

MANUSKRIPTE

GEOGRAPHICA AUGUSTANA

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

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



Universität Augsburg  
Institut für Geographie

Band 17

GEOGRAPHICA AUGUSTANA

**GEOGRAPHICA AUGUSTANA**

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

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

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

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

**Augsburg 2015**

**ISBN 978-3-923273-94-2**

**ISSN 1862-8680**

**Copyright: Institut für Geographie, Universität Augsburg 2006**

**Alle Rechte vorbehalten**

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

## ***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 2014 hat der Arbeitskreis Hydrologie zum ersten Mal in seiner Geschichte am Fachbereich Geographie der Philipps-Universität Marburg getagt. Die Philipps-Universität wurde 1527 gegründet und gehört zu den traditionsreichsten Hochschulen Deutschlands. Der Fachbereich Geographie ist seit 1977 im Deutschen Haus untergebracht und ist unter den Geographischen Instituten der deutschsprachigen Länder eines von wenigen Vollinstituten, in dem alle heute maßgeblichen Disziplinen und Arbeitsrichtungen der physischen und der Humangeographie in Forschung und Lehre vertreten sind.

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

Gleichzeitig möchten sich die Veranstalter sehr herzlich bei der Universitätsstiftung der Philipps-Universität Marburg, beim Hessischen Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, bei der Marburger Geographischen Gesellschaft, bei der Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften, der Volksbank Marburg sowie dem Regierungspräsidium Gießen für die finanzielle Unterstützung bedanken.

Peter Chiffard

Martin Reiss

Christian Opp

Michael Groll

Marburg, Mai 2015

## Inhaltsverzeichnis

Virtuelles Alpenobservatorium – Statusbericht <i>G. Strobl &amp; K.-F. Wetzel</i>	3
Erstellung einer Wasserstands-Abflussbeziehung an einem hochalpinen Wildbach <i>M. Schirmer, G. Strobl &amp; K.-F. Wetzel</i>	9
Simulation von Abflussbildung und Bodenerosion auf Waldwegen und Rückegassen mittels Kleinberechnungsanlage <i>J. J. Zemke</i>	15
Visualisierung limno-physikalischer Prozessen anhand von hochaufgelösten Messdaten <i>T. Büche</i>	25
Zum Einfluss der Schicht- und Horizont-Konstellationen von Böden im Einzugsgebiet des Dongting-Sees in China auf das Retentionsvermögen und die Abflussbildung – ein Arbeitsstandbericht. <i>T. Lotz, C. Opp, Z. Sun</i>	29
Integrated Water Resources Management in Kazakhstan – Status Quo and Challenges <i>D. Uvarov, M. Groll &amp; C. Opp</i>	35
Water Allocation Problems in transboundary River Catchments in Central Asia <i>D. Burlibayeva, M. Burlibayev, M. Groll, &amp; C. Opp</i>	45
Wasserhaushaltsmodellierung von Landnutzungsänderungen durch die Anlage von Kurzumtriebsplantagen in ausgewählten Einzugsgebieten im Norddeutschen Tiefland - Modellaufbau von SWAT <i>J. Hartwich, J. Bölscher, C. Reinhardt-Imjela, A. Schulte, M. Schmidt, C. Pflugmacher, D. Murach</i>	55
Der Einfluss von Kurzumtriebsplantagen auf die Hochwasserabflüsse im Mittelgebirge (Bericht aus der Werkstatt) <i>C. Reinhardt-Imjela, J. Hartwich, J. Bölscher &amp; A. Schulte</i>	61
Relevance of climate change and extreme hydro-meteorological events for drinking water supply and hygiene in Germany <i>D. Karthe</i>	65
Ausgewählte Untersuchungen zur Grundwasserdynamik im Auwald zwischen Neuburg und Ingolstadt <i>L. Boehm, P. Fischer &amp; B. Cyffka</i>	77

Raum-zeitliche Ableitung des LAI von Pappel- und Weidenbeständen durch statistische Auswertung von Rapid Eye und in situ Messungen	83
<i>H. Bergstedt, J. Hartwich, C. Reinhardt-Imjela, J. Bölscher, M. Schmidt, C. Pflugmacher, D. Murach, B. Waske &amp; A. Schulte</i>	
Die Eignung maritim und kontinental geprägter Flussgebiete im Norddeutschen Tiefland zum Anbau von Kurzumtriebsplantagen (KUP)	89
<i>J. Hartwich, J. Bölscher, C. Reinhardt-Imjela, A. Schulte, M. Schmidt, C. Pflugmacher &amp; D. Murach</i>	
Assessment of regional groundwater recharge by using pumping tests and oxygen isotope analyses at a well field near Chien-Shih area, Hsinchu, Taiwan	99
<i>P. Lin, L. Tsaia &amp; D. Karthe</i>	
Wasserabhängigkeit von Kohlenstoffspeicherung natürlicher Auenökosysteme am Unterlauf des Tarim, NW China	105
<i>F. Betz, M. Kuba, B. Cyffka, A. Tayierjiang &amp; Ü. Halik</i>	

# Virtuelles Alpenobservatorium – Statusbericht

Georg Strobl & Karl-Friedrich Wetzel

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

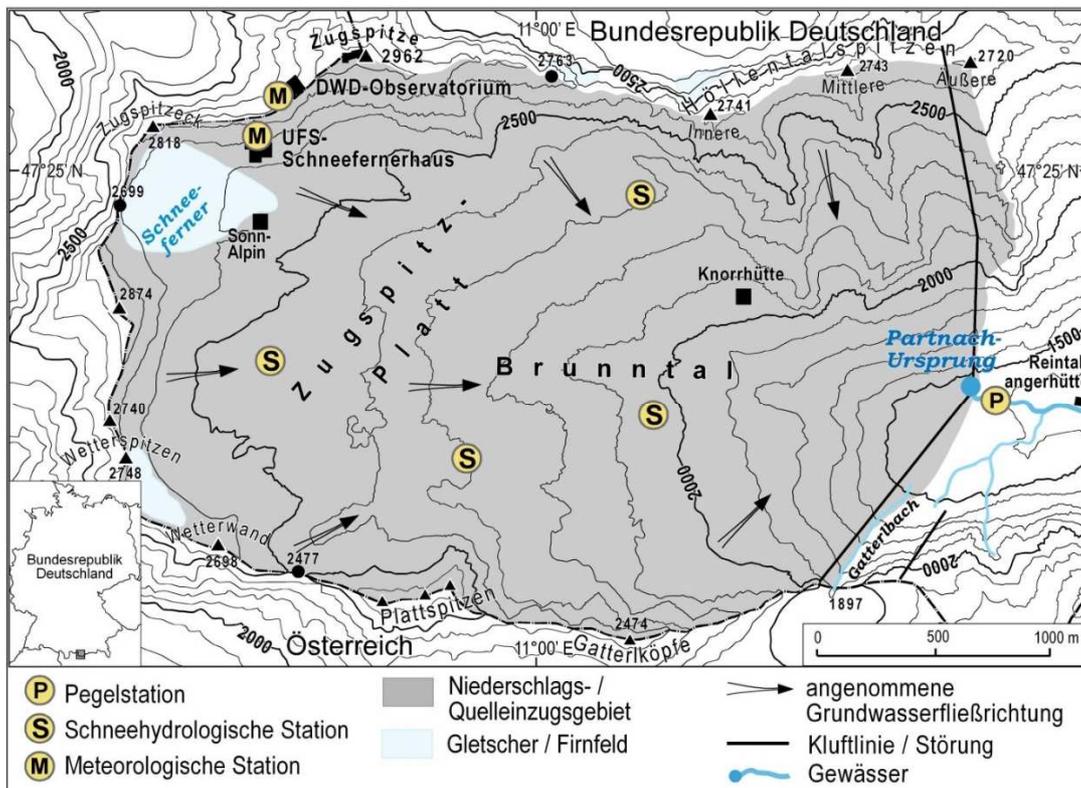
## 1. Einleitung

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

## 2. Das Untersuchungsgebiet

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

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



**Abb. 1:** Untersuchungsgebiet Zugspitzplatt mit Messinstrumentierung

### 3. Instrumentierung und Datenlage

Auf dem Zugspitzplatt befinden sich 4 schneehydrologische Messstationen der UFS und des Bayerischen Lawinenwarndienstes (LWD), an welchen kontinuierlich im 10-Minuten-Intervall hydroklimatologische Parameter gemessen werden (vgl. Abb. 1). Neben den meteorologischen Zustandsgrößen - Lufttemperatur und Luftfeuchte in 3m und 5m, Strahlungsbilanz aus kurz- und langwelliger Strahlung, Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie Niederschlag - werden hier wichtige Schneedeckenparameter - Schneetemperatur in unterschiedlichen Höhen (Boden, 1m Höhe, Schneeoberfläche) sowie die absolute Schneehöhe erfasst. Weiterhin stehen im Zugspitzgebiet langjährige klimatologische Daten (seit 1900) des DWD zur Verfügung. Kontinuierliche Messreihen der hydrologischen Verhältnisse für das gesamte Untersuchungsgebiet liegen seit Herbst 2013 vor. In unmittelbarer Nähe des Partnach-Ursprungs befindet sich seit Sommer 2014 an einer Wehranlage des DAV eine neue vollautomatische Pegelstation. Hier wird der Wasserstand mittels keramischer Drucksonde sowie redundant über ein Pegelradar erfasst, das die durchschnittliche Wasserspiegelhöhe einer ca. 1 m<sup>2</sup>

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

#### 4. Untersuchungsmethoden

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

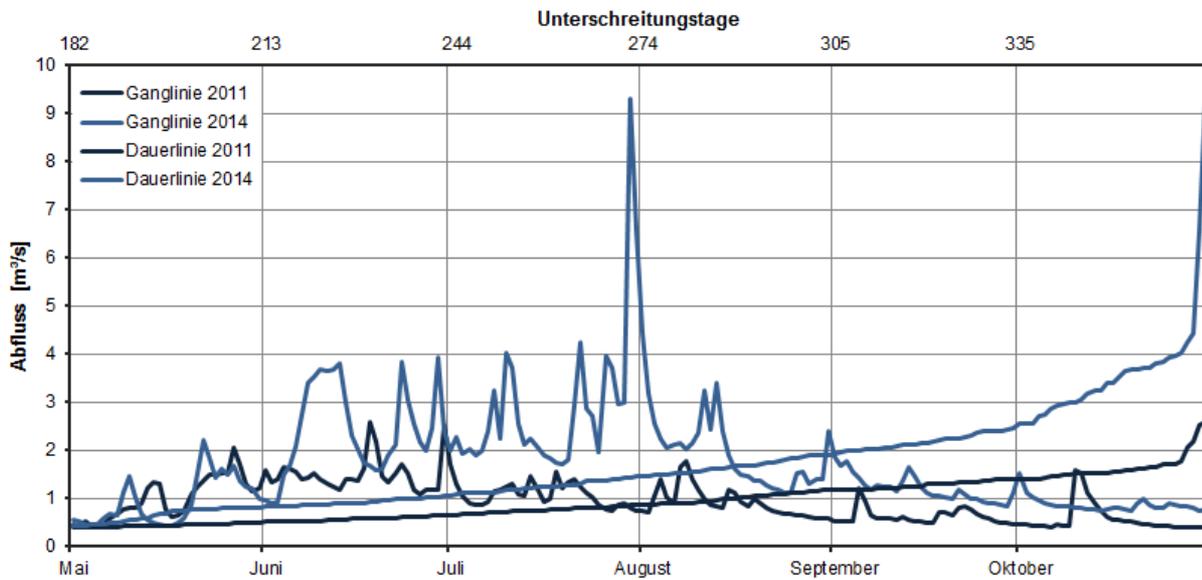
#### 5. Ergebnisse und Diskussion

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

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

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

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



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

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

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

## 7. Danksagung/ Förderhinweis

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

## 8. Literatur

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

# Erstellung einer Wasserstands-Abflussbeziehung an einem hochalpinen Wildbach

Marcel Schirmer, Georg Strobl & Karl-Friedrich Wetzel

*Institut für Geographie, Universität Augsburg*

## 1. Einführung

Gebirgsregionen beeinflussen den Wasserhaushalt flussabwärts gelegener Gebiete auf Grund hoher Niederschläge sehr stark. Da der Gebirgsraum auch entscheidend an der Hochwasserentstehung beteiligt ist, sind Untersuchungen zu den Prozessen der Abflussbildung notwendig. Dies betrifft vor allem die bayerischen Alpen, denn sie dienen als Siedlungsraum für den Menschen und sind gleichzeitig von hohen Niederschlagsmengen geprägt (VIVIROLI & WEINGARTNER 2008). Insbesondere durch den Klimawandel und den sich damit ändernden hydrologischen Verhältnissen sowie der wachsenden Bevölkerung mit einem erhöhten Anspruch an die Ressource Wasser, sind Untersuchungen zur Hydrologie alpiner Einzugsgebiete dringend erforderlich (REASONER ET AL. 2002). Gleichzeitig ist die Durchführung hydrologischer Untersuchungen in hochalpinen Einzugsgebieten logistisch erschwert. Im Zugspitzgebiet bestehen dagegen mit der UFS Schneesfernerhaus und der Verkehrsinfrastruktur ideale Bedingungen für die hydrologische Forschung. Da hydrologische Fragestellungen fast immer mit dem Abfluss verknüpft sind, ist die genaue Erfassung von Durchflüssen an einer Pegelstation eine Grundvoraussetzung. Im Folgenden soll der Einsatz der Salzverdünnungsmethode für die Aufstellung einer Wasserstands-Abflussbeziehung an der neu instrumentierten Pegelanlage unterhalb des Partnach-Ursprungs vorgestellt und diskutiert werden.

## 2. Hydrologische Untersuchungen im Reintal

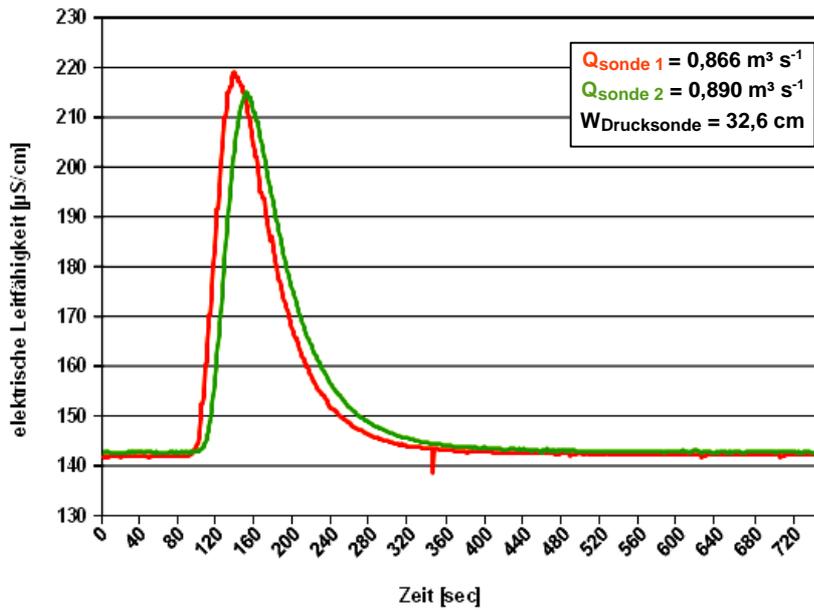
Die Installation der Pegelanlage im Sommer 2014 stellt eine Erweiterung des Messnetzes im Zugspitzgebiet dar. Sie wurde durch den Bayerischen Staat im Rahmen des VAO-Projektes finanziell ermöglicht. WETZEL (2004, 2005) und MORCHE (2006) nutzten diesen Standort bereits für diverse hydrologische Untersuchungen. Die Übertragungstechnik der neuen Anlage erlaubt jederzeit eine Online-Abfrage der Daten, so dass aufwändige Feldbegehungen seltener erforderlich sind. Die neue Pegelanlage verfügt über eine redundante Datensicherung (Loggerfunktion und Fernübertragung), die sich an aktuellen Standards der Messtechnik orientiert. Die

Komponenten der Pegelanlage bestehen aus einer Drucksonde und einem Pegelradar zur Wasserstandserfassung, Messsonden für elektrische Leitfähigkeit (eLF) und Temperatur sowie ein Pluviometer und ein automatischer Probenehmer zur Gewinnung von Wasserproben.

Die Ermittlung einer Wasserstand-Abflussbeziehung für die neue Pegelmessstelle ist der erste Schritt hin zu einer langfristigen kontinuierlichen Erfassung des Abflussgeschehens an der Partnach. Abflussmessungen stellen hier eine besondere Herausforderung dar, denn die Messstelle weist einen äußerst turbulenten Durchfluss mit hoher Fließgeschwindigkeit und Geschiebetransport in Hochwassersituationen auf. Daher kommen für Abflussmessungen nur Verdünnungsmethoden in Betracht, wobei sich die Salzverdünnungsmethode aus Kostengründen anbietet (vgl. MORGENSCHWEIß 2010).

### 3. Durchflussmessungen an der Partnach

Bei den Durchflussmessungen wurde die Salzverdünnungsmethode mit momentaner Salzeingabe angewendet (vgl. LEIBUNDGUT ET AL. 2009). Dabei ist der operationelle Aufwand gegenüber der Methode mit kontinuierlicher Salzzugabe deutlich reduziert, was vor allem an abgelegenen Messstellen wichtig ist. Für die möglichst exakte Erfassung des Durchflusses ist eine genaue Bestimmung des Zusammenhangs von Salzkonzentration und eLF notwendig. Dies wurde durch Eichungen vor jeder Messung gewährleistet. Zur Erfassung der eLF wurde das digitale Leitfähigkeitsmessgerät *WTW Multi 3420* mit zwei Standard-Leitfähigkeitsmesszellen *TetraCon® 925* der *WTW* zur parallelen Erfassung der Salzkonzentrationen an zwei verschiedenen Punkten im Gerinnequerschnitt verwendet. Mit der Loggerfunktion können die Tracerdurchgänge in hoher zeitlicher Auflösung (Intervall: 1 s) exakt aufgezeichnet werden. Abb. 1 zeigt den Verlauf des Salzdurchgangs während einer Abflussmessung vom 25.09.2014 anhand der aufgezeichneten eLF-Werte. Die geringen Unterschiede der ermittelten Durchflusswerte (Differenz: 0,024 m<sup>3</sup>/s) und der lehrbuchhafte Verlauf der eLF (Rohdaten!) lassen auf eine optimale Durchmischung des Salzes und eine gute Platzierung der Sonden im Bachbett der Partnach schließen.



**Abb. 1:** Salzdurchgangskurven an der Messstelle Partnach-Ursprung am 25.9.14 (nach eigenen Daten)

Eine besondere Herausforderung bei jeder Durchflussmessung ist die optimale Positionierung der Sonden im schnell fließenden Wasser, die Wahl einer geeigneten Eingabestelle für das Salz und das Abschätzen der notwendigen Eingabemenge. Durch die Beschwerung der Messsonden mit einem Stein und Führungsseil (vgl. Abb. 2) wird eine sichere Aufzeichnung der eLF zu jeder Zeit garantiert. Im Vergleich mit fünf weiteren Befestigungsmöglichkeiten (Seilanlage/Umlenkrollen, Prinzip Grundanker, Fixplatzierung im PVC-Rohr, Wanderstock, per Hand) hat sich der Einsatz der Steinbeschwerung als zuverlässigste und einfachste Methode erwiesen.



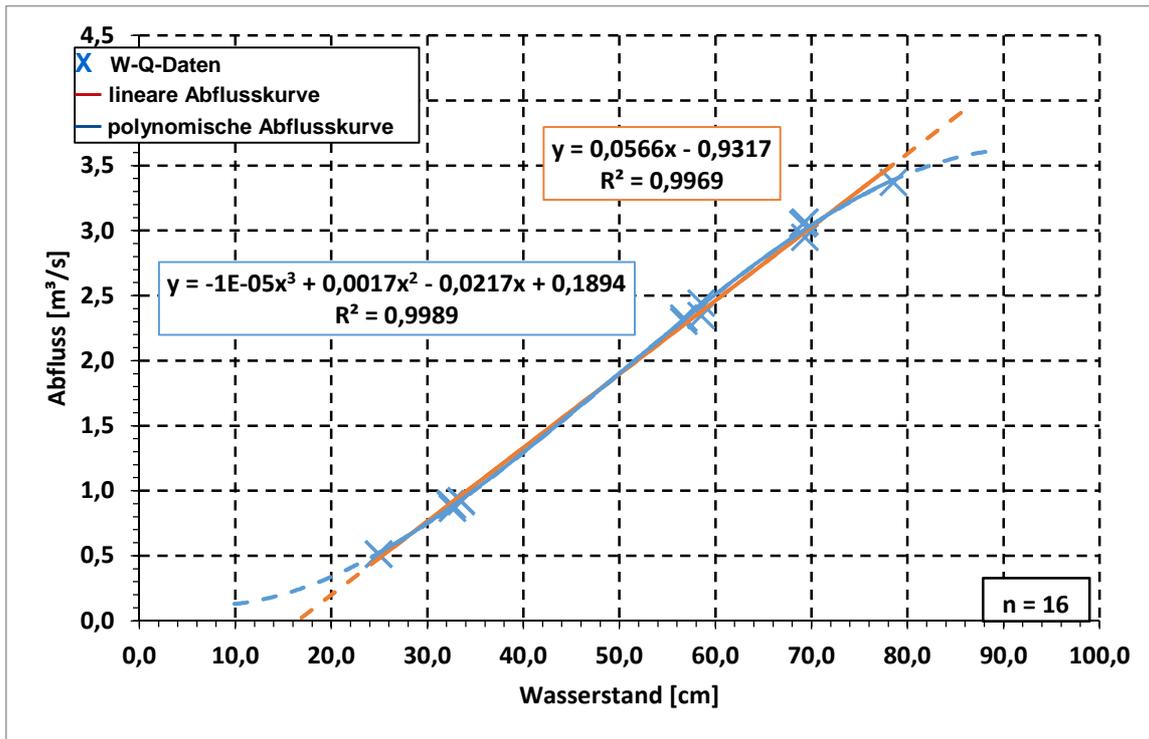
**Abb. 2:** Das Prinzip der Sondenbefestigung mit Stein und Stahlseil (eigene Aufnahme).

Die Eingabestelle sollte bei unterschiedlich hohen Wasserständen zugänglich sein und eine gute Durchmischung von Wasser und Salz gewährleisten. Je nach Wasserführung bieten sich an der Partnach zwei unterschiedliche Einspeisepunkte mit 70m bzw. 90m Durchmischungstrecke an. Bei Niedrigwasser wurde die kürzere, im Hochwasserfall die längere Distanz verwendet. Das Salz wurde direkt in einem Zug eingegeben, da aufgrund der sehr hohen Fließgeschwindigkeit, Katarakten und einen Wechsel des Stromstriches innerhalb der Durchmischungstrecke eine sehr gute Vermischung des Salzes mit dem Wasser auch ohne vorherige Auflösung sichergestellt ist. Wie die Durchgangskurven zeigen wurden die Rahmenbedingungen für eine Durchflussmessung mit der Salzverdünnungsmethode vollständig erfüllt.

#### **4. Darstellung der Ergebnisse**

Die Auswertung der Daten zeigte nach anfänglichen Misserfolgen (falsche Kalibrierung einer Messsonde) eine hervorragende Übereinstimmung der gemessenen Durchflüsse an beiden Sonden. Dies zeigt eine hohe Qualität der Messungen auch unter extremen Bedingungen. Zur Erstellung der Wasserstands-Abflussbeziehung an der Pegelstelle Partnach-Ursprung konnten bislang acht unterschiedliche Wasserstände und Abflüsse mit insgesamt 16 Wertepaaren herangezogen werden. Die verwendeten Werte des Wasserstandes stammen von den Aufzeichnungen der Drucksonde am Pegel und wurden ständig durch Abstichs- und manuelle Wasserstandsmessungen während den Durchflussmessungen überprüft. Mit den Daten kann eine vorläufige Wasserstands-Abflussbeziehung für den Pegel Partnach-Ursprung mit Durchflüssen bis zu 3,5 m<sup>3</sup>/s erstellt werden (vgl. Abb. 3).

In Abb. 3 sind zwei mögliche Gleichungen für die Beschreibung des Zusammenhanges von Wasserstand und Abfluss mit ähnlichem Bestimmtheitsmaß dargestellt. Die Extrapolation des linearen Zusammenhangs kann bei niedrigen Wasserständen die Abflüsse nicht korrekt wiedergeben, während die polynomische Anpassung bei Extrapolation über 3,5 m<sup>3</sup>/s hinaus (blaue gerissene Linie) zur Unterschätzung der Abflüsse führt. Leider konnten im Messzeitraum keine extremen Abflüsse erfasst werden, so dass die jetzt vorliegende Wasserstands-Abflussbeziehung nur eine beschränkte Gültigkeit hat. Insbesondere der für Bilanzierungen wichtige Hochwasserbereich muss durch weitere Messungen in den nächsten Jahren unbedingt abgesichert werden. Das hohe Bestimmtheitsmaß zeigt jedoch deutlich, dass mit der Salzverdünnungsmethode reproduzierbare Durchflussmessungen mit hoher Genauigkeit an einem extremen Standort mit stark turbulentem Fließverhalten möglich sind.



**Abb. 3:** Wasserstands-Abflussbeziehung am Partnach-Ursprung (nach eigenen Daten)

## 5. Ausblick und Danksagung

Mit der neu eingerichteten Pegelanlage unterhalb des Partnach-Ursprungs wurde ein wesentlicher Baustein zu einem langfristigen Monitoring des Wasserhaushalts im hochalpinen Zugspitzgebiet realisiert. Zusammen mit den im Gebiet befindlichen hydrometeorologischen Messeinrichtungen (DWD, UFS Schneefernerhaus, Bayr. Lawinenwarndienst) und der besonderen hydrogeologischen Situation (vgl. WETZEL 2004, RAPPL ET AL. 2010) können nun die wesentlichen Größen des alpinen Wasserhaushalts erfasst werden. Im Rahmen der Qualitätssicherung der Daten und für eine korrekte Erfassung auch höherer Abflüsse sind in den nächsten Jahren weitere Abflussmessungen mit der Salzverdünnungsmethode notwendig.

Den Bayerischen Staatsforsten sei für die Fahrerlaubnis und dem Deutschen Alpenverein DAV für logistische Unterstützung gedankt. Das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz hat die Untersuchungen durch finanzielle Förderung ermöglicht.

## Literatur

- Leibundgut, Ch., P. Maloszewski & C. Külls (2009): Tracers in Hydrology. – *Wiley-Blackwell*, Chichester, 415 S.
- Morche; D. (2006): Aktuelle hydrologische Untersuchungen am Partnach-Ursprung (Wettersteingebirge). *Wasserwirtschaft* 96 (1-2), S. 53-58.
- Morgenschweiß, G. (2010): Hydrometrie – Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen – *Springer*, Berlin Heidelberg, 582 S.
- Reasoner, M., Graumlich, L., Messerli, B. & Bugmann, H. (2002): Global change and mountains. The need for an integrated approach to address human security in the 21st century. Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, Bonn.
- Viviroli, D. & Weingartner, R. (2008): "Water Towers" - A Global View of the Hydrological Importance of Mountains. *Mountains: Sources of Water, Sources of Knowledge* 31, S. 15-20. Springer-Verlag, Dordrecht. ISBN 978-1-4020-6748-8.
- Wetzel, K.-F. (2004): On the hydrology of the Partnach area in the Wetterstein Mountains (Bavarian Alps). *Erdkunde* 58, S. 172-186.
- Wetzel, K.-F. (2005): Discharge analysis of an alpine karst spring - the example of the Partnach spring (Bavarian Alps). *Landschaftsökologie und Umweltforschung* 48, S. 91-98.

# Simulation von Abflussbildung und Bodenerosion auf Waldwegen und Rückegassen mittels Kleinberegnungsanlage

Julian J. Zemke

*Universität Koblenz-Landau, Institut für Integrierte Naturwissenschaften, Abteilung Geographie*

## 1. Einleitung und theoretische Grundlagen

Trotz der umfassenden Erforschung der Bodenerosion als anthropogen induzierter Verlagerung von Bodenmaterial gibt es nach wie vor Teilgebiete innerhalb der wissenschaftlichen Prozessbetrachtung, die einen erheblichen Forschungsbedarf aufweisen. Eines dieser Felder soll nachfolgend behandelt werden.

In bewaldeten Gebieten wird das Bodenerosionspotential allgemein als gering angenommen. Gründe hierfür sind die spezifischen Standorteigenschaften unter Waldbestockung, die meist durch eine hohe Infiltrationskapazität und -rate, sowie eine schützenden Streuauflage gekennzeichnet sind (Auerswald et al. 2009).

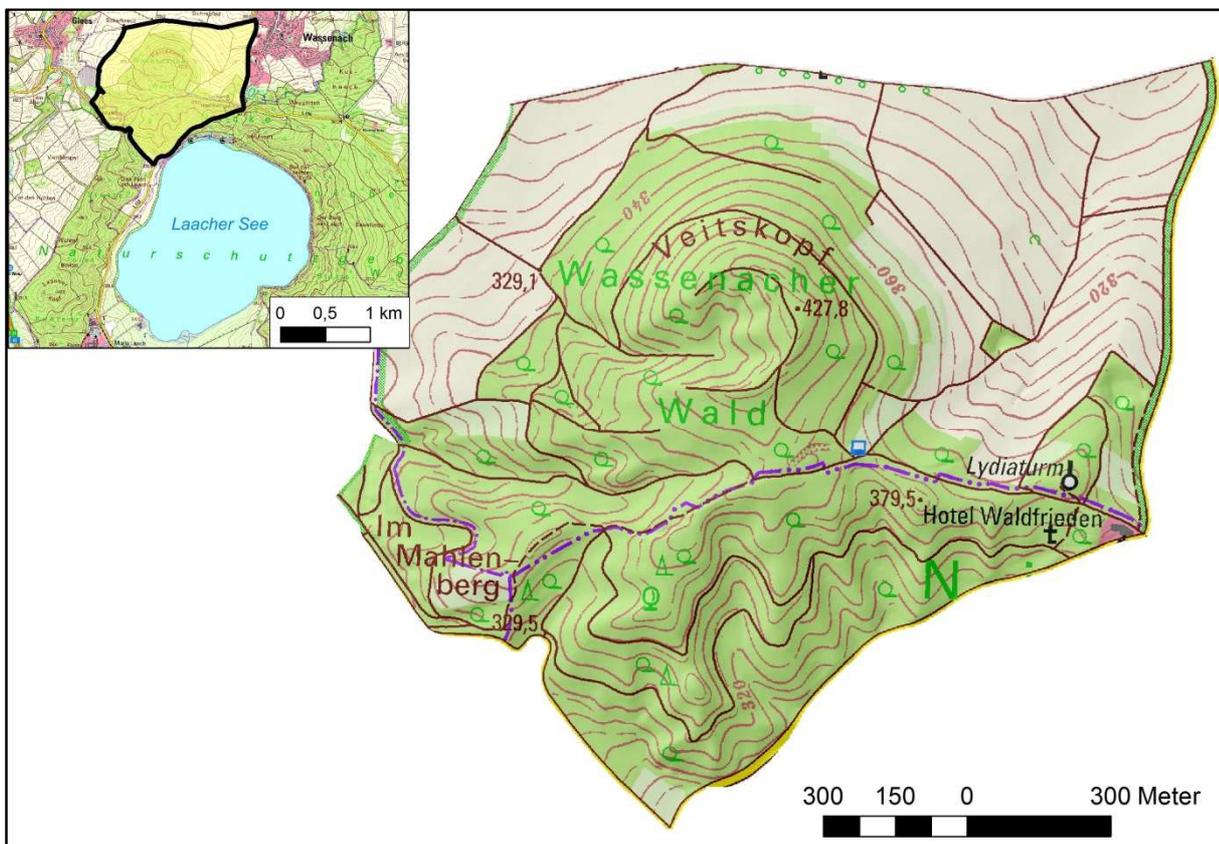
Im Falle anthropogener Nutzung, meist im Zuge der forstwirtschaftlichen Erschließung, kommt es aber zu lokal begrenzten Eingriffen durch Wegebau und Befahrung, die zu einer deutlichen Verstärkung des Bodenerosionspotentials führen können. Bei der Anlage persistenter Wege werden die Oberflächenstruktur und die gegebenen bodenphysikalischen Eigenschaften vollständig gestört. Die Flächen werden verdichtet, Bewuchs wird entfernt. Mitunter kommt es zur Einschneidung des Geländes durch Böschungen und zur Aufschotterung einer Tragschicht. Diese Eingriffe führen zu einer deutlich verringerten Infiltration von Niederschlagswasser mit gleichzeitigem Anstieg des Oberflächenabflusses. Im Zusammenspiel mit der oftmals unbedeckten Bodenoberfläche können Bodenerosionsprozesse induziert werden. Dies gilt auch für lediglich befahrene und ansonsten unbefestigte Erschließungskorridore wie Rückegassen. Allein durch die schadhafte Bodenverdichtung, welche durch die Gewichtsauflast von Forstmaschinen bewirkt wird, steigt die Gefahr für die Bildung potentiell erosiv wirkender Oberflächenabflüsse an (vgl. z.B. Foltz et al. 2009, Luce 2002, Madej 2001, Wemple 1998).

Für mitteleuropäische Einzugsgebiete sind bisher nur vereinzelte Studien zu dieser Problemstellung publiziert (Butzen et al. 2014). Dies steht in scharfem Kontrast zu einer deutlich umfangreicheren Quellenlage für ausgewählte Regionen wie beispielsweise den Pazifischen Nordwesten der USA. Hier ist eine detaillierte Beschreibung der Folgeschäden wegeinduzierter Bodenerosion gegeben (z.B. Jones et al. 2009, Wemple et al.

2001). Aufgrund der abweichenden klimatischen Bedingungen sind diese Studien jedoch nicht für Mitteleuropa adaptierbar. Angesichts der möglichen Folgen in Bezug auf Bodenerosionsprozesse und den verminderten dezentralen Wasserrückhalt in bewaldeten Gebieten besteht daher für mitteleuropäische Einzugsgebiete Forschungsbedarf zur Thematik – gerade auch in Form kleinskaliger, prozessualer Grundlagenbetrachtungen, wie sie mittels Berechnungsversuchen im Zuge der vorliegenden Studie durchgeführt wurden.

## 2. Untersuchungsgebiet

Die Berechnungsversuche fanden im Norden des Naturschutzgebietes Laacher See im Bereich des Veitskopfes statt (vgl. Abb. 1).



**Abb. 1:** Untersuchungsgebiet Veitskopf. Kartengrundlage: DTK25, LVerGeo RLP. Geländeschummerung anhand des DGM5, LVerGeo RLP.

Der Veitskopf ist ein alkalibasaltischer Schlackenkegel, dessen Hauptausbruchphase auf  $268 \pm 30$  ka BP (Schnepp 1996) datiert wird. Er repräsentiert einen typischen Vertreter der nach Schnepp (1996) mehr als

20 alkalibasaltischen Schlackenkegeln im Umfeld des Laacher Sees, die sich in einer frühen Phase des Ostteufelvulkanismus bildeten. Dies steht im Gegensatz zu den deutlich jüngeren Tephriten des Laacher See Vulkans, die nach Baales et al. (2002) auf ein Alter von 12.916 a BP zu datieren sind.

Geologisch und pedologisch prägen vulkanitische Gesteine und assoziierte Bodentypen das gesamte Untersuchungsgebiet. In Bereichen dominanter alkalibasaltischer Basanite des Veitskopfes sind vor allem basische Braunerden zu finden, in Ablagerungszonen der Laacher See Tephra liegen hauptsächlich Lockerbraunerden vor, wie sie beispielsweise durch Hahn & Opp (2002) für Aufschlüsse in direkter Nähe zu den Untersuchungsflächen beschrieben wurden. Gerade die ubiquitär auftretenden Bimse der Laacher See Tephra sind als leicht erodierbar anzusehen. Im Gebiet des NSG Laacher See zeigen sich Oberflächenformen wie Hohlwege, die sich typischerweise in besonders erodiblen Substraten bilden.

Die betrachteten Forstflächen sind gekennzeichnet durch ein dichtes Erschließungsnetz persistenter Wege ( $84,4 \text{ m ha}^{-1}$ ) und semipersistenter Rückegassen ( $90,1 \text{ m ha}^{-1}$ ). Ausgeprägte Höhenunterschiede zwischen dem Gipfel des Veitskopfes (428 m ü. NN) und den niedrigsten Flächen im Süden des Untersuchungsgebietes auf ca. 300 m ü. NN resultieren in teils steilen Bereichen, vor allem an den Hängen des Veitskopfes und am Calderarand des Laacher Sees. Die mittlere Hangneigung der Forstflächen beträgt  $16^\circ$ . Auch die Wegesysteme sind entsprechend versteilt, so weisen die persistenten Wege eine mittlere Hangneigung von  $6^\circ$  und Rückegassen von  $10^\circ$  auf.

In Kombination mit den erodiblen Böden im Gebiet konnte im Vorfeld der Beprobungen aufgrund der steilen Lagen eine punktuell stark erhöhte Bodenerosionsgefährdung angenommen werden.

### 3. Methodik

Zur kleinskaligen Betrachtung der Bodenerosionsprozesse auf Wegoberflächen wurde auf die Methode der Berechnungssimulation zurückgegriffen. Diese stellt einen häufig genutzten Ansatz in der Bodenerosionsforschung dar, da gewünschte Regenereignisse mit determinierbaren Niederschlagseigenschaften planbar umgesetzt werden können. Die Quantifizierung des Bodenerosionspotentials mittels Berechnungssimulation stellt jedoch nur eine Komponente der Quantifizierung von Erosionsprozessen im Gebiet dar, die in einer umfangreichen Arbeit im Zuge eines Promotionsverfahrens durchgeführt wurde (Zemke 2014). So wurden unter anderem in-situ Feldkartierungen von Erosionsformen durchgeführt, um das natürliche Erosionsverhalten als Validierungsbasis der gewonnenen Simulationsergebnisse zu erfassen.

Berechnet wurde ein quadratischer Plot von  $0,8 \times 0,8 \text{ m}$ . Aufgrund einer Fläche  $< 1 \text{ m}^2$  fällt die Anlage nach Iserloh (2013) in die Kategorie der Kleinberechnungsanlagen (nachfolgend: KBA). Die Anlage bestand aus einem batteriebetriebenen Pumpenkreislauf mit einem Betriebsdruck von  $0,09 \text{ bar}$  und einer Vollkegeldüse des Typs Lechler 460.608. Der verwendete Aluminiumrahmen ermöglichte durch einzeln verstellbare Beine

eine lotrechte Ausrichtung der Düse im Gelände. Mittels Laserdistanzmessung wurde eine Fallhöhe von 2 m mit einer Genauigkeit von 0,1 cm eingestellt, gegen störende Windablenkung erfolgte die Anbringung eines umlaufenden Windschutzes (Abb. 2).



**Abb. 2:** (A) KBA mit vollständigem Windschutz während eines CU-Kalibrationslaufes, (B) Rahmen zur Plotabgrenzung

Der Einsatz einer KBA setzt eine genaue Kalibration voraus, da ein realistisches Tropfenspektrum sowie eine für das Untersuchungsgebiet realistische Intensität des simulierten Niederschlags gegeben sein müssen. Zusätzlich ist eine homogene Verteilung des Niederschlags über die berechnete Fläche anzustreben.

Für die Ermittlung des Tropfenspektrums wurde ein Laser-Niederschlagsmonitor (LNM) der Universität Trier zur Verfügung gestellt. Dieser ermöglichte eine berührungslose Echtzeitmessung der Tropfendurchmesser und -geschwindigkeiten. Als Abgleich stand die Marshall-Palmer-Distribution (Marshall & Palmer 1948) zur Verfügung. Diese beschreibt das Tropfenspektrum natürlicher Niederschläge in Abhängigkeit ihrer Intensität. Zusätzlich ermöglichte die Metastudie von Iserloh et al. (2013) die Einordnung der KBA in einen Vergleichsdatensatz von insgesamt 13 anderen KBA. Auch konnten anhand des Tropfenspektrums die kinetische Energie

und der Impuls des Niederschlags als wichtigste Erosivitätsparameter berechnet werden. Die Flächenhomogenität wurde mittels Kollektorbeprobung (vgl. Abb. 2) über den Christiansen-Koeffizient der Uniformität (CU) nach Christiansen (1942) errechnet.

Tabelle 1 zeigt die Betriebsdaten der KBA. Angemerkt werden muss, dass die kinetische Energie des Niederschlags bei gegebener Intensität im Vergleich mit natürlichen Ereignissen zu gering ausfällt (vgl. van Dijk et al. 2002). Dies ist durch die geringe Fallhöhe von 2 m bedingt; ein Problem, von dem nahezu ausnahmslos alle portablen Beregnungsanlagen betroffen sind (z.B. Foltz et al. 2009, Iserloh et al. 2013, Ries et al. 2009).

**Tab. 1:** Betriebsdaten der KBA

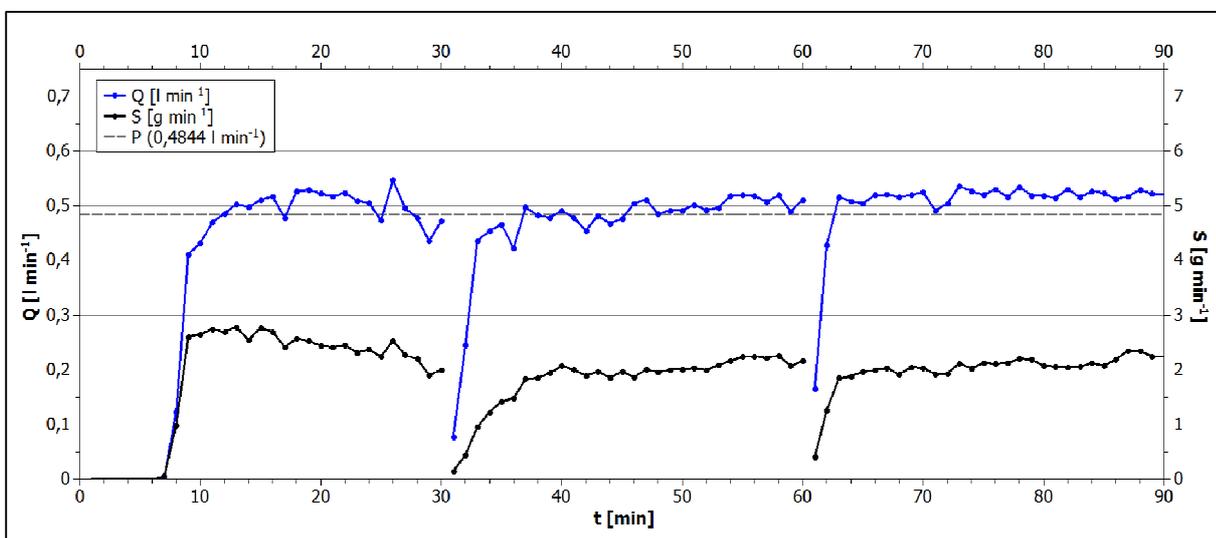
I [mm h <sup>-1</sup> ]	45
CU [%]	80
∅ Tropfendurchmesser [mm]	0,28
Kin. Energie [J m <sup>-2</sup> mm <sup>-1</sup> ]	4,6
Impuls [kg m s <sup>-1</sup> ]	7,7 * 10 <sup>-3</sup>

Die Beregnungsversuche wurden auf Wegen verschiedener baulicher Ausführung durchgeführt. Hierzu erfolgte eine dreistufige Kategorisierung des Wegesystems. Kategorie 1 umfasste Hauptwege mit einer Tragschicht aus Schotter und hauptsächlich geringen Hangneigungen. In Kategorie 2 fielen planierte, naturfeste Wege, die über keine Tragschicht verfügten, Wegekategorie 3 beinhaltete Rückegassen. Auf Wegen jeder Kategorie wurden die Beregnungen sowohl in der Fahrspur, als auch in den Zwischenspurbereichen durchgeführt, so dass nachträglich ein Einfluss der Fahrspurverdichtung herausgearbeitet werden konnte. Jede Beregnung wurde über eine Dauer von 90 min durchgeführt, aufgeteilt in drei Blöcke von jeweils 30 min mit einer Pause von 5 min zwischen den Teilläufen. Die Unterbrechungen dienten zur Beurteilung des Anströmverhaltens des Oberflächenabflusses bei sukzessiver Aufsättigung der Plots. Abfluss und Sediment wurden in einer zeitlichen Auflösung von 1 min gesammelt, dies ermöglichte die Anfertigung hoch aufgelöster Abfluss- und Erosionskurven.

#### 4. Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt beispielhaft die Abfluss- und Sedimentkurven eines Beregnungsversuches auf einem Weg der Kategorie 1. Erkennbar ist, dass im Falle der stark verdichteten, persistenten Wegoberflächen bereits nach

kurzer Zeit Oberflächenabfluss eintrat, der nach 12 Minuten auf dem Niveau des künstlichen Niederschlagsinput lag. Die Sättigungsphasen des zweiten und dritten Teillaufs verkürzten sich sukzessiv, nach 7 min (Teillauf 2), respektive 3 min (Teillauf 3) wurde das Niveau des Niederschlags erreicht. Bezüglich der Sedimentmenge zeigt sich eine im ersten Teillauf tendenziell abnehmende Sedimentmenge, bedingt durch die Erosion des zu Beginn noch vorhandenen, bereits transportaufbereiteten Materials. In den zwei nachfolgenden Teilläufen erfolgte eine Stabilisierung der minutlichen Sedimentmengen, hier ist von einer Limitierung des erodierten Sediments durch die Menge an Oberflächenabfluss und der Niederschlagserosivität auszugehen. Im Kontrast zu diesen Ergebnissen seien beispielhaft die entsprechenden Kurven der Zwischenspur einer Rückegasse gezeigt (Abb. 4).



**Abb. 3:** Abfluss- und Sedimentkurven der Beregnung eines Weges der Kategorie 1

Deutlich wird die signifikant geringere Abflussmenge, sowie die entsprechend längere Anströmphase bis zur Ausbildung messbarer Oberflächenabflüsse. Die Abflussmenge verblieb durchgehend weit unterhalb des künstlichen Niederschlags. Aufgrund der weitestgehend intakten, erosionsmindernden Streuauflage zeigt sich ein äußerst geringes Bodenerosionsgeschehen, so wurden im gezeigten Versuch im Mittel lediglich  $0,03 \text{ g min}^{-1}$  gemessen. Dies unterscheidet sich deutlich von durchschnittlich gemessenen  $1,89 \text{ g min}^{-1}$  während des Versuchs aus Abbildung 3.

Anhand der Beregnung von weitestgehend ungestörten Waldstandorten konnte die Gesamtheit der gewonnenen Daten – diese umfassten jeweils sechs Beregnungen pro Wegekategorie (3 Fahrspur- und 3 Zwischenspurberegnungen) – hinsichtlich ihrer Abweichung von anthropogen unveränderten Standortbedingungen eingeordnet werden.

Abbildung 5 zeigt die mittleren Abflusskoeffizienten (RKE), der den prozentualen Anteil des als Abfluss aufgefangenen Niederschlags ausweist. Zusätzlich sind die mittleren Gesamtsummen der gemessenen Sedimentmengen, normalisiert auf die Bezugsgröße eines Quadratmeters, aufgeführt.

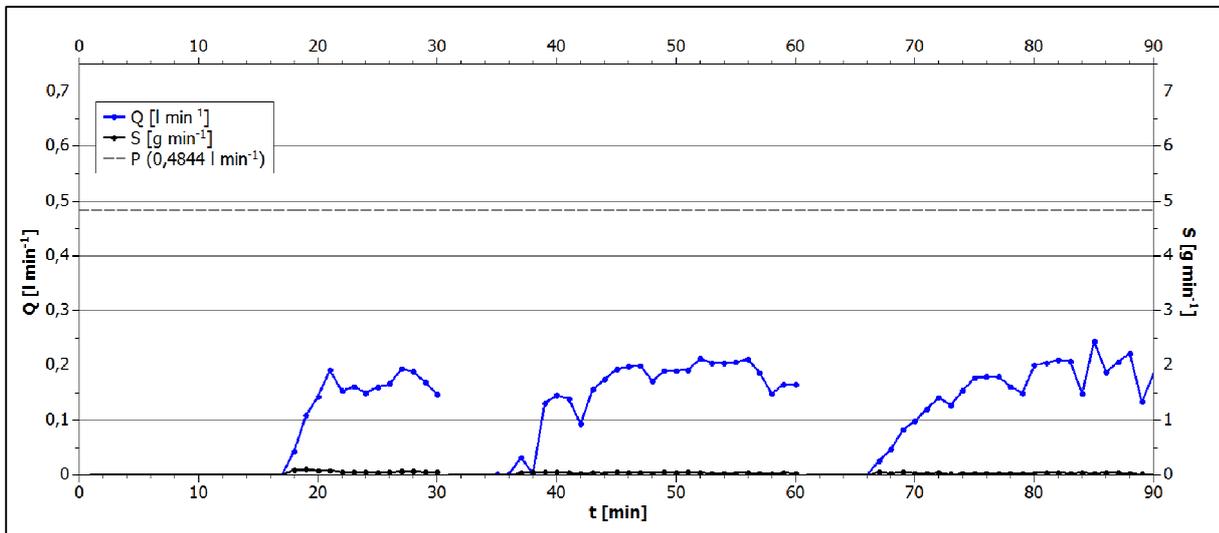


Abb. 4: Abfluss- und Sedimentkurven der Berechnung eines Weges der Kategorie 3

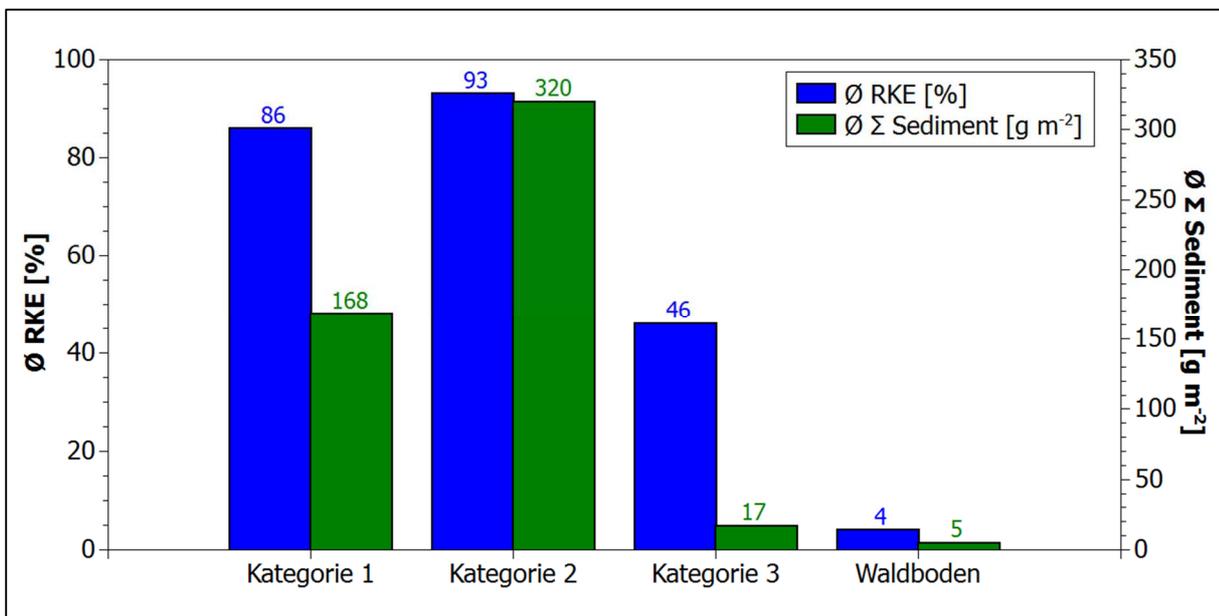


Abb. 5: Mittlere RKE und Sedimentsummen von Wegen und Waldböden

Deutlich wird, dass auf persistenten Wegen (Kategorie 1 und 2) ein Großteil des Niederschlags als Abfluss abgeführt wird. Selbst auf Rückegassen flossen 46% des induzierten Niederschlags oberflächlich ab. Dieser Wert muss jedoch auf Grundlage der Unterscheidung von Fahr- und Zwischenspurbereichen eingeordnet werden. In den Fahrspuren lag ein mittlerer RKE von 69% vor, während in den Zwischenspuren durchschnittlich 24% erreicht wurden. Im Vergleich mit den im Mittel 4% auf Waldstandorten kann selbst auf den nicht direkt befahrenen Standorten eine verstärkte Tendenz zur Abflussbildung beobachtet werden. Begründet ist dies durch die Druckausbreitung innerhalb der Bodenmatrix während der Befahrung, welche bis in mehrere Dezimeter Tiefe und Breite nachweisbar ist (vgl. Froehlich et al. 1985, Horn et al. 2004, Thorud & Frissell 1976). Bezüglich der Bodenerosionsgefährdung neigten vor allem die lediglich planierten und nicht gesondert befestigten Wege zu einem besonders starken Abtragsgeschehen. So konnten im Mittel  $320 \text{ g m}^{-2}$  mobilisiert werden. Dies entspricht Abtragsraten, die ansonsten nur unter intensiver landwirtschaftlicher Nutzung zu erwarten gewesen wären (Auerswald et al. 2009). Aufgrund der weitestgehend noch intakten Streuauflage im Bereich von Rückegassen ist bei Wegekategorie 3 eine deutliche Abnahme der erodierten Sedimentmenge zu verzeichnen.

## 5. Fazit

Aufgrund der ersten Untersuchungen wegeinduzierter Abflussereignisse und Bodenerosionsprozesse für Mitteleuropa zeigt sich, dass Wegesysteme das Potential besitzen, einen markanten Einfluss auf die hydrologischen Teilprozesse in bewaldeten Einzugsgebieten auszuüben. Dies betrifft selbst Rückegassen, bei denen keine gesonderte Befestigung vorliegt, sondern lediglich eine Befahrung vorliegt. Der Einfluss der Befahrung ist dabei nicht nur im direkten Bereich der Fahrspuren zu erkennen. Selbst Zwischenspurbereiche von Rückegassen, die keiner direkten Auflast unterliegen sind, wiesen ein Abflussverhalten auf, das sich deutlich von ungestörten Standorten unterschied. Aufgrund dieser Verstärkung der Abflüsse kann sich die Bodenerosionsgefährdung signifikant erhöhen. Gerade im Falle von persistenten Wegen, auf denen eine unbewachsene Oberfläche vorliegt, wird das offen liegende Material verstärkt abgetragen. Durch die lineare Struktur von Wegen können sich auftretende Abflüsse zusätzlich kanalisieren, dies kann die beobachteten Erosionsprozesse verstärken.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Bedeutung von Wegesystemen und forstwirtschaftlichen Erschließungskorridoren für den dezentralen Wasserrückhalt und die Folgeschäden von Bodenerosionsprozessen bislang für mitteleuropäische Einzugsgebiete unterschätzt wurde. Dies lässt sich aus der – im Vergleich zu anderen Regionen – äußerst geringen Literaturbasis erkennen. Weitere Grundlagenforschungen an den beteiligten Prozessen und dem Einfluss von Wegenetzen auf Hydrologie und Stoffhaushalt sind daher anzuregen.

## Danksagung

Für die Zurverfügungstellung des LNM und viele hilfreiche Hinweise zum Aufbau der verwendeten KBA möchte ich den Mitarbeitern der Physischen Geographie der Universität Trier, namentlich vor allem Prof. J. Ries und Dr. Th. Iserloh danken.

## Literatur

- Auerswald, K.; Fiener, P. and Dikau, R. (2009): Rates of sheet and rill erosion in Germany — A meta-analysis. In: *Geomorphology*, 111, 182 – 193.
- Baales, M.; Jöris, O; Street, M.; Bittmann, F.; Weninger, B. and Wiethold, J. (2002): Impact of the late glacial eruption of the Laacher see volcano, Central Rhineland, Germany. In: *Quaternary Research*, 58, 273 – 288.
- Butzen, V.; Seeger, M.; Wirtz, S.; Huemann, M.; Müller, C.; Casper, M. and Ries, J.B. (2014): Quantification of Hortonian overland flow generation and soil erosion in a Central European low mountain range using rainfall experiments. In: *Catena*, 113, 202 – 212.
- Christiansen, J.E. (1942): Irrigation by sprinkling. California Agric. Exp. Stn. Bull. 670, University of California, Berkeley.
- Foltz, R.B.; Copeland, N.S. and Elliot, W.J. (2009): Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, USA: Quantification of runoff, sediment concentration, infiltration, and interrill erosion parameters. In: *Journal of Environmental Management*, 90, 2542 – 2550.
- Froehlich, H.A.; Miles, D.W.R. and Robbins, R.W. (1985): Soil bulk density recovery on compacted skid trails in central Idaho. In: *Soil Science Society of America Journal*, 49, 1015 – 1017
- Hahn, J. und Opp, C. (2011): Eigenschaften von Laacher See-Tephra enthaltenden Bodensubstraten in eruptionsnaher und eruptionsferner Position. Tagungsbeitrag zur Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft „Böden verstehen – Böden nutzen – Böden fit machen“, September 2011, Berlin.
- Horn, R.; Vossbrink, J. and Becker, S. (2004): Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. In: *Soil and Tillage Research*, 79, 207 – 219.
- Iserloh, T.; Ries, J.B.; Arnáez, J.; Boix Fayos, C.; Butzen, V.; Cerdà, A.; Echeverría, M.T.; Fernández-Gálvez, J.; Fister, W.; Geißler, C.; Gómez, J. A.; Gómez-Macpherson, H.; Kuhn, N.J.; Lázaro, R.; León, F.J.; Martínez-Mena, M.; Martínez-Murillo, J.F.; Marzen, M.; Mingorance, M.D.; Ortigosa, L.; Peters, P.; Regüés, D.; Ruiz-Sinoga, J.D.; Scholten, T.; Seeger, M.; Solé-Benet, A.; Wengel, R. and Wirtz, S. (2013): European small portable rainfall simulators: a comparison of rainfall characteristics. In: *Catena*, 110, 100 – 112.

- Iserloh, T. (2013): Niederschlagssimulationen mit kleinen mobilen Beregnungsanlagen – Tropfenerzeugung, Regnervergleich, windbeeinflusster Niederschlag. Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) des Fachbereichs VI der Universität Trier. Trier, 06. Februar 2013.
- Jones, J.A.; Achterman, G.L.; Augustine, L.A.; Creed, I.F.; Ffolliott, P.F.; MacDonald, L. and Wemple, B.C. (2009): Hydrologic effects of a changing forested landscape – challenges for the hydrological sciences. In: *Hydrological Processes*, 23, 2699 – 2704.
- Luce, C.H. (2002): Hydrological processes and pathways affected by forest roads: what do we still need to learn? In: *Hydrological Processes*, 16, 2901 – 2904.
- Madej, M.A. (2001): Erosion and Sediment Delivery Following Removal of Forest Roads. In: *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 175 – 190.
- Marshall, J.S. and Palmer, W. Mc K. (1948): The distribution of raindrops with size. In: *Journal of Meteorology*, 5, 165 – 166.
- Ries, J.B.; Seeger, M.; Iserloh, T.; Wistorf, S. and Fister W. (2009): Calibration of simulated rainfall characteristics for the study of soil erosion on agricultural land. In: *Soil & Tillage Research*, 106, 109 – 116.
- Schnepp, E. (1996): Geomagnetic paleointensities derived from volcanic rocks of the Quaternary East Eifel volcanic field, Germany. In: *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 94, 23 – 41.
- Thorud, D.B. and Frissell, S.S. (1976): Time changes in soil density following compaction under an oak forest. *Minnesota Forest Research Notes*, No. 257.
- Van Dijk, A.I.J.M.; Bruijnzeel, L.A. and Roswell, C.J. (2002): Rainfall intensity – kinetic energy relationships: a critical literature appraisal. In: *Journal of Hydrology*, 261, 1 – 23.
- Wemple, B.C.; Swanson, F.J. and Jones, J.A. (2001): Forest Roads and Geomorphic Process Interactions, Cascade Range, Oregon. In: *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 191 – 204.
- Wemple, B.C. (1998): Investigations of runoff production and sedimentation on forest roads. Corvallis, Oregon. PhD dissertation, Oregon State University.
- Zemke, J.J. (2014): Messung, Simulation und Modellierung von Oberflächenabfluss und Bodenabtrag auf Wirtschaftswegen in bewaldeten Einzugsgebieten. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaft. Fachbereich 3: Mathematik / Naturwissenschaften, Universität Koblenz-Landau. Koblenz, 20.11.2014.

# Visualisierung limno-physikalischer Prozessen anhand von hoch-aufgelösten Messdaten

Thomas Büche

*Ludwig-Maximilians-Universität, Department für Geographie*

## 1. Einleitung

Es liegt in der Natur des Systems See, dass die darin ablaufenden hydrologischen Prozesse und deren räumliche Strukturen mit dem bloßen Auge kaum erkennbar sind. Daher ist das grundlegende Verständnis dafür durch reines Betrachten (der Seeoberfläche) schwer zu vermitteln. Zudem kommt hinzu, dass hinter diesen Prozessen und Strukturen oft ein hoher Grad an Komplexität steht, so dass auch hier Limitationen bei der Visualisierung vorliegen.

Eine Vielzahl an limno-physikalischen Prozessen und Ereignisse laufen in kurzen Zeiträumen von wenigen Stunden bis Tagen ab. Gleichzeitig sind diese sehr stark an externe meteorologische Einflüsse gekoppelt. Als Beispiele sind hier das Einsetzen sowie das Auflösen von geschichteten Verhältnissen im See, aber auch die Ausbildung einer Eisbedeckung zu nennen. Daher ist die zeitliche Auflösung der Messdaten ein wichtiges Kriterium, um anhand einer Visualisierung der Daten zu einer Verbesserung des Prozessverständnisses in limnischen Systemen beitragen zu können.

Seit Juli 2013 stehen zum Ammersee im bayerischen Alpenvorland Messdaten von einer automatischen Messstation zur Verfügung, welche vom Bayerischen Landesamt für Umwelt betrieben wird. In diesem Beitrag werden anhand diesen Daten die räumliche und zeitliche Verteilung der Wassertemperaturen im Ammersee visualisiert und die Auswirkungen von meteorologischen (Extrem-)Ereignissen auf diese untersucht.

## 2. Daten und Untersuchungsgebiet

Der Ammersee besitzt eine Fläche von 46,6 km<sup>2</sup> und füllt ein Volumen von ca.  $1,8 \times 10^9$  m<sup>3</sup> aus. Der See weist ein dimiktisches Durchmischungsregime auf (Nixdorf et al. 2004) und befindet sich derzeit in einem mesotrophen Zustand (Vetter & Sousa 2012).

Die Messstation befindet sich über dem tiefsten Punkt des Sees (ca. 83 m) und misst in einem zeitlichen Intervall von 15 min die Wassertemperatur im vertikalen Profil. In den Tiefen 0 bis 20 m werden Daten alle 2 m erhoben, für 20 m bis zum Grund alle 20 m und zusätzlich in 25 m Tiefe. Auf der Messstation befindet sich

eine automatische meteorologische Messstation, an welcher die Variablen Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte und -druck sowie die Globalstrahlung ebenfalls in 15 min Rhythmus aufgezeichnet gemessen werden.

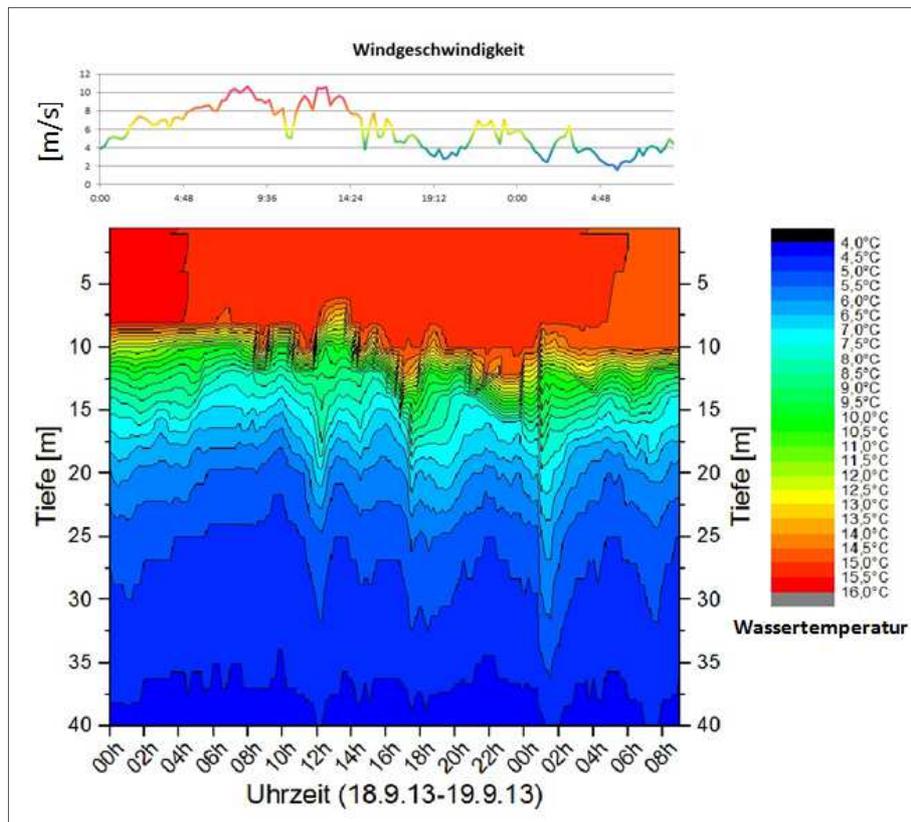
Nach Weischet & Endlicher (2008) werden Windgeschwindigkeiten von über 10 m/s als Starkwind angesehen. In den zur Verfügung stehenden Daten wurde nur einmal, im September 2013, dieser Grenzwert überschritten.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

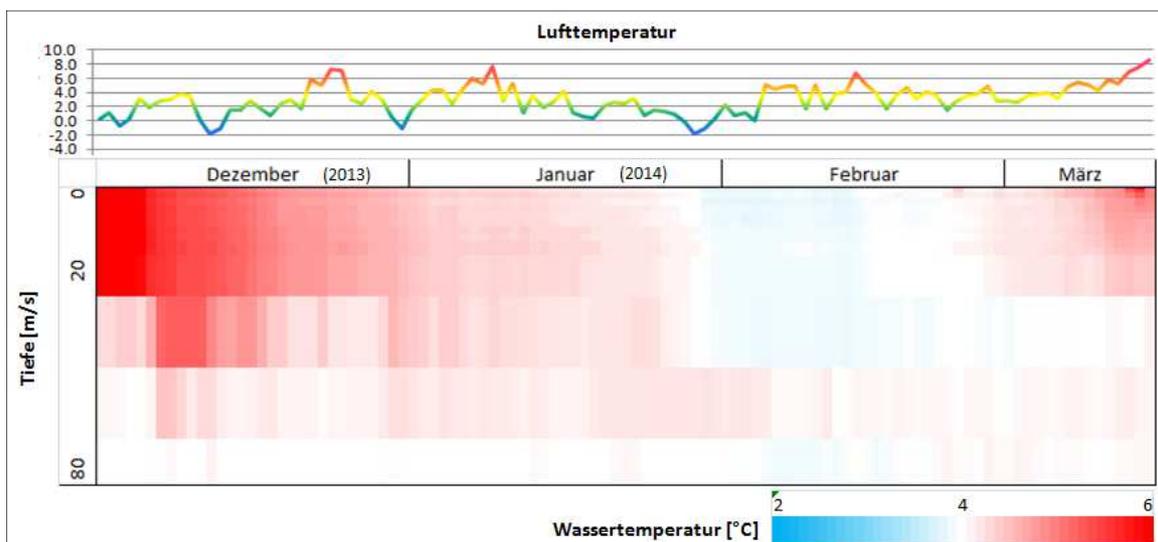
Zur Untersuchung von Auswirkungen Starkwindereignissen auf die Wassertemperaturverteilung im vertikalen Seeprofil wurden die gemessenen Daten zur Wassertemperatur und die Windgeschwindigkeiten für den Zeitraum 18.09.2013 00:00 Uhr bis 19.09.2013 09:00 Uhr (33 h) visualisiert (siehe Abb. 1). Es ist zu erkennen, dass vor dem Starkwindereignis mit Geschwindigkeiten über 10 m/s eine ausgeprägte Schichtung im Seeprofil vorherrschte. Die warme Schicht unter der Oberfläche, das Epilimnion, weist eine homogene Temperatur von 15,5 - 16,0 °C auf. Das Epilimnion grenzt sich zur darunterliegenden Schicht mit einem starken Temperaturgradienten, dem Metalimnion, scharf ab. Die Grenze liegt vor dem Starkwindereignis bei ca. 6 m Tiefe. Die Grenze des Metalimnions zur Tiefenschicht (Hypolimnion) mit Temperaturen um 4 °C kann bei ca. 25 m angesehen werden.

Mit zwei bis drei Stunden Verzögerung nach dem Einsetzen der Windgeschwindigkeiten über 10 m/s setzten Veränderungen der Tiefe der unteren Grenze des Epilimnions ein, welche noch ca. 19 h (bis 03:00 Uhr am 19.09.2013) andauern. Die Tiefe der Grenze schwankt in dieser Zeitpanne von 7 bis 15 m. Danach und zum Ende des Betrachtungszeitraumes liegt sie konstant bei 10 m Tiefe. Die Temperatur des Epilimnions liegt dann bei 14,5 - 15,0 °C. Es ist abzuleiten, dass durch das Windereignis die Mächtigkeit des Epilimnions um 4 m angewachsen ist und gleichzeitig die Temperatur um ca. 1 K abgesenkt wurde. Eine Auflösung der Schichtung wurde aufgrund der zu starken Schichtungsstabilität nicht bewirkt. Die Schwankungen der Grenze zum Metalimnion lassen auf durch die starken Windgeschwindigkeiten induzierte stehende seeinterne Schwingungen, sog. Seiches (Michler & Thoms 1998), schließen. Die Amplitude der Seiches von 8 m wird durch die Abbildung anschaulich visualisiert.

Die Periode Dezember bis Mitte März ist der potentielle Zeitraum für eine Eisbedeckung am Ammersee. Voraussetzung dafür ist die Ausbildung einer inversen Schichtung im See. Die Abb. 2 visualisiert die Tagesmittel der Lufttemperatur für den genannten Zeitraum und die Temperaturverteilung in der Wassersäule des Sees.



**Abb. 1:** Wassertemperaturverteilung und Windgeschwindigkeiten für den Zeitraum 18.09.2013 00:00 Uhr bis 19.09.2013 09:00 Uhr.



**Abb. 2:** Wassertemperaturverteilung und Lufttemperatur (Tagesmittel) für den Zeitraum 01.12.2013 bis 15.03.2014.

Die Abb. 2 zeigt, dass bis Mitte Januar mindestens alle zwei Wochen Lufttemperaturen über 4 °C herrschten. Die Abnahme der Wassertemperatur erfolgte demnach gemäßigt und keine inverse Temperaturschichtung konnte sich einstellen. Die darauffolgende Zeitspanne von 19 Tagen in der die Lufttemperatur nicht über 4 °C stieg inklusive 3 Tagen mit einem Tagesmittel unter dem Gefrierpunkt reichte jedoch aus um eine inverse Schichtung (blauer Farbton in der Wassersäule) im See zu initiieren. Es zeigt sich, dass zur Ausbildung einer inversen Schichtung keine langanhaltenden niedrigen Temperaturen (ggf. auch unter 0°C) nötig sind. In diesem untersuchten Fall kann die kurze kalte Periode von 3 Tagen unter 0°C als Initialereignis für die Ausbildung angesehen werden, jedoch ist der Prozess eher ein langsamer Übergang als ein abruptes Einsetzen der inversen Schichtung.

#### **4. Zusammenfassung und Ausblick**

Die Visualisierung der hochaufgelösten Daten zur Wassertemperatur des Ammersees ermöglicht es, die Prozesse im See schnell nachzuvollziehen. Gleichzeitig werden die Wechselbeziehungen zu Schwankungen in den meteorologischen Variablen anschaulich präsentiert. Es konnte der Einfluss eines Starkwindereignisses auf die Schichtung im See mit den einhergehenden induzierten Seiches gezeigt werden. Des Weiteren wurde durch die graphische Aufbereitung der Messdaten die Ausbildung der inversen Schichtung 2013/14 veranschaulicht, welche auch im ungewöhnlich milden Winter über ca. zwei Wochen im Ammersee anzufinden war.

Durch die Verfügbarkeit von hochaufgelösten Messdaten und anhand einer geeigneten Visualisierung der Prozesse im See können auch weitere Phänomene untersucht werden. Dazu gehören beispielsweise die Auswirkungen von Niederschlagsereignissen wie Starkregen oder Schneefall auf die Wassertemperaturen im See oder die Rolle des Windes bei Durchmischungsphasen sowie bei der Eisbildung. Des Weiteren können die Daten für sehr exakte Kalibrierungen von numerischen Modellen verwendet werden.

#### **5. Literaturverzeichnis**

- Michler G., Thoms R. (1998): Stehende interne Schwingungen (Seiches) im Ammersee (Oberbayern). Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in München, 83: 45-82.
- Nixdorf B., Hemm M., Hoffman A., Richter P. (2004): Dokumentation von Zustand und Entwicklung der wichtigsten Seen Deutschlands. Umweltbundesamt, Berlin.
- Vetter M., Sousa A. (2012): Past and current trophic development in Lake Ammersee - Alterations in a normal range or possible signals of climate change? *Fundamental and Applied Limnology*, 180(1): 41-57.
- Weischet W., Endlicher W. (2008): Einführung in die allgemeine Klimatologie: mit 13 Tabellen. Borntraeger.

# **Zum Einfluss der Schicht- und Horizont-Konstellationen von Böden im Einzugsgebiet des Dongting-Sees in China auf das Retentionsvermögen und die Abflussbildung – ein Arbeitsstandbericht**

Tom Lotz<sup>1</sup>, Christian Opp<sup>1</sup>, Zhandong Sun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Philipps-Universität Marburg, <sup>2</sup>NIGLAS Nanjing

## **1. Einleitung**

Der Dongting-See in China und sein Einzugsgebiet haben in den vergangenen Jahrzehnten große Veränderungen durch menschliche Eingriffe erfahren. Diese Veränderungen umfassen vor allem:

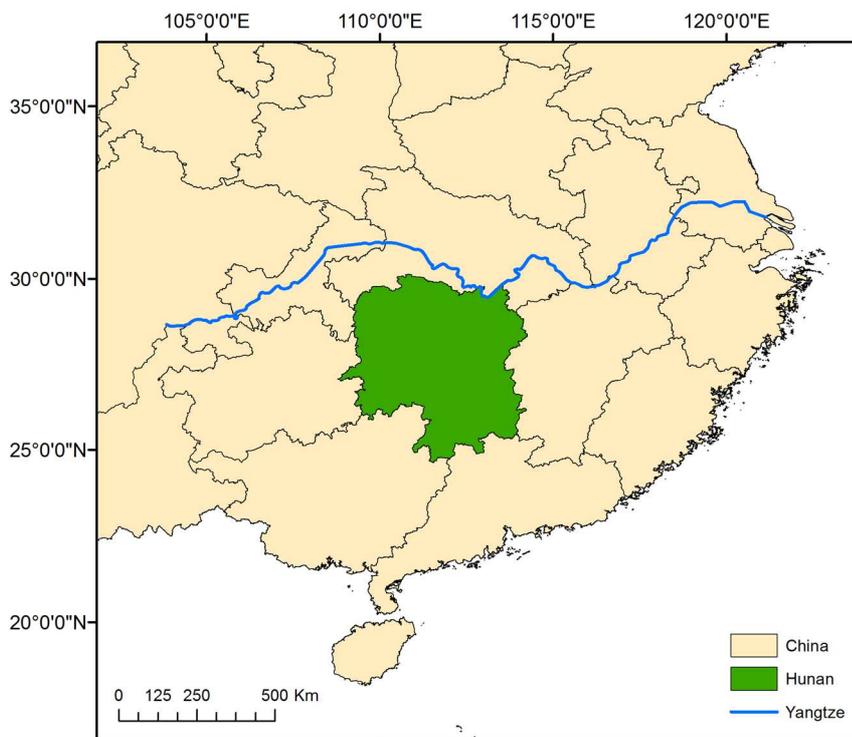
- den Landnutzungswechsel, insbesondere die Rodung großer Waldflächen (YU ET AL. 2009),
- die Eindeichung von Flüssen und dem See selbst. Diese führt zu einer forcierten Sedimentation am Gewässergrund und damit zu einem Anstieg des Wasserspiegels und einer erhöhten Hochwasserwahrscheinlichkeit (YIN ET AL. 2007).
- Die dramatische Verkleinerung der Seefläche durch Landgewinnung und Eindeichung (Verlust von über 5000 km<sup>2</sup>) (HONGFU ET AL. 2006).

Dies und die natürlichen Schwankungen in Klima und Seegröße, sowie die wirtschaftliche und soziale Entwicklung Chinas, machen das Dongting-Einzugsgebiet zu einem interessanten Forschungsgebiet. Die Lösung entsprechender Forschungsfragen erfordern geographisches und landschaftshydrologisches Know How. In einer Masterarbeit (LOTZ 2013, LOTZ ET AL. 2013) wurden unter Zuhilfenahme des SWAT-Modells die Auswirkungen der Faktoren Landnutzung, Hangneigung und Boden auf die Abflussbildung des Untersuchungsgebietes untersucht. Die Ergebnisse zeigten deutliche Unterschiede zwischen den Landnutzungen und Hangneigungen; die Böden jedoch erwiesen sich als unzureichend durch die vorhandenen Daten repräsentiert. Hieraus erwuchs die Notwendigkeit den Einfluss der Schicht- und Horizontkonstellationen der Böden im Einzugsgebiet auf die Abflussbildung in einem Dissertationsprojekt zu untersuchen. Hierfür wurden mehrere Bodenprofile im Untersuchungsgebiet aufgenommen, um eine erste Charakterisierung von flächenrepräsentativen Standorten hinsichtlich ihres Schicht- und Horizontaufbaus und deren hydrologischen Verhaltens zu ermitteln. Im Anschluss sollen die Erkenntnisse aus diesem Schritt dafür verwendet werden, Flächen zu kennzeichnen. Durch eine weitere Übertragung von Ergebnissen auf immer größere Skalen können Unsicherheiten erkannt und berücksichtigt werden, bis schließlich eine Charakterisierung des ganzen Einzugsgebietes möglich ist. Der

vorliegende Text soll Einblicke in erste Ergebnisse geben und dazu dienen, das weitere Vorgehen zu beschreiben.

## 2. Untersuchungsgebiet und Methoden

Der Dongting-See in der Hunan Provinz ist der zweitgrößte Süßwassersee Chinas und hat ein Einzugsgebiet von 259.430 km<sup>2</sup> (DING & LI 2011) (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Da der See mit dem Yangtze verbunden ist, macht sein Einzugsgebiet 15 % des Einzugsgebietes des Flusses aus (YU ET AL. 2009). Diese Verbindung besteht über drei Kanäle (Songzi, Taiping und Ouchi), über die im Nordwesten des Sees Wasser aus dem Yangtze in den See einströmt und durchfließt und bei Chenglingji im Nordosten wieder in den Fluss zurückfließt (DING & LI 2011). Neben diesem Zufluss aus dem Yangtze münden mehrere Flüsse in den See, die vier größten sind Li, Yuan, Zi und Xiang. Die Abflussvariabilität sowohl im Yangtze als auch in den vier Zuflüssen führt zu einer ständigen Veränderung der Größe des Dongting-Sees. Die Ausdehnung des Sees bewegt sich im Jahresverlauf zwischen 710 km<sup>2</sup> und 2.700 km<sup>2</sup>. Das Klima des See-Einzugsgebietes ist wie die ganze Region vom Einfluss durch den ostasiatischen Monsun geprägt (YIN ET AL. 2007). Der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt bei 1.200 mm bis 1.400 mm, die Durchschnittstemperatur bei 17 °C (CUI ET AL. 2012). Während das Terrain um den See und in den Auen der Flüsse sehr flach ist und fast auf Meeressniveau liegt, befinden sich in den Oberläufen der Zuflüsse montane Regionen, in denen Höhen von 2.000 m über dem Meeresspiegel auftreten. Die vorherrschenden Landbedeckungen sind mit 60 % Wald und Forst (vor allem in den bergigen Gebieten), 19 % Reisanbaufläche und 6 % andere landwirtschaftliche Flächen.

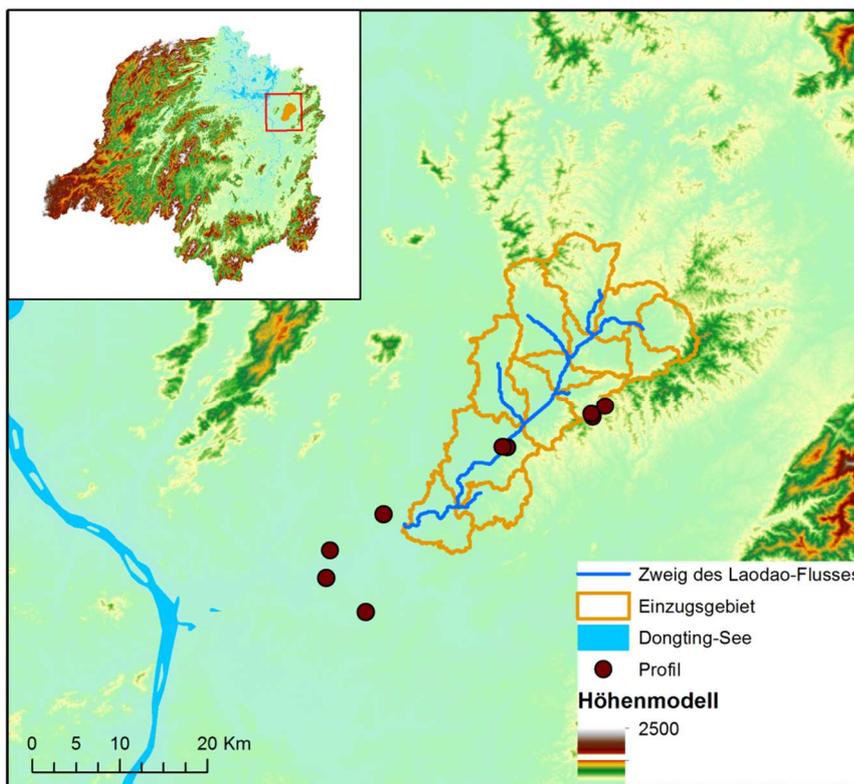


vor allem in den bergigen Gebieten), 19 % Reisanbaufläche und 6 % andere landwirtschaftliche Flächen.

**Abb. 1:** Die Position der Provinz Hunan im Mittellauf des Yangtzes in der Volksrepublik China.

Für die im Sommer 2014 durchgeführte Untersuchung wurde ein Teileinzugsgebiet des Xiang ausgewählt, welches durch den Laodao entwässert wird (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Es hat eine Fläche von 453 km<sup>2</sup> und befindet sich im Südosten des Dongting-Sees. Durch sein Relief und seine Landbedeckung ist es repräsentativ für einen großen Teil des Gesamt-einzugsgebietes. Darüber hinaus besteht eine Kooperation mit dem Nanjing Institute of Geography and Limnology (NIGLAS) zur Untersuchung dieses Gebietes, welches Daueruntersuchungen zu Klima, Abflussgeschehen, Wasserqualität und sozialen Bedingungen an mehreren Standorten im Laodao-Einzugsgebiet betreibt. Die Feldarbeit bestand darin, an neun Standorten und an elf Bodenprofilen Untersuchungen durchzuführen. Diese neun Standorte wurden nach ihrer Position im Relief und nach der bestehenden Landnutzung ausgewählt. Sie erstreckten sich von 28 bis 295 m Höhe über dem Meeresspiegel. Die Untersuchungen umfassten eine generelle Profilaufnahme, Infiltrationsexperimente, Bodenfeuchtemessungen, Penetrometermessungen und Beregnungsversuche. Die pro Horizont oder Schicht entnommenen Proben (gestört und ungestört) wurden nach der Feldkampagne im Labor des NIGLAS ausgewertet.

Hierbei wurden unter anderem die Korngrößenzusammensetzung, der Anteil organischer Substanz, die Lagerungsdichte und der Skelettanteil bestimmt.



**Abb. 2:** Die neun Bodenprofile, die im Einzugsgebiet eines Zuflusses des Xiang-Flusses untersucht wurden, und die Position im Dongting-Einzugsgebiet.

Da die Erhebung einiger wichtiger Parameter des Bodenwasserhaushaltes im Rahmen der Untersuchung nicht möglich war (wie etwa Wasserleitfähigkeit und Feldkapazität) erfolgte eine Abschätzung mit dem Bodenmodell ROSETTA. ROSETTA stellt eine Oberfläche zur Anwendung von Pedotransferfunktionen zur Verfügung, um aus vorhandenen Datensätzen weitere Parameter abzuleiten (SCHAAP ET AL. 2001). Als Eingabe wurden im vorliegenden Fall die Korngrößenverteilungen der Bodenhorizonte verwendet. Auch wenn die Verwendung von Pedotransferfunktionen mit einer großen Fehlerbreite verbunden sein kann, wurden die Ergebnisse für die weitere Analyse verwendet, da die Fehlerbreite in der Schätzung nicht größer ist als die Variabilität der Parameter in der Umwelt.

Da der erste Schritt des gesamten Projektes eine Charakterisierung des hydrologischen Verhaltens der einzelnen Standorte vorsieht, wurde ein einfaches Modell entwickelt, um Oberflächenabfluss, Infiltration, Interflow und Perkolation abschätzen zu können. Das Modell wurde in Python implementiert und basiert auf Funktionen aus mehreren Quellen. Für Oberflächenabfluss und Infiltration wurde die SCS runoff curve number-Methode verwendet (USDA 1986). Interflow und Perkolation wurden nach den Formeln berechnet, die auch in dem SWAT-Modell Anwendung finden (NEITSCH ET AL. 2011). Während eines Durchlaufs bewegt das hier entwickelte Modell im Stundentakt Portionen von Wasser durch eine Bodensäule und speichert die jeweiligen Bewegungen in einer Datei ab. Dieses Ergebnis stellt eine der Grundlagen für die Kennzeichnung der Standorte dar.

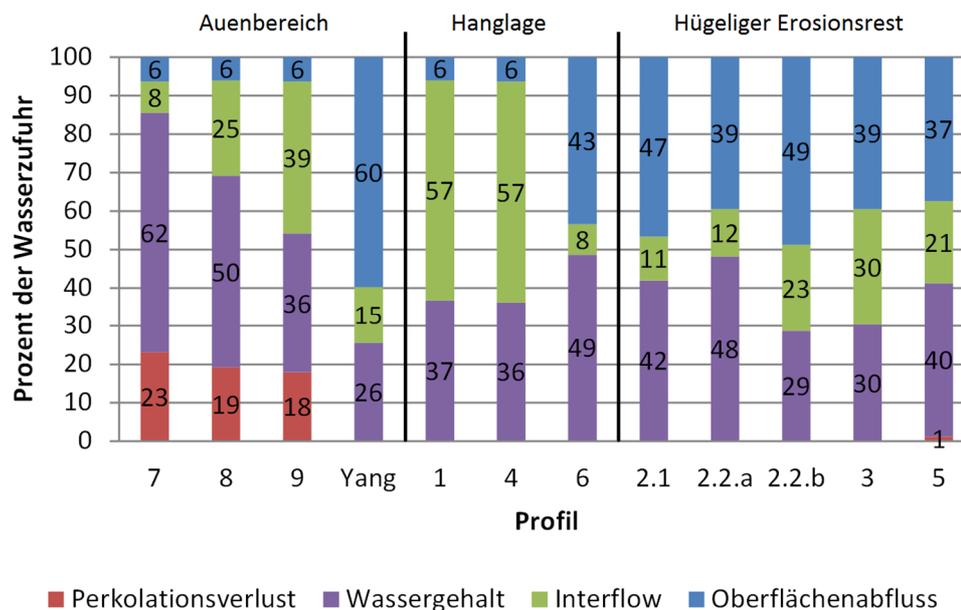
### 3. Erste Ergebnisse

Alle Bodenproben weisen hohe Schluffgehalte auf. Die häufigste angetroffene Bodenart ist mittel-toniger Schluff an 20 von 41 Proben (Horizonten), gefolgt von schwach tonigem Schluff (9) und stark-tonigem Schluff (8). Darüber hinaus treten vier weitere Bodenarten auf, die jeweils nur einmal angetroffen wurden.

Neben den bei der Feld- und Laboruntersuchung erhobenen Parametern wurden in ROSETTA aus Korngrößenzusammensetzungen hydraulische Parameter abgeschätzt und in einem Modell dazu verwendet, hydraulische Vorgänge in den Bodenprofilen zu simulieren. Abb. 3 zeigt das Ergebnis eines Modelllaufes für alle Profile über 24 Stunden. Hierbei wurde für alle Profile eine Hangneigung von 5 % angenommen, da die Auswirkung der Bodenschichten und -horizonte auf Wasserbewegungen untersucht werden sollte. Die Reaktion der Profile auf die Wasserzufuhr war sehr unterschiedlich infolge heterogener Wasserspeicher- und Wassertransfereigenschaften. Durch die Zuordnung der Profile zu Reliefelementen, in denen sie sich befanden, wurden erste Zusammenhänge sichtbar. Während die Profile im Auenbereich einen deutlichen „Perkulationsverlust“ aufweisen (also die Perkolation von Wasser in Tiefen unter der beobachteten Bodensäule erfolgt), ist dieser Bereich in den höher gelegenen Reliefelementen nur sehr schwach ausgebildet. Der Oberflächenabfluss bestimmt die hydrologischen Prozesse im Bereich der hügeligen Erosionsreste (hügelige Landschaft). Im geneigten Relief kommt es teilweise zu einem ausgeprägten Interflow. Diese Unterschiede sind, ähnlich wie bei GINAU ET AL.

(2013) und auch oben beschrieben, entscheidend durch Unterschiede in der Horizontmächtigkeit und in den hydraulischen Parametern bestimmt, weniger durch die Hangneigung.

Hieraus ergeben sich erste Ansätze zu einer Charakterisierung auf der Grundlage von Unterschieden in der Horizont- und Schichtzusammensetzung der Bodenprofile.



**Abb. 3:** Ergebnisse aus einem Lauf des entwickelten Modells nach 24 Stunden Wasserzufuhr. Die Höhe der Balken gibt an, welcher Anteil des Niederschlages (%) in welchem Teil des pedo-hydrologischen Verhaltens wirksam wird. Die schwarzen Striche unter-teilen die Profile in die Reliefelemente.

#### 4. Weiteres Vorgehen

Wie bereits erwähnt, besteht das Ziel der weiteren Untersuchung darin, die Ergebnisse dieses ersten Arbeitsschrittes durch Up-Scaling auf das nächste räumliche Niveau zu übertragen. Auf den Ergebnissen des ersten räumlichen Untersuchungsniveaus basierend soll auch eine Kennzeichnung der Standorte des Laodao-Einzugsgebietes erfolgen. Letztlich sollen die Erkenntnisse hieraus dafür genutzt werden, das Xiang-Einzugsgebiet hinsichtlich seines hydrologischen Verhaltens zu kennzeichnen, was wiederum die Grundlage für die Charakterisierung des gesamten Dongting-Gebietes bilden wird. Zu den Informationen, die jeweils aus den einzelnen Durchläufen gewonnen werden, zählen unter anderem:

- räumliche Variabilität von Boden- und Horizontmächtigkeiten und deren Auswirkungen,
- Qualität der vorhandenen Bodendaten im Vergleich mit erhobenen Daten,
- Anpassungsmöglichkeiten der vorhandenen Bodendaten.

Für die Übertragung von Informationen wird eine manuelle Klassifikation von Böden und Abflussprozessen wie in dem entwickelten Modell genutzt werden. Zusätzlich soll auf SWAT-Simulationen zurückgegriffen werden. Dieser bilaterale Ansatz ermöglicht den Vergleich von Ergebnissen und somit eine verbesserte Fehlerkontrolle.

## Quellenverzeichnis

- Cui, M., Zhou, J.X., & Huang, B. (2012): Benefit evaluation of wetlands resource with different modes of protection and utilization in the Dongting Lake region.- 18th Biennial Isem Conference on Ecological Modelling for Global Change and Coupled Human and Natural System, 13:2-17.
- Ding, X. & Li, X. (2011): Monitoring of the water-area variations of Lake Dongting in China with ENVISAT ASAR images.- International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13:894-901.
- Ginau, A., Opp, Ch., Sun, Zh. & Halik, Ü. (2013): Influence of sediment, soil, and micro-relief conditions on the vitality of *Populus euphratica* stands in the lower Tarim Riparian Ecosystem. In: Quaternary International (311): 145-154.
- Hongfu, Y., Liu, G., Pi J., Chen, G. & Li Ch. (2006): On the river-lake relationship of the middle Yangtze reaches.- Geomorphology, 85:197-207.
- Lotz, T. (2013): Effects of natural and anthropogenic conditions on the transformation of precipitation into runoff in the catchment area of Dongting Lake in China.- M.Sc. Thesis. Fachbereich Geographie, Philipps-Universität Marburg: 169s.
- Lotz, T., Opp, Chr. & Sun, Zh. (2013): SWAT-basierte Analyse der Einflussfaktoren auf die Abflussbildung im Einzugsgebiet des Dongting-Sees in China: Eignung und Grenzen zur Entwicklung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel. GEOGRAPHICA AUGUSTANA - Manuskripte, 16:24-28.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., & Williams, J.R. (2011): Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009.- Texas Water Resources Institute.
- Schaab, M., Leij, F. & van Genuchten, M. (2001): ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions.- Journal of Hydrology, 251:163-176.
- USDA (1986): Urban hydrology for small watersheds. Technical Release 55 (TR-55) (Second Edition ed.).- Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division.
- Yin, H.F., Liu, G.R., Pi, J.G., Chen, G.J., & Li, C.A. (2007): On the river-lake relationship of the middle Yangtze reaches.- Geomorphology, 85:197-207.
- Yu, F., Chen, Z., Ren, X. & Yang, G. (2009): Analysis of historical floods on the Yangtze River, China: Characteristics and explanations.- Geomorphology, 113:210-216.

## **Integrated Water Resources Management in Kazakhstan – Status Quo and Challenges**

Uvarov, D.<sup>1</sup>, Groll, M.<sup>2</sup> & Opp, Ch.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>: *Institute of Geography, the Ministry of Education and Science, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2</sup>: *Faculty of Geography, University of Marburg (Germany)*

### **1. Introduction**

The World Summit on Sustainable Development in Johannesburg (UN 2002) encouraged all countries to "develop plans for Integrated Water Resources Management (IWRM) and Water Efficiency by 2005". The third and fourth World Water Forums in Kyoto (2003) and Mexico (2006) furthermore noted that the global water crisis is primarily a crisis of governance, lack of coordination of stakeholders and insufficient funding (World Water Council 2003, National Water Commission of Mexico 2006).

In Kazakhstan the water problems have similar causes and require new and integrated approaches for their solution. Currently, 44% of the country's water resources come from neighboring territories (UNDP 2004). Due to growing population and economies in those countries the available water resources in Kazakhstan have been decreasing over the last years. In addition to this the water use and its management are highly inefficient in many regions of Kazakhstan. The results of both developments are frequent water shortages which are increasing as the Kazakh socioeconomic growth leads to a higher water demand. The growing gap in the water provision is currently closed by reusing waste water and accessing untreated resources. Only 60% of the population has a sustainable and reliable access to safe water supply (Aliakhasov et al. 2007) and therefore Kazakhstan needs to revise its water policy both in the national and the international context and take appropriate measures to adapt the water infrastructure and water management systems to changing conditions. A successful implementation of the Johannesburg directive of an IWRM plan is paramount as Central Asia is strongly affected by the global climate change and the long-term water available will be significantly lower than today (Dukhovny and Sokolov 2002). And as the country is located in the lower reaches of several rivers, a collaboration between upstream and downstream countries concerning the water allocation is very important for Kazakhstan and thus is one of the priorities of the national foreign policy.

### **2. Status Quo of the Kazakh Water Resources**

Kazakhstan with a total area of 2,727,300 km<sup>2</sup> is the second largest country of the Former Soviet Union and the ninth largest country in the world. The climate of Kazakhstan is typically continental, with cold dry

winters and hot dry summers. Precipitation is insignificant, except for the mountainous regions. Overall, the average annual precipitation is an estimated 250 mm. The continental climate is characterized by a high evaporation level, which, together with low rainfall, makes irrigation a necessity for the agriculture in large parts of the country, notably in the south. The population of the country has been increasing steadily for the last decade and reached 17.95 million inhabitants in 2014, with a population density of 5.94 inhabitants/km<sup>2</sup> (UNDP 2004). The long-term total annual river discharge of Kazakhstan is 100.5 km<sup>3</sup> (UNDP 2004). In 2013 however the annual discharge was just 83.3 km<sup>3</sup> due to prolonged period of low water and a slight increase of the water use for agriculture in the neighboring countries.

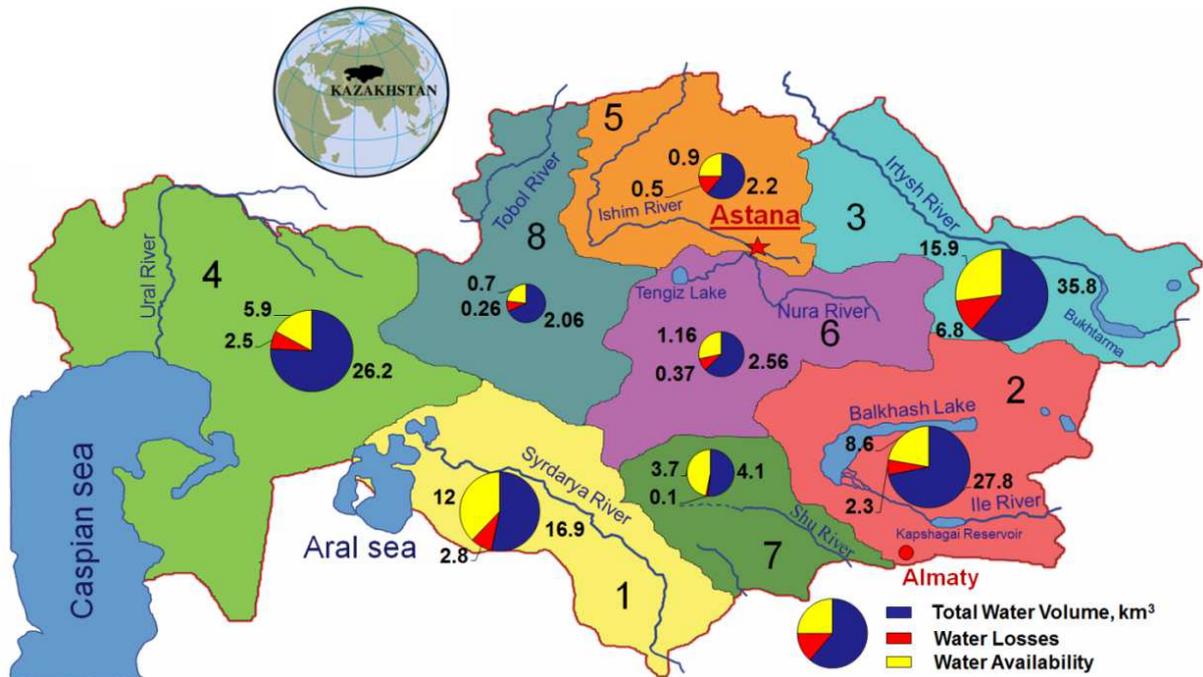
There are approximately 39,000 rivers and streams in Kazakhstan, 7,000 of which are over 10 km long. There are six large streams with a discharge of 100 to 1,000 m<sup>3</sup>/s, seven large rivers with a discharge between 50 to 100 m<sup>3</sup>/s, and 40 medium sized rivers with 5 to 50 m<sup>3</sup>/s discharge (UNDP 2004). The surface water resources are extremely unevenly distributed within the country and are marked by significant perennial and seasonal dynamics. Central Kazakhstan, which includes the Karaganda oblast with the area of 427,982 km<sup>2</sup> (15% of the country's total area), has only 3% of total water resources available. The western and southwestern regions (Atyrau, Kyzylorda and in particular Mangystau region) are also characterized by a significant water deficit (UNDP 2004), and the amount of available fresh water is extremely limited in this part of the country. The Balkhash-Alakol and Irtysh river basins in the east and northeast on the other hand account for almost 75% of the total surface water resources generated within the country (Fig. 1). That Figure also shows the total water volume available in each basin, including the inflow from an adjacent territory, water generated on the Kazakh territory and water losses due to evaporation and infiltration. The water availability finally is the water which is available for economic and domestic needs.

About 90% of the runoff is generated during spring, filling up the reservoirs (Kapshagai, Bukhtarma, Ust-Kamenogorsk) and even exceeding their storage capacity, which is 28 km<sup>3</sup> for Kapshagai, 50 km<sup>3</sup> for Bukhtarma and 0.65 km<sup>3</sup> for Ust-Kamenogorsk (UNDP 2004).

## 2.1. Water Monitoring Network

Monitoring the water resources of a country as large as Kazakhstan is a challenging task. The organization in charge of this hydro-meteorological and environmental monitoring is KazGidroMet, which operates 298 hydrological and 240 hydrochemical monitoring stations (hydro-posts, Tab. 1) (Petraikov 2013). During the Soviet times, the monitoring network included up to 500 stations, whereas after the collapse of the Soviet Union most of that network disintegrated, leaving just about 140 hydro-posts operational (Kazakh Ministry of Environmental Protection 2014). Since then and in connection with the planned IWRM implementation, the country has been gradually reinstating up to 10-15 stations per year.

The present number of hydro-posts is still much lower than the 740 monitoring stations recommended by the World Meteorological Organization (WMO) (Government of the Republic of Kazakhstan 2010, 2012), but given the economic circumstances this recent development is a good first step.



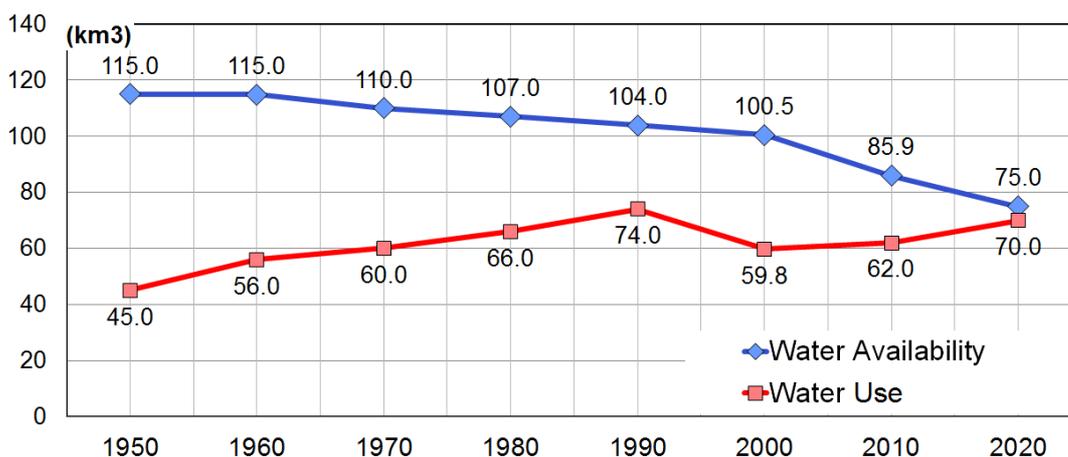
**Fig 1:** Water Management Basins of Kazakhstan: Aral-Syrdarya (1), Balkhash-Alakol (2), Irtys (3), Ural-Caspian (4), Ishim (5), Nura-Sarysu (6), Chu-Talas (7), Tobol-Turgay (8) (own design)

**Tab 1:** Water Resources Monitoring Network of the Republic of Kazakhstan

Type of observation	Total station number	Total water bodies	Rivers	Lakes	Reservoirs	Channels	Caspian Sea
Hydrological (2012)	298	292	254	20	14	3	1
Hydrochemical (2013)	240	105	75	16	14	3	1

## 2.2. Water Use and Consumption

The use of water for irrigation purposes is most important for Kazakhstan (61%), followed by industrial water use (29%) and domestic needs (10%), and as the irrigated areas expanded throughout the 20<sup>th</sup> century, so did the water withdrawal from rivers and reservoirs throughout Central Asia, resulting in a reduced water availability in the downstream countries and an increased water demand (Fig. 2, UNDP 2004, World Bank 2012).



**Fig 2:** Water Resources (inflow from neighboring countries and runoff generated within Kazakhstan) and Water Use (discharge used for ecological, fishery and sanitary needs) in the Republic of Kazakhstan (1950-2020) (data: UNDP 2005)

## 2.3. Water Quality

In Kazakhstan, as in the former USSR, the systematic observations of the chemical composition of surface water pollutants initiated by the Council of Ministers of the USSR began on September 30, 1963 (Burlibayev et al. 2012). The main criterion for the hydrochemical water quality in Kazakhstan is the Maximum Permissible Concentration (MPC), which is calculated for various pollutants and is specific to different water uses (fishery, households). Based on these MPC values the overall level of contamination of all monitored surface water bodies is calculated as the Water Pollution Comprehensive Index (WPCI) developed by Burlibayev and Amirgaliyev (2012). As the results of the 2013 monitoring program (Tab. 2) almost 24 % of all water bodies are characterized by a very good water quality ( $WPCI \leq 1.0$ ) and another 47.7% of all water bodies fall into the second category of the WPCI (“moderately polluted”). On the other end of the spectrum 5.5% are considered “highly polluted” and 8.3% are “extremely polluted”.

The most polluted rivers and lakes are located in the Aktobe oblast in western Kazakhstan, mainly due to oil and gas extraction, as well as a result of pollution coming from industrial complexes (Petrakov 2013).

**Tab 2:** Quality of Surface Waters by Hydrochemical Parameters (2013)

Category	Water Pollution Comprehensive Index (WPCI)	Rivers	Lakes	Reservoirs	Channels	Caspian Sea
Clean	0.31 – 1.0	19	4	1	1	-
Moderately polluted	1.01 – 2.5	34	7	9	1	1
Polluted	2.5 – 4.0	10	1	5	1	-
Highly polluted	4.01 – 6.0	6	-	-	-	-
Extremely polluted	6.01 – 10	6	3	-	-	-

### 3. Water Resource Management System in Kazakhstan

The Kazakh water body network is divided into the eight river management basins shown in Fig. 1. These basins are the key administrative units for the management of the Kazakh water resources.

#### 3.1. Governmental structure

Since the independence of Kazakhstan the Committee for Water Resources had been responsible for the management of all water bodies. But in 2013 the Ministry of Environmental Protection had been transformed into the Ministry of Environment and Water Resources. The formation of this new authority significantly increased the strategic importance of the water resources. The water management on the different administrative levels is done by the ministry, an authorized state body managing water use and conservation, local representative and executive bodies (maslikhats, akims of oblasts, cities, districts, auls/villages), and other state bodies, which forms a hierarchical system (Fig. 3, UNDP 2004). The cooperation between the different state management bodies is regulated through the national legislation.

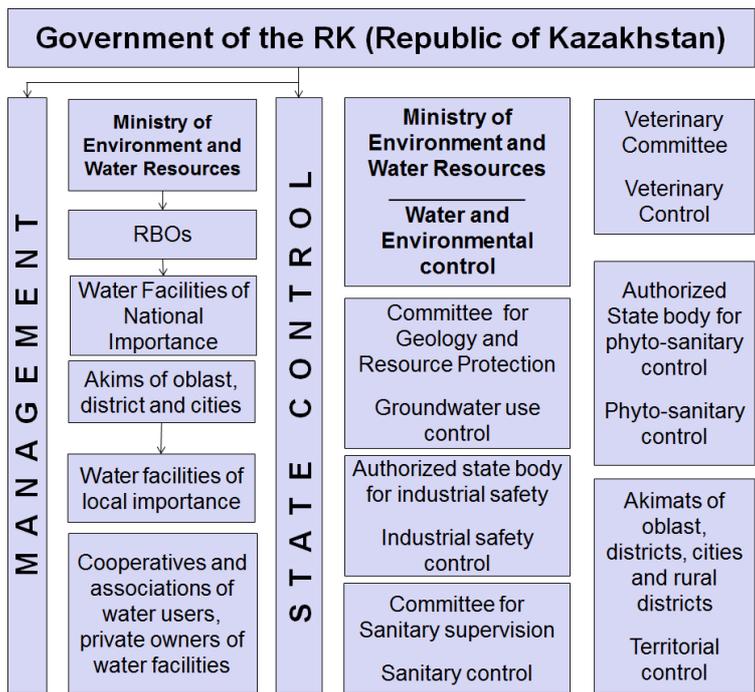


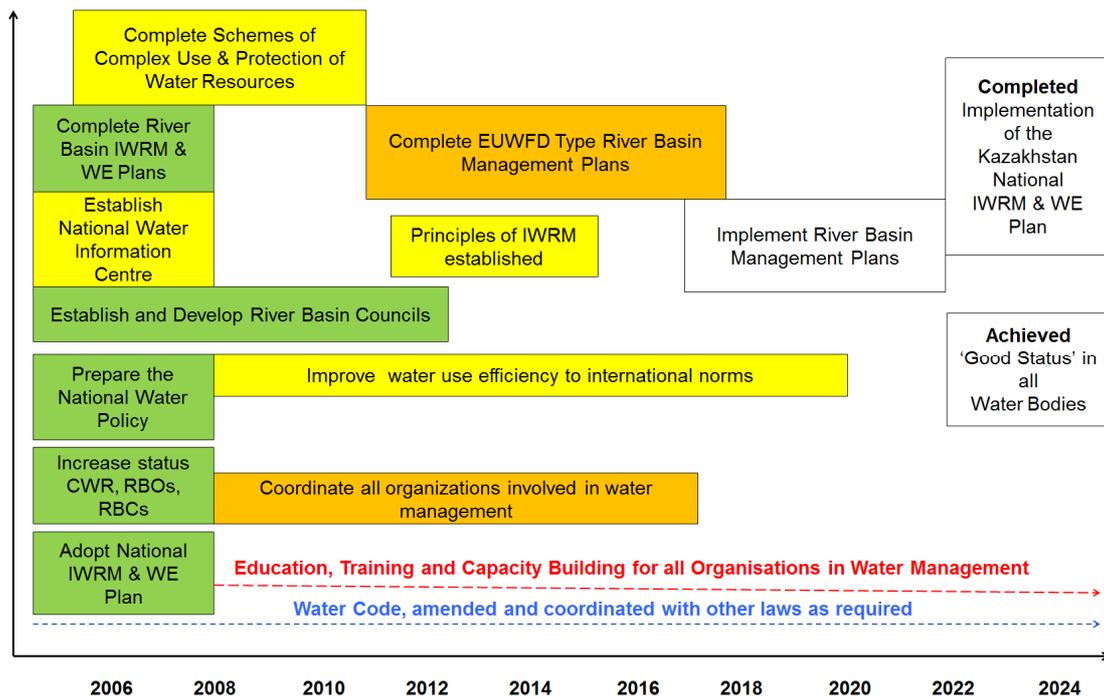
Fig 3: The administrative water management system of Kazakhstan

### 3.2. National IWRM and Efficiency Plan

The National Integrated Water Resources Management and Water Efficiency Plan (UNDP 2005) will be implemented by professional water managers and other specialists. With an appropriate commitment and effort it is reasonable to estimate that it will take 10 to 20 years to properly implement the IWRM concept in Kazakhstan (Fig. 4). This Plan presents a vision for the period to 2025 but covers in detail only the next 5 years. Its main objectives are to get the process of IWRM started and to define the most crucial next steps. Other, future steps and activities will become apparent as the move toward IWRM progresses (UNDP 2005, 2007).

The National IWRM & WE Plan is prepared by the CWR and is a document of the Government of Kazakhstan. It will benefit all three sectors throughout the nation:

- Kazakhstan’s environment and those who look after it and care for it;
- Municipal water users who reasonably and rightly expect to have clean, healthy water available to them;
- Industry and agriculture which require clean water in large enough quantities for sustaining Kazakhstan’s economic growth.



**Fig. 4:** National IWRM and Water Efficiency Plan (modified after: UNDP 2004): Green – goal achieved; Yellow – Implementation is under way but not yet complete; Orange – Implementation is problematic and impeded by political, social or economic aspects.

### 3.3. Main Obstacles for the IWRM Implementation

The main barriers for the IWRM approach can be characterized and conditionally divided into five main categories:

**Horizontal Integration:** Great numbers of state agencies and other stakeholders at various levels of water governance. Very little cross-sectoral coordination (Mukhtarov 2009). Lack of coordination among relevant government bodies leading to mismanagement and conflicts of interests;

**Vertical Integration:** As shown in the scheme above, there are four levels of governance. The multi-level governance is currently not functioning properly. Local executive power are not elected but appointed. There are limited accountability incentives and opportunities for public participation in the decision-making process (Ryabtsev 2007, Zimina 2003);

**Public Participation:** This principle was introduced by the Water Code (Government of the Republic of Kazakhstan 2003). However, there is no formal requirement to consult the public about the preparation of water projects and programs. No regulatory impact assessment is practiced;

**Interpretation of IWRM:** Mostly, there are different interpretations of the IWRM concept due to the “complex schemes of water use and protection of water resources” originating in the Soviet times, which some of the experts consider to be completely identical to the modern IWRM requirements. Therefore there is no consensus on how to implement an IWRM (Ryabtsev 2007, Saravanan et al. 2009);

**Institutionalization of IWRM:** There is a strong heritage of centralized and hierarchical government structures from the USSR. Therefore it is hard to change the institutional situation (Dukhovny and Sokolov 2002, SIC ICWC 2009). Also one of the main aspects is lack of funding and human resources.

#### 4. Conclusions

Kazakhstan, at this stage needs to maintain the momentum of development and improve the management and monitoring of the quality and quantity of water resources throughout the republic in order to achieve a “good status” for all water bodies in 2025. Without such a concentrated effort a sufficient supply of clean water for household, industry and agricultural needs cannot be secured (Sokolov 2013). Kazakhstan is – in terms of its water resources – at a disadvantage due to its geographical location, especially the strong dependency on transboundary rivers. Joint management efforts with the neighboring countries, the introduction of water saving technologies, an increase of the value of water within the water user communities and the optimization of the hierarchical management structures must be the top priorities for the next decades so that the water resource management can truly become integrated.

#### 5. References

- Aliakhasov, Z., Nikolaenko, A. and Petrakov, I. (2007): Water Resources Management in Kazakhstan - History, Current State, Analysis, Comparisons, Tables, Schemes, Recommendations. UNDP report on IWRM. Almat.: 88-96 (in Russian).
- Burlibayev, M. and Amirgaliyev, N. (2012): Water Pollution Comprehensive Index of Surface Waters by Hydrochemical Parameters. Almaty (in Russian).
- Burlibayev, M., Uvarov, D. and Burlibayeva, D. (2012): Methodological Guidelines for organization and functioning of the subsystem for monitoring the conditions of transboundary surface waters in Kazakhstan. Ministry of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan, Astana (in Russian).
- Directory of Surface Water Resources of the USSR (1978): The Basic Hydrological Characteristics, Vol. 14, Issue 2, Central Asia. Leningrad (in Russian).
- Dukhovny, V. and Sokolov, V. (2002): Integrated Water Resources Management in the Aral Sea Basin. Scientific Information Center of the Interstate Commission for Water Coordination in the Aral Sea Basin. Tashkent.

- Government of the Republic of Kazakhstan (Ed.) (2003): Water Code (No. 481 of 2003). Repeals the Water Code from the 31st of March 1993 (in Russian).
- Government of the Republic of Kazakhstan (Ed.) (2010): Ak-Bulak National Water Program (2010). Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan from the 9th of November 2010, № 1176. On approval of the Program Ak Bulak for 2011-2020 (in Russian).
- Government of the Republic of Kazakhstan (Ed.) (2012): Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan from the 24th of May 2011, № 570. Approval of the Program Ak Bulak for 2011-2020 (as amended as of 15.05.2012) (in Russian).
- Kazakh Ministry of Environmental Protection (Ed.) (2014): Equipment of the RSE "Kazgidromet" recognized as unsatisfactory (in Russian).
- Mukhtarov, F. (2009): The Hegemony of Integrated Water Resources Management - a Study of Policy Translation in England, Turkey, and Kazakhstan. In: CEU eTD Collection, 98-127.
- National Water Commission of Mexico (Ed.) (2006): Mexico 2006 – 4th World Water Forum – Final Report. Mexico, Marseille.
- Petrakov, A. (2013): Surface water quality in the territory of the Republic of Kazakhstan for 2013. In: On the state of Environment of the Republic of Kazakhstan for 2013, 5-15 (in Russian).
- Ryabtsev, A. (2007) Integrated Water Resources Management in Central Asia. In: Wouters, P., Dukhovny, V. and Allan, A. (Eds): Implementing Integrated Water Resources Management in Central Asia. Nato Science Series IV, Vol. 77, 89-94.
- Saravanan, V.S., McDonald, G.T. and Mollinga, P. (2009): Critical review of Integrated Water Resources Management - Moving beyond the polarized discourse. In: United Nations Natural Resources Forum 33, 76–86.
- SIC ICWC (Ed.) (2009): IWRM – From Theory to Real Practice - The Experience of Central Asia, report by SIC ICWC, IWMI, SDC and GWP CACENA. Tashkent.
- Sokolov, V. (2013): Water in the 21st century - the culture of the relationship to ensure water security. In: Collection of Scientific Papers of the Network of Basin Organizations of Eastern Europe, Caucasus and Central Asia, SIC ICWC, Vol. 6, 27-45 (in Russian).
- UN (Ed.) (2002): Report of the World Summit on Sustainable Development. A/Conf.199/20. New York.
- UNDP (Ed.) (2004): Water Resources of Kazakhstan in the New Millennium. UNDPKAZ 07, Almaty.
- UNDP (Ed.) (2005): Concept Note for the National IWRM and Water Efficiency Plan, March 2005. Almaty.
- UNDP (Ed.) (2007): Integrated Water Resources Management and Water Efficiency in the Republic of Kazakhstan for 2008-2015. Progress Report, UNDP project 35289, Annex 1.
- World Bank (Ed.) (2012): Kazakhstan Water Statistics Report 2012. World Annual Report 2012, Washington.
- World Water Council (Ed.) (2003): The 3rd World Water Forum – Final Report. Kyoto, Marseille.



# Water Allocation Problems in transboundary River Catchments in Central Asia

Burlibayeva, D.<sup>1</sup>, Burlibayev, M.<sup>2</sup>, Groll, M.<sup>3</sup> & Opp, Ch.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Hydrotechnics, Melioration, and Business, Kazakh National Agrarian University, Almaty (Kazakhstan), <sup>2</sup> Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Almaty (Kazakhstan), <sup>3</sup> Faculty of Geography, University of Marburg (Germany)

## 1. Introduction

Nowadays the problem of water availability is very important in Central Asia. The economic prosperity of the five countries Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan and Uzbekistan is largely determined by the total and seasonal availability of the limited water resources, which makes water the most precious resource of the 21<sup>st</sup> century (Groll et al. 2015). As a result water is highly disputed, the negotiations about the water allocation are difficult and environmental aspects are hardly acknowledged at all.

The territory of Central Asia is represented by semi-arid and desert regions in the western lowlands and the high mountains of the Pamir and Tien Shan in the eastern parts. This geographical disparity leads to an uneven distribution of the water resources as well as to regional differences in the water usage (Dukhovny and de Schutter 2011, Novikov and Rekecewicz 2005, Opp and Groll 2014). Kyrgyzstan for instance mainly utilizes the rivers in the upper Syrdarya River catchment for their hydropower potential while Kazakhstan and Uzbekistan use the water primarily for extensive irrigation farming schemes. Uzbekistan in particular is the world's 2<sup>nd</sup> largest cotton exporting nation with a global market share of almost 10% (Abbink et al. 2010).

## 2. Problem Setting

Seven of the eight major river management basins of the Republic of Kazakhstan are transboundary. These rivers are the Chu and Talas, the Ili, the Irtysh, the Ishim, the Syrdarya, the Tobol and the Ural as well as many of their larger tributaries, with the Nura-Sarysu river catchment being the only non-transboundary management basin in Kazakhstan. For all of these basins Kazakhstan is the downstream country, receiving discharge mainly from the neighbouring countries China, Kyrgyzstan, Russia, Tajikistan and Uzbekistan. This means that almost all management efforts in the field of water allocation and sustainable water use have to be negotiated with the corresponding upstream country. The tools for such transboundary negotiations are

provided by several international conventions and protocols (Tab. 1, Bobdanovic 1999, Caponera 2003, Salman and de Chazournes 1998).

**Tab. 1:** Selection of Conventions and Protocols relevant for the transboundary water resource management

Year	Title	City	Reference
1923	Convention relating to the Development of Hydraulic Power affecting more than one State	Geneva	FAO 1980
1966	Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers	Helsinki	ILA 1967
1992	Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes	Helsinki	UNECE 1992
1994	Operational guidelines of the World Bank: Projects of International Waterways	Washington	World Bank 1994
1997	Convention on the Law of the Non-navigational Uses of International Watercourses	New York	UN 2014
1999	Convention about the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes	London	UNECE and WHO 1999
2000	EU Water Framework Directive	Brussels	European Parliament and Council of the EU 2000
2003	Amendment to the Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes	Geneva	UNECE 2013
2003	Protocol on the Civil Liability and Compensation for Damage caused by the transboundary Effects of industrial Accidents on transboundary Waters	Kiev	UNECE 2003
2004	Berlin Rules of Water Resources	Berlin	ILA 2004
2007	Brisbane Declaration	Brisbane	International River Foundation 2007

Unfortunately, in practice the negotiations between Kazakhstan and its upstream neighbours are almost never based on these international conventions. Only three countries (Kazakhstan, Russia and Uzbekistan) have for instance signed the Helsinki convention. Therefore, each negotiation process turns into an individual case which requires a specific approach tailored to the needs of the contracting parties, mostly ignoring international conventions. More often than not this leads to a negotiation deadlock which negates any progress on

the transboundary water resource management in Central Asia (Bichsel 2011, Boonstra and Hale 2010, Dukhovny 2002, Marat 2008, Nanni 1996).

Furthermore these international conventions are limited to vague recommendations for consensus and do not provide specific quantitative thresholds for the water allocation in transboundary catchments (International River Foundation 2007).

The importance of the water quality for the stability and diversity of the freshwater ecosystems and all the functions and services they provide (including access to safe drinking water) is widely acknowledged. But securing the economic growth and welfare are even more important during the bilateral negotiations, which is why the water quantity and its allocation are the main concerns.

This current state of the transboundary water resource negotiation practice in Central Asia is a huge problem for the sustainable use of the available resources for all participants. To solve this problem an universal concept for the sustainable allocation of transboundary water resources under special consideration of the ecological requirements needs to be developed and implemented. One parameter suitable for such an approach is the “environmental flow” which is defined as the quantitative, qualitative and temporal characteristics of the discharge that is necessary for maintaining the freshwater and estuary ecosystem functions, as well as for human welfare” (International River Foundation 2007). This means that the ecosystem needs have to be determined and met first and only the residuary discharge can be allocated among the various upstream and downstream water users (Burlibayev et al. 2012). Unfortunately there are no unified definitions of the ecosystem needs or the environmental flow, but a plethora of different approaches and thresholds, like the minimum acceptable flow, the minimum allowable flow or the minimum required flow (Cutlac and Horbulyk 2011, de Jalón 2013, Government of the Republic of Kazakhstan 2014, Kennard et al. 2010, King et al. 2003, Pflüger et al. 2010, Tharme 2003). And in most cases such estimations are limited to a specific economic branch (e.g. minimum withdrawals for fishery, farming, hydropower, industry, mining operations or sanitary needs).

That is why the Concept of the Environmental Flow (CEF) has been developed as a tool which recognizes the ecological needs of a river basin and grants them the highest priority in order enable a sustainable use of the limited and valuable water resources.

### **3. The Concept of an Environmental Flow (CEF)**

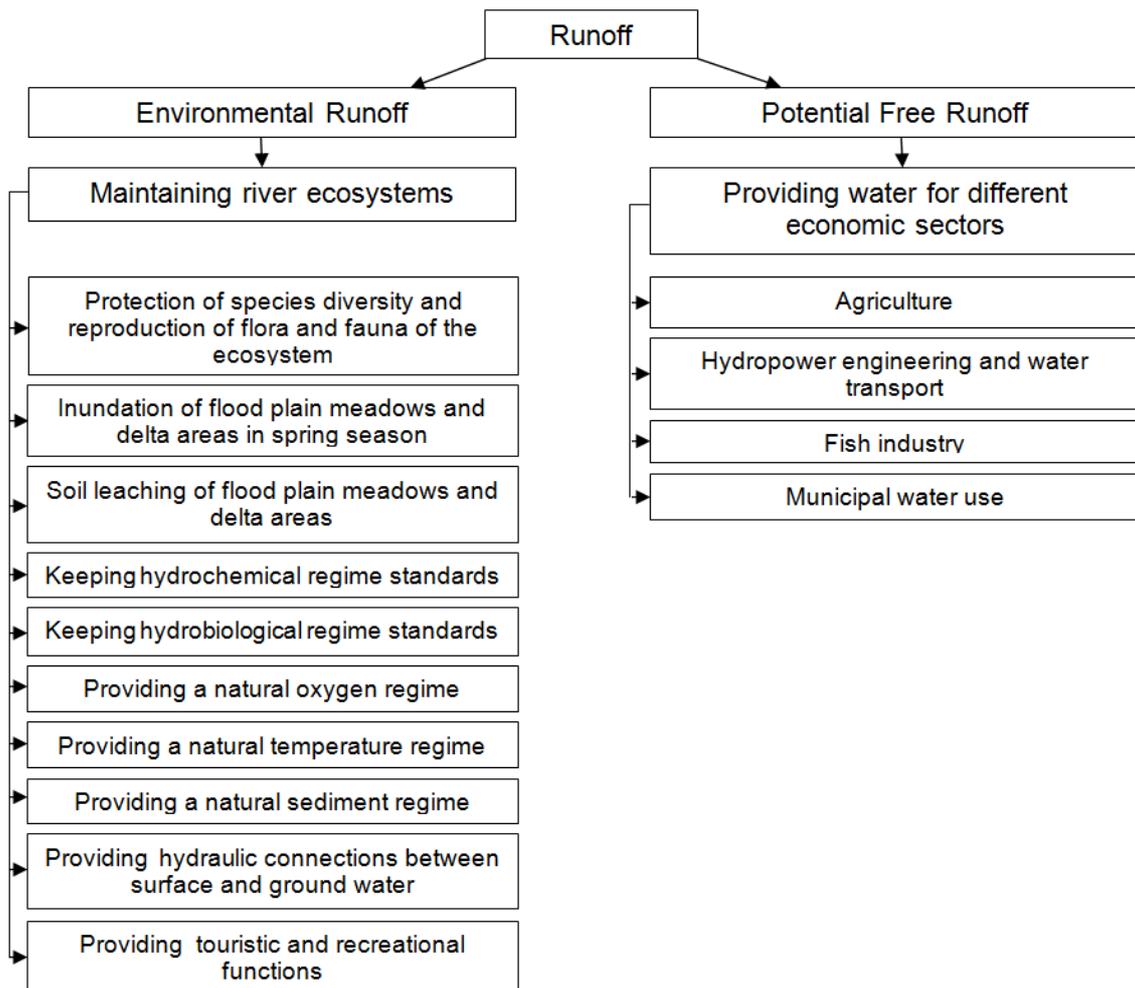
Freshwater ecosystems provide many different services both for natural environments and for human activities. The runoff can thus be divided into an environmental component and a residual component – the potential free runoff (Fig. 1). The environmental flow reflects the water required for the provision of the first set of services and is therefore determined by the natural needs of river and lake ecosystems. Applying this

environmental flow concept will ensure the maintenance of the aquatic, riparian and floodplain ecosystems, their natural hydrological dynamics, a sound hydrochemical characteristic and a natural sediment regime. Only after these needs have been met can any remaining water be freely distributed among the different water user groups. The Environmental Flow itself is no fixed value but follows the inner-annual seasonality of the discharge as well as its inter-annual variability (Gosudarstvennyy Standart 1976, Ministry of Ecology and Bioresources 1994, Government of the Republic of Kazakhstan 2012).

Among all the services provided by freshwater ecosystems, the floodplains are considered to be a particular important subsystem in Kazakhstan. Like in all arid and semi-arid regions a natural floodplain is crucial for combating desertification, sustaining biodiversity, flood prevention and water purification. Therefore the floodplain characteristics are used as the primary parameter for the assessment of the ecological significance of a river – which in turn is used as a basis for the calculation of the environmental flow. In Kazakhstan all rivers are divided into three distinct groups of ecological significance (Fashevskiy 1986, Fashevskiy et al. 1989, Ministry of Environmental Protection 2012):

- 1) Rivers with high ecological significance;
- 2) Rivers with medium ecological significance;
- 3) Rivers with low ecological significance.

Based on these three categories the environmental flow can be calculated using different mathematical approaches for different discharge probabilities. In general however, only probabilities between 1.0% and 99.0% are used so that even in years with extremely low discharge (and thus a probability of higher than 99.0%) the ecological needs can be met as no water allocation should take place. The lowest probability (and therefore the highest discharge) considered for the environmental flow are determined at 50% probability, in essence capping the environmental flow in years with moderate to high discharge in favor of the economic needs. Between these fix points the natural flow is calculated for various discharge probabilities and from there the environmental flow can be derived. In a 95% probability year the environmental flow is set to a value equal to the natural flow in a P=99% year and in a 25% probability year the environmental flow equals P=50% for the natural flow. These are the two extremes of the environmental flow values and a log-normal curve is constructed between them (between P=99% and P=25%). This function generates a whole range of calculated runoff values for different discharge scenarios and can form the basis for the allocation of the available water resources.

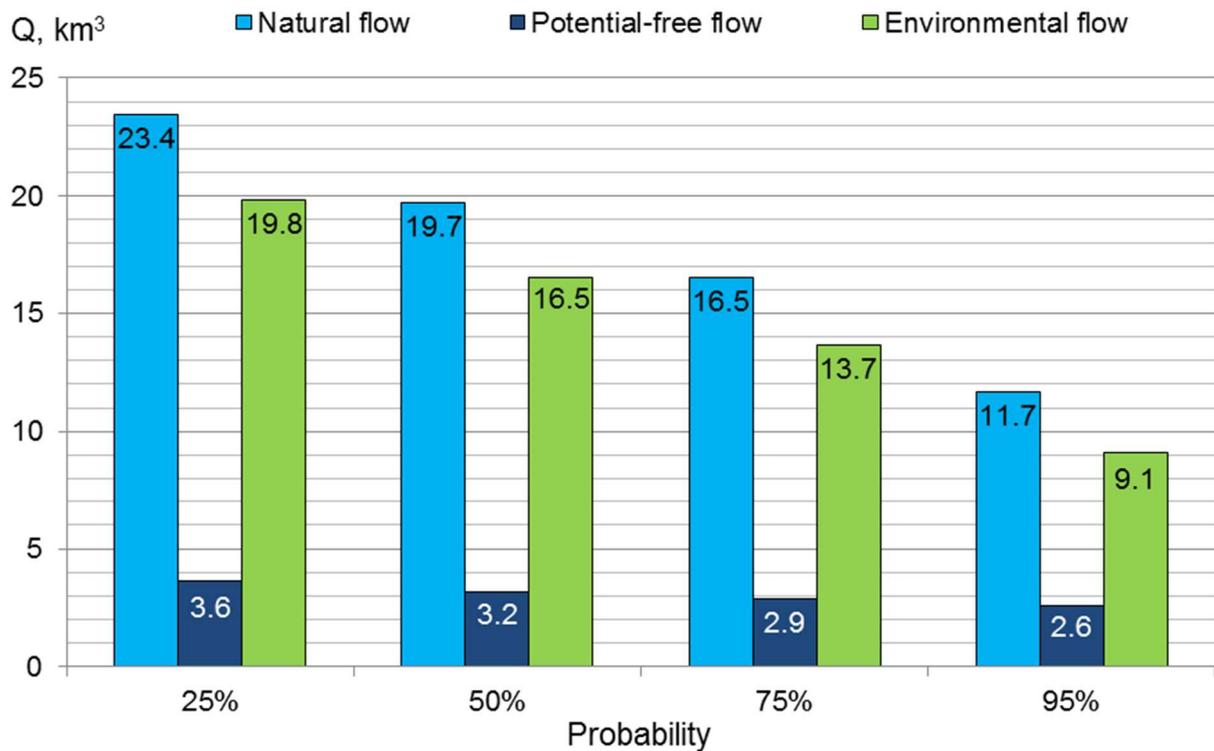


**Fig. 1:** Distribution of river flow between ecological and economic freshwater functions (modified after: Burlibayev et al. 2014)

#### 4. Adaptation of the CEF to Kazakh rivers

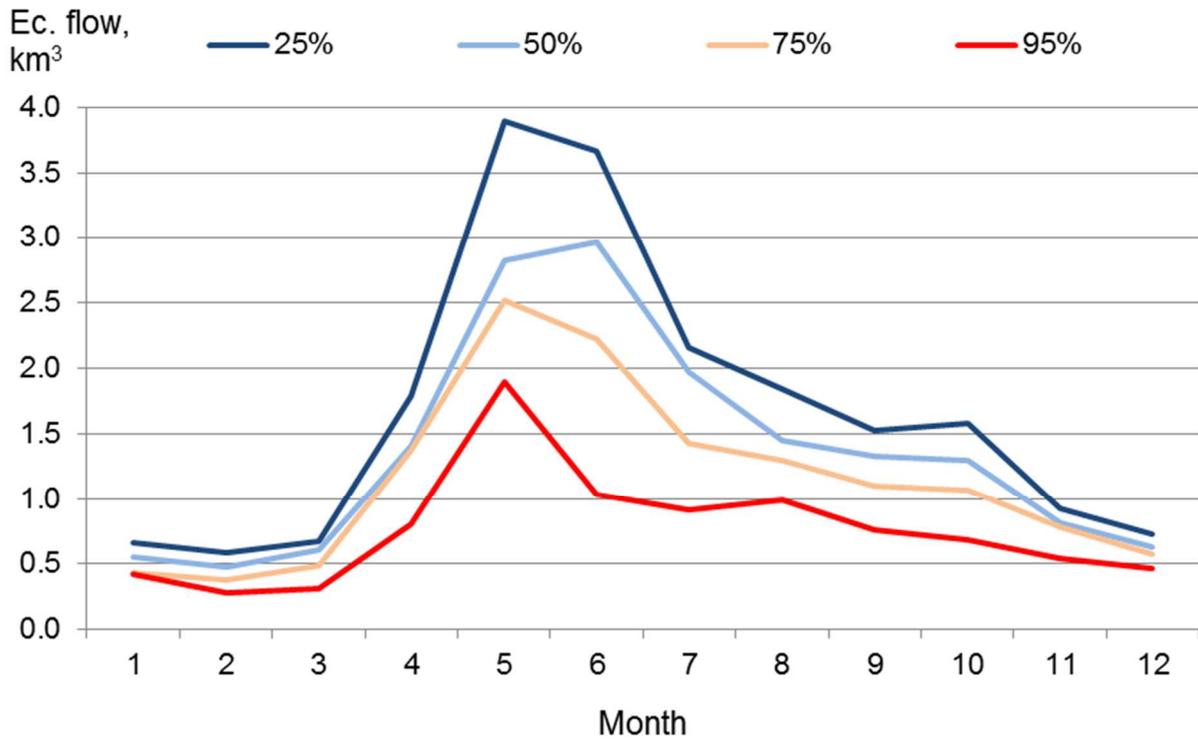
The concept of environmental flow was primarily developed for rivers in Kazakhstan with the central aim of providing a sufficient discharge in all parts of the catchments at all times while also taking the economic needs into consideration. If water saving technologies and practices would be widely implemented in Kazakhstan, the CEF shows that the available water resources can be used for maintaining healthy freshwater ecosystems without causing economic losses.

As a basis for the inclusion of the CEF approach into the Kazakh water resource management the values of environmental flow and the potential free flow were calculated for 17 hydrological stations in 9 river catchments (Irtysh, Tobol, Ishim, Ili, Karatal, Zhaiyk (Ural), Chu, Talas, Asa) (Burlibayev et al. 2014a).



**Fig. 2:** Volumes of the natural flow, the potential free flow and the environmental flow (km<sup>3</sup>) in years with various probabilities for the Irtysh River near Ust-Kamenogorsk

As an example Fig. 2 shows the results for the Irtysh River near Ust-Kamenogorsk. The environmental flow varies based on the discharge of different probabilities while the potential free flow is mostly independent from the actual discharge. This constant water availability throughout longer periods provides the security needed for all economic activities while the larger, but variable environmental flow allows natural dynamics in the freshwater ecosystems and ensures that enough water reaches the downstream regions of the catchment. Fig. 3 shows the inner-annual distribution of the environmental flow for the same hydropost (Ust-Kamenogorsk) and the same probabilities given in Fig. 2. The environmental flow follows the same seasonality as the natural flow with a peak during the late spring caused by the snow and glacier melt water. This ensures that the natural discharge regime can be maintained – even if a considerable amount of water is withdrawn for various economic activities (Burlibayev et al. 2014b).



**Fig. 3:** Inner-annual distribution of the environmental flow (km<sup>3</sup>) for different probabilities in the Irtysh River near Ust-Kamenogorsk

### 5. Conclusions

The sustainable water allocation across borders is one of the biggest problems in Central Asia. Neighboring countries argue about water quota for their economic interests while the ecological concerns are seldom acknowledged. This shortsighted paradigm only leads to the overexploitation of the scarce resources and the deterioration of the freshwater ecosystems, as the Aral Sea disaster as the prime example can attest to. Ensuring a sustainable resource management is crucial for the current and all following generations, but most management and negotiation instruments used in Central Asia today are not well suited to achieve this goal. The Concept of Environmental Flow provides a new tool which has been specifically designed to help sharing transboundary water resources without damaging the freshwater ecosystems and thus could make an important contribution to solving the current water allocation problems as well as preparing Central Asia for the upcoming challenges caused by the climate change.

## References

- Abbink, K., Moller, L.C. and O'Hara, S. (2010): Sources of Mistrust - An Experimental Case Study of a Central Asian Water Conflict. In: *Environ Resource Econ.* 45: 283–318.
- Bichsel, C. (2011): Liquid Challenges – Contested Water in Central Asia. In: *Sustainable Development Law and Policy*, Vol. 12, Issue 1: 24-30, 58-60.
- Bogdanovic, S. (Ed.)(1999): *International Law Association Rules on International Water Resources*. Report of the International Law Association and the European Centre for Peace and Development. Novi Sad: 277 p.
- Boonstra, J. and Hale, J. (2010): EU Assistance to Central Asia – Back to the Drawing Board. In: *EUCAM Working Paper*, No. 8: 4-17.
- Burlibayev, M.Zh., Burlibayeva, D.M.; Fashchevski, B.V. and Opp, Ch. (2012): About the Concept of scientific substantiation of methods of environmental and potential free flow regulation of rivers of Kazakhstan. In: *Hydrometeorology and Ecology*, Vol. 4: 66-100 (in Russian).
- Burlibayev, M.Zh., Fashchevski, B.V., Opp, Ch., Burlibayeva, D.M., Kaidarova, R.K. and Vagapova, A.R. (2014a): Scientific basis of environmental runoff regulation of Kazakhstan's rivers. Publishing house Kaganat, Almaty: 408 p. (in Russian).
- Burlibayev, M.Zh., Kuc, S.I., Fashchevski, B.V., Opp, Ch., Caregordceva, A.G., Schönberger, I.V., Burlibayeva, D.M. and Aitureev, A.M. (2014b): Indundation of the Irtysh flood plain – the main factor of river ecosystem sustainable development. Publishing house Kaganat, Almaty: 395 p. (in Russian).
- Caponera, D.A. (2003): *National and International Water Law and Administration: Selected Writings*. International and National Water Law and Policy, Vol. 9.
- Cutlac, I. and Horbulyk, T. (2011): Optimal Water Allocation under Short-Run Water Scarcity in the South Saskatchewan River Basin. In: *Journal of Water Resources Planning and Management*, 137(1): 92-100.
- De Jalón, D.G. (2013): The Spanish Experience in Determining Minimum Flow Regimes in Regulated Steams. In: *Canadian Water Resources Journal*, Vol. 28(2): 185-198.
- Dukhovny, V.A. (2002): Future Issues Related to Long-Term Agreements Between States in the Aral Sea Basin. In: ADB (Ed.): *Cooperation in Shared Water Resources in Central Asia – Past Experiences and Future Challenges*, Workshop Proceedings, 26.-28. September. Almaty: 100-116.
- Dukhovny, V.A. and de Schutter, J.L.G. (Eds.) (2011): *Water in Central Asia – past, present, future*.
- European Parliament and Council of the EU (Eds.) (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy (Water Framework Directive). In: *Official Journal of the European Communities* L327.
- FAO (Ed.) (1980): *Convention relating to the Development of Hydraulic Power affecting more than one State*, Geneva, 9 December 1923. *The Law of International Water Resources*, FAO Legislative Study No. 23. Rome.

- Fashevskiy, B.V. (1986): Principles of Environmental Hydrology. Moscow (in Russian).
- Fashevskiy, B.V., Burlibayev, M.Zh., Pokhodnya, G.V. and Shulika, L.G. (1989): Resources of Environmental and Free Streamflow in Moscow Region. In: Russian Academy of Sciences (Ed.): Water supply problems of Moscow and Moscow region. Moscow: 86-88.
- Gosudarstvennyy Standart (Ed.) (1976): Occupational safety standards system. Noxious substances. Classification and general safety requirements. GOST 12.1.007-76. Moscow (in Russian).
- Government of the Republic of Kazakhstan (Ed.) (2012): Sanitary and epidemiological requirements for water sources, places of water withdrawals for drinking purposes, drinking and household water supply, and places of public water use and water bodies security. Resolution No. 104 (in Russian).
- Government of the Republic of Kazakhstan (Ed.) (2014): Water Code of the Republic of Kazakhstan from 31 March 1993. No. 481-II, with amendments as of 29 December 2014 (in Russian).
- Groll, M., Opp, Ch., Kulmatov, R., Ikramova, M. and Normatov, I. (2015): Water quality, potential conflicts and solutions – an upstream,-downstream analysis of the transnational Zarafshan River (Tajikistan, Uzbekistan). In: Environmental Earth Sciences 73: 743-763.
- ILA (Ed.) (1967): The Helsinki Rules on the Uses of the Waters of International Rivers. Adopted by the International Law Association at the 52nd conference, held at Helsinki in August 1966. London.
- ILA (Ed.) (2004): The Berlin Rules on Water Resources. Fourth Report of the Berlin Conference on Water Resource Law by the International Law Association.
- International River Foundation (Ed.) (2007): The Brisbane Declaration. Proclaimed at the 10th International River Symposium and International Environmental Flows Conference, 3-6 September 2007. Brisbane.
- Kennard, M.J., Pusey, B.J., Olden, J.D., Mackay, S.J., Stein, J.L. and Marsh, N. (2010): Classification of natural flow regimes in Australia to support environmental flow management. In: Freshwater Biology, Vol. 55: 171-193.
- King, J., Brown, C. and Sabet, H. (2003): A Scenario-based holistic Approach to Environmental Flow Assessments for Rivers. In: River Research and Applications, Vol. 19: 619-639. DOI: 10.1002/rra.709.
- Marat, E. (2008): Central Asian States fail to cooperate on Water Management. In: Central Asia – Caucasus Analyst, Vol. 10, Issue 18: 19-20.
- Ministry of Ecology and Bioresources (Ed.) (1994): Rules of surface water protection of the Republic of Kazakhstan. RND 01.01.03-94 (in Russian).
- Ministry of Environmental Protection (Ed.) (2012): Scientific substantiation for environmental flow of rivers of Kazakhstan for guarantee of water ecosystem equilibrium. Final Research Report of the Ministry of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan for 2011-2012 (in Russian).

- Nanni, M. (1996): The Aral Sea Basin – Legal and Institutional Issues. In: *The Aral Sea – Legal Issues*, Vol. 5, Issue 2: 130-137.
- Novikov, V. and Rekacewicz, P. (2005): Water withdrawal and availability in the Aral Sea basin. Map based on data from the diagnostic report on water resources in Central Asia (ICWC 2000).
- Opp, Ch. And Groll, M. (2014): Status quo and development of Central Asia's transnational rivers – case studies from the Zarafshan River and the Tarim River. In: *Remote- and Ground-based Earth Observations in Central Asia*. Bishkek: 265-271. DOI: 10.13140/2.1.4224.3840.
- Pflüger, Y., Rackham, A. and Larned, S. (2010): The aesthetic value of river flows – an assessment of flow preferences for large and small rivers. In: *Landscape and Urban Planning*, 95(1-2): 68-78.
- Salman, S.M.A. and de Chazournes, L.B. (Eds.) (1998): *International Watercourses – Enhancing Cooperation and Managing Conflict*. Proceedings of a World Bank Seminar. World Bank Technical paper No. 414.
- Tharme, R.E. (2003): A Global Perspective on Environmental Flow Assessment – Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers. In: *River Research and Application*, Vol. 19: 397-441. DOI: 10.1002/rra.736.
- UN (Ed.) (2014): *Convention on the Law of the Non-navigational Uses of International Watercourses*. Adopted by the General Assembly of the United Nations on 21 May 1997. Entered into force on 17 August 2014. New York.
- UNECE (Ed.) (1992): *Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes*. 17th of March 1992. Helsinki.
- UNECE (Ed.) (2003): *Protocol on civil liability and compensation for damage caused by the transboundary effects of industrial accidents on transboundary waters to the 1992 convention on the protection and use of transboundary watercourses and international lakes and to the 1992 convention on the transboundary effects of industrial accidents*. 21 May 2003. Kiev.
- UNECE (Ed.) (2013): *Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes as amended, along with decision VI/3 clarifying the accession procedure*. 28 November 2003. Geneva. ECE/MP.WAT/41.
- UNECE and WHO (Eds.) (1999): *Protocol on Water and Health to the 1992 Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes*. Meeting of the UN Economic Commission for Europe and the World Health Organization on the 17th of June 1999. London.
- World Bank (Ed.) (1994): *Projects on International Waterways. The World Bank Operational Manual and Operational Policies OP7.50*, October 1994. Washington.

## **Wasserhaushaltsmodellierung von Landnutzungsänderungen durch die Anlage von Kurzumtriebsplantagen in ausgewählten Einzugsgebieten im Norddeutschen Tiefland - Modellaufbau von SWAT**

*Jens Hartwich<sup>1</sup>, Jens Bölscher<sup>1</sup>, Christian Reinhardt-Imjela<sup>1</sup>, Achim Schulte<sup>1</sup>, Markus Schmidt<sup>2</sup>, Candy Pflugmacher<sup>2</sup>, Dieter Murach<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Freie Universität Berlin - FB Geowissenschaften, FR Angewandte Geographie, Umwelthydrologie und Ressourcenmanagement, <sup>2</sup> Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde - Fachbereich für Wald und Umwelt*

### **1. Einleitung**

Die Nutzung von regenerativen Energien muss in Deutschland weiter vorangetrieben werden, um die Klimaziele für 2020 noch erreichen zu können. Neben Wasserkraft, Photovoltaik und Windenergie spielt dabei auch Energie aus Biomasse (Energiepflanzen und holzartige Biomasse) eine wesentliche Rolle. Im Jahr 2012 lag der Anteil der Biomasse am Endenergieverbrauch in Deutschland bereits bei 8,2 % (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2013). Der steigende Bedarf an diesen teils neuen Energiequellen führt auch in der Landwirtschaft zu einem verstärkten Anbau regenerativer Energieträger. Um dem Anspruch auf Nachhaltigkeit gerecht zu werden, müssen die spezifischen naturräumlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden (Hartwich et al. 2014a).

Der Energieträger „holzartige Biomasse“ wird seit einigen Jahren in Form von Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf Ackerflächen angebaut, allerdings bislang noch als Pilotstudien. Hierbei werden in einer drei- bis fünfjährigen Rotation zumeist Weiden oder Pappeln als schnellwachsende Hölzer kultiviert. Neben den zahlreichen positiven Begleiterscheinungen (z.B. keine Düngung) zeigen einige Studien, dass es auf Grund der Phänologie und des hohen Wasserkonsums der Pflanzen zu negativen Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung und den Basisabfluss in Gewässern kommen könnte (Dimitriou et al. 2009, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland 2010).

Durch die Arbeit von Aust (2012) und die bisherigen Untersuchungen im Forschungsprojekt AGENT (Hartwich et al. 2014b, c) wird deutlich, dass das Norddeutsche Tiefland ein besonders hohes Anbaupotenzial für KUP mit Weiden besitzt. Dies ist in erster Linie auf den günstigen Wasserhaushalt zurückzuführen (z.B. große Flächen mit geringem Flurabstand), hat aber damit auch Konsequenzen für die Grundwassererneuerung und

die langjährige Entwicklung des Flurabstandes. Die Folge ist, dass im Rahmen einer Potentialanalyse der Naturraum möglichst differenziert abgebildet werden muss. Trotz seines gleichartigen Charakters (tiefe Lage, geringes Relief, etc.) ist das Norddeutsche Tiefland bei genauerer Betrachtung durch deutliche Unterschiede gekennzeichnet. Alt- und Jungmoränengebiete unterscheiden sich im Relief und den Böden, westliche Einzugsgebiete sind maritim und östliche kontinental geprägt, um nur einige Beispiele zu nennen.

Um die möglichen Folgen des Anbaus von KUP auf den Landschaftswasserhaushalt zu quantifizieren, wird im Forschungsprojekt AGENT mit Hilfe des Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ein hydrologisches Modell für sechs unterschiedliche Einzugsgebiete des Norddeutschen Tieflandes aufgebaut. Die ausgewählten Einzugsgebiete sind Ems, Aland, Treene, Ücker, Randow und Welse, die durch ihre natur- und kulturräumlichen Gegebenheiten die Heterogenität des Landschaftsraumes gut widerspiegeln.

## **2. Auswahl und Charakteristika der Einzugsgebiete**

Die Einzugsgebiete im Norddeutschen Tiefland wurden nach Kriterien ausgewählt, die auf den Landschaftswasserhaushalt einen besonderen Einfluss haben. In erster Linie sind hierbei klimatische Faktoren berücksichtigt worden, die im norddeutschen Tiefland einen starken West-Ost-Gradienten zeigen. Ebenso wurden morpho- und bodengenetische Faktoren bei der Auswahl der Gebiete einbezogen, die durch glaziale und periglaziale Prozesse in der Vergangenheit geprägt wurden.

Klimatisch sind die Treene in Schleswig-Holstein und die Ems in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen maritim geprägt. Einen kontinentalen Charakter haben demgegenüber die Einzugsgebiete Ücker, Randow und Welse in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Das Einzugsgebiet des Aland stellt den Übergang zwischen maritim und kontinental geprägtem Klima dar.

Morpho- und bodengenetisch repräsentieren Ems und Aland die Altmoränenflächen, während Ücker, Randow und Welse im Jungmoränengebiet liegen. Die Treene entwässert ein Einzugsgebiet, in dem beide morpho- und bodengenetische Zonen auftreten.

## **3. Parametrisierung der naturräumlichen Faktoren in SWAT**

Als Modellsystem für die Wasserhaushaltsmodellierung wird SWAT 2012 verwendet. Durch dieses Modellsystem ist es möglich, sowohl die Abflussdynamik räumlich und zeitlich differenziert abzubilden, als auch detaillierte Landnutzungsszenarien zu rechnen. Letztere lassen sich durch spezifische Vegetationsformen und Managementoptionen parametrisieren. Die implementierten Datensätze werden in Hydrotope eingeteilt, um in jedem Teileinzugsgebiet die individuellen hydrologischen Eigenschaften abbilden zu können. Diese Einheiten gleicher hydrologischer Eigenschaften werden im Modellsystem mit dem Begriff „Hydrologic Response Unit“ (HRU)

bezeichnet. Innerhalb dieser Einheiten findet die Berechnung einzelner Wasserhaushaltskomponenten statt (Arnold et al. 1998).

Für die Parametrisierung des Modells im Zeitraum 01.01.1990 bis 31.12.2013 werden die folgenden Datensätze verwendet:

- Digitales Geländemodell, Rasterweite 25 m (DGM25), Datenquelle: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main
- Bodeninformationen aus Bodenübersichtskarten 1:200.000 der Bundesrepublik Deutschland, Datenquelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Dienstbereich Berlin
- Bodeninformationen aus der Bodendatenbank der Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 der Bundesrepublik Deutschland, Datenquelle: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Dienstbereich Berlin
- Bodeninformationen der Bodendatenbank der Bodenübersichtskarte 1:300.000 Brandenburg, Datenquelle: Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg
- Digitales Landbedeckungsmodell (flächentreu) der Bundesrepublik Deutschland, Datenquelle: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main
- Niederschlagsdaten von 117 Stationen (Tageswerte), Datenquelle: Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- Temperaturdaten von 33 Stationen (Tageswerte), Datenquelle: Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- Relative Luftfeuchte von 33 Stationen (Tageswerte), Datenquelle: Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- Solarstrahlung von 8 Stationen (Tageswerte), Datenquelle: Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- Windgeschwindigkeit von 24 Stationen (Tageswerte), Datenquelle: Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- Pegelraten von 78 Stationen (Tageswerte); Datenquellen: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz; Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg; Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg Vorpommern; Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen; Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein

Den Modellanforderungen entsprechend, werden die gelisteten Datensätze angepasst und in ESRI ArcGIS mittels ArcSWAT verschnitten und weiterverarbeitet. Um die Parametrisierung von KUP mit Weiden und Pappeln zu verbessern, wird auf langjährige In-situ-Messungen von Pflanzenparametern (z.B. Xylemflüsse) auf KUP-Testflächen der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde zurückgegriffen.

#### 4. Ausblick

Zurzeit werden die Teilmodelle Ems, Treene, Aland und Ücker-Randow-Welse kalibriert. Dazu dient das automatische Kalibrierungstool SWAT-CUP, das die Abflussganglinien von 78 Durchflusspegeln verwendet. Am Rechenzentrum der Freien Universität Berlin wird die erforderliche Rechenleistung zur Verfügung gestellt. Hier wird das Programm SWAT-CUP in einer Linux-Version in ein „High Performance Computing“ überführt. Zusätzlich werden für eine weitere Rechenzeitoptimierung parallel Rechenläufe auf zwei Windows 7 PC mit Intel i7 8-Kern-Prozessoren durchgeführt. Um die Ergebnisdatensätze aus den parallelen Rechenläufen zu verschneiden, finden Python 3.3 basierte Skriptsätze ihre Anwendung.

Nach der Kalibrierung erfolgt die Auswahl der Modellszenarien, die sich am jeweiligen Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche orientiert, die potenziell zur Nutzung von KUP zur Verfügung steht. Auf dieser Grundlage werden anschließend Maximalszenarien gerechnet, in denen die LNF (Landwirtschaftliche Nutzfläche) komplett mit KUP bestellt sind. Danach werden realistische Anbaupotentiale gerechnet, denen Anteile von KUP an der LNF von 5, 10, 15, 20 oder 25% zugrunde liegen. Diese frei gewählten Prozentangaben resultieren aus der ungenauen Perspektive der zu erwartenden Anbaufläche von KUP. Die (itterative) Zunahme der Anbaufläche in den Einzugsgebieten dient aber auch dem Ziel des Projektes AGENT zu ermitteln, ab welcher Nutzungsintensität ein Einfluss auf den Landschaftswasserhaushalt quantifizierbar ist.

#### 5. Dank

Das Projekt AGENT wird dankenswerterweise durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz unter dem Förderkennzeichen 22012410 gefördert. Darüber hinaus gilt unser Dank dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; dem Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz; dem Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg; dem Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg Vorpommern; dem Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen; dem Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein sowie dem Deutschen Wetterdienst für die Bereitstellung der Daten.

#### 6. Literatur

- Aust, C. (2012): Abschätzung der nationalen und regionalen Biomassepotentiale von Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland. Freiburg.
- Arnold J.; Srinivasan, R.; Muttiah, R.S. and Williams, J.R. (1998): Large area hydrologic modeling and assessment: Part I: model development. In: Journal of the American Water Resource Association 34 (1), 73-89.

- Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland [BUND] (2010): Kurzumtriebsplantagen für die Energieholzgewinnung – Chancen und Risiken.  
[http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/landwirtschaft/20100714\\_landwirtschaft\\_bund\\_position\\_55\\_KUP.pdf](http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/landwirtschaft/20100714_landwirtschaft_bund_position_55_KUP.pdf) (16.12.2014)
- Dimitriou, I., Busch, G., Jacobs, S., Schmidt-Walter, P., & Lamersdorf, N. (2009a): A review of the impacts of Short Rotation Coppice cultivation on water issues. *Landbauforschung – vTI Agriculture and Forestry Research*, 3 (59), 197-162.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2013): Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch. Gülzow-Prüzen. <http://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/anteil-erneuerbarer-energien-am-endenergieverbrauch.html> (08.01.2014)
- Hartwich, J.; Bölscher, J.; Schulte A. (2014a): The impact of short rotation coppice on land and water resources. In: *Water International* 39 (6), 813-841.
- Hartwich, J.; Bölscher, J. & Schulte, A. (2014b): Die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers als Kriterium zur Abschätzung des Bioenergiepotentials von KUP-Standorten in Deutschland. In: Grashey-Jansen, S.; Wetzels, K.-F., Chiffard, P.; Karthe, D. (Hrsg.): Beiträge zum 45. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie vom 21.-23. November 2013 in Augsburg. *Geographica Augustana* 16: 29-34. [http://www.geo.uni-augsburg.de/de/medienverzeichnis/publikationen/AK-Hydro\\_2013.pdf](http://www.geo.uni-augsburg.de/de/medienverzeichnis/publikationen/AK-Hydro_2013.pdf) (16.12.2014)
- Hartwich, J., Bölscher, J. & Schulte, A. (2014c). Wasserverfügbarkeit als Kriterium zur Potenzialabschätzung für die Produktion holzartiger Biomasse in Deutschland. Poster session Tag der Hydrologie. Eichstätt. [http://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/angeog/projekte/AGENT/Hartwich\\_Boelscher\\_Schulte\\_Poster-TdH-2014.pdf?1405009162#%20Hartwich\\_Boelscher\\_Schulte\\_Poster-TdH-2014](http://www.geo.fu-berlin.de/geog/fachrichtungen/angeog/projekte/AGENT/Hartwich_Boelscher_Schulte_Poster-TdH-2014.pdf?1405009162#%20Hartwich_Boelscher_Schulte_Poster-TdH-2014) (16.12.2014)



# Der Einfluss von Kurzumtriebsplantagen auf die Hochwasserabflüsse im Mittelgebirge (Bericht aus der Werkstatt)

Christian Reinhardt-Imjela, Jens Hartwich, Jens Bölscher, Achim Schulte

*Freie Universität Berlin, FB Geowissenschaften, FR Angewandte Geographie, Umwelthydrologie und Ressourcenmanagement*

## 1. Einführung

Der natürliche Wasserrückhalt in den Einzugsgebieten ist eine wesentliche Komponente aktueller Strategien zum Management von Hochwasserrisiken, insbesondere in Hochwasserentstehungsgebieten in den Mittelgebirgen mit ihren mesoskaligen Flussgebieten. Besondere Bedeutung kommt dabei dem Anteil der Waldflächen zu, da diese aufgrund der weniger verdichteten Böden, der hohen Anzahl von Makroporen und der geringeren Bodenfeuchte gegenüber landwirtschaftlichen Nutzflächen deutlich höhere Infiltrations- und Wasserrückhaltekapazitäten aufweisen. Folglich ist im Sinne des vorbeugenden Hochwasserschutzes eine Erhöhung des Waldflächenanteils in Hochwasserentstehungsgebieten erstrebenswert. In intensiv landwirtschaftlich genutzten Räumen sind Aufforstungsmaßnahmen jedoch schwer umsetzbar, da nur selten umwandelbare Flächen zur Verfügung stehen. Ein möglicher Ausweg aus diesem Dilemma findet sich in Form von Kurzumtriebsplantagen (KUP), auf denen schnell wachsende Gehölzarten kultiviert werden (z.B. Weide, Pappel, Robinie; Abb.1).



**Abb. 1:** KUP Testfläche mit Pappelhybriden bei Dörnthal/Erzgebirge.

Die Gehölze werden in Zyklen von zwei bis sechs Jahren geerntet und in Biomassekraftwerken zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt. Vorausgesetzt, dass die verwendeten Flächen nicht für die Nahrungsmittelproduktion benötigt werden, kann die grundsätzliche agrarische Nutzung damit beibehalten werden, während angenommen wird, dass sich der Wasserrückhalt der KUP den Waldbeständen zumindest annähert. Inwiefern dieser Kompromiss in Hochwasserentstehungsgebieten aus hydrologischer Sicht tatsächlich sinnvoll ist, soll am Beispiel des Chemnitzbachs im Osterzgebirge untersucht werden.

## 2. Untersuchungsgebiet

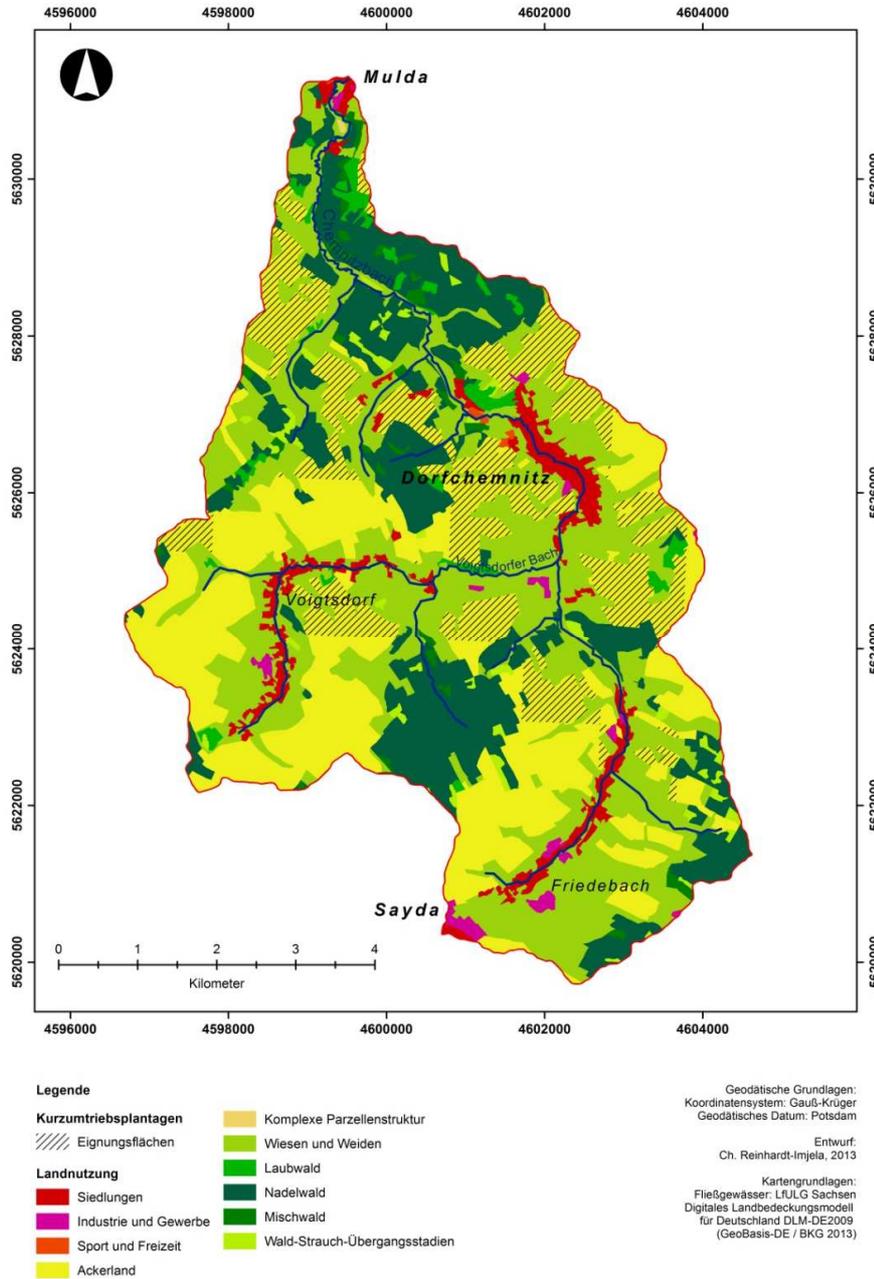
Das Einzugsgebiet des Chemnitzbachs liegt mit einer Fläche von insgesamt 48,1 km<sup>2</sup> auf der Nordabdachung des Erzgebirges. Der Bach entspringt bei Sayda im Landkreis Mittelsachsen und entwässert in nördlicher Richtung zur Freiburger Mulde und liegt damit innerhalb der sächsischen Hochwasserentstehungsgebiete. Am Pegel Wolfsgrund ( $A_{EZG}$ : 35,8 km<sup>2</sup>) weist das Gebiet einen mittleren Abfluss von 0,665 m<sup>3</sup>/s auf. Die mittlere Hochwasserabfluss liegt bei 6,56 m<sup>3</sup>/s, während der HHQ von 29,9 m<sup>3</sup>/s im August 2002 gemessen wurde (Kennwerte: LfULG Sachsen, Landeshochwasserzentrum).

Der Anteil der Ackerflächen im Einzugsgebiet liegt bei 17,8 km<sup>2</sup> (ca. 37 % der Gesamtfläche), von denen aufgrund der hydro-klimatischen Standortbedingungen 6,9 km<sup>2</sup> (ca. 14 % der Gesamtfläche) potentiell für den Anbau von Energieholz geeignet sind (Abb. 2).

## 3. Methodik

Den methodischen Kern der Untersuchungen bildet eine Niederschlag-Abfluss-Modellierung mit dem Modellsystem SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Die Kalibrierung am Pegel Wolfsgrund/Chemnitzbach erfolgt dazu zunächst auf Grundlage von täglichen Niederschlagssummen und tagesgemittelten Abflusszeitreihen für den Zeitraum 1990 bis 2006. Die Abflussbildung wird dabei in SWAT mit Hilfe des SCS-CN-Verfahrens simuliert. Da die Tagesmittelwerte die hydrologische Prozessdynamik in kleinen Mittelgebirgseinzugsgebieten jedoch nur bedingt widerspiegeln, wird in einem weiteren Kalibrierungsschritt auf hochaufgelöste Niederschlags- und Abflusszeitreihen zurückgegriffen, die jedoch erst seit dem Jahr 2006 bzw. 2007 vorliegen und damit deutlich weniger Hochwasserereignisse enthalten. Das SCS-CN-Verfahren wird dabei in SWAT durch den Infiltrationsansatz von Green & Ampt ersetzt. Die Parametrisierung der Böden basiert auf einem vereinfachten Ansatz, bei dem anstelle differenzierter Bodentypen die im Erzgebirge flächendeckend verbreiteten periglazialen Deckschichten als bodenhydrologische Haupteinheit verwendet werden (vgl. Reinhardt-Imjela et al. 2014). Davon

ausgenommen sind lediglich Bodentypen, die sich auf jüngeren Sedimenten entwickelt haben, wie Moore, Kolluvien sowie die hydromorphen Böden der Talauen.



**Abb. 2:** Landnutzung im Einzugsgebiet des Chemnitzbachs und potentiell für den Anbau von Energieholz geeignete Flächen. Flächenausweisung für potentielle KUP nach Hartwich et al. (2014).

Nach Abschluss der Kalibrierung soll anhand von verschiedenen Rechenszenarien der Einfluss des Energieholzbaus auf die Hochwasserscheitel herausgearbeitet werden. Dabei steht u.a. die differenzierte Wirkung unterschiedlichen Gehölzarten im Fokus, wobei v.a. Weide und Pappel berücksichtigt werden. Der Einsatz dieser beiden Arten im Erzgebirge wird derzeit auf Testflächen untersucht ([www.agrofor.net.de](http://www.agrofor.net/de)). Zwei der Standorte liegen in unmittelbarer Nähe des Untersuchungsgebiets, d.h. ca. 6 km westlich von Sayda bei Dörnthal (Pappel) bzw. südwestlich bei Pfaffroda (Weide). Neben der Differenzierung nach Gehölzarten ist v.a. auch eine Unterscheidung nach Hochwasserprozesstypen (Sommer-/Winterereignisse) und nach Intensität der Ereignisse (Wiederkehrintervall) interessant.

#### **4. Ausblick**

Da sich das Modell in der Kalibrierungsphase befindet, sind derzeit noch keine exakten Prognosen zum Einfluss der Kurzumtriebsplantagen auf die Hochwasserabflüsse im Untersuchungsgebiet möglich. Grundsätzlich gilt jedoch, dass Hochwasserrückhaltmaßnahmen eher auf Akzeptanz stoßen, je mehr Synergieeffekte neben der Primärfunktion zu verzeichnen sind. Kurzumtriebsplantagen bieten dabei einen vielversprechenden Ansatz, die Rückhaltepotentiale von Waldflächen und die agrarische Nutzung von Flächen anzunähern. Dabei ist aus hydrologischer Sicht v.a. die erhöhte Infiltration durch den höheren Makroporenanteil sowie die hohe Evapotranspiration (s.a. Dimitriou et al. 2009) interessant. Letztere lässt eine Verringerung der Vorfeuchte in den Böden und damit höhere Wasserspeicherkapazitäten erwarten. Neben der erwarteten Optimierung des Wasserrückhalts auf landwirtschaftlichen Nutzflächen leistet die energetische Nutzung der Gehölze einen Beitrag zu einer nachhaltigen Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen.

#### **Literatur**

- Dimitriou, I., Busch, G., Jacobs, S., Schmidt-Walter, P., Lamersdorf, N. (2009): A review of the impacts of Short Rotation Coppice cultivation on water issues. *Agriculture & Forestry Research* 59 (3/2009). 197-206
- Hartwich, J., Bölscher, J. und Schulte, A. (2014): Die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers als Kriterium zur Abschätzung des Bioenergiepotentials von KUP-Standorten in Deutschland. In: Chiffard, P., Karthe, D., Grashey-Jansen, S. und Wetzels, K.-F. (Hrsg.): Beiträge zum 45. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie vom 21.-23. November 2013 in Augsburg. *Geographica Augustana* 16. 29-34.
- Reinhardt-Imjela, Ch., Heller, K., Schulte, A. und Kleber, A. (2014): Weniger ist mehr: Aggregation von Bodendaten für die Hochwassermodellierung in Mittelgebirgen mit periglazialen Deckschichten. In: Cyffka, B. (Hrsg.): *Wasser - Landschaft - Mensch in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft*. Beiträge zum Tag der Hydrologie am 20./21. März 2014 an der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt. *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 34.14. 145-152.

# Relevance of climate change and extreme hydro-meteorological events for drinking water supply and hygiene in Germany

Daniel Karthe

*Helmholtz Centre for Environmental Research, Magdeburg, Germany*

## Abstract

Climatic changes are relevant for municipal water management in multiple ways. Even though supply-side shortfalls are not likely for Germany during the next decades, water suppliers will have to adapt to the impacts of climate change on water availability and raw water quality. Extreme hydro-meteorological events, which are expected to become more frequent and intensive, often lead to temporary deteriorations in raw water quality, and, in exceptional cases, to a contamination of water supply infrastructures. Despite a lack of studies on drinking water related disease incidence in Germany, evidence from case studies in other industrial countries demonstrates that strong rainfall events and extended periods of drought can be the cause of water-induced outbreaks of protozoal, bacterial and viral infections. In order to better prepare water suppliers to climate change induced challenges in water hygiene, there is a need for both innovative detection methods and integrated monitoring programs addressing hydro-climatological trends and extreme events, raw and drinking water quality and the incidence of water-borne diseases.

## 1. Climate Change and Water Availability

The impacts of climate change on water resources and regional hydrological cycles are of a high relevance for densely settled regions such as Central Europe (Arnell 1999; Hattermann et al. 2011). However, there are model uncertainties which are related to future emission scenarios, an imperfect understanding of the links between greenhouse gas emissions and climate impacts (particularly at the regional scale) and the coupling of climate models with hydrological models and water quality models (Arnell 1999; Merz et al. 2012; Szépszó et al. 2013). These model uncertainties are particularly large with regard to the prediction of hydrological extremes (Menzel et al. 2006).

### 1.1 Climate Change and Alpine Hydrology

Since the Alps are the “water towers” the largest river basins of Europe, the effects of climate change in this mountainous region are relevant for a much larger area. In the Alps, the average discharge formation is about 980 mm, resulting from an average annual precipitation of  $\approx 1460$  mm and an evapotranspiration of  $\approx 480$  mm. This discharge formation is significantly above the European average of 270 mm (Baumgartner et al. 1983). The relevance of the Alps becomes evident at the examples of the Rhine and the Danube: while only 10% and 15% of the river basins are located in the Alps respectively, 26% and 34% of the total annual runoff is formed in the Alps (Vanham 2012). Glaciarized areas, which cover only small areas, are of supra-regional relevance by allowing for an interseasonal and interannual redistribution of water and acting as a reservoir for unusually hot and dry periods. In case of the Rhine, for example, glaciers cover only 0.2% of the river basin, while glacial meltwater accounts for 6.6% of the total runoff in August at the river’s mouth. In case of the Danube, only 0.06% of the river basin is glaciarized, while 3.9% of the total runoff into the Black Sea in September is glacial meltwater (Huss 2011). Melting glaciers in the Alps are the cause of a temporary increase in mean annual runoff but are expected to play a decreasing role in the near future (Belz 2010; Huss 2011). Moreover, a changing snow hydrology in the Alps redefines the regimes of rivers even hundreds of kilometers downstream (Arnell 1999).

### 1.2 Climate Change and Lowland Hydrology

In lowland regions, an increase of winter precipitation has been observed between 1951 and 2006, whereas summer precipitation has increased in South Germany and decreased in East Germany (Hattermann et al. 2013). At the same time, numerous reservoirs and barrages have modified the flow regimes of rivers. For the river Rhine, for example, this has led to a more constant runoff in its upper catchment but a more variable runoff regime in its lower catchment (Belz 2010). Prolonged and more intensive low-flow periods than before are to be expected in the future (Arbeitskreis KLIWA 2009), particularly in more continental regions such as East Germany (Zebisch et al. 2005). For the Saale river, a complete dessication during dry periods in autumn appears possible for the second half of the 21<sup>st</sup> century (Huang et al. 2010).

### 1.3 Climate Change and Hydrometeorological Extremes

The frequency and intensity of hydrometeorological extremes is expected to increase during the 21<sup>st</sup> century as a consequence of warming. In a socioeconomic perspective, such extreme events are particularly relevant due to the risks and damages associated with them (Lehner et al. 2006). During the past 25 years, there have been several strong flood events in Germany (see tab. 1).

**Tab.1:** Flood events in major river basins of Germany since 1993, based on Huang et al. 2013 and Conradt et al. 2013

River Basin	Strong flood events
Rhine	1993, 1995
Danube	2002, 2006, 2013
Elbe	2002, 2006, 2013
Oder	1997, 2010

In the Elbe River Basin, the flood events of 2002 and 2013 were the strongest rain-induced flood events in more than 500 years, leading to massive floodings and broken dikes along the Elbe (Conradt et al. 2013). However, several environmental changes contribute to the severity of these and other floods, including a loss of retention areas in the riverine floodplains, impervious surface covers and efficient urban drainage systems (Hattermann et al. 2013).

Dry spells affecting large parts of Germany occurred in 2003 and 2011 (Beck et al. 2003; Kohn et al. 2014). The drought of 2003 was characterized by a very long duration of sub-average precipitation (February to September). In the German-Dutch border region, the lowest water levels of the Rhine river since the beginning of gauging were recorded (Beck et al. 2003; Senhorst & Zwolsmann 2005). The 'record summer' of 2003 is now considered as prototypical for the situation in the late 21<sup>st</sup> century (Vanham 2012). In 2011, the drought was most severe during Mai and June. In the Rhine river basin, precipitation from February to May totalled only 40% (and in some regions less than 25%) of the long-term mean (Kohn et al. 2014).

Modelling the frequencies and intensities of extreme floods or droughts is complicated by the long recurrence intervals and limited reference data sets (e.g. 30 year normal periods) which require extrapolations. Moreover, extreme events are inadequately represented by spatial mean values in models (Lehner et al. 2006).

## 2. Climate Change, Municipal Water Management and Drinking Water Hygiene

The impacts of climate change on water quality, and water hygiene in particular, are more difficult to predict than future water availability and river runoff. Water hygiene is affected by several processes besides climate change, including modifications of water bodies, sociodemographic changes, behavioral changes in exposed populations and developments in healthcare and pharmaceuticals. Clear distinctions between causes and effects are therefore difficult (Ebi et al. 2013; Semenza & Menne 2009; Senhorst & Zwolsman 2005; Rodó et al. 2013). A microbiological drinking water contamination typically happens when two problems coincide: (1) a raw water

contamination which is problematic if it is not detected promptly and (2) an insufficient raw water treatment that is not immediately detected by hygiene monitoring. However, a recontamination of treated water can also occur within the distribution system for both system-internal reasons and the influx of contaminants (Payment et al. 1997; Rose et al. 2001). Supply infrastructures are at particular risk of being compromised during hydrometeorological extremes (ECDC 2010).

## 2.1. Consequences of Warming

Regionalized climate models predict a rise of air temperatures in Germany of at least 1.25K by 2050 as compared to the normal period from 1961-1990 (Jacob et. al. 2008; Kreienkamp et al. 2011; Zebisch et al. 2005). However, this temperature increase also affects ground and surface water. In the Rhine, Danube and Elbe river basins, water temperatures have risen over the past few decades. In rivers, periods of water temperatures above 15°C and 20°C have become increasingly long (Markovic et al. 2013; Zwolsman & van Bokhoven 2007). Despite a lack of studies on the links between warming and water hygiene in Germany and Central Europe (Funari et al. 2012), higher temperatures are believed to benefit many pathogenic microorganisms and protozoans in regions with temperate and subpolar climates (ECDC 2010; ECDC 2012; Petry 2009; Rodó et al. 2013; Schönthaler et al. 2011), even though for some pathogens there could also be the opposite effect (Hunter 2003; Ives et al. 2007). Longer warm seasons could not only increase the number of pathogen generations per year but also speed up resistance mechanisms against antibiotics (Rodó et al. 2013). Rising temperatures are not only observed in raw water but increasingly also in drinking water distribution systems (Berger & Krauswald 2004).

Since most waterborne pathogens have their normal habitat as parasites of warm-blooded mammals, they are exposed to sub-optimum conditions at the temperatures found in rivers or water supply systems (Graw & Borchardt 1995). However, increasing water temperatures tend to promote the survival and reproduction of such pathogens. Tab. 2 shows the minimum, optimum and maximum ranges for survival of several water-borne bacteria.

**Tab.2:** Temperature and hygienically relevant microorganisms. Source: Staben et al. 2014

Organisms	Minimum	Optimum	Maximum
<i>Escherichia coli</i>	8...10°C	39°C	48°C
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	10°C	36...38°C	46°C
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	9°C	37°C	43°C
<i>Legionella pneumophila</i>	25° C	32-35°C	45°C

## 2.2. Consequences of Hydrometeorological Extremes

Due to a lack of systematic studies, it is currently difficult to assess the (potential) public health impacts of extreme hydrometeorological events (Cann et al. 2013). Strong rainfall and floods can cause an uncontrolled influx of microorganisms into surface water bodies, drinking water wells and supply infrastructures. (Hunter 2003; Semenza & Menne 2009; St Laurent & Mazumder 2014). In urban areas strong rainfall often leads to mixed sewer overflows and thus an influx of microorganisms into surface water bodies (Hunter 2003; MKULNV NRW 2011; Semenza & Nichols 2007), whereas in agricultural areas strong rainfall events may be the cause of diffuse emissions from fields fertilized with manure (Hunter 2003).

Several studies have shown links between strong precipitation and increased loads of pathogenic microorganisms in surface waters (Åström et al. 2013; Britton et al. 2010; Lake et al. 2005; Nnane et al. 2012). Moreover, strong rainfall regularly leads to rising pathogen concentrations in drinking water reservoirs (ECDC 2010; ECDC 2012; Kistemann et al. 2002). In karst areas, strong rainfall can also lead to a rapid deterioration of groundwater quality and hygiene (Dussart-Baptista et al. 2003).

Prolonged droughts and low water periods, on the other hand, increase the specific waste water and thus pathogen concentrations in rivers (Funari et al. 2012; Nichols et al. 2009; Petry 2009; Senhorst & Zwolsman 2005). Moreover, strong rainfall following very dry periods lead to reduced filtration capacities of soils and rapid infiltration of contaminated water via cracks, allowing pathogens to enter shallow aquifers (Nichols et al. 2009; Petry 2009). In exceptional cases, long periods of heat and drought can have a direct effect on drinking water supply systems. The extreme drought during the summer of 2003 led to a massive increase of water consumption in France, which in some regions exceeded the capacity of drinking water suppliers. Consequently, the drinking water hygiene was compromised in several affected municipalities (Beaudeau et al. 2011). Tab. 3 summarizes waterborne pathogens that were detected in drinking water supply systems as a consequence of extreme hydrometeorological events.

**Tab.3:** Waterborne pathogens detected in drinking water supply systems following extreme hydrometeorological events. Sources: Cann et al. 2013; Nichols et al. 2009

Type	Reported Pathogens
Protozoans	<i>Acanthamoeba</i> spp.; <i>Cryptosporidium</i> spp.; <i>Giardia</i> spp.
Bacteria	<i>Campylobacter</i> spp; <i>Eschericia coli</i> ; <i>Leptospira</i> spp.; <i>Burkholderia pseudomallei</i> ; <i>Vibrio cholerae</i> ; <i>Salmonella typhi</i> ; <i>Salmonella paratyphi</i> ; <i>Streptobacillus moniliformis</i>
Viruses	Enterovirus; Hepatitis A; Hepatitis E; Norovirus; Rotavirus

Very large outbreaks of water-borne infections in industrialized countries occurred in Milwaukee, USA in 1993 and in Walkerton, Canada in 2000. In Milwaukee, cryptosporidium cysts contaminated a water reservoir that was used for the public drinking water supply. More than 400.000 infections and 54 deaths resulted (Hoxie et al. 1997; Mac Kenzie et al. 1994). In Walkerton, a strong rain event with a statistical recurrence interval of 60 years lead to an influx of enterohemorrhagic *Eschericia coli* and *Campylobacter jejuni* from manure into the wells of the local water supplier (Auld et al. 2004; O'Connor 2002). Similarly, drought events have been connected to outbreaks of water-borne diseases including cryptosporidium infections in Texas in 1998 (Bergmire-Sweat et al. 1999), in Oregon in 1992 (Leland et al. 1993) und in Japan 1996 (Yamamoto et al. 2000). A water-borne outbreak of enterohemorrhagic *Eschericia coli* in New York in 1999 followed a drought period with a subsequent strong rainfall event (CDC 1999; Patz et al. 2000).

### 3. Discussion and Conclusions

Climate change leads to new challenges for public water supply in Germany and Central Europe, with drinking water hygiene being one of the most crucial aspects. Climate change coincides with several other processes. With respect to drinking water hygiene, demographic change appears to be similarly relevant (Karthe 2014). Currently, it is very difficult to assess the impacts of climate change on drinking water hygiene in Germany. Therefore, the European Centre for Disease Prevention and Control recommends to develop new monitoring strategies for raw and drinking water in order to adapt to assess and adapt to the consequences of climate change (ECDC 2010). According to WHO recommendations, this should be paralleled by a better monitoring of waterborne infections (Council Of The European Union 1998). Today's state of the art monitoring techniques are only partly suited to address these challenges, leaving a need for innovations in water quality monitoring (Escaler et al. 2012; Karthe 2014; Kunze et al. 2014; Langer et al. 2014).

### Acknowledgement

The author thanks the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) and the project management agency Jülich (PTJ) for funding and supporting the INIS-EDIT project (grant number 033W010A) in the context of the funding program on Sustainable Water Resources Management (NaWaM).

### References

Åström, J.; Petterson, T.J.R.; Reischer, G. & Hermansson, M. (2013): Short-term microbial release during rain events from on-site sewers and cattle in a surface water source. *Journal of Water and Health* 11(3):430-442.

- Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.) (2009): Auswirkung des Klimawandels auf Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Mannheim.
- Arnell, N.W. (1999) The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions* 9(1):5–23.
- Auld, H.; Maciver, D. & Klaassen, J. (2004): Heavy rainfall and waterborne disease outbreaks: the Walkerton example. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A: Current Issues* 67(20-22):1879–1887.
- Baumgartner, A.; Reichel, E. & Weber, G. (1983): Der Wasserhaushalt der Alpen. Niederschlag, Verdunstung, Abfluß und Gletscherspende im Gesamtgebiet der Alpen im Jahresdurchschnitt für die Normalperiode 1931–1960. München, Wien: R. Oldenbourg Verlag.
- Beck, C.; Grieser, J. & Trömel, S. (2003): Die Trockenperiode des Jahres 2003 in Deutschland im Kontext langzeitlicher Niederschlagsvariabilität. In: DWD (Hrsg.) (2003): Klimastatusbericht 2003, S. 142-151. Offenbach.
- Beaudeau, P.; Pascal, M.; Mouly, D. et al. (2011): Health risks associated with drinking water in a context of climate change in France: a review of surveillance requirements. *Journal of Water and Climate Change* 2(4):230-246.
- Belz, J.U. (2010): Das Abflussregime des Rheins und seiner Nebenflüsse im 20. Jahrhundert. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 54(1):4-15.
- Berger, W. & Krausewald, J. (2004): Witterungseinfluss auf die Trinkwasserqualität. In: FORSCHUNGSINSTITUT FÜR TIEF- UND ROHRLEITUNGSBAU (=FITR; Hrsg.) (2004): Rohrbau-Kongress 2004, S.81-89. Weimar.
- Bergmire-Sweat, D.; Morgan, J.; Wilson, K. et al. (1999): Cryptosporidiosis at Brushy Creek: Describing the Epidemiology and Causes of a Large Outbreak in Texas, 1998. In: American Water Works Association: Proceedings of the International Conference on Waterborne Pathogens. Milwaukee, MI, USA.
- Britton, E.; Hales, S.; Venugopal, K. & Baker, M. (2010): The impact of climate variability and change on cryptosporidiosis and giardiasis rates in New Zealand. *Journal of Water and Health* 8(3):561-571.
- Cann, K.F.; Thomas, D.R.; Salmon, R.L. et al. (2013): Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology and Infection* 141(4):671-686.
- Centers for Disease Control and Prevention (=CDC; 1999): Outbreak of Escherichia coli O157:H7 and Campylobacter among attendees of the Washington County Fair—New York, 1999. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 48(36):803-805.
- Conradt, T.; Roers, M.; Schröter, K. et al. (2013): Vergleich der Extremhochwässer 2002 und 2013 im deutschen Teil des Elbegebiets und deren Abflusssimulation durch SWIM-live. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 57(5):241-245.

- Council of the European Union (1998): Council directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Official Journal L330(05/12/1998):32–54.
- Dussart-Baptista, L.; Masseia, N.; Duponta, J.-P. & Jouenneb, T. (2003): Transfer of bacteria-contaminated particles in a karst aquifer: evolution of contaminated materials from a sinkhole to a spring. *Journal of Hydrology* 284(1-4):285–295
- Ebi, K.L.; Lindgren, E.; Suk, J. & Semenza, J.C. (2013): Adaptation to the infectious disease impacts of climate change. *Climate Change* 118(2):355-365.
- Escaler, I.; Cabello, A.; Campos, C. et al. (2012): Climate change and the water sector in Europe: a review of research and technology development needs. *Journal of Water and Climate Change* 3(2):79-94.
- European Centre For Disease Prevention And Control (=ECDC; Hrsg.) (2010): Climate change and communicable diseases in the EU Member States. Handbook for national vulnerability, impact and adaptation assessments. Stockholm.
- European Centre For Disease Prevention And Control (=ECDC; Hrsg.) (2012): Assessing the potential impacts of climate change on food- and waterborne diseases in Europe. Technical Report. Stockholm.
- Funari, E.; Manganelli, M. & Sinisi, L. (2012): Impact of climate change on waterborne diseases. *Annali dell'Instituto superiore di sanità* 48(4):473-487.
- Graw, M; Borchardt, D. (1995): Hygienerelevante Belastungen von Fließgewässern. Bewertung der Sanierungsmöglichkeiten am Beispiel der Lahn. *Wasser & Abwasser* 136(11):567-571.
- Hattermann, F.; Kundzewicz, Z.; Huang, S. et al. (2013): Climatological Drivers of Changes in Flood Hazard in Germany. *Acta Geophysica* 61(2):463-477.
- Hattermann, F.; Weiland, M.; Huang, S. et al. (2011): Model-Supported Impact Assessment for the Water Sector in Central Germany Under Climate Change—A Case Study. *Water Resources Management* 25(13):3113-3134.
- Hoxie, N.J.; Davis, J.P.; Vergeront, J.M. et al. (1997): Cryptosporidiosis-associated mortality following a massive waterborne outbreak in Milwaukee, Wisconsin. *American Journal of Public Health* 87(12):2032-5.
- Huang, S.; Hattermann, F.; Krysanova, V. & Bronstert, A. (2013): Projections of climate change impacts on river flood conditions in Germany by combining three different RCMs with a regional eco-hydrological model. *Climate Change* 116(3-4):631-663.
- Huang, S.; Krysanova, V.; Österle, H. & Hattermann, F. (2010): Simulation of spatiotemporal dynamics of water fluxes in Germany under climate change. *Hydrological Processes*, 24:3289-3306.
- Hunter, P.R. (2003): Climate change and waterborne and vector-borne disease. *Journal of Applied Microbiology* 94(S1): 37-46.

- Huss, M. (2011): Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macroscale drainage basins in Europe. *Water Resources Research* 47:W07511. doi:10.1029/2010WR010299
- Ives, R.L.; Kamarainen, A.M.; John, D.E. & Rose, J.B. (2007): Use of Cell Cultures to Assess *Cryptosporidium parvum* Survival Rates in Natural Groundwaters and Surface Waters. *Applied and Environmental Microbiology* 73(18):5968-5970.
- Jacob, D.; Göttel, H.; Kotlarski, S. et al. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Dessau: UBA Serie Climate Change 11/08.
- Karthe, D. (2014): Trinkwasserversorgung und -hygiene in Deutschland: Herausforderungen im Kontext sich verändernder Rahmenbedingungen. In: Chiffard, P.; Karthe, D.; Grashey-Jansen, S. & Wetzel, K.-F. (2014): Beiträge zum 45. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie, S. 18-23. Augsburg: Geographica Augustana.
- Kistemann, T.; Claßen, T.; Koch, C. et al. (2002): Microbial Load of Drinking Water Reservoir Tributaries during Extreme Rainfall and Runoff. *Applied and Environmental Microbiology* 68(5):2188-2197.
- Kohn, I.; Rosin, K.; Freudiger, D. et al. (2014): Niedrigwasser in Deutschland 2011. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 58(1):4-17.
- Kreienkamp, F., Spekat, A., Enke, W. (2011): Ergebnisse regionaler Szenarienläufe für Deutschland mit der statistischen Methode WETTREG auf der Basis der SRES Szenarios A2 und B1 modelliert mit ECHAM5/MPI-OM.  
[http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/csc\\_report2.pdf](http://www.climate-service-center.de/imperia/md/content/csc/csc_report2.pdf)
- Kunze, A.; Elsäßer, D.; Karthe, D.; Dame, G.; Sedehizade, F.; Nießner, R. & Seidel, M. (2014): Entwicklung eines Hygiene Online-Monitoring Systems. Automatisierter Schnellnachweis von Bakterien und Viren (033W010E) für Roh- und Trinkwasser. In: Dellert-Ritter, M. (Ed.) (2014): Food + chrom Forum, pp. 60f. Mainaschaff.
- Lake, I.R.; Bentham, G; Kovats, R.S. & Nichols, G.N. (2006): Effects of weather and river flow on cryptosporidiosis. *Journal of Water and Health* 3(4):469-474
- Langer, M.; Wolf, C.; Sorge, H.C. & Karthe, D. (2014): Forschung für die Wasserinfrastrukturen von morgen. *energie|wasser-praxis* 10/2014, pp. 72-75.
- Lehner, B.; Döll, P.; Alcamo, J. et al. (2006): Estimating the Impact of Global Change on Flood and Drought Risks in Europe: A Continental, Integrated Analysis. *Climate Change* 75(3):273-299.
- Leland, D.; McAnulty, J.; Keene, W. & Stevens, G. (1993): A cryptosporidiosis outbreak in a filtered water supply. *Journal of the American Water Works Association* 85(6):34-42.
- Mac Kenzie, W.R.; Hoxie, N.J.; Proctor, M.E. et al. (1994): A massive outbreak in Milwaukee of cryptosporidium infection transmitted through the public water supply. *New England Journal of Medicine* 331(3):161-167.

- Markovic, D.; Scharfenberger, U.; Schmutz, S. et al. (2013): Variability and alterations of water temperatures across the Elbe and Danube River Basins. *Climate Change* 119(2):375-389.
- Menzel, L.; Thielen, A.H.; Schwandt, D.; Bürger, G. (2006): Impact of climate change on the regional hydrology—scenario-based modelling studies in the German Rhine catchment. *Natural Hazards* 38(1–2): 45–61.
- Merz, B.; Maurer, T. & Kaiser, K. (2012): Wie gut können wir vergangene und zukünftige Veränderungen des Wasserhaushalts quantifizieren? *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 56(5):244-256.
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (=MKULNV NRW; Hrsg.) (2011): Klimawandel und Wasserwirtschaft – Maßnahmen und Handlungskonzepte in der Wasserwirtschaft zur Anpassung an den Klimawandel. Düsseldorf.
- Nichols, G.; Lane, C.; Asgari, N. et al. (2009): Rainfall and outbreaks of drinking water related disease in England and Wales. *Journal of Water and Health* 7(1):1-8.
- Nnane, D.E.; Ebdon, J. & Taylor, H. (2012): The dynamics of faecal indicator organisms in a temperate river during storm conditions. *Journal of Water and Climate Change* 3(2):139-150.
- O'Connor, D.R. (2002): Report of the Walkerton Inquiry. Part 1. The Events of May 2000 and Related Issues. Ontario: Queen's Printer.
- Patz, J.A.; McGeehin, M.A.; & Bernard, S.M. (2000): The potential health impacts of climate variability and change for the United States: Executive summary of the report of the health sector of the U.S. National Assessment. *Environmental Health Perspectives* 108(4):367-376.
- Payment, P.; Siemiatycki, J.; Richardson, L. et al. (1997): A prospective epidemiological study of gastrointestinal health effects due to the consumption of drinking water. *International Journal of Environmental Health Research* 7(1):5–31.
- Petry, D. (2009): Klimawandel und Trinkwasserversorgung: Auswirkungen, Handlungsbedarf, Anpassungsmöglichkeiten. *DVGW energie|wasser-praxis* 10/2009.
- Rodó, X.; Pascual, M.; Doblas-Reyes, F.J. et al. (2013): Climate change and infectious diseases: can we meet the needs for better prediction? *Climate Change* 118(3-4):625-640.
- Rose, J.B.; Epstein, P.E.; Lipp, E.K. et al. (2001): Climate Variability and Change in the United States: Potential Impacts on Water and Foodborne Diseases Caused by Microbiologic Agents. *Environmental Health Perspectives* 109(Suppl. 2):211-220.
- Schönthaler, K.; Von Andrian-Werburg, S. & Nickel, D. (2011): Entwicklung eines Indikatorensystems für die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS). Dessau-Roßlau: UBA Serie Climate Change 22/11.
- Semenza, J. & Nichols, G. (2007): Cryptosporidiosis surveillance and water-borne outbreaks in Europe. *Euro-surveillance* 12(5):120-123.

- Semenza, J.C. & Menne, B. (2009): Climate change and infectious diseases in Europe. *Lancet Infectious Diseases* 9(6):365-75.
- Senhorst, H.A.J. & Zwolsman J.J.G. (2005): Climate change and effects on water quality: a first impression. *Water Science & Technology* 51(5):53-59.
- Staben, N.; Grobe, S. & Merkel, W. (2014): Anpassung der Wasseraufbereitung und sicherer Netzbetrieb bei hohen Temperaturen. Presentation at the Scientific Conference „Hitze, Hochwasser, Nitrat - Drei Herausforderungen für die sichere Wasserversorgung von morgen“, Hannover (04.06.2014).
- St. Laurent, J. & Mazumder, A. (2014): Influence of seasonal and inter-annual hydrometeorological variability on surface water fecal coliform concentration under varying land-use composition. *Water Research* 48:170-178.
- Szépszó, F.; Lingemann, I.; Klein, B. & Kovács, M. (2013): Impact of climate change on hydrological conditions of Rhine and Upper Danube rivers based on the results of regional climate and hydrological models. *Natural Hazards*. DOI: 10.1007/s11069-013-0987-1.
- Vanham, D. (2012): The Alps under climate change: implications for water management in Europe. *Journal of Water and Climate Change* 03(3):197-206.
- Yamamoto, N.; Urabe, K.; Takaoka, M. et al. (2000): Outbreak of cryptosporidiosis after contamination of the public water supply in Saitama Prefecture, Japan in 1996. *Kansenshogaku Zasshi – Journal of the Japanese Association for Infectious Diseases*. 74(6):518-26.
- Zebisch, M.; Schröter, D.; Hasse, C. et al. (2005): Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Dessau-Roßlau: UBA Serie Climate Change 08/05.
- Zwolsman, J.J.G. & Van Bokhoven A.J. (2007): Impact of summer droughts on water quality of the Rhine River - a preview of climate change? *Water Science and Technology* 56(4):45-55.



# Ausgewählte Untersuchungen zur Grundwasserdynamik im Auwald zwischen Neuburg und Ingolstadt

Lisa Böhm<sup>1</sup>, Peter Fischer<sup>1,2</sup>, Bernd Cyffka<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Angewandte Physische Geographie, Kath. Universität Eichstätt-Ingolstadt, <sup>2</sup>Aueninstitut Neuburg

## Zusammenfassung

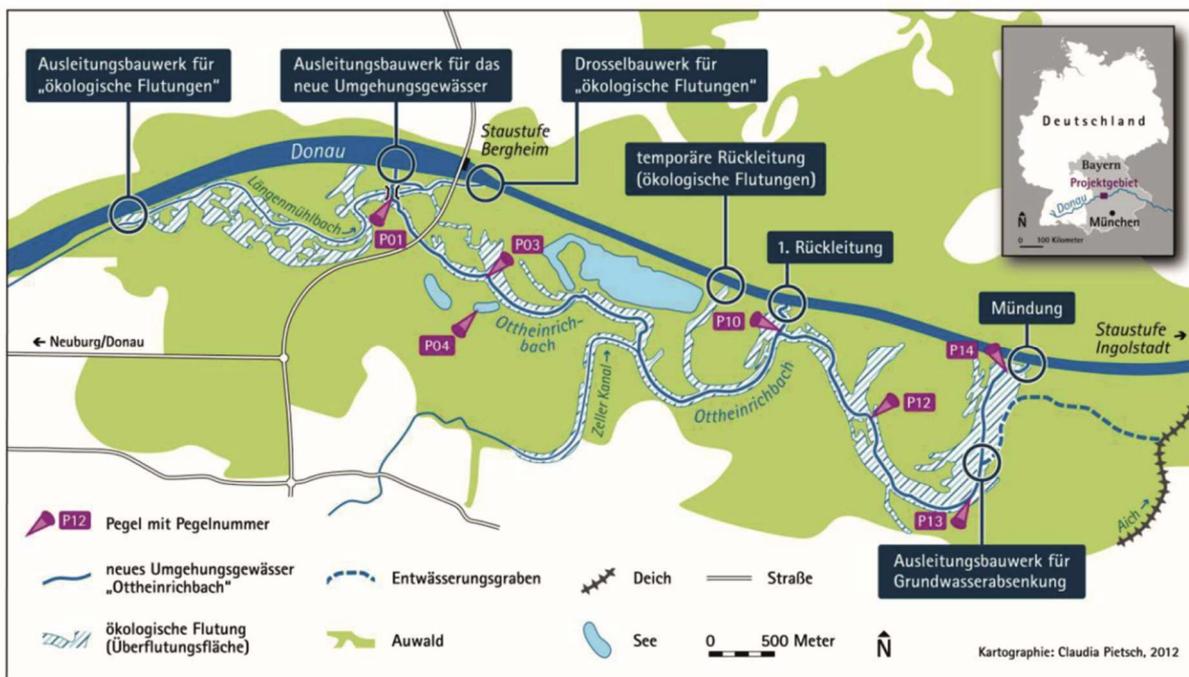
Als Grundlage der Untersuchung zur Grundwasserdynamik entlang eines Transektes im Auwald zwischen Neuburg und Ingolstadt dienen die Datenreihen des Grundwasserverlaufs. Entscheidend für den Erhalt des dynamischen Gleichgewichts des Auwaldes sind schwankende Grund- und Flusswasserstände. Es hat sich gezeigt, dass Ökologische Flutungen als Dynamisierungsmaßnahmen große Auswirkung auf das Grundwasserverhalten haben. Im Nahbereich der Donau hingegen dominiert der Einfluss schwankender Donauwasserstände. Mit zunehmender Entfernung zu den Oberflächengewässern reagiert das Grundwasser mit wachsender Verzögerung auf Abflussschwankungen und bildet diese nur bei größeren Wasserstandsänderungen im Grundwasserverlauf deutlich ab.

## 1 Einführung

Auen sind periodische oder episodische Überschwemmungsbereiche entlang von Fließgewässern, die über eine spezielle und artenreiche Flora und Fauna verfügen. Sie sind durch den Wechsel von Überschwemmung und Trockenfallen an diese Verhältnisse angepasst (u.a. Frei u. Lösch 2010, Gerken 1988, Gulder 1996). Der Wasserhaushalt im Auwald wird hauptsächlich durch die Standortfaktoren schwankender Fluss- und Grundwasserstände dominiert (Montenegro et al. 2000). Aufgrund der natürlichen Dynamik wird die Stabilität der Artenvielfalt im Auenökosystem als sogenanntes dynamisches Gleichgewicht bezeichnet (Gerken 1988). Durch die hohe Biodiversität sind naturnahe Auwälder nach Böhnke u. Geyer (2000) daher auch als besonders schützenswert einzustufen. Auwälder sind aber nicht nur wegen ihres hohen ökologischen Stellenwertes durch ihre biologische Vielfalt, sondern auch aufgrund ihrer ober- und unterirdischen Retentionswirkung von großer Bedeutung.

In dem vom Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt geleiteten Projekt „Dynamisierung der Donauauen zwischen Neuburg und Ingolstadt“ (z.B. Stammel et al. 2011, Fischer et al. 2013) werden verschiedene Maßnahmen

angewendet um die Aue wieder in ihr dynamisches Gleichgewicht zurückzusetzen. Um dieses zu erreichen, wurde zum einen ein permanentes Umgehungsgewässer (0,5 - 5 m<sup>3</sup>/s) durch den Auwald gebaut, zum anderen bestehen diese Maßnahmen aus ökologischen Flutungen und Niedrigwassermanagement. Bei den ökologischen Flutungen werden über ein separates Ausleitungsbauwerk oberhalb der Staustufe Bergheim bis zu 25 m<sup>3</sup>/s Donauwasser in den Längenmühlbach geleitet, dessen Wasser einige hundert Meter weiter über zwei Flutmulden in den Ottheinrichbach gelangt und sich so im Auwald ausbreiten kann.



**Abb. 1:** Strukturelle Elemente im Untersuchungsgebiet des Auwaldes, Quelle: Fischer et al. (2013).

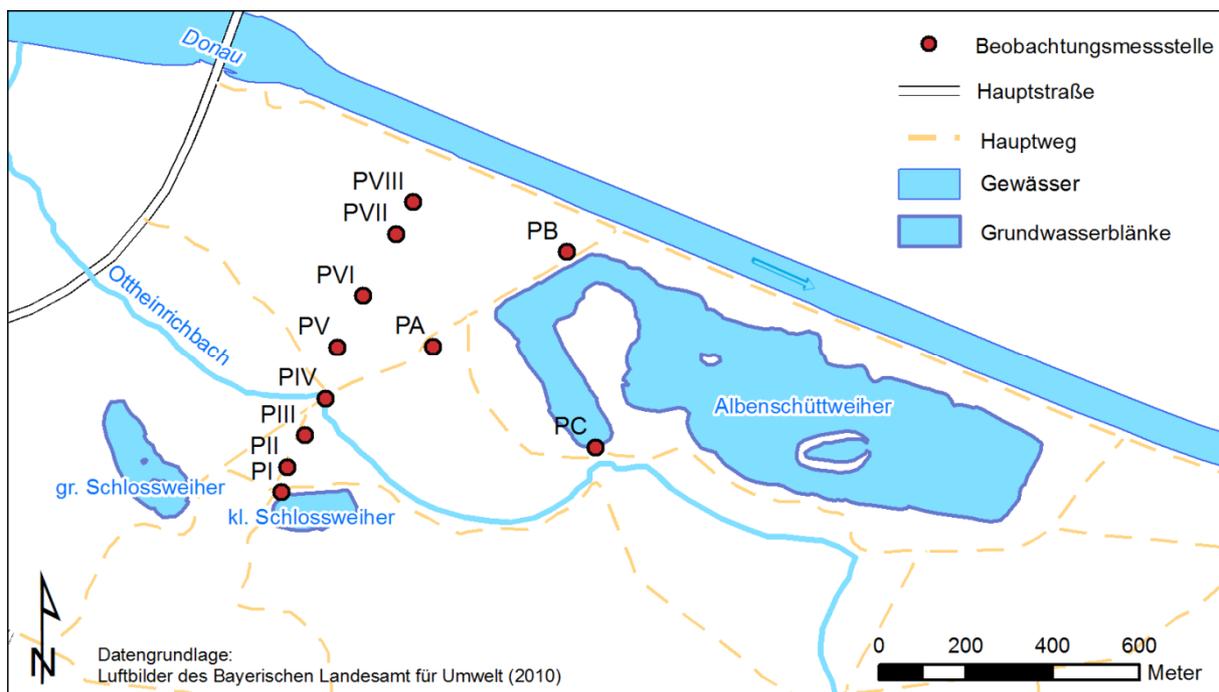
Zusätzlich verhindert ein Drosselbauwerk unterhalb der Staustufe, dass das ausgeleitete Wasser wieder in die Donau abfließt. Die überschwemmten Bereiche südlich des Längenmühlbachs drainieren über die durchlässigen Kiese den Auwald im Untersuchungsgebiet. In Abbildung 1 sind die wichtigsten Strukturen für das vorgestellte Projekt dargestellt.

## 2 Fragestellung und Versuchsaufbau

Kern der Untersuchung ist die Beschreibung des Grundwasserverhaltens in Bezug auf die durchgeführten Dynamisierungsmaßnahmen sowie der Einfluss der Donau. Der erstrebenswerte Zustand des dynamischen Gleichgewichts eines Auwaldes steht im direkten Zusammenhang mit regelmäßigen Überflutungsereignissen

und vor allem mit schwankenden Grundwasserständen. Die Ausprägung der Grundwasserdynamik lässt also Rückschlüsse auf die Funktionalität des Ökosystems zu.

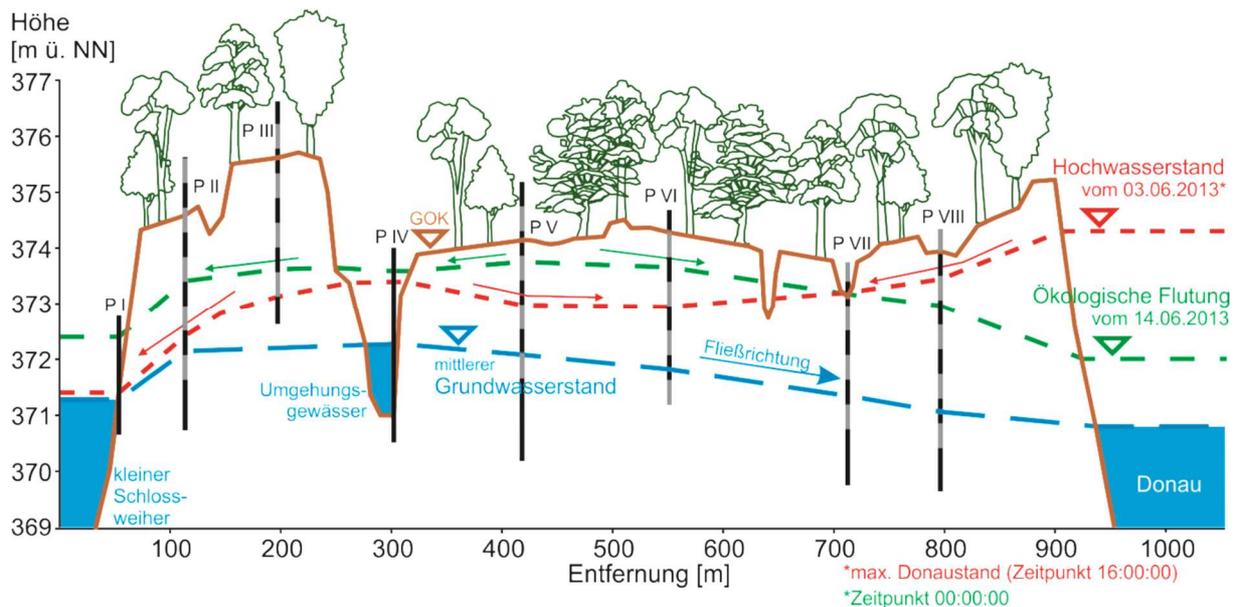
Die Beobachtung des Grundwassers erfolgt über ein definiertes Transekt im Auwald zwischen Neuburg und Ingolstadt. Es verläuft zwischen dem Umgehungsgewässer und der Donau (vgl. Abb. 2). Durch das ausgewählte Untersuchungsdesign soll festgestellt werden, ob ein hydraulischer Kontakt zwischen diesen beiden Gewässern besteht. Hieraus kann wiederum abgeleitet werden, inwiefern der Auwald hydrologisch mit dem Hauptgewässer verbunden ist. Der Untersuchungszeitraum ist das hydrologische Jahr 2012/2013.



**Abb. 2:** Übersicht der Grundwassermessstellen im Untersuchungsgebiet, Quelle: Böh (2014).

### 3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Über die meisten Zeiträume des Jahres liegt bei den Grundwassermessstellen zwischen PV und PVIII ein zur Donau gerichteter Gradient vor (vgl. Abb. 3). Besonders zwischen PVIII und Donau besteht ein enger hydraulischer Kontakt.



**Abb. 3:** Profilschnitt durch das Transekt, Quelle: Böhm (2014).

Das Grundwasser reagiert dort schon bei geringen Schwankungen des Donauwasserstandes. Zum Teil sind auch bei den weiter entfernten Messstellen kurzfristige Ereignisse, wenn auch stark abgeschwächt, im Verlauf der Ganglinie zu erkennen. Diese Annahme, dass die Reaktion und Amplitude der Grundwasserschwankungen mit zunehmender Entfernung abnimmt, ist weit verbreitet (z.B. Hammer 2003) und deckt sich mit den Erkenntnissen aus den Grundwasserstandsdaten. Auch im Untersuchungsgebiet selber wurde der hydraulische Kontakt zwischen Donau und Grundwasser bereits festgestellt (Freytag-Loringhoven 2000). Während der hier in Abbildung 3 betrachteten Einzelereignisse befinden sich die Zeiträume mit den größten Schwankungsamplituden, die somit auch den größten Einfluss auf das Grundwasser im Untersuchungsgebiet haben. Bei Hochwasserereignissen wie im Juni 2013 kehrt sich sogar die Fließrichtung bis wenige hundert Meter vor dem Umgehungsgraben um (vgl. Abb. 3).

Mit Hilfe der Kreuzkorrelation konnte die Reaktionszeit ermittelt werden mit der sich das Wasser im Untersuchungsgebiet ausbreitet. Ähnlich wie bei Montenegro et al. (2000) kann durch die kurze Verzögerung, auf die das Grundwasser bei Pegelschwankungen der Donau reagiert, ein guter hydraulischer Kontakt zwischen Donau und dem Grundwasser geschlossen werden. Über die durchlässigen quartären Ablagerungen breitet sich zudem das eindringende Wasser rasch aus. Aufgrund des Geschiebedefizites unterhalb der Staustufe Bergheim ist für den betreffenden Flussabschnitt trotz des geringen Fließgefälles eine reduzierte Kolmation zu erwarten (Blaschke 2002), wodurch der Wasseraustausch zwischen Donau und Grundwasser zusätzlich erleichtert wird.

Der Einfluss, den die Donau auf das Grundwasser im Auwald hat, wird mit zunehmender Entfernung immer geringer. Im Bereich des Umgehungsbaehes entwässert das Grundwasser nach Süden. Bei der ökologischen Flutung wie im Juni 2013 bildet sich eine Art Grundwasserscheide in dem Bereich zwischen PV und PVI mit hydraulischen Gradienten um den Wert Null aus, da sich hier die Einflüsse des Donauhochwassers und der ökologischen Flutung überlagern und sich so ausgleichen. Nördlich dieses Grenzbereichs wird der Grundwasserlauf maßgeblich von der Donau beeinflusst. Die südlich gelegenen Messstellen unterliegen hauptsächlich dem Einfluss der stattfindenden ökologischen Flutung. Das Umgebungsgewässer selber ist somit im Untersuchungsgebiet nicht direkt hydraulisch über das Grundwasser mit der Donau verbunden. Die Fläche, die unter dem Einfluss der ökologischen Flutung steht, ist weitreichender als der Bereich entlang des Flussufers, der von der Donau beeinflusst wird. Da ökologische Flutungen immer im Zusammenhang mit steigenden Donauwasserständen stehen, führen beide Situationen zusammen zu steigenden Grundwasserständen im ganzen Untersuchungsgebiet. Je länger die Überflutung dauert, desto größer ist auch der Effekt auf das Grundwasser. Dies ist auch gegeben, wenn es nicht zu einer aktiven Überflutung kommt. Das ausgeleitete Wasser dringt nordwestlich des Untersuchungsgebietes in den Grundwasserkörper ein und dräniert so das Grundwasser im Auwald.

## Literatur

- Blaschke, A.P. (2002): Auswirkung der Selbstabdichtung auf das Grundwasser in staugeregelten Flüssen. In: Wittenberg, H. und Schöniger, M. (Hg.): Wechselwirkung zwischen Grundwasserleitern und Oberflächengewässern. Beiträge zum Tag der Hydrologie 2002, 20.– 22. März 2002 in Suderburg, Lüneburger Heide, 165-171.
- Böhnke, R. und Geyer, S. (2000): Grundwasserdynamik in Auensedimenten der Mittleren Elbe. In: Friese, K.; Witter, B.; Rode, M. und Miehlich, G. (Hg.): Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Berlin, Heidelberg, New York, 99-108.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) (Hg.) (2013): Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser. Hennef (DWA-Themen 2013, T 2).
- Fischer, P.; Stammel, B.; Lang, P.; Schwab, A.; und Cyffka, B. (2013): Hydrologische Dynamik als Motor für die Renaturierung von Auenhabitaten an der Donau zwischen Neuburg und Ingolstadt. In: Rutschmann, P. (Hg.): Fachtagung Ökohydraulik, Obernach. Leben im, am und mit dem Fluss. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU München, 119-133.
- Frey, W. und Lösch, R. (2010): Geobotanik. Pflanzen und Vegetation in Raum und Zeit. Heidelberg.
- Freytag-Loringhoven, Baron v. (2000): Renaturierung der Donauauen/ Auswertung Bodenkundlicher Daten. (Unveröffentlichtes Gutachten), München.

- Gerken, B. (1988): Auen verborgene Lebensadern der Natur. Freiburg im Breisgau.
- Gulder, H.-J. (1996): Auwälder in Südbayern. Standortliche Grundlagen und Bestockungsverhältnisse im Staatswald. Freising (Berichte aus der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 9).
- Jürging, P. und Patt, H.-C. (Hg.) (2005): Fließgewässer- und Auenentwicklung: Grundlagen und Erfahrungen. Berlin, Heidelberg, New York.
- Hammer, J. (Hg.) (2003): Quartäre Sedimente als geologische Barrieren. (Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten 9). Berlin, Heidelberg, New York, Hongkong, London, Mailand.
- Montenegro, H.; Holfelder, T. und Wawra, B. (2000): Modellierung der Austauschprozesse zwischen Oberflächen- und Grundwasser in Flußauen. In: Friese, K.; Witter, B.; Rode, M.; und Miehlich, G. (Hrsg.): Stoffhaushalt von Auenökosystemen. Berlin, Heidelberg, New York, 89-98.
- 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 water and sediment dynamics: a scientific monitoring as a part of implementation. River Systems 20, 55-70.

## Raum-zeitliche Ableitung des LAI von Pappel- und Weidenbeständen durch statistische Auswertung von Rapid Eye und in situ Messungen

Helena Bergstedt<sup>1</sup>, Jens Hartwich<sup>1</sup>, Christian Reinhardt-Imjela<sup>1</sup>, Jens Bölscher<sup>1</sup>, Markus Schmidt<sup>2</sup>, Candy Pflugmacher<sup>2</sup>, Dieter Murach<sup>2</sup>, Björn Waske<sup>3</sup> und Achim Schulte<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Freie Universität Berlin, Fachbereich Geowissenschaften, Angewandte Geographie, Umwelthydrologie und Ressourcenmanagement

<sup>2</sup>Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Fachbereich für Wald und Umwelt

<sup>3</sup>Freie Universität Berlin, Fachbereich Geowissenschaften, Fernerkundung und Geoinformatik

### 1. Einleitung

Der Leaf Area Index (LAI) ist eine wichtige Variable für das Verständnis von physiologischen und hydrologischen Prozessen eines Pflanzenbestandes und somit eine wichtige Kenngröße für ein hydrologisches Modell. Je nach Modell besteht eine starke Abhängigkeit für spezifische Teilprozesse des Landschaftswasserhaushalts zum LAI, wie etwa die Evapotranspiration, der Interzeptionsspeicher der Vegetationsdecke und die Infiltration von Sickerwasser in den Boden. Hierdurch wird der Einfluss auf die modellierten Größen Abfluss oder Grundwasserneubildung eines Einzugsgebietes deutlich. Eine räumlich und zeitlich optimal aufgelöste Eingabe des LAI kann somit zu einer Verbesserung der modellierten Ergebnisse beitragen (Andersen et al. 2002).

Die Bestimmung des LAI im Feld ist zeitaufwändig und kann in den meisten Fällen nur punktuell durchgeführt werden (Jonckheere et al. 2004). Um aussagekräftige Modellergebnisse zu erhalten ist im Allgemeinen ein belastbarer LAI-Datensatz für die Modellregion anzustreben, welcher sowohl die räumlichen wie zeitlichen Variationen der Vegetation und damit des LAI mit einbezieht.

Diese Masterarbeit wird im Rahmen des Projekts „Potentiale agrarer Dendromasseproduktion im Norddeutschen Tiefland unter Berücksichtigung der Wasserversorgung und Konkurrenzfähigkeit von Kurzumtriebsplantagen (AGENT)“ durchgeführt. Das Projekt beschäftigt sich unter anderem mit der Potentialermittlung von Kurzumtriebsplantagen (KUP) und deren Einfluss auf den Wasserhaushalt. Erste Untersuchungen zeigen vor allem für Bereiche in Norddeutschland ein besonders hohes Potential (Hartwich et al. 2014 (B), Hartwich et al. 2015). Die Etablierung dieser Nutzung sollte sich an verschiedenen Umweltaspekten, wie der Wasserverfügbarkeit, orientieren (Hartwich et al. 2014 (A)). Diese Masterarbeit prüft die mögliche Verwendung der vorliegenden LAI Daten als Grundlage hydrologischer Berechnungen.

Schon in früheren Studien wird auf einen engen Zusammenhang von LAI und NDVI hingewiesen bzw. Regressionsmodelle für verschiedene Vegetationstypen erstellt. So wird beispielsweise von Tillack et al. (2014) untersucht, welche Vegetationsindizes sich bei Auenwäldern am besten für die Abschätzung des LAI eignen. Auch Kross et al. (2014) untersuchen die Zusammenhänge unterschiedlicher Vegetationsindizes mit dem LAI, konzentrieren sich allerdings auf Mais und Sojabohnen. Die Studie von Wang et al. (2005) bezieht sich auf die Beziehung von NDVI und LAI im Fall von Laubwäldern, während sich eine frühere Studie von Carlson et al. (1997) mit einem Radiative Transfer Modell der Beziehung beschäftigt.

Mit dem Ziel, flächenhaft und zeitlich korrelierte Informationen über den Jahresgang des LAI in Weiden- und Pappelbeständen aus Rapid Eye Daten zu ermitteln, findet hier ein statistisches Auswertungsverfahren Anwendung. Darüber hinaus soll die Grundlage für ein Regressionsmodell geschaffen werden, welches in Zukunft eine Ableitung von LAI-Informationen aus spektralen Satellitendaten ermöglicht.

## 2. Methodik

Die Methodik zur Berechnung von LAI-Werten aus Rapid Eye Datensätzen basiert auf einem linearen Regressionsmodell, entwickelt aus NDVI-Daten und LAI-Messungen. Es ist ein viel verwendetes Mittel zur Beantwortung solcher und ähnlicher Fragestellungen (Gong et al. 1995; Wang et al. 2005; Kross et al. 2014). Um diese Art der Auswertung der Satellitendaten zu realisieren, werden in Pappel- und Weidenbeständen mittels des LAI-2000 Plant Canopy Analyzer Punktmessungen auf Versuchsflächen durch die Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde durchgeführt und diese anschließend mit NDVI Werten aus RapidEye Daten korreliert. Abbildung 1 zeigt ein Datenbeispiel vom 18.09.2012 mit separaten Messreihen für Pappeln und Weiden. Die Messung durch den LAI-2000 Plant Canopy Analyzer ist eine indirekte Methode zur Bestimmung des LAI und hält, im Gegensatz zu destruktiven Methoden, den Pflanzenbestand intakt. Somit ist es möglich, Zeitreihen eines Pflanzenbestandes aufzunehmen (Jonckheere et al. 2004).

Mit der Konstellation aus 5 Satelliten bietet RapidEye die Möglichkeit, zeitlich hoch aufgelöste Zeitreihen zu generieren. Mit einer räumlichen Auflösung von 5m bietet RapidEye außerdem eine gute Datengrundlage für hydrologische Fragestellungen (Ali et al. 2013).

In dieser Arbeit wurden insgesamt 9 Bilder ausgewertet. Hiervon flossen Daten aus 7 Szenen in die Endergebnisse ein. Die ausgeschlossenen Bilder weisen eine hohe Wolkenbedeckung über dem Untersuchungsgebiet oder einen zu großen zeitlichen Abstand zu den Messungen von bis zu 30 Tagen auf.

Die hier verwendeten Messungen decken einen Zeitraum von 20 Monaten in den Jahren 2012 und 2013 ab. Um flächenhafte Werte für den LAI zu erhalten, wurden für ausgewählte Messtermine aus zeitlich passenden Rapid Eye Aufnahmen der Normalized Differential Vegetation Index (NDVI) für

den Bereich der Testfläche Stendell errechnet. Die Satellitenbilder wurden möglichst zeitnah zu den in situ Messungen ausgewählt, sodass der Zeitabstand zwischen Satellitenbildern und zugehörigen Messungen zwischen 1 und 14 Tagen liegt. Hiervon ausgehend werden für jede Szene separate lineare Regressionsmodelle zur Berechnung von Korrelationen zwischen LAI-Werten und dem NDVI jeweils für Weiden und Pappeln aufgestellt. Um die zeitliche Variabilität der Abhängigkeit zu untersuchen, wird für jeden betrachteten Zeitpunkt ein einzelnes Regressionsmodell aufgestellt.

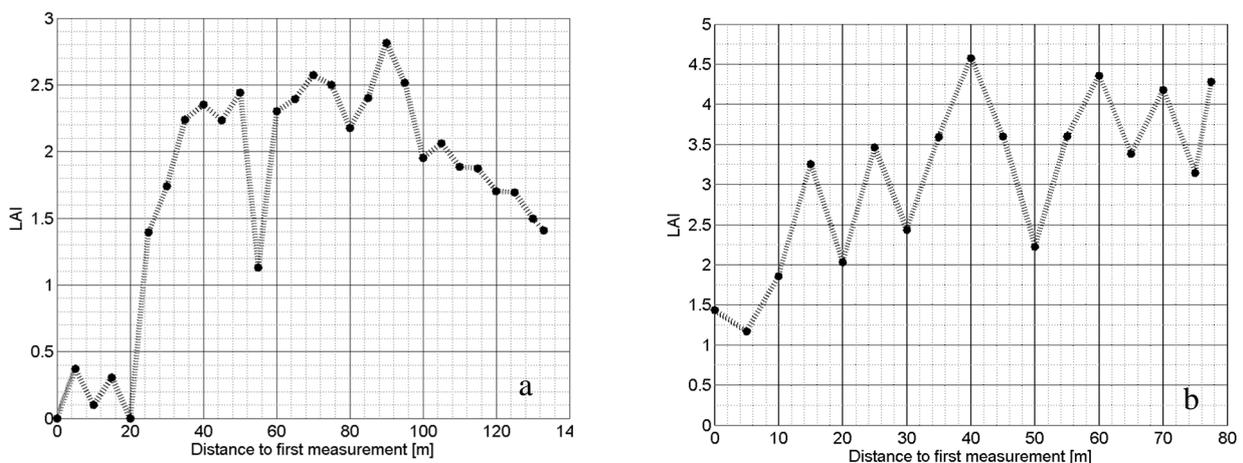


Abbildung 1: Leaf Area Index für je eine Pflanzreihe von Weiden (a) und Pappeln (b) auf einer Kurzumtriebsplantage in der Uckermark, gemessen am 18.09.2012.

Eine Validierung soll letztendlich dazu dienen, Scheinkorrelationen ausschließen zu können. Hierzu wird das Verfahren mit 80% der Originaldaten durchgeführt. Dadurch stehen 20% der Daten für eine Überprüfung des Regressionsmodells zur Verfügung.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Bisher kann gezeigt werden, dass der NDVI bei Pappeln und Weiden stark von der Krautschicht beeinflusst wird. Der Einfluss der Krautschicht auf den NDVI kann nicht als räumlich oder zeitlich konstant betrachtet werden. Ein weiterer Faktor ist die zeitliche Übereinstimmung von Satellitenbild und in situ Messung.

Besonders in Monaten mit starker zeitlicher Variabilität des LAI hat der zeitliche Abstand von Messung und Satellitendaten einen entscheidenden Einfluss auf die Güte des Regressionsmodells.

Die in Abbildung 2 dargestellten Regressionsmodelle haben einen Zeitabstand zwischen LAI und NDVI-Werten von 9 Tagen und liegen damit im Mittel aller betrachteten Messpaare. Sowohl Pappeln als auch Weiden zeigen hier eine Korrelation von NDVI und LAI.

In weiteren Schritten sollen Regressionsmodelle für die phänologischen Jahreszeiten aufgestellt und validiert werden, um Korrelation von NDVI und LAI in den einzelnen Wachstumsperioden der Pflanzen bestimmen zu können. Dieser Arbeitsschritt gilt der Bestrebung möglichst umfassende Untersuchungen zu den Abhängigkeiten von NDVI und LAI durchzuführen und eine abschließende Wertung der Regressionsmodelle vornehmen zu können.

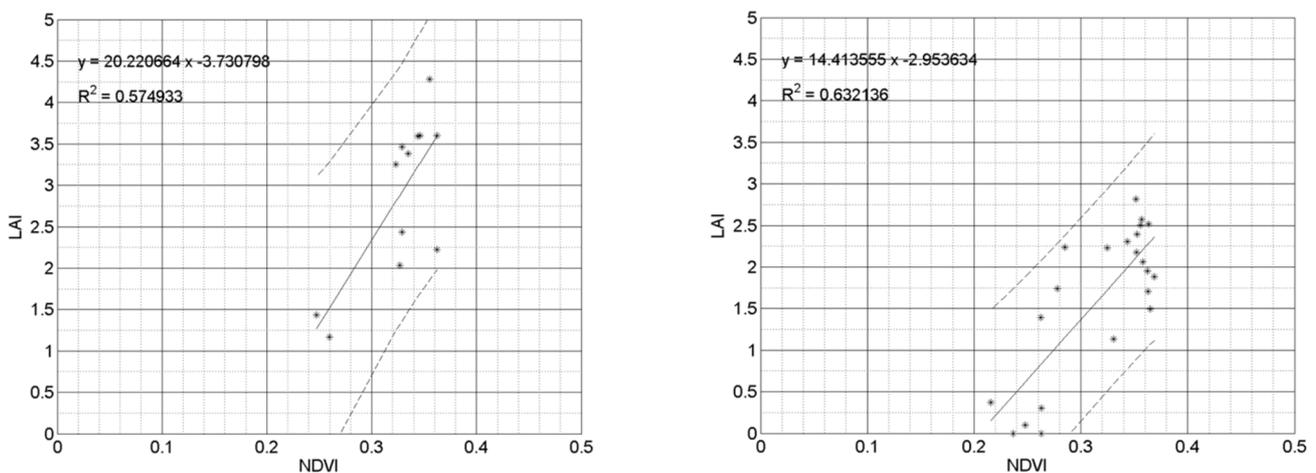


Abbildung 2: Lineares Regressionsmodell (-) für die LAI und NDVI Daten (\*) vom 09.09.2012 und 18.09.2012 für Pappeln und Weiden mit Konfidenzintervall (--).

#### 4. Dank

Diese Untersuchungen werden im Rahmen des Forschungsprojekts AGENT durchgeführt, das dankenswerterweise von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert wird. Darüber hinaus gilt unser Dank der BlackBridge AG für die Bereitstellung der Satellitendaten (RESA Projekt-ID: A1276).

#### Literatur

Ali, M., Montzka, C., Stadler A., Vereecken, H. (2013): Validation of Leaf Area Index calculated on RapidEye imagery against in situ measurements in Rur catchment, Germany. In: BORG, DAEDELLOW, JOHNSON (Hrsg.): Proceedings of 5th RESA workshop (From the Basics to the Service). Neustrelitz, S. 159 - 171.

- Andersen, J., Dybkjaer, G., Jens, K.H., Refsgaard, J.C., Rasmussen, K. (2002): Use of remotely sensed precipitation and leaf area index in a distributed hydrological model. In: *Journal of Hydrology* 264, 34-50.
- Carlson, T.N., Ripley, D.A (1997): On the Relation between NDVI, Fractional Vegetation Cover, and Leaf Area Index. In: *Remote Sensing of Environment* 62, 241-256.
- Gong, P., Pu, R., Miller, J.R. (1995): Coniferous Forest Leaf Area Index Estimation along the Oregon Transect Using Compact Airborne Spectrographic Imager Data. In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 61 (9), 1107-1117.
- Hartwich, J., Bölscher, J., Schulte, A. (2014). A: Impact of short rotation coppice on water and land resources. In: *Water International* 39 (6), 813-825.
- Hartwich, J., Bölscher, J., Schulte, A. (2014). B: Die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers als Kriterium zur Abschätzung des Bioenergiepotentials von KUP-Standorten in Deutschland. In: Grashey-Jansen, S.; Wetzel, K.-F., Chiffard, P.; Karthe, D. (Hrsg.): Beiträge zum 45. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie vom 21.-23. November 2013 in Augsburg. *Geographica Augustana* 16: 29-34.
- Hartwich, J., Bölscher, J., Reinhardt-Imjela, C.; Schulte, A.; Schmidt, M.; Pflugmacher, C. & Murach, D. (2015): Die Eignung maritimer und kontinentaler geprägter Flussgebiete im Norddeutschen Tiefland zum Anbau von Kurzumtriebsplantagen (KUP). In: Grashey-Jansen, S.; Wetzel, K.-F., Chiffard, P.; Karthe, D. (Hrsg.): Beiträge zum 46. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie vom 20.-22. November 2014 in Marburg. *Geographica Augustana* (diese Ausgabe).
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., Baret, F. (2004): Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 121, 19-35.
- Kross, A., McNairn, H., Lapen, D., Sunohara, M., Champagne, C. (2014): Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. In: *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 34, 235-248.
- Tillack, A., Clasen, A., Kleinschmit, B., Förster, M. (2014): Estimation of the seasonal leaf area index in an alluvial forest using high-resolution satellite-based vegetation indices. In: *Remote Sensing of Environment* 141, 52-63.
- Wang, Q., Adiku, S., Tenhunen, J., Granier, A. (2005): On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. In: *Remote Sensing of Environment* 94, 244-255.



# Die Eignung maritim und kontinental geprägter Flussgebiete im Norddeutschen Tiefland zum Anbau von Kurzumtriebsplantagen (KUP)

Jens Hartwich<sup>1</sup>, Jens Bölscher<sup>1</sup>, Christian Reinhardt-Imjela<sup>1</sup>, Achim Schulte<sup>1</sup>, Markus Schmidt<sup>2</sup>, Candy Pflugmacher<sup>2</sup>, Dieter Murach<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Freie Universität Berlin - FB Geowissenschaften, FR Angewandte Geographie, Umwelthydrologie und Ressourcenmanagement*

<sup>2</sup> *Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde - Fachbereich für Wald und Umwelt*

## 1. Einleitung

Um in Deutschland zur Umsetzung der Klimaschutzziele eine nachhaltige und sichere Energieversorgung mit regenerativen Energien zu schaffen, bedarf es einer Vielfalt von unterschiedlichen Energieträgern. Bereits heute werden 8,2 % des Endenergieverbrauchs über Biomasse gedeckt (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe [FNR] 2013). Im Bereich der Versorgung mit Wärmeenergie durch regenerative Energien spielt insbesondere holzartige Biomasse mit einem Anteil von 92% eine zentrale Rolle. Um in diesem Bereich der Bioenergierohstoffe eine steigende Nachfrage möglichst nachhaltig decken zu können, werden in Deutschland zunehmend sogenannte Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf Ackerstandorten realisiert. Diese dienen dem Anbau besonders schnell wachsender Gehölze wie Weiden oder Pappeln, welche in einem Zyklus von 3 bis 5 Jahren geerntet werden.

In diesem Kontext beschäftigt sich das Forschungsprojekt AGENT mit den Potenzialen dieser Anbauform im Norddeutschen Tiefland. Dies geschieht in erster Linie vor dem Hintergrund des hohen Wasserbedarfs dieser Kulturen, welcher unter spezifischen regionalen Bedingungen negative Auswirkungen auf den Wasserhaushalt haben könnte. Um diesen Aspekten im Rahmen des Forschungsprojektes nachzugehen, werden die Anbaupotentiale für Weiden mit Hilfe des Transpirationswasserdargebotes (TWD) ausgewiesen. Für die Potenzialabschätzung werden die Verfahren von Murach et al. (2009) und Aust (2012) kombiniert und weiterentwickelt sowie auf das gesamte Bundesgebiet (Hartwich et al. 2014a) angewendet. Hierdurch wird eine Abschätzung für das gesamte Bundesgebiet realisiert. Diese bestätigt, dass das Norddeutsche Tiefland einen Gunstraum für den Anbau darstellt. Um nun für diesen Raum abschätzen zu können, welche Auswirkungen auf

den Wasserhaushalt der Landschaft zu erwarten sind, werden im Zuge des Projektes charakteristische Einzugsgebiete mit Hilfe einer Niederschlag-Abfluss-Modellierung gezielt untersucht. Hierbei stehen die Gebiete Ems, Treene, Aland, Ücker, Randow und Welse im Fokus, da diese die naturräumliche Variabilität des Norddeutschen Tieflands exemplarisch widerspiegeln, von maritim geprägt im Westen bis kontinental im Osten (Hartwich et al. 2015). Bei Modellierung dieser spezifischen Einzugsgebiete ist es zunächst jedoch erforderlich, detaillierte Informationen hinsichtlich der Anbaupotenziale und deren räumlicher Verteilung innerhalb der Gebiete zu bekommen. Um dies zu realisieren wird ein „Downscaling“ der eingangs erwähnten Methodik vorgenommen.

## 2. Methodik

Da die Ertragsleistung von KUP sehr stark vom Wasserdargebot abhängig ist, lassen sich Aussagen hinsichtlich der zu erwartenden Ernteerträge und deren räumlicher Verteilung ableiten. Dieser Umstand wird dadurch noch weiter begünstigt, dass Düngung oder Bewässerung dieser Plantagen aus ökonomischen Gründen als nicht sinnvoll erachtet werden. Basierend auf dieser Annahme und den Studien von Persson und Lindroth (1994), Lindroth und Båth (1999), Murach et al. (2009) und Aust (2012) wird ein Ausweisungsverfahren für Weiden-KUP entwickelt, welches einen verbesserten Ansatz zur Berechnung der Evaporationsleistung enthält (Hartwich et al. 2014a). Dieser verbesserte Ansatz ermöglicht es, das Transpirationswasserdargebot (TWD) abzuleiten.

Um die Änderungen im Landschaftswasserhaushalt des Norddeutschen Tieflandes zu untersuchen, werden für die hydrologische Modellierungen Einzugsgebiete ausgewählt, welche die regionalen Besonderheiten wiedergeben. In diesen Regionen wird auch das Downscaling des Ausweisungsverfahrens durchgeführt, da für die Szenariobildung vor allem eine räumlich genauere Differenzierung der Standorteignung erforderlich ist. Somit bezieht sich die genauere Potenzialermittlung auf die folgenden Einzugsgebiete: Ems, Treene, Aland, Ücker, Randow und Welse.

Dem Ausweisungsverfahren liegen folgende Datensätzen zu Grunde:

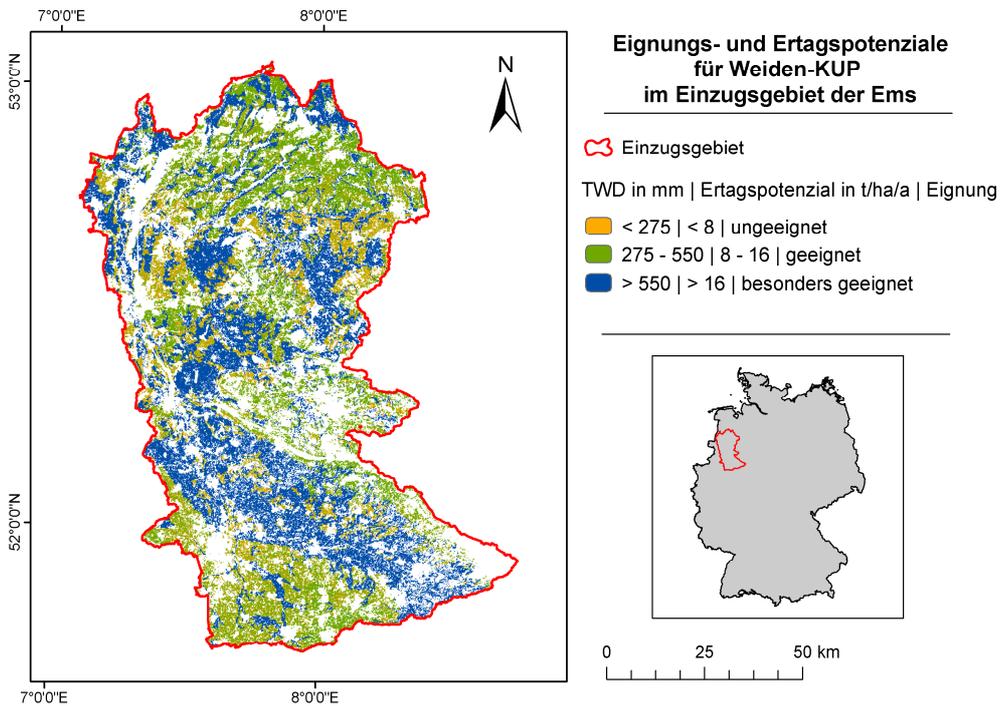
- Mittlerer monatlicher Niederschlag (1971-2000) – Auflösung: 1 km [Deutscher Wetter Dienst (DWD)]
- Mittlere monatliche pot. Evapotranspiration nach Penman-Monteith FAO (1971-2000) – Auflösung: 1 km [DWD]
- Monatsmittel-Temperaturen (1971-2000) – Auflösung: 1 km [DWD]
- Digitales Höhenmodell der Bundesrepublik Deutschland – Auflösung: 10 m [Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)]
- Digitales Landbedeckungsmodell der Bundesrepublik Deutschland – Vektordatensatz [BKG]

- Bodenübersichtskarten der Bundesrepublik Deutschland (BÜK 200) – Maßstab: 1:200.000 [Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)]
- Datenbank der Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland (BÜK 1000) [BGR]

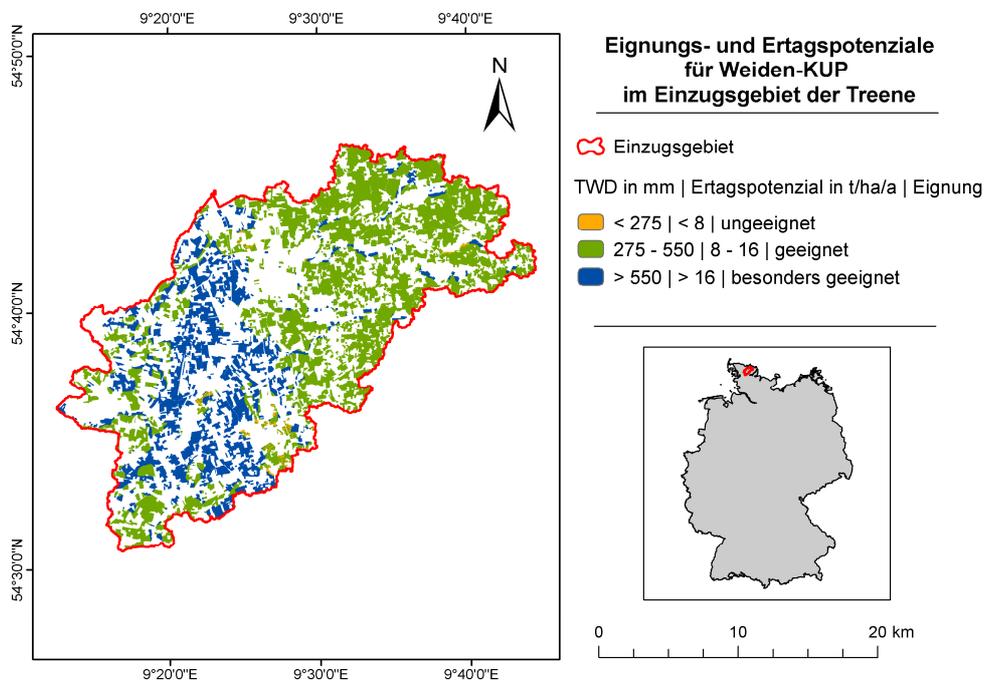
Die aufgeführten Datengrundlagen wurden nach dem Verfahren von Hartwich et al. (2014a) unter Verwendung von ESRI ArcGIS 10.1 verschnitten, um das TWD für die unterschiedlichen Räume zu bestimmen. In einem zweiten Schritt wird, ebenfalls auf Grundlage der genannten Studie, mit Hilfe eines linearen Regressionsmodells der Ertrag abgeschätzt. Auch frühere Untersuchungen weisen Regressionsmodelle als adäquate Methode zur Ertragsbestimmung aus (Lindroth und Bâth 1999, Murach et al. 2009 und Aust 2012). Um die grundlegenden energiewirtschaftlichen Größen sowie die CO<sub>2</sub>-Einsparung bei der Substituierung von Heizöl zu berechnen, wird auf das Verfahren von Andersen et al. (2005) zurückgegriffen. Als Referenz für diese Abschätzungen wurden in Deutschland typische Kraftwerke verwendet, wie das Elektrizitätswerk der Firma MVV Energie GmbH mit 20 MW Leistung und einem Verbrauch von 120.000 t/a Biomasse sowie ein Kraftwerk, welches neben elektrischer- auch Wärmeenergie zur Verfügung stellt. Letzteres wird von der Ilmenauer Wärmeversorger GmbH betrieben und erwirtschaftet mit 43.000 t/a Biomasse eine kombinierte Leistung von 9,7 MW.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

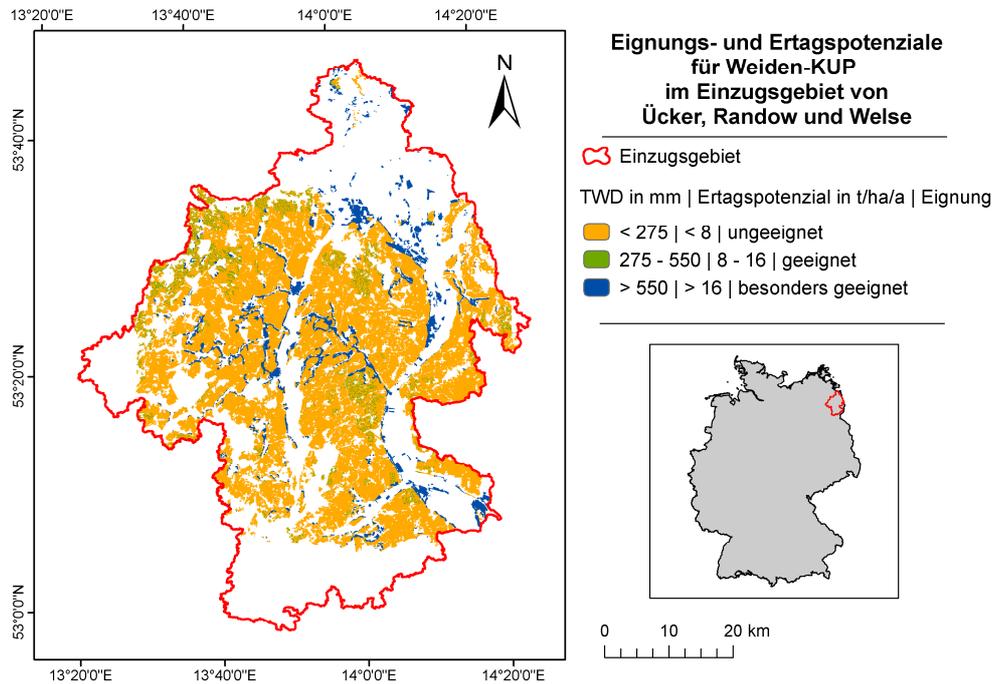
Die Karten 1 bis 4 zeigen die Einzugsgebiete Ems, Treene, Ücker, Randow, Welse und Aland. Sie veranschaulichen die räumliche Verteilung des TWD, des Eignungs- sowie des Erntepotenzials. Es wird deutlich, dass die maritim geprägten Einzugsgebiete der Ems und Treene deutlich mehr geeignete Flächen aufweisen, als die kontinental geprägten Gebiete von Ücker, Randow, Welse und Aland. Deutlich wird auch, dass in allen Einzugsgebieten Niederungsgebiete mit geringen Flurabständen „besonders geeignete“ Standorte sind. Dies resultiert aus der guten Wasserverfügbarkeit, da die Pflanzen in diesen Regionen das Grundwasser durch ihre Wurzeln erreichen können.



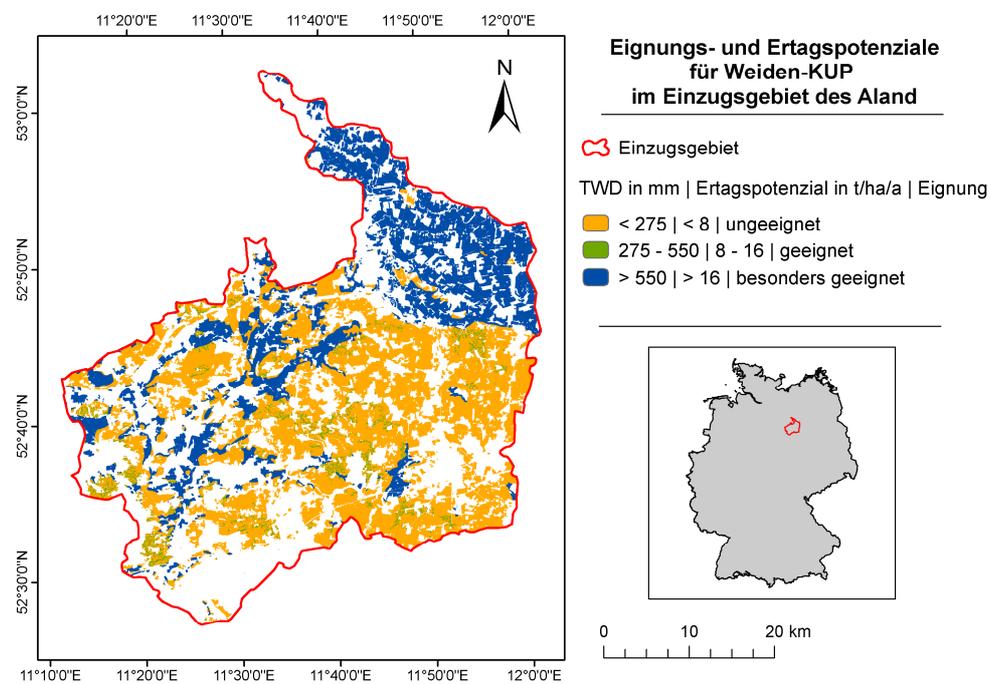
**Karte 1:** Darstellung von TWD, Ertragspotenzial und der daraus resultierenden landschaftlichen Eignung für KUP im Einzugsgebiet der Ems



**Karte 2:** Darstellung von TWD, Ertragspotenzial und der daraus resultierenden landschaftlichen Eignung für KUP im Einzugsgebiet der Treene

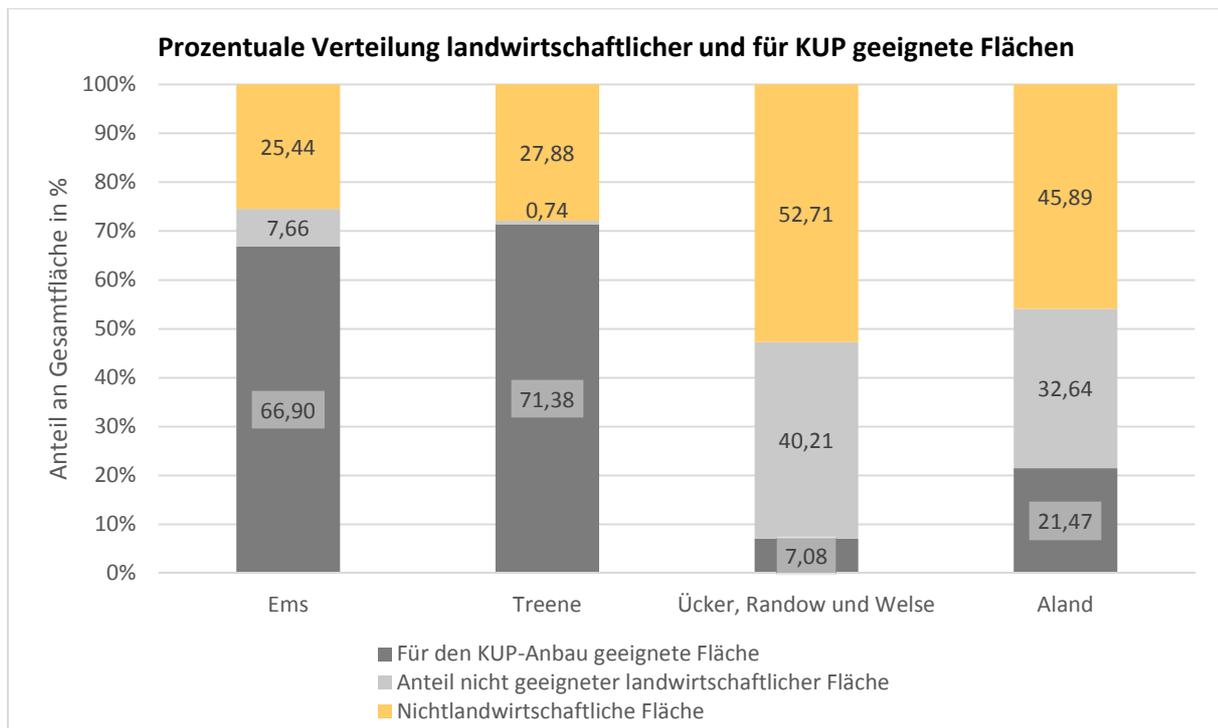


**Karte 3:** Darstellung von TWD, Ertragspotenzial und der daraus resultierenden landschaftlichen Eignung für KUP im Einzugsgebiet von Ucker, Randow und Welse

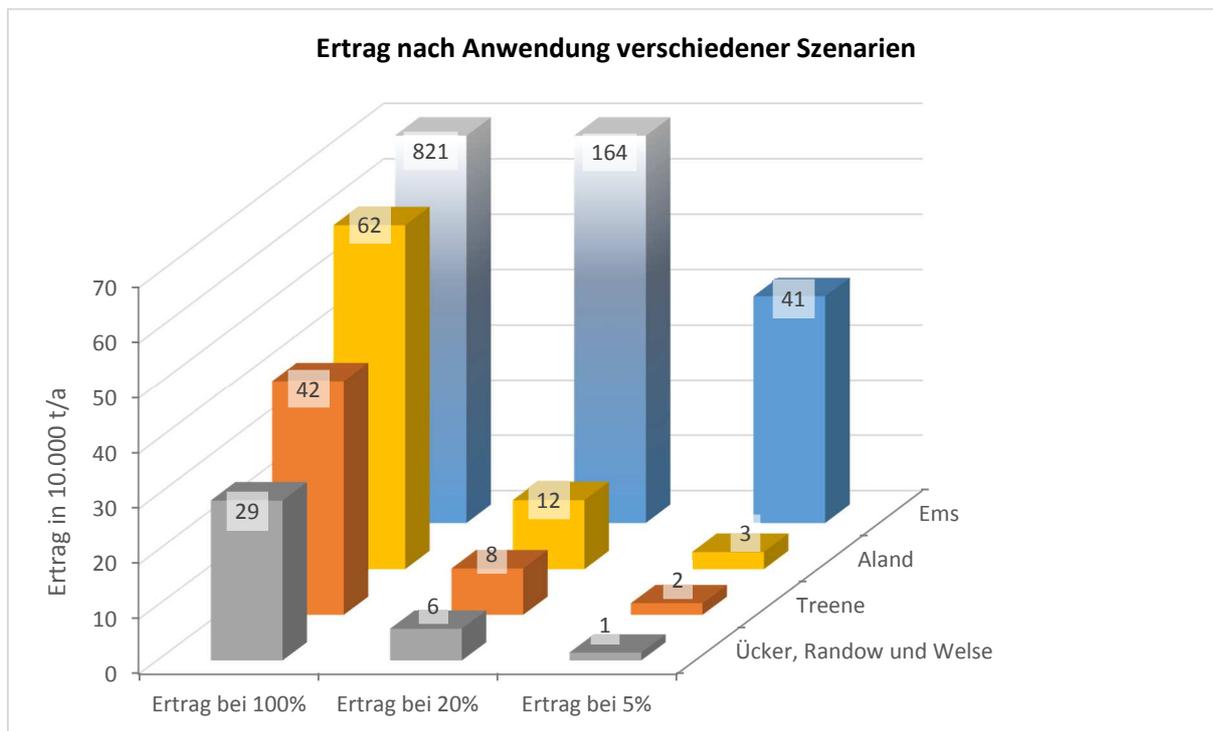


**Karte 4:** Darstellung von TWD, Ertragspotenzial und der daraus resultierenden landschaftlichen Eignung für KUP im Einzugsgebiet des Aaland

Ähnlich wie in den Karten zeigt sich auch in Abbildung 1, dass die maritim geprägten Regionen Ems und Treene die größten Anbaupotenziale haben. Diese Aussage lässt sich mit Einschränkungen auch auf die ermittelten Summen übertragen (Abbildung 2). Hierbei muss berücksichtigt werden, dass die Einzugsgebietsgröße sowie der Anteil landwirtschaftlicher Fläche stark differieren. Dennoch lässt sich festhalten, dass im Einzugsgebiet der Ems mit 5% der geeigneten Fläche etwa 1,2 Millionen Haushalte mit Strom versorgt werden könnten bzw. etwa 50.000 mit Strom und Wärme (Abbildung 3).



**Abb. 1:** Darstellung der prozentualen Verteilung von landwirtschaftlicher, für den Weiden-KUP-Anbau geeigneter und nicht landwirtschaftlicher Fläche. Die dargestellten Anteile beziehen sicher hierbei auf die folgenden Einzugsgebietsgrößen: Ems 9.093,28 km<sup>2</sup>; Treene 476,93 km<sup>2</sup>; Ücker, Randow und Welse 3.289,77 km<sup>2</sup>; Aland 1.906,96 km<sup>2</sup>.

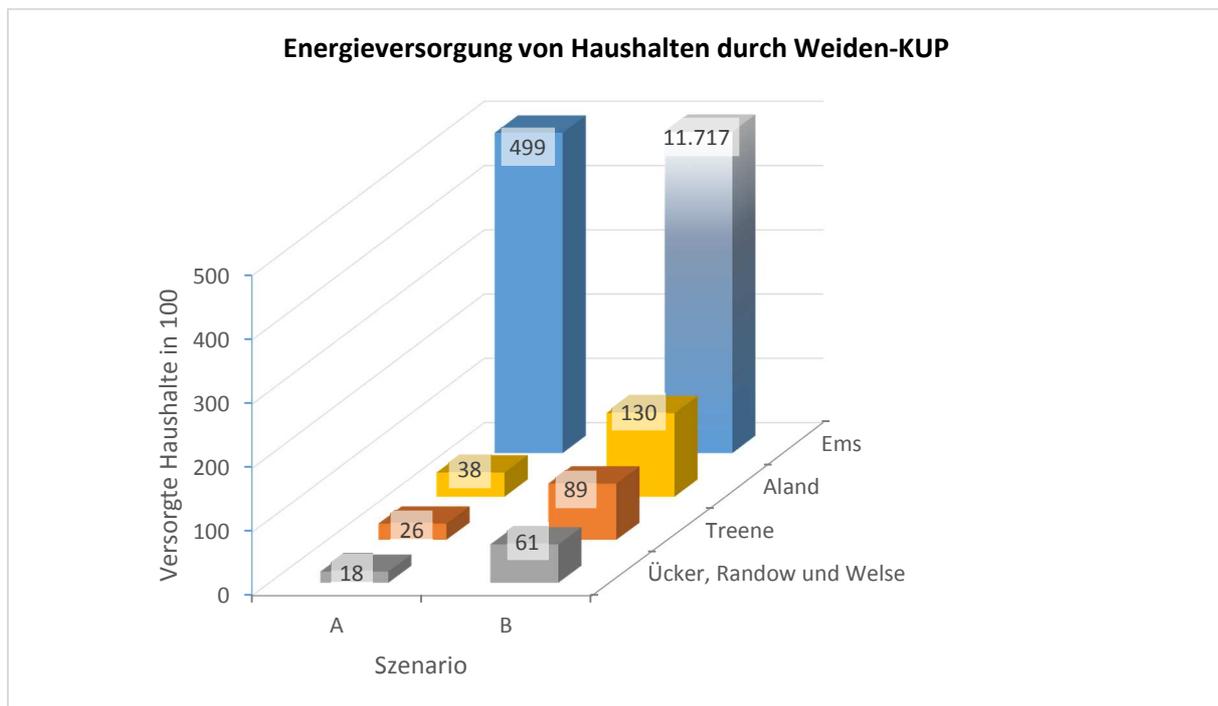


**Abb. 2:** Anbauszenarien prozentual bezogen auf die geeignete landwirtschaftliche Nutzfläche der Einzugsgebiete. Bei relativer Betrachtung müssen die räumlichen Unterschiede der Einzugsgebiete berücksichtigt werden.

Jedoch ist der Anbau nicht unkritisch zu betrachten, da ein hoher Wasserkonsum der Pflanzen gerade in den Sommermonaten negative Auswirkungen auf den Landschaftswasserhaushalt haben könnte. Diese Bedenken bestehen insbesondere für Regionen mit stark negativer klimatischer Wasserbilanz. Andererseits können durch die Wasserabstraktion bzw. -affinität der Pflanzen Gebiete bewirtschaftet werden, welche aufgrund hoher Grundwasserstände bislang drainiert werden müssen, um kultivierbar zu bleiben. In diesem Sinne sollten zukünftig sowohl kritische Aspekte aber auch konkrete Win-Win-Situationen im Anbau Berücksichtigung finden (Hartwich et al. 2014b).

#### 4. Dank

Das Projekt AGENT wird durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert, wofür wir uns bedanken. Darüber hinaus gilt unser Dank dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe sowie dem Deutschen Wetterdienst für die Bereitstellung von Daten.



**Abb. 3:** Szenarien der Energieversorgungsleistung für Privathaushalte, bezogen auf 5% der geeigneten landwirtschaftlichen Nutzfläche. Die Szenarien stehen hierbei für: A - versorgte Haushalte mit Strom und Wärme; B - versorgte Haushalte mit Strom. Bei relativer Betrachtung müssen die räumlichen Unterschiede der Einzugsgebiete berücksichtigt werden.

## Literatur

- Andersen, R., Towers und W., Smith, P. (2005): Assessing the potential for biomass energy to contribute to Scotland's renewable energy needs. In: *Biomass and Bioenergy* 29(2), 73-82.
- Aust, C. (2012): Abschätzung der nationalen und regionalen Biomassepotentiale von Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland. Freiburg.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe [FNR] (2013): Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch. Gülzow-Prüzen. <http://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/anteil-erneuerbarer-energien-am-endenergieverbrauch.html> (08.01.2014)
- Hartwich, J.; Bölscher, J. & Schulte, A. (2014a): Die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers als Kriterium zur Abschätzung des Bioenergiepotentials von KUP-Standorten in Deutschland. In: Grashey-Jansen, S.; Wetzell, K.-F., Chiffard, P.; Karthe, D. (Hrsg.): Beiträge zum 45. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie vom 21.-23. November 2013 in Augsburg. *Geographica Augustana* 16: 29-34.

- Hartwich, J.; Bölscher, J.; Schulte A. (2014b): The impact of short rotation coppice on land and water resources. In: *Water International* 39 (6): 813-841.
- Hartwich, J.; Bölscher, J.; Reinhardt-Imjela, C.; Schulte, A.; Schmidt, M.; Pflugmacher, C. & Murach, D. (2015): Wasserhaushaltsmodellierung von Landnutzungsänderungen durch die Anlage von Kurzumtriebsplantagen in ausgewählten Einzugsgebieten im Norddeutschen Tiefland - Modellaufbau von SWAT. In: Chiffard, P., Karthe, D., Reiss, M., Opp, C. & Groll, M (Hrsg.): Beiträge zum 46. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie vom 20.-22. November 2014 in Marburg. *Geographica Augustana* (diese Ausgabe).
- D. Murach, H. Hartmann, Y. Murn, M. Schultze, A. Wael und H. Röhle (2009): Standortbasierte Leistungsschätzung in Agrarholzbeständen in Brandenburg und Sachsen. In: T. Reeg, A. Bemann, W. Konold, D. Murach und H. Spiecker (Hg.) (2009): *Anbau und Nutzung von Bäumen auf Landwirtschaftlichen Flächen*. Weinheim, 29-40.
- Persson, G. und Lindroth, A. (1994): Simulating evaporation from short-rotation forest: variations within and between seasons. In: *Journal of Hydrology* 156(1), 21-45.



# Assessment of regional groundwater recharge by using pumping tests and oxygen isotope analyses at a well field near Chien-Shih area, Hsinchu, Taiwan

Pei-Ying Lin<sup>\*ab</sup>, Louis Loung-Yie Tsai<sup>a</sup>, Daniel Karthe<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Institute of Applied Geology, National Central University, Taiwan*

<sup>b</sup> *Department Aquatic Ecosystem Analysis and Management, Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Magdeburg, Germany*

## Introduction

Based on global hydrological data, the Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany, classified Taiwan as an area of water shortage. In some regions and particularly during dry periods, groundwater is the only reliable water resource in Taiwan. This is particularly true for mountain regions. Estimating groundwater recharge is a key component in determining the potential yield and sustainable management of groundwater resources. The research presented here consists of three components: (a) groundwater level monitoring including pumping tests; (b) assessment of groundwater composition and mass-balance based identification of recharge sources; (c) comparison of groundwater composition with surface water (spring and river) in the region. We established a monitoring network for groundwater levels on the NCU Research well field near Chien-Shih area, Hsinchu (Fig. 1). Chien-Shih is a mountainous area at Hsinchu County, NW Taiwan. Most of the formations are interbedded shale and sandstone of Miocene to Oligocene in stratigraphic age, with complex geologic structures such as high-angle reverse faults and synclines. The major strata possess good porosity and are conductive to groundwater storage and flow. Furthermore, the well-cemented sandstone creates excellent groundwater aquifer conditions resulted from fractures. The purpose of this study is to apply information from hydrogeochemistry, water table and pumping tests to describe the hydrological processes affecting groundwater recharge so as to investigate the relationships among these processes. The recharge mechanisms of well fields can be evaluated toward this end, especially the source and path of recharge. The final aim is to establish a conceptual model of flow processes and water origin in the well field area.

**Method**

Groundwater was sampled from a network of wells drilled from 2008-2009. Moreover, groundwater was sampled at specific time intervals during a pumping test (Fig. 2). Nearby river and spring water were also collected before and after pumping tests. Stable oxygen isotopes of water samples were then analyzed. The isotopic data were compared with geochemical characteristics of aquifer and local meteoric water line (LMWL) ( $\delta D = 8.1 \times \delta^{18}O + 13$ ) in the study area.

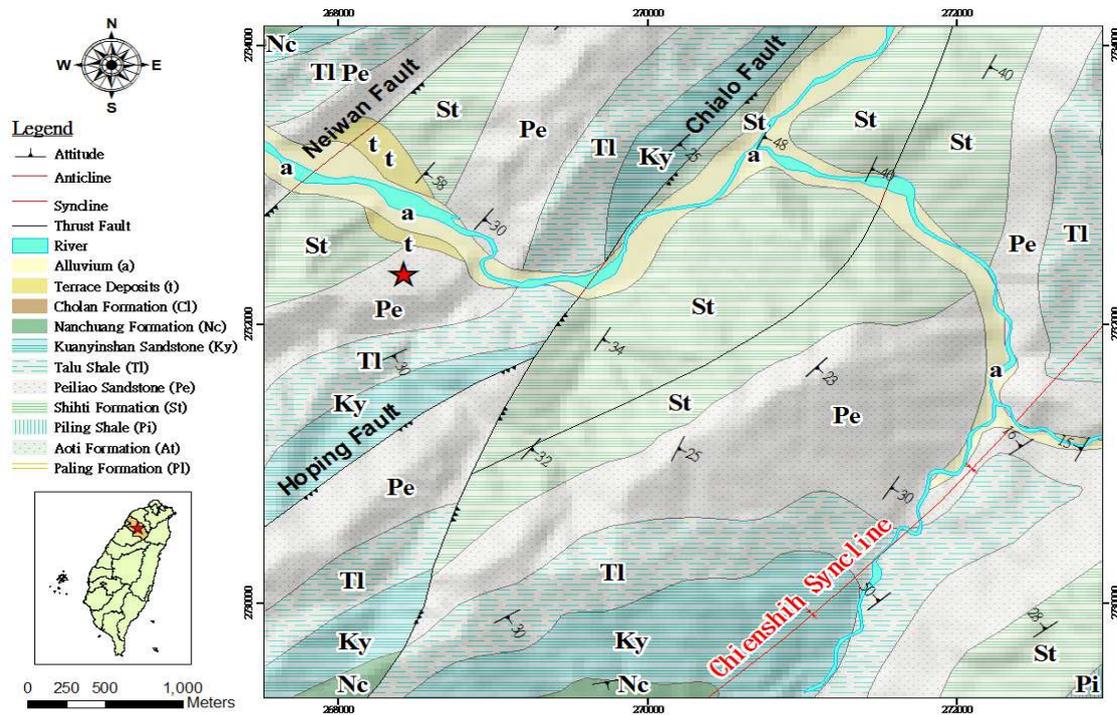


Fig. 1: The Geological map (★: NCU well field) and geological profiles of boreholes at NCU Research

well field near Chien-Shih area, Hsinchu, Taiwan

**Results and Discussion**

For the purpose of regional groundwater management, knowledge about the residence time of groundwater is an important parameter for planning groundwater protection and improvement measures. According to calculations based on mass-balance equations, the contribution of recharge from precipitation was much higher in spring water (13.70~46.30%) than in river (11.94~16.67%). In heavy rain periods, the springs (71-100%) from the catchment in the study area is the major recharge source of groundwater than the river (0-86%) and precipitation (0-32%). In light rain periods, the springs (44-100%) from the catchment in the study area is the major recharge source of groundwater than the river (11-88%) and precipitation (0-31%).

Short- and long-term variations in hydrochemistry were surveyed to investigate the subsurface water infiltration. The variation of oxygen isotopes indicated that the major recharge source near Well-W is river, shallow aquifer and precipitation; whereas Well-W1 has a relatively steady recharge and the same sources; and the recharge source of Well-N is very stable, i.e., a shallow aquifer combined with deep aquifers (Fig. 3 (a)). Rainfall occurred for 150 min during the long-term experiment. The isotopic features of groundwater at the time, as indicated by Fig. 3 (b), suggest that the influence of precipitation was greater than the effect of the original recharge conditions. In particular, water from the spring, the river and Well-W2 exhibit a well-connected or continuous fracture system near those locations. As these fractures were still developing, they did not close and were expected to speed up the additional water flows and enhance the drainage, as can be observed in the groundwater recordings.

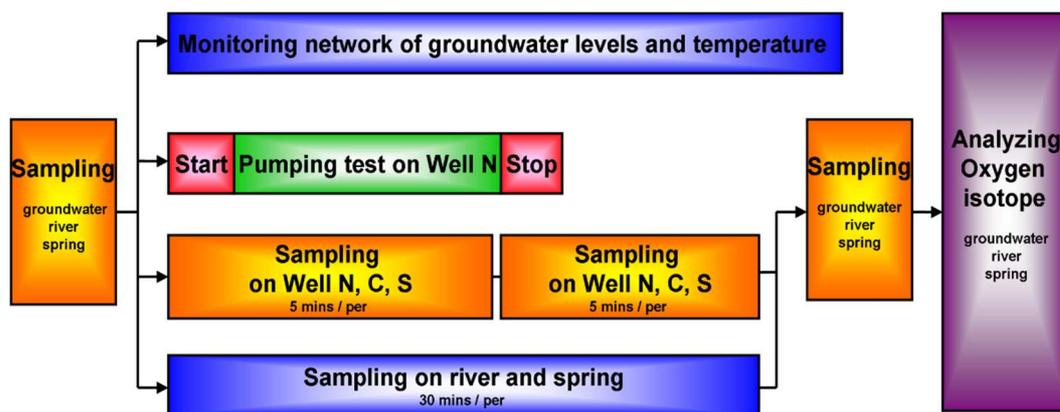
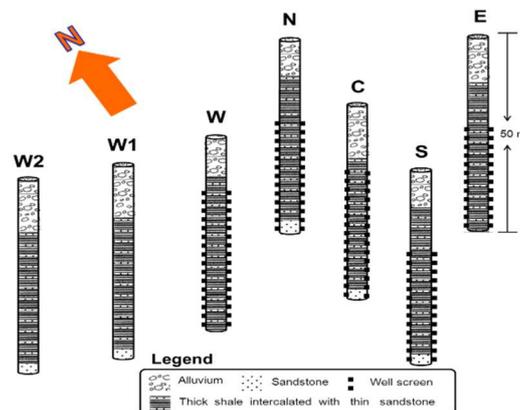


Fig. 2 The main procedure of pumping test.

Integrating background information, hydrogeochemical characteristics and spatial distribution can improve our understanding of the hydrological processes in the study area. Water chemistry has shown that rain waters

and moraine aquifers were not the only inputs, but is also derived from the nearby mountainous region and/or river. The evidence for an evaporite origin involves the contribution of areas outside the catchment limits. It is interesting to note that the particular zone near Well-W2 is considered to exhibit the most geochemical variation. The meteoric water stored in the mountain region provides recharge and leads to variation in the hydrochemical trends during the dry season. It is noteworthy that the isotope composition of Well-W1 is similar to that of the river, which suggests that there is a well-connectivity between river and Well-W1 through fracture networks. The time-delay effect was more conspicuous in locations with a longer pathway from the origin of the water bodies or with deeper recharge sources. The summarized features of the hydrogeochemical analyses can be used to create a conceptual model of the flow processes and water origin in the study area (Fig. 4).

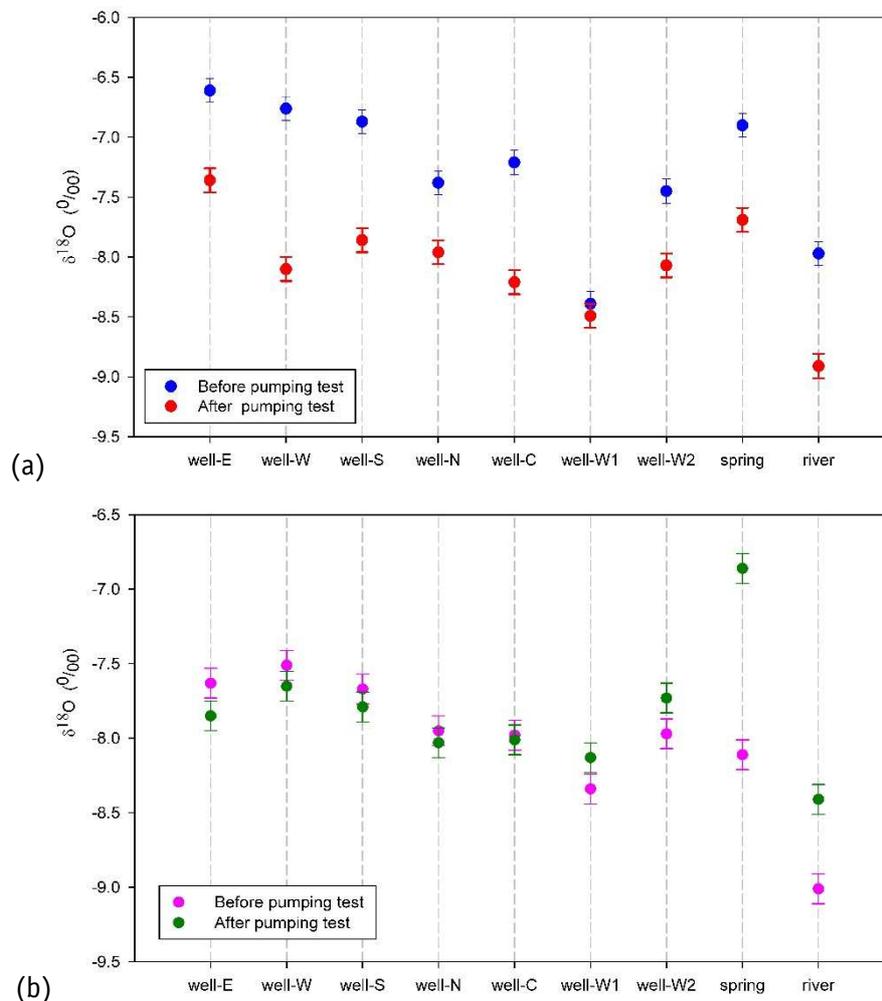


Fig. 3 The variation of  $\delta^{18}O$  before and after the (a) short-term; (b) long-term pumping test at the well field near Chien-Shih area, Hsinchu, Taiwan

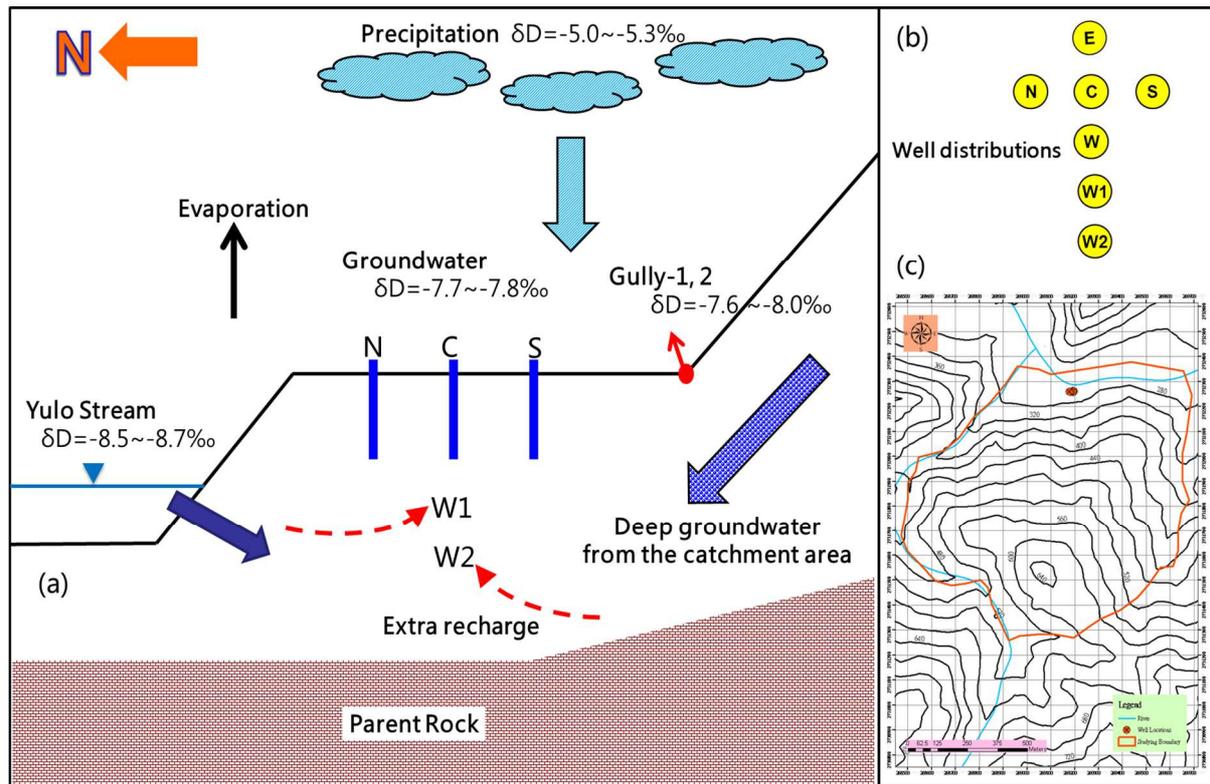


Fig. 4 The non-scaled conceptual flow model: (a) showing the recharge and flow patterns of groundwater in the study area, (b) well distributions at the well field and (c) the boundary of the catchment in the study area.

### Conclusions

The fluctuations of water table revealed that the recharge source of groundwater in study area is not only precipitation but is also derived from the nearby mountainous region or river. Compared to historical data, the isotope composition became lighter by additional recharge from river on Well-C, Well-W1 and heavier on Well-E, Well-W, Well-W2 during rainy season. It became lighter on Well-W1 and heavier on others wells during dry season respectively. Water from spring, river and Well-W2 is connected through a continuous crack system close to those locations. The recharge of the aquifer by the spring and river generates a dilution effect by water infiltration. The research results provide insights into the recharge mechanism of the field, in particular into the sources and pathways of recharge.

## References

- Barbieri, M.; Boschetti, T.; Petitta, M. and Tallini, M. (2005): Stable isotope ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) and hydrochemistry monitoring for groundwater hydrodynamics analysis in a karst aquifer (Gran Sasso, Central Italy). In: *Applied Geochemistry* 20, 2063-2081.
- Chapman, J. B.; Lewis, B. and Litus, G. (2008): Chemical and isotopic evaluation of water sources to the fens of South Park Colorado. In: *Environmental Geology* 43, 533-545.
- Epstein, S. and Mayeda, T. (1953): Variation of O-18 content of waters from natural sources. In: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 4, 213-224.
- Gurrieri, J. T. and Furniss, G. (2004): Estimation of groundwater exchange in alpine lakes using nonsteady mass balance methods. In: *Journal of Hydrology* 297, 187-208.
- Locsey, K. L. and Cox, M. E. (2003): Statistical and hydrochemical methods to compare basalt and basement rock hosted groundwaters: Atheron Tablelands, north-eastern Australia. In: *Environmental Geology* 43, 698-713.
- De Montety, V.; Marc, V.; Emblanch, C.; Malet, J. P.; Bertrand, C.; Maquaire, O. & Bogaard, T.A. (2007): Identifying the origin of groundwater and flow processes in complex landslides affecting black marls: insights from a hydrochemical survey. *Earth Surface In: Processes & Landforms* 32:32-48.
- Peng, T. R.; Wang, C. H.; Lai, T. C. and Ho, F. S. (2007): Using hydrogen, oxygen, and tritium isotopes to identify the hydrological factors contributing to landslides in a mountainous area, central Taiwan. In: *Environmental Geology* 52, 1617-1629.
- Pereira, H. G.; Renca, S. and Sataiva, J. (2003): A case study on geochemical anomaly identification through principal component analysis supplementary projection. In: *Applied Geochemistry* 18:37-44.
- Walton-Day, K. and Poeter, E. (2009): Investigating hydraulic connections and the origin of water in a mine tunnel using stable isotopes and hydrographs. In: *Applied Geochemistry* 24, 2266-2282.
- Wang, Y.; Ma, T. and Luo, Z. (2001): Geostatistical and geochemical analysis of surface water leakage into groundwater on regional scale: a case study in the Liulin karst system, northwestern China. In: *Journal of Hydrology* 246, 223-234.

## Wasserabhängigkeit von Kohlenstoffspeicherung natürlicher Auenökosysteme am Unterlauf des Tarim, NW China

Florian Betz<sup>1,2</sup>, Martin Kuba<sup>1</sup>, Bernd Cyffka<sup>1</sup>, Aishan Tayierjiang<sup>3</sup>, Ümüt Halik<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Katholische Universität Eichstätt Ingolstadt, Angewandte Physische Geographie

<sup>2</sup>Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Gastprofessur für Ökosystemforschung

<sup>3</sup>Xinjiang University, Key Laboratory of Oasis Ecology

### Einleitung und Untersuchungsgebiet

Der Tarim und seine Aue haben für das gleichnamige Becken eine herausragende ökologische Bedeutung. Die Auenökosysteme stellen in der ansonsten eher artenarmen Region nicht nur einen Hotspot der Biodiversität dar, sondern erfüllen auch eine Reihe von Ökosystemdienstleistungen, wie etwa den Schutz vor Sand- und Staubstürmen (Thevs 2011, Cyffka et al. 2013). Darüber hinaus wird eine beträchtliche Menge an Kohlenstoff in der Hauptart dieser sogenannten Tugai-Wälder, der *Populus euphratica*, gespeichert (Thevs et al. 2012). Dieser Kohlenstoff kann nicht als CO<sub>2</sub> in die Luft gelangen und entsprechend nicht zum globalen Klimawandel beitragen.

Aufgrund der hyperariden Bedingungen mit gerade einmal 12 mm Jahresniederschlag und einer potentiellen Evapotranspiration von mehr als 3000 mm stellt der Abfluss des Tarim die einzige Wasserquelle für die Vegetation am Tarim dar. Entsprechend konzentrieren sich Biomasse und Kohlenstoffspeicherung der Region entlang des Flusslaufes, Aue und Wüste sind hier eng miteinander verzahnt (siehe auch Abb. 1).

Dieses fragile Ökosystem ist allerdings stark durch Wassermangel bedroht. Die Erweiterung der Bewässerungsflächen entlang des Ober- und Mittellaufes verbunden mit dem Bau von Stauseen verbrauchten so viel Wasser, dass der Unterlauf über viele Jahre trocken fiel. Erst seit 2000 wird in einem Projekt der Chinesischen Behörden wieder gezielt sog. „Ökologisches Wasser“ zur Auffüllung des Taitema-Endsees und zur Regeneration der Tugai-Vegetation in den Unterlauf geleitet (Aishan et al. 2013).

Vor diesem Hintergrund des Wasserkonflikts zwischen Bewässerung und natürlichen Ökosystemen beleuchtet diese Studie die Kohlenstoffspeicherung durch die Tugai-Wälder am Tarim, um die Bedeutung des Erhalts und nachhaltigen Managements dieses Ökosystems zu unterstreichen.



Abb. 4: Tugai-Vegetation am Unterlauf des Tarim

### Material und Methoden

Basis für die Schätzung der Biomasse sind Daten zu ca. 4500 Euphratpappeln, die von der Xinjiang Universität im Rahmen eines Monitoringprogramms erhoben wurden. Diese liegen als GIS-Datenbank vor und liefern die Eingangsgrößen für die in Tabelle eins zusammengefassten statistischen Formeln, die von Chen und Li (1984) auf der Grundlage von Messungen an gefällten Bäumen aufgestellt wurden (Thevs et al. 2012).

Tab. 1: Statistische Formeln der Biomasse von Chen und Li (1984); D entspricht dabei dem Brusthöhendurchmesser in cm und H der Baumhöhe in m (nach Thevs et al. 2012)

Fraktion	Gleichung	Korrelationskoeffizient
Stammbiomasse ( $B_s$ )	$\text{Log } B_s = \log 0,0382 + 0,8837 \log D^2 H$	0,99
Astbiomasse ( $B_a$ )	$\text{Log } B_a = \log 0,1072 + 0,6350 \log D^2 H$	0,89
Blattbiomasse ( $B_b$ )	$\text{Log } B_b = \log(1,41 \cdot 10^{-4}) + 0,8134 \log D^2 H$	0,71
Wurzelbiomasse ( $B_w$ )	$\text{Log } B_w = \log 0,1059 + 0,6185 \log D^2 H$	0,94
Gesamtbiomasse ( $B$ )	$B = B_s + B_a + B_b + B_w$	

Dieses Modell in Kombination mit den Monitoringdaten erlaubt die räumlich explizite Schätzung der Biomasse als Punktwerte für alle Einzelbäume. Anschließend werden diese Punktdaten im GIS in einen Rasterdatensatz mit 30 m Auflösung überführt. Dieser enthält in jeder Rasterzelle jeweils die Summe der Biomasse der überlagernden Punktwerte. Danach wurden die korrespondierenden NDVI-Werte aus Landsat 7 Daten extrahiert und mit den Biomassewerten korreliert. Die daraus resultierende Gleichung wurde auf einen NDVI-Datensatz für den gesamten Unterlauf des Tarim angewendet. Schließlich wurde die Biomasse über einen Umrechnungsfaktor von 0,5 in Kohlenstoffspeicherung umgerechnet. Dieser Faktor ist dabei allgemein für den Kohlenstoffgehalt von Baumbiomasse akzeptiert (IPCC 2006). Der daraus resultierende Rasterdatensatz wurde abschließend im Hinblick auf die gespeicherte Kohlenstoffmenge und deren räumliche Verteilung hin analysiert.

## Ergebnisse und Diskussion

Wichtiges Zwischenergebnis dieser Studie zur Kohlenstoffspeicherung ist eine statistische Gleichung, die den über Fernerkundung flächenhaft verfügbaren NDVI in Beziehung setzt zur Biomasse. Aufgrund der deutlich nicht linearen Beziehung wurde hierfür eine Exponentialgleichung gewählt (Gleichung 1). Ein Scatterplot zusammen mit dem Funktionsgraphen ist in Abbildung 2(b) dargestellt.

$$\text{Biomasse[kg]} = 133,69 \exp(26,5155 \text{ NDVI}) \quad (1)$$

Da allerdings nur die Biomasse von *Populus euphratica* in die statistische Modellbildung eingeht, ist die Anwendung auch auf Bereiche beschränkt, die deutlich von dieser Art dominiert sind. Dies trifft allerdings für die Tugai-Wälder am Unterlauf des Tarim zu (Aishan et al. 2014).

Wendet man nun diese Gleichung auf NDVI-Werte für den gesamten Unterlauf des Tarim an, ergibt sich eine Gesamtmenge an gespeichertem Kohlenstoff von  $1106 \times 10^3$  Tonnen. Die entsprechenden Konfidenzbereiche dieser Schätzung, die sich aus den Vertrauensbereichen des statistischen Modells ergeben sind in Abbildung 2(c) dargestellt. Die Unsicherheit resultiert dabei primär aus der Existenz weiterer Arten, die nicht in die Modellbildung eingehen, sowie unterschiedlichen ökologischen Zuständen der Euphratpappeln, die unterschiedliche NDVI Werte bei ähnlicher Biomasse zur Folge haben.

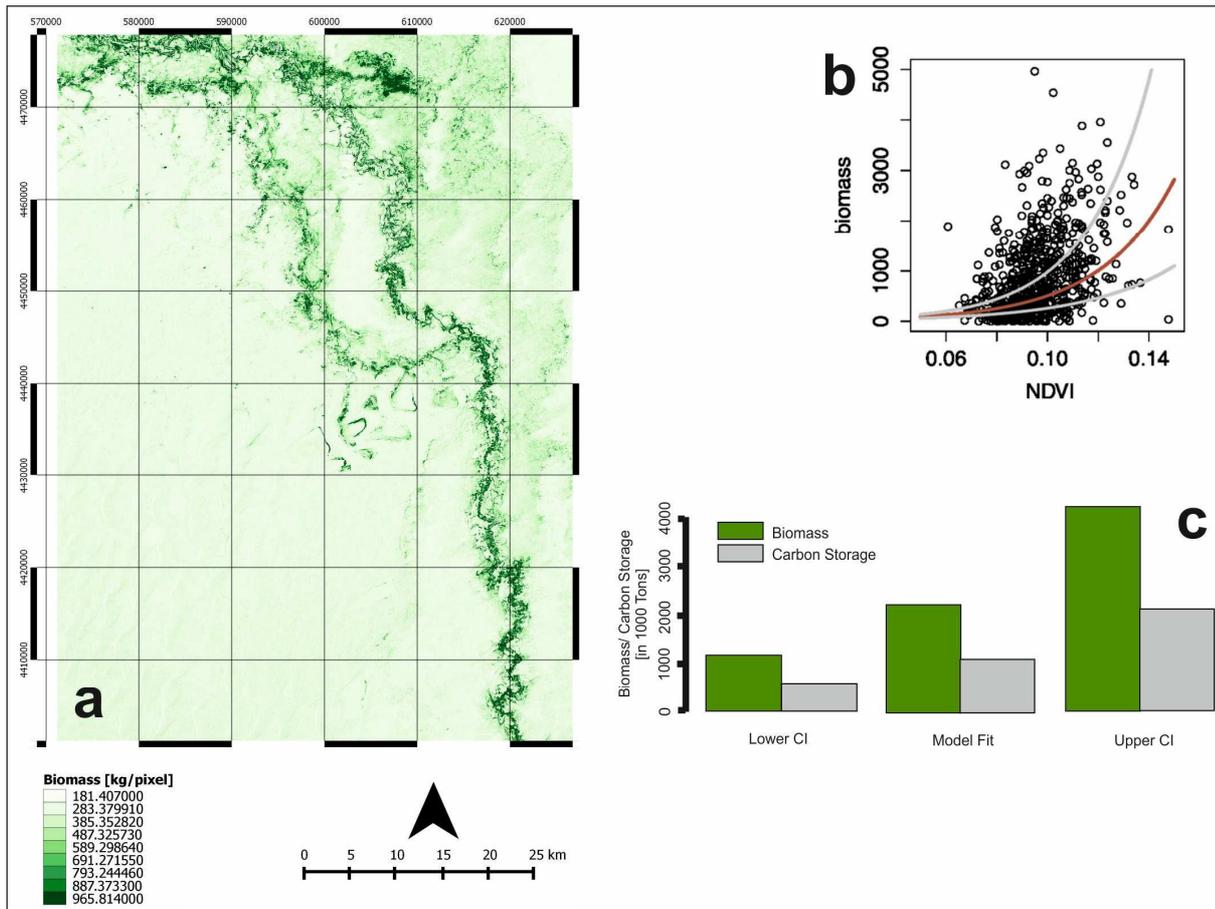


Abb. 5: Ergebnisse der Biomasse- und Kohlenstoffschätzung: a) Räumliche Verteilung der Biomasse am Unterlauf des Tarim; b) Korrelation zwischen Landsat NDVI-Werten und der Biomasse; c) Biomasse und Kohlenstoffspeicherung; Lower CI and Upper CI beziehen sich auf die Konfidenzintervalle des Modells

Betrachtet man nun die räumliche Verteilung der Biomasse in Abbildung 2(a), so ist ein klares Muster erkennbar. Sie konzentriert sich deutlich entlang des Flusslaufes des Tarim. Für einen Ausschnitt wurde diese Abhängigkeit mittels einer Bufferanalyse weitergehend untersucht, wobei der Abstand zum Gerinne als Proxy für die Wasserverfügbarkeit angenommen wird. Die daraus resultierende Beziehung zwischen Abstand zum Gerinne und Kohlenstoffspeicherung ist in Abbildung 3 dargestellt.

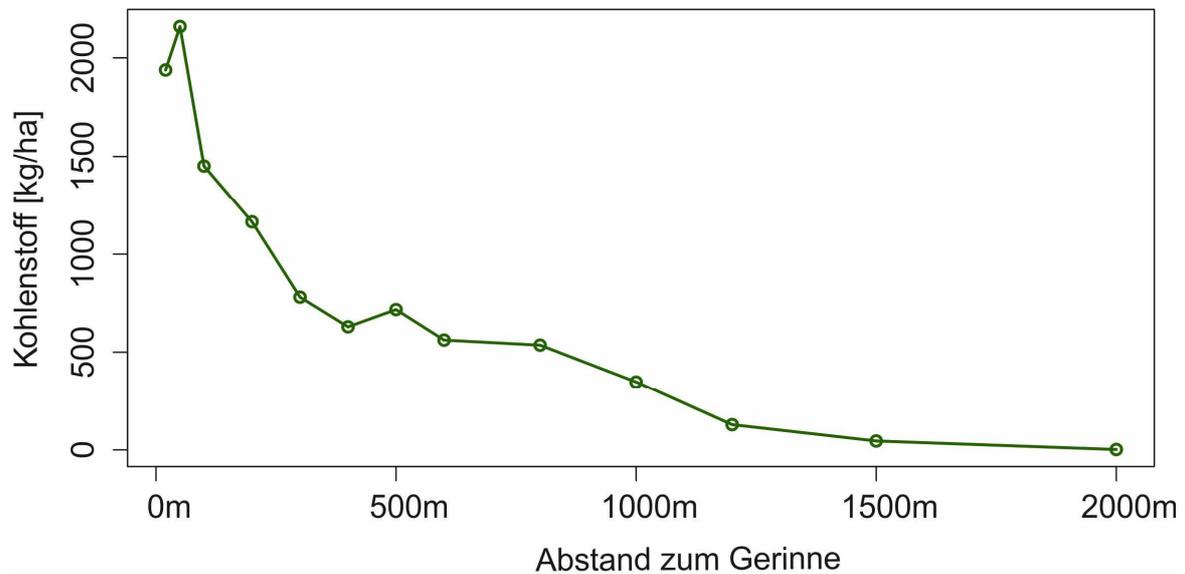


Abb. 6: Beziehung zwischen Abstand vom Gerinne und Biomasse von *Populus euphratica*

Hier zeigt sich, dass 64% des Kohlenstoffs in weniger als 200 m Entfernung vom Gerinne entfernt gespeichert sind. Dies kann als klarer Hinweis auf die Abhängigkeit der Kohlenstoffspeicherung vom Abfluss des Tarim interpretiert werden. Die Ursache hierfür ergibt sich aus der Ökologie von *Populus euphratica*. Zunächst einmal ist diese Art als echter Phreatophyt (Thomas 2014) auf eine permanente Wasserversorgung über das Grundwasser angewiesen (Thevs et al. 2012, Kuba et al. 2013, Aishan et al. 2014). Aufgrund der extrem geringen Niederschläge ist der Grundwasserflurabstand nur in der Nähe der Gerinne ausreichend klein um eine Aufnahme von Wasser durch die Wurzeln zu gewährleisten (Kuba et al. 2013). Darüber hinaus ist die Verjüngung der Euphratpappeln auf vegetationsfreie Standorte mit ausreichend hoher Bodenfeuchte angewiesen. Diese treten ausschließlich auf offenen Standorten entlang des Tarim auf. Entscheidend ist die Lage im Überflutungsbereich, um eine ausreichende Bodenfeuchte für die Keimung der Pappelsamen zu gewährleisten und die Keimlinge mit Wasser zu versorgen. Entsprechend können sich Jungpflanzen nur entlang der Gerinne etablieren, in anderen Bereichen ist eine erfolgreiche Keimung aufgrund von Wassermangel nicht möglich (Thevs et al. 2012, Kuba et al. 2013).

### Fazit: Herausforderung der nachhaltigen Entwicklung

Die Euphratpappeln in den Tugai-Wäldern am Unterlauf des Tarim speichern eine beträchtliche Menge an Kohlenstoff und tragen so zu einer Vermeidung des globalen Klimawandels bei. Ob eine nachhaltige Entwicklung möglich ist (nachhaltig im Sinne langfristig stabiler Bestände) ist zum momentanen Zeitpunkt allerdings trotz der Überleitung des „ökologischen Wassers“ noch unklar. So zeigt sich nach einer kurzfristigen Erholung der Grundwasserbestände zu Beginn der Wasserüberleitung seit 2004 erneut ein signifikantes Absinken des

Grundwasserspiegels (siehe auch Abb. 4). Dies weist darauf hin, dass aufgrund des Wasserbedarfs für die Landwirtschaft eine zu geringe Wassermenge für den Unterlauf und seine natürlichen Ökosysteme zur Verfügung gestellt wird (Thevs 2011). Die Konsequenz daraus ist eine Degradation der Tugai-Bestände. Insbesondere in flussfernen Bereichen, die aufgrund eines hohen Grundwasserflurabstands bereits heute Grenzstandorte für *Populus euphratica* darstellen wird es zu einer Degradation bis hin zum Absterben dieser Art kommen (Aishan et al. 2014).

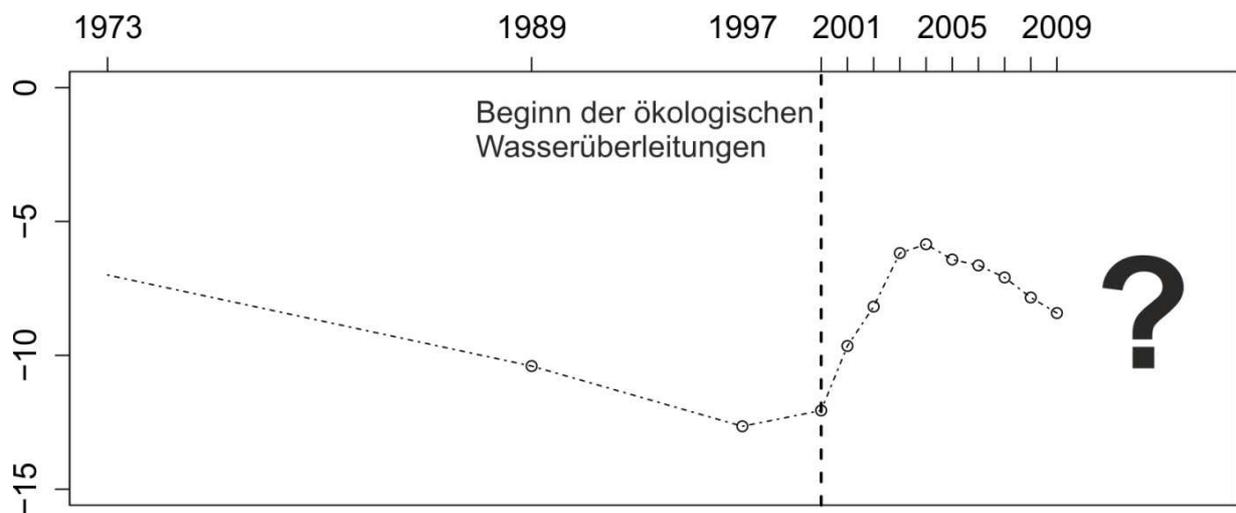


Abb. 7: Entwicklung der Grundwasserstände am Unterlauf des Tarim (nach Aishan et al. 2013)

Daneben muss das Management der ökologischen Wasserüberleitungen auf die Ökologie der Tugai-Wälder abgestimmt sein, um eine Verjüngung der Bestände und damit deren langfristige Stabilität zu sichern. Entscheidend hierfür ist, dass während der Keimungsperiode von *Populus euphratica* eine ausreichende Wassermenge zur Verfügung steht (Thevs 2011). Um langfristig die Kohlenstoffspeicherung am Unterlauf des Tarim zu sichern, ist also aus wissenschaftlicher Sicht ein Wassermanagement notwendig, dass eine auf die Ökologie der natürlichen Auenvegetation abgestimmte Überleitung von Wasser in einer ausreichenden Menge ermöglicht.

**Literatur**

Aishan, T.; Halik, Ü.; Cyffka, B.; Abduliz, A.; Baidourel, A. (2013): Monitoring the hydrological and ecological response to water diversion in the lower reaches of the Tarim River, northwest China. In: Quaternary International 311, 155-162.

- Aishan, T.; Halik, Ü.; Kurban, A.; Cyffka, B.; Kuba, M.; Betz, F.; Keyimu, M. (2014): Eco-Morphological Response of floodplain forests (*Populus euphratica* Oliv.) to water diversion in the lower Tarim River, northwest China. In: Environmental Earth Science 73, 533-545.
- Chen, B.H.; Li, H.Q. (1984): Study on biomass of natural diversifolious poplar plantations in river Talimu, Xinjiang, Western China. In: For. Sc. Technol. Xinjiang 3, 8-16. (Chinesisch)
- Cyffka, B.; Rumbaur, C.; Kuba, M.; Disse, M. (2013): Sustainable Management of River Oasis along the Tarim River P.R. China (SuMaRiO) and the Ecosystem Service Approach. In: Geography, Environment, Society 6, 77-90.
- IPCC (2006): 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 4: Agriculture, forestry and other land use. Hayama.
- Kuba, M.; Aishan, T.; Cyffka, B.; Halik, Ü. (2013): Analysis of connections between soil moisture, groundwater level and vegetation vitality along two transects at the Lower Reaches of the Tarim River, Northwest China. In: Geo-Öko 34, 103-128.
- Thevs, N. (2011): Water scarcity and allocation in the Tarim Basin: Decision structures and adaptations at the local level. In: Journal of current Chinese affairs 40, 113-137.
- Thevs, N.; Buras, A.; Zerbe, S.; Kühnel, E.; Abdusalih, N.; Ovezberdiyeva, A. (2012): Structure and wood biomass of near-natural floodplain forests along the Central Asian rivers Tarim and Amu Darya. In: Forestry 85, 193-202.
- Thomas, F.M. (2014): Ecology of Phreatophytes. In: Lüttge, U., W. Beyschlag & J. Cushman (eds.): Progress in Botany, vol. 75., pp. 335-376, Springer Verlag, Heidelberg.