

MANUSKRIPTE

GEOGRAPHICA AUGUSTANA

Peter Chifflard, Daniel Karthe
Sven Grashey-Jansen, Karl-Friedrich Wetzel

**Beiträge zum 45. Jahrestreffen
des Arbeitskreises Hydrologie
vom 21.-23. November 2013
in Augsburg**



Universität Augsburg
Institut für Geographie

Band 16

GEOGRAPHICA AUGUSTANA

GEOGRAPHICA AUGUSTANA

**Sven Grashey-Jansen, Karl-Friedrich Wetzel,
Peter Chifflard, Daniel Karthe**

**Beiträge zum 45. Jahrestreffen
des Arbeitskreises Hydrologie
vom 21.-23. November 2013 in Augsburg**

Peter Chiffard, Daniel Karthe, Sven Grashey-Jansen, Karl-Friedrich Wetzel

**Beiträge zum 45. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie vom 21.-23. November 2013
in Augsburg**

Augsburg 2014

Copyright: Institut für Geographie, Universität Augsburg 2006

Alle Rechte vorbehalten

**Umschlaggestaltung Jochen Bohn
Textverarbeitung Peter Chiffard**

Vorwort der Editoren

In diesem Jahr hat das jährliche Treffen des Arbeitskreises Hydrologie in Augsburg stattgefunden. Gastgeber waren das Institut für Geographie der Universität Augsburg und das Bayerische Landesamt für Umwelt, in dessen Räumlichkeiten der Arbeitskreis tagen konnte. Diese Allianz ist nicht zufällig, vielmehr gibt es vielfältige Verbindungen zwischen der Universität und dem Institut für Geographie einerseits und dem Bayerischen Landesamt für Umwelt andererseits. Von Lehraufträgen durch Mitarbeiter des Landesamtes im Bereich der Geographie über gemeinsame Ringvorlesungen bis hin zu Forschungsprojekten und nicht zuletzt der Betreuung von Praktikanten wird kooperiert. Aufgrund der räumlichen Enge in der Universität mit stetig wachsenden Studentenzahlen waren die Veranstalter daher sehr dankbar, die Tagung im Konferenzsaal des Landesamtes abhalten zu können.

Augsburg hat eine besondere Relation zum Wasser. Es gibt wohl keine Stadt auf der Welt, die ihr Wasser zum UNESCO Weltkulturerbe deklarieren will. Augsburgs Wasserwirtschaft hat eine sehr lange Tradition, die heute in zahlreichen Kanälen, Brunnen und wasserbezogenen Bauwerken bewundert werden kann. Eines der Highlights der Augsburger Wasserwirtschaft ist das historische Wasserwerk, das im Rahmen einer Exkursion am Freitag, den 22.11.2013 besucht wurde. In Augsburg ist unter dem Dach des Bayerischen Landesamtes für Umwelt das ehemalige Landesamt für Wasserwirtschaft untergebracht, in dem die wasserbezogenen öffentlichen Aufgaben in Bayern gebündelt sind. An der Universität Augsburg hat sich der Bereich der Hydrologie in den vergangenen zwei Jahrzehnten stetig weiterentwickelt. Am Institut für Geographie wird die Hydrologie im Zusammenhang mit dem Klima an zwei Lehrstühlen und durch eine Professur zur Ressourcen-geographie des Wassers vertreten. Die Aktivitäten reichen hierbei von der Hydroklimatologie über regionale Modellierung und den Stoffflüssen in aquatischen Systemen bis hin zur Hochgebirgshydrologie. Im Konsortium des virtuellen Instituts UFS Schneefernerhaus vertritt die Universität Augsburg durch das Institut für Geographie die thematische Säule Hydrologie. Damit war und ist Augsburg sicherlich ein guter Ort für die Austragung einer Tagung zur Hydrologie.

Das diesjährige Tagungsprogramm beinhaltete mit 19 Vorträgen und zusätzlichen Postern wieder ein breites Spektrum hydrologisch relevanter Themen. Dabei wurden die Themenbereiche Hochwasserschutz, Abflussbildung, Gewässergüte und Trinkwassersicherheit genauso behandelt wie Fragen des Oberflächenabflusses auf Nutzflächen und der Schnee- und Hochgebirgshydrologie. Der engagierte Gastvortrag von Dr. U. Mäck (ARGE Donaumoos) zu ersten Erfolgen der Wiedervernässung im Leipheimer Moos fand großen Anklang. Die Pausen und die gemeinsamen Veranstaltungen, wie z.B. die Brauereibesichtigung am 21.11.2013, wurden intensiv für den Gedankenaustausch genutzt.

Im Rahmen dieses Jahrestreffens stand die Neuwahl der Sprecher auf dem Programm. Nach nunmehr 6 Jahren als Sprecher und stellvertretender Sprecher hat Prof. Dr. B. Cyffka (Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt) sein Amt zur Verfügung gestellt. Als neuer Sprecher wurde Dr. D. Karthe (UFZ Magdeburg) und als zweiter Sprecher Prof. Dr. P. Chiffard (Philipps-Universität Marburg) für zwei Jahre gewählt. Der Arbeitskreis dankt Prof. Cyffka herzlich für sein Engagement in den vergangenen Jahren und wünscht dem neuen Sprecherteam eine gute und erfolgreiche Amtszeit.

Im Jahr 2014 wird das Jahrestreffen am Fachbereich Geographie der Philipps-Universität Marburg, vom 20.-22. November, stattfinden. Organisiert wird das Treffen von Herrn Prof. Dr. C. Opp und Prof. Dr. P. Chiffard. Die Veranstalter freuen sich schon jetzt über Ihr zahlreiches Erscheinen.

Augsburg, März 2014

Sven Grashey-Jansen

Karl-Friedrich Wetzell

Peter Chiffard

Daniel Karthe

Inhaltsverzeichnis

Niederschlagsentwicklung während des Junihochwassers 2013 in Sachsen und Schlussfolgerungen zur Hochwasserentstehung <i>C. Reinhardt-Imjela & A. Schulte</i>	2
Lösungsansätze zur Abwasserbehandlungsproblematik im ländlichen Raum aus ökologischer, sozio-ökonomischer und demographischer Sicht <i>Bastian Ziebolz & Christian Opp</i>	7
Fernerkundung mittels Stabkamera am Beispiel der Renaturierung Salzböde <i>M. Treppesch, C. Opp, C. Reudenbach</i>	12
Trinkwasserversorgung und -hygiene in Deutschland: Herausforderungen im Kontext sich verändernder Rahmenbedingungen <i>D. Karthe</i>	18
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 <i>T. Lotz, C. Opp, Z. Sun</i>	24
Die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers als Kriterium zur Abschätzung des Bioenergiepotentials von KUP-Standorten in Deutschland <i>Jens Hartwich, Jens Bölscher und Achim Schulte</i>	29
Optimierte satellitengestützte Schneeflächenkartierung im Einzugsgebiet Zugspitzplatt mit Hilfe von terrestrischen Digitalkameraaufnahmen und dem Softwaretool PRACTISE <i>S. Härer, M. Bernhardt, K. Schulz</i>	35
Analyse der zukünftigen Entwicklung von Abflussexremen im Einzugsgebiet des Dongting-Sees, Provinz Hunan, China <i>A. Trabert, T. Lotz, Z. Sun & C. Opp</i>	41
Das Durchmischungsregime des Ammersees <i>T. Büche, & M. Vetter</i>	46
Experimentelle Untersuchungen zur Transportdynamik von Schwermetallen und organischem Kohlenstoff in einem forsthydrologischen Einzugsgebiet (Mittelhessen) <i>P. Chiffard, M. Reiss, H. Meesenburg</i>	51

Niederschlagsentwicklung während des Junihochwassers 2013 in Sachsen und Schlussfolgerungen zur Hochwasserentstehung

Christian Reinhardt-Imjela & Achim Schulte

FB Geowissenschaften, FR Angewandte Geographie, Umwelthydrologie und Ressourcenmanagement

Als wesentlicher Auslöser für die Hochwasserkatastrophe Ende Mai/Anfang Juni 2013 ist die vorherrschende Großwetterlage Tief Mitteleuropa zu sehen, die als Vb-ähnliche Lage eingestuft wird. Diese führte im Einzugsgebiet der Elbe in Böhmen und insbesondere in den Hochwasserentstehungsgebieten im Erzgebirge (Sachsen) zu intensiven und andauernden Niederschlägen. Ein Schwerpunkt des Niederschlagsgeschehens lag dabei in den Einzugsgebieten von Zwickauer und Freiburger Mulde, die große Teile des Erzgebirges entwässern und ab dem Zusammenfluss oberhalb von Grimma die Vereinigte Mulde bilden, die wiederum bei Dessau in die Elbe mündet. Eine Auswertung von Sta-

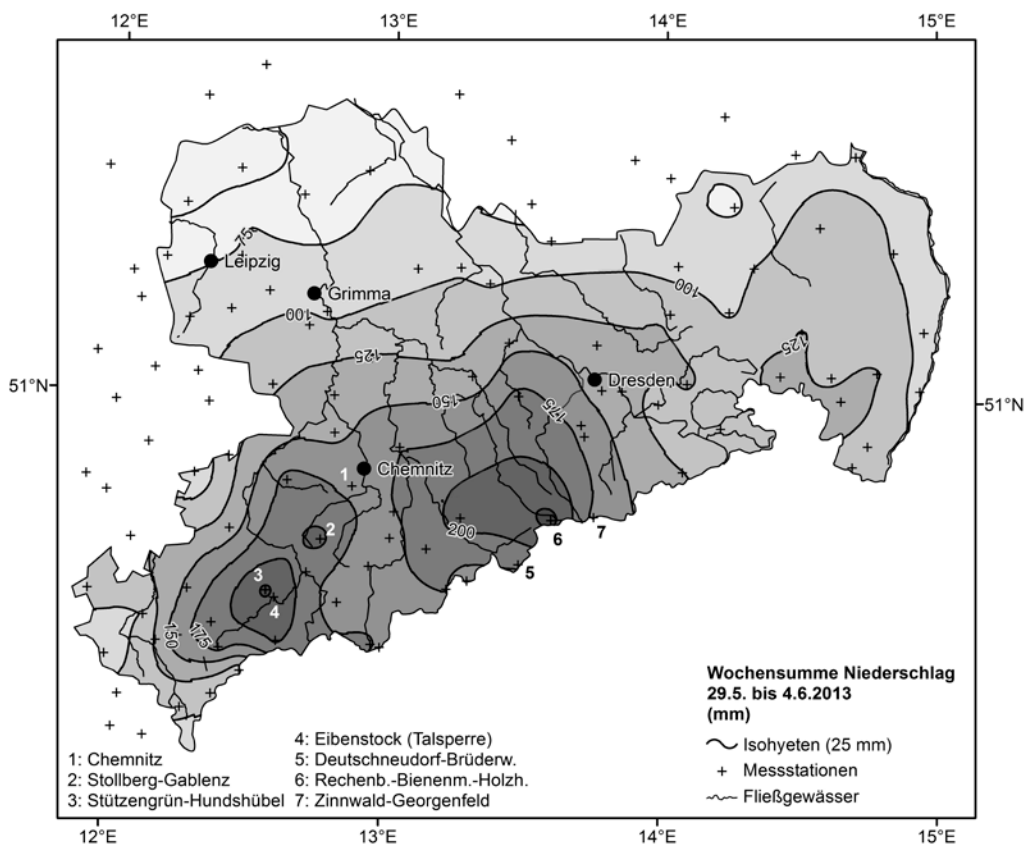


Abb. 1: Verteilung der wöchentlichen Niederschlagssummen vom 29.05. bis 04.06.2013 in Sachsen. Interpolation auf Basis von DWD Stationsdaten.

tionsdaten des Deutschen Wetterdienstes in täglicher sowie stündlicher Auflösung zeigt für den Zeitraum vom 29.05. bis 04.06.2013 zwei Schwerpunktgebiete des Niederschlagsgeschehen im Ost- (Freiberger Mulde) und Westerzgebirge (Zwickauer Mulde, Abb. 1). Die im Laufe einer Woche gefallenen Niederschlagsmengen lagen dabei z.T. über den doppelten langjährigen Monatsmittelwerten. Der Verlauf des Ereignisses ist durch eine höhere Tagessumme am 30. Mai gekennzeichnet, gefolgt von abnehmenden Niederschlägen am 31. Mai und einer Hauptphase am 01./02. Juni. Diese Hauptphase lässt sich als Dauerregen mit eingebetteten Schauern charakterisieren, welche die Hochwasserentstehung wesentlich begünstigt haben. Der Intensitätsverlauf zeigt jedoch insgesamt markante Unterschiede zwischen Ost- und Westerzgebirge (Abb. 2). Eine detaillierte Auswertung von Niederschlagsverhältnissen und meteorologischen Rahmenbedingungen finden sich bei Reinhardt & Schulte (2013).

Als wesentlicher Faktor der Hochwasserentstehung muss dabei die gesamte Niederschlagsentwicklung, d.h. das Zusammenspiel von Niederschlagsmenge, Vorregen und Niederschlagscharakteristik betrachtet werden. Die intensiven Niederschläge der am 01. Juni einsetzenden ca. 60-stündigen Hauptphase des Ereignisses trafen auf Böden, die durch die Niederschläge am 30. Mai und die hohen Regenfälle im gesamten Monat (Abb. 3.) stark vorgesättigt waren und dadurch nur noch wenig Wasser zurückhalten konnten.

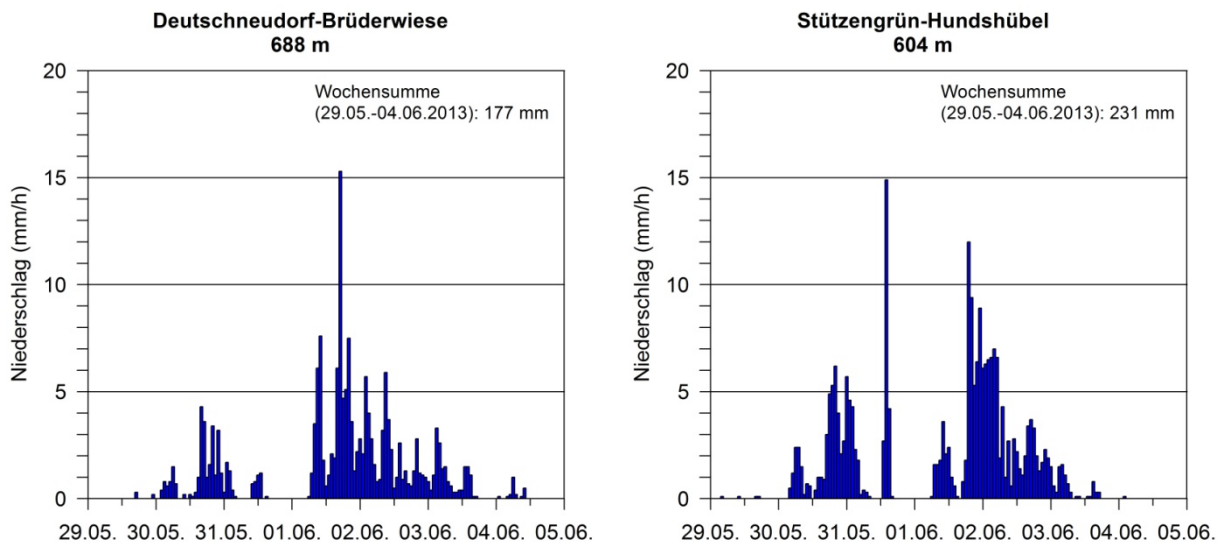


Abb. 2: Intensitätsverlauf des Niederschlagsereignisses im Übergangsbereich zwischen dem Mittleren und Östlichen Erzgebirge (Deutschneudorf-Brüderwiese, links) und Westerzgebirge (Stützengrün-Hundshübel). Datenquelle: DWD.

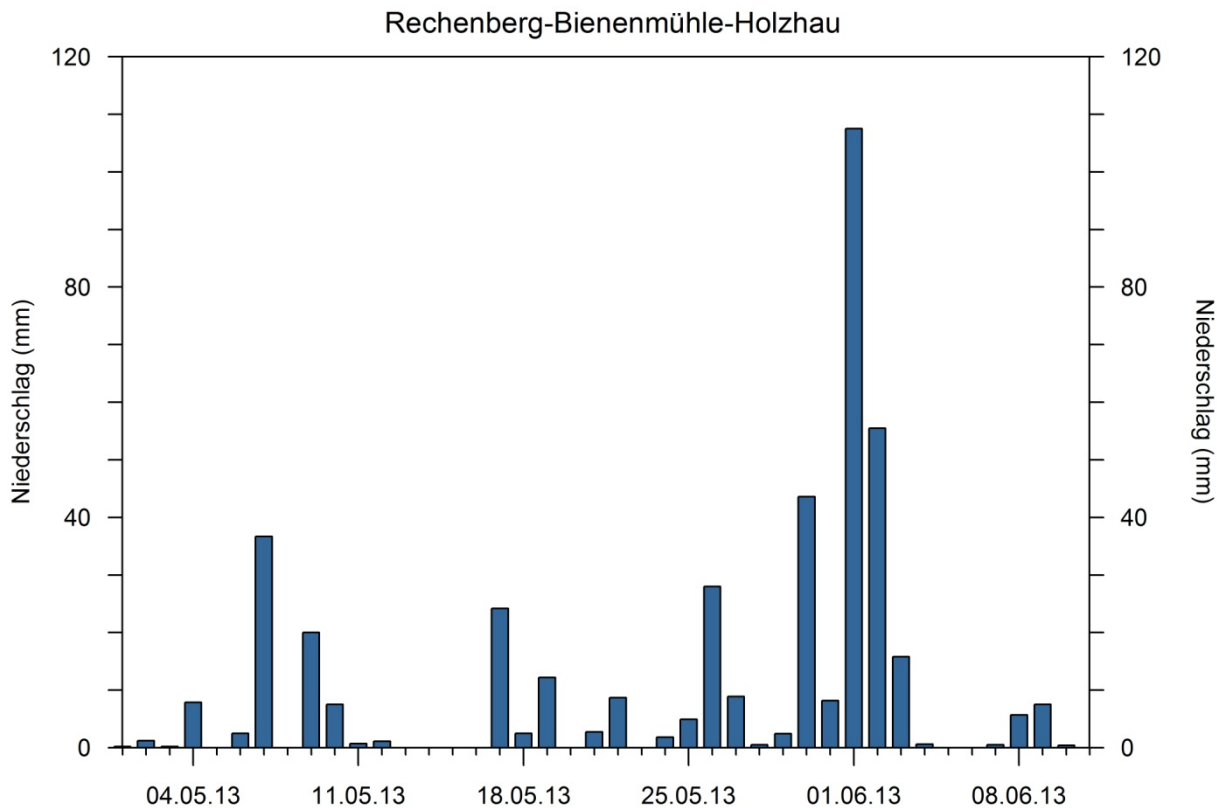


Abb. 3: Vorregenbedingungen und Ereignisniederschläge am Beispiel der täglichen Niederschlagssummen, die an der Station Rechenberg-Bienenmühle im Osterzgebirge registriert wurden. Datenquelle: DWD.

Für die Quellgebiete im Erzgebirge, wie z.B. den Chemnitzbach (AEZG: 35,8 km²), einen Zufluss zur Freiburger Mulde, oder die Schweinitz (AEZG: 61,2 km²), die über Flöha und Zschopau zur Freiburger Mulde entwässert, ergeben sich dabei breite, mehrtägige Scheitelphasen mit schnellem Anstieg, mehreren Spitzen, welche die wechselnden Niederschlagsintensitäten widerspiegeln, sowie einem flacheren abfallenden Ast (Abb. 4). Sowohl die Form der Ganglinien als auch die Vorregenbedingungen lassen dabei neben dem dominierenden Oberflächenabfluss auf einen wesentlichen Anteil des Zwischenabflusses an der Hochwasserentstehung schließen. Bei der Steuerung der Abflusskonzentration spielt der oberflächennahe Untergrund, der sich im Erzgebirge wie auch in anderen Mittelgebirgen aus periglazialen Deckschichten zusammensetzt, eine wesentliche Rolle. Die Deckschichten setzen sich aus einer Haupt-, Mittel- und Basislage zusammen, die sich in ihren sedimentologischen Eigenschaften und ihrer hydrologischen Wirksamkeit voneinander unterscheiden. Je nach Vorfeuchte

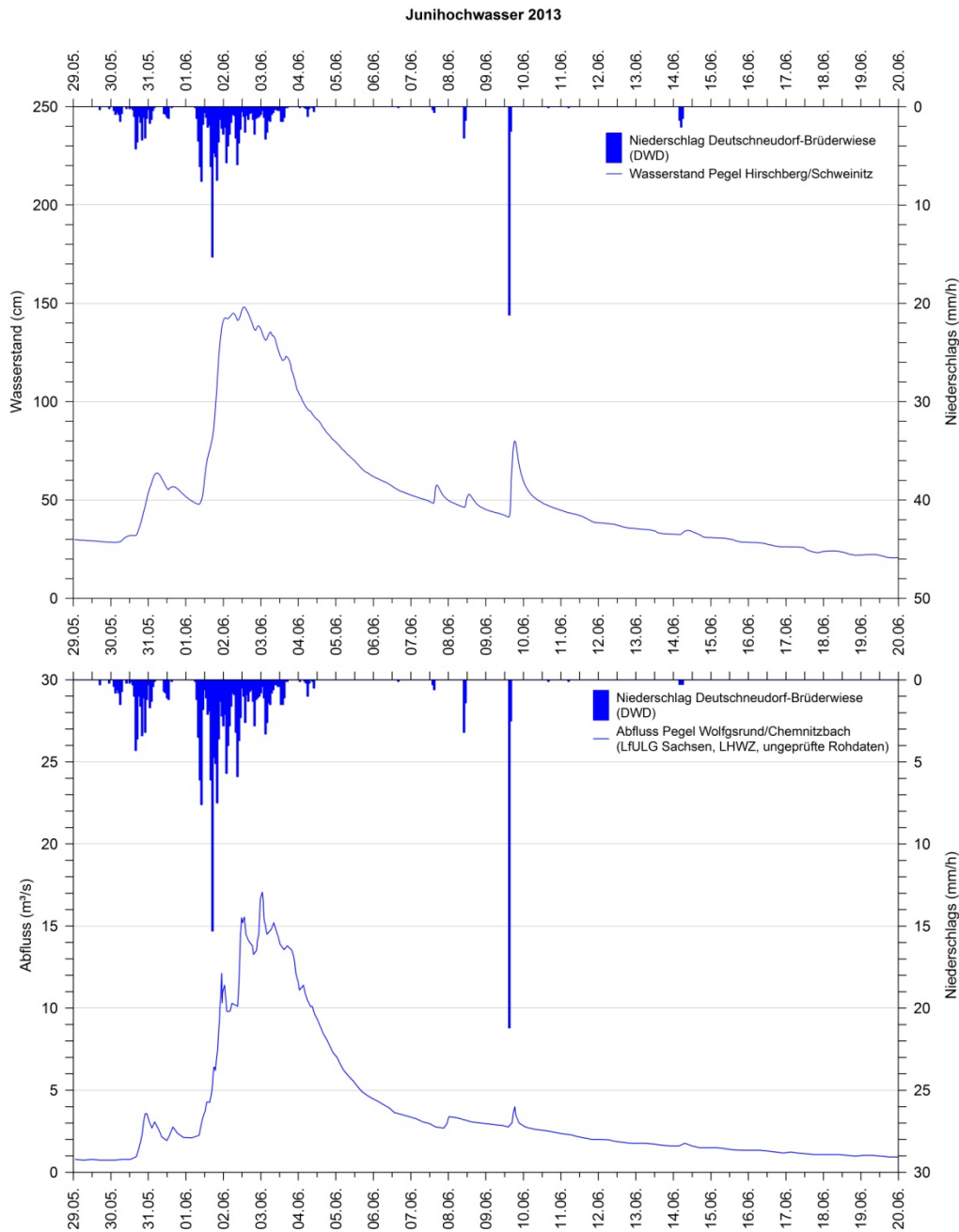


Abb. 4: Hochwasserganglinien für zwei Fließgewässer im Oberen Einzugsgebiet der Freiburger Mulde. Oben: Wasserstandsganglinie am Pegel Hirschberg/Schweinitz Das Einzugsgebiet der Schweinitz, die über Flöha und Zschopau zur Freiburger Mulde entwässert, liegt im Übergangsbereich vom Mittleren ins Osterzgebirge, (Datengrundlage: Sondermessnetz FU Berlin). Unten: Abflussganglinie Pegel Wolfgrund/Chemnitzbach. Der Chemnitzbach mündet bei Mulda in die Freiburger Mulde (Datenquelle: LfULG Sachsen, Landeshochwasserzentrum).

fließt der Zwischenabfluss dabei in unterschiedlichen Lagen ab, d.h. bei Ereignissen mit mittlerer Vorfeuchte oberhalb der stauenden Basislage in Haupt- und Mittellage und bei hoher Vorfeuchte in der Basislage (Heller & Kleber 2011). Für das Junihochwasser ist aufgrund der hohen Vorfeuchte eine Aktivierung von Fließwegen in der Basislage wahrscheinlich, wobei exakte Messdaten bislang noch nicht vorliegen. Da beide Elemente der Hochwasserentstehung, d.h. Bodenfeuchte und Zwischenabfluss, für das Verständnis des Ereignisablaufs essentiell sind, soll eine Abschätzung auf Basis eines Niederschlag-Abfluss Modells in einem nächsten Bearbeitungsschritt folgen.

Literatur

Heller, K. und Kleber, A. (2011): Einfluss periglazialer Deckschichten auf die oberflächennahen Fließwege am Hang – eine experimentelle Prozessstudie im Osterzgebirge, Sachsen. In: Blöschl, G. und Merz, R. (Hg.): Hydrologie & Wasserwirtschaft - von der Theorie zur Praxis. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 30.11, 50-56.

Reinhardt, Ch. und Schulte, A. (2013): Die Niederschlagsverhältnisse während des Junihochwassers 2013 in Sachsen – eine erste Auswertung. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 6 (09/2013), 515-519.

Lösungsansätze zur Abwasserbehandlungsproblematik im ländlichen Raum aus ökologischer, sozio-ökonomischer und demographischer Sicht

Bastian Ziebolz und Christian Opp, FB Geographie, Philipps Universität Marburg

1. Einführung

Die kommunale Abwasserbehandlung in Deutschland ist traditionell zentral organisiert und ermöglicht eine hohe Entsorgungssicherheit. Trotz der Flexibilität und Ressourceneffizienz zeigt das System eine Reihe von Schwächen (ZIERDORN et al. 2007 S. 16 ff.). Speziell im ländlichen Raum, der durch eine geringe Bevölkerungsdichte, weiträumige Bebauung, den demographischen Wandel und leistungsschwache Vorfluter geprägt ist, wachsen die Anforderungen an eine finanzierbare und flexible Abwasserbehandlung (LfU 2005 / BISCHOF 2006 S. 2). Insbesondere die Umsetzung der EU-WRRL¹ stellt für viele Kommunen im ländlichen Raum und die zuständigen Behörden eine große Herausforderung dar. So ergeben sich durch die weitergehenden Anforderungen an die häufig leistungsschwachen Vorfluter und die daran nicht angepassten gesetzlichen Mindestanforderungen an Kläranlagen weitreichende Probleme und Interessenskonflikte bei zukünftigen Planungen. Besonders bei kleinen Vorflutern im ländlichen Raum wird das angestrebte Hauptziel eines „guten ökologischen Zustands“ häufig nicht erreicht, obwohl die Kläranlagen die gesetzlichen Mindestanforderungen erfüllen. Hinsichtlich der weitergehenden Anforderungen der EU-WRRL wäre der Bau neuer, leistungsfähigerer Kläranlagen erforderlich. Aufgrund der prekären finanziellen Situation im ländlichen Raum können viele Gemeinden die nötigen Investitionen für einen Neubau nicht bewältigen. Ein Großteil der Kosten müsste als zusätzliche Abwasserbeiträge auf die Bewohner umgelegt werden. Die ländliche Bevölkerung ist aber bereits von sehr hohen Infrastrukturkosten und den Auswirkungen des demografischen Übergangs betroffen. Die zusätzlichen Kosten eines Kläranlageneubaus würden die finanzielle Situation der Gemeinden weiter verschlechtern und zu massiven sozio-ökonomischen Belastungen vieler Bewohner führen. Unzufriedenheit, Proteste und in letzter Konsequenz eine Abwanderung der Bevölkerung sind zu erwartende Folgen. Angepasst an die Besonderheiten des ländlichen Raumes müssen daher Lösungsansätze gefunden werden, die einerseits die gesetzlichen Erfordernisse des Gewässerschutzes erfüllen und andererseits sozio-ökonomische und demographische Aspekte berücksichtigen, um dem einzelnen Bürger keine zu hohen finanziellen Lasten aufbürden.

2. Zielsetzung

Eine ganzheitliche Analyse, bestehend aus einer biologischen und physikalisch-chemischen Gewässeranalyse des Einleitungsgewässers, einer modifizierten Ökobilanz des Kläranlageneubaus

¹ Europäische Wasserrahmenrichtlinie

und einer sozio-ökonomischen und demographischen Analyse der Bevölkerung, dient als Lösungsansatz zur Beurteilung und Bewertung der ökologischen, sozio-ökonomischen und demographischen Faktoren der Abwasserproblematik im ländlichen Raum. Der Fokus der biologischen und physikalisch-chemischen Gewässeruntersuchungen liegt dabei auf der Erfassung der stofflichen Belastung des Vorfluters infolge der Kläranlageneinleitung. Mit dem ökobilanziellen Systemvergleichs soll gezeigt werden, ob der Neubau und Betrieb einer leistungsfähigeren Kläranlage, letztendlich umweltverträglicher in der Gesamtbetrachtung ist, als der Betrieb einer bestehenden Anlage. Die sozio-ökonomische und demographische Analyse erfasst die finanziellen Auswirkungen bei einem Kläranlagenneubau auf die Bevölkerung und deren Akzeptanz für zusätzliche Abwasserbeiträge sowie die demographische Entwicklung der Gemeinde.

Stellvertretend für den ländlichen Raum Deutschlands wird der ganzheitliche Ansatz am Fallbeispiel des Ortsteils Dirlammen der Gemeinde Lautertal im Hessischen Vogelsbergkreis angewandt und dient den zuständigen Behörden als Entscheidungshilfe für weitere Planungen. Darüber hinaus könnten allgemeingültige Erkenntnisse bei ähnlichen Problemstellungen in anderen Gemeinden des ländlichen Raumes herangezogen werden und so die Grundlage für einen allgemein anwendbaren Ansatz zu dieser Problematik liefern.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der ganzheitlichen Analyse haben im konkreten Fall der Gemeinde Lautertal gezeigt, dass der Weiterbetrieb der bestehenden Teichkläranlage Dirlammen aus gesamtökologischer, sozio-ökonomischer und demographischer Sicht einem Kläranlagenneubau vorzuziehen ist.

Die durch einen Kläranlagenneubau entstehenden Umweltbeeinträchtigungen sind für die Umwelt allgemein weitreichender als die zu erwartenden Verbesserungen der Wasserqualität infolge der höheren Reinigungsleistung, zumal der Einfluss der Teichkläranlage aufgrund der Selbstreinigungsfähigkeit des Einleitungsgewässers nur auf einem kurzen Gewässerabschnitt erkennbar ist. Kritische stoffliche Gewässerbelastungen werden nur im direkten Bereich der Kläranlageneinleitung während hochsommerlicher Trockenphasen erreicht.

Neben den ökologischen Aspekten sprechen auch die Ergebnisse der sozio-ökonomischen und demographischen Untersuchungen für den Weiterbetrieb der bestehenden Anlage. Besonders für die vielen Rentner und Landwirte ergeben sich zum Teil unzumutbare finanzielle Belastungen. Als Reaktion auf einen Kläranlagenneubau müssten die Gemeinde und die zuständigen Behörden demzufolge mit erheblichen Protest und langwierigen Rechtsstreitigkeiten sowie in einzelnen Fällen sogar mit Abwanderung seitens der Bevölkerung rechnen. Im Hinblick auf den derzeit schon erkennbaren und für die Zukunft prognostizierten Bevölkerungsrückgang in der Gemeinde Lautertal würde ein Kläranlagenneubau in der geplanten Dimensionierung zu einer zukünftigen

Unterauslastung der vorhandenen Anlagenkapazitäten führen, die weitere Kostensteigerungen mit sich bringt und die demografischen Trends noch weiter verstärkt.

4. Fazit

Im Sinne der Nachhaltigkeitsgrundsätze der Abwasserbehandlung (LÜDERITZ et al. 1999 S. 484 ff.) und der Zielsetzung der EU-WRRL, die den nachhaltigen Ressourcenschutz und den Erhalt der ökologischen Funktionsfähigkeit der Gewässer in den Mittelpunkt stellt (EU-WRRL 2000), sollten Kläranlagen grundsätzlich so lange betrieben werden, wie eine an den verfahrenstechnischen Grenzen orientierte Abwasserbehandlung möglich ist. Bei jedem geplanten Kläranlagenneubau muss das Verhältnis zwischen baulich bedingten Umweltbeeinträchtigungen einerseits und gewässerökologischen Verbesserungen andererseits beurteilt werden und ausgeglichen sein. Andernfalls kann das angestrebte Ziel eines nachhaltigen Ressourcenschutzes und einer gleichzeitigen Erhaltung der biologisch-ökologischen Vielfalt und Diversität aquatischer Systeme nicht erreicht werden.

Im Fall Lautertal muss die Gemeinde zusammen mit den zuständigen Behörden eine langfristig finanzierbare Abwasserbehandlungskonzeption unter Berücksichtigung der ökologischen Funktionalität des Einleitungsgewässers und der demographischen Entwicklungen erarbeiten. Mögliche Ansätze in diesem Zusammenhang könnten neben der Umstellung auf eine dezentrale Abwasserbehandlungskonzeption, vor allem Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur sein (SCHÖNBORN 1992 S. 228). Aber auch die Verringerung von diffusen Stoffeinträgen aus der Landwirtschaft sollte bei der Entwicklung von Strategien zur Verbesserung des ökologischen Zustands des Vorfluters berücksichtigt werden (BRUCH 2002 S. 2 ff.). Bis zur Umsetzung von langfristigen Abwasserbehandlungskonzeptionen in Lautertal könnten finanzierbare Optimierungsmaßnahmen an der Teichkläranlage Dirlammen zu einer Verbesserung der Reinigungsleistung führen.

Bei der untersuchten Abwasserproblematik im ländlichen Raum ist zudem die Berücksichtigung sozio-ökonomischer und demografischer Aspekte bei zukünftigen Planungen von großer Bedeutung. Ohne die Einbeziehung dieser Aspekte wird es zu Fehlplanungen im Abwassersektor kommen, die in Zukunft weder ökologisch noch ökonomisch effizient sind und keine finanzierbaren nachhaltigen und flexiblen Lösungen ermöglichen. Besonders die Herausforderungen des demographischen Übergangs und die damit verbundenen, veränderten Anforderungen an die Abwasserbehandlung müssen bei zukünftigen Planungen diskutiert und mit einbezogen werden. Nur dadurch kann die Gefahr von technischen Fehlplanungen und Fehlinvestitionen, aus denen sich sozial unverträgliche Gebühren und Beiträge ergeben, minimiert werden.

Grundvoraussetzung dafür ist eine Anpassung des bisherigen Bewertungsverfahrens und der darauf aufbauenden Vorgehensweise. Insbesondere die Beurteilung der Belastbarkeit von kleinen Vorflutern ist nicht ausreichend und stellt weitergehende Anforderungen an ein Bewertungssystem

(SCHÖNBORN 1992 S. 221 ff. & JUNGWIRTH et al. 2003 S.178). Daneben erlaubt aber erst die Integration sozio-ökonomischer und demographischer Betrachtungen in ein Bewertungssystem eine umfassende Beurteilung der Abwasserproblematik im ländlichen Raum, auf deren Grundlage eine Maßnahmenplanung erfolgen kann. Deshalb ist es die Aufgabe der Behörden, das angewandte Bewertungssystem so anzupassen, dass die Erarbeitung von effizienten Lösungsstrategien aufbauend auf einer ganzheitlichen Beurteilung der jeweils vorliegenden Situation, möglich wird.

5. Ausblick

Die untersuchte Abwasserproblematik im ländlichen Raum und deren Lösung bereitet den Behörden und Kommunen aktuell in ganz Deutschland weitreichende Probleme. Dies wird in Zukunft durch die Auswirkungen des demographischen Wandel noch weiter verstärkt. Interessenkonflikte und Rechtsstreitsverfahren werden die Folge sein, zumal sich die zurzeit angewandten behördlichen Vorgehensweisen und Bewertungsverfahren bei dieser im ländlichen Raum so häufig auftretenden Fragestellung nur auf gewässerspezifische Faktoren beziehen. Ohne die zusätzliche Berücksichtigung von sozio-ökonomischen und demographischen Aspekten kann eine derart komplexe Problematik nur unzureichend analysiert und beurteilt werden.

Literaturliste

- Bischof, F. (2006): Anforderungen an eine dezentrale Abwasserentsorgung aus globaler Sicht. Fachhochschule Amberg-Weiden. Internet: http://www.haw-aw.de/fileadmin/user_upload/Professoren/Bischof/Anforderungen_dezentrale_Abwasserentsorgung.pdf.pdf (Zugriff: 08.09.2012)
- Bruch, I. (2002): Räumliche Variabilität der Wasserbeschaffenheit und Frachten diffuser und punktueller Stickstoffeinträge in kleinen Einzugsgebieten des Saarlands - Beitrag zu Abwasserbehandlungskonzepten im ländlichen Raum. Dissertation Fachbereich Geographie und Geowissenschaften Universität Trier
- Europäische Gemeinschaft (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Internet: <http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/wasserrichtlinie.pdf> (Zugriff: 10.01.2012)
- Jungwirth, M., Haidvogel, G., Moog, O., Muhar, S., Schmutz, S. (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Facultas. Wien.
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) (2005): Leitfaden zur Abwasserbeseitigung im ländlichen Raum. Karlsruhe. Internet: <http://www.lubw.baden->

wuerttemberg.de/servlet/is/13998/leitfaden_abwasserbeseitigung.pdf?command=downloadContent&filename=leitfaden_abwasserbeseitigung.pdf (Zugriff: 11.12.2011)

Lüderitz, V., Kuhn, B., Eckert, E., Langheinrich, U. (1999): Der dornige Weg zur Nachhaltigkeit in der Abwasserbehandlung – das Beispiel Sachsen-Anhalt. In Zeitschrift „Korrespondenz Abwasser“ Ausgabe 7/1999.

Schönborn, W. (1992): Fließgewässerbiologie. Gustav Fischer. Stuttgart.

Zierdorn, V., Meinzinger, F., Peters, I. (2007): Städtische Siedlungsstrukturen und dezentrale Abwassersysteme – Möglichkeiten zum Einsatz innovativer Abwasserreinigungsanlagen im Bestand. Internet: <http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/de-siedlungsstrukturen-2008.pdf> (Zugriff: 12.10.2012)

Fernerkundung mittels Stabkamera am Beispiel der Renaturierung Salzböde

*Michael Treppesch, Christian Opp, Christoph Reudenbach
Philipps-Universität Marburg*

Die Umsetzung der EU-WRRL in Deutschland bis 2015 erfordert ein kosteneffizientes und zeitsparendes Vorgehen. Dies trifft auf die Durchführung von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern ebenso wie auf deren Erfolgskontrolle zu. Als schnelle und detaillierte Methode wurde deshalb das Verfahren der Fernerkundung mittels Stabkamera entwickelt. Anhand dieser Methode wurden zwei Abschnitte der Salzböde, eines grobmaterialreichen, silikatischen Mittelgebirgsbachs in Hessen, untersucht. Der erste Abschnitt lag hierbei im Gebiet einer drei Jahre alten Renaturierung, der zweite Abschnitt diente als Referenz für den ausgebauten Zustand des Fließgewässers vor der Maßnahme.



Abb. 1: Geradlinige Führung des Gewässers im Regelprofil vor der Renaturierung. Quelle: Aufnahme H. Diehl



Abb. 2: Aufgeweitetes, offenes Gewässerbett mit verzweigtem Gewässerlauf nach der Renaturierung. Quelle: Aufnahme H. Diehl

Die Aufnahmen der beiden Untersuchungsabschnitte wurden im Winterhalbjahr (2008/09) durchgeführt, um Sichtverstellung durch Blattgrün zu vermeiden. Als Stabkamera diente eine auf einen 8 m langen Teleskopstab montierte Digitalkamera. Nach dem Ausrichten über dem Gewässer wurden mittels Selbstauslöser Luftbilder des Gewässerbetts von ca. 7 m x 5,25 m Größe gemacht. Betrachtungsgegenstand war die Gewässersohle einschließlich des angrenzenden Uferbereichs zwischen Hoch- und Niedrigwasserlinie. Als Behelfsmaßstab und um feste Bezugspunkte in den Bildern zu haben, wurden zusätzlich aus 1 m langen Plastikleisten angefertigte, verschiedenfarbige Kreuze in die Geländeausschnitte gelegt.



Abb. 3: Das an der Spitze des Teleskopstabs montierte Stativ mit aufgeschraubter Kamera.

Quelle: Eigene Aufnahme

Mit Hilfe des vollautomatischen Programms Autostitch wurden die Einzelaufnahmen zu Panoramabildern zusammengefügt. Im Programm Global Mapper wurden dann unter Anwendung von Tischkoordinaten je 4-5 Panoramabilder zu einem Luftbildmosaik pro Untersuchungsabschnitt kombiniert. Im Anschluss wurden beide Luftbildmosaike mittels im Abstand von 5-15 m eingemessener DGPS-Koordinaten entzerrt und georeferenziert, um sie als digitale Bildkarten für die weitere Verwendung in ArcGIS zur Verfügung zu stellen.

In ArcMap wurden die in den Luftbildern erkennbaren Gewässerstrukturmerkmale auf der Datengrundlage der digitalen (Raster-) Bildkarten visuell identifiziert und von Hand als Vektoren nachgezeichnet, d.h. digitalisiert. Je nach Eignung wurden Anzahl, Lage, Fläche, und Länge eines (Struktur-) Merkmals bestimmt und in einem eigenen *Layer* dargestellt. Die Systematik der erfassten Merkmale orientierte sich an der GSGK. Darüber hinausgehend wurden als Beispiel für weitere Anwendungsmöglichkeiten der digitalen Bildkarten in einer GIS-Anwendung die räumlichen Strukturparameter Wasserfläche und Uferlinie miteinbezogen. (Siehe Tab. 1)

Die fertigen Bildkarten ließen sich einschließlich der in ArcMap erstellten Layerstruktur ins PDF-Format übertragen, so dass eine interaktive Betrachtung auch ohne GIS-Software möglich ist.

Nr	Strukturmerkmal	Anzahl		Fläche (m ²)		Länge (m)	
		AI	AII	AI	AII	AI	AII
	I Gewässerlauf						
1	Längsbänke	6	0	36,8	0,0		
2	Inselbildungen	5	0	245,1	0,0		
3	Sturzbäume	7	1			89,1	1,6
	II Sohlenstruktur						
4	Gumpen	4	1	17,6	4,5		
5	Kehrwasserpools	0	2	0,0	9,6		
6	Tiefrippen	1	0	1,7	0,0		
7	Schnellen	2	2	3,0	45,0		
	III Sohlensubstrate						
8	Auelehm	9	1	51,6	0,5		
9	Kies/Schotter	5	7	136,4	60,8		
10	Grobsteine	3	1	38,9	0,9		
11	CPOM	7	1	62,2	2,4		
12	Totholz	6	5	33,8	0,1		
13	Sohlenverbau	0	6	0,0	13,7		
14	Unbekannt	4	4	33,0	150,1		
	IV Uferstruktur						
15	Ufergehölze	13	14				
16	Baumumläufe	2	2				
17	Holzansammlungen	2	1	8,5	0,8		
18	Uferverbau					0,0	47,8
	V Räumliche Strukturparameter						
20	Wasserfläche			307,9	228,5		
21	Uferlinie			394,1	221,5	394,1	221,5

Tab. 1: Ergebnisse der Luftbilddauswertung (AI und AII: Untersuchungsabschnitte I und II)

Um den Renaturierungserfolg beurteilen zu können, wurden die beiden Untersuchungsabschnitte sowohl miteinander als auch mit den Ergebnissen der GSGK und der Beschreibung des entsprechenden hessischen Leitbildes verglichen.

Die Auswertung der Luftbilder bestätigte die morphologische und ökologische Wirksamkeit der untersuchten Renaturierung. Bereits drei Jahre nach Durchführung der Renaturierungsarbeiten wies die renaturierte Strecke eine vielfältige und kleinräumig differenzierte Habitatstruktur sowie ein hohes Potential zur eigendynamischen Entwicklung auf. Die Annäherung an den naturnahen Zustand war bereits fortgeschritten und wurde durch den Vergleich mit dem Leitbild deutlich. Das positive Ergebnis eingehender faunistischer Kontrolluntersuchungen konnte somit bestätigt werden.

Der nicht renaturierte Abschnitt präsentierte sich strukturarm und wies auch 12 Jahre nach der Bewertung durch die Gewässerstrukturgütekartierung kaum Veränderungen auf. Lediglich dort, wo der Verbau durch eine punktuelle Konzentration der Schleppkraft oder durch die auflockernde Wirkung der Ufergehölze aufgebrochen war, zeigten sich Tendenzen zur eigendynamischen Entwicklung. Die Verbesserung des ökologischen und morphologischen Zustands der renaturierten Strecke gegenüber dem vorherigen Zustand war somit sehr deutlich ausgeprägt.

Die Methode der Fernerkundung mittels Stabkamera macht es möglich, detaillierte Daten über ein Fließgewässer schnell, aktuell und preisgünstig zur Verfügung zu stellen. Die Erstellung der digitalen Bildkarten erwies sich im vorliegenden Fall jedoch als zeitaufwendig, da die Aufnahmen aus dem Kronenbereich der Ufergehölze nur schwer zusammenzufügen waren. Bei Aufnahmen ohne die Behinderung durch Ufergehölze ging das Zusammenfügen der Aufnahmen hingegen sehr schnell vonstatten. Abweichungen des Aufnahmewinkels von der Vertikalen führten zudem zu Verzerrungen in den Bildkarten. Der für das Zusammenfügen der Aufnahmen erforderliche Zeitaufwand hängt also maßgeblich von der Qualität der Einzelaufnahmen ab.

Die fertiggestellten Bildkarten wurden zur Analyse mittels visuell-manueller Abgrenzung in ArcGIS aufbereitet. Während der Schwachpunkt dieser Methode die Reproduktionsfähigkeit ist, schien dies aufgrund des kleinen Betrachtungsmaßstabs und der Uneinheitlichkeit der Aufnahmen (Spiegelungen auf der Wasseroberfläche, unterschiedliche Beleuchtungsverhältnisse, extrem kleinräumige Strukturen, variable Wassertiefe) die einzige Alternative, um eine umfassende Darstellung der Gewässerstrukturen und damit eine adäquate Beschreibung der Habitatstruktur zu erreichen. Die Möglichkeiten der digitalen Luftbilddauswertung können den Anforderungen der vorliegenden Untersuchung nach aktuellem Stand der Forschung nicht gerecht werden.

Die Materialkosten für die Stabkamera betragen ca. 250,- €. Für eine professionelle Anwendung wird der Bearbeitungszeitraum für 100 m Fließstrecke auf 6 Tage geschätzt. Dies beinhaltet 1 Tag für die Datenaufnahme im Gelände, 4 Tage für die Erstellung der digitalen Bildkarten und einen weiteren Tag für die Digitalisierung der Gewässerstrukturen und die Auswertung der Daten. Da das Untersuchungsgebiet aufgrund des teilweise dichten Bestandes an Ufergehölz im Nachhinein als ungeeignet für die Bildaufnahme per Stabkamera bezeichnet werden muss, ist für Untersuchungsvorhaben an weniger stark bewachsenen Fließgewässern von einer geringeren Bearbeitungszeit auszugehen. Auch die Verwendung eines Kontrollmonitors mit Fernauslöser, eines längeren Teleskopstabs und einer flexiblen Aufhängung der Kamera zur Minimierung von Abweichungen des Aufnahmewinkels aus der Vertikalen könnten den Zeitaufwand deutlich reduzieren.

Neben der Verwendbarkeit der Luftbilder für ein Monitoring in ein- oder mehrjährigen Abständen ist prinzipiell eine automatisierte Erfassung verschiedener Strukturparameter wie z.B. Breitenvarianz, Laufkrümmung oder Substratdiversität in *ArcGIS* denkbar.

Alternativ zur Aufnahme der Luftbilder mit der Stabkamera könnte weiterhin eine Drohne verwendet werden. Vorteile dieser Vorgehensweise wären eine bessere Kontrolle von Aufnahmehöhe und Bildausschnitt (per Monitor am Boden), geringere Abweichungen des Aufnahmewinkels von der Vertikalen und eine raschere Durchführung der Aufnahmeaktivitäten. Bei einer Flughöhe zwischen 10 und 20 Metern könnte eine ähnlich hohe Auflösung wie in der vorliegenden Untersuchung erreicht werden, während die Luftbilder aufgrund der besseren Gesamtqualität als auch aufgrund der geringeren Anzahl von Bildern pro Flächeneinheit schneller verarbeitet werden könnten.

Durch die laufende Positionsbestimmung per GPS während des Fluges wären zusätzliche Koordinaten für die Referenzierung verfügbar. Bei Vermessung weiterer Passpunkte im Feld ist so eine Präzision im Zentimeterbereich erreichbar. Die derzeitige Entwicklung in der Bildverarbeitung geht in Richtung der Einarbeitung von mittels Minidrohnen erfasster Videosequenzen in digitale Geländemodelle.

Die Möglichkeiten der digitalen Luftbilddauswertung stoßen bei der vorliegenden Arbeit an ihre Grenzen. Einzig für die Merkmalklasse der Substrattypen wäre die Anwendbarkeit der überwachten Klassifizierung zu prüfen.

Literaturverzeichnis

- Europäische Union (2000): Richtlinie 2000/60 des europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Brüssel
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Hrsg.) (2002): Gewässergüteatlas der Bundesrepublik Deutschland – Gewässerstruktur in der Bundesrepublik Deutschland 2001. Berlin
- LAWA (Hrsg.) (2000): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland: Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer; Empfehlung. Berlin
- Treppesch, M. (2010): Habitatstrukturanalyse eines kleinen Fließgewässers vor und nach der Renaturierung mittels Stabkamera-Einsatz, Luftbilddauswertung und GIS-Anwendung. Unveröffentlichte Diplomarbeit der Philipps-Universität Marburg
- Suhr, W. (2001): Monument-Tachymetrie, Forschungsmarkt 2001. Publikation der Hochschule Magdeburg-Stendal (FH)
- Silz, K., Jüpner, R., Suhr, W., Lüderitz, V., Vetter, T. (2006): Fotogrammetrie mittels "Stabkamera". Ein neues Instrumentarium für Erfolgskontrolluntersuchungen an kleineren Fließgewässern. *Wasser und Abfall* 5, S. 35-40

Patt, H., Jürging, P., Kraus, W. (2009): Naturnaher Wasserbau. Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. 3. Auflage. Berlin

Kern, K. (1994): Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung – Geomorphologische Entwicklung von Fließgewässern. Berlin

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hrsg.) (2009): Neue Wege der Gewässerunterhaltung – Pflege und Entwicklung kleiner Fließgewässer, Merkblatt DWA-M 610. Hennef

Eugster, H. (2007): Georegistrierung mittels Minidrohnen erfasster Videosequenzen – Ansätze und Genauigkeitsanalyse. Beitrag zur Dreiländertagung 2007 der SGDPBF Genauigkeitsanalyse. Beitrag zur Dreiländertagung 2007 der SGDPBF, DGPF und OVG. Muttenz

Trinkwasserversorgung und -hygiene in Deutschland: Herausforderungen im Kontext sich verändernder Rahmenbedingungen

Dr. Daniel Karthe, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Magdeburg

Deutschland verfügt über ein Wasserdargebot von 188 Mrd. m³, wovon aktuell etwa 2.7% für die öffentliche Wasserversorgung verwendet werden (BMU 2011). Die etwas über 6200 kommunalen Wasserversorgungsunternehmen betreiben nicht nur die Anlagen zur Wassergewinnung, -aufbereitung und -überwachung, sondern auch Versorgungsnetze mit einer Gesamtlänge von 530.000 km und einer Vielzahl unterschiedlicher Zwischenspeicher. Auch wenn die deutschen Wasserversorgungsinfrastrukturen im weltweiten Vergleich als vorbildlich gelten, ergeben sich aufgrund ihres oftmals hohen Alters sowie sich verändernden Rahmenbedingungen erhebliche Herausforderungen für die zukünftige Wasserversorgung (BMU 2011; BMBF 2012), die insbesondere auch den Bereich der Wasserhygiene betreffen.

Demographischer Wandel und Wasserversorgung in Deutschland

Einen wesentlichen Einfluss auf die deutsche Wasserwirtschaft wird mittelfristig der demographische Wandel haben. So erwartet das Statistische Bundesamt in seiner mittleren Prognose bis zum Jahr 2060 einen Rückgang der deutschen Gesamtbevölkerung von heute 82 Mio. auf dann 65 bis 70 Mio. Einwohner (Statistisches Bundesamt 2009). Was sich auf gesamtdeutscher Ebene als Bevölkerungsrückgang darstellt, ist kleinräumig betrachtet allerdings ein Prozess gleichzeitigen Wachstums und Schrumpfens von Regionen und Landesteilen, die teilweise sogar benachbart sind. Aktuelle Wachstumstendenzen werden zukünftig tendenziell schwächer ausfallen und einen „Verinselungseffekt“, d.h. eine Konzentration auf räumlich relativ begrenzte Wachstumspole, aufweisen. In ländlich-peripheren Regionen ist indes mit einem deutlichen Bevölkerungsrückgang zu rechnen, und zwar insbesondere in den neuen Bundesländern, wo nur in wenigen Stadtregionen (Berlin, Dresden, Leipzig) mit einem längerfristigen Wachstum zu rechnen ist (BBR 2006; Kröhnert et al. 2011). In Sachsen-Anhalt wird der stärkste Bevölkerungsrückgang aller Bundesländer erwartet. Während der Bundesdurchschnitt bis 2030 bei einem Rückgang der Bevölkerung von etwa 3,7 % liegen wird, ist für Sachsen-Anhalt von einer Abnahme um etwa 19,3 Prozent auszugehen. Wenn auch in schwächerem Maße werden von einer deutlichen Schrumpfung selbst die Großstädte Magdeburg und Halle betroffen sein (Bertelsmann Stiftung 2011a). Eine der höchsten Zuwachsraten in Deutschland ist mittelfristig für den Raum Freiburg zu erwarten, wo bis 2030 ein Zuwachs von 6,7% prognostiziert wird. Hiervon werden selbst angrenzende eher ländlich strukturierte Regionen profitieren (Bertelsmann Stiftung 2011b). Abgesehen von solchen regionalen Unterschieden führt der demographische Wandel durch einen Rückgang der Zahl der Wassernutzer insgesamt dazu, dass die ausgelegten Kapazitäten in zunehmendem Maße überdimensioniert sind. Dieses Problem wird dadurch verschärft, dass in den letzten Jahrzehnten auch eine Erhöhung in der Zahl der pro Kopf verfügbaren Trinkwasser-Entnahmestellen sowie eine Verlängerung der Strecke des Leitungsnetzes

pro Wohneinheit festzustellen war, wodurch sich die Anfälligkeit der Versorgungsinfrastruktur weiter erhöht (Kistemann et al. 2012). In Verbindung mit einem deutlich rückläufigen Pro-Kopf-Verbrauch erhöht sich bei schlechter Passung von Versorgungsinfrastruktur und Verbrauch die Gefahr mikrobiologischer Kontaminationen. Durch geringe Trinkwasserentnahmen des Verbrauchers kommt es im Netz zu verlängerten Verweilzeiten, die insbesondere in Sommermonaten auch zu einer stärkeren Erwärmung des Wassers führen. Bakterienentwicklung und Wiederverkeimung des Trinkwassers sind dadurch begünstigt (Hillenbrand et al. 2010; Bernt & Naumann 2006). Um in Unterlastungsräumen auch verbraucherseitig hygienisches Trinkwasser sicherzustellen, sind betriebliche Maßnahmen wie z.B. Spülungen oder aber Chlorung möglich (Koziol 2007; Bernt & Naumann 2006), wobei solche Maßnahmen allerdings einen zusätzlichen Kostenaufwand bedeuten und dem Gedanken einer ökologisch nachhaltigen Wasserwirtschaft widersprechen.

Klimawandel und Wasserversorgung in Deutschland

Regionalisierte Klimamodelle gehen davon aus, dass sich bis 2050 die Temperaturen in Deutschland um mindestens 1.25K im Vergleich zur letzten Normalperiode (1961-1990) erhöhen werden (Zebisch et al. 2005; Jacob et. al. 2008; Kreienkamp et al. 2011). Obwohl Studien zur Auswirkung des Klimawandels auf die Wasserhygiene in Deutschland bzw. Mitteleuropa bislang weitgehend fehlen, ist davon auszugehen, dass höhere Temperaturen die Vermehrung von Mikroorganismen und Einzellern im Wasser begünstigen dürfte (Petry 2009; Schönthaler et al. 2011; ECDC 2010; ECDC 2012). Neben einer Erhöhung der Wassertemperatur in Gewässern führen Hitzetage z.T. auch zu einer deutlichen Temperaturerhöhung in unterirdisch verlaufenden Rohrleitungen, und zwar insbesondere dann, wenn diese unterhalb asphaltierter Straßen verlaufen (Berger & Krauswald 2004). Hydrologisch relevant ist eine zu erwartende Umverteilung der Jahresniederschläge, die tendenziell zu feuchteren Wintern und trockeneren Sommern führt (Jacob et al. 2008; Kreienkamp et al. 2011). Damit gehen auf der einen Seite ein Rückgang der mittleren Niedrigwasserabflüsse sowie eine Verlängerung der Niedrigwasserperioden einher (Arbeitskreis KLIWA 2009), was zur Erhöhung der spezifischen Abwasserlast und damit auch der Konzentration human- und tierpathogener Mikroorganismen in den Gewässern führen dürfte (Petry 2009). Bis 2080 führen der Trend zu höheren Temperaturen und geringeren Niederschlägen im Sommer dazu, dass sich die Oberflächenabflüsse gegenüber heute in einem von Bereich -43% bis +5% ändern werden. Davon dürften insbesondere die durch ein kontinentaleres Klima geprägten Bereiche Ostdeutschlands betroffen sein (Zebisch et al. 2005). Auf der anderen Seite ist im Winter aufgrund höherer Niederschläge und einer Zunahme von Starkregenereignissen zukünftig verstärkt mit Hochwässern zu rechnen (Zebisch et al. 2005; Jacob et al. 2008). Durch die Häufung klimatischer Extremereignisse ist von einer Zunahme starker Hoch- und Niedrigwasserereignisse auszugehen (BMU 2009), wobei zugleich das Risiko von Schäden an Wasserinfrastrukturen wächst (ECDC 2010). Starkregen- und Hochwasserereignisse können den unkontrollierten Eintrag in der Umwelt auftretender Mikroorganismen in Oberflächengewässer sowie

in für die Trinkwasserversorgungssysteme kritische Bereiche zur Folge haben. Sofern die Niederschlagsmengen die Infiltrationskapazität der Böden übersteigen, kann der oberflächliche Abfluss beispielsweise zur Einspülung von Tierfäkalien und Nährstoffen in Talsperren und weitere Trinkwasserinfrastrukturen (Hunter 2003; Kistemann et al. 2002; ECDC 2010; ECDC 2012). Wenn Starkniederschläge in Siedlungsgebieten die Kapazitäten der Kanalisation überschreiten, kann dies zeitweise zu Überschwemmungen und zu Mischwasserüberläufen führen (MKULNV NRW 2011).

Trinkwasserhygiene in Deutschland: der Status Quo

Das Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen ("Infektionsschutzgesetz", IfSG 2013) und davon abgeleitete Trinkwasserverordnung (TwVO 2013) regeln in Deutschland die Anforderungen an die Trinkwasserhygiene. Unter anderem werden in §5 der TwVO geregelt, das "Krankheitserreger [...], die durch Wasser übertragen werden können, nicht in Konzentrationen enthalten sein [dürfen], die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen" sowie die "Konzentrationen von Mikroorganismen, die das Trinkwasser verunreinigen [...] so niedrig gehalten werden [sollen], wie dies nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik mit vertretbarem Aufwand unter Berücksichtigung von Einzelfällen möglich ist." Da eine Vollüberwachung nicht möglich ist, sieht die TwVO die Untersuchung auf die Indikatorkeime *Escherichia coli* (Grenzwert: 0/100 ml), Enterokokken (Grenzwert: 0/100 ml) und ggf. auf *Pseudomonas aeruginosa* (Grenzwert: 0/250 ml) vor.

Hygienische Vereinigungen im Trinkwasser können sowohl auf eine Kontamination der Rohwässer, Defizite bei der Aufbereitung (z.B. durch technische Störungen) und durch Verkeimung im kommunalen oder häuslichen Verteilungsnetz beruhen. Die in Trinkwasserinfrastrukturen (z.B. Leitungsnetz, Hochbehälter, ...) praktisch ubiquitären Biofilme bieten ein für die Persistenz bakterieller wie auch viraler Krankheitserreger geeignetes Milieu (Grohmann et al., 2011; Wingender & Flemming 2011). Da einige dieser Erreger sehr geringe Infektionsdosen aufweisen, können selbst geringfügige Kontaminationseinflüsse, etwa durch Einleitung nicht völlig keimfreien Wassers, zu aus wasserhygienischer Sicht kritischen Wiederverkeimungen führen. So ist es in der jüngeren Vergangenheit auch in Deutschland mehrfach zum Ausbruch wasserinduzierter Infektionen bzw. zum Nachweis pathogener Mikroorganismen im Trinkwasser gekommen (Grohmann et al. 2011; Schoenen 2011).

Auch wenn das Umweltbundesamt seit 2008 nach einer standardisierten Klassifizierung sowohl gemeldete Trinkwasserverkeimungen als auch Unregelmäßigkeiten im Bereich des Wasserhygiene-Monitorings erfasst, bestehen bislang nur unvollständige Zusammenstellungen, zumal die Ergebnisse gesammelt und im dreijährigen Turnus veröffentlicht werden (BMG/UBA 2011). Einen auf Presseberichten beruhenden exemplarischen Überblick über Kontaminationsereignisse und ihre Ursachen liefert Tab 1.

Tab. 1: Ausgewählte Kontaminationsereignisse bei deutschen Wasserversorgungsunternehmen im Zeitraum August – Oktober 2013 (mit Presseberichterstattung; eigene Zusammenstellung)

Datum	Ort	Problematik und Ursache
13.10.13	Eiterfeld (Osthessen)	Enterokokken und coliforme Bakterien in mehreren Ortsteilen. Ursachenforschung läuft noch.
10.10.13	Staudenwasser (LK Augsburg, Günzburg, Unterallgäu)	Toter Siebenschläfer in einem Hochbehälter gilt als Ursache für coliforme Bakterien im Trinkwasser von ca. 36.000 Personen.
07.10.13	Buttenwiesen (LK Dillingen/Donau)	Eintritt coliformer Bakterien durch Wartungsarbeiten im Leitungsnetz.
02.10.13	Nordhalben (LK Kronach/Oberfranken)	Enterokokken sind vermutlich über einen Rohrbruch in den Wasserkreislauf gelangt.
15.09.13	Lübeck-Kücknitz	E. coli wurden im Rahmen einer Rohrspülung freigeschwemmt (Biofilme?).
11.09.13	Königsdorf, LK Bad Tölz	Wiederkehrende erhöhte Enterokokken-Werte führten im Mai 2013 zum Einbau einer UV-Desinfektionsanlage, die später einen zunächst unbemerkten technischen Defekt aufwies. Eintragsquelle bislang unbekannt (Abwasser?).
01.08.13	Oelsnitz, LK Vogtland	Vermutlich durch starke Regenfälle kam es zu einer Verunreinigung des Trinkwassers mit coliformen Bakterien.

Auch wenn Tab. 1 nur diejenigen Ereignisse darstellt, zu denen auch eine Presseberichterstattung erfolgte, zeigt sie die auch für längerfristige Zeiträume typischen Ursachenkomplexe auf: Eine unzureichende Rohwasserdesinfektion sowie Eintritte ins Leitungsnetz aus unterschiedlichsten Gründen (Tiere; Bauarbeiten, Rohrbrüche, Starkniederschlag). Ebenfalls charakteristisch ist, dass es hinsichtlich der Kontaminationsursachen teilweise nur Vermutungen gibt, bzw. die Ursachen sogar gar nicht aufgeklärt werden können.

Fazit

Auch wenn Trinkwasser in Deutschland zurecht als sicheres und umfassend überwacht Lebensmittel gilt, sollten die immer wieder aufgetretenen Kontaminationsereignisse in der Vergangenheit wie auch ein zunehmendes Risikopotential im Zuge demographischer und klimatischer Veränderungen zum Anlass genommen werden, die existierenden, praxiserprobten aber langsamen Überwachungsmethoden durch Schnelldetektionsverfahren zu ergänzen, die im Falle von Kontaminationsereignissen nicht nur eine schnellere Einleitung von Warnungen und Gegenmaßnahmen, sondern auch eine gezielte Ursachenforschung ermöglichen.

Danksagung

Der Autor dankt dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie dem sowie dem

Projektträger Jülich (PTJ) für die Förderung und Begleitung des Projektes INIS-EDIT (FKZ: 033W010A) im Rahmen des Förderschwerpunkts Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM).

Referenzen

- Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.) (2009): Auswirkung des Klimawandels auf Niedrigwasserverhältnisse in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Mannheim.
- Bernt, M. & Naumann, M. (2006): Wenn der Hahn zu bleibt: Wasserversorgung in schrumpfenden Städten. In: Frank, S. & Gandy, M. (Hrsg.) (2006): Hydropolis. Wasser und die Stadt der Moderne, S. 210-228. Frankfurt/Main: Campus Verlag.
- Bertelsmann Stiftung (Hrsg.) (2011a): Länderbericht Sachsen-Anhalt. http://www.wegweiser-kommune.de/datenprognosen/laenderberichte/download/pdf/Laenderbericht_Sachsen_Anhalt.pdf
- Bertelsmann Stiftung (2011b): Länderbericht Baden-Württemberg. http://www.wegweiser-kommune.de/datenprognosen/laenderberichte/download/pdf/Laenderbericht_Baden_Wuerttemberg.pdf
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (=BBR; Hrsg.) (2006): Raumordnungsprognose 2020/2050. Bonn: Berichte des BBR, Band 23.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (=BMBF) (2012): Förderschwerpunkt „Nachhaltiges Wassermanagement“ (NaWaM) im Rahmenprogramm „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ (FONA). Berlin.
- Bundesministerium für Gesundheit (=BMG) & Umweltbundesamt (=UBA) (Hrsg.) (2011): Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit und des Umweltbundesamtes an die Verbraucherinnen und Verbraucher über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasser) in Deutschland. Berlin.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (=BMU; Hrsg.) (2009): Dem Klimawandel begegnen: Die Deutsche Anpassungsstrategie. Berlin.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (=BMU) (2011): Wasserwirtschaft in Deutschland. Wasserversorgung – Abwasserbeseitigung. Berlin.
- 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.
- Hillenbrand, T.; Niederste-Hollenberg, J., Menger-Krug, E. et al. (2010): Demografischer Wandel als Herausforderung für die Sicherung und Entwicklung einer kosten- und ressourceneffizienten Abwasserinfrastruktur. Dessau: UBA-Texte 36/2010.
- Hunter, P.R. (2003): Climate change and waterborne and vector-borne disease. *Journal of Applied Microbiology* 94(S1): 37-46.
- 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.

- 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.
- Kistemann, T.; Schulte, W.; Rudat, K. et al. (2012): Gebäudetechnik für Trinkwasser. Berlin & Heidelberg: Springer-Verlag.
- Koziol, M. (2007): Demografische Entwicklungen in Deutschland und ihre Konsequenzen für die Wasserverteilungsnetze und Abwasserkanalisationen. In *Forum der Forschung 20/2007*, S 25-28. Cottbus: Eigenverlag der BTU Cottbus.
- 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
- Kröhnert, S.; Klingholz, R.; Sievers, F. et al. (2011): Die demografische Lage der Nation - Was freiwilliges Engagement für die Region leistet. Berlin: Eigenverlag des Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung.
- 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.
- Petry, D. (2009): Klimawandel und Trinkwasserversorgung: Auswirkungen, Handlungsbedarf, Anpassungsmöglichkeiten. *DVGW energie|wasser-praxis* 10/2009.
- Statistisches Bundesamt Deutschland (Hrsg.) (2009): Bevölkerung Deutschlands bis 2060. 12. koordinierte Bevölkerungsvorausrechnung. Wiesbaden.
- 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.

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

Tom Lotz¹, Christian Opp¹, Zhandong Sun²; ¹Philipps-Universität Marburg, ²NIGLAS Nanjing

1. Einleitung

Das Einzugsgebiet des Yangtze in China hat eine lange Geschichte von Fluten und Dürren, was die örtliche Bevölkerung schon früh zu umfangreichen Eingriffen in den Naturraum veranlasste (YU ET AL. 2009). Die wachsende Bevölkerung und der damit verbundene Druck auf die natürlichen Ressourcen hat in den vergangenen Jahrhunderten zu einer vollständigen Veränderung der Landbedeckung geführt (LIN & HO 2002). In Verbindung mit dem Klimawandel, der zu Veränderungen in Niederschlag und Temperatur führen wird (CAO ET AL. 2011), erhöht diese Überformung einerseits die Risiken der Verletzlichkeit der Ökosysteme gegenüber klimahydrologischen Extremereignissen und andererseits die Ökosystemservice-Verluste sowie die ökonomische Nutzbarkeit. Um Anpassungsstrategien an zukünftige Herausforderungen entwickeln zu können, ist eine detaillierte Kenntnis des gegenwärtigen Zustandes und der heutigen Abflussprozesse notwendig. Um diesen Ist-Zustand zu ermitteln und die Frage der Einflussfaktoren auf die Abflussbildung zu beantworten, erfolgte eine Nachbildung des Dongting-See-Einzugsgebietes im Mittellauf des Yangtze in einem SWAT-Modell. Die Ergebnisse aus den Modellläufen wurden mit den Faktoren Landnutzung, Bodentextur und Hangneigung in Verbindung mit der Jahreszeit auf der Ebene von Hydrological Response Units (HRU) verschnitten und ausgewertet. Diese Auswertung erlaubt das Erkennen von nachteilig ausgeprägten Flächen und die Formulierung von Anpassungsstrategien.

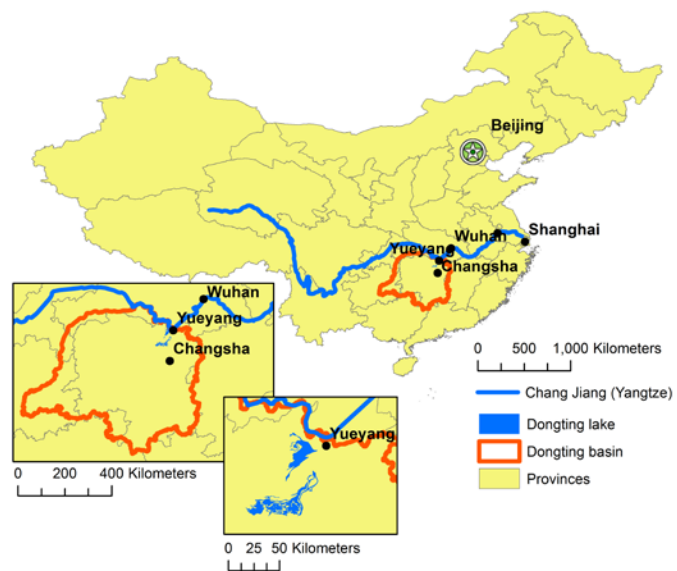


Abb. 1: Die Position des Einzugsgebietes des Dongting-Sees in China.

"

"

2. Untersuchungsgebiet und Methoden

Das Einzugsgebiet des Dongting Sees ist Teil des Mittellaufes des Yangtze (Abb. 1). Seine Größe von 259.430 km² (DING & LI 2011) entspricht etwa 15% des Einzugsgebietes des Yangtze (YU ET AL. 2009). Es weist große Reliefunterschiede auf; neben tief liegenden Gebieten - vor allem entlang der Unterläufe der Zuflüsse und im Umfeld des

Sees - gibt es weitläufige Gebirgszüge, die Höhen von über 2000 Metern erreichen. Die Fläche des Sees selbst unterliegt starken jahreszeitlichen Schwankungen (710- 2600km²), was durch den Zufluss aus dem See-Einzugsgebiet, aber vor allem durch Zu- und Abflüsse mit dem Yangtze verursacht wird (DU ET AL. 2000). Durch die Verbindung mit dem Yangtze fungierte der Dongting-See früher als ein bedeutender Pufferraum für Hochwasser des Flusses (DU ET AL. 2010). Diese Funktion kann der See jedoch heute durch massive Eindeichung und Sedimentation im

Dongting-Gebiet kaum noch ausüben (DU ET AL. 2000). Durch den Monsun fällt der Großteil der jährlichen Niederschläge in den Sommermonaten (DING & LI 2011), die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 17°C. Die Entwässerung des Einzugsgebietes geschieht vor allem über die vier Flüsse Li, Yuan, Zi und Xiang (Abb. 2).

Diese vier Einzugsgebiete wurden in SWAT nachgebildet. Bei SWAT handelt es sich um ein auf physikalischen Prozessen basierendes Modell, das es ermöglicht die Abflussprozesse großer Flächen auf Basis weiträumig verfügbarer Daten zu simulieren. Für die Aufsetzung standen Landnutzungs-, Boden-, Relief- und Klimadaten sowie gemessene Abflussdaten der vier Hauptflüsse zur Verfügung. Auf der Grundlage dieser Daten wurden HRU definiert, also Flächen, die homogen auf Niederschlag reagieren. Wegen der Größe des Einzugsgebietes und der relativ dazu geringen zur Verfügung stehenden Rechenkapazität und Bearbeitungszeit wurden für die vier Flüsse je eigene Modelle erstellt. Nach der Kalibrierung und Validierung (NSE 0,63-0,87) wurden die in SWAT simulierten Abflussprozesse mit den jeweiligen HRU kombiniert. Hierdurch entstanden Zeitreihen der verschiedenen Komponenten des Wasserkreislaufes in Verbindung mit den Eigenschaften der

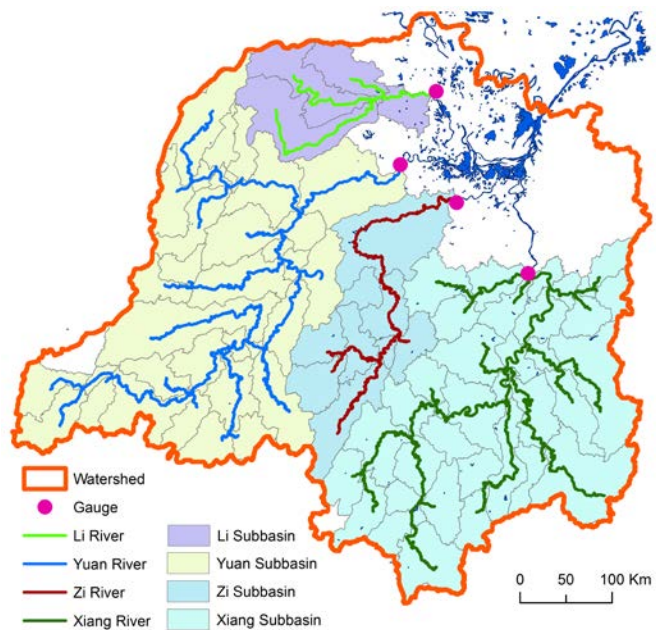


Abb.2: Die vier Hauptzuflüsse des Dongting-Sees und ihre Einzugsgebiete.

jeweiligen HRU. Diese Zeitreihen wurden auf den Einfluss der Parameter (Landnutzung, Bodentemperatur, Hangneigung, Jahreszeit) hin untersucht, um ihre Effekte zu quantifizieren. Die Ergebnisse konnten dann dazu verwendet werden, Flächen, die als nachteilig in Bezug auf ihre Reaktion auf Niederschläge zu betrachten sind, zu identifizieren und Anpassungsstrategien zu formulieren. Diese Strategien zielten jeweils darauf ab, die schnellen Abflusskomponenten zu reduzieren und die Retention zu steigern, um die Abflussmengen zwischen niederschlagsarmen und niederschlagsreichen Zeitabschnitten auszugleichen.

3. Ergebnisse

Aus der Untersuchung konnten sehr unterschiedliche Ergebnisse gewonnen werden; für die Entwicklung von Anpassungsstrategien waren die Effekte der unterschiedlichen naturräumlichen Ausstattung ausschlaggebend.

Tab. 1: Der durchschnittliche monatliche Niederschlag (mm), die Anteile (%) der einzelnen Komponenten des Wasserhaushaltes und der Anteil (%) des Niederschlages, der in das Gerinne gelangt, in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Standorte (in der Untersuchung wurden auch die Kombinationen der Ausprägungen untersucht).

	Parameter	Niederschlag	ET	Oberfläch.	Interflow	Basisabfl.	-> Gerinne
Landnutzung	Landwirtschaft	92,5	48	21,8	3,4	25,5	50,9
	Urban	139,1	24,7	59,3	0,1	15,5	74,8
	Wald	108,8	46,2	16,4	5,7	30,2	52,4
	Reis	117,5	37,2	24,3	0,3	36,5	61,3
	Brache	92,8	52,3	14	6,7	25,8	46,4
Textur	Ton	110,1	42,7	18,4	5,1	32,3	55,8
	Lehm	107,9	47,3	17,3	5,9	28,1	51,3
	Sand.Ton.Lehm	103,4	49,1	16,8	4,9	28,1	49,9
	Schluff.Lehm	116,5	38,6	23,3	0,9	35,4	59,6
Hangneig. [%]	0-3	121,8	36	25	0	36,8	61,9
	3-6	120,9	36,6	23,7	0,2	37,8	61,5
	6-15	111,2	42,7	19,6	0,6	35,4	55,7
	15-30	103,8	48,8	16,4	4,6	28,7	49,9
	30-999	102,3	49	15,4	13,1	21,5	50
Jahreszeit	Frühling	147,3	39,5	18,2	3,9	30,3	52,3
	Sommer	161,5	50,3	25,4	4,1	31	60,6
	Herbst	72,1	48,7	14,1	4,6	33	51,9
	Winter	57,6	31,3	9,9	3,8	33,3	47

"

"

Wie aus Tab.1 ersichtlich ist, existieren zwischen den Ausprägungen der untersuchten Parameter deutliche Unterschiede. Der Oberflächenabfluss ist besonders auf urbanen und in Reisflächen ausgeprägt. Diese zeigen auch nur einen geringen Interflow. Die Evapotranspiration ist für Brache und Landwirtschaft am höchsten, gleichzeitig gelangt ein geringerer Teil des Niederschlages dieser Flächen in das Gerinne. Die Unterschiede zwischen den Bodentexturen sind nicht stark ausgeprägt. Hier fällt nur der geringe Interflow für schluffigen Lehm auf. Mit steigender Hangneigung nehmen Oberflächenabfluss und Basisabfluss ab, während Evapotranspiration und Interflow zunehmen. Zwischen den Jahreszeiten unterscheiden sich vor allem Niederschlagsmenge, Evapotranspiration und Oberflächenabfluss.

Zusätzlich wurde untersucht, in welchen typischen Kombinationen die Ausprägungen der Standorte vorkommen. So ist Reis vor allem mit geringen Hangneigungen und schluffigem Lehm assoziiert, während Brachflächen mit hohen Hangneigungen und tonigen Böden in Verbindung stehen. Schluffiger Lehm kommt zumeist bei geringeren Hangneigungen, Lehm meist bei großen Hangneigungen vor. Diese Verteilungsmuster lassen sich für beinahe alle Faktoren erkennen.

4. Diskussion und Anpassungsstrategien

Den größten Einfluss auf die Umwandlung von Niederschlag in die Komponenten des Wasserhaushaltes ließ sich für die Landnutzung ermitteln. An den Stellen, wo Effekte durch andere Faktoren zu erkennen sind, lag dies an der typischen Assoziation dieser Faktoren mit einer bestimmten Landnutzung. So sinkt der Oberflächenabfluss mit steigender Hangneigung, da dieser Anstieg auch mit einer Änderung der Landnutzung von Reis zu Brache verbunden ist. Einzig hat die Hangneigung einen deutlichen, landnutzungsunabhängigen Einfluss auf den Interflow.

Basierend auf diesen Ergebnissen wurden einige Anpassungsstrategien entworfen. Brache Flächen machen etwa 32.000 km² des Untersuchungsgebietes aus. Sie befinden sich vor allem in steilen Hanglagen. Durch Aufforstung oder reihenförmige Bepflanzungen könnten Oberflächenabfluss und Bodenerosion reduziert werden. Durch eine gesteigerte Infiltration könnten die langsameren, verzögerten Abflüsse zunehmen. Ebenfalls auffällig waren, vor allem in den Oberläufen der Flüsse, Landstriche, in denen auf Satellitenaufnahmen keine Speichervorrichtungen für Wasser erkennbar waren. Gerade diese Gebiete waren aber während der Untersuchung von einer schweren Dürre betroffen. Jährlich fallen hier durchschnittlich 1.200 mm Niederschlag, 180 mm davon fließen auf der Oberfläche ab. Könnte dieses Wasser gespeichert werden, entstünden Reserven für die Überbrückung von Dürreperioden; gleichzeitig würde die Abflussmenge in den regenreichen Perioden reduziert werden, was den Anliegern der Unterläufe zu Gute käme.

5. Schlussfolgerungen

Limitierende Faktoren des Untersuchungsansatzes sind die jeweilige Datenlage und einige fehlende Komponenten innerhalb des SWAT-Modells. So gibt es keine direkt implementierte Möglichkeit den geologischen Bau eines Gebietes zu berücksichtigen. Gerade in den nordöstlichen Teilen des Untersuchungsgebietes gibt es jedoch ausgeprägte Karstlandschaften.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Landnutzung den größten Einfluss auf die Bildung der Komponenten des Wasserhaushaltes hat. Hierdurch sind Effekte der anderen Parameter jedoch nicht auszuschließen. Sie sind lediglich mit der gewählten Methode nicht sichtbar geworden; eine Anpassung der Methode wäre denkbar. Zusätzliche Daten für die Kalibrierung von SWAT würden die Validität steigern. Künstlich homogenisierte Daten, etwa zur Landnutzung, könnten nach der Validierung helfen, Kreuzeffekte besser auszuschließen. Dennoch hat die Untersuchung gezeigt, dass sich SWAT dafür eignet, aus einer einfachen Datengrundlage Ergebnisse zu generieren, die dazu genutzt werden können, Eingriffsflächen zu identifizieren. Durch die Simulation wird es darüber hinaus möglich, erste Bilanzen für solche Anpassungsstrategien zu erstellen, wodurch ihre Wirksamkeiten abgeschätzt werden können.

Literaturliste

Cao, L., Zhang, Y. & Shi, Y. (2011): Climate change effect on hydrological processes over the Yangtze River basin.- *Quaternary International*, 244:202-210.

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.

Du, Y., Cai, S., Zhang, X. & Zhao, Y. (2000): Interpretation of the environmental change of Dongting Lake, middle reach of Yangtze River, China, by 210Pb measurement and satellite image analysis.- *Geomorphology*, 41:171-181.

Du et al. (2010): Lake area changes in the middle Yangtze region of China over the 20th century.- *Journal of Environmental Management*, 92:1248-1255.

Lin, G. & Ho, S. (2002): China's land resources and land-use change: insights from the 1996 land survey.- *Land Use Policy*, 20:87-107.

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.

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.

Die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers als Kriterium zur Abschätzung des Bioenergiepotentials von KUP-Standorten in Deutschland

Jens Hartwich, Jens Bölscher und Achim Schulte

Freie Universität Berlin, Fachbereich Geowissenschaften, Angewandte Geographie, Umwelthydrologie und Ressourcenmanagement

1. Einleitung

Die Europäische Union hat in der Richtlinie 2009/28/EG vom 23. April 2009 das Ziel zum Ausdruck gebracht, die erneuerbaren Energien bis zum Jahre 2020 auf 20 % im Gesamtenergiemix zu steigern (European Parliament und Council 2009). Aus der Perspektive der Hydrologie wird in diesem Kontext häufig die Wasserkraftnutzung als alternativer Energieträger genannt. Mit einem Anteil von 0,8 % im Jahr 2012 trug sie jedoch nur marginal zum deutschen Energiemix bei (FNR 2013). Ebenso eng mit dem Landschaftswasserhaushalt und der Hydrologie verbunden, ist die Energiegewinnung aus Biomasse, welche im selben Zeitraum mit 8,2 % am Gesamtenergiemix einen bedeutend größeren Anteil hatte (FNR 2013).

Die dargelegte Verflechtung mit dem Landschaftswasserhaushalt geht mit dem teils großen Wasserbedarf der Pflanzen einher, sowie mit einer direkten Kopplung zwischen Menge des pflanzenverfügbaren Wasser und den resultierenden Biomasseerträgen. An Bedeutung gewinnt diese Abhängigkeit zudem dadurch, dass für die im Weiteren näher betrachteten Anbausysteme eine Düngung oder Bewässerung aus ökonomischer Sicht nicht in Frage kommt. Um Aussagen zur Energiegewinnung aus Biomasse liefern zu könnten, müssen Informationen bezüglich des pflanzenverfügbaren Wassers gesammelt und verschnitten werden. Die hierdurch generierten Informationen sind ein wichtiges Werkzeug für Entscheidungsträger in diesem Sachgebiet, da sie Fixpunkte zur Zielerreichung der Energieversorgung der Europäischen Union mittels Biomasse darstellen.

Schon heute liefert holzartige Biomasse in Deutschland mit 92 % der nachhaltig erzeugten Wärmeenergie einen beachtlichen Anteil an der Energieversorgung. Da durch die bisherige Entwicklung auch in Zukunft eine weitere Steigerung der Nachfrage zu erwarteten ist, werden zur Bedarfsdeckung so genannte Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf Ackerstandorten als potentielle Energieträger getestet. Um deren Potenzial für die Energieversorgung abschätzen zu können, wurden im In- und Ausland Studien mit teilweise sehr unterschiedlicher Herangehensweise durchgeführt. Hierbei wurde sich zum einen auf sozioökonomisch Aspekte konzentriert (Graham et al. 2000;

Krotscheck et al. 2000; Mitchell 2000), zum anderen aber auch auf physische Gunst- und Ungunstfaktoren (Graham 1994; Lindroth und Båth 1999) eingegangen. Spätere Arbeiten nutzten Geoinformationssysteme (GIS), um multikriterielle Analysen auch für große Skalen durchzuführen, z.B. für Staatsgebiete (Andersen et al. 2005; Beccali et al. 2009, Fiorese und Guariso 2010).

Im Rahmen des Projektes AGENT, das von der Freien Universität Berlin und der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde durchgeführt wird, werden in Szenarien potentielle Standorte für Weiden-KUP's in Deutschland berechnet und deren Ertragsleistung abgeschätzt. Das verwendete Konzept basiert auf Ansätzen, welche Murach et al. (2009) und Aust (2012) auf Grundlage eines Geoinformationssystems (GIS) entwickelt haben. Ein multikriterieller Ansatz dient hierbei der Abschätzung des Transpirationswasserangebotes (TWA), welches den Anteil des Wassers beschreibt, welcher einer Pflanze zur stofflichen Umsetzung bzw. Transpiration aus dem Landschaftswasserhaushalt zur Verfügung steht.

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnten die beiden Ansätze von Murach et al. und Aust kombiniert und hinsichtlich der Ermittlung der Evaporation verbessert werden. Das neue Vorgehen ermöglicht es, der Frage nachzugehen, wie hoch die Ertragspotenziale für Weiden-KUP in Deutschland liegen. Darüber hinaus kann deren Beitrag zum Energiemix aus erneuerbaren Energieträgern ermittelt werden.

2. Methodik

Die Methodik zur Ausweisung der potenziellen KUP-Standorte und ihrer Ertragsleistung basiert auf den Studien von Persson und Lindroth (1994) sowie Lindroth und Båth (1999), welche Weiden-KUP in Südschweden untersuchten. Murach et al. (2009) und Aust (2012) führten diese Studien weiter und entwickelten Ausweisungsansätze für den deutschen Raum. Im Forschungsprojekt AGENT ist das Vorgehen der genannten Studien verändert worden, indem ihre Ansätze kombiniert wurden und der Beitrag der Evaporation neu berechnet wurde. Daraus ergibt sich ein verändertes TWA. Für die Berechnungen wurden uns folgende Daten vom Deutschen Wetterdienst (DWD), dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) und dem Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) zur Verfügung gestellt:

- Mittlerer monatlicher Niederschlag (1971-2000) [DWD]
- Mittlere monatliche pot. Evapotranspiration nach Penman-Monteith FAO (1971-2000) [DWD]
- Monatsmittel - Temperaturen (1971-2000) [DWD]
- Digitales Höhenmodell der Bundesrepublik Deutschland [BKG]

"

"

- Digitales Landbedeckungsmodell der Bundesrepublik Deutschland [BKG]
- Bodenübersichtskarte und Datenbank der Bundesrepublik Deutschland (BÜK 1000) [BGR]

Mit Hilfe von ESRI ArcGIS 10.1 und dem programm-internen Modellbilder wurden die meteorologischen und bodenkundlichen Daten additiv verschnitten. Hierbei wurde der Einfluss der Reliefposition auf den Wasserhaushalt berücksichtigt und entsprechend Aust (2012) in die Kalkulation einbezogen. Dieser Verfahrensschritt kann auch mit Hilfe der Studien von Haufe et al. (1998) und Bechler et al. (2010) nachvollzogen werden. Die Evapotranspiration nach Penman-Monteith FAO wurde mit Hilfe eines Bestandsfaktors von 1,2 an die Bedingungen einer Weiden-KUP angepasst. Dieser Faktor wurde zuvor aus verschiedenen internationalen Studien ermittelt (Persson und Lindroth, 1994; Stephens et al., 2001 und Mirck und Volk, 2009). Der aus den Bodendaten ermittelte Einfluss des Grundwassers (GW) wird durch ein maximales TWA von 550 mm wirksam. Wenn Grundwasser 2 m unter GOK ansteht, kann davon ausgegangen werden, dass den Pflanzen bei entsprechend langen Senkwurzeln permanent Wasser zur Verfügung steht (Lindroth und Cienciala, 1996 und Murach et al., 2009). Das mögliche Anbaugebiet ist dabei auf landwirtschaftliche Flächen beschränkt, sowie auf Gebiete mit einer Jahresmitteltemperatur von $\geq 6,5^{\circ}\text{C}$.

Um von den ermittelten TWA-Werten auf jährliche Erträge zu gelangen, wurde wie bei Lindroth und Bâth (1999), Murach et al. (2009) und Aust (2012) die Wassernutzungseffizienz zu Grunde gelegt. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden jedoch die neueren Werte aus Linderson et al. (2007) verwendet, welche für die Weidenklone *L 78189*, *Rapp*, *Jorunn*, *Jorr*, *Tora* und *Loden* eine mittlere Wassernutzungseffizienz von $5,3 \text{ g kg}^{-1}$ angeben. Die erzielten Erträge werden nach Andersen et al. (2005) in energiewirtschaftliche Größen und die CO_2 -Ersparnis umgerechnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Unter Verwendung der entwickelten Methodik wird für grundsätzlich geeignete Flächen in Deutschland ein Ertragspotenzial von 117 Mio. $t_{\text{atro}} \text{ a}^{-1}$ berechnet. Das entspricht einer energetischen Leistung von etwa 26 Gigawatt, womit ca. 14,26 Mio. Haushalte sowohl mit Wärme als auch Strom versorgt werden könnten. Dabei wird aber von einer unrealistisch hohen Flächenverfügbarkeit ausgegangen. Durch ein zweites Szenario mit nur 2,5 % der geeigneten Anbaufläche mit mittlerem Ertragsniveau (etwa 300.000 ha), wird dieser ersten Potentialüberschätzung Rechnung getragen. Die reduzierte Fläche würde ausreichen, 357.000 Haushalte mit Strom und Wärme zu versorgen. Wird lediglich die Stromgewinnung betrachtet, so könnte für 1,2 Millionen Haushalte Strom zur Verfügung

gestellt werden. Würde in diesem Maße Öl als fossiler Energieträger substituiert werden, würden 5 Mt CO₂ weniger emittiert.

Die durch die Arbeit erzielten Ergebnisse geben nicht nur Hinweise auf die quantitative Verfügbarkeit von Weiden-KUP als erneuerbarem Energieträger, sie zeigen auch Gunst- und Ungunsträume für deren Anbau auf. So sind in besonderem Maße die Flächen von Interesse, die Grundwasserflurabstände von < 2 m aufweisen, da sie für die Pflanzen ganzjährig eine große Wassermenge bereitstellen können. Ebenso zeigt sich, dass gerade die durch zunehmende Kontinentalität geprägten östlichen Regionen Deutschlands diesbezüglich Ungunsträume darstellen. Hiervon ausgenommen sind die weitflächigen Urstromtäler mit ihren geringen Grundwasserflurabständen. Doch auch hier dürfen die hohen Verdunstungsraten der Pflanzen nicht unberücksichtigt bleiben. So könnte sich ein intensiver Anbau von KUP in diesen Regionen negativ auf den Basisabfluss von Gewässern auswirken. Auch dieser Frage wird im weiteren Verlauf des Projektes AGENT weiter nachgegangen.

Das weiterführende Ziel ist, einen für den Naturraum nachhaltigen Anbau dieser Energieträger zu erreichen. Dies kann im Zuge der hydrologischen und ökosystemaren Modellierung von Anbauszenarien erarbeitet werden, die dann der hydrologischen Ausweisung von Vorzugsräumen dient. Durch dieses Vorgehen wird es möglich, optimale Anbaukonzepte für geeignete Landschaftsräume zu entwickeln.

4. Dank

Das Projekt AGENT wird 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 sowie dem Deutschen Wetterdienst für die Bereitstellung der Daten.

5. 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.

Beccali, M., Columba, P., D'Alberti, V. und Franzitta, V. (2009): Assessment of bioenergy potential in Sicily: A GIS-based support methodology. In: *Biomass and Bioenergy* 33(1), 79-87.

Bechler, K., Toth, O. und Mailänder Geo Consult GmbH (2010): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit - Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren Bodenschutz. Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe.

European Parliament und Council (2009): Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (Text with EEA relevance) In: *Official Journal of the European Union* L 140, 16-62.

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)

Fiorese, G. und Guariso, G. (2010): A GIS-based approach to evaluate biomass potential from energy crops at regional scale. In: *Environmental Modelling & Software* 25(6), 702-711.

Graham, R.L., English, B.C. und Noon, C.E., (2000): A Geographic Information System-based modeling system for evaluating the cost of delivered energy crop feedstock. In: *Biomass Bioenergy* 18(4), 309-329.

Haufe, H.-K., Augenstein, I., Vogelgsang, W. und Lehle, M. (1998): Bewertung von Böden als „Standort für die natürliche Vegetation“. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung* 30(7), 214-219.

Krotscheck, C., König, F. und Obernberger, I. (2000): Ecological assessment of integrated bioenergy systems using the Sustainable Process Index. In: *Biomass Bioenergy* 18(4), 341-368.

Linderson, M.-L., Iritz, Z. und Lindroth, A. (2007): The effect of water availability on stand-level productivity, transpiration, water use efficiency and radiation use efficiency of field-grown willow clones. In: *Biomass and Bioenergy* 31(7), 460-468.

Lindroth, A. und Cienciala, E. (1996): Water use efficiency of short-rotation *Salix viminalis* at leaf, tree and stand scales. In: *Tree Physiology* 16(1-2), 257-262.

Mirck, J. und Volk, T.A. (2009): Seasonal sap flow of four *Salix* varieties growing on the Solvay Wastebeds in Syracuse, NY, USA. In: *International journal of phytoremediation*, 12(1), 1-23.

Mitchell, C.P., (2000): Development of decision support systems for bioenergy applications. In: *Biomass Bioenergy* 18(4), 265-278.

D. Murach, H. Hartmann, Y. Murn, M. Schultze, A. Wael und H. Röhle (2009): Standortsbasierte 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.

Stephens, W., Hess, T. und Knox, J. (2001): Review of the effects of energy crops on hydrology,
Institute of Water and Environment. Cranfield.

Optimierte satellitengestützte Schneeflächenkartierung im Einzugsgebiet Zugspitzplatt mit Hilfe von terrestrischen Digitalkameraaufnahmen und dem Softwaretool PRACTISE

Stefan Härer^{1,2}, Matthias Bernhardt¹, Karsten Schulz²

¹Physische Geographie und Fernerkundung, Department für Geographie, LMU München

²Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau (IWHW), BOKU Wien

1. Einleitung

Schneeflächenkartierungen werden häufig zur Validierung von (schnee-)hydrologischen Modellierungen in hochalpinen Einzugsgebieten (EZG) eingesetzt (Blöschl et al., 1991). Speziell für diese Gebiete entwickelte Modellpakete wie z.B. Alpine3D (Lehning et al., 2006) arbeiten mit einer hohen räumlichen Auflösung im Meterbereich und beschreiben detailliert die Schneedecke und deren Verfrachtung. Der Vergleich von beobachteten zu modellierten Mustern der Schneebedeckung bietet sich dabei insbesondere im Hochgebirge an, da diese Methode auch in entlegenen hochalpinen EZG einsetzbar ist. Zusätzlich ist dieses Verfahren sehr kosteneffizient, da frei zur Verfügung stehende Satellitendaten z.B. des Landsat-Satelliten und automatisch betriebene, terrestrische Digitalkamerasysteme (Aschenwald et al., 2001; Corripio, 2004) zur Kartierung der Schneeflächen eingesetzt werden können.

Die Schrägbilder aus den Kamerasystemen ermöglichen eine metergenaue und hoch qualitative Bestimmung der Schneemuster. Die räumliche Abdeckung ist jedoch relativ gering und somit auf ein Fokusgebiet beschränkt. Kostenlos zur Verfügung stehende Aufnahmen der Landsat-Satelliten können hingegen auch größere hydrologische EZG abdecken. Die Klassifizierung der Satellitenbilder ist aber aufgrund der räumlichen Auflösung von Landsat-Daten (30 m x 30 m) und den daraus resultierenden Mischpixeln aus Schnee und anderen Oberflächen ohne zusätzliche zumeist kosten- und arbeitsintensive Insitu-Messungen schwierig (Maher et al., 2012).

Wir präsentieren hier ein neues Verfahren, in dem die aus Digitalkameraaufnahmen abgeleiteten Schneekarten als Trainingsgebiete zur objektiven Klassifizierung der Satellitenbilder verwendet werden. Um ein schnelles und einfaches Prozessieren der Daten zu ermöglichen und somit eine hohe Benutzerfreundlichkeit zu gewährleisten, wurde die Software PRACTISE (Photo Rectification And Classification Software V.1.0; Härer et al., 2013) mit neuen optionalen Modulen (V.1.1) ausgestattet, die eine automatische und gleichzeitig hoch qualitative Detektion von Schneeflächen in Satellitenbildern der Landsat-Serie erlauben.

2. Daten

Die Software PRACTISE wurde im hochalpinen Kopfeinzugsgebiet Zugspitzplatt (Deutschland) entwickelt und getestet (Abb. 1a). Das EZG ist 11,4 km² groß, hat seinen höchsten Punkt am Gipfel der Zugspitze auf 2962 m ü. NN und den Gebietsauslass am Partnach-Ursprung auf 1430 m ü. NN.

Die Kameraaufnahmen stammen von einer handelsüblichen Spiegelreflexkamera mit verzerrungsarmen Objektiv (SLR; Canon EOS 550D, Canon EF 17–40mm f/4I USM), die an der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) am Südhang der Zugspitze installiert und nach Südwesten auf den gegenüberliegenden Schneefernerkopf gerichtet ist (blaues Sichtfeld in Abb. 1a). Zur Validierung wird hier eine an der UFS montierte Webcam (Mobotix M10 L43) mit südöstlicher Ausrichtung (grünes Sichtfeld in Abb. 1a) in die Untersuchung miteinbezogen.

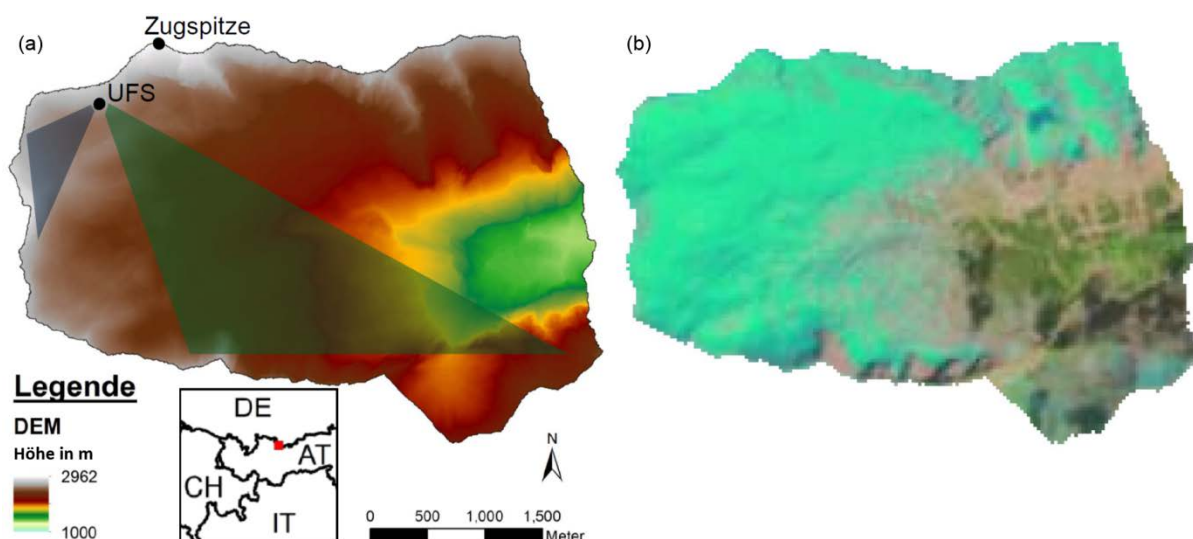


Abb. 1: DGM des EZG Zugspitzplatt und überlagerten Kamerasichtfeldern (a), Landsat Look-Aufnahme des Landsat 7 ETM+ vom 01.07.2013.

Die stündlichen Aufnahmen der Kameras gewährleisteten eine direkte Vergleichsmöglichkeit mit den Landsat-Aufnahmen. Für die Georeferenzierung der Schrägbilder steht ein DGM mit einer räumlichen Auflösung von 1 m für den Bereich um den Schneefernerkopf und von 5 m für den Rest des EZG zur Verfügung. Die vorgestellte Studie beschränkt sich auf Aufnahmen des Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) vom 29. August 2011, 17. November 2011 und 01. Juli 2013. Das Satellitenbild vom Juli 2013 ist als Landsat Look-Aufnahme in Abbildung 1b dargestellt.

3. Methoden

3.1 Schneeflächenkartierungen mit Aufnahmen des Landsat-Satelliten

Schneeflächen in Satellitenbildern der Landsat-Serie werden häufig mit dem von Dozier (1989) entwickelten NDSI (Normalized Difference Snow Index) detektiert. Dabei wird die

Reflexionsintensität im grünen (G, um 560 nm) und mittleren infraroten (MIR, um 1650 nm) Spektralbereich der beobachteten Oberfläche zur Indexberechnung genutzt; der Wertebereich des NDSI liegt zwischen -1 und 1:

$$NDSI = \frac{G - MIR}{G + MIR} \tag{1}$$

Schneebedeckte Flächen sind für NDSI-Werte über einem Schwellenwert von 0,4 zu erwarten (Hall et al., 1995). Der angegebene Schwellenwert ist jedoch nur eine gute Abschätzung. Für eine hochgenaue Schneeflächenkartierung ist zu berücksichtigen, dass der Schwellenwert zeitlich wie räumlich schwanken kann. Hall et al. (1995) geben für Island und große Gebiete der USA Werte von 0,25-0,45, Maher et al. (2012) für den Norden von Kanada Werte von 0,7 an.

3.2 PRACTISE V.1.1

Die Weiterentwicklung der Software PRACTISE (V.1.1) bietet neben der Möglichkeit aus Digitalkameraaufnahmen in Verbindung mit einem DGM schnell und einfach Schneekarten abzuleiten, die Option diese Schneekarten automatisch als Trainingsgebiete für die Kalibrierung des NDSI-Schwellenwertes einzusetzen und somit eine optimierte satellitengestützte Schneeflächenkartierung zu erstellen.

Dazu wurden zwei neue optionale Module in PRACTISE integriert. Eine integrierte Sonnenstandsrechnung nach Reda und Andreas (2003), welche die Klassifikationsqualität von Gebirgshängen für Fotos bei flach einfallender Sonnenstrahlung und somit den Überflugszeiten des Landsat-Satelliten (10:00 UTC) verbessert. Das zweite Modul optimiert die Übereinstimmung von Foto- und Satellitenbildklassifikation mit Hilfe von Zielfunktionen (F) aus Aronica et al. (2002),

$$F_1 = \frac{\sum_{i=1}^n a + \sum_{i=1}^n d}{n} \tag{2}$$

$$F_2 = \frac{\sum_{i=1}^n a}{\sum_{i=1}^n a + \sum_{i=1}^n b + \sum_{i=1}^n c} \tag{3}$$

wobei die Variablen a , b , c und d der binären Kontingenztafel in Tabelle 1 zu entnehmen sind.

Tab. 1: Kontingenztafel der Klassifikation der Schneeflächen von Foto und Satellitenbild

Kontingenztafel der Klassifikation der Schneeflächen von ...		Foto	
		Schnee	Kein Schnee
Satellitenbild	Schnee	a	b
	Kein Schnee	c	d

4. Ergebnisse und Diskussion

Die mit PRACTISE (V.1.1) erzielten Ergebnisse werden hier am Beispiel der Aufnahme vom 01. Juli 2013 vorgestellt und diskutiert.

Das klassifizierte und zur Validierung der optimierten Landsat 7-Aufnahme eingesetzte Webcamfoto ist in Abbildung 4a dargestellt. Die visuelle Inspektion von schneebedeckten und schneefreien

Flächen zeigt dabei eine sehr hohe Übereinstimmung von Foto und Klassifikation; dies gilt für sonnenbeschienene (vorderer Bildbereich) wie auch schattige Gebiete (hinterer Bildbereich) im Kamerasichtfeld.

In Abbildung 4b wird die Landsat Look-Aufnahme (aus Abb. 1a) von den Schneeflächenkartierungen mit optimiertem NDSI-Schwellenwert (rot gefüllt) und aus zur Kalibrierung und Validierung eingesetzten Digitalkameraaufnahmen (jeweils rot und blau gerastert) überlagert. Dabei ist ebenfalls eine hohe visuell Übereinstimmung zwischen Foto- und Satellitenbildklassifikation in Kalibrierung und Validierung zu beobachten. Abweichungen finden sich meist nur punktuell im niedrigeren Bereich des EZG und somit im Bereich der Schneedeckengrenze. Die Unterschiede scheinen daher der deutlich höheren Auflösung (1 m bzw. 5 m) und somit stärkeren Heterogenität der Kamera-klassifikation geschuldet zu sein.

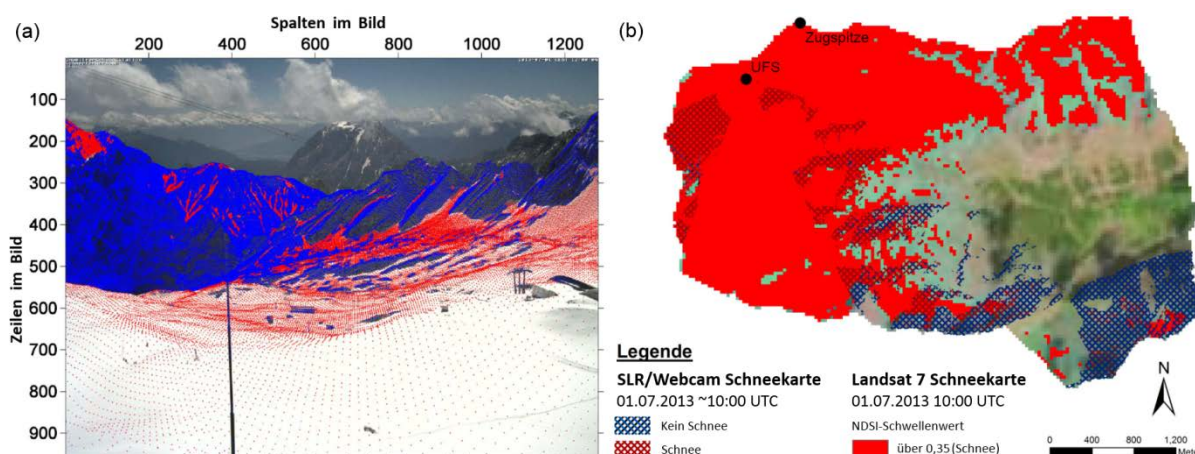


Abb. 2: Klassifikation der Schneeflächen im Webcambild vom 01.07.2013 (a), optimierte Schneeflächenkartierungen der Landsat 7 ETM+-Aufnahme (01.07.2013), überlagert mit den Klassifikationen der Kalibrierungs- und Validierungsfotos (b). Schnee ist jeweils in rot, kein Schnee in blau dargestellt.

Tab. 2: Berechnete Gütemaße für die Zielfunktionen (F) beim Vergleich der optimierten Schneeflächenklassifikation im Satellitenbild mit den aus den Aufnahmen der Spiegelreflexkamera (SLR) bzw. der Webcam abgeleiteten Schneekartierung

Werte der Zielfunktionen (F) für die optimierte Landsat 7-Schneekartierung vom 01.07.2013	SLR	Webcam
F_1	0,938	0,853
F_2	0,937	0,612

Der visuelle Eindruck einer hohen Qualität der Klassifikation wird von den berechneten Gütemaßen der Zielfunktionen quantitativ unterstützt (Tab. 2). Die Werte für das Kalibrierungsgebiet liegen knapp unter dem absoluten Optimum von 1. Die Validierungsgebiete haben im Vergleich zur

Kalibrierung relativ gesehen niedrige Gütemaße, welche ihre Ursache in der SO-Ausrichtung der Webcam auf die niedrigeren Bereiche des Zugspitzplatts und somit im zuvor angeführten Auflösungsunterschied zwischen Kamera- und Satellitenbild haben. Diese Annahme wird auch durch die Umkehr von Kalibrierungs- und Validierungsgebiet bestätigt, da ein sehr ähnlicher NDSI von 0,38 bei fast identischen Gütemaßen beobachtet werden kann. Die Gütemaße mit Werten, die trotz dieses Umstandes sehr hoch sind, sprechen für eine sehr hohe Klassifikationsqualität.

Auf die Prozessierung der Landsat 7-Aufnahmen vom 29. August 2011 bzw. 17. November 2011 soll hier nicht weiter eingegangen werden, jedoch liegen die optimierten NDSI-Schwellenwerte bei 0,27 bzw. 0,11, was eine zuvor angenommene zeitliche Dynamik in den berechneten NDSI-Werte bestätigt. Die Abweichung der NDSI-Schwellenwerte zu den von Dozier (1989), Hall et al. (1995) und Maher et al. (2012) durchgeführten Studien für Nordamerika und Island unterstreichen zudem die räumliche Variabilität.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der vorgestellte, neue methodische Ansatz zur Verschneidung von Digitalkameraaufnahmen und Satellitenbildern und dessen Integration in der neuen Programmversion von PRACTISE (V.1.1) im Kopfeinzugsgebiet Zugspitzplatt erfolgreich getestet werden konnte. Das Verfahren bietet somit die Möglichkeit kosteneffizient eine objektive, hoch qualitative Schneeflächenkartierung zu erstellen.

Weitere Untersuchungen werden die beobachtete zeitliche und räumliche Variabilität des NDSI-Schwellenwertes im gesamten Alpenraum genauer betrachten. Besonders interessant ist auch die Übertragbarkeit des Ansatzes, der leicht adaptiert für weitere Forschungsfragen (z.B. die Messung von Landoberflächentemperaturen) eingesetzt werden kann.

Danksagung

Die Autoren möchten sich bei der DBU und MICMoR für die finanzielle Unterstützung und bei der UFS als Forschungsplattform bedanken. Weiterhin möchten wir unseren Dank an David Morche (Universität Halle-Wittenberg) für das bereitgestellte DGM aussprechen.

Litertaurliste

Aschenwald, J.; Leichter, K.; Tasser, E. und Tappeiner, U. (2001): Spatiotemporal landscape analysis in mountainous terrain by means of small format photography: a methodological approach. In: IEEE T Geosci Remote 39, 885–893.

Aronica G.; Bates P. D. und Horrit M. S. (2002): Assessing the uncertainty in distributed model predictions using observed binary pattern information within GLUE. In: Hydrol Process 16: 2001–2016.

Blöschl, G.; Kirnbauer, R. und Gutknecht, D. (1991): Distributed snowmelt simulations in an Alpine catchment. 1. Model evaluation on the basis of snow cover patterns. In: Water Resour Res 27: 3171–3179.

- Corripio, J. G. (2004): Snow surface albedo estimation using terrestrial photography. In: *Int J Remote Sens* 25, 5705–5729.
- Dozier, J. G. (1989): Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper. In: *Remote Sens Environ* 28, 9-22.
- Härer, S.; Bernhardt, M.; Corripio, J. G. und Schulz, K. (2013): PRACTISE – Photo Rectification And ClassificaTION SoftwarE (V.1.0). In: *Geosci Model Dev* 6, 837-848.
- Hall, D. K.; Riggs G. A. und Salomonson V. V. (1995): Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data. In: *Remote Sens Environ* 54, 127-140.
- Lehning, M.; Volksch, I.; Gustafsson, D.; Nguyen, T. A.; Stähli, M. und Zappa, M. (2006): ALPINE3D: a detailed model of mountain surface processes and its application to snow hydrology. In: *Hydrol Process* 20, 2111-2128.
- Maher, A. I.; Treitz, P. M. und Ferguson, M. A. D. (2012): Can Landsat data detect variations in snow cover within habitats of arctic ungulates? In: *Wildl Biol* 18, 75-87.
- Reda, I. und Andreas, A. (2003): Solar position algorithm for solar radiation application. National Renewable Energy Laboratory (NREL) Technical report, NREL/TP-560-34302, Revised January 2008.

Analyse der zukünftigen Entwicklung von Abflussexremen im Einzugsgebiet des Dongting-Sees, Provinz Hunan, China

Andreas Trabert¹, Tom Lotz¹, Zhandong Sun² und Christian Opp¹

¹Fachbereich Geographie, Philipps-Universität Marburg

²Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences

1. Einleitung

Hoch- und Niedrigwasser sind als Extreme des Abflussgeschehens oftmals mit tiefgreifenden Folgen für Mensch und Umwelt verbunden. Innerhalb der regelmäßig von diesen Ereignissen betroffenen Volksrepublik China stellt das Gebiet um den Dongting-See am Mittellauf des Jangtsekiang eine besonders gefährdete Region dar (vgl. URIBE et al. 2009, S. 1).

Für den Hochwasserbereich wurde an diesem Abschnitt des Jangtsekiang in der jüngeren Vergangenheit eine Tendenz hin zu einem vermehrten und intensiveren Auftreten von Abflussexremen festgestellt (vgl. ZHANG et al. 2006a, S. 259–263 und ZHANG et al. 2005, S. 70–79). Insbesondere durch die Veränderung großräumiger atmosphärischer Zirkulationsmuster muss mit einer zukünftigen Intensivierung sowohl der Hoch- als auch der Niedrigwassersituation gerechnet werden (vgl. ZHANG et al. 2008, S. 224–226).

Das Einzugsgebiet des Dongting-Sees gewinnt dadurch als Entstehungsraum für hydrologische Extremereignisse zunehmend an Bedeutung. Daraus leitet sich die Frage nach der zukünftigen Entwicklung des Abflussgeschehens in den Hauptzuflüssen des Sees ab, die mit einem modellbasierten Untersuchungsansatz unter besonderer Berücksichtigung der Abflussexrema geklärt werden soll.

2. Untersuchungsgebiet

Der im Norden der Provinz Hunan gelegene Dongting-See ist der zweitgrößte Süßwassersee der Volksrepublik China (vgl. ZHANG et al. 2006, S. 25). Über drei Zuflüsse und einen Abfluss erfolgt ein Wasseraustausch mit dem den See im Norden tangierenden Jangtsekiang, innerhalb dessen Einzugsgebiet jener ein wichtiges Pufferelement darstellt. Das ca. 260000 km² große Einzugsgebiet des Dongting-Sees wird weitestgehend durch vier Hauptflüsse (Li, Yuan, Zi und Xiang) entwässert. Die Seefläche schwankt saisonal zwischen weniger als 500 und mehr als 2500 km² (vgl. URIBE et al. 2009, S. 3) und unterliegt, ebenso wie das Speichervolumen, einem negativen langfristigen Trend (vgl. ZHANG et al. 2006, S. 25).

Die Region ist durch ein subtropisches, vom südostasiatischen Monsun geprägtes Klima mit feuchten, abflussreichen Sommern und trockenen, abflussarmen Wintern gekennzeichnet (vgl. TIAN et al. 2011, S. 126–127). Der Westen und Süden des Untersuchungsgebietes weisen einen gebirgigen Charakter mit Erhebungen von bis zu 2000 m, hoher Reliefenergie und schmalen Talformen auf. Der Os-

ten und Norden sind dagegen deutlich niedriger gelegen; sie weisen eine geringere Reliefenergie und beckenartige Aufweitungen auf. Im Bereich der Seefläche sinkt die Geländehöhe bis auf Meeresspiegelniveau ab (vgl. USGS 2006). Als Landnutzungsformen überwiegen Wald- sowie vereinzelt Weideflächen, insbesondere die Flussauen und die Umgebung des Sees sind durch Reisanbau dominiert (vgl. CAS o. J.).

3. Stand der Forschung

Das Einzugsgebiet des Dongting-Sees stellt bereits heute eine Entstehungsregion von Hochwassern dar. Die Wirksamkeit der Abflussregulierung durch den Drei-Schluchten-Damm muss daher für diese Region hinterfragt werden (vgl. YU et al. 2009, S. 214–215). Durch die langfristige Abnahme von Seefläche und -volumen (vgl. ZHANG et al. 2006, S. 25), die auf natürliche Sedimentationsprozesse und verschiedenen anthropogenen Aktivitäten (intensivierte Landnutzung, wasserbauliche Maßnahmen) zurückgeführt wird (vgl. YU et al. 2009, S. 215), rufen heute bereits geringere Abflüsse höhere Wasserstände hervor (vgl. YIN und LI, S. 105).

Zur langfristigen Entwicklung des Abflussgeschehens im Dongting-Einzugsgebiet liegen über die im Jahr 1991 beginnenden Messungen an den vier Hauptflüssen hinaus keine Erkenntnisse vor. Am Mittellauf des Jangtsekiang wurden steigende Trends bei Abfluss, Wasserstand und Hochwasserereigniszahl ermittelt (vgl. ZHANG et al. 2006a, S. 260–262 und ZHANG et al. 2005, S. 76–78). Für das östlich des Untersuchungsgebietes gelegene Einzugsgebiet des Poyang-Sees, innerhalb dessen langfristige Abflusszeitreihen an zehn Messstellen vorliegen, wurden im Hochwasserbereich primär steigende, jedoch nicht signifikante Trends ermittelt. Im Niedrigwasserbereich treten ebenfalls weitestgehend steigende, zudem deutlich signifikante Trends auf. Des Weiteren wird die im klimatischen Kontext erwartbare Saisonalität von Hoch- und Niedrigwasserextremen bestätigt (vgl. TIAN et al. 2011, S. 126–130). Es besteht dabei eine hohe Korrelation zwischen Abfluss und Niederschlag (vgl. GEMMER et al. 2008, S. 17).

Das Niederschlagsverhalten innerhalb des Dongting-Einzugsgebietes zeigt eine deutliche Tendenz zu steigenden Intensitäten bei gleichzeitig mehr Trocken- und weniger Regentagen. Im Zuge der Veränderung atmosphärischer Zirkulationsmuster wird insbesondere zwischen Mai und Oktober eine zukünftige Verschärfung dieser Entwicklung und damit verbunden ein erhöhtes Auftreten von Hoch- und Niedrigwasserereignissen in dieser Region erwartet (vgl. ZHANG et al. 2008, S. 218–226).

Die Einsetzbarkeit des Wasserhaushaltsmodells *SWAT (Soil and Water Assessment Tool)* in chinesischen Fließgewässereinzugsgebieten wurde durch verschiedene Studien belegt (vgl. u. a. FENG et al. 2013, SCHMALZ et al. 2012, SUN et al. 2012, ZHUO et al. 2011, GUO et al. 2008, YANG et al. 2008).

4. Untersuchungsansatz

Zur Beantwortung der einleitend definierten Forschungsfrage wurde ein modellbasierter Ansatz gewählt, der unter Verwendung hochaufgelöster räumlicher und zeitlicher Informationen eine Nachbildung der hydrologischen Prozesse innerhalb des Untersuchungsgebietes ermöglicht (vgl. Abb. 1).

Hierbei wird mit *SWAT* (*Soil and Water Assessment Tool*) ein physikalisch basiertes, kontinuierliches Wasserhaushaltsmodell (vgl. GASSMAN et al. 2007, S. 1212) verwendet.

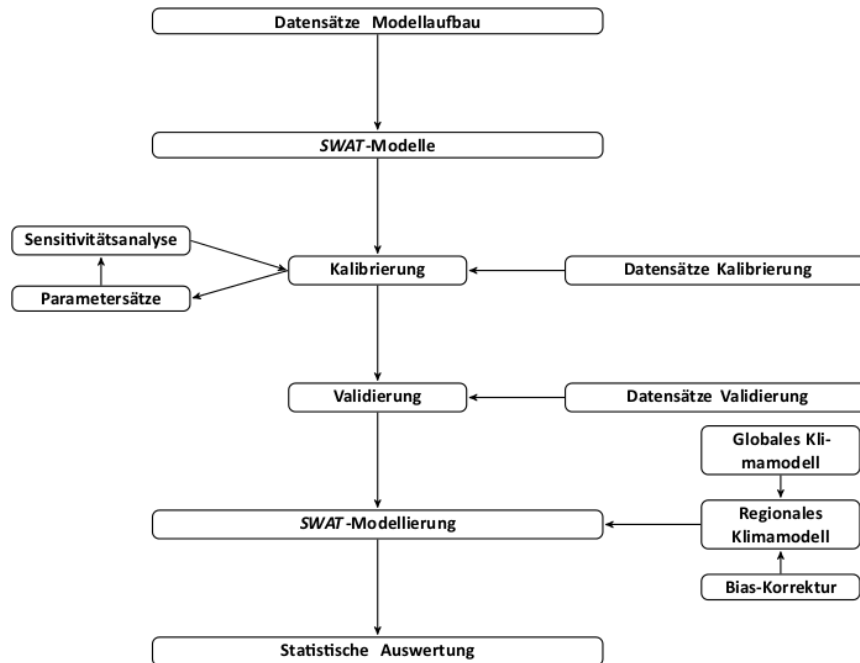


Abb. 1: Untersuchungskonzeption mit Daten- und Methodenübersicht.

Innerhalb des Untersuchungsgebiets werden für die Einzugsgebiete von Li, Yuan, Zi und Xiang vier separate Modelle aufgebaut, wozu aktuell folgende Datensätze eingesetzt werden:

Rasterdatensätze:

- Digitales Geländemodell *SRTM-3 Version 4*, Auflösung 90 m x 90 m
- Landnutzungsdatensatz mit 19 Klassen, Auflösung 1000 m x 1000 m
- Kombiniertes Bodendatensatz mit 1330 Klassen, Verschnitt aus:
 - Bodendatensatz Auflösung 1000 m x 1000 m, Parametersatz unvollständig
 - Bodendatensatz Auflösung 7000 m x 7000 m, Parametersatz vollständig

Zeitreihen (26 Messstellen, tägliche Auflösung, 1981–2012):

- Niederschlag (Tagessumme)
- Temperatur (Tagesmaximum und -minimum)
- Relative Luftfeuchtigkeit (Tagesdurchschnitt)
- Windgeschwindigkeit (Tagesdurchschnitt)
- Solarstrahlung (Tagessumme, simulierte Werte)

Die Kalibrierung und Validierung der Modelle erfolgt automatisiert mittels *SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Programs)* unter Verwendung des *SUFI-2-Algorithmus (Sequential Uncertainty Fitting Version 2)*. Für diesen Schritt sind folgende Zeiträume festgelegt, die durch Abflusszeitreihen in täglicher Auflösung abgedeckt sind:

- Warm-up-Phase: 1991–1995
- Kalibrierung: 1996–2003
- Validierung: 2004–2011

Zur Modellierung des zukünftigen Abflussgeschehens werden hochaufgelöste Klimaprognosen des regionalen Klimamodells *PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies)* mit einer Auflösung von 50 km x 50 km als Antrieb eingesetzt. Die Durchführung der Modellrechnungen erfolgt im täglichen Zeitschritt.

Aus den Ausgabedaten werden gewässerkundliche Hauptzahlen mit jährlichem, saisonalem und monatlichem Zeitschritt extrahiert und hinsichtlich ihrer langfristigen Entwicklung analysiert.

5. Arbeitsstand und erwartete Ergebnisse

Das dargestellte Konzept befindet sich seit Frühjahr 2013 in der Umsetzung. Aufbauend auf der Datengrundlage wurden mehrere Modellgruppen für die Einzugsgebiete von Li, Yuan, Zi und Xiang in verschiedenen Detailgraden erstellt. Diese werden aktuell kalibriert. Anschließend sind erste Modellrechnungen mit *PRECIS*-Klimaprognosen anberaamt. Für die Zukunft wird eine Berücksichtigung weiterer, vorwiegend anthropogener Einflussgrößen wie dem Landnutzungswandel und der Speicherbewirtschaftung angestrebt.

Es wird erwartet, dass die Resultate des Vorhabens (unter Berücksichtigung von Modellfehlern der Klima- und Wasserhaushaltsmodelle) die bereits heute feststellbare Tendenz hin zu einem vermehrten Auftreten hydrologischer Extremereignisse sowohl im Hoch- als auch im Niedrigwasserbereich in die Zukunft fortschreiben werden.

Literatur

CHINESE ACADEMY OF SCIENCES (CAS), RESOURCES AND ENVIRONMENT DATA CENTER (Hrsg.) (o. J.): Landuse map 1:100000.

FENG, X. Q., ZHANG, G. X. und XU, Y. J. (2013): *Simulation of hydrological processes in the Zhalong wetland within a river basin, Northeast China*. In: *Hydrology and Earth System Sciences* 17, S. 2797–2807.

GASSMAN, P. W., REYES, M. R., GREEN, C. H. und ARNOLD, J. C. (2007): *The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions*. In: *Transactions of the ASABE* 50(4), S. 1211–1250.

- GEMMER, M., JIANG, T., SU, B. und KUNDZEWICZ, Z. W. (2008): *Seasonal precipitation changes in the wet season and their influence on flood/drought hazards in the Yangtze River Basin, China*. In: *Quarterly International* 186, S. 12–21.
- GUO, H., HU, Q. und JIANG, T. (2008): *Annual and seasonal streamflow responses to climate and land-cover changes in the Poyang Lake basin, China*. In: *Journal of Hydrology* 355, S. 106–122.
- SCHMALZ, B., KUEMMERLEN, M., STREHMEL, A., SONG, S., CAI, Q., JÄHNIG, S. und FOHRER, N. (2012): *Integrierte Modellierung von aquatischen Ökosystemen in China: Ökohydrologie und Hydraulik*. In: *Hydrologie und Wasserwirtschaft* 56(4), S. 169–184.
- SUN, S. L., CHEN, H. S., JU, W. M., SONG, J., LI, J. J., REN, Y. J. und SUN, J. (2012): *Past and future changes of streamflow in Poyang Lake Basin, Southeastern China*. In: *Hydrology and Earth System Sciences* 16, S. 2005–2020.
- TIAN, P., ZHAO, G.-J., LI, J. und TIAN, K. (2011): *Extreme value analysis of streamflow time series in Poyang Lake Basin, China*. In: *Water Science and Engineering* 4(2), S. 121–132.
- URIBE, C., LI, J., DAILLET, S., CHEN, X., BERGÉ-NGUYEN, M., LI, J., CRÉTAUX, J.-F., HUBER, C., LAI, X., MARIE, T., HUANG, S., ANDREOLI, R. und YÉSOU, H. (2009): *Monitoring of the largest Chinese inland lakes within the ESA-MOST DRAGON project using conjointly ENVISAT image time series and altimetric data: case of Dongting and Poyang lakes*. – Conference Paper, 13th World Lake Conference Wuhan 2009. http://wldb.ilec.or.jp/data/ilec/WLC13_Papers/S25/s25-1.pdf (Datum: 20.01.2014).
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS) (Hrsg.) (2006): *Shuttle Radar Topography Mission 3 Arc Second, Version 4*. Digitales Höhenmodell.
- YANG, J., REICHERT, P., ABBASPOUR, K. C., XIA, J. und YANG, H. (2008): *Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China*. In: *Journal of Hydrology* 358, S. 1–23.
- YU, F., CHEN, Z., REN, X. und YANG, G. (2009): *Analysis of historical floods on the Yangtze River, China: Characteristics and explanations*. In: *Geomorphology* 113, S. 210–216.
- ZHANG, J., XU, K., YANG, Y., QI, L., HAYASHI, S. und WATANABE, M. (2006): *Measuring water storage fluctuations in Lake Dongting, China by TOPEX/POSEIDON satellite altimetry*. In: *Environmental Monitoring and Assessment* 115, S. 23–37.
- ZHANG, Q., XU, C.-Y., ZHANG, Z., CHEN, Y. D., LIU, C.-L. und LIN, H. (2008): *Spatial and temporal variability of precipitation maxima during 1960–2005 in the Yangtze River basin and possible association with large-scale circulation*. In: *Journal of Hydrology* 353, S. 215–227.
- ZHANG, Q., LIU, C., XU, C.-Y., XU, Y. und JIANG, T. (2006a): *Observed trends of annual maximum water level and streamflow during past 130 yrs in the Yangtze River basin, China*. In: *Journal of Hydrology* 324, S. 255–265.
- ZHANG, Q., JIANG, T., GEMMER, M. und BECKER, S. (2005): *Precipitation, temperature and runoff analysis from 1950 to 2002 in the Yangtze basin, China*. In: *Hydrological Sciences Journal* 50(1), S. 65–80.
- ZHOU, G., WEI, X., WU, Y., LIU, S., HUANG, Y., YAN, J., ZHANG, D., ZHANG, Q., LIU, J., MENG, Z., WANG, C., CHU, G., LIU, S., TANG, X. und LIU, X. (2011): *Quantifying the hydrological responses to climate change in an intact forested small watershed in Southern China*. In: *Global Change Biology* 17, S. 3736–3746.

Das Durchmischungsregime des Ammersees

Thomas Büche, Ludwig-Maximilians-Universität München

Mark Vetter, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft

1. Einführung

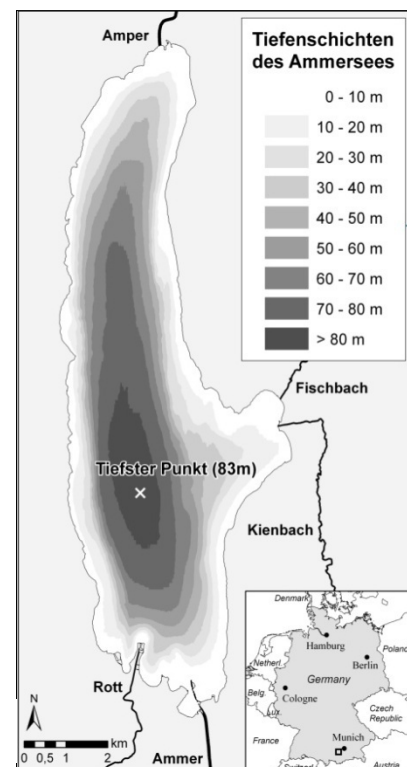
Das Durchmischungsverhalten ist einer der entscheidenden limnophysikalischen Eigenschaften eines Sees. Es steht in direkter Wechselbeziehung zum Wärmehaushalt und beeinflusst die Phänologie der Stoffverteilung im Wasserkörper und somit auch stark die Limnobiologie im See (Schwoerbel and Brendelberger 2005). Die Zirkulationsbedingungen eines Sees werden einerseits von seiner Beckenform (mittlere und maximale Seetiefe) und der geographischen Lage (geographischen Breite, Höhe über Meeresniveau) und demnach von den klimatischen Rahmenbedingungen geprägt. Daher können Veränderungen im Durchmischungsverhalten auch als Indikatoren für den Klimawandel herangezogen werden.

Der Zirkulationstyp des Ammersees wird nach den gängigen Klassifikationen nach Hutchinson and Löffler (1956) (geogr. Breite / Höhe) und nach Lewis and William (1983) (geogr. Breite/Seetiefe) als dimiktisch bestimmt; d. h. im Wasserkörper findet ein zweimaliger Wechsel von Zirkulation und Stagnation im Jahr statt, in dem wenigstens eine Zirkulationsphase die gesamte Wassermasse erfassen (Holomixis) muss (Schwoerbel and Brendelberger 2005). Auch in der allgemeinen Literatur wird das Durchmischungsregime des Sees einhellig als dimiktisch klassifiziert (Joehnk and Umlauf 2001, Kucklantz 2001, Nixdorf et al. 2004, Ernst et al. 2009). Der See weist jedoch nur selten eine geschlossene Eisbedeckung auf; letztmalig 2006 (Bueche and Vetter 2014). Demnach muss eine Unterbrechung der Zirkulationsphasen von Herbst und Frühling nicht immer gegeben sein und es können somit Jahre einer Monomixis ermöglicht werden.

In der Untersuchung zum Durchmischungsverhalten des Ammersees von Danis et al. (2004) wurde das Durchmischungsregime des Ammersees nur anhand der Dauer der Homothermie und/oder der winterlichen inversen Schichtung bestimmt: > 75 Tage (d) = dimiktisch; < 75 d = monomiktisch; 0 d = ohne Vollzirkulation.

In diesem Beitrag wird anhand vorhandener Messdaten (Wassertemperatur (WT), gelöster Sauerstoff (dissolved oxygen, DO), 1986 – 2011, n = 24) überprüft, welche Ausprägungen von Durchmischungsphasen im Ammersee auftreten und welches Durchmischungsverhalten abgeleitet werden kann. Ferner wird untersucht, ob anhand von Veränderungen ein Trend abgeleitet werden kann. Dabei wird auch die Methodik genauer beleuchtet, bei der neben der WT auch der Sauerstoffgehalt im See herangezogen wird, um die verschiedenen Varianten im Durchmischungsverhalten abgrenzen zu können.

Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet



2. Untersuchungsgebiet

Der Ammersee liegt im bayerischen Voralpenland und hat eine mittlere Tiefe von 37,5 m (Nixdorf et al. 2004) und eine maximale Tiefe von 83 m (Abb. 1). Er besitzt eine Fläche von 46,6 km² und ein Volumen von ca. 1,75 Mrd. m³. Die theoretische Erneuerungszeit beträgt 2,7 Jahre. Seine wenig strukturiert Beckenform weist eine Nord-Südausrichtung auf (siehe Abb. 1) (Vetter and Sousa 2012).

3. Daten und Methodik

Zur Untersuchung des Durchmischungsverhaltens standen Tiefenprofil-Daten zur WT und des DO's von der tiefsten Stelle des Sees für den Zeitraum 1986 – 2011 in zweiwöchentlicher bis monatlicher Auflösung zur Verfügung. Für eine Holomixis des Wasserkörpers wurde eine Homothermie im gesamten

dimiktisch	17
2 Vollzirkulationen	10
1 Vollzirkulation/vor Stagnation	2
1 Vollzirkulation/nach Stagnation	4
Anzahl Vollzirkulationen unsicher	1
monomiktisch	6
meromiktisch	1

Seeprofil vorausgesetzt. Als zusätzlicher Indikator für die Tiefenausdehnung der Durchmischung wurde die Verteilung des DO hinzugezogen, welcher für die Detektion einer kompletten Durchmischung ebenfalls einheitlich Werte in der

Tab. 1: Anzahl der verschiedenen Durchmischungsklassen für den Zeitraum 20.11.2009 bis 30.03.2010

gesamten Wassersäule aufweisen musste. Unterbrechungen der Zirkulationsphasen im Winter, sofern nicht durch eine Eisbedeckung offensichtlich, wurden anhand Perioden mit inverser Temperaturschichtung in der Wassersäule detektiert. Die Messwerte wurden für den für Durchmischung des Sees relevanten Zeitraum November bis März (Saison) auf Zirkulationsphasen untersucht. Um die Durchmischungsvorgänge im See genauer ableiten zu können, wurden zusätzlich zu den Wassertemperaturen auch Messwerte (Tagesmittel) der Lufttemperaturen und der Windgeschwindigkeiten in täglicher Auflösung hinzugezogen. Anschließend wurde das detektierte Durchmischungsverhalten jeder Saison klassifiziert (monomiktisch, dimiktisch oder meromiktisch). Zusätzlich wurden bei dimiktischen Saisons noch die Anzahl der Vollzirkulationen (1 oder 2) und deren Auftreten (vor oder nach der Winterstagnation) unterschieden.

2009/10 ist eine typische dimiktische Saison mit einer Vollzirkulation (Holomixis). In der Abbildung 2 sind für den Zeitraum 20.11.2009 – 30.03.2010 beispielhaft die gemessenen Wassertemperatur- und Sauerstoffprofile sowie die daraus interpolierten Gradienten innerhalb der Wassersäule für beide Parameter und die daraus abgeleiteten potentiellen Phasen (Homothermie, einheitlicher Sauerstoffgehalt) für eine Vollzirkulation dargestellt. Anhand der Daten lässt sich folgendes ableiten:

- Homotherme Verhältnisse, die Grundvoraussetzung für eine Vollzirkulation, treten um den Jahreswechsel und Ende März auf (Blaufärbung im Balken zur Homothermie).
- Eine inverse Schichtung (WT-Gradient negativ) verhindert die Zirkulation im Januar und Februar
- Der stetig hohe Sauerstoffgradient in der Wassersäule zeigt an, dass bis zum 4. Messtermin (09.02.2009) keine Vollzirkulation stattgefunden hat
- Die einheitlichen Sauerstoffwerte in der Wassersäule Ende März deuten darauf hin, dass zuvor eine Vollzirkulation stattgefunden hat (Grünfärbung im unteren Balken).

Demnach wurde diese Saison als dimiktisch mit einer Vollzirkulation nach der Unterbrechung der Zirkulationsphasen klassifiziert.

4. Ergebnisse und Diskussion

In der Tabelle 1 sind Ergebnisse der angewandten Klassifikation zum Durchmischungsverhalten aufgelistet. Zwar ist die Mehrzahl der Saisons als dimiktisch bestimmt, doch bei 28 % an monomiktischen Ereignissen ist das Zirkulationsregime des Ammersees nicht eindeutig als dimiktisch einzustufen, sondern ist im Übergangsbereich von dimiktisch zu warm monomiktisch (nach Hutchinson and Löffler (1956)) einzuordnen. Die verschiedenen Zirkulationstypen treten gleichverteilt über den Untersuchungszeitraum auf. Daher kann anhand der Messdaten kein Trend zur Veränderung im Durchmischungsverhalten des Ammersees abgeleitet werden. Jedoch zeigt die Varianz im Zirkulationsverhalten zwischen den unterschiedlichen Saisons, dass die Durchmischung des Sees gegenüber klimatischen Einflüssen als sehr sensitiv angesehen werden kann. Das Auftreten einer meromiktischen Saison belegt, dass der Ammersee auch Saisons ohne eine Vollzirkulation aufweisen kann.

Sowohl die Häufigkeit an monomiktischen Saisons, als auch das Auftreten einer meromiktischen Saison entspricht den Ergebnissen von Danis et al. (2004). Jedoch berücksichtigt die angewandte Methodik verschiedene Parameter und daher sind die Ergebnisse als belastbarer einzustufen.

5. Fazit und Ausblick

Die in dieser Untersuchung angewandte Methodik erlaubt einen detaillierten Blick auf das Zirkulationsverhalten des Sees. Zirkulationsphasen konnten abgegrenzt, Voll- und Teilzirkulationen unterschieden und der Zirkulationstyp der Saisons klassifiziert werden. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass sich das Zirkulationsverhalten des Ammersees bei veränderten klimatischen Bedingungen verändern könnte. Eine prognostizierte erhöhte Lufttemperatur im Winter könnte die Ausbildung einer inversen Schichtung (oder einer Eisbedeckung) zunehmend verhindern. Durch die damit unterbundene Unterbrechung der Durchmischung in zwei getrennte Zirkulationsphasen würde der See zu häufigeren monomiktischen Saisons tendieren.

Eine durch einen Anstieg der generellen Lufttemperatur induzierte Verlängerung der sommerlichen Stagnationsphasen und der Temperaturschichtung im See, wie von Bueche and Vetter (in revision) simuliert, würde grundsätzlich eine Verkürzung der Zirkulationsphasen bewirken und die Gelegenheiten für eine ganzheitliche Durchmischung verringern. Eine höhere Frequenz mit Jahren ohne Vollzirkulationen hätte weitreichende Auswirkungen auf den Stoffhaushalt sowie Fauna und Flora (Bayer et al. 2013).

Zur Abschätzung der Änderung des Durchmischungsverhaltens des Ammersees können gekoppelte Seeökosystem-Modelle wie GLM-FABM (Hipsey et al. 2013) verwendet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse dieser Untersuchung können dafür als Dokumentation der (jüngeren) Vergangenheit und als Bezugsdatensatz zum Vergleich mit simulierten Daten für die Zukunft dienen. Die Arbeitsgruppe (LAGO-Projekt 2014) arbeitet gegenwärtig an dieser Fragestellung.

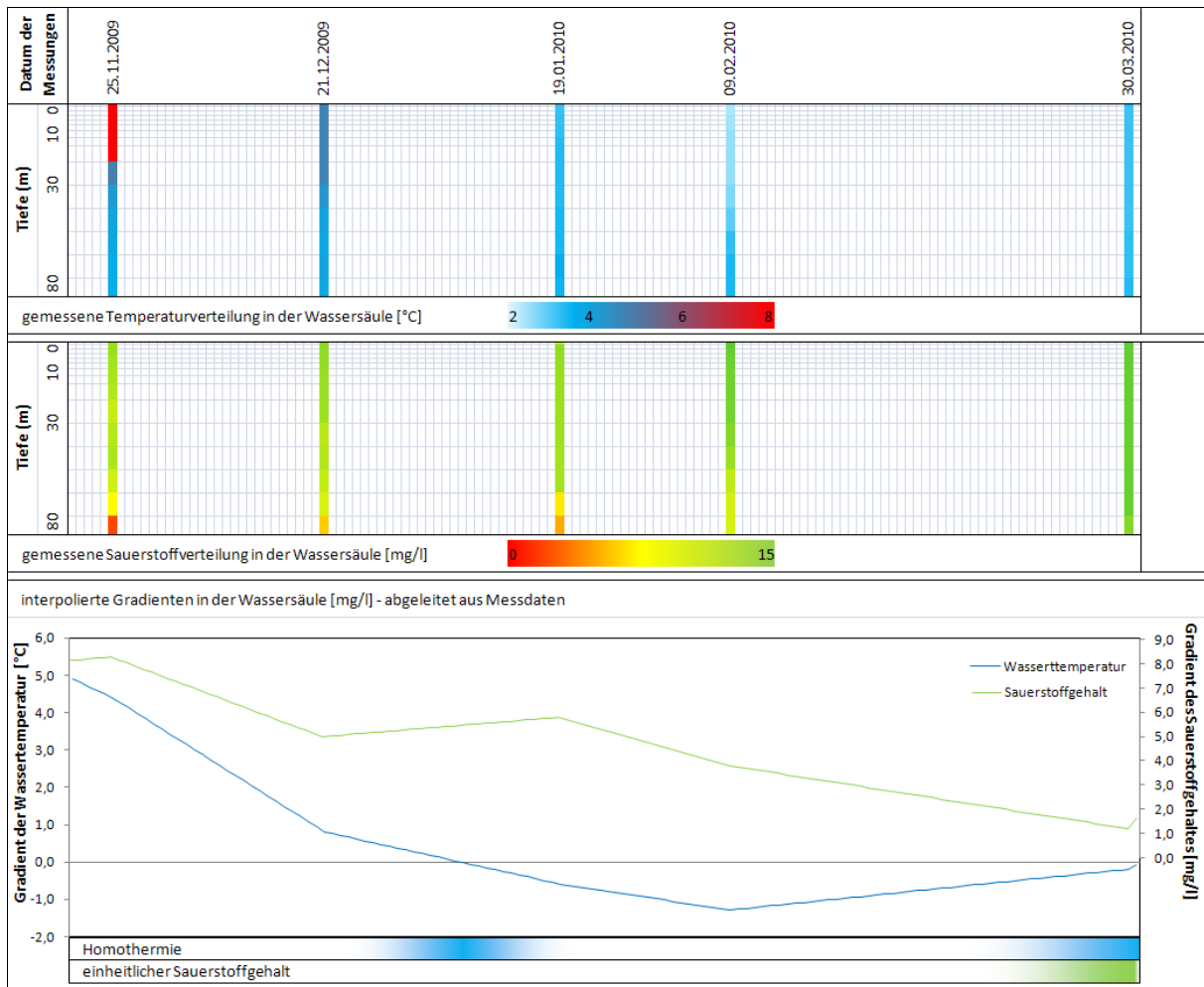


Abb. 2: Messwerte zur Wassertemperatur und Sauerstoff gekennzeichnet durch kolorierte Profile, interpolierte Gradienten in der Wassersäule und potentielle Zirkulationsphasen gekennzeichnet als gefärbte Balken im Zeitraum 20.11.2009 – 30.03.2010

6. Literaturverzeichnis

- Bayer, T. K.; Burns, C. W. and Schallenberg, M. (2013): Application of a numerical model to predict impacts of climate change on water temperatures in two deep, oligotrophic lakes in New Zealand. In: *Hydrobiologia*: 1-19. DOI: 10.1007/s10750-013-1492-y
- Bueche, T. and Vetter, M. (2014): Simulating water temperatures and stratification of a pre-alpine lake with a hydrodynamic model: calibration and sensitivity analysis of climatic input parameters. In: *Hydrological Processes* 28: 1450-1464. DOI: 10.1002/hyp.9687
- (in revision): Future alterations of thermal characteristics in a medium-sized lake simulated by coupling a regional climate model with a lake model. In: *Climate Dynamics*.
- Danis, P.-A.; von Grafenstein, U.; Masson-Delmotte, V.; Planton, S.; Gerdeaux, D. and Moisselin, J. M. (2004): Vulnerability of two European lakes in response to future climatic changes. In: *Geophysical Research Letters*, L21507: 1-4. DOI: 10.1029/2004gl020833

- Ernst, B.; Hoeger, S. J.; O'Brien, E. and Dietrich, D. R. (2009): Abundance and toxicity of *Planktothrix rubescens* in the pre-alpine Lake Ammersee, Germany. In: Harmful Algae 8: 329-342. DOI: 10.1016/j.hal.2008.07.006
- Hipsey, M. R.; Bruce, L. C. and Hamilton, D. P. (2013): GLM General Lake Model - Model Overview and User Information v1.3.2. Perth
- Hutchinson, G. and Löffler, H. (1956): The thermal classification of lakes. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 42: 84-86.
- Joehnk, K. D. and Umlauf, L. (2001): Modelling the metalimnetic oxygen minimum in a medium sized alpine lake. In: Ecological Modelling 136: 67-80. DOI: 10.1016/s0304-3800(00)00381-1
- Kucklentz, V. (2001): Antwort bayerischer Voralpenseen auf verringerte Nährstoffzufuhr. München
- LAGO-Projekt (2014): Internetauftritt des LAGO-Projektes. <http://www.lago.geographie.uni-muenchen.de/> (Date: 17.02.2014)
- Lewis, J. and William, M. (1983): A revised classification of lakes based on mixing. In: Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 40: 1779-1787.
- Nixdorf, B.; Hemm, M.; Hoffman, A. and Richter, P. (2004): Dokumentation von Zustand und Entwicklung der wichtigsten Seen Deutschlands. Berlin
- Schwoerbel, J. and Brendelberger, H. (2005): Einführung in die Limnologie. München
- Vetter, M. and Sousa, A. (2012): Past and current trophic development in Lake Ammersee - Alterations in a normal range or possible signals of climate change? In: Fundamental and Applied Limnology 180: 41-57. DOI: 10.1127/1863-9135/2012/0123

Experimentelle Untersuchungen zur Transportdynamik von Schwermetallen und organischem Kohlenstoff in einem forsthydrologischen Einzugsgebiet (Mittelhessen)

Peter Chiffard¹, Martin Reiss¹, Henning Meesenburg²

¹Fachbereich Geographie, Philipps-Universität Marburg

²Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen

Einleitung

Organischer Kohlenstoff und Schwermetalle kommen in gelöster Form in unserer Umwelt in unterschiedlicher Konzentration vor und haben einen bedeutenden Einfluss auf die Wasserqualität unter- und oberirdischer Gewässer (Evans et al. 2005). Verschiedene Studien belegen die Anreicherung oder Mobilisierung von Schwermetallen in Böden oder die zunehmende Belastung von Fließgewässern mit gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC), was wiederum Auswirkungen u.a. auf die Trinkwasseraufbereitung hat. Bisher wenig Beachtung fand dabei der Transport von gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) und Schwermetallen von terrestrischen in aquatische Systeme, der zusätzlich in hohem Maße von ereignisbedingten Faktoren (Bodenvorfeuchte, Niederschlagsintensität usw.) abhängig ist (Strohmeier et al. 2013). In Mittelgebirgen kommt dem Zwischenabfluss, generiert aus Bodenwasser, eine bedeutende Rolle in der Abflussbildung zu, weshalb die hydrochemischen Eigenschaften des Zwischenabflusses einen entscheidenden Einfluss auf die Wasserqualität der oberirdischen Gewässer haben. Es ist daher notwendig, das Prozessverständnis dieser zeitlich sehr variablen Transportdynamik an der Schnittstelle terrestrischer und aquatischer Ökosysteme zu verbessern, um Senken- und Quellenfunktionen klimarelevanter und trophisch immanenter Stoffe zu bewerten und detaillierter zu untersuchen.

Untersuchungsgebiet

Um die zeitliche sowie räumliche Variabilität der Transportprozesse detailliert zu untersuchen, werden umfangreiche experimentelle Studien in dem Kleineinzugsgebiet „Krofdorfer Forst“ (ca. 24 ha; Teileinzugsgebiet der Salzböde mit 140 km², Lahn-Einzugsgebiet), etwa 20 km südwestlich von Marburg (Hessen, Deutschland), durchgeführt (Abb. 1). Das Gebiet ist Bestandteil des Rheinischen Schiefergebirges und wird aus devonischen Schiefern und Grauwacken, teilweise von Löss beeinflusst, aufgebaut. Vorherrschende Bodentypen sind Braunerden, (erodierte) Parabraunerden sowie Hang- und Quellgleye (Zakosek et al. 1971, Führer 1990).

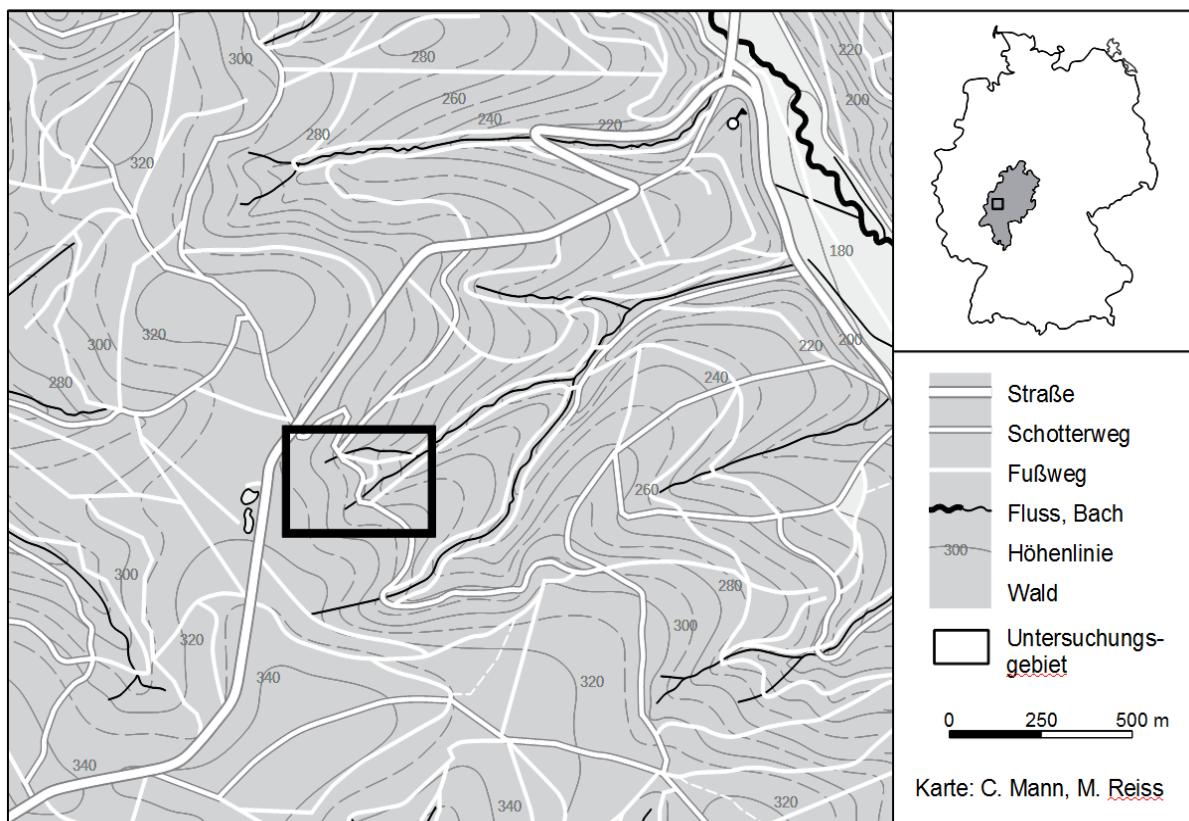


Abbildung 1: Lage des forsthydrologischen Untersuchungsgebietes „Krofendorfer Forst“ in Mittelhessen.

Material und Methoden

Die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt Göttingen betreibt im Untersuchungsgebiet Krofendorfer Forst seit 1971 einen forsthydrologischen Intensivmessplot (Level I) in dem neben Bestandsniederschlag, Stammabfluss, Bodenfeuchte, Bodentemperatur insbesondere auch die Konzentrationen des gelösten organischen Kohlenstoffes und verschiedener Schwermetalle in den Kompartimenten des Landschaftswasserhaushaltes analysiert werden (Niederschlag, Bestandsniederschlag, Bodenwasser und Abfluss). Darüber hinaus wird durch eigene Vorarbeiten (Reiss 2013) an verschiedenen Hangpositionen (Ober-, Mittel- und Unterhang) Bodenwasser über Saugkerzen in verschiedenen Tiefen, je nach Bodenprofil Aufbau, zur hydrochemischen Analyse gewonnen (Abb. 2 und 3).

Dabei erfolgt die Wasserprobennahme der Bodenlösungen mit Hilfe von Saugkerzen (*Soil Solution Access Tubes* (SSAT); Fa. Irrrometer). Die Spitze der Saugkerze ist aus Keramik und der Corpus aus transparentem Kunststoff (Butyrat) und somit für Nährstoffe und Spurenelemente (z.B. Schwermetalle) zur Probennahme geeignet (DWA 2008, GROSSMAN ET AL. 1987). Die Installation der Saugkerzen erfolgt frontal an den Bodenschürfen nach einer standardisierten Abfolge der Tiefenposition (10cm, 30cm, 50cm, 70cm, 90cm, 110cm) soweit es der Bodentyp erlaubt.

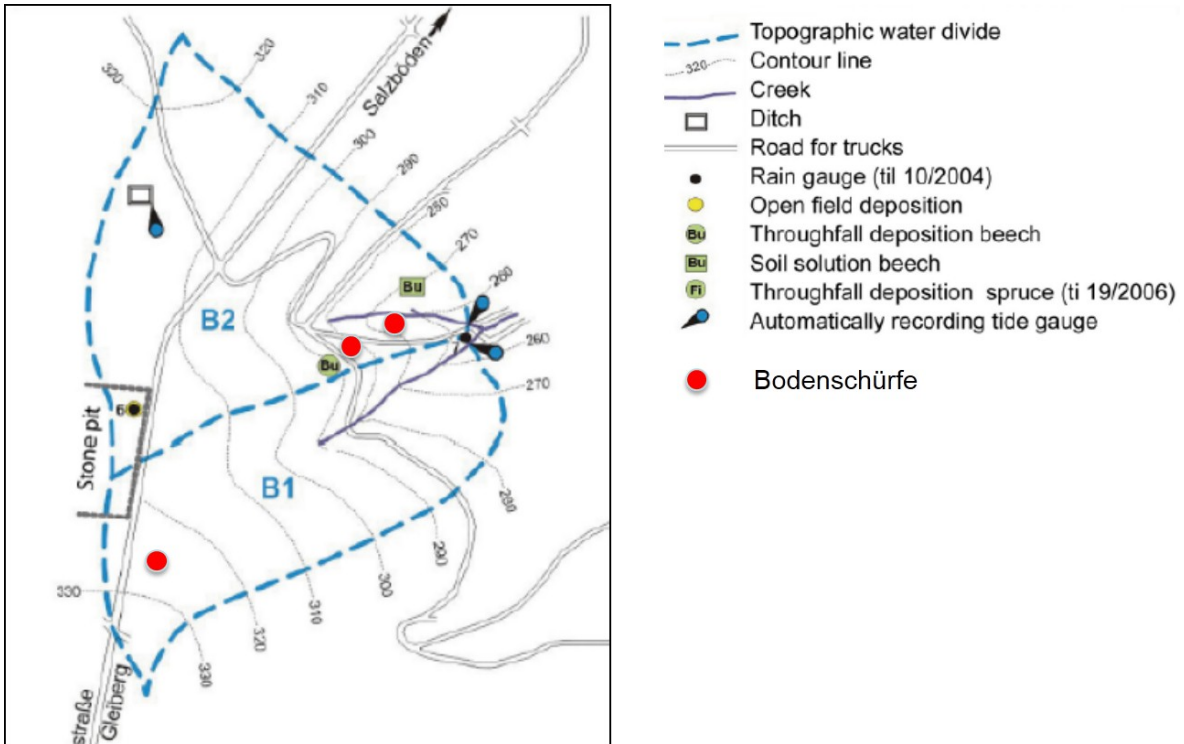


Abbildung 2: Überblick zur Installation der Saugkerzen am Bodenprofil im Mittelhangbereich.

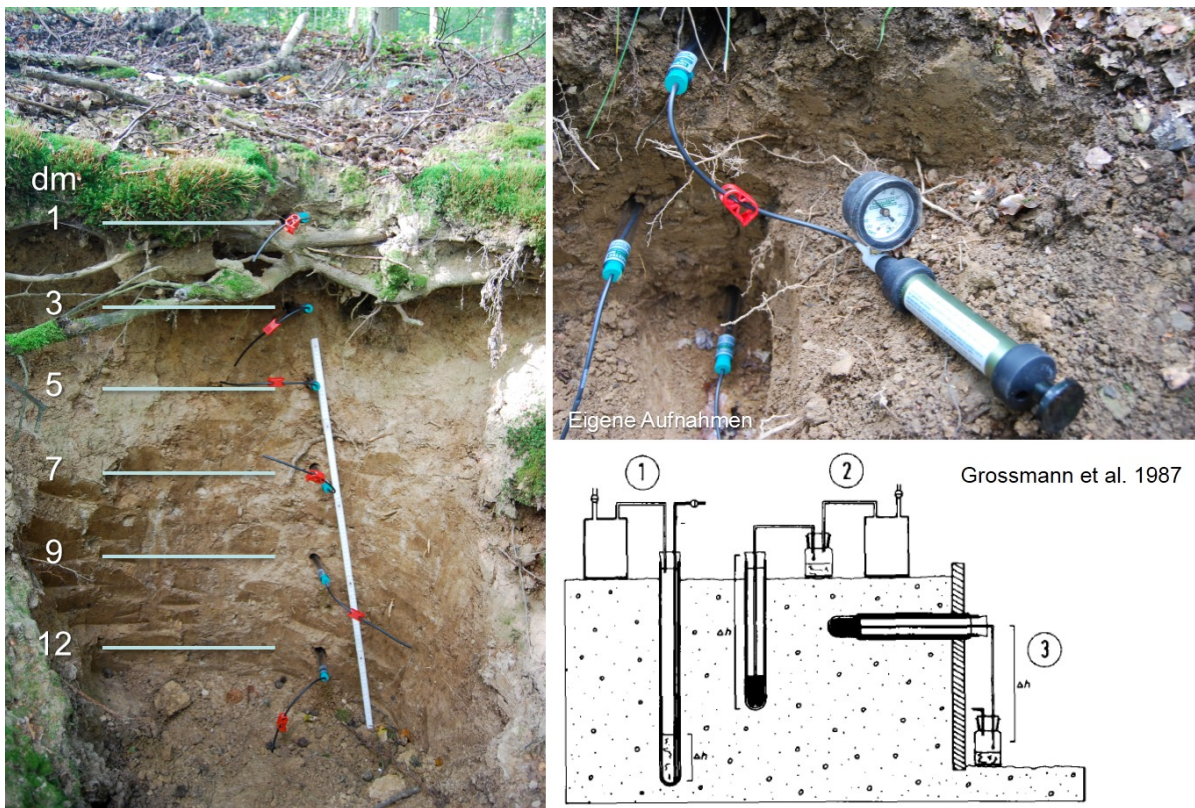


Abbildung 3: Überblick zur Installation der Saugkerzen am Bodenprofil im Mittelhangbereich.

Damit ist eine unmittelbare Vergleichbarkeit der einzelnen Bodenprofile gewährleistet und außerdem lassen sich somit empirische Erkenntnisse in bestehende Bodenwasserhaushaltsmodelle übertragen. Zur Gewinnung der Bodenlösung wird mittels Vakuumpumpe ein Unterdruck in der Saugkerze erzeugt. Weiterhin werden grundlegende bodenphysikalische Parameter (z.B. Korngrößenzusammensetzung, Lagerungsdichte, FDR-Messung der Bodenfeuchte) der Bodenmatrix erfasst. Die Analyse der Bodenlösungen erfolgt zum Teil im Gelände durch in-situ-Messungen (pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit), vor allem aber im Labor. Hierbei werden chemische Elemente mittels Atomabsorptionsspektrometrie (AAS) und Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (*inductively coupled plasma mass spectrometry*, kurz ICP-MS) selbst gemessen. Das Messprogramm ermittelt Gehalte (mg/L) für die Elemente Kalium, Calcium, Natrium, Magnesium, Eisen, Kupfer, Zink und Blei. Zur Analyse von Stickstoff- und Phosphatverbindungen werden photometrische (Extinktionsintensität) und argentometrische (Fällungstiteration) Verfahren angewendet. Neben Bodenlösungen werden auch die Wässer des Oberflächenabflusses, der Quellschüttung sowie des Gerinneabflusses im Bach am Messpegel beprobt und chemisch analysiert. Damit soll ein Bezug und Vergleich zumindest zu einigen Kompartimenten im Landschafts- bzw. Gebietswasserhaushalt hergestellt werden. Die Konzentration des gelösten organischen Kohlenstoffs wird ebenfalls in allen Kompartimenten des Landschaftswasserhaushaltes im Labor der Justus-Liebig Universität mit einem TOC-Analyser (Vario TOC Cube; Fa. Elementar) bestimmt. Um die Anzahl der zu analysierenden Wasserproben im Vorfluter zu reduzieren und um zeitlich hochaufgelöste Messdaten zu erhalten, wurde ein ProPS - UV Prozess Photometer (Fa. TriOS) im Vorfluter installiert, um auf Basis von hochpräzisen UV-Absorptionsmessungen, in Verbindung mit einer mathematischen Analysesoftware sowie einer Kalibrierung, die Konzentrationen von gelöstem



organischen Kohlenstoff zu messen (Leihgabe: Lutz Breuer, Justus-Liebig Universität).

Foto 1: Eingebautes ProPS - UV Prozess Photometer im Vorfluter des Krofdorfer Forstes.

Ergebnisse

Die ersten Auswertungen der Zeitreihen zum gelösten organischen Kohlenstoff im Abfluss zeigen, dass die kurz- und langfristigen Schwankungen der DOC-Konzentrationen im Vorfluter nicht alleine mit den Abflussschwankungen erklärbar sind, so dass weitere ereignisbeschreibende Parameter zur Erklärung der zeitlichen Variabilität herangezogen werden müssen (Abb. 4). Es ist daher notwendig, einzelne Niederschlags-Abfluss-Ereignisse zeitlich hochaufgelöst zu untersuchen und die Variabilität der DOC-Konzentrationen mit Ereignisvariablen (Bodenvorfeuchte, Niederschlagsintensität) zu verknüpfen, um die Faktoren für deren Mobilisierung zu identifizieren.

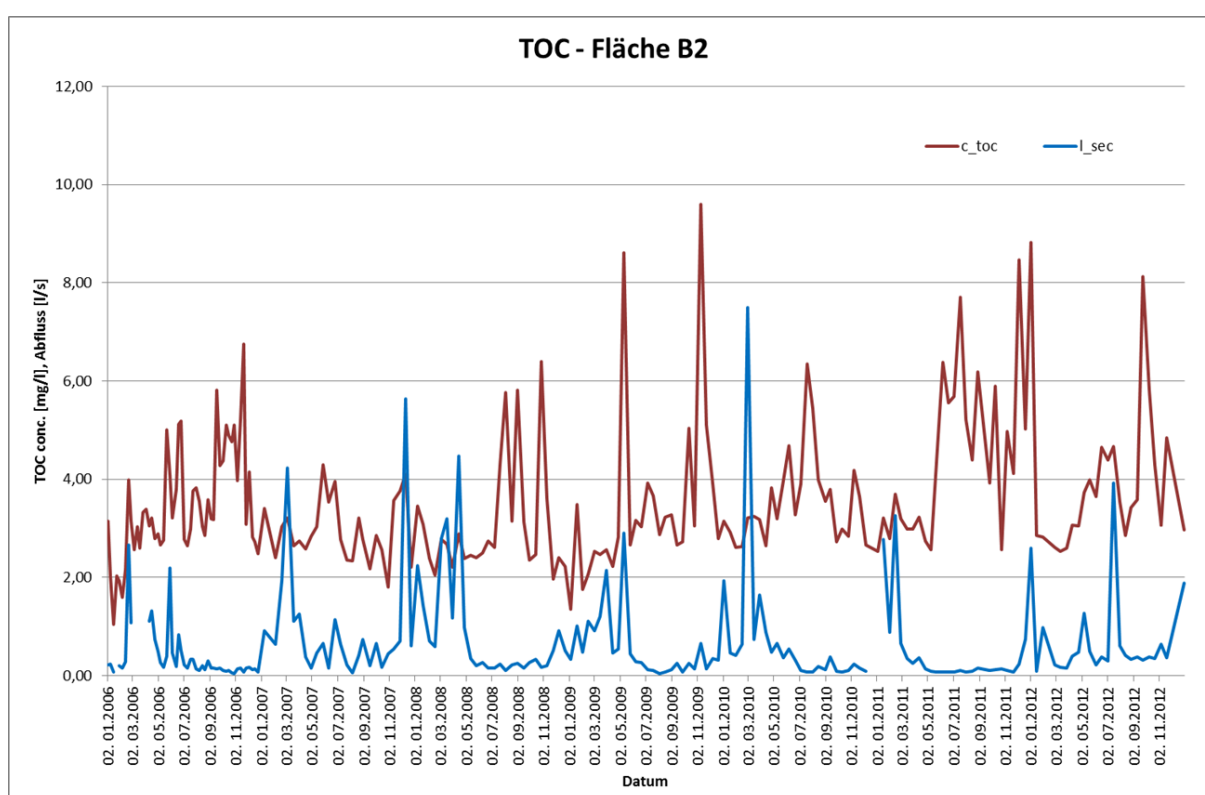


Abbildung 4: Zeitliche Variabilität des Abflusses und der Konzentrationen des gelösten organischen Kohlenstoffes im Abfluss (Datengrundlage: NW-FVA).

Betrachtet man die Konzentrationen des gelösten organischen Kohlenstoffes im Ober- (20 cm) und Unterboden (100 cm) so wird deutlich, dass im Oberboden höhere Konzentrationen auftreten als im Unterboden (Abb. 5 und 6). Ein signifikanter Zusammenhang zwischen den DOC Konzentrationen im Boden und im Abfluss ist aber nicht gegeben. Es zeigt sich lediglich eine leichte Tendenz, dass bei steigenden DOC Konzentrationen im Oberboden die Konzentrationen im Abfluss ebenfalls zunehmen.

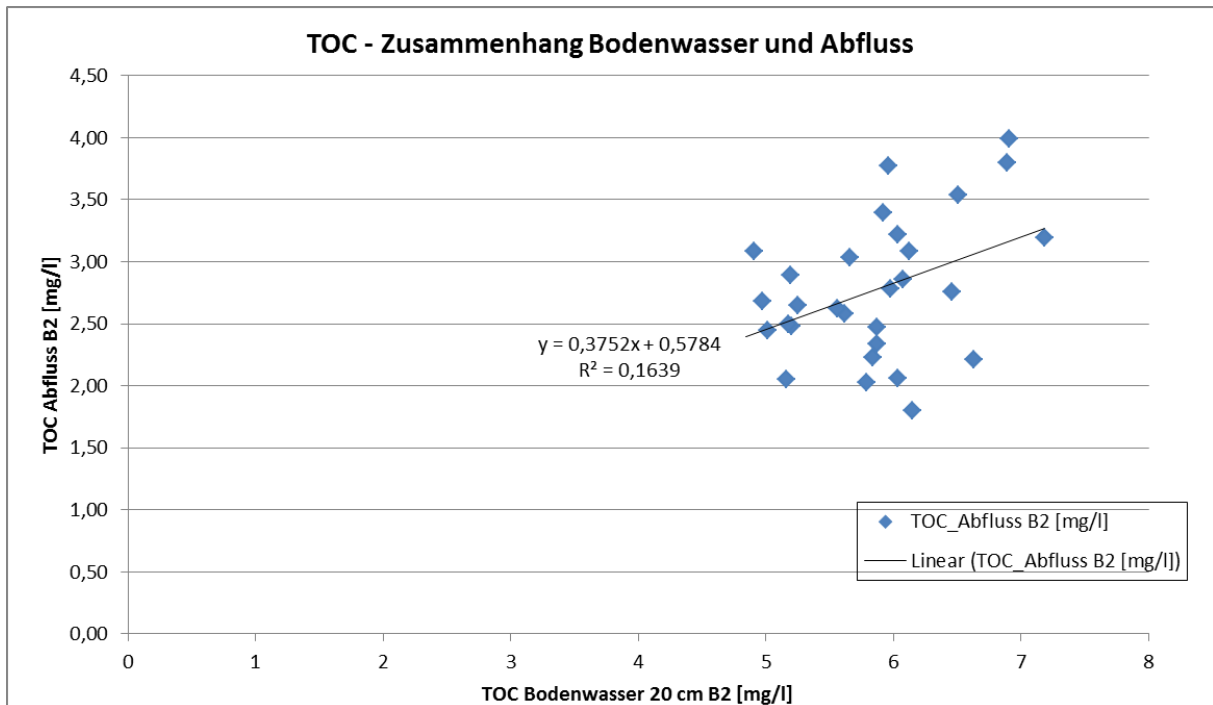
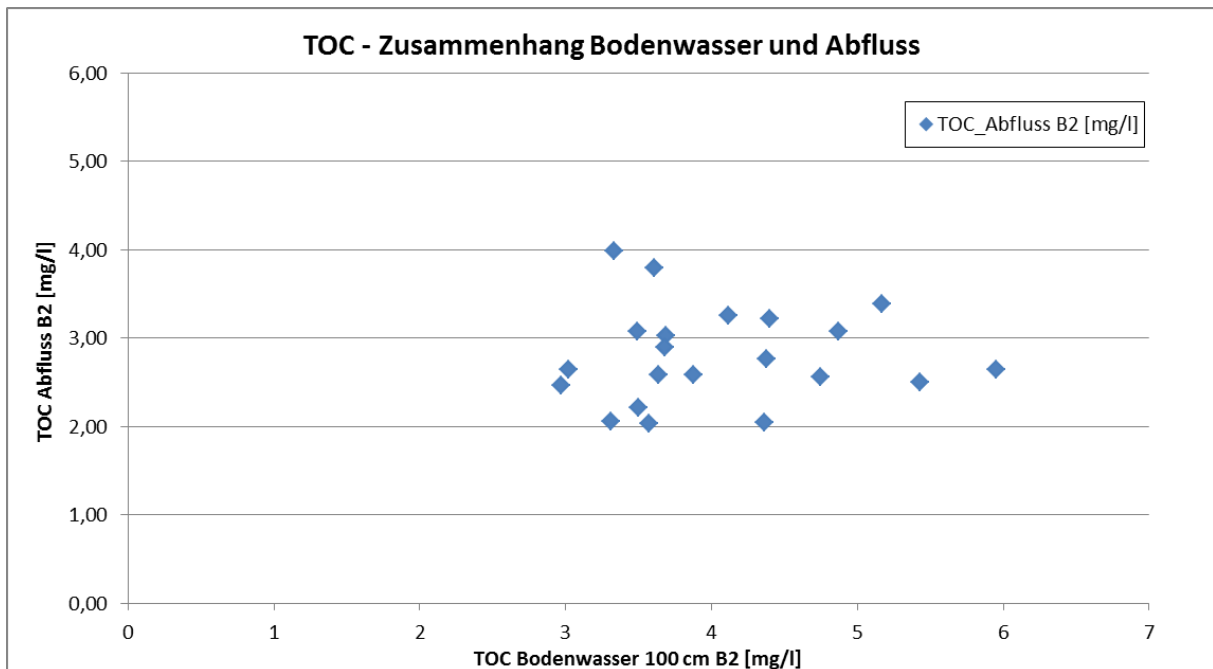


Abbildung 5: Konzentrationen des gelösten organischen Kohlenstoffes im Bodenwasser (20 cm Tiefe) und im Abfluss (Datengrundlage: NW-FVA).



Erste Ergebnisse zur Tiefenverteilung von Schwermetallen im Boden zeigen, dass die lithologischen Diskontinuitäten (LD) als geochemische Barrieren innerhalb der Tiefenfunktion der Mangan-Konzentration fungieren (Abb. 7).

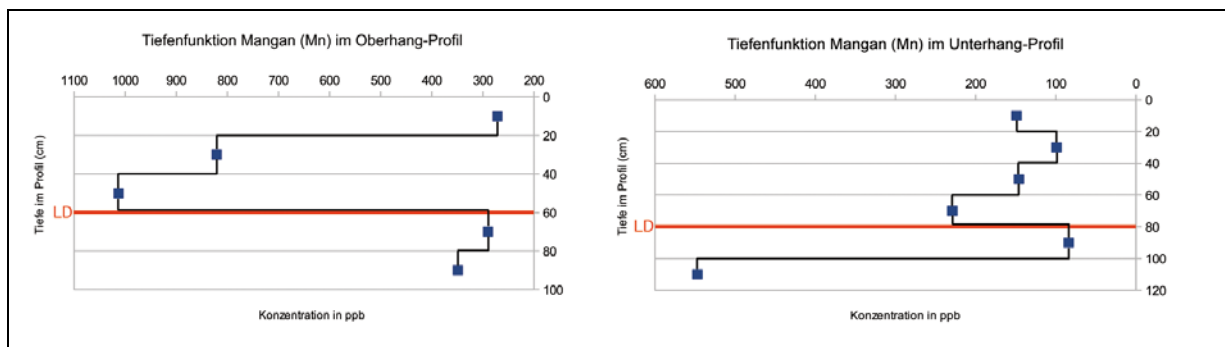


Abbildung 7: Tiefenverteilung des Mangans (in ppb) im Bodenprofil am Ober- und am Unterhang.

Ausblick

Mit der begonnenen Vorstudie im hydrologischen Testgebiet Krofdorfer Forst wird erstmalig empirisch-feldmethodisch der chemisch-physikalische Zustand des Bodenwassers (in Bodenlösungen) im Untersuchungsgebiet ermittelt. Es werden die Eigenschaften von Bodenschichtungen, bedingt durch periglaziale Lagen, als geochemische Barriere überprüft. Somit werden Ergebnisse erwartet, die entsprechende Schichtkonstellationen im Bodenprofil (vgl. Abb. 7) als entscheidendes System geochemischer Prozesse und Veränderungen hinsichtlich der Wasserqualität von Bodenlösungen kennzeichnen. Die Stellung des Zwischenabflusses im Gebietswasserhaushalt wird als Beitragsgröße (Parameter) zur Gewässergüte von Quell- und Fließgewässern dargestellt. Im Hinblick auf die Mobilisierung von gelöstem organischen Kohlenstoff wird die Bedeutung ereignisbedingter Einflussfaktoren deutlich, die zur Erklärung der zeitlichen Variabilität des DOC im Abfluss bestimmt und herangezogen werden müssen.

Literaturliste

- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (Hrsg.) (2008): Merkblatt DWA-M 905 In situ-Erfassung von Bodenlösung. Hennef
- Evans, C.D., Monteith, D.T. & Cooper, D.M. (2005): Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: Observations, possible causes and environmental impacts. – *Environmental Pollution* 137(1):55–71
- Grossmann, J.; Quentin, K.E. & Udluft, O. (1987): Sickerwassergewinnung mittels Saugkerzen - eine Literaturstudie. – *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 150, 258-261.
- Reiss, M. (2013): Wasserqualität von Bodenlösungen unter Berücksichtigung periglazialer Deckschichten: Konzept einer Vorstudie. – *Geographica Augustana* 13, S.99-103.

- Strohmeier, S., Knorr, K.-H., Reichert, M., Frei, S., Fleckenstein, J. H., Peiffer, S. & Matzner, E. (2013): Concentrations and fluxes of dissolved organic carbon in runoff from a forested catchment: insights from high frequency measurements. – Biogeosciences 10:905–916
- Führer, H.-W. (1990): Einflüsse des Waldes und waldbauliche Maßnahmen auf Höhe, zeitliche Verteilung und Qualität des Abflusses aus kleinen Einzugsgebieten – Projektstudie im Krofdorfer Buchenforst. Frank: München. (= Forstliche Forschungsberichte München, Nr.106)
- Zakosek, H., Romschinski, A. & Sedlatschek, A. (1971): Die Böden der Teilgebiete A und B des Forschungsgebietes Krofdorf. Unveröffentlichter Kurzbericht, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden. 12 S.

Anschrift der Verfasser

Peter Chiffard, Martin Reiss
AG Soil & Water Ecosystems
Fachbereich Geographie
Philipps-Universität Marburg
Deutschhausstr. 10, 35032 Marburg
Email: peter.chiffard@geo.uni-marburg.de

Henning Meesenburg
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Grätzelstrasse 2, 37079 Göttingen
Email: Henning.Meesenburg@nw-fva.de