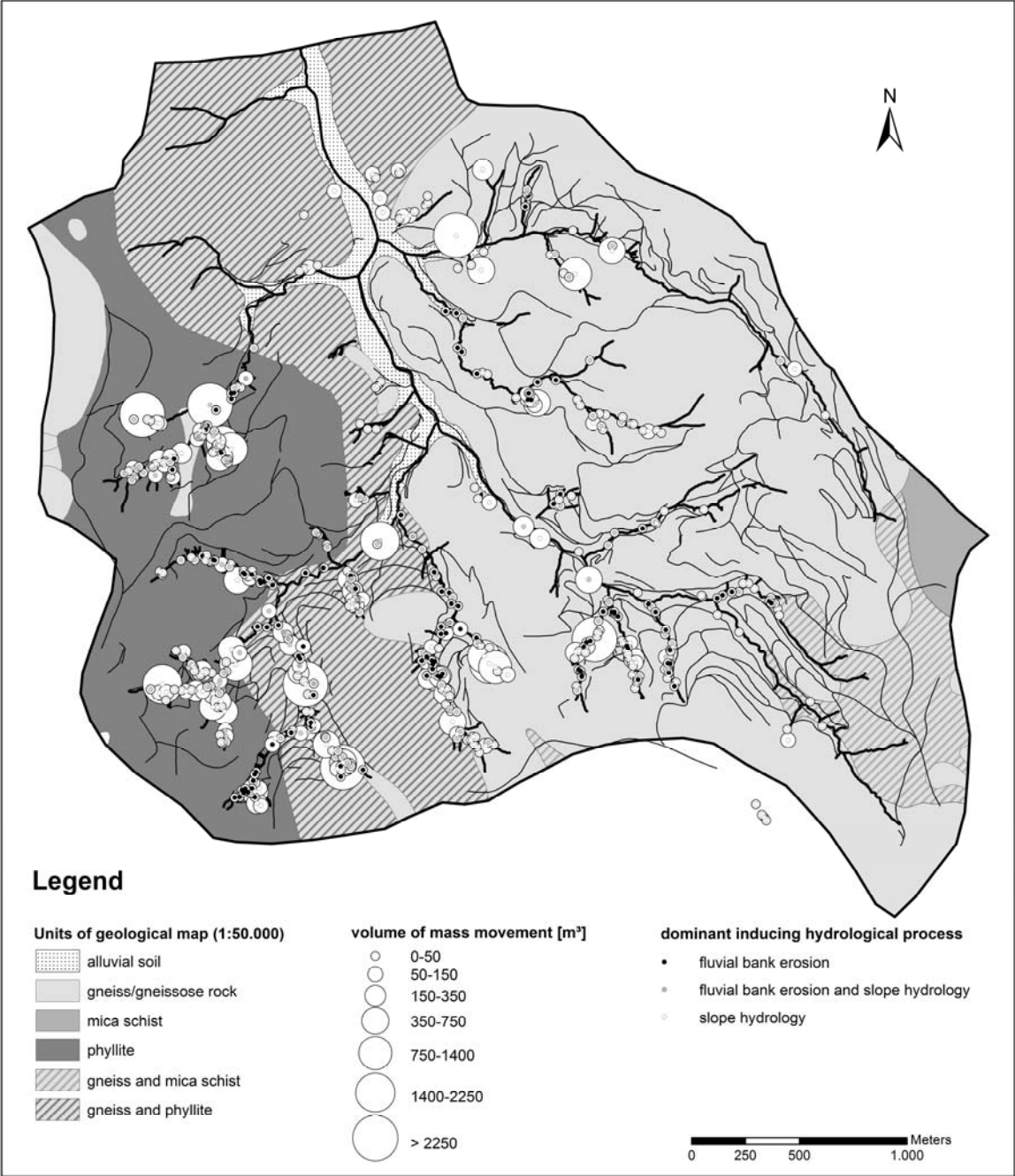


Figure 2: Spatial distribution of mass movements classified by their volume in the study area Klingfurth.

Process concepts for the catchment scale

Based on the comprehensive field mapping and statistical data analysis mainly two process types can be distinguished (Fig. 3):

Process type A occurs mainly on schistose rock (mica schist, phyllite) with a very large volume of mass movements. The mass movements mainly induced by slope hydrology whereas return flow causes surface runoff in forests. The mass movements on tertiary sediments show the same behaviour as movements on mica schist and phyllite thus they have been combined in one process type.

Process type B occurs mainly on gneiss rock where rapid infiltration of surface overland flow caused very small volume of mass movements. The mass movements are mainly induced by fluvial erosion and slope hydrology.

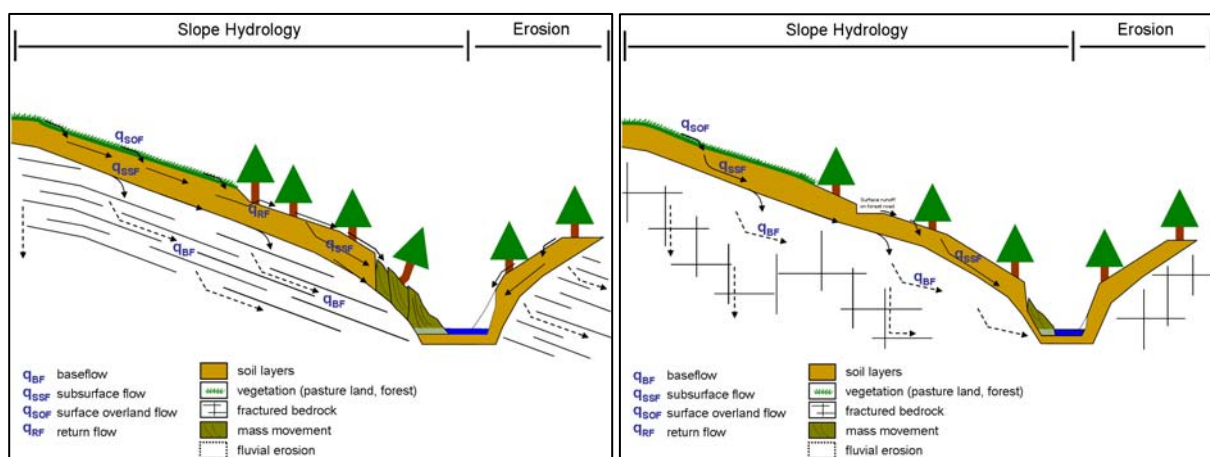


Figure 3: Schematic overview of the process types A (left figure) and B (right figure).

Conclusions and future work

Based on the acquired field knowledge, it was possible to distinguish areas of different heterogeneities/homogeneities of the dominant process chains for several micro-scale parts of the catchment area. Subsequently, conceptual slope profiles should be derived from the detailed field data, and these should include information of the dominant and complex process systems. This forms an essential starting point in order to be able to realistically consider relevant hazard-related processes as part of process-oriented modelling.

Anschrift des Verfassers:

Peter Chiffard

Fachbereich Geographie, Philipps-Universität Marburg

Deutschhausstraße 10, 35032 Marburg

Email: peter.chiffard@gmx.de

Abschätzung von Fließgeschwindigkeiten des oberflächennahen Zwischenabflusses auf verschiedenen Substraten des Ostalpenraumes

Gerhard Markart¹, G. Bieber², H. Pirkl³, A. Römer², B. Jochum², K. Klebinder¹, B. Kohl¹, S. Pfeiler², B. Sotier¹ & K. Suntinger¹

¹ *Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren*

² *Geologische Bundesanstalt (GBA), Fachabteilung Geophysik*

³ *Büro für Geologie, Brunn a. G.*

Kurzfassung

In dem von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Kommission für Hydrologie, geförderten Projekt SHALLOW INTERFLOW werden Bandbreiten von Abstandsgeschwindigkeiten des Zwischenabflusses für typische Substrate der Österreichischen Ostalpen ermittelt und eine Methodik für die Bewertung von Substraten in Bezug auf ihre Abflussdisposition entwickelt. Solche Angaben können in einfachen hydrologischen Modellen als Input- bzw. Korrekturgrößen verwendet werden.

1. Einleitung und Problemstellung

Bei Dauerregenereignissen gewinnen Zwischenabflussprozesse in Relation zu Abflussvorgängen an der Oberfläche an Bedeutung. Die Bildung von Interflow ist nach Casper (2002) von zwei unabhängigen Faktoren abhängig: i) der Hangneigung als treibendem Potenzial und ii) der Existenz eines stauenden Horizontes. In vielen Böden wird die Bodenmatrix jedoch vom Wasser „umgangen“, wie Untersuchungen von Flury et al. (1994) in der Schweiz zeigen. Gerade in bindigen Böden stellen Baumwurzeln einen wichtigen Struktur bildenden Faktor dar und beeinflussen hydrologisch wichtige Bodeneigenschaften wie Makroporenausstattung und Lagerungsdichte (Jost et al. 2012). Derartige Abflussvorgänge im Zwischenabflussbereich können jedoch von den meisten hydrologischen Modellen nicht prozessnah nachvollzogen werden.

2. Methodik

Damit Makroporen einen signifikanten Einfluss auf den Interflow bekommen, ist eine Bodensättigung notwendig bevor das Wasser in die Makroporen gelangen kann (Mosely 1982). Daher wurden zur Bestimmung von Abstandsgeschwindigkeiten-Bandbreiten in fünf Testgebieten (Bromberg - Bucklige Welt - Niederösterreich; Brixenbach, Tüpl. Wattener Lizum, Längental - Tirol; Ruggbach - Vorarlberg) gebietsrepräsentative Flächen von 100m² bis 600 m² Größe mit Niederschlägen geringerer Intensität (10-20 mm/h) beaufschlagt. Die maximalen Auftragsmengen lagen bei über 500 mm.

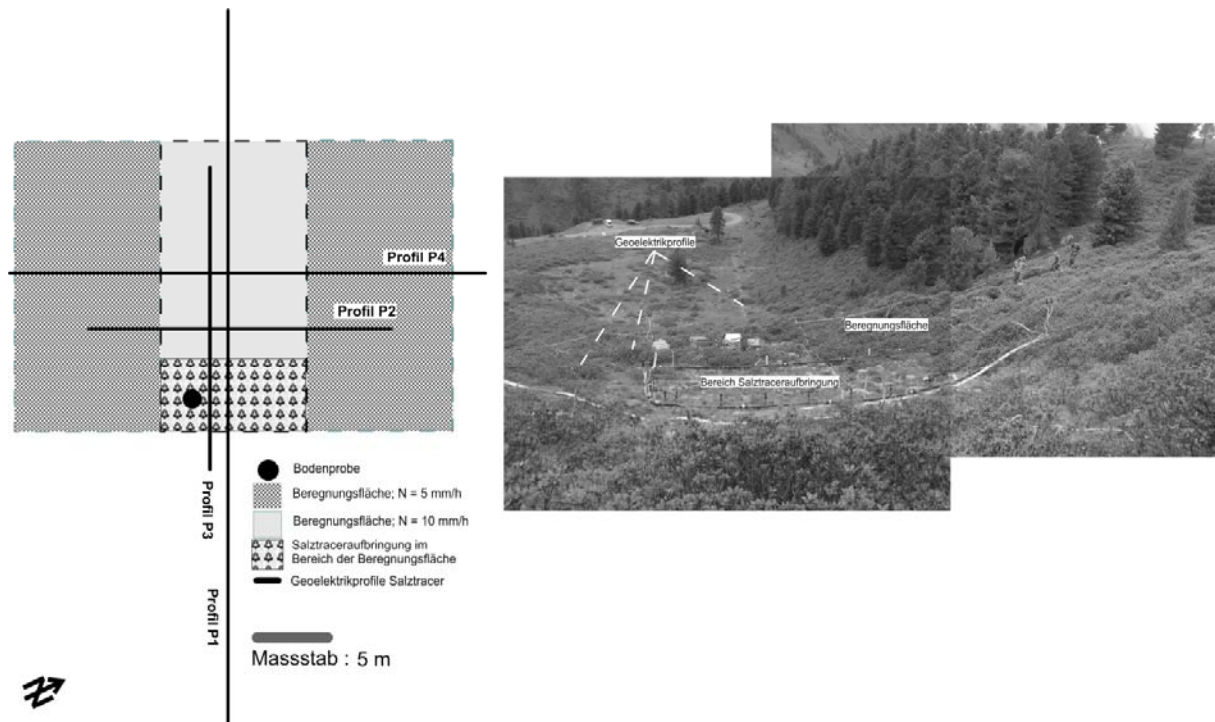


Abb. 1: Anordnung eines Beregnungsversuches mit geoelektrischen Messungen (Mölstal Hochleger, Tüpl. Lizum / Walchen, Tirol).

Nach mehrstündiger Vorberegnung wurde linear (ca. 20 cm tiefer Graben im oberen Bereich der Beregnungsfläche) oder auf kleiner Fläche (50 m²) NaCl bzw. LiCl als Tracer eingespeist bzw. eingeregnet, Anschließend wurden diese Flächen mehrere Stunden bzw. Tage (mit Unterbrechungen) nachbewässert. Über TDR- (maximale Sondentiefe 150 cm) und Geoelektrik-Profile wurde die Änderung der Bodenfeuchte und die Ausbreitung der Tracerwolke (Geoelektrik) im Boden gemessen. Abb. 1 enthält ein Beispiel für die Versuchsanordnung auf einer solchen Testfläche. Weiters erfolgten Analysen der wichtigsten bodenphysikalischen Kennwerte auf den Testflächen und zusätzlichen Standorten, punktuelle Tracereinspeisungen auf Hangschuttf Flächen in Kombination mit gleichzeitiger Messung von Temperatur und Leitfähigkeit in unterliegenden Quellen bzw. an den Vorflutern. Gezielte hydrogeologische Untersuchungen und Kartierungen der Charakterisierung der Untergrundverhältnisse in den bearbeiteten Einzugsgebieten ergänzten das Untersuchungsprogramm.

3. Erste Ergebnisse

Das simulierte Niederschlagsereignis bzw. die eingebrachte Salztracerauflösung ruft eine von der Ausbreitungsdynamik beeinflusste Änderung der elektrischen Leitfähigkeit hervor, daher kann die Ausbreitung des Niederschlagswassers bzw. der Salztracerauflösung über die Zunahme bzw. Abnahme der elektr. Leitfähigkeit im Untergrund verfolgt werden.

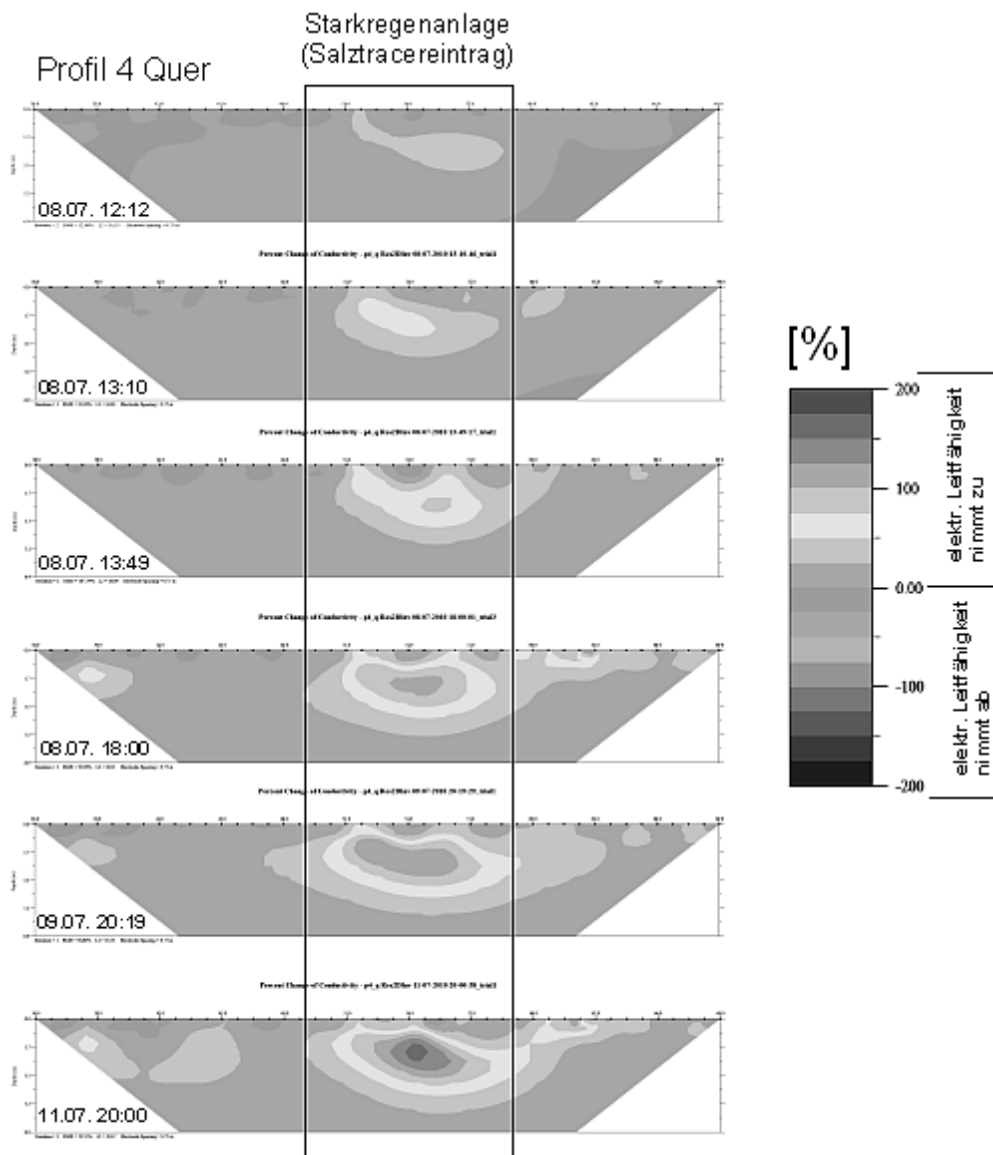


Abb. 2: Differenz der elektr. Leitfähigkeiten (in % Änderung - für Geoelektrikprofil 4 auf der Beregnungsfläche am Möls Hochleger, Tüpl Lizum / Walchen - Tirol). Die Ausbreitung des Tracers mit der Tiefe und seitlich ist deutlich erkennbar.

Die geoelektrischen Profile werden in einer kontinuierlichen zeitlichen Abfolge mehrmals vermessen. Die Änderungen der elektr. Leitfähigkeiten des Untergrundes werden als Differenzen der elektr. Leitfähigkeiten zu einer Referenzmessung berechnet und in Prozenten dargestellt (Beispiel siehe Abb. 2). Durch den Einsatz von mehreren Monitoringprofilen kann eine grobe Abschätzung der (max.) Eindringtiefen und Ausbreitungsgeschwindigkeiten für die laterale und vertikale Ausbreitungsdynamik des Zwischenabflusses getroffen werden.

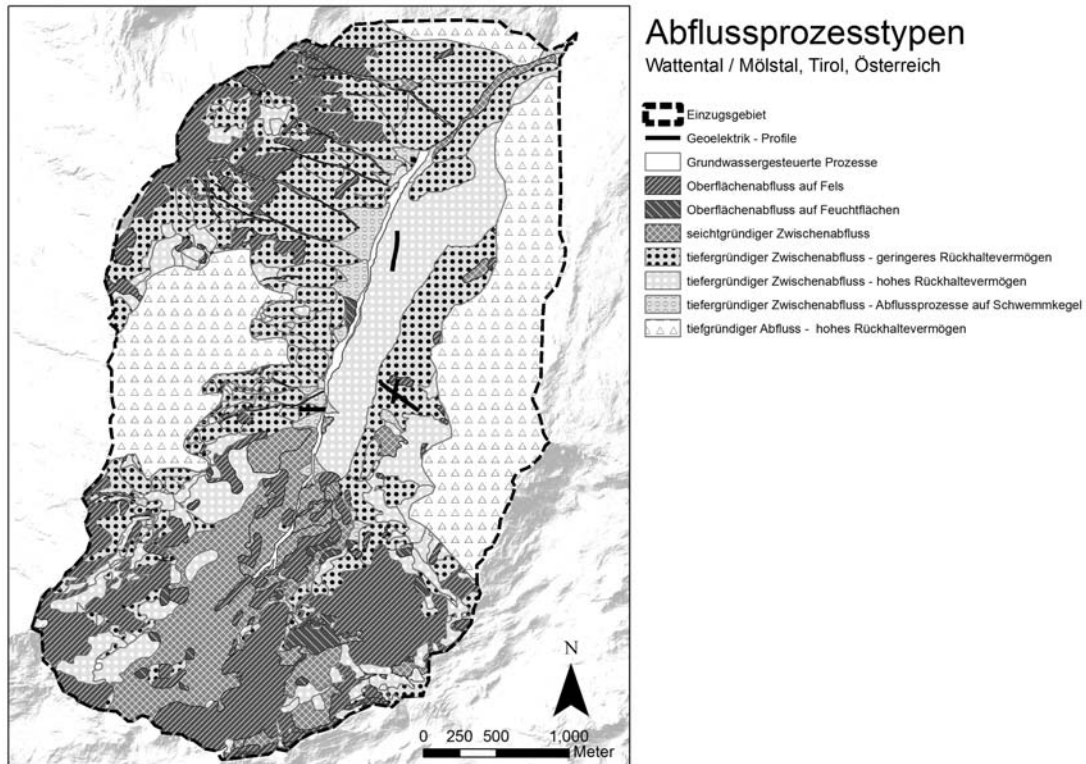


Abb. 3: Mölstal am Tüpl. Lizum / Walchen - südliches Wattental (Tirol); vorläufige Karte der Untergrund-abhängigen Abflusstypen auf der Basis der geomorphologischen Kartierung und von Feldmessungen (Berechnungen, Tracer-, Temperatur-, Leitfähigkeitsmessungen, Geoelektrik u.a.).

Je besser die Gebietsinformationen, umso besser die Differenzierbarkeit verschiedener Abflusstypen im Gelände. Für das Mölstal am Tüpl. Lizum / Walchen wurde von Pirkl (2010) eine Karte der untergrundabhängigen Abflusstypen aufbauend auf der Auswertung und Interpretation von Orthofotos, einem digitalem Geländemodell und der Geologischen Karte entworfen. Diese Typenkarte wurde mit den im Zuge des SHALLOW INTERFLOW Projektes erhobenen Grundlagen weiter verfeinert und anhand der Daten der punktuellen Feldmessungen falsifiziert (Abb. 3).

Basierend auf umfangreichen Erfahrungen aus vorhergehenden Forschungsprojekten und den gegenständlichen Untersuchungen lässt sich nun die in Abb. 4 skizzierte Vorgangsweise zur Ableitung der dominanten Abflussprozesse und Hangprozesse in alpinen Einzugsgebieten ableiten.

**Planungsgrundlagen für Gefahrenzonenplanung, techn. /biolog. Verbauungsmaßnahmen
und flächenwirtschaftliche Maßnahmen in Wildbacheinzugsgebieten**

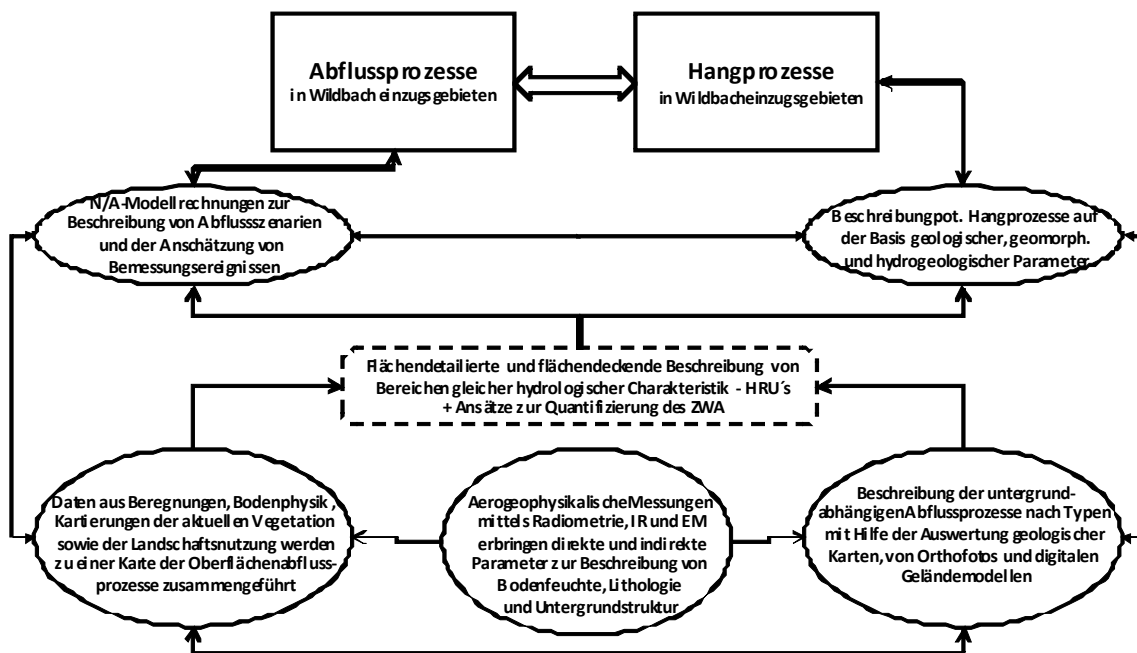


Abb. 4: Schema zur Ausweisung von Prozessflächen in alpinen Einzugsgebieten

4. Schlussfolgerungen

Der gewählte Arbeitsansatz:

- a. Durchführung von Beregnungen und punktuellen Tracereinspeisungen in Kombination mit nicht- oder wenig-invasiven Verfahren zur Messung der Wasserbewegung im Boden (Goelektrik, TDR, Temperatur-/Leitfähigkeitsmessung am Vorfluter, u.a.) zur Charakterisierung gebietsrelevanter Prozessflächen kombiniert mit
- b. der Erstellung von Oberflächenabflussbeiwertkarten (Markart et al. 2004, 2011) und (hydro)geologischen und geomorphologischen Kartengrundlagen

haben sich als Vorgangsweise zur räumlichen Differenzierung der dominanten Abfluss- und Hangprozesse in alpinen Einzugsgebieten bewährt. Ein Ansatz mit reduziertem terrestrischen Erhebungsaufwand ist in Ausarbeitung. Ziel sollte es sein, diese Methodik als Standard bei der Entwicklung von Planungsgrundlagen für Gefahrenzonenplanung und technisch/biologischen Verbauungsmaßnahmen in der Praxis zu verankern.

5. Dank

Die AutorInnen bedanken sich bei der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW), Kommission für Hydrologie, für die Förderung der gegenständlichen Untersuchungen im Rahmen des Projektes „Abschätzung von Bandbreiten der Fließgeschwindigkeit des oberflächennahen Zwischenabflusses in alpinen Einzugsgebieten – SHALLOW INTERFLOW“ und beim Österreichischen Bundesheer für die ausgezeichnete Kooperation und zuvorkommende Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen am Truppenübungsplatz Lizum / Walchen (Tirol).

Literatur

- Casper, M. (2002): Die Identifikation hydrologischer Prozesse im Einzugsgebiet des Dürreychbaches (Nordschwarzwald). *Mitt. Inst. f. Wasserwirtschaft und Kulturtechnik* **210**, Universität Karlsruhe.
- Flury, M., H. Flühler, W.A. Jury and J. Leuenberger (1994): Susceptibility of soils to preferential flow of water: A field study. *Water Res. Res.* **30(7)**:1945-1954.
- Jost, G., H. Schume, H. Hager, G. Markart and B. Kohl (2012): A hillslope scale comparison of tree species influence on soil moisture dynamics and runoff processes during intense rainfall. *J. Hydrol.* **420**:112-124.
- Markart, G., B. Kohl, B. Sotier, T. Schauer, G. Bunza und R. Stern (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). *BFW Dokumentation 3*, Wien.
- Markart G., B. Kohl, B. Sotier, K. Klebinder, T. Schauer, G. Bunza, H. Pirkl and R. Stern (2011): A Simple Code of Practice for the Assessment of Surface Runoff Coefficients for Alpine Soil-/Vegetation Units in Torrential Rain (Version 2.0). Report in the frame of the Interreg-SEE-Project CC-WaterS (WP7 - Water Supply Management Measures, Act 7.1), Vienna.
- Mosley, M.P. (1982): Subsurface flow velocities through selected forest soils, South Island, New Zealand. *J. Hydrology* **55(1-4)**:65-92.
- Pirkl, H. (2010): Projekt Hochwasser Tirol / HOWATI. Hydrogeologisch-geohydrologische Grundlagen für die ausgewählten Leiteinzugsgebiete und die regionale Hochwasserstatistik. Abschlussbericht. Unveröffentl. Bericht im Auftrag FTD für WLW / Sektion Tirol und Amt der Tiroler Landesregierung / Abt. Wasserwirtschaft, Wien.

Anschrift des Verfassers:

Gerhard Markart

Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Naturgefahren

Rennweg 1, 6020 Innsbruck

Email: Gerhard.Markart@uibk.ac.at