

HEFT **29.10**

Nachhaltige Wasserwirtschaft durch Integration von Hydrologie, Hydraulik, Gewässerschutz und Ökonomie
Beiträge zum Tag der Hydrologie am 25./26. März 2010
an der Technischen Universität Braunschweig

Günter Meon (Herausgeber)

Veranstalter des Tages der Hydrologie 2010:

- ≈ Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften in der DWA, Aachen, Hennef
- ≈ Abteilung für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz im Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig
- ≈ Hauptausschuss Hydrologie und Wasserbewirtschaftung der DWA, Hennef



Günter Meon (Herausgeber):

Nachhaltige Wasserwirtschaft durch Integration von
Hydrologie, Hydraulik, Gewässerschutz und Ökonomie

Beiträge zum Tag der Hydrologie 2010
25./26 März 2010 an der Technischen Universität Braunschweig

Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung; Heft 29.10

ISBN: 978-3-941897-49-6

Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften, 2010

Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Herausgeber:

Fachgemeinschaft Hydrologische
Wissenschaften in der DWA
Geschäftsstelle
Theodor-Heuss-Allee 17
D - 53773 Hennef
Tel.: 02242/872 – 0
Fax: 02242/872 – 135
info@FgHW.de
www.FgHW.de

Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung
für Wasserwirtschaft, Abwasser und
Abfall e.V., Bundesgeschäftsstelle
Theodor-Heuss-Allee 17
D – 53773 Hennef
Tel.: 02242/872 – 333
Fax: 02242/872 – 100
vertrieb@dwa.de
www.dwa.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heribert Nacken
Fachgemeinschaft Hydrologische
Wissenschaften in der DWA

Druck und Binden:
Vasen BigPrint, Hennef

Univ.-Prof. Dr. -Ing. Markus Disse
Hauptausschuss Hydrologie und
Wasserbewirtschaftung der DWA

Umschlaggestaltung:
Dorit Steinberger, München

© FgHW – Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 2010

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung der Herausgeber in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Die wissenschaftliche Richtigkeit der Texte, Abbildungen und Tabellen unterliegt nicht der Verantwortung der Herausgeber.

Vorwort

In den vergangenen Jahren nahmen die Veranstaltungen zum "Tag der Hydrologie" stark auf aktuelle Themen der Hydrologie Bezug. Ingenieurhydrologie, wie sie an der Technischen Universität Braunschweig erforscht und gelehrt wird, ist jedoch immer auf die wasserwirtschaftliche Praxis ausgerichtet und bedarf zwingend der Vernetzung mit anderen Disziplinen. Diese Aspekte standen am 12. "Tag der Hydrologie 2010" in Braunschweig im Vordergrund. Mit dem Thema "Nachhaltige Wasserwirtschaft durch Integration von Hydrologie, Hydraulik, Gewässerschutz und Ökonomie" sollte der Blick über den eigenen fachlichen Tellerrand in relevante Nachbardisziplinen hinein intensiviert und deren Verknüpfung mit der Hydrologie zum Nutzen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft deutlich gemacht werden.

Insbesondere die Wasserrahmen- und die Hochwasserrichtlinie der EU nehmen die Institutionen der Wasserwirtschaft in die Pflicht, das Wasser integrativ und nachhaltig zu bewirtschaften:

- integrativ bezüglich Wassermenge und Gewässergüte, Wassernutzung und Schutz vor dem Wasser
- nachhaltig bezüglich ökologischer, sozialer und ökonomischer Dimensionen

Diesen Herausforderungen trugen die vier Themenschwerpunkte Rechnung:

1. Wasserhaushalt und Gewässergüte unter sich wandelnden Randbedingungen
2. Integrierte Erfassung von Prozessen der Hydrologie, Gewässerhydraulik und Gewässergüte
3. Ökologische, soziale und ökonomische Ansätze zur Bewertung und Optimierung einer nachhaltigen Wasserwirtschaft
4. Internationale Ansätze zum integrierten Wasserressourcen-Management

Über 220 Besucher und 15 Aussteller aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Wasserwirtschaftsverwaltungen, Verbänden und der Ingenieurpraxis kamen nach Braunschweig. Es wurden 40 Vorträge und 50 Poster ausgewählt und präsentiert.

Ich danke der Stadt Braunschweig für die Überlassung der Räumlichkeiten zum Empfang im Alten Rathaus. Ohne die großzügigen Sponsoren BMBF, Stadtentwässerung (Veolia) Braunschweig, IHP/HWRP und Harzwasserwerke wäre der Tag der Hydrologie nicht möglich gewesen. An sie richtet sich mein Dank ebenso wie an die Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften und den Hauptausschuss Hydrologie und Wasserbewirtschaftung der DWA für das entgegengebrachte Vertrauen und die Kontinuität, die sie mit ihrem administrativen Einsatz dem Tag der Hydrologie zwischenzeitlich verliehen haben. Weiterhin danke ich meinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für ihren professionellen Beitrag zur Organisation und Durchführung der Veranstaltung, sowie Herrn Prof. H.-B. Kleeberg für die Mitgestaltung des Tagungsbandes.

Günter Meon

Braunschweig, im Juli 2010

Heft 29 2010 Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Nachhaltige Wasserwirtschaft durch Integration von Hydrologie, Hydraulik, Gewässerschutz und Ökonomie

Inhalt	Seite
Vorträge zum Thema 1: Wasserhaushalt und Gewässergüte unter sich wandelnden Randbedingungen	
<i>Jörg Scherzer, Bernd Schultze, Jörg Niederberger und Hannaleena Pöhler</i>	
WASKlim - Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt am Beispiel der Wupper (NRW), der oberen Iller (Bayern) und der Salza (Sachsen-Anhalt)	9
<i>Christian Dobler</i>	
Klima-Ensemble-Projektionen zur Abschätzung zukünftiger Abflüsse in einem alpinen Einzugsgebiet	17
<i>Ralf Merz</i>	
Zeitliche Stabilität von Modellparametern– Konsequenzen für die Modellierung hydrologischer Änderungen	25
<i>Nina Köplin, Daniel Viviroli, Bruno Schädler und Rolf Weingartner</i>	
Klimasensitivität mesoskaliger Einzugsgebiete im Schweizer Alpenraum	33
<i>Michael Rode, Hulya Boyacioglu, Thomas Vetter und Valentina Krysanova</i>	
Einfluss klimainduzierter Abflussänderungen auf die gewässerinterne N-Retention	39
<i>Gunnar Lischeid, Christian Lehr, Thomas Kalettka, Christian Merz und Uwe Schindler</i>	
Globaler Wandel, lokale Folgen: Wie lassen sich Auswirkungen auf die Gewässergüte in situ nachweisen?	41
<i>Peter Fiener, Peter Neuhaus und Johannes Botschek</i>	
Langfristige Variabilität der Niederschlagserosivität in Nordrhein-Westfalen: Bedeutung für die Bemessung von Erosionsschutzmaßnahmen	43

Daniel Klein, Thomas Dockhorn und Andreas Hartmann

Nachhaltiger Ressourcenschutz bei der Abwasserreinigung
Das Braunschweiger System des Wasser- und Nährstoffrecyclings 45

Markus Casper, Jürgen Gauer, Gayane Grigoryan und Philipp Reiter

Einfluss des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Waldstandorten in
Rheinland-Pfalz 53

Petra Fleischhammel, Dagmar Schoenheinz und Uwe Grünewald

Bergbaufolgeseen – Herausforderungen bei ihrer Integration in die
Gewässerlandschaft und die flussgebietsbezogene Bewirtschaftung 61

Yvonne Morgenstern, Heike Puhmann und Klaus von Wilpert

Erfassung der Bodenwasserdynamik und ihrer räumlichen Variabilität im Wald
mit Hilfe von zufällig wandernden Messplots 69

Marco Natkhin, Jörg Steidl und Otfried Dietrich

Der Einfluss von Klimaänderungen und Waldwirtschaft auf die
Grundwasserneubildung in einem niederschlagsarmen Tieflandeinzugsgebiet 79

Vorträge zum Thema 2: Integrierte Erfassung von Prozessen der Hydrologie, Gewässerhydraulik und Gewässergüte

*Andreas Schumann, Günter Blöschl, Günter Meon, Uwe Büttner, Norbert Demuth,
Franz-Klemens Holle, Ralf Merz und Uwe Müller*

Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten als Beispiel für die
Integration von Methoden in der Hydrologie 87

*Michaela Rogger, Ralf Merz, Jürgen Komma, Alberto Viglione, Robert Kirnbauer,
Herbert Pirkl und Günter Blöschl*

Versuch der Synthese der Niederschlag- Abflussmodellierung und
Hochwasserstatistik 91

Thomas Krausse, Jens Grundmann und Gerd H. Schmitz

Stochastische Hochwasservorhersage in schnell reagierenden Einzugsgebieten 99

Wolfgang Rieger und Markus Disse

Erstellung eines Hochwasserschutzkonzepts mit integrierten dezentralen Maßnahmen auf Grundlage hydrologischer und hydrodynamisch numerischer Modellierungen 101

Enno Nilson, Maria Carambia, Peter Krahe, Claudia Rachimow, Jules Beersma

Bias-Korrekturmodelle im Vergleich: Eine Bewertung im Kontext der hydrologischen Klimafolgenforschung 111

Nicola Fohrer, Birgit Schmalz und Jona Golon

Integrierte ökohydrologische Modellierung - vom Einzugsgebiet bis zum aquatischen Habitat 119

Frido Reinstorf, Sebastian Leschik, Andreas Musolff, Gerhard Strauch, Monika Möder, Karsten Osenbrück und Mario Schirmer

Integrierte Modellierung urbaner Mikroverunreinigungen in der StadtHalle/Saale 121

Stefanie Maßmann, Frauke Jakobs, Frank Sellerhoff, Jan Feldmann, Heiko Sieker, Carsten Lange, Yunchol Om und Reinhard Hinkelmann

Hyd³Flow - Integrierte hydrologische und hydro-numerische Modellsysteme für eine verbesserte Hochwasservorhersage 123

Silke Mey, Bernd Pfützner, Stephan Chmielecki, Mike Müller, Dieter Wenske, Andreas Schroeter, Matthias Kater und Christiane Uhlig

Wandel vom Bergbau zur Seenlandschaft Gekoppelte GW-OW Modellierung zur Wasserhaushaltsprognose 131

Markus Weiler und Andreas Steinbrich

Integrative Ausweisung von Abflussbildungsprozessen zur räumlichen und zeitlichen Bewirtschaftung von Wassermenge und Wassergüte 139

Jan H. Fleckenstein, Sven Frei, Stefan Peiffer und Gunnar Lischeid

Dynamik des Oberflächen-Grundwasseraustausches, Abflussbildung und Verweilzeiten in einem Niedermoor mit Mikrotopographie 141

Vorträge zum Thema 3: Ökologische, soziale und ökonomische Ansätze zur Bewertung und Optimierung einer nachhaltigen Wasserwirtschaft

Helge Bormann, Frank Ahlhorn, Luise Giani, Kirsten Klaassen und Thomas Klenke

'Climate Proof Areas': Anpassung von Wassermanagement-Strategien im Küstenraum an den Klimawandel 151

Mariele Evers, Leonie Lange und Marion Ramünke

Erfolgsfaktoren und Indikatoren für erfolgreiches Wasserressourcenmanagement 161

Walter Pflügner

Bewertungen in der Wasserwirtschaft: Stellenwert, Aufgaben, Entwicklungsbedarf 169

Uwe Müller

Umsetzung der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie
= integriertes Hochwasserrisikomanagement? 177

Jürgen Komma und Günter Bloeschl

Effizienz von Maßnahmen des passiven Hochwasserschutzes 185

Klaus Röttcher

Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung - ein Beitrag zur
nachhaltigen Wasserwirtschaft 193

Ioannis Papadakis, Stephan Plexnies, Markus Quirnbach und Udo Laschet

Nachhaltige Fortschreibung von Generalentwässerungsplänen durch hydraulische,
ökonomische und gewässerschutzspezifische Optimierung mittels integrierter
Modellierung vom Kanal und Gewässer. Ein Fallbeispiel für das Einzugsgebiet
Mirker Bach in Wuppertal. 201

Manuela Gretzschel, Martin Cassel-Gintz und Robert Jüpner

Hochwasserangepasstes Planen und Bauen als Baustein einer nachhaltigen
Wasserwirtschaft 203

Vorträge zum Thema 4: Internationale Ansätze zum integrierten Wasserressourcen- Management

Markus Disse, Patrick Keilholz und Bernd Cyffka

Nachhaltiges Management von Flussoasen entlang des Tarim-Flusses
in Nordwest-China 211

Katrin Bieger, Britta Schmalz, Georg Hörmann, Qinghua Cai und Nicola Fohrer

Die Belastung des Xiangxi (Drei-Schluchten-Region, China) durch diffuse Einträge
von Sediment und Phosphor
– Abschätzung der Auswirkungen des Landnutzungswandels 221

<i>Nguyen Nghia Hung, Heiko Thoss, Heiko Apel</i>	
Monitoringsystem zur Erfassung von Hochwasserdynamiken und Wasserqualität in Überflutungsflächen	229
<i>Henning Fahlbusch</i>	
Hydrologische Beobachtungen. Planungsgrundlagen für Wasserbauten eit prähistorischer Zeit	245
<i>Jeff Marengwa</i>	
SAWA - Strategic Alliance for integrated Water Management Actions – Europäisches Wasserressourcen-Management	247
<i>Kai Claussen, Stefan Kaden, Michael Kaltofen, Michael Roers und Thomas Lüllwitz</i>	
Elbe-Expert-Toolbox: Instrumentarium zur integralen wasserwirtschaftlichen, sozialen und ökonomischen Analyse im Elbe-Einzugsgebiet	255
<i>Martin Gocht und Günter Meon</i>	
Transnationale Expositionsanalyse für Nutzen-Kosten-Untersuchungen	263
Anschriften der Autoren	273
Erschienene Hefte der Schriftenreihe Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung	279

Eine CD mit den Postern zum Tag der Hydrologie 2010 ist auf dem hinteren Umschlagblatt beigefügt.

WASKlim - Potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt am Beispiel der Wupper (NRW), der oberen Iller (Bayern) und der Salza (Sachsen-Anhalt)

Jörg Scherzer, Bernd Schultze, Jörg Niederberger, Hannaleena Pöhler

Zusammenfassung

Eine zentrale Grundlage für das im Rahmen des WASKlim-Projektes entwickelte Entscheidungsunterstützungssystem ist die zukünftige klimatische und hydrologische Belastung unter Berücksichtigung der Bandbreite der Unsicherheit des Klimawandels. Hierzu wurden für die drei mesoskaligen Testgebiete Obere Iller (Bayern), Wupper (Nordrhein-Westfalen) und Salza (Sachsen-Anhalt) mit dem Modell WaSiM-ETH prozessorientierte Modellsimulationen des Wasserhaushalts, einschließlich Szenariensimulationen bis zum Jahr 2100 durchgeführt. Die drei Untersuchungsgebiete unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer klimatischen und naturräumlichen Ausprägung sowie hinsichtlich der Intensität der Wassernutzung. Für das Wuppergebiet lassen die Klimaprojektionen einen gleichbleibenden bis leicht ansteigenden Niederschlag erwarten. Die Niederschlagsprojektionen für die Salza sind innerhalb eines Änderungsspektrums von 10% uneinheitlich und für die Iller wird ein signifikanter Rückgang des Jahresniederschlags erwartet. Bei den Mittelwasserabflüssen werden für die Wupper und die Salza zukünftig kaum signifikante Veränderungen projiziert. Im Bereich der oberen Iller lassen die Simulationsergebnisse für den Zeitraum 2071 - 2100 allerdings eine signifikante Abnahme des mittleren Abflusses v.a. im Sommerhalbjahr erwarten. Das heutige pluvio-nivale Abflussregime der Oberen Iller wird sich zu einem überwiegend pluvial geprägten Regime entwickeln.

1. Einleitung

Aufgabe des WASKlim-Projektes (10/2007 – 09/2009) war es, für den Sektor Wasserwirtschaft eine konkrete, übertragbare Methode zur Bestimmung der Vulnerabilität und der Anpassungskapazität gegenüber dem Klimawandel zu entwickeln. Projektpartner von WASKlim waren UDATA (Wasserhaushaltssimulationen, Projektleitung), die Universität der Bundeswehr in München (Wasserwirtschaft / Prof. Dr. Disse, Raumplanung / Prof. Dr. Jacoby; Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems „EUS“) sowie die Dialogik gGmbH in Stuttgart (innovative Kommunikationsstrategien) unter der Leitung von Prof. Dr. Renn. Das Projekt wurde durch das Umweltbundesamt finanziert.

Eine der zentralen Grundlagen für das WASKlim-EUS ist die zukünftige klimatische und hydrologische Belastung unter Berücksichtigung der Bandbreite der Unsicherheit des Klimawandels. Hierzu waren für die drei mesoskaligen (600 – 1000 km²) Testgebiete Iller (Bayern, Alpen/Alpenvorland), Wupper (Nordrhein-Westfalen, dicht besiedeltes Mittelgebirge) und Salza (Sachsen-Anhalt, Trockengebiet) mit dem Modell WaSiM-ETH prozessorientierte Modellsimulationen des Wasserhaushalts, einschließlich Szenariensimulationen (ECHAM5/REMO, ECHAM5/WETTREG) bis zum Jahr 2100 durchzuführen (Abbildung 1). Ziel der Modellierung

war es, Ausmaß und Belastbarkeit von klimawandel-induzierten Veränderungen des Wasserhaushalts der Testgebiete aufzuzeigen.



Abb. 1: Lage der Testgebiete.

2. Methoden

Um die Auswirkungen von klimatischen Veränderungen auf Wasserhaushalt und Abflussgeschehen abschätzen zu können, bedarf es des Einsatzes von flächendetaillierten numerischen Einzugsgebietsmodellen, die auf physikalischer Grundlage auch für größere Gebiete oder Regionen Aussagen zum bisherigen und zum zukünftigen hydrologischen Regime treffen können. Das im Rahmen von WASKlim verwendete Modellsystem WaSiM-ETH (SCHULLA & JASPER 1998, SCHULLA & JASPER 2007) erfüllt diese Voraussetzungen. WaSiM-ETH wurde in den letzten 10 Jahren bereits in zahlreichen vergleichbaren Projekten eingesetzt (u.a. KLIWA, KliWEP, EMTAL), verfügt über eine große Anzahl an Referenzen (u.a. SCHULLA et al. 1999, KLEINN 2002, PÖHLER 2006, PÖHLER et al. 2008) und wird von einer umfangreichen Nutzergemeinschaft angewendet. WaSiM-ETH ist sowohl in deutscher als auch in englischer Sprache dokumentiert und wird kostenfrei zur Verfügung gestellt (<http://www.wasim.ch/>).

Als Grundlage für die Wasserhaushaltssimulationen dienten tägliche Klima-, Niederschlags- und Abflussmesswerte des Deutschen Wetterdienstes und der jeweiligen Pegelbetreiber (u.a.

Wupperverband, LANUV NRW, LfU Bayern, LHW Sachsen-Anhalt) aus dem Zeitraum 1971 – 2007. Der Bandbreite der Unsicherheit des zukünftigen Klimawandels wurde durch die Verwendung von Projektionsdaten unterschiedlicher Emissionsszenarien (A1B, B2 und A1) und durch die Berücksichtigung sowohl des statistischen Downscaling-Verfahrens WETTREG- als auch des dynamischen Ansatzes REMO (REMO-Daten winddriftkorrigiert; CERA-Datenstand vom 21.11.2008) Rechnung getragen. Die Bandbreite unterschiedlicher Globalmodelle (z.B. KRAHE et al. 2009) wurde nicht berücksichtigt. Als Projektionszeiträume wurden 2021 – 2050 (nahe Zukunft, „Z1“) und 2071 – 2100 (ferne Zukunft, „Z2“) betrachtet. Zur Prüfung der Signifikanz der Unterschiede (Vergleich Messzeitraum mit Kontrolllauf Klimaszenario, Vergleich Kontrolllauf mit Klimaprojektion) wurde ein T-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha=0,05$ durchgeführt. Insbesondere in den Einzugsgebieten von Wupper (Talsperren) und Salza (Bergbau) ist der Wasserhaushalt stark wasserwirtschaftlich überprägt. Für die Prognosezeiträume liegen allerdings in der Regel weder Daten zur Steuerung von Talsperren, noch zu relevanten Wasseraus-, -über- und -einleitungen vor. Wasserwirtschaftliche Zukunftssimulationen unter Einschluss von Klimaprojektionen sind somit nicht ohne weiteres realisierbar. Für die drei Testgebiete wurde daher jeweils der potenziell-natürliche Wasserhaushalt berechnet und projiziert.

Als digitales Höhenmodell wurde das SRTM-3 Oberflächenmodell (z.B. CZEGKA et al. 2005) benutzt. Datengrundlage für die Landnutzungsparameter waren die CORINE Land Cover 2000 - Vektordatensätze des DLR (KEIL et al. 2005). Bodendaten wurden aus der Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:1000000 („BÜK 1000“) über Pedotransferfunktionen nach AG BODEN (2005) abgeleitet. Die Modellkalibrierung erfolgte an den Ganglinien von einem oder mehreren Durchflusspegeln, deren Einzugsgebiet keine markante wasserwirtschaftliche Überprägung aufweist, sowie für das Gesamtgebiet (Bilanz). Das Wasserhaushaltsmodell wurde für den Zeitraum 1977 – 1985 kalibriert und für den Zeitraum 1991 - 2000 und validiert. Die Plausibilität der verwendeten Klimaszenarien für die relevanten Eingangs- (Lufttemperatur, Niederschlag) und Zielgrößen (Hoch-, Mittel-, Niedrigwasserabfluss, Verdunstung, Grundwasserneubildung) wurde für den Zeitraum 1971 - 2000 untersucht.

3. Ergebnisse

Für das Gebiet der Wupper konnten für den Kalibrierpegel Neumühle (große Dhünn; 20,6 km²) R²-Werte von 0,84 (log) bzw. 0,82 (lin) erreicht werden. Im Validierungszeitraum beträgt die Modellierungsgüte R² (lin) = 0,78 bzw. R² (log) = 0,82. Für den Gebietsauslass, welcher sich aus den Pegeln Leverkusen-Opladen (Wupper), Manfort (Dhünn) und den Ausleitungen des Klärwerks Leverkusen in den Rhein zusammensetzt, beträgt die Abflussspende simuliert 758 mm/a und gemessen 753 mm/a. Die Kalibrierung des Abflussregimes der Iller erfolgte für den Gebietsauslasspegel Kempten (R² (lin) = 0,68 bzw. R² (log) = 0,75). Die Abflussspende der Oberen Iller liegt bei 1556 mm/a (gemessen) bzw. 1607 mm/a (simuliert). Für die Salza (Pegel Stedten / Weida) konnten keine Modellierungsgüten berechnet werden, da der zeitweise treppenförmige Verlauf der Pegelganglinie auf Messfehler hinweist. Die Bilanz für das Gesamtgebiet (Pegel Zappendorf / Salza) ist hier insgesamt nahezu ausgeglichen (gemessene Abflussspende: 55,7 mm/a, simulierte Abflussspende: 58,5 mm/a).

Für Temperatur und Niederschlag ist die Szenarioplausibilität (nicht grafisch dargestellt) für WETTREG auf der Zeitskala von Jahren vollständig und auf der Skala von Monaten weitestgehend gewährleistet, während bei REMO in allen Einzugsgebieten teilweise erhebliche signifikante Abweichungen auftreten. Analoges gilt für den mittleren Abfluss. Hinsichtlich der Extremwerte für Hoch- und Niedrigwasserabfluss ist die Szenarioplausibilität allerdings auch mit WETTREG nur mit Einschränkung gegeben.

Die Ergebnisse der Projektionsrechnungen zeigen, dass die Lufttemperatur bis zum Ende des 21. Jahrhunderts in allen drei Testgebieten signifikant gegenüber dem IST-Zustand ansteigt. Am stärksten ausgeprägt ist die mit WETTREG projizierte Temperaturzunahme bis zum Jahr 2100 mit 2,6 K für das Gebiet der Wupper (Iller: + 2,3 K, Salza: + 2,1 K): Bei Anwendung von REMO ist der Temperaturerhöhung am stärksten im Einzugsgebiet der Iller ausgeprägt (Iller: + 3,4 K, Wupper: + 2,5 K, Salza: + 2,7 K). Die Bandbreite der Unsicherheit bei der Temperaturzunahme liegt im Bereich von ca. +/- 1 K.

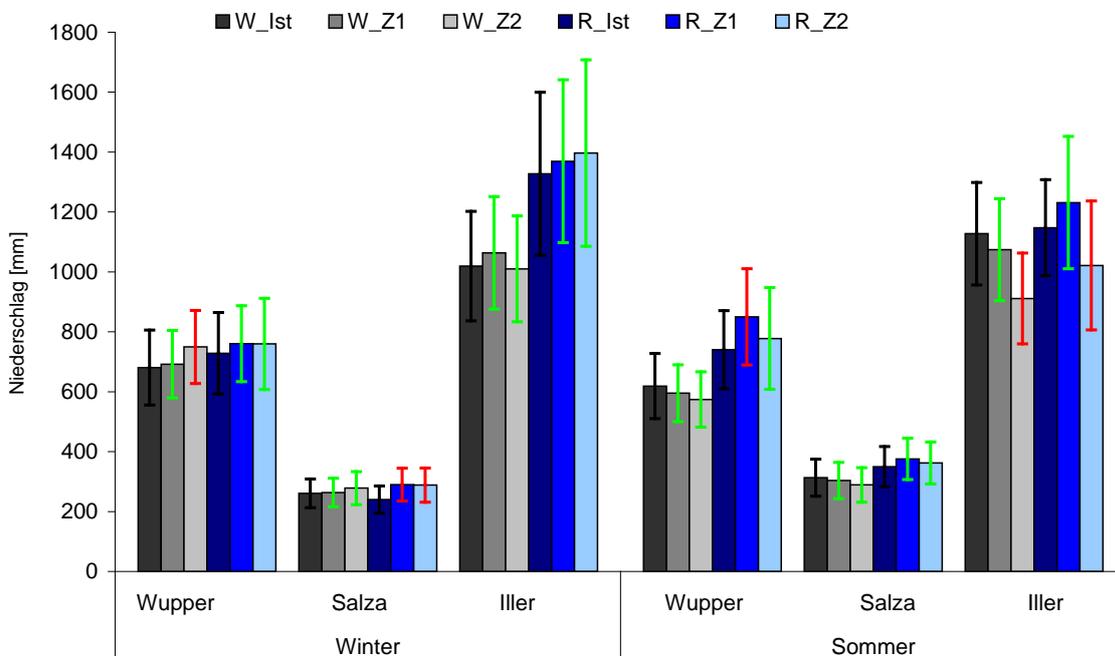


Abb. 2: Gebietsniederschläge für Wupper, Salza und obere Iller separat für Winter- und Sommerhalbjahr. Fehlerbalken: Standardabweichung; grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf und Projektionszeitraum; „W“: WETTREG; „R“: REMO; „IST“: 1970 – 2000; „Z1“: 2021 – 2050; „Z2“: 2071 – 2100.

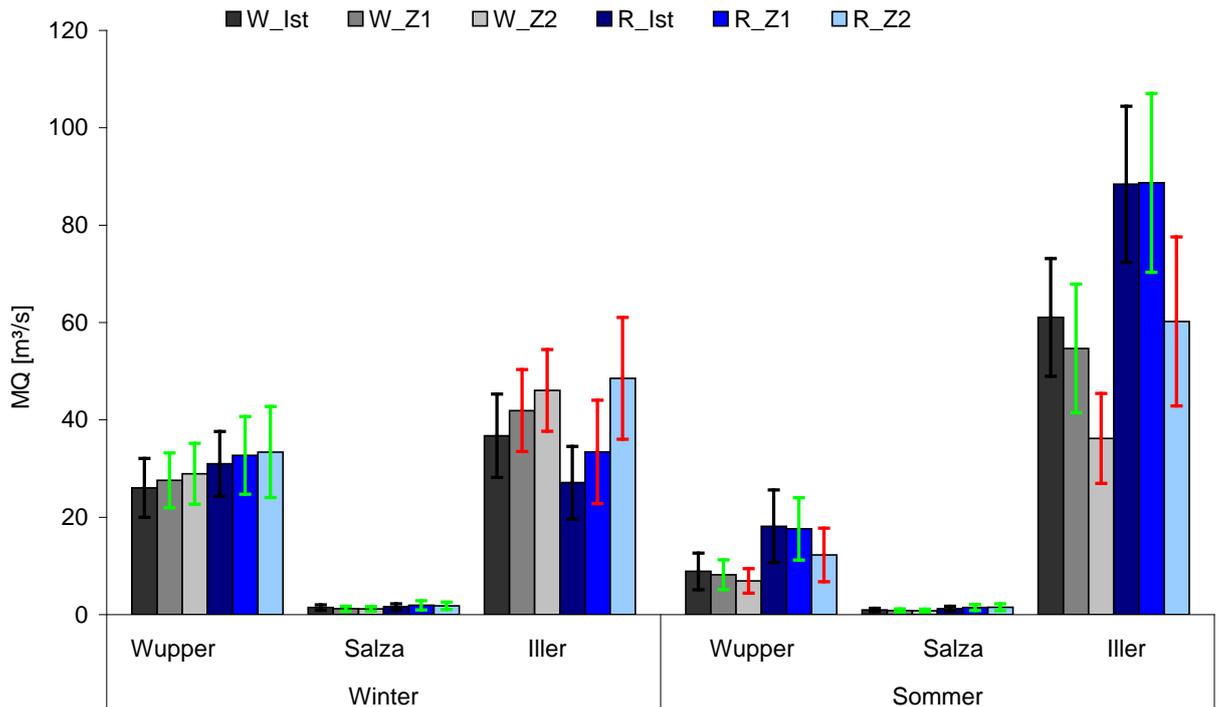


Abb. 3: Mittelwasserabfluss der Wupper, Salza und oberen Iller separat für Winter- und Sommerhalbjahr. Fehlerbalken: Standardabweichung; grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf und Projektionszeitraum; „W“: WETTREG; „R“: REMO; „IST“: 1970 – 2000; „Z1“: 2021 – 2050; „Z2“: 2071 – 2100.

Für das Wuppergebiet lassen die Klimaprojektionen einen gleichbleibenden bis leicht ansteigenden Niederschlag erwarten. Die Niederschlagsprojektionen für die Salza sind innerhalb eines Änderungsspektrums von 10% uneinheitlich und für die Iller wird ein signifikanter Rückgang des Sommerniederschlags um ca. 10 % (200 mm/a) bis 2100 erwartet (Abbildung 2).

Die Jahressumme der Evapotranspiration (nicht dargestellt) wird in WETTREG für das Gebiet der Salza annähernd unverändert und für Wupper und Iller signifikant ansteigend projiziert, bei REMO steigt sie in allen drei Projektgebieten signifikant an. Hinsichtlich der Mittelwasserabflüsse sind für die Wupper im Winterhalbjahr bei einer Bandbreite der Unsicherheit von bis zu +/- 46% (REMO, 2071 - 2100) keine eindeutigen (signifikanten) Veränderungen zu erwarten (Abbildung 3). Für das Sommerhalbjahr zeichnet sich bis zum Ende des Jahrhunderts hier allerdings ein signifikanter Rückgang der potenziell-natürlichen Abflüsse um 22% (WETTREG) bis 33% (REMO) ab. Dieses zukünftige Wasserdefizit kann möglicherweise durch den Wasserrückhalt in den zahlreichen Talsperren des Wuppergebietes kompensiert werden. Für das Gebiet der Salza lassen sich für den Mittelwasserabfluss bei einer hohen Bandbreite der Unsicherheit von bis zu +/- 47% (REMO, 2071 – 2100, Sommer) keine signifikanten Veränderungen des Wasserhaushalts ableiten. Im Bereich der oberen Iller weisen die Simulationsergebnisse für den Zeitraum 2071 - 2100 auf eine signifikante Abnahme des mittleren Sommerabflusses um ca. 32% (REMO) bis 41% (WETTREG) hin. Die Bandbreite der Unsicherheit für diese Aussage ist mit ca. +/- 25% relativ niedrig. Die mittleren Hochwasserereignisse (Bezugsgröße: Gesamtgebiet, Tageswerte) werden bei Verwendung der WETTREG-Projektionen in allen drei

Testgebieten (nicht dargestellt) zukünftig niedriger liegen als heute, während sie bei Anwendung der REMO-Projektionen im Einzugsgebiet der Salza und der Iller leicht ansteigen. Das heutige pluvio-nivale Abflussregime der Oberen Iller mit Abflussmaximum im Mai/Juni wird sich bis zum Ende des Jahrhunderts zu einem überwiegend pluvial geprägtem Regime mit Maximalabfluss in den Wintermonaten Dezember bis Februar entwickeln (Abbildung 4).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass für das wasserreiche Einzugsgebiet der oberen Iller die eindeutigsten Veränderungen des Wasserhaushalts durch den Klimawandel projiziert werden: Der Abfluss wird signifikant abnehmen und es wird eine jahreszeitliche Verschiebung erfolgen. Im Bereich des Trockengebietes Salza sind die projizierten Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung am größten. Unsere Ergebnisse hinsichtlich der zukünftigen klimatischen und hydrologischen Belastung sind eine wesentliche Säule des im Rahmen des WASKlim-Projektes entwickelten Entscheidungsunterstützungssystems (Scherzer et al. 2010).

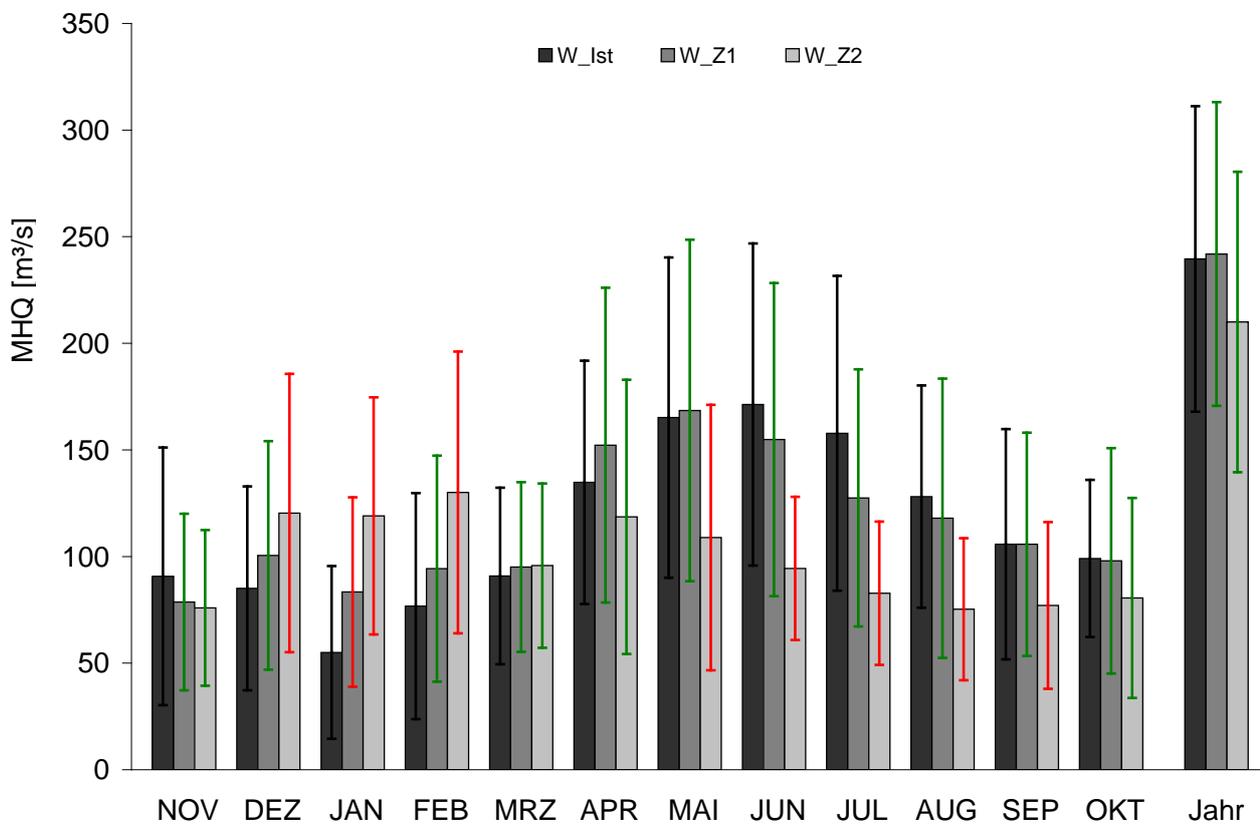


Abb. 4: Mittlerer Hochwasserabfluss der oberen Iller, Monats- und Jahreswerte. Fehlerbalken: Standardabweichung; grün: nicht signifikanter, rot: signifikanter Unterschied zwischen Kontrolllauf und Projektionszeitraum; „W“: WETTREG; „IST“: 1970 – 2000; „Z1“: 2021 – 2050; „Z2“: 2071 – 2100.

Dank

Für die Finanzierung danken wir dem Umweltbundesamt (Förderkennzeichen UFOPLAN: 3707 41 105). Datenbereitstellung und Support erfolgte u.a. durch den Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, das Landesamt für Umwelt Bayern, das Wasserwirtschaftsamt Kempten, den Wupperverband, das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, den Deutschen Wetterdienst und die Service Gruppe Anpassung des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg.

Literatur

- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – 5. Aufl., 438 S., Hannover.
- CZEGKA, W., S. BRAUNE & K. BEHRENDTS (2005) Validierung der freien C-Band SRTM Höhendaten in Hinblick auf Anwendungsmöglichkeiten in den Geo- und Umweltwissenschaften. In: STROBL, J., T. BLASCHKE & G. GRIESEBNER (Hrsg.) Angewandte Geoinformatik 2005. Beiträge zum 17. AGIT Symposium Salzburg 2005. Seiten 106-111
- KEIL, M., R. KIEFL & G. STRUNZ (2005): CORINE Land Cover 2000 - Europaweit harmonisierte Aktualisierung der Landnutzungsdaten für Deutschland. Abschlussbericht zum F+E Vorhaben UBA FKZ 201 12 209, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum Oberpfaffenhofen, Mai 2005
- KLEINN, J. (2002): Climate change and runoff statistics in the Rhine basin: a process study with a coupled climate-runoff model. - PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Diss. 14663, Zürich.
- KRAHE, P., E. NILSON, M. CARAMBIA, T. MAURER, L. TOMASSINI, K. BÜLOW, D. JACOB, & H. MOSER (2009): Wirkungsabschätzung von Unsicherheiten der Klimamodellierung in Abflussprojektionen – Auswertung eines Multimodell-Ensembles für das Rheingebiet; Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 5/2009.
- PÖHLER, H. (2006): Anpassung von WaSiM-ETH und die Erstellung und Berechnung von Landnutzungs- und Klimaszenarien für die Niederschlag-Abfluss-Modellierung am Beispiel des Osterzgebirges. Dissertation, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, TU Bergakademie Freiberg.
- PÖHLER, H., M. MÜLLER, K. JASPER & J. SCHERZER (2008): KliWEP - Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt im Parthe-Einzugsgebiet - Abschlussbericht. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Nr. 13-0345.42/312
- SCHERZER, J., M. DISSE, C. JACOBY, T. HEINISCH, G. GRIGORYAN, B. SCHULTZE, V. STADELBACHER, J. NIEDERBERGER & H. PÖHLER (2010): WASKlim - Entwicklung eines übertragbaren Konzeptes zur Bestimmung der Anpassungsfähigkeit sensibler Sektoren an den Klimawandel am Beispiel der Wasserwirtschaft. Climate Change (Umweltbundesamt), in Druck.
- SCHULLA, J. & K. JASPER (1998): Modelbeschreibung WaSiM-ETH. - Technischer Bericht, Institut für Atmosphäre und Klima, ETH Zürich.
- SCHULLA, J. & K. JASPER (2007): Model description WaSiM-ETH.–
http://www.wasim.ch/downloads/doku/wasim/wasim_2007_en.pdf
- SCHULLA, J., K. ZÖLLMANN & W. KINZELBACH (1999): Sustainable agriculture and water management in semi arid regions. - 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water, 1-3 September 1999, Lausanne.

Klima-Ensemble-Projektionen zur Abschätzung zukünftiger Abflüsse in einem alpinen Einzugsgebiet

Christian Dobler

Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung werden die Auswirkungen der globalen Klimaänderung auf das Abflussregime eines alpinen Flusssystemes ermittelt. Das Untersuchungsgebiet umfasst das Lechtal (~1.000 km²) in den nördlichen Kalkalpen Westösterreichs. Eine 'one-way' Modellkette vom globalen zum regionalen Klimamodell und schlussendlich zum N-A Modell bilden die methodischen Bausteine der Untersuchung. Neun GCM-RCM Kombinationen, zur Verfügung gestellt vom ENSEMBLES Projekt der EU, werden zur Simulation des zukünftigen Klimas (2070-2099) herangezogen. Die Schnittstelle zwischen dem Output der regionalen Klimamodelle und dem Input des hydrologischen Modells wird mittels Delta-Change Methode überbrückt. Dabei werden relative monatliche Änderungssignale zwischen dem Kontrolllauf (1971-2000) und dem Szenariolauf (2070-2099) der RCMs auf eine beobachtete historische Zeitreihe (1971-2000) aufgeschlagen. Die hydrologische Simulation erfolgt mit dem konzeptionellen N-A Modell HQsim. Die Klimaszenarien zeigen eine signifikante Erwärmung zwischen 2,7 und 3,8°C sowie saisonale Veränderungen im Niederschlagsregime. Die Veränderungen in der Abflusscharakteristik sind gekennzeichnet durch Abfluss-Zunahmen in den Wintermonaten sowie einem beträchtlichen Rückgang des Abflusses in den Sommermonaten.

1. Einleitung

Die im 4. Sachstandbericht des IPCC (2007) angeführten globalen Veränderungen im Klimasystem können signifikante Auswirkungen auf hydrologische Prozesse in alpinen Einzugsgebieten mit sich bringen. Mögliche Veränderungen im Abflussregime müssen abgeschätzt werden, um sozio-ökonomische Systeme wie Hochwassermanagement oder Wasserkraftnutzung langfristig anpassen zu können.

Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit ist es, die Auswirkungen der globalen Klimaänderung auf das Abflussregime eines alpinen Flusssystemes zu untersuchen. Die globalen Klimamodelle (GCMs – General Circulation Models) sind die aktuell leistungsfähigsten Modelle zur Simulation des zukünftigen Klimas. Die Modelle besitzen eine horizontale Auflösung von ~150 km und geben das Klima auf einer globalen bis kontinentalen Skala wieder. Regionale Klimamodelle (RCMs) skalieren den Output der GCMs dynamisch auf eine regionale Maßstabsebene. Aber selbst solche deutlich höher aufgelösten Modelle sind derzeit nicht in der Lage, die klimatischen Verhältnisse komplexer topographischer Regionen, z.B. der Alpen, realitätsnah abzubilden. Vor allem der Niederschlag ist mit systematischen Fehlern behaftet, z.B. überschätzen gängige RCMs den Niederschlag in den Wintermonaten in den Alpen um ca. 100 % (KRAHE et al. 2008). Eine direkte Verwendung der RCM Daten für die hydrologische Modellierung ist daher nicht möglich. Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde ein relativ einfaches, zugleich aber sehr robustes Verfahren zur Erstellung zukünftiger Klimaszenarien herangezogen. Das Verfahren wird als 'Delta-Change' oder 'Change-Factor' Methode bezeichnet.

net und wurde in zahlreichen Studien zur Abschätzung zukünftiger Abflüsse angewendet (z.B. MINVILLE 2008; GRAHAM et al. 2007). Dabei werden relative Änderungen zwischen dem Kontrolllauf und dem Szenariolauf der RCMs auf eine beobachtete historische Zeitreihe aufgeschlagen.

Die hydrologische Simulation erfolgt mit dem konzeptionellen N-A Modell HQsim (KLEIN-DIENST 1996). In mehreren Anwendungen im alpinen Raum hat sich das Modell bisher bewährt (z.B. SENFTER et al. 2009). Die Verwendung des hydrologischen Modells in der Simulation zukünftiger Abflüsse basiert auf der Annahme, dass ein verändertes Klima keinen Einfluss auf die kalibrierten Parameter des hydrologischen Modells ausübt (DIAZ-NIETO & WILBY 2005).

Abschätzungen über Unsicherheiten gewinnen in der Klimafolgenforschung immer mehr an Bedeutung, da Unsicherheiten die Aussagekraft von Ergebnissen deutlich reduzieren können (BRONSTERT 2004). Die größte einzelne Unsicherheit stammt dabei von den globalen Klimamodellen (KAY et al. 2009). Die Verwendung mehrerer unterschiedlicher Modelle (Multi-Modell-Ansatz) kann dazu beitragen, einerseits die Unsicherheiten zu quantifizieren und andererseits die Unsicherheiten zu minimieren, indem gemeinsame Klimasignale betrachtet werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wird der Output (Temperatur, Niederschlag) verschiedener regionaler Klimamodelle, die an den seitlichen Rändern durch verschiedene globale Modelle angetrieben wurden, verwendet.

2. Untersuchungsgebiet

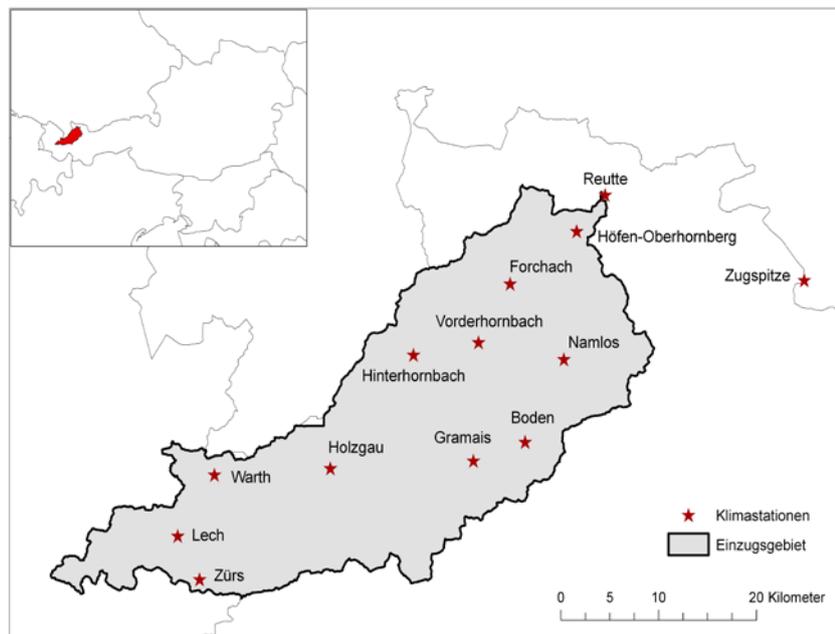


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet und die verwendeten Klimastationen

Das Einzugsgebiet des Lechs bis zum Pegel Lechaschau, gelegen in den nördlichen Kalkalpen Westösterreichs, dient als Untersuchungsgebiet der vorliegenden Studie (Abbildung 1). Der Lech erstreckt sich von seinem Ursprung auf der Alpe Formarin in Vorarlberg bis zu seiner Einmündung in die Donau bei Marxheim auf eine Länge von ~250 km. Das ausgewählte Unter-

suchungsgebiet umfasst eine Fläche von ~1.000 km² und ist gekennzeichnet durch große vertikale Differenzen innerhalb kurzer horizontaler Entfernungen. Die Höhererstreckung reicht von 838 m ü.d.M. bis auf 3.030 m ü.d.M. Nähere Details über das Einzugsgebiet können in DOBLER (2010) nachgelesen werden.

3. Methodik

Die angewendete Methodik besteht aus einer 'one-way' Prozesskette aus i) globaler und regionaler Klimamodellierung, ii) der Erstellung von Klimaszenarien mittels Delta-Change Approach sowie iii) der hydrologischen Modellierung.

3.1 Klimaszenarien

Neun GCM-RCM Kombinationen, zur Verfügung gestellt vom ENSEMBLES Projekt der EU (VAN DER LINDEN & MITCHELL 2009), wurden zur Simulation des gegenwärtigen und zukünftigen Klimas herangezogen. Eine Übersicht über die verwendeten regionalen und globalen Modelle liefert Tabelle 1.

Tab. 1: Verwendete GCM-RCM Kombinationen

Modell	GCM	Acronym
RACMO	ECHAM5-r3	KNMI-RACMO2
RCA	BCM	SMHIRCA
RCA	ECHAM5-r3	SMHIRCA
REMO	ECHAM5-r3	MPI-M-REMO
CLM	HadCM3Q0	ETHZ-CLM
HadRM3Q0	HadCM3Q0	METO-HC_HadRM3Q0
HIRHAM	ARPEGE	DMI-HIRHAM5
DMI-HIRHAM5	ECHAM5-r3	DMI-HIRHAM5
RegCM	ECHAM5-r3	ICTP-REGCM3

Die verwendeten Modelle besitzen eine horizontale Auflösung von rund 25 x 25 km und basieren auf dem SRES A1B Emissionsszenario. Aus diesen Klimadaten wurden zwei 30-jährige Zeitreihen extrahiert, wobei die Periode 1971-2000 als Referenzperiode und 2070-2099 als Szenarioperiode gewählt wurde.

Die Delta-Change Methode überbrückt die Schnittstelle zwischen RCMs und dem Hydrologischen Modell. Relative monatliche Änderungen zwischen dem Kontrolllauf und dem Szenario wurden für die Parameter Temperatur und Niederschlag berechnet und auf tägliche Temperatur- und Niederschlagswerte des Zeitraums 1971-2000 gleichmäßig aufgeschlagen.

3.2 Hydrologische Modellierung

Die hydrologische Modellierung erfolgte mit dem konzeptionellen N-A Modell HQsim. HQsim basiert auf dem Wasserbilanzmodell BROOK, das von FEDERER & LASH (1978) entwickelt wurde. Der Abfluss setzt sich aus einer Kombination mehrerer Speicher zusammen: der ungesättigten Bodenzone, dem Grundwasserkörper, dem Interzeptionsspeicher sowie der Schneedecke. Nähere Details zur Modellstruktur finden sich bei SENFTER et al. (2009) oder KLEIN-DIENST (1996).

HQsim wurde von 1981 bis 2000 auf Basis täglicher gemessener Niederschlags- und Temperaturwerte kalibriert. In einem zweiten Schritt wurde die Performance des Modells in der Simulation von Abflüssen ermittelt, indem das Modell in zwei Validierungsphasen getestet wurde. Eine erste Validierung fand von 1971 bis 1980 statt, eine zweite Phase von 2001 bis 2005.

4. Ergebnisse

Die Kalibrierung und Validierung des hydrologischen Modells zeigen überdurchschnittlich gute Ergebnisse in der Abflusssimulation. Als Qualitätsindex wurde der Nash-Sutcliffe-Koeffizient (NASH & SUTCLIFFE 1970) herangezogen, der für die Kalibrierung (1981-2000) einen Wert von 0,87 annimmt. In der ersten Validierungsphase stimmen die simulierten und die beobachteten Abflüsse mit einem Wert von 0,84, in der zweiten Validierung mit einem Wert von 0,89 überein. Die unterschiedlichen Koeffizienten in der Validierung sind auf das gehäufte Auftreten von Hochwasserereignissen in der zweiten Validierungsphase zurückzuführen, die das Modell sehr gut simuliert (Abbildung 2).

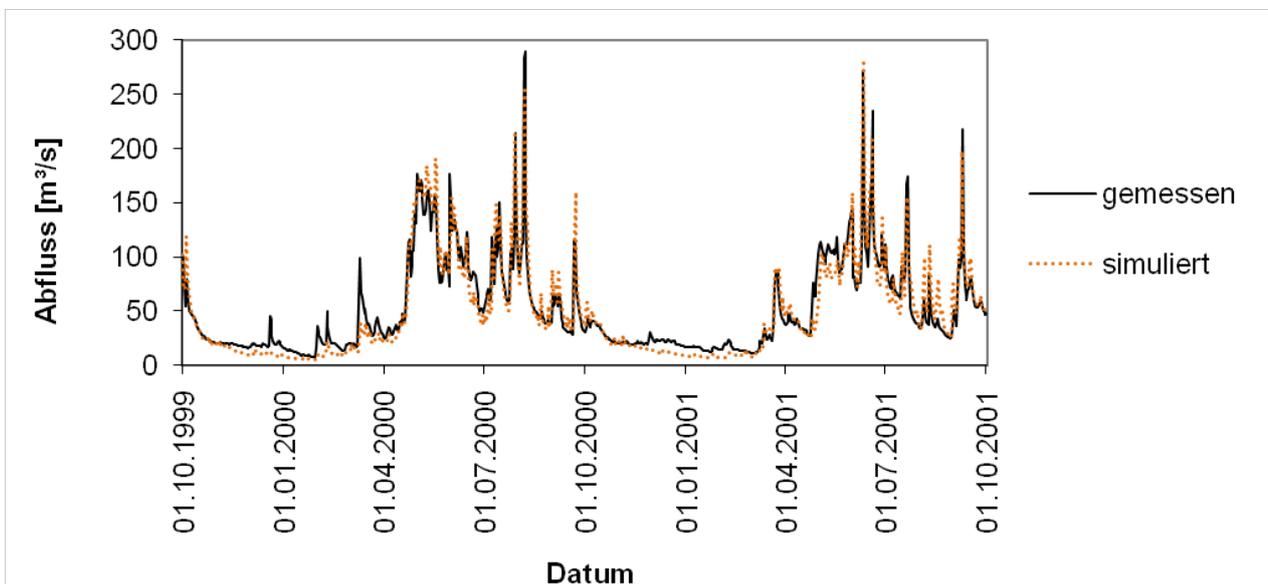


Abb. 2: Beobachtete und simulierte Abflüsse von 01.10.1999 bis 01.10.2001

Die Klimaszenarien lassen signifikante Veränderungen in der Temperatur und im Niederschlag im 21. Jahrhundert erkennen. Da die Wahrscheinlichkeit der einzelnen RCM Läufe nicht angegeben werden kann, werden alle Szenarioläufe als gleich wahrscheinlich betrachtet. Die Spannweite der einzelnen Szenarien kann daher als Bandbreite der Unsicherheiten angesehen werden. Der Mittelwert aller Klimaszenarien zeigt für die Periode 2070-2099 eine Erwärmung

zwischen 2,7 und 3,8°C, wobei diese Zunahmen nicht gleichmäßig über das gesamte Jahr verteilt sind. Relativ große Zunahmen fallen auf die Sommer- und Wintermonate. Die Spannweite zwischen den RCM Läufen reicht von 1,4 bis 3,8°C und ist somit teilweise größer als die projizierten Änderungen.

Die Klimaszenarien zeigen für den Niederschlag zwar kaum Änderungen in den jährlichen Niederschlagssummen, die Saisonalität hingegen verschiebt sich deutlich. Während die Klimaszenarien für die Winter- und Frühlingsmonate Niederschlagszunahmen andeuten, sind die Sommermonate mit beträchtlichen Niederschlagsabnahmen von bis zu -22 % gekennzeichnet.

Die Abflussprojektionen zeigen beträchtliche Veränderungen im hydrologischen Regime des Lechtals im 21. Jahrhundert (Abbildung 3). Ein beträchtlicher Rückgang der monatlichen Abflüsse im Winter und eine Zunahme der Abflüsse im Sommer verringern die bisher beobachteten jahreszeitlichen Differenzen zwischen relativ geringen Abflussmengen im Winter und hohen Abflussmengen im Frühjahr und Sommer. Die Bandbreite der Unsicherheiten ist vergleichsweise gering in den Wintermonaten und erreicht ein Maximum in den Frühjahrs- und Sommermonaten. Mit Ausnahme der Monate Mai und Oktober, in denen keine Tendenzen erkennbar sind, zeigen alle Klimasimulationen in den übrigen Monaten in dieselbe Richtung.

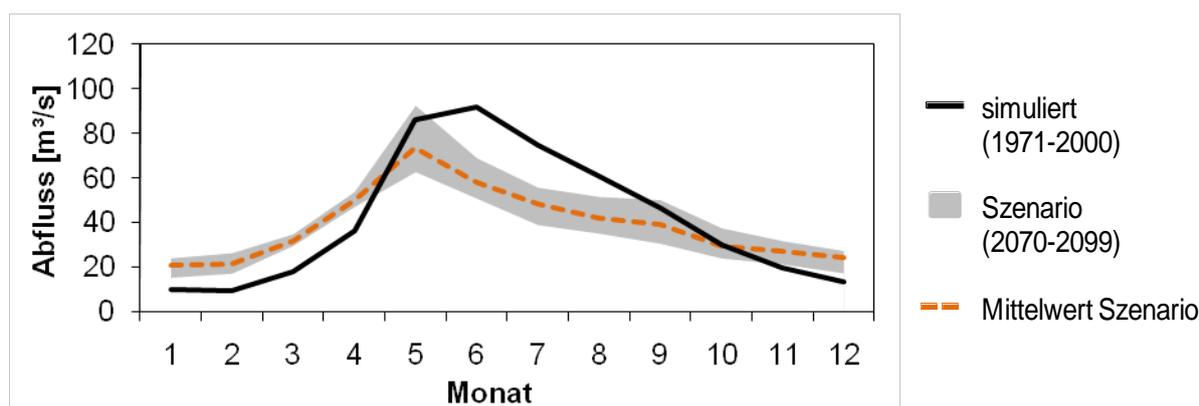
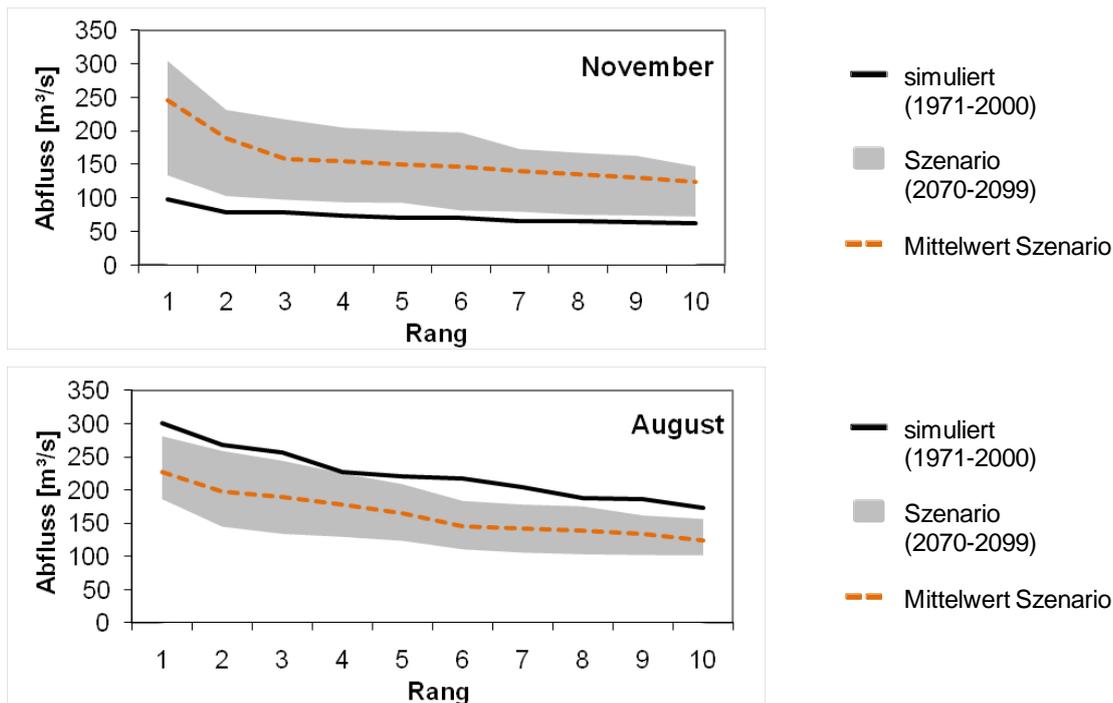


Abb. 3: Monatliche Abflüsse der Periode 1971-2000 und 2070-2099

Von großer sozialer und ökonomischer Bedeutung sind mögliche klimabedingte Veränderungen im Frequenz-Magnitude Zusammenhang von Hochwasserereignissen. Abbildung 4 zeigt die zehn größten Hochwasserereignisse der Monate August und November. Die Ergebnisse zeigen eine Abnahme der Intensität von Hochwasserereignissen im August bzw. eine Zunahme der Intensität von Hochwasserereignissen im November. In den Herbst- und Wintermonaten treten in den Szenarien ähnlich große Hochwasserereignisse wie in den Sommermonaten auf. Detaillierte Aussagen über Hochwasserereignisse sind aber nicht möglich, da der Delta-Change Methode die Annahme einer gleichbleibenden Klimavariabilität zugrunde liegt, die bei Extremereignissen wie Hochwassern einen entscheidenden Faktor darstellt (GRAHAM et al. 2007).



4: Die zehn größten Hochwasserereignisse der beobachteten Zeitreihe (1971-2000) und der Szenarioperiode (2070-2099) für die Monate November und August

5. Diskussion

Eine Analyse verschiedener Klimaszenarien zeigt eine signifikante Temperaturzunahme sowie saisonale Niederschlagsänderungen im 21. Jahrhundert. Die hydrologischen Veränderungen sind charakterisiert durch eine Zunahme der Abflüsse in den Herbst- und Wintermonaten sowie einer Abnahme der Abflüsse in den Sommermonaten. In den Frühlingsmonaten sind keine eindeutigen Tendenzen in den Abflüssen erkennbar.

Da der Output verschiedener RCMs im Alpenraum große Abweichungen zu den beobachteten klimatischen Bedingungen aufweist, konnten die Klimadaten aus diesen Modellen nicht direkt für die hydrologische Modellierung verwendet werden. Die Delta-Change Methode stellte sich als einfaches und zugleich robustes Downscaling-Verfahren dar. Das Verfahren basiert auf der Annahme, dass die Fehler in den Klimamodellen konstant sind und sich in der Differenz zwischen Szenario- und Kontrolllauf aufheben. Der Vorteil der Methode liegt darin, eine breite Palette unterschiedlicher Klimamodelle heranzuziehen zu können, da die Übereinstimmung zwischen simulierten und beobachteten Klimadaten nicht bedeutend ist.

Mögliche Änderungen im Abflussregime werden Auswirkungen auf sozio-ökonomische Systeme wie Wasserkraftnutzung oder Hochwassermanagement mit sich bringen. Weitere Untersuchungen werden folgen, um die Auswirkungen der Klimaänderung auf Hochwasserabflüsse in alpinen Einzugsgebieten abzuschätzen.

Danksagung

Die Forschungsarbeit wurde dankenswerter Weise über ein Stipendium der Universität Innsbruck sowie aus Mitteln des Austrian Climate Research Program (ACRP) finanziert.

Literatur

- BRONSTERT, A. (2004): Rainfall-runoff modelling for assessing impacts of climate and land-use change. *Hydrological Processes* 18, 567-570.
- DIAZ-NIETO, J. & R. L. WILBY (2005): A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on low flows in the River Thames, United Kingdom. *Climatic Change* 69, 245-368.
- DOBLER, C. (2010): Possible Changes in Flood Frequency in an Alpine Catchment. In: Dölemeyer, A., Zimmer, J., Tetzlaff, G. [Eds]: *Risk and Planet Earth. Vulnerability, Natural Hazards, Integrated Adaptation Strategies*. 88-94.
- FEDERER, C. A. & D. LASH (1978): BROOK: a hydrologic simulation model for eastern forests. University of New Hampshire Water Resource Research Center Research Report 19.
- GRAHAM, L. P., J. ANDRÉASSON & B. CARLSSON (2007): Assessing climate change impacts on hydrology from an ensemble of regional climate models, model scales and linking methods – a case study on the Lule River basin. *Climatic Change* 81, 293-307.
- IPCC (2007): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- KAY, A. L., H. N. DAVIES, V. A. BELL & R. G. JONES (2009): Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England. *Climatic change* 92, 41-63.
- KLEINDIENST, H. (1996): Erweiterung und Erprobung eines anwendungsorientierten hydrologischen Modells zur Gangliniensimulation in kleinen Wildbacheinzugsgebieten (unveröffentlicht).
- KRAHE, P., J. KORCK, L. TOMASSINI, U. GELHARDT, G. SMIA TEK & H. FORMAYER (2008): Global and regional climate projections for the Alpine space. In: Castellari S.: *Climate Change Assessment Report. ClimChAlp Interreg III B Alpine Space. Work Package (5)*: 47–88.
- MINVILLE, M., F. BRISSETTE & R. LÉCONTE (2008): Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a Nordic watershed. *Journal of Hydrology* 358, 70-83.
- NASH, J. E. & J. V. SUTCLIFFE (1979): River flow forecasting through conceptual models 1: discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10, 282-290.
- SENFTER, S., G. LEONHARDT, C. OBERPARLEITER, J. ASZTALOS, R. KIRNBAUER, F. SCHÖBERL & H. SCHÖNLAUB (2009): Flood Forecasting for the River Inn. In: Veulliet, E., Stötter, J., Weck-Hannemann, H. [Eds.]: *Sustainable Natural Hazard Management in Alpine Environments*. 35-65.
- VAN DER LINDEN, P. & J. F. B. MITCHELL (2009): ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.

Zeitliche Stabilität von Modellparametern– Konsequenzen für die Modellierung hydrologischer Änderungen

Ralf Merz

Zusammenfassung

Szenarienanalysen mit Hilfe hydrologischer Modelle ist ein oft verwendetes Werkzeug zur Einschätzung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt. Die Parameterbestimmung der hydrologischen Modelle erfolgt in der Regel durch Eichung an beobachtete Abflusszeitreihen in der Vergangenheit, mit der Annahme, dass mit diesen Modellparametern auch das zukünftige hydrologische Verhalten der Gebiete beschrieben werden kann. Die Gültigkeit der Annahme der zeitlichen Stabilität von Modellparametern wurde jedoch in der Vergangenheit nur sehr wenig untersucht.

Ziel dieser Arbeit ist die zeitliche Stabilität von Modellparametern eines konzeptionellen Wasserhaushaltsmodells für etwa 270 österreichische Einzugsgebiete von 10 bis 130000 km² zu untersuchen. In den untersuchten Gebieten wurde in den letzten 30 Jahren eine Zunahme der durchschnittlichen Lufttemperatur von über 1.5°C und einer damit verbundenen Zunahme der Verdunstung beobachtet. Zur Untersuchung des Einflusses dieser Änderungen auf die hydrologische Modellierung wurde das Modell an fortlaufende 5 Jahresperioden von 1976 bis 2006 geeicht und die zeitliche Veränderungen der Parameterwerte und Vorhersagegüte von Abflusskenngrößen für andere Zeitperioden untersucht. Die Parameter zur Berechnung der Schneekumulation und der Bodenfeuchte zeigen einen deutlichen zeitlichen Trend. So verdoppelte sich z.B. im Durchschnitt der Parameter zur Bestimmung der Abflussbereitschaft im untersuchten Zeitraum. Werden diese Datensätze zu Vorhersage des Abflusses anderer Zeitperioden verwendet, so zeigen sich deutliche Über- bzw. Unterschätzungen. So überschätzt z.B. das an den Abfluss der Jahre 1976 bis 1981 geeichte Modell im Durchschnitt den mittleren Abfluss in den Jahren 2001 bis 2006 um etwa 17%, die größten 5% des Abflusses um etwa 30% überschätzt. Die Konsequenzen für die hydrologische Modellierung von Klimaänderungen werden abschließend diskutiert.

1. Einleitung

Szenarienanalysen mit Hilfe hydrologischer Modelle ist ein oft verwendetes Werkzeug zur Einschätzung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Wasserhaushalt (Blöschl und Montanari, 2010). Die Parameterbestimmung der hydrologischen Modelle erfolgt in der Regel durch Eichung an beobachtete Abflusszeitreihen in der Vergangenheit, mit der Annahme, dass mit diesen Modellparametern auch das zukünftige hydrologische Verhalten der Gebiete beschrieben werden kann. Die Gültigkeit der Annahme der zeitlichen Stabilität von Modellparametern wurde jedoch in der Vergangenheit nur sehr wenig untersucht. Ziel dieser Arbeit ist die zeitliche Stabilität von Modellparametern eines konzeptionellen Wasserhaushaltsmodells für 273 österreichische Einzugsgebiete von 10 bis 130000 km² zu untersuchen und Konsequenzen für die hydrologische Modellierung von Klimaänderungen zu diskutieren.

2. Daten und Modell

Für die vorliegende Studie wurde das hydrologische Verhalten von 273 Einzugsgebieten in Österreich zwischen 1976 und 2006 untersucht. Die Gebietsgröße der Gebiete liegt zwischen 10 und 130 000 km², mit einem Median der Gebietsfläche von 243 km². Die verwendeten Daten beinhalten tägliche beobachtete Niederschläge von 1029 Stationen und Lufttemperaturen von 212 Stationen. Die täglichen Werte des Niederschlages und der Lufttemperatur wurden räumlich mittels External Drift Kriging und Weighted Least Squares Trend Prediction unter Verwendung der Seehöhe als Zusatzinformation interpoliert. Hiermit ist es möglich, die für Österreich wichtige Höhenabhängigkeit in die räumliche Interpolation der Größen einzubringen. Die potentielle Verdunstung wurde für jeden Rasterpunkt aus interpolierten Werten der täglichen Lufttemperatur und von der Topographie und Lage abgeleiteten Werten der potentiellen Sonnenscheindauer (PARAJKA et al. 2003) mittels des modifizierten Blaney-Criddle Verfahrens berechnet. Für jeden Tag des zu untersuchenden Zeitraumes entstanden so Rasterkarten des Tagesniederschlages, der Lufttemperatur und der potentiellen Verdunstung für das österreichische Bundesgebiet. Um bei der Berechnung der Wasserbilanz für Einzugsgebiete die Höhenabhängigkeit hydrologischer Größen zu berücksichtigen, wurde jedes der 273 Pegeleinzugsgebiete in Höhenstreifen zu je 200 Meter Seehöhe unterteilt. Für jeden Höhenstreifen wurden durch Überlagerung der Karten mit den topographischen Einzugsgebietsgrenzen die mittleren täglichen Werte bestimmt.

Die untersuchte Einzugsgebiete zeigen eine große hydrologische Variabilität, von niederschlagsreichen Gebieten in den Staulagen am Alpennordrand, über hochalpine, durch Abschattungseffekte hervorgerufenen niederschlagsärmeren Gebieten zu eher trockenen, im Einfluss des pannonischen Klimas liegenden Gebieten im östlichen Flachland. Für eine bessere Interpretation der Ergebnisse dieser Studie wurden alle Gebiete anhand eines Trockenheitsindex nach der Budyko Kurve (Budyko, 1974) klassifiziert. Die Ergebnisse aller Analysen in dieser Studie sind sowohl für alle Gebiete, als auch für zwei Unterklassen dargestellt. Die erste Unterklasse beinhaltet alle Gebiete mit einem Verhältnis von potentieller Verdunstung zu aktueller Verdunstung größer als 0.6. Diese Gebiete werden in dieser Studie als „feuchte“ Gebiete bezeichnet. Die zweite Unterklasse beinhaltet alle Gebiete mit einem Verhältnis von potentieller Verdunstung zu aktueller Verdunstung kleiner als 0.35, welche in dieser Studie als „trockene“ Gebiete bezeichnet werden.

Als Grundlage für die Untersuchung der zeitlichen Stabilität von Modellparameter wurden die klimatischen Veränderungen zwischen 1976 und 2006 untersucht. Als Beispiel hierfür sind in Abbildung 1 für sechs 5-Jahres Perioden von 1976 bis 2006 die mittleren jährlichen Werte des Niederschlages, der Lufttemperatur, der potentiellen Verdunstung, des Abflusses, des Verhältnisses von Abfluss zu Niederschlag und der Schneebedeckung in 270 österreichischen Gebieten dargestellt (schwarze Linie). Die rote Linie zeigt trockene Gebiete, d.h. Gebiete mit einem langfristigen Verhältnis von potentieller Verdunstung und Niederschlag größer als 0.6. Die blaue Linie beschreibt feuchte Gebiete, also alle jene Gebiete, in denen das langfristige Verhältnis von potentieller Verdunstung zu Niederschlag kleiner als 0.35 ist. Nach dieser Unterteilung liegen die feuchten Gebiete hauptsächlich im Westen Österreichs, während die trockenen Gebiete im Osten liegen. Die Abbildung zeigt eine deutliche Zunahme in Niederschlag und Temperatur seit 1976. Aufgrund der höheren Temperatur steigt auch die potentielle Verdunstung.

tung. Kein Trend ist im Abfluss zu erkennen. Aufgrund der höheren Verdunstung ist das Verhältnis von Abfluss zu Niederschlag gesunken, d.h. die Gebiete wurden in den letzten Jahren i.d.R. trockener. Eine leichte Abnahme ist in der mittleren Schneebedeckung zu erkennen.

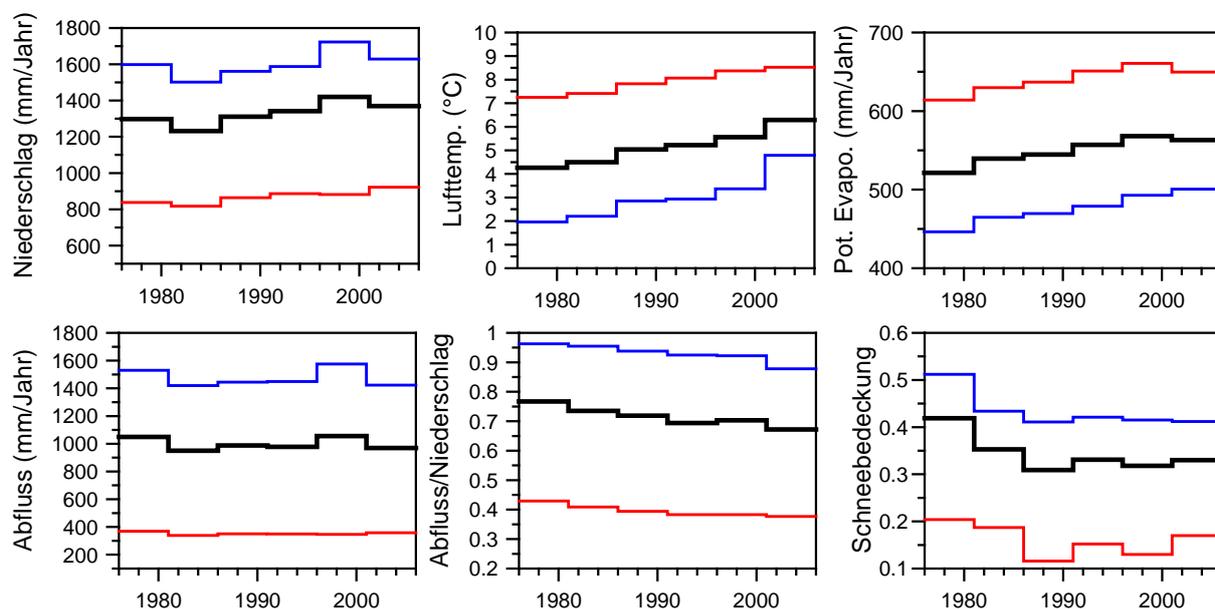


Abb. 1: Mittlere Werte des Niederschlages, der Lufttemperatur, der potentiellen Verdunstung, des Abflusses, des Verhältnisses von Abfluss zu Niederschlag (Q/P) und der Schneebedeckung für sechs 5-Jahresperioden im Zeitraum 1976-2006. Schwarze Linie: alle Gebiete, blaue Linie: feuchtere Gebiete mit langfristigem Verhältnis von potentielle Verdunstung zu Niederschlag kleiner als 0.35; rote Linie: trockenere Gebiete mit langfristigem Verhältnis von pot. Verdunstung zu Niederschlag größer als 0.6.

Das verwendete Modell ist ein kontinuierliches Konzeptmodell (Soil moisture accounting scheme) auf Tagesbasis. Die Modellkonzeption folgt dem in der Literatur weit verbreiteten HBV-Modell (BERGSTRÖM 1992) und besteht aus einem Schneemodul, einem Modul zur Berechnung der Bodenfeuchte und einem Abflussmodul. Das Schneemodul simuliert die Akkumulation des Schneewasserwertes und die Schmelze mit einem einfachen Grad-Tag Verfahren. Der windbedingte Messfehler des Niederschlags bei Schneefall wird im Modell durch einen Schneekorrekturefaktor berücksichtigt. Im Bodenfeuchtemodul wird die Änderung der Bodenfeuchte und Verdunstung simuliert. Der zum Abfluss beitragende Teil des Niederschlags und der Schneeschmelze ist eine nichtlineare Funktion der Bodenfeuchte. Die aktuelle Verdunstung wird aus der potentiellen Verdunstung durch eine stückweise lineare Funktion der Bodenfeuchte berechnet. Das Abflussmodul besteht aus zwei in Serie geschalteten Linearspeichern, als Konzeption einer oberen und unteren Bodenzone und einer nichtlinearen Transferfunktion für die Abflusskonzentration im Vorfluter. In der vorliegenden Version besitzt das Modell insgesamt 11 Parameter, die durch Eichung bestimmt werden. Eine ausführliche Beschreibung des Modells findet sich in MERZ et al (2009). Für alle Gebiete wurde die Wasserbilanz der Höhenstreifen einzeln mit dem Modell simuliert, wobei für alle Höhenstreifen im Gebiet dieselben Parameterwerte angenommen wurden

Die Reihen der beobachteten Tagesabflüsse an 273 Pegeln wurden zur Eichung und Verifikation des Modells herangezogen. Die Modellparameter wurden automatisch mit Hilfe mathematischer Optimierungsalgorithmen geschätzt. Als Zielfunktion der Güte der Abflusssimulationen wurde eine Kombination des Nash Sutcliffe Koeffizienten (NASH SUTCLIFFE, 1970) der Abflüsse, mit dem Nash Sutcliffe Koeffizienten der logarithmierten Abflüsse und der Abweichung von einer a-priori Schätzung der Parameterwerte gewählt. Eine detaillierter Beschreibung der Eichung ist in MERZ et al. (2009) zu finden. Das Modell wurde jeweils an jede der sechs 5-Jahres Perioden von 1976 bis 2006 geeicht und an den verbleibenden Perioden validiert. Es zeigten sich für jede Periode ähnlich gute Eich- und Validierungsergebnisse. Ein zeitlicher Trend konnte nicht festgestellt werden. Die Güte der Abflusssimulationen ist ähnlich zu den in der Literatur beschriebenen Modellgüte ähnlicher Untersuchungen (siehe z.B. OUDIN et al., 2008).

3. Ergebnisse

In einem ersten Schritt wurde die mittlere zeitliche Veränderung der Modellparameter aller Gebiete untersucht. In Abbildung 2 sind die gemittelten Parameterwerte der Gebiete für den Schneekorrekturfaktor SCF, den Grad-Tag Faktor DDF, die maximale Kapazität FC des Bodenfeuchtespeichers und den Parameter der Abflussbildung B dargestellt. Es zeigen sich signifikante zeitliche Trends. Der Schneekorrekturfaktor SCF nimmt mit der Zeit ab. In den früheren, kälteren Jahren ist mehr Niederschlag als Schnee gefallen. Der Messfehler aufgrund der Windverfrachtung und damit der Schneekorrekturfaktor sind größer als in den wärmeren, späteren Jahren, in denen weniger Niederschlag als Schnee fiel. Der räumliche Mittelwert des Grad-Tag Faktors DDF sinkt ebenfalls mit der Zeit. In den kälteren, früheren Jahren wurde im Winter mehr Schnee akkumuliert und die Schneeschmelze begann später im Jahr. Regen-auf-Schnee Ereignisse waren wahrscheinlicher und mehr Strahlungsenergie war für die Schneeschmelze vorhanden. Die Schmelzraten waren relativ zur Lufttemperatur größer, was den fallenden Trend im Grad-Tag Faktor erklärt. Einen deutliche Zunahme mit der Zeit ist bei der maximale Bodenfeuchtespeicherkapazität FC zu sehen. Abbildung 1 zeigt eine deutliche Zunahme der Verdunstung bei einer nur kleinen Zunahme der Niederschläge in den letzten Jahren. Die Böden wurden im Mittel trockener und mehr Wasser konnte gespeichert werden. Dies spiegelt sich im Modell durch größere Werte der maximalen Speicherkapazität der Bodenfeuchte wider. Ähnlich steigt der Parameter B, der die Nichtlinearität der Abflussbildung beschreibt, mit der Zeit. Trockene Böden haben in der Regel eine deutlich nichtlineare Reaktion auf Niederschlag und weniger Niederschlag fließt ab. B verdoppelt sich annähernd von 3 zu 6 in den letzten drei Dekaden. Die Konsistenz der Trends zwischen allen in dieser Studie untersuchten Gebieten, und den Unterklassen der feuchten und trockenen Gebiete deuten darauf hin, dass die Trends die hydro-klimatischen Veränderungen in Österreich widerspiegeln und kein Artefakt der Eichung sind.

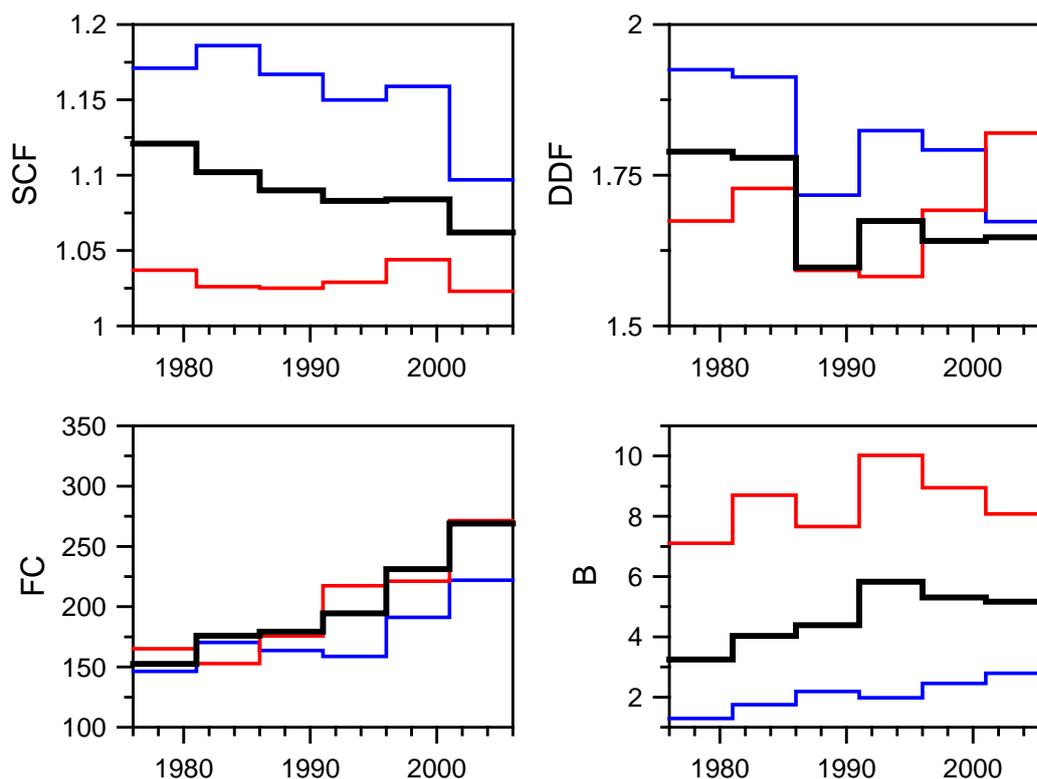


Abb. 2: Modellparameter (Schneekorrektur Faktor SCF, Grad-Tag Faktor DDF, maximale Bodenfeuchtespeicherkapazität FC und Parameter der Abflussbildung B) von 5 Jahres Eichperioden gemittelt über alle 273 Gebiete (schwarze Linie), gemittelt über alle „feuchte“ Gebiete (blaue Linie) und gemittelt über all „trockenen“ Gebiete (rote Linie)

Es stellt sich nun die Frage, welchen Einfluss die zeitlichen Veränderungen der Modellparameter auf die Simulationsgüte zukünftiger Abflussverhältnisse haben. In dieser Studie wurde der Einfluss der Parameterstabilität auf die Abflussprognose anhand dreier Abflussindikatoren untersucht: dem mittleren Abfluss, Q95 und Q5. Q95 ist jener Abfluss der in 95% der Zeit überschritten wird und stellt somit eine Maßzahl für Niederwasser dar. Q5 ist jener Abfluss, in 5% der Zeit überschritten wird und wird hier als Maßzahl für Hochwasserabflüsse verwendet. In Abbildung 3 sind die relativer Validierungsfehler der Abflusssimulation für Niederwasser (Q95), mittlerer Abfluss und Hochwasser (Q5) für verschiedenen 5 Jahres Perioden bei Annahme einer zeitlich unveränderlicher Modellparameter gezeigt. Der Fehler in Abflussprognose besteht aus zwei Teilen. Zum einen kann ein Modell die Abflussbeobachtungen während der Eichperiode, aufgrund von Messfehlern in den Beobachtungsdaten nicht perfekt wiedergeben. Weiterhin kann keine Modellstruktur auch alle im Gebiet ablaufenden hydrologischen Prozesse genau beschreiben. Dieser Fehler ist in Abbildung 3 als gepunktete Linie dargestellt. Der zweite Teil des Fehlers in den Abflussprognosen entsteht bei dem Übergang von der Eichperiode zur einer anderen Periode, aufgrund geänderter hydro-klimatischer Bedingung und damit sub-optimalen Parametersätzen. Abbildung 3 zeigt deutliche Fehler in der Abflusssimulation bei einer Annahme von zeitlich invarianten Modellparametern. Werden z.B. die an die Periode 1976-1981 gezielten Parameter zur Simulation der Periode 2001-2006 verwendet (obere Reihe) so wird Q95 im Mittel um 12%, Q50 um 17% und Q5 um etwa 30% überschätzt. Die Parameter der Periode 1976-1981 spiegeln kältere hydro-klimatische Verhältnisse mit weniger Verdunstung, höhere

Abflussraten und kleineren Speicherkapazitäten der Bodenfeuchte wider. Werden diese Parametersätze zur Simulation trockenerer Perioden (z.B. 2001-2006) verwendet, so wird der Abfluss überschätzt. Entsprechend wird der Abfluss früherer Perioden unterschätzt, wenn Parametersätze geeicht an die Periode 2001-2006 verwendet werden (untere Reihe).

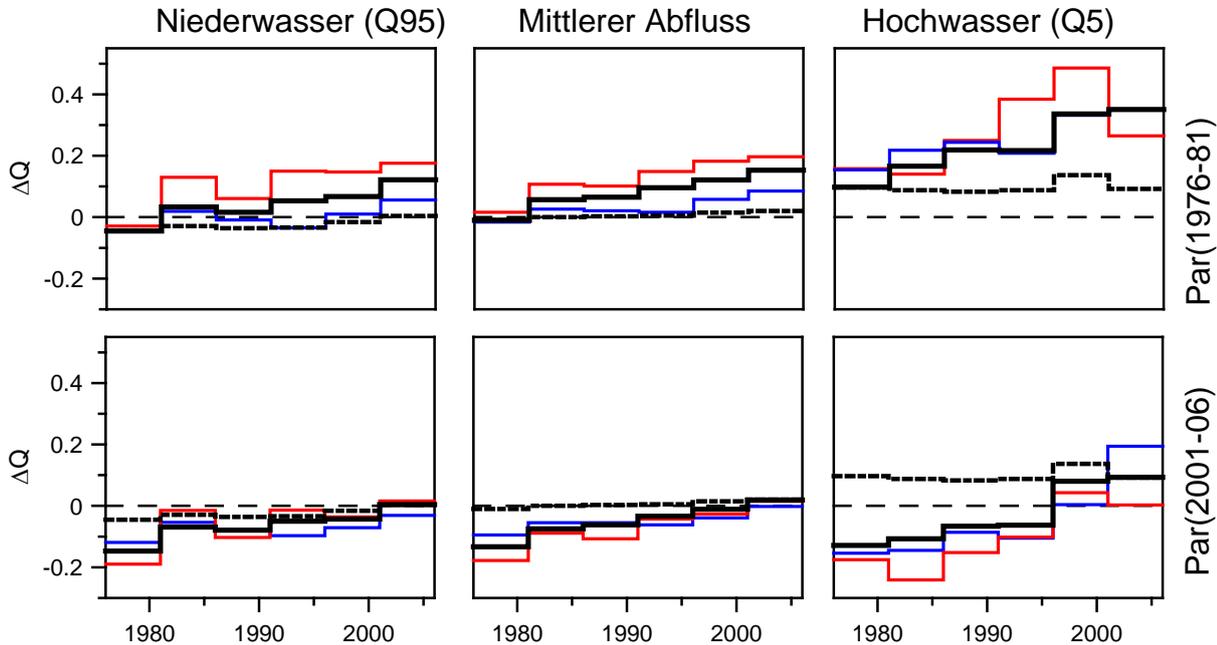


Abb. 3: Relativer Validierungsfehler der Abflusssimulation für Niederwasser (Q95), mittlerer Abfluss und Hochwasser (Q5) für verschiedenen 5 Jahres Perioden bei Annahme einer zeitlichen Invarianz der Modellparameter. Die obere Reihe zeigt den Fehler der Abflusssimulation für die an die Periode 1976-1981 geeichten Parametersatz, die untere Reihe den Fehler der Abflusssimulation für die an die Periode 2001-2006 geeichten Parametersatz. Die schwarzen, blauen und roten Linien zeigen jeweils die Mittelwerte für alle 273 Gebiete, „feuchte“ und „trockene“ Gebiete. Die gepunktete Linie zeigt den relativen Fehler der Abflusssimulationen für die an die jeweilige Periode geeichten Parametersatz.

4. Diskussion

Die Analyse zeigen, dass die Parameter eines üblichen hydrologischen Konzeptmodells deutliche zeitliche Trends aufweisen können und aufgrund der zeitliche Variabilität der Modellparameter der zukünftige Abflüsse deutlich über- bzw. unterschätzt werden kann. Dies hat wichtige Auswirkungen auf die Vorhersage des Einflusses von Klimaänderungen auf hydrologischen Verhältnisse. Die Fehler solcher Vorhersagen können sehr groß sein (BLÖSCHL & MONTANARI, 2010). Neben Unsicherheiten in der Ermittlung zukünftiger Klimaszenarien durch Klimamodelle beruht ein Teil des Fehlers, ist wie in dieser Studie gezeigt, auf die Annahme von zeitlich invarianten Modellparametern. Eine Möglichkeit zur Reduktion dieses Fehlers wäre explizit die zeitlichen Trends in den Modellparametern bei der Abflussprognose zu berücksichtigen. Die hier ausgewerteten Modellparameter zeigen eine hohe Korrelation mit Klimaindikatoren und so könnten solche Korrelationen zur Bestimmung von Modellparametern zur Simulation zukünftiger Perioden verwendet werden. Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion des

Prognosefehlers wäre die Entwicklung von alternativen Modellstrukturen, deren Parameter zeitlich invariant sind. Es besteht jedoch die Frage, wie eine solche Modellstruktur aussehen könnte. Die meisten der heute in der Hydrologie verwendeten konzeptionellen Modelle sind in der Struktur dem hier verwendeten Modell sehr ähnlich und eine ähnliche Zeitabhängigkeit der Modellparameter besteht.

Literatur

- BERGSTRÖM S. (1992) The HBV Model – its Structure and Applications. SMHI Report No. RH 4, Norrköping Schweden.
- BLÖSCHL, G. & MONTANARI, A. (2010) Climate change impacts – throwing the dice? Invited Commentary, *Hydrological Processes* 24, 374-381.
- BUDYKO MI. (1974) *Climate and Life*. Academic Press.
- MERZ, R., J. PARAJKA, and G. BLÖSCHL (2009) Scale effects in conceptual hydrological modeling, *Water Resources Research*, 45, W09405, doi:10.1029/2009WR007872.
- LOUDIN, L., V. ANDREASSIAN, C. PERRIN, C. MICHEL, and N. LE MOINE (2008) Spatial proximity, physical similarity, regression and ungaged catchments: A comparison of regionalization approaches based on 913 French catchments, *Water Resour. Res.*, 44, W03413, doi:10.1029/2007WR006240.
- PARAJKA J., R. MERZ & G. BLÖSCHL (2003): Estimation of daily potential evapotranspiration for regional water balance modeling in Austria, Poster Day 2003 of the Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences
- NASH, J.E. and SUTCLIFFE, J.V. (1970) River flow forecasting through conceptual models. Part I – A discussion of principles. *J. Hydrol.*, 10, 282-290

Klimasensitivität mesoskaliger Einzugsgebiete im Schweizer Alpenraum

Nina Köplin, Daniel Viviroli, Bruno Schädler, Rolf Weingartner

Zusammenfassung

Als Folgen eines projizierten Klimawandels bis 2050 werden für das Gebiet der Schweiz unter anderem Änderungen der jährlichen Abflussmenge und der Abflussregime erwartet. Ziele des hier vorgestellten Projekts sind die Ermittlung der klimasensitiven Einzugsgebiete einerseits und die Quantifizierung der Änderung des Wasserhaushalts andererseits.

Untersuchungsgegenstand sind ca. 200 mesoskalige Einzugsgebiete eines Skalenbereichs von 30-2000 km², für welche mit dem prozessorientierten hydrologischen Modellsystem PREVAH Simulationen in stündlicher Auflösung erstellt werden. Da nur für einen Teil der Gebiete unbeeinflusste Abflussmessungen vorliegen, kommt ein Regionalisierungsschema zur Anwendung, mit dessen Hilfe die Modellparametersätze von kalibrierten Spendergebieten auf ungemessene Gebiete übertragen werden, so dass flächendeckend für das Gebiet der Schweiz PREVAH-Modellparametersätze vorliegen. Die Daten von 17 Regionalen Klimamodellen werden mit Hilfe der Delta Change Methode auf Stationswerte skaliert. Anschließend werden die ermittelten Änderungsfaktoren den stündlichen Messreihen von Niederschlag und Temperatur aufgeprägt. Diese Klimazeitreihen dienen als Antrieb für PREVAH-Modellrechnungen in zunächst sechs Testregionen, die die großen Naturräume der Nordalpinen Schweiz repräsentieren.

Ergebnis ist eine Abschätzung der Sensitivität mesoskaliger Einzugsgebiete gegenüber einem veränderten Klimainput. Zudem werden kausale Zusammenhänge von Gebietseigenschaften und Sensitivitäten untersucht.

1. Einleitung und Fragestellung

Ein veränderter klimatischer Input in ein hydrologisches System, wie etwa höhere Temperaturen und infolge dessen stärkere Schnee- und Gletscherschmelze oder ein hinsichtlich der Intensität, Dauer und jahreszeitlichen Verteilung veränderter Niederschlag, verändert auch das Abflussverhalten eines Einzugsgebietes. Hydrologische Kenngrößen (z.B. NQ, MQ, HQ) oder der Regimetyp eines Gebietes können von dieser Änderung betroffen sein. Es ist anzunehmen, dass nicht jedes Einzugsgebiet in gleicher Weise reagiert, sondern einige Gebiete gepuffert, andere hingegen verstärkt reagieren. Eine vertiefte Kenntnis der Änderungen ist Grundlage für eine nachhaltige Bewirtschaftung des zukünftigen Wasserdargebots und für die vorausschauende Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen.

In der vorliegenden Studie soll untersucht werden, ob eine projizierte Klimaänderung bis 2050 bereits Änderungen im Abflussverhalten mesoskaliger Schweizer Einzugsgebiete hervorruft. Sofern dies der Fall ist, werden die Einzugsgebiete hinsichtlich ihrer Sensitivität gegenüber dem veränderten Klimainput bewertet sowie die Änderungen von Gebietskenngrößen benannt. Die Studie ist Teil des vom Schweizerischen Bundesamt für Umwelt (BAFU) initiierten Projekts „Climate Change in der Schweiz – Hydrologie“ (CCHydro), in dessen Rahmen umfassende Studien zu potentiellen Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Hydrologie der Schweiz durchgeführt werden.

2. Daten und Methodik

Der Aufbau der Studie ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Durch eine mit Klimaszenarien (1) angetriebene hydrologische Modellierung (2) werden mesoskalige Schweizer Einzugsgebiete hinsichtlich ihrer Sensitivität gegenüber einem veränderten Klimainput untersucht und bewertet (3).

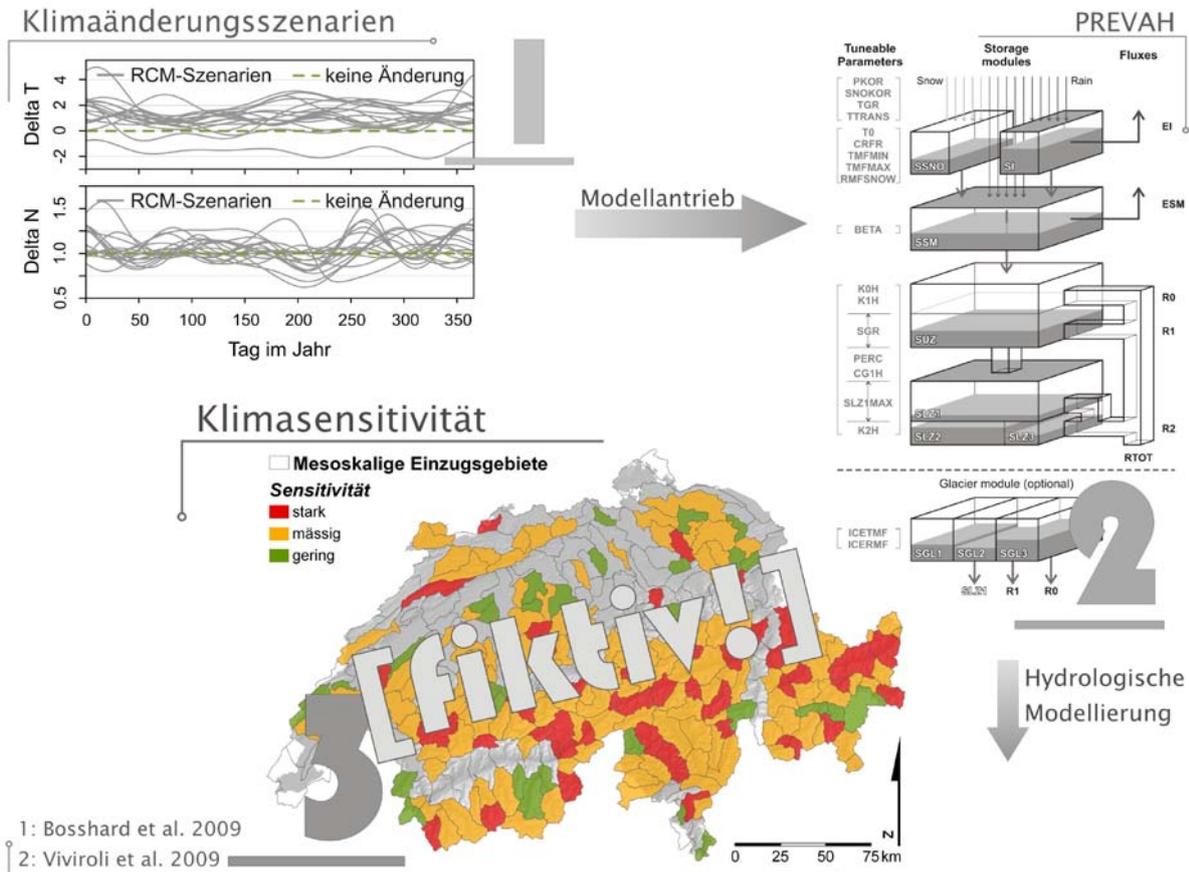


Abb. 1: Schematische Darstellung des Aufbaus der Studie

2.1 Klimaszenarien

Am Institut für Atmosphären- und Klimawissenschaft (IAC) der ETH Zürich wurden die für die Untersuchungen benötigten Daten von 17 Regionalen Klimamodellen (RCMs) des ENSEMBLES-Projektes (HEWITT & GRIGGS 2004) mit der Delta Change Methode (PRUDHOMME et al. 2002) für die hydrologische Modellierung aufbereitet (BOSSHARD et al. 2009). Die grob aufgelösten RCM-Daten (Rasterweite 25 x 25 km = 625 km²) wurden auf das hoch aufgelöste Stationsmessnetz (ca. 1 Station pro 60 km²) herunterskaliert, korrigiert und ein mittlerer Jahresgang der Variablen berechnet, so dass für rund 700 Stationen (Abbildung 2) tägliche Delta-Werte für Temperatur (additiv) und Niederschlag (multiplikativ) zur Verfügung stehen. Die Delta-Werte wurden für die Szenarioperiode 2021-2050 relativ zur Referenzperiode 1976-2005 berechnet, das zugrundeliegende Emissionsszenario ist A1B (IPCC 2000).

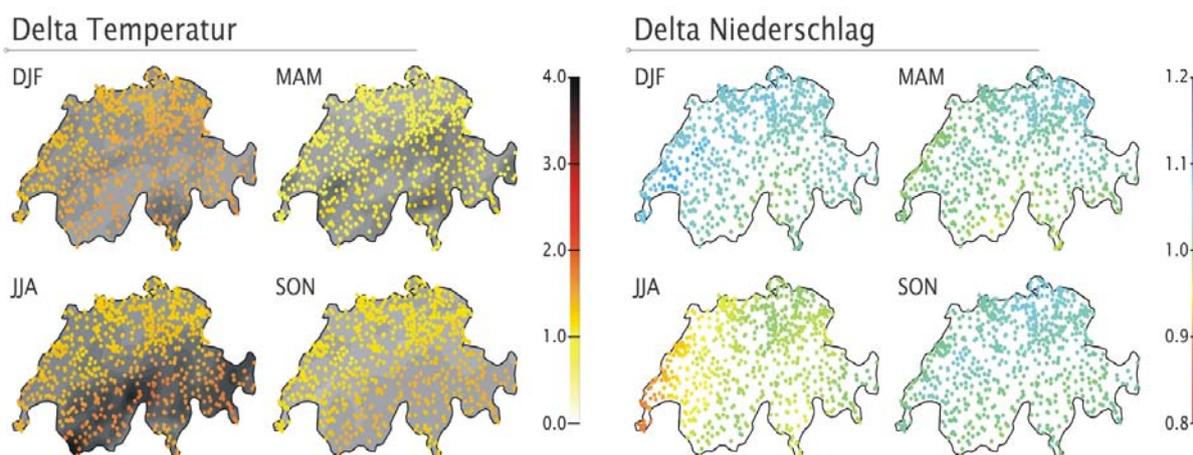


Abb. 2: Mittlere saisonale Delta-Werte für Temperatur (additiv) und Niederschlag (multiplikativ) je Messstation (farbige Punkte) gültig für die Szenarioperiode 2021-2050 relativ zur Referenzperiode 1976-2005 (BOSSHARD et al. 2009)

Für das Gebiet der Schweiz und die hier gewählte Szenarioperiode werden keine Temperaturabnahmen projiziert (Abbildung 2). Die mittleren saisonalen Deltawerte lassen räumliche und jahreszeitliche Unterschiede erkennen: Während die Wintertemperaturen gleichmäßig über das Gebiet der Schweiz deutlich zunehmen, so sind im Sommer und Herbst in den südöstlichen Regionen stärkere Zunahmen zu verzeichnen als in der Nordalpinen Schweiz. Auch beim Niederschlag ist ein räumliches Muster zu erkennen, wenngleich weniger stark ausgeprägt: Im Winter und Herbst nehmen die Niederschläge in der Nordalpinen Schweiz zu, in den Sommermonaten wird für die Westschweiz eine deutliche Niederschlagsabnahme projiziert, die nach Osten hin schwächer wird.

Durch die Verwendung von Delta Change Szenarien kann keine Änderung in der Variabilität der Klimagrößen berücksichtigt werden. Die vergleichsweise einfache Methode ermöglicht es jedoch, eine Spannweite unterschiedlicher RCMs zu testen. Zudem ist die hydrologische Modellierung von Kontroll- und Szenarioperioden konsistent, da dieselben Stationen zur Modellierung genutzt werden können, worin ein entscheidender Vorteil der Methode besteht.

2.2 Hydrologisches Modell und Untersuchungsgebiete

Das verwendete hydrologische Modellsystem PREVAH (Precipitation-Runoff-EVaporation-Hydrotope based model, VIVIROLI et al. 2009A) wurde für die Anwendung in Gebirgsregionen entwickelt und hat sich als flexibles Werkzeug zur Beantwortung vielfältiger Modellierungsziele von der Niedrigwasseranalyse über Wasserhaushaltsmodellierungen bis hin zu Hochwasseranalysen erwiesen, sowie auch bei der Modellierung unterschiedlichster klimatischer Bedingungen bewährt (VIVIROLI et al. 2009A). Es ist ein konzeptuelles jedoch prozessorientiertes Modell, das auf Basis von HRUs (Hydrological Response Units) räumlich verteilt rechnet. Die Rasterweite beträgt $500 \times 500 \text{ m}^2$ und die zeitliche Auflösung eine Stunde. Meteorologische Eingangsgrößen sind Temperatur und Niederschlag, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung und Sonnenscheindauer. Eine schematische Darstellung der einzelnen Mo-

dellkomponenten, die als Speichermodule den Wasserfluss simulieren, findet sich in Abbildung 1.

Insgesamt werden rund 200 mesoskalige Einzugsgebiete eines Skalenbereichs von 30-2000 km² untersucht (Abbildung 3). Diejenigen Einzugsgebiete mit unbeeinflussten Abflussmessungen, werden für den Ist-Zustand mit Hilfe eines iterativen Verfahrens (VIVIROLI et al. 2009B) kalibriert. Die auf diese Weise ermittelten Parameterwerte werden anschliessend unter Anwendung eines Regionalisierungsschemas (VIVIROLI et al. 2009C) auf ungemessene Gebiete übertragen, so dass flächendeckend für das Gebiet der Schweiz Modellparametersätze vorliegen.

Für einen ersten Plausibilitätstest der Klimaszenarien wird in der vorliegenden Studie eine Auswahl an Gebieten in sechs Testregionen (Abbildung 3) modelliert, die die großen Naturräume der Nordalpinen Schweiz (Alpen, Voralpen, Westschweiz, Mittelland und Jura) und damit charakteristische Regimetyper repräsentieren.

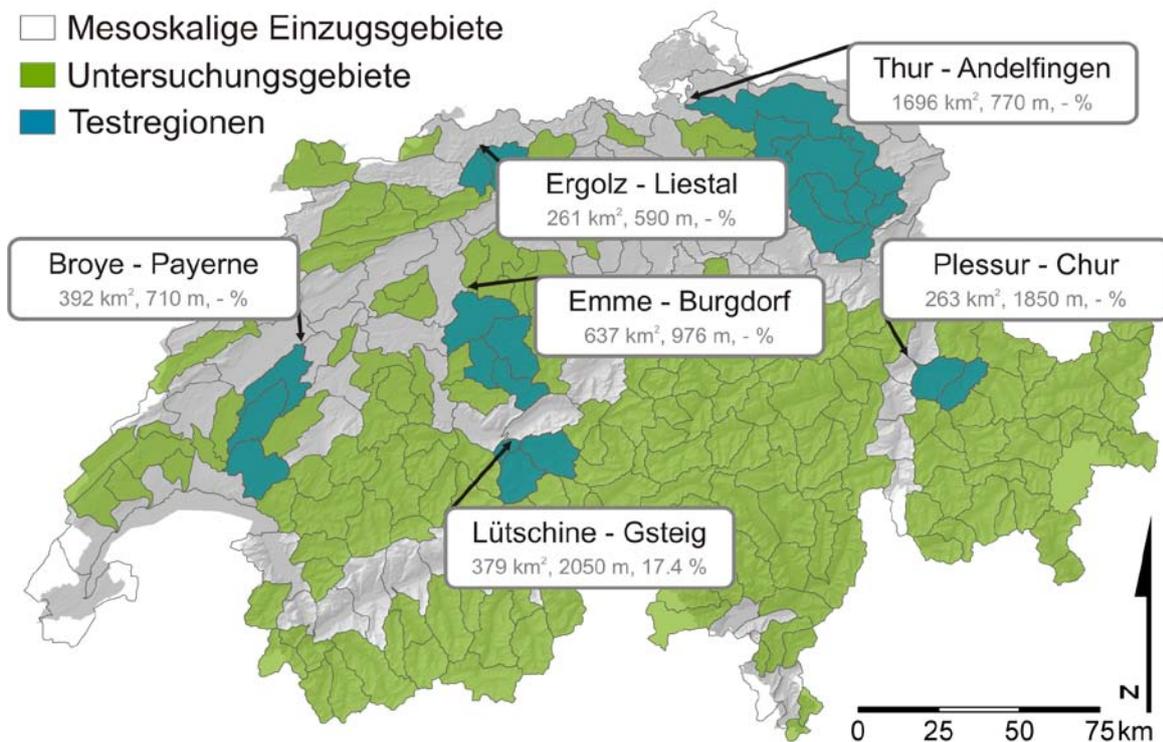


Abb. 3: Lage der 200 mesoskaligen Untersuchungsgebiete (grün) und der sechs repräsentativen Testregionen (blau) mit Angabe von Fläche [km²], mittlerer Gebietshöhe [m] und Anteil an vergletscherter Fläche [%] im Einzugsgebiet

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Modellrechnungen in den sechs Testregionen mit Klimaszenarien als Modellinput sind in Abbildung 4 dargestellt. Der untere Abschnitt jeder Teilgrafik zeigt das Regime des Testgebiets (mittlerer Monatsabfluss [mm]) für die modellierte Kontrollperiode und die Szenarioperiode je RCM. Im oberen Teil sind die saisonalen Abweichungen der Szenarien gegenüber der Kontrollsimulation als Boxplots dargestellt, der gelbe Bereich bedeutet eine Ab-

nahme der Abflüsse, der blaue eine Zunahme unter den projizierten Klimabedingungen bis 2050.

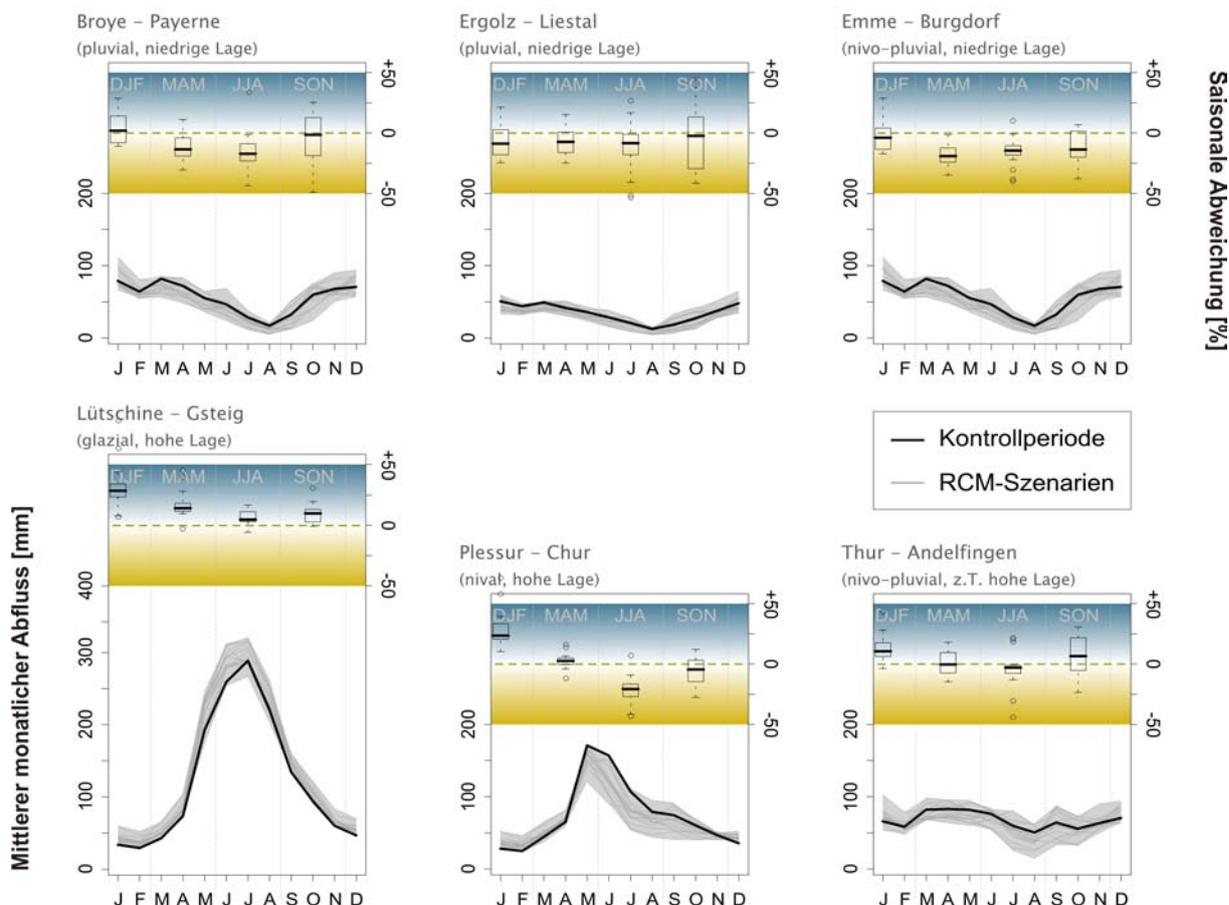


Abb. 4: Resultierender mittlerer Monatsabfluss [mm] und saisonale Abweichung [%] der PREVAH-Modellrechnungen für die Szenarioperiode gegenüber der Kontrollperiode

Für die Gebiete einer niedrigeren Höhenlage lassen sich abnehmende Monatsabflüsse verzeichnen (Broye, Ergolz, Emme). Die Abnahme ist im Sommerhalbjahr am stärksten, was auf die geringeren Niederschläge im Zusammenhang mit höheren Temperaturen und damit Verdunstungshöhen zurückzuführen ist.

In Gebieten höherer Lagen, die von der Schneeschmelze geprägt sind (Thur, Plessur), nehmen die Winterabflüsse zu, die Frühjahrsabflüsse bleiben unverändert und die Sommerabflüsse nehmen ab. Hier führen höhere Wintertemperaturen zu einem größeren Anteil an Regen anstelle von Schnee, der direkt abflusswirksam wird. Da die Schneespeicher infolgedessen eine geringere Mächtigkeit aufweisen, sind diese zum Ende des Frühlings bereits erschöpft und der Sommerabfluss nimmt gegenüber der Kontrollperiode ab, obwohl die Niederschläge in etwa gleich bleiben. Höhere Temperaturen und damit Verdunstungshöhen wirken hier ebenfalls in Richtung abnehmender Abflüsse.

Das vergletscherte Testgebiet (Lüttschine) zeigt eine ganzjährige Zunahme des Abflusses. Der erhöhte Abfluss im Winter ist auch hier auf einen größeren Anteil des Niederschlags in flüssiger denn in fester Form zurückzuführen. Im Frühjahr setzen die Schnee- und Anfang des Sommers die Gletscherschmelze zeitiger ein, so dass sich die Abflussspitze zu einem früheren Zeitpunkt

im Jahr hin verschiebt. Da bis zum Jahr 2050 die Schnee- und Gletscherspeicher noch nicht erschöpft sind, kommt es auch zum Ende des Sommers nicht zu einer Abnahme der Abflüsse gegenüber der Kontrollperiode.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der Modellrechnungen in den sechs Testregionen mit Klimaszenarien als Modellinput lassen für die Periode 2021-2050 Änderungen der Abflussregime und der Abflussmenge erkennen. Die Änderungen lassen sich räumlich differenziert unterschiedlichen Regimetypen zuordnen. Die eingangs geäußerte Vermutung, dass nicht jedes Gebiet in gleicher Weise reagiert, hat sich bestätigt. Nachdem die Klimaszenarien auf die gesamten 200 mesoskaligen Einzugsgebiete angewandt wurden, können die Sensitivität der Gebiete und die Änderungen in Abflussverhalten und -menge quantifiziert und kausale Zusammenhänge mit bestimmten Gebietseigenschaften ermittelt werden.

Literatur

- BOSSHARD, T., T. EWEN, S. KOTLARSKI, & C. SCHÄR (2009): The annual cycle of the climate change signal - An improved method for use in impact studies, *Geophysical Research Abstracts*, 11, EGU2009-7095.
- HEWITT, C. D. & D. J. GRIGGS (2004): Ensembles-Based Predictions of Climate Changes and Their Impacts, *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, 85(52), doi:10.1029/2004EO520005.
- IPCC (Hrsg.) (2000): Special Report Emissions Scenarios, Summary for Policymakers, A Special Report of IPCC Working Group III, Geneva.
- PRUDHOMME, C., N. REYNARD & S. CROOKS (2002): Downscaling of global climate models for flood frequency analysis: where are we now? *Hydrological Processes*, 16, 1137–1150.
- OCCC (2007): Climate Change and Switzerland 2050. Impacts on Environment, Society and Economy. Bern: OcCC.
- VIVIROLI, D., M. ZAPPA, J. GURTZ & R. WEINGARTNER (2009A): An introduction to the hydrological modelling system PREVAH and its pre- and post-processing tools. *Environmental Modelling & Software*, 24(10), 1209–1222.
- VIVIROLI, D., M. ZAPPA, J. SCHWANBECK, J. GURTZ & R. WEINGARTNER (2009B): Continuous simulation for flood estimation in ungauged mesoscale catchments of Switzerland – Part I: Modelling framework and calibration results. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 191–207.
- VIVIROLI, D., H. MITTELBACH, J. GURTZ & R. WEINGARTNER (2009C): Continuous simulation for flood estimation in ungauged mesoscale catchments of Switzerland – Part II: Parameter regionalisation and flood estimation results. *Journal of Hydrology*, 377(1–2), 208–225.

Einfluss klimainduzierter Abflussänderungen auf die gewässerinterne N-Retention

Michael Rode, Hulya Boyacioglu, Thomas Vetter, Valentina Krysanova

Klimabedingte Änderungen des Abflussregims und der Temperaturverhältnisse können natürliche Stickstoffretentionsprozesse in Fließgewässern verändern. Bisher ist unklar, wie sich Abfluss- und Temperaturänderungen speziell auf die gewässerinterne Denitrifikation auswirken. Daher wurde in einer Studie der Einfluss dieser Steuergrößen einschließlich ihrer saisonalen Variabilität unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Gewässermorphologie auf die gewässerinterne Stickstoffretention untersucht. Anhand von Klimaszenarien für die Periode 2050-2054 wurden zukünftige Abfluss- und Temperaturbedingungen mit dem Modell SWIM am Beispiel der Weißen Elster, einem Gewässer vierter Ordnung, untersucht. Derzeitige und zukünftige N-Umsätze wurden mit dem Fließgewässergütemodell WASP5 basierend auf der Analyse jetziger Abfluss/Nitratkonzentrationsbeziehungen berechnet. Die Ergebnisse zeigen, dass unter zukünftigen Klimabedingungen mit einer erheblichen Abnahme der jährlichen Abflüsse zu rechnen ist. Die mittlere Denitrifikationsrate wird infolge der Abflussänderungen und gleichzeitiger Temperaturerhöhungen bei sommerlichen Niedrigwasserbedingungen um 79% und unter winterlichen mittleren und hohen Abflussbedingungen um 46% im Vergleich zum Referenzzeitraum zunehmen. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass unter natürlichen gewässermorphologischen Bedingungen die Denitrifikation um den Faktor 1,22 höher ist als unter stark überprägten, kanalisierten gewässermorphologischen Bedingungen. In der 42 km langen Untersuchungsstrecke wurde unter sommerlichen Niedrigwasserbedingungen die N-Fracht um 5,3 % durch Denitrifikation vermindert, unter zukünftigen Klimabedingungen steigt dieser Wert auf 17,1% an. Die Ergebnisse zeigen, dass der Klimawandel einen signifikanten Einfluss auf die Höhe und den saisonalen Verlauf der gewässerinternen Denitrifikation hat. Einschränkend muss betont werden, dass sich die Denitrifikationsberechnungen ausschliesslich auf Modellanpassungen im Sommerhalbjahr stützen und somit Berechnungen für das Winterhalbjahr mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet sind. Die Ergebnisse können wichtige Hinweise für das Stickstoffmanagement unter zukünftigen Klimabedingungen liefern.

Globaler Wandel, lokale Folgen: Wie lassen sich Auswirkungen auf die Gewässergüte in situ nachweisen?

Gunnar Lischeid, Christian Lehr, Thomas Kalettka, Christian Merz, Uwe Schindler

Die Beschaffenheit von Grund- und Oberflächengewässern wird in Europa seit Jahrhunderten anthropogen überprägt. Der aktuell diskutierte Klima- und Landnutzungswandel ist deshalb hinsichtlich seiner Auswirkungen auf die Gewässerqualität weder etwas prinzipiell Neues noch klar von den Auswirkungen historischer anthropogener oder natürlicher Einflussfaktoren zu unterscheiden. Trotzdem ist es für die Konzipierung und Überprüfung von Management-Optionen wie auch für die Weiterentwicklung von Modellen wichtig, die Effekte verschiedener Einflussgrößen und Bewirtschaftungsmaßnahmen in situ voneinander differenzieren zu können.

Am Beispiel eines größeren Datensatzes aus der Uckermark in Nordostdeutschland werden verschiedene Ansätze vorgestellt. Diese Region zeichnet sich durch intensive landwirtschaftliche Nutzung, aber auch durch eine sehr hohe Heterogenität der pleistozänen Sedimente und komplexe Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasserkörpern aus. Untersucht wurden deshalb Beschaffenheitsdaten eines zehnjährigen Monitorings der ungesättigten Zone, der gesättigten Zone und aus Fließgewässern mit jeweils zahlreichen räumlichen Wiederholungen. Vermutet wird, dass die langjährig sinkenden Grundwasserstände einen starken Einfluss auf die Grundwasserqualität in den teilweise stark reduzierenden Aquiferen und letztlich auch ihrer Vorfluter haben.

Zur Identifizierung der vorherrschenden Prozesse und zur trennscharfen quantitativen Erfassung der Auswirkungen der verschiedenen Prozesse auf die Gewässergüte wurde eine nichtlineare Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Die damit erstellten Zeitreihen der Prozessausprägungen wurden auf nichtlineare Trends und Indizien für Regimewechsel untersucht. Dazu wurden einerseits tiefpassgefilterte Zeitreihen der Komponentenwerte analysiert. Andererseits wurden Trends und auffällige Verhaltensänderungen mittels Darstellung in einer Selbstorganisierenden Karte untersucht. Aufbauend auf diese Ergebnisse werden Empfehlungen für die integrale Auswertung großer Datensätze des Gewässergütemonitorings in heterogenen Landschaften formuliert und deren Potential zur Identifizierung der Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Gewässergüte abgeschätzt.

Langfristige Variabilität der Niederschlagserosivität in Nordrhein-Westfalen: Bedeutung für die Bemessung von Erosionsschutzmaßnahmen

Peter Fiener, Peter Neuhaus, Johannes Botschek

Um gute ökologische Gewässerqualität, wie sie in der EU-Wasserrahmenrichtlinie gefordert wird, zu erreichen, ist in vielen Einzugsgebieten Deutschlands ein integriertes Einzugsgebietsmanagement zu entwickeln, das vor allem diffuse Stoffeinträge vermindert. In agrarisch geprägten Einzugsgebieten mit erhöhter Gewässerbelastung ist vor allem der Eintrag von partikulärem Phosphat problematisch. Vermeidungsmaßnahmen sind folglich auf bodenschonenden und damit erosionsvermeidenden Ackerbau und den Rückhalt von Sediment durch Pufferstreifen oder dezentrale Rückhaltebecken ausgerichtet. Die Wirksamkeit entsprechender Maßnahmen wird oftmals über Erosionsmodelle abgeschätzt.

Die hier vorgelegte Studie untersucht die Veränderung der Niederschlagserosivität, die die Wirkung von ereignisbezogener Niederschlagsmenge und -intensität auf die Bodenerosion in vielen Modellen abbildet. Anhand von 71-jährigen (1937-2007) hochauflösenden Messreihen (5-min Werte) von zehn nordrhein-westfälischen Niederschlagsstationen soll abgeschätzt werden, ob unter Bedingungen des Klimawandels mit einer potentiellen Zunahme der Erosion und damit des Stoffeintrages in Gewässer zu rechnen ist.

Über den gesamten Betrachtungszeitraum ergibt sich sowohl eine Zunahme der Niederschlagsmenge als auch der Niederschlagserosivität. Bei genauerer Betrachtung kann der Zeitraum in drei Phasen unterteilt werden: (i) Zunahme von 1937 bis Ende der 1960er Jahre, (ii) Abnahme bis Anfang der 1970er Jahre und (iii) erneute, deutlicher ausgeprägte Zunahme bis 2007. Im Zeitraum zwischen 1972 und 2007 ist dabei eine mittlere Zunahme der Regenerosivität über alle Stationen von ca. 18% pro 10 Jahren zu verzeichnen ($R^2=0.42$; $p<0,01$). Die Zunahme folgt dabei einem saisonalen Muster, wobei Niederschlagsmengen und Erosivität sich teilweise asynchron verhalten. In den Wintermonaten nimmt die Erosivität deutlich weniger zu als der Niederschlag. In den Monaten August bis Ende Oktober geht eine Zunahme der Erosivität mit einer Zunahme der Niederschläge einher, während die Erosivität im Zeitraum Ende Mai bis Ende Juli deutlich zunimmt, obwohl die Niederschläge im gleichen Zeitraum rückläufig sind. Zudem ist die Zunahme der kumulierten Jahreserosivität vor allem auf eine Zunahme der Erosivität von Extremereignissen zurückzuführen.

Derartige Veränderung der Jahres- und Ereigniserosivität sind von großer Bedeutung für ein angepasstes, bodenerosionsverminderndes Landmanagement. Dabei sind Verschiebungen hin zu extremeren Ereignissen, die in vielen in der Planung eingesetzten Erosionsmodellen (Allgemeine Bodenabtragsgleichung und abgeleitete Modelle) nicht berücksichtigt werden, besonders wichtig.

Nachhaltiger Ressourcenschutz bei der Abwasserreinigung Das Braunschweiger System des Wasser- und Nährstoffrecyclings

Daniel Klein, Thomas Dockhorn, Andreas Hartmann

Zusammenfassung

Klimawandel und Bevölkerungswachstum üben einen großen Druck auf die globalen Ressourcen aus. Ein nachhaltiger Umgang mit diesen Ressourcen insgesamt sowie deren optimierte Wiederverwertung ist somit unerlässlich. „Abwasser“ ist in diesem Kontext ebenfalls als Ressource anzusehen, da es neben dem Wasser selbst die elementaren Pflanzennährstoffe Phosphor und Stickstoff enthält. Insbesondere die landwirtschaftliche Wiederverwertung von gereinigtem Abwasser ist somit ein Weg, diese Ressourcen zu schonen.

In Braunschweig hat diese Wiederverwertung eine lange Tradition; bereits heute werden große Teile der im Abwasser enthaltenen Nährstoffe landwirtschaftlich wiederverwertet. Dieses Konzept sowie die ehemaligen Rieselfelder sind zentrale Komponenten eines außergewöhnlichen Systems, in dem bereits heute aktiv Ressourcenschutz betrieben wird. Im folgenden Beitrag wird dieses System ebenso dargestellt wie die grundlegenden Potentiale des Abwasserrecyclings – lokal wie global. Darauf basierend werden Strategien aufgezeigt, wie die Nutzung der im Abwasser enthaltenen Ressourcen durch eine abgestimmte, integrierte Verfahrenskombination weiter optimiert werden kann.

1. Das Braunschweiger System der Abwasserreinigung

Das Braunschweiger System der Abwasserreinigung und -verwertung besteht aus einer zentralen Kläranlage (Klärwerk Steinhof, KWS), den (ehemaligen) Rieselfeldern sowie einem landwirtschaftlichen Verregnungsgebiet. Abbildung 1 zeigt die Lage dieser Systemkomponenten.

1.1. Klärwerk

Das Klärwerk Steinhof wurde 1979 errichtet und bis zum Erreichen der heutigen Größe (angeschlossene EW: 350.000) mehrmals erweitert. Seit 2001 werden Primär- und Sekundärschlämme in Faultürmen behandelt, das gewonnene Biogas wird in den BHKW der Kläranlage verstromt. Strom und Wärme werden zu großen Teilen vor Ort verwertet. Der ausgefaulte Schlamm wird in den Wintermonaten entwässert und extern landwirtschaftlich verwertet; im Sommer wird der Faulschlamm dem Beregnungswasser zugemischt und verbleibt auf diese Weise im System.

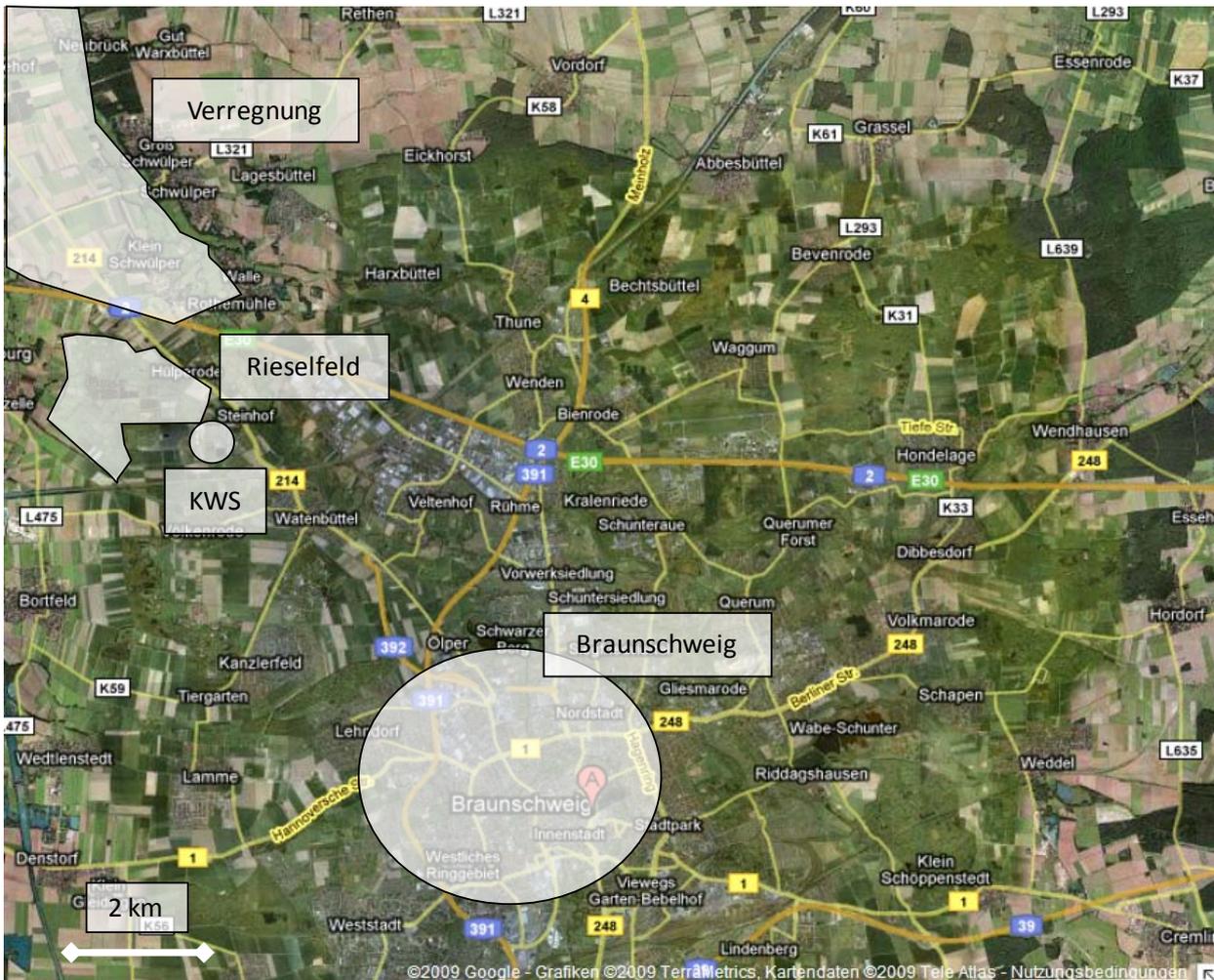


Abb. 1: Die Kernelemente des Braunschweiger Abwassersystems

1.2 Die Braunschweiger Rieselfelder

Die Braunschweiger Rieselfelder wurden bereits 1894 als – damals erste und alleinige – Abwasserreinigungsanlage in Betrieb genommen. Nach dem Bau der Kläranlage wurden sie nach und nach umgestaltet, sie dienen heute insbesondere der Vergleichmäßigung der Abflüsse bei Stoßbelastungen und der kurzfristigen Speicherung hoher Abflussmengen.

Die Rieselfelder bestehen im Wesentlichen aus drei Teilbereichen mit unterschiedlichen Funktionen.

- Flächen, die der Wasserspeicherung und -ableitung dienen und zu großen Teilen nicht längerfristig überstaut sind (zentrale Bereiche),
- Ackerflächen, auf die Teile des gereinigten Abwassers über Bewässerungsgräben aufgebracht (verrieselt) wird und die verpachtet sind bzw. brach liegen,
- sowie künstlichen Seen und Mäanderstrecken, die größtenteils überflutet sind.

Neben der Bedeutung als Nachreinigungsstufe erfüllen die Rieselfelder auch Aufgaben hinsichtlich der Naherholung und des Naturschutzes. Abbildung 2 zeigt die Gliederung der Braunschweiger Rieselfelder.

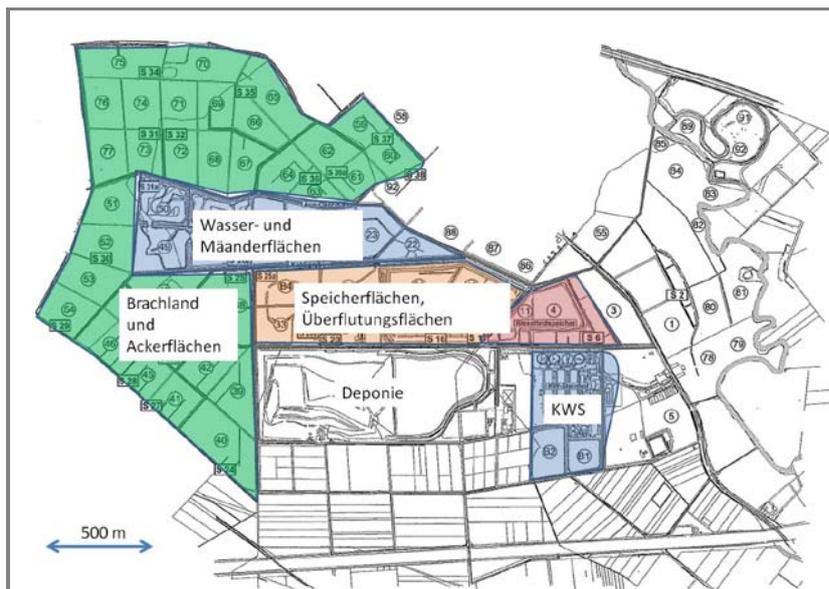


Abb. 2: Flächennutzung in den Braunschweiger Rieselfeldern
(Karte: AVB, verändert)

1.3 Die landwirtschaftliche Wiederverwertung

Ein großer Teil des (vollständig gereinigten) Abwassers aus dem KWS wird auf den Flächen des Abwasserverbandes Braunschweig (AVB) verregnet. Im Sommer wird dem Verregnungswasser zusätzlich düngewirksamer, ausgefauter Klärschlamm zugemischt. Das Verbandsgebiet umfasst insgesamt über 4.000 ha, von denen etwa 3.000 landwirtschaftlich genutzt werden.

2. Wasser- und Nährstoffrecycling innerhalb des Braunschweiger Systems

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Wasser- und Schlammverwertung innerhalb des Systems.

Tab. 1: Wasser- und Klärschlammnutzung in Braunschweig

	Ablauf Kläranlage	davon in Ver- regnung	davon im Rieselfeld nachgereinigt	sonstige Ver- wertung
Abwasser	15-20 Mio. m ³ /a	im Mittel 65%	ca. 35%	entfällt
Faulschlamm	6.000 t TM/a	ca. 60%	entfällt	40% entwässert, extern verwertet

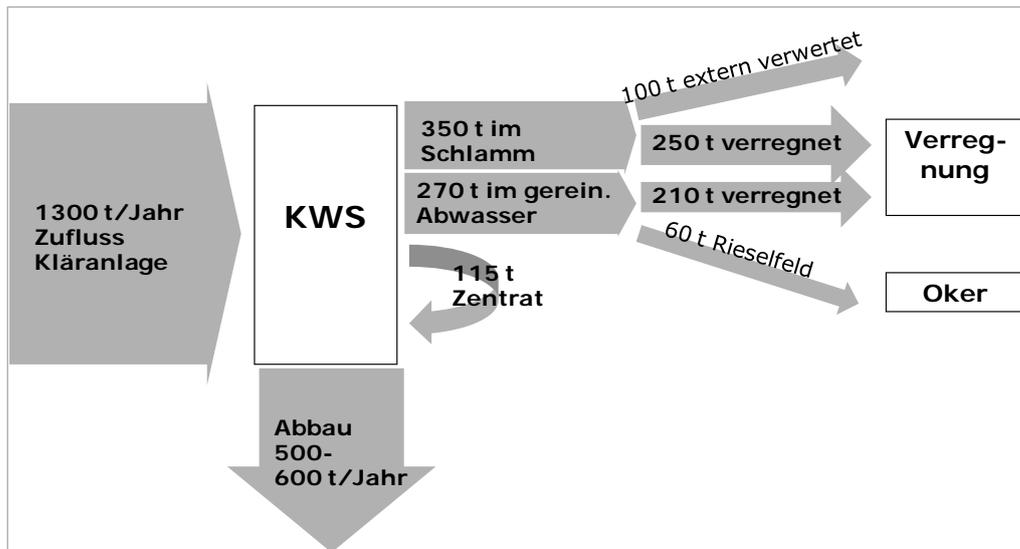


Abb. 3: Stickstoffflüsse innerhalb des Braunschweiger Abwassersystems

Abwasser- und Klärschlammnutzung dienen der Wiederverwertung der darin enthaltenen Nährstoffe, insbesondere Stickstoff und Phosphor. In Abbildung 3 sind die Stickstoffflüsse innerhalb des Systems dargestellt.

Im Falle von Stickstoff werden somit in der Summe etwa 40% (ca. 450 t von 1.300 t Systeminput) landwirtschaftlich wiederverwertet. Für Phosphor sehen die Stoffflüsse wie folgt aus (Abbildung 4).

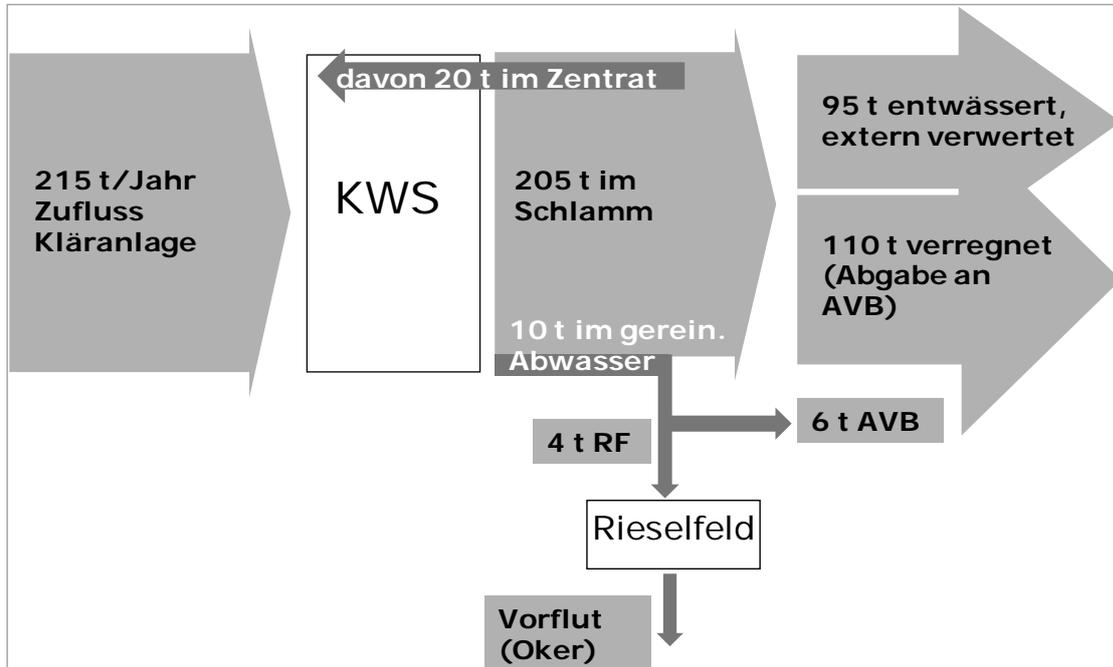


Abb. 4: Phosphorflüsse innerhalb des Braunschweiger Abwassersystems

Da Phosphor im Gegensatz zu Stickstoff nicht abgebaut, sondern fast vollständig in Feststoffen – also im Faulschlamm – gebunden wird, ist die Recycling- bzw. Verwertungsquote mit über 90% insgesamt deutlich höher. Davon wird gut die Hälfte durch die Verregnung im Verbandsgebiet verwertet, etwa 45% werden entwässert und als Sekundärrohstoffdünger vermarktet.

3. Abwasserrecycling im globalen Kontext

Angesichts der stetig wachsenden Weltbevölkerung wird der Bedarf an Nahrungsmitteln zweifellos ebenfalls stetig steigen – und somit auch die Bedeutung der Ressource Abwasser zur Bewässerung und als Düngemittel. Folgende Zahlen sollen das Potential der „Ressource Abwasser“ verdeutlichen.

Die im Abwasser in Deutschland enthaltenen Nährstoffe decken theoretisch etwa 25% des hiesigen landwirtschaftlichen Bedarfs (DOCKHORN 2007). Die landwirtschaftliche Nutzung bzw. die gezielte Rückgewinnung ist insbesondere für die endliche, bergbaulich gewonnene Ressource Phosphor unabdingbar. Bezüglich des Stickstoffs sind die Rahmenbedingungen anders, da Stickstoff in der Luft prinzipiell unendlich vorhanden ist. Dennoch: Die Produktion von 1 kg durchschnittlichem Stickstoffdünger erfordert rund 15 kWh Primärenergie (PATYK & REINHARDT 1997) und bedingt somit den Verbrauch fossiler Energieträger sowie die Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen.

Als Folge dieses großen Bedarfes und der teilweisen Verknappung der Ressourcen unterliegen die Düngemittelpreise starken Schwankungen. So stiegen die Weltmarktpreise seit dem Wirtschaftskrise-bedingten Einbruch in etwa eineinhalb Jahren um teilweise über 60%.

4. Optimierung der Nährstoffnutzung und -rückgewinnung am Beispiel Braunschweig

In Anbetracht des globalen Kontextes ist es nahe liegend, eine optimale Nutzung der im Abwasser enthaltenen Ressourcen anzustreben. Auch auf lokaler Ebene können dadurch Kosten eingespart, möglicherweise Gewinne erzielt und Ressourcen geschont werden. Aus diesem Grund werden in Braunschweig im Rahmen einer aktuellen Studie Potentiale zur Optimierung des Systems auf ihre Machbarkeit untersucht. Einige Ansatzpunkte zur Systemoptimierung, die auf einer umfassenden, stoffstromorientierten Systemanalyse basiert, werden im Folgenden in Auszügen dargestellt. Darüber hinaus befasst sich das (eng mit dieser Studie verknüpfte und darauf basierende) Projekt „CoDiGreen“ mit der großtechnischen Umsetzung der Co-Vergärung von pflanzlicher Biomasse in den Faultürmen sowie dem Einfluss von Klärschlamm-desintegrationsverfahren auf Energie- und Nährstoffkreisläufe.

4.1 Optimierung der landwirtschaftlichen Nährstoffaufbringung

Hinsichtlich der Düngewirkung der Nährstoffe ist deren zeitgleiche Aufbringung mit dem Verregnungswasser eher ungünstig – üblicherweise wird der Dünger nur zu bestimmten Zeitpunkten zu bestimmten Entwicklungsstadien aufgebracht, die von Feldfrucht von Feldfrucht verschieden sind. Die Entkoppelung von Düngung und Bewässerung ist somit ein Ansatzpunkt, die Verfügbarkeit der Nährstoffe für die Pflanzen zu optimieren. Hierzu gibt es verschiedene Optionen, die derzeit auf ihre Machbarkeit untersucht werden.

An erster Stelle ist die Rückgewinnung (bzw. Produktion) von düngewirksamen Stoffen zu nennen (beispielsweise aus hochkonzentrierten Teilströmen wie dem Prozesswasser der Entwässerungszentrifugen), die punktuell auf die landwirtschaftlichen Flächen aufgebracht werden können. Darüber hinaus ist zudem die direkte Nutzung hochkonzentrierter Stoffströme – beispielsweise auch aus stoffstromseparierenden Systemen – denkbar. Durch eine bedarfsorientierte Kläranlagensteuerung (z.B. Verringerung der Denitrifikation) könnten zudem die Nährstoffverluste insgesamt verringert werden.

4.3 Integration einzelner Konzepte in das Gesamtsystem

Es liegt auf der Hand, dass diese und andere Eingriffe in das System Auswirkungen auf andere Systemkomponenten haben. Die Bewertung einzelner Optimierungsansätze muss somit unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen innerhalb des Gesamtsystems erfolgen, deren Darstellung und Analyse (vgl. Abbildung 5) somit einen Hauptaspekt der laufenden Arbeiten bildet. Letztlich wird ein integriertes Gesamtkonzept erstellt, das ökonomische, ökologische, rechtliche und technische Fragestellungen berücksichtigt.

5. Ausblick

Das in Deutschland einmalige Abwasserreinigungs- und Verwertungssystem von Braunschweig bietet aufgrund seiner Komplexität ideale Voraussetzungen, Konzepte und deren Interaktion im Maßstab 1:1 zu erfassen und zu bewerten. Durch die Systemintegration, die stoffstromorientierte Betrachtungsweise sowie die Berücksichtigung und Abwägung verschiedener Bewertungskriterien soll die Optimierungsstudie einen Beitrag zum optimalen Stoffstrommanagement leisten und – global betrachtet – einen weiteren Schritt im Hinblick auf die verbesserte Nutzung und Verwertung elementarer Ressourcen darstellen.

Literatur

- ANONYM (2005, 2006): Monitoringberichte der Rieselfelder Braunschweig im Auftrag des Abwasserverbandes Braunschweig (unveröffentlicht)
- DOCKHORN, T. (2007): Stoffstrommanagement und Ressourcenökonomie in der kommunalen Abfallwirtschaft. Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig, Heft 74; Braunschweig 2007
- PATYK, A. & G.A. REINHARDT (1997): Düngemittel – Energie- und Stoffstrombilanzen. Vieweg-Verlag, Braunschweig
- Verein zur Förderung des Instituts WAR (Hrsg., 2005): Rückgewinnung von Phosphor aus Abwasser und Klärschlamm: Konzepte – Verfahren – Entwicklungen. 75. Darmstädter Seminar „Abwassertechnik“. Schriftenreihe des Institutes WAR, Bd. 167, Darmstadt
- WENDLER, D. (2005): Erfassung und Behandlung ausgewählter Stoffströme in der Siedlungswasserwirtschaft. Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, Heft 131

Einfluss des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Waldstandorten in Rheinland-Pfalz

Markus Casper, Jürgen Gauer, Gayane Grigoryan, Philipp Reiter

Zusammenfassung

Der Klimawandel verändert die Wuchsbedingungen für unsere Wälder. Eine nachhaltige Waldbewirtschaftung muss bereits heute mögliche Klimaänderungen mit einbeziehen. Der Standortwasserhaushalt spielt für die Gesundheit und Wüchsigkeit eines Baumes eine zentrale Rolle. Insbesondere auf Böden mit geringem Speichervermögen oder exponierter Lage ist bei sich ändernder Niederschlagsverteilung und steigenden Temperaturen mit einer Zunahme des Trockenstresses zu rechnen. Der Forst benötigt für eine angepasste Waldbewirtschaftung ein Verfahren, das vor Ort anhand einfach zu erhebender Daten eine Bewertung der zukünftigen Standorteignung erlaubt. Es wird ein Modellansatz vorgestellt, der eine Prognose des zukünftigen Wasserstress erlaubt. Zum Einsatz kommt ein 1-D-Modellansatz auf der Basis von WaSiM-ETH mit klar definierten Randbedingungen, einer verhaltensoptimierten Bodenparametrisierung und der Möglichkeit einer dynamischen Vegetationsentwicklung. Die Simulationsläufe werden für virtuelle Standorte an der Position der DWD-Klimastationen in Rheinland-Pfalz durchgeführt. Dabei werden Standardböden mit unterschiedlichem Wasserspeichervermögen (nFK-Klassen) und ein 100-jähriger Buchenbestand als Referenzbewuchs verwendet. Die Zukunftsprojektionen basieren auf aktuellen WETTREG-Ergebnissen, wobei unterschiedliche Realisationen verwendet werden, um die Schwankungsbreite der zugrundeliegenden Modellläufe angemessen zu berücksichtigen. Der Vergleich zwischen Ist-Zustand und Zukunftsprojektion wird über verschiedene Indikatoren vorgenommen, die Intensität und Dauer des Trockenstresses quantifizieren. Die Ergebnisse der Simulationsläufe werden mittels flächig verfügbaren, korrelierten Klimaindizes (klimatische Wasserbilanz etc.) in die Fläche übertragen und für den Förster "vor Ort" in eine tabellarische Korrelationsmatrix übertragen.

1. Einführung

Es ist davon auszugehen, dass der Klimawandel durch Veränderungen der jährlichen Durchschnittstemperatur sowie der Niederschlagsmenge und -verteilung das Wasserdargebot in Rheinland-Pfalz beeinflussen wird. So wird beispielsweise durch die enge Kopplung von Wasserhaushalt und Biomassenproduktivität (GAUER 2009) die nachhaltige Waldbewirtschaftung gefährdet. Für deren Planung ist es daher unumgänglich den Einfluss des Klimawandels auf die Biomassenproduktivität abschätzen zu können. Dies erfordert die Kenntnis des Zusammenhanges zwischen Klimaparametern und Biomassenproduktivität. In das aktuell in Rheinland-Pfalz angewandte Verfahren zur Bestimmung der Wasserhaushaltsstufe eines Standortes gehen bisher drei Parameter ein: der Niederschlag in Form von Niederschlagsgruppen, die nutzbare Feldkapazität des Standortes sowie eine Kombination aus Exposition und Hangneigung (Sonnhanglage, ebener Standort, Schatthanglage). Es ist davon auszugehen, dass dieses Verfahren, aufgrund der im Zuge des Klimawandels eintretenden Veränderungen, nicht

mehr ausreichen wird eine verlässliche Zuordnung der Wasserhaushaltsstufe eines Standortes zu gewährleisten.

2. Methoden

2.1 Gesamtkonzept

An erster Stelle steht eine plausible Parametrisierung des Wasserhaushaltsmodells WaSiM-ETH (Version 8.2; SCHULLA et al. 2007), um das Verhalten von Waldstandorten realitätsnah simulieren zu können. In einem zweiten Schritt folgt die Ausarbeitung verschiedener Trockenstressindikatoren, mittels derer aus den Wasserhaushaltsgrößen Stressperioden für die Pflanzen abgeleitet werden können. In einem dritten Schritt wird der Zusammenhang zwischen Klimaparametern und diesen Trockenstressindikatoren hergestellt, um zukünftige Entwicklungen abschätzen und quantitativ beschreiben zu können.

2.2 Simulierte Standorte

Die Simulationen beschränken sich auf eine Zelle von 100 m x 100 m. Die obere Randbedingung des simulierten Systems stellt ein 100-jähriger Buchenbestand als Referenzbewuchs dar, wohingegen die untere Randbedingung durch einen Grundwasserspiegel bei 5 m unter GOK gebildet wird. Der Boden ist aufgrund der weiten Verbreitung in Rheinland-Pfalz als schluffiger Lehm parametrisiert. Pro Standort werden durch Veränderung von nutzbarer Feldkapazität (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm) sowie Hangneigung (0°, 20°) und Exposition (N, S) zwölf verschiedene Variationen simuliert.

2.3 Parametrisierung und Plausibilitätsprüfung

Die Vegetationsparametrisierung für einen 100-jährigen Buchenbestand basiert auf der in WaSiM-ETH implementierten Laubwaldparametrisierung, ist jedoch durch Erfahrungswerte modifiziert. Die van Genuchten Parameter für schluffigen Lehm basieren auf der Arbeit von Teepe et al. (2003). Die gesättigte Leitfähigkeit ist der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005) entnommen und durch Erfahrungswerte modifiziert. Um zu vier unterschiedlichen nutzbaren Feldkapazitäten zu erlangen, wurde der Sättigungswassergehalt schrittweise reduziert. Die Plausibilitätsprüfung der Simulationen erfolgt über den Abgleich zwischen erwartetem und simuliertem Saugspannungsverlauf im Wurzelraum. So sollten Austrocknungsphasen über den Sommer sowie ein Wiederauffüllen des Bodenspeichers im späten Herbst und über den Winter zu beobachten sein. Ziel ist hierbei nicht möglichst genau Messwerte von Beobachtungsstationen nachzusimulieren, sondern ein möglichst realitätsnahes Verhalten des betrachteten Systemausschnitts zu erreichen.

2.4 Klimadaten

Als Antrieb für das Wasserhaushaltsmodell dienen Tageswerte fünf verschiedener Klimaparameter (Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte, Sonnenscheindauer, Windgeschwindigkeit). Für insgesamt 15 Klimastationen in Rheinland-Pfalz liegen Zeitreihen von Messdaten über den

Zeitraum 1951 bis 2003, statistische Klimaszenarien (A1B, A2) des WETTREG-Datensatzes in verschiedenen Realisationen (feucht, normal, trocken) für die Jahre 2001 bis 2100 und Referenzdaten dieser Szenarien für den Zeitraum 1971 bis 2000 vor.

2.5 Trockenstressindikatoren

Die verwendeten Trockenstressindikatoren stammen aus der Literatur (LAATSCH 1969, SCHULTZE et al. 2005), aus Erfahrungswerten der Landesforsteinrichtung oder eigenen Ansätzen. Sie dienen dazu Intensität, Dauer und Häufigkeit von Trockenperioden zu quantifizieren. Alle Indikatoren werden tageweise für den gesamten Simulationszeitraum berechnet. Für die jährliche Auswertung wird zunächst die Vegetationsperiode mit Hilfe des gleitenden Mittels der Tagesmitteltemperatur bestimmt. Schließlich werden die innerhalb der Vegetationsperiode liegenden Tagesfaktoren der verschiedenen Indikatoren herangezogen und der Anteil der Vegetationszeit bestimmt, der durch eine Stressbelastung gekennzeichnet ist. Eine Auswahl der verfügbaren Indikatoren soll im Folgenden erläutert werden:

a) BWd15_PWP

Der Trockenstressindikator BWd15_PWP wertet den Bodenwassergehalt im Wurzelraum aus. Zur Berechnung des mittleren Bodenwassergehaltes im Wurzelraum ($WG_{\text{Wurzelraum}}$) werden die Wassergehalte der einzelnen Bodenlayer (WG_i) im Wurzelraum mit ihrer Mächtigkeit (m_i) gewichtet (vgl. Gleichung 1). Für jeden Tag der Zeitreihe wird untersucht, ob $WG_{\text{Wurzelraum}}$ abzüglich 15 mm geschätztem täglichem Bestandesverbrauch (AStOK 2003) unterhalb des permanenten Welkepunktes (PWP) liegt und dem Tag entsprechend ein Faktor von null (stressfrei) oder eins (Stressbelastung) zugewiesen.

$$WG_{\text{Wurzelraum}} = \sum_{i=1}^n (WG_i * m_i) \quad (1)$$

b) BWd9

Der Trockenstressindikator BWd9 stellt eine Verfeinerung und Detaillierung des vorherigen Indikators BWd15_PWP dar. Im Gegensatz zu letzterem wird in diesem Falle der mittlere Bodenwassergehalt im Wurzelraum abzüglich 9 mm täglichem Bestandesverbrauch mit drei Schwellenwerten (nFK/2, nFK/4 und PWP) verglichen und jedem Tag ein entsprechender Faktor gemäß Tabelle 1 zugewiesen, wodurch sich eine feinere Abstufung der Stressbeanspruchung für die Pflanze ergibt.

Tab. 1: Schwellenwerte für den Trockenstressindikator BWd9 in Abhängigkeit des mittleren Wassergehaltes im Wurzelraum.

Faktor	Schwellenwerte
0	$WG_{\text{Wurzelraum}} - 9 \text{ mm} \geq \text{nFK}/2$
0.5	$\text{nFK}/2 > WG_{\text{Wurzelraum}} - 9 \text{ mm} \geq \text{nFK}/4$
0.7	$\text{nFK}/4 > WG_{\text{Wurzelraum}} - 9 \text{ mm} \geq \text{PWP}$
1	$\text{PWP} > WG_{\text{Wurzelraum}} - 9 \text{ mm}$

c) pF

Der Indikator pF bewertet die Saugspannungen im Wurzelraum. Analog zum mittleren Bodenwassergehalt $WG_{\text{Wurzelraum}}$ wird die mittlere Saugspannung $pF_{\text{Wurzelraum}}$ bestimmt (vgl. Gleichung 2) um Zeiträume intensiver Austrocknung ausfindig zu machen.

$$pF_{\text{Wurzelraum}} = \sum_{i=1}^n (pF_i * m_i) \quad (2)$$

$pF_{\text{Wurzelraum}}$ wird mit drei Grenzwertsaugspannungen (pF 3.5, pF 3.8 und pF 4.0) verglichen, die unterschiedlich starke Stresssituationen für die Pflanze repräsentieren. Analog zu Indikator BWd15_PWP wird jedem Tag bei Überschreitung des Schwellenwertes der Faktor eins, bei Unterschreitung der Faktor null zugeordnet.

d) ETDiff

Der Indikator ETDiff nutzt die Verdunstung als Bezugsgröße zur Bestimmung von Trockenperioden. Bei diesem Index wird die Differenz zwischen potentieller Evapotranspiration und aktueller Evapotranspiration berechnet. Die Überschreitung von bestimmten Schwellenwerten (4 mm, 6 mm und 8 mm) durch diese Differenz wird mit Stress für die Pflanze gleichgesetzt und einem Tag entsprechend BWd15_PWP und pF der Faktor eins zugewiesen.

2.6. Bestimmung von Wasserhaushaltsstufen

Um die Veränderung der Wasserhaushaltsstufen abzuschätzen werden die Auswertungen der unterschiedlichen Simulationen durch die Trockenstressindikatoren genutzt. Für die Referenz- bzw. Messdatenzeiträume ist es möglich, den einzelnen Variationen pro Standort die zugehörige Wasserhaushaltsstufe über das aktuell gängige Verfahren zuzuordnen und somit charakteristische Histogramme für die jeweiligen Wasserhaushaltsstufen abzuleiten. Die Auswertung der Trockenstressindikatoren für die verschiedenen Zukunftsszenarien erlaubt eine Zuordnung zu den jeweiligen Histogrammen der Wasserhaushaltsstufen.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Trockenstressindikatoren

Die Auswertung mittels Trockenstressindikatoren ermöglicht den objektiven Vergleich einzelner Jahre untereinander. Auffällig ist, dass die Indikatoren unterschiedliche Trennschärfen aufweisen. Während einige der Indikatoren, darunter BWd9 oder pF, eine große Amplitude der Jahreswerte aufweisen, sind bei anderen Indikatoren, beispielsweise ETDiff, zwar Unterschiede zwischen einzelnen Jahren erkennbar, doch sind diese deutlich geringer ausgeprägt. Weiterhin werden einzelne Jahre von verschiedenen Indikatoren unterschiedlich bewertet. Abbildung 1 zeigt die jahresweise Auswertung für die Trockenstressindikatoren BWd15_PWP und BWd9 im modellierten Zeitraum 1951 bis 2003. Deutlich zeigt sich, dass die beiden Indikatoren Unterschiede zwischen trockenen und warmen Jahren (bspw. 1976) sowie feuchten und kühlen Jahren (bspw. 1987) aufweisen. Durch die Kombination beider Indikatoren können zwei verschiedene Stressintensitäten abgeleitet werden. So weist BWd15_PWP für das Jahr 1994 über 57%

der Vegetationszeit eine Stressbelastung aus, BWd9 62%. Dem Jahr 2001 hingegen wird von BWd15_PWP ein Anteil von 20% zugeordnet, während für BWd9 56% der Vegetationsperiode mit Stressbelastung ausgewiesen werden. Die beiden ähnlichen Werte im Jahr 1994 zeigen, dass auch für Indikator BWd9 hauptsächlich Bodenwassergehalte unterhalb des permanenten Welkepunktes (PWP) für die Stressphasen ausschlaggebend sind. Im Jahre 2001 hingegen weist der wesentlich höhere Anteil von BWd9 darauf hin, dass zusätzlich zu der durch BWd15_PWP gekennzeichneten Stressphase mit Bodenwassergehalten unter dem PWP auch Phasen mit Bodenwassergehalten im Bereich zwischen PWP und halber nutzbarer Feldkapazität verantwortlich sind.

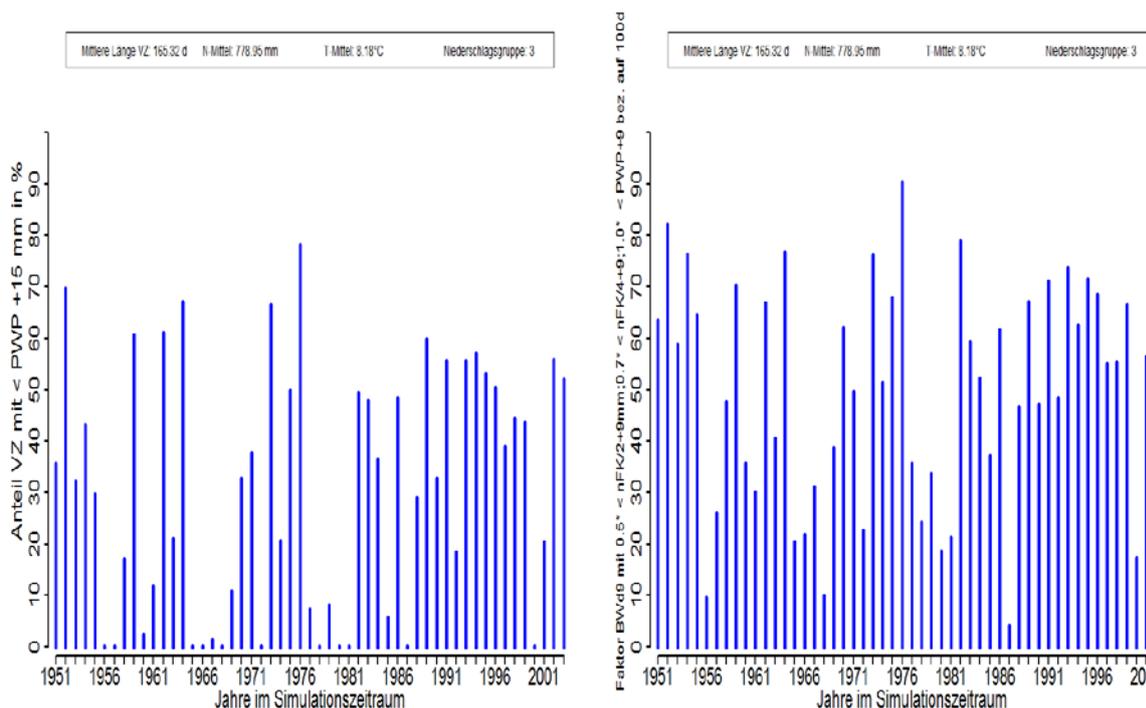


Abb. 1: Jahresweise Auswertung der beiden Trockenstressindikatoren BWd15_PWP (links) und BWd9 (rechts) für den Zeitraum 1951 bis 2003 (ebene Lage, 100 mm nFK, Deuselbach).

Vergleichbar mit den beiden Indikatoren BWd15_PWP und BWd9 zeichnet sich der Trockenstressindikator pF durch seine hohe Trennschärfe aus. Darüber hinaus ermöglicht er es analog zur Kombination von BWd15_PWP und BWd9 durch seine drei Schwellenwerte unterschiedliche Stresssituationen abzubilden. Dies lässt sich anhand der Jahre 1994 und 2001 veranschaulichen: 1994 weist 61% der Vegetationsperiode mit einer mittleren Saugspannung im Wurzelraum über pF 3.5 auf, wovon in 48% auch pF 4.0 überschritten wird. Die Stressbeanspruchung im Jahre 1994 ist also größtenteils auf Saugspannungen über pF 4.0 zurückzuführen. Im Jahre 2001 hingegen wird pF 3.5 in 51% überschritten, pF 4.0 jedoch lediglich in 10%. Im Unterschied zu 1994 ist der Trockenstress hier also hauptsächlich durch Saugspannungen zwischen pF 3.5 und 4.0 bedingt. Der vierte Trockenstressindikator ETDiff weist eine geringere Trennschärfe auf als die vorhergehend vorgestellten Indikatoren. Außerdem bewertet ETDiff einzelne Jahre anders als die übrigen Indikatoren.

3.2 Vergleich Referenzzeitraum mit Zukunftsszenarien

Die verschiedenen Trockenstressindikatoren wurden verwendet um die Auswirkungen durch die sich ändernden Temperatur- und Niederschlagsbedingungen abzuschätzen. Hierzu wurden die einzelnen WETTREG-Klimaszenarien mit ihren entsprechenden Referenzläufen verglichen. Abbildung 2 zeigt diesen Vergleich anhand von Indikator BWd9 für das Szenario „A1B normal“. Gegenüber dem in der linken Hälfte dargestellten Referenzzeitraum (1971-2000) weist das Szenario für den Zeitraum 2061 bis 2100 eine deutliche Verschiebung des mittleren durch Stress geprägten Anteils der Vegetationsperiode von 39% auf 63%. Jahre mit einem Stressanteil kleiner 20% treten im Zukunftsszenario nicht mehr auf und auch die Klassen 20-30%, 30-40% sowie 40-50% sind sehr schwach besetzt. Der quasi Normalverteilung der Faktoren im Referenzzeitraum steht eine rechtssteile Verteilung im Zukunftsszenario gegenüber. Diese Auswertung lässt den Schluss zu, dass der Standort bei einer solchen Veränderung der Klimaparameter durch eine signifikant intensivere Trockenstressbeanspruchung gekennzeichnet sein wird und darüber hinaus günstige Jahre kaum oder gar nicht mehr in Erscheinung treten werden.

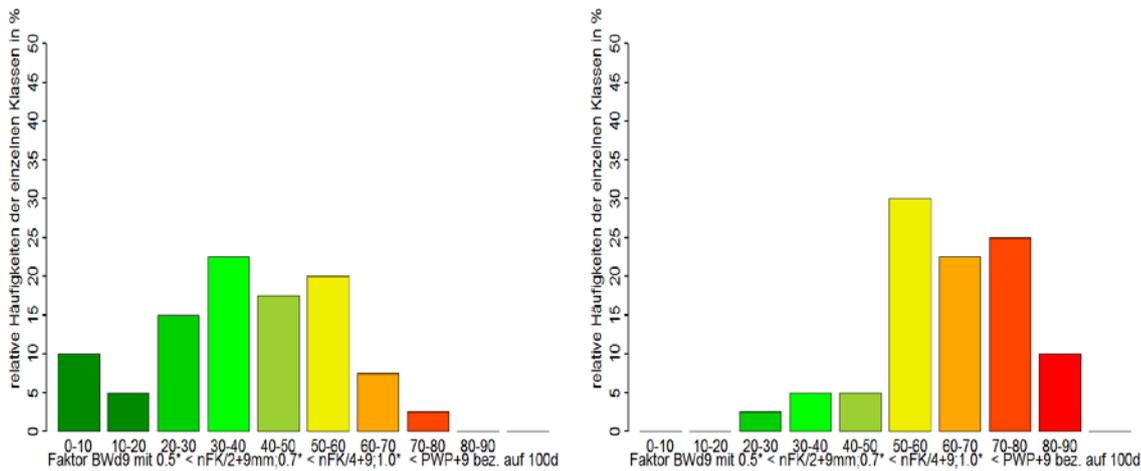


Abb. 2: Verteilung der relativen Häufigkeiten der einzelnen Faktorenklassen des Trockenstressindikators BWd9 für den Referenzzeitraum (1971-2000) des Szenarios A1B normal (links) und für das Zukunftsszenario (2061-2100; rechts) an einem ebenen Standort mit 150 mm nutzbarer Feldkapazität an der Klimastation Deuselbach.

3.3 Veränderungen der Wasserhaushaltsstufen

Abbildung 3 veranschaulicht die Verschiebungen der Wasserhaushaltsstufen am Beispiel der Wasserhaushaltsstufe „frisch“. Diese kennzeichnet im Referenzzeitraum einen Standort mit einer nFK von 100 mm, im Szenario „A2 normal“ wird sie hingegen dem ursprünglich wesentlich günstigeren Standort mit nFK 200 mm zugeordnet. Ausschlaggebend für diese Veränderung sind eine Zunahme des Niederschlags (740 mm auf 803 mm) und eine Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur um nahezu 2°C.

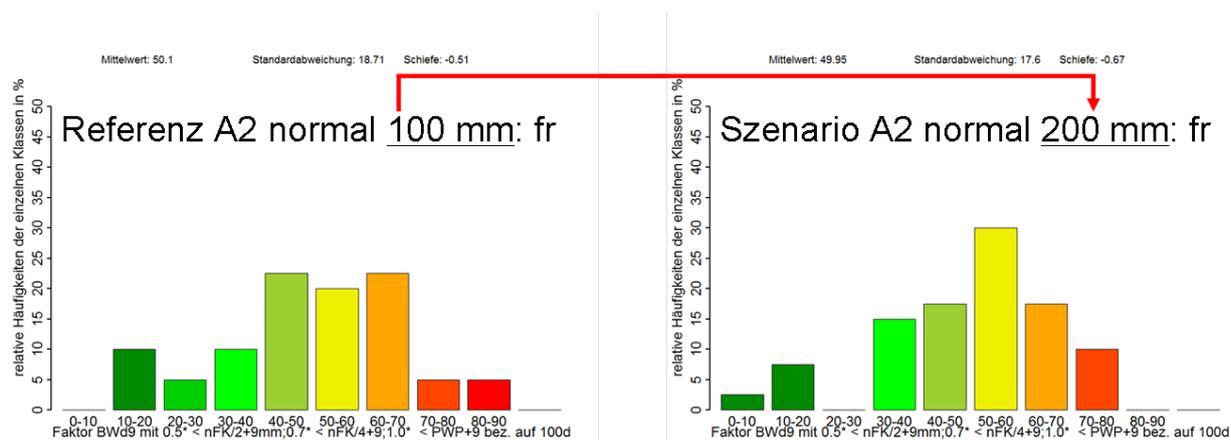


Abb. 3: Veränderung der Wasserhaushaltsstufen zwischen Referenzzeitraum (1971-2000) und Zukunftsszenario A2 normal (2061-2100) für die Wasserhaushaltsstufe „frisch“ für einen ebenen Standort an der Klimastation Deuselbach.

4. Diskussion und Ausblick

Vergleichbar mit Konzepten in anderen deutschen Bundesländern soll ein Zusammenhang zwischen den drei Faktoren Klima, Topographie und Bodenverhältnissen und der Wüchsigkeit der Pflanzen aufgestellt werden. Um diese Verbindung herzustellen, werden Wasserhaushaltssimulationen benötigt. Diese werden durch verschiedene Trockenstressindikatoren ausgewertet, wobei die verwendeten Indikatoren teilweise mit in anderen Bundesländern angewandten vergleichbar sind: BWd15_PWP und BWd9 ähneln einem von Schwärzel et al. (2008) vorgestellten Indikator, wobei für BWd9 durch die Abstufung innerhalb des Indikators eine höhere Sensitivität erzeugt werden kann. Der Indikator ETDiff ähnelt stark dem in Bayern verwandten Indikator TDiff (FALK et al. 2008, SCHULTZE et al. 2005). Die zwei wesentlichen Unterschiede bestehen darin, dass bei ETDiff zusätzlich sowohl Evaporation als auch Interzeption in die Betrachtung mit einbezogen werden, sowie in der Tatsache, dass keine jährliche Summe des Defizits bestimmt wird, sondern die Anzahl an Überschreitungen bestimmter Schwellenwerte. Der Vergleich der einzelnen Indikatoren weist darauf hin, dass es deutliche Unterschiede zum einen im Hinblick auf deren Eignung und zum anderen auch bezüglich deren Trennschärfe, also der Spannweite der Werte zwischen günstigen und ungünstigen Jahren, gibt. Weiterhin werden einzelne Jahre von den Indikatoren unterschiedlich bewertet. Die Anwendung dieser Indikatoren auf verschiedene Zukunftsszenarien zeigt, dass die Indikatoren geeignet sind, die zukünftigen Veränderungen abzuschätzen und quantitativ zu fassen. In den nächsten Schritten soll durch Kombination geeigneter Indikatoren die Aussagekraft weiter erhöht werden und die Zuordnung der zukünftigen Wasserhaushaltsstufen auf eine objektive Basis gestellt werden. Zu diesem Zweck sollen vor allem selbstorganisierende Merkmalskarten (SOM) zur Anwendung kommen.

Literatur

- AG Boden - Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung – 5. Auflage, Schweizerbart, Stuttgart
- ASTOK – Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (2003): Forstliche Standortaufnahme – 6. Auflage, IHW, Eching
- FALK, W. et al. (2008): Wo hat die Fichte genügend Wasser? – http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-aktuell/66/a66_06_falk_dietz_gruenert_schultze_koelling.pdf
- GAUER, J. (2009): Böden als Waldstandorte – Blume, H.P. et al (Hrsg): Handbuch der Bodenkunde – 4.2.1, 79 Seiten, Wiley-VCH, Weinheim
- LAATSCH, W. (1969): Das Abschätzen der Wasserversorgung von Waldbeständen auf durchlässigen Standorten ohne Grund- und Hangzugwasser – 1. Teil Leicht durchlässige Standorte – Forstwiss. Cent.bl, 88, S. 257-271, Hamburg
- SCHULLA, J. & K. JASPER (2007): Model description WaSiM-ETH, Zürich
- SCHULTZE, B. et al. (2005): Konzept für ein neues quantitatives Verfahren zur Kennzeichnung des Wasserhaushalts von Waldböden in Bayern – Forstarchiv, 76, S. 155-163
- SCHWÄRZEL, K. et al. (2008): Modellierung und Regionalisierung des Standortwasserhaushaltes von Wäldern im Mittelgebirge – http://www.afsv.de/download/arbeitsgruppe/Schwaerzel_Text_Freiburg_7Juli2008.pdf
- TEEPE, R. et al. (2003): Estimating water retention curves of forest soils from texture and bulk density – J. Plant Nutr. Soil Sci, 166, S. 111-119

Bergbaufolgeseen – Herausforderungen bei ihrer Integration in die Gewässerlandschaft und die flussgebietsbezogene Bewirtschaftung

Petra Fleischhammel, Dagmar Schoenheinz, Uwe Grünewald

Zusammenfassung

Die nachhaltige Entwicklung zahlreicher Bergbaufolgeseen im Lausitzer Revier und ihre Integration in die flussgebietsbezogene Bewirtschaftung von Spree und Schwarzer Elster ist eine komplexe Aufgabe und fachübergreifende Herausforderung.

Oberstes Ziel des sogen. „Sanierungsbergbaus“ ist ein ausgeglichener und sich weitgehend selbst regulierender Wasserhaushalt nach Menge und Beschaffenheit. Dafür sind Ausleitkriterien von Seewasser in die unterstromigen Fließgewässer zu erreichen und nachhaltig zu gewährleisten sowie die geplanten Nutzungen der neuen Seen sicherzustellen. Die effektive Nutzung der Flutungswasserressourcen ist dabei ein entscheidender Faktor. Das einzugsgebietsbezogene Bewirtschaftungskonzept berücksichtigt die Flutung und Nachsorge der Bergbaufolgeseen jedoch an letzter Stelle der Rangfolge der (potentiellen) Nutzer. Für den Bedarfsfall sind demzufolge zusätzliche technologische Wasserbehandlungsmaßnahmen unumgänglich.

Mit beginnender Ausleitung der Seen sind die Forderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie zu gewährleisten, d. h. zu sichern, dass der gute natürliche Zustand der nachfolgenden Fließgewässer nicht negativ beeinflusst wird (WRRL 2000).

Um auch die zukünftige Wasserverteilung für alle Nutzer sicherzustellen, sind in die detaillierte wasserwirtschaftliche Bilanzierung auch veränderte Klimaszenarien einzubeziehen.

1. Bergbaufolgelandschaft Lausitzer Revier

Seit mehr als 100 Jahren wird im Lausitzer Revier Braunkohle gefördert. Mit der Rohstoffförderung im Tagebaubetrieb ist ein erheblicher Eingriff in die Landschaft und ihren Wasserhaushalt verbunden.

Die geotechnisch sichere Braunkohleförderung im Tagebaubetrieb erfordert eine weitreichende Absenkung des Grundwassers. Insbesondere im Lockergesteinsbereich des Lausitzer Reviers bedeutet das einen Grundwasserabsenkungstrichter, der sich deutlich über den eigentlichen Tagebaubereich hinaus erstreckt. Im Jahr 1989 war mit etwa 2.100 km² die größte Ausdehnung erreicht (Abbildung 1). Das Grundwasserdefizit in der Lausitz betrug dabei etwa 13 Mrd. m³. Der Kopf des Absenkungstrichters in Form des sogen. „LAUBAG-Löwen“ reichte damals fast bis an das Biosphärenreservat Spreewald heran.

Nach Abschluss der Braunkohlenförderung werden die entstandenen Kippenflächen für eine Nachnutzung rekultiviert. In den verbleibenden Hohlformen entstehen überwiegend durch Grundwasserwiederanstieg Bergbaufolgeseen. Die Veränderungen in der Bergbaufolgelandschaft spiegeln sich vor allem in einem reduzierten Flächenanteil der Landwirtschaft und einem etwa achtmal höheren Anteil von Wasserflächen wider (Abbildung 2).

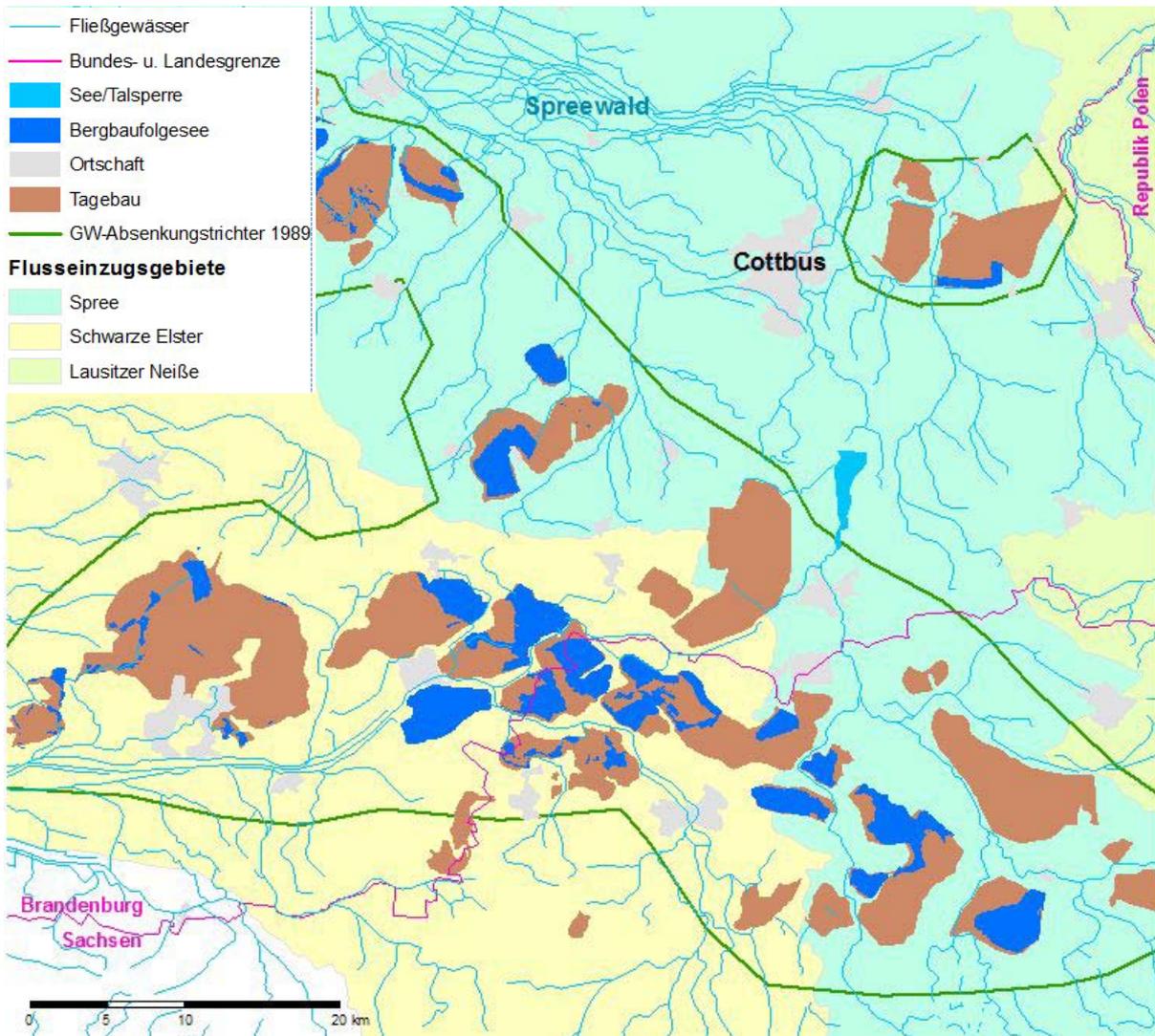


Abb. 1: Übersicht Lausitzer Revier mit den Flusseinzugsgebieten, den Standorten der aktiven und Sanierungstagebaue, dem Grundwasserabsenkungstrichter (Stand 1989) und den gegenwärtig entstehenden Bergbaufolgeseen

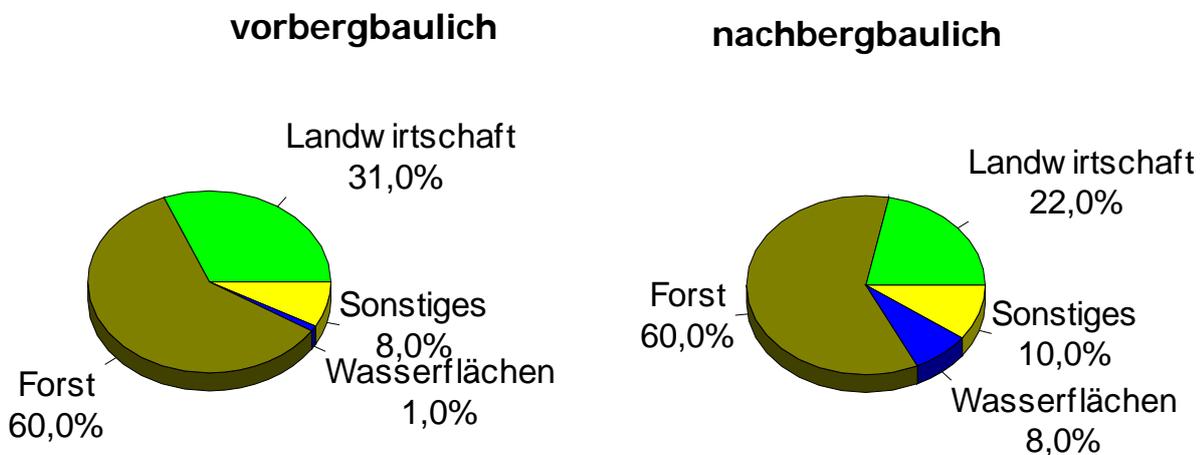


Abb. 2: Änderung der Landnutzungsverteilung im Lausitzer Revier für den vorbergbaulichen und den nachbergbaulichen Zustand, nach (PFLUG 1998)

Im Lausitzer Revier entstehen 33 neue Standgewässer mit einer Fläche $>0,5 \text{ km}^2$. Diese Bergbaufolgeseen werden eine Gesamtwasserfläche von etwa 14.500 ha aufweisen und ein Wasservolumen von etwa 2,3 Mrd. m^3 .

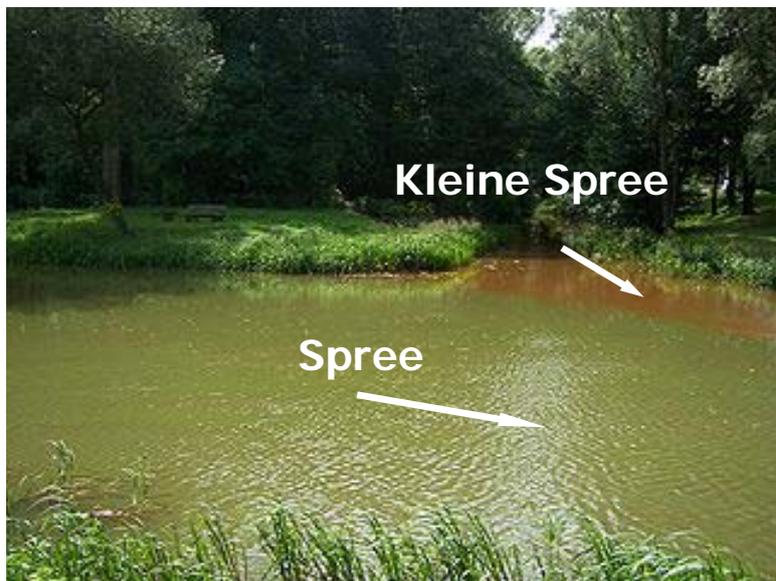


Abb. 3: Zusammenfluss von Spree und Kleiner Spree in der Nähe der Ortslage Spreewitz, Landkreis Bautzen, Freistaat Sachsen (WIKI 2010)

Der Grundwasserwiederanstieg ist Basis für die Wiederherstellung eines ausgeglichenen und sich weitgehend selbstregulierenden Wasserhaushalts in den Bergbaufolgelandschaften. Damit sind jedoch bergbaubürtige Erscheinungen in (wieder) grundwassergespeisten Fließ- und Standgewässern der Teileinzugsgebiete verbunden.

Mit der schrittweisen Einstellung der Sumpfungmaßnahmen und dem nachfolgenden wiederansteigenden Grundwasserspiegel begannen sich die Restlöcher langsam zu füllen. Das grundwasserdominierte Seewasser ist überwiegend stark sauer und hoch mineralisiert. Relativ geringe Nährstoffeinträge zusammen mit seeinternen Mechanismen sind nur geringe Nährstoffkonzentrationen für die Primärproduktion verfügbar. Sowohl die Acidität als auch die trophischen Bedingungen führen zu einer Gewässerflora und -fauna, die auf wenige angepasste Arten beschränkt ist.

Die bergbauliche Beeinflussung der Fließgewässer resultierte bisher überwiegend aus punktuellen Stoffeinträgen, z. B. hohen Sulfatfrachten an Einleitstellen von Grubenwasserreinigungsanlagen. Inzwischen erreicht das wiederansteigende Grundwasser an vielen Stellen wieder vorbergbauliche Wasserstände und damit einen Wiederanschluss an die Fließgewässer. Dabei werden zunehmend diffuse Stoffeinträge beobachtet, die vor allem durch Braunfärbung des Wassers und Eisenhydroxidablagerungen an Ufern und Gewässersohlen der Vorfluter sichtbar werden (Abbildung 3).

Diese Wassermengen- und Gewässergüteprobleme erfordern Vorhersagen der Beschaffenheitsentwicklung in den entstehenden Bergbaufolgeseen, um eine zielgerichtete Steuerung und Bewirtschaftung des gesamten (Oberflächen)Gewässernetzes umzusetzen.

2. Entwicklung komplexer Steuerungs- und Bewirtschaftungskonzepte – Integrations- und Iterationsprozess

Die Flussgebietsbewirtschaftung in den Einzugsgebieten der Spree und der Schwarzen Elster wird durch gemeinsame Arbeitsgruppen der Bundesländer Brandenburg, Berlin, Sachsen-Anhalt und des Freistaates Sachsen sowie des Wasser- und Schifffahrtsamtes des Bundes in enger Abstimmung mit der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft (LMBV), als Sanierungsträger des Bundes, durchgeführt. Länderübergreifend wird so das einzugsgebietsbezogene Bewirtschaftungskonzept an die sich ändernden Rahmen- und Randbedingungen angepasst und das regionale Flutungskonzept der LMBV iterativ entwickelt und integriert. Daraus resultieren Szenarien des einzugsgebietsbezogenen Wasserdargebotes. Die hydrogeologischen Modelle der LMBV und der aktiv Bergbautreibenden Vattenfall Europe Mining AG liefern die notwendigen Informationen zum Grundwasserhaushalt. In Kombination mit den Ergebnissen aus dem umfangreichen Montanhydrologischen Monitoring der LMBV werden herkunftsraumbezogene Stoffmengenbilanzen aufgestellt. Diese liefern dann auch die Eingangswerte für hydrogeochemische Reaktionsmodelle.

Dieser Integrations- und Iterationsprozess ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

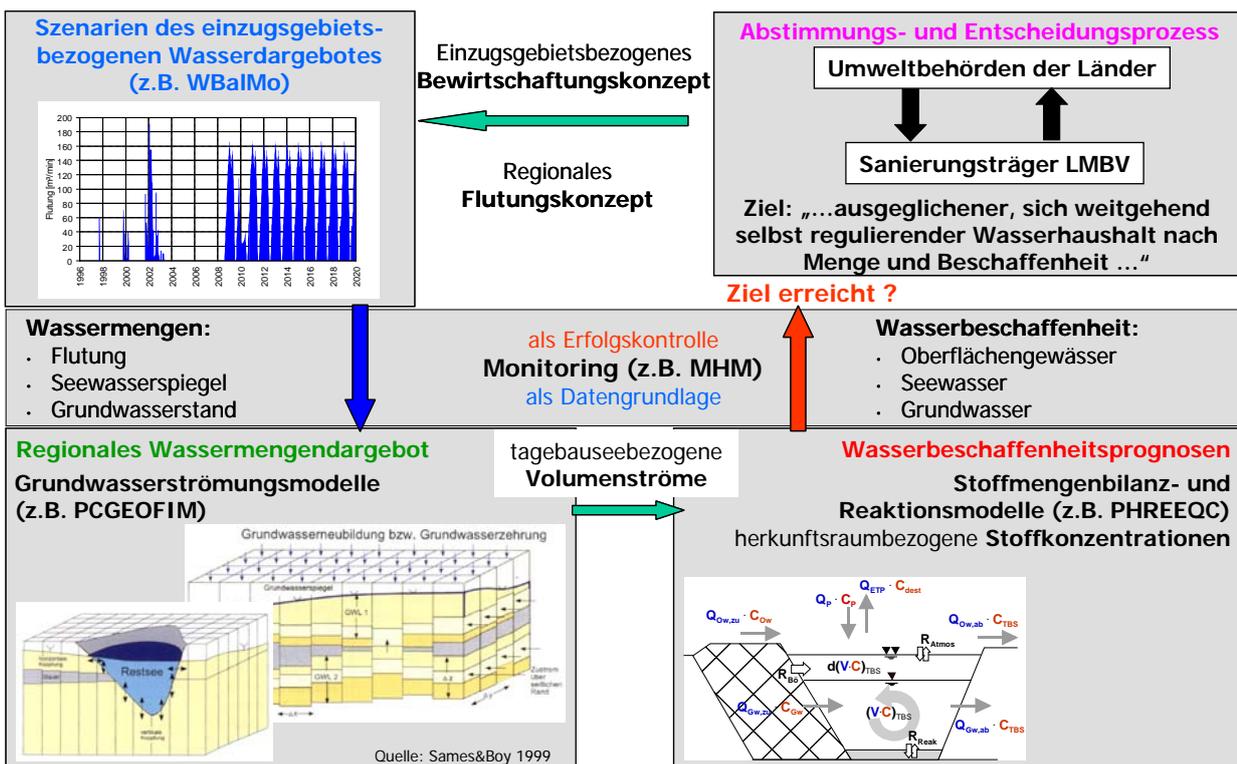


Abb. 4: Integrations- und Iterationsprozess der Erarbeitung komplexer Steuerungs- und Bewirtschaftungskonzepte für die zielgerichtete Wiederherstellung eines sich weitgehend selbst regulierenden Wasserhaushalts nach Menge und Beschaffenheit im Lausitzer Revier, nach (UHL-MANN 2008)

Die Prognose der Beschaffenheitsentwicklung in den Bergbaufolgeseen erfolgte anfänglich durch Einzelfallbetrachtungen. In einem iterativen Prozess wurden die hydrochemischen See-

modelle in den vergangenen Jahren zu Prognoseinstrumentarien entwickelt, die eine komplexe Betrachtung von miteinander verbundenen Bergbaufolgeseen und ihre Einbindung z. B. in das Fließgewässernetz ermöglichen.

Die frühzeitige und zügige Flutung mit Wasser aus nahegelegenen Fließgewässern ist die beste Möglichkeit zur positiven Beeinflussung der Beschaffenheitsentwicklung in den Bergbaufolgeseen. Dabei liegen die Vorteile neben der Verdrängung des versauernden Grundwassers und der Verdünnung des Seewassers in der chemischen Kompensation bzw. Neutralisation. Außerdem birgt die Flutung mit Fremdwasser ein großes positives Potential für die hydrochemische Stabilisierung in sich. Dennoch steht bei der mengenmäßigen Verteilung des Wasserdargebots die Flutung der zahlreichen Tagebaurestlöcher des Lausitzer Braunkohlenreviers nach der Sicherung der Wasserentnahmeanforderungen und Mindestabflüsse, Betriebsbereitschaft der Speicher und Speisung des Oder-Spree-Kanals an letzter Stelle in der Rangliste potentieller Wassernutzer.

Gegenwärtig wird Wasser aus der Spree, der Schwarzen Elster und der Lausitzer Neiße für die Fremdflutung der Bergbaufolgeseen genutzt. Teilweise wird auch noch Sumpfungswasser eingeleitet. Im Jahr 2008 betrug die eingeleitete Fremdwassermenge 155 Mio. m³ (Abbildung 5).

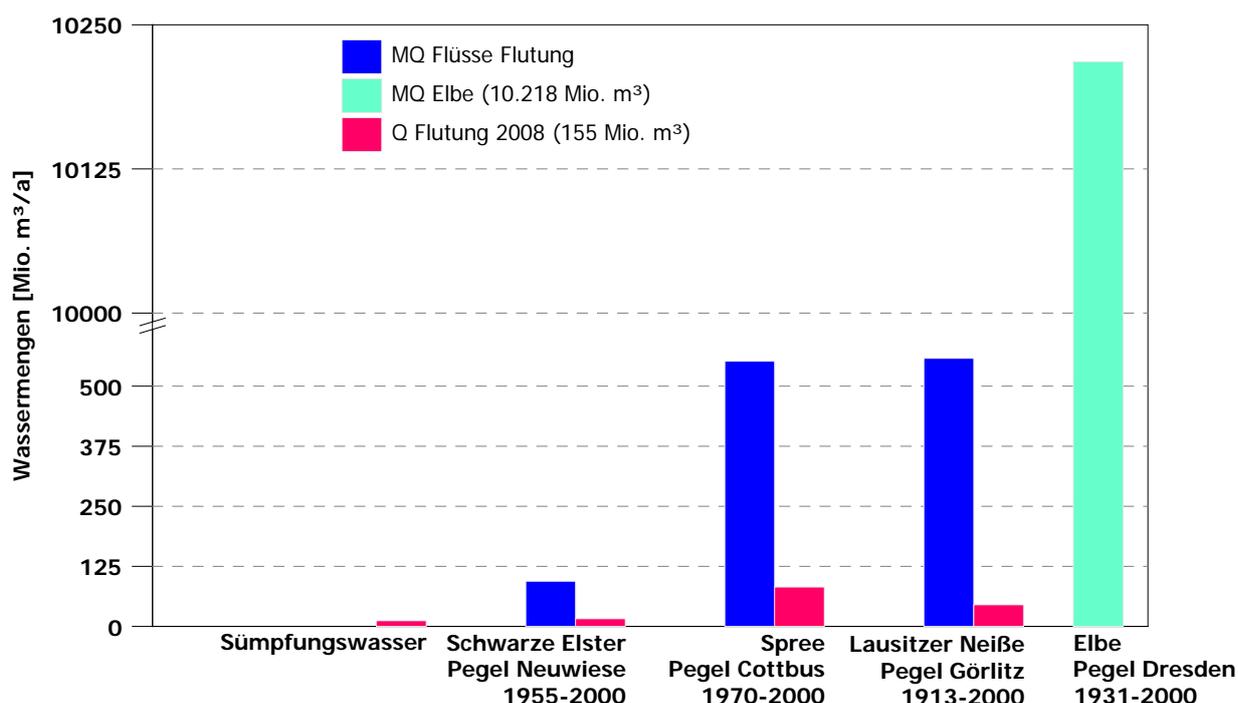


Abb. 5: Dargebot der gegenwärtig zur Flutung der Lausitzer Bergbaufolgeseen genutzten Fließgewässer (DGJ 2000b) und ihre Flutungsmengen 2008 (LMBV 2009) sowie Dargebot der Elbe am Pegel Dresden (DGJ 2000a)

Neben der dargebotsbedingt nur temporär (z. B. von Oktober bis April) möglichen Fremd- und Nachsorgeflutung müssen demzufolge zusätzlich technologische Maßnahmen der Wasserbehandlung vorgehalten und angewendet werden, um die Ausleitkriterien zu erfüllen und die geplanten Folgenutzungen sicherzustellen. Neben der konventionellen Wasseraufbereitung in Grubenwasserreinigungsanlagen werden verschiedene Wasserbehandlungsverfahren, z. B.

in lake-, chemotechnische oder biologische Verfahren, entwickelt und bereits teilweise als objektkonkrete Demonstrationsversuche in den Feldmaßstab übertragen. Diese Technologien haben sich allerdings im großtechnischen Maßstab bisher weder als ökonomisch noch als nachhaltig erwiesen.

Für die sichere Flutung und die nachhaltige Nachsorge der entstehenden Bergbaufolgeseen in einzugsgebietsverträglicher Qualität wären – unter Berücksichtigung u. a. der möglichen (unsicheren) Folgen des Klimawandels und der (unwägbaren) Entwicklung des zukünftigen Braunkohleabbaus im Lausitzer Revier - zusätzliche Wasserressourcen zu erschließen. Als mögliche Ressource ist die Elbe in aktuellen Überlegungen ein Thema. Mit einem mittleren Jahresdargebot am Pegel Dresden von etwa 10 Mrd. m³ (Beobachtungszeitraum 1931-2000) entspräche eine Entnahme und Überleitung von 3 m³/s einem Anteil von weniger als einem Prozent.

3. Europäische Wasserrahmenrichtlinie und Bergbaufolgeseen

Ziel der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie ist das Erreichen guter ökologischer Zustände in allen Gewässerkörpern. Dabei ist der Betrachtungsraum das gesamte Flusseinzugsgebiet. Das Lausitzer Revier liegt überwiegend im Einzugsgebiet der Elbe. Nur ein kleiner Teil liegt im Einzugsgebiet der Oder. Die Elbe-Teileinzugsgebiete sind Spree und Schwarze Elster. Die Koordination für den deutschen Teil des Elbeeinzugsgebietes liegt bei der Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe).

Innerhalb der FGG Elbe gibt es jedoch unterschiedliche Herangehensweisen bei der Ausweisung und Handhabung der künstlichen Gewässer Bergbaufolgeseen. Der Freistaat Sachsen wird die entstehenden Bergbaufolgeseen erst nach ihrer Fertigstellung berücksichtigen. Das Land Brandenburg hat dagegen bereits alle zukünftigen Seen als berichtspflichtig eingestuft. Für ein einheitliches Vorgehen bei der Ausweisung und später auch bei der Bewertung der Seen ist hier die FGG als Vermittler gefordert.

Bisher auch noch wenig in die Betrachtungen einbezogen ist die wechselseitige Beeinflussung von Oberflächenwasser und Grundwasser. Denn gemäß EG-WRRRL und der Tochterrichtlinie Grundwasser darf keine negative Beeinträchtigung von Wasserkörpern auf andere Wasserkörper ausgehen. Hier fehlen jedoch oberflächenwasser-grundwasser-übergreifende Aussagen.

Literatur

- DGJ (2000a): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Elbegebiet, Teil I von der Grenze zur CR bis zur Havelmündung.
- DGJ (2000b): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Elbegebiet, Teil II Havel mit deutschem Odergebiet.
- LMBV (2009): Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH: Daten und Fakten 2008. Senftenberg, April 2009.
- PFLUG, W. (1998): Braunkohlentagebau und Rekultivierung: Landschaftsökologie – Folgenutzung – Naturschutz. Springer Verlag.
- SAMES, D. & S. Boy (1999): PCGEOFIM® - Anwenderdokumentation. IBGW GmbH Leipzig.
- UHLMANN, W. (2008): Unterlagen zum LMBV-Weiterbildungsseminar 2008: Bewertung und Prognose der Wasserbeschaffenheitsentwicklung in Bergbauregionen. Unveröffentlicht.
- WIKI (2010): Kleine Spree. <http://de.wikipedia.org>. Eingesehen am 17.03.2010.
- WRRL (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 22.12.2000.

Erfassung der Bodenwasserdynamik und ihrer räumlichen Variabilität im Wald mit Hilfe von zufällig wandernden Messplots

Yvonne Morgenstern, Heike Puhmann, Klaus von Wilpert

Zusammenfassung

Im Rahmen der Klimafolgenforschung werden Wasserhaushaltsinformationen benötigt, um die Auswirkung des sich ändernden Trockenstressrisikos auf Baumwachstum und -vitalität abschätzen zu können. Diese sollten sowohl die zeitliche Dynamik als auch die räumliche Verteilung von Bodenwassergehalten widerspiegeln können (PUHLMANN et al. 2008).

Auf Grund der kostenintensiven Ausstattung von Dauerbeobachtungsstationen können die zeitlichen Veränderungen im Bodenwasserhaushalt oft nur an ausgewählten Standorten permanent gemessen werden. Um auch den Einfluss der räumlichen Variabilität zu erfassen, wird ein neues Messkonzept in vier unterschiedlichen Waldregionen Baden-Württembergs angewendet.

1. Ziel

Auf lokaler (Profil) und kleinräumiger (Bestand) Ebene soll die Wasserverfügbarkeit mit einem forsthydrologischen Wasserhaushaltsmodell berechnet und die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Wassermangel (Anzahl, Dauer und Fehlmenge von Mangelereignissen) quantifiziert werden.

Bei der Wasserhaushaltsmodellierung auf Bestandesebene besteht in der Regel das Problem, Daten zum zeitlichen Verlauf der relevanten Bodenwasserkenngößen sowie deren räumliche Verteilung für die Eichung des Modells zu gewinnen. Aufgrund des hohen instrumentellen Aufwandes werden in der Regel Zeitreihen an wenigen stationären Messpunkten erhoben, welche die räumliche Heterogenität der Waldbestände nicht ausreichend berücksichtigen. Eine Alternative bietet das von Wöhrle (2005) vorgestellte Verfahren der „zufällig wandernden Messplots“.

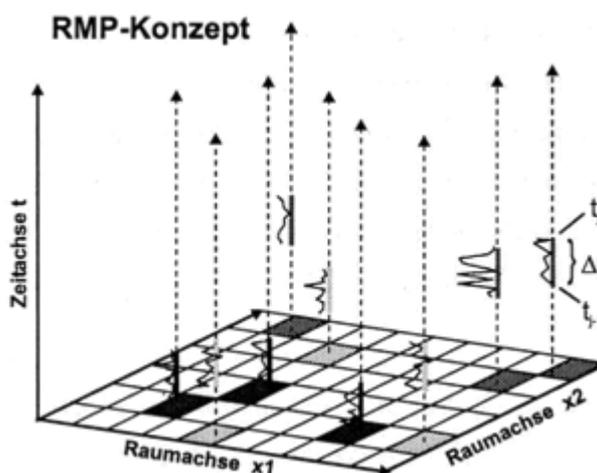


Abb. 1: Messdesign des RMP-Konzepts (WÖHRLE 2005)

2. Randomised Moving Plots - Konzept

Bei diesem Messkonzept wird davon ausgegangen, dass zahlreiche Kenngrößen des Stoff- und Wasserhaushaltes einem großräumigen saisonalen Muster folgen. Es ist daher nicht notwendig, das zeitliche Muster an allen Messpunkten zu erfassen. Dieses kann mit Hilfe von ortsunabhängigen „Globalvariablen“, die für die betrachtete Fläche einheitlich wirksam sind (z. B. Strahlungsbilanz oder Freilandniederschlag), erklärt werden. Die dadurch freiwerdenden Messkapazitäten können in die Erfassung der kleinräumlich variierenden Kenngrößen investiert werden, indem man an vielen verschiedenen Einzelpunkten jeweils nur kurze Zeitreihen misst, um anschließend die Messgeräte wiederholt auf andere Plätze umzusetzen (Abbildung 1). Damit liegen für eine größere Bandbreite von Standorten Daten vor, welche so zu differenzierten und genaueren Aussagen von nachgeschalteten Modellrechnungen führen können. Für das vorgestellte Projekt bedeutet das, dass ein vollständiges, fein aufgelöstes Raum-Zeit-Modell der Bodenwassergehalte in den untersuchten Flächen konstruiert werden kann.

3. Testphase des RMP-Konzeptes im Conventwald (Südschwarzwald)

Im Rahmen einer Diplomarbeit (ARNSTADT 2008) wurde die Anwendung des RMP-Konzeptes für die räumliche Erfassung der Bodenfeuchte auf einer 10x10m großen Fläche getestet. Im Abstand von 14 Tagen wurden 10 TDR-Sonden an zufällig gewählten Positionen versetzt. Insgesamt konnten an 80 Punkten 80 kurze Zeitreihen der Bodenfeuchte in 10-20 cm Tiefe gemessen werden.

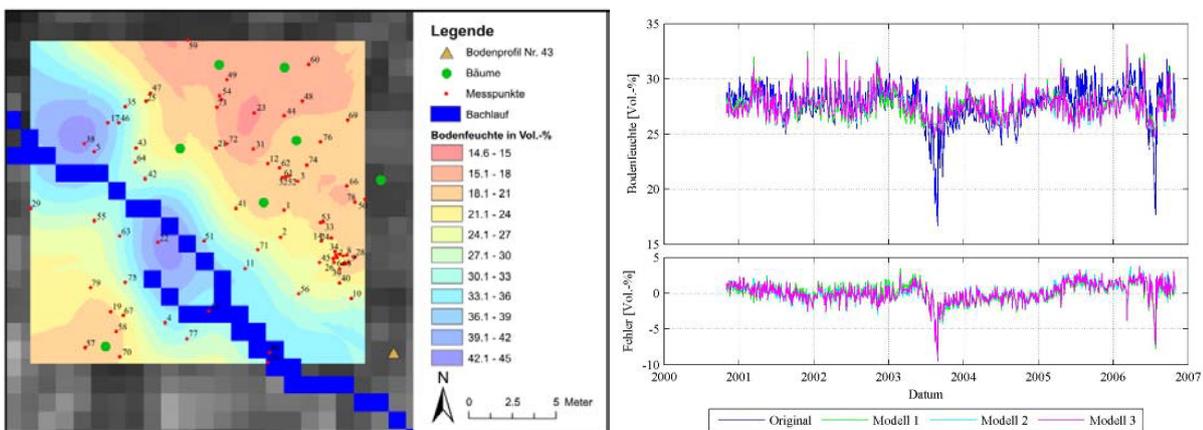


Abb. 2: Räumliche Muster der mittleren Bodenfeuchte einer Messperiode (links) und Vergleich der Vorhersage der Bodenfeuchte aus dem Globalmodell mit den Messwerten der Bodenfeuchte (rechts oben) sowie die Abweichungen aus der Modellierung (rechts unten) (ARNSTADT 2008)

Abbildung 2 zeigt die mittlere Bodenfeuchteverteilung einer Messperiode, die über die Residuen der kurzen Messreihen zu einer permanent gemessenen Messreihe der Bodenfeuchte mittels geostatistischer Verfahren ermittelt wurde. Neben der Abbildung der räumlichen Variabilität sollte die mittlere zeitliche Entwicklung der Bodenfeuchte innerhalb der Messfläche über ein Globalmodell abgebildet werden, welches die Bodenfeuchte als Funktion global wirkender Einflussgrößen modelliert. Für den Zeitraum 2001-2007 wurden hierfür mehrere Regressionsmodelle erstellt, welche die Bodenfeuchte als Funktion verschiedener Klimaparameter, Abflussdaten und an einem entfernten Standort permanent gemessenen Bodenfeuchten beschreiben.

Die Übereinstimmung zwischen gemessenen Bodenfeuchten und den Schätzungen des Globalmodells war mit einem R^2 von 0,42 allerdings noch nicht befriedigend. Während der mittlere Verlauf der Bodenfeuchte relativ gut wiedergegeben werden konnte, wurden Extremereignisse, wie die Trockenjahre 2003 und 2006, durch das Globalmodell nicht erfasst (Abbildung 2).

Das Fazit dieser ersten Testphase war:

1. Das Messkonzept lässt sich auf die Bodenfeuchte übertragen.
2. Die zeitliche Modellierung muss noch verbessert werden.
3. Es wird eine Transferfunktion benötigt, die es ermöglicht, die Bodenfeuchte für jeden Ort und jeden Zeitpunkt in Abhängigkeit der Globalvariablen mit Hilfe räumlich erfasster Parameter (Vegetations-, Boden- und morphologischer Parameter) vorherzusagen.

4. Anwendung in den Modellregionen Baden-Württembergs

Das vorgestellte RMP-Konzept wird auf vier Standorte in Baden-Württemberg angewandt (Abbildung 3). Die Messungen begannen in den Untersuchungsgebieten St. Märgen (Conventwald) und Ochsenhausen (2008/2009) und wurden im Anschluss daran in Esslingen und Heidelberg (2009/2010) fortgeführt.

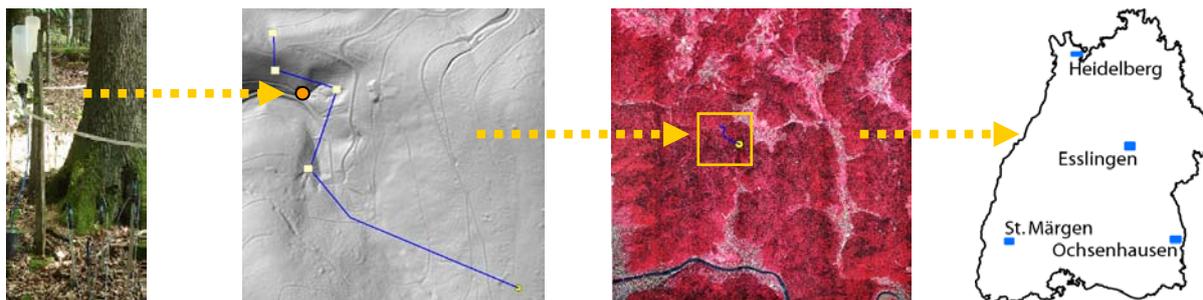


Abb. 3: Skalenerübergreifendes Messkonzept (Profil – Fläche - Regionen) zur Abschätzung des Trockenstressrisikos in Baden-Württemberg

In jedem dieser Untersuchungsgebiete wurde eine Messtransecte (ca. 80 x 1000 m großer Geländestreifen) mit je 12 Messplots eingerichtet. Diese wurden so gewählt, dass sie möglichst viele unterschiedliche Standorte mit unterschiedlichen Expositionen, Hangneigungen, Feuchteverhältnissen und Bestandessituationen abdecken. Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Untersuchungsflächen im Conventwald mit der gewählten Transecte, den 12 Messplots (RMP 1-12) sowie beispielhaft den Messplot Nr. 8 mit 2 x 31 Sondenstandorten.

An allen Messplots werden Bodenfeuchtemessungen nach dem gleichen Versuchsdesign durchgeführt: über einen Zeitraum von 14 Tagen messen 31 zufällig verteilte FDR-Sonden alle 30 Minuten die Bodenwassergehalte in 15 bis 20 cm Bodentiefe. Danach werden die Sonden auf einen der anderen Messplots umgesetzt und die Messungen wieder 14 Tage lang durchgeführt. Auch die Abfolge der Messplots aufeinander ist zufällig. Dieses Verfahren wird ca. ein Jahr lang wiederholt, so dass in jedem Untersuchungsgebiet 24 x 31 kurze Zeitreihen der Bodenwassergehalte zur Verfügung stehen. Auf jedem der 12 Plots finden demnach zwei Mess-

kampagnen zu unterschiedlichen Zeitpunkten statt. Des Weiteren werden an den Sondenstandpunkten erklärende Einflussgrößen (Bodenaufbau, Steingehalt, Baumbestand, usw.) aufgenommen, die eine Übertragung der Messwerte auf unbeobachtete Standorte ermöglichen sollen, auf denen keine Messungen vorliegen. An den Mittelpunkten der Messplots werden ausführliche Profilsprachen vorgenommen sowie Bodenproben zur Bestimmung der Korngrößenverteilung, der Lagerungsdichte, des organischen Kohlenstoffgehalts, des Wasser-rückhaltevermögens und der hydraulischen Leitfähigkeit in 10 und 30 cm Tiefe entnommen.

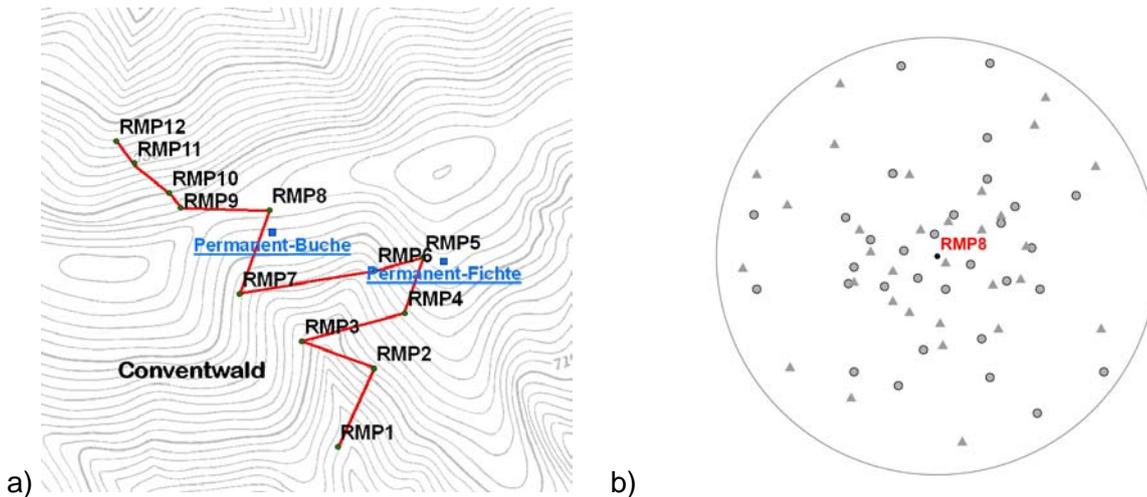


Abb. 4: a) Transekte mit 12 RMP-Plots und 2 Dauerbeobachtungsstationen sowie b) Sondensteckplan vom Plot 8 für 2 Messperioden = 62 Sondenmessstandorte

5. Permanentmessungen

An jeweils zwei so genannten „Permanentstationen“ pro Transekte werden ergänzend kontinuierliche Messungen der Klima- und Bodenwasserhaushaltsgrößen zur Erstellung eines Raum-Zeit-Modells erfasst. Jeweils eine Permanentstation befindet sich in einem Fichtenbestand (auf einer bereits bestehenden Level II-Messfläche) und die andere in einem Buchenbestand (neu angelegt).

Die vier gewählten Untersuchungsgebiete repräsentieren sehr unterschiedliche Klima- und Landschaftsregionen Baden-Württembergs und sind bereits seit Mitte der 90ziger Jahre in das EU-weite Programm zum Monitoring von Waldökosystemen (Level II) integriert. Die vorliegenden Daten der Level II-Standorte können sowohl direkt für die Wasserhaushaltsmodellierung auf den Standorten als auch zur Bestimmung der Globalvariablen genutzt werden.

Die neu hinzugekommenen Permanentstationen wurden in allen vier Untersuchungsgebieten im Frühjahr/Sommer 2008 in Betrieb genommen. Durch sehr empfindliche Messgeräte können auf diesen Flächen auch bei extremer Austrocknung des Bodens noch Informationen zur Saugspannung im Boden gewonnen werden, was auf den Level II-Flächen bisher nicht möglich gewesen ist.

6. Erste Ergebnisse

Der erste Datensatz aus den Untersuchungsgebieten Conventwald und Ochsenhausen liegt nun zur Auswertung vor. Abbildung 5 zeigt sehr gut die hohe Variabilität der 31 Messreihen innerhalb eines Messplots. Es konnte ein Variationskoeffizient von 25-56 % und eine mittlere Standardabweichung von 4 –13 Vol% innerhalb der Messreihen pro Plot berechnet werden.

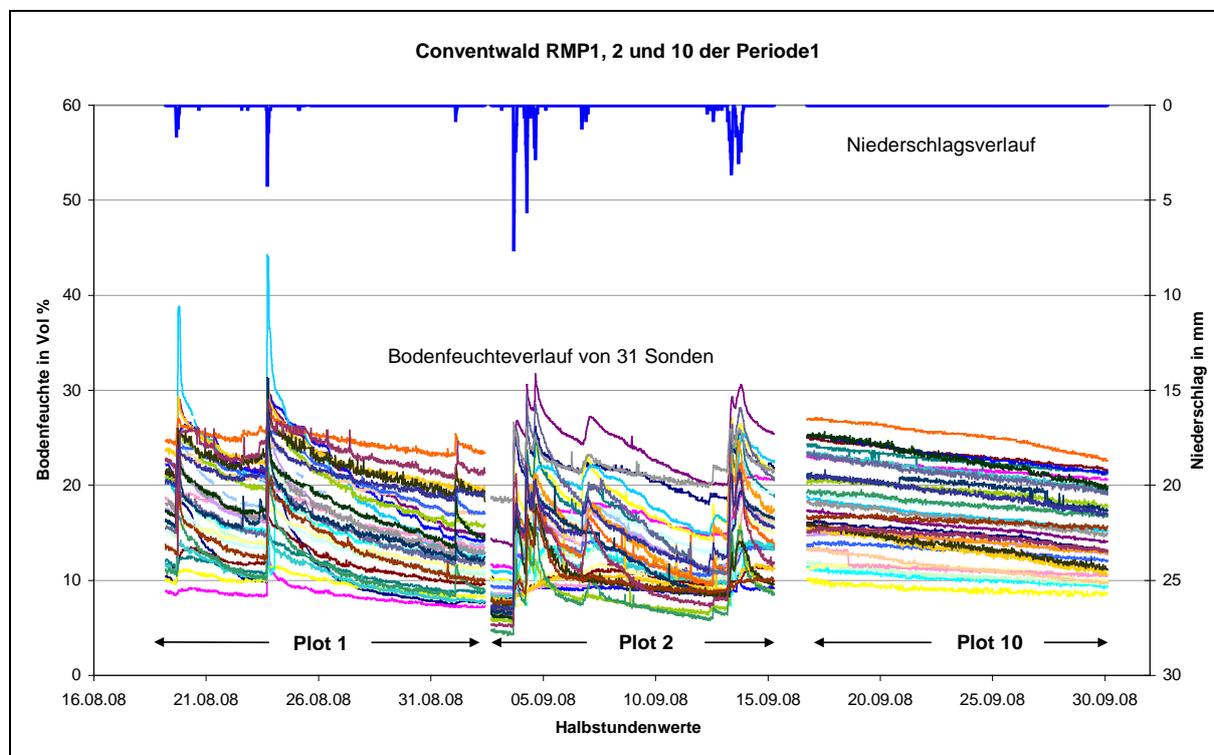


Abb. 5: Verlauf der Bodenfeuchte und des Niederschlags an drei Messplots im Conventwald

Für die Identifizierung der Einflussfaktoren (Prädiktoren) auf das räumliche Muster der Bodenfeuchteverteilung wurden folgende multivariate statistische Analysen ausgewählt.

1. Clusterung der Bodenfeuchteverläufe - Bildung von hydraulisch ähnlichen Klassen
2. Bivariate Korrelation zwischen den Prädiktoren - Auswahl von Prädiktoren, die wenig miteinander korreliert sind
3. Kreuztabellen zw. Clustergruppen und Prädiktoren - Ermittlung der Prädiktoren, die sehr häufig bzw. mit großer Wahrscheinlichkeit in einem Cluster vorkommen
4. CART-Analysen (Klassifikations- und Regressionsbäume) zw. Clustergruppen und Prädiktoren - Ermittlung der Prädiktoren und ihrer Wertegrenzen, die zur Vorhersage der Clustergruppen führen.

Mit der Clusteranalyse können die Messreihen in Gruppen mit ähnlichem Feuchteniveau untergliedert werden, indem als Clustermaß der euklidische Abstand verwendet wird. Will man hingegen die Messreihen nach ihrer Dynamik unterscheiden, so eignet sich hierfür das kreuzkorrelierte Abstandsmaß (Abbildung 6).

Eine bivariate Korrelationsanalyse der Prädiktoren sollte durchgeführt werden, da gerade viele abgeleitete Parameter aus dem 1m-DGM miteinander hoch korreliert sind. Würde man alle Pa-

parameter bei der Erstellung der CARTs verwenden, so würde man unzählige viele Variationsmöglichkeiten an erklärenden Größen erhalten.

Mit Hilfe von Kreuztabellen kann das Auftreten einer Eigenschaft, z.B. Zuordnung einer Hangneigungsklasse innerhalb eines Clusters, dargestellt werden. Hier zeigt sich bereits, welche Parameter einen großen Einfluss auf die Bildung der Cluster haben können. Aber erst mit der CART-Analyse kann festgestellt werden, welche Einflussgrößen der Clusterbildung zu Grunde liegen.

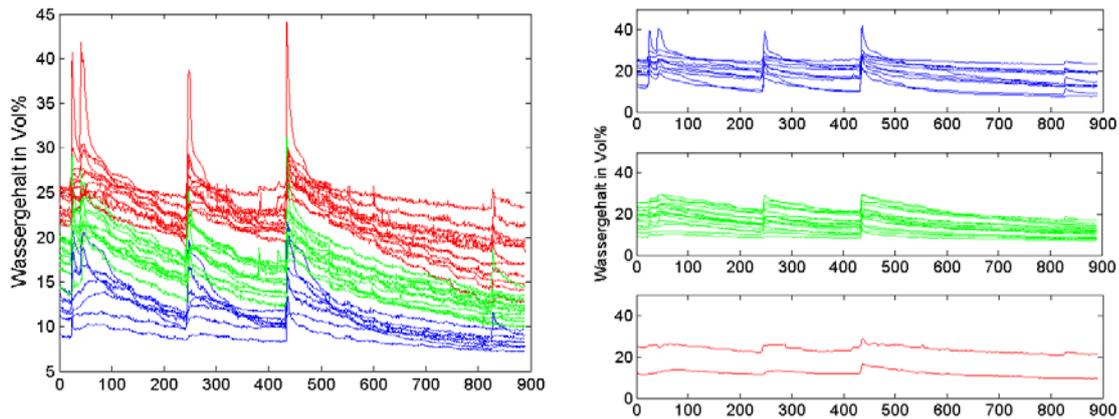


Abb. 6: Clusterung der Bodenfeuchteverläufe vom RMP-Plot 1 mit dem euklidischen Abstandsmaß (links) und mit gekreuzkorreliertem Abstandsmaß (rechts)

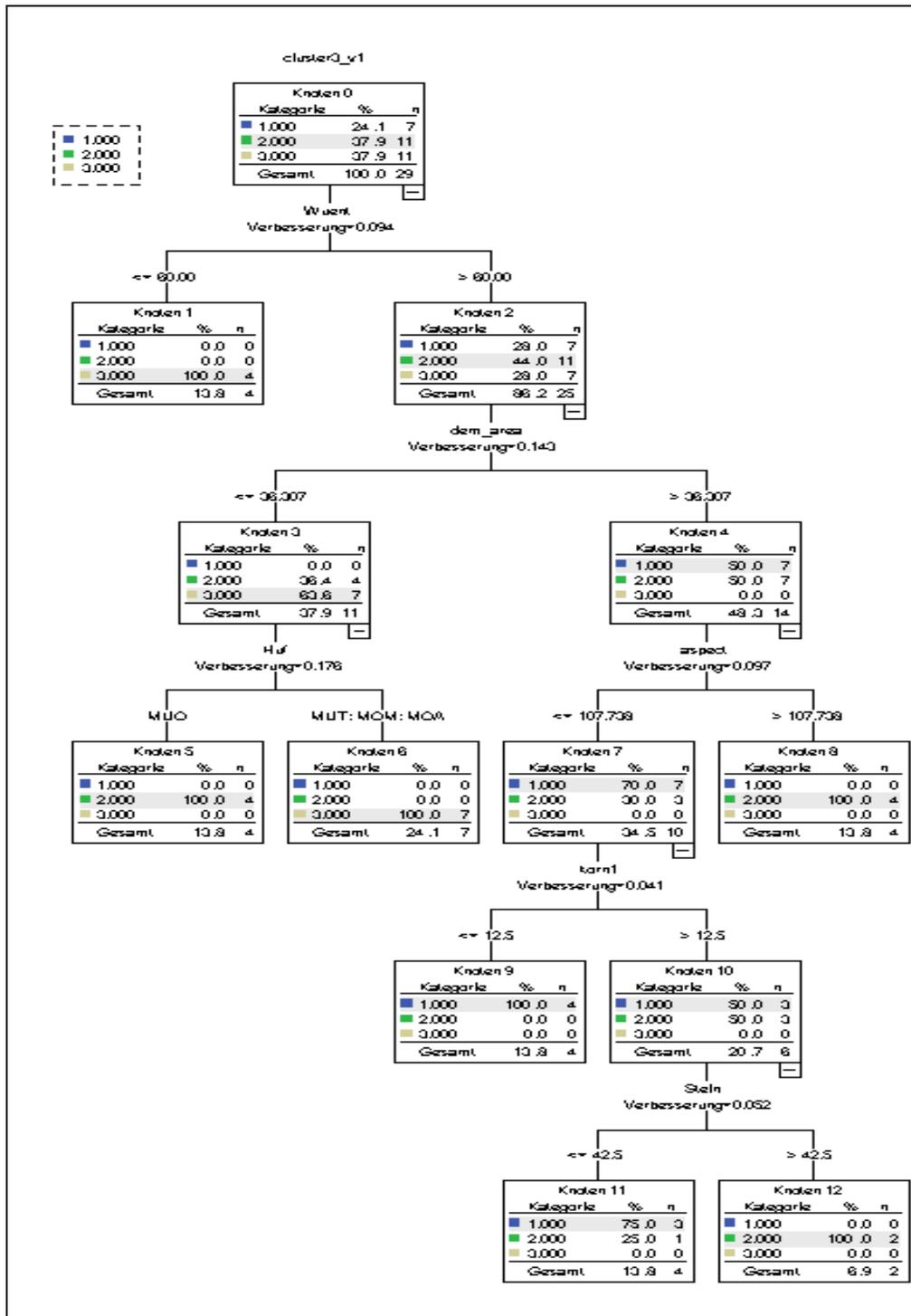


Abb. 7a: Aufbau einer CART-analyse mit SPSS 18 für RMP1, Clustervariante bzgl. Feuchteniveau

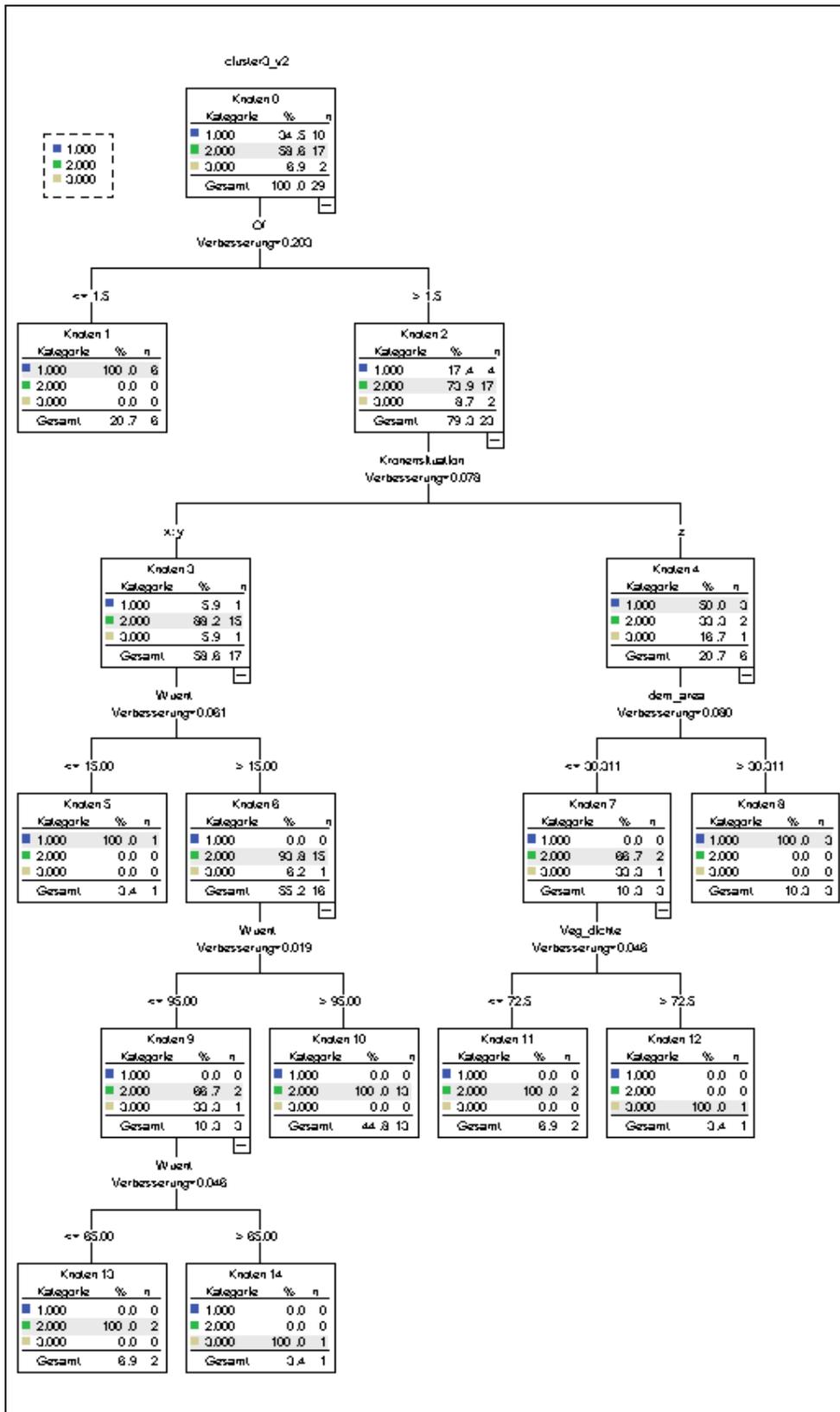


Abb. 7b: Aufbau einer CART-analyse mit SPSS 18 für RMP1, Clustervariante bzgl. Dynamik der Messkurven

Abbildung 7 zeigt exemplarisch für RMP1 die Ergebnisse der zwei Clustervarianten. Das Niveau der Bodenfeuchtemessreihen wird demnach mit der Entfernung zum nächsten Baum, dem am Punkt ermittelten Einzugsgebiet, der Exposition, der Humusaufgabe und dem Feinkiesanteil erklärt. Es konnte eine Vorhersagegenauigkeit von 96.6 % erzielt werden. Bei der Clusterung nach der Dynamik der Messkurven sind die erklärenden Parameter die Of-Auflage, die Kronensituation (Kronenmitte, -rand oder -lücke) sowie ebenfalls das Einzugsgebiet am Punkt, die Entfernung zum nächsten Baum und der Bedeckungsgrad der Bodenvegetation. Bei diesem CART konnten alle Messkurven eindeutig den Clustergruppen zugeordnet werden (100 %).

So können Schritt für Schritt für alle Plots die Einflussgrößen ermittelt und statistisch ausgewertet werden.

7. Ausblick

Im weiteren steht die Auswertung der einzelnen Bodenfeuchteverläufe auf den Plots und ihrer Einflussgrößen im Vordergrund. Hierfür muss der Algorithmus der CART-Analyse noch verbessert werden, um eindeutige Prädiktoren zur Erfassung der räumlichen Variabilität zu erhalten. Diese bilden dann die Grundlage für die Transferfunktionen des Raum-Zeit-Modells, um die räumliche Variabilität der Bodenfeuchtedynamik auch auf größere und unbeobachtete Flächen zu übertragen.

An den Level-II-Stationen unter Fichte werden gegenwärtig Modellkalibrierungen mit dem 1D-Wasserhaushaltsmodell LWF-BROOK90 (HAMMEL & KENNEL 2001) vorgenommen. Die modellierten bzw. gemessenen Bodenfeuchtezeitreihen können auch zur Ableitung des Globalmodells für die mittlere zeitliche Dynamik der Bodenfeuchte verwendet werden.

Literatur:

- ARNSTADT, T. (2008): Erfassung der Dynamik einer Sättigungsfläche mit Hilfe zufällig wandernder Messfelder und Bau einer Einstab-TDR-Sonde. Internationales Hochschulinstitut Zittau. Diplomarbeit (unveröffentlicht)
- HAMMEL, K. & M. KENNEL (2001): Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushaltes von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell Brook90, Schriftenreihe Forstliche Forschungsberichte München Nr.185.
- MORGENSTERN, Y. & H. PUHLMANN (2009): Räumliche Muster im Wasserhaushalt von Waldstandorten. FVA-einblick 1/2009, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg, S. 6-10.
- PUHLMANN, H., Y. MORGENSTERN & K. von WILPERT (2008): Trockenstressrisiko für Waldbestände in Baden-Württemberg. FVA-Einblick+ 1/2008, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg, S. 28-35.
- WÖHRLE, N. (2005): Randomisiert wandernde Messplots. Raum-Zeit-Modellierung von Parametern des Stoffhaushaltes in heterogenen Kalkbuchenwäldern. Freiburg, Dissertation, Freiburger Bodenkundl. Abhandlungen, 44, 145 S.

Der Einfluss von Klimaänderungen und Waldwirtschaft auf die Grundwasserneubildung in einem niederschlagsarmen Tieflandeinzugsgebiet

Marco Natkhin, Jörg Steidl, Ottfried Dietrich

Zusammenfassung

Für ein 100 km² großes, bewaldetes Untersuchungsgebiet im Nordosten Brandenburgs wurde die Entwicklung der Grundwasserneubildung in der Zeit von 1958 bis 2008 mit dem Wasserhaushaltsmodell WaSiM-ETH nachgebildet. Nach der Prüfung der Ergebnisse an Grundwasser- und Seewasserstandsbeobachtungen wurden mit Szenarienrechnungen die durch Klimaänderungen und Waldumbau beeinflussten möglichen Entwicklungen der Grundwasserneubildung analysiert. Für die klimatischen Randbedingungen wurden dazu die REMO-A1B- und B1-Szenarien bis zum Jahr 2100 eingesetzt. Die zwei eingesetzten Waldentwicklungsszenarien wurden im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes NEWAL-NET entwickelt.

Die modellgestützte Analyse des Wasserhaushaltes zeigt, dass der Rückgang der Grundwasserneubildung unter den Waldflächen des Modellgebietes um 71 mm/a im Zeitraum 1958 – 2008 etwa zu gleichen Anteilen auf klimatische Veränderungen und Veränderungen im Wald (Altersstruktur und Unterwuchs) zurückzuführen ist.

Die Zukunftsszenarien des Waldumbaus kompensieren die Einflüsse der Klimaänderung auf die Grundwasserneubildung, die in der 1. Hälfte des 21. Jahrhunderts auf das hohe Niveau der 1960er Jahre ansteigt. Danach sinkt die Grundwasserneubildung wieder aufgrund zurückgehender Niederschläge und steigender potentieller Verdunstung. Nach großflächiger Umsetzung des klimaplastisch optimierten Leitbildes im Modellgebiet ist gegenüber dem Business as usual Szenario eine um 20 bis 50 mm/a höhere Grundwasserneubildung zu erwarten.

1. Problem- und Zielstellung

In den Einzugsgebieten Nordost-Brandenburgs bestimmt die Grundwasserneubildung maßgeblich das Wasserdargebot grundwasserabhängiger Landschaftselemente. Das sind vor allem Seen und Feuchtgebiete mit kleinen Einzugsgebieten. Vor allem in den bewaldeten Einzugsgebieten zeigen die bereits seit drei Jahrzehnten sinkenden Wasserständen vieler dieser Landschaftselemente einen stärkeren Rückgang der Grundwasserneubildung an. Die Ursachen dafür können Vegetationsveränderungen, wie die Änderung der Baumartenzusammensetzungen der Wälder, oder Klimaveränderungen, wie Änderungen der Niederschlagsmenge und deren zeitlichen Verteilung innerhalb des Jahres, der Lufttemperatur oder aber Luftfeuchtigkeit, sein. Unklar ist ob und wie sich dieser Trend in der Zukunft fortsetzt wird und wie ggf. gegengesteuert werden kann.

Innerhalb dieser Arbeit sollen zunächst die Ursachen für den Rückgang der Grundwasserneubildung quantitativ analysiert werden. Im Anschluss sollen die Wirkungen eines künftigen Waldumbaus und der erwarteten Klimaänderungen auf die Grundwasserneubildung untersucht werden.

2. Methodik

2.1 Untersuchungsgebiet

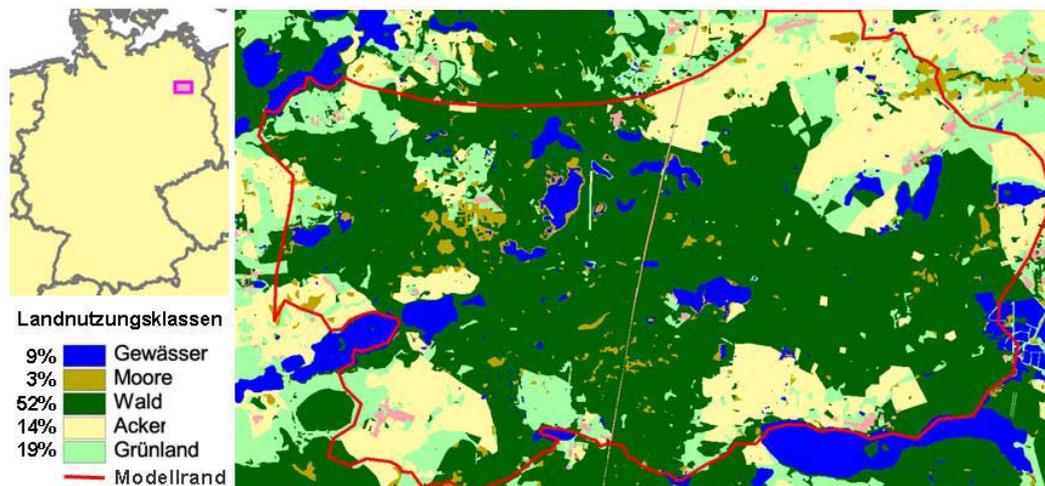


Abb. 1: Karte der gegenwärtigen Landnutzungsklassen im Modellgebiet (Quelle: MUNR, 1995)

Das Untersuchungsgebiet befindet sich auf kuppigen Grundmoränenflächen der Angermünder Staffel im UNESCO-Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, im Nordosten Brandenburgs und hat eine Fläche von 100 km². Der Wald besitzt darin einen Flächenanteil von 52% und besteht vor allem aus Kiefern Monokulturen. An den zahlreichen abflusslosen Seen wurden langfristige Wasserstandsrückgänge beobachtet.

2.2 Modellierung des Wasserhaushaltes

Für die Modellierung der Grundwasserneubildung wurde das Wasserhaushaltsmodell WaSiM-ETH (SCHULLA & JASPER 2007) eingesetzt. Dabei wurde das Untersuchungsgebiet räumlich in Rasterelemente mit einer Kantenlänge von 100 m aufgelöst. Die zeitliche Diskretisierung betrug einen Tag.

Alle im Modell abgebildeten Vegetationstypen wurden zunächst einzeln in Säulenmodellen getestet. Zur Prüfung der Parametrisierung wurden die damit berechneten Wasserhaushaltsgrößen der einzelnen Vegetationstypen untereinander und mit vorhandenen Messwerten verglichen. Neben Daten aus der Literatur, zum Beispiel: SCHULLA (1997), HÖRMANN et al. (2003) und ANDERS et al. (2002) fanden dabei Bestandesniederschlag/Stammabfluss (M. Jenssen, Waldkunde Eberswalde), Bodenfeuchtedaten (U. Schindler, ZALF) und Messungen der Tiefsickerung (J. Müller, vTI) Eingang.

2.3 Analyse der Ursachen für die beobachtete Abnahme der Grundwasserneubildung

Für die Modellierung der Grundwasserneubildung werden zwischen 1951 bis 2007 beobachtete meteorologische Daten eingesetzt. Der Zeitraum bis 1957 wird zum Einschwingen des Modells genutzt. Um den Einfluss der Veränderungen der hydroklimatischen Randbedingungen analysieren zu können, wird in einem ersten Szenario der aktuelle Zustand des Waldes, den der Datenspeicher Wald Stand 2006 beschreibt, über den gesamten Zeitraum angesetzt (DSW2006).

Zur Abbildung der möglichen Veränderungen der Vegetation des Waldes in diesem Zeitraum wurden zwei weitere Landnutzungsszenarien entwickelt. Im zweiten Szenario wurde das Bestandesalter in 10 Jahresscheiben ausgehend vom DSW2006 bis 1951 rückwirkend rekonstruiert (Alterstruktur dynamisch). Als drittes Landnutzungsszenario ist zusätzlich zur dynamischen Alterstruktur eine geringere Vergrasung der Nadelwälder vor 1981 angenommen worden (Vergrasungseffekt). Für die Flächen, die nicht im Datenspeicher Wald beschrieben werden, wurde die Biotoptypenkartierung (MUNR 1995) eingesetzt und über den gesamten Zeitraum unverändert angenommen.

2.4 Zukunftsszenarioanalysen

Für die Zukunftsszenarien bis zum Jahr 2100 wurden die meteorologischen Daten der zwei Realisierungen des regionalen Klimamodells REMO A1B und B1 verwendet (JAKOB 2005a, 2005b). Der Vergleich des REMO - Kontrolllaufes mit den meteorologischen Größen, die im Zeitraum 1951 - 2000 in der DWD-Station Angermünde gemessenen wurden, ermöglichte eine Biaskorrektur der systematischen Abweichungen zwischen simulierten und gemessenen Größen nach PIANI et al. (2008) für die Zukunftsszenarien.

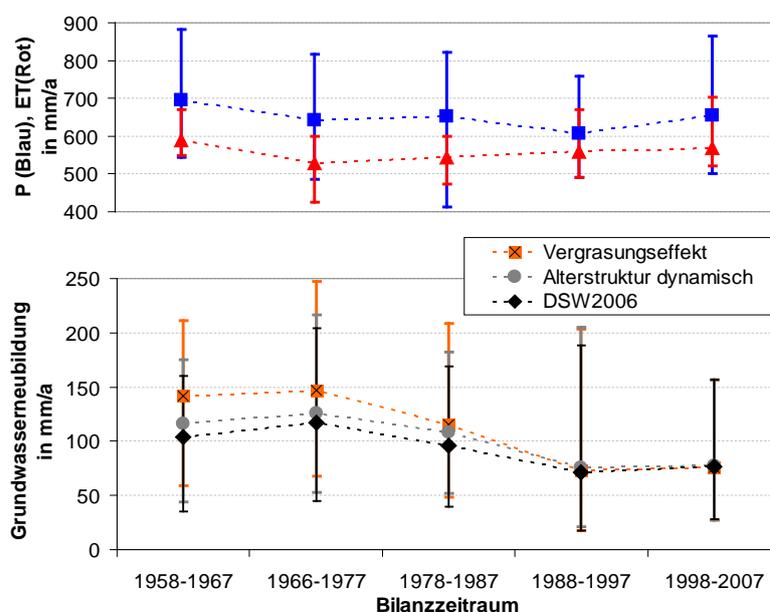


Abb. 2: Modellierte 10-Jahresmittel und Spannweiten von Niederschlag (P), Verdunstung (ET) und Grundwasserneubildung der Waldflächen, berechnet mit DSW2006, dynamischer Alterstruktur und geringerer Vergrasung bis 1980 (Vergrasungseffekt)

Zur Analyse des Einflusses der Veränderungen der hydroklimatischen Randbedingungen auf die Grundwasserneubildung wird zunächst der aktuellen Zustand des Waldes wiederum zeitlich unverändert nach dem Datenspeicher Wald Stand 2006 (DSW2006) für die Szenariorechnungen eingesetzt. Für die zukünftige Waldentwicklung wurden zwei weitere Waldentwicklungsszenarien ausgehend vom DSW2006 innerhalb des NEWAL-NET-Projektes für die Modellregion durch JENSSEN (2009) vom Waldkundeinstitut Eberswalde entwickelt. Zum Einen wurde eine Waldentwicklung simuliert, die sich an aktueller forstpolitischer Ausrich-

tung orientiert. Dieses Szenario wird im Folgenden als „Business as usual“ bezeichnet. Das zweite Szenario entspricht einer Entwicklung nach dem NEWAL-NET Leitbild und wird im Folgenden mit „klimaplastisch optimiert“ bezeichnet. In beiden Waldentwicklungsszenarien geht der Anteil von kieferndominierten Flächen bis zum Jahr 2100 zurück, beim klimaplastisch optimierten Szenario wesentlich stärker als bei Business as usual. Die Anteile der Laubwälder, vor allem Buchen und Eichen, nehmen zu.

Für die Modellierung der Zukunftsszenarien wurden beide Klimaänderungsszenarien mit den drei Landnutzungsszenarien kombiniert. Somit ergaben sich sechs Zukunftsszenarien, bei denen sich die Einflüsse unterschiedlicher klimatischer Randbedingungen und der sich ändernden Waldvegetation getrennt voneinander betrachten ließen.

3 Ergebnisse

3.1 Analyse der Ursachen für die beobachtete Abnahme der Grundwasserneubildung

Bei Verwendung einer unveränderten Baumartenzusammensetzung und Alterstruktur der Bäume entsprechend DSW2006 ab 1951 ist die berechnete Grundwasserneubildung in der ersten Hälfte des modellierten Zeitraumes um mehr als 35 mm/a höher als in der zweiten Hälfte (Abbildung 2). Ursachen sind sowohl abnehmende Niederschläge als auch eine zunehmende Verdunstung.

In den ersten beiden Dekaden bildet der Wald bei Verwendung der dynamischen Altersentwicklung im Vergleich zum statischen DSW2006 11 mm/a mehr Grundwasser (Abbildung 2). Dieses Plus verringert sich in den in den 1990er Jahren und ist in den 2000er Jahren nicht mehr vorhanden, da sich die im Modell abgebildeten Altersstrukturen angleichen. Bei der zusätzlichen Berücksichtigung einer geringeren Vergrasung in den Kiefern- und Nadelwäldern vor den 1980er Jahren wird zusätzlich eine 24 mm/a höhere Grundwasserneubildung in den ersten Dekaden berechnet.

3.2 Zukünftige Entwicklung der Grundwasserneubildung

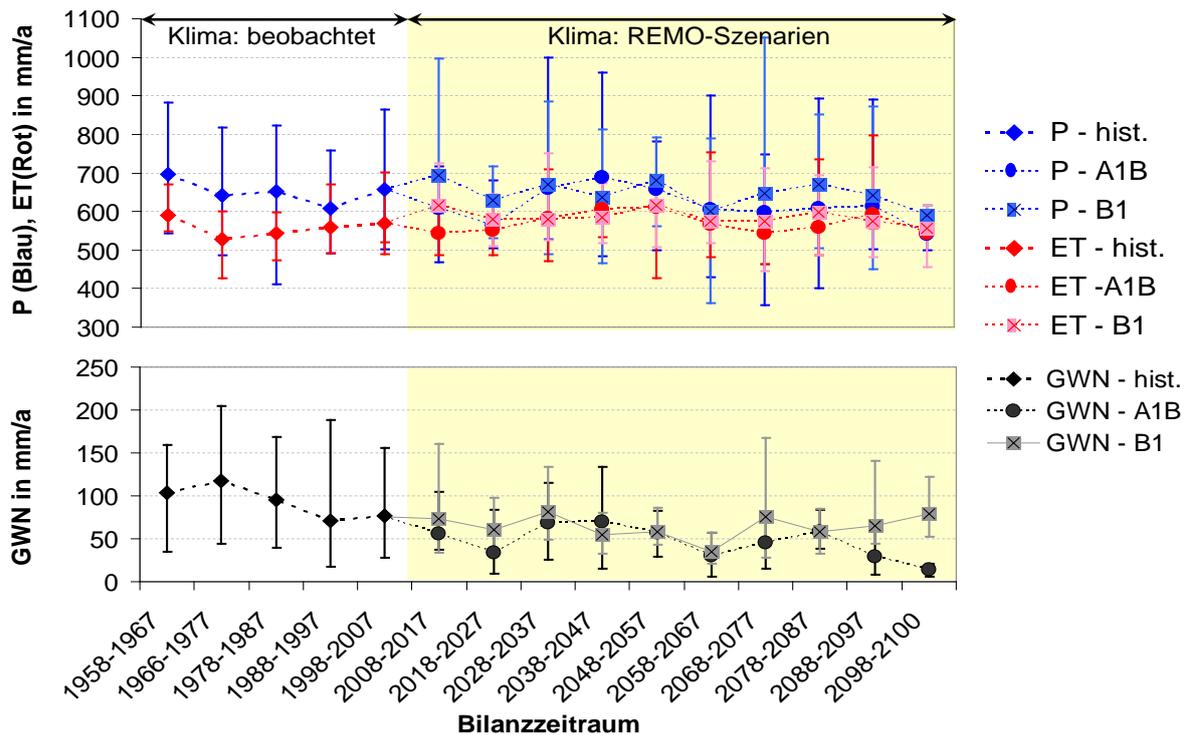


Abb. 3: Einfluss des Klimas auf die mittlere Grundwasserneubildung (GWN) unter Waldflächen im Modellgebiet (unveränderte Landnutzung im gesamten Modellzeitraum nach DSW2006; Niederschlag (P), Verdunstung (ET) und Spannweiten, dargestellt sind die 10-Jahresmittelwerte)

Bei gleichbleibender Landnutzung (Baumarten und Alterstruktur) ist im moderaten B1-Szenario eine ähnliche Grundwasserneubildung wie in der aktuellen Jahresscheibe 1998/2007 zu erwarten. Nur um die Mitte des Jahrhunderts kommt es zu weiteren Reduktionen (vgl. Abbildung 3). Die Grundwasserneubildung im A1B-Szenario liegt jedoch auf Grund der geringeren Niederschläge und der höheren potenziellen Verdunstung häufig noch unter der des B1-Szenarios.

Die Unterschiede zwischen der modellierten zukünftigen Grundwasserneubildung mit dem DSW2006 und den Waldentwicklungsszenarien sind im A1B-Szenario größer als der Einfluss durch die Veränderungen der hydroklimatischen Randbedingungen (Abbildung 4). Während die Grundwasserneubildung beim DSW2006 weiterhin eher abnimmt, steigt sie bei den Waldentwicklungsszenarien über die Werte der 1960er und 1970er Jahre. Unterschiede in der Grundwasserneubildung zwischen den beiden Waldentwicklungsszenarien werden erst ab 2070 deutlich. Dann liefert das klimaplastisch optimierte Szenario 20 bis 50 mm/a mehr Grundwasserneubildung unter den Waldflächen bei A1B. Durch den Umbau werden die niedrigen Grundwasserneubildungswerte in den 1990er Jahren zum Ende des 21. Jahrhunderts nicht unterschritten.

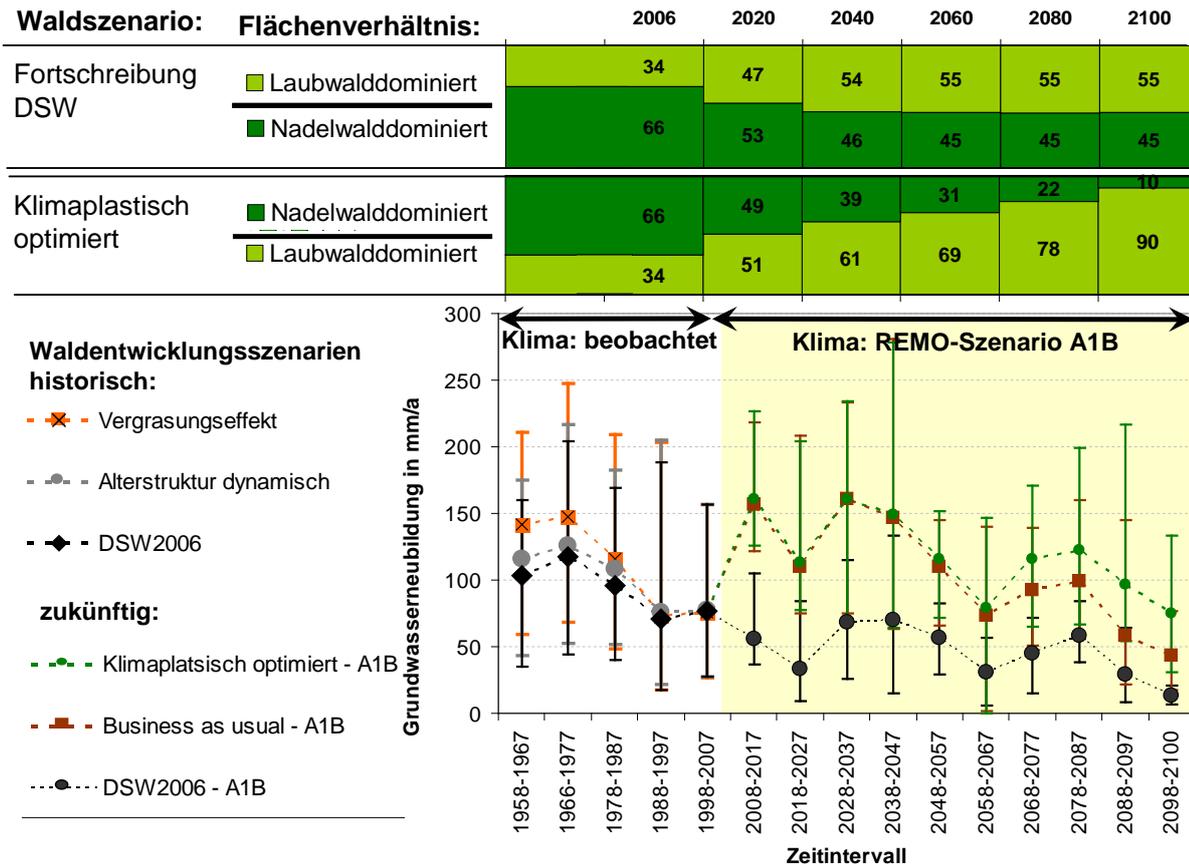


Abb. 4: Einfluss der Veränderungen der Waldwirtschaft (DSW2006, Business as usual und klimaplastisch optimiert) auf die Grundwasserneubildung unter Waldflächen im Modellgebiet (Klima historisch: beobachtet; Klima Zukunft: REMO A1B; dargestellt sind 10-Jahresmittelwerte)

Die Wirkungen der Waldentwicklung auf die Grundwasserneubildung beim B1-Szenario sind mit denen beim A1B-Szenario vergleichbar.

4. Diskussion

Die modellgestützten Analysen des Wasserhaushaltes zeigen, dass der Rückgang der Grundwasserneubildung unter den Waldflächen des Modellgebietes im Zeitraum 1958 – 2008 71 mm/a beträgt. Davon lassen sich etwa 37 mm/a auf klimatische Veränderungen, 11 mm/a auf Veränderungen der Alterstruktur und 23 mm/a auf die Vergrasung im Wald zurückführen.

Mit den verwendeten Klimaszenarien wird die Grundwasserneubildung bei gleichbleibender Landnutzung wegen einer höheren potentiellen Verdunstung und den zurückgehenden Niederschlägen eher zurückgehen. In den Waldentwicklungsszenarien werden die Veränderungen der hydroklimatischen Randbedingungen durch Veränderungen in der Waldwirtschaft aber mehr als kompensiert und die Grundwasserneubildung steigt in der 1. Hälfte des 21. Jahrhunderts auf das hohe Niveau der 1960er Jahre an. Danach sinkt die Grundwasserneubildung aufgrund zurückgehender Niederschläge und steigender potentieller Verdunstung. Nach großflächiger Umsetzung des klimaplastisch optimierten Leitbildes im Modellgebiet ist jedoch gegenüber dem Business as usual Szenario eine um 20 bis 50 mm/a höhere Grundwasserneubildung zu erwarten.

Literatur

- ANDERS, S. et al. (2002): Ökologie und Vegetation der Wälder Nordostdeutschlands. Einfluss von Niederschlagsarmut und erhöhtem Stickstoffeintrag auf Kiefern-, Eichen- und Buchen-Wald- und Forstökosysteme des nordostdeutschen Tieflandes. Dr. Kessel, Oberwinter
- HÖRMANN, G. et al. (2003): Wasserhaushalt von Waldökosystemen - Methodenleitfaden zur Bestimmung der Wasserhaushaltskomponenten auf Level II-Flächen. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMVEL), Berlin
- JACOB, M. (2005a): REMO A1B SCENARIO RUN, UBA PROJECT , 0.088 DEGREE RESOLUTION, RUN NO. 006211, 1H DATA. CERA-DB "REMO_UBA_A1B_1_R006211_1H", http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=REMO_UBA_A1B_1_R006211_1H
- JACOB, M. (2005b): REMO B1 SCENARIO RUN, UBA PROJECT , 0.088 DEGREE RESOLUTION, RUN NO. 006212, 1H DATA. CERA-DB http://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/Compact.jsp?acronym=REMO_UBA_B1_1_R006212_1H
- JENSSEN, M. (2009): Realization of the model of climate-adaptive forests in forest practice of the Northeast German lowlands. *Forst und Holz*, 64(10), 18-21
- MÜLLER, J. (2002): Wasserhaushalt von Kiefern- und Buchen-Reinbeständen und von Kiefern- und Buchen-Mischbeständen im nordostdeutschen Tiefland. In: Funktionen des Waldes und Aufgaben der Forstwirtschaft in Verbindung mit dem Landschaftswasserhaushalt. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg; Landesforstanstalt Eberswalde, Potsdam pp. 66-76
- MUNR (1995): Daten zur Umweltsituation im Land Brandenburg, Biotoptypen- und Landnutzungskartierung Brandenburg aus CIR-Luftbildern, Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Potsdam
- PIANI, C. et al. (2008): Practical methodologies to correct biases in climate model output, and to quantify and handle resulting uncertainties in estimates of future components of the global water cycle. WATCH Technical Report 6
- SCHULLA, J. (1997): Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen (Dissertation) ETH, Zürich
- SCHULLA, J. & K. JASPER (2007): Model Description WaSiM-ETH, Zürich

Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten als Beispiel für die Integration von Methoden in der Hydrologie

Andreas Schumann, Günter Blöschl, Günter Meon, Uwe Büttner, Norbert Demuth, Franz-Klemens Holle, Ralf Merz, Uwe Müller

Zusammenfassung

Etwa 10 Jahre nach der Veröffentlichung des DVWK-Merkblattes 251 „Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen“ wird in den nächsten Monaten ein neues Merkblatt der DWA mit dem Titel „Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten“ im Gelbdruck erscheinen. Nachfolgend werden die methodischen Unterschiede, die sich im Wesentlichen auf die Berücksichtigung nicht-statistischer Ansätze bei der Prüfung der Plausibilität von ermittelten Hochwasserwahrscheinlichkeiten beziehen, kurz dargestellt.

1. Der Unterschied zwischen einer „Statistischen Analyse von Hochwasserabflüssen“ und der „Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten“

Wie dies der Titel bezeichnet, bildet die statistische Analyse den inhaltlichen Schwerpunkt des Merkblattes 251 aus dem Jahre 1999. Somit werden die statistischen Ansätze, Verfahren und Methoden wie Verteilungsfunktionen, Parameterschätzverfahren, Anpassungstests oder Konfidenzgrenzen in vielfältiger Art und Weise dargestellt. Die Datengewinnung und die Beurteilung der Ergebnisse werden erwähnt, aber vergleichsweise kurz abgehandelt. Insgesamt ist das Merkblatt somit auf statistische „Rezepte“ orientiert. Dies hat für den Anwender den Vorteil, in gedrängter Form die gebräuchlichen statistischen Verfahren, z.B. für einen Trendtest, vermittelt zu bekommen. Allerdings zeigen Erfahrungen, dass derartige Vorgaben die Gefahr einer schematischen Anwendung mit sich bringen. Beispielsweise sind Anpassungstests prinzipiell nicht geeignet, um Rangfolgen der Anpassung von Verteilungsfunktionen festzustellen, entscheiden sie doch im ursprünglichen Sinne nur zwischen „abgelehnt“ und „nicht abgelehnt“. Das Merkblatt gibt jedoch an: „für praktische Anwendungen kann aber darüber hinaus die „Güte“ der Anpassung der nicht abgelehnten Verteilungsfunktionen mit einbezogen werden“. Weiter heißt es: „Es sind die Verteilungsfunktionen mit den zugehörigen Parameterschätzverfahren auszuwählen, welche die kleinsten (nw2 -Test) bzw. die größten Prüfgrößen (Quantil-Korrelationstest) aufweisen.“ Ein anderes Beispiel stellt der „Ausreißertest“ dar. Das Merkblatt stellt fest „Ein solcher Abflusswert ist gründlich zu überprüfen!“, was sicher richtig ist. Es sagt aber nicht, wie diese Überprüfung aussehen soll. Das ist aber der Kernpunkt der Anwendung, zeigten doch die großen Hochwasser der letzten Jahre, dass es stochastisch durchaus möglich ist, dass ein derartiges Ereignis in einer kurzen Reihe auftaucht, womit das Problem der statistischen Einordnung dieser Hochwasser zu lösen ist. Es ist somit generell notwendig, aber (in der Regel) nicht hinreichend, statistische Analysen durchzuführen, um Aussagen zu Hochwasserwahrscheinlichkeiten zu treffen. Zudem werden verschiedene statistische Methoden in Hinblick auf ihre Aussagefähigkeit heute anders beurteilt als dies 1999 der Fall war. Die betrifft insbesondere die statistische Trendanalyse, Ausreißertests, Plotting positions oder Anpassungstests.

Eine statistische Analyse liefert meist ein mehr oder weniger breites Ergebnisspektrum, dessen Bewertung und Einengung nicht auf der Grundlage statistischer Verfahren erfolgen kann. Das neue Merkblatt zielt einerseits darauf ab, die statistische Analyse in verschiedenen Punkten an zwischenzeitliche Entwicklungen in der mathematischen Statistik und die gesammelten Anwendungserfahrungen anzupassen, andererseits aber auch die Vielfalt sonstiger Möglichkeiten zur Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten in eine Gesamtbetrachtung zu integrieren. Hierbei ist es insbesondere erforderlich, zusätzliche Informationen in derartige Analysen einzu beziehen.

2. Informationserweiterung zur Verbesserung der Aussagefähigkeit zu Hochwasserwahrscheinlichkeiten

Um von der Extremwertstatistik zur Extremwerthydrologie zu gelangen, können verschiedene Formen der Informationserweiterung genutzt werden:

- die zeitliche Informationserweiterungen (z.B. durch die Berücksichtigung historischer Hochwasser oder die Einordnung des Beobachtungszeitraumes in langfristige Hochwasserentwicklungen),
- die kausale Informationserweiterungen (z.B. durch die Berücksichtigung der Hochwassergenerese und der Saisonalität, durch die Anwendung von Niederschlag-Abfluss-Modellen oder über eine, aus Niederschlag abgeleitete Hochwasserstatistik)
- die räumliche Informationserweiterung (z.B. durch kartografische Darstellungen, Hüllkurven, Spendiagramme oder statistische Regionalisierungsverfahren).

Diese Informationserweiterungen sollen die statistische Analyse nicht ersetzen, sondern deren Ergebnisse untersetzen. So beinhaltet das neue Merkblatt Ansätze um das hydrologische Prozessverständnis einzubringen. Es greift die Problematik der Ableitung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten an unbeobachteten Gewässerquerschnitten auf, indem es neue Entwicklungen im Bereich der Regionalisierungen von Hochwasserabflüssen darstellt und gibt Hinweise zur Anwendung von Niederschlags- Abfluss- Modellen bei der Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. Zu beachten ist, dass nicht alle diese Informationserweiterungen quantitativ zur Abschätzungen von Hochwasserwahrscheinlichkeiten beitragen, sondern zur qualitativen Bewertung der Resultate der statistischen Analyse oder anderer quantitativer Verfahren (N-A-Modellierung, Regionalisierung) genutzt werden können. Damit wird berücksichtigt, dass Hochwasserwahrscheinlichkeiten letztlich den Grad der subjektiven Überzeugtheit des Bearbeiters, der von seinem Vertrauen in Daten und Methoden abhängt, ausdrücken. Wenn verschiedene Ansätze (quantitative Informationen) und Betrachtungen (qualitativ) zur Plausibilisierung von Ergebnissen beitragen, wird diese subjektive Überzeugtheit gestärkt. Größere Abweichungen oder Inkonsistenz der Ergebnisse weisen auf die Notwendigkeit weitergehender Untersuchungen hin. Wissenschaftlich ausgedrückt wird nun die epistemische Unsicherheit der Aussagen zu Hochwasserwahrscheinlichkeiten berücksichtigt, wogegen die hochwasserstatistische Analyse bisher von der aleatorischen Unsicherheit ausging. Diese Differenzierung erfordert weitergehende Kenntnisse zur Verwendung und Bewertung der verschiedenen Verfahren sowie ein generelles Verständnis der hydrologischen Verhältnisse im betrachteten Einzugsgebiet. In der Anwendung gilt es zwischen folgenden Informationen zu unterscheiden: Informationen, die einen bestimmten Hochwasserwahrscheinlichkeitswert begründen, Informationen, die die

sem Wert nicht widersprechen und Informationen, die diesem Wert entgegenstehen. Letztere sind besonders zu analysieren. Zum Beispiel sollte untersucht werden, ob derartige Unterschiede durch unzureichende Daten (Qualität und Quantität) begründet sind oder ob die Anwendung des Verfahrens zu unsicher ist. Verschiedentlich bestehen auch Freiheitsgrade, die es ermöglichen die Ergebnisse aneinander anzunähern ohne die Voraussetzungen oder Grundannahmen einzelner Verfahren zu verletzen. Untersuchungen, die die Zuverlässigkeit der Aussagen erhöhen, werden dargestellt.

Anhand eines umfassenden Beispiels wird gezeigt, wie verschiedene Informationen kombiniert werden können. Dabei ist zu beachten, dass jedes der dargestellten Verfahren auch spezifische Nachteile besitzt. Dies betrifft z. B. bei der Niederschlags-Abfluss-Modellierung die offene Frage der zeitlichen Verteilung der Eingangsgröße Niederschlag oder der statistischen Einordnung des Ergebnisses, das von den Anfangsbedingungen abhängt. Als Grundlage für die oben angesprochene Ergebnisdiskussion wird gezeigt, welche spezifischen Vorteile die einzelnen Verfahren besitzen und welche Unsicherheiten bei deren Anwendung bestehen.

3. Fazit: Die Herausforderung zur Berücksichtigung von Unsicherheiten

Im Unterschied zu einem weitgehend schematisierten einheitlichen Verfahren, das computer-technisch umgesetzt ist und den Eindruck einer Beherrschung von Unsicherheiten erweckt, wird anhand der nun vorgeschlagenen parallelen Anwendung mehrerer Ansätze und der Diskussion der Konsistenz bzw. Inkonsistenz der Ergebnisse an Hand zusätzlicher Informationen die Unsicherheit von Aussagen zu Hochwasserwahrscheinlichkeiten deutlich. Unter der Voraussetzung, dass der bearbeitende Hydrologe sowohl diese Unsicherheiten als auch die Vor- und Nachteile der angewandten Verfahren kennt, wird das Ergebnis damit abgesichert. Dies ist insofern erforderlich, als die Festlegung des Bemessungshochwassers, das häufig das Ziel einer Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten darstellt, meist den Charakter einer Vereinbarung besitzt, bei der der Hydrologe gefordert ist, die Belastbarkeit seiner Hochwasserwahrscheinlichkeitsaussage zu begründen und deren Unsicherheit zu bewerten.

Versuch der Synthese der Niederschlag- Abflussmodellierung und Hochwasserstatistik

Michaela Rogger, Ralf Merz, Jürgen Komma, Alberto Viglione,
Robert Kirnbauer, Herbert Pirkl und Günter Blöschl

Zusammenfassung

Mit dieser Arbeit soll ein Beitrag dazu geleistet werden, die Unterschiede zwischen dem Bemessungshochwasserverfahren und der Hochwasserstatistik zu verstehen. Als erster Schritt dafür wird für einige Testeinzugsgebiete in Tirol ein kontinuierliches Niederschlag- Abflussmodell aufgestellt. Die Parameterwahl erfolgt durch eine kombinierte Vorgangsweise, die das Prozessverständnis im Gebiet berücksichtigt, insbesondere die Hydrogeologie und die Abflussbildungstypen auf Basis von Feldbegehungen. Dadurch wird eine bessere Extrapolation auf große Ereignisse erwartet.

1. Einleitung

Bemessungswerte für Hochwasserschutzmaßnahmen können entweder durch eine Hochwasserstatistik aus Pegeldaten oder durch deterministische Methoden wie Ereignis-basierter Niederschlag- Abflussmodellierung oder durch einfache Faustformeln bestimmt werden (GUT-KNECHT 2007). Die Hochwasserstatistik hat den Vorteil, dass Jährlichkeiten angegeben werden können, während bei Niederschlag-Abfluss Modellen in kleinen Gebieten vor allem auch die lokalen hydrologischen Besonderheiten berücksichtigt werden können. Werden beide Verfahren auf das gleiche Einzugsgebiet angewandt, dann liefern sie oft unterschiedliche Ergebnisse, die sogar bis zu einem Faktor 3 divergieren können.

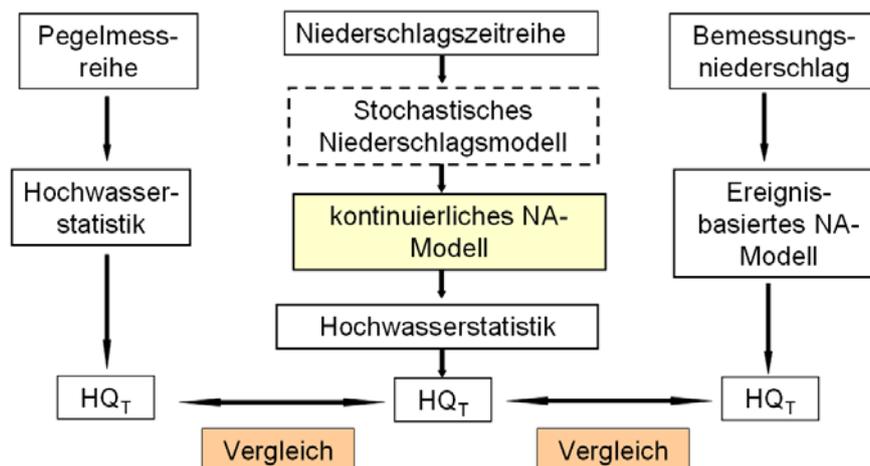


Abb. 1: Übersicht über unterschiedliche Methoden zur Bestimmung von Bemessungswerten

Ziel der Arbeit ist es, die Unterschiede zwischen den statistischen und deterministischen Methoden zu verstehen und eine harmonisierte Vorgangsweise zu ermöglichen. Es wird daher untersucht, wie Hochwasserwahrscheinlichkeiten entstehen, nämlich als kombinierte Wahrscheinlichkeiten des Niederschlags und der Anfangsbodenfeuchte. Ereignis-basierte Modelle

berücksichtigen in der Berechnung eines Bemessungsereignisses nur die Jährlichkeit des Niederschlags. Deshalb wird in dieser Studie ein kontinuierliches, flächendetailliertes Niederschlag- Abflussmodells angewandt, mit welchem die Auswirkung der Jährlichkeit der Anfangsbodenfeuchte auf die Jährlichkeit des Ereignisses untersucht werden kann. Die Ergebnisse der kontinuierlichen Simulation sollen zur besseren Einschätzung der Ergebnisse aus Ereignisbasierten Modellen verwendet werden. Zusätzlich ermöglicht die Anwendung eines flächendetaillierten Modells die Erfassung der lokalen Besonderheiten eines Einzugsgebietes durch Einbezug aller vorhandenen Informationen. Ein Hauptaugenmerk liegt in dieser Arbeit auf der Berücksichtigung der hydrogeologischen Situation zur genauen Beschreibung des Speichervermögens des Gebietes. Dadurch soll im Vergleich zur Pegelstatistik eine bessere Extrapolation auf große Ereignisse erreicht werden.

Abbildung 1 (Mitte) zeigt die grundlegende Idee der Untersuchungsmethode und die traditionelle statistische und deterministische Herangehensweise. Mit Hilfe eines stochastischen Niederschlagsmodells (SIVAPALAN et al 2005) werden lange Niederschlagsreihen als Inputdaten für kontinuierliche Simulationen generiert. Mit dem kontinuierlichen Niederschlag- Abflussmodell werden dann Monte Carlo Simulationen über mehr als 10.000 Jahre durchgeführt. Aus dem somit generierten Abflusskollektiv kann mittels Hochwasserstatistik ein Hochwasserwert mit einer bestimmten Jährlichkeit bestimmt werden. Diese Ergebnisse sollen mit den Ergebnissen der deterministischen und statistischen Ansätze verglichen und im Hinblick auf ihre Unterschiede analysiert werden.

Die Methode orientiert sich an dem "Mehr-Standbeine"-Ansatz (GUTKNECHT et al., 2006), bei dem mehrere Methoden zur Bestimmung des Bemessungshochwassers kombiniert werden, um die Unterschiede der Ergebnisse der einzelnen Methoden zu verstehen, und um eine Argumentationshilfe zur Festlegung der Bemessungswerte zu erhalten. Als erster Schritt wird in diesem Beitrag das kontinuierliche Niederschlag-Abflussmodell mit Schwerpunkt auf die Berücksichtigung der hydrogeologischen Situation vorgestellt.

2. Modell und Parameterwahl

Tab. 1: Übersicht Einzugsgebiete

Bezeichnung	Größe (km ²)
Wattenbach	73
Weerbach	72,8
Stampfangerbach	20,9
Teischnitzbach	14,2
Trisanna	97,6
Navisbach	61,5
Walchentaler Bach	3,9
Debantbach	56,8
Hornbach	64,0
Längentalbach	9,2

Simulationen mit dem kontinuierlichen Niederschlag-Abflussmodell werden in zehn ausgewählten Einzugsgebieten in Tirol (Tabelle 1) durchgeführt. Die Größe der Einzugsgebiete liegt zwischen 4 und 98 km². In allen Einzugsgebieten sind HQ₁₀₀ Schätzwerte aus der statistischen Auswertung der Pegeldaten (MERZ et al. 2008) sowie aus der Berechnung mittels eines Ereignis-basierten Niederschlag-Abflussmodells (KOHL 2005) vorhanden.

Das angewandte Niederschlag- Abflussmodell ist ein konzeptionelles - kontinuierliches Wasserbilanzmodell auf Rasterbasis, das die an der Abflussbildung beteiligten Prozesse durch einfache mathematische Zusammenhänge beschreibt. Als Rasterweite wurde für alle Einzugsgebiete eine Auflösung von 200x200m gewählt. Die zeitliche Auflösung beträgt 15 Minuten. Das Modell besteht aus drei Hauptteilen: Subroutinen für Schneeakkumulation und -schmelze, Subroutinen für den Bodenfeuchtehaushalt und Subroutinen für die Berechnung von Antwort- und Routingfunktionen. Die Abflussbildung am Hang wird im Modell auf Pixelbasis berechnet, der Wellenablauf im Gerinne wird durch eine lineare Speicherkaskade beschrieben. Als Eingangsdaten dienen Temperatur, Niederschlag und potentielle Evapotranspiration. Eine detaillierte Beschreibung der Modellstruktur ist in BLÖSCHL et. al (2008) dargestellt.

Die Wahl der Parameter des Modells orientiert sich an dem von RESZLER (2008) vorgeschlagenen Ansatz zur Identifikation von Parametern flächendetaillierter Abflussmodelle. Ziel bei Parametrisierung ist eine möglichst wirklichkeitsnahe Beschreibung der Abflussprozesse im Einzugsgebiet. Daher wird die Wahl der Parameter nicht durch ein automatisches Kalibrierungsverfahren sondern manuell durchgeführt. Die Vorgangsweise lässt sich in drei Schritte gliedern:

- Schritt 1: setzen von a-priori Parameterwerten
- Schritt 2: manuelle Abstimmung der Parameter durch Vergleich erster Simulationsergebnisse mit gemessenen Daten auf saisonaler Skale
- Schritt 3: manuelle Feinabstimmung der Parameter auf der Ereignisskale

Die a priori Abschätzung der Parameterwerte beruht auf all den über die Einzugsgebiete vorhandenen Informationen. Diese umfassen Orthophotos, Landnutzungskarten, Abflussbeiwertkarten und Abflussprozesskarten.

Zur Bestimmung der Parameter der oberen Bodenspeicher, welche den oberflächlichen Abfluss und den Interflow bestimmen, wird das Einzugsgebiet in so genannte Hydrotope eingeteilt, für welche ein ähnliches hydrologisches Verhalten zu erwarten ist. Die Auswahl der Hydrotope erfolgt auf Basis einer hydrologischen Einschätzung auf Grundlage der Orthophotos, Landnutzungskarten, Abflussbeiwertkarten und der Abflussprozesskarten. Die Abflussbeiwertkarten sind hierbei durch Begehungen der Einzugsgebiete entstanden. Abbildung 2 (links) zeigt die Einteilung in Hydrotope am Beispiel des Stampfangerbaches.

Die Wahl der Parameter der Grundwasserspeicher des Modells erfolgt durch die Abflussprozesskarten basierend auf der Hydrogeologie der einzelnen Einzugsgebiete. Diese wurden auf der Grundlage von geologische Karten und Orthophotos, aber vor allem durch Geländebegehungen für jedes Einzugsgebiet erhoben (Abbildung 2 - rechts).

Die Karten geben Aufschluss über die zum Hochwasserabfluss beitragenden Flächen, sowie die Rückhalte- und Speicherpotentiale der Gebiete. Die Abflussprozesse wurden zu diesem Zweck in folgende Klassen unterteilt:

- überwiegend tiefgründiger Abfluss
- überwiegend tiefergründiger Zwischenabfluss
- überwiegend seichtgründiger Zwischenabfluss
- Abfluss auf Fels - Flächen
- Abfluss auf Eis-(Firn-Flächen)
- überwiegend Oberflächenabfluss auf Feuchtfächen und/oder Niedermooren

Durch die Berücksichtigung der Hydrogeologie kann eine bessere Einschätzung darüber getroffen werden, zu welchem Zeitpunkt und unter welchen Bedingungen das Speichervermögen des Gebietes erschöpft ist und es zu Hochwasserereignissen kommen kann.

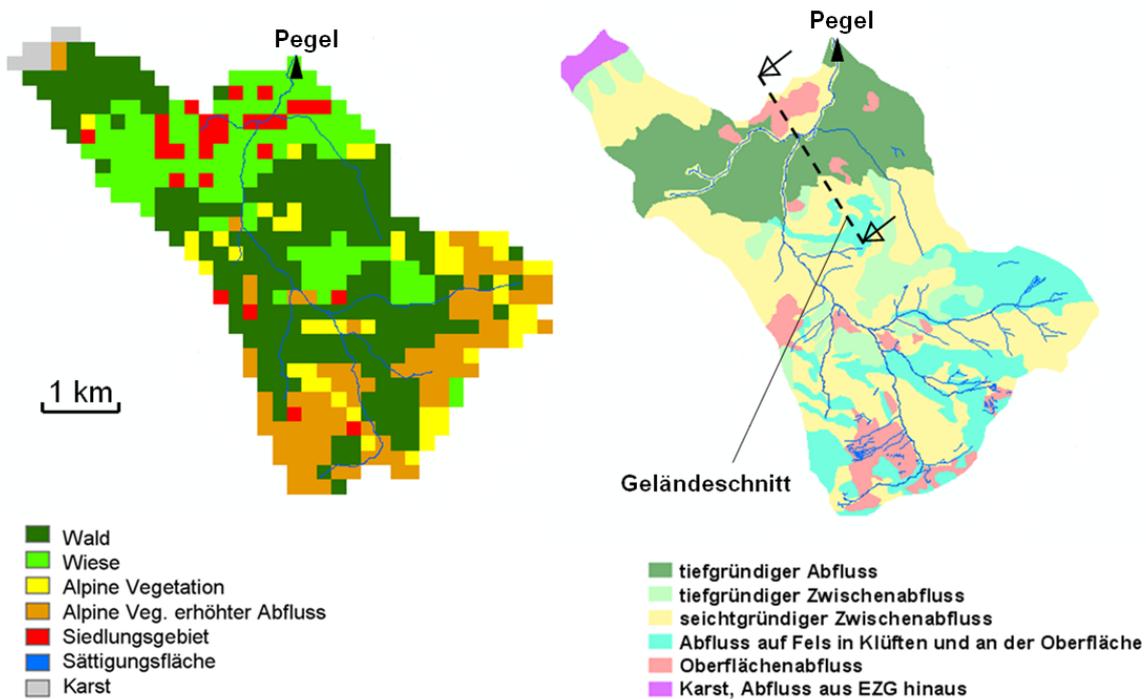


Abb. 2: Hydrotope (links) und Abflussprozesskarte aus Geländebegehung(rechts)

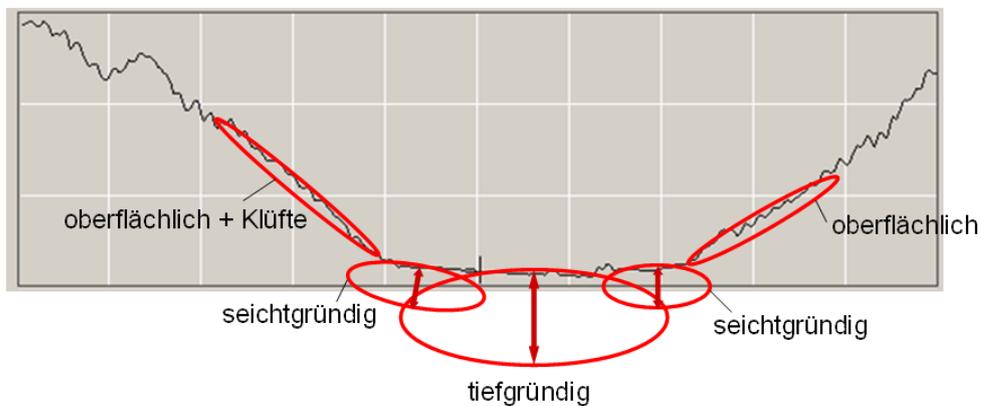


Abb. 3: Geländeschnitt (siehe Abbildung 2)

Der Geländeschnitt in Abbildung 3 stellt exemplarisch dar, in welcher Tiefe die Abflussprozesse prinzipiell stattfinden, eine Information, die sich aus der Abflussprozesskarte ableiten lässt. Diese erste, rein qualitative Einschätzung, stellt bereits eine wertvolle Information über die dominanten Abflussprozesse in den unterschiedlichen Teilen des Einzugsgebiets dar. Eine quantitative Festlegung der Parameterwerte der Hydrogeologie erfolgt in Expertengesprächen mit dem an der Studie beteiligten Geologen.



Abb. 4: Stampfangerbach – grobblockige Zerklüftung der Karbonate

Auch das nachstehende Foto (Abbildung 4) dokumentiert die von der Geologie beeinflussten Abflussprozesse. In diesem Fall ist die Tendenz zur Grobblockbildung und Klüftung der Karbonatlagen im Stampfangerbach zu erkennen.

3. Simulationsergebnisse

In Abbildung 5 sind die ersten Simulationsergebnisse des Stampfangerbaches auf saisonaler Skala dargestellt. Der Eichzeitraum wurde in diesem Fall von 2000 bis 2005 gewählt, der Validierungszeitraum von 1988 bis 1999. Wie die Ergebnisse zeigen, kann das Modell die zeitliche Dynamik der Abflussprozesse im Gebiet sehr gut nachbilden, vor allem unter Berücksichtigung der Tatsache, dass es sich hierbei um ein kleines alpines Einzugsgebiet handelt. Die Abflussscheitel werden zu einem großen Teil gut erfasst, wobei Über- und Unterschätzungen der Scheitel hauptsächlich auf die Unsicherheiten in den gemessenen Niederschlägen zurückgeführt werden können. Besonders gut erfasst die Simulation die Auslaufkurven der einzelnen Ereignisse.

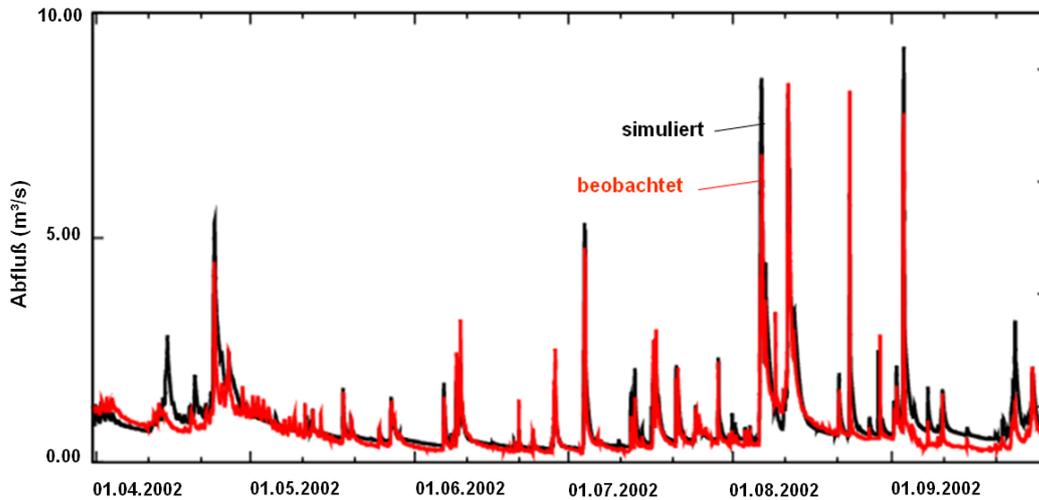


Abb. 5: Simulationsergebnisse Stampfangerbach – saisonale Skale

Um sicher zu stellen, dass das Modell keinen „Bias“ aufweist, wurden die Jahresmaxima des Abflusses der Simulationsergebnisse mit den Jahresmaxima der Beobachtungsdaten für den zur Verfügung stehenden Beobachtungszeitraum verglichen. Abbildung 6 a) zeigt, dass das Modell keinen systematischen Fehler aufweist.

Eine Abschätzung des HQ100 aus Simulationsergebnissen und Beobachtungsdaten (Abbildung 6 – b) und c)) zeigt ein nahezu identisches Ergebnis, was ebenfalls darauf hinweist das das Modell die Abflussprozesses im Einzugsgebiet gut wiedergeben kann.

4. Schlussfolgerung und Ausblick

Die ersten Arbeiten mit dem Niederschlag- Abflussmodell haben bisher zu guten bis sehr guten Simulationsergebnissen in den einzelnen Einzugsgebieten geführt. Durch das Einbeziehen aller über die Einzugsgebiete vorhandenen Daten konnten bereits mit den a-priori abgeschätzten Parametern gute Simulationsergebnisse erzielt werden, welche nur noch durch manuelle Feinabstimmung der Parameter verbessert wurden. Die Berücksichtigung der Abflussprozesskarten aus der Hydrogeologie hat sich hierbei als besonders wertvolle Information erwiesen, um das Speichervermögen des Gebietes einzuschätzen.

In einem nächsten Schritt werden die ersten Monte Carlo Simulationen durchgeführt.

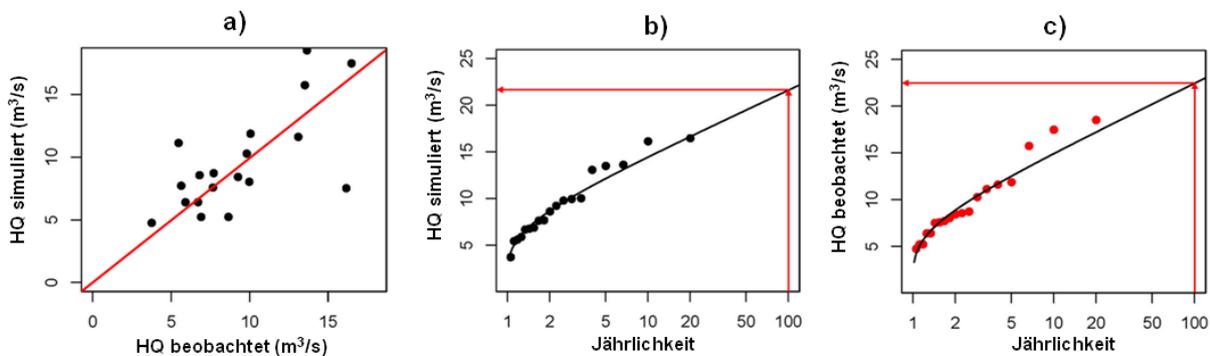


Abb. 6: Vergleich der Jahresmaxima aus Beobachtung und Simulation (a), Abschätzung des HQ100 aus Simulationsergebnissen (b) und Beobachtungsdaten (c)

Danksagung

Die Studie wird im Rahmen des „HOWATI“ – Projekts im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Hydrographischen Dienstes von Tirol durchgeführt und im Rahmen des „AdaptAlp“ – Projekts der Europäischen Union finanziert. Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern, dem Ingenieurbüro Humer (Geboltskirchen) und dem Geologen Herbert Pirkl, für die gute Zusammenarbeit.

Literatur

- BLÖSCHL, G., C. RESZLER & J. KOMMA (2008): A spatially distributed flash flood forecasting model. - In: *Environmental Modelling & Software*, 23 (4), S. 464-478
- GUTKNECHT, D., G. BLÖSCHL, CH. RESZLER & H. HEINDL (2006): Ein "Mehr-Standbeine" - Ansatz zur Ermittlung von Bemessungshochwässern kleiner Auftretenswahrscheinlichkeit (A "multi-pillar"-approach to the estimation of low probability design floods). - In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 58, H 3/4, S. 44-50.
- GUTKNECHT, D. (2007): Bestimmungsmethoden – Überblick. -In: *Wiener Mitteilungen: Extreme Abflussereignisse*, 206, S.155-180
- KOHL, B. & L. STEPANEK (2005): ZEMOKOST – neues Programm für die Abschätzung von Hochwasserabflüssen. - In: *BFW-Praxisinformation* 8, S. 21 – 22
- MERZ R., G. BLÖSCHL & G. HUMER (2008): Hochwasserabflüsse in Österreich – das HORA Projekt. - In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 60, S.129-138
- RESZLER, Ch., J. KOMMA, G. BLÖSCHL & D. GUTKNECHT (2006): Ein Ansatz zur Identifikation flächendetaillierter Abflussmodelle für die Hochwasservorhersage. – In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 50 (5), S. 220-232
- SIVAPALAN, M., G. BLÖSCHL, R. MERZ & D. GUTKNECHT (2005): Linking flood frequency to long-term water balance: incorporating effects of seasonality. - In: *Water Resources Research*, 41, Artikel Nr. W06012

Stochastische Hochwasservorhersage in schnell reagierenden Einzugsgebieten

Thomas Krause, Jens Grundmann, Gerd H. Schmitz

Eine fundierte Hochwasservorhersage in schnell reagierenden Einzugsgebieten ist nur unter Einbeziehung der wichtigsten Unsicherheitsquellen sinnvoll und als operationelle Entscheidungsgrundlage verwendbar.

In diesem Paper wird eine Methodik zur Hochwasservorhersage in schnell reagierenden Einzugsgebieten unter Einbeziehung der wichtigsten Unsicherheitsquellen vorgestellt und auf das Schweizer Testeinzugsgebiet Rietholzbach angewandt. Als N-A-Modell wird WaSiM-ETH in der Version 6.4 mit dem Richards-Ansatz zur Modellierung der Wasserbewegung in der ungesättigten Zone verwendet. Im Einzelnen wird die Unsicherheit in der räumlich-zeitlichen Verteilung des Niederschlags, die Unsicherheit in den hydraulischen Eigenschaften der Böden im Einzugsgebiet und Unsicherheiten in der Bestimmung der konzeptionellen Modellparameter betrachtet.

In einen ersten Schritt werden die genannten voneinander nicht unabhängigen Unsicherheitsquellen und deren Einfluss auf den Gesamtabfluss getrennt voneinander betrachtet. Die Niederschlagsunsicherheit wird mit Hilfe von Ensembles, die mit Hilfe des Turning Bands Verfahren generiert wurden, ausgedrückt. Für eine a-priori Abschätzung der Unsicherheit der Bodenparameter wird ein Ansatz nach Grundmann 2009 verwendet. Dabei werden die Bodenparameter des van Genuchten Modells durch einen Skalierungsparameter komprimiert. Die mögliche Spannweite der konzeptionellen Modellparameter wird anhand von Literaturwerten und einer vorherigen Sensitivitätsanalyse bestimmt. In einem weiteren Schritt werden die voneinander abhängigen Boden- und konzeptionellen Modellparameter mit einem stochastischen Optimierungsalgorithmus gleichzeitig bestimmt. Als a-priori Verteilung werden die Informationen des vorherigen Schritts, also der voneinander unabhängigen Betrachtung der einzelnen Unsicherheitsquellen, verwendet. Zur Optimierung wird der stochastische Optimierungsalgorithmus ROPE verwendet.

Die entwickelte Methodik wurde auf 24 Hochwasserereignisse in der Zeit von 1981-2007 im Schweizer Einzugsgebiet Rietholzbach angewandt.

Erstellung eines Hochwasserschutzkonzepts mit integrierten dezentralen Maßnahmen auf Grundlage hydrologischer und hydrodynamisch numerischer Modellierungen

Wolfgang Rieger, Markus Disse

Zusammenfassung

Untersuchungsergebnisse zeigen, dass einzelne dezentrale Hochwasserschutzmaßnahmen vor allem bei geringeren Hochwasserereignissen und unter trockenen Vorbedingungen besonders wirksam sind, jedoch kaum bei selteneren Ereignissen. Die Betrachtung unterschiedlicher Maßnahmen in einem integrierten Konzept stellt die Modellierung vor große Herausforderungen, da der dezentrale Hochwasserschutz alle Phasen des Abflussprozesses beeinflussen kann. Als einen hierfür geeigneten Modellansatz wurde die kombinierte Verwendung des Wasserhaushaltsmodells WaSiM-ETH 8.4.2 und des hydrodynamisch-numerischen Modells HYDRO_AS-2D eingestuft. Zielstellung war zum einen die prozessorientierte Modellierung der unterschiedlichen dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen zur Quantifizierung ihrer Wirksamkeit bei unterschiedlichen Hochwasserereignissen. Zum anderen wurde mit dem gewählten Modellansatz ein Maßnahmenkonzept, bestehend aus Aufforstung, Waldumbau, Gewässer- bzw. Moorrenaturierung und dezentralen Kleinrückhalten, simuliert und hinsichtlich des Potentials zur Scheitelabminderung mit den Einzelmaßnahmen verglichen. Die Modellierungsergebnisse zeigen, dass solche realisierbaren Maßnahmenkonzepte aus dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen nicht nur bei kleinen Hochwasserereignissen zu deutlichen Scheitelabminderungen führen können.

1. Einleitung

Dezentrale Hochwasserschutzmaßnahmen sind mittlerweile ein fester Baustein moderner Hochwasserschutzstrategien. Sie sind definiert als eine größere Zahl gleichartiger im Einzugsgebiet verteilter Hochwasserschutzmaßnahmen, die die Infiltration auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen wie auch auf Siedlungsflächen erhöhen, die natürliche Retention der Fließgewässer bzw. Talauen fördern und den Abflussscheitel durch Mulden und kleine Speicherräumen verzögern bzw. abmindern (KOEHLER 2007). Damit beeinflussen sie erstens die Abflussbildung durch erhöhte Interzeption, Infiltration und Perkolation, zweitens die Abflusskonzentration durch Kleinretentionen an Gewässerzuflüssen sowie veränderten Oberflächenrauheiten und drittens den Wellenablauf durch verringertes Sohlgefälle und Uferbewuchs. Neben den genannten Prozessen der Hydrologie und Hydraulik ist zudem durch den dezentralen Hochwasserschutz die Gewässergüte betroffen, da mit diesen Maßnahmen Synergieeffekte wie Erosions- bzw. Stoffaustragsminderung, Grundwasserneubildung oder Verbesserung des Gewässerzustandes einhergehen (RIEGER & DISSE 2008). Untersuchungen belegen, dass dezentrale Hochwasserschutzmaßnahmen vor allem bei kleineren Hochwasserereignissen, unter trockenen Vorbedingungen und zusätzlich in Einzugsgebieten unter 500 km² wirksam sind (z.B. MARENBACH 2002, BAUER 2004, SCHWALLER & TÖLLE, 2005, KREITER 2007, BRONSTERT et al. 2008, WAHREN et al. 2009). In diesen Untersuchungen

wird vorwiegend die Wirkung einzelner Maßnahmen betrachtet, wodurch die Vergleichbarkeit auf Grund unterschiedlicher Modellansätze und Untersuchungsgebiete erschwert wird und die Summeneffekte verschiedener Maßnahmen nicht erfasst werden. Daher behandelt der folgende Beitrag die Simulation eines integrierten Konzepts aus realisierbaren dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen. Der Schwerpunkt wurde dabei auf eine möglichst prozessorientierte Modellierung sowohl der Einzelmaßnahmen als auch des Maßnahmenkonzepts gelegt.

2. Modellansatz

Als Modellierungsgebiet dient das mesoskalige ländlich geprägte Einzugsgebiet der Windach (128 km², Einzugsgebiet der Donau). Die Wirksamkeit der dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen wurde dabei ausschließlich für das nördliche Teileinzugsgebiet mit einer Fläche von 65 km² quantifiziert (Abbildung 1). Die südliche Zuflussrandbedingung für dieses Teilgebiet ist durch den Windachspeicher, ein gesteuertes Hochwasserrückhaltebecken, definiert. Die Landnutzung besteht aus annähernd 50 % Grünland, 27 % Waldflächen (Fichtenmonokulturen und Buchen-Fichten-Mischbestände), 17 % Ackerflächen und knapp 5 % Siedlungsanteil. Die eiszeitliche Jungmoränenlandschaft prägt das Einzugsgebiet der Windach und birgt vorwiegend Parabraunerde- und Pseudogley-Parabraunerdestandorte.

Um die Prozesse der Abflussbildung, der Abflusskonzentration und des Wellenablaufs zu erfassen, wurde ein kombinierter Ansatz aus Wasserhaushaltsmodell und hydrodynamisch-numerischen Modell gewählt. Ersteres ist das weitgehend physikalisch und rasterbasierte WaSiM-ETH (SCHULLA 1997) in der Version 8.4.2, das eine prozessorientierte Simulation der Abflussbildung gewährleistet. Dies wird zum einen durch eine umfassend definierbare und zeitlich hoch aufgelöste Landnutzungstabelle mit geschichteter Vegetation ermöglicht. Zum anderen wird der Bodenwasserhaushalt realitätsnah abgebildet, da das Bodenmodell in WaSiM-ETH den Matrixfluss auf Grundlage der RICHARDS-Gleichung, Makroporen, geschichtete Böden sowie Dränabflüsse berücksichtigt und zusätzlich mit einem zweidimensionalen Grundwassermodell gekoppelt wurde. Damit ist es besonders geeignet, Landnutzungsänderungen und unterschiedliche Bewirtschaftungsmaßnahmen zu modellieren. Dezentrale Kleinrückhalte können ebenfalls in WaSiM-ETH durch ein implementiertes Seen- und Speichertool (SCHULLA 2009) simuliert werden. Die Kalibrierung am Pegel Greifenberg erfolgte in WaSiM-ETH vor allem durch Anpassung konzeptioneller Parameter, die physikalisch basierten wurden ausschließlich zum Zwecke der Maßnahmenparametrisierung verändert. Die Kalibrierungs- und Validierungsergebnisse können als sehr gut bewertet werden (Tabelle 1), da außer der Abflussganglinie eine im Einzugsgebiet befindliche Grundwassermessstelle gut getroffen werden konnte.

Tab. 1: Kalibrierung (2002 - 2003) und Validierung (2003 – 2005) von WaSiM-ETH am Pegel Greifenberg

	Kalibrierung	Validierung
Gütekriterium nach Nash & Sutcliffe	0,93	0,91
Volumen (simuliert) / Volumen (gemessen)	1,02	1,03
Basisabfluss / Gesamtabfluss	0,31	0,40

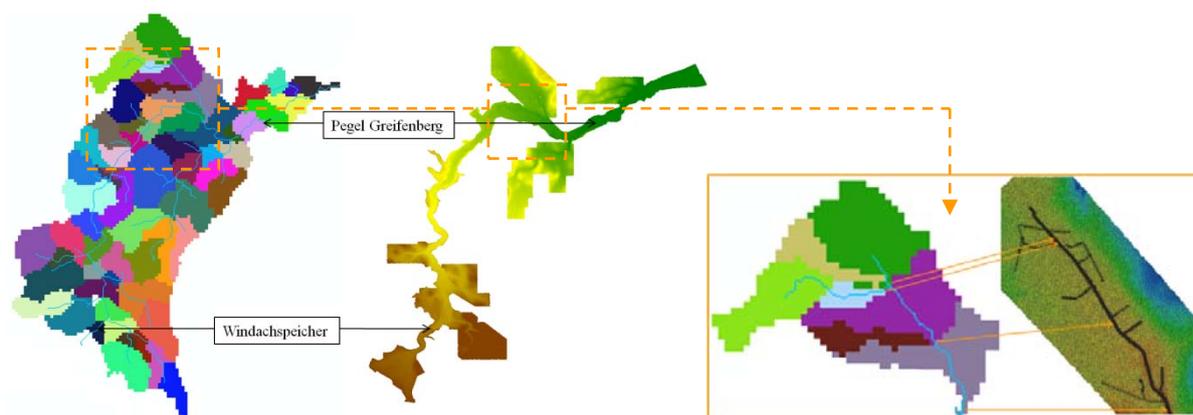


Abb. 1: Nördliches Einzugsgebiet der Windach (65 km²) in der Modellstruktur von WaSiM-ETH (links) und HYDRO_AS-2D (rechts) mit Pegel Greifenberg, Zoomfenster: In WaSiM-ETH generierte Zuflüsse für HYDRO_AS-2D am Beispiel eines Teileinzugsgebiets

Das Abflussrouting wird in WaSiM-ETH mittels einer kinematischen Welle modelliert, wobei im Anschluss an die Translationsrechnung die Retention und Diffusion durch einen Linearspeicheransatz berücksichtigt wird. Dadurch kann eine prozessorientierte Modellierung von Gewässerrenaturierungen und Auwaldaufforstung unzureichend gewährleistet werden. Zu diesem Zwecke eignet sich das zweidimensionale hydrodynamisch-numerische Modell HYDRO_AS-2D mit einem variablen rektangulärem und triangulärem Berechnungsnetz (NUJIC 2006). Folglich ist es in der Lage, den Wellenablauf im Gerinne und auch Vorlandströmungen realitätsnah zu simulieren, wobei durch Anpassung der Rauheiten auch Änderungen in der Vegetation, wie z.B. eine Auwaldaufforstung und die dadurch variierende Retentionswirkung berücksichtigt werden können.

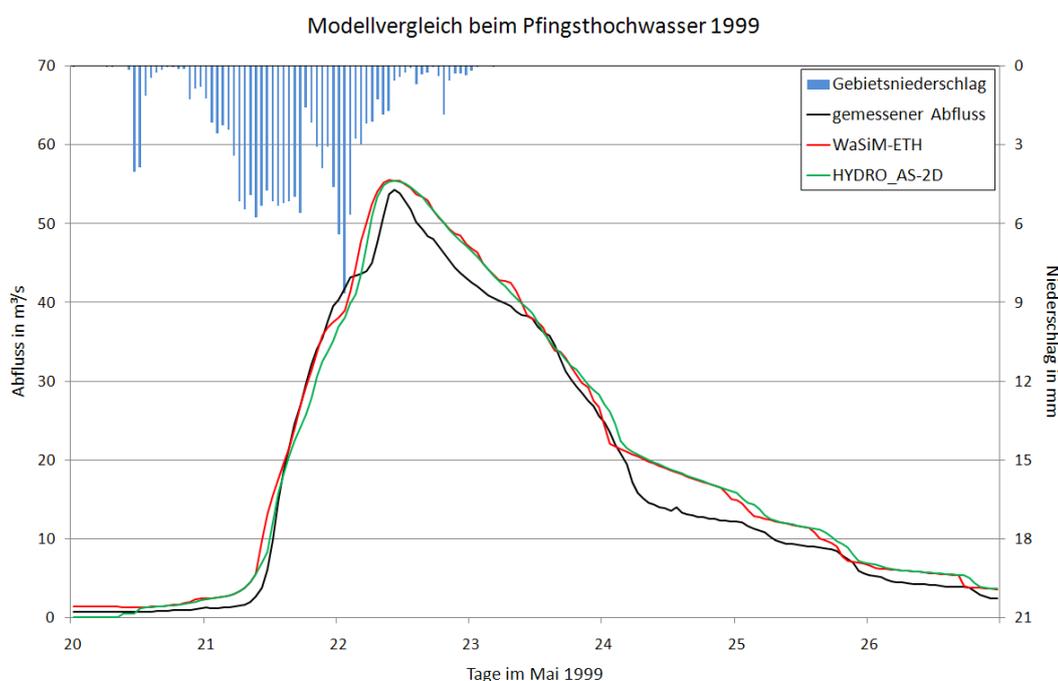


Abb. 2: Vergleich der Abflussganglinien beim Pfingsthochwasser 1999 (HQ₅₀) in WaSiM-ETH und HYDRO_AS-2D mit dem gemessenen Abfluss

Durch eine „off-line“-Kopplung beider Modelle kann die Modellierung von Maßnahmenkonzepten ermöglicht werden (Abbildung 1). Dabei dienen die in insgesamt 68 Kopf- und Zwischengebieten erzeugten Abflüsse von WaSiM-ETH als Zuflussrandbedingungen an den entsprechenden Gewässerabschnitten in HYDRO_AS-2D.

Damit wird das zunehmende Abflussvolumen entlang der seitlichen Zuflüsse und der Windach realitätsnah modelliert. Abbildung 2 zeigt, dass mit dieser Vorgehensweise der reale Abfluss und auch der in WaSiM-ETH simulierte Abfluss am Pegel Greifenberg gut getroffen werden kann. Folglich gewährleistet dieser kombinierte Ansatz die prozessorientierte Modellierung der Abflussbildung und der Abflusskonzentration in den Teileinzugsgebieten mit WaSiM-ETH sowie der Konzentration entlang der Windachzuflüsse und des Wellenablaufs mit HYDRO_AS-2D.

3. Modellanwendung

Zur Parametrisierung von Maßnahmen in Land- und Forstwirtschaft in WaSiM-ETH (z.B. Mulchsaat, Aufforstung,...) dienen vor allem experimentell bestimmbare und messbare Größen wie Bodendichten, Humusanteil, pf-Kurven und gemessene Bodendurchlässigkeiten. Die konventionelle Bodenbearbeitung wurde beispielsweise durch eine verdichtete Pflugsohle in ca. 25 cm Tiefe und eine Verschlammungsschicht am Oberboden parametrisiert. Beim Mulchsaatverfahren wurde dagegen der erhöhte organische Anteil in den oberen 10 cm berücksichtigt und der Boden mit zunehmender Tiefe sukzessive verdichtet (Tabelle 2).

Tab. 2: Parametrisierung der Bodenhorizonte für konventionelle (konv. Bearb.) und konservierende (kons. Bearb.) Bodenbearbeitung

Bezeichnung	Bodenschicht Dicke [cm]	Lagerungsdichte [g/cm ³]	
		Konv. Bearb.	Kons. Bearb.
Verschlammung bei konv. Bearb.	1	1,9	-
Erhöhter org. Anteil bei kons. Bearb.	10	1,35	1,20
Durch Pflug gelockert bei konv. Bearb.	15	1,35	1,50
Pflugsohle bei konv. Bearb.	5	1,60	1,55

Die Parametrisierung der unterschiedlichen Bodendichten erfolgte durch eine Veränderung des Sättigungswassergehaltes innerhalb der VAN-GENUCHTEN-Funktion auf Grundlage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (BGR 2005). Zusätzlich wurden analog zur Bodendichte gesättigte Leitfähigkeit, Makroporen und Wurzeltiefen angepasst. Abbildung 3 verdeutlicht den Einfluss der Bodendichte bei den Simulationsergebnissen und zeigt außerdem, dass der lockerere Boden bei konventioneller Bodenbearbeitung grundsätzlich mehr Niederschlag aufnehmen kann, die konservierende Bodenbearbeitung aber unter Annahme einer auftretenden Verschlammung beim Pflugeinsatz mehr Hochwasserrückhalt bietet.

In ähnlicher Weise wurden Aufforstung (höherer Humusanteil im Oberboden, dichtere u. tiefere Wurzeln bzw. Makroporen) oder renaturierte Moorflächen (angepasste pF-Kurve für organische Böden, extrem speicherfähiger Oberboden) parametrisiert.

Die betrachteten 19 dezentralen Kleinrückhalte, welche in WaSiM-ETH über eine Volumen-Abfluss-Beziehung simuliert werden, haben ein Gesamttretentionsvolumen von knapp 250000 m³. In HYDRO_AS-2D wurde die Wirksamkeit von Gewässerrenaturierungen berechnet, wobei für den renaturierten Gewässerverlauf der begradigten Windachzuflüsse historische Karten des Windacheinzugsgebietes zu Grunde gelegt wurden und eine zusätzliche Auwaldaufforstung innerhalb der Überflutungsflächen des HQ₁₀ vorgesehen wurde.

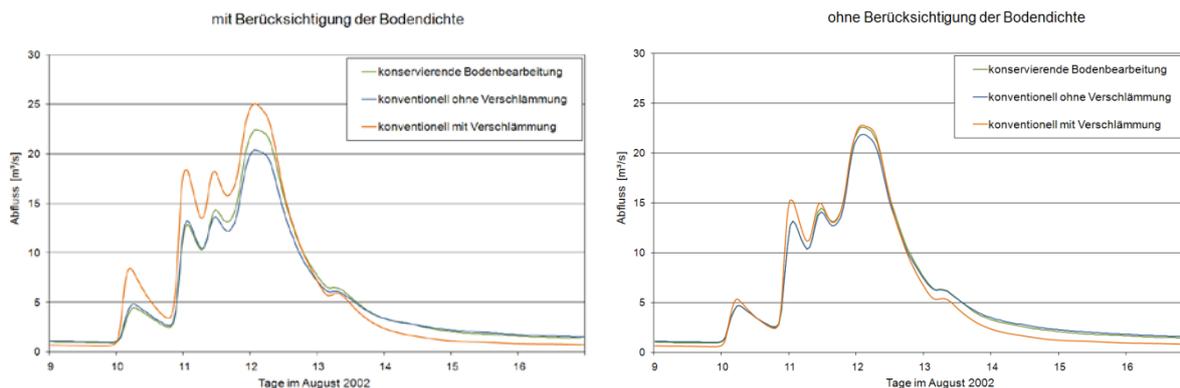


Abb. 3: Simulation unterschiedlicher Bodenbewirtschaftung für das nördliche Teileinzugsgebiet der Windach ($A_{EZG} = 65 \text{ km}^2$), Szenario: 95 % Ackerfläche im EZG, HQ₅

Beim integrierten Maßnahmenkonzept lagen die Effektivität zur Hochwasserminderung und eine gute Realisierbarkeit im Einzugsgebiet im Vordergrund. Ein Hauptelement waren dabei die

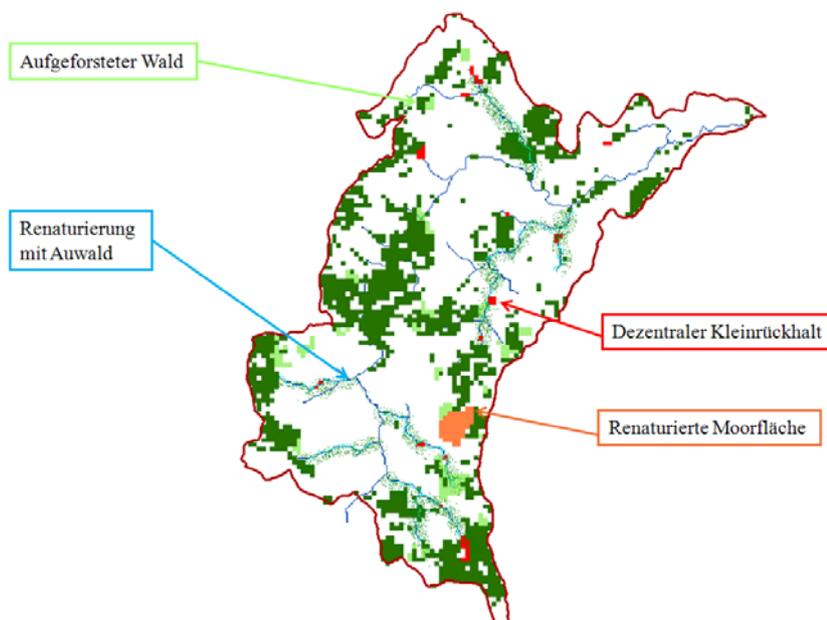


Abb. 4: Maßnahmenkonzept zum dezentralen Hochwasserschutz, rot: dezentrale Kleinrückhalte, orange: renaturiertes Moor, hellgrün: aufgeforstete Waldflächen, hellblau: Gewässerrenaturierungen mit Auwaldaufforstung

dezentralen Kleinrückhaltebecken, welche sich in der Einzelbetrachtung auch bei selteneren Hochwasserereignissen als besonders wirksam erwiesen (vgl. Kap. Ergebnisse). Von den insgesamt 19 dezentralen Becken der Untersuchung wurden die 13 wirksamsten mit einem Gesamtretentionsvolumen von über 195 000 m³ im Maßnahmenkonzept integriert. Weiterhin ist die Gewässerrenaturierung der Windachzuflüsse in Verbindung mit einer Auwaldaufforstung auf Grund der Scheitel reduzierenden Wirkung und der ökologischen Vorteile fester Bestandteil im Maßnahmenkonzept. In der Einzelbetrachtung der Maßnahmen konnte gezeigt werden, dass naturnahe Mischwälder auf Grund ihrer erhöhten Interzeptions- und Infiltrationsleistung ein größeres Retentionspotential aufweisen als Fichtenmonokulturen. Daher wurden ein naturnaher Waldumbau sowie eine Aufforstung der Waldflächen um 10 % vorgesehen. Da auch renaturierte Moorflächen sowohl beim kleinen als auch beim mittleren Hochwasserereignis den Scheitel abmindern können, wurde ein renaturiertes Moor im Maßnahmenkonzept berücksichtigt. Daraus ergeben sich für das Maßnahmenkonzept insgesamt folgende dezentrale Hochwasserschutzmaßnahmen (Abbildung 4):

- 13 dezentrale Kleinrückhalte
- Renaturierung der Windachzuflüsse in Verbindung mit Auwaldaufforstung
- Aufforstung um 10 %, gesamter Wald naturnaher Mischwald
- ein renaturiertes Moor

4. Modellierungsergebnisse

Die Simulationen der einzelnen Maßnahmen ergeben ein deutlich größeres Potential zur Scheitelabminderung beim HQ₅ gegenüber dem HQ₅₀ (Tabelle 3). Sieht man die 95 % - Aufforstung als unrealistisches Extremszenario an, so ist der dezentrale Kleinrückhalt die wirksamste dezentrale Hochwasserschutzmaßnahme. Auffällig ist die im Vergleich zum HQ₅ verhältnismäßig große Hochwasserreduzierung durch die Gewässerrenaturierung mit Auwald beim HQ₅₀. Der Grund hierfür ist, dass der Auwald beim HQ₅ keine Wirkung zeigt, da hier das Wasser kaum über die Ufer tritt.

Die Wirksamkeit der Renaturierungsmaßnahmen mit Auwald ist auch innerhalb des Maßnahmenkonzepts beim HQ₅₀ erkennbar. Zusätzlich wird die Speicherwirkung des renaturierten Moores bei diesem Ereignis voll ausgenutzt, das dadurch mit 0,8 % zur Gesamtwirkung des Maßnahmenkonzepts beiträgt (Abbildung 5). Bei beiden Ereignissen zeigt sich, dass im Maßnahmenkonzept die sechs fehlenden Becken gegenüber der Einzelbetrachtung durch Aufforstung, Waldumbau und Gewässer- bzw. Moorrenaturierung ausgeglichen werden können. Dabei wird der Hochwasserscheitel durch die Maßnahmenkombinationen bei beiden Ereignissen um ca. drei Stunden verzögert.

Tab. 3: Wirksamkeiten verschiedener dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen im nördlichen Teileinzugsgebiet der Windach (65 km²) beim HQ₅ und HQ₅₀, Einzelbetrachtung und Maßnahmenkonzept

Maßnahme	Scheitelabminderung in %	
	HQ5	HQ50
Einzelbetrachtung:		
Reale Landnutzung (48 % Grünland, 28 % Wald, 17 % Acker):		
Dezentrale Kleinrückhalte (19 Becken)	20	9
Renaturierung der Zuflüsse ohne Auwald	6	2
Renaturierung der Zuflüsse mit Auwald	6	5
Aufforstung (10%), primär Fichtenbestände	3	0
Aufforstung (um 10 %), gesamter Wald naturnah	6	2
Aufforstung (auf 95 %), gesamter Wald naturnah	26	10
Konservierende Bodenbearbeitung (gegenüber konventioneller Bodenbearbeitung mit Verschlämmung)	< 1	0
Rückbau Dränagen	< 1	0
Extensivierung der Landwirtschaft	3	< 1
Renaturierung von Moorflächen	6	2
Landnutzungsszenario: 95 % Ackerfläche:		
konservierende Bodenbearbeitung (gegenüber konventioneller Bodenbearbeitung mit Verschlämmung)	8	1
Maßnahmenkonzept:		
Teile des Maßnahmenkonzepts:		
a) 10 % Aufforstung (gesamter Wald naturnah)	6	2
b) a) + ein renaturiertes Moor	6	3
c) b) + 13 dezentrale Kleinrückhalte	17	10
Gesamtes Maßnahmenkonzept:		
10 % Aufforstung (gesamter Wald naturnah), ein renaturiertes Moor, 13 dezentrale Kleinrückhalte, Gewässerrenaturierung mit Auwald	19	11

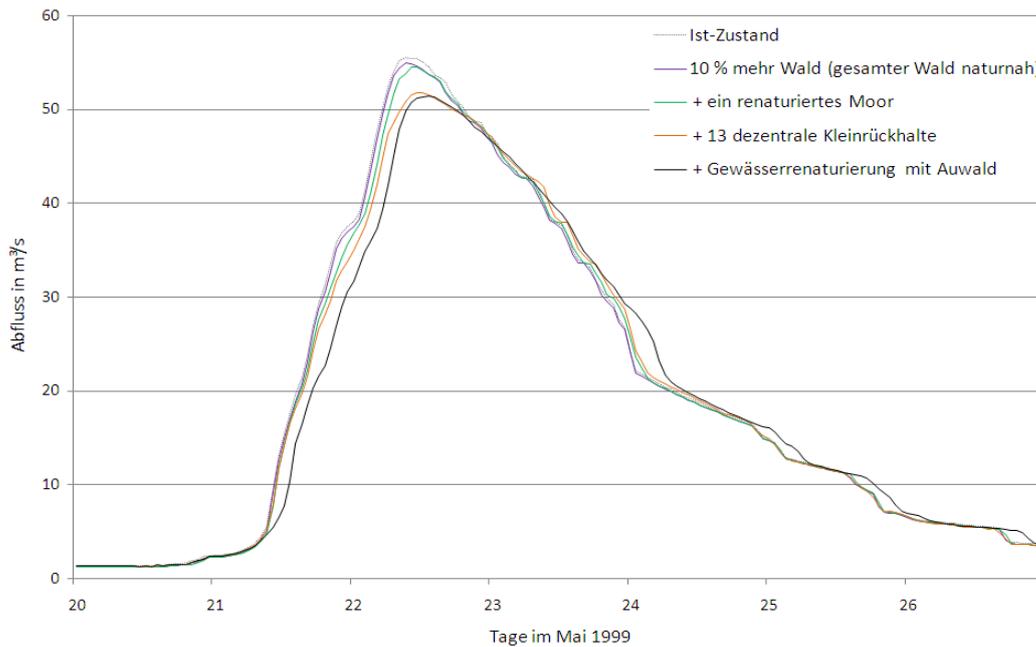


Abb. 5: Wirksamkeit von Teilen des Maßnahmenkonzepts und des gesamten Maßnahmenkonzepts beim HQ_{50} , Abflussganglinie am Pegel Greifenberg ($A_{EZG} = 124 \text{ km}^2$)

6. Schlussfolgerungen

Die prozessorientierte Simulation des dezentralen Hochwasserschutzes stellt auf Grund der Maßnahmenvielfalt hohe Anforderungen an die Modellierung. In Wasserhaushaltsmodellen ist dabei die Bodenparametrisierung von besonderer Bedeutung, die je nach Datengrundlage große Unsicherheiten enthalten kann. Die Kalibrier- und Validierungsergebnisse sowie die gute Parametrisierbarkeit sämtlicher im ländlich geprägten Einzugsgebiet realisierbarer dezentralen Hochwasserschutzmaßnahmen lassen den gewählten kombinierten Modellansatz als sinnvoll erscheinen. Dabei sind das Preprocessing und die zweidimensionalen Berechnungen mit einem erheblichen zeitlichen Aufwand verbunden.

Die Wirksamkeit des dezentralen Hochwasserschutzes ist zum einen sehr vom Flächenanteil der jeweiligen Maßnahmen im Einzugsgebiet abhängig, zum anderen vom Hochwasserereignis an sich. Dem Boden ist dabei eine größere Bedeutung zuzuschreiben, als der Vegetation darüber. Die Chancen dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen liegen vor allem bei geringeren Hochwasserereignissen mit trockenen Vorbedingungen. Bei selteneren Hochwasserabflüssen sind gerade die infiltrationsfördernden Maßnahmen kaum wirksam. Integrierte Maßnahmenkonzepte können auch bei diesen Ereignissen noch zu merklichen Scheitalminderungen führen, wobei dezentrale Kleinrückhaltebecken innerhalb solcher Konzepte bei entsprechendem Gesamtretentionsvolumen die größte Wirkung zeigen. Gerade wenn eine zentrale Maßnahme nicht umsetzbar ist, sind dezentrale Hochwasserschutzmaßnahmen ein wichtiger Schutz in kleineren Teileinzugsgebieten und sollten auf Grund der Synergieeffekte und zur Entlastung der zentralen Maßnahmen in jedem Falle umgesetzt werden.

Literatur

- BGR (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung der Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden. Herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover
- BAUER, C. (2004): Bestimmung der Retentionspotentiale naturnaher Maßnahmen in Gewässer und Aue mit hydraulischen Methoden. Endbericht, Kasseler Wasserbau- Mitteilungen, Heft 16
- BRONSTERT, A., BLUME, T., FRANCKE, T. & D. NIEHOFF (2008): Möglichkeiten des Hochwasserrückhalts im Einzugsgebiet: Ergebnisse aus dem Rhein- und Illergebiet. In d. Schriftenreihe des Instituts für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr München, Heft 100
- KOELER, G. (2007): Dezentraler Hochwasserschutz: Einführungen und Grundlagen. Seminar ‚Dezentraler Hochwasserschutz‘, 4.-5. Juni 2007, Leipzig, Heft 19.07, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Hennef
- KREITER, T. (2007): Dezentrale und naturnahe Retentionsmaßnahmen als Beitrag zum Hochwasserschutz in mesoskaligen Einzugsgebieten der Mittelgebirge. Universität Trier, Fachbereich für Geographie und Geowissenschaften
- MARENBACH, B. (2002): Der Beitrag naturnaher Retentionsmaßnahmen in den Talauen zur Hochwasserdämpfung. Mitteilung des Fachgebiets Wasserbau und Wasserwirtschaft der Universität Kaiserslautern
- NUJIC, M. (2006): HYDRO_AS-2D – Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die Wasserwirtschaftliche Praxis. Benutzerhandbuch der HYDRO_AS-2D Software
- RIEGER, W. & M. DISSE (2008): Wasserrückhalt in der Fläche - Möglichkeiten und Grenzen des dezentralen Hochwasserschutzes, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 52. Jahrgang, Heft 5
- SCHULLA, J. (1997): Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. Dissertation am Geographischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Züricher Geographische Schriften, Heft 69
- SCHWALLER, G., TÖLLE, U. (2005): Einfluss von Maßnahmen der Gewässerentwicklung auf den Hochwasserabfluss. - Bayerisches Landesamt f. Wasserwirtschaft, München
- WAHREN, A., SCHWÄRZEL, K., FEGER, K.H., MÜNCH, A. & I. DITTRICH (2007): Identification and model based assessment of the potential water retention caused by land-use changes. *Advances in Geosciences*, 11, pp. 49-56

Bias-Korrekturmodelle im Vergleich: Eine Bewertung im Kontext der hydrologischen Klimafolgenforschung

Enno Nilson, Maria Carambia, Peter Krahe, Claudia Rachimow, Jules Beersma

Zusammenfassung

Globale und regionale Klimamodelle stellen ein zentrales Werkzeug der hydrologischen Klimafolgenforschung dar. Wie alle Modelle haben Klimamodelle einen Bias. Für den Einsatz der Ergebnisse aktueller dynamischer Klimamodelle in der hydrologischen Modellierung ist eine Bias-Korrektur unumgänglich. Der Vergleich unterschiedlich komplexer Korrekturmodelle zeigt, dass schon recht einfach implementierbare Ansätze eine erhebliche Reduktion des Bias bewirken können.

Bei der Interpretation der korrigierten Daten sind jedoch die spezifischen Einsatzbereiche (z.B. Mittelwerte, Extremwerte) der unterschiedlichen Bias-Korrekturmodelle zu beachten. Ferner ist zu prüfen wie sich die Korrektur "unerwünschter" Charakteristika der Klimamodelle (d.h. des Bias) auf die "erwünschten" Eigenschaften (Variabilität, Änderungssignal, Konsistenz zwischen meteorologischen Variablen) auswirken.

1. Einleitung

Der Wasserhaushalt in den Einzugsgebieten der Bundeswasserstraßen und ihrer Nebengewässer unterliegt veränderlichen Randbedingungen. Neben anthropogenen Einflüssen z.B. durch wasserwirtschaftliche Maßnahmen sind Schwankungen hydrometeorologischer Größen bedeutend, die durch den natürlichen und möglicherweise anthropogen verstärkten Klimawandel bedingt sind.

Aussagen zur zukünftigen Klimavariabilität werden anhand von Klimamodellen gewonnen. Die globale und regionale Klimamodellierung und Klimafolgenforschung haben in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte erzielt. Richtungweisend sind in diesem Zusammenhang insbesondere das „Coupled Model Intercomparison Project“ (CMIP, 2009), das u.a. eine Vielzahl globaler Klimaprojektionen für die Sachstandsberichte des IPCC zusammenstellt (z.B. IPCC, 2007), sowie die europäischen Projekte STARDEX (2005), PRUDENCE (2007) und ENSEMBLES (2009), die zahlreiche regionalisierte Klimaprojektionen bereitgestellt haben. Als ein wesentliches Ergebnis dieser und weiterer nationaler Projekte liegt nun eine Vielzahl von Klimasimulationen für Mitteleuropa vor (Abbildung 1), die auf unterschiedlichen Modellen und Modellkonzepten (statistisch/dynamisch) basieren und so eine immer bessere Analyse der vorhandenen Unsicherheiten erlauben.

Per Definition repräsentiert ein Modell eine Abstraktion eines zu simulierenden Systems. Mit Blick auf dynamische Klimamodelle ist daher nicht zu erwarten, dass simulierte meteorologische Variablen, die an Stationen beobachteten Werte exakt reproduzieren. Die systematische Abweichung (der Bias) zwischen Modell und Realität ist somit ein integraler Bestandteil der „Modellwelt“. Er variiert von Klimamodell zu Klimamodell, ist aber i.d.R. so groß, dass die simulierten hydrometeorologischen Felder nur mit einer Korrektur als Eingangsgrößen in Impactmo-

dellen - z.B. hydrologischen Modellen - verwendet werden können. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Bias-Korrekturmodelle erarbeitet.

Dieser Beitrag stellt aktuelle Ergebnisse aus Vergleichsexperimenten mit unterschiedlich komplexen Bias-Korrekturmodellen für Fallstudiengebiete im Rheineinzugsgebiet vor. Die Experimente werden im Rahmen des KLIWAS-Projektes¹ "Wasserhaushalt, Wasserstand, Transportkapazität" (NILSON, 2009) sowie des Projektes "RheinBlick2050" der Internationalen Kommission zur Hydrologie des Rheins (GÖRGEN et al., in Vorbereitung) durchgeführt.

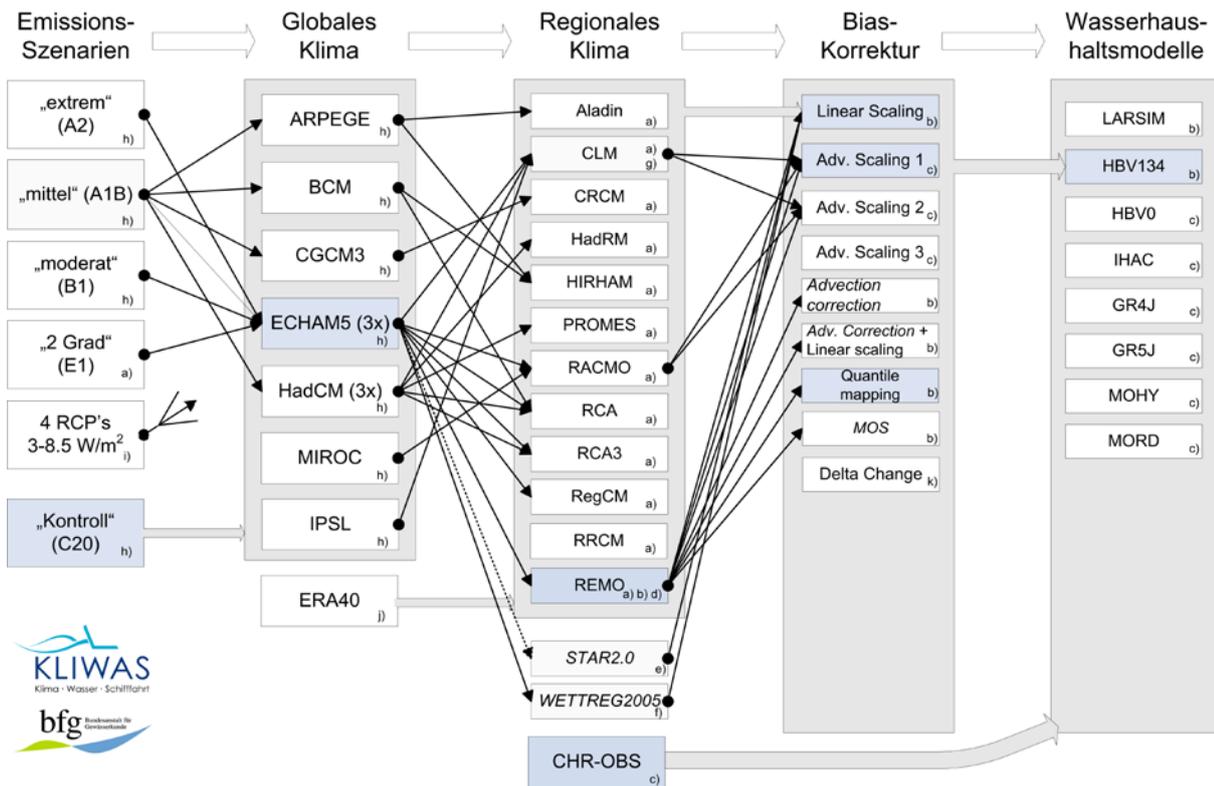


Abb. 1: Modellkette und jeweils verwendete Datengrundlagen für den verfolgten Multi-Modell-Ansatz (nach NILSON et al., 2010, im Druck). Die grauen Boxen fassen Datenressourcen zusammen, deren weitere Prozessierung einheitlich erfolgt (grauer Pfeil). Die Auswahl der Wasserhaushaltsmodelle bezieht sich auf das Rheingebiet. Die blauen Boxen heben die im vorliegenden Beitrag behandelten Daten hervor (vgl. Abschnitt 2). Quellen: (a) EU-ENSEMBLES, (b) BMVBS-KLIWAS, (c) Kommission zur Hydrologie des Rheins, (d) MPI-M-UBA, (e) PIK-STAR, (f) CEC-UBA, (g) BMBF-CLM, (h) CMIP3/IPCC_AR4, (i) CMIP5/IPCC_AR5, (j) ECMWF, (k) ETHZ.

¹ Teil des durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung geförderten Ressortforschungsprogrammes KLIWAS (BMVBS, 2009).

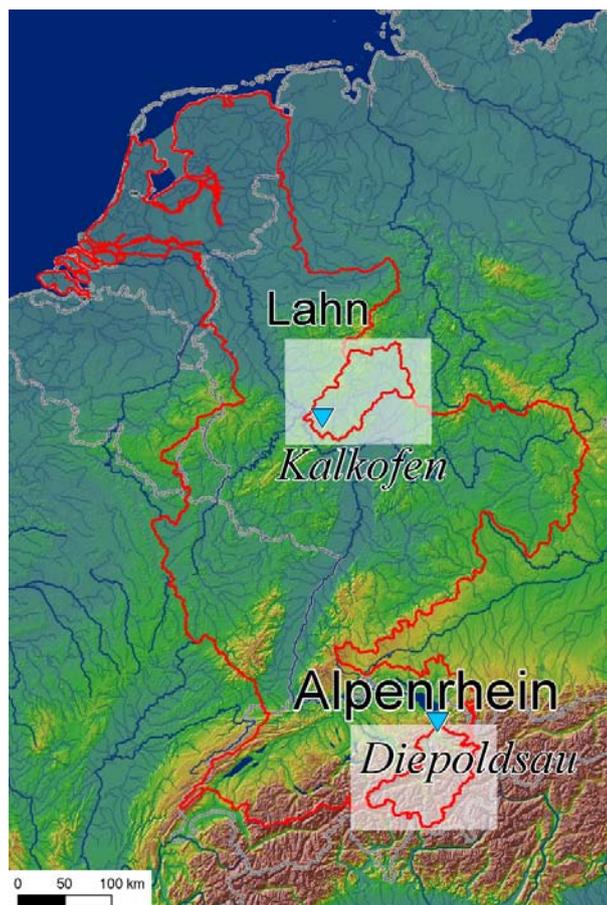


Abb. 2: Rheingebiet mit Fallstudiengebieten "Alpenrhein" und "Lahn".

2. Datengrundlagen

Aus den in Abbildung 1 dargestellten Datengrundlagen wird der Kontrolllauf einer in der deutschen Klimafolgenforschung oft verwendeten Modellkombination ausgewählt (Modellkette C20-EH5r1-REMO²). Der Bias wird durch den Vergleich der simulierten hydrometeorologischen Daten mit Beobachtungsdaten (hier: CHR-OBS; KRAHE et al., unveröffentlicht) im Zeitraum 1961 bis 1990 ermittelt. Simulierte und beobachtete Daten liegen als Gebietsmittel für 134 Teileinzugsgebiete des Rheins vor.

Die Gliederung entspricht den Modellgebieten des semi-distributiven konzeptionellen hydrologischen Modells HBV (EBERLE et al., 2005), mit dem die Folgen des Bias und der unterschiedlichen Bias-Korrekturen für simulierte Abflüsse abgeschätzt werden. Exemplarische Ergebnisse werden für die in Abbildung 2 dargestellten Teileinzugsgebiete "Alpenrhein" ($A_{EO} \sim 5900 \text{ km}^2$ mit Pegel Diepoldsau) und "Lahn" ($A_{EO} \sim 5500 \text{ km}^2$ mit Pegel Kalkofen) vorgestellt. Diese Gebiete unterscheiden sich hinsichtlich der hydrometeorologischen und hydrologischen Rahmenbedingungen stark und eignen sich daher in besonderer Weise für Vergleichsexperimente.

² REMO-10km, angetrieben durch Lauf 1 des globalen Klimamodells ECHAM5 mit Ozeanmodell MPIOM unter Berücksichtigung beobachteter Änderungen der Treibhausgaskonzentrationen des 20. Jahrhunderts ("C20", genauer "20C3M"). Downscaling im Rahmen des "UBA-Projektes" durch das Max-Planck-Institut für Meteorologie (JACOB et al., 2008).

3. Der Bias regionaler Klimaprojektionen und hydrologische Wirkungen

Der Bias, der in der genannten Modellkette (Abbildung 1) auf Ebene der hydrologischen Modelle zum tragen kommt, setzt sich zusammen aus dem spezifischen Bias des globalen und des regionalen Klimamodells. Abbildung 3 (oben; rote und schwarze Linie) veranschaulicht die Abweichung der Kombination C20-EH5r1-REMO von den Beobachtungen exemplarisch anhand der Summenhäufigkeit der Tagesniederschlagshöhen im Zeitraum 1961-1990.

Für den Alpenrhein zeigen sich fast über das gesamte Spektrum der Tagesniederschläge Überschätzungen. Dagegen nehmen sich die Abweichungen im Mittelgebirgsbereich "Lahn" in dieser Darstellung gering aus. Detaillierte Auswertungen auf Monatsbasis (hier nicht dargestellt) ergeben jedoch auch für die Lahn nennenswerte Abweichungen von bis zu -40% bis +20% für einzelne Monate. Ebenso variiert der Bias je nach meteorologischer Größe (vgl. KRAHE et al., 2009).

Abbildung 3 (unten; rote, graue und schwarze Linie) zeigt, dass der Bias im Alpenrheingebiet so hoch ist, dass das tatsächliche Spektrum der täglichen Abflüsse nicht getroffen wird. Es ist zu erwarten, dass somit auch die Auswirkungen der simulierten zukünftigen Klimaänderungen in einem falschen Abflussregime simuliert werden. Korrekturen sind daher notwendig.

4. Biaskorrekturmodelle und hydrologische Wirkungen

Während die Korrektur von Temperaturen linearen Ansätzen folgt (hier nicht dargestellt), wurden für Modellierung und Korrektur des Bias von Niederschlägen verschiedene, auch nicht-lineare Verfahren entwickelt (LENDERINK et al., 2007; LEANDER & BUIHAND, 2007; TE LINDE et al., 2010; Zusammenstellung in GÖRGEN et al., in Vorbereitung; Tabelle 1).

Tab. 1: Übersicht unterschiedlicher Biaskorrekturmodelle für Niederschlag (P).

Abk.	Methode	Allg. Form	Raumbezug	Zeitbezug	Statistischer Bezug
LS	Linear Scaling	$P^* = a \times P$	134 Teileinzugsgebiete	monatlich	Mittelwert der Niederschlagshöhe
AS1	Advanced Scaling1 "cv1_lim2"	$P^* = a \times P^b$	134 Teileinzugsgebiete	5-Tagesperioden (d.h. 73 Schätzungen pro Jahr) unter Berücksichtigung von 30 Tagen davor und danach	Mittelwert und Variationskoeffizient der Niederschlagshöhe
QM	Quantile Mapping	$P^* = \sum_1^4 a_i \times e^{-b_i \times P}$	134 Teileinzugsgebiete	monatlich	Gesamte Verteilung der täglichen Niederschlagshöhe (bezogen auf Tage mit $P > 0.1$ mm)

Die einzelnen Korrekturverfahren für Niederschläge unterscheiden sich in der Komplexität und dem Grad der Anpassung der simulierten an die beobachteten Werte. Das einfachste Verfahren ist ein linearer Skalierungsansatz (LS), in dem lediglich ein Koeffizient a geschätzt wird. Die Schätzung erfolgt in diesem Fall für jedes der 134 Teileinzugsgebiete des Rheins und für jeden Monat separat. Der Koeffizient ergibt sich als Quotient von vieljährigen monatlichen Mittelwerten der beobachteten und simulierten Niederschlagshöhen. Ein nicht-lineares Verfahren (AS1) schätzt zwei Koeffizienten a und b , wobei die Abweichungen zwischen Kontrolllauf und Be-

obachtung hinsichtlich des Mittelwertes und des Variationskoeffizienten minimiert werden. Die Schätzung erfolgt dabei für die 134 Teileinzugsgebiete, jedoch nicht für Monate, sondern für 5-Tagesperioden (d.h. 73 Schätzungen pro Jahr) unter Berücksichtigung von 30 Tagen davor und danach. Das hier verwendete "Quantile Mapping" (QM) schätzt 8 Koeffizienten, um die gesamte Verteilung der Niederschläge eines Monats des Kontrolllaufes mit einer Funktion (hier: Summe von e-Funktionen) an die beobachtete Verteilung heranzuziehen. Die Schätzung erfolgt erneut monatsweise für 134 Teileinzugsgebiete.

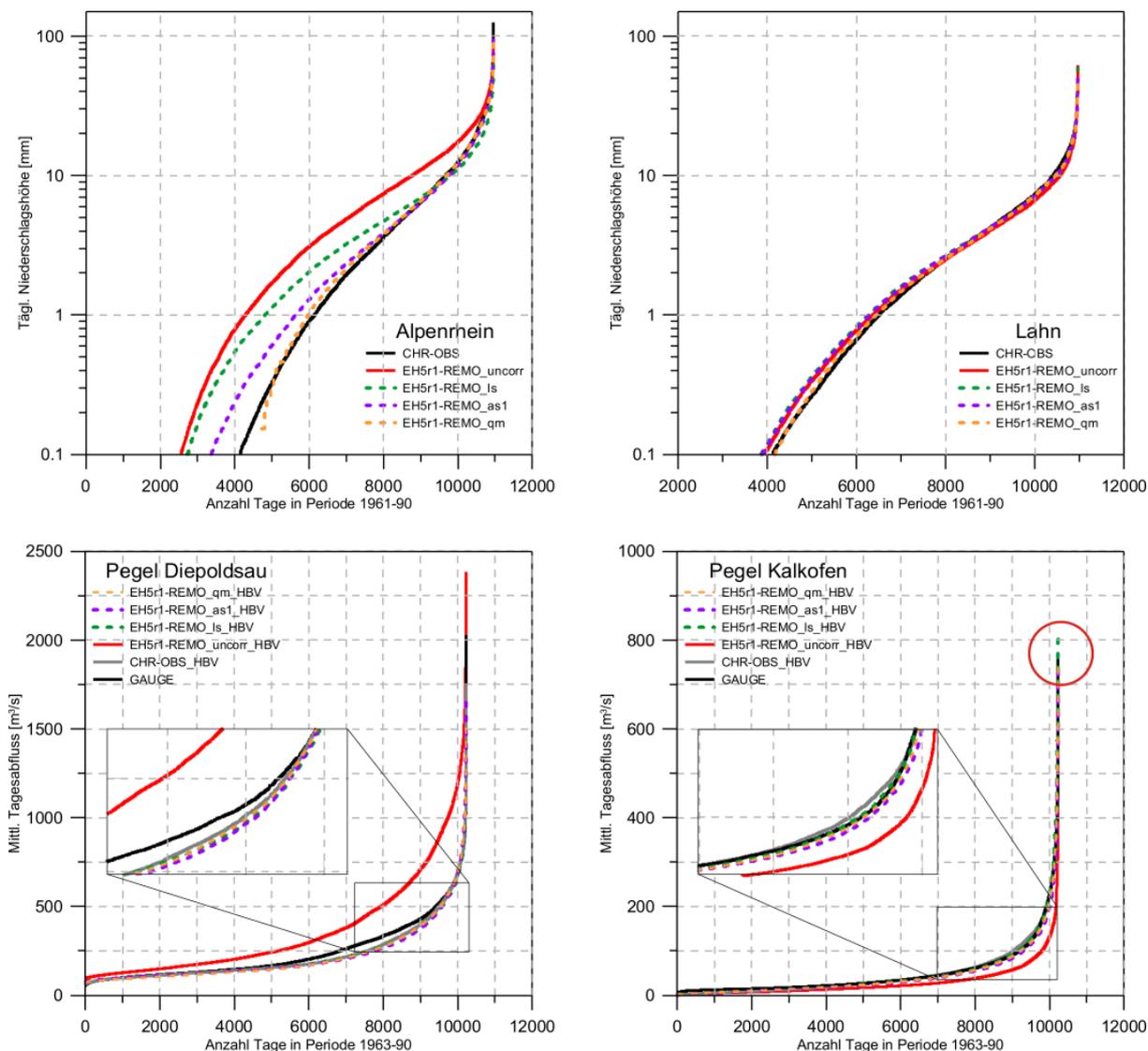


Abb. 3: Auswertungen für die Fallstudiengebiete Alpenrhein ([links](#)) und Lahn ([rechts](#)). Oben: Vergleich beobachteter Niederschläge (schwarz, CHR-OBS, KRAHE et al., unveröffentlicht), unkorrigierter simulierter Niederschläge (rot, basierend auf Modellkette C20-EH5r1-REMO), und korrigierter simulierter Niederschläge (versch. Biaskorrekturmodelle). Zeitraum: 1961-1990. Unten: Hydrologische Simulationen basierend auf den genannten Niederschlägen sowie weiteren hydrometeorologischen Feldern (Temperatur, Sonnenscheindauer, unkorrigiert und korrigiert). Zeitraum: 1963-1990 (aufgrund der Modellinitialisierung verkürzt). Der rote Kreis zeigt eine durch ein Bias-Korrekturmodell bewirkte Überschätzung extremer Abflüsse an (vgl. Text).

Zusammengefasst steigt die Komplexität (1 bis 8 Koeffizienten) und der Grad der Anpassung (Mittelwerte bis gesamte Verteilung) in Tabelle 1 von oben nach unten an. Insbesondere der Grad der Anpassung der simulierten Daten an die beobachteten bestimmt den hydrologischen Anwendungsbereich. Die in Abbildung 3 dargestellten Summenhäufigkeiten zeigen beispielsweise, dass LS-Verfahren zur Überschätzung von Extremen führen können. Dies hängt von der Bias-Charakteristik ab und tritt in Gebieten und bei Modellkombinationen mit einem "Trocken-Bias" auf (s. grün gestrichelte Linie an der Lahn, unten rechts).

In den Extremen sind nicht-lineare Verfahren prinzipiell überlegen. Eingeschränkt gilt dies jedoch in Bereichen der Verteilung, die nur schlecht durch Niederschlagsbeobachtungen abgedeckt sind. Bei Tageswertbetrachtungen ist dies der Bereich oberhalb des 99. Quantils, für den auch in 30-jährigen Auswertungen kaum Beobachtungen vorliegen.

Über weite Teile des Abflussspektrums zeigen sich vergleichsweise geringe Unterschiede zwischen den Verfahren. In den mittleren und niedrigen Abflussbereichen wird schon durch einfache, lineare Ansätze eine weitgehende Annäherung der simulierten Verteilung an die beobachtete erreicht. Die Analysen zur Wirkung der Bias-Korrekturverfahren auf Kennwerte extremer Abflüsse (vor allem Hochwasser) sind derzeit noch in Bearbeitung und können hier noch nicht diskutiert werden.

5. Fazit

Dynamische Klimamodelle sind ein unverzichtbares Werkzeug zur Projektion des Klimawandels auf langen Zeitskalen unter potentiell stark veränderten atmosphärischen Randbedingungen (Treibhausgaskonzentrationen). Die Klimafolgenforschung ist auf dieses Werkzeug angewiesen.

Der Bias aktueller Klimamodelle ist in einer Größenordnung, die Bias-Korrekturen als Präprozessierungsschritt der hydrologischen Modellierung unumgänglich macht. Legt man die Anpassung zwischen Kontrollsimulation und Beobachtung als einziges Qualitätskriterium an, leisten alle Korrekturmodelle "gute" Dienste. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Wahl des Korrekturverfahrens auf die jeweilige Fragestellung (Mittelwerte, Extremwerte) abzustimmen ist. Ebenso wie die Wahl des Klimamodells, hat auch die Wahl des Korrekturmodells somit eine subjektive Komponente.

Ungeklärt ist derzeit noch, inwieweit die Klimaänderungsinformation und die Konsistenz zwischen verschiedenen meteorologischen Größen durch die Biaskorrektur verändert wird und inwieweit die Gültigkeit der Korrekturfaktoren für die Zukunft gegeben ist. Entsprechende Untersuchungen werden im Rahmen des KLIWAS-Projektes durchgeführt. Dabei werden weitere Korrekturverfahren einbezogen.

Literatur

- BMVBS (2009): KLIWAS - Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland - Tagungsband der ersten KLIWAS - Statuskonferenz. 166 S.
- CMIP (2009): Coupled Model Intercomparison Project. URL: <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/>
- EBERLE, M. et al. (2005): Hydrological Modelling in the River Rhine Basin, Part III – Daily HBV Model for the Rhine Basin. Bericht BFG-1451. Koblenz. 193 S
- ENSEMBLES (2009): Climate change and its impacts at seasonal, decadal and centennial timescales. Abschlussbericht ENSEMBLES. 164 S
- GÖRGEN, K. et al. (in Vorbereitung): Assessment of Climate Change Impacts on Discharge in the International Rhine River Basin. KHR-Bericht
- IPCC (2007): Fourth Assessment – Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I of the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L. (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 S
- JACOB, D. et al. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland, Forschungsbericht 204 41 138, UBA-FB 000969. 159 S
- KRAHE et al. (unveröffentlicht): A hydrometeorological reference data set for the river Rhine. Federal Institute of Hydrology
- KRAHE, P. et al. (2009): Wirkungsabschätzung von Unsicherheiten der Klimamodellierung in Abflussprojektionen – Auswertung eines Multimodell-Ensembles im Rheingebiet. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Heft 5/2009. S. 316-331
- LEANDER, R. & T.A. Buishand (2007): Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. – Journal of Hydrology 332, S. 487-496
- LENDERINK, G. et al. (2007): Estimates of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. – Hydrol. Earth Syst. Sci. 11(3), S. 1145-1159
- TE LINDE, A.H et al. (2010): Simulating low-probability peak discharges for the Rhine basin using resampled climate modeling data. Water Resources Research, Vol. 46, W03512, doi:10.1029/2009WR007707.
- NILSON, E. (2009): Das KLIWAS-Projekt 4.01 "Hydrologie und Binnenschifffahrt" - Aufgaben und Zielstellung. In: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung [Hrsg.]: KLIWAS - Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Tagungsband der ersten KLIWAS Statuskonferenz 2009 in Bonn. S. 69-74.
- NILSON, E., et al. (2010, im Druck): Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. KLIWA-Heft zum vierten KLIWA Symposium in Mainz
- PRUDENCE (2007): Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects – PRUDENCE EVK2-CT2001-00132. Final Report. 269 S
- STARDEX (2005): Downscaling climate extremes. STARDEX Final report. 24S. http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/reports/STARDEX_FINAL_REPORT.pdf

Danksagung

Die Arbeiten erfolgen im Rahmen des Forschungsprogramms KLIWAS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) und Rheinblick2050 (Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes).

Die REMO-Daten wurden vom MPI-M in Hamburg im Auftrag des Umweltbundesamtes erstellt. Für die Bereitstellung der hydrologischen und meteorologischen Beobachtungsdaten sei den wasserwirtschaftlichen Behörden im internationalen Rheineinzugsgebiet sowie den jeweiligen nationalen Wetterdiensten gedankt.

Integrierte ökohydrologische Modellierung - vom Einzugsgebiet bis zum aquatischen Habitat

Nicola Fohrer, Birgit Schmalz, Jona Golon

Der anthropogene Einfluss auf aquatische Habitate in Fließgewässern ist vielschichtig und schwer abzuschätzen. Die Skala der Einflussgrößen reicht dabei von der Landnutzung im Einzugsgebiet hin bis zu Substrateigenschaften im Gewässerabschnitt. Integrierte ökohydrologische Modelle zur Abbildung aquatischer Habitate müssen daher sowohl wasserqualitätsrelevante Prozesse auf Einzugsgebietsebene als auch hydraulische Fließbedingungen im Gewässerabschnitt abbilden, um die Eignung für aquatische Lebewesen zu prüfen.

Zum Aufbau und Test eines ökohydrologischen Modellsystems nutzen wir das 50 km² große, ländlich geprägte Tieflandeinzugsgebiet der Kielstau im Norden Schleswig-Holsteins. Die Kielstau ist in weiten Abschnitten begradigt, weist aber auch noch naturnahe Fließabschnitte auf. Die Landnutzung ist durch Ackerbau und Grünlandflächen geprägt. Unsere Abteilung betreibt seit 2005 ein Wasserqualitätsmonitoring für Nährstoffe, Pflanzenschutzmittel und Sediment. Als Zielorganismengruppe für die Modellierung wurden die Makroinvertebraten ausgewählt.

Für die räumlich und zeitlich differenzierte Abbildung des Flusseinzugsgebiets und den Einflüssen der Landnutzung auf die Wasserqualität wurde das ökohydrologische Modell SWAT verwendet. Für die Modellierung der hydraulischen Fließeigenschaften wurde das Modell HEC-RAS mit dem Einzugsgebietsmodell gekoppelt. Feinstrukturen im und entlang des Gewässers werden im Feld kartiert und in ein geographisches Informationssystem überführt. Die aggregierte Habitateignung wird über sog. Habitateignungsfunktionen für Makroinvertebraten in die Betrachtung integriert. Erste integrierte Modellergebnisse am Beispiel der Kielstau werden vorgestellt.

Integrierte Modellierung urbaner Mikroverunreinigungen in der StadtHalle/Saale

Frido Reinstorf, Sebastian Leschik, Andreas Musolff, Gerhard Strauch, Monika Möder, Karsten Osenbrück, Mario Schirmer

Die urbane aquatische Umwelt wird verstärkt durch niedrig konzentrierte, jedoch hoch ökotoxikologische Substanzen wie Pharmaka, Duftstoffe und endokrin wirksame Substanzen verunreinigt. Diese so genannten Xenobiotika gelangen in die ober- und unterirdischen Gewässer hauptsächlich über die Kläranlagen und/oder durch Versickerungsprozesse von Abwasser aus defekter Kanalisation. Diese Kontaminationen sind ubiquitär und können einen Langzeiteinfluss auf das urbane Ökosystem und die menschliche Gesundheit ausüben.

In einem interdisziplinären Forschungsprojekt arbeiten wir am der Identifikation von urbanen Wasser- und Xenobiotika-Flüssen zur Risikobewertung solcher Wasserverunreinigungen. Das Ziel ist ein integriertes Werkzeug zur Modellierung des Transportes von Substanzen in der urbanen Umgebung. Prozesse von besonderem Interesse sind dabei der Transport im Oberflächenwasser, im Grundwasser und über die Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktionszone.

In einem ersten Schritt wurde ein Bilanzierungskonzept der Wasser- und Stoffflüsse für die Ein- und Austräge bezogen auf den Fluss Saale und des interagierenden Grundwassers im Stadtgebiet von Halle/Saale. Die Saale stellt dabei das Oberflächenwassersystem dar, in das laterale Zu- und Abflüsse während der Passage durch die Stadt erfolgen. Unter Verwendung der Indikatoren für den Xenobiotika-Eintrag wie Bisphenol-A, t-Nonylphenol, Carbamazepin, Galaxolide und Tonalid sowie den Isotopen ^{34}S -Sulfat und ^{15}N -Nitrat wurden die Fließwege und das Verhalten der genannten Substanzen untersucht. In der Stadt Halle liegen die gefundenen Konzentrationen der Indikatoren in Grundwasser und im Oberflächenwasser in der Größenordnung von ng/l und $\mu\text{g/l}$. Für die Stadt als Ganzes wurde ein Bilanzmodell aufgebaut. Die Berechnung der entsprechenden Stoffströme zeigt steigende Werte für die untersuchten Indikatoren während der Stadtdurchquerung. Die Massenflüsse von Carbamazepin und t-Nonylphenol steigen signifikant um einige 10 % sowie Galaxolide und Tonalid um einige 100 %. Lediglich Bisphenol-A stagniert innerhalb der Stadt.

Zur Untersuchung der Massenflüsse bei der Interaktion zwischen Grund- und Oberflächenwasser, wurden ein instationäres hydrodynamisches Flusslaufmodell der Saale und ein Grundwassertransportmodell erstellt und gekoppelt. Der Transport des Indikators Carbamazepin wurde simuliert. Gezielte Feld-Untersuchungen sollen zur Verbesserung und Differenzierung des Prozessverständnisses und der Modellparametrisierung beitragen.

Hyd³Flow - Integrierte hydrologische und hydro-numerische Modellsysteme für eine verbesserte Hochwasservorhersage

Stefanie Maßmann, Frauke Jakobs, Frank Sellerhoff, Jan Feldmann, Heiko Sieker, Carsten Lange, Yunchol Om, Reinhard Hinkelmann

Zusammenfassung

In Einzugsgebieten kleinerer und mittlerer Fließgewässer entstehen bei Starkregenereignissen Hochwasserschäden i. d. R. aus dem Zusammenwirken von drei Mechanismen: (1) Abflussprozesse im Gelände, (2) Abflussdynamik kleiner und mittlerer Fließgewässer im ländlichen und urbanen Raum sowie (3) Überlastung und Überstau im Kanalnetz. Diese drei Prozesse werden häufig getrennt oder nur unzureichend gekoppelt bearbeitet, da geeignete Werkzeuge fehlen. Die in den nächsten Jahren umzusetzende Europäische Hochwasserschutzrichtlinie erfordert in Zukunft eine verstärkte integrale Betrachtung dieser gekoppelten Prozesse. Daher haben sich drei Institutionen (smile consult GmbH, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH und TU Berlin, FG Wasserwirtschaft und Hydrosystemmodellierung) zusammengeschlossen, um eine generische Plattform zur „Kopplung hydrologischer, hydro-numerischer und hydro-informatischer Modellierungssysteme für eine verbesserte Hochwasservorhersage“ zu entwickeln. Das FuE-Kooperationsprojekt hat den Titel „Hyd³Flow“ und wird von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) gefördert.

1. Motivation

Numerische Simulationsmodelle haben sich zu wichtigen Werkzeugen in der Wasserwirtschaft und Hydrologie entwickelt (siehe Abbildung 1), um die

- Abflussprozesse im Gelände,
- die Abflussdynamik von Fließgewässern im ländlichen und urbanen Raum
- sowie die Überlastung und den Überstau im Kanalnetz abzubilden.

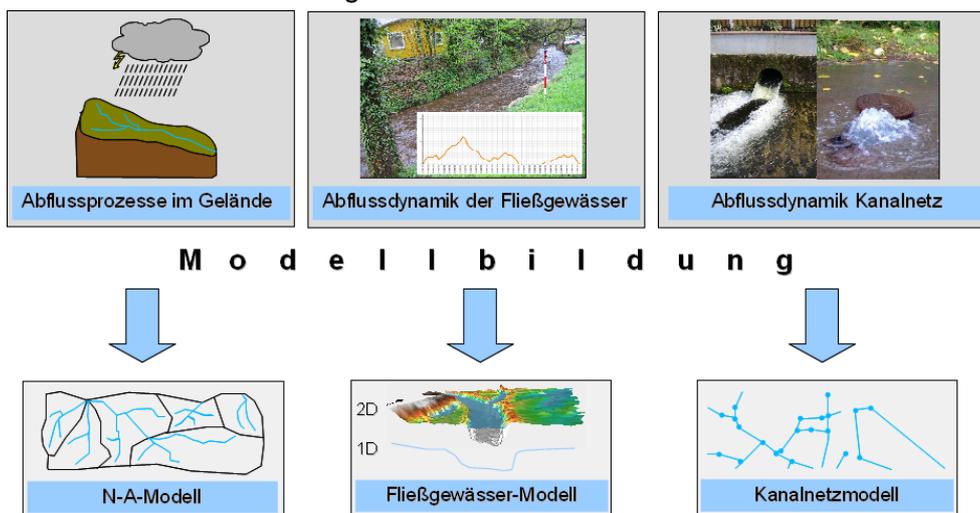


Abb. 1: Entwicklung unterschiedlicher Modellsysteme zur Abbildung von Abflussprozessen.

Die Vielzahl unterschiedlicher Modellsysteme dokumentiert national wie auch international den hohen Entwicklungsstand, sowie die Spezialisierung dieser Simulationsmodelle auf besondere Fragestellungen und Gegebenheiten. Ein aktuell und zukünftig großes Anwendungsgebiet solcher Modellsysteme befasst sich mit der Simulation von Hochwasserereignissen und, daraus abgeleitet, der Hochwasservorhersage. Die Gründe dafür liegen zum einen in den extremalen Hochwasserereignissen der letzten Jahre sowie zum anderen in dem Inkrafttreten der Europäischen Hochwasserschutzrichtlinie Ende 2007 (RICHTLINIE 2007/60/EG 2007). Im Zuge der Umsetzung dieser Richtlinie müssen Hochwasserrisiken für alle Einzugsgebiete bewertet (bis Ende 2011), Gefahren- und Risikokarten für Hochwasserrisikogebiete (bis Ende 2013) sowie Risikomanagementpläne (bis Ende 2015) aufgestellt werden. Eine verlässliche Basis zur Umsetzung dieser Richtlinie können nur integrale Betrachtungen der Modellierungssysteme bilden. Hierfür wird im Rahmen dieses Projektes das Framework Hyd³Flow als integrale Plattform entwickelt.

2. Modellkonzepte

Zur Analyse und Vorhersage der für die Hochwasservorhersage relevanten hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Prozesse kommen zurzeit verschiedene Modellkonzepte zum Einsatz. Dies liegt sowohl an den unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen als auch an den unterschiedlichen Charakteren der Prozesse.

Die hydrologischen und hydro-numerischen Modellierungssysteme sind im Rahmen von Hochwassersimulationen in ihren Teilbereichen bereits national sowie international weit entwickelt und etabliert, und sie sind in ihrem Umfeld mit entsprechenden leistungsfähigen hydroinformatischen Werkzeugen verknüpft. Hydrologische Modelle weisen insbesondere bei extremen Hochwasserereignissen erhebliche Schwächen bei der Berechnung der Abflussprozesse im Gewässer und der Überflutungsflächen auf, während hydro-numerische Modelle den Prozess der Abflussbildung im Einzugsgebiet nicht bzw. nur als grobe Näherung abbilden. Die Wechselwirkungen zwischen Fließgewässermodellierung und Kanalnetzmodellierung werden meist nicht erfasst. In diesen Bereichen weist der nationale und internationale Stand der Technik zur Modellierung von Hochwasserereignissen deutliche Defizite auf.

Im Folgenden werden die drei im Rahmen dieses Projektes berücksichtigten Modellsysteme vorgestellt.

2.1 Hydrologische Modellsysteme

Für Simulationen im Rahmen von Einzugsgebietsmodellierungen werden hydrologische Modellkonzepte verwendet, sog. Niederschlag-Abfluss-Modelle. Diese Modellkonzepte beruhen i. d. R. auf vereinfachten Ansätzen - konzeptionellen Modellansätzen - wobei die Fließgewässer ebenfalls über hydrologische oder eindimensionale hydro-numerische Ansätze abgebildet werden. Das Relief des Fließgewässers bzw. dessen Querschnitt geht hier nicht oder nur stark vereinfacht ein, so dass insbesondere bei extremen Hochwasserereignissen die tatsächlich ablaufenden Prozesse nicht mehr naturgetreu abgebildet werden können. Die oft komplexen Austauschvorgänge im Fluss-Vorland-System werden dabei gar nicht bzw. nicht ausreichend genau erfasst. Die Prognosesicherheit dieser Ansätze ist somit begrenzt. Hydrologische Model-

le diskretisieren das Modellgebiet auf einer groben Skala (z. B. Teileinzugsgebiete mit Größen von mehreren Quadratkilometern) und berechnen auf dieser Skala Ergebnisse, d. h. beispielsweise, dass nur ein Abfluss als integraler Wert für ein Teileinzugsgebiet auf der Basis des (gemessenen) Niederschlags berechnet wird. Eine flächendetaillierte Ausweisung von Überflutungsflächen, welche die Topographie und das Relief von Gelände und Gewässer differenziert berücksichtigen, ist mit hydrologischen Ansätzen i. d. R. nicht möglich. Hydrologische Modelle bilden den Prozess der Abflussbildung, d. h. der Transformation des Niederschlags durch das Einzugsgebiet unter Berücksichtigung von Evaporation, Versickerung und Gebietsrückhalt, plausibel ab, haben aber die o. g. Schwächen bei der Bestimmung der Abflusskonzentration.

Hydrologische Modelle sind rechentechnisch einfach und i. d. R. wenig rechenzeitaufwändig. Sie werden insbesondere bei großen Einzugsgebieten (viele hundert bis einige tausend Quadratkilometer) eingesetzt.

2.2 Hydro-numerische Fließgewässer-Modelle

Eine detailgetreue und naturnähere Wiedergabe der Dynamik von Hochwasserereignissen in Oberflächengewässern erfolgt mit zweidimensionalen hydro-numerischen Simulationsmodellen – auch hydraulische Modellierungssysteme genannt. Diese beruhen auf der numerischen Lösung der sog. Flachwassergleichungen z. B. basierend auf Finite-Elemente- oder Finite-Volumen-Methoden. Tiefenintegrierte hydrodynamische Berechnungen sind besonders geeignet für Überflutungsprozesse, da eindimensionale Betrachtungen häufig zu starke Vereinfachungen mit sich bringen (z. B. Interaktionen zwischen Fließgewässer und Vorland werden u. U. nicht hinreichend genau abgebildet) und dreidimensionale Modellierungen für die abzubildenden Prozesse im Allgemeinen nicht erforderlich sind sowie aufgrund der Rechenzeiten zurzeit praktisch nicht effizient darstellbar wären. Die Modelltechnik bei zweidimensionalen Verfahren ist im Vergleich zu den hydrologischen Ansätzen wesentlich komplexer. Dabei wird das Modellgebiet mit einem Gitternetz aus Dreiecks- oder Viereckselementen mit variablen Kantenlängen entsprechend den geographischen Gegebenheiten und der zu erwartenden Hydrodynamik diskretisiert. Vorteile dieser Modelltechnik sind: geometrische Strukturen des Vorlandes und der dortigen Überflutungsflächen werden detaillierter abgebildet und flächendetaillierte Ergebnisse zu Wasserständen, Überschwemmungsflächen sowie Fließgeschwindigkeitsverteilungen usw. können ermittelt werden. Dies wird unter anderem zusätzlich dadurch begünstigt, dass die zunehmende hochgenaue Beschreibung der Vorländer durch Laserscandaten und der Gewässersohle durch hochaufgelöste Fächerlotdaten zu höherwertigen digitalen Geländemodellen führt. Die wesentlich genauere Bestimmung der Strömungsprozesse im Interaktionsbereich Fließgewässer/Vorland, und die differenzierte Überströmungsberechnung von Deichen ist mit dieser Technik überhaupt erst möglich. Hydro-numerische Simulationsmodelle sind für die Modellierung von Fließgewässerabschnitten besonders geeignet, bei denen das Hochwasser primär aus der Weiterleitung der Hochwasserwelle am Gebietseinlass und dem daraus resultierenden Überlaufen des Gewässers aus seinem Bett samt Vorland resultiert. Die Abflussbildung aus dem Einzugsgebiet, d. h. das Niederschlagswasser, das dem Fluss aus dem Oberflächenabfluss zugeführt wird, wird in den hydro-numerischen Modellansätzen meist nicht oder nur näherungsweise über die Zuläufe kleiner Bäche berücksichtigt.

2.3 Hydro-numerische Kanalnetz-Modelle

Ähnliche Modellansätze, wie bei der Fließgewässermodellierung, werden auch im Bereich der Kanalisation verwendet. Dort ist die hydro-numerische Modellierung der Abflussprozesse im Kanal bereits seit Jahren Stand der Technik. Angewendet werden sowohl explizite als auch implizite numerische Verfahren zur Lösung der Flachwassergleichung. Aufgrund der meist deutlich einfacheren Geometrie der Gerinnequerschnitte gegenüber Fließgewässern, ist allerdings die eindimensionale Betrachtung ausreichend. Der Zufluss in die Kanalisation, d. h. der oberflächige Abfluss von den Siedlungsflächen wird, wie bei den Gewässern, durch hydrologische Modelle abgebildet. Rückkopplungseffekte von der Kanalisation zum Oberflächenwasser (z. B. eine überlaufende Kanalisation bei Hochwasser) werden in der Regel nicht erfasst. Normalerweise werden die Modellierungen von Fließgewässer und Kanalisation für Extremereignisse komplett separat durchgeführt.

3. Das Softwaresystem Hyd³Flow

Um die Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Abflussprozessen abzubilden, bedarf es einer integralen Betrachtung der spezialisierten Modellsysteme, wofür Hyd³Flow entwickelt wird. Das Framework Hyd³Flow verfolgt dabei einen generischen Ansatz welcher die Verwendung unterschiedlicher Modellgattungen und -systeme erlaubt. Über eine einheitliche Bedienung im Zuge des Preprocessings, Processings und Postprocessings wird die Arbeit des planenden Ingenieurs wesentlich unterstützt.

3.1 Preprocessing

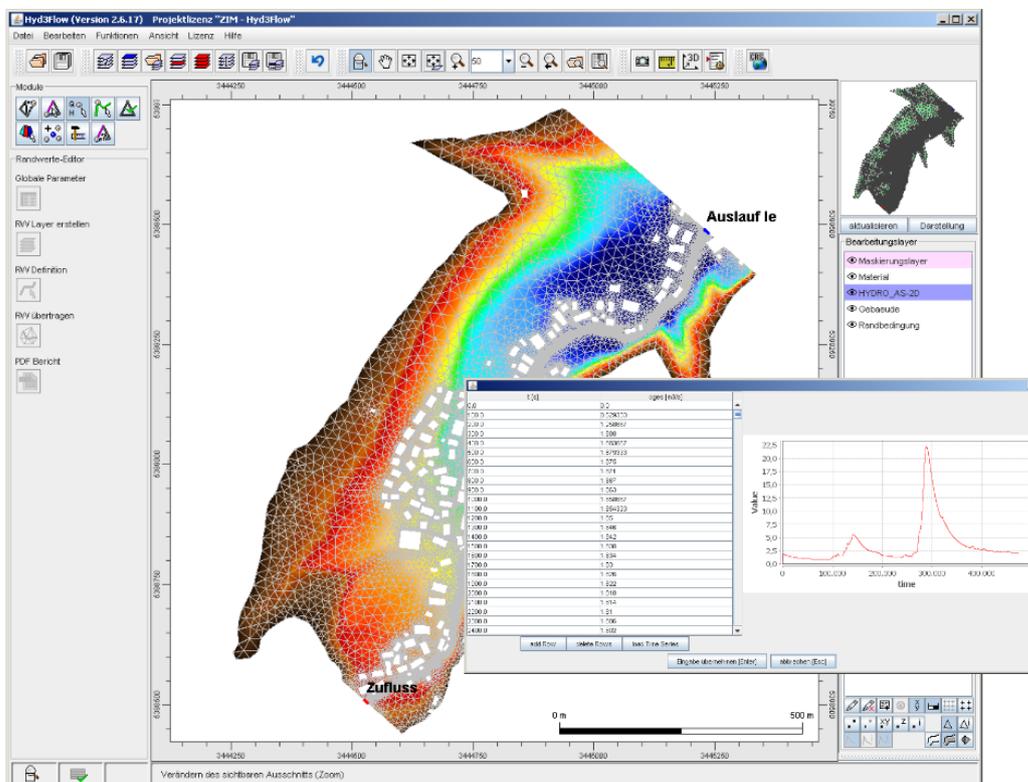


Abb. 2: Preprocessing in Hyd³Flow: Netzgenerierung und Randwerte-Editor.

Für den Modellaufbau werden unterschiedliche geometrische und physikalische Daten (digitale Geländemodelle, Laserscandaten, Gewässerprofile, Pegel­daten, Peildaten der Gewässersohle, Flächennutzungsdaten, Wasserstands- und Abflussmessungen etc.), zumeist unter Verwendung eines Geographischen Informationssystems (GIS) in ein einheitliches Datenmodell über­führt und weiterverarbeitet (z. B. Interpolation, Extrapolation, Ausdünnung von Daten, Bruch­kantenermittlung). Anschließend kann der Anwender mit der eigentlichen Gitternetzgenerierung beginnen, die die o. g. Informationen entsprechend berücksichtigen (z. B. hohe Auflösung im Fließgewässer und Vorland sowie im Bereich von Bruchkanten, wenige Elemente in großen Überflutungsflächen). Neben der geometrischen Modellbeschreibung müssen weitere Eigen­schaften wie z. B. Sohl- und Geländerauheiten berücksichtigt werden. Die Erzeugung geeig­neter Anfangs- und Randbedingungen für Wasserstände und Zuflüsse bilden den Abschluss des Preprocessings (vgl. Abbildung 2).

3.2 Modellkopplung

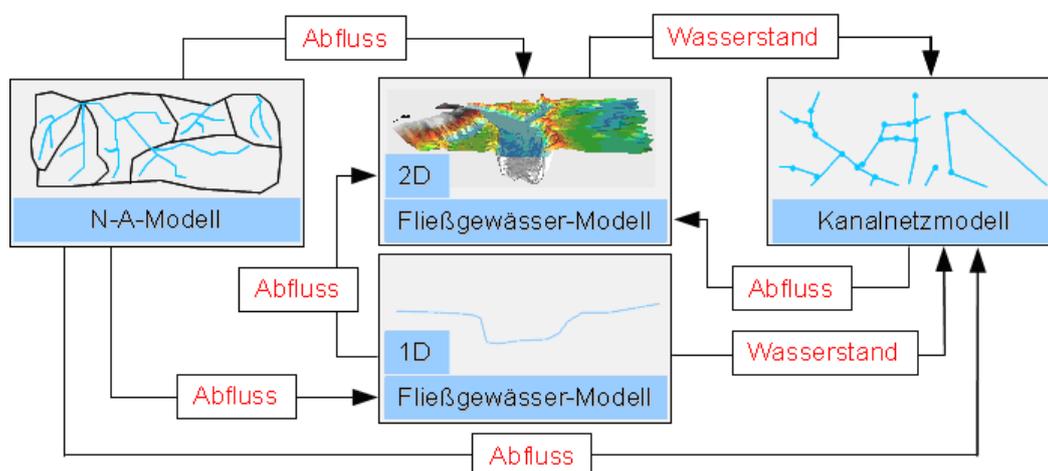


Abb. 3: Schema der Modellverknüpfungen: Übergabe der betrachteten Kopp­lungsgrößen.

Das Softwaresystem Hyd³Flow ermöglicht die Nutzung standardisierter Schnittstellen und Aus­tauschformate zur Kopplung bestehender Simulationsprogramme (z. B. STORM, HYDRO_AS-2D). Damit werden die zeitaufwendigen Datentransformationen zwischen unterschiedlichen Modellen und der Ablauf der Simulationsschritte (N-A-Modell, Fließgewässer, Kanalnetz) au­tomatisiert.

Die Steuerung der Simulation und die Datenübertragung erfolgen nach den Standards Sensor Planning Service (SPS) (SIMONIS 2007) und Sensor Observation Service (SOS) (PRIEST & NA 2007) des Open Geospatial Consortiums (OGC). Die verwendeten Modelle müssen nicht über eine SOS- und SPS-Schnittstelle verfügen; die Übersetzungsfunktion zwi­schen Modell und Austauschformat übernehmen entsprechende Module in Hyd³Flow. Externe Datenquellen, die über eine OGC-konforme Schnittstelle verfügen (z. B. Regenschreiber, Pegel­daten), können durch die Nutzung dieses Standards direkt eingebunden werden.

Vom Nutzer werden die an der Simulation beteiligten Modelle (vgl. Abbildung 3), der zeitliche Ablauf der Simulationsschritte, die Ein- und Ausgabeelemente und die Berechnungsparameter der einzelnen Modelle festgelegt. Aus diesen Eingaben generiert Hyd³Flow ein Ablaufschema,

das schrittweise abgearbeitet wird. Dazu gehören das automatisierte Erzeugen und Absenden der SOS- und SPS-Anfragen, die Prüfung der Verfügbarkeit der Modelle, das Starten der Simulationen, das Abrufen der Simulationsergebnisse und deren Weitergabe an das nächste Modell innerhalb der Kopplung.

Eingangsdaten und Simulationsergebnisse werden in Datenbanken abgelegt, auf die ein SOS-Dienst zugreift. Die Daten stehen damit lokal oder über eine Internetverbindung zur Abfrage im SOS-Standard zur Verfügung.

Wie flexibel in diesem Verfahren Modelle gekoppelt werden können, hängt stark von den verwendeten Simulationsprogrammen ab, da Hyd³Flow nicht in die modellinternen Abläufe eingreift. Gute Voraussetzungen für eine Kopplung bieten daher Simulationsprogramme, die das Speichern von Zwischenergebnissen ermöglichen und eine Veränderung von Randbedingungen während des Rechenlaufes zulassen.

3.3 Postprocessing

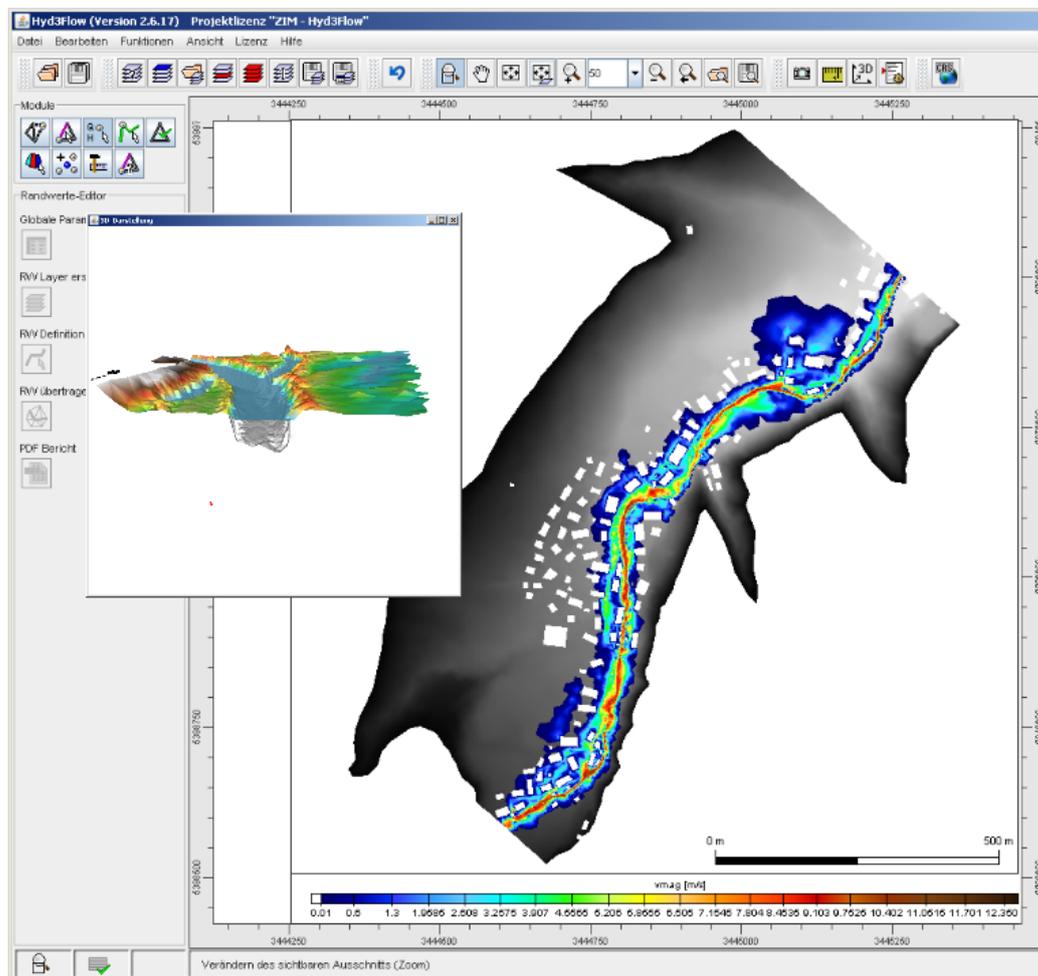


Abb. 4: Postprocessing in Hyd³Flow: Klassen der Strömungsgeschwindigkeiten flächig eingefärbt und 3D-Darstellung der geodätischen Höhe mit der freien Wasseroberfläche.

Während der Modellläufe sollte das numerische Modell nach Möglichkeit anhand von Naturdaten validiert werden. Der Vergleich mit Geschwindigkeitsmessungen (z. B. Flügelmessung oder

ADCP), mit Wasserspiegelfixierungen oder Pegelaufzeichnungen dokumentiert die Qualität der Modellierung und gibt Hinweise auf notwendige Iterationen der vorhergehenden Arbeitsschritte. Im Anschluss an die numerischen Modellläufe müssen große Mengen an Ergebnisdaten aufbereitet werden. Die relevanten Informationen (z. B. Überflutungsflächen, Hochwasserintensitäten, Vergleich unterschiedlicher Maßnahmen zur Verbesserung der Hochwassersituation) sind übersichtlich und ggf. auch für Nicht-Fachleute verständlich darzustellen (siehe Abbildung 4).

3.4 Szenarienmanagement

Bevor ein Modelllauf zu akzeptablen Ergebnissen kommt, müssen während der Modellvalidierung eine Vielzahl von Parametern, wie beispielsweise Diskretisierung, Rauheit u. a., in Parameterstudien untersucht werden. Die Beantwortung einer bestimmten Fragestellung bedarf oftmals einer großen Zahl von verschiedenen Modellläufen, um beispielsweise im Rahmen einer Risikoabschätzung ein ungünstiges Szenario zu identifizieren. Somit liegen mit der Zeit eine große Anzahl von verschiedenen Modellvarianten mit unterschiedlichen Diskretisierungen und Randbedingungen vor. Diese führen in Kombination zu einer Vielzahl von Ergebnissätzen und Auswertungen.

Ein geeignetes Szenarienmanagement stellt diese Informationen miteinander in Beziehung und zeigt die Verwendung und die jeweiligen Verknüpfungen auf. Neben der übersichtlichen Speicherung aller dieser Informationen ist insbesondere in der Recherchierbarkeit ein gewaltiger Zugewinn zu sehen, der es ermöglicht, das Zustandekommen der Ergebnisse bis hin zu den Eingangsinformationen zurückzuverfolgen. Darüber hinaus lassen sich Ergebnisse verschiedener Rechenszenarien einfach und schnell miteinander vergleichen. Basierend auf vorhandenen Ergebnissen und Modellen (Berechnungsgitter, Rauheitsgitter, Bauwerks-, Korngrößengitter etc.) können effizient neue Berechnungen gestartet werden.

Danksagung

Dieses Projekt wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Wir bedanken uns herzlich für diese Förderung und für die Unterstützung der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF)!

Literatur

- PRIEST, M. & NA, A. (2007): Sensor Observation Service, Implementation Standard, Version 1.0, OGC document 06-009r6.
- RICHTLINIE 2007/60/EG (2007): Hochwasserschutzrichtlinie, Europäisches Parlament, Rat.
- SIMONIS, I. (2007): Sensor Planning Service Implementation Specification, version 1.0.0, OGC document 07014r3.

Wandel vom Bergbau zur Seenlandschaft Gekoppelte GW-OW Modellierung zur Wasserhaushaltsprognose

Silke Mey, Bernd Pfützner, Stephan Chmielewski, Mike Müller, Dieter Wenske,
Andreas Schroeter, Matthias Kater, Christiane Uhlig

Zusammenfassung

Die Umstrukturierung der Mitteldeutschen und Lausitzer Braunkohlenreviere zu Seelandschaften bringt starke Eingriffe in den Wasserhaushalt mit sich. Die räumliche und zeitliche Ausprägung des Grundwasseranstiegs und daraus resultierende Vernässungsstandorte vor allem in Siedlungs- oder Industriegebieten sind für die genaue Planung von besonderem Interesse. Eine weitere wichtige Frage ist, ob die angestrebten Seewasserstände auch unter Berücksichtigung des steigenden Wasserbedarfs (erhöhte Verdunstung über den neu entstehenden großen Seenflächen) künftig gewährleistet werden können.

Um den Wandel vom Bergbau zur Seenlandschaft simulieren und die zu erwartende Wasserhaushaltssituation nach Beendigung der Auffüllungsphase der Seen prognostizieren zu können, wurden großräumige Modellierungen des gesamten Gebietswasserhaushalts durchgeführt. Dafür wurde das Niederschlagsabfluss- und Wasserhaushaltsmodell (ArcEGMO[®], Pfützner 2002) unter Nutzung eines detaillierten Ansatzes für die Beschreibung des Bodenwasserhaushalts inklusive der Vegetationswirkung (PSCN, Klöcking 2008) eingesetzt und eine Modellkopplung mit einem Grundwassermodell (wahlweise PCGEOFIM[®] Sames et al. (2008) oder MODFLOW (IHU-Weiterentwicklung auf Basis MODFLOW 88)) entwickelt. Die bereits bestehenden Grundwassermodelle für die jeweiligen Gebiete konnten so durch die Integration der zeitlich und räumlich differenzierten Grundwasserneubildung für die oben beschriebene Aufgaben qualifiziert werden.

1. Einführung /Fragestellung

Die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau – Verwaltungsgesellschaft, die seit 1994 die Aufgabe hat, die ehemaligen ostdeutschen Braunkohlengebiete wieder nutzbar zu machen, befasst sich u.a. mit der Umstrukturierung dieser Gebiete zu einer Seelandschaft. Die Gesamtfläche der Bergbaufolgeseen wird etwa 25.000 ha betragen. Der Geiseltalsee südlich von Halle wird dann mit einer Fläche von 18,4 km² der größte künstliche See und der zwölftgrößte See Deutschlands werden.

Die Auswirkungen des Braunkohlentagebaus auf die Landschaft waren bislang Grundwasserabsenkungen (GW-Defizit von 7. Mrd. m³ in der Lausitz und 5.7 Mrd. m³ in Mitteldeutschland), Pyritverwitterung infolge von Lufteintritten in entwässerte Schichten und Setzungserscheinungen. Mit der Umgestaltung zur Seenlandschaft sind dagegen einerseits regional starke Grundwasseranstiege (und damit teilweise Vernässungsgefahr in Siedlungen oder Industriestandorten) und andererseits erhöhte Seeverdunstung über die großen Wasserflächen und damit auch ein erhöhter Wasserbedarf zu erwarten.

Die großen Wassermengen, die für das Auffüllen der Seen benötigt werden, müssen aus den angrenzenden Grundwasserleitern bzw. Überleitungen aus den benachbarten Fließgewässern oder aus Sumpfungswässern des aktiven Bergbaus bereit gestellt werden. Auch nach Beendi-

gung des Restseeanstieges muss gewährleistet werden, dass die Wassermenge, die über die großen Seeflächen verdunstet, nachgeliefert und die angestrebten Seewasserstände eingehalten werden können.

Das Abflussvolumen der Fließgewässer kann durch die höhere Verdunstung in dem Einzugsgebiet und zusätzlich durch den Wegfall von Sumpfungswässern reduziert werden. So ist unter Berücksichtigung geänderter Flächennutzungen und der zu erwartenden Klimaänderungen einerseits die Gefahr des Wassermangels in Fließ- und Standgewässern und andererseits Vernässungen durch den Grundwasserwiederanstieg in neueren Siedlungsgebieten oder der Schadstoffausschwemmung auf Industriestandorten gegeben.

Die Entstehung neuer Seenlandschaften in den ostdeutschen Bergbaugebieten erfordert somit nicht nur genaue Planungen, sondern auch prognosefähige Modelle für die Vorhersage von Wasserhaushaltsänderungen, die mit dem Nutzungswandel eng verbunden sind.

2. Methodik

Diese Modelle müssen daher in der Lage sein, belastbare Ergebnisse über die Entwicklung der Grundwasserstände zu liefern, aus denen eine mögliche Vernässung in Siedlungsbereichen abgeleitet werden kann. Ebenso muss das Auffüllen der Seen, mit zunehmender Seeoberfläche und Verdunstungsverlusten simulierbar sein. Es wird also ein räumlich und zeitlich hoch aufgelöstes Gesamtmodell benötigt, das ausgehend von der meteorologischen Situation den gesamten Gebietswasserhaushalt beschreibt (siehe Abbildung 1), und dabei alle Wasserhaushaltskomponenten der heterogenen Einzugsgebiete über längere Zeiträume ermittelt und sowohl die Abflussbildung als auch die Strömungsverhältnisse im Grundwasser betrachtet.

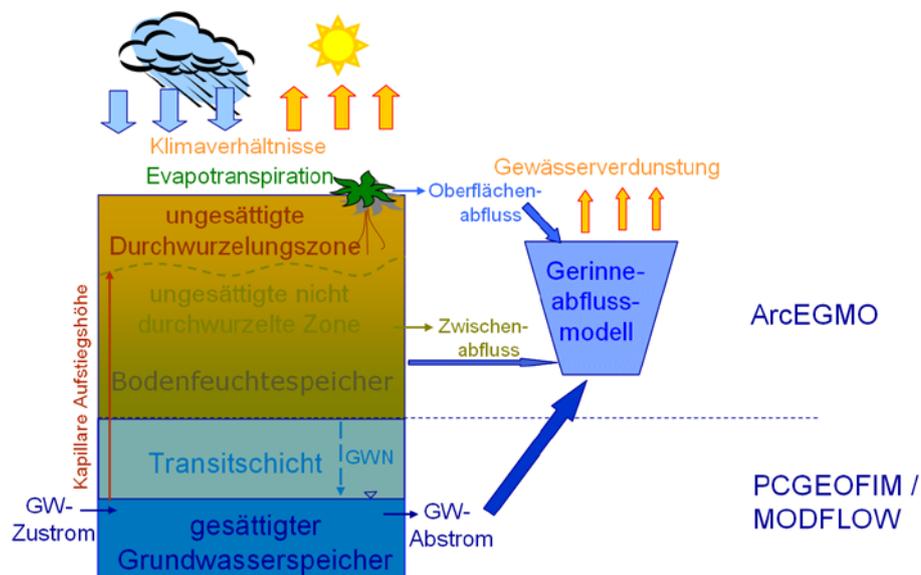


Abb. 1: Komponenten des Wasserhaushalts, die mit der Modellkopplung abgebildet werden

Um für verschiedene Gebiete die Oberflächeneigenschaften und das Grundwasser möglichst genau abzubilden, wurde das Wasserbilanzmodell ArcEGMO (www.arcegmo.de) mit bereits bestehenden Grundwassermodellen (PCGEOFIM und MODFLOW) gekoppelt. Mit diesen Werkzeugen kann unter Berücksichtigung der vorgesehenen Wasserbewirtschaftung die zu erwartende Gebietswasserbilanz physikalisch fundiert und belastbar sowie räumlich und zeit-

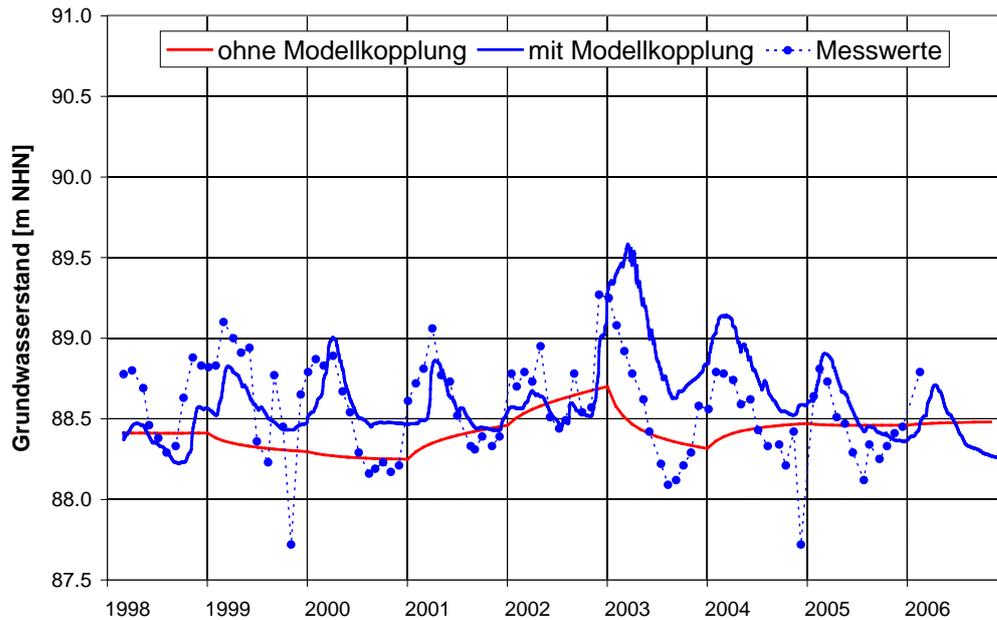


Abb. 3: Simulation der meteorologisch bedingten Grundwasserschwankungen mit und ohne Modellkopplung

Mit dieser Modellkopplung wurden bereits die Gebiete Bitterfeld-Gräfen-hainichen, Nord- und Südraum von Leipzig, Merseburg-Ost, Nach-terstedt und das Geiseltal erfolgreich modelliert.

3. Ergebnisse

Stellvertretend für die sieben Gebiete werden hier nur Einzelergebnisse vorgestellt, die für diese Untersuchungen typisch sind und ähnlich in jedem der Gebiete anzutreffen sind.

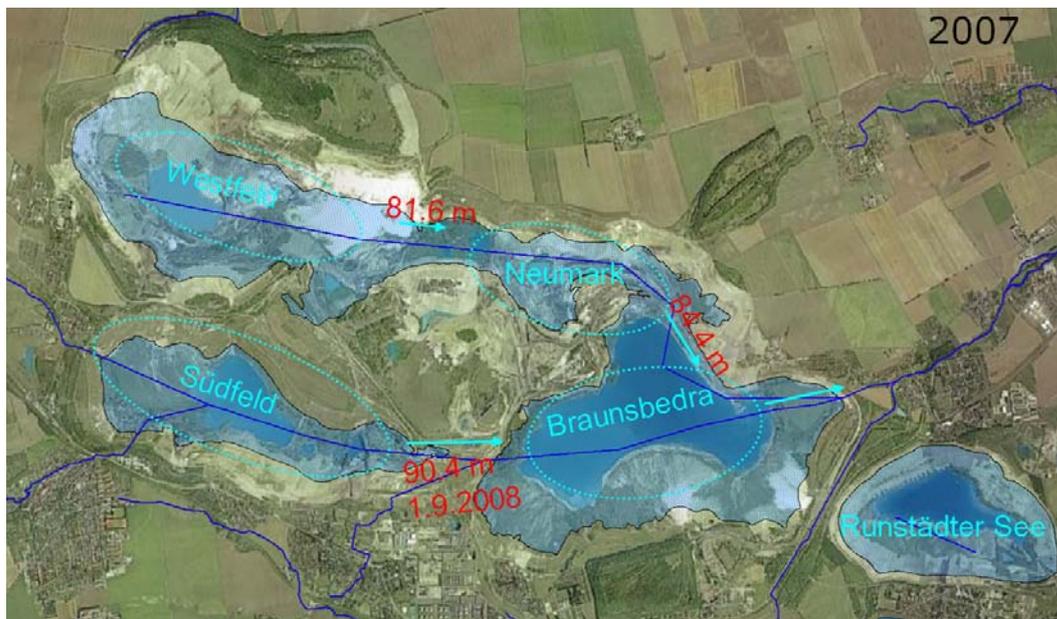


Abb. 4: Ausdehnung der Wasserflächen des Geiseltalseekomplexes zum Zeitpunkt 2007, Bildhintergrund Google 2010

In Gebieten mit flurnahen Grundwasserständen werden meist starke innerjährliche Schwankungen des Grundwasserspiegels beobachtet, die bei der Ausweisung von Schutzzielverletzungen (z.B. nasse Kellerräume) zu berücksichtigen sind. Die mit der gekoppelten Modellierung simulierten Grundwasserstände zeigen deutlich bessere Anpassungen an das natürliche Schwankungsverhalten der Grundwasseroberfläche, als es zuvor mit den ungekoppelten Grundwassermodellen möglich war, in welchen lediglich langjährige Mittelwerte der Grundwassererneuerung vorgegeben wurden.

Die Prognosegenauigkeit im Hinblick auf temporäre Vernässungserscheinungen erhöht sich damit enorm (siehe Abbildung 3), so dass potenzielle Vernässungsflächen unter Berücksichtigung trockener und feuchter Zeiträume ausgewiesen werden konnten.

Ebenso konnte der Flutungsverlauf der Seen mit dem gekoppelten Modell realistisch nachgebildet werden. Die Simulation komplexerer Seen wird am Beispiel des Geiseltalsees dargestellt, der aus verschiedenen Restlöchern besteht, die sich mit steigendem Wasserstand nach und nach zu einer gemeinsamen Wasserfläche vereinigen. In Abbildung 4 sind die einzelnen Restlöcher und in Rot die Höhe der zwischen ihnen liegenden Landschwellen (m NHN) dargestellt. Die Ausdehnung der Wasserflächen entspricht dem Stand 2007.

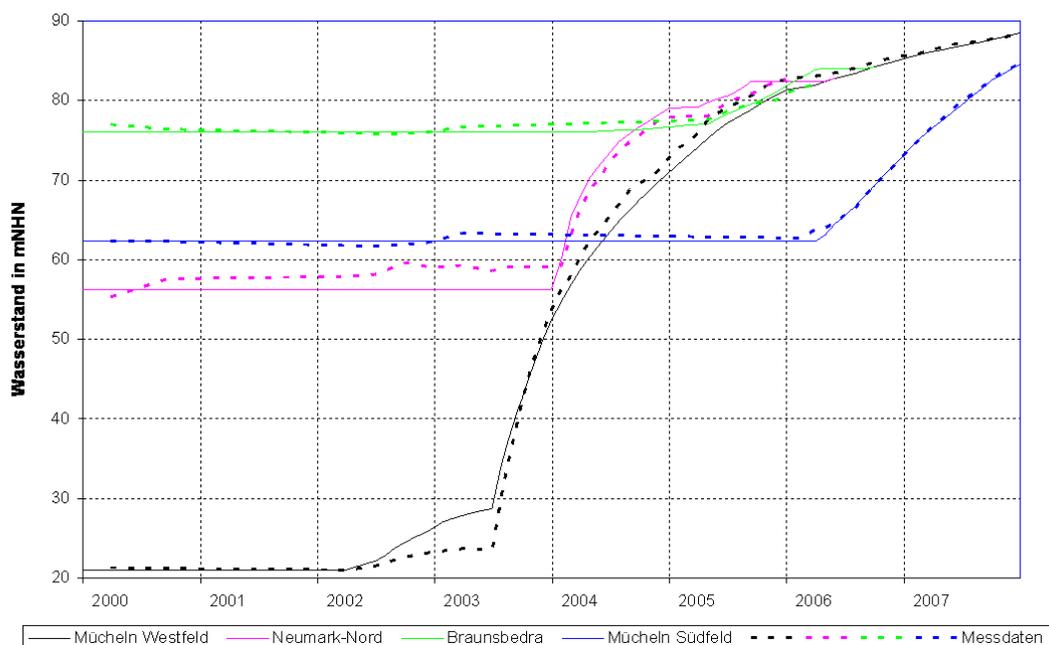


Abb. 5: Simulation der Wasserstandsentwicklung des Geiseltalsees

In Abbildung 5 sind die simulierten Wasserstände der Teilbecken (durchgezogene Linie) den gemessenen (gestrichelte Linie) gegenübergestellt. Das Zusammenlaufen zweier Ganglinien stellt die Vereinigung von einzelnen Teilbecken zu einer größeren Wasserfläche dar. Zuerst vereinigten sich TRL Mücheln Westfeld und TRL Neumark-Nord zu einer Wasserfläche. Später kamen die TRL Braunsbedra und Mücheln Südfeld hinzu. Die Wasserstandsentwicklung kann demnach vom Modell präzise abgebildet werden. Mit zunehmender Seefläche erhöht sich die modellierte Seeverdunstung. Wie in Abbildung 6 dargestellt ist, verdoppelt sich die Verdunstung in den Sommerhalbjahren über den betrachteten Zeitraum. Das führt zu einer zunehmend negativen klimatischen Wasserbilanz im Einzugsgebiet des Sees, welche es in Zukunft durch geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen auszugleichen gilt, um den geplanten Endwasser-

spiegel langfristig zu gewährleisten. Derzeit wird das bestehende Wasserdefizit durch Einleitung von Fremdwasser im Rahmen der Restseeflutung kompensiert.

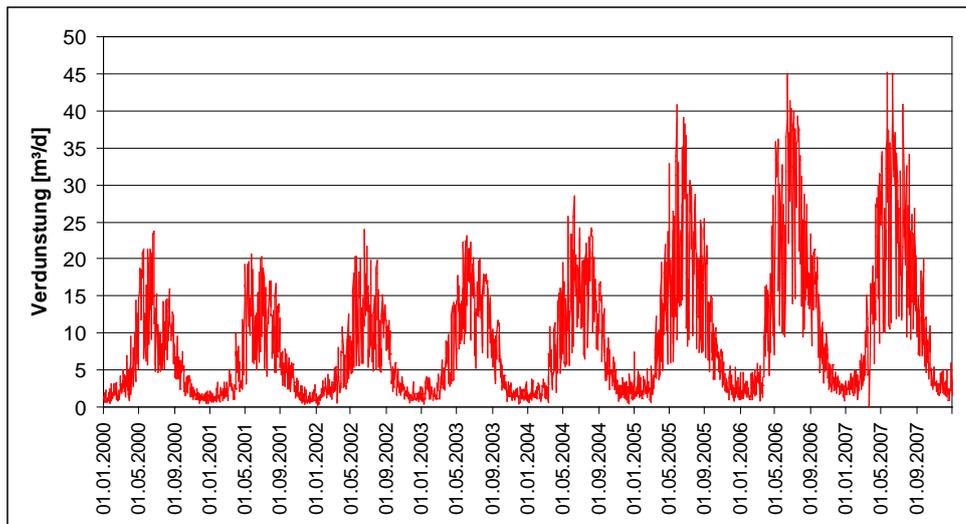


Abb. 6: Berechneter Anstieg der Seeverdunstung aufgrund gesteigerter Seegröße

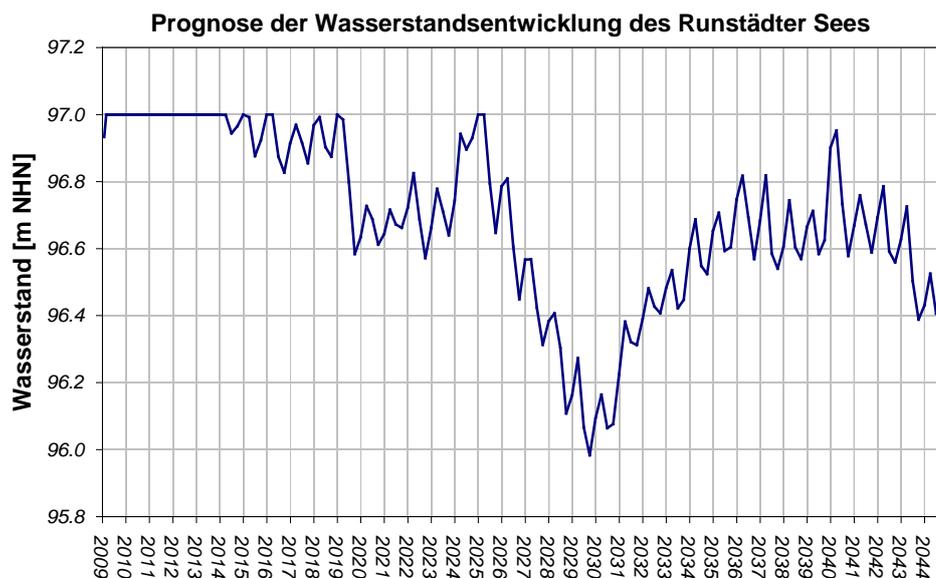


Abb. 7: Prognose der Wasserstandsentwicklung des Runstädter Sees

Die zusätzlichen Einspeisungen werden innerhalb der nächsten Jahre eingestellt, so dass sich die Seewasserstände auf natürliche Weise regenerieren müssen. Wie am Beispiel des Runstädter Sees dargestellt, sinken nach der Flutungsphase die Wasserstände in trockenen Perioden bis zu 1 m unter den Zielwasserstand (siehe Abbildung 7) von 97m NHN. Dieser ist je nach klimatischer Entwicklung nicht durchgehend einhaltbar, so dass die Notwendigkeit einer zukünftigen temporären Stützung nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Szenarioanalysen der zukünftigen Seewasserstandsentwicklung wurden unter Nutzung von Klimareihen des Zeitraumes 1971 bis 2005 durchgeführt. Da die meteorologischen Eingangsgrößen einen großen Einfluss auf die Modellergebnisse haben, könnte hier der Einsatz von wissenschaftlich fundierten Klimaprognosen die Vorhersage noch verbessern.

4. Fazit

Mit der hier vorgestellten Modellkopplung des Wasserhaushaltsmodells ArcEGMO[®] mit den Grundwassermodellen PCGEOFIM[®] und MODFLOW kann der gesamte Wasserhaushalt sowie die Grundwasserdynamik räumlich und zeitlich hoch aufgelöst simuliert werden. Der effiziente Einsatz in Einzugsgebieten bis zu einer Größe von 1000 km² ist auch auf die Flexibilität der Kopplungssoftware zurückzuführen, die nicht an die gleiche räumliche Ausdehnung für Grund- und Oberflächenwassermodell gebunden ist. Stattdessen können auf zuvor definierten Flächen die beiden Modelle auch jeweils einzeln gerechnet werden und die ermittelten Größen an den Grenzen zum gekoppelten Modellteil als Randbedingungen übergeben werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Grundwasserdynamik und Wasserbilanzen gut abgebildet werden können. Ebenso konnten belastbare Ergebnisse der künftig zu erwartenden hydrologischen Situation erstellt und daraus Bilanzdefizite abgeleitet werden. Unter Berücksichtigung möglicher Klimaänderungen ist zukünftig ein noch angespannterer Wasserhaushalt für die Mitteldeutschen und Lausitzer Gebiete zu erwarten. Um dessen Auswirkungen auf die derzeitigen Planungen abschätzen zu können, wären wissenschaftlich basierte Klimaprojektionen einzubeziehen.

Die für das Mitteldeutsche Revier entwickelte Methode kann auch auf andere Gebiete übertragen werden, z.B. auf das Lausitzer Braunkohlerevier, in welchem der Einfluss der Oberflächengewässer (Spree und Lausitzer Neiße) bei der Flutung eine noch größere Rolle spielt.

Literatur:

- KLÖCKING, B. (Ed.) (2008): Das ökohydrologische PSCN-Modul innerhalb des Flussgebietsmodells ArcEGMO, 28 S., [http://www.arcegmo.de/PSCN_2008.pdf].
- PFÜTZNER, B. (ed.) (2002): Homepage des hydrologischen Modellierungssystem ArcEGMO, <http://www.arcegmo.de>, ISBN 3-00-011190-5.
- GLUGLA, G. (1970): Zur Berechnung des aktuellen Wassergehaltes und Gravitationsabflusses im Boden - Diss. Leipzig.
- SAMES, D., Brückner, F. u. M. Müller (2008): PCGEOFIM-Anwenderdokumentation, Leipzig.
- MÜLLER, M., Sames, D., Mansel, H. (2003), PCGEOFIM – A Finite Volume Model for More? In: Poeter, E., Zheng, C., Hill, M. Doherty, J.: MODFLOW and More 2003: Understanding through Modeling. Proceedings of the Conference in Golden, CO, USA, September 16 – 19, 2003.

Integrative Ausweisung von Abflussbildungsprozessen zur räumlichen und zeitlichen Bewirtschaftung von Wassermenge und Wassergüte

Markus Weiler und Andreas Steinbrich

Abflussbildungsprozesse steuern nicht nur die Entstehung von Hochwasser, sie sind darüber hinaus auch relevant für die räumliche und zeitliche Entstehung von Oberflächenabfluss oder für die Bodenwasserbilanz und Grundwasserneubildung. Flächen auf denen häufiger Oberflächenabfluss entsteht sind nicht nur sensitiver für Erosionsprozesse, auch der Austrag von Nährstoffen und Schadstoffen ist stark erhöht. Die Grundwasserneubildung kann reduziert sein. Bisher wurden Abflussbildungsprozesse meist statisch und qualitativ kartiert (dominierende Abflussbildungsprozesse, z.B. Scherrer 1997), d.h. die zeitliche Variation und die auftretenden Volumen werden nicht berücksichtigt. Oder die räumliche Ausdehnung von Abflussprozessen wurde von verteilten hydrologischen Modellen bestimmt, wobei dann die räumliche Auflösung gering ist und die räumlich-expliziten Simulationen meistens nicht evaluiert werden.

Wir entwickeln für Baden-Württemberg ein GIS-basiertes Modell mit einer räumlichen Auflösung von einem Meter zur Quantifizierung der verschiedenen Abflussbildungsprozesse. Das Modell ist in der Lage, die Bedeutung der Abflussbildungsprozesse für verschiedene Niederschlagsereignistypen (hohe Intensität und kurze Dauern / moderate Intensität und lange Dauern) unter unterschiedlichen Vorfeuchtebedingungen zu quantifizieren. Die benötigten Parameter werden aus landesweit verfügbaren Geo-Daten (LiDAR, Böden, Geologie, Versiegelung) sowie aus Prozessverständnis abgeleitet. Letzteres schließt die Erkenntnisse aus weltweiten Untersuchungen zu Abflussbildungsprozessen in der Plot- und Hangskale ein. Dabei werden zum Beispiel auch Prozesse wie Makroporenfluss und Einfluss der Vegetation auf die unterirdischen Fließwege berücksichtigt. Eine Kalibrierung des Modells findet nicht statt, jedoch werden die vorhergesagten Prozesse im Gelände verifiziert und die Abflussdynamik wird an vorhandenen Abflusspegeln evaluiert. Erste Ergebnisse zeigen eine präzise Vorhersage der räumlich-zeitlichen Dynamik der Abflussprozesse. Selbst kleinräumige Variationen werden gut wiedergeben. Der GIS-basierte Ansatz mit seiner hohen räumlichen Auflösung bietet zudem die Möglichkeit die Herkunftsräume der Abflusskomponenten detailliert auszuweisen. Neben der Vorstellung der neuen Methodik zur Ausweisung der Abflussbildungsprozesse und deren Evaluierung werden auch Beispiele präsentiert, die das Potential dieser Informationen zur Bewirtschaftung von Wassermenge und Wassergüte aufzeigen.

Dynamik des Oberflächen-Grundwasseraustausches, Abflussbildung, und Verweilzeiten in einem Niedermoor mit Mikrotopographie

Jan H. Fleckenstein, Sven Frei, Stefan Peiffer, Gunnar Lischeid,

Die Interaktion zwischen Vorfluter und vorfluternahem Bereich (riparian zone) während Niederschlagsereignissen unterschiedlicher Intensität, wird nach wie vor nur unzureichend verstanden. Chemische Daten weisen auf die Existenz definierter Fließwege hin, die den Austausch zwischen Uferzone und Vorfluter bestimmen. Dynamik und Einfluss der verschiedenen Fließwege auf die Abflussgenerierung und Wasserqualität lassen sich jedoch sowohl mess- als auch modelltechnisch nur sehr schwer erfassen. Chemische und hydrometrische Daten aus einem vorfluternahen Niedermoor deuten darauf hin, dass sowohl die Wasserqualität als auch die Abflussgenerierung während intensiver Niederschlagsereignissen, maßgeblich von der Interaktion zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser beeinflusst werden. Die für Abflussgenerierung und Gewässergüte wichtigsten Prozesse finden dabei in der ufernahen Zone statt. Die Signatur des Abflusses während Starkniederschlagsereignissen, weist beispielsweise häufig eine ähnliche chemische Zusammensetzung wie Wasser der ufernahen Zone auf. Der Abfluss aus dieser Zone scheint dabei häufig ohne nennenswerten Zeitversatz zu den Niederschlägen mobilisiert zu werden.

In dieser Studie wird die Hypothese untersucht, dass mikrotopografische Strukturen, wie sie typischerweise in Feuchtgebieten anzutreffen sind, für beobachtete, nicht-lineare Effekte der Abflussgenerierung verantwortlich sind. Dabei wird ein prozessorientiertes, hydrologisches Modell (HydroGeoSphere, THERRIEN ET AL. 2008) verwendet, das in der Lage ist, die Interaktionen zwischen Niederschlag, vorfluternahem Feuchtgebiet und Vorfluter prozessbasiert zu repräsentieren. Mikrotopographische Strukturen werden mittels geostatistischer Simulation (TPROGS, CARLE & FOGG 1996), die mit Felddaten konditioniert sind, generiert und in das hydrologische Modell implementiert. Die Modellauflösung von 10m x 20m x 2m bei einer Gitterweite von etwa 0,1m ermöglicht es, Oberflächenstrukturen zu repräsentieren, die in hydrologischen Abflussmodellen üblicherweise vernachlässigt werden. Damit ist eine realitätsnahe Wiedergabe der Stömungsbedingungen an der Oberfläche und im oberflächennahen Untergrund sowie der kleinräumigen Interaktionen zwischen beiden Zonen möglich. Simulationsergebnisse bestätigen die postulierte Hypothese. Im Feld beobachtete nicht-lineare, hysteretische Beziehungen zwischen Grundwasserstand im Niedermoor und generiertem Abfluss werden von dem Modell adequat wiedergegeben. Die natürliche Abfolge von Niederschlägen unterschiedlicher Intensität über den Verlauf eines Jahres führt im Modell zur temporären Ausprägung von spezifischen oberflächlichen Entwässerungsnetzen variabler Ausdehnung, deren Entstehung und Entwicklung die Abflussgenerierung maßgeblich bestimmt. Damit verbunden entstehen zeitlich dynamische, flachgründige und tiefergreifende Strömungszellen im Untergrund, die für eine große Spannweite von Verweilzeiten verantwortlich sind. Diese Verweilzeitenverteilungen haben wiederum eine große Bedeutung für die Ausbildung biogeochemischer Prozessmuster im Niedermoor und dem damit verbundenen Austrag bestimmter Stoffe.

Probabilistische Hochwassergefährdungskarten unter Berücksichtigung von Deichbrüchen

Sergiy Vorogushyn, Heiko Apel, Marcel Pfaff, Karl-Erich Lindenschmidt, Bruno Merz

Zusammenfassung

Gefährdungs- und Risikoabschätzungsmethoden für die eingedeichten Flussstrecken haben bisher die fluvialen Überflutungsprozesse, insbesondere Deichbrüche, nicht hinreichend berücksichtigt. Es wird eine Methode vorgestellt, die eine Hochwassergefährdungsabschätzung unter Berücksichtigung von Deichbrüchen ermöglicht. Das vorgeschlagene Inundation Hazard Assessment Model (IHAM) stellt ein hybrides probabilistisch-deterministisches Modell dar. Es besteht aus drei laufzeitgekoppelten Modellen: (1) einem 1D instationären hydrodynamisch-numerischen Modell für den Flussschlauch und die Vorländer zwischen den Deichen, (2) einem probabilistischen Deichbruchmodell, welches die möglichen Bruchstellen, Breschenbreiten und Breschenausflüsse berechnet, und (3) einem 2D raster-basierten Überflutungsmodell für das Hinterland. IHAM generiert probabilistische Hochwassergefährdungskarten, die die räumliche Verteilung der Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten und anderer Hochwasserintensitätsindikatoren darstellen und die Unsicherheitsbänder explizit zeigen. Weiterhin ist die Identifikation besonders gefährdeter Deichabschnitte und eine Abschätzung der Bruchwahrscheinlichkeiten möglich. Mit dem vorgestellten Modell wird eine Analyse der Poldereffizienz an der Mittleren Elbe durchgeführt. Die aus diesen Studien gewonnenen Erkenntnisse leisten einen wichtigen Beitrag zur Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen und –risikoanalysen.

1. Einführung

Entlang eingedeichter Flussabschnitte kann das Hinterland ein hohes Schadenspotential aufgrund der starken Akkumulation der Werte und erhöhter Gefährdung durch Hochwasser aufweisen. Obwohl Deiche einen effizienten Schutz gegen kleinere häufiger auftretende Hochwässer bieten, können sie unter der Last hoher Wasserstände sowie langer Anstaudauer versagen. Unter anderem aufgrund hoher Wasseranstiegsraten und Fließgeschwindigkeiten infolge schneller Breschenausflüsse und der hohen Wertekonzentration in geschützten Bereichen können dabei auftretende Schäden dramatische Ausmaße erreichen.

Gefährdungs- und Risikoabschätzungsmethoden für die eingedeichten Flussstrecken haben bisher die fluvialen Überflutungsprozesse nicht hinreichend berücksichtigt. Besonders die Prozesse der Deichbrüche und deren Einfluss auf Überflutung im Hinterland verlangen eine umfassende Betrachtung. Die Auswirkungen von Deichbrüchen auf die Hochwasserganglinie im Unterlauf wurden bereits oft untersucht (z.B. BfG 2002). Jedoch, wie sich die Kappung der Hochwasserwelle auf die Deichstabilität im Unterlauf und die Gefährdung auswirkt, wurde nur in einzelnen Arbeiten behandelt (APEL et al. 2004, 2006). Die Unsicherheiten der Überflutungscharakteristika, die durch Deichbrüche bestimmt sind, wurden bisher nicht wissenschaftlich untersucht. Um diese Lücke zu schließen und eine adäquatere Abschätzung der Hochwassergefährdung entlang eingedeichter Flussstrecken zu ermöglichen, ist ein neuer Modellierungsansatz notwendig.

2. IHAM – Inundation Hazard Assessment Model

Im Artikel wird ein neues Modellierungssystem vorgestellt, das eine umfassende Hochwassergefährdungsanalyse entlang eingedeicher Flussstrecken unter Berücksichtigung von Deichbrüchen ermöglicht. Inundation Hazard Assessment Model (IHAM) stellt ein hybrides probabilistisch-deterministisches Modell dar (VOROGUSHYN et al. 2010). Es besteht aus drei laufezeitgekoppelten Modellen: (1) einem 1D instationären hydrodynamisch-numerischen Modell für den Flussschlauch und die Vorländer zwischen den Deichen, (2) einem probabilistischen Deichbruchmodell, welches die möglichen Bruchstellen, Breschenbreiten und Breschenausflüsse berechnet, und (3) einem 2D raster-basierten Überflutungsmodell für das Hinterland, das auf dem Speicherzellenansatz und der Diffusionswellengleichung basiert. Die schematische Darstellung des IHAM und des Simulationsablaufs ist in Abbildung 1 dargestellt. Durch die Kopplung der instationären 1D und 2D hydraulischen Modelle wird die Abhängigkeit zwischen den hydraulischen Lasten an verschiedenen Stellen entlang eines Flusses explizit berücksichtigt. Es werden keine Bruchstellen und Breschenparameter vorab definiert. Die Bruchstellen, Breschenzeitpunkte und Breschenbreiten werden zur Modelllaufzeit in Abhängigkeit von der hydraulischen Last bestimmt.

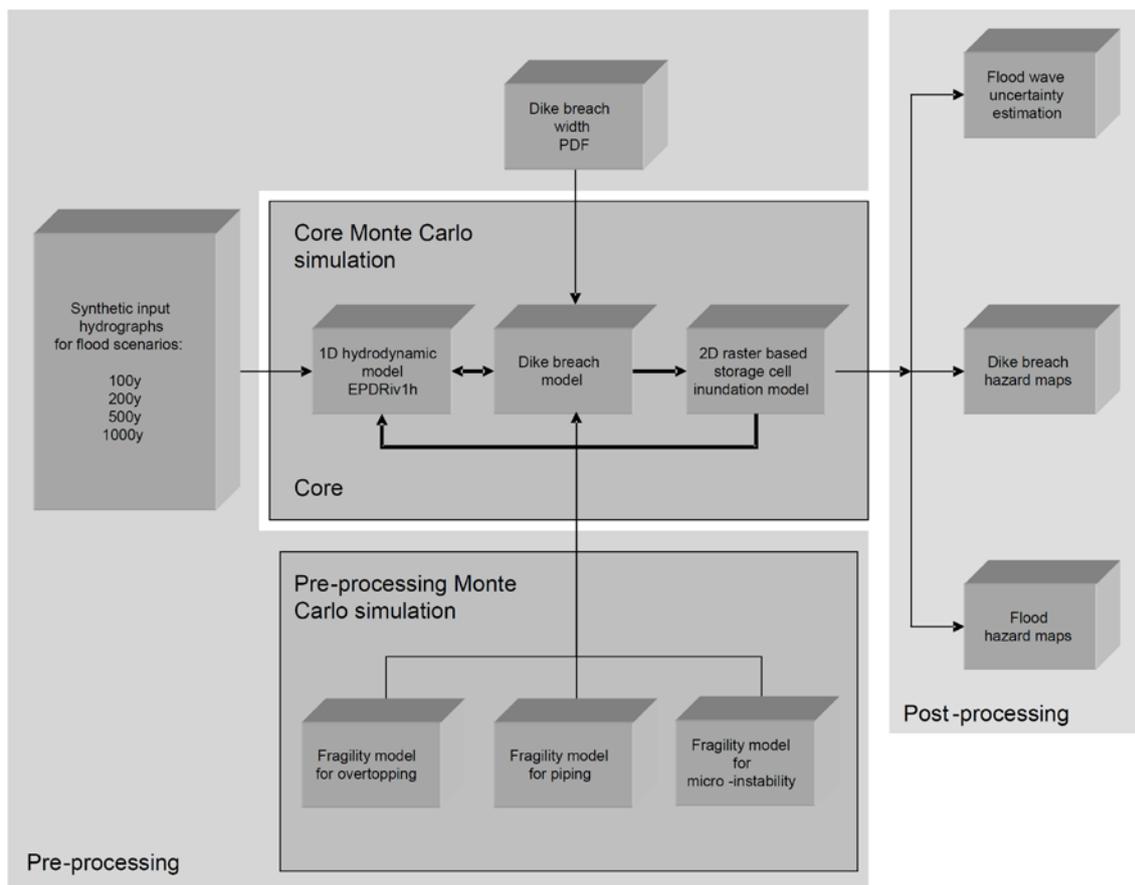


Abb.1: Schematische Darstellung des IHAM Modellierungssystems und Simulationsablaufs (VOROGUSHYN et al. 2010).

Das probabilistische Deichbruchmodell beschreibt Deichbrüche, die infolge von drei Bruchmechanismen auftreten: dem Überströmen, dem Piping im Deichuntergrund und dem Versagen der landseitigen Böschung als Folge des Sickerflusses und der Erosion im Deichkörper (Mikro-

Instabilität). Diese drei Bruchmechanismen wurden als die wichtigsten Auslöser für Deichbrüche an historisch gewachsenen Deichen identifiziert (NAGY & TÓTH 2005, HORLACHER et al. 2005). Für jeden Bruchmechanismus wurden Deichbrüche auf der Basis von Fragilitätsfunktionen simuliert. Diese Funktionen zeigen die Versagenswahrscheinlichkeit eines Deichabschnittes unter bestimmter hydraulischer Last. Die Versagenswahrscheinlichkeit ist durch die Unsicherheiten der geometrischen und geotechnischen Deichparameter bedingt. Diese Unsicherheiten werden bei der Erstellung der Fragilitätsfunktionen in einer Monte Carlo Simulation explizit berücksichtigt (APEL et al. 2004, VOROGUSHYN et al. 2009). Die Fragilitätsfunktionen wurden für jeden räumlich diskretisierten Deichabschnitt im Pre-prozessing Schritt erstellt.

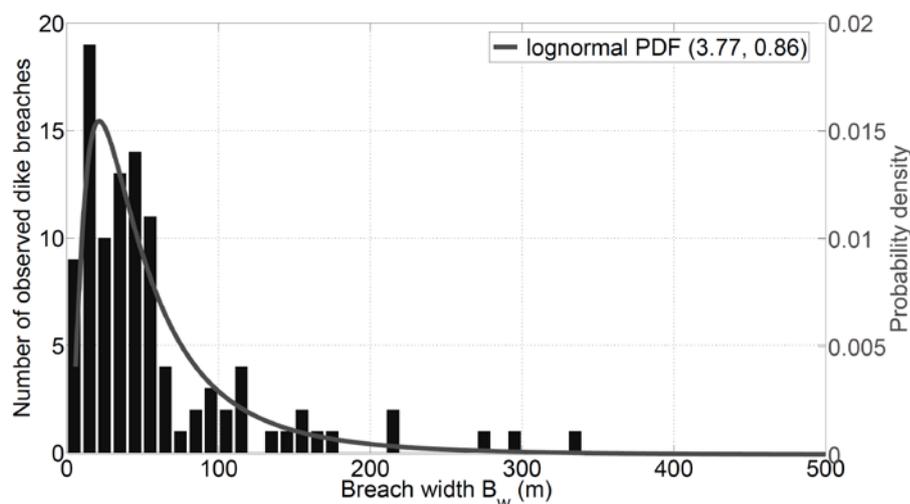


Abb. 2: Verteilung der Breschenbreiten im Elbeeinzugsgebiet (VOROGUSHYN et al. 2010). Datenquelle: GOCHT 2002, HORLACHER et al. 2005.

Das 2D Speicherzellenmodell, angetrieben durch den Breschenausfluss als Randbedingung, berechnet ein erweitertes Spektrum der Hochwasserintensitätsindikatoren wie: Überflutungstiefe, Fließgeschwindigkeit, Impuls, Überflutungsdauer und Wasseranstiegsrate. IHAM wird im Rahmen einer Monte Carlo Simulation ausgeführt (Abbildung 1) und berücksichtigt die natürliche Variabilität der Hochwasserentstehungsprozesse, die in der Form der Hydrographen und deren Häufigkeit abgebildet wird. Die Szenario-Hydrographen am Pegel Torgau wurden bei der Analyse von historischen Hydrographen mittels Extremwertstatistik (GEV, L-Momente) und Clusteranalyse erstellt (APEL et al. 2004) und bekamen eine Wahrscheinlichkeit zugewiesen. Diese Wahrscheinlichkeit ergab sich aus der relativen Häufigkeit der historischen Hydrographen innerhalb eines Clusters. Die Zufälligkeit des Deichversagens, gegeben durch die Lokationen der Bruchstellen, der Zeitpunkte der Brüche und der Breschenbreite, wird ebenfalls berücksichtigt. Im Falle eines Deichbruches wird die Breschenbreite stochastisch aus der Log-Normal-Verteilung (Abbildung 2) generiert.

Das Modell wurde entwickelt und getestet an einem ca. 91 km langen Flussabschnitt. Dieser Flussabschnitt ist durchgängig eingedeicht und befindet sich an der deutschen Elbe zwischen den Pegeln Torgau und Vockerode. Die Fließstrecke zeichnet sich durch relativ geringes Gefälle und besonders breite flache Hinterlandbereiche aus. Infolge von Deichbrüchen werden diese

Hinterlandsflächen besonders großräumig überflutet, wie die Erfahrungen während des Hochwassers im August 2002 Hochwasser zeigten (BfG 2002).

Das 1D hydrodynamisch-numerische Modell wurde implementiert, manuell kalibriert im stationären Modus durch die Einstellung der Rauigkeitsbeiwerte und validiert in stationären und instationären Modi anhand von Hochwassermarken und Pegelaufzeichnungen. Die geometrischen und geotechnischen Deichparameter für die Teststrecke beziehen sich auf die unsanierten Deiche vor dem Augusthochwasser 2002 (MACKE 2001, GOCHT 2002, LTV 2006) bzw. auf die Literaturwerte (KANOWSKI 1977, KORTENHAUS & OUMERACI 2004) und entsprechen deshalb nicht dem derzeitigen Schutzniveau. Das 2D Überflutungsmodell wurde auf Basis räumlich verteilter Rauigkeitsbeiwerte parametrisiert, die den entsprechenden Landnutzungs-klassen auf ATKIS-Basis zugeordnet wurden. Die Szenarioberechnungen wurden von synthetischen Hydrographen für den Hauptstrom und Nebenfluss angetrieben, die für Hochwässer mit Wiederkehrintervallen von 100, 200, 500, und 1000 Jahren entwickelt wurden. Die Dauer der Simulationsereignisse wurde auf 30 Tage beschränkt. Für jede Jährlichkeit wurden 500 Monte Carlo Simulationen durchgeführt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Als Ergebnis aus der Monte Carlo Simulation werden die transformierten Hochwasserganglinien entlang der Strecke berechnet (Abbildung 1). Aus der Analyse der Deichbruchhäufigkeiten lassen sich die probabilistischen Deichgefährdungskarten generieren (Abbildung 3).

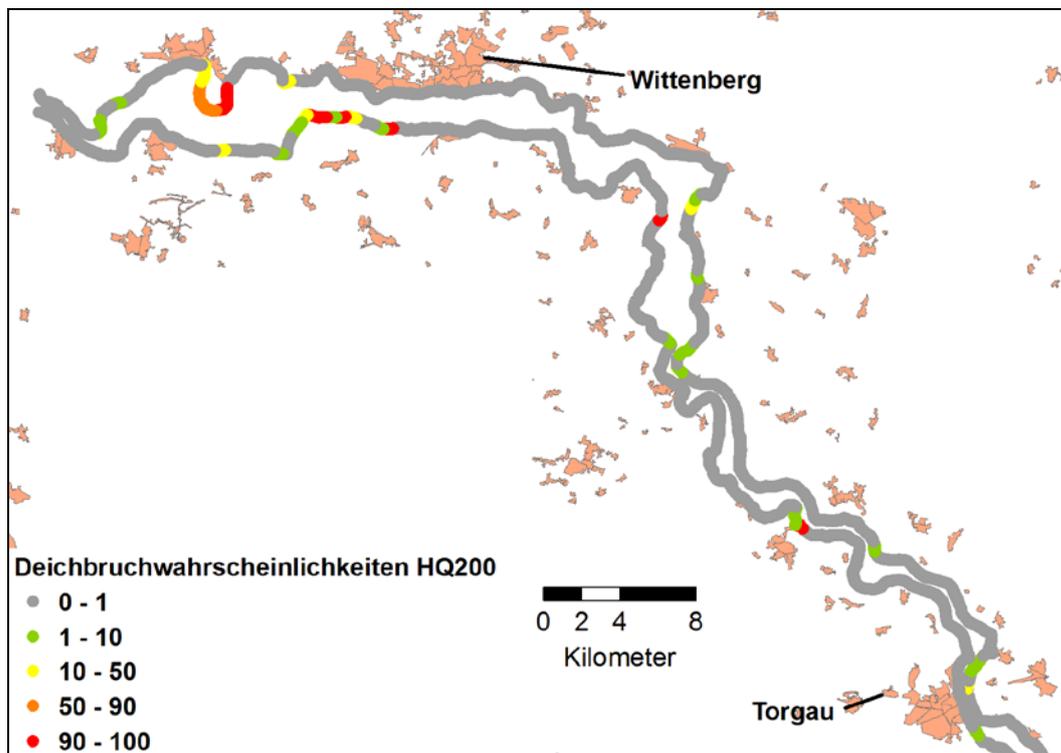


Abb. 3: Probabilistische Deichgefährdungskarte für HQ200 (GEV, L-Momente) am Pegel Torgau.

Sie zeigen die Versagenswahrscheinlichkeiten der diskretisierten Deichabschnitte für jede modellierte Hochwassermagnitude. Die Versagenswahrscheinlichkeiten lassen sich auch separat für jeden Bruchmechanismus (Überströmen, Piping und Mikro-Instabilität) berechnen und dar-

stellen. Solche Karten können effizient für die Planung von Deichaufbaumaßnahmen genutzt werden sowie Hinweise geben, welche Deichstrecken während extremer Hochwasserereignisse besonders geschützt bzw. verstärkt werden müssen.

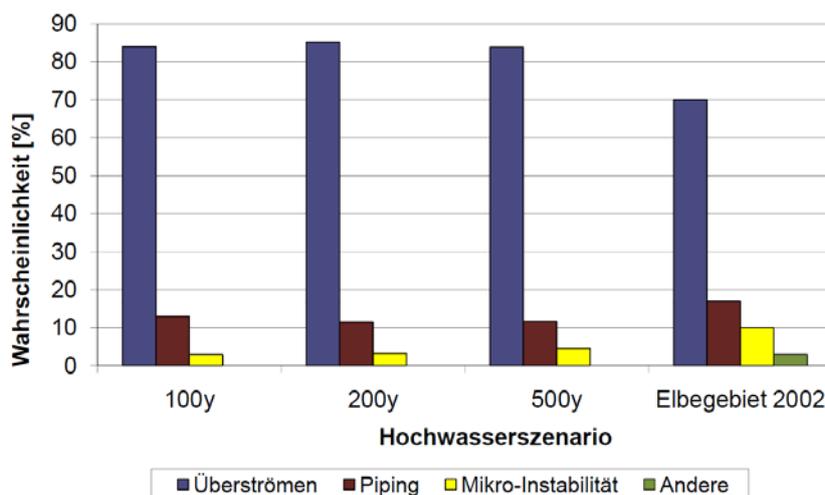


Abb. 4: Häufigkeit der simulierten und beobachteten Bruchmechanismen, die zum Deichversagen führten. Beobachtungen im Elbegebiet nach dem Hochwasser 2002 (HORLACHER et al. 2005). Die Beobachtungen umfassen sowohl Mikro- als auch Makro-instabilität.

Die probabilistisch-deterministische Modelle sind schwer zu validieren, besonders wenn diese Extremereignisse simulieren. Eine Möglichkeit, die Plausibilität des IHAM zu prüfen, ist der Vergleich von simulierten gefährdeten Deichstrecken mit den Deichabschnitten, die auf Basis von Expertenwissen und hydrologischen Berechnungen als sanierungsbedürftig eingestuft wurden. Ein solcher Vergleich z.B. mit IKSE (2001) deutet auf eine zum Teil ähnliche Deichgefährdung. Darüber hinaus lassen sich die simulierten Häufigkeiten der auftretenden Bruchmechanismen mit den Beobachtungen vergleichen (Abbildung 4). Obwohl ein direkter Vergleich von verschiedenen Hochwasserszenarien mit einem Ereignis nicht ganz korrekt ist, kann das wertvolle Hinweise auf die Modellparametrisierung liefern. So lieferte die neue Parametrisierung und das Sampling-Schema im Vergleich zu der bisherigen Version (VOROGUSHYN et al. 2010) eine deutlich realitätsnahe Verteilung der Bruchmechanismen (Abbildung 4).

Neben den binären Überflutungsmustern, die die Wahrscheinlichkeit der Überflutung jeder Rasterzelle im Hinterland zeigen, generiert IHAM probabilistische Hochwassergefährdungskarten (Abbildung 5). Diese Karten stellen räumliche Muster der in Betracht gezogenen Hochwasserintensitätsindikatoren und der entsprechenden Jährlichkeiten dar. Der probabilistische Charakter des IHAM ermöglicht die Berechnung von Perzentilkarten der Hochwassergefährdung, die den Median und die Unsicherheitsbänder der Hochwasserintensitätsindikatoren darstellen (Abbildung 5). Die Unsicherheiten resultieren aus der natürlichen Variabilität der Abflusshydrographen und der Zufälligkeit der Deichbruchprozesse (Bruchstelle, Bruchzeitpunkt, Breschenbreite). Neben der Wassertiefe können noch weitere Hochwasserintensitätsindikatoren wie Fließgeschwindigkeit, Überflutungsdauer etc. mit dem dynamischen 2D-Diffusionsmodell berechnet werden.

Schließlich wurden mit IHAM Szenarien mit Aktivierung eines Polders bei Mauken simuliert. Die Kappung des Abflussscheitels führt zum leichten Rückgang der Bruchwahrscheinlichkeiten flussabwärts des Polders (Abbildung 6). Das resultiert in einer Verringerung der median maximalen Überflutungstiefe bis zu 1.9 m.

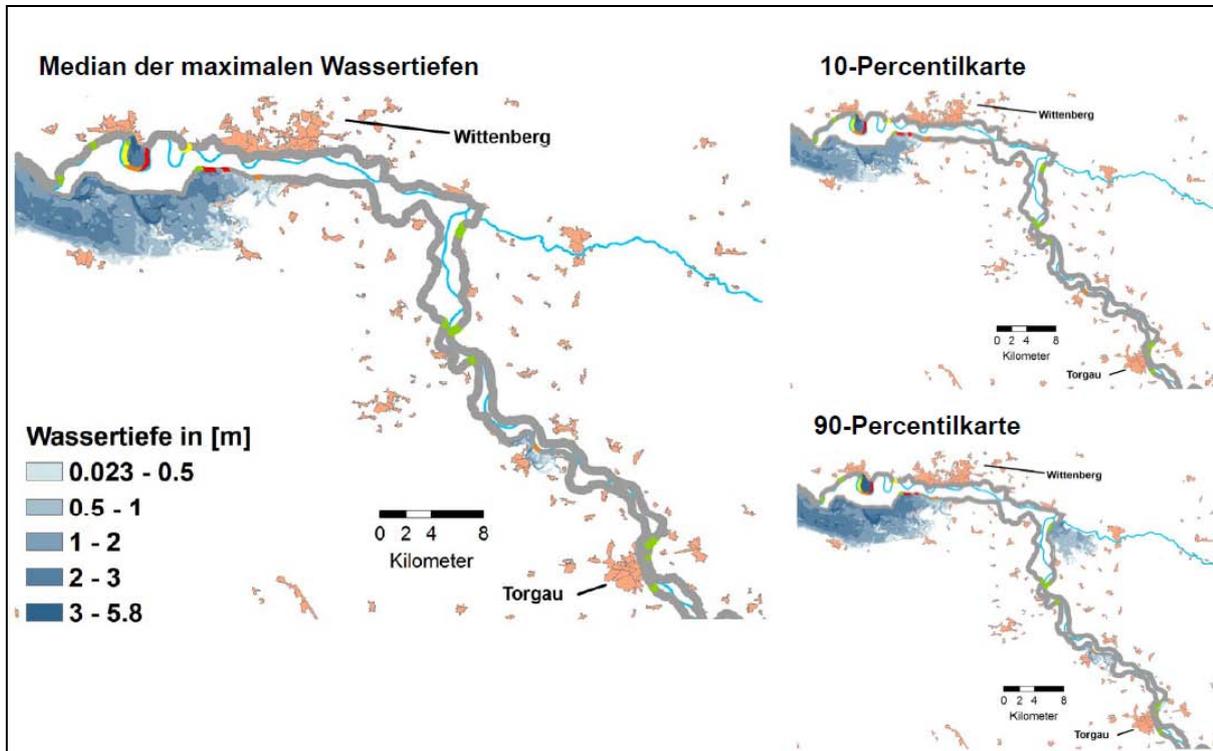


Abb. 5: Probabilistische Hochwassergefährdungskarten für HQ100 (GEV, L-Momente) am Pegel Torgau. Als Hochwasserintensitätsindikator wird die maximale Wassertiefe dargestellt.

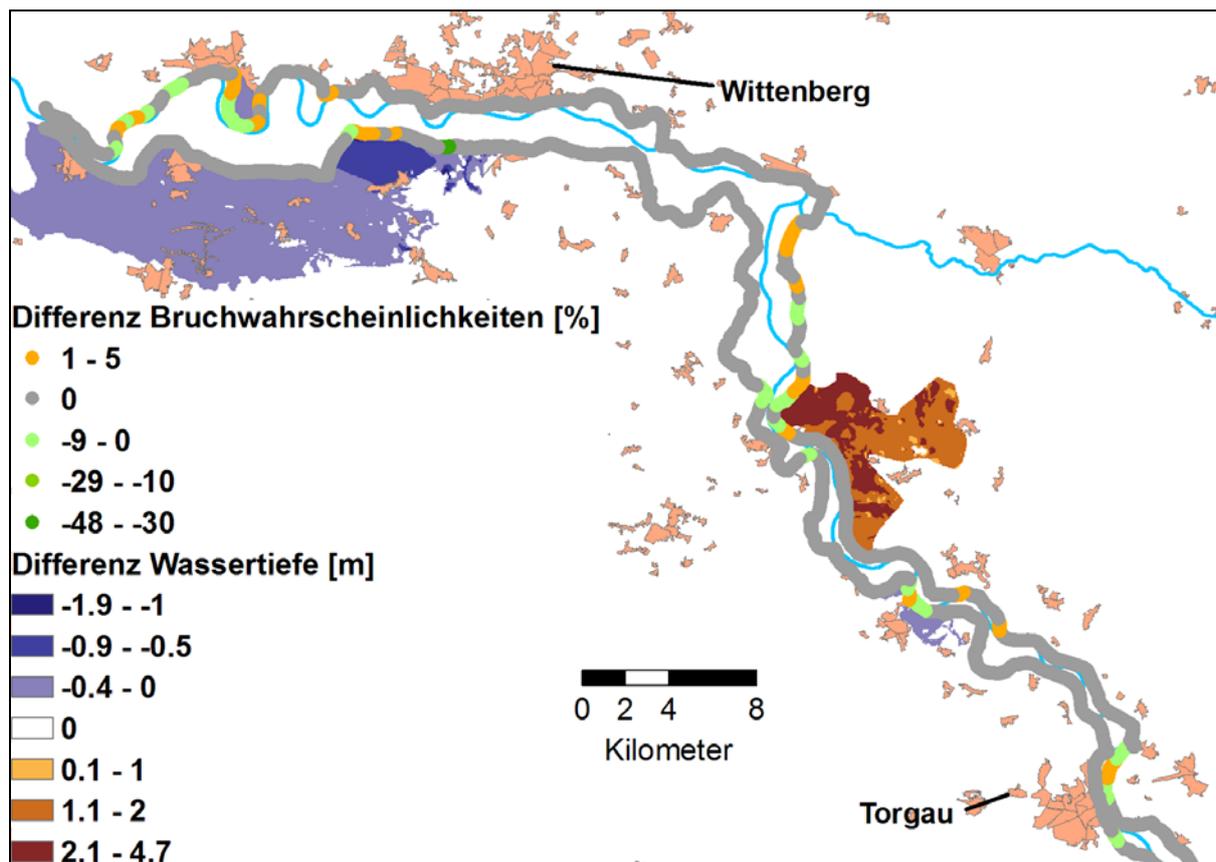


Abb. 6: Differenz zwischen den Bruchwahrscheinlichkeiten und Wassertiefen in HQ100 Szenarien mit und ohne Polder.

Das entwickelte IHAM Modellierungssystem stellt ein neues wissenschaftliches Werkzeug für die Untersuchung fluvialer Überflutungsdynamik in extremen Hochwassersituationen unter Berücksichtigung des Einflusses technischer Hochwasserschutzmaßnahmen dar. Das IHAM System hat eine hohe praktische Bedeutung für die Entscheidungsunterstützung im Hochwassermanagement aufgrund der neuartigen Deichbruch- und Hochwassergefährdungskarten, die das Hauptprodukt der Simulationen darstellen.

Literatur

- APEL, H. et al. (2004): Flood risk assessment and associated uncertainty. Nat. Haz. Earth Sys. Sci. 4, S. 295-308.
- APEL, H. et al. (2006): A probabilistic modelling system for assessing flood risks. Nat. Hazards 38 (1-2), S. 79-100.
- BfG (2002): Das Augusthochwasser 2002 im Elbegebiet. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, 54 S.
- GOCHT, M. (2002): Deichbrüche und Deichüberströmungen an Elbe und Mulde im August 2002. Water & Finance, 56 S.
- HORLACHER, H.-B. et al. (2005): Analyse der Deichbrüche an der Elbe und Mulde während des Hochwassers 2002 im Bereich Sachsen. Forschungsbericht 2005/09, Technische Universität Dresden, 82 S.

- IKSE (2001): Bestandsaufnahme des vorhandenen Hochwasserschutzniveaus im Einzugsgebiet der Elbe. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE), Magdeburg, 74 S.
- KANOWSKI, H. (1977): Ein Beitrag zur zerstörungsfreien Untersuchung von Flusssdeichen. Dissertation, Technische Universität Dresden.
- KORTENHAUS, A. & OUMERACI, H. (2002): Probabilistische Bemessungsmethoden für Seedeiche (ProDeich). Bericht Nr. 877, Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, 205 S.
- LTV (2006): HWSK-Arbeitsdaten, Landestalsperrenverwaltung (LTV) Sachsen.
- MACKE, E. (2001): Bewertung von Zustand und Hochwasserschutzgrad der Elbedeiche. Bericht, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr.-Ing. E. Macke mbH, 118 S.
- NAGY, L. & TÓTH, S. (2005): Detailed Technical Report on the collation and analysis of dike breach data with regards to formation process and location factors. EU-IMPACT-Projekt, H-EURAUa Ltd.
- VOROGUSHYN, S. et al. (2009): Development of dike fragility curves for piping and micro-instability breach mechanisms. Nat. Haz. Earth Sys. Sci. 9, S. 1383-1401.
- VOROGUSHYN, S. et al. (2010): A new methodology for flood hazard assessment considering dike breaches. Water Resour. Res., im Druck.

‘Climate Proof Areas’: Anpassung von Wassermanagement-Strategien im Küstenraum an den Klimawandel

Helge Bormann, Frank Ahlhorn, Luise Giani, Kirsten Klaassen, Thomas Klenke

Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden das Vorgehen sowie vorläufige Ergebnisse des integrativen, partizipativen Prozesses der Entwicklung einer wasserwirtschaftlichen Anpassungsstrategie an den Klimawandel vorgestellt. In enger Kooperation mit zahlreichen regionalen wasserwirtschaftlichen Akteuren wurden anhand konkreter Pilotgebiete in der Wesermarsch Notwendigkeiten, Prioritäten und alternative Strategien eines zukünftigen Wassermanagements entwickelt, die auf einem von den Stakeholdern entwickelten Landschaftsleitbild für das Jahr 2050, allgemeinen Leitsätzen eines zukünftigen Wassermanagements und auf Wasserhaushaltssimulationen auf Basis von Klimaszenarien beruhen. Diesen Maßnahmen und Strategien wird das Konzept einer Gruppe internationaler wasserwirtschaftlicher Experten gegenübergestellt, das im Rahmen eines Projektmeetings des EU-Interreg Projekts „Climate Proof Areas“ entwickelt wurde. Deutlich wird dabei der entscheidende Einfluss der Prioritätensetzung zwischen der Nachhaltigkeit der zukünftigen Entwicklung von Landschaft und Landnutzung und dem Erhalt des landschaftlichen und kulturellen Erbes im Anpassungsprozess an den Klimawandel, die über den Schwerpunkt der Anpassungsstrategie im Spannungsfeld zwischen technischen Maßnahmen und alternativen Landnutzungskonzepten entscheidet.

1. Einleitung

Durch effiziente Küstenschutzmaßnahmen und gezielte Melioration sind an der Deutschen Nordseeküste im Laufe der letzten Jahrhunderte fruchtbare Landschaften entstanden, die dauerhaft besiedelt und intensiv landwirtschaftlich genutzt werden. Allerdings entstand durch die intensive Nutzung der größtenteils auf Meereshöhe gelegenen Gebiete die Notwendigkeit der Entwicklung effizienter Wassermanagementsysteme. Da zum Beispiel in der Wesermarsch in Nord-Niedersachsen aufgrund des Tideinflusses keine dauerhafte Vorflut gewährleistet ist, wurden Siele, Schöpfwerke und ein engmaschiges Graben- und Kanalsystem errichtet, um – falls nötig – jederzeit überschüssiges Wasser in die Nordsee abgeben zu können. Weiterhin wurde ein ausgefeiltes Zuwässerungssystem entwickelt, um in trockenen Zeiten Wasser aus der Weser in die Wesermarsch leiten zu können. So wird noch heute das Vieh mit Zuwässerungs-Wasser zu versorgt, die Durchfeuchtung der Marschböden im Sommer gewährleistet, und Gräben werden als Einfriedungen genutzt. In historischer Zeit wurde sogar die Trinkwasserversorgung der Bevölkerung auf diesem Wege sichergestellt. Vor dem Hintergrund des Klimawandels stellt sich die Frage, inwieweit die wasserwirtschaftlichen Probleme in flachen Küstenregionen durch den Klimawandel verstärkt werden, und ob die wasserwirtschaftlichen Systeme auch unter veränderten Klimabedingungen ihren Zweck erfüllen können oder angepasst werden müssen. Schon heute stoßen Schöpfwerke zeitweise an ihre Kapazitätsgrenzen, um die für die Erhaltung des „Status quo“ notwendige Entwässerung sicherzustellen. Auch stellt sich in Küstennähe zunehmend das Problem der Versalzung von Grund- und Ober-

flächenwasser. Als Folge des Klimawandels kann mit einem ansteigenden Meeresspiegel (IPCC 2007), zunehmenden Winter- und abnehmenden Sommerniederschlägen (UBA 2007) gerechnet werden. Hydrologische Modellstudien projizieren für die Nordseeregion deutliche Veränderungen hinsichtlich des Abflusses (z.B. THODSEN, 2007), der Wasserbilanz und des hydrologischen Regimes (z.B. BORMANN 2009) sowie der Wasserressourcen (z.B. WILBY et al. 2006). Im Rahmen dieser Studie wird deshalb auf Grundlage einer modellbasierten Abschätzung der saisonalen Änderung der Wasserbilanz in der Wesermarsch (BORMANN et al. 2009a,b) ein Ansatz vorgestellt, um Anpassungsmaßnahmen des regionalen Wassermanagements unter Bedingungen des Klimawandels zu entwickeln.

2. Material und Methoden

2.1 Beispielregion Wesermarsch

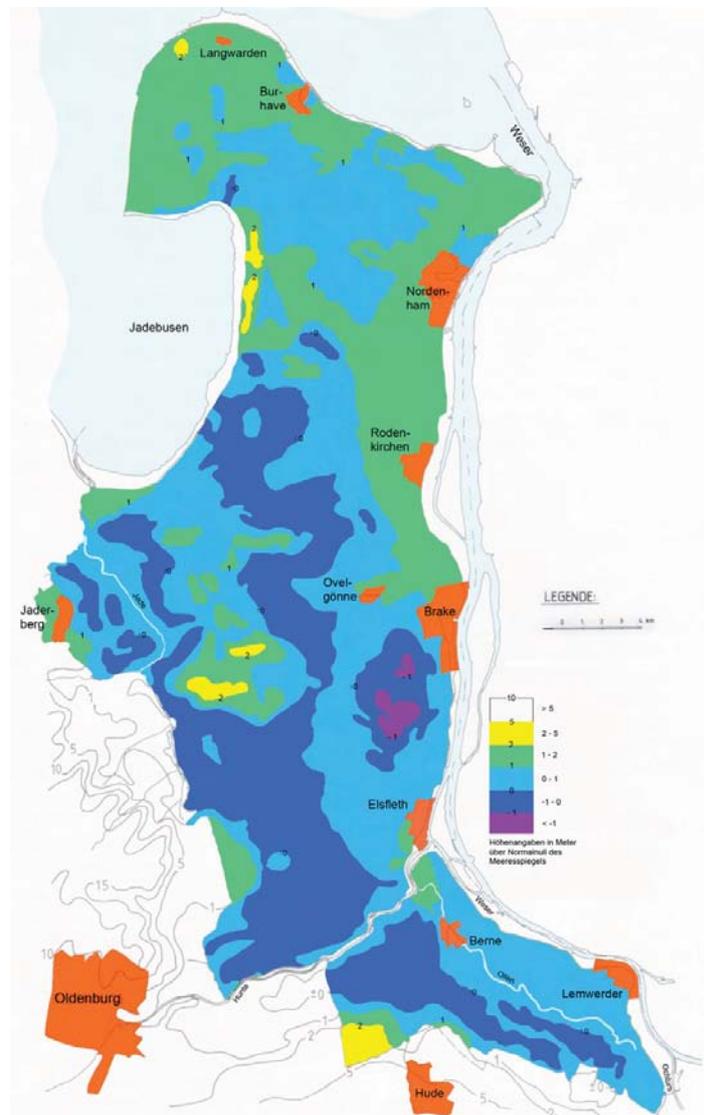


Abb. 1: Höhenverhältnisse in der Wesermarsch (Quelle: Regierungsvertretung Oldenburg)

Der Landkreis Wesermarsch liegt im Norden Niedersachsens zwischen der Weser-Mündung und dem Jadebusen (Abbildung 1) und hat eine Größe von ca. 822 km². Der Landkreis ist relative dünn besiedelt (ca. 93.000 Einwohner), die Landschaft vor allem durch Grünlandnutzung und Milchviehwirtschaft geprägt. Der Großteil der Wesermarsch zeichnet sich durch ein flaches Relief mit Geländehöhen zwischen -2 und 5 m über NN sowie dominierende Marsch- und Moorböden aus. Aufgrund der Halbinsel-ähnlichen Lage zwischen Jadebusen, Nordsee und Unterweser ist die Wesermarsch auch durch das umgebende Salz- und Brackwasser beeinflusst.

2.2 Aktuelle Wasserbewirtschaftung in der Wesermarsch

Der Wasserhaushalt in der Wesermarsch wird seit Jahrhunderten durch ein komplexes, historisch gewachsenes und im Wesentlichen auf Erfahrung basierendes System von Kanälen, Gräben, Sielen, Verlaten und Schöpfwerken geregelt. Entwässerung und sommerliche Zuwässerung werden von einer Reihe von Wasser- und Bodenverbände durchgeführt. So wird sichergestellt, dass die Wesermarsch zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und zum Schutz vor Hochwasser im Winter entwässert werden kann, während im Sommer zur Spülung der Gräben, zur Wasserversorgung des Viehs sowie zur Viehkehrung zugewässert wird. Für die Entwässerung gibt es keine einheitlichen Zielwasserstände. Das Wasser wird sogar oft entgegen des natürlichen Gefälles gepumpt, um es in den Verbandsgrenzen zu halten. Klimavariabilität und Weserausbau sorgen derzeit bereits dafür, dass die Zuwässerung zuweilen nicht mehr mit der erforderlichen Wasserqualität erfolgen kann. Das Wasser der Weser, das für die Zuwässerung in die Wesermarsch genutzt wird, weist in den Sommermonaten bei Tidehochwasser zunehmend hohe Salzkonzentrationen auf, so dass sich das Wasser nicht mehr als Tränkewasser eignet. Zudem führen Setzung und Mineralisierung der Böden sowie der Anstieg des Meeresspiegels zu einem höheren Pump-Bedarf, der in Kombination mit dem rasanten Anstieg der Energiekosten den Aufwand der Entwässerung in der feuchten Jahreszeit erheblich erhöht. Durch den zu erwartenden Klimawandel ist mit einer weiteren Verschärfung der aktuellen Problematik zu rechnen, da der Meeresspiegel ansteigen und sich der Jahresgang der Wasserbilanz infolge veränderter Temperaturen und Niederschläge ändern wird. Eine Anpassung des Wassermanagements scheint also notwendig.

2.3 Regionaler Wandel von Klima und Wasserhaushalt

In dieser Studie wurden regionalisierte Klimaszenarien des WETTREG-Modells drei verschiedener Emissions-Szenarien (A1B, A2, B1) als Antrieb des hydrologischen Modells SIMULAT verwendet. WETTREG (Wetterlagen-basierte Regionalisierungsmethode) ist ein statistisches Downscaling-Verfahren, das aus den Simulationen globaler Klimamodelle (hier ECHAM) Wetterlagenhäufigkeiten bestimmt und anhand dieser Wetterlagenzeitreihe Stations-Zeitreihen simuliert (UBA 2007). Laut BRONSTERT et al. (2006) zeigt WETTREG eine gute Eignung für die Analyse mittlerer Verhältnisse sowie der saisonalen Variabilität. SIMULAT (DIEKKRÜGER & ARNING 1995; BORMANN 2001) ist ein physikalisch basiertes Standortmodell, das für die kontinuierliche Simulation der Wasserflüsse landwirtschaftlich genutzter Standorte entwickelt wurde. SIMULAT beschreibt die vertikalen Wasserflüsse von Standorten, laterale Prozesse werden als Quellen bzw. Senken behandelt. Wesentliche von SIMULAT dargestellte Prozesse sind die

Evapotranspiration nach Penman-Monteith sowie Infiltration und Bodenwasserfluss nach der Richards'-Gleichung. Über die untere Randbedingung wird die Grundwasserbeeinflussung definiert. SIMULAT wurde bereits im Rahmen verschiedener Studien auf der lokalen wie regionalen Skala erfolgreich validiert, ohne dass eine Kalibrierung durchgeführt wurde. Sowohl beim Antrieb des Modells mit gemessenen (z.B. ADEN & DIEKKRÜGER 2000) als auch mittels Transferfunktionen von regional verfügbaren Informationen abgeleiteten Parametern (z.B. BORMANN 2001) konnte SIMULAT die Wasserflüsse an grundwassernahen wie -fernen Standorten sowie in Einzugsgebieten gut abbilden. DIEKKRÜGER et al. (1995) stellten bei einem Modellvergleich von Standortmodellen fest, dass SIMULAT ohne eine Kalibrierung die Bodendynamik mindestens so gut wie kalibrierte Modelle abbilden konnte. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass SIMULAT die natürlichen Wasserflüsse in der Wesermarsch unter Einfluss des Klimawandels vertrauenswürdig abbilden kann. Bei der Parametrisierung von SIMULAT wurden die für die Wesermarsch typischen Landschaftsmerkmale berücksichtigt: Grünland auf tonig-schluffigen Böden mit grundwassernahen Verhältnissen. Angetrieben wurde SIMULAT mit den WETTREG-Daten der Station Bremerhaven. Jedes Jahrzehnt von 1960 bis 2100 wurde durch 200 Jahre WETTREG-Realisationen dargestellt. Alle drei analysierten Klimaszenarien (A1B, A2, B1) projizieren bis zum Jahr 2100 eine ganzjährig zunehmende Erwärmung, zunehmende Niederschläge im Sommer und abnehmende Niederschläge im Sommer. Es ist weiterhin von einer Zunahme der Sonnenscheindauer sowie des Wasserdampfdrucks der Luft auszugehen, während die mittlere Windgeschwindigkeit in etwa konstant bleibt. Während für Szenarien A2 und A1B stärkere Veränderungen projiziert werden, sind auf Basis von B1 geringere Veränderungen bis 2100 zu erwarten. Bis 2050 weisen die Szenarien untereinander aber nur geringe Unterschiede auf. Andere untersuchten Klimastationen (Bremerhaven, Cuxhaven, Frisothe, Jever) sowie weitere neun Niederschlagsstationen weisen dabei vergleichbare Trends auf (BORMANN et al. 2009a,b).

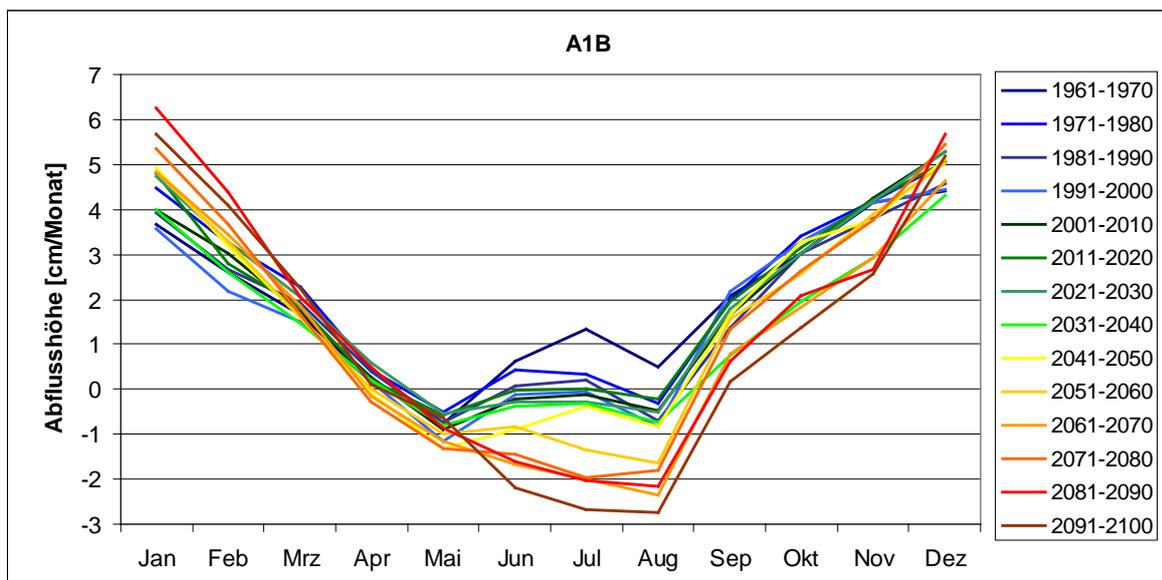


Abb. 2: Jahresgang der Abflusshöhe pro Dekade bis 2100, basierend auf Modellrechnungen (SIMULAT, WETTREG, Szenario A1B); Kontrollzeitraum (1961-2000) in blau.

Die Wasserbilanz-Simulationen für die Wesermarsch mit dem Standortmodell SIMULAT zeigen eine deutliche Veränderung der saisonalen Wasserbilanz für alle Klimaszenarien (Abbildung 2: Szenario A1B). Während im Winter mehr Abfluss als im Kontrollzeitraum (1961-2000) gebildet wird, tritt im Sommer zunehmend ein Wasserdefizit auf. Die hydrologischen Unterschiede innerhalb der Szenarien sind dabei deutlich geringer als der Unterschied zwischen Szenarien und Kontrollzeitraum.

Vor allem in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts wird mit gravierenden Änderungen hinsichtlich der Wasserbilanz zu rechnen sein, wenn die Szenarien die zukünftigen Verhältnisse abbilden. In diesem Fall wird sich das Wassermanagement an den Klimawandel anpassen müssen, da in den Zeiten, in denen heutzutage entwässert wird, erheblich mehr Abflussbildung stattfinden wird, während in trocknen Zeiten das Wasserdefizit deutlich größer wird. Schließlich ist damit zu rechnen, dass die Versalzung der Gewässer durch den Anstieg des Meeresspiegels, den weiteren Ausbau der Weser sowie die andauernde Mineralisierung und Setzung der Böden durch Entwässerung zunehmen wird.

4. Partizipativer Anpassungsprozess

Vor dem Hintergrund der durch den Klimawandel zu erwartenden wasserwirtschaftlichen Probleme an der europäischen Nordseeküste wurde 2008 das EU-Interreg IVb-Projekt „Climate Proof Areas“ initiiert. Ein Kompetenznetzwerk von Partnern aus fünf Nordsee-Anrainerstaaten (Niederlande, Belgien, Großbritannien, Schweden, Deutschland) hat sich zum Ziel gesetzt, für verschiedene Sektoren bis zum Jahr 2011 Anpassungsstrategien an den Klimawandel zu entwickeln, die auf andere Küstenregionen im Nordseeraum übertragbar sind. In allen nationalen Studien steht das Wassermanagement im Zentrum der Untersuchungen. So wird auch in der Fallstudie über die Wesermarsch für den Zeithorizont 2050 eine Anpassungsstrategie des Wassermanagements an den Klimawandel entwickelt. Der Zeithorizont 2050 wurde gewählt, da einerseits infrastrukturelle Planungen für entsprechende Zeiträume konzipiert werden und andererseits die unterschiedlichen Klimaszenarien für diesen Zielhorizont relativ ähnlich sind. Im Rahmen des verfolgten integrativen, partizipativen Ansatzes können in enger Kooperation mit zahlreichen regionalen wasserwirtschaftlichen Akteuren (Wasser- und Bodenverbände, Deichbände, NLWKN, Gemeinden, Landkreise, Trinkwasserversorger, Abwasserentsorger, Naturschutz, Nationalparkverwaltung, LWK, Landvolk) anhand von konkreten Pilotgebieten Prioritäten für eine zukünftige Entwicklung der Region bis zum Jahr 2050 definiert und mögliche Strategien eines zukünftigen Wassermanagements in der Wesermarsch entwickelt werden. Dazu werden Einzelgespräche mit Akteuren geführt, Regionalforen organisiert und Expertengremien gebildet. Mit dem gewählten Ansatz wird vor dem Hintergrund eines gemeinsamen Leitbildes der Multifunktionalität der Raumnutzung Rechnung getragen, da die verschiedenen Raumnutzer, die Anforderungen an das Wassermanagement stellen, durch Interessensvertreter an der Ausarbeitung des Anpassungskonzepts beteiligt sind. Zusammen mit den Stakeholdern werden bestehende Wassermanagementkonzepte analysiert und hinsichtlich aktueller und zukünftiger klimatischer und hydrologischer Randbedingungen bewertet (Abbildung 3).



Abb. 3: Ansatz zur Entwicklung einer Anpassungsstrategie (BORMANN et al. 2009a).

4.1 Leitbild Wesermarsch 2050

Um die Notwendigkeit von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel zu überprüfen, wurden zusammen mit den Akteuren der Wesermarsch Lebensgrundlagen definiert sowie ein Leitbild für den Zielzeitraum 2050 aufgestellt. Zentrale Eckpunkte dieses Leitbildes sind:

- Die Erhaltung des Landschaftsbildes,
- Ein auch in Zukunft „sicheres Leben hinter dem Deich“,
- Die Möglichkeit einer „intensiven Landwirtschaft“,
- Der Verzicht auf den Ausgleich von Küstenschutzmaßnahmen, sowie
- Auch zukünftig „sichere Arbeitsplätze“ (z.B. in Tourismus, Land- und Hafenwirtschaft).

Dieses von den Stakeholdern entwickelte Landschaftsleitbild für das Jahr 2050 gibt die Rahmenbedingungen für mögliche Anpassungsoptionen hinsichtlich technischer Maßnahmen und alternativer Landnutzungskonzepte vor. Die regionalen Akteure sind also in Übereinstimmung einer Studie von NASSAUER & CORRY (2004) besonders am Erhalt des bestehenden Landschaftsbildes interessiert. Vor dem Hintergrund dieses Leitbildes wurden gemeinsame Leitlinien für das zukünftige Wassermanagement zusammengestellt:

- Das Wassermanagement muss mit dem Höhenniveau arbeiten und sich ihm anpassen.
- Das Wassermanagement muss in einem regionalen Kontext erfolgen und die Wechselwirkungen einzelner Maßnahmen berücksichtigen.
- Wasser- und Flächenmanagement gehen Hand in Hand.
- Maßnahmen im Wassermanagement sollten nicht starr, sondern flexibel angelegt werden.

4.2 Anpassungsstrategie aus Sicht der Wesermarsch-Stakeholder

Da die regionalen Akteure besonders am Erhalten des bestehenden Landschaftsbildes interessiert sind, fokussieren die von ihnen vorgeschlagenen Maßnahmen und Strategien zur Anpassung des Wassermanagements auf technische Lösungen, die die Erhaltung des Status Quo des Landschaftsbildes und der Flächennutzung ermöglichen. Hinsichtlich der Entwässerung des Landkreises lehnen die Akteure ab, zusätzlichen Retentionsraum in Form von Poldern oder Binnengewässern zu schaffen, um im Bedarfsfall Wasser zwischenspeichern zu können. Stattdessen wird vorgezogen, die Leistung der bestehenden Schöpfwerke durch leistungsfähigere Pumpen zu erhöhen. Das Entwässerungsproblem wird im Vergleich zur Zuwässerungsproblematik zudem als weniger bedeutend angesehen. Allerdings haben die Wasser- und Bodenverbände im Rahmen des partizipativen Prozesses bereits zugestanden, in der Vergangenheit zu sehr innerhalb der Verbandsgrenzen gedacht und agiert zu haben. In Zukunft soll vermehrt im regionalen Kontext, verbandsübergreifend und der Topographie folgend gehandelt werden. Als entscheidendes Problem wird das der Zuwässerung angesehen. Zwar könnte die Tränkwasser-Versorgung der Landwirte über einen Ausbau des Trinkwassernetzes sichergestellt werden. Von Seiten der Akteure wird aber des Weiteren argumentiert, dass zur Erhaltung des guten ökologischen Zustands der Fließgewässer auf die Zuwässerung nicht verzichtet werden kann, da sich im Sommer die Wasserqualität stehende Marschgewässer innerhalb weniger Tage bis Wochen dramatisch verschlechtern kann. Damit stellt sich weiterhin das Problem, Wasser in ausreichender Menge und vor allem Qualität zuzuwässern. Wird Brackwasser zugewässert, sinkt die Selbstreinigungskraft der Gräben erheblich. Die von den regionalen Akteuren vorgeschlagenen Ideen zur Sicherstellung der Zuwässerung sind ausschließlich technischer Art: so wird eine Verlängerung des Butjadinger Zuwässerungskanals in Richtung Süden ebenfalls diskutiert wie die Errichtung von Sperrwerken an Weser oder Jadebusen. Das Anlegen von Binnengewässern und Feuchtgebieten zur Speicherung des überschüssigen Wasser im Winter bis zum Sommer hingegen wird strikt abgelehnt, da stehende Gewässer in der Landschaft unerwünscht sind.

4.3 Anpassungsstrategie aus Sicht internationaler Experten

Parallel zum partizipativen Planungsprozess wurde im Rahmen eines Projektworkshops des EU-Interreg IVb Projekts „Climate Proof Areas“ von einer Gruppe internationaler wasserwirtschaftlicher Experten eine unabhängige und nachhaltige Entwicklungsplanung des Landkreises Wesermarsch durchgeführt. Im Gegensatz zu den lokalen Stakeholdern setzten sich diese Experten nicht den Erhalt des Status Quo sondern eine zukünftig möglichst nachhaltige Entwicklung von Landschaft, Landnutzung und Wassermanagement zum Ziel. Die internationalen Experten zielten darauf ab, technische Maßnahmen zu reduzieren, im Einklang mit den Naturgegebenheiten zu arbeiten und verstärkt im regionalen Kontext zu denken. Sie plädieren demzufolge für eine Reorganisation der Wasserverbände. Ein zentraler Vorschlag ist die Vernässung tief liegender Gebiete und das Anlegen von Süßwasserreservoirien zur multifunktionalen Nutzung (Wasserspeicherung, Tourismus, Vogelschutz). Sie drängen des Weiteren auf eine Anpassung der Landnutzungskonzepte. Zum Beispiel könnte in höher gelegenen Gebieten Ackerbau betrieben werden, wo eine Zuwässerung problematisch ist. Beim Vergleich der beiden Denkansätze wird der entscheidende Einfluss der Prioritätensetzung zwischen der Nach-

haltigkeit der zukünftigen Entwicklung von Landschaft und Landnutzung und dem Erhalt des landschaftlichen und kulturellen Erbes im Anpassungsprozess an den Klimawandel deutlich. Sie entscheidet über den Schwerpunkt der Anpassung im Spannungsfeld zwischen technischen Maßnahmen und alternativen Landnutzungskonzepten. Dieser Spagat zwischen technischer Anpassung und zukünftiger Landnutzung wird in der weiteren Arbeit mit den Stakeholdern im Mittelpunkt stehen.

5 Schlussfolgerungen

Der zu erwartende Klimawandel macht eine wasserwirtschaftliche Anpassung in Küstengebieten notwendig, da sich bestehende Probleme wahrscheinlich noch verstärken werden. Das vorgestellte partizipative Konzept zur Entwicklung einer Anpassungsstrategie berücksichtigt explizit die Vorstellungen und Bedürfnisse der regionalen Stakeholder. Die frühzeitige Kommunikation zwischen den Akteuren führt zur Förderung von Kompromissbereitschaft und zur Entwicklung einer gemeinsamen Anpassungsstrategie basierend auf dem gemeinsamen Leitbild 2050. Deutlich wird aber auch, dass aufgrund der Ausrichtung des Leitbildes (Erhalt des Status Quo) die Anpassungsstrategie auf technische Maßnahmen fokussiert sein muss. Dies verdeutlicht der Vergleich mit dem Konzept internationaler Experten, die basierend auf dem Leitbild „Nachhaltigkeit“ zu grundverschiedenen Anpassungsmaßnahmen kommen. Die zukünftige Herausforderung wird sein, einen gemeinsamen Kompromiss zwischen der historisch gewachsenen Kulturlandschaft und einer an veränderte hydrologische Rahmenbedingungen angepassten Landnutzung zu finden, der ein nachhaltiges und auch zukünftig finanzierbares Wassermanagement ermöglicht.

Danksagung

Die Autoren danken der EU für die Förderung des Interreg IVb Projekts „Climate Proof Areas“ sowie den wasserwirtschaftlichen Akteuren in der Wesermarsch für ihre konstruktive Mitarbeit innerhalb des Projekts „Climate Proof Areas“.

Literatur

- ADEN, K. & B. DIEKKRÜGER (2000): Modeling pesticide dynamics of four different sites using the model system SIMULAT. – *Agricultural Water Management* 44, 337-355.
- BORMANN, H. (2001): Hochskalieren von prozessorientierten Wassertransportmodellen - Methoden und Grenzen. – München, Herbert-Utz-Verlag - Wissenschaft (Reihe Geowissenschaften), 176 S.
- BORMANN, H. (2009): Analysis of possible impacts of climate change on the hydrological regimes of different regions in Germany. – *Advances in Geosciences*, 21, 3-11.
- BORMANN, H. et al. (2009a): Climate Proof Areas - Konzeption von an den Klimawandel angepassten Wassermanagementstrategien im Norddeutschen Küstenraum. – *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 2 (7), 363-369.
- BORMANN, H. et al. (2009b): "Climate Proof Areas": Anpassung von Wassermanagement-Strategien an den Klimawandel. – In: Fohrer, N., Schmalz, B., Hörmann, G. & Bieger, K. (Hrsg.): *Hydrologische Systeme im Wandel. Beiträge zum Tag der Hydrologie 2009. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 26.09*, 161-167.
- BRONSTERT et al. (2006): Vergleich und hydrologische Wertung regionaler Klimaszenarien für Süddeutschland. – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 50(6), 270-287.
- DIEKKRÜGER, B. & M. ARNING (1995): Simulation of water fluxes using different methods for estimating soil parameters. – *Ecological Modelling* 81(1-3): 83-95.
- DIEKKRÜGER, B. et al. (1995): Validity of agroecosystem models – A comparison of results of different models applied to the same data set. – *Ecological Modelling*, 81(1-3), 3-29.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.* – Cambridge University Press.
- NASSAUER, J.I. & R.C. CORRY (2004): Using normative scenarios in landscape ecology. – *Landscape Ecology* 19, 343-356.
- UBA (2007): Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. – Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 204 41 138: A. SPEKAT et al. (Januar 2007).
- THODSEN, H. (2007): The influence of climate change on stream flow in Danish rivers. – *Journal of Hydrology* 333, 226-238.
- WILBY, R.L. et al. (2006): Integrated modelling of climate change impacts on water resources and quality in a lowland catchment: River Kennet, UK. – *Journal of Hydrology* 330, 204-220.

Erfolgsfaktoren und Indikatoren für erfolgreiches Wasserressourcenmanagement

Mariele Evers, Leonie Lange, Marion Ramünke

Zusammenfassung

Zentraler Ansatz für ein nachhaltiges Wasserressourcenmanagement ist das Integrierte Wasserressourcenmanagement (IWRM). Jedoch ist bei diesem Ansatz noch relativ unklar, was ein erfolgreiches IWRM ausmacht. Anhand von Analysen weltweiter Fallstudien werden in dem Projekt IndiWa (Indicators for successful Integrated Water Resources Management) Indikatoren für erfolgreiches IWRM untersucht. Zentrale Methodik ist die Untersuchung durchgeführter Projekte anhand verschiedenen Faktoren wie bspw. Enabling Environment, Management, Partizipation und Capacity Development, Datenverfügbarkeit etc. Diese Untersuchungsbereiche umfassen wiederum weitere Analysefaktoren. In dem Beitrag werden die erste Ergebnisse vorgestellt anhand derer Erfolgsfaktoren und Indikatoren identifiziert und anhand von good Practise-Beispielen zusammengestellt werden.

1. Einleitung

Die nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen gehört zu den wichtigen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Insbesondere der Klimawandel und damit einhergehende mögliche Probleme wie Wasserknappheit, extreme Hochwasserereignisse oder schlechte Wasserqualität verstärken die Forderung nach einer integrierten Bewirtschaftung der Wasserressourcen.

Zentraler Ansatz in diesem Zusammenhang ist das IWRM („Integrated Water Resources Management“). Die gebräuchlichste Definition des Begriffs stammt von der Global Water Partnership (GWP): „IWRM is a process which promotes the co-ordinated development and management of water, land and related resources, in order to maximize the resultant economic and social welfare in an equitable manner without compromising the sustainability of vital ecosystems“ (GWP TAC 4 2000: 22). An den umsetzungsbezogenen Ansätzen für ein IWRM setzt das Projekt IndiWa³ (Indicators for successful Integrated Water Resources Management) an. Ziel ist es förderliche Faktoren sowie Indikatoren für ein erfolgreiches integriertes Wasserressourcenmanagement zu identifizieren. Es wird darüber hinaus angestrebt eine Datenbank mit „good practice“ Beispielen anzulegen und regionale Anforderungskataloge für IWRM zu entwickeln.

2. Methode

Die für das Projekt gewählte Methode basiert auf einer dokumentengestützten Analyse von Fallstudien anhand eines im Vorfeld entwickelten Evaluationsbogens. Der Schwerpunkt der Fallbeispiele liegt zurzeit auf Beispielen aus der EU. Zusätzlich wurden 4 außereuropäische als Vergleichsfälle herangezogen.

³ Gefördert durch die Leuphana Universität Lüneburg.

Insgesamt wurden bislang 26 Fallstudien aus 18 Ländern ausgewertet. Diese wurden aus EU Forschungsprojekten (HarmoniCop, NeWater) sowie der GWP-Toolbox⁴ und dem UNESCO HELP Programm ausgewählt.

Kriterien für die Auswahl der Fallbeispiele waren folgende Aspekte:

- Repräsentanz der Fälle hinsichtlich der „Wasserprobleme“ (z.B. Fokus Hochwasser oder Wasserknappheit)
- Geographische Verteilung im europäischen Raum und zusätzlich anderen Kontinenten
- Qualität der auszuwertenden Dokumente
- Sprache in der die Dokumente vorliegen (englisch-, deutsch-, französisch-, spanisch- und schwedisch-sprachige Dokumente konnten ausgewertet werden)

Als erfolgreich wird IWRM in diesem Projekt bezeichnet, wenn die wesentlichen Ziele der untersuchten Projekte bzw. bestimmte Teilziele in den untersuchten Dokumenten als erreicht eingestuft wurden. Eine eigene Bewertung des Zielerreichungsgrades konnte auf Grundlage nur von Literatur nicht durchgeführt werden.

Der entwickelte Evaluationsbogen basiert auf einem Kategoriensystem, das mit Hilfe einer umfangreichen Literaturrecherche erstellt wurde. Erste wichtige Grundlage des Kategoriensystems sind die Dublin Prinzipien (1992), die auch von der Global Water Partnership (GWP) als wichtige Leitlinien und Hintergrund für IWRM bezeichnet werden (GWP TAC 4 2000). Die Dublin Prinzipien charakterisieren Wasser als eine endliche sowie vulnerable Ressource mit ökonomischem Wert. Sie heben die Rolle der Frauen für Bereitstellung, Management und Sicherung der Wasserressourcen hervor und plädieren für einen partizipativen Ansatz im Wassermanagement (GWP TAC 4 2000).

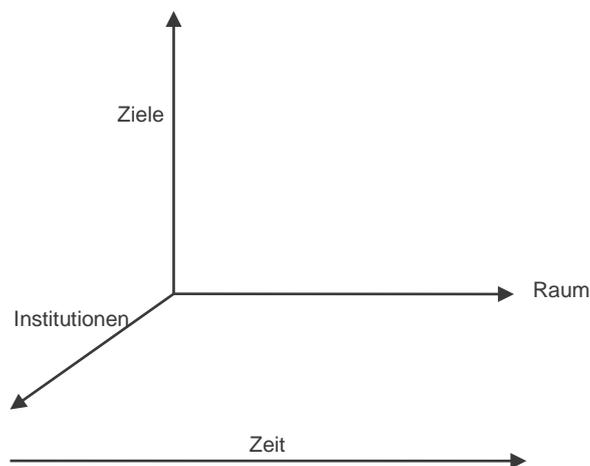


Abb. 1 Die 4 Integrationsachsen des IWRMs nach Cardwell et al. (2008)

Als weiterer Baustein wurden in das Kategoriensystem die IWRM-Prinzipien nach NEUBERT und THEESFELD (2008) aufgenommen. Diese Prinzipien umfassen ein flussgebietsbasiertes sektorübergreifendes Wassermanagement, das auf der Integration des natürlichen und sozialen Systems sowie auf partizipativ-kooperativen Strukturen basiert.

⁴ "The GWP ToolBox comprises an organized collection of case studies, reference documents, external web sites and other supporting materials in water resources management, which have been submitted by various contributors and have been peer reviewed. (http://www.gwptoolbox.org/index.php?option=com_content&view=article&id=6&Itemid=4).

Drittes Element sind die Integrationsachsen nach CARDWELL et al. (2006) (s. Abbildung 1), die für die erfolgreiche Integration des natürlichen und sozialen Systems im IWRM von großer Bedeutung sind: (1) Die Zielintegration bezieht sich auf die Abstimmung der Managementaktivitäten zur Erreichung von optimierten Zielen in unterschiedlichen Bereichen wie beispielsweise in der Wasserversorgung, dem Hochwasser-management, der Landwirtschaft oder dem Ressourcenschutz. (2) Die Raumintegration bezieht sich sowohl auf den geographischen Raum als auch auf die vertikale Schichtung des Raumes. (3) Die Integration von Institutionen (wie beispielsweise Nicht-Regierungs-Organisationen) ist für die Erreichung der Ziele eines integrierten Wasserressourcenmanagements notwendige Voraussetzung ebenso auch die (4) Zeitintegration, um angemessene Zeitskalen für die geplanten Bewirtschaftungsmaßnahmen festzusetzen.

Tab. 1: Aufbau des Kategoriensystems für die Kategorien „Management“, „Partizipation/ Kooperation“ sowie „Wissensmanagement und „Capacity Development“

<u>V Enabling Environment</u> 1) Resources and financial structures 2) Legal conditions / legal framework 3) Political and governmental structures 4) Data availability and quality
<u>VI Management</u> 1) Structures a) Cross-sectoral cooperation 2) Institutions a) Competences b) Resources c) Ability to cooperate 3) Processes a) Trigger b) Flexibility c) Power relationships (Linkage to Institutions) 4) Instruments a) Socio-technical instruments b) Spatial instruments c) Other instruments
<u>VII Participation/Cooperation</u> 1) Why? 2) How? 3) Who? 4) Which results? 5) Gender and diversity mainstreaming 6) Transparency and reflection of the participation process and the process results
<u>VIII Knowledge management and capacity building</u> 1) Individuals, groups, institutions 2) Involvement of scientific institutions 3) Knowledge transfer 4) Transdisciplinarity 5) Data and Information Management

Letzter Baustein des Kategoriensystems sind die drei Implementationselemente der GWP (2000) – Rolle der Institutionen, Managementinstrumente und Enabling Environment⁵. Hervorzuheben ist hier die „Enabling Environment“. Sie umfasst die „Spielregeln“ für IWRM, zu denen unter anderem die Stakeholderpartizipation gehört. Die Aufstellung der Spielregeln obliegt den Regierungsorganisationen. Bestandteil der „Enabling Environment“ sind außerdem Finanzierungsstrukturen, die den Aufbau einer nachhaltigen Wasserwirtschaft gewährleisten. (GWP TAC 4 2000). Obwohl das Kategoriensystem die Grundstruktur des Evaluationsbogens darstellt, unterliegt die Handhabung des Evaluationsbogens einer gewissen Flexibilität bzw. Adaptionsmöglichkeit, so dass der Bogen an Ergebnisse aus der Dokumentenanalyse angepasst werden kann.

Das entwickelte Kategoriensystem umfasst sechs Hauptkategorien mit einer jeweils unterschiedlichen Anzahl an Subkategorien.

Die Hauptkategorien umfassen folgende Bereiche: (1) 4 Integrationsachsen, (2) Kulturelle Aspekte, (3) Enabling Environment, (4) Management, (5) Partizipation/Kooperation, (6) Wissensmanagement und Capacity Development.

Die Hauptkategorie „Enabling Environment“ untergliedert sich in die Subkategorien „Ressourcen und Finanzierungsstrukturen“, „Rechtliche (Rahmen-)Bedingungen“, „Politische Strukturen und Regierungsstrukturen“ sowie „Daten(verfügbarkeit)“ (vgl. auch Tabelle 1).

Die Kategorie „Management“ wurde eingeteilt in die Subkategorien „Strukturen“, „Prozesse“, „Institutionen“ und „Instrumente“, die wiederum verschiedene Aspekte umfassen. In der Subkategorie „Prozesse“ werden bspw. die Prozessauslöser, die Flexibilität der Prozesse sowie die Machtverhältnisse betrachtet.

Bzgl. der „Institutionen“ wird danach gefragt, welche Kompetenzen und Ressourcen die beteiligten Institutionen haben und inwiefern sie kooperationsfähig sind. In der Subkategorie „Instrumente“ werden schließlich raumplanerische, sozio-technische Instrumente (z.B. Entscheidungsunterstützungssysteme oder Simulationsmodelle) und andere Instrumente, wie wirtschaftliche Anreize, zusammengefasst.

3. Ausgewählte Zwischenergebnisse

In den bislang untersuchten Fallbeispielen ist die sektorübergreifende Zusammenarbeit sowohl auf horizontaler als auch auf vertikaler Ebene ein zentrales Element der Managementprozesse. Es zeigt sich, dass die Umsetzung von IWRM insbesondere von der Kooperationsbereitschaft und Kooperationsfähigkeit der politischen Führung sowie der weiteren Beteiligten abhängt. Die Bereitschaft und die Fähigkeit zur Kooperation wirken sich förderlich auf IWRM aus und können zum jetzigen Zeitpunkt als Erfolgsfaktoren für IWRM eingestuft werden.

Interessant ist darüber hinaus, dass es in der Mehrzahl der untersuchten Fälle ein verantwortliche/er Prozesskoordinator/in mit Entscheidungsressourcen und entsprechenden Kompetenzen nachgewiesen werden konnte, der/die die Prozesse weitestgehend organisiert. Aufgrund der

⁵ “The enabling environment is basically national, provincial or local policies and the legislation that constitutes the ‘rules of the game’ and enable all stakeholders to play their respective roles in the development and management of water resources” (GWP TAC 4 2000 S. 35).

bisherigen ist anzunehmen, dass in Bezug auf die Prozesskoordination von einem Erfolgsfaktor für IWRM gesprochen werden kann.

Ein Großteil der IWRM-Prozesse in den untersuchten Fallbeispielen ist „top-down“ initiiert worden; in Europa insbesondere bedingt durch die EU WRRL und die daran gekoppelten Forderungen an integriertes Wasserressourcenmanagement. Aber auch Umweltprobleme und Herausforderungen, einschließlich des Klimawandels, führten in einigen Fallbeispielen zum Umdenken in der Bewirtschaftung der Wasserressourcen – wie beispielsweise in Dänemark oder den Niederlanden.

Interessant ist darüber hinaus, dass auch Konflikte zwischen Stakeholdern z.B. Chaguana/Ecuador bzw. zwischen Bevölkerung und staatlichen Organisationen (Loire/Frankreich) dazu beitragen können, dass IWRM-Prozesse angestoßen werden.

Die Dokumentenanalyse zeigt, dass in der Mehrzahl der bislang untersuchten Fälle wissenschaftliche Institutionen, wie Universitäten, in die Prozesse einbezogen werden/wurden und dieses sich förderlich auf die Prozesse auswirkt. Grundsätzlich sind Projekte mit Einbezug wissenschaftlicher Institutionen jedoch besser dokumentiert und zugänglich als andere, was die Aussagekraft dieser These nicht eindeutig belegbar macht.

In einigen Ländern sind Umwelt- oder Wasser-Programme etabliert wie bspw. Room for rivers in den Niederlanden oder die Miljösmål in Schweden. Vorteil an solchen im Vergleich zu einzelnen Vorhaben und Projekten breiter aufgestellten Programmen ist die relative Flexibilität und längerfristige Bearbeitung von Problembereichen. Auch bewirken sie oftmals mehr öffentliches Interesse und Information und ggf. auch eine breitere Integration als kurzfristige Projekte bzw. eine fachinterne Bearbeitung. Wie bekannt ist bspw. die Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland oder Europa? Rooms for rivers hat hingegen in den Niederlanden ein hohen Bekanntheitsgrad.

Der Einsatz sozio-technischer Instrumente hat sich in den meisten der bisher untersuchten Fallstudien als vorteilhaft erwiesen, da sie als Planungs- und Entscheidungsinstrumente Unterstützung hinsichtlich möglicher Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen bieten. Aufgrund der Integration verschiedener Bereiche, wie beispielsweise Ökonomie oder Gesundheit, werden die Zusammenhänge zwischen diesen Bereichen und dem Wasser besser verstanden. Darüber hinaus können, durch die auf diese Weise erzielte ganzheitliche Betrachtung, Maßnahmen vermieden werden, die keine nachhaltige Wasserbewirtschaftung fördern und einseitig bestimmte Bereiche begünstigen. Die Bandbreite der Tools reicht von komplexen regionalen Decision Support Systems (DSS), die sich über ein gesamtes Flussgebiet erstrecken (Nil-Anrainerstaaten, Nile DSS), über generische Simulationsmodelle, die einzugsgebietsabschnittsbezogen adaptiert werden (Olifants/Südafrika, WEAP) bis zur Nutzung von Einzelmodellen, deren Einsatz unter anderem den Dialog fördern soll (Motala/Schweden ICECREAM).

Von entscheidender Bedeutung für den erfolgreichen Einsatz dieser Instrumente ist die Wahl des geeigneten Tools, sowohl bezogen auf die Ausgangssituation des Modellgebietes, beispielsweise bezüglich der Datenverfügbarkeit, als auch auf die Anwenderfreundlichkeit und Verständlichkeit hinsichtlich der Nutzung durch Laien. Als förderlich erwies sich zudem der gemeinsame Aufbau des Tools durch Entwickler/innen und spätere Anwender/innen.

Neben den sozio-technischen Instrumenten gibt es eine Vielzahl weiterer Managementinstrumente, zu denen unter anderem planerische Instrumente gezählt werden. Hierzu gehören

Flussgebietsmanagementpläne, deren Ziel insbesondere die nachhaltige und integrierte Bewirtschaftung von Süßwasserressourcen ist. Auf Ebene der EU erfordert bekanntermaßen die EU-WRRL seit dem Jahre 2000 derartige Pläne. Auch außerhalb Europas gibt es vergleichbare Vorhaben (Murray-Darling/Australien). Als weiteres schlagkräftiges Managementinstrument können freiwillige Vereinbarungen benannt werden, die zwischen Wassernutzergruppen (wie Landwirten/innen) und dem Staat getroffen werden können.

Partizipation spielt in den bislang untersuchten Fallbeispielen eine große Rolle für erfolgreiche Prozesse. Auffällig ist, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden und Modelle angewandt wird, um Stakeholder in den Managementprozess einzubeziehen. Das Spektrum reicht von reiner Information, über Anhörungen bis hin zum aktiven Einbezug und Kooperation. Neben projektorientierter Partizipation, wie unter anderem dem Einsatz von Focus Groups (z.B. Motala/Schweden) oder die Durchführung von Workshops, auch langfristig installierte Partizipationsforen wie Water User Associations (WUA) (z.B. Rumänien) identifiziert werden konnten. Gründe für die Initiierung von Partizipationsprozessen sind ähnlich vielfältig wie die angewendeten Methoden und Modelle. In der EU ist diesbezüglich insbesondere die EU WRRL von Bedeutung. Daneben spielt die Einsicht, dass Ziele nur gemeinsam erreicht und/oder Probleme nur gemeinsam gelöst werden können, eine große Rolle für die Initiierung partizipativer Prozesse (z.B. Varbitsa/Bulgarien). Auch der Wunsch die Betroffeneninteressen besser in den Prozessen zu berücksichtigen (z.B. Viru-Peipsi/Estland) oder Druck von Seiten eines Stakeholders (wie z.B. einer NGO/ Bsp: Loire/Frankreich), können Gründe für eine partizipative Prozessgestaltung sein.

Die Berücksichtigung von Gender Aspekten wird unter anderem in den Dublin Prinzipien als relevanter Faktor für IWRM bezeichnet. In den bisher untersuchten Fallbeispielen konnten allerdings keine (eindeutigen) Hinweise auf die Berücksichtigung von Gender-Aspekten gefunden werden. Ähnliches gilt für kulturelle Aspekte. Dass die Berücksichtigung von Kultur- und Gender-Aspekten bislang nicht nachgewiesen werden konnte, kann auf die gewählte Methode zurückgeführt werden; wahrscheinlicher ist aber, dass diese Aspekte nicht berücksichtigt oder zumindest nicht dokumentiert werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Als wichtige Zwischenergebnisse können (vorläufig) folgende Aspekte zusammengefasst werden:

- IWRM-Prozesse werden meist „top-down“ initiiert
- Wissenschaftliche Institutionen werden häufig in IWRM-Prozesse einbezogen
- Gender und kulturelle Aspekte werden in den untersuchten Fällen nicht dokumentiert und/oder nicht berücksichtigt
- Förderliche Faktoren für IWRM sind: Sektorübergreifende Zusammenarbeit, Kooperationsbereitschaft und Kooperationsfähigkeit der Akteure, eine verantwortliche Person für Prozesskoordination, Einsatz sozio-technischer Instrumente, intensive Partizipationsprozesse mit angepassten Partizipationsmodellen und -methoden

Im Verlauf der nächsten Monate werden weitere europäische sowie außereuropäische Fallstudien, insbesondere grenzüberschreitende Prozesse, in die (Dokumenten-)Analyse aufgenommen sowie (qualitative) Detailstudien (v.a. Expert/inneninterviews) durchgeführt. Eine Datenbank mit good practise Beispielen wird entwickelt.

Literatur

- CARDWELL, H. E. et al. (2006): Integrated Water Resources Management - Definitions and Conceptual Musings. - In: Journal of contemporary water research & education issue 135. Verfügbar unter: http://www.ucowr.siu.edu/updates/135/JCWRE_135_Entire.pdf (Stand: 13.04.2010).
- GWP TAC 4 (2000): Integrated Water Resources Management. - <http://www.gwpforum.org/gwp/library/Tacno4.pdf> (Stand: 13.04.2010).
- ICWE (International Conference on Water and the Environment) (1992): The Dublin Statement on water and sustainable development. - Dublin, Ireland, January 31, 1992. - Verfügbar unter: <http://www.un-documents.net/h2o-dub.htm> (Stand: 13.04.2010).
- NEUBERT, S. & I. THEESFELD (2008): IWRM und das Zusammendenken natürlicher und sozialer Systeme. EZ trifft Wissenschaft: Grundwasserressourcen und Wassermanagement. - Verfügbar unter: http://www.bgr.bund.de/nn_459028/DE/Themen/TZ/TechnZusammenarbeit/Politikberatung__GW/Downloads/Theesfeld,templated=raw,property=publicationFile.pdf/Theesfeld.pdf (Stand:13.04.2010).
- Weiterführende Literatur zu den genannten Fallbeispielen:
- ARRANZ, R. (2006): Future water demands and resources in the Olifants catchment, South Africa. A scenario analysis approach using the WEAP model – <http://www.waternetonline.ihc.nl/challengeprogram/D24%20Arranz%20WEAP.pdf>(Stand: 25.11.2009).
- DAINOV, E. (o.J.): Bulgaria: Creating a Watershed Council for the Varbitsa river. GWP case #142. - Verfügbar unter: <http://www.gwptoolbox.org/images/stories/cases/en/cs%20142%20bulgaria.pdf> (Stand: 13.04.2010).
- ESTONIAN ENVIRONMENTAL INFORMATION CENTRE (2005): Viru-Peipsi CAMP. Summary Report. http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/files/laymanReport/LIFE00_ENV_EE_000925_LAYMAN.pdf (Stand: 10.07.2009).
- GEORKAKOS, A. P. (2004): Decision support systems for Integrated Water Resources Management with an application to the Nile basin. http://www.elet.polimi.it/IFAC_TC_Environment/Venice2004/papers/g_geo_ven04.pdf (Stand: 25.11.2009).
- GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP): The Danish Action Plan for the Aquatic Environment, Denmark, Case #267. <http://www.gwptoolbox.org/images/stories/cases/en/cs%20267%20denmark.pdf> (Stand 13.04.2010).
- KANGUR, K. (2004): Focus Groups and Citizens' Juries River Dialogue Experiences in Enhancing Public Participation in Water Management. - <http://www.ctc.ee/pub/RiverD-Book64A50531.pdf> (Stand: 13.04.2010).
- MATAMOROS CAMPOSANO, D. E. (2004): Predicting river concentrations of pesticides from banana plantations under data- poor conditions. Dissertation. http://biomath.ugent.be/publications/download/matamorosdavid_phd.pdf (Stand: 9.12.2009).
- MURRAY-DARLING BASIN AUTHORITY (MDBA) (2009): The Basin Plan: A concept statement. <http://www.mdba.gov.au/files/publications/basin-plan-concept-statement.pdf> (Stand: 13.04.2010).
- NELSON, L. (2009): Romania – Strengthening of Water Users Associations. http://www.gwptoolbox.org/index.php?option=com_case&id=99&Itemid=47 (Stand: 15.05.2009).

- OTTER, H., P. VALKERING & H. WOLTERS. (2004): Participation and social learning in the Meuse River. Report of work package 5 of the HarmoniCOP project. http://www.harmonicop.uni-osnabrueck.de/_files/_down/Final%20WP5%20Dutch%20Case%20Study%20Report%2029Nov%2004.pdf (Stand: 14.04.210).
- PAASONEN-KIVEKÄS M., H. KOIVUSALO, I. BÄRLUND, S. TATTARI & L. ALAKUKKU (2006): Modelling runoff and erosion in agricultural soil: application of ICECREAM model to a field site in southern Finland. S. u.: <http://orgprints.org/16231/1/pollutants2.pdf> (Stand: 13.04.2010).

Bewertungen in der Wasserwirtschaft: Stellenwert, Aufgaben, Entwicklungsbedarf

Walter Pflügner

Zusammenfassung

Analytische Projektbewertungen werden in der Praxis viel zu selten und meist nicht umfassend genug angewandt. Das hat vielerlei Gründe und Folgen. Dieser Anwendungsstand ist nicht nur unbefriedigend, sondern angesichts der vielfältigen Aufgabenstellungen für die Zukunft, z. B. zwecks Implementierung der EG-WRRL (2000/60/EG) und der EG-HWRMRL (2007/60/EG), inakzeptabel. Im Aufsatz wird gezeigt, in welchen Teilbereichen Rechts- und Verwaltungsvorschriften das Durchführen von Projektbewertungen fordern und dass es für Teilbereiche auch Leitlinien und Anwendungshilfen gibt, die das unterstützen (vgl. z. B. DWA - Themenband "Hochwasserschadensinformationen", Hennef, 2008; DWA - M 810 zur KVR, erscheint in 8. Auflage in 2010). Dann wird herausgearbeitet, was geschehen muss, um die heute üblichen Projektbewertungen zur Nachhaltigkeitsbewertung weiter zu entwickeln. Dazu wird ein Grundkonzept vorgestellt und diskutiert, was getan werden muss, um die Nachhaltigkeitsbewertung zur "Guten Praxis" beim Planen, Beraten und Entscheiden in der Wasserwirtschaft werden zu lassen.

1. Der Stellenwert von Projektbewertungen in der Wasserwirtschaft heute

Viele reden heute von und über Nachhaltigkeit und von vielen Projekten wird heutzutage einfach behauptet, dass sie nachhaltig seien. In den allermeisten Fällen werden keinerlei fundierte Belege dafür geliefert. Das ist auch schwer möglich, da es bis heute keine „offizielle“ Methodik dafür gibt, nicht einmal eine eindeutige Basisdefinition. Das Problem wurde sozusagen direkt mit dem Brundtland-Report geboren, in dem 1987 das Nachhaltigkeitskonzept weltweit eingeführt wurde. Mit der Hervorhebung seiner Bedeutung ging jedoch einher, dass im Brundtland-Report leider gleich mehrere Definitionen in die Welt gesetzt wurden. So wird auch heute oft noch die Version besonders in den Vordergrund gestellt, die auf die Generationengerechtigkeit abhebt.

Zielführender ist jedoch diejenige, welche die Nachhaltigkeit zum Oberziel erhebt und daran drei weitere Zieldimensionen anbindet: Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Sozialverträglichkeit. Diese Definition wurde in Verbindung mit dem deutlichen Hinweis propagiert, dass Ziele und Aktivitäten stets lokaler und regionaler Konkretisierungen bzw. Operationalisierung bedürfen wie folgt: "No single blueprint of sustainability will be found, as economic and social systems and ecological conditions differ widely among countries. Each nation will have to work out its own concrete policy implications." (Brundtland-Report, Part I, Ch.1 / II, Ziffer 51). In Deutschland wurde eine entsprechende Definition 2001 vom Rat für Nachhaltige Entwicklung (RNE) wie folgt formuliert: "Nachhaltige Entwicklung heißt, Umweltgesichtspunkte gleichberechtigt mit sozialen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu berücksichtigen." In beiden zuletzt zitierten Definitionen werden jedenfalls die drei Zieldimensionen deutlich herausgehoben. Diese Interpretation hat sich vor allem seit den Agenda-21-Diskussionen ab 1992 als nützlich

erwiesen und wurde dann zunehmend als das umfassendste Konzept anerkannt. Somit ist seitdem ein drei-dimensionales Zielsystem in der Welt (Abbildung 1), ohne dass es dafür bis jetzt ein offizielles Anwendungsgebot gibt. Jedoch sind basierend auf dieser Hintergrundvorstellung zwischenzeitlich vielerlei Aktivitäten gewachsen, wie z. B. die diversen Nachhaltigkeitschecks für Bundes- und Landespolitik, Produkte etc. (vgl. z. B. rund 6860 google - Treffer Stand März 2010) und jüngst die Verankerung der sogenannten „Nachhaltigkeitsprüfung“ für Gesetzes- und politische Vorhaben (im Koalitionsvertrag Herbst 2009) sowie auch FE-Vorhabenspläne für die Nachhaltigkeitsprüfung (vgl. UBA, ufoplan 2009).

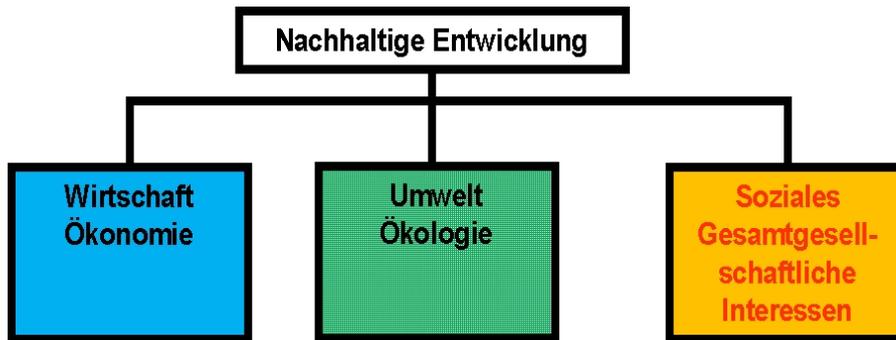


Abb. 1: Nachhaltigkeitszielsystem

Da also bis heute weder eine Nachhaltigkeitsbewertung noch eine Nachhaltigkeitsprüfung existieren, soll an dieser Stelle einmal aufgezeigt werden, welche Grundlagen dafür überhaupt bestehen. Dies geschieht in den folgenden 3 Abschnitten bezogen auf die drei Zielbereiche Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Sozialverträglichkeit.

Vorab muss erstens deutlich darauf hingewiesen werden, dass sich die folgenden Ausführungen ausschließlich auf die Ebene der Projektbewertung in der Wasserwirtschaft beziehen. Für die Ebene der Programmbewertung fehlen vergleichbare Grundlagen derzeit noch fast völlig (als Ausnahme vgl. die Strategische Umweltprüfung "SUP", die 2005 ins UVPG aufgenommen wurde).

Eine zweite Vorbemerkung ist hinsichtlich der Anforderungen an Projektbewertungen angebracht. Wer etwas darüber nachdenkt, wird schnell zu dem Ergebnis kommen, dass mindestens folgende Anforderungen wichtig sind: Projektbewertungen sollen objektiv sein, verständlich und nachvollziehbar sowie auch umfassend und vollständig. Besonders die beiden letzten Kriterien sind von großer Bedeutung, wenn man die heutige Praxis im Hinblick auf den künftigen Anspruch kritisiert, dass die Bewertungen fundierte Aussagen über den Grad der Nachhaltigkeit generieren sollen.

Und drittens verlangt die vergleichende Bewertung der heutigen Ausgangslage in den drei Zielbereichen der Nachhaltigkeit ein gemeinsames Vergleichsraster. Dies wird im folgenden dargestellt eingeführt, dass jeweils die Kriterien „gesetzliche Verankerung“, „methodische Fundierung“ und „Anwendung in der Praxis“ durchgeprüft werden.

2. Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Projekten in der Wasserwirtschaft

Zum Kriterium „gesetzliche Verankerung“ ist für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen festzustellen, dass es eindeutige gesetzliche Verankerungen des sogenannten „Wirtschaftlichkeitsgebots“ gibt und zwar auf Bundesebene in § 6 des Haushaltsgrundsätzegesetzes (und parallel

gleichlautend in § 7 der Bundeshaushaltsordnung) mit dem Titel: "Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit, Kosten- und Leistungsrechnung". Dessen zweiter Absatz besagt: "(2) Für alle finanzwirksamen Maßnahmen sind angemessene Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen durchzuführen." Aufgrund der Rechtskaskade, nach welcher der Bund auch den Ländern entsprechende Gebote auferlegt und die Bundesländer wiederum ihren Kommunen, gilt das Wirtschaftlichkeitsgebot somit für Bund, Länder und Kommunen mit allen ihren vielerlei Institutionen, also z. B. auch für Ver-/ Entsorgungsverbände, Eigenbetriebe usw. In den letzten Jahren hat das Wirtschaftlichkeitsgebot in Folge der Einführung der modernen Haushaltsführung noch mal einen deutlichen Schub erhalten dadurch, dass in dem sogenannten „Leittext“ des Bundes nun erstmals sogar die sogenannten "dynamischen" Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen verankert wurden mit folgender Formulierung: "Bei Investitionen ist die für die Kommune wirtschaftlichste Lösung zu ermitteln und sind die Kosten der Maßnahme sowie die nach Fertigstellung der Maßnahme entstehenden jährlichen Haushaltsbelastungen festzustellen." Damit wird gefordert, dass neben den Investitionskosten auch sämtliche Laufenden und Reinvestitionskosten berücksichtigt und nach den Prinzipien der Finanzmathematik einkalkuliert werden.

Neben der gesetzlichen Verankerung ist nun als zweites die Frage nach der „methodischen Fundierung“ der Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zu diskutieren. Dazu ist festzustellen, dass es bereits seit Ende der 70er Jahre umfängliche Leitlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hierfür gibt, in denen u. and. sowohl ein Zielsystem als auch eine Verfahrenssystematik niedergelegt ist und zu denen teils sehr ausführliche, praxisgerechte Hilfestellungen für die Praxis vorliegen (LAWA 1978; LAWA 1981, LAWA 1986; DWA-M 810 / 2010). Dass einiges darin vielleicht nicht mehr als dem neuesten Stand entsprechend angesehen werden mag oder nicht umfassend genug ist, tut hier nichts zur Sache.

Dass viele Bundesländer in vielerlei Bereichen der Wasserwirtschaft diese LAWA-Leitlinien für verbindlich erklärt haben und bestimmte Wirtschaftlichkeitsrechnungen wie insb. die Kostenvergleichsrechnung (KVR) in einigen Bundesländern sogar per Erlass eingeführt worden sind als Voraussetzung für bestimmte Zuschüsse, Fördermittel etc. zu Ver- und Entsorgungsprojekten (Thüringen, Sachsen, NRW, BW, BY, Rh.-Pf., Niedersachsen ...), hat gleichzeitig auch dazu geführt, dass man hinsichtlich des dritten Kriteriums, nämlich der „Anwendung in der Praxis“ wenigstens ein "teils / teils" feststellen muss. Das soll heißen, insbesondere da, wo ein Anwendungszwang besteht wie eben zitiert, werden Wirtschaftlichkeitsrechnungen regelmäßig durchgeführt, meist in Form der sogenannten "einfachen" Kostenvergleichsrechnungen (KVR) unter der Annahme der Nutzengleichheit, also ohne explizite Betrachtung der Projektnutzen. In anderen Fällen, also dort, wo sogenannte "höherwertige" Bewertungsverfahren (z. B. Nutzen-Kosten-Untersuchungen) eingesetzt werden müssen, geschieht dies bis heute sporadisch bis unregelmäßig. Zum Beleg dieser Einschätzung kann auf mehrere, sich regelmäßig wiederholende, Berichte bzw. auch Beanstandungen der Rechnungshöfe bzw. auch z. B. Jahresberichte des Bunds der Steuerzahler hingewiesen werden (vgl. stellv. z. B. BRH 2007, Kap. I, Teil 3).

Abgesehen von solchen Kritikpunkten ist festzustellen, dass Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen gesetzlich verankert wurden, methodisch recht gut fundiert sind und auch in der Praxis angewandt werden.

3. Bewertung der Umweltverträglichkeit von Projekten

Was die Projektbewertungen auf Umweltverträglichkeit anbetrifft, ist zum Kriterium „gesetzliche Verankerung“ wohl allseits bekannt, dass es in Deutschland seit 1990 ein entsprechendes Gesetz, das UVPG, gibt. Ergänzend gibt es seit 1995 eine UVPVwV. Darüber hinaus gibt es UVP-Leitlinien (LAWA 1997) sowie Einführungserlasse, z. B. der ArGe-Bau der Länder. Auch die Umweltverträglichkeitsprüfungen müssen somit als ausreichend gesetzlich und administrativ begründet bewertet werden.

Auch die „methodische Fundierung“ muss als ausreichend gegeben eingestuft werden. Neben der gerade zitierten UVPVwV wurde über die Jahre umfängliches Material insbesondere vom UVP-Förderverein publiziert, auch von Seiten der Technisch - Wissenschaftlichen Vereine ist die praktische Anwendung von Umweltverträglichkeitsuntersuchungen (UVU) stets umfassend unterstützt worden, z. B. wurde von der Vorgängerorganisation der jetzigen DWA seinerzeit die DVWK - Schrift S121 publiziert (DVWK 1999), welche derzeit aktualisiert wird und künftig als DWA -Merkblatt Hilfestellungen für UVU liefert.

Betreffend die „Anwendung in der Praxis“ ist hier wie bei den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen auch ein "teils / teils" anzusetzen. In einigen Bereichen werden UVU regelmäßig nachvollziehbar angewandt (z. B. Schifffahrtsverwaltung des Bundes), andere Anwendungsfelder sind aus vielerlei Gründen schwerer zu überschauen. Als Beleg dafür, dass nicht in allen Fällen ordnungsgemäß und qualitativ angemessen vorgegangen wird, sei hier nur kurz auf das sog. „Sofia“-Gutachten (2008) verwiesen.

Möglicherweise schwerwiegender als qualitative Mängel in der Einzelfallanwendung mag der Umstand gewertet werden, dass der Anwendungsbereich von UVU wesentlich stärker eingegrenzt ist als bei den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen. UVU sind nur für bestimmte Projekte erforderlich, nämlich für Errichtung bzw. wesentliche Veränderung der Anlagentypen, welche in Anlage 1 des UVPG aufgeführt sind (in welcher zusätzlich Mindestgrößenordnungen benannt sind). Hinzu kommt, dass sie von Anbeginn an in diesem stark eingegrenzten Bereich nur als sogenannter „unselbstständiger Teil“ im Genehmigungsverfahren zu behandeln sind. Dies heißt, dass sie, wo erforderlich, nur in einer bestimmten Projektphase durchgeführt werden, normalerweise im Zuge der Genehmigungsplanung, die nicht unbedingt mit anderen Eignungs-, Optimalitäts- und / oder Verträglichkeitsuntersuchungen zusammenfällt. Die Ergebnisse sind kein integraler Bestandteil der übrigen Planungs- und Entscheidungsprozesse und werden nicht zwangsläufig in diese integriert. Die UVU haben auch gar nicht die Aufgabe, nach der umweltfreundlichsten, ressourcenschonendsten, nachhaltigsten usw. Lösung zu suchen; es geht in den Zulassungsverfahren vielmehr um die Prüfung, ob ein eingereichtes Projekt unbedingt oder nur unter Auflagen zuzulassen ist (mit Ausgleichs- / Ersatzmaßnahmen). UVU bzw. UVP im Sinne des Gesetzes können somit weder als umfassende, noch als vollständige Verträglichkeitsprüfungen verstanden werden bzw. werden sie so heute faktisch kaum praktiziert.

4. Bewertung der Sozialverträglichkeit von Projekten

Noch kürzer fassen lässt sich die Statusbewertung für Untersuchungen der Sozialverträglichkeit von Projekten. Dafür gibt es (außer für Projekte im Gesundheits-, Familien-, Arbeits- und ähnlichen Bereichen) keine gesetzliche Grundlage in Deutschland.

Auch methodische Grundlagen fehlen fast völlig; im Bereich der Wissenschaft lassen sich seit Gründung der Bundesrepublik nur ganz vereinzelt Ansätze der Beschäftigung mit dieser Thematik entdecken.

So kann man nicht anders, als auch die Anwendungshäufigkeit in Deutschland zumindest explizit als äußerst selten zu qualifizieren (zu "impliziten" Betrachtungen vgl. unten). Dagegen sind international vielerlei Ansätze und Mindestanforderungen festzustellen, die z. B. in Bewertungsvorschriften von UNDP, Weltbank, KfW usw. verankert sind. Für Deutschland kann man jedenfalls bis heute keine umfassenden Betrachtungen oder Bewertungen in wasserwirtschaftlichen Projekten feststellen, allenfalls, dass in der Umweltpolitik das Thema jüngst wohl von einigen "wiederentdeckt" wird, wie z. B. Begründungen der Klimaeffizienzpolitik aktuell anzeigen (BMUNR 2008).

5. Zwischenergebnis

Insgesamt kann man nicht anders, als aufgrund dieser Gegebenheiten als Konsequenz für die Nachhaltigkeitsbewertung in Deutschland festzustellen: Noch fehlt eine gesetzliche Verpflichtung zur Anwendung. Nachhaltigkeitsbewertungen sind daher derzeit nur als freiwillige „good-will“-Aktionen überhaupt durchführbar!

Dies ist insgesamt ein doch sehr düsteres und betrübliches Bild angesichts von nunmehr über 20 Jahren Nachhaltigkeitskonzept und Nachhaltigkeitsgerede in Deutschland.

Erfreulicherweise ist aber in der Praxis der Projektbewertung in Deutschland seit einiger Zeit festzustellen, dass sie sich wenigstens in kleinen Schritten in die angezeigte Richtung bewegt.

6. Die Praxis auf dem Weg zur "Guten Praxis"

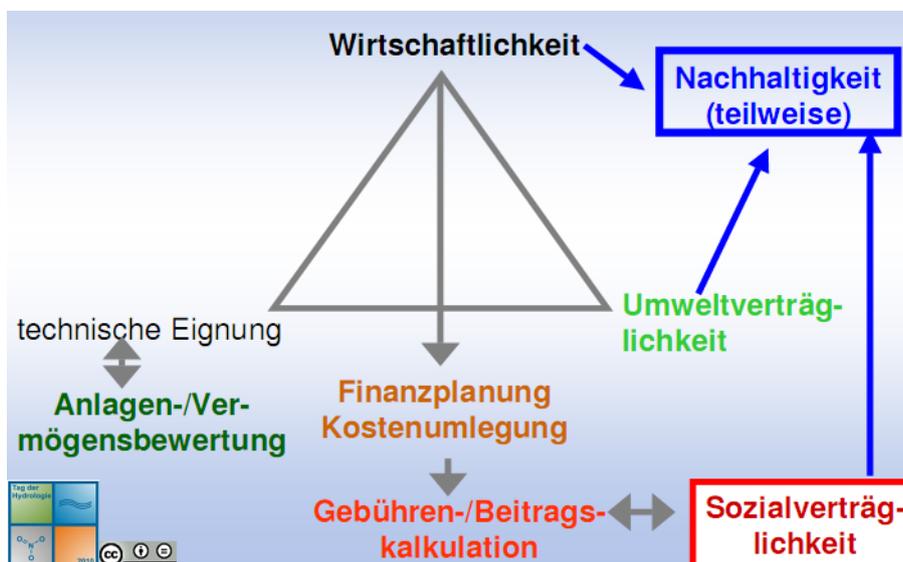


Abb. 2: Projektbewertung auf dem Weg zur Nachhaltigkeitsbewertung

Als Praktiker kann man nämlich feststellen, dass seit geraumer Zeit bei allen Projektgrößenordnungen und in allen wasserwirtschaftlichen Teilgebieten von der Versorgung über die Siedlungsentwässerung bis hin zur Hochwasservorsorge wenigstens teilweise Fragen "in die richtige Richtung" gestellt werden, so dass wenigstens "implizit" und teilweise zunehmend hinter-

fragt wird, ob wirklich auch die tragfähigste Lösung gewählt wird. Das passiert im Planungs- und Entscheidungsprozess etwa wie folgt: In der Praxis werden neben technischer Eignung und Wirtschaftlichkeit zunehmend auch Umweltgesichtspunkte mitbetrachtet, einfach weil der Bürgermeister es will, ein Gemeindeausschuss oder eine Fraktion es fordert usw. Das ist heute bereits vielfach "usus" und führt dazu, dass die Planungen sich an dem Zieldreieck in Abbildung 2 orientieren.

Das ist aber noch nicht alles. Denn aus den Grunddaten zur Wirtschaftlichkeit eines Projekts werden heute üblicherweise auch gleich weitere Erkenntnisse abgeleitet: Da nämlich Finanzierungsfragen heute von Anfang an eine zentrale Rolle spielen, wird die (gesamtwirtschaftliche) Wirtschaftlichkeit meist auch gleich konfrontiert mit (meist haushälterischen) Finanzierungsfragen. Da jene wiederum eng verkoppelt sind mit Fragen der Kostendeckung und der Kostenumlegung wird überall dort, wo sich die Diskussionen um die Gebühren- und Beitragsdeckung drehen, mindestens auch in einem ganz engen Sinne die Sozialverträglichkeit berührt (in Form der Gebührengerechtigkeit, der Leistungsfähigkeit der Bürger usw.). Abgesehen davon, dass bei all diesen Diskussionen auch Fragen der Substanzerhaltung und Bewertung des Volksvermögens mitspielen, kann man also feststellen, dass in der Realität mittlerweile die Betrachtung von Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Sozialverträglichkeit wenigstens in einem eingeschränkten Sinn schon langsam zur "guten Praxis" wird (was aber nicht bedeutet, dass immer auch unbedingt die nachhaltigsten Lösungen gewählt werden).

7. Entwicklungslinien

Von da aus gesehen gibt es drei unterschiedliche Entwicklungspfade für die Zukunft eingedenk der Tatsache, dass die eben geschilderten Vorgehensweisen bei der Projektbewertung sich derzeit allein aus dem Einzelfall heraus entwickeln und ohne dass irgendeine Mindestanforderung dafür bestünde: (1) Entweder man versucht, im wissenschaftlich - technischen Bereich derartige Vorgehensweisen als "gute Praxis" zu etablieren und diese sukzessive konkreter auszufüllen, so dass die Projektbewertungen dahin gehend vereinheitlicht und für die Anwender verbindlichere Zielvorgaben geschaffen bzw. auch Mindestanforderungen definiert werden. (2) Oder die Gesellschaft schafft es in absehbarer Zeit, einen gesetzlichen Rahmen zu schaffen, der die in den Abschnitten 2 bis 4 aufgezeigten Defizite für umfassende Nachhaltigkeitsbewertungen beseitigt. Oder (3) man begreift in der gesellschaftlichen Diskussion vielleicht, dass hierfür ein mehrstufiger Entwicklungsprozeß evtl. am besten ist, in dem in Stufe (1) die "gute Praxis" zuerst einmal wissenschaftlich - technisch konkretisiert und verankert werden muß bis umfassende Nachhaltigkeitsbewertungen sozusagen zu den allgemein anerkannten Regeln geworden sind, so dass man dann auf gesetzlicher Basis auch wirklich erfolgversprechend für die umfassende Anwendung der Nachhaltigkeitsbewertungen sorgen kann.

Der dritte Weg wäre wahrscheinlich der richtige. Denn zu erst einmal ist aus heutiger Sicht ganz klar festzustellen, dass einige wichtige bewertungsmethodische Vorgaben derzeit noch komplett fehlen. Wissenschaft und Praxis sind im engen Zusammenwirken diejenigen, die diese Aufgaben kompetent lösen können und müssen, bevor "die Politiker" oder "der Gesetzgeber" schlüssige und erfüllbare Forderungen zur Anwendung der Nachhaltigkeitsbewertung stellen können. Musterprojekte scheinen sinnvoll, um die Vorgehensweise zu entwickeln und die praktische Machbarkeit zu demonstrieren. Sie scheinen auch nützlich, um bei "den Entschei-

„Träger“ entsprechendes Vertrauen dahin gehend zu schaffen, dass die Bewertungsmethodik auch tatsächlich in der Praxis zu guten Entscheidungen verhilft. Darauf aufbauende Anleitmaterialien sind sicherlich geeignete Grundlagen für die „Standardisierung“ des Vorgehens. Und dies alles muss nicht nur begleitet werden von möglichst vielen guten Beispielen, die Vertrauen und einen möglichst breiten gesellschaftlichen Konsens entstehen lassen. Vielmehr müssen auch eine Reihe anderer widriger Rahmenbedingungen der heutigen Bewertungspraxis beseitigt werden wie z. B. die unklare bis unqualifizierte Auftragsvergabe, die fehlende Integration der Teilbewertungen in der Praxis der Projektplanung und Entscheidungsvorbereitung, mangelnde Qualitätskontrollen usw.

Literatur

BMUNR; Nationaler Energieeffizienzplan, Berlin, 2008

BRH; Bemerkungen 2007 zur Haushalts- und Wirtschaftsführung des Bundes, Berlin, 2007

DVWK-Schrift S121 Maßnahmen an Fließgewässern - umweltverträglich planen, Bonn, 1999

LAWA; Leitlinien zur Durchführung von Kosten-Nutzen-Analysen in der Wasserwirtschaft, Stuttgart 1978

LAWA; Grundzüge der Nutzen-Kosten-Untersuchungen, Bremen, 1981

LAWA; Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen in der Wasserwirtschaft, 1. Aufl., 1986 (künftig: DWA-M 810)

Sonderforschungsgruppe Institutionenanalyse („Sofia“); Evaluation des UVPG des Bundes, Darmstadt uaO, 2008

Report of the World Commission on Environment and Development; U.N., vom 4. August 1987 (Brundtland-Report)

Umsetzung der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie = integriertes Hochwasserrisikomanagement?

Uwe Müller

Zusammenfassung

Im Beitrag werden die wichtigsten Schritte zur Umsetzung der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (EG-HWRM-RL) (EU 2007) analysiert und in den Kontext eines integrierten Hochwasserrisikomanagements gestellt. Zu Beginn wird der in Deutschland geplante Standard zur Umsetzung der EG-HWRM-RL untersetzt mit Beispielen aus dem Freistaat Sachsen vorgestellt. Dabei wird der Bezug zum Hochwasserrisikomanagement hergestellt. Im zweiten Teil wird das integrierte Hochwasserrisikomanagement mit seinen Phasen Bewältigung, Regeneration und Vorbeugung vorgestellt. Hier wird besonderer Wert auf die Interdisziplinarität gelegt. In diesem Teil wird verdeutlicht werden, dass wir am Anfang des unbedingt erforderlichen und momentan zögerlich statt findenden Paradigmenwechsel von der Schadensbegrenzung zur interdisziplinären Schadensvorbeugung im Rahmen einer zeitgemäßen Risikokultur stehen. Zum Schluss werden die EG-HWRM-RL und das integrierte Hochwasserrisikomanagement gegenüber gestellt und miteinander verglichen.

1. EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie

Im Oktober 2007 hat die Europäische Union die Richtlinie 2007/60/EG zur Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken (EU 2007) verabschiedet und die Bundesregierung mit dem ab 01.03.2010 geltendem neuen Wasserhaushaltsgesetz (Bundesrepublik Deutschland 2009) in nationales Recht umgesetzt. Die einzelnen Bundesländer werden zeitnah ihre Landeswassergesetze ebenfalls anpassen.

Diese EG-Richtlinie soll zur Verringerung der hochwasserbedingten nachteiligen Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und die wirtschaftlichen Tätigkeiten dienen. Damit bildet sie die Grundlage für ein integriertes Hochwasserrisikomanagement auf europäischer Ebene. In Umsetzung der EG-HWRM-RL werden alle EU-Mitgliedsstaaten in den nächsten Jahren flusseinzugsgebietsweise das Hochwasserrisiko bewerten, bei Betroffenheit Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten erstellen und Hochwasserrisikomanagementpläne erarbeiten und in regelmäßigen Abständen überarbeiten. Die Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser hat im September 2008 die Strategie zur Umsetzung der EG-HWRM-RL in Deutschland (LAWA 2008) beschrieben und einen ständigen Ausschuss (LAWA-AH) mit der Erarbeitung von Umsetzungshilfen beauftragt. Neben dem schon verabschiedeten Arbeitspapier „Vorgehensweise bei der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos“ (LAWA 2009) werden noch „Empfehlungen der LAWA zur Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen,“ und „Empfehlungen der LAWA zur Aufstellung von Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten in Kürze erscheinen.

Das Ziel der EG-HWRM-RL (Artikel 1) ist es einen Rahmen für die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken zur Verringerung der hochwasserbedingten nachteiligen Folgen auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeit

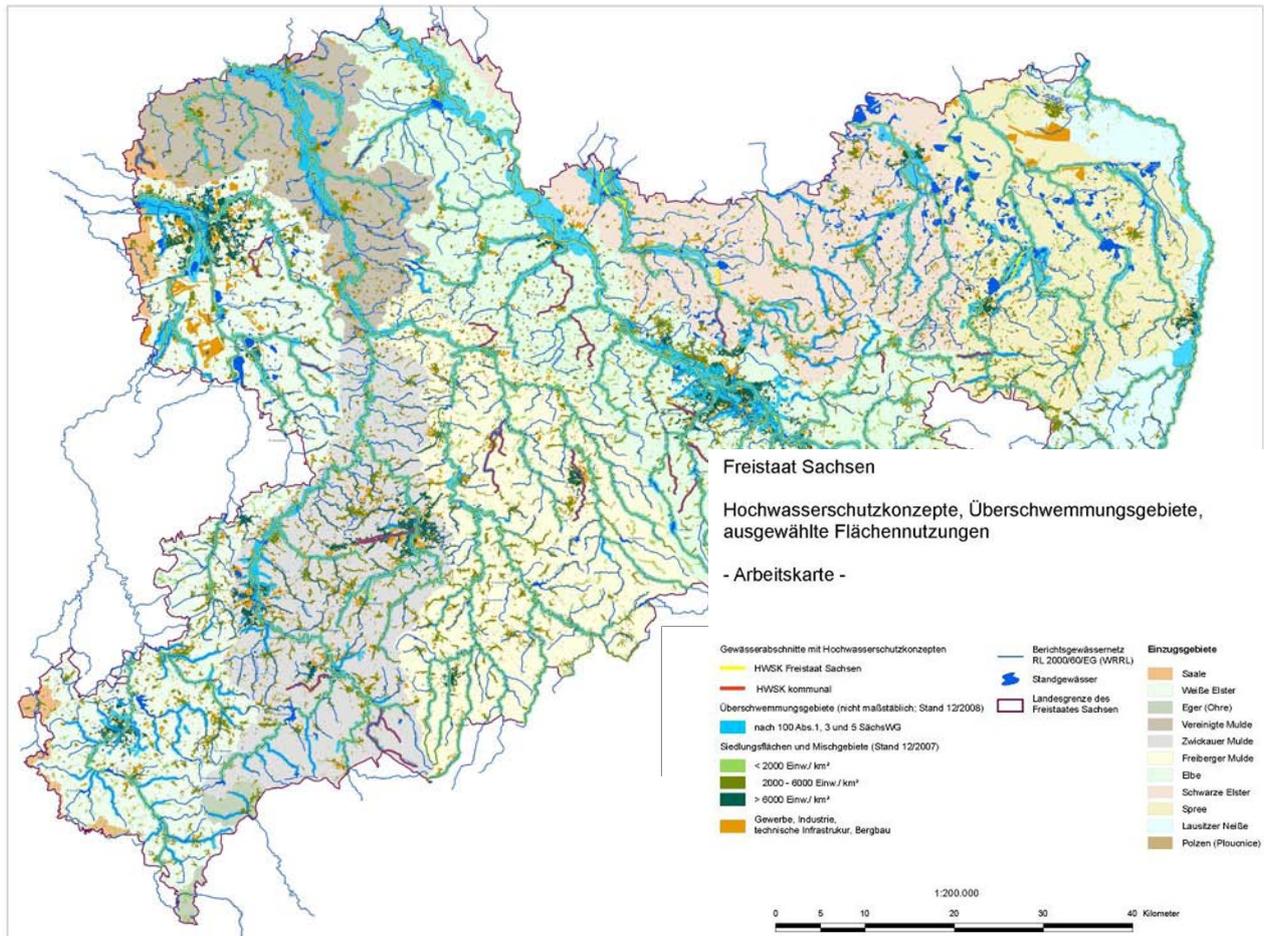


Abb. 1: Flächeninformationen zur vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos in Sachsen
ten in der Gemeinschaft zu schaffen. In den Artikeln 2 und 3 der Richtlinie sind Begriffe und Zuständigkeiten definiert.

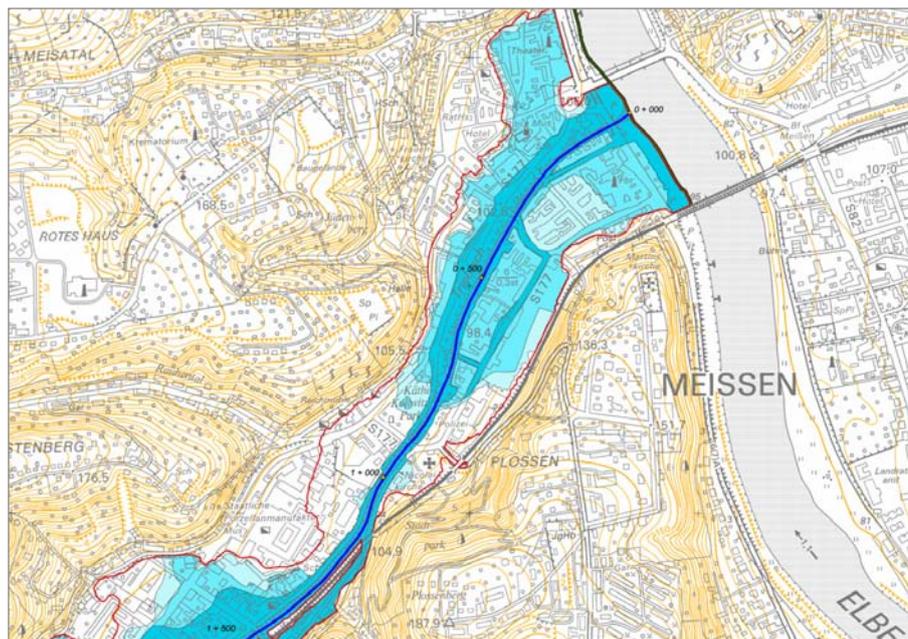


Abb. 2: Auszug Hochwassergefahrenkarte Meißen, HQ₁₀₀, Sachsen
(G.E.O.S. 2005)

In den Artikeln 4 und 5 geht die EG-HWRM-RL auf die vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos ein. Diese soll auf der Grundlage verfügbarer oder leicht abzuleitender Informationen, wie z.B. Aufzeichnungen und Studien zu langfristigen Entwicklungen, Karten der Flussgebiets-einheiten mit Einzugsgebieten, Teileinzugsgebieten, ggf. Küstengebieten, Topographie und Flächennutzung, der Beschreibung vergangener Hochwasser erfolgen. Die nach diesen Kriterien identifizierten Gebiete mit signifikantem Hochwasserrisiko müssen für jede Flussgebiets- und Bewirtschaftungseinheit benannt und anschließend den weiteren Betrachtungen entsprechend der EG-HWRM-RL unterzogen werden. Im Freistaat Sachsen sind die dazu vorhandenen Informationen, wie z.B. die Überschwemmungsgebiete, Gebiete mit Hochwasserschutzkonzepten und ausgewählte Flächennutzungen in Abbildung 1 dargestellt.

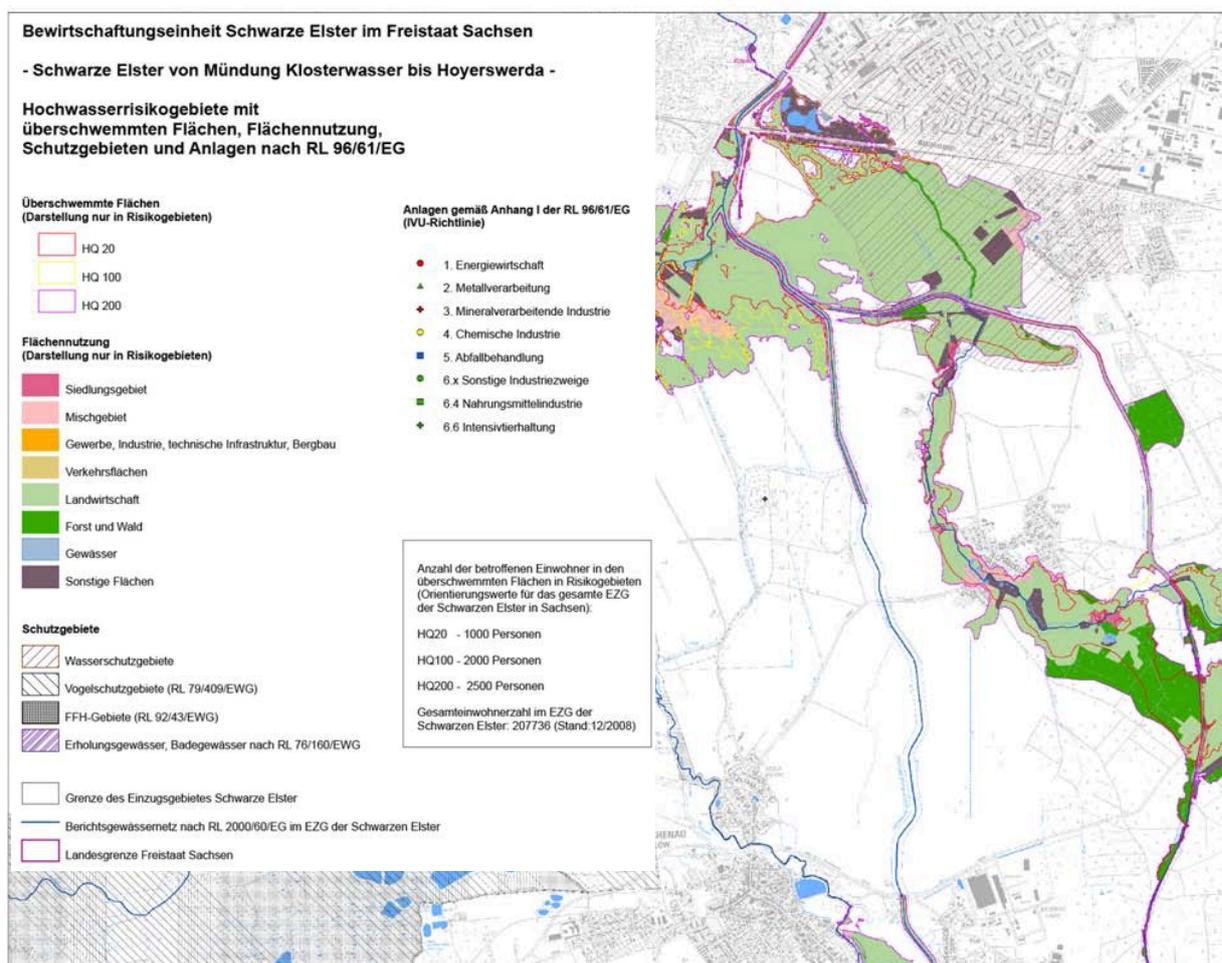


Abb. 3: Auszug Hochwasserrisikokarte Schwarze Elster, Sachsen

Für die Hochwasserrisikogebiete müssen dann entsprechend Artikel 6 der EG-HWRM-RL Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten für Hochwasser mit niedriger Eintrittswahrscheinlichkeit (Extremereignis), für Hochwasser mit mittlerer Eintrittswahrscheinlichkeit (≥ 100 Jahre) und ggf. für Hochwasser mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit erstellt werden. Die Hochwassergefahrenkarten müssen das Ausmaß der Überflutung, die Wassertiefe oder ggf. den Wasserstand und ggf. die Fließgeschwindigkeit oder den relevanten Wasserabfluss enthalten. Ein Beispiel für eine Gefahrenkarte bei HQ₁₀₀ ist in der Abbildung 2 dargestellt.

Die Hochwasserrisikokarten beinhalten als Informationen die Anzahl der potentiell betroffenen Einwohner, die Art der wirtschaftlichen Tätigkeit, die IVU-Anlagen gemäß RL 96/61/EG (EU 1996), die betroffenen Schutzgebiete nach EG-WRRL (EU 2000) und weitere Informationen (z.B. Sedimente, Verschmutzungen...). Ein Beispiel aus Sachsen ist in Abbildung 3 ersichtlich. Nach der Erarbeitung dieser in den Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten darzustellenden Grundlageninformationen sind auf deren Grundlage in der Flussgebiets- oder Bewirtschaftungseinheit abgestimmte Hochwasserrisikomanagementpläne entsprechend Artikel 7 und 8 der EG-HWRM-RL aufzustellen. Diese Pläne müssen die Darstellung der Gebiete mit signifikantem Hochwasserrisiko, die Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten und die Festlegung und Beschreibung angemessener Ziele für das Hochwasserrisikomanagement enthalten. Hier verweist die Richtlinie explizit auf die Berücksichtigung aller Aspekte des Hochwasserrisikomanagements mit Schwerpunkt auf Vermeidung, Schutz, Vorsorge, Hochwasservorhersagen und Frühwarnsystemen unter Beachtung des Oberlieger- und Unterliegerprinzipes. Im Freistaat Sachsen ist folgende Gliederung der Hochwasserrisikomanagementpläne vorgesehen:

- Teil I Hochwasserrisikomanagementplan
 - 1 Schlussfolgerungen aus der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos
 - 1.1 Beschreibung des Einzugsgebietes
 - 1.2 Historische Hochwasserereignisse
 - 1.3 Gebiete mit potenziell signifikantem Hochwasserrisiko
 - 2 Hochwassergefahrenkarten, Hochwasserrisikokarten und Schlussfolgerungen
 - 2.1 Hochwassergefahrenkarten
 - 2.2 Hochwasserrisikokarten
 - 2.3 Schlussfolgerungen
 - 3 Ziele des Hochwasserrisikomanagements
 - 4 Maßnahmen
 - 4.1 - 4.6 Vermeidung des Hochwasserrisikos, Vorsorge, Schutz im Gefahrenfall, Hochwasserbekämpfung, Vorhersage und Frühwarnung
- Teil II Umsetzung des Hochwasserrisikomanagementplans
 - 1 Umsetzung der Maßnahmen
 - 1.1 Rangfolge der Maßnahmen
 - 1.2 Überwachung der Planumsetzung
 - 2 Beteiligung der Öffentlichkeit
 - 2.1 Information der Öffentlichkeit
 - 2.2 Anhörung der Öffentlichkeit
 - 3 Koordinierung
 - 3.1 Zuständige Behörden
 - 3.2 Koordinierungsverfahren innerhalb der Flussgebietseinheit
 - 3.3 Koordinierungsverfahren mit der Richtlinie 2000/60/EG

Im Artikel 9 der EG-HWRM-RL ist die Koordinierung mit der EG-WRRL festgeschrieben. Hierbei wird schwerpunktmäßig auf die Möglichkeiten zur Verbesserung der Effizienz und des Informationsaustausches zur Erzielung von Synergien und gemeinsamen Vorteilen in Bezug auf

die Umweltziele der EG-WRRRL orientiert. Die Hochwasserrisikomanagementpläne und deren Bestandteile, wie z.B. die Bewertung des Hochwasserrisikos und die Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten, sind öffentlich zugänglich zu machen und bei der Erstellung sind alle interessierten Stellen mit einzubeziehen.

In den Artikeln 11 und 12 der EG-HWRM-RL befinden sich Durchführungs- und Änderungsvorschriften, die z.B. auf Datenformate und die Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt abstellen. Im Artikel 13 sind Übergangsmaßnahmen geregelt, die Mitgliedsstaaten erlauben, bereits vorliegende EG-HWRM-RL-konforme Arbeitsergebnisse zu übernehmen und sich anrechnen zu lassen. Von dieser Regelung wird z.B. der Freistaat Sachsen Gebrauch machen. In den Artikeln 14 bis 19 der EG-HWRM-RL befinden sich alle Angaben zu den fälligen Überprüfungen, Berichten und die Schlussbestimmungen. Bei allen anstehenden Überprüfungen sollen die voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf das Auftreten von Hochwasser berücksichtigt werden. Der definierte Zeitplan zwingt die EU-Staaten sich immer wiederkehrend mit dem Hochwasserrisikomanagement zu beschäftigen, was zur Erhaltung des Hochwasserrisikobewusstseins beiträgt.

2. Integriertes Hochwasserrisikomanagement

Eine zeitgemäße Risikokultur beinhaltet neben der Realisierung von Vorbeugemaßnahmen mit einem verhältnismäßigen Aufwand auch die Bereitschaft, bei extremen Ereignissen Schäden hinzunehmen und ebenso die Bereitschaft Risiken offen zu kommunizieren.

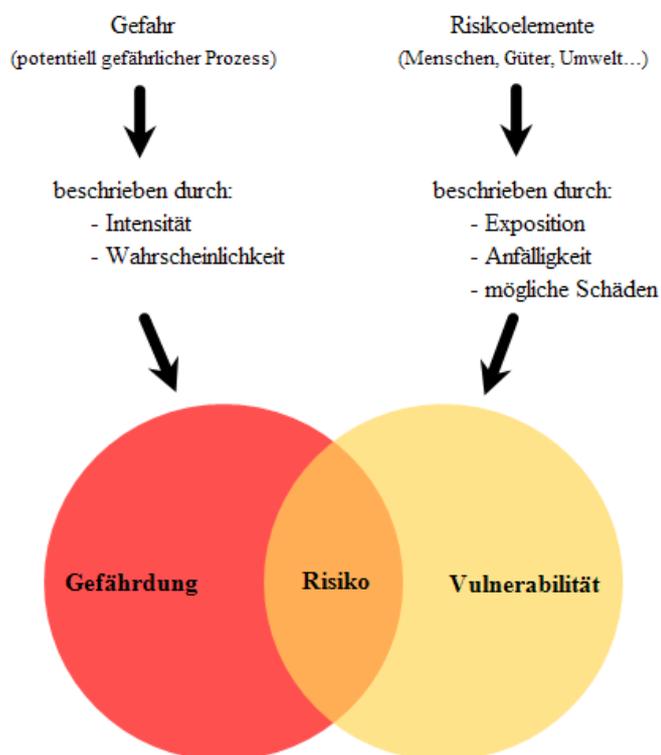


Abb. 4: Risiko als Resultat der Interaktion von Gefährdung und Vulnerabilität nach (GRÜNEWALD 2003)

Das Hochwasserrisiko selbst wird in der EG-HWRM-RL (EU 2007) als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Hochwasserereignisses und der hochwasserbedingten potentiellen nachteiligen Folgen (Hochwasserschäden) auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das

Kulturerbe und die wirtschaftlichen Tätigkeiten definiert, wobei die Vulnerabilität der Schutzgüter in die Betrachtung stärker mit einbezogen werden muss. An Abbildung 4 ist deshalb das Hochwasserrisiko noch einmal als Interaktion von Gefährdung und Vulnerabilität dargestellt. Im weiteren Verlauf wird diese weitergehende Risikodefinition verwendet, weil damit auch die Exposition, das Schadenspotenzial und die Anfälligkeit der Schutzgüter mit berücksichtigt werden. Nach heutigem Wissensstand gibt es mehrere unterschiedliche Risikosteuerungsstrategien, wie z.B. Risikovermeidung, Risikoverminderung, Risikobegrenzung, Risikoübertragung und Risikoakzeptanz. Um diese Risikosteuerungsstrategien anwenden zu können müssen die Risiken erst einmal identifiziert und analysiert werden. Diese systematische Erfassung, Analyse und Bewertung von Risiken und die daraus abzuleitenden Aktivitäten zur Risikosteuerung bezeichnet man als Risikomanagement. Dieser Wissensstand ist bisher nicht oder nur ansatzweise zur

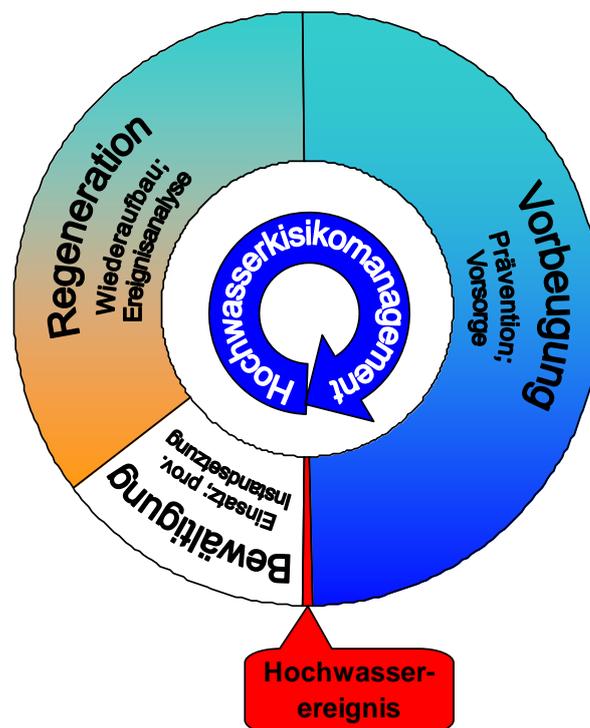


Abb. 5: Kreislauf Hochwasserrisikomanagement (MÜLLER 2009)

Verminderung von Hochwasserrisiken angewendet worden. Die Erfahrungen aus den letzten Hochwasserereignissen haben jedoch gezeigt, dass nur eine ganzheitliche Betrachtung des gesamten Hochwasserrisikokreislaufes und das ressort- und grenzübergreifende Handeln aller vom Hochwasser Betroffenen zu einer möglichst großen Hochwasserrisikoverminderung, -begrenzung oder -vermeidung und damit zur Minimierung der Hochwasserschäden führen kann. Diesen äußerst vielschichtigen Vorgang bezeichnet man heute als integriertes Hochwasserrisikomanagement.

Zum Risikokreislauf findet man in der Fachliteratur vielfältige Varianten. Allen gemeinsam ist, dass das Risikomanagement als fortlaufender und iterativer Prozess unter Berücksichtigung möglichst vieler Ebenen verstanden wird. Nach Auswertung der Literatur und den selbst gemachten Erfahrungen wird der im Abbildung 5 dargestellte Kreislauf zum Hochwasserrisikomanagement für die weiteren Betrachtungen eingeführt. Im Normalfall sollte der Kreislauf eine Spirale darstellen, weil sich das Hochwasserschutzniveau verändert.

Die einzelnen Phasen des Hochwasserrisikomanagementkreislaufes sind das Hochwasserereignis, gekennzeichnet durch das Abflussgeschehen mit Wasserständen oder Durchflüssen ab einem definierten Schwellwert, die Hochwasserbewältigung zur Begrenzung des Ausmaßes und der Dauer einer Hochwasserkatastrophe, die Regeneration zur Schaffung aller Voraussetzungen für den normalen Alltagsbetrieb und die Hochwasservorbeugung zur Verminderung der Vulnerabilität gegenüber Hochwasserereignissen. Mit dem dargestellten Hochwasserrisikomanagementkreislauf werden viele Fachdisziplinen angesprochen. Das umfassende Zusammenspiel unter dem Dach des Hochwasserrisikomanagements steht erst am Anfang der praktischen Umsetzung. Insofern besteht nicht nur in den Einzeldisziplinen sondern auch für deren Zusammenwirken im Sinne des Hochwasserschutzes noch umfangreicher Forschungsbedarf.

3. Zusammenhang EG-HWRM-RL und integriertes Hochwasserrisikomanagement

Wenn man das integrierte Hochwasserrisikomanagement mit der EG-HWRM-RL vergleicht, kann man viele Gemeinsamkeiten und Zusammenhänge feststellen, aber beides nicht gleichsetzen. Die EG-HWRM-RL ist eine rechtsverbindliche Vorgabe, die den fortlaufenden und iterativen Prozess des integrierten Hochwasserrisikomanagements in Europa initiieren, befördern und am Laufen halten will. Als wichtigsten Zusammenhang kann man herausstellen, dass die EG-HWRM-RL mit der Risikovermeidung und der Risikoverminderung einen großen Teil der Ziele des integrierten Hochwasserrisikomanagements verfolgt. Im Artikel 7 der EG-HWRM-RL wird explizit darauf hingewiesen, dass die Hochwasserrisikomanagementpläne alle Aspekte des Hochwasserrisikomanagements mit den Schwerpunkten Vermeidung, Schutz und Vorsorge erfassen sollen. Damit sind neben der Wasserwirtschaft noch wesentlich mehr Akteure angesprochen. Die inhaltlichen Einzelregelungen der EG-HWRM-RL betreffen vorrangig die Phase der Hochwasservorbeugung mit ihren Bestandteilen Prävention und Vorsorge. Zu den anderen Phasen (Bewältigung, Regeneration) des integrierten Hochwasserrisikomanagements gibt es nahezu keine Regelungen und Bezüge in der EG-HWRM-RL.

Tab. 1: Zusammenhänge der EG-HWRM-RL mit dem integrierten Hochwasserrisikomanagement (MÜLLER 2010)

	EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie	Integriertes Hochwasserrisikomanagement
Ziele	Risikovermeidung, Risikoverminderung	Risikovermeidung, Risikoverminderung, Risikobegrenzung, Risikoakzeptanz
Inhalte	Vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos	entweder Bestandteil einer Ereignisanalyse (Regenerationsphase) und/oder Bestandteil der Prävention (Vorbeugungsphase)
	Hochwassergefahrenkarten	Bestandteil der Prävention (Vorbeugungsphase)
	Hochwasserrisikokarten	Bestandteil der Prävention (Vorbeugungsphase)
	Hochwasserrisikomanagementpläne	betreffen prinzipiell alle Phasen des integrierten Hochwasserrisikomanagements, Schwerpunktsetzung auf Phase der Vorbeugung (Prävention, Vorsorge)

In Tabelle 1 sind die Zusammenhänge der EG-HWRM-RL mit dem integrierten Hochwasserrisikomanagement zusammenfassend dargestellt.

Aus der Tabelle kann man entnehmen, dass bei einer 1:1 Umsetzung der in der EG-HWRM-RL explizit angegebenen Fachinhalte viele, aber nicht alle Aspekte des integrierten Hochwasserrisikomanagements abgehandelt sind. Umgekehrt kann man jedoch feststellen, dass bei einer guten fachlichen Vorbereitung und Umsetzung aller Phasen des integrierten Hochwasserrisikomanagements die EG-HWRM-RL vollständig umgesetzt ist und auch der optimale Nutzen für die Gesellschaft erzielt werden kann.

Literatur

- Bundesrepublik Deutschland (2009): Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts (Wasserhaushaltsgesetz-WHG) vom 31. Juli 2009 – Bundesrepublik Deutschland, BGBl. I, Jg. 2009, S. 2585
- EU (1996): Richtlinie 96/61/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung – Europäische Union, ABl. L 257 vom 10.10.1996, S. 26 zuletzt geändert durch die Verordnung (EG) Nr. 166/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates ABl. L 33 vom 04.02.2006, S. 1
- EU (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 - EU-Wasserrahmenrichtlinie – Europäische Union, ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1
- EU (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken – Europäische Union, ABl. L 288 vom 06.11.2007, S. 27
- G.E.O.S. (2005): Gefahrenkarte Triebisch, Ortslage Meißen – G.E.O.S. Freiberg GmbH im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, unveröffentlicht, Freiberg
- GRÜNEWALD, U. et al. (2003): Hochwasservorsorge in Deutschland – Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet - Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V., Schriftenreihe des DKKV 29, Bonn
- LAWA (2008): Strategie zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie in Deutschland, Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Berlin
- LAWA (2009): Vorgehensweise bei der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos - Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Berlin
- MÜLLER, U. (2009): Hochwasserrisikomanagement im Freistaat Sachsen – DWA Landesverbandstagung und DWA Bundestagung 2009, Wasserwirtschaft im Blickpunkt - Chance und Herausforderung, Augsburg, S. 242-256
- MÜLLER, U. (2010): Hochwasserrisikomanagement – in Vorbereitung, ca. 400 Seiten

Effizienz von Maßnahmen des passiven Hochwasserschutzes

Jürgen Komma und Günter Bloeschl

Zusammenfassung

Ziel dieser Untersuchungen ist es, den Einfluss von passiven Hochwasserschutzmaßnahmen auf die Entstehung, den Ablauf und die Größe von Hochwasserereignissen zu untersuchen. Zwei Typen von Schutzmaßnahmen werden unterschieden, Rückhalt des Wassers in der Fläche und Raum für den Fluss. Bei Maßnahmen des Rückhalts in der Fläche werden zum einen Micro Ponds, d.h. kleinste Rückhaltebecken in der Landschaft, zum anderen Änderungen der Landnutzung (z.B. Aufforstung) untersucht. Bei Maßnahmen, die Raum für den Fluss zur Verfügung stellen, wird in den Analysen zusätzliches Retentionsvolumen in Flussnähe angesetzt. Die Untersuchungen werden am Beispiel des Kamp (622 km² Einzugsgebietsfläche) in Niederösterreich durchgeführt.

Die Ergebnisse deuten insgesamt darauf hin, dass gezielte Aufforstung von landwirtschaftlichen Nutzflächen und die Errichtung von Micro Ponds zu einer signifikanten Abminderung von kleinen und mittleren Ereignissen führen kann, bei großen Hochwässern der Einfluss jedoch deutlich geringer ist. Für den hypothetischen Fall von Rückhaltebecken an den Flussläufen wird der ungehinderte Abfluss von kleinen und mittleren Hochwässern bis zu einer Jährlichkeit von 30 Jahren durch die geeignete Dimensionierung der Durchlässe gewährleistet. Für kleine bis mittlere Hochwässer wird der Hochwasserscheitel somit nicht abgemindert. Dadurch ergibt sich der Vorteil, dass das vorhandene Retentionsvolumen für größere Hochwasserabflüsse freigehalten wird. Durch die zusätzlichen Speichervolumina kann für große Hochwasserereignisse mit einer deutlichen Reduktion der Hochwasserscheitel gerechnet werden.

1. Einleitung

Ziel dieses Projektes ist es, den Einfluss von passiven Hochwasserschutzmaßnahmen auf die Entstehung, den Ablauf und die Größe von Hochwasserereignissen zu untersuchen. Zwei Typen von Schutzmaßnahmen werden unterschieden, Rückhalt des Wassers in der Fläche und Raum für den Fluss. Bei Maßnahmen des Rückhalts in der Fläche werden zum einen Micro Ponds, d.h. kleinste Rückhaltebecken in der Landschaft, zum anderen Änderungen der Landnutzung (z.B. Aufforstung) untersucht. Bei Maßnahmen, die Raum für den Fluss zur Verfügung stellen, wird in den Analysen zusätzliches Retentionsvolumen in Flussnähe angesetzt. Die Untersuchungen werden am Beispiel des Kamp (622 km² Einzugsgebietsfläche) in Niederösterreich durchgeführt. Im ersten Projektsabschnitt waren die Untersuchungen zweigeteilt. Im ersten Teil wurden so genannte Micro Ponds, d.h. kleinste Rückhaltebecken in der Fläche, untersucht. Im zweiten Teil wurde die Auswirkung von Landnutzungsänderungen untersucht. Für beide Fälle wurde ein Simulationsmodell verwendet, das die Abflussverhältnisse im gewählten Gebiet im Detail wiedergibt. Im zweiten Projektteil wird der Einfluss von zusätzlichen Retentionsräumen auf Hochwasserereignisse durch die hypothetische Errichtung mehrerer Rückhaltebecken entlang der Zwettl und des Kamp analysiert. Die Untersuchungen werden mittels eines hydrodynamischen Modells durchgeführt. Die Abflussverhältnisse im Gerinne selbst wer-

den eindimensional und die komplexeren Fließvorgänge im Vorland zweidimensional simuliert. Den Analysen liegen die Szenarien der bestehenden Situation und der Situation mit hypothetischen Rückhaltebecken zu Grunde. Schließlich werden die Ergebnisse der Simulationen aus beiden Projektteilen vorgelegt und in Hinblick auf eine mögliche Reduzierung der Hochwasserdurchflüsse beurteilt.

2. Szenarienrechnungen und Ergebnisse

2.1 Rückhalt des Wassers in der Fläche

Für die Analyse der Abflussbildung im Kampgebiet in Hinblick auf Micro Ponds und Landnutzung wird ein hydrologisches Simulationsmodell verwendet, das die Abflussmechanismen im Gebiet im Detail beschreibt (RESZLER et al., 2006). Auf Basis von Feldbegehungen und umfangreichen Datenanalysen werden die Struktur und die Parameter in einer Weise gewählt, dass sie die hydrologischen Verhältnisse im Gebiet möglichst realistisch wiedergeben (RESZLER et al., 2008).

2.1.1 Micro Ponds

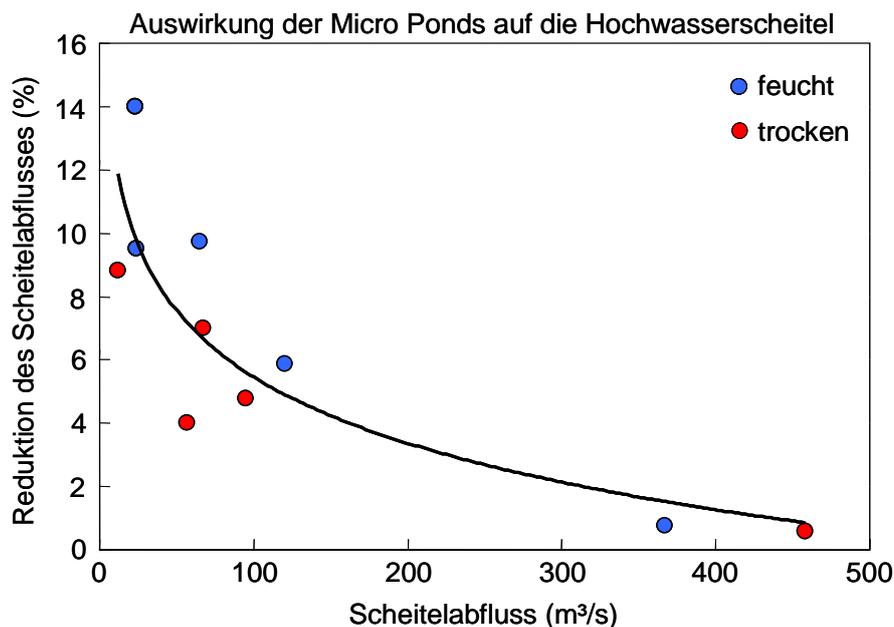


Abb. 1: Abhängigkeit der Scheitelreduktion durch die Errichtung von Micro Ponds für zehn Hochwasserereignisse am Pegel Zwettl/Kamp.

Bei der Untersuchung der Auswirkung von Micro Ponds wird als Szenario angenommen, dass im Einzugsgebiet des Kamp insgesamt 7500 Kleinstbecken mit je 100 m³ Volumen errichtet werden. Die Micro Ponds sind am Hang bzw. Hangfuß gelegen. Sie besitzen keinen Auslass und entleeren sich durch Versickerung in den Untergrund. Sie sind vor allem dadurch wirksam, dass sie die Bodenfeuchte im Gebiet reduzieren, während übliche Rückhaltebecken an den Vorflutern selbst wirken. Mittels Simulationen wird die Retentionswirkung für zahlreiche typi-

sche Ereignisse im Gebiet bestimmt. Dadurch ist es möglich, den Einfluss verschiedener Einflussgrößen zu untersuchen. Die erste Einflussgröße ist die Größenordnung des Hochwassers. Für kleine Ereignisse beträgt die Retentionswirkung auf den Abflussscheitel ca. 15%, für das größte beobachtete Hochwasser hingegen nur 1% (Abbildung 1). Diese geringe Reduktion ist darauf zurückzuführen, dass bei diesem extremen Ereignis vom August 2002 (GUTKNECHT et al., 2002) ein großer Teil der Landschaft gesättigt war. Die zweite Einflussgröße ist die Vorfeuchte im Gebiet. Die Micro Ponds führen zu einer etwas größeren Reduktion der Abflussscheitel wenn eine hohe Vorbefeuchtung vorliegt, insbesondere bei kleinen und mittleren Ereignissen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass unter feuchten Anfangsbedingungen der Anteil des Oberflächenabflusses am Gesamtabfluss größer ist und deshalb die Micro Ponds stärker gefüllt werden.

2.1.2 Landnutzungsänderungen

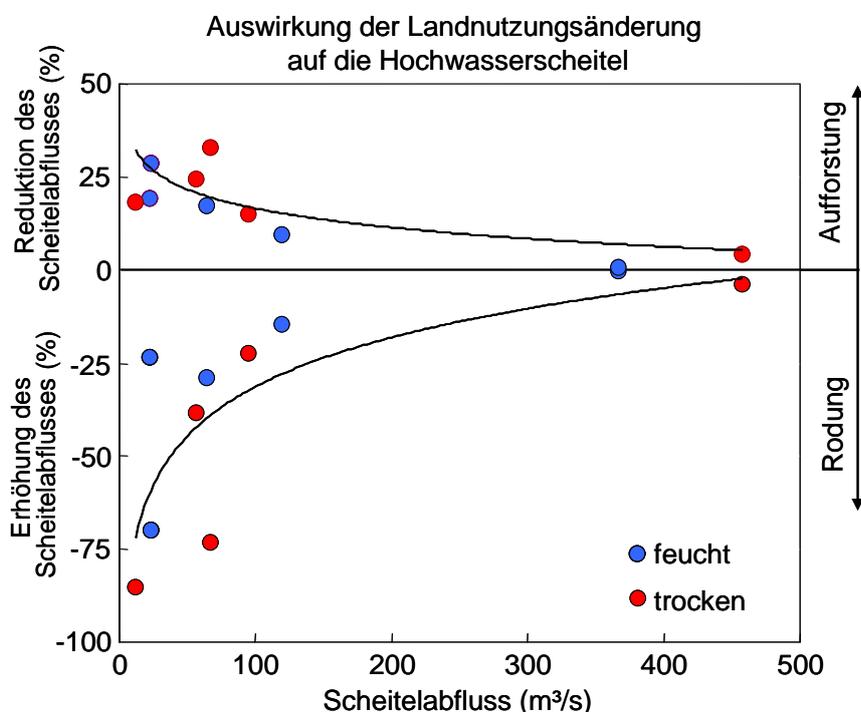


Abb. 2: Abhängigkeit der Scheitelreduktion bzw. Scheitelerhöhung durch die Szenarien der Aufforstung bzw. Abholzung für zehn Hochwasserereignisse im Pegelinzugsgebiet Zwettl/Kamp.

Bei der Untersuchung der Auswirkung von Landnutzungsänderungen wird im Modell angenommen, dass Waldgebiete vor allem durch größere Bodenmächtigkeiten und größere Bodendurchlässigkeiten zu geringerem Oberflächenabfluss führen. Im ersten Szenario wird angenommen, dass 47% des Gebietes (d.s. 292 km²) von Wald in Freiland (z.B. landwirtschaftliche Flächen) umgewandelt werden. Für kleine Ereignisse zeigen die Simulationen einen um bis zu 80% erhöhten Hochwasserscheitel (Abbildung 2). Bei großen Hochwässern sind die Auswirkungen viel geringer und betragen wenige Prozent. Im zweiten Szenario wird angenommen, dass 39% des Gebietes (d.s. 242 km²) von Freiland in Wald umgewandelt werden. Für kleine Ereignisse zeigen die Simulationen einen um bis zu 30% reduzierten Hochwasser-

scheitel. Bei großen Hochwässern wird der Hochwasserscheitel in diesem Szenario nur um 1 bis 5% reduziert (Abbildung 2). Die Ergebnisse deuten insgesamt darauf hin, dass die Aufforstung von Freiland zu einer Abminderung von kleinen Ereignissen führen kann, bei großen Hochwässern der Einfluss jedoch sehr gering sein dürfte. Allerdings ist bei der Interpretation dieser Rechenergebnisse Vorsicht geboten, da für eine detaillierte Beurteilung Messungen im Gebiet für unterschiedliche Landnutzungsarten durchgeführt werden müssten (MARKART et al. 2006).

2.2 Raum für den Fluss

Für die Analyse in Hinblick auf Retention in Flussnähe (Kamp und Zubringer) wird das hydrodynamische Simulationsmodell TUFLOW (verwendet, das die Wellenverformung im Gerinne und im Vorland im Detail beschreibt (2 dimensional und nicht-stationär). Die Modellparameter (Rauigkeiten) werden aus einem Vergleich mit Pegeldata und Hochwasseranschlaglinien bestimmt (KOMMA et al., 2004).

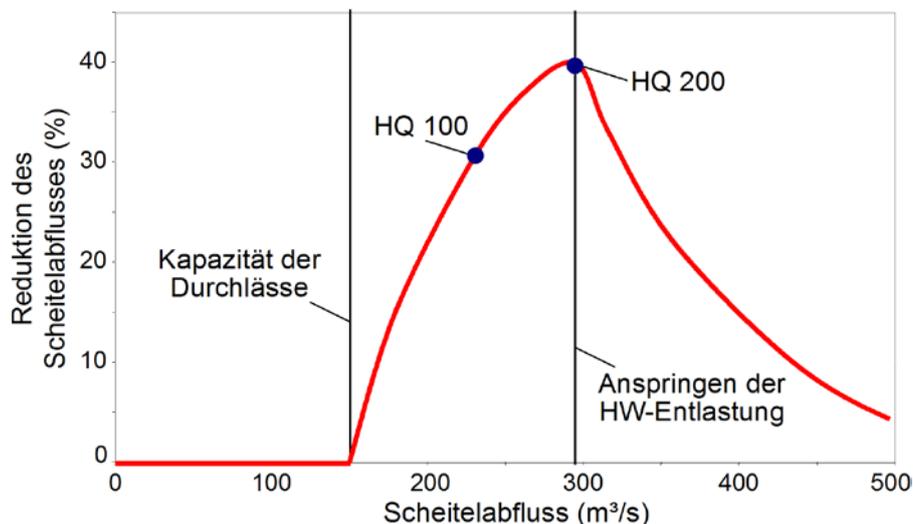


Abb. 3. Scheitelreduktionen durch die Raum für den Fluss Maßnahmen aufgetragen gegen den Scheitelabfluss am Kamp (mit der Zwetl) für den Fall ohne Rückhaltebecken.

Bei den Maßnahmen, die mehr Raum für den Fluss zur Verfügung stellen, wird der Retentionsraum in Flussnähe durch kleine Staubauwerke aktiviert. Die Berechnungen gehen von sechs solcher Retentionsräume am Kamp und Zubringer (der Zwetl) aus. Die Staubauwerke sind mit Auslässen versehen, die den ungehinderten Abfluss von kleinen und mittleren Hochwässern bis zu einer Jährlichkeit von 30 Jahren zulassen, dann retentionswirksam werden, und bei einer Jährlichkeit von 200 Jahren gefüllt sind (Abbildung 3). Das gesamte Speichervolumen beträgt, je nach Ereignisgröße, zwischen 1,2 und 1,6 Mill m³. Die hydrodynamischen Simulationen zeigen, dass es einen breiten Bereich von Jährlichkeiten gibt, in dem die Maßnahmen zur Schaffung von Raum für den Fluss die Scheiteldurchflüsse stark reduzieren. Bei einer Jährlichkeit von 100 Jahren beträgt die Scheitelreduktion etwa 30%, bei 200 Jahren etwa 40%, und bei extremen Ereignissen wie dem Hochwasser 2002 liegt die Scheitelreduktion noch immer in der Größenordnung von 10%. Die Wirkungsweise dieser Maßnahme besitzt den Vorteil, dass das vorhandene Retentionsvolumen für große Hochwasserabflüsse voll genutzt werden kann.

3. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse deuten insgesamt darauf hin, dass gezielte Aufforstung von landwirtschaftlichen Nutzflächen und die Errichtung von Micro Ponds zu einer signifikanten Abminderung von kleinen und mittleren Ereignissen führen kann, bei großen Hochwässern der Einfluss jedoch deutlich geringer ist. Für den hypothetischen Fall von Rückhaltebecken an den Flussläufen wird der ungehinderte Abfluss von kleinen und mittleren Hochwässern bis zu einer Jährlichkeit von 30 Jahren durch die geeignete Dimensionierung der Durchlässe gewährleistet. Für kleine bis mittlere Hochwässer wird der Hochwasserscheitel somit nicht abgemindert. Die Wirkungsweise dieser Maßnahme besitzt den Vorteil, dass das vorhandene Retentionsvolumen für große Hochwasserabflüsse voll genutzt werden kann. Im Gegensatz dazu besitzen die Maßnahmen zum Rückhalt des Wassers in der Fläche (Micro Ponds bzw. Aufforstung) den Nachteil, dass schon bei Beginn eines großen Ereignisses der Retentionsraum (in der Landschaft bzw. im

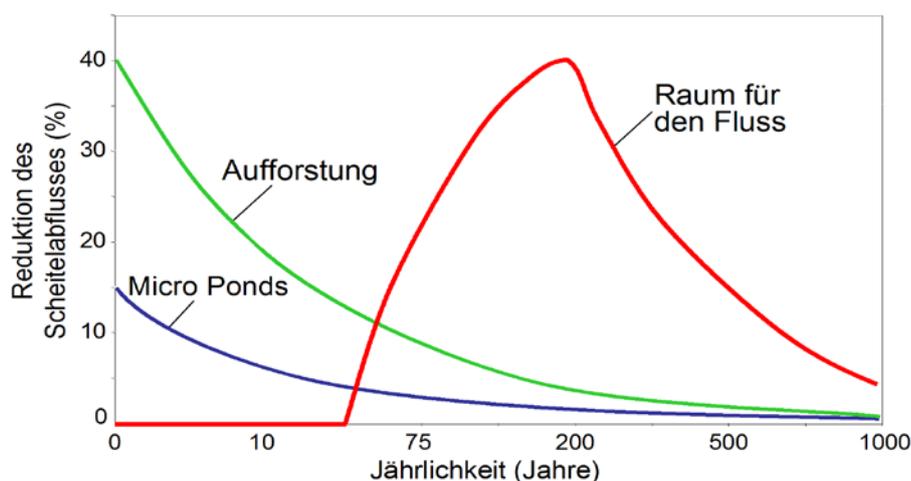


Abb. 4: Abschätzung der Scheitelreduktion durch "Raum für den Fluss" (Retention in Flussnähe), und "Rückhalt des Wassers in der Fläche" (Micro Ponds und Aufforstung) für das Kamp Gebiet (622 km² Einzugsgebietsfläche).

Boden) angefüllt wird, und zum Zeitpunkt des Hochwasserscheitels – wenn die Reduktion am wichtigsten wäre – der Retentionsraum gefüllt ist und somit nur eine geringfügige Scheitelreduktion zu erwarten ist. Obwohl sich die gesamten Speichervolumen der drei Methoden nicht wesentlich unterscheiden, ist durch die unterschiedlichen Mechanismen der Speicherfüllung das Retentionsverhalten vollständig verschieden, wie die untenstehende Abbildung 4 zeigt. Auch bezüglich Reduktion des Wasserstandes ergeben sich für die drei untersuchten Maßnahmen große Unterschiede. Bei einem 200 jährlichen Ereignis sind die simulierten Wasserstände des Kamp in Zwettl für das Szenario Micro Ponds um ca. 4-6 cm, bei Aufforstung um ca. 10-15 cm, und bei Raum für den Fluss um ca. 80-110 cm geringer als für einen Fall ohne passive Hochwasserschutzmaßnahmen (Tabelle 1). Die Einschätzung der Wirkung der unterschiedlichen Maßnahmen stimmt mit den Ergebnissen der spanischen und deutschen Projektpartner für die jeweiligen Gebiete überein (FRANCÈS et al. 2008).

Tab. 1: Scheitelreduktion (in Prozent) und Reduktion der Wassertiefe (in cm) für das Stadtgebiet von Zwettl für drei verschiedene Maßnahmen zur Erhöhung des Hochwasserrückhaltes.

	Reduktion des Scheitelabflusses in Zwettl für ein 200-jährliches Hochwasserereignis	Reduktion der Wassertiefe in Zwettl für ein 200-jährliches Hochwasserereignis
Hochwasserrückhalt in der Fläche (242 km ² Aufforstung)	5%	ca. 10-15 cm
Hochwasserrückhalt in der Fläche (7500 Micro Ponds @ 100m ³)	2%	ca. 4-6 cm
Raum für den Fluss (In Summe 6 Rückhaltebecken an Kamp und Zwettl)	40%	80-110 cm

Danksagung

Diese Studie wurde im Rahmen des „Flooding ERA-NET CRUE“ – Projekts durch die Europäische Union und das Österreichische Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft finanziert. Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern aus Deutschland (Prof. Axel Bronstert & Team) und Spanien (Prof. *Félix Francés* & Team) für die gute Zusammenarbeit.

Literatur

- FRANCÈS, F., E. ORTIZ, S. SALAZAR, J. L. MIRALLES, G. BLÖSCHL, J. KOMMA, C. HABEREDER, A. BRONSTERT, T. BLUME (2008) CRUE Research Report N0 1-6: Efficiency of non-structural flood mitigation measures: “room for the river” and “retaining water in the landscape”. Universidad Politecnica de Valencia (Spain), pp. 189-235.
- GUTKNECHT, D., CH. RESZLER und G. BLÖSCHL (2002) Das Katastrophenhochwasser vom 7. August 2002 am Kamp – eine erste Einschätzung. *Elektrotechnik und Informationstechnik*, 119 (12), 411-413.
- KOMMA, J. und HAUSMANN, M., (2003). Hydrodynamische Untersuchungen des Hochwasserereignisses vom August 2002 an Zwettl and oberem Kamp, project study, Institute for Hydraulic and Water Resources Engineering Vienna University of Technology .
- RESZLER, CH., J. KOMMA, G. BLÖSCHL, D. GUTKNECHT (2006) Ein Ansatz zur Identifikation flächendetaillierter Abflussmodelle für die Hochwasservorhersage. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 50 (5), pp. 220-232.
- RESZLER, CH., J. KOMMA, G. BLÖSCHL und D. GUTKNECHT (2008) Dominante Prozesse und Ereignistypen zur Plausibilisierung flächendetaillierter Niederschlag-Abflussmodelle (Dominant processes and event types for checking the plausibility of spatially distributed runoff models). *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 52 (3), pp. 120-131.
- MARKART, G., B. KOHL, B. SOTIER, TH. SCHAUER, G. BUNZA und R. STERN (2006) Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwerts bei Starkregen – Grundzüge und erste Erfahrungen. *Wiener Mitteilungen*, Band 197, 159-178.

Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung - ein Beitrag zur nachhaltigen Wasserwirtschaft

Klaus Röttcher

Die großen Hochwasserereignisse 1993 und 1995 am Rhein, 1997 an der Oder, 1999 an der Donau, 2002 und 2005 an Elbe und Donau und 2010 wieder an Oder und Weichsel, verbunden mit sehr hohen Schäden, haben zu einem erweiterten Blick auf das Thema Hochwasser geführt. So hat die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser 1995 „Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz“ und 2003 „Instrumente und Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz“ herausgegeben. Die Europäische Union hat 2007 eine „Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken“ (HWRM-RL) verabschiedet. Gemeinsam ist diesen Veröffentlichungen, dass sie neben dem klassischen technischen Hochwasserschutz durch Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken und Deiche eine weitergehende Betrachtung fordern, die alle Maßnahmen zur Schadensminimierung miteinbeziehen. In ihrem Strategiepapier zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie schreibt die LAWA (2009): „Mit den LAWA-Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz wird das Nebeneinander der drei Handlungsfelder Hochwasserflächenmanagement, technischer Hochwasserschutz und Hochwasservorsorge aufgezeigt. Dabei ist keines der Handlungsfelder prioritär. Ein wirksames Hochwasserrisikomanagement muss die gleichzeitige Umsetzung möglichst vieler Einzelbausteine in den Handlungsfeldern berücksichtigen“.

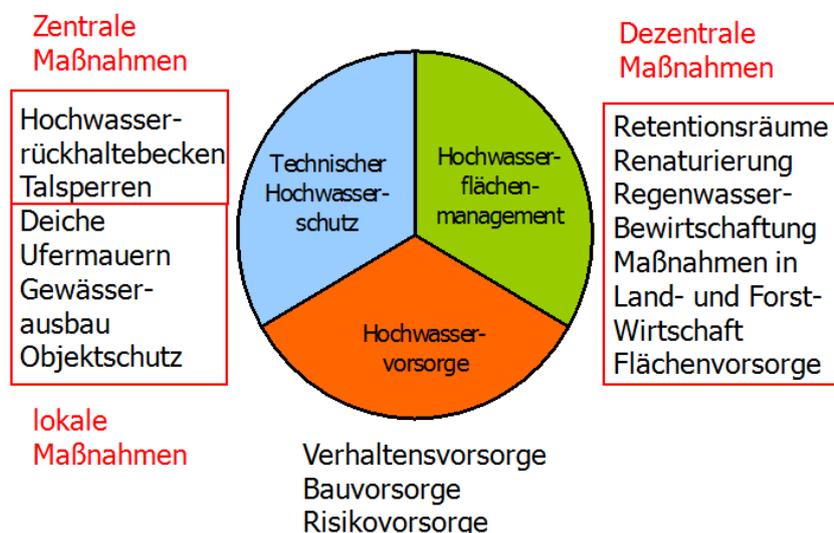


Abb. 1: Hochwasserschutzstrategie der LAWA (LAWA 2003) mit der Zuordnung und Gruppierung einzelner Maßnahmen

Abbildung 1 zeigt die Handlungsfelder der LAWA-Strategie. Zusätzlich sind den drei Segmenten konkrete Maßnahmen zugeordnet, die entsprechend ihrer Wirkung zu zentralen, dezentralen und lokalen Maßnahmen gruppiert sind. Die Begriffe „zentral“, „dezentral“ oder „lokal“ sind im Zusammenhang mit dem Hochwasserrisikomanagement nicht klar definiert und werden pro-

jektbezogen sehr unterschiedlich verwendet. Ebenso unterschiedlich ist, welche Einzelmaßnahmen unter dem Begriff der dezentralen Maßnahmen zusammengefasst werden.

Im vorliegenden Beitrag sind „dezentrale Maßnahmen“ Maßnahmen, die in der Fläche des betrachteten Einzugsgebiets an einer Vielzahl von Stellen umgesetzt werden können. Im Weiteren kann zwischen Maßnahmen unterschieden werden, die zur Minderung des Hochwassers selbst beitragen und solchen Maßnahmen, die nur zur Minderung der Schäden beitragen. Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf die Maßnahmen zur Hochwasserminderung. Die Maßnahmen, die den Hochwasserabflussscheitel bzw. den maximalen Wasserstand oder das Volumen der Hochwasserwelle reduzieren, können flächig sein, wie etwa konservierende Bodenbearbeitung, linienhaft, wie Gewässerrenaturierung oder punktuell, wie dezentrale Rückhalte (Tabelle 1).

Zur Schadensminderung können Maßnahmen wie Objektschutz oder Maßnahmen zur gezielten, schadlosen Ableitung von Oberflächenabflüssen eingesetzt werden. Die in Tabelle 1 genannten Maßnahmen sind bereits sehr umfangreich und je nach örtlicher Situation und den angestrebten Zielen wird nur ein Teil der Maßnahmen Bestandteil eines Konzeptes zum Hochwasserrisikomanagement werden. Weitere Maßnahmen, wie etwa Regenwassernutzung oder Dränung sind nicht aufgeführt, weil eine Hochwasser reduzierende Wirkung nur unter bestimmten Umständen eintritt und in einem Gesamtkonzept kaum planmäßig angesetzt werden kann. Ein weiterer wichtiger Aspekt dezentraler Maßnahmen ist, dass der Beitrag zur Hochwasserminderung nur einer der positiven Effekte der Maßnahme ist, oft sogar eher ein Nebeneffekt. In Tabelle 1 sind daher auch einige der typischen Synergien mit anderen Umweltzielen aufgeführt. Welche Synergien in welchem Umfang in einem Einzugsgebiet auftreten hängt in hohem Maße von der spezifischen Situation des betrachteten Einzugsgebietes ab, was allgemeingültige Aussagen erschwert.

Die Möglichkeiten und die Wirksamkeit dezentraler Maßnahmen werden in der Öffentlichkeit, wie auch unter Fachleuten z. T. kontrovers beurteilt. Eine Ursache dafür ist, dass die sehr komplexen Zusammenhänge sowie die Vor- und Nachteile einzelner Maßnahmen in der Diskussion nur stark verkürzt dargestellt werden. So wird z. T. der Eindruck erweckt, dezentrale Maßnahmen könnten bei gleicher Sicherheit den technischen Hochwasserschutz ersetzen. Umgekehrt wird immer wieder die Meinung vertreten, dezentrale Maßnahmen hätten in erster Linie ökologische Effekte, der Beitrag zur Abminderung von Hochwasserscheiteln sei jedoch vernachlässigbar. Der vorliegende Beitrag will hier zu einer differenzierteren Betrachtung beitragen. Wegen der Vielzahl sehr unterschiedlicher Maßnahmen kann hier nur ein knapper Überblick gegeben werden, wobei der Fokus auf den Wirkungen auf den Hochwasserabfluss liegt. Die DWA (2006) hat das Themenheft „Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung“ veröffentlicht, das Informationen zu den verschiedenen Maßnahmen projektübergreifend darstellt. Ein DWA Merkblatt zum gleichen Thema ist in Arbeit. Eine umfangreiche Literaturrecherche zum Thema dezentraler Hochwasserschutz wurde im Projekt „Entwicklung einer Methodik zur Erstellung von Hochwasserrückhaltekonzepten unter Berücksichtigung des Klimawandels am Beispiel der Windach“ durchgeführt (Rieger 2008).

Um eine deutliche Reduzierung der Hochwasserscheitel zu erreichen, muss eine größere Anzahl von Maßnahmen im jeweiligen Einzugsgebiet umgesetzt werden. Die einzelne Maßnahme hat meist nur eine lokal begrenzte Wirkung auf die Abflüsse unterhalb der Maßnahme. Wegen

der großen Bedeutung der flächenhaften Umsetzung dezentraler Maßnahmen sind diese in der LAWA Strategie mit der Flächenvorsorge zum Hochwasserflächenmanagement zusammengefasst. Ohne eine ausreichende Flächenverfügbarkeit sind kaum dezentrale Maßnahmen umzusetzen und die insgesamt erreichbare Abflussreduzierung bleibt gering.

Tab. 1: Zusammenstellung dezentraler Maßnahmen für Konzepte zum Hochwasserrisikomanagement

Ort- bzw. Typ der Maßnahme	Einzelmaßnahme	typische Synergien
Maßnahmen in der Fläche		
Siedlungsfläche	Regenwasserversickerung	hydraulische Entlastung des Kanlnetzes, Grundwasserneubildung
	Mulden-Rigolensysteme	
	Retentionsbodenfilter und Erdbecken	
	Entsiegelungsmaßnahmen	
Landwirtschaftliche Flächen	Konservierende Bodenbearbeitung / Direktsaat	Erosionsschutz, Grundwasseranreicherung
	Tieflockerung	
	Flächenumwandlung / Aufforstung	
	Wasserrückhalt auf Weinbauflächen	
Waldflächen	Angepasste Waldwirtschaft	ökologisch wertvolle Waldstandorte
	Schonende Holzernte und Rücketechnologie	
Auenflächen	Anlage von Auwald	ökologische Aufwertung der Auen
	Wasserrückhalt in der Aue	
Linienhafte Maßnahmen		
am Gewässer	Gewässerentwicklungstreifen der Sukzession überlassen	ökologische Aufwertung der Gewässer, Stärkung der biologischen Vielfalt
	Verengung des Abflussquerschnittes	
	Laufverlängerung	
an Wald- und Feldwegen sowie Straßen	Verringerung der entwässernden Wirkung von Wegeseitengräben und Wegen	Schaffung von Feuchtstandorten, Grundwasserneubildung
Punktuelle Maßnahmen		
zur Retention	Muldenspeicher	Schaffung von Feuchtstandorten, Grundwasserneubildung
	Kleinstspeicher	
	sehr kleine Hochwasserrückhaltebecken (DIN 19700)	
zur Schadensminderung	Wälle, Mulden, Wege, Straßen zur gezielten Lenkung des Abflusses	Wälle und Mulden können auch Rückzugsflächen sein

Dezentrale Maßnahmen sind insbesondere dazu geeignet, die Auswirkungen menschlicher Eingriffe in den Wasserhaushalt auszugleichen bzw. zu minimieren. Eine starke Überkompensation des Eingriffes ist in der Regel nicht möglich. Je extremer das Niederschlagsereignis ist, umso geringer ist in den meisten Fällen der menschliche Einfluss auf das Abflussgeschehen. Dies ist bei allen Maßnahmen zur Hochwasserminderung festzustellen und gilt für dezentrale Maßnahmen ebenso, wie für große Stauanlagen, wenn die auftretenden Abflüsse die Bemessungsabflüsse der Anlage deutlich übersteigen. Je nach Art, Umfang und Anzahl der dezentralen Einzelmaßnahmen in einem Einzugsgebiet zeigen sich bei Ereignissen mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Teil deutliche Abflussreduzierungen, bei mittlerer Wahrscheinlichkeit (HQ₁₀₀) geringe (bis etwa 15%) und bei Ereignissen mit niedriger Wahrscheinlichkeit kaum noch Reduzierungen der Scheitelabflüsse.

Dezentrale Maßnahmen, die zur Hochwasserminderung beitragen sind typische dual-use bzw. multi-use Ansätze. Der Beitrag zur Hochwasserminderung ist häufig nur ein Teileffekt neben anderen gewünschten Wirkungen. So sind z. B. die Ziele der Gewässerrenaturierung in erster Linie ökologische Verbesserungen am Gewässer, bei Maßnahmen in der Landwirtschaft steht meist der Erosionsschutz im Vordergrund. Diese Wirkungen können hier nur stichpunktartig

benannt und nicht in allen Facetten beschrieben werden (Tabelle 1). Diese positiven Wirkungen in sehr unterschiedlichen Bereichen sind eine Ursache für die sehr unterschiedlichen Bewertungen dezentraler Maßnahmen. Viele dezentrale Maßnahmen haben in der Summe positive Umweltwirkungen, sie können daher auch als Ausgleich für Eingriffe und Abflussverschärfungen an anderer Stelle eingesetzt werden. Von dezentralen Maßnahmen in Anspruch genommene Flächen können in der Regel mehrere Aufgaben erfüllen und unterschiedlichen Zielen nutzen. Werden die Kosten oder der Flächenbedarf der Maßnahme jedoch nur einem einzelnen Nutzen z. B. dem Hochwasserrisikomanagement angerechnet, so sind dezentrale Maßnahmen oft vergleichsweise teuer bzw. flächenintensiv. Probleme bei der Umsetzung sind, dass nicht alle Nutzen exakt quantifiziert werden können. Förderprogramme zielen meist nur auf einen einzelnen Nutzen ab und berücksichtigen Synergien nur teilweise. Gleichzeitig sind die Synergien dezentraler Maßnahmen mit anderen Umweltzielen in der Regel nicht an jedem Ort gleich hoch. Ziel eines Konzeptes zum Hochwasserrisikomanagement muss es daher sein, insbesondere die Standorte zu identifizieren, an denen besonders hohe Synergien zu erwarten sind.

Die kleinräumigen Auswirkungen des Klimawandels sind bisher noch nicht ausreichend erforscht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Hochwassergefährdung durch größere Niederschläge im Winter und vermehrte Starkregenereignisse im Sommer zunimmt. Gleichzeitig ist mit längeren Trockenphasen im Sommer zu rechnen, wodurch Maßnahmen die den Wasserhaushalt z. B. durch zusätzliche Versickerung stärken eine größere Bedeutung zukommt. In Konzepten zum Hochwasserrisikomanagement können dezentrale Maßnahmen insbesondere wegen ihrer flächigen Verteilung einen guten Ausgleich für die zu erwartenden Abflussverschärfungen bieten. Gleichzeitig lässt sich das Mosaik aus dezentralen Maßnahmen entsprechend dem aktuellen Kenntnisstand gut ergänzen und ausbauen. Damit sind dezentrale Maßnahmen typische „no regret“ Maßnahmen, die heute schon umgesetzt werden können, auch wenn die genauen Dimensionen der zu erwartenden Veränderungen noch unbekannt sind. Zu erwarten ist jedoch auch, dass gerade in den Oberläufen der Gewässer mit kleinen Einzugsgebieten die stärksten Extreme durch Auswirkungen des Klimawandels auftreten werden. Auch hier sind dezentrale Maßnahmen gut geeignet um einen Ausgleich zu leisten.

Innerhalb eines Einzugsgebietes gibt es in der Regel eine Fülle geeigneter Standorte für dezentrale Maßnahmen. Die Verfügbarkeit eines einzelnen Standortes ist daher nicht so entscheidend. Ein Konzept unter Einbeziehung dezentraler Maßnahmen ist daher sehr flexibel. Die Fülle von möglichen Maßnahmen und Standorten bedingt aber auch eine langfristige vorausschauende Planung und konsequente flächenhafte Umsetzung um die gesetzten Ziele zu erreichen.

Die Auswirkungen dezentraler Maßnahmen auf den Hochwasserabfluss wurden in verschiedenen Projekten in der Regel für reale Einzugsgebiete untersucht. In einigen Projekten wurden auch synthetische Einzugsgebiete erzeugt, um daran die hydrologischen Wirkungen zu untersuchen. Allen Projekten gemeinsam ist, dass die Untersuchungen, die auf der Basis von Computermodellen durchgeführt wurden, eine Vielzahl von Annahmen zugrunde liegen. Zudem können in vielen hydrologischen Modellen auf Einzugsgebietsebene dezentrale Maßnahmen nur vereinfachend und z. T. zusammenfassend dargestellt werden. Messungen und Untersuchungen an umgesetzten Maßnahmen fehlen weitgehend. Entsprechend genau müssen die

modelltechnischen Annahmen bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Tabelle 2 zeigt einen Überblick zu den berechneten Scheitelabflussreduzierungen in unterschiedlichen Projekten.

Die verschiedenen dezentralen Maßnahmen greifen an unterschiedlichen Stellen in den hydrologischen Kreislauf ein. Einige Maßnahmen entziehen der Hochwasserwelle einen Teil des Volumens z. B. durch zusätzliche Versickerung. Andere Maßnahmen verzögern den Wellenablauf und haben dadurch einen günstigen Einfluss auf die Wellenüberlagerung aus verschiedenen Teilgebieten, wie z. B. die Gewässerrenaturierung. Gewässeraufweitungen reduzieren zusätzlich im Bereich der Maßnahmen den Wasserspiegel. Die Wellenüberlagerung hat schon bei kleinen Gewässern in den Oberläufen eine große Bedeutung für die auftretenden maximalen Hochwasserscheitel. Bei einer zeitgleichen Überregnung des Einzugsgebietes ist die Gefahr der ungünstigen Wellenüberlagerung insgesamt am Größten. In der Realität treten jedoch starke zeitliche und räumliche Schwankungen in der Niederschlagsverteilung auf, die sich erheblich auf die Abfluss reduzierende Wirkung durch Entzerrung der Wellenüberlagerung auswirken. Im weiteren ist die hydrologische Wirkung in starkem Umfang vom betrachteten Querschnitt abhängig. Bei allen Maßnahmen, zentral wie dezentral, nimmt die Wirkung der Maßnahme mit der Entfernung von der Maßnahme ab. Während mit einer großen Stauanlage unmittelbar unterhalb der Anlage große Scheitelreduzierungen (oft größer 50%) erreicht werden können, reduzieren Konzepte mit dezentralen Maßnahmen die Abflüsse der Gewässer im ganzen Einzugsgebiet allerdings meist in einem geringeren Umfang.

Tab. 2: Auswahl von Scheitelabflussreduzierungen aus verschiedenen Projekten für dezentrale Maßnahmen (Auswahl nach Rieger 2010)

Projektname ggf. Kürzel bzw. untersuchtes Gewässer	Untersuchte dezentrale Maßnahme	Einzugsgebiet	Erzielte mittlere Scheitelabflussreduzierung an der Mündung	Quelle
Pilotstudie Eschbach	61 Kleinrückhaltungen	54,75 km ²	20 % (HQ ₁₀₀)	Mock (1992)
Untersuchungen an der Oberen Elsenz, Kraichgau	Kleinrückhalte, im Mittel 15000 m ³	75 km ²	25%	Assmann et al. 1998
Vorbeugender Hochwasserschutz an der Ilm	13 kleinere dezentrale Rückhaltebecken	688 km ²	20 % (HQ ₁₀₀)	Blasy & Mader (1999)
Thalfanger Bach	Kleinrückhalte 300 m ³ - 9000 m ³	17 km ²	20 % (HQ ₅₀)	Dohm & Kreiter (1999)
Johannisbach	Kleinrückhalte 4900 m ³ - 22000 m ³	8 km ²	45 % (HQ ₅₀)	Dohm & Kreiter (1999)
Umweltverträglicher Hochwasserschutz an der Bauna	Regenwasserbewirtschaftung mit Regenrückhalten	50 km ² (25 % Siedlungsfläche, 11% versiegelte Fläche)	~ 25% (HQ ₁) ~5% (HQ ₅) kaum Reduzierung bei größeren Ereignissen	Röttcher und Tönsmann (2001)
	Gewässerrenaturierung	50 km ²	~ 10% (HQ ₁) ~ 20% (HQ ₂₀) ~ 15% (HQ ₁₀₀)	
	Kleinrückhalte (28 Rückhalte (1.500 bis 50.000 m ³) mit zusammen 338.000 m ³)	50 km ²	~ 18% (HQ ₅) ~ 10% (HQ ₁₀ - HQ ₅₀) ~20% (HQ ₁₀₀)	
Beitrag naturnaher Retentionsmaßnahmen in den Talauen zur Hochwasserdämpfung	Renaturierungs-maßnahme	166 km ²	19 % bei 0,1 % Gefälle (HQ ₁₀₀) 4 % bei 0,5 % Gefälle (HQ ₁₀₀)	Marenbach (2002)
	Renaturierungs-maßnahme	1088 km ²	2,5 % bei 0,1 % Gefälle (HQ ₁₀₀) 1 % bei 0,5 % Gefälle (HQ ₁₀₀)	
Untersuchungen an der Lausitzer Neiße	Konservierende Bodenbearbeitung auf 50 % der 71 % Ackerfläche im Einzugsgebiet	162 km ²	30 % (HQ ₁₀₀)	Wilcke (2002)
Einfluss von Maßnahmen der Gewässerentwicklung auf den Hochwasserabfluss	Renaturierungs-maßnahme (Laufverlängerung + Auwald)	405 km ²	9 % (HQ ₁₀₀)	Schwaller & Tölle (2005)
Obere Blies	Kleinrückhalte 150 m ³ - 41000 m ³	8,5 km ²	50 % (>HQ ₁₀₀)	Kreiter (2007)
Prims	Kleinrückhalte 1000 m ³ - 80000 m ³ (4 Becken)	735 km ²	5 % (HQ ₅₀) 3 % (HQ ₁₀₀)	Kreiter (2007)
Umweltverträglicher Hochwasserschutz für die Einzugsgebiete von Fulda und Diemel (INTERREG IIIB Projekt Floodscape)	Gewässerrenaturierung	Fulda 6.945 km ² Diemel 1.760 km ²	10% bis 15 % (HQ ₂ bis HQ ₂₀₀)	Röttcher und Theobald (2007)
	Dezentrale Rückhalte ungesteuert 1315 Standorte	Fulda 6.945 km ² Diemel 1.760 km ²	HQ ₁₀ bis HQ ₁₀₀ ~ 5%, lokale Reduzierungen bis 30% bei HQ ₁₀₀	
	Konservierende Bodenbearbeitung (38% landwirtschaftl. Flächen, 67% der Ackerflächen werden konservierend bearbeitet)	Fulda 6.945 km ² Diemel 1.760 km ²	HQ ₂ bis HQ ₂₀₀ in den Teilgebieten Reduzierungen 0 bis 5 %, an der Mündung kleiner 0,5%	

Tab. 2: Auswahl von Scheitelabflussreduzierungen aus verschiedenen Projekten für dezentrale Maßnahmen (Auswahl nach Rieger 2010) (Fortsetzung)

Dezentraler Hochwasserschutz im EZG der Natzschung	9 dezentrale RHB mit 255 000 m ³	75km ²	17 % (Augusthochwasser 2002)	Bölscher & Schulte (2008)
Retentionsfähigkeit von Gewässernetzen (RIMAX Projekt)	Gewässerrenaturierung	Nahe ~ 4.000 km ²	Für die Teilgebiete zwischen 2 und 10% bei HQ ₁₀₀ , Nahe und Glan wurden nicht betrachtet	Röttcher et. al 2008
	Gewässerrenaturierung	Fulda 6.945 km ²	Für die Mündungspunkte von Nebengewässern zwischen 2 und 18 % bei HQ ₁₀₀	
Beitrag unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren und Bewirtschaftungsformen	Ökologischer Landbau	7,6 km ²	1,72 (HQ ₁), 1,64 (HQ ₁₀) 1,03 (HQ ₅₀) 0,88 (HQ ₁₀₀)	Weiß (2009)
	Abflussmulden	7,6 km ²	1,57 (HQ ₁) 1,87 (HQ ₁₀) 1,95 (HQ ₅₀) 1,95 (HQ ₁₀₀)	
Vorbeugender, flächenhafter Hochwasserschutz auf urbanen und ackerbaulich genutzten Flächen	Dez. Regenwasserbewirtschaftung	740 km ² (Siedlungsgebiete)	5,5% (HQ ₁₀₀)	Wilcke (2009)
Untersuchung dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen an der Windach (Bay. LfU)	Kleinrückhalte 19 Becken Gesamtvolumen 250000 m ³	65 km ²	20 % (HQ ₅) 9 % (HQ ₅₀)	Rieger & Disse (2010)
	Renaturierung der Zuflüsse mit Auwald zur Windach	65 km ²	6 % (HQ ₅) 5 % (HQ ₅₀)	
	Konservierende Bodenbearbeitung bei 95 % Ackerfläche im EZG	65 km ²	8 % (HQ ₅) 1 % (HQ ₅₀)	

Literatur

- Assmann, A., Gündra, H., Schukraft, G., Schulte, A. (1998): Konzeption und Standortwahl bei der dezentralen, integrierten Hochwasserschutzplanung für die Obere Elsenz. - (Kraichgau). Wasser & Boden 50/8, S. 15 – 19
- Bauer, Ch. (2004): Bestimmung der Retentionspotentiale naturnaher Maßnahmen in Gewässer und Aue mit hydraulischen Methoden. Kasseler Wasserbau-Mitteilungen. Heft 16. Universität Kassel
- Blasy & Mader (1999): Konzepte für einen vorbeugenden Hochwasserschutz an der Ilm (Ilmstudie). - Beratende Ingenieure, Eching, Auftraggeber: Bezirk Oberbayern, vertreten durch Wasserwirtschaftsamt Ingolstadt
- BMBF (2007): Retentionsfähigkeit von Gewässernetzen, Abschlussbericht, Förderkennzeichen 0330687 A bis D
- Bölscher, J. & A. Schulte (2008): Dezentraler Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Natzschung (Mittleres Erzgebirge). In: „Wasserrückhalt in der Fläche – Möglichkeiten und Grenzen des dezentralen Hochwasserschutzes“. Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr, Heft 100
- Dohm, B. & Kreiter, T. (1999): Bemessung und Optimierung von Kleinrückhalten im Rahmen dezentraler Hochwasserschutzkonzepte. - Fachhochschule Trier, Fachbereich Bauingenieurwesen. Unveröffentlichte Diplomarbeit

- DWA (2006): Dezentrale Maßnahmen zur Hochwasserminderung. DWA Themenheft, April 2006, Selbstverlag der DWA, Bad Hoenef
- Ernstberger, H. (2005): Modifizierung des AUENMOD und HOWARÜPO: AUENRET. Büro für Umweltbewertung und Geoökologie. Gießen-Wieseck
- Honecker, U. (2005): Bewertung des naturnahen Retentionspotentials von Gewässer-Aue-Systemen – Ein Beitrag zur integrierten Hochwasservorsorge am Beispiel des Einzugsgebietes der Prims. (Saarbrücker Geographische Arbeiten Bd. 49) Saarbrücken
- LAWA (2009): Strategie zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie in Deutschland (Entwurf Stand 4.9.2009)
- Marenbach, B. (2002): Der Beitrag naturnaher Retentionsmaßnahmen in den Talauen zur Hochwasserdämpfung. Schriftenreihe des Fachgebietes Wasserbau und Wasserwirtschaft. Band 13. Technische Universität Kaiserslautern
- Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz (MfUuF) (2005): 10 Jahre Aktion Blau – Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz
- Mock, J. (1992): Umweltverträglicher Hochwasserschutz – Pilotstudie Eschbach / Zusammenfassung und Wertung. - Institut für Wasserbau – Konstruktiver Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Hochschule Darmstadt
- Rieger, W. & M. Disse (2010): Erstellung eines Hochwasserschutzkonzepts mit integrierten dezentralen Maßnahmen auf Grundlage hydrologischer und hydrodynamisch numerischer Modellierungen. Beitrag zum TdH 2010, 25. und 26. März 2010, Braunschweig
- Rieger, W. (2008): Entwicklung einer Methodik zur Erstellung von Hochwasserrückhaltekonzepten unter Berücksichtigung des Klimawandels am Beispiel der Windach, 1. Zwischenbericht.
- Rieger, W. (2010): Prozessorientierte Modellierung dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen. Mitteilung des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Heft-Nr. 111 (in Bearbeitung)
- Röttcher, K. & F. Tönsmann 2001: Möglichkeiten und Grenzen des dezentralen Hochwasserschutzes am Beispiel der Bauna. Wasser & Boden, 53. Jahrgang, Heft 10, S. 29 - 34. Parey Buchverlag, Berlin
- Röttcher, K. & S. Theobald (2007): Umweltverträglicher Hochwasserschutz für die Einzugsgebiete von Fulda und Diemel. Zusammenfassender Bericht. 281 Seiten. Im Auftrag des Hessischen Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz
- Röttcher, K., C. Anders, H. Franke, U. Honecker, E. Kirchoffer, G. Riedel und A. Weiß 2008: Retentionsfähigkeit von Gewässernetzen. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 4, August 2008, S.179-186
- Schwaller, G. & Tölle, U. (2005): Einfluss von Maßnahmen der Gewässerentwicklung auf den Hochwasserabfluss. - Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- Stein, K., K. Förster, G. Riedel und K. Flachmeier (2010): Ein integrierter Ansatz zur Identifizierung von Gebieten mit Starkregengefahren in Ostwestfalen. Korrespondenz Wasserwirtschaft, Heft 3, S. 130 – 135
- Wilcke, D.(2002): Innovativer Ansatz eines vorbeugenden Hochwasserschutzes durch dezentrale Maßnahmen im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft sowie der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der Lausitzer Neiße. - Endbericht. DBU Projekt 15877, Hannover
- Wilcke, D., (2009): Vorbeugender, flächenhafter Hochwasserschutz auf urbanen und ackerbaulich genutzten Flächen. Selbstverlag des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, Gottfried Wilhelm Leibnitz Universität Hannover, Heft 93

Nachhaltige Fortschreibung von Generalentwässerungsplänen durch hydraulische, ökonomische und gewässerschutzspezifische Optimierung mittels integrierter Modellierung vom Kanal und Gewässer. Ein Fallbeispiel für das Einzugsgebiet Mirker Bach in Wuppertal.

Ioannis Papadakis, Stephan Plexnies, Markus Quirnbach und Udo Laschet,

Gewässersysteme werden u.a. von Abwasserableitungssystemen quantitativ und qualitativ signifikant belastet. Entwässerungssysteme sind meistens Teilsysteme von natürlichen Gewässereinzugsgebieten mit unterschiedlichen Schnittstellen zu Gewässern, wie direkte und indirekte gedrosselte oder nicht gedrosselte Einleitungen aus Entlastungsbauwerken unterschiedlicher Art (SK, RÜB, RÜ, RRB, RKB). Auf der anderen Seite werden besonders in den dicht besiedelten Gebieten stadt(-teil) Zentren Gewässerverläufe durch das städtische Kanalnetz geleitet. Aus dieser Systemstruktur resultiert eine Wechselwirkung zwischen Kanal und Gewässer. Diese führt zur gegenseitigen Beeinflussung des hydraulischen und gewässerschutzspezifischen Verhaltens innerhalb des Gewässerhauptsystems mit unterschiedlichen Auswirkungen.

Im Sinne der WRRL für eine nachhaltige, gewässerökologisch orientierte Bewirtschaftung von Einzugsgebieten ist es erforderlich, bei Eingriffen in Teilbereichen des Gewässereinzugsgebietes eine Gesamtbetrachtung des Gewässersystems zu verfolgen. Dadurch werden vorhandene und zu erwartende signifikante quantitative und qualitative Wechselwirkungen innerhalb des betrachteten Systems erfasst, die bei der Umsetzung von notwendigen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen Berücksichtigung finden.

In der Vergangenheit wurden Teilsysteme wie urbane Gebiete quasi isoliert vom Gewässer betrachtet. Erst mit in Kraft treten der WRRL und in Verbindung mit der Immissionsbetrachtung BWK-M3 und -M7 hinsichtlich der Gewässerbelastung sind die gesetzlichen Voraussetzungen einer ganzheitlichen Betrachtung von Gewässereinzugsgebieten geschaffen.

Diese neue Betrachtungsweise verlangt allerdings einen Umdenkprozess bei der Bearbeitung von stadthydrologischen und gewässerspezifischen wasserwirtschaftlichen Aufgabenstellungen. Sowohl die vorhandene Modelltechnik, als auch die dazu notwendigen Daten bekommen eine neue Gewichtung in dem geforderten ganzheitlichen Ansatz. Teils räumlich gröber aufgelöste hydrologische Gebietsmodelle gekoppelt mit stationären 1-D oder instationären 2-D hydraulischen Gewässermodellen für die Gesamtbetrachtung des Gewässereinzugsgebietes werden oft mit fein räumlich aufgelösten hydrodynamischen Kanalnetzmodellen für die urbanen Gebiete für die Planung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen gleichzeitig verwendet.

Wasserhaushaltsmodelle und hydrodynamische Kanalnetzmodelle sind jedoch aufgrund deren Entstehungsursprungs unterschiedlich bei der modelltechnischen Abbildung der hydrologischen Prozesskomponenten Abflussbildung und Abflusskonzentration. Komponenten, welche je nach Modellart, Datenlage und Zielsetzung zu signifikant unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Auch die hydraulischen Gewässermodelle (stationär, instationär) im Vergleich zu den hydrodynamischen Kanalnetzmodellen können signifikant unterschiedliche Ergebnisse liefern.

Im Gewässereinzugsgebiet des Mirker Baches (ca. 1.000 ha) in Wuppertal wird gezeigt, welche modelltechnische Vorgehensweise zu einer erfolgreichen ganzheitlichen Betrachtung und damit zu einer Optimierung aus hydraulischer und gewässerschutzspezifischer Sicht im Rahmen der Fortschreibung von Generalentwässerungsplänen führen kann. Dabei werden sowohl die Schritte zu einer integrierten Modellierung Gewässer-Kanal unter Berücksichtigung eines Wasserhaushaltsmodells, eines stationären hydraulischen Gewässermodells und eines hydrodynamischen Kanalnetzmodells als auch die dazu notwendigen umfangreichen Daten (Mess-, Flächen-, Gewässerdaten) beschrieben. Darüber hinaus werden die modelltechnischen und datenspezifischen Schwierigkeiten, Grenzen und Defizite aufgezeichnet.

Hochwasserangepasstes Planen und Bauen als Baustein einer nachhaltigen Wasserwirtschaft

Manuela Gretzschel, Martin Cassel-Gintz und Robert Jüpner

Zusammenfassung

Hochwasser angepasstes Planen und Bauen (hier kurz umschrieben mit „Bauvorsorge“) als ein Handlungsbereich der Hochwasservorsorge ist Teil des Hochwasserrisikomanagements. Hauptziele sind neben der Verringerung der Schadenspotenziale hinsichtlich monetärer Schäden für die Betroffenen auch die Verhinderung/Minderung der Schäden für die Umwelt und die Unterlieger. Bauvorsorge beeinflusst aber auch die integrative und nachhaltige Bewirtschaftung der Gewässer. Hierbei ist nicht nur der „Schutz vor dem Wasser“ in Bezug auf die Menschen (als Betroffene und Unterlieger) und Güter zu verstehen. Umgekehrt ist der Schutz des Wassers bzw. der Umwelt vor Kontamination (z. B. durch auslaufendes Heizöl) ein Anliegen der Bauvorsorge. Aus diesen Gründen ist angemessene Bauvorsorge auch wichtiger Bestandteil einer nachhaltigen Wasserwirtschaft, dem besonders aufgrund der hohen entstandenen Schäden der letzten großen Hochwasserereignisse eine bedeutende Rolle zukommt. Das spiegelt sich auch an der Gesetzeslage wieder. So wird im Wasserhaushaltsgesetz in § 78 (3) gefordert, dass im Zuge der wasserrechtlichen Prüfung die Errichtung oder Erweiterung einer baulichen Anlage neben anderen Aspekten der Nichtbeeinträchtigung des Wasserabflusses nur genehmigt werden kann, wenn diese hochwasserangepasst gebaut wird. Bislang wurde dieser Passus in der wasserrechtlichen Praxis kaum bzw. regional sehr heterogen berücksichtigt. Im Zuge der Umsetzung der Europäischen Hochwasserrisikomanagementrichtlinie kommt der einheitlichen Interpretation und Ausgestaltung dieser Vorgabe eine größere Bedeutung zu.

Ein Katalog mit Handlungsempfehlungen und Checkliste für die Wasserbehörden und Bauantragsteller wird derzeit am „Kompetenzzentrum Hochwassermanagement und Bauvorsorge“ des KLIFF (TU Kaiserslautern) erarbeitet. Darin wird beschrieben wie die hochwasserangepasste Ausführung in Bezug auf Einzelbebauung bzw. Baugebiete oder Neubau bzw. Sanierung aussehen kann und wie der Nachweis dafür erbracht werden sollte.

1. Einleitung

Das Thema des diesjährigen Tages der Hydrologie lautet „Nachhaltige Wasserwirtschaft durch Integration von Hydrologie, Hydraulik, Gewässerschutz und Ökonomie“. Auch die Bauvorsorge ist ein wichtiger Bestandteil der nachhaltigen Wasserwirtschaft und integriert diese Bereiche folgendermaßen: Mittels hydrologischen Methoden werden Bemessungshochwasser berechnet bzw. festgesetzt. Diese dienen als Grundlage der Ausweisung der überschwemmungsgefährdeten Flächen und damit zur Identifikation betroffener Gebäude, um Bauvorsorge zu betreiben. Mit hydraulischen Modellierungen wird der Verlust des Retentionsraumes durch Gebäude festgestellt. Durch gezielte Bauweisen (z. B. Stelzen, Stützen) kann diesem Retentionsraumverlust entgegengewirkt werden. Die Bauvorsorge dient ebenso dem Gewässerschutz durch die Vermeidung von Kontamination durch wassergefährdende Stoffe wie auslaufendes Heizöl infolge von durch den Wasserauftrieb aufsteigende und beschädigte Ölbehälter. Diese sollten in ge-

fährdeten Gebieten mit gezielten Befestigungen gesichert bzw. noch besser durch Gas- oder Pelletheizung ersetzt werden. Die Ökonomie spielt bei der Berechnung der Schadenspotenziale und Schäden eine wichtige Rolle. Die Minimierung des Schadenpotenzials und Verringerung der Schäden für Privatleute, Wirtschaft und Öffentliche Hand ist Ziel der Bauvorsorge, die im nächsten Abschnitt näher erläutert wird.

2. Bauvorsorge

Bauvorsorge gehört zur Hochwasservorsorge und ist ein Bestandteil des Hochwasserrisikomanagements. Durch hochwasserangepasste Bauweisen und Nutzungen sollen die monetären Schäden für die Betroffenen aber auch die der Umwelt verringert bzw. vermieden werden. Somit zielt die Bauvorsorge in zwei Richtungen ab: der Schutz der Betroffenen vor dem Wasser sowie der Schutz des Wassers vor Kontamination.

Neben dem Hauseigentümern bzw. Bauherrn selbst sind insbesondere planende Architekten und Ingenieure für hochwasserangepasstes Bauen verantwortlich. Diese haben in ihrer Planung die Anforderungen der Hochwasservorsorge sicherzustellen (MUF 2005).

2.1 Hochwasserstrategien der Bauvorsorge

Die Wege des Wassereintritts in Gebäude im Hochwasserfall sind vielseitig und reichen vom oberirdischen Eindringen über Fenster und Türen, zum unterirdischen Eindringen über die Kanalisation oder durch den Keller durch erhöhten Grundwasseranstieg. Das Schadenspotenzial und die Schäden selbst können verringert werden, wenn die nachfolgenden Hochwasserschutzstrategien in der Bauvorsorge Berücksichtigung finden (vgl. Abbildung 1).



Abb. 1: Strategien der Bauvorsorge (verändert nach BMVBW 2002)

Die effektivste Strategie ist das Ausweichen, d. h. man baut dorthin, wo das Flusswasser - auch bei extremen Hochwasserereignissen - nicht hinkommen kann. Diese Information ist den

Gefahrenkarten zu entnehmen. Erhöhte Anordnung (z. B. auf Erdhügeln, Stelzen oder Stützen) bzw. Abschirmung durch mobile Hochwasserschutzbauwerke stellen Alternativen dazu dar. Eine weitere Strategie ist das Widerstehen, die Verhinderung des Wassereintritts durch Abdichtung und/oder Verstärkung des Kellers bzw. Fundaments (Stichwort: Schwarze und Weiße Wanne). Das ist leicht bei Neubauten durchzuführen. Mit der Strategie „Nachgeben“ wird der Wassereintritt nicht verhindert sondern die bewusste Flutung des Gebäudes zugelassen. Diese Strategie wird häufig bei bestehenden Gebäuden durchgeführt, um die Standsicherheit des Gebäudes zu gewährleisten. Hierbei ist besonders auf eine hochwasserangepasste Ausstattung der gefährdeten Stockwerke zu achten. Insbesondere müssen im Vorfeld Heizung bzw. Elektroinstallation in die oberen ungefährdeten Objekte verlagert werden. Die letzte Strategie „Sichern“ dient dem Schutz der Bausubstanz bzw. der Umwelt vor Kontamination durch Schadstoffe. Die wichtigsten Gegenmaßnahmen hierbei sind der Verzicht auf Ölheizung oder die fachgemäße Sicherung der Heizöltanks gegen Auftrieb.

2.2 Verringerung von Schäden durch Bauvorsorge

Die vergangenen Hochwasser haben gezeigt, dass die höchsten Schäden in bebauten Gebieten (Wohn- und Gewerbegebiete) aufgetreten sind. Stark geschädigt wurden auch öffentliche Gebäude und Infrastrukturen.

Die 2007 in Kraft getretene Europäische Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL)⁶ fordert die Erarbeitung von Hochwasserrisikomanagementplänen zur Minderung der Hochwasserrisiken unter der Betrachtung von Extremhochwasser und nicht-baulichen Maßnahmen (non-structural measures) der Hochwasservorsorge. In Anbetracht der Anforderungen der HWRM-RL und der Grenzen des technischen Hochwasserschutzes kommt daher speziell auch dem Hochwasser angepassten Planen und Bauen in Hochwasserrisikogebieten eine stärkere Bedeutung zu. Noch relevanter wird die Bauvorsorge-Thematik zudem vor dem Hintergrund des Klimawandels und der damit verbundenen Zunahme des Hochwasserrisikos durch veränderte Niederschlagsmuster und vermehrte Extremereignisse in vielen Regionen (Zebisch et al. 2005)

3. Kompetenzzentrum „Hochwassermanagement und Bauvorsorge“

Um den neuen rechtlichen Anforderungen der HWRM-RL gerecht zu werden, initiierte das rheinland-pfälzische Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz (MUFV) die Errichtung eines Kompetenzzentrums „Hochwassermanagement und Bauvorsorge“. Dieses wurde innerhalb des INTERREG IVA-Projektes FLOW MS (Hoch- und Niedrigwassermanagement im Mosel-Saar-Einzugsgebiet) umgesetzt. FLOW MS umfasst verschiedene Aspekte der Implementierung der HWRM-RL in verschiedenen Regionen im Mosel-Saar-Einzugsgebiet und läuft zunächst bis 2013 (seit 2009). Die Projektpartnerschaft besteht aus jeweils einem luxemburgischen, französischen, saarländischen und rheinland-pfälzischen Partner (Ministerien bzw. Wasser- und Umweltbehörde). Die Projektkoordinierung liegt bei der Internationalen Kommission zum Schutze der Mosel und Saar (IKSMS).

⁶ Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. 6.11.2007. L288/27.

Das Kompetenzzentrum ist in das KLIFF – Kaiserslautern Institute for Flood Management and River Engineering, welches im Januar 2009 als Forschungseinheit des Fachgebiets Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Kaiserslautern gegründet wurde, eingebunden. Es besteht aus den drei Sachgebieten Hochwassermanagement & Bauvorsorge, Naturnaher Wasserbau & Gewässerökologie sowie Anpassungsstrategien an den Globalen Wandel.

Die Hauptziele des Kompetenzzentrums Hochwassermanagement und Bauvorsorge innerhalb von FLOW MS sind die Sammlung von Fachinformationen zu Hochwassermanagement und Bauvorsorge und Aufbereitung für die unterschiedlichen Akteure, die Beratung von Betroffenen und Behörden sowie die Weiterbildung von Akteuren, wie z. B. den planenden Architekten und Ingenieuren.

4. Projekt Wasserrechtliche Genehmigung

Aufgrund der hohen Schäden bei den letzten großen Hochwasserereignissen sowie der gesetzlichen Vorgaben ist die Wasserwirtschaftsverwaltung bemüht, das Wachstum der Schadenpotenziale, im Überschwemmungsgebiet einzudämmen.

4.1 Rechtlicher Rahmen

Die gesetzliche Basis legte dazu 2005 das „Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“⁷, durch welches das Wasserhaushaltsgesetz novelliert wurde. Seitdem wird im Wasserhaushaltsgesetz (WHG)⁸ (§ 78 (3) seit 1.3.2010, § 31 b a. F.) gefordert, dass im Zuge der wasserrechtlichen Prüfung die Errichtung oder Erweiterung einer baulichen Anlage neben anderen Aspekten der Nichtbeeinträchtigung des Wasserabflusses nur genehmigt werden kann, wenn diese hochwasserangepasst gebaut wird. Was unter hochwasserangepassten Bauen konkret verstanden wird, bleibt offen. Bislang wurde dieser Passus in der wasserrechtlichen Praxis sehr heterogen berücksichtigt und umgesetzt. Vor dem Hintergrund der Umsetzung der EU-HWRM-RL (vgl. Abschnitt 2.2) kommt dieser Vorgabe jedoch eine größere Bedeutung zu.

4.2 Defizite und Handlungsempfehlungen

Im Gespräch mit den für die Erteilung der wasserrechtlichen Genehmigung zuständigen Bearbeitern haben sich bereits viele Mängel bei der Bauantragstellung herauskristallisiert. So haben planende Architekten/Bauingenieure z. T. nur unzureichendes Wissen im Bereich des hochwasserangepassten Planens und Bauens in überschwemmungsgefährdeten Gebieten. Je nach deren Vorwissen, unterscheidet sich die Qualität der Bauanträge. Einige Defizite seien hier benannt:

⁷ Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes, Drucksache 15/5121. 10.5.2005.

⁸ Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG) vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585).

- Zu wenig oder ungenaue Informationen über Art der hochwasserangepassten Bauausführung (z. B. Nutzung des Kellers, Art der Keller-Abdichtung, Lage der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA))
- Fehlende Informationen über Wahl der Baustoffe (Boden Keller, Erdgeschoss, Außenwände bzgl. wasserresistenter Materialien)
- Fehler bei Berechnungen des Retentionsraumverlustes, z. B. fehlen die aufgeschütteten Erdmassen

Ausgehend von diesen Erkenntnissen wurden erste Zwischenergebnisse abgeleitet: In Bezug auf die Prüfung des Ausnahmetatbestandes des hochwasserangepassten Bauens sowie auf die wasserrechtliche Genehmigung und Bauantragstellung werden derzeit am KLIFF Handlungsempfehlungen entwickelt, in denen die zu berücksichtigenden hochwasserrelevanten Aspekte enthalten sein werden. Diese richten sich sowohl an die Wasserbehörden als auch an den Antragsteller. Der Antragsteller arbeitet den Handlungskatalog und eine Checkliste ab und kreuzt die zutreffenden Punkte an. Dadurch wird sicher gestellt, dass die für die Wasserbehörden relevanten Bauvorsorgemaßnahmen zum einen vom Bauherren bzw. planenden Architekten oder Ingenieur durchdacht und zum anderen auch im Bauantrag enthalten sind.

Wie ebenfalls aufgezeigt wurde, gibt es Mängel bezüglich der Bewusstseinsbildung gegenüber Hochwasserrisiken nicht nur der privaten und öffentlichen Eigentümer sondern auch der planenden Architekten und Ingenieure. Der 2. Punkt ist somit die Weiterbildung.

4.3 Weiterbildung „Bauvorsorge“

Im Vordergrund der Weiterbildung „Bauvorsorge“ steht die Stärkung der Bewusstseinsbildung für Hochwasser sowie die Verbesserung des Fachwissens zum Thema hochwasserangepasstes Planen und Bauen. Die Weiterbildung soll in das Fortbildungsprogramm für Ingenieure und Architekten aufgenommen werden, da bisher ein solches oder ähnliches Angebot nicht vorhanden ist. Hauptziel der Weiterbildung ist die Verminderung von Hochwasserschäden durch Anpassung der Bauweise und Ausstattung bei Neubau und Sanierung infolge der kompetenten Beratung und Planung seitens der Architekten und Ingenieure. Da es für das Bauen hinter Hochwasserschutzanlagen keine wasserrechtlichen Einschränkungen gibt, ist die Sensibilisierung der Planer für das Hochwasserrisiko hinter Hochwasserschutzanlagen besonders wichtig.

Im Rahmen des Projektes FLOW MS (vgl. Abschnitt 3) wurde innerhalb des KLIFF ein Weiterbildungskonzept für alle betroffenen Akteure in verschiedenen Modulen erstellt. In einem ersten Schritt wurde die Weiterbildung „Bauvorsorge“ für planende Architekten und Ingenieure in Rheinland-Pfalz und Saarland konzipiert (vgl. Abbildung 2).

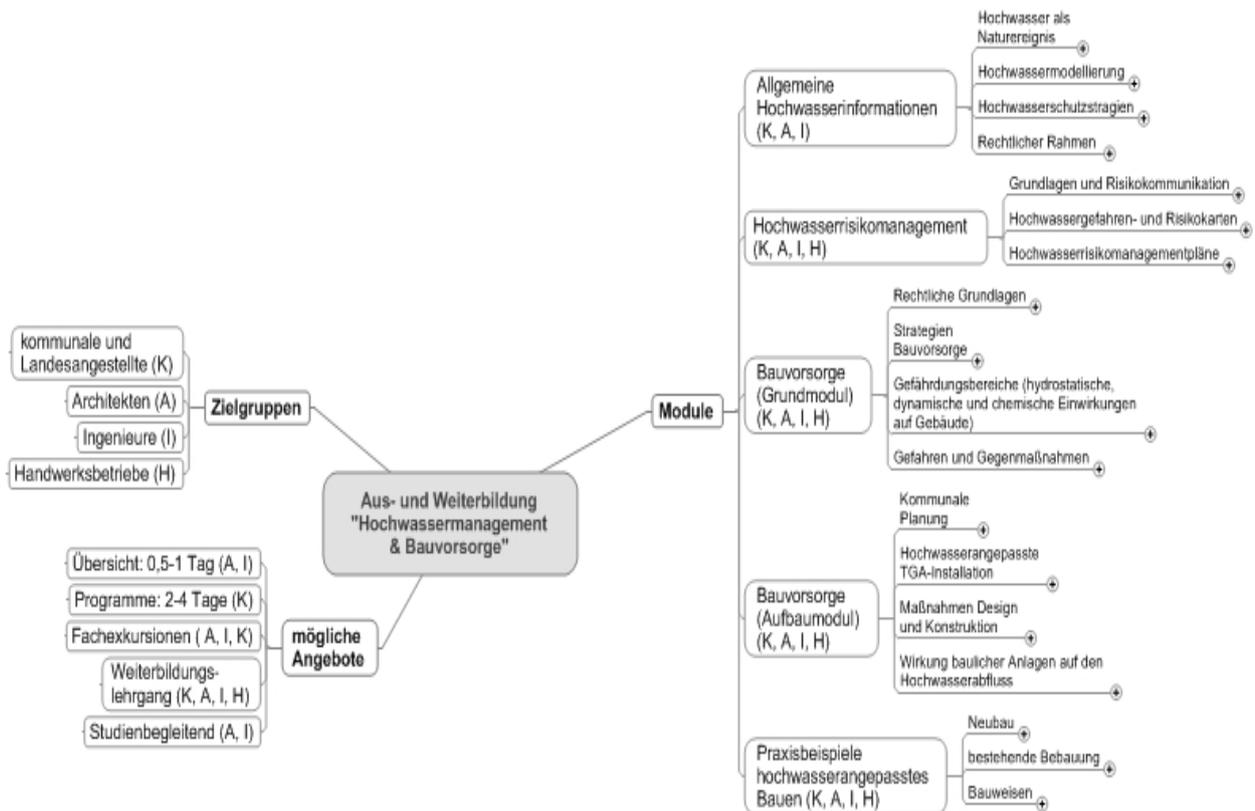


Abb. 2: Konzept der Weiterbildung (nicht alle Ebenen sichtbar)

Später werden die Handwerksbetriebe und die Ausweitung in den französischen und luxemburgischen Raum folgen. Ende April 2010 findet ein Workshop mit den Architekten- und Ingenieurkammern von Rheinland-Pfalz und Saarland zur Abstimmung des Konzepts statt.

5. Praxisbeispiele

Zum Schluss werden zwei Praxisbeispiele vorgestellt, bei dem eine vorbildliche Informationspolitik zur Bauvorsorge für die Bauherren betrieben wird.

5.1 Zollhafen Mainz

Das Gelände des ehemaligen Zoll- und Binnenhafen Mainz soll in ein 30 ha großes Stadtquartier, welches nahe der Altstadt liegt, umgenutzt werden (siehe Abbildung 3 links). Mit dem Hauptziel, Hochwasser angepasstes Planen und Bauen in einem attraktiven Stadtquartier mit bundesweitem Vorbildcharakter für den vorbeugenden Hochwasserschutz zu realisieren, wurde eine Partnerschaft zwischen dem MUFV Rheinland-Pfalz und den Stadtwerken Mainz geschlossen. Für die zukünftigen Bauherren wurde ein Bauherrenhandbuch mit Anregungen und Planungshilfen entwickelt, in welchem die besonderen Erfordernisse des Bauens unter Berücksichtigung extremer Hochwasserereignisse dargelegt und mit Beispielen veranschaulicht sind. So werden in dem als Konzept vorliegendem Bauherrenhandbuch konkrete Anforderungen wie beispielsweise der Erschließung der Straßen auf HW₂₀₀-Niveau oder Sockelhöhen von 1,40m über HW₁₀₀ bei Wohnnutzungen gefordert.

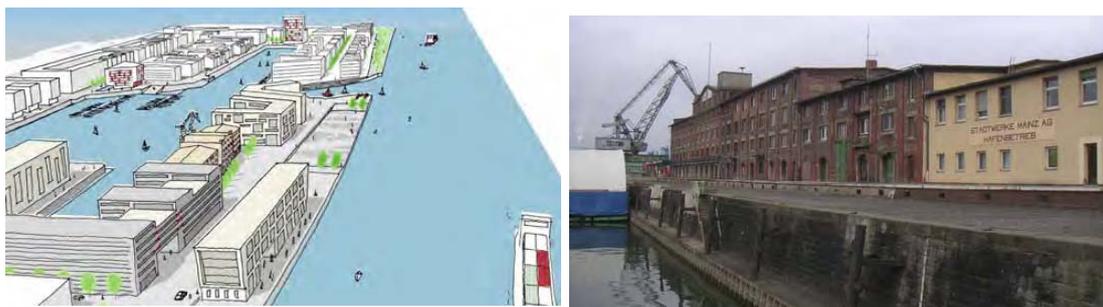


Abb. 3: Zollhafen Mainz (links) und ehemaliges Weinlager (rechts), (Stadtwerke Mainz 2010).

Innerhalb dieses Projektes wurde bereits eine wasserrechtliche Genehmigung für den Umbau bzw. die Umnutzung eines ehemaligen Weinlagers zu einem Weinerlebniszentrum, Gastronomie und Gewerbeflächen (vgl. Abbildung 3 rechts) erteilt. Die hochwassergefährdeten Bereiche sind bei HW_{100} und HW_{200} sämtliche Bauteile im Keller bis zur Unterkante der Decke, der Sockelbereich über Oberkante Gelände einschließlich der Kellerfenster. Im Hochwasserfall müssen die Keller geräumt werden, da aufgrund der Unerreichbarkeit des Gebäudes bereits bei knapp unter HW_{100} der Betrieb nicht aufrechterhalten werden kann. Der Objektschutz besteht in der Abdichtung der Kelleraußenwände, dem Verschluss der Kellerfenster und der Kellerzugänge mit mobilen Elementen. Weiterhin müssen Rohrdurchführungen mit Dichtkrägen versehen, alte Entwässerungsleitungen verschlossen und bei Neuinstallationen Rückstausicherungen eingebaut werden. (Stadtwerke Mainz 2010)

5.2 Stadtumbau Oberwesel

Beim 2. Praxisbeispiel geht es um den Stadtumbau und die Bauvorsorge in der mittelalterlich geprägten Ortschaft Oberwesel am Mittelrhein. Ziel des Pilotvorhabens ist die Erstellung eines Leitfadens für angepasste und auf Hochwasservorsorge ausgerichtete Bauweise. Im Ortskern von Oberwesel, der sich zum Großteil im Überschwemmungsgebiet des Rheins befindet, besteht ein sehr hoher Sanierungsbedarf. Besonders bei dem Projekt ist die Kombination der beiden Bereiche der Stadtsanierung und Hochwasserschutz durch Bauvorsorge, durch die eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Land, Kommune, Stadtplanern und Ingenieuren realisiert wird.

Die örtliche Hochwassersituation von Oberwesel wird bestimmt durch den Bahndamm, der entlang der Bundesstraße direkt am Rhein verläuft und die Ortschaft von Rhein abtrennt. Durch die Durchlässe gelangt bei einem HQ_{100} das Wasser in die Ortschaft. Bereits bei einem HQ_5 ist die Bundesstraße überflutet. Der örtliche Hochwasserschutz ist geprägt von den Erfahrungen mit dem Hochwasser und besteht aus wasserunempfindlichen Materialien bzw. höhergelegten Sockelbereichen und Hauseingängen. Auch wurden HW-Marken zur Erinnerung an frühere Hochwasser angebracht.

Um das Schadenspotenzial abschätzen zu können, wurde als 1. Schritt eine Kategorisierung bzw. Typisierung der Häuser und ihrer Nutzung durchgeführt. Die Gruppierung von Gebäuden war eine wesentliche Grundlage für die Erstellung des beabsichtigten Leitfadens, da es zu umfangreich und aufwändig wäre, Hochwassermaßnahmen für jedes Gebäude zu treffen. Danach wurde die Belastungssituation, die abhängig von der Gebäudelage und der Hochwasserintensi-

tät ist anhand des HW-Standes definiert und die Nutzungsintensitäten in drei Stufen bestimmt. Die Abschätzung des Schadenpotenzials erfolgt durch Verschneidung dieser beiden Parameter in einer Matrix für die unterschiedlichen Gebäudetypen. Daraufhin sollen in dem Leitfadens Objektenschutzmaßnahmen für die sanierungsbedürftigen Gebäudetypen vorgeschlagen werden (vgl. Jüpner et al. 2008).

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die Bauvorsorge ist Teil des Hochwasserrisikomanagements und einer nachhaltigen Wasserwirtschaft mit dem Hauptziel der Verringerung von Schäden für Betroffene und Umwelt. Insbesondere vor dem Hintergrund der erreichten Grenzen des technischen Hochwasserschutzes und der erforderlichen gesetzlichen Betrachtung von Extremhochwasser spielt hochwasserangepasstes Planen und Bauen eine immer größere Rolle. Vom Gesetzgeber wird im WHG bereits gefordert, in Überschwemmungsgebieten hochwasserangepasst zu Bauen. Handlungsempfehlungen zur praktischen Umsetzung dieser Vorgabe seitens der Wasserbehörden werden derzeit am KLIFF erarbeitet.

Dem z. T. mangelnden Bewusstsein planender Architekten und Ingenieure für Planen und Bauen in Überschwemmungsgebieten soll entgegengewirkt werden. Hierfür wurde ein Weiterbildungskonzept „Bauvorsorge“ erarbeitet. Am Beispiel der Praxisbeispiele ist aufgezeigt worden, wie die Bauherren mit nötigen und detaillierten Hochwasser- und Bauvorsorgeinformationen versorgt werden können, um Schadenspotenziale frühzeitig zu verringern.

Literatur

- BMVBW, BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU- UND WOHNUNGSWESEN (2002): Hochwasserschutzfibel - Planen und Bauen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten.
- JÜPNER, ROBERT; KNITTEL, KURT; KETTERING, ROLAND (2008): Stadtumbau und Hochwasserschutz - Pilotvorhaben in Oberwesel. In: R. Jüpner; V. Lüderitz und A. Dittrich (Hrsg.): Beiträge zum Fachkolloquium "Extremereignisse in der Wasserwirtschaft", Kaiserslautern, 27. November 2008, Bericht 19: Shaker Verlag Aachen, ISBN – 978-3-8322-7384-2, S. 145-159.
- MUF, MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN (2005): Möglichkeiten zur Reduzierung von Hochwasserschäden und Handlungsbedarf in Rheinland-Pfalz - Bericht der Arbeitsgruppe "Hochwasserangepasstes Planen und Bauen in Rheinland-Pfalz". Mainz. 15. April 2005.
<http://www.wasser.rlp.de/servlet/is/482/Bericht.pdf?command=downloadContent&filename=Bericht.pdf>
- ZEBISCH, MARC; GROTHMANN, TORSTEN; SCHRÖTER, DAGMAR; HASSE, CLEMENS; FRITSCH, UTA; CRAMER, WOLFGANG (2005): Klimawandel in Deutschland - Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Research Report im Auftrag des Umweltbundesamts, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2947.pdf>
- STADTWERKE MAINZ (2010): Zollhafen Mainz - Modellprojekt hochwasserangepasstes Bauen - Bauherrenhandbuch. Konzept.

Nachhaltiges Management von Flussoasen entlang des Tarim-Flusses in Nordwest-China

Markus Disse, Patrick Keilholz und Bernd Cyffka

Zusammenfassung

Der Tarim-Fluss im äußersten Nordwesten Chinas erstreckt sich entlang des nördlichen Randes der Taklamakan-Wüste und erhält seine wesentlichen Zuflüsse aus den umliegenden zentralasiatischen Gebirgen. Die aktuelle Wasserbewirtschaftung der Flussoasen wird nicht von ressourcenschonenden Kriterien geprägt, so dass in der Region massive Umwelt- und soziale Probleme entstanden sind. So sind große Teile der landwirtschaftlich genutzten Böden durch Versalzung unbrauchbar geworden, die flussbegleitende Auenvvegetation ist stark zurückgegangen und wichtige Ökosystemfunktionen / Ökosystemdienstleistungen (ESF / ESS) wie zum Beispiel die Bereitstellung von unbelastetem Bewässerungswasser oder die Abschwächung von Staub- und Sandstürmen durch die Vegetation sind inzwischen stark eingeschränkt oder völlig verloren gegangen. Die chinesische Regierung hat dieses ökologisch-ökonomische Problem inzwischen erkannt und bemüht sich bisher um kurzfristige technische Lösungen. Es fehlen allerdings nachhaltige Ansätze und Maßnahmen, die das gesamte land- und wasserwirtschaftliche System mit seinen ESS / ESF integral betrachten. An diesem Punkt setzt das beantragte BMBF-Projekt SuMaRiO an, das eine nachhaltige Bewirtschaftung der Bewässerungs- und Auengebieten entlang des Tarim in den Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten stellt. Im Einzelnen sollen folgenden Ziele erreicht werden:

- Bestmögliche nachhaltige Entwicklung der ESF/ESS der landwirtschaftlich genutzten Flächen, des Tarim und der angrenzenden Auwälder,
- Optimierung des ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Nutzens und
- Erstellung von (internetbasierten) Werkzeugen und Maßnahmen für die chinesischen Entscheidungsträger, die die ökologischen und sozio-ökonomischen Konsequenzen ihrer Entscheidungen mit ihren quantitativen Dimensionen aufzeigen und im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der Landmanagements bewertet.

1. Einleitung

Das extrem arid geprägte Tarim-Becken, welches fast ausschließlich von der Taklamakan-Wüste – der zweitgrößten Sandwüste der Welt – eingenommen wird, ist mit seinen Ökosystemen einzigartig auf der Welt. Das abflusslose Becken wird von großen Flüssen durchzogen, an denen sich das Leben gebildet hat. Durch das kontinentale Klima kommt es zu hohen Temperaturschwankungen. Das Tarim-Becken ist vom Hochgebirge des Tian Shan, Pamir und Kunlun Shan abgeschirmt, wodurch so gut wie keine Niederschläge (< 50mm/a) die Region erreichen.

Doch trotz dieser lebensfeindlichen Bedingungen haben sich in der Region zahlreiche Oasen an den Flüssen entwickelt. Der größte Fluss ist der Tarim, der nur durch die Gletscher- und Schmelzwasser des Tian Shan und des Pamir mit Wasser versorgt wird. Der Tarim beginnt in den Oasen Aksu und Alar durch den Zusammenfluss des Aksu, Jarkant und Hotan. Er windet sich am Fuße des Tian Shan ostwärts und endete vor einigen Jahren noch gemeinsam mit

dem aus Südwesten kommenden Qarqan im Tetema-Endsee, am Südost-Rand der Taklamakan-Wüste. In wasserreichen Zeiten konnte es auch vorkommen, dass beide Flüsse zusammen bis in den See Lop Nur flossen, und diesen gemeinsam mit dem Konqi füllten. Dieses ist aber Geschichte, denn aufgrund der hohen Wasserentnahmen im Ober- und Mittellauf wird selbst der Tetema-Endsee heute nicht mehr erreicht.

Durch den Klimawandel kommt es in den Gebirgen zu einem verstärkten Abschmelzen der Gletscher, wodurch derzeit mehr Wasser dem Fluss zufließt. Wenn jedoch in Zukunft die Gletscher abgeschmolzen sind, dann ist langfristig die Wasserversorgung des Tarims stark gefährdet. Hinzu kommt, dass die Oasen entlang des Flusses zu viel Wasser entnehmen, wodurch der Tarim heute einige hundert Kilometer vor seinem ursprünglichen Endsee versiegt. Durch die starke und oft falsche Bewässerung kommt es in den Oasen zu extremer Versalzung der Flächen. Im Tarim-Becken leben ca. 10 Mio. Menschen, die von der Agrarwirtschaft, insbesondere dem Baumwollanbau, stark abhängig sind. Durch die hydrologische, ökonomische und demographische Entwicklung sind die Oasen und Ökosysteme entlang des Tarim außerordentlich gefährdet, so dass ein nachhaltiges Landnutzungs- und Wassermanagement dringend erforderlich ist.

2. Entwicklung der Oasen im Tarim Becken

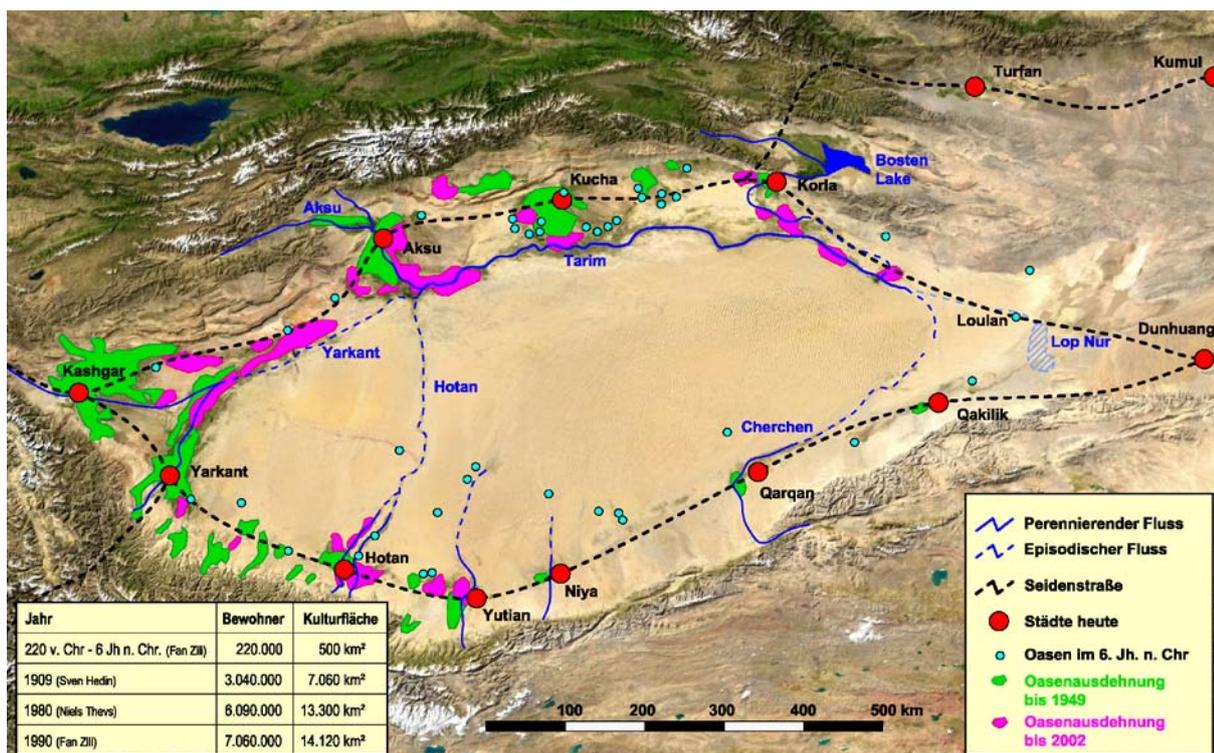


Abb. 1: Ausdehnung der Oasen im Tarim-Becken (NASA-MODIS)

Die Region des Tarimbeckens hat eine lange Geschichte, die allerdings erst wenig erforscht ist. In früherer Zeit war das Gebiet des heutigen Xinjiang der Knotenpunkt zwischen China und der Persischen Welt, der durch die Seidenstraße verbunden wurde. Diese alte Handelsstraße folgte im Tarim Becken zwei Routen, einer nördlichen (Kashgar – Aksu – Kucha – Korla – Loulan – Dunhuang) und einer südlichen (Kashgar – Jarkant – Hotan – Niya – Qarqan – Dunhuang). Die

historische Bewältigung der Taklamakan Wüste mit Karawanen war nur durch die Oasen möglich, die wie eine Perlenkette die Routen der Seidenstraße markieren.

Im 6. Jahrhundert besiedelten lediglich ca. 220 000 Menschen die Region (FAN ZILI et al. 2002). Obwohl bekannt ist, dass bereits zu dieser Zeit die Bewohner Experten im Anlegen von Bewässerungssystemen waren, hatten die Oasen nur eine verhältnismäßig geringe Größe. Einen ersten Impuls für die Ausweitung der landwirtschaftlichen Flächen erfolgte durch die industrielle Revolution. Mit der Erfindung der industriellen Spinnmaschine im späten 18. Jahrhundert wurde die Baumwollverarbeitung industrialisiert. Weil im Tarim-Becken durch die hohen Temperaturen optimale Bedingungen für den Baumwollanbau bestehen, wurde verstärkt diese wasserzehrende Pflanze angebaut. Bis zum Jahr 1949 dehnte sich die Bevölkerung von 220 000 auf ca. 3 Millionen aus. Damit verbunden wuchsen die kultivierten Flächen auf 7 060 km² an und eine Wassermenge von 15 – 19 Milliarden m³/Jahr wurde für die Bewässerung verwendet. Damit wurden zu dieser Zeit bereits 40 – 50 % des Oberflächenwassers für die Bewässerung benutzt.

Bis in die heutige Zeit (1990) haben sich die Oasen noch weiter ausgedehnt. Insgesamt werden im Tarim Becken 14 120 km² landwirtschaftlich genutzt, was eine Wassermenge von 25 – 30 Milliarden m³/Jahr entspricht. Die Folgen sind zum einen, dass 70 – 80 % des gesamten Wasserdargebots für die Bewässerung verwendet werden. Zum anderen bewirkt der hohe Wasserkonsum, dass die Versalzung der Flächen stark voranschreitet. Heute leben in der Region ca. 10 Millionen Menschen und ca. 25 % der Bauwollproduktion in China ist in Xinjiang angesiedelt.

3. Die Gefährdung der Ökosysteme

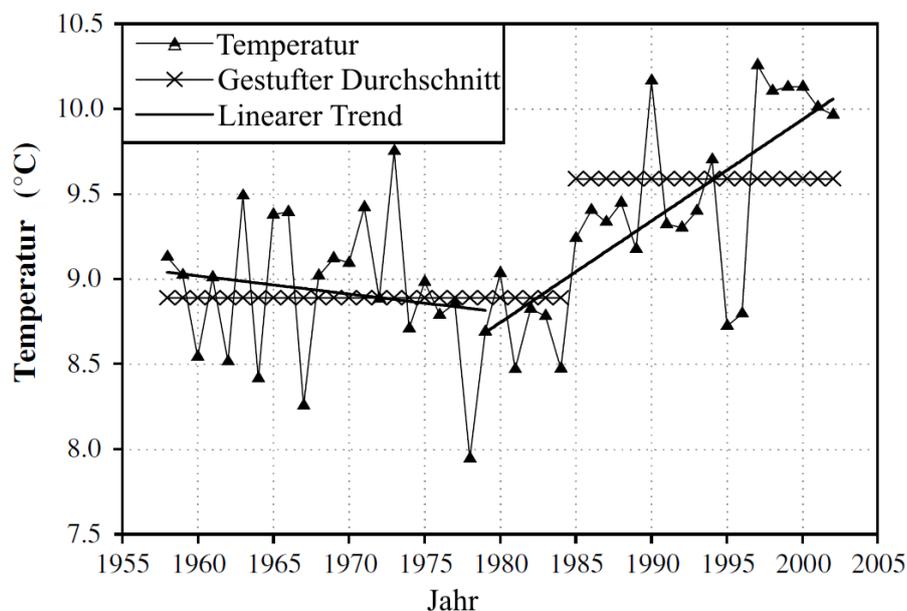


Abb. 2: Anstieg der mittleren Jahrestemperatur (CHEN 2009)

Die Lebensader für die Oasen ist die Wasserversorgung durch den Tarim, dessen Wasser über den Aksu aus den Gebirgsregionen des Tian Shan, dem Jarkant aus den Gebirgsregionen des

Pamir und den von Süden kommenden Hotan bereitgestellt wird. Allerdings liefert nur der Aksu ganzjährig Wasser, die anderen beiden Flüsse erreichen nur bei Hochwasser den Tarim.

Das Wasser wird von zwei unterschiedlichen Nutzern benötigt. Zum einen gibt es den anthropogenen Wasserbedarf, der sich aus der Landwirtschaft, Wasserversorgung der Städte und Industrien zusammensetzt und den natürlichen Wasserbedarf, der besonders durch die Auwälder entlang des Tarim vorhanden ist.

Die Auwälder bestehen überwiegend aus zwei Pappelarten, der *Populus euphratica* und der *Populus pruinosa*. Entlang des Flussbettes wächst verstärkt Schilf (*Phragmites australis*) und mit zunehmender Entfernung vom Fluss, wo die Lebensbedingungen für die Vegetation schwieriger werden, wachsen Tamarix-Arten, zumeist *Tamarix ramosissima*. Alle Pflanzen beziehen ihr Wasser aus dem Grundwasser, das durch den Tarim gespeist wird. Die Auwälder haben eine wichtige Funktion für das Ökosystem Tarim. Sie bilden einen natürlichen Schutzstreifen, der Sandverwehungen aus der Wüste zurückhält, Biomasse für die Bevölkerung liefert und das Entstehen von Staubstürmen verringert.

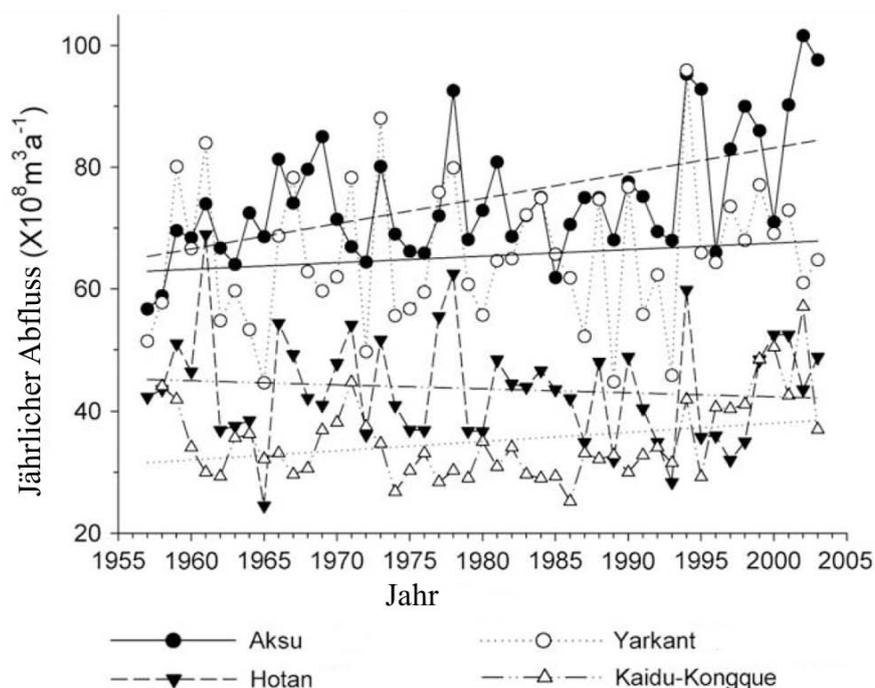


Abb. 3: Veränderung der jährlichen Abflüsse in den Tarim-Zuflüssen (CHEN 2009)

Besonders im Ober- und Mittellauf haben sich große Agrargebiete gebildet, die einen Großteil des Flusswassers, aber inzwischen auch Grundwasser, zur Bewässerung entnehmen. In der Bewässerungstechnik zeigen sich zum Teil große Defizite. So herrschen in den Bewässerungskanälen Wasserverluste von bis zu 59 % (GIESE et al. 2005). Die Tröpfchenbewässerung wird nur auf wenigen Flächen angewendet und die Felddrängen sind oftmals unzureichend eingebaut, so dass die Böden der Felder schnell versalzen. Problematisch ist auch, dass es kein überregionales Wassernutzungskonzept für den Tarim gibt. So kommt es vor, dass im Oberlauf zu viel Wasser für die Bewässerung entnommen wird, welches den Unterliegern in den Oasen des Mittel- und Unterlauf des Tarims fehlt. Ein weiteres Problem stellt die Wasser

qualität dar. Das durch die Bewässerung verwendete Wasser, das eine erhöhte Salz- und Schadstoffkonzentration hat, wird wieder in den Tarim zurückgeleitet, so dass sich entlang des Flusslaufs die Wasserqualität stark verschlechtert. Dies hat wiederum eine negative Wirkung auf die Auwälder und die Oasen im Mittel und Unterlauf des Tarim. Ein Beispiel für die Wasserqualität zeigt sich bei den Fischen, die für die Urbevölkerung, den Lopliks eine der Hauptversorgungsquellen waren. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts konnte noch eine große Fischpopulation im Unterlauf des Tarim und sogar im zeitweise wasserführenden Lop Nur beobachtet werden (HEDIN 1963). Durch die heutige Verschlechterung der Wasserqualität ist der Lebensraum für Fische nahezu komplett zerstört.

Seit den 80er Jahren wird bedingt durch den Klimawandel ein Anstieg der mittleren Jahrestemperatur verzeichnet (s. Abbildung 2). Dadurch kommt es in den Gebirgsregionen zu einem erhöhten Schmelzen der Gletscher, was die Folge hat, dass der Abfluss in den Zuflüssen des Aksus und des Jarkants eine Steigerung erfahren hat (s. Abbildung 3). Allerdings wird das zusätzliche Wasser bereits im Oberlauf des Tarims für neue Bewässerungsprojekte aufgebraucht. Wenn sich der erwartete Trend fortsetzt, werden Ende des 21. Jahrhunderts die Gletscher soweit abgeschmolzen sein, dass ihr Anteil am Gesamtzufluss des Tarims deutlich geringer wird (BOLCH 2006). Im Wesentlichen werden dann die aktuellen Niederschläge in den Gebirgen den Abfluss dominieren. Dies wird zu einer dramatischen Verringerung des Abflusses im Tarim führen.

4. Der Weg zu einer nachhaltigen Landnutzung

So pessimistisch die Aussichten für den Tarim mit seinen Ökosystemen und der Landwirtschaft auch sind, so gibt es bereits einige Projekte, die Verbesserungen der wasserwirtschaftlichen und ökologischen Situation herbeiführen wollen.

Von chinesischer Seite wurde 2001 ein Renaturierungsprojekt des Tarims begonnen. Das Projekt, das mit einem Budget von 1,7 Mrd. USD, nicht nur ökologische, sondern auch politische, soziale und verkehrsbedingte Probleme behandelt, hat allerdings nur mäßigen Erfolg. In den Oasen des Oberlaufs wird verstärkt die wassersparende Bewässerung der Tröpfchenbewässerung mit recycelbaren Schläuchen eingesetzt, die jedoch nur auf kleinen Flächen durchgeführt wird. Im Mittellauf wurde der Tarim kanalisiert, was das Ziel haben sollte, die Sickerverluste in diesem Abschnitt zu verringern. Eine weitere Maßnahme betrifft den Unterlauf, der einmal im Jahr durch eine ökologische Flutung mit Wasser versorgt werden soll. Ziel der ökologischen Flutung ist es, den grünen Korridor, der die Wüsten Taklamakan von der Kuruktag-Wüste trennt, zu erhalten. Die Auwälder haben dabei die wichtige Funktion, Sandstürme zu verringern, die die Straßen unpassierbar machen können (HALIK et al. 2005). Das dafür benötigte Wasservolumen von 0,35 Mrd. m³ wird aus dem Bosten See entnommen und über den Konqi in den Unterlauf geleitet (THEVS 2008).

5. Das interdisziplinäre deutsch-chinesische Forschungsprojekt SuMaRiO

Im Herbst 2008 wurde vom deutschen Forschungsministerium BMBF die Fördermaßnahme *Nachhaltiges Landmanagement* ausgeschrieben. Ein Schwerpunkt der Ausschreibung war die Förderung von *Wechselwirkungen zwischen Landmanagement einerseits Ökosystemfunktio-*

nen und –dienstleistungen andererseits. Daraufhin wurde unter der Leitung der Universität der Bundeswehr München ein Konsortium von insgesamt 17 Universitäts- und Forschungsinstituten zusammengestellt und die Projektskizze SuMaRiO (Sustainable Management of River Oases along the Tarim River / China) eingereicht. Nach erfolgreicher Evaluation der Skizze konnte der Vollertrag im Herbst 2009 dem Projektträger übergeben werden. Zurzeit (April 2010) befindet sich SuMaRiO kurz vor der fachlichen und politischen Bewilligung.

Das Verbundprojekt verfolgt im Wesentlichen folgende Ziele:

1. Einfluss des Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeit abschätzen,
2. Beziehungen zwischen Auwaldbiodiversität und ihren Ökosystemfunktionen bestimmen,
3. Wechselwirkungen zwischen Abfluss / Wasserqualität / Oasenbewirtschaftung und Ökosystemdienstleistungen quantifizieren,
4. Traditionelle, hochtechnisierte und alternative Bewirtschaftungsformen evaluieren in Bezug auf ökologische, soziale und ökonomische Aspekte,
5. Transdisziplinäre Forschung mit Hilfe von Stakeholder Partizipation durchführen und
6. Internet-basierte Werkzeuge zur Hilfestellung bei (landwirtschaftlichen) Managementstrategien aufbauen.

Das Tarim Becken ist prädestiniert für interdisziplinäre Untersuchungen zum nachhaltigen Landmanagement. Die ehemals optimal an die jahreszeitliche Dynamik des Tarim Rivers angepasste Vegetation und die traditionell-nachhaltige Wirtschaftsweise unterliegen nach den massiven land- und wasserwirtschaftlichen Eingriffen erheblichen Veränderungen. Als gravierende ökologische Probleme gelten die bereits erwähnte weitgehende Zerstörung der Ökosysteme im Tarim Unterlauf, sehr häufige Sandsturmtege, Bodenversalzung, Degradation der Auwälder sowie große Wasserbeschaffenheitsprobleme.

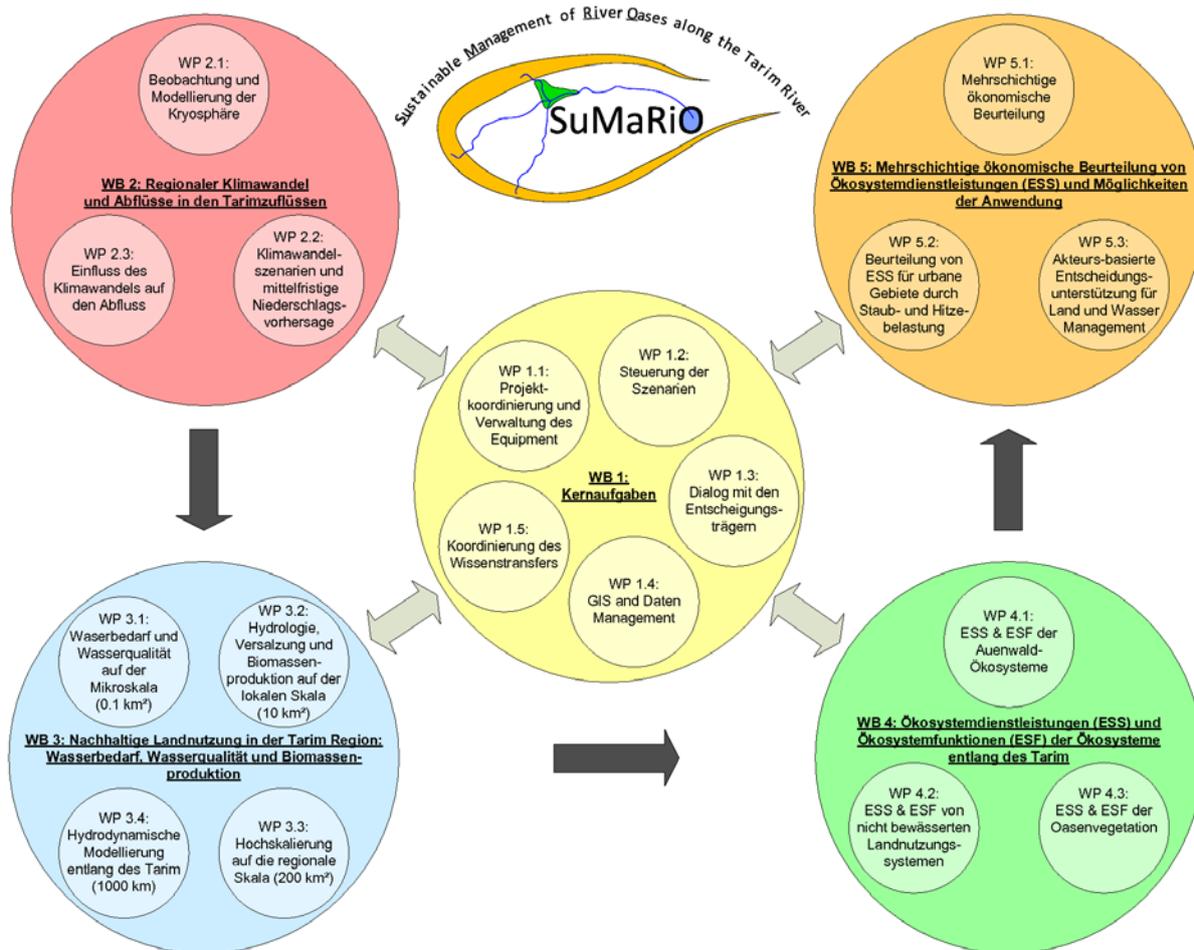


Abb. 4: Unterteilung von SuMaRio in Workblocks (WB) und Workpackages (WP)

Diese vielfältigen Probleme verlangen nach komplexen Lösungen, die nur durch integrative Betrachtung und interdisziplinäre Zusammenarbeit erarbeitet werden können. Aus diesem Grund setzt sich das Team des SuMaRio-Projektes aus Wissenschaftlern zusammen, die den gesamten Bereich der tangierten Disziplinen, also insbesondere Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Raumplanung und Sozioökonomie, vollständig abdecken. Die starke Verzahnung der einzelnen Teilprojekte manifestiert sich dabei zum Beispiel in einem detailliert abgestimmten Datenmanagement und in einem ständigen Austausch zwischen dem Projektmanagement, den (chinesischen) Akteuren und den Teilprojektverantwortlichen.

Im Fokus aller Untersuchungen stehen die Erfassung, Modellierung und Bewertung von Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen, wobei je nach Teilprojekt einer oder mehrere der folgenden Aspekte betrachtet werden:

- | | |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Robuste Verfahren zu Analyse / Bewertung, | Trade-offs und Synergien |
| Abhängigkeit zwischen Klimawandel / Biodiversität / Landmanagement | Entwicklung sozioökonomischer Instrumente |
| Analyse raum-zeitlicher Effekte | |

Wesentliche Methoden der Erfassung von Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen sind Vorort-Erhebungen und Fernerkundungsansätze. Die Modellierung von Ökosystemfunktionen

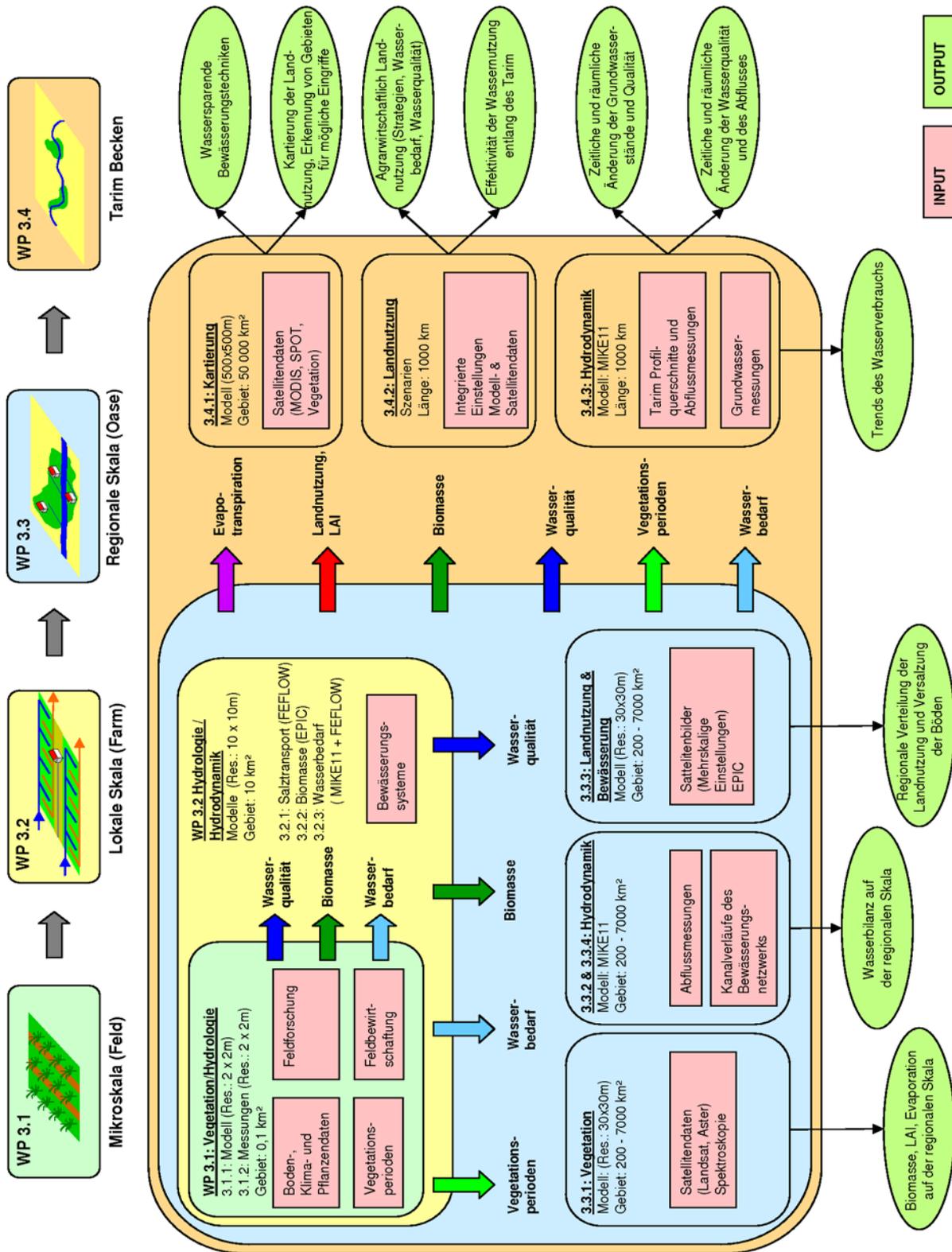


Abb. 5: Modellierung der Stoff- und Wasserflüsse auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen im SuMaRiO-Projekt

erfolgt mit deterministisch-konzeptionellen und statistischen Verfahren. Insgesamt sieben Arbeitsgruppen beschäftigen sich mit der Bewertung von Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen, wobei etablierte Bewertungsmethoden angewandt und weiterentwickelt wer-

den. Die Verwaltung der für das Gesamtprojekt erforderlichen Daten erfolgt in einem eigenen Projekt auf der Grundlage modernen IT-Techniken.

Die Datenbank sowie das zu erstellende Vorhersage- und Prognosetool garantieren eine nachhaltige Weiternutzung über das Projektende hinaus. Während der gesamten Projektlaufzeit ist ein enger Austausch der deutschen Wissenschaftler sowohl mit den chinesischen Kollegen als auch mit den Wasserwirtschaftsbehörden in Xinjiang gewährleistet. Eine Übersicht der Workblocks mit ihrer Untergliederung in Workpackages kann der Abbildung 4 entnommen werden. Hierbei hat Workblock 1 eine zentrale Bedeutung, da hier das GIS-, Daten- und Szenariomanagement zusammenfließen, der Stakeholder-Dialog und der Wissenstransfer organisiert werden sowie die Gesamtkoordination der Teilprojekte einschließlich der Messgerätebeschaffung stattfindet.

Der gewählte wissenschaftliche Gesamtansatz ist integrativ, prognostisch und transdisziplinär. Um die Vernetzung zwischen den Instituten herauszustellen, sind die beteiligten wissenschaftlichen Einrichtungen, die zum Teil mit mehreren Instituten vertreten sind, zusätzlich aufgezählt (in Klammern).

Integrativ: Es werden in der Gesamtschau alle relevanten Ökosysteme des Gesamtgebietes sektorübergreifend betrachtet, also Hochgebirgsregionen (TU Dresden, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ), Oasen (Uni Trier, Uni Hohenheim, Uni Greifswald, UniBw München, Uni Frankfurt), Auwälder (Kath. Uni Eichstätt, TU Berlin, Uni Greifswald) sowie Fließgewässer, Seen und Speicher (PIK, UniBw München).

Prognostisch: In insgesamt sieben der beteiligten Teilprojekte werden Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen nach neuen wissenschaftlichen Methoden modelliert, so dass Aussagen über deren Veränderungen bei veränderten Rahmenbedingungen möglich sind (GFZ, PIK, UniBw München, Uni Hohenheim, Uni Greifswald).

Transdisziplinär: Wichtige chinesische Partner und Stakeholder sind in die Planungen eingebunden (z.B.: National Climate Centre, China Meteorological Administration, Urumqi and Beijing / Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences / Xinjiang University / CARRERI, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou / Tarim River Basin Authority / Xinjiang Water Resources Administration, Urumqi / AKSU Water Resources Administration, AKSU, Xinjiang / Xinjiang Forestry Administration).

Sowohl für die Bewertung der Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen als auch für die Entwicklung von Managementstrategien sind grundlegende Kenntnisse der quantitativen und qualitativen hydrologischen Größen essentiell. So wird bei der Modellierung der Wasser- und Stoffströme auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen gearbeitet, wobei die detailliertere Modellierung als Eingang für die Simulation auf der nächsthöheren Skala dient. Je kleiner die betrachtete Skala, desto komplexer ist also das angewandte Modell. Die auf größere Räume angewandten Modelle nutzen im Rahmen der Kalibrierung hier neben Messdaten auch die hochaufgelösten Ergebnisse der kalibrierten, kleinskaligeren Modelle. Beispiele für diese Vorgehensweise liegen etwa vor beim Übergang vom mikroskaligen Oasenmodell auf die Feldskala und in einer zweiten Abstraktionsstufe beim Übergang auf die regionale Skala (siehe Abbildung 5). Auf der Grundlage dieses Prinzips können auch einzelne Teilkompartimente der jeweiligen Modelle kalibriert werden. Die integrative und transdisziplinäre Methodik von

SuMaRiO gewährleistet, dass das Wasserressourcenmanagement entlang des Tarim nachhaltig erfolgt und auch nach Abschluss des Forschungsprojektes von den chinesischen Partnern gepflegt und weiterentwickelt wird.

Literatur

- BOLCH, T. (2006). GIS- und fernerkundungsgestützte Analyse und Visualisierung von Klimaänderung und Gletscherschwund im nördlichen Tien Shan mit einem Vergleich zur Bernina-Gruppe/Alpen. Institut für Geographie. Erlangen, Universität Erlangen-Nürnberg. Doktorarbeit: 210 S. (<http://www.opus.ub.uni-erlangen.de/opus/volltexte/2006/447/>).
- CHEN, Y.; XU, C.; HAO, X., LI, W.; CHEN, Y.; ZHU, C.; YE, Z. (2009): Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim River Basin, China, in: Quaternary International Volume 208, S. 53-61.
- FAN, Z.; XIA, X; SHEN, Y.; ALISHIR, K.; WANG, R.; LI, S.; MA, Y. (2002): Utilization of water resources, ecological balance and land desertification in the Tarim Basin, Xinjiang, in: Science in China, Vol. 45
- GIESE, E. ; MAMATKANOV, D. M.; WANG, R. (2005): Wasserressourcen und deren Nutzung im Flussbecken des Tarims (Autonome Region Xinjiang / VR China), Giessen 2005, S. 22.
- HALIK, Ü.; KÜCHLER, J.; KLEINSCHMIT, B. (2005): Bevor die Erde zur Wüste wird, in: TU international Vol. 57, Berlin, S. 34-37.
- HEDIN, S. (1963): Der wandernde See, Wiesbaden, S. 99.
- THEVS, N. (2008): „Ökologisches Wasser“ für den Tarim, China-Informationen 4/08.

Die Belastung des Xiangxi (Drei-Schluchten-Region, China) durch diffuse Einträge von Sediment und Phosphor – Abschätzung der Auswirkungen des Landnutzungswandels

Katrin Bieger, Britta Schmalz, Georg Hörmann, Qinghua Cai, Nicola Fohrer

Zusammenfassung

Eines von drei derzeit laufenden, deutsch-chinesischen Forschungsprojekten an der Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft am Institut für Natur- und Ressourcenschutz der Universität Kiel ist das vom BMBF geförderte Verbundvorhaben „YANGTZE: Landnutzungswandel – Erosion – Hangbewegungen“, das sich zum Ziel gesetzt hat, die Landnutzungsdynamik und –vulnerabilität sowie das Risikopotenzial für Massenbewegungen, Bodenerosion und diffuse Stoffeinträge im Einzugsgebiet des Drei-Schluchten-Staudamms zu untersuchen. Das Teilprojekt “Stoffeinträge” analysiert dabei die Bedeutsamkeit diffusen Stoffeintrags und die Auswirkungen des Landnutzungswandels auf Wassermenge und -qualität. Als Untersuchungsgebiet wurde das Einzugsgebiet des Xiangxi in der Provinz Hubei gewählt.

Das wichtigste Werkzeug des Teilprojekts “Stoffeinträge” ist das öko-hydrologische Modell SWAT (Arnold et al. 1998), für das die meisten Eingangsdaten von den deutschen und chinesischen Projektpartnern bereit gestellt werden können. Ergänzend werden jedoch im Rahmen von zwei Messkampagnen Daten zur Wasserqualität und zur Gewässermorphologie gesammelt. Die erste Messkampagne wurde im Januar/Februar 2010 durchgeführt, so dass bereits einige vorläufige Ergebnisse präsentiert werden können.

1. Einleitung

Die Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft am Institut für Natur- und Ressourcenschutz der Universität Kiel ist derzeit an drei verschiedenen Forschungsprojekten in der Volksrepublik China beteiligt. Eines dieser Projekte befasst sich finanziert durch die DFG mit der integrierten Modellierung der Reaktion aquatischer Ökosysteme auf Landnutzungs- und Klimawandel in einem Zufluss zum Poyang-See in der Provinz Jiangxi, während die übrigen beiden Projekte, die EcoChange Cooperation Group, gefördert durch das Sino-German Centre der DFG, und das vom BMBF geförderte YANGTZE-Project, auf das Xiangxi-Einzugsgebiet in der Provinz Hubei fokussiert sind. Zentrales Thema der EcoChange Cooperation Group ist die Analyse von Süßwasser-Ökosystemen unter dem Einfluss globalen Wandels und die Entwicklung ökologischer Indikatoren für ein nachhaltiges und integriertes Wasserressourcenmanagement. Im YANGTZE-Project befassen sich unter der Koordination des Forschungszentrums Jülich insgesamt 5 Projektgruppen an deutschen Universitäten in Kooperation mit chinesischen Partnern mit unterschiedlichen Aspekten des Themenkomplexes „Landnutzungswandel – Erosion – Massenbewegungen“. Der Bau des Drei-Schluchten-Staudamms und die Aufstauung des Yangtze haben derzeit einen großskaligen Landnutzungswandel in den betroffenen Einzugsgebieten zur Folge. Es kommt zu einer Verlagerung der landwirtschaftlichen Nutzung von den fruchtbaren, mittlerweile jedoch überfluteten Talsohlen an die steilen, weniger fruchtbaren Hänge und zur Errichtung neuer Siedlungen und der entsprechenden Infrastruktur. Während sich die vier Teilprojekte “Landnutzungswandel”, “Bodenerosion”, “Hangbewegungen” und “Ferner-

kundung“ auf den terrestrischen Bereich des Einzugsgebiets konzentrieren, versucht das Teilprojekt “Stoffeinträge”, eine Verbindung zum aquatischen Bereich herzustellen. Die Zielsetzung des Teilprojekts basiert dabei auf der Annahme, dass der Bau großer Staudämme zu einem Landnutzungswandel in den betroffenen Einzugsgebieten führt, der zu entscheidenden Veränderungen des Risikopotenzials für diffuse Austragsprozesse führt und dementsprechend einen Einfluss auf die Wassermenge und –qualität hat. Dieser Zusammenhang wird durch eine öko-hydrologische Modellierung mit dem Modell SWAT (ARNOLD et al. 1998) untersucht.

2. Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

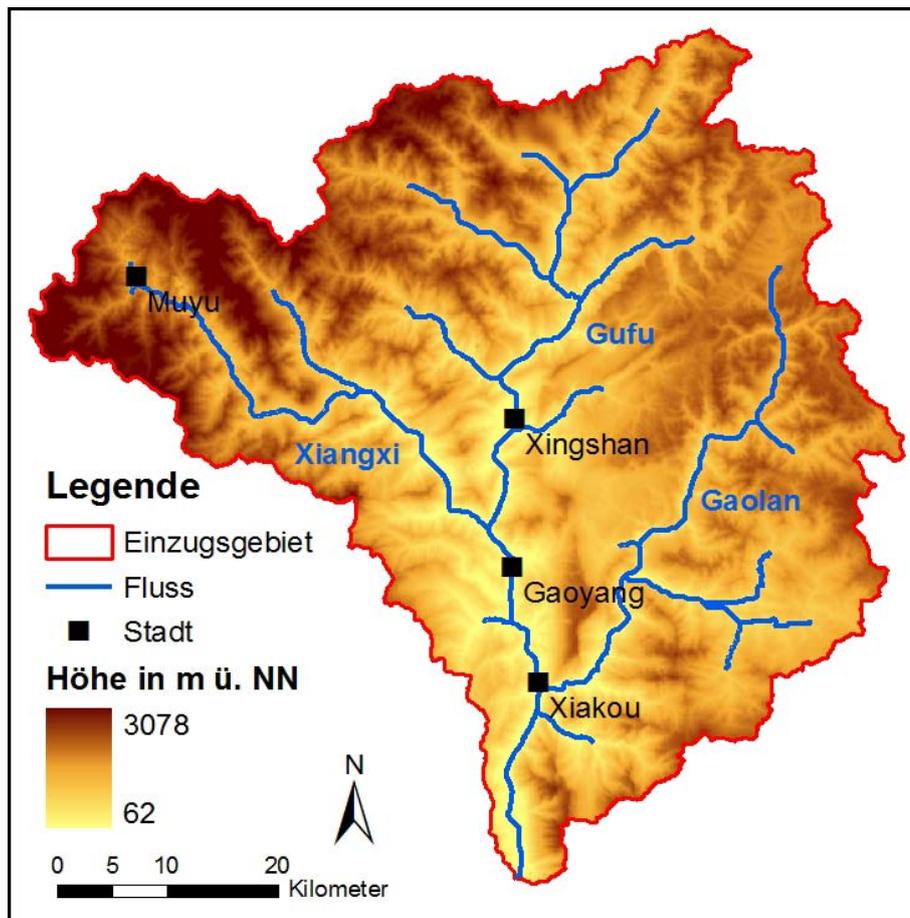


Abb. 1: Das Einzugsgebiet des Xiangxi mit dem Gewässernetz, der Lage der größten Ortschaften und dem Digitalen Höhenmodell (SRTM, Auflösung: 45 m).

Das Einzugsgebiet des Xiangxi befindet sich in der Provinz Hubei und erstreckt sich über die Kreise Shennongjia, Xingshan und Zigui. Der Xiangxi hat eine Länge von 94 km und mündet knapp 40 km oberhalb des Drei-Schluchten-Staudamms in den Yangtze. Die wichtigsten Zuflüsse des Xiangxi sind der Gufu und der Gaolan. Der Abfluss am Pegel Xingshan beträgt 65,5 m³/s (CAI & FOHRER 2006). Der Pegel befindet sich jedoch nicht am Gebietsauslass, sondern über 30 km von der Einmündung in den Yangtze entfernt. Unterhalb des Pegels ist der Xiangxi vom Aufstau des Drei-Schluchten-Reservoirs betroffen, so dass dieser Teil mittlerweile den Charakter eines Fließgewässers verloren hat und als Xiangxi Bay bezeichnet wird.

Das Einzugsgebiet des Xiangxi (Abbildung 1) hat eine Größe von 3099 km². Es zeichnet sich durch sehr große Höhenunterschiede und starke Hangneigungen aus. Das Klima ist durch den subtropischen, terrestrischen Monsun mit einer deutlichen Beeinflussung durch die gebirgige Topographie gekennzeichnet (HE et al. 2003). Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 1000 mm, die mittlere Jahrestemperatur 16,9 °C. Es herrschen flachgründige, lehmige Böden vor, die nach chinesischer Klassifizierung als "Limestone soils", "Yellow soils" und "Yellow brown soils" bezeichnet werden. Die Landnutzung im Gebiet ist von Wald dominiert (YANGTZE-PROJECT 2009), wobei entlang der Flussläufe und der Straßen oft Garten- und Ackerland sowie je nach Höhenlage Tee- bzw. Orangenplantagen zu finden sind.

2.2 Modellierung

Die Auswirkungen des Landnutzungswandels auf die Wassermenge und -qualität im Xiangxi-Einzugsgebiet sollen mit dem öko-hydrologischen Modell SWAT (ARNOLD et al. 1998) untersucht werden. Durch die Modellierung wird aufgezeigt, wie sich die großräumige Umnutzung der Landschaft auf den Wasserhaushalt sowie die Transport- und Eintragsprozesse von Sediment und Phosphor im Einzugsgebiet auswirkt. Auf dieser Grundlage werden tragfähige und nachhaltige Landnutzungskonzepte aus öko-hydrologischer Sicht erarbeitet. Dabei wird eine übertragbare Methodik zur hydrologischen und stofflichen Bewertung von Landnutzungswandel infolge von Großstaudamm-Projekten in Gebieten mit geringer Datendichte entwickelt und getestet.

Als Grundlage für die Modellierung dienen vor allem Daten, die einerseits von chinesischen Kooperationspartnern und Ämtern, andererseits von den deutschen Projektpartnern bereitgestellt werden können. Ergänzend werden eigene Messungen, Beprobungen und Kartierungen im Einzugsgebiet des Xiangxi durchgeführt.

2.3 Geländearbeiten

Der erste Teil der Geländearbeiten wurde im Januar und Februar 2010 durchgeführt. Der Aufenthalt im Gelände lässt sich in zwei Arbeitsphasen aufteilen: In den ersten zwei Wochen wurde ein Messprogramm zur Untersuchung der Wasserqualität im Xiangxi-Einzugsgebiet durchgeführt, während in den folgenden zwei Wochen eine Kartierung der Gewässerstruktur vorgenommen wurde. Der zweite Teil der Geländearbeiten ist für Juli 2010 geplant.

Die Kartierung der Gewässerstruktur erfolgte in Anlehnung an die LAWA-Gewässerstrukturgütekartierung (LAWA 2000), wobei der Kartierbogen jedoch im Vorfeld an die Bedingungen im Untersuchungsgebiet angepasst wurde. Der Flusslauf des Xiangxi wurde dann in 100m-Abschnitte unterteilt und für jeden dieser Abschnitte wurden verschiedene Parameter zur Gewässerlage und -nutzung, zur Laufentwicklung, zum Längs- und Querprofil, zur Sohlen- und Uferstruktur sowie zum Gewässerumfeld aufgenommen. Gleichzeitig wurde am Ende jedes Kartierabschnitts das Querprofil des Xiangxi vermessen, so dass die Geometrie des Flussschlauches für eine hydraulische Modellierung im Rahmen des EcoChange-Projektes bekannt ist. Sämtliche Kartierabschnitte wurden fotografisch dokumentiert.

Zur Untersuchung der Wasserqualität wurden 42 Messpunkte ausgewählt, die sich über das gesamte Xiangxi-Einzugsgebiet verteilen (Abbildung 2). Es wurden 16 Messpunkte entlang des Gufu und seiner Zuflüsse beprobt, um einen Überblick über die Entwicklung der Wasserqualität vom Oberlauf bis zur Einmündung in den Xiangxi zu bekommen, wobei hier besonders auf den

Einfluss von Zuflüssen und von 3 kleineren Reservoirs geachtet wurde. Entlang des Xiangxi wurden 20 Messpunkte untersucht, um auch hier die Veränderung der Wasserqualität im Flussverlauf zu erfassen, diesmal unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der zahlreichen kleinen Wasserkraftanlagen, die das Wasser des Xiangxi zur Energiegewinnung nutzen. Um das Einzugsgebiet vollständig abzudecken, wurden zusätzlich 6 Messpunkte am Gaolan und seinen Zuflüssen untersucht, auch wenn dieser Zufluss außerhalb des für die Modellierung bedeutsamen Teils des Einzugsgebiets liegt.

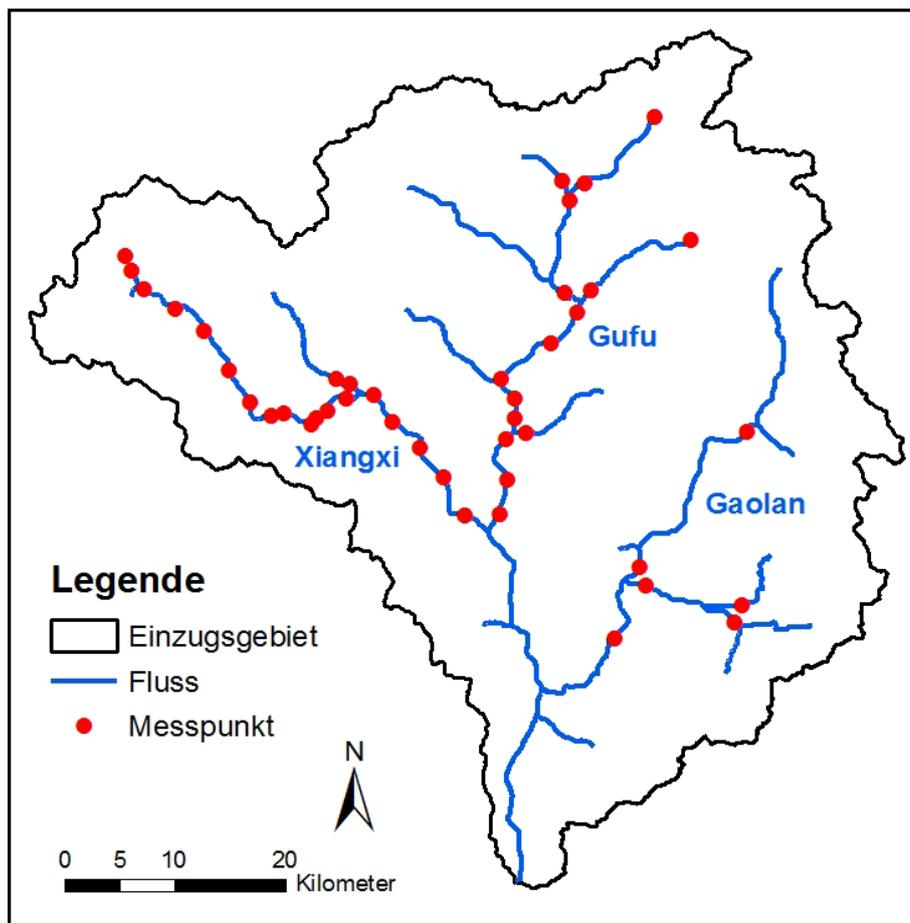


Abb. 2: Die Verteilung der 42 Messpunkte im Xiangxi-Einzugsgebiet

An jedem Messpunkt wurden die Feldparameter Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, TDS und Salinität gemessen. Des Weiteren wurde eine Wasserprobe zur späteren Bestimmung der Phosphorkonzentration entnommen und eine weitere zur Messung des Gehalts an suspendiertem Sediment. Außerdem wurden an allen Messpunkten Sedimentproben aus dem Gewässerbett entnommen.

Die Wasserproben für die Bestimmung der Phosphorkonzentration wurden durch Zugabe von Säure und anschließendes Einfrieren konserviert, bevor die Analytik im Labor des IHB (Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences) in Wuhan durchgeführt wurde. Die Wasserproben für die Bestimmung der Konzentration suspendierten Sediments wurden noch am Tag der Probenahme filtriert. Durch Wiegen der Filter vor und nach dem Filtrieren wurde das Gewicht des Sediments bestimmt, so dass die Sedimentkonzentration im festgelegten Probenvolumen berechnet werden konnte. Die Sedimentproben aus dem Gewässerbett wurden luftgetrocknet, gesiebt und zur Analytik nach Deutschland transportiert.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die morphologische Kartierung am Xiangxi hat gezeigt, dass das Gewässer auf der gesamten Strecke seinem natürlichen Verlauf folgt. Ein Verbau der Gewässersohle war nicht festzustellen. Abschnittsweise reicht eine Mauer, die der Befestigung der entlang des Flusses verlaufenden Straße zwischen Muyu und Gaoyang dient, bis in das Flussbett und stellt demnach eine einseitige, im Ort Muyu kleinräumig auch beidseitige, Uferbefestigung dar. Einige Brücken sind so konstruiert, dass es zu einer Laufverengung durch Brückenpfeiler kommt. Generell ist der Xiangxi jedoch nicht als stark verbaut anzusehen. Eine wesentliche Beeinflussung der Fließgewässermorphologie ist allerdings durch zwei Faktoren gegeben: den Abbau von Kies im Gewässerbett und eine Reihe von kleinen Wasserkraftanlagen, die sich in Kaskaden entlang des Flusses aneinanderreihen.

Insgesamt befinden sich mehr als 47 kleine Wasserkraftanlagen im Xiangxi-Einzugsgebiet (Wu et al 2010). Sie funktionieren nach einem Prinzip, das sich das starke Gefälle im Einzugsgebiet zu Nutze macht. Über einen Damm wird das Wasser aus dem Flussbett in einen Kanal bzw. ein Rohr umgeleitet. Dieses verläuft über mehrere Kilometer hinweg oberhalb des Flussbettes, wobei es jedoch ein wesentlich geringeres Gefälle als der Fluss selbst aufweist, so dass der Höhenunterschied zwischen Rohr und Flussbett kontinuierlich zunimmt. Nach einigen Kilometern wird das Wasser durch ein nahezu senkrecht verlaufendes Rohr einem Kraftwerk am Flussufer zugeleitet, das es mit entsprechend hoher Geschwindigkeit durchfließt. Aus dem Kraftwerk wird das Wasser wieder dem natürlichen Flusslauf zugeführt. Allerdings befindet sich kurz unterhalb des Auslasses meist bereits der Einlass des nächsten Kraftwerks, so dass das Wasser nicht über eine längere Fließstrecke hinweg im Flussbett verbleibt.

Durch die hier beschriebene Wasserkraftnutzung ergibt sich ein deutlicher Einfluss auf die Durchgängigkeit des Fließgewässers, besonders bei generell niedrigen Abflussmengen während der winterlichen Trockenzeit. Im Winter wird in der Regel der gesamte Abfluss in die Rohre und Kanäle der Wasserkraftanlagen umgeleitet, so dass auf der zwischen Einlass und Auslass einer Anlage befindlichen Fließstrecke oftmals nur noch sehr geringer oder sogar gar kein Abfluss mehr zu verzeichnen ist.

Beim Abbau von Kies im Xiangxi-Einzugsgebiet werden die winterlichen, niedrigen Wasserstände ausgenutzt, um mit Baggern und Lastwagen ins Flussbett zu fahren und großflächig das Sediment auszubaggern. Da nur Steine mit einem bestimmten Höchstdurchmesser benötigt und abtransportiert werden, ergibt sich als Resultat des Abbaus ein Mosaik aus tiefen, weitgehend stehenden Pools und kleinen Anhäufungen von Restsubstrat. Dementsprechend wird auch hier die Durchgängigkeit des Fließgewässers beeinträchtigt und es kommt zu einer erheblichen Veränderung der Strömungsverhältnisse.

Die Ergebnisse der Messungen der Feldparameter geben bereits einige Hinweise auf qualitative Unterschiede zwischen dem Xiangxi, dem Gufu, dem Gaolan und kleineren Zuflüssen.

Bei der Temperatur [°C] lassen sich in allen drei Flüssen mit abnehmender Höhenlage ansteigende Werte erkennen, die zwischen einem Minimum von 4,2 °C und einem Maximum von 13,5 °C liegen. Generell ist der Xiangxi durch geringere Temperaturunterschiede im Flussverlauf gekennzeichnet als der Gufu und der Gaolan. Es ist allerdings zu bedenken, dass die Messergebnisse stark vom Zeitpunkt der Messung im Tagesverlauf und vom Wetter abhängig sein können und daher nicht unbedingt vergleichbar sind. Der Sauerstoffgehalt [mg/l] liegt an

allen Messpunkten zwischen 9,25 und 13,67 mg/l, was einer sehr hohen Sauerstoffsättigung von 87,5 bis über 100 % entspricht. Dies entspricht aufgrund der zu beobachtenden hohen Strömungsdiversität an fast allen Messpunkten den Erwartungen. Es wurden pH-Werte im leicht alkalischen Bereich zwischen 7,51 und 8,78 gemessen. Die Messung der Salinität [‰] ergab Werte zwischen 0,06 und 0,22 ‰, wobei auffällt, dass im Gufu generell etwas höhere Werte als im Xiangxi ermittelt wurden, während der Gaolan eine Mittelstellung einnimmt. Ähnlich ist es bei den Parametern TDS [mg/l] und elektrische Leitfähigkeit, [$\mu\text{S}/\text{cm}$] die im Bereich zwischen 64 und 214 mg/l bzw. 135 und 448 $\mu\text{S}/\text{cm}$ liegen. Alle drei Parameter weisen eine deutliche positive Korrelation untereinander und eine weniger deutliche, aber noch immer erkennbare negative Korrelation zum pH-Wert auf.

Betrachtet man die Unterschiede zwischen den einzelnen Messpunkten im Gufu und im Xiangxi am Beispiel der elektrischen Leitfähigkeit etwas genauer (Abbildung 3), so ist im Gufu ein Einfluss der Zuflüsse (Messpunkt GF03, GF 06/07 und GF13) zu erkennen, der vermutlich in den im Vergleich zum Gufu hohen Abflussmengen der Zuflüsse begründet liegt. Messpunkt 06 und 07 befinden sich im Oberlauf von Zufluss 2 (GF06) bzw. kurz vor der Einmündung von Zufluss 2 in den Gufu. Die vergleichsweise hohe elektrische Leitfähigkeit an Messpunkt GF06 lässt sich an Messpunkt GF07 nicht mehr feststellen. In den kleineren Stauseen entlang des Gufu scheint es zu einer leichten Absenkung der elektrischen Leitfähigkeit zu kommen.

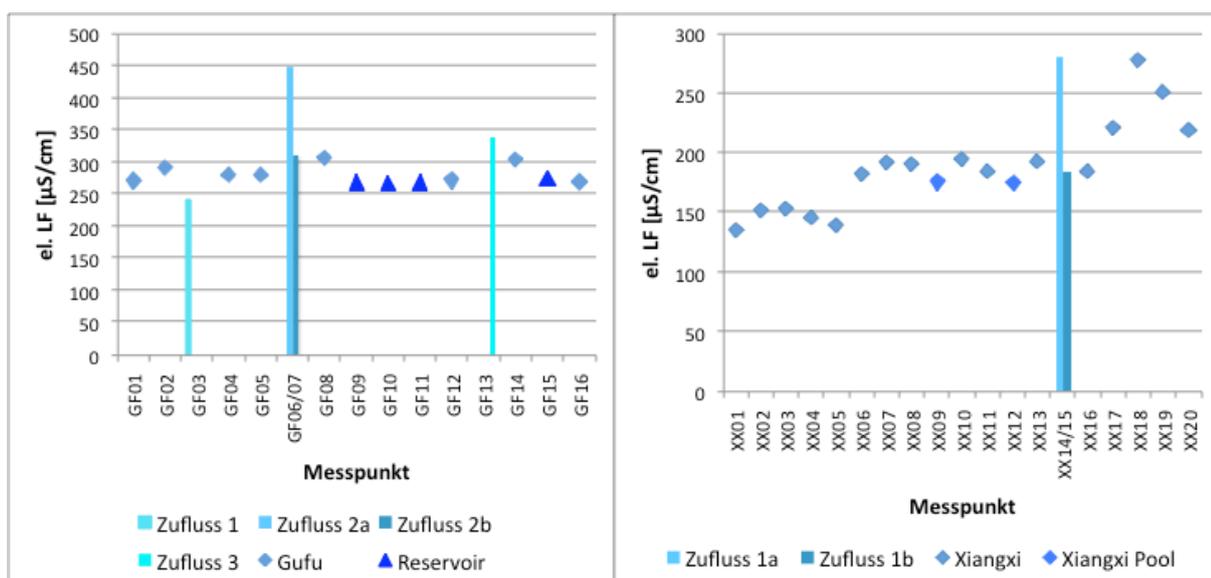


Abb. 3: Elektrische Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$] an den Messpunkten im Gufu (links) und im Xiangxi (rechts)

Im Xiangxi lässt sich ein genereller Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit im Flussverlauf verzeichnen. Einen Sonderfall bilden die Messpunkte XX09 und XX12, da es sich hier um kleine, weitgehend stehende Pools handelt, die sich unterhalb der Einlässe zweier Wasserkraftanlagen befinden. Die Messpunkte XX14 und XX15 liegen zwar nur wenige Meter auseinander, weisen aber dennoch sehr unterschiedliche elektrische Leitfähigkeiten auf. Dies liegt daran, dass sich zwischen den Messpunkten der Auslass einer Wasserkraftanlage befindet, an dem Wasser in den Zufluss eingeleitet wird, das einige Kilometer oberhalb aus dem Xiangxi selbst abgeleitet wurde.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei keinem der Feldparameter Werte gemessen wurden, die auf eine übermäßige Belastung der untersuchten Flüsse hindeuten. Da die Ergebnisse der Laboranalysen bislang nicht vorliegen, ist derzeit jedoch keine umfassende Auswertung der Ergebnisse und Beurteilung der Wasserqualität möglich.

4. Fazit und Ausblick

Die Bearbeitung des hier vorgestellten Projekts befindet sich noch in einem sehr frühen Stadium. Dementsprechend können keine abgesicherten und abschließend ausgewerteten Ergebnisse präsentiert werden. Es wird vielmehr ein erster Überblick über bisherige Tätigkeiten und vorläufige Ergebnisse gegeben. Eine zweite Geländekampagne ist für Juli 2010 geplant, so dass dann eine "Momentaufnahme" für die relativ trockenen Abflussverhältnisse im Winter und für die feuchten, abflussreichen Sommermonate vorliegt. Die ersten Modellläufe mit dem öko-hydrologischen Modell SWAT werden im April 2010 durchgeführt.

Literatur

- ARNOLD, J.G., R. SRINIVASAN, R.S. MUTTIAH & J.R. WILLIAMS (1998): Large area hydrologic modeling and assessment Part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1): 73-89.
- CAI, Q. & N. FOHRER (Hrsg.) (2006): Sino-German Workshop on Environmental Impacts of Large-scale Hydraulic Engineering. 1.-7. März 2006, Xingshan, China. Research Background & Published Papers.
- HE, L., L. KING & T. JIANG (2003): On the land use in the Three Gorges Reservoir area. *Journal of Geographical Sciences*, 13(4): 416-422.
- LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) (2000): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland. Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer. Kulturbuch-Verlag GmbH, Berlin.
- WU, N., T. TANG, X. FU, W. JIANG, F. LI, S. ZHOU, Q. CAI & N. FOHRER (2010): Impacts of cascade run-of-river dams on benthic diatoms in the Xiangxi River, China. *Aquatic Sciences*, 72: 117-125.
- YANGTZE-PROJECT (2009): Erster Zwischenbericht des Verbundprojekts YANGTZE: Landnutzungswandel – Erosion – Hangbewegungen; Forschung zur Risikoabschätzung von Hangrutschungen, Bodenerosion, diffusen Stoffeinträgen und Landnutzungsvulnerabilität im Drei-Schluchten-Ökosystem, VR China. Berichtszeitraum 01.04.-31.12.2008. Förderkennzeichen 03 G 0669. Unveröffentlicht.

Monitoringsystem zur Erfassung von Hochwasserdynamiken und Wasserqualität in Überflutungsflächen

Nguyen Nghia Hung, Heiko Thoss, Heiko Apel

Zusammenfassung

Die Abschätzung von Überflutungsprozessen ist ein zentraler Bestandteil von Hochwassergefährdungs- und Risikoanalysen. Zur Abschätzung stehen ein weit gefächertes Instrumentarium an Simulationsmodellen zur Verfügung, die die Überflutungsprozesse ein-, zwei oder auch dreidimensional simulieren können. Dem gegenüber existiert aber ein weitverbreiteter Mangel an Messdaten zur Überflutungsdynamik, besonders in den Überflutungsflächen. Daraus resultiert in der Regel eine Vielzahl equifinaler Modellparametrisierungen und somit eine große Unsicherheit in den Simulationsergebnissen. Die Sektion Hydrologie des GFZ hat daher im Rahmen des Forschungsprojektes WISDOM (Water related Informations System for a sustainable Development of the Mekong Delta) ein Monitoringsystem entwickelt, das im Nordosten des Mekong Deltas Überflutungsdynamiken und Wasserqualität in den Überflutungsflächen und Flussläufen zeitkontinuierlich aufnimmt. Erste Ergebnisse bieten einen detaillierteren und vor allem quantitativen Einblick in die Hochwasserdynamik und den Sedimenttransport des Gebietes und liefern sowohl wertvolle Datensätze zum Verständnis der Hydrologie der Untersuchungsflächen und des anthropogenen Einflusses, als auch zur verbesserten Kalibrierung hydraulischen Modelle. Durch den modularen und energieautarken Aufbau der Stationen ist eine Übertragbarkeit in andere Regionen ohne weiteres möglich, ebenso wie die Erweiterung des derzeitigen Spektrums an gemessenen Parametern

1. Einführung

Hochwässer an Flüssen sind eine der häufigsten Naturkatastrophen weltweit, aber auch ein wesentlicher Bestandteil der Öko- oder Agrarökosysteme in Flussauen. Besonders die großen Ästuare, wie z.B. das Mekong oder Mississippi Delta, sind entscheidend durch regelmäßig auftretende Überflutungen geprägt. Hier haben die Hochwässer durch den Nährstoffeintrag einen positiven wirtschaftlichen Effekt, im Gegensatz zu den katastrophalen extremen Ausprägungen, die hohe Schäden verursachen können. Im Gegensatz zu ihrer ökologischen und wirtschaftlichen Bedeutung werden Überflutungsvorgänge in den Überflutungsflächen selten oder gar nicht messtechnisch erfasst, wodurch eine quantitative Bewertung der hydraulischen Prozesse, der Nährstoffdynamik und des ökonomischen Nutzens erheblich erschwert wird. Außerdem leidet die Modellierung der Überflutungsvorgänge als Basis der Abschätzung von Hochwassergefährdung unter der Datenknappheit aus den Überflutungsflächen, da die Modelle häufig nicht ausreichend, bzw. eindeutig kalibriert werden können. Moderne Fernerkundungsmethoden bieten hier gute Optionen zur Datengewinnung, da sie räumlich explizite Daten liefern können. Ein Monitoring der zeitlichen Dynamik ist aufgrund der mehrtägigen Überflugsperioden allerdings nur beschränkt möglich.

Einen Schritt in Richtung der Behebung dieser Defizite wurde im Rahmen des WISDOM Projektes (www.wisdom.caf.dlr.de) gegangen. Hier wurde in einem Untersuchungsgebiet im Me-

kong Delta ein Monitoringsystem implementiert, das zeitlich hochauflösend an verschiedenen Punkten die Hochwasserdynamik quantitativ erfasst. Im Folgenden wird eine kurze Einführung in das Untersuchungsgebiet und das Monitoringsystem gegeben und die ersten Ergebnisse diskutiert.

2. Untersuchungsgebiet

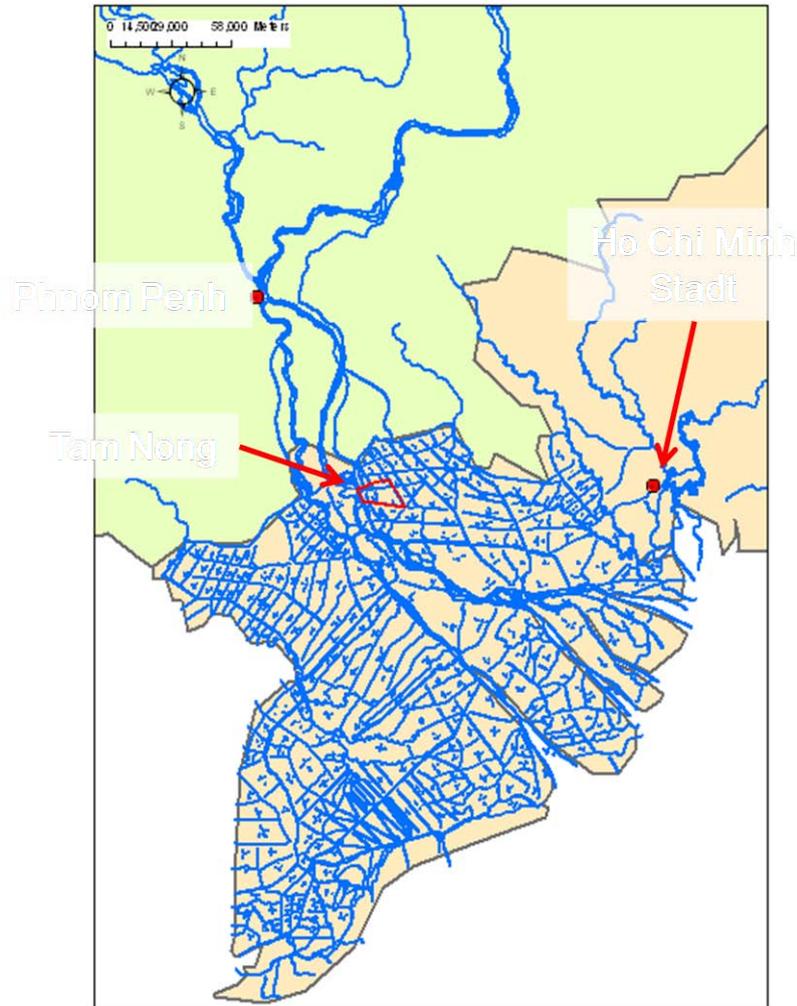


Abb. 1: Das Mekong Delta und das Untersuchungsgebiet Tam Nong

Als Testgebiet wurde ein 16 km² großes Gebiet im Distrikt Tam Nong in den Plain of Reeds in Nordosten des Mekong Delta in Vietnam gewählt. Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die Lage im Delta. Das Gebiet zeichnet sich durch alljährige großflächige Überflutungen aus, die im Mittel fünf Monate von Mitte Juli bis Mitte Dezember andauern. Dadurch sind optimale Voraussetzungen für die Entwicklung und Erprobung eines Messsystems für die Überflutungsflächen in einer begrenzten Projektlaufzeit gegeben.

Das Untersuchungsgebiet wurde mit zwei verschiedenen Typen von Messstationen instrumentiert. Bei dem ersten Typ handelt es sich um Absolutdrucksensoren zur autonomen Aufzeichnung des Wasserstandes. Zwölf dieser Stationen wurden im Untersuchungsgebiet verteilt ausgebracht. In den Kanälen wurde sie an Brückenpfeiler montiert, während sie in den Überflutungsflächen im Abstand von ca. 10 cm über dem Boden montiert wurden. In beiden Fällen

wurden die Sonden durch ein Metallgehäuse geschützt. Der gemessene Absolutdruck (Wassersäule + Atmosphäre), bzw. Wasserstand wurde mittels gemessenen Luftdruck korrigiert, um den tatsächlichen Wasserstand zu erhalten. Beim zweiten Typ wurden neben dem Wasserstand weitere Wassergüteparameter erfasst. Hierbei handelt es sich um Trübung als Surrogat für suspendiertes Sediment, pH, Temperatur und elektrische Leitfähigkeit. Diese Stationen verfügen über eine autonome Stromversorgung über Solarpaneele und eine zentrale Datenloggereinheit. Drei dieser Stationen wurden in den Kanälen montiert, weitere vier in den

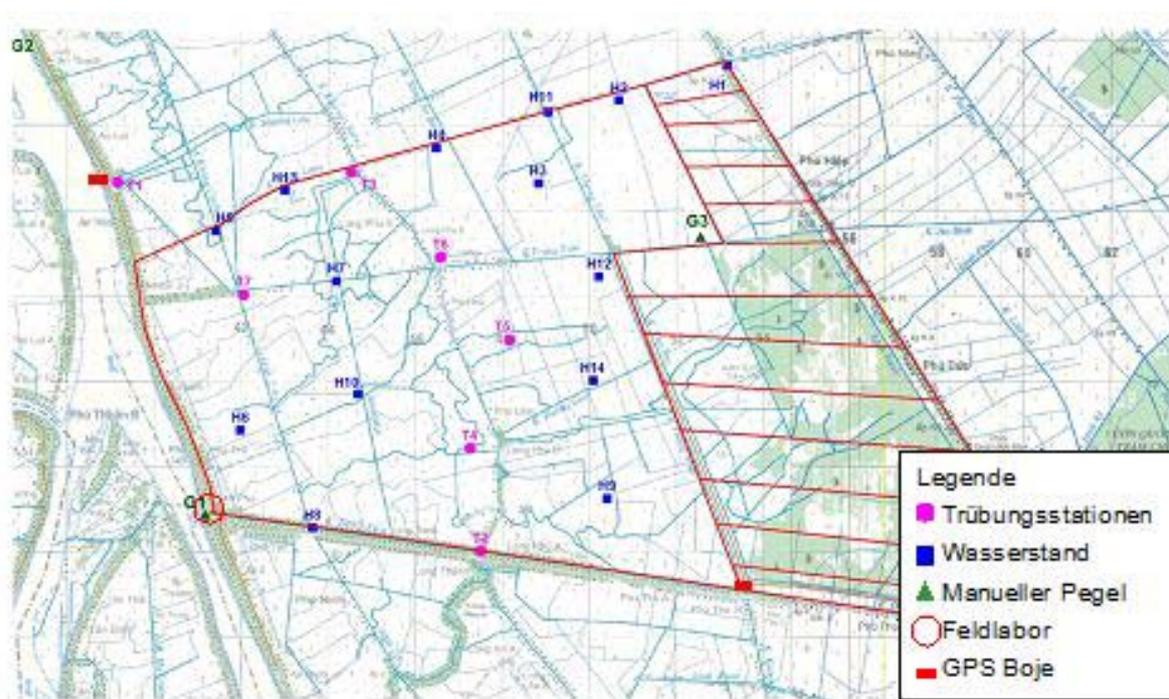


Abb. 2: Verteilung der Messstationen im Untersuchungsgebiet (rot umrandet). Die rotschraffierte Fläche ist komplett eingedeicht und wird in der Studie nicht berücksichtigt.

Überflutungsflächen. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der Stationen im Untersuchungsgebiet, Abbildung 3 exemplarisch eine Wasserstands- und Trübungsstation. Die Stationen wurden strategisch im Untersuchungsgebiet verteilt, d.h. in den wichtigsten Kanälen, auf niedrigen Deichen und in den Überflutungsflächen, um die Überflutungsdynamik möglichst detailliert erfassen zu können.

3. Ergebnisse

Die Stationen wurden über die Hochwassersaison 2008 und 2009 betrieben. Abbildung 4 zeigt den Hochwasserverlauf ausgewählter Kanalstationen für beide Jahre. Hier ist in beiden Jahren deutlich der Einfluss der Tide auf den Wasserstand zu erkennen, der mit steigendem Hochwasser jedoch geringer wird. Im Vergleich der beiden Jahre zeigen die Hydrographen von 2009 einen deutlich akzentuierteren Hochwasserscheitel, der durch den Taifun Ketsana, der Anfang September 2009 den Süden Vietnams traf, verursacht wurde. Die Hydrographen aus den Überflutungsflächen zeigen im Vergleich zu den Kanälen einen deutlich geringeren Einfluss der Tide, was durch die Dämpfung des Tidensignals in den hydraulisch trägen Überflutungsflächen zu erklären ist.



Abb. 3: Wasserstandsstation in den Überflutungsflächen (links) und eine Trübungsstation im Kanal (rechts)

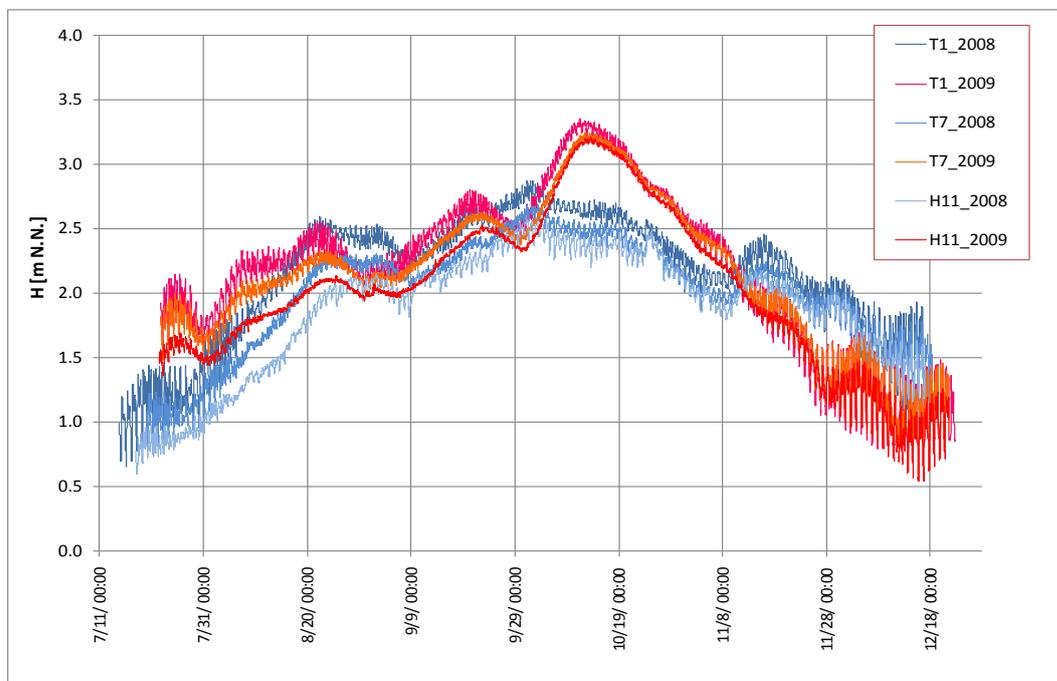


Abb. 4: Hydrographen der Kanalstationen T1, T7 und H11 in 2008 (blau) und 2009 (rot)

Neben dieser allgemeinen Charakterisierung der Hochwasserdynamik im Delta konnten durch die Verteilung der Sensoren noch weitere wichtige Erkenntnisse über die Dynamik in den Überflutungsflächen gewonnen werden. Abbildung 5 zeigt die Wasserstände im Kanal und in der benachbarten Überflutungsfläche, die in diesem Fall durch hohe Hochwasserschutzdeiche ähnlich wie bei einem Deichring in den Niederlanden vollständig geschützt ist. Deutlich ist hier ein zeitlicher Versatz beim Füllen und Leeren der Fläche am Anfang, bzw. Ende der Hochwasserperiode zu beobachten. Dies ist auf die Regulierung des Einflusses in die Fläche durch Schleusen und ein Abpumpen des Wassers vor dem eigentlichen Rückgang des Hochwassers zurückzuführen. In ähnlicher Weise konnte durch die Instrumentierung auch der Zeitpunkt des Überströmens niedriger Deiche im Untersuchungsgebiet detektiert werden.

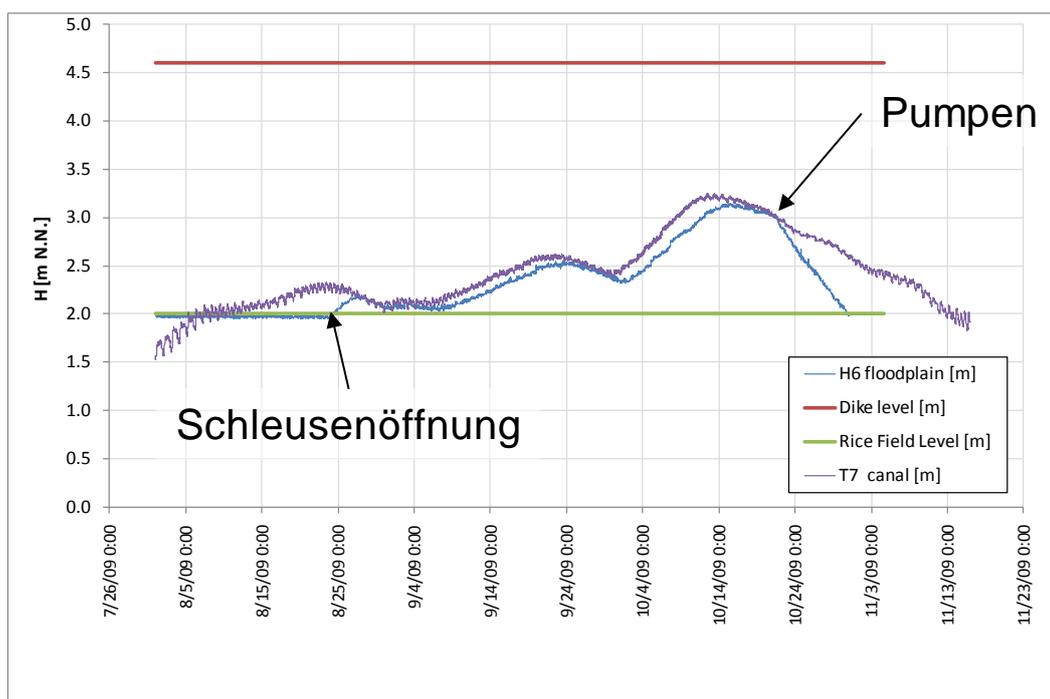


Abb. 5: Anthropogener Einfluss auf die Überflutungsdynamik in einem Deichring durch Vergleich von Pegeldata im Kanal und der Überflutungsfläche

Durch die Messung der Trübung und die daraus folgende Bestimmung der Schwebstoffkonzentration (TSS, Total Suspended Sediment) konnten auch erstmalig die Sedimentfrachten in Kanälen und Überflutungsflächen quantifiziert werden.

Hierbei zeigte sich, dass die Konzentration an TSS in den Überflutungsflächen deutlich geringer ist als in den Kanälen, und zudem weitestgehend von den Schwankungen des Wasserstandes, bzw. der Fließgeschwindigkeiten in den Kanälen abgekoppelt ist. Abbildung 6 zeigt dies exemplarisch durch einen Vergleich von Wasserstand und TSS für die Stationen T4 (Überflutungsfläche) und T7 (Kanal).

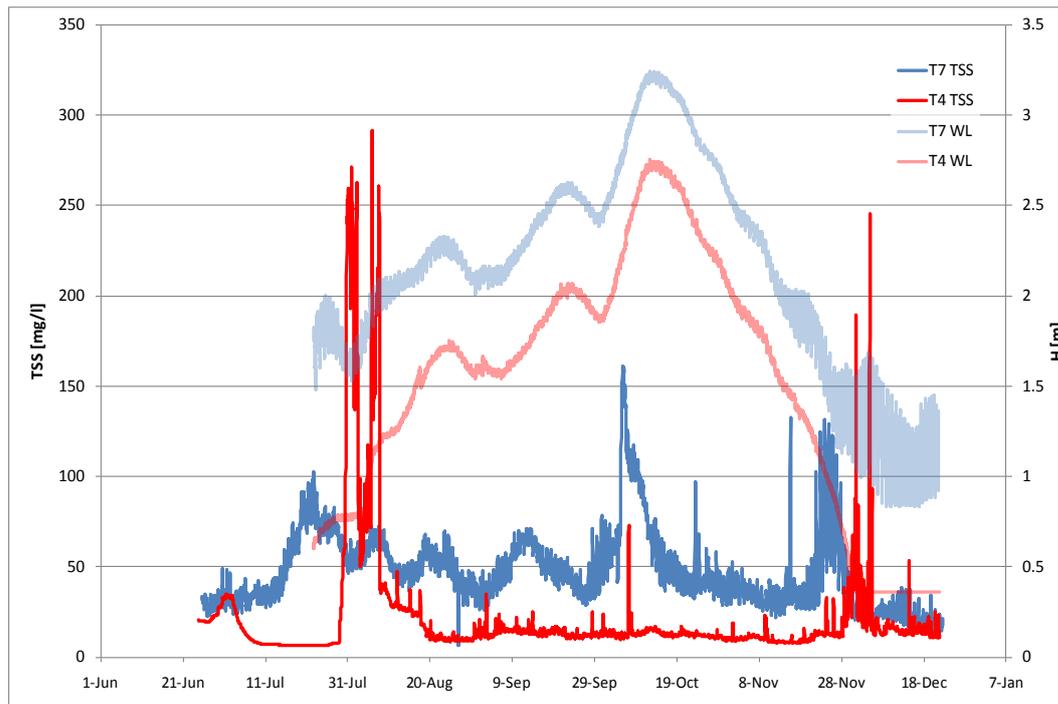


Abb. 6: Wasserstand (WL) und Konzentrationen an suspendierten Sediment (TSS) in Kanälen (T7) und Überflutungsflächen (T4)

4. Zusammenfassung

Die entwickelten Stationen erwiesen sich als nützliche Datenquelle für die Erfassung der Hochwasser- und Sedimentdynamiken in Kanälen und Überflutungsflächen. Durch die gewonnenen Daten konnten die Dynamiken zeitlich hochauflösend quantifiziert werden, wodurch wichtige anthropogene Einflüsse auf das Hochwassergeschehen, die zwar prinzipiell bekannt, aber nicht vorhersehbar oder quantifizierbar waren, erkennbar wurden. Hierzu zählt die im Delta weit verbreitete Regulierung der Überflutung hochwassergeschützter Bereiche durch Schleusen und das verfrühte Abpumpen des Wassers aus den Überflutungsflächen. Dies wird kommunal geregelt und kann zwischen den Kommunen und von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich sein. Zudem konnten auch wichtige Faktoren wie Zeitpunkte von Deichüberströmungen erfasst werden. Darüber hinaus konnte durch die Erfassung des Sedimenttransportes ein wichtiger quantitativer Beitrag zur aktuellen Diskussion Deicherhöhung und Zunahme der Kontrolle der Überflutungen contra natürlichem Zufluss und Nährstoffeintrag über Sedimente geliefert werden.

Neben der Quantifizierung der Hochwasserdynamik bieten die gewonnenen Daten zudem die Möglichkeit, die Equifinalität in der Kalibrierung hydraulischer Modelle zu reduzieren, da zum einen detailliert über die Dynamik in den Überflutungsflächen kalibriert werden kann, und zum anderen wichtige Steuerungen in das Modell aus den Daten übertragen werden können. Dies wird in einer weiteren Studie durchgeführt werden.

Einfluss unterschiedlicher forstwirtschaftlicher Praktiken auf die Abflussbildung und die Bodenerosion in experimentellen Einzugsgebieten in Südchile

Christian Mohr, Anton Huber, Axel Bronstert

Zusammenfassung

In der Küstenkordillere Südchiles wurde der Einfluss von *Pinus radiata*- und *Eucalyptus globulus*- Plantagen und eines Kahlschlags auf den Wasserhaushalt und die Abflussbildung untersucht. Hierfür wurden die Niederschlagsverteilung, die zeitliche Variation des Abflusses und des Bodenwassergehalts bestimmt. Die hydrologischen Prozesse wurden über den paired-catchment-Ansatz und das prozess-basierte Modell WASA analysiert. Der Sedimenttransport wurde während des regenzeitlichen Kahlschlags untersucht. Während der Studie speicherten die Pinus-Bestände 16-17 %, die Eukalyptus-Bestände 10-11% des Gesamtniederschlags durch Interzeption. Obwohl weniger Niederschlagswasser den Boden erreicht, bildeten die Pinus-Einzugsgebiete mit 33 % vom Gesamtniederschlag mehr Abfluss als die Eukalyptus-Einzugsgebiete (20 bzw. 23 %). Während der Trockenzeit verlor der Boden den Großteil des Bodenwassers durch Evapotranspiration. Die Evapotranspiration war mit 74 bzw. 68% des Gesamtniederschlags in den Eukalyptus-Plantagen höher als in den Pinus-Beständen (63 bzw. 60%). Da der Wasserverbrauch primär durch das knappe Wasserdargebot gesteuert wurde, fallen die artenspezifischen Unterschiede hier weniger deutlich aus. Der Kahlschlag während der Regenzeit verstärkte die Infiltration und Grundwasserneubildung. Erst nach Bodensättigung wurde aufgrund fehlender Evapotranspiration mehr Abfluss gebildet. Im Gegensatz zur Dominanz des unterirdischen Abflusses vor der Intervention, bestand dieser anschließend verstärkt aus schnell reagierendem Oberflächenabfluss. Der Sedimentaustrag während des regenzeitlichen Kahlschlags erreichte Werte von 220 kg/ha/Tag.

1. Einleitung

Gute klimatische und hydrologische Bedingungen begünstigen die Forstwirtschaft im südlichen Zentralchile. In Verbindung mit großflächigen Anpflanzungen meist rasch wachsender exotischer Arten ermöglichte dies Chile, sich als einer der weltweit führenden Holz- und Zellstoffproduzenten bzw. Exporteure zu etablieren. Die *Pinus radiata* D. Don und *Eucalyptus sp.* – Plantagen erstrecken sich in der Region Bío-Bío bereits auf eine Fläche von mehr als 610.000 bzw. 240.000 ha (INFOR, 2008). Die großskalige Intensivierung der stark wachsenden Forstwirtschaft geht einher mit drastischen Auswirkungen auf das gesamte Geoökosystem. Meist höherer Wasserkonsum der exotischen Plantagen verändert den Wasserhaushalt und die Abflussbildung. Forstwirtschaftliche Eingriffe, vor allem großflächige Kahlschläge, verstärken die Spitzenabflüsse und intensivieren die Bodenerosion, weswegen das Problem der Bodenerosion für Chile in den letzten Jahren zunehmend thematisiert wird (MEGAHAN et al. 1995, KARWAN et al. 2007, HUBER et al.1985, HUBER et al. 1998, HUBER & IROUMÉ 2001, IROUMÉ et al. 2006, HUBER et al. 2008, OYARZÚN & PEÑA 1995). Die hier vorgestellten Untersuchungen analysieren den Wasserkonsum von *Pinus radiata* und *Eucalyptus globulus* Labill-Plantagen in der Region Bío-Bío, sowie die unmittelbaren Auswirkungen eines Kahlschlags während der winterlichen Regenzeit auf die Abflussbildung und die Bodenerosion.

2. Untersuchungsgebiete

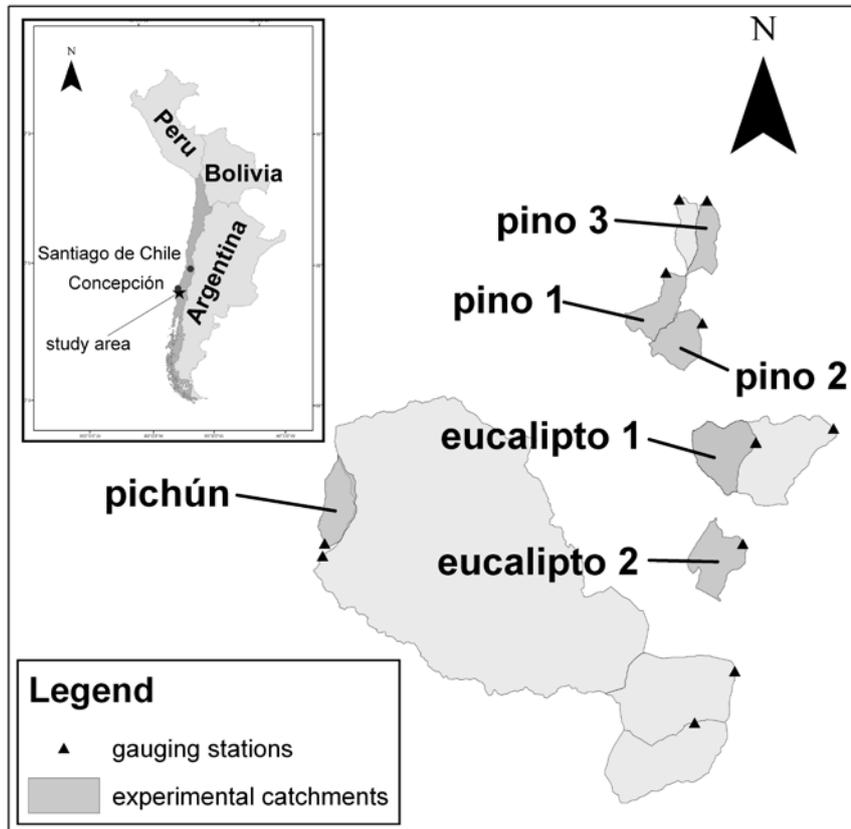


Abb. 1: Ausgewählte Einzugsgebiete der Gesamtstudie

Für die Studie wurden sechs experimentelle Einzugsgebiete ausgewählt. Sie befinden sich ca. 3 km westlich der Stadt Nacimiento in der Küstenkordillere der Region Bío-Bío, Chile (37° 28" Süd, 72° 42" West). Die Einzugs-gebiete sind zwischen 7.7 –21.1 ha groß und unterscheiden sich in ihrer Vegetations-bedeckung oder forstwirtschaftlichen Be-wirtschaftungsweise (Abbil-dung 1 und Tabelle 1). Die Region ist durch ein mediterranes Klima geprägt, wobei sich der durch-schnittliche Jahresniederschlag von 1.150 mm auf die Wintermonate April-September konzentriert. Die Höhenlage bedingt während dieser Jahreszeit häufige Nebel- und Wolkenbil-dung. Demgegenüber verzeichnet die sommerliche Trockenzeit nur ca. 5% der Jahresnieder-schläge. Die Niederschläge sind von schwacher Intensität und überschreiten nur selten 20 mm/h. Die Jahresdurch-schnittstemperatur beträgt 13°C und schwankt zwischen 7°C im Juli und 19°C im Januar. Die sommerlichen Maximaltemperaturen können 40°C übertreffen und bedingen eine hohe Evapotranspiration. Im Zuge früherer forstwirtschaftlicher Eingriffe sind die tonigen Böden meist stark gestört und degradiert. Die Infiltrationsrate schwankt aufgrund von präferenziellen Fließwegen zwischen 3 und 10 mm/h. Die Bodenoberfläche ist häufig verdichtet und mit organischen Horizonten bedeckt, die eine mittlere Mächtigkeit von 2 mm erreichen.

Tab 1: Hauptcharakteristika der untersuchten Einzugsgebiete

	Experimentelle Einzugsgebiete					
	pino 1	pino 2	pino 3 (TRI)	eucalipto 1	eucalipto 2	pichún
Fläche(ha)	12.55	13.98	9.46	16.72	21.1	14.57
Länge des Fließwegs (km)	0.47	0.41	0.32	0.45	0.62	0.23
Gefälle (%)	25.2	30.3	38.9	27.7	36.5	43.3
durchschnittl. Höhe (m ü. NN)	327	331	246	369	320	226
Gefälle des Fließwegs (%)	22	24	37.6	26	27	32.0
Nutzung	Pinus rad. Kontrolle	Pinus rad. Durchforstung	Pinus rad. Kahlschlag in 2009	Eucalyptus glob. Anpflanzung	Eucalyptus glob. Regeneration	Kahlschlag in 2007
Alter (Jahre)	23	23	23	9	9	-
Höhe (m)	28.2	28.2	29	20.4	20.3	-
Bestandsdichte (Bäume/ha)	320	315	369	1.174	1.326	-
Kronendach (%)	65	65	65	50	55	-
Schutzstreifen (ha)	1.5	0.9	0,5	0.8	1.0	1.16

3. Methodik

Die untersuchten Einzugsgebiete sind mit Testflächen (15 x 40m) zur Bestimmung der kleinräumigen Verteilung des Bestandniederschlags, Messwehren, Suspensions-messgeräten, Sedimentfallen und Bodenfeuchte-TDR-Messclustern instrumentiert. Bis auf den Grundwasserspeicher konnten somit die meisten Größen des Wasserhaushalts direkt im Feld bestimmt werden. Der Grundwasserspeicher war zu Beginn und am Ende der Studie ähnlich gefüllt (maximal), so dass seine zeitliche Dynamik nicht zwingend berücksichtigt werden musste ($\Delta P = 0$). Somit konnte die Evapotranspiration für das komplette hydrologische Jahr ohne die Berücksichtigung ihrer zeitlichen Veränderung berechnet werden. Die Wasserproben vor und während des Kahlschlags wurden in den Einzugs-gebieten „pino 1“ und „pino 3“ automatisch mit Samplern im 30-Min-Intervall entnommen und entsprechend des paired-catchment-Ansatzes verglichen. Das an der Universität Potsdam entwickelte prozess-orientierte hydrologische Modell WASA (GÜNTNER & BRONSTERT 2004) wurde zur hydrologischen Prozessanalyse verwendet. Die statistische Analyse erfolgte, sofern nicht anders vermerkt, über den Kruskal-Wallis-Test.

4. Ergebnisse

4.1 Wasserhaushalt von adulten *Pinus radiata* und *Eucalyptus globulus*-Plantagen

Aufgrund der zeitlichen Verteilung der Niederschläge in 2008/09 und der für die Bilanzierung der Evapotranspiration notwendigen Bodensättigung, wurde der Messzeitraum von Juni 2008 bis zur erneuten Sättigung im September 2009 gewählt. Der Interzeptionsverlust der Pinus-Plantagen ist mit 16-17 % bzw. höher als in den Eukalyptus-Pflanzungen mit 10-11 % (pino 1: $p < 0.05$, $p < 0.01$; pino2: $p < 0.001$ und $p < 0.001$; hier: Mann-Whitney-Test).

Trotz geringer räumlicher Erstreckung ist in allen Einzugsgebieten stets Abfluss vorhanden, wobei die Pinus-Plantagen über den Messzeitraum mehr Abfluss bilden. Die Abflussmengen von „pino 1“ und „pino 2“ unterscheiden sich statistisch nicht voneinander ($p = 0.680$), wohingegen „eucalipto 1“ und „eucalipto 2“ entsprechende Unterschiede aufweisen ($p < 0.05$). Der Basisabfluss steuert 73 bzw. 74 % für „pino 1“ und „pino 2“ und 70 bzw. 75 % für „eucalipto 1“ und „eucalipto 2“ zum Gesamtabfluss bei. Oberflächenabfluss ist nur während der winterlichen Regenzeit nach Bodensättigung vermehrt vertreten (Tabelle 2).

Tab.2:Wasserhaushalt der untersuchten Pinus und Eukalyptus-Plantagen (06/08-09/09)

Jahr		2008						2009									
Monat		6	7	8	9	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Tag		15	10	13	30	8	20	7	13	18	16	20	18	14	15	30	
Messperiode		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
pino1	Pp (mm)	209	231	412	38	32	1	6	4	16	156	237	308	266	234	2.149	
	Ic (mm)	38	39	43	12	19	3	4	2	7	37	37	43	38	35	357	
	Q (mm)	58	115	174	26	11	2	2	2	2	6	19	92	63	133	705	
	Q _s (mm)	17	18	66	1	0	0	0	0	0	2	7	35	20	22	188	
	Q _b (mm)	41	97	109	25	10	2	2	2	2	4	12	56	43	111	517	
	R (mm)	923	941	950	855	770	576	506	483	467	450	555	711	775	959	962	
	Evtr (mm)																1.357
pino2	Ic (mm)	41	33	40	11	16	3	4	3	5	32	39	38	35	37	337	
	Q (mm)	62	113	170	30	15	3	2	2	3	7	11	91	68	129	707	
	Q _s (mm)	24	20	59	1	1	0	0	0	0	2	6	33	19	21	185	
	Q _b (mm)	38	93	112	30	14	3	2	2	2	5	5	58	49	108	522	
	R (mm)	912	935	942	838	724	521	458	435	411	406	498	727	782	957	966	
	Evtr (mm)																1.298
	eucalipto1	Ic (mm)	21	35	32	15	16	2	2	3	1	6	22	12	28	20	215
Q (mm)		44	95	127	23	11	3	2	1	2	4	15	45	26	40	439	
Q _s (mm)		17	16	40	1	0	0	0	0	0	2	8	23	10	12	130	
Q _b (mm)		26	79	87	23	11	3	2	1	1	2	7	22	16	29	309	
R (mm)		905	928	940	760	712	512	467	426	409	389	525	693	745	980	985	
Evtr (mm)																	1.582
eucalipto2		Ic (mm)	31	36	30	18	9	1	2	4	2	13	20	20	31	18	235
	Q (mm)	56	99	151	28	14	3	3	2	2	6	16	42	28	50	500	
	Q _s (mm)	17	12	43	0	1	0	0	0	0	2	8	21	10	11	124	
	Q _b (mm)	39	86	108	28	14	3	3	2	2	4	8	21	18	39	376	
	R (mm)	924	941	951	816	747	542	522	502	494	484	579	778	823	1055	1062	
	Evtr (mm)																1.469

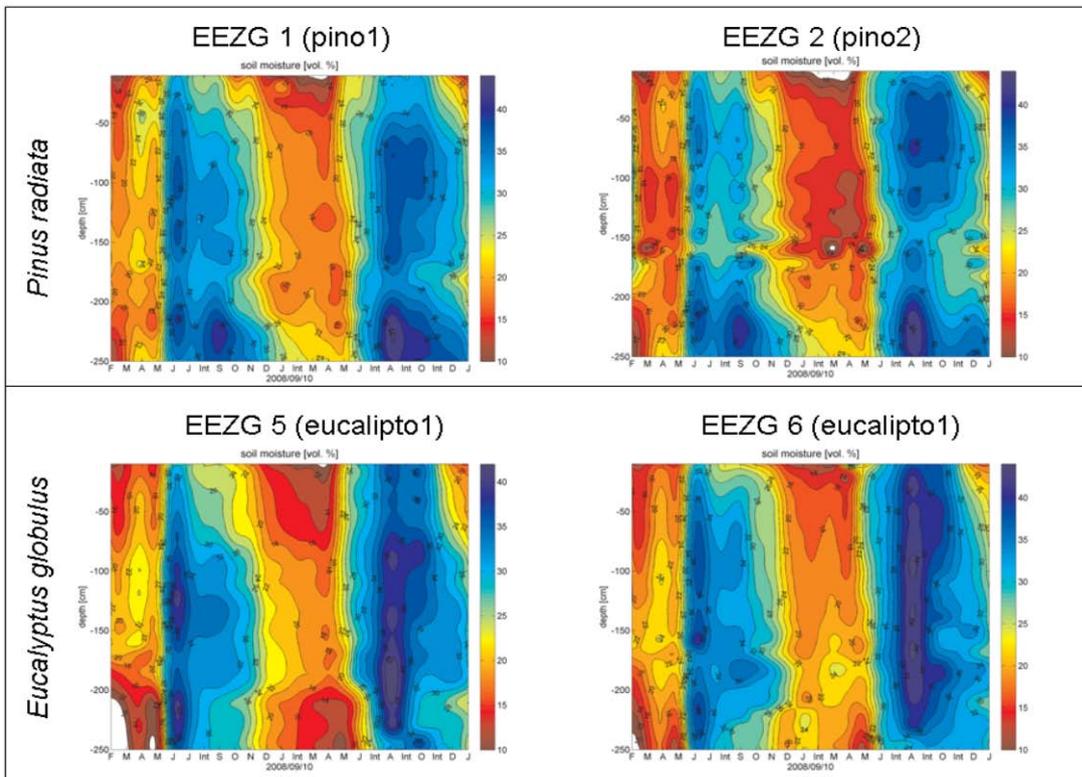


Abb. 2: Zeitliche und vertikale Variabilität des Bodenwassers (vol %) in Pinus- und Eukalyptus- Plantagen der Region Bio-Bio für den Untersuchungszeitraum 02/08-01/10

Zu Beginn der Studie sind die Böden aller Einzugsgebiete weitgehend gesättigt. Die minimalen Werte (<14 % vol.) treten vor Einsetzen der Regenzeit (April 2009) ein, wobei die Werte bis unter den permanenten Welkepunkt fallen (Abbildung 2). Die Unterschiede zwischen maximalem und minimalem Bodenwassergehalt sind mit 512 bzw. 560 mm in den Pinus-Plantagen und 596 bzw. 578 mm in den Eukalyptus-Plantagen ähnlich.

Über den kompletten Messzeitraum hinweg beträgt die Evapotranspiration für die Pinus-Plantagen 1.357 bzw. 1.298 mm, (≈ 63 bzw. 60 % des Gesamtniederschlags). Die Werte für die Eukalyptus-Plantagen liegen mit 1.582 bzw. 1.469 mm (≈ 74 bzw. 68 %) höher. Ohne die Berücksichtigung des Interzeptionsverlusts verringern sich diese Werte auf 56 bzw. 53 % resp. 71 bzw. 64 %.

4.2 WASA-Modellierung

Das Modell vermag die beobachtete Dynamik gut zu simulieren, wenngleich die Spitzenabflüsse nicht optimal wiedergegeben werden konnten (Abbildung 3). Die Modell-Ergebnisse zeigen ebenfalls für das Einzugsgebiet Pichún die Dominanz von unterirdischem Abfluss (Grundwasser + Zwischenabfluss $\approx 88\%$). Oberflächenabfluss ist auch hier nur bei größeren Niederschlagsereignissen dominant, kann dann aber Werte um $80-90$ % für die Dauer des Ereignisses erreichen. Der modellierte Abflussbeiwert erreicht ca. 68% und liegt damit 19 % unter dem gemessenen Wert von 87% (GLÄSER 2009).

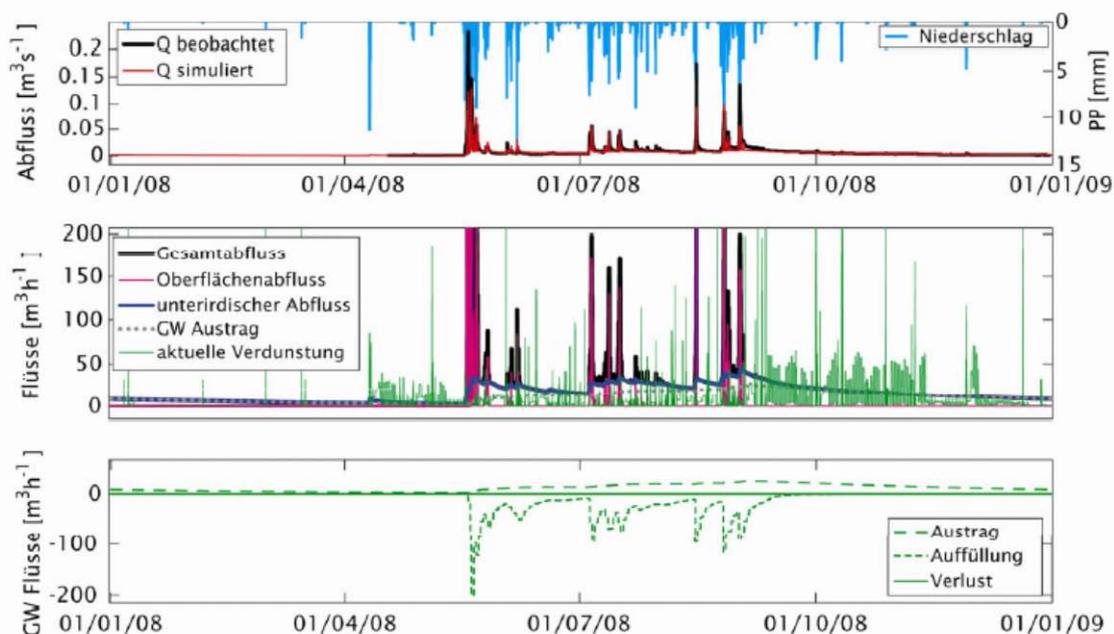


Abb. 3: Simulationsergebnisse über das gesamte Jahr: simulierter und beobachteter Abfluss (oben); Teilflüsse (Mitte); Grundwasserspeicherdynamik mit Zu- und Abflüssen (unten)

4.3 Unmittelbare hydrologische Reaktion auf und Bodenerosion während des Kahlschlags



Abb. 4: Differenz aus monatlichen Abflusswerten von „pino 1“ und „pino 3“ für den Messzeitraum 05/08 – 02/ 10 (gestrichelt: Termin des Kahlschlags)

Unmittelbar nach dem Kahlschlag in „pino 3“ fällt der Gebietsabfluss dort stark ab. Dies ändert sich erst nach Sättigung des Bodens ab Dezember 2009 wieder (Abbildung 4), wobei sich der Anteil des Oberflächen-abflusses von 18.2 auf 29.6 % erhöht.

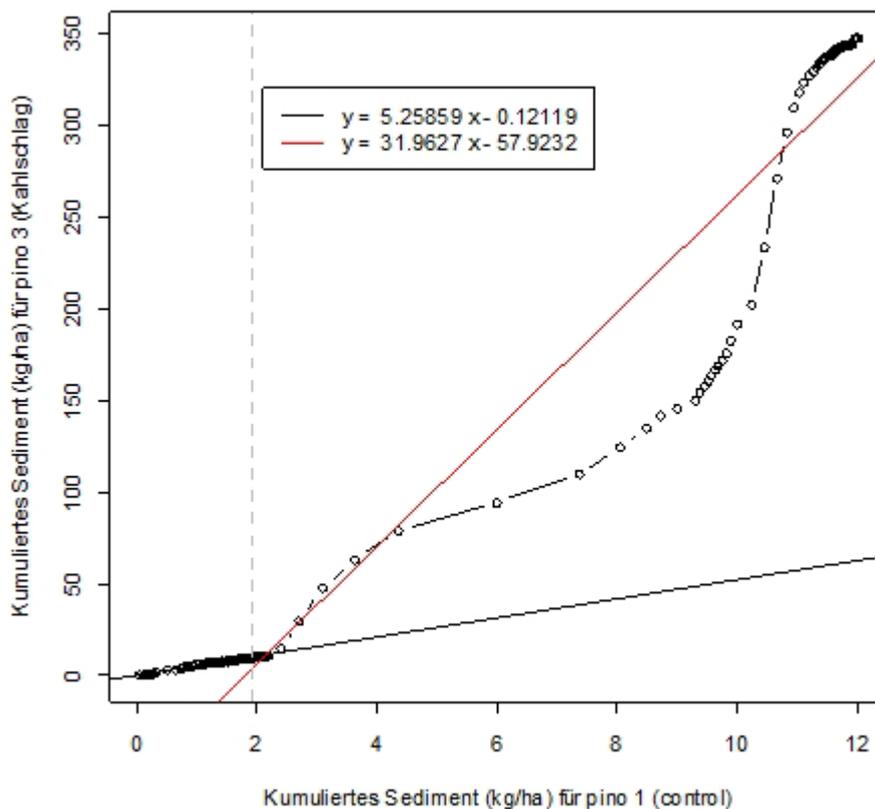


Abb.5: Sedimentaustrags-Doppelsummenkurve zwischen „pino 1“ und „pino 3“ für Prä- und Post-Kahlschlags-Niederschlags-Abflussereignisse am 27.06.-29.06.09 und 11.08.-15.08.09 (gestrichelt: Kahlschlagtermin)

Nur während größeren Niederschlagsereignissen kann stärkerer Oberflächenabfluss beobachtet werden. Während eines 43-stündigen Niederschlagsereignisses (74 mm) wird in „pino1“ ca. 1.9 kg/ha an Sediment-austrag gemessen. Simultan wird in „pino 3“ mit 9.5 kg ein Mehrfaches

registriert. Nach dem Kahlschlag erhöht sich der Sedimenttransport um eine Magnitude und erreicht während eines knapp viertägigen Niederschlagsereignisses (85 h; 118mm) 338.1 kg/ha in „pino 3“. Demgegenüber steht ein Sedimentaustrag in „pino 1“ von 10.1 kg/ha (Abbildung 5). Maximale Werte von 220 kg/ha/Tag wurden für „pino 3“ während dieses Ereignisses ermittelt (FRENE 2010).

5. Diskussion

Während der Trockenzeit geht nahezu der komplette Niederschlag durch Interzeption verloren. Die physiologischen Unterschiede wie Borke, Blätterstruktur und Kronendach sind neben dem geringeren Alter der Eukalyptus-Bestände und der höheren Retentionskapazität der Koniferen verantwortlich für die unterschiedlichen Interzeptionswerte (CROCKFORD & RICHARDSON 2000, HUBER & IROUMÉ 2001, FLEISCHBEIN et al. 2005). Vor allem Letzteres ist dafür verantwortlich, dass die Kiefern trotz geringerer Bestandsdichte einen höheren Interzeptionsverlust aufweisen. Dieser liegt bei beiden Arten unter den Werten vergleichbarer Studien aus Chile (HUBER & IROUMÉ 2001, IROUMÉ & HUBER 2002, HUBER et al. 2008). Hierfür ist die höhenbedingte zusätzliche Wolken- und Nebel-Interzeption verantwortlich, die den Bestandsniederschlag durch Abtropfen erhöht und somit zu einer Unterschätzung des realen Interzeptionsverlusts führt (HOLDER 2004).

Die zeitliche und vertikale Variabilität des Bodenwassergehalts ist in allen untersuchten Plantagen ähnlich. Nach der Sättigung des Bodens gegen Ende der Regenzeit ist ein Rückgang des Bodenwassers im gesamten Bodenprofil (bis über 3 m Bodenmächtigkeit!) durch Evapotranspiration zu verzeichnen. Der Rückgang der Bodenwasserreserven erfasst auch Tiefen von mehr als 150-200 cm und reicht damit unter die Wurzeltiefe der Pinus- und Eukalyptus-Bäume (Abbildung 2). Dem Baumwachstum wird somit zusätzliches Wasser durch kapillaren Aufstieg zur Verfügung gestellt, wobei der komplette Bodenkörper stark austrocknet. Während der Trockenzeit wird nahezu das gesamte pflanzenverfügbare Wasser konsumiert, was zur Folge hat, dass die Unterschiede zwischen maximalen und minimalen Bodenwassergehalten in allen Pflanzungen ähnlich ausfallen. Der Wasserverbrauch beider Arten ist somit mehr durch das Wasserangebot gesteuert als durch den artenspezifischen Wasserbedarf (ZHOU et al. 2002). Der Wasserkonsum ist in den Eukalyptus-Plantagen zwar höher als in den Pinus-Plantagen, jedoch werden in dieser Studie die potentiellen artenspezifischen Unterschiede unterschätzt. Diese könnten sich nur bei ausreichendem Wasserangebot deutlicher ausbilden, wobei sich die hier ermittelten Werte des Wasserkonsums beider Arten gut mit anderen Studien aus Chile decken (HUBER & OYARZÚN 1985, HUBER et al. 1998, HUBER et al. 2008).

Mit Einsetzen der Regenzeit (Mai 2009) wird ein Großteil des Niederschlags für die langsame und kontinuierliche Aufsättigung des Bodens aufgewendet. Somit steht allen Einzugsgebieten nur relativ wenig Wasser zur Abflussbildung zur Verfügung (Tabelle 2). Aufgrund des höheren Wasserkonsums der Eukalyptus-Bestände fällt der Gebietsabfluss in den Pinus-Plantagen trotz höherem Interzeptionsverlusts höher aus. Die morphologische Ähnlichkeit beider Pinus-Einzugsgebiete bedingt ein sehr ähnliches hydrologisches Verhalten, was auch durch die nahezu identischen Abflussbeiwerte der Jahresmittelwerte unterstrichen wird (32.8 bzw. 32.9%, vgl. Niederschlags-Abflusswerte in Tabelle 2). Anders ist die Situation in den Eukalyptus-Einzugsgebieten, die aufgrund unterschiedlichen Gefälles deutlichere Unterschiede im Gebietsabfluss aufweisen ($\Delta Q = 113\text{mm/ha}$, Tabelle 2). Generell besteht der Abfluss aller unter-

suchten Einzugsgebiete hauptsächlich aus der unterirdischen Komponente. Lediglich während stärkere Niederschlagsereignisse auf feuchtem Boden erhöht sich die relative Beteiligung des schnell reagierenden Oberflächenabflusses deutlich. Die für ein benachbartes Einzugsgebiet modellierten hydrologischen Prozesse betonen diese Abflussdynamik (Abbildung 3) und legen zudem ihre Modifikation durch zusätzliche Zuflüsse (Forstwege?) in zumindest einem untersuchten Gebiet nahe (GLÄSER 2009).

In „pino 3“ verringerte sich direkt nach dem Kahlschlag der Gebietsabfluss stark. Dies zeigt sich im veränderten Verhältnis der Gebietsabflüsse zwischen „pino 1“ und „pino 3“ (Abbildung 4). Erst nach Sättigung des Bodens (Dez 2010) spendet das kahlgeschlagene Einzugsgebiet mehr Abfluss als das Kontroll-Einzugsgebiet. Durch den Kahlschlag muss sich somit die Infiltration und Grundwasserneubildung zumindest bis zur Sättigung des Bodens erhöht haben. Grund hierfür ist der Einsatz schwerer Forstmaschinen (Skidder), die den Oberboden massiv störten, was sich in einer verstärkten Mikrotopographie spiegelt. Dies erhöhte die Speicherkapazität für Oberflächenwasser in lokalen Mulden. Bei fehlender Konnektivität dieser Mulden und unter den typischen Niederschlägen von schwacher Intensität konnte das so gesammelte Oberflächenwasser infiltrieren und dadurch den Grundwasserspeicher auffüllen. Somit steigt erst nach Sättigung des Bodens aufgrund geringer Evapotranspiration der Gebietsabfluss wieder an, was sich in der Umkehr des Abfluss-Verhältnisses beider untersuchter Einzugsgebiete zeigt (Abbildung 4). Bei Niederschlagsereignissen kommt es hiernach auf dem Kahlschlaggelände direkt zur Bildung von Oberflächenabfluss. Dies verschärft die Abspülung und wird in hohen Sedimenttransportraten deutlich (Abbildung 5). Da das kahlgeschlagene Einzugsgebiet über ein stärkeres Gefälle verfügt (Tabelle 1), waren bereits vor der Intervention Unterschiede im Sedimenttransport vorhanden. Im Zuge des Kahlschlags hat sich die Bodenerosion massiv verstärkt und Tageswerte erreichen nun Werte, die dem gesamten Jahrestransport für „pino1“ entsprechen.

Literatur

- CROCKFORD R. & D. RICHARDSON (2000): Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate.- Hydrol. Proc. 14, S. 2903-2920
- FLEISCHBEIN K. et al. (2005): Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: Effects of canopy properties.- Hydrol. Proc. 19, S. 1355–1371
- FRENE, C. (2010): Efecto inmediato de la práctica silvícola de tala rasa en plantaciones forestales de *Pinus radiata* sobre el caudal y transporte de sedimentos a escala de microcuencas, cordillera de la costa, Región del Bío Bío, Chile. - Unveröff. Masterarbeit Universidad Austral de Chile, Valdivia
- GLÄSER, C. (2009): Analyse und Modellierung des Wasserhaushalts eines forstwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiets in Südchile. - Unveröff. Diplomarbeit Univ. Braunschweig
- GÜNTNER, A. & A. BRONSTERT (2004): Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modelling in semi-arid areas.- Journal of Hydrology, 297, H. 1-4, S. 136-161
- HOLDER, C. (2004): Rainfall interception and fog precipitation in a tropical montane cloud forest in Guatemala.- Forest Ecology and Management 190, S. 373-384

- HUBER, A. et al (2010): Efecto de las plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la Región del Bío-Bío, Chile.- Bosque, in review
- HUBER, A. et al. (1998): Efecto de la densidad de plantaciones de *Eucalyptus nitens* sobre el balance hídrico en la zona de Collipulli, IX Región, Chile.- Bosque 19, H. 1, S. 61-69
- HUBER, A. & R. TRECAMAN (2004): Eficiencia del uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile.- Bosque 25, H. 3, S. 33-43
- HUBER, A. & A. IROUMÉ (2001): Variability of annual rainfall partitioning of different sites and forest covers in Chile.- Journal of Hydrology 248, S. 78-92
- HUBER A. et al. (2008): Effect of *Pinus radiata* plantations on water balance in Chile.- Hydrol. Proc. 22, S. 142-148
- HUBER A. et al. (1985): Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera. - Bosque 6, H. 2, S. 74 – 82
- INFOR (Instituto Forestal). 2008. Anuario Forestal 2008. Boletín Estadístico 121. Centro de Información Forestal, sede Metropolitana, Santiago de Chile
- IROUMÉ A. et al. (2006): Runoff and peakflow responses to timber harvest and forest age in southern Chile.- Hydrol. Proc., 20, S. 37–50
- IROUMÉ, A. & A. HUBER (2002): Comparison of interception losses in a broadleaved native forest and a *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir) plantation in the Andes Mountains of southern Chile. – Hydrol. Proc., 16, S. 2347-2361
- KARWAN D. et al. (2007): Effects of timber harvest on suspended sediment loads in Mica Creek, Idaho.- Forest Science 53, H. 2, S. 181-188
- MEGAHAN W. et al. (1995) Hydrologic and erosional responses of a granitic watershed to helicopter logging and broadcast burning.- Forest Science 41, H. 4, S. 777-795
- OYARZÚN C. & L PEÑA (1995): Soil erosion and overland flow in forested areas with pine plantations at coastal mountain range, central Chile.- Hydrol. Proc. 9, S. 111- 118
- ZHOU et al. (2002): Hydrological impacts of reforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in southern China.- Forest Ecology and Management, 167, S. 209–222

Hydrologische Beobachtungen Planungsgrundlagen für Wasserbauten seit prähistorischer Zeit

Henning Fahlbusch

Die Hydrologie liefert seit je her eine wichtige Grundlage für die Dimensionierung von Wasserbauwerken. Ein Blick in die Geschichte zeigt welche, enormen Leistungen im Zusammenhang mit diesen Bauwerken auch im Bereich der Hydrologie erbracht wurden.

Wurden die ältesten uns detailliert bekannten Talsperren in Jawa (Jordanien) bzw. der Sadd el Kafara (Ägypten) wohl eher aufgrund bautechnischer bzw. topografischer Randbedingungen geplant und gebaut, wurde der Querschnitt der ältesten bekannten Kanälen bereits aufgrund des zu erwarteten Abflusses dimensioniert. Basis dafür war sicherlich Erfahrung und Einfühlungsvermögen in die zu erwartenden physikalischen Verhältnisse. Die Beurteilung von Fließvorgängen für Leitungsbauwerke veränderte sich bis zur Römerzeit nicht. Im Menua-Kanal (Ostanatolien) dürften etwa 10 m³/s im 7. Jahrh. v. Chr. geflossen sein. Der Querschnitt war so gut gewählt und das Bauwerk entsprechend gebaut, dass es viele Jahrhunderte den Dienst versah. S.J. Frontinus, Curator Aquarum in Rom, definierte den Durchfluss anhand der durchflossenen Querschnittsfläche. Er erkannte aber, dass „auch die Geschwindigkeit einen Einfluss“ habe, konnte das Kontinuitätsgesetz aber vermutlich aufgrund mangelhafter Zeitmessungsmöglichkeiten noch nicht aufzeigen. Das blieb Heron von Alexandria vorbehalten.

Systematische Wasserstandsbeobachtungen und –aufzeichnungen gab es hingegen bereits in Ägypten seit dem Alten Reich. Der Satz aus dem Buch der Weisheiten „such dir ein Stück Land, das gut bewässert wird nach den Aufzeichnungen“, der etwa um 2500 v. Chr. niedergeschrieben wurde, belegt nicht nur das Bewusstsein der Menschen von ihrer Abhängigkeit von der Überschwemmung des Flusstales, der Nilschwelle, als Grundlage jeglicher landwirtschaftlichen Produktion, sondern darüber hinaus ihrer Fähigkeit von der qualitativen Beurteilung der Nilschwelle auf der Basis von Messungen. Das Aussehen eines Pegels, des Nilometers, in römischer Zeit beschreibt Strabon und die Interpretation der Messergebnisse ist von Plinius überliefert.

Die Wasserstands- und Abflussbeobachtungen führten nach Herodot bereits im 2. Jahrh. v. Chr. zum Bau des ersten wirklichen Großspeichers, des Mörissees, dessen Speichervolumen auf der Basis der Staumauerhöhe zur Zeitenwende und der topographischen Karte des 20. Jahrh. ca. 250.000.000 m³ betragen hat. An der Funktion dieses Bauwerks über einen Zeitraum von wohl mehr als 3000 Jahren, lässt sich aufzeigen, dass eine nachhaltige Wasserwirtschaft durch Integration von Hydrologie, Hydraulik, Gewässerschutz und Ökonomie keine Erfindung des 21. Jahrhunderts ist.

SAWA - Strategic Alliance for integrated Water Management Actions – Europäisches Wasserressourcen-Management

Jeff Marengwa

Zusammenfassung

Im Bereich der INTERREG Nordseeregion gibt es viele binnen- oder küstenhochwassergefährdete Bereiche. Hier ist ein integriertes Hochwassermanagement gefordert, das auch die Belange der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) berücksichtigt. Es müssen Konflikte erkannt und gelöst, aber auch Synergien aufgezeigt werden. Hier setzt das INTERREG IV b Projekt der EU an.

Das SAWA Projekt hat die Entwicklung von Strategien zur Umsetzung der EG-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EG-HWRM-RL) zum Ziel, die im Einklang mit den Ansprüchen der schon bestehenden EG-WRRL stehen. Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist hier eine anpassungsfähige Strategie gefragt, die in einer Allianz aus Betroffenen, Methoden und Maßnahmen für einen innovativen Umgang mit Gewässern aufzeigt.

SAWA ist transnational aufgestellt und besteht aus 22 Partnern in den Niederlanden, Deutschland, Norwegen, Schottland und Schweden.

1. Veranlassung

Die EG-WRRL benennt bereits in 2002 Ziele und Planungsinstrument zur Einhaltung ökologischer Gütekriterien. Die Bewirtschaftungspläne der WRRL mit dem Ziel, einen guten ökologischen und chemischen Zustand der Gewässer zu erreichen, können gleichzeitig zur Abschwächung der Auswirkungen von Hochwasser beitragen. Die Verringerung des Hochwasserrisikos ist jedoch kein ausdrückliches Hauptziel der genannten Richtlinie. Auch bleiben zukünftige Veränderungen hinsichtlich des Überschwemmungsrisikos als Folge von Klimaänderung unberücksichtigt. So stand schon bei der Verabschiedung der Wasserrahmenrichtlinie fest, dass zur Hochwasserproblematik eine eigene Richtlinie folgen würde, die im November 2007 veröffentlicht wurde. Diese neue Richtlinie schließt die wesentliche Lücke in den Rechtsnormen zur Bewirtschaftung der Gewässer. In der EG-HWRM-RL wird der Nachweis und die Begrenzung des Hochwasserrisikos in potentiell gefährdeten Gebieten - auch hinter technischen Hochwasserschutzanlagen - gefordert. Der konzeptionelle Aufbau der EG-HWRM-RL folgt vom Grundsatz her dem Aufbau der EG-WRRL. Auch in der EG-HWRM-RL ist die geografische Handlungsebene die Flussgebietseinheit bzw. das Flusseinzugsgebiet, wobei die gemäß Art. 3 EG-WRRL getroffenen internationalen Verwaltungsvereinbarungen zur Umsetzung der EG-HWRM-RL genutzt werden (Art. 3).

Die Umsetzung erfolgt in drei zeitlich befristeten Schritten :

1. Vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos (bis 22.12.2011)
2. Hochwassergefahrenkarten und Hochwasserrisikokarten (bis 22.12.2013)
3. Hochwasserrisikomanagementpläne (bis 22.12.2015)

Das neue Wasserhaushaltsgesetz (WHG) trat zum 1.3.2010 als bundeseinheitliches Vollrecht des Wasserhaushaltsrechts an die Stelle des bisherigen Rahmenrechts und der unterschiedlichen Ländergesetze. Durch diese Neuregelung wurden die Vorgaben der EG-HWRM-RL von 2007 in nationales Recht umgesetzt.

Zur Unterstützung bei der Umsetzung der HWRM-RL, insbesondere bei der Abstimmung mit den Vorgaben der WRRL wurde im Rahmen der Common Implementation Strategy (CIS-Prozess) die Arbeitsgruppe F (WG F) eingerichtet, deren Programm für 2008 und 2009 im November 2007 von den Wasserdirektoren verabschiedet wurde (Working Group F on Floods, 2007).

Ziel der Einrichtung der WG F sind u.a. die:

frühestmögliche Koordinierung von Aktivitäten,

Diskussion und Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen den Mitgliedsstaaten (MS) innerhalb der EU

Plattform für Koordinierung mit anderen EG-Richtlinien (z.B. Landwirtschaft, Hydromorphologie, Forschung, Klimawandel, etc.)

Mitglieder in diesem CIS-Prozess sind derzeit 27 Mitgliedstaaten, Nichtregierungsorganisationen sowie die Internationalen Flussgebietskommissionen. Es finden in der Regel zwei Sitzungen pro Jahr statt.

Im Frühjahr 2008 wurde die Einrichtung eines neuen Ständigen Ausschusses "Hochwasserschutz und Hydrologie" (AH) der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) von der Umweltministerkonferenz (UMK) beschlossen.

Die Aufgabenschwerpunkte des LAWA-AH sind:

Fachliche Begleitung der nationalen Anpassungsstrategien der Wasserwirtschaft an den Klimawandel,

Fachliche Umsetzung der EG-HWRM-RL, einschließlich Fragen des Küstenschutzes, Länder- und flussgebietsübergreifender Hochwasserschutz u. -vorsorge,

Hydrologie und Mengenmanagement (inkl. Niedrigwassermanagement) sowie mit diesen Themen zusammenhängende Fragen des Wasserbaus, der Gewässerunterhaltung und der Gewässermorphologie (Letzteres gemeinsam mit dem LAWA Ausschuss Oberirdische Gewässer und Küstengewässer).

Durch eine enge Verzahnung der LAWA mit dem CIS-Prozess wird gewährleistet, dass Erfahrungen aus dem deutschen wasserwirtschaftlichen Vollzug in die europäischen Entscheidungsprozesse eingebracht werden und Arbeitsergebnisse entstehen, die den Vollzug in den Ländern unterstützen und fördern.

2. Der transnationale Ansatz in SAWA

Die großen politischen Aufgaben in Europa erfordern eine intensive Zusammenarbeit nicht nur der Staaten, sondern aller an der regionalen Entwicklung beteiligten Akteure – besonders der Regionen, Städte und Gemeinden. Die Europäische Union unterstützt dies mit Mitteln aus dem Europäischen Fonds für Regionalentwicklung (EFRE) in transnationalen Programmräumen. Die transnationale Kooperation im Rahmen der europäischen territorialen Zusammenarbeit ist ein

Förderprogramm zur Stärkung des wirtschaftlichen, sozialen und räumlichen Zusammenhalts in Europa. Grundlegende Themen sind Innovation, Umwelt und Risikovorsorge, Erreichbarkeit und Entwicklung der Städte und Regionen.

Die Verbesserung der Umwelt und Risikovorsorge, zum Beispiel im Hochwasserschutz, spielt weiterhin – gerade im Hinblick auf den vorsorgenden Umgang mit dem Klimawandel – eine wichtige Rolle. Schwerpunkte bilden unter anderem Synergien bei EU-Strategien und -Initiativen, etwa im Umgang mit Risiken. Der Ausdrücklich Wunsch der Kommission zur Kooperation in transnationalen Verbänden zur Implementierung der EG-HWRM-RL zeigt sich in der Förderung solcher Vorhaben im Interreg IVb-Programm.

Durch die transnationale Bedeutung des Projektthemas kommt es zu günstigen Effekten. So führt die Zusammenarbeit mit Partnern zu neuen Sichtweisen, Kenntnissen und Lösungen. Die Projektpartner erhalten Zugriff auf das Wissen der Anderen und können Projekte umsetzen, die die Entwicklung vor Ort verbessern. Transnationale Kooperationsprojekte können u.a. durch ihren fachübergreifenden Ansatz und Pilotcharakter auch einen Beitrag dazu leisten, neue Herangehensweisen zu erproben und somit den Innovationsprozess in Organisationen und Regionen zu beschleunigen. Als weiterer positiver Aspekt ist die Vernetzung mit Kollegen, Institutionen und anderen Netzwerken in den Mitgliedstaaten, ggf. auch über die Projektarbeit und -laufzeit hinaus zu nennen (BBR, 2008).

Im Mai 2008 ist der Antrag des LSBG für das Projekt SAWA für eine Förderung über das Interreg IVB Programm der Nordseeregion angenommen worden.

Vorgänger von SAWA war das INTERREG IIIB Projekt FLOWS (Floodplain Land Use Optimising Workable Sustainability), bei dem es um den Umgang mit Wasser als Ressource und Risiko sowie adaptives Verhalten im Angesicht des Klimawandels ging. Einige Ergebnisse des FLOWS Projektes sind auch in SAWA wieder aufgegriffen worden. SAWA ist transnational aufgestellt und besteht aus 22 Partnern in den Niederlanden, Deutschland, Norwegen, Schottland und Schweden. Hierbei handelt es sich um verschiedenste Experten aus der Praxis, aus Universitäten und Behörden. Das SAWA-Projekt hat die Entwicklung von Strategien zur Umsetzung der EG-HWRM-RL zum Ziel, die im Einklang mit den Ansprüchen der schon bestehenden EG-WRRL stehen. Das Projekt ist in drei Arbeitsschwerpunkte (WP) unterteilt, die verschiedene Ansätze für die Entwicklung von Strategien zum Umgang mit Hochwasserrisiko enthalten:

WP 1: Aufstellen und Erprobung von anpassungsfähigen EG-HWRM-PL auf Basis der Erfahrungen und neueren Erkenntnissen in den Partnerregionen und Unterstützung von Wissenschaft und Forschung.

WP 2: Identifizierung, Kosten-Nutzen-Untersuchung und die praktische Umsetzung von innovativen, angepassten Maßnahmen vor Ort und dem Nachweis, dass sie sich nicht als nachteilig sondern sogar vorteilhaft für das gesamte Flusseinzugsgebiet auswirken.

WP 3: Qualifikation und Ausbildung von Betroffenen, Schülern, Schülerinnen und Studierenden sowie die Information, Anhörung und Beteiligung der Öffentlichkeit.

Als transnationale Hauptergebnisse liefert SAWA:

Bestandsanalyse zur Weiterbildung, zu anpassungsfähigen Maßnahmen, zu Konflikten zwischen Wasserrahmen- und Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie.

Aussagen zum Klimawandel und seinen Auswirkungen; analysiert, quantifiziert und sichtbar gemacht.

Anpassungsfähige Maßnahmen entwickelt, bewiesen und bekannt gemacht.

Anpassungsfähige Planungsstrategien (APS) für 2 ländliche und 5 städtische HWRM-PL entwickelt.

Nachhaltige Info-Zentren (SECs) in Pilotprojekten eingeführt und bewertet.

MSc/post graduate Kurse entwickelt und erprobt.

Studierenden-Austauschprogramm (SEP) aufgestellt, eingeführt und getestet.

3. Hochwasserrisikomanagement-Pläne

Einer der 5 städtischen Hochwasserrisikomanagement-Pläne wird in Hamburg am Beispiel des Einzugsgebietes der Wandse entwickelt. Da Hochwassermanagement in der Stadt viele Interessen berührt, kann so ein Plan nur in Zusammenarbeit mit allen Akteuren optimal gelingen. Die EG-HWRM-RL berücksichtigt dies, indem sie eine Beteiligung der wesentlichen Akteure und der betroffenen Öffentlichkeit an der Planerstellung verlangt.

Aus der HWRM-RL ergeben sich demnach folgende Fragen:

Was sind effiziente Wege der breiten Beteiligung aller Akteure am Planungsprozess?

Was ist die geeignete Methode, die Effizienz und Effektivität von Schutz- und Anpassungsmaßnahmen zu bewerten und sind administrative und legislative Anpassungen notwendig?

Die HWRM-RL fordert (Artikel 10 (2)): „Mitgliedsstaaten sollen interessierte Gruppierungen zur aktiven Mitwirkung an der Entwicklung, Bewertung und Aktualisierung des HWRM-PL ermutigen“. Umgesetzt in deutsches Recht heißt das sinngemäß „Die zuständigen Behörden fördern eine aktive Beteiligung der interessierten Stellen bei der Aufstellung, Überprüfung und Aktualisierung der Risikomanagementpläne“ (WHG, 2009).

Dies kann in letzter Konsequenz nur eine Abkehr von dem bisherigen Top-Down-Verfahren bedeuten. Bisher wurde ein Plan von Fachleuten allein entwickelt. Die Öffentliche Meinung und Eingaben waren lediglich im Anhörungsverfahren und in schriftlichen Einsprüchen am Ende eines Genehmigungsverfahrens vorgesehen. Demgegenüber sieht das Bottom-Up-Verfahren vor, dass alle Akteure, ob öffentlich oder fachbezogen, von Anfang an und gemeinsam an der Entwicklung des Planes in einem kontinuierlichen Prozess der Zusammenarbeit eingebunden werden.

Um also frühzeitig die Interessenlage der Akteure und Bürger in der Planung berücksichtigen zu können, sollen diese am gesamten Planungsprozess mitwirken. Dazu wird eine „Lern- und Aktionsallianz (LAA)“ im Rahmen des Projektes SAWA aufgebaut. Sie stellt die Kommunikations- und Aktionsplattform im Planungsprozess dar. Nach dieser Methodik soll der Hochwasserrisiko-Managementplan Wandse gemeinsam erarbeitet werden.

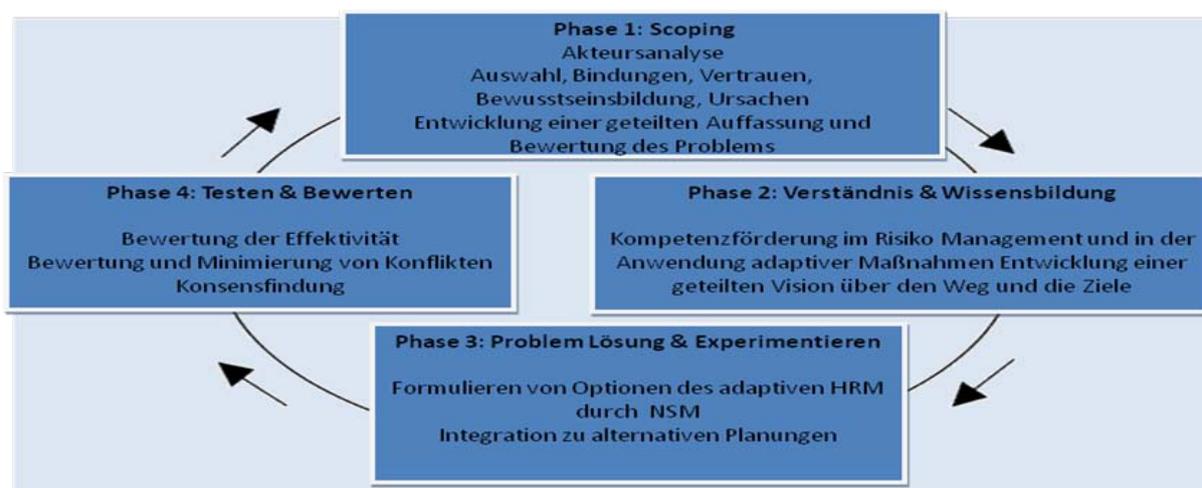


Abb. 1: Generelles Framework für den Planungsablauf in der LAA (Pasche, 2009)

Im Rahmen einer Auftaktveranstaltung wurde über dieses für Hamburg zukunftsweisende Projekt informiert und die betreffenden Stakeholder (Interessenvertreter) für eine Mitwirkung an dieser „Lern- und Aktionsallianz“ gewonnen. Die Komplexität der Problemstellung, der innovative Ansatz des Risikomanagements und die Vielschichtigkeit der Interessenlage der Akteure erfordert Engagement, Offenheit gegenüber Neuem und einen partnerschaftlichen Umgang.

Im Gegenzug wird ein vielschichtiges und informatives Programm geboten, das professionell moderiert und unter Verwendung modernster Methoden der Wissensvermittlung, Kommunikation und des partizipativen Planens die neue Handlungsstrategie des Hochwasserschutzes vermittelt und darauf aufbauend den Akteuren die Mitwirkung und einen Gestaltungsraum bei der Aufstellung des ersten Hochwasserrisiko-Managementplans von Hamburg eröffnet.

Am Ende des Planungsprozesses wird ein konkreter und für alle verbindlicher Hochwasserrisiko-Managementplan stehen. Bedingt durch die Laufzeit des Projektes SAWA muss er bis Juni 2011 vorliegen. Regelmäßig wird sich daher die „Lern- und Aktionsallianz“ treffen müssen und nach einem straffen Fahrplan in monatlichen Workshops mit einer Dauer von 2-3 Stunden die Themen bearbeiten. Für den ersten Arbeitsabschnitt liegt bereits das Arbeitsprogramm vor.

Das Konzept der LAA wird im Projekt SAWA auf transnationaler Ebene beobachtet, begleitet oder in ähnlicher Form angewendet. In den Partnerländern werden HWRM-PL in Teilen oder im Ganzen erarbeitet. Bspw. Zu nennen sind:

Entwicklung von Managementplänen an Pilotgebieten in Norwegen (NOR/NVE).

Entwicklung, Einführung und Evaluation von möglichen Strategien für die Umsetzung der HWRM-RL am Lake Vänern and the Göta River (SWE/CABV/CABG).

Ermittlung der potentiellen Konsequenzen für zukünftige Hochwasserereignisse für den Lake Vänern (SWE/UoK).

Implementierung der HWRM-RL im lokalen Wasserressourcen Management (NOR/MHC).

4. Angepasste bzw. Adaptive Maßnahmen

Im Zweiten Arbeitsschwerpunkt geht es um die Identifizierung, Kosten-Nutzen-Untersuchung und die praktische Umsetzung von innovativen, angepassten Maßnahmen vor Ort und dem Nachweis, dass sie sich nicht als nachteilig sondern sogar vorteilhaft für das gesamte Flusseinzugsgebiet auswirken. Ziel ist u.a. der Aufbau eines WaterWikis als Entscheidungshilfe für Planer. Eine kleine Auswahl möglicher Maßnahmen ist in Abbildung 2 dargestellt.

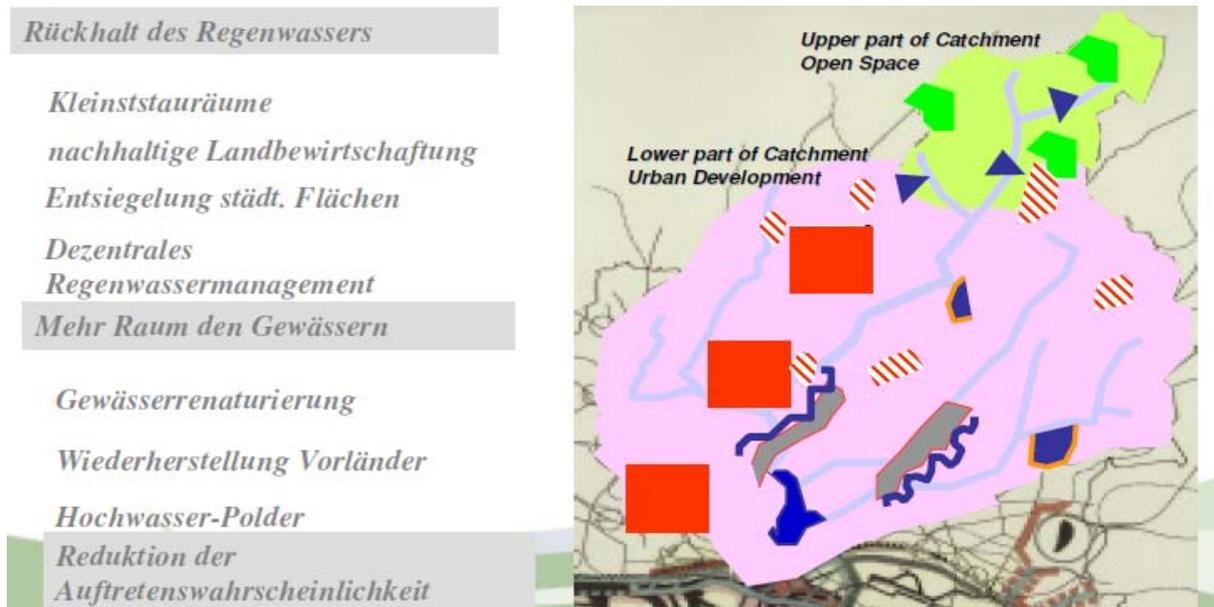


Abb. 2 Adaptive Hochwasserschutzmaßnahmen im EZG (Pasche, 2009)

Verschiedene SAWA-Projekte leisten Beitrag zur Einschätzung von adaptiven Maßnahmen im Hochwassermanagement:

Drei-Wehr-Steuerung im EZG der Alster zur Optimierung des Hochwasserrückhaltes unter Berücksichtigung der WRRL (GER/LSBG)

Verbesserung des Rückhaltes im urbanen Raum durch den Einsatz von SUDS (z.B. Rain garden) (NOR/NVE)

Implementierung der HWRM-RL – Eine holistische Perspektive (UK/HWU)

Lokale adaptive Hochwasserschutzmaßnahmen in der Stadt Karlstad

Implementierung der HWRM-RL – Entwicklung eines DSS für adaptive Maßnahmen (UK/EDIN)

Integration der Ökologie in der Hochwasserschutzplanung (ECOFLOODMAN) (GER/TUHH)

Integriertes Wasser- und Hochwassermanagement für das Illmenau EZG (GER/LEU)

Subsidence: Umgang mit Konsequenzen in dichtbesiedelten Gebieten und in landwirtschaftlichen Lagen (NL/ZZL)

5. Capacity Building (Ausbildung, Bewusstseinsbildung, etc.)

Im dritten Arbeitsschwerpunkt geht es um die Qualifikation und Ausbildung von Betroffenen, Schülern, Schülerinnen und Studierenden sowie die Information, Anhörung und Beteiligung der Öffentlichkeit. Ziel ist es die Informationsmöglichkeiten zum Thema Hochwasser zu stärken, ein Studienprogramm für integratives Hochwassermanagement aufzustellen und darauf aufbauend ein Austauschprogramm für europäische Studierende zu entwickeln. SAWA setzt dabei auf drei transnationalen Pfeiler zur Verbesserung der Ausbildung und Kommunikation über Wassermenge, -güte, Klimawandel, Governance und Hochwasserschutz.

Konkret geht es dabei z.B. um den Aufbau von nachhaltigen Ausbildungszentren sog. Sustainable Education Centres (SEC's), dem Aufbau eines Austauschprogramms für Studierende und für Experten, sowie dem Einbringen von allen beteiligten Universitäten in ein abgestimmten Masterkurs bzw. in Module.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist eine anpassungsfähige Strategie gefragt, die in einer Allianz aus Betroffenen, Methoden und Maßnahmen einen innovativen Umgang mit Gewässern entwickelt. Dass dies möglich ist und wie eine solche Strategie aussehen kann wird innerhalb von SAWA aufgezeigt und unter Beweis gestellt.

In SAWA wird eine Strategie zur Umsetzung der EG-HWRM-RL entwickelt, die im Einklang steht mit den Ansprüchen der bestehenden EG-Wasserrahmenrichtlinie und die es ermöglicht, sich flexibel auf sich ändernde klimabedingte Anforderungen einzustellen. In einer Partnerschaft von 5 Nordsee-Anrainerstaaten und einer Allianz aus Betroffenen, Methoden und Maßnahmen werden in SAWA drei thematisch vernetzte und sich ergänzende Schwerpunkte erarbeitet:

Entwickeln und erproben von anpassungsfähigen Hochwasserrisiko-Managementplänen

Identifizieren, den Kosten-Nutzen prüfen und umsetzen von angepassten konkreten Maßnahmen vor Ort

Informieren, qualifizieren und ausbilden von Betroffenen, Schülern, Schülerinnen und Studierenden und der Öffentlichkeit

Mit Ablauf der Projektlaufzeit Ende 2011 werden vielfache Erfahrungen bestehen, die den Fachleuten in den Mitgliedstaaten eine wertvolle Hilfe bei der jeweiligen Umsetzung der Hochwassermanagementrichtlinie sein können.

Literatur

2007/60/EG: „Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL)“: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken.

2000/60/EG: „Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)“: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

BUNDESAMT FÜR BAUWESEN UND RAUMORDNUNG (BBR) (Hrsg.) Leitfaden für Antragsteller: Finanzielle Förderung durch EU-Programme der transnationalen Zusammenarbeit -INTERREG IV B, Juni 2008

WHG (2009): „Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts“- amtliche Fassung vom 31. Juli 2009 - Veröffentlicht im Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 51, ausgegeben am 6. August 2009, S. 2585. Dieses Gesetz ist am 1. März 2010 in Kraft getreten.

Elbe-Expert-Toolbox: Instrumentarium zur integralen wasserwirtschaftlichen, sozialen und ökonomischen Analyse im Elbe-Einzugsgebiet

Kai Claussen, Stefan Kaden, Michael Kaltofen,
Michael Roers und Thomas Lüllwitz

Zusammenfassung

Es ist das übergeordnete Ziel des BMBF-Verbundprojektes GLOWA-Elbe, sowohl die Risiken, als auch die Optionen, die sich aus dem globalen Wandel für das Einzugsgebiet der Elbe ergeben, zu verstehen und das gewonnene Verständnis den Entscheidungsträgern der Region für die Ziele einer nachhaltigen Bewirtschaftung zukommen zu lassen (BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG 2005). Unter Berücksichtigung wasserwirtschaftlicher, sozialer und ökonomischer Aspekte wurden die Auswirkungen der Veränderung des Klimas und der Landnutzung auf das Wassersystem und damit auf Mensch und Umwelt identifiziert, untersucht und modelliert. Die Simulationsrechnungen wurden mit Modellen in einer elbespezifischen Implementierung durchgeführt, deren etablierter Verbund nun zu einem Instrument zur Entscheidungsunterstützung zusammengeführt wird.

1. Übersicht der GLOWA-Elbe Projektphasen

In den ersten beiden Projektphasen (GLOWA-Elbe I 2000-2003 „Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser, Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet“ und GLOWA-Elbe II 2004-2007 „Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf im Elbegebiet – Risiken und Optionen“) wurde der Schwerpunkt auf die Untersuchung der Folgen von Szenarien des globalen Wandels gelegt. Anhand von Modellberechnungen wurden die Konsequenzen eines vor allem in den Sommermonaten zurückgehenden Niederschlages und des daraus resultierenden geringeren Wasserdargebotes, unterschiedlicher soziökonomischer Szenarien für die Nachfrage nach Oberflächenwasser durch die öffentliche Wasserversorgung, Industrie und Kraftwerke, die Wasserverfügbarkeit sowie der Eintrag von Nährstoffen aus Punkt- und diffusen Quellen in das Gewässersystem der Elbe ermittelt und die Effekte von Strategien zur Bewältigung der daraus entstehenden Konflikte abgeschätzt (WECHSUNG 2007).

Ein Schwerpunkt der dritten Projektphase (GLOWA-Elbe III 2008-2010 „Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf im Elbegebiet – Ergebnisse und Konsequenzen“) besteht nun in der Überführung des Modellensembles in ein Instrument zur Entscheidungsunterstützung, der Elbe-Expert-Toolbox (EET), die für weiterführende Forschung mit Elbebezug sowie die Planung in der Praxis verfügbar gemacht werden soll. Die Funktionalität der Toolbox für die Ableitung plausibler und praxisnaher Szenarien des globalen Wandels und regionaler Anpassungsstrategien sowie für die Simulation und Bewertung der Szenariofolgen für die Wasserverfügbarkeit und Gewässergüte soll an Anwendungsfällen demonstriert werden (CRAMER 2006).

2. Die Elbe-Expert-Toolbox (EET)

Die EET stellt ein offenes System funktional aufeinander abgestimmter Tools dar. Die Tools dienen der Ableitung regionaler Szenarien des globalen Wandels, der Simulation von

Szenariofolgen für die wassergebundenen Sektoren im Flusseinzugsgebiet sowie der Bewertung von Handlungsstrategien. Die Toolbox besteht grundsätzlich aus drei Komponenten:

- den Tools zur Lösung spezifischer Modellierungsaufgaben,
- deren Datenspeicher, dem EET-Workspace, sowie
- dem Geoinformationssystem WISYS-Elbe als zentrale datenbankgestützte Anwendungsplattform.

Die Tools sind in der EET nach inhaltlicher Zusammengehörigkeit gruppiert. Der Themenbereich Regionalisierung des globalen Wandels wird durch das regionale, statistische Klimamodell STAR (Potsdam Institut Klimafolgenforschung, PIK), das regionale Agrar- und Umweltsystem RAUMIS (Universität Bonn/Johann Heinrich von Thünen Institut), das Modell REGE (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung) zur Simulation der regionalen Bevölkerungsentwicklung und der Land Use Scanner, LUS, (VU Amsterdam/TU Berlin), ein Modell zur Simulation von Landnutzungsänderungen, abgedeckt.

Das Modell SWIM (PIK), für die flächendifferenzierte dynamische Modellierung hydrologischer Prozesse, KIWA (TU Berlin) zur Ermittlung der kommunalen und industriellen Wassernachfrage und das Modell KASIM (Forschungszentrum Jülich) zur Simulation des Wasserbedarfs von Kraftwerken stehen im Themenbereich Wasserhaushalt und Wasserbedarf zur Verfügung.

Der Themenbereich Wassermengenmanagement wird durch das Modell WBalMo (DHI-WASY), ein Instrument zur Bilanzierung des natürlichen Wasserdargebots und des Wasserbedarfs wiedergegeben. Das darin integrierte Modell WABI (Zentrum für Agrarlandschaftsforschung) ermöglicht die Wasserbilanzierung von Feuchtgebieten.

Das Modell MONERIS (Forschungsverbund Berlin e. V./Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei) zur Modellierung der Nährstoffeinträge, -konzentrationen und -frachten, sowie das Modell QSIM (Bundesanstalt für Gewässerkunde) zur dynamischen Modellierung von Gewässergüteparametern wie Sauerstoffgehalt, Algen- und Zooplanktondichte sind im Themenbereich Gewässergütemanagement implementiert.

Die Bewertung von Szenarien und Handlungsstrategien, mittels stochastischer Multi-Kriterien-Analysen, erfolgt durch das Modell PRIMATE (Umweltforschungszentrum Leipzig).

2.1 Anwendungskonzept

Bei der Zusammenführung der unterschiedlichen Modelle als Tools in der EET bestand die Herausforderung aus technischer Sicht darin, die Tools so miteinander zu verknüpfen, dass auf die Vereinheitlichung der heterogenen IT-Konzepte hinsichtlich der Entwicklungsplattform (VBA, FORTRAN, etc.), Datenhaltung (Datei-basiert, Datenbanken) oder Benutzeroberfläche (Konsolenprogramm, graphisch) weitgehend verzichtet werden konnte. Diese Einschränkungen waren einerseits aus Zeit- und Kostensicht erforderlich, ermöglichen aber andererseits, die praxiserprobten fachspezifischen Modellkonzepte in der EET zu erhalten (KALTOFEN et al. 2009).

Die EET ist in eine GIS-Umgebung eingebettet. Dies ermöglicht sowohl die Nutzung einheitlicher Geobasisdaten, als auch eine GIS-gestützte Ergebnisdarstellung.

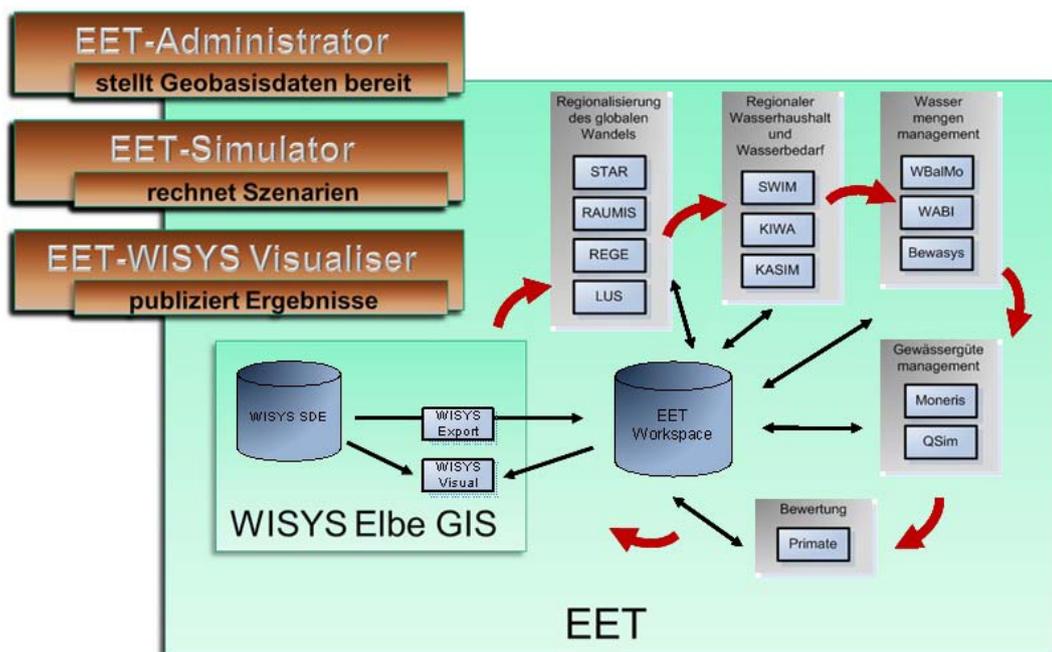


Abb. 1: Workflow innerhalb der Elbe-Expert-Toolbox (EET).

Das Rollenkonzept der EET sieht eine Anmeldung als „EET-Administrator“, „EET-Simulator“ oder „EET-WISYS Visualisierer“ vor. Jeder Rolle sind spezifische Funktionen zur Verfügung gestellt: z. B. ist es als EET-Administrator möglich, die Modelle zu konfigurieren und die Geobasisdaten zu bearbeiten, während dem EET-Simulator lediglich die Modellanwendung ermöglicht wird.

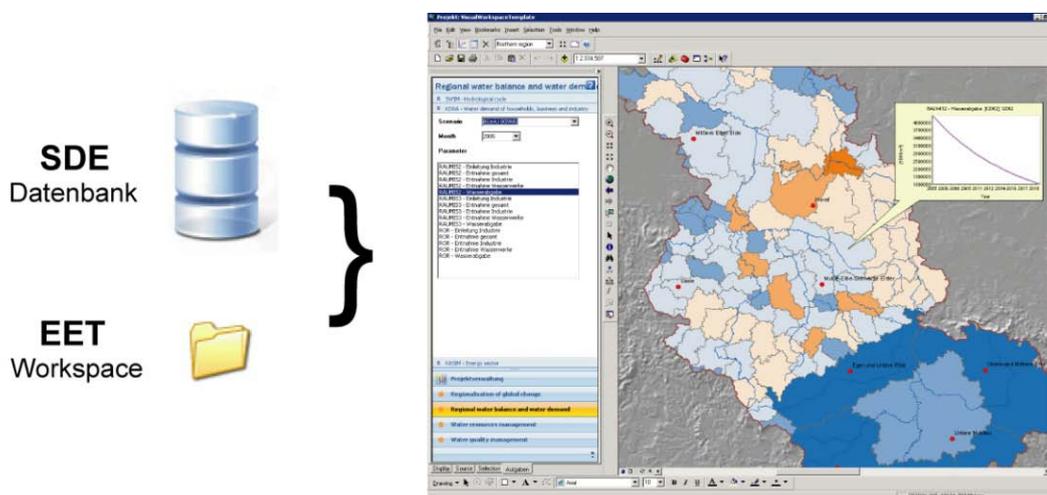


Abb. 2: Datenstruktur der EET: Zur Visualisierung im Geoinformationssystem werden die Daten in der WISYS-SDE mit den Daten im EET-Workspace verknüpft.

In Abbildung 1 ist der Workflow in der EET abgebildet. Das Informationssystem WISYS Elbe bildet die Grundlage für eine einheitliche Datenhaltung: Die Geobasisdaten werden in der WISYS Spatial Database-Engine (SDE) gespeichert. Über die WISYS Export Funktion werden die Basisdaten in den EET Workspace übertragen, wo sie von den einzelnen Tools gelesen werden können. Die Ergebnisdaten der Toolberechnungen werden ebenfalls im EET-

Workspace abgelegt. Dort stehen sie für die Visualisierung und als Eingangsdaten für die jeweils nachfolgenden Tools zur Verfügung. Zur Visualisierung mit Hilfe der WISYS-Visual Funktion werden die Simulationsergebnisse mit den Geobasisdaten verknüpft (Abbildung 2). Die Darstellung der Ergebnisse kann in Form von Tabellen und Zeitreihendiagrammen (z. B. Jahresgang der Chlorophyll-a-Konzentration im Elbestrom) sowie als Karten mit Legende (z. B. Grundwasserneubildung in den Teileinzugsgebieten) erfolgen.

2.2 Systemarchitektur

Die Komponenten der EET sind auf einem physischen Server installiert, der durch eine Firewall geschützt ist. Um den unterschiedlichen technischen und nutzerspezifischen Anforderungen an den Datenbank- und Terminalserver gerecht zu werden, wurden auf dem physischen Server unter Nutzung der Virtualisierungssoftware „Microsoft Hyper-V Server 2008“ zwei virtuelle Server installiert (Abbildung 3). Der sichere Zugriff auf die EET erfolgt via Internet über ein Virtual Private Network (VPN)-Gateway mit Hilfe einer Remotedesktop-Verbindung, die von Windows Server 2008 bereitgestellt wird.

3. Ausgewähltes Beispiel einer Stoffeintragsmodellierung mit der EET

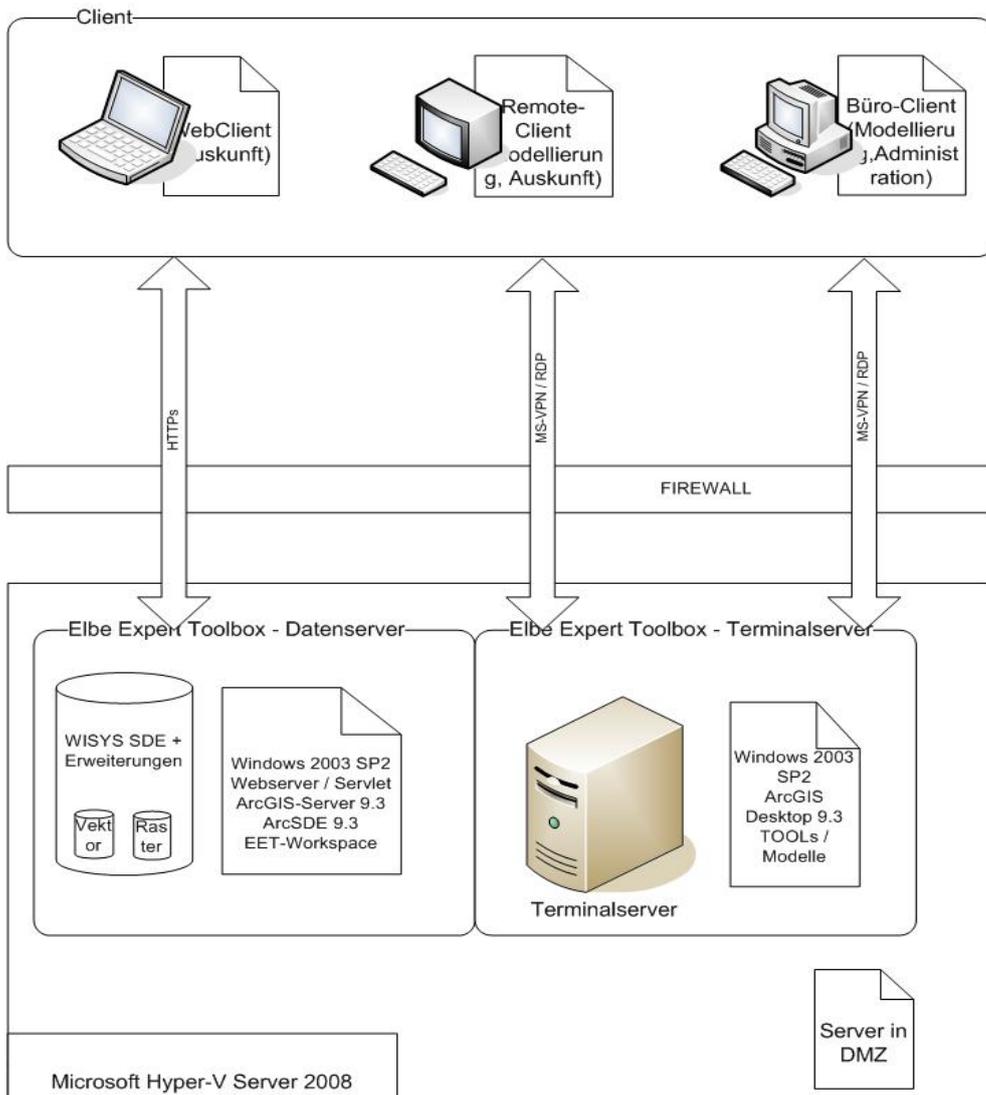


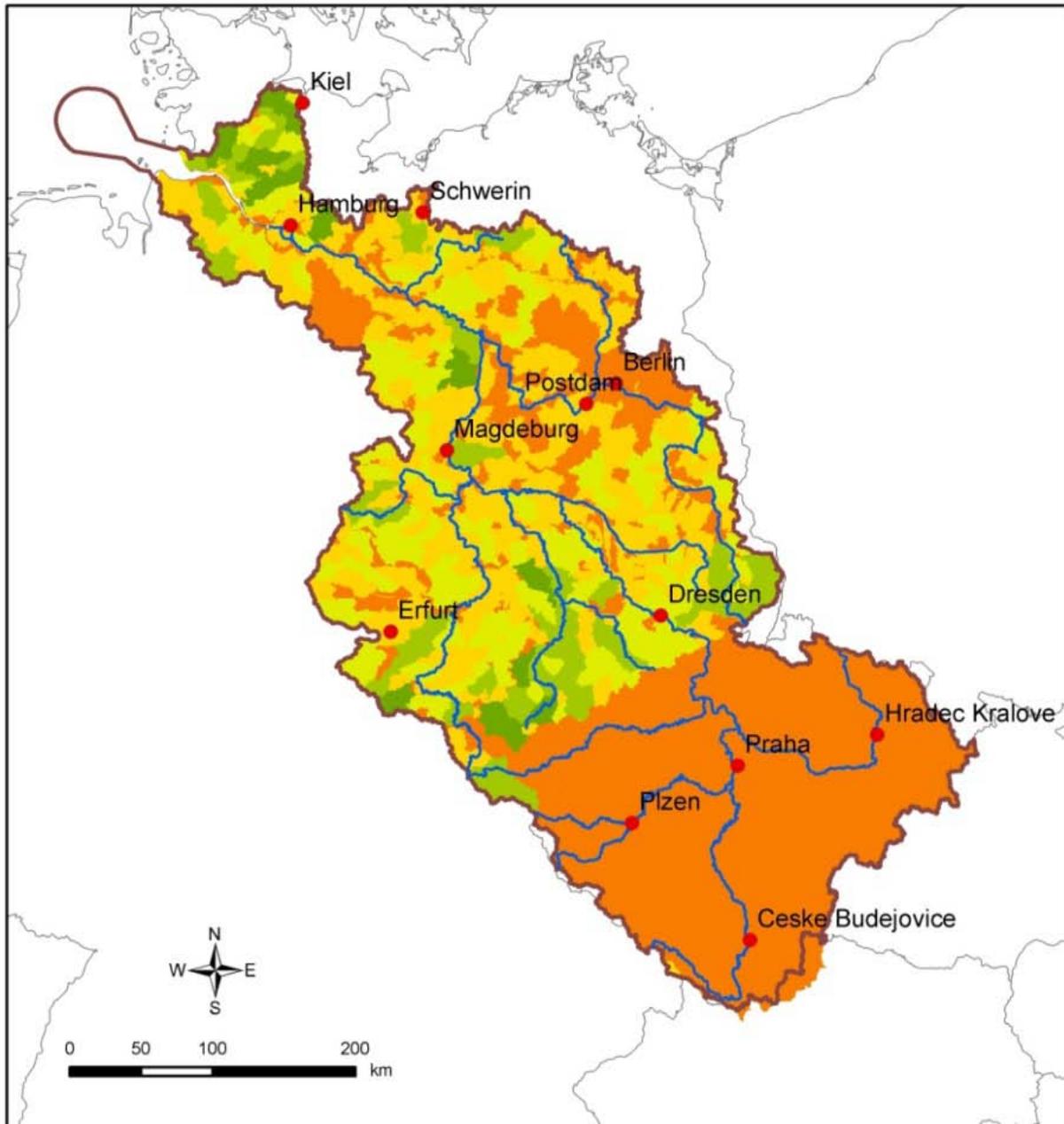
Abb. 3: Systemarchitektur der EET (aus DÜWEL 2009).

Eines der flächendeckend vorhandenen, bisher nicht gelösten Probleme der Gewässer im Elbeinzugsgebiet ist die Eutrophierung (BEHRENDT et al. 2007). Die Reduzierung der Nährstoffbelastung stellt auch in Hinblick auf die Einhaltung der Kriterien der EU-WRRL eine Herausforderung für die Akteure im Elbegebiet dar. Ein Management zur Erreichung des geforderten guten ökologischen Zustandes in den Flüssen und insbesondere der Küstenzone ist nur möglich, wenn man das gesamte Einzugsgebiet berücksichtigt und mittels Modellen das Potenzial von Einzelmaßnahmen und Maßnahmenpaketen hinsichtlich des Erreichens von Handlungszielen bestimmt (BEHRENDT et al. 2007).

Das EET-Tool MONERIS (MOdelling Nutrient Emissions in River Systems) ermöglicht die Quantifizierung der Nährstoffemissionen im Flusssystem der Elbe über punktuelle und verschiedene diffuse Eintragspfade (BEHRENDT et al. 2007).

Im Folgenden werden anhand einer Beispielsimulation mit der EET die Auswirkungen einer Einzelmaßnahme auf die Gesamtstickstoffemissionen in den Teileinzugsgebieten gezeigt. Datengrundlage der Berechnungen sind die Szenario-Eingangsdaten der vorgelagerten Modelle SWIM, LUS und RAUMIS. Die Abflussdaten werden von SWIM aus den Wetterdaten, die das regionale Klimamodell STAR zur Verfügung stellt, berechnet. Diese Daten liegen für drei Klimaszenarien (0 K, 2K und 3 K mittlerer Temperaturanstieg bis 2055) vor und umfassen 100 Realisierungen für jeweils einen Zeitraum von 50 Jahren. Aus den jeweils 5000 Jahresmittelwerten (100 Realisierungen x 50 Jahre) wurden das obere und untere Percentil, sowie der Median ermittelt. Für diese durch die Percentile bestimmten drei Jahre wurden die jährlichen und monatlichen Abflüsse und Niederschläge aller SWIM-Teileinzugsgebiete bestimmt. Die Daten wurden im EET-Workspace abgelegt und können dort als Eingangsdaten der MONERIS-Simulation eingelesen werden. Durch ein Pre-processing müssen die Daten zunächst flächengewichtet auf die MONERIS-Teileinzugsgebiete übertragen werden. Das gilt auch für die Landnutzungsdaten, die von dem Modell LUS berechnet wurden und als Rasterdaten im Workspace gespeichert sind. Die Daten des Nitratüberschusses stellt das Modell RAUMIS bereit.

Abb. 4: Auswahl der Szenario-Eingangsdaten für das Modell MONERIS.



Reduzierung der Gesamt-N-Einträge [t/a]



Abb. 5: Mit dem Modell MONERIS simulierte Differenzen zwischen den Gesamtstickstoffeinträgen bei der Handlungsalternative Extensivierung. Die Berechnung der Gesamtstickstoffeinträge wurde auf Grundlage der mittleren Abflüsse aus SWIM, die mit dem STAR Szenario T2 (mittlerer Temperaturanstieg um 2 K bis 2055) berech-

net wurden, durchgeführt. Die Landnutzung und Nitratüberschüsse fließen als Projektionen für das Jahr 2020 ein, die von dem Entwicklungsszenario A1- (Globalisierung ohne verstärkte Umweltorientierung) abgeleitet wurden (Abbildung 4). MONERIS bietet die Möglichkeit, Handlungsalternativen in den Bereichen Landnutzungswandel, Landnutzungsintensitäten, Abwassersysteme und Kläranlagen zu definieren, mit Hilfe derer die Wirksamkeit von Maßnahmen abgeschätzt werden kann. In diesem Beispiel wurde eine Umwandlung von Acker- in Grünland auf Flächen, die eine Hangneigung $> 2\%$ aufweisen, angenommen. Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der berechneten Änderung der Gesamtstickstoffeinträge auf der Ebene der MONERIS-Teileinzugsgebiete unter der Annahme einer Extensivierung der Landwirtschaft für den deutschen Teil des Elbeeinzugsgebietes. ((Umwandlung von Ackerland in Grünland auf Flächen mit einem mittleren Gefälle $> 2\%$) und der Handlungsalternative Standard (keine Extensivierung) bezogen auf die deutschen Teileinzugsgebiete bei mittleren Abflussverhältnissen [t/a] (Abflussdaten wurden mit dem Modell SWIM berechnet: Mittlere Abflüsse aus 10 mittleren Jahren aus dem Gesamtsatz der SWIM-Realisierungen; Landnutzungsdaten aus dem Modell LUS, Stickstoffbilanz aus dem Modell RAUMIS, jeweils mit dem Szenariodatenatz A1- berechnet)). Es wird deutlich, dass die gewählte Maßnahme zu einer Reduzierung der Gesamtstickstoffeinträge von ca. 32.000 t/a im Gesamteinzugsgebiet führt. Dies entspricht einer Reduzierung von ca. 23 % gegenüber der Standardalternative.

Für detaillierte Szenarioanalysen, bei denen die Auswirkungen von Handlungsoptionen in der Landwirtschaft und der Abwasserbehandlung untersucht wurden, sei auf die Arbeiten von BEHRENDT et al. (2007) und GROSSMANN & BEHRENDT (2007) verwiesen.

4. Ausblick

Die noch ausstehenden Arbeiten bis zum Ende der Projektlaufzeit im September 2010 umfassen die Komplettierung und umfassende Testung der EET. Nach Abschluss des Projektes soll die EET für die potentiellen Nutzer vorgehalten werden. Neben wissenschaftlichen Einrichtungen sind dies insbesondere die Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE), die Flussgebietsgemeinschaft der Elbe der 10 deutschen Bundesländer im Elbe-Einzugsgebiet (FGG Elbe) sowie die tschechischen Wasserbehörden (Povodis) (CRAMER 2006).

Zur Vorbereitung des Betriebs der EET wurde ein Betreiberkonzept erarbeitet. Kernpunkte sind die Gewährleistung des zentralen Zugangs für externe Nutzer, der auf Anfrage und kostenfrei (für nicht kommerzielle Einrichtungen) bereitgestellt werden soll. Die Finanzierung des Betriebes der EET ist Gegenstand laufender Bemühungen des GLOWA-Elbe-Projektes. Präferiert wird eine öffentliche Finanzierung, z. B. durch das BMVBS (BfG) und das BMBF.

Literatur

- BEHRENDT, K. et al. (2008): Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Nährstoffeinträge und Frachten im Elbeinzugsgebiet. - In: Schlussbericht zum Verbundvorhaben GLOWA-Elbe II, Kapitel 4.1
(www.glowa-elbe.de/pdf/schlussbericht_glowaii/kapitel/kapitel4.pdf)
- BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (Hrsg.) (2005): Globaler Wandel des Wasserkreislaufs. - Bonn/Berlin
- CRAMER, W. (2006): Antrag auf Forschungsförderungen im Rahmen des BMBF-Förderschwerpunktes „Globaler Wandel des Wasserkreislaufes“ - Verbundvorhaben GLOWA Elbe III. - Potsdam Institut für Klimafolgenforschung e.V.
- DÜWEL, H. et al. (2009): Aufgaben des Betreibers der Elbe-Expert-Toolbox – Untersuchungen und Bewertungen von Realisierungsvarianten. (unveröffentl.)
- GROSSMANN, M. & H. BEHRENDT (2008): Kosteneffiziente Maßnahmekombinationen zur Reduktion der Nährstoffeinträge im Einzugsgebiet der Elbe. - In: Schlussbericht zum Verbundvorhaben GLOWA-Elbe II, Kapitel 4.2
- KALTOFEN, M. et al. (2009): GLOWA-Elbe – Entwicklung der Elbe-Expert-Toolbox in der Schlussphase. - In: DHI-WASY Aktuell, S. 3-4
- WECHSUNG, F. (2007): Veränderung eines Stadt-Land-Fluss Systems im Verlauf des Klimawandels - eine Szenarienstudie für das deutschtschechische Flussgebiet der Elbe. - In: Schlussbericht zum Verbundvorhaben GLOWA-Elbe II, Kapitel 1

Transnationale Expositionsanalyse für Nutzen-Kosten-Untersuchungen

Martin Gocht, Günter Meon

Zusammenfassung

Der Beitrag diskutiert eingangs Anwendungen von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Licht aktueller europäischer Herausforderungen wie der Umsetzung der Hochwasserrichtlinie. Im Ergebnis erlaubt nur die Verwendung volkswirtschaftlicher Daten eine angemessene, kostengünstige und transparente Bewertung von Schadenpotentialen und Risiken. Anwendungsbeispiele aus unterschiedlichen europäischen Ländern demonstrieren die Anwendbarkeit des vorgeschlagenen Verfahrens. Die hier vorgestellten Ergebnisse des ERANET-CRUE Forschungsprojektes EWASE zeigen, dass das Verfahren sowohl klassische Produkte der Risikoanalyse als auch überraschende neue Anwendungen ermöglicht.

1. Einführung

Maßnahmen des Hochwasserschutzes stellen ein öffentliches Gut bereit: den Schutz gegen schädliche Einwirkungen extremer Abflüsse. Dieser Schutz ist ein öffentliches Gut, da niemand von seiner Nutzung ausgeschlossen werden kann und Rivalitäten bei der Nutzung des Schutzes (in der Regel) nicht auftreten. Die Bereitstellung öffentlicher Güter ist die Aufgabe des Bundes, der Länder und der Kommunen.

In diesem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, die der öffentlichen Fragestellung durch die Verwendung volkswirtschaftlicher Daten gerecht wird. Da diese Daten für alle Länder der EU auf vergleichbarer Basis erhoben werden, produziert die Methoden transnational vergleichbare Ergebnisse. Dies ist für grenzüberschreitende Hochwasserrisikomanagementpläne essentiell. Dabei legt der Beitrag besonderes Gewicht auf das Verarbeitende Gewerbe und den Dienstleistungsbereich, da zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass der größere Teil des Hochwasserrisikos aus diesen, und nicht aus dem Bereich der privaten Wohngebäude stammt (MURL 2000, MERZ & GOCHT 2001, BRONSTERT 2004).

2. Volkswirtschaftliche Ordnungsprinzipien

Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung. Die Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung bildet den ökonomischen Kreislauf mittels einer Reihe von Konten ab, die im „System of National Accounts“ der Vereinten Nationen standardisiert sind. Das „European System of Accounting“ ist eine Anpassung dieses internationalen Standards an die Bedürfnisse der Europäischen Union. Seine Verwendung ist mit der VERORDNUNG (EG) Nr. 2223/1996 in der EU obligatorisch.

Gliederung der ökonomischen Aktivitäten.

Gliederungen volkswirtschaftlicher Aktivitäten bauen stets auf einer Untergliederung der traditionellen drei Sektoren Land- und Forstwirtschaft, Verarbeitendem Gewerbe und Dienstleistungen auf. Die „International Standard Industrial Classification“ (UNITED NATIONS 2002) der Vereinten Nationen unterscheidet in der Revision 3.1 17 Aktivitäten A – Q der Ebene 1. Sie dient als internationaler Standard. Die OECD bietet in Ihrer STAN-Database unter anderem

eine tiefe, auf diesem Standard basierende Aktivitätsgliederung für viele Länder zum Zweck komparativer ökonomischer Analysen an (STAN 2010). Die Europäische Union entwickelte 2002 auf Grundlage der ISIC Revision 3.1 die „Nomenclature générale des activités économiques dans les Communautés Européennes NACE Rev. 1) und legte sie in der VERORDNUNG (EG) Nr. 29/2003 nieder. Die Mitgliedsländer der Europäischen Union können NACE für ihre Bedürfnisse anpassen.

Geographische Gliederung. Die in der VERORDNUNG (EG) Nr. 1059/2003 festgelegte „Nomenclature of Territorial Units for Statistics NUTS“ wurde von Eurostat entwickelt, um eine einheitliche Untergliederung territorialer Einheiten für die Produktion regionaler Statistiken in der Europäischen Union bereit zu stellen. NUTS ist ein hierarchisches System mit drei regionalen und zwei lokalen Ebenen. Für Deutschland wird die Ebene 1 durch die Bundesländer, die Ebene 2 durch die Regierungsbezirke und die Ebene 3 durch die Kreise abgebildet.

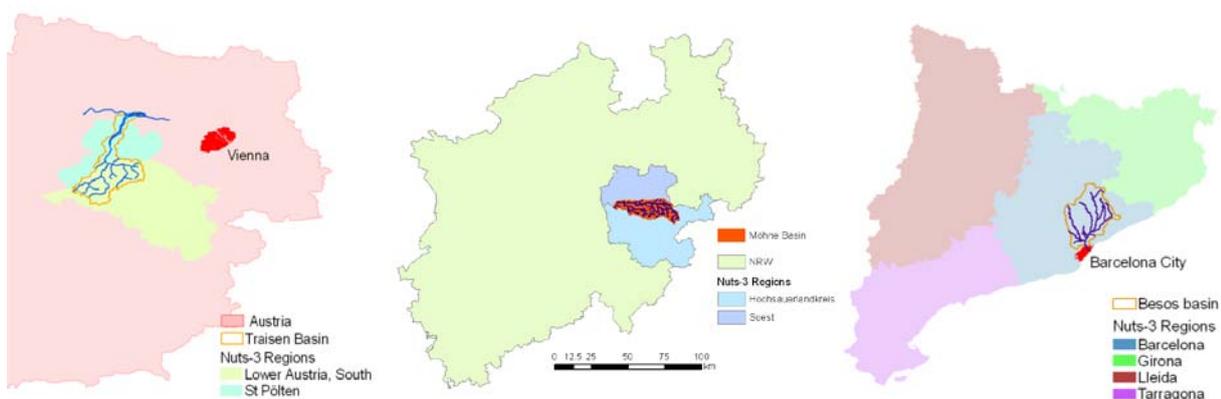


Abb. 1: NUTS-Regionen für die in den Fallbeispielen behandelten Einzugsgebiete von Traisen, Möhne und Besos in Niederösterreich, Nordrhein-Westfalen und Katalonien.

Abbildung 1 zeigt für die in diesem Beitrag behandelten Fallbeispiele NUTS-Regionen unterschiedlicher Ebenen. Die Ebene 3 bietet sich für die Expositionsanalyse aus drei Gründen besonders an:

- Nationale Daten sollten nicht mehr als zwei Ebenen disaggregiert werden, um die Anonymität zu wahren. Eine weitergehende Disaggregation spiegelt eine Detailliertheit vor, die angesichts der Erhebungsverfahren nicht angemessen ist.
- Hochwasserschutzmaßnahmen betreffen häufig größere Gebietskörperschaften. Je mehr sich regionale Ebene der für eine Entscheidung erhobenen Daten und die Perspektive der Entscheider decken, umso besser sind diese Daten für die Entscheidung geeignet.
- Die Betrachtungsebene der Europäischen Union ist bei Ihren Maßnahmen zur Daseinsvorsorge stets eine regionale. Die in der Wasserrahmen- und Hochwasserrichtlinie geforderte Beteiligung der Öffentlichkeit kann nur dann repräsentativ sein, wenn sie über die institutionellen Verflechtungen der lokalen Ebene hinausgeht

3. Die essentiellen Volkswirtschaftlichen Größen

Anlagevermögen. Das Anlagevermögen wird in Form eines perpetuierenden Inventars jährlich aus den Investitionen und den Abschreibungen errechnet und veröffentlicht.

Die Gliederungstiefe der veröffentlichten Daten – und damit ihr Regionalisierungsaufwand - ist in den Staaten der Europäischen Union sehr unterschiedlich. Einem hohen Aufwand für Österreich, der sich mit Daten nationaler Agenturen bewältigen lässt, steht ein ebenfalls nicht geringer Aufwand für Deutschland gegenüber, der die Verwendung von Daten der OECD erfordert. Dass ein Kapitalstock auf Kreisebene eine volkswirtschaftlich sinnvolle Größe ist, beweist Spanien. Hier legt eine öffentliche Stiftung solche Daten zur weiteren Verwendung vor.

Erwerbstätige. Als Erwerbstätige werden alle Personen angesehen, die innerhalb eines Wirtschaftsgebietes einer Erwerbstätigkeit oder mehreren Erwerbstätigkeiten nachgehen, unabhängig von der Dauer der tatsächlich geleisteten oder vertragsmäßig zu leistenden wöchentlichen Arbeitszeit. (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2008a).

Für Deutschland liegen die Erwerbstätigen auf der Ebene NUTS 2 nach NACE-Ebene 1 und für NUTS 3 (DESTATIS 2010). Für Österreich stellt Statistik Austria die Erwerbstätigen am Arbeitsort bereit. In Spanien stellt INE die Beschäftigung am Arbeitsort für Ebene NUTS 2 NACE Ebene 1 und für das Verarbeitende Gewerbe auch in höherer Auflösung bereit. Für die Ebene NUTS 3 liegen Angaben nach Sektoren vor.

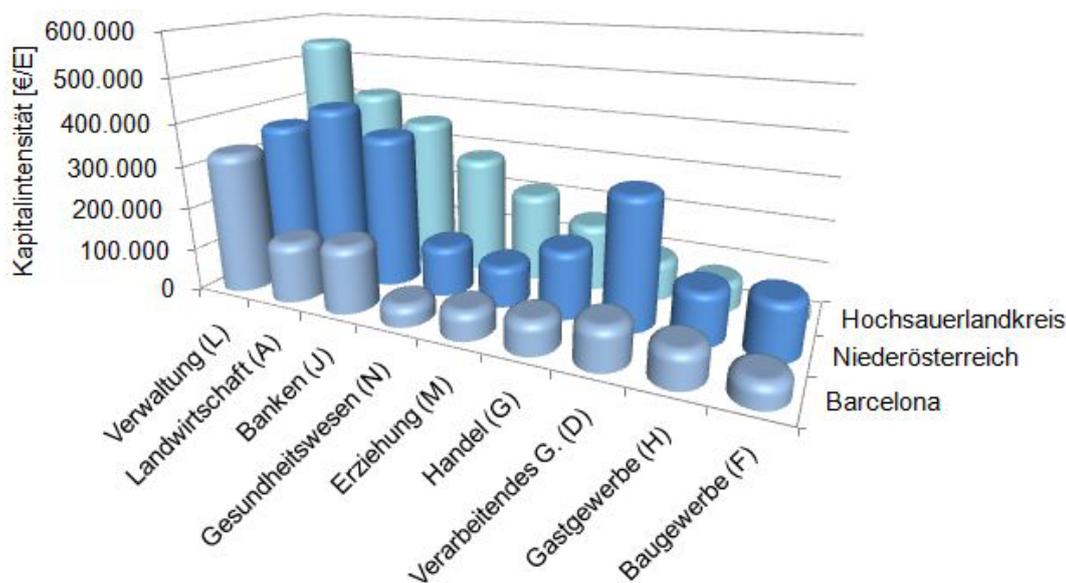


Abb. 2: Kapitalintensitäten für die NUTS-3 Regionen Niederösterreich-Sankt Pölten, Hochsauerlandkreis und Barcelona. Von den 17 NACE-Aktivitäten der Ebene 1 sind diejenigen angegeben, die in der hochwassergefährdeten Fläche häufig anzutreffen sind.

Wertschöpfung. Die Wertschöpfung misst den Beitrag zur gesamtwirtschaftlichen Leistung. Aus der Angabe der Wertschöpfung pro Arbeitnehmer und Arbeitstag lässt sich einfach errechnen, welche volkswirtschaftlichen Leistungsausfälle im Fall einer Betriebsunterbrechung auftreten. Für Deutschland stellt der Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung die Wertschöpfung auf der Ebene NUTS 3 zur Verfügung (STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 2008b). Für Österreich stellt Statistik Austria die Wertschöpfung für die Ebene NUTS 1 (Bundesländer) und NACE Ebene 1 zur Verfügung. Für Spanien stellt das Instituto

Nacional de Estadística (INE) Daten für die Ebene NUTS 2 auf NACE Ebene 1 bereit. Die Regionalisierung auf NUTS-Ebene 3 ist wo erforderlich mit den Angaben von Eurostat zur Wertschöpfung nach Sektoren möglich, die sie für die Ebenen NUTS 0-3 auf ihrem Internetauftritt zur Verfügung stellt.

Kapitalintensität. Im Gegensatz zur Wasserwirtschaft stellt die Kapitalintensität in der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung als der Pro-Kopf-Anteil des Anlagevermögens je Erwerbstätigen eine allgemein

bekanntes Größe dar. Sie misst den durchschnittlichen Kapitaleinsatz je Erwerbstätigen. Als Quotient aus regionalem Anlagevermögen und regionalen Erwerbstätigen lässt sie sich mit Hilfe der in den Abschnitten 3.1 bis 3.3 angegebenen Daten für jede Aktivität der NACE-Ebene 1 berechnen.

In der Abbildung 2 sind die berechneten Ergebnisse für die NUTS-3 Regionen Niederösterreich-Sankt Pölten, Hochsauerlandkreis und Barcelona dargestellt. Von den 17 NACE-Aktivitäten der Ebene 1 sind diejenigen angegeben, die in hochwassergefährdeten Flächen häufig angetroffen werden. Die Kapitalintensitäten sind regional stark unterschiedlich.

4. Der durchschnittliche volkswirtschaftliche Wert eines Betriebes

Als Produkt aus Kapitalintensität und Beschäftigten eines Betriebes lässt sich sein volkswirtschaftlicher Wert errechnen. Dieser muss mit seinem betriebswirtschaftlichen Wert nicht übereinstimmen. Durch Aggregation, Disaggregation und Regionalisierung erfolgen Glättungen und Mittelwertbildungen, die aus den betriebspezifischen Daten, die der Betrieb an die Finanzämter geliefert hat, eine durchschnittliche, anonymisierte Kapitalintensität erzeugt haben.

Zur Berechnung des Betriebswertes ist die Anzahl der Beschäftigten erforderlich. Während Betriebe über betriebswirtschaftliche Daten lieber Stillschweigen bewahren, sind sie zur Angabe der Anzahl ihrer Beschäftigten gern bereit. Häufig geben bereits ihre Internetauftritte Auskunft darüber und ersparen so jeglichen Befragungsaufwand.

Die stark unterschiedlichen Kapitalintensitäten führen dazu, dass ein Betrieb des verarbeitenden Gewerbes im Bezirk Niederösterreich/Sankt-Pölten den dreifachen volkswirtschaftlichen Wert eines Betriebes im Hochsauerlandkreis oder in Barcelona hat. Ob seine volkswirtschaftliche Bedeutung ebenfalls dreimal höher ist, bemisst sich am regionalen Bruttoinlandsprodukt, nicht am transnationalen Vergleich. Die Vernachlässigung solcher regionaler Unterschiede jedoch bedeutet die Tolerierung erheblicher Fehler.

Der mit dem geschilderten Verfahren berechnete durchschnittliche volkswirtschaftliche Wert eines Betriebes eignet sich in besonderer Weise für Nutzen-Kosten-Untersuchungen:

- Er ist statistisch anonymisiert und kann daher veröffentlicht werden,
- er entspricht der Betrachtungsebene des Entscheiders,
- er ist transparent, nachvollziehbar und zu geringen Kosten ermittelbar.

5 Risikoanalyse

5.1 Weitere Eingangsdaten

Für eine Risikoanalyse sind, neben den in Kapitel 3 hergeleiteten, weitere räumliche Informationen erforderlich. Diese sind die Gefährdung und die Empfindlichkeit der exponierten Objekte. Zur Abbildung der Lage der gefährdeten Objekte im Raum empfiehlt sich die Verwendung von Luftbildern, da diese einerseits europaweit verfügbar sind und andererseits in Verbindung mit einer Bereisung detaillierte Informationen über Lage und Nutzung liefern. Hierin sind sie Landnutzungsdatensätzen wie ATKIS oder CORINE weit überlegen.

Die Gefährdung wird häufig mit eindimensionalen, seltener mit zweidimensionalen hydrodynamischen Simulationen der Überflutungsgefährdung ermittelt. Die Abbildung 3 zeigt ein Luftbildausschnitt der Gemeinde Santa Maria de Montcada im Einzugsgebiet des Besos, Region Barcelona, überlagert mit Überflutungsflächen der Jährlichkeiten 50, 100 und 500 aus einer katalanischen Studie zur Hochwassergefährdung (AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA 2001). Die Verteilung der Exposition ist typisch und so auch in Österreich und Deutschland häufig anzutreffen: In Talrandlage befinden sich (ältere) Wohngebiete, während die Talsohle von Dienstleistern und dem verarbeitenden Gewerbe genutzt wird.

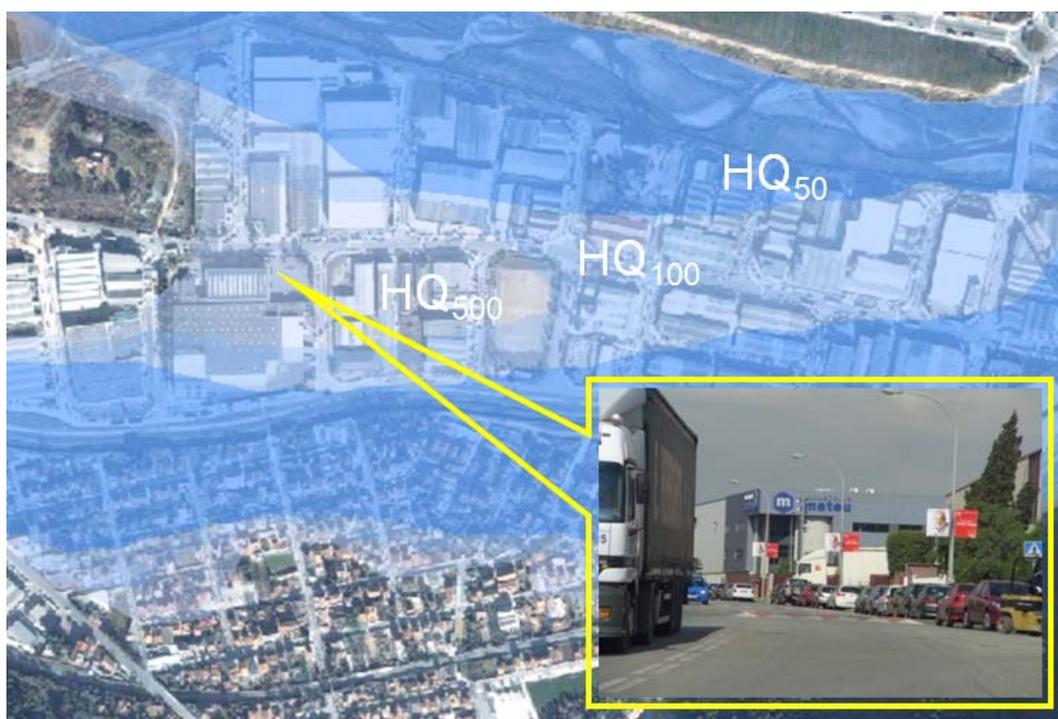


Abb. 3: Santa Maria de Montcada im Luftbild, mit 50- 100- und 500-jährlichen Überflutungsflächen, sowie Abbildung eines Dienstleistungsbetriebes in der gefährdeten Fläche.

Für jedes betroffene Gebäude wird mit Hilfe des Luftbildes ein Referenzpunkt festgelegt. Anschließend wird aus der Überflutungsberechnung an den Referenzpunkten die Überflutungstiefe berechnet. Für die Ermittlung der Vulnerabilität ist weiterhin eine relative Schadenfunktion zur Abbildung der Empfindlichkeit erforderlich. Da die empirische Ableitung von Schadenfunktionen aus kleinen Schadendatenkollektiven die wahrscheinlich größte Fehlerquelle in Risiko-

analysen darstellt, ist die Verwendung von standardisierten Schadenfunktionen zu empfehlen. Die Neu- und Weiterentwicklung von Schadenfunktionen bleibt dennoch wichtiger Forschungsgegenstand.

Für das diesen Beitrag begleitende Anwendungsbeispiel des ERANET CRUE Forschungsprojekts EWASE (SCHRÖTER et al. 2008a) wurden die Schadenfunktionen des IKSR-Rheinatlases (IKSR 2001) sowie zwei Schadenfunktionssätze der Pro Aqua GmbH (MURL 2000, GWD 2001,) verwendet. Für Österreich standen weiterhin die Überflutungsflächen aus dem HORA-Projekt für die Jährlichkeiten 30, 100 und 200 zur Verfügung (BMLFUW 2006).

5.2 Vergleichende Schadenpotentialanalyse

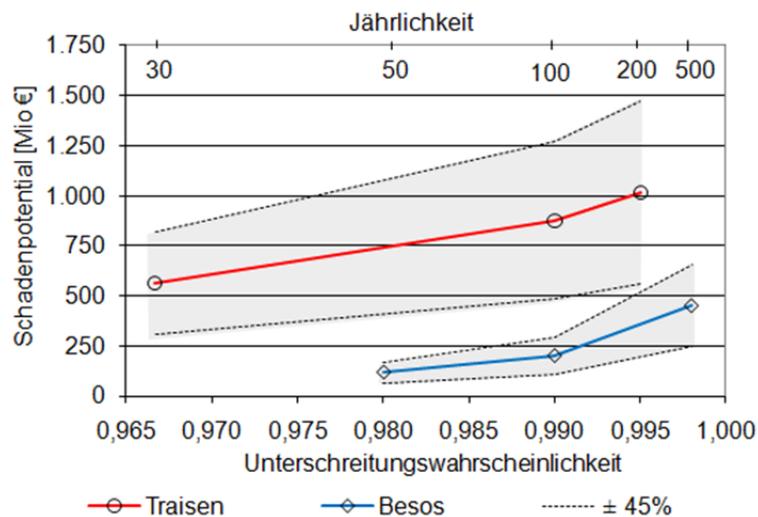


Abb. 4: Vergleichende Schadenpotentialanalyse für das Einzugsgebiet des Besos (Barcelona) und der Traisen (Niederösterreich, Sankt Pölten) (SCHRÖTER et al. 2008a).

Für die Ermittlung des Risikos ist die Bestimmung der Vulnerabilität für Hochwasserereignisse unterschiedlicher Jährlichkeit erforderlich. Die Abbildung 4 zeigt die für die Einzugsgebiete der Traisen und des Besos ermittelten Schadenpotentiale. Gezeigt ist der von den unterschiedlichen Schadenfunktionssätzen aufgespannte Unsicherheitsbereich (grau) mit einem gewichteten Mittelwert für die Traisen (rot) und den Besos (blau). Der untere Rand wird durch die IKSR- und Funktionen aus MURL (2000), der obere Rand hingegen durch die für die obere Donau in GWD (2001) abgeleiteten Funktionen beschrieben. Leider lagen die Überflutungsflächen in den Einzugsgebieten nicht für Ereignisse gleicher Jährlichkeit vor. Dennoch ist einfach zu erkennen, dass die Schadenpotentiale im Einzugsgebiet der Traisen wesentlich höher sind.

5.3 Innovative vergleichende Risikoanalyse

Im Forschungsprojekt EWASE war die Wirksamkeit und Effizienz von Frühwarnsystemen für von Sturzfluten bedrohte Gebiete Gegenstand der Bewertung. Die Effizienz der Warnung wurde mittels eines Fragebogens bei potentiell betroffenen Betrieben erhoben. Sie wurden gefragt, um welchen Anteil sie ihren potentiellen Hochwasserschaden bei einer bestimmten Vorwarnzeit reduzieren könnten. Die Regression an die Befragungsdaten ist in Abbildung 5 blau dargestellt und wird weiter als Schadenreduktionskurve verwendet. Für die Anwendung an der Traisen wurde die Regression bis 20 Stunden extrapoliert. Für beide Einzugsgebiete wird also dieselbe Schadenreduktionskurve verwendet.

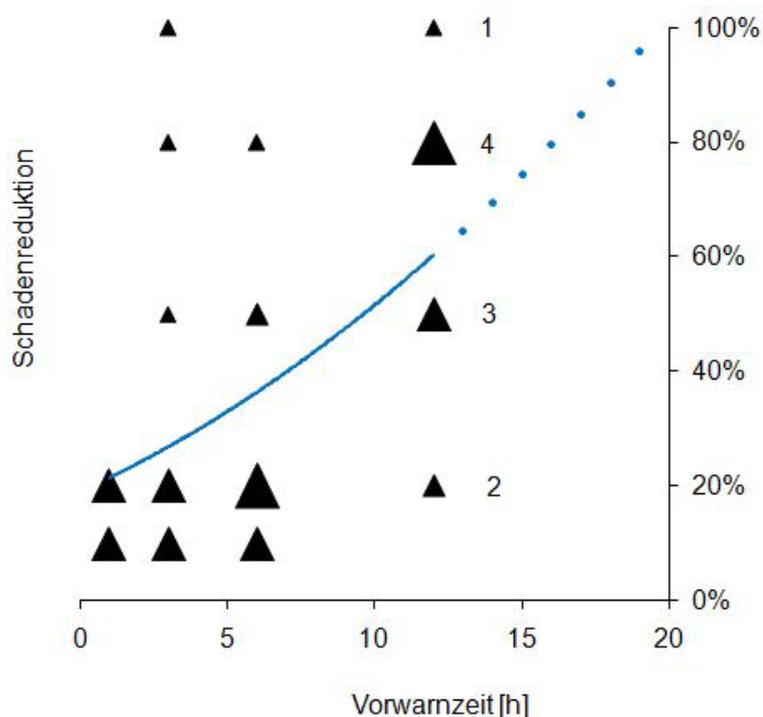


Abb. 5: Schadenreduktion in Abhängigkeit der Vorwarnzeit.

Die Stichprobe ist klein und daher ihre Aussage nicht repräsentativ. Die Zuverlässigkeit existierender (Traisen) bzw. möglicher (Besos) radarbasierter Frühwarnsysteme untersuchten SCHRÖTER et al. (2008a). Ein Ergebnis dieser Arbeit sind unter anderem die in Abbildung 6 als gelb punktierte Linien dargestellten Zuverlässigkeitskurven für das System im Besos links und an der Traisen rechts. Die Zuverlässigkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein t Stunden früher vorhergesagtes Ereignis auch tatsächlich eintritt. Vorwarnzeiten von t bei 2 Stunden haben in beiden Systemen eine Zuverlässigkeit knapp über 60%. Während die Zuverlässigkeit für das System im Einzugsgebiet des Besos danach steil abfällt, um bei 6 Stunden Werte um 10% zu erreichen, sinkt sie für das System an der Traisen nur allmählich auf 20% bei 20 Stunden ab. Die Unterschiede sind einerseits technisch, andererseits klimatisch bedingt.

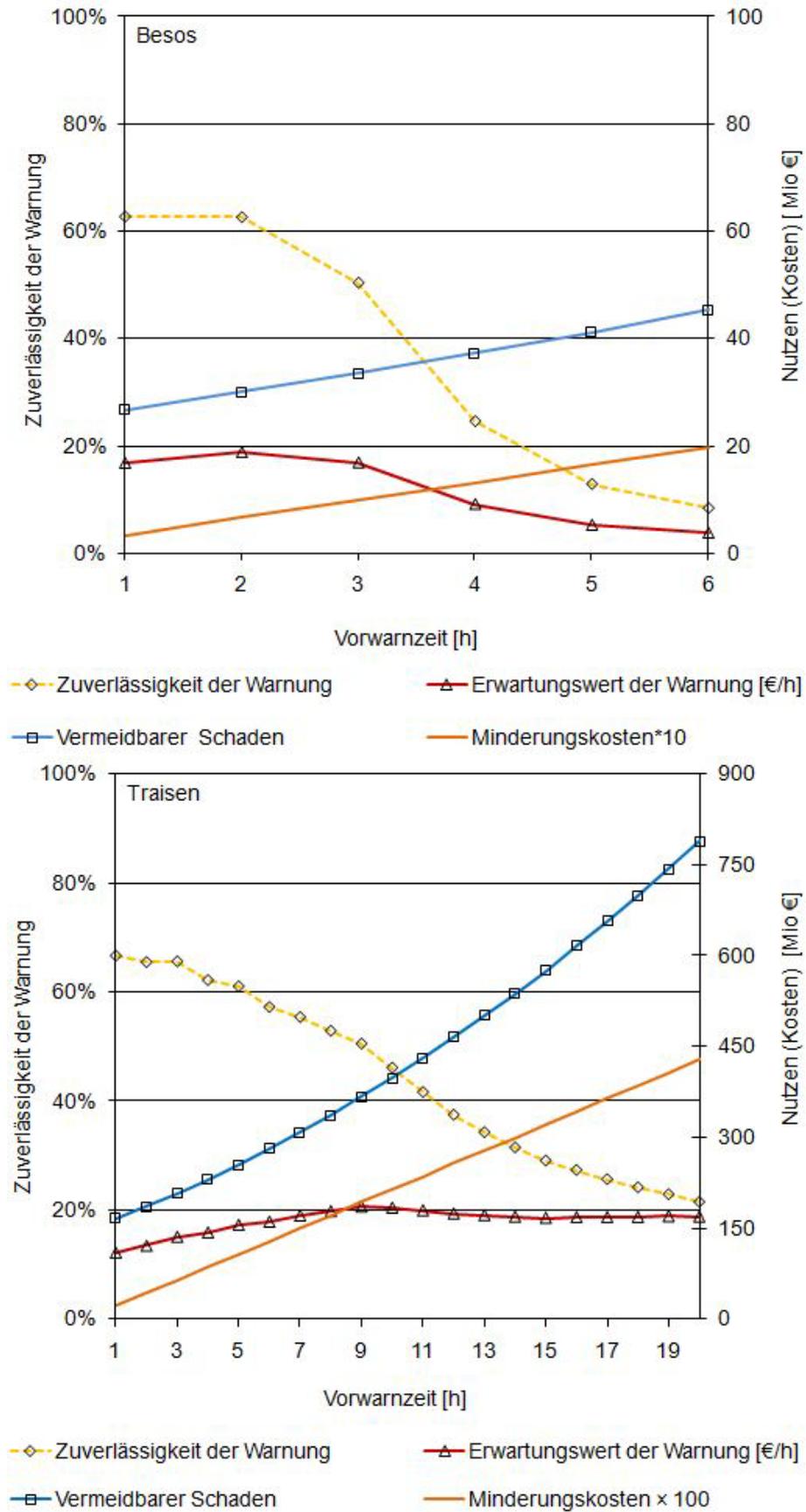


Abb. 6: Erwartungswert einer Warnung.

Als Produkte der Expositionsanalyse stellt Abbildung 6 in blauen Linien den vermeidbaren Schaden eines zweihundertjährigen Hochwasserereignisses und mit orangefarbenen Linien den dafür zu treibenden Aufwand, die Minderungskosten, dar. Der Vermeidbare Schaden berechnet sich als Produkt des mittleren Schadenpotentials aus Abbildung 4 und der Schadenreduktionskurve aus Abbildung 5. Die Minderungskosten werden durch die entgangene Wertschöpfung angenähert. Es wird dabei unterstellt, dass die Erwerbstätigen einer Unternehmung ihre produktive Arbeit einstellen, um schadensmindernde Maßnahmen durchzuführen.

Die Minderungskosten sind aus darstellungstechnischen Gründen um den Faktor 100 vergrößert.

Das Produkt aus (vermiedener) Vulnerabilität und Eintrittswahrscheinlichkeit einer Gefahr ergibt ein (vermiedenes) Risiko mit der Einheit Betrag pro Zeit. Abbildung 6 zeigt ein solches Produkt: Aus Zuverlässigkeit der Warnung und vermeidbarem Schaden berechnet und mit einer dunkelroten Linie dargestellt, bezeichnen wir es als Erwartungswert der Warnung. Es trägt die Einheit Euro pro Stunde, da die Zuverlässigkeit sich auf Stunden Vorwarnzeit bezieht. Das Maximum dieses Erwartungswertes zeigt die optimale Vorwarnzeit an. Sie beträgt für den Besos zwei, für die Traisen hingegen neun Stunden. Wegen des höheren vermeidbaren Schadens könnten an der Traisen damit Vorwarnungen mit geringerer Zuverlässigkeit (50%) als am Besos (63%) veröffentlicht werden. Der Erwartungswert der Warnung stellt damit Entscheidungsträgern ein zusätzliches ökonomisches Entscheidungskriterium zur Verfügung.

6. Diskussion

Dem öffentliche Charakter der Hochwasservorsorge wird man bei der Bewertung ihres Nutzens am besten durch die Verwendung volkswirtschaftlicher Daten gerecht, da beide auf das Gemeinwohl ausgerichtet sind. Diese Daten haben die zusätzlichen Vorteile, dass sie europaweit qualitätsgesichert erhoben werden und kostenfrei zur Verfügung stehen. Ihre Standardisierung erlaubt im Rahmen von Bewertungsgutachten transnationale Vergleiche. Die Reduktion auf die drei essentiellen Größen Anlagevermögen, Wertschöpfung und Erwerbstätige macht darauf basierende Gutachten transparent und nachvollziehbar. Die Kapitalintensität als Quotient aus Anlagevermögen und Erwerbstätigen einer ökonomischen Aktivität stellt eine einfach nachvollziehbare Größe dar und lässt sich für zahlreiche Wirtschaftsbereiche ableiten. Wird aus ihr und den Erwerbstätigen eines Betriebes ein durchschnittlicher volkswirtschaftlicher Betriebswert für eine bestimmten Branche und Größe ermittelt, entspricht dies dem öffentlichen Charakter der Hochwasservorsorge. In der hier vorgestellten Kombination mit Luftbildern lässt sich dieser Wert einfach plausibilisieren. Diese Möglichkeit bieten Landnutzungsdatensätze wie CORINE oder ATKIS nicht. Die Anwendungsbeispiele aus unterschiedlichen europäischen Regionen demonstrieren die Effizienz des vorgeschlagenen Verfahrens. Die konsequente Anwendung des vorgestellten Verfahrens erlaubt einerseits belastbare klassische Risikoanalysen und ermöglicht andererseits überraschende Anwendungen wie die hier vorgestellte ökonomische Optimierung von Vorwarnung.

Literatur

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA, 2001: Delimitació de zones inundables per a la redacció de l'INUNCAT. Conques internes de Catalunya. Barcelona.
- BRONSTERT, A. (Hrsg.) (2004): Möglichkeiten zur Minderung des Hochwasserrisikos durch Nutzung von Flutpoldern an Havel und Oder. Schlussbericht zum BMBF-Projekt im Rahmen des Vorhabens „Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel“.
- BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006): Hochwasserrisiko – HORA. Wassernet 23.05.2006.
- GWD Gewässerdirektionen Donau/Bodensee und Südlicher Oberrhein/Hochrhein, Baden-Württemberg (2001): Potentielle Hochwasserschäden an der Donau in Baden-Württemberg und an Brigach und Breg.
- IKSR Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (2001): Übersichtskarten der Überschwemmungsgefährdung und der möglichen Vermögensschäden am Rhein. Abschlußbericht: Vorgehensweise zur Ermittlung der hochwassergefährdeten Flächen, Vorgehensweise zur Ermittlung der möglichen Vermögensschäden.
- MERZ, B. & M. GOCHT (2001): Risikoanalyse Seckach-Kirnau. Teil II: Ermittlung von Schadenpotentialen, Nutzen-Kosten-Analyse. Gutachten im Auftrag des Zweckverbandes Hochwasserschutz Einzugsbereich Seckach/Kirnau, unveröffentlicht, Geo-Forschungszentrum Potsdam.
- MURL Ministerium für Umwelt Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (2000): Hochwasserschadenspotenziale am Rhein in Nordrhein-Westfalen, Abschlussbericht. Düsseldorf.
- SCHRÖTER, K., M. GOCHT, M. OSTROWSKI, C. RUBIN, H.P. NACHTNEBEL (2008a): EWASE - Early Warning Systems Efficiency – Evaluation of Flood Forecast Reliability. Proceedings of the European Conference on Flood Risk Management: Research into Practice (Floodrisk 2008), Oxford, UK, 30. September – 02. October. CRC Press Boca Raton... .
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2008a): Anlagevermögen in den Ländern und Ost-West-Großraumregionen Deutschlands 1991 bis 2006. Reihe 1, Band 4.
- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2008b): Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung in den kreisfreien Städten und Landkreisen Deutschlands 1992 und 1994 bis 2006. Reihe 2, Band 1.
- UNITED NATIONS (2002): International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC). Statistical Papers Series M, No. 4, Rev.3.1
- VERORDNUNG (EG) Nr. 2223/1996 DES RATES vom 25. Juni 1996 zum Europäischen System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen auf nationaler und regionaler Ebene in der Europäischen Gemeinschaft
- VERORDNUNG (EG) Nr. 29/2002 DER KOMMISSION vom 19. Dezember 2001 zur Änderung der Verordnung (EWG) Nr. 3037/90 des Rates betreffend die statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft
- VERORDNUNG (EG) Nr. 1059/2003 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Mai 2003 über die Schaffung einer gemeinsamen Klassifikation der Gebietseinheiten für die Statistik (NUTS)

Autorenverzeichnis

Ahlhorn, Frank, Dr., Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Zentrum für Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung (COAST), 26111 Oldenburg, Tel.: 0441-798-4073, Fax.: 0441-798-4798, Email: ahlhorn@icbm.de

Apel, Dr. Heiko, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 5.4 – Hydrologie, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, 0331 288 1538, 0331 288 1570, hapel@gfz-potsdam.de

Bieger, Katrin, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Ökologie-Zentrum, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, Olshausenstr. 75, 24118 Kiel, 0431 880 1238, 0431 880 4607, kbieger@hydrology.uni-kiel.de

Blöschl, Univ.Prof. Günter, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien, Tel: +43-1-58801- 22315, Fax: +43-1-58801-22399, e-mail: bloeschl@hydro.tuwien.ac.at

Beersma, Jules J. Dr., Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), P.O. Box 201, 3730 AE De Bilt, Netherlands, Tel.: ++31 (030) 2206 475, Fax: ++31 (030) 2210 407, e-mail: jules.beersma@knmi.nl

Bormann, Helge, Apl.-Prof. Dr., Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, 26111 Oldenburg, Tel.: 0441-798-4459, Fax.: 0441-798-3769, Email: helge.bormann@uni-oldenburg.de

Bronstert, Axel, Prof. Dr., Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Geoökologie, Abteilung für Hydrologie und Klimatologie, Karl-Liebknecht-Strasse 24-25, 14476 Potsdam-Golm, Komplex II, Haus 1, Tel. (+49)331 977 2548, Fax. (+49)331 977 2092, axelbron@uni-potsdam.de

Carambia, Maria, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz, Tel.: ++49 (0261) 1306 5491, Fax: ++49 (0261) 1306 5280, e-mail: carambia@bafg.de

Cai, Prof. Dr. Qinghua, State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 7 Donghu Nanlu, Wuhan 430072, China, +86 27 68780865, qhcai@ihb.ac.cn

Casper, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus, Universität Trier Fachbereich VI – Geographie/Geowissenschaften, Behringstrasse, 54286 Trier, 0651-201 4518, 0651-201 3976, casper@uni-trier.de

Cassel-Gintz, Martin, Dr, KLIFF - Kaiserslautern Institute for Flood Management & River Engineering, Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft, Paul-Ehrlich-Straße 14, 67663 Kaiserslautern, Tel.: +49(0)631/205-3110, Fax: +49 (0)631/205-3904, cassel@rhrk.uni-kl.de

Chmielecki, Stephan; Ingenieurbüro für Grundwasser, Nonnenstraße 9, 04229 Leipzig, Tel: 03412256118, Fax: 03414801757, s.chmielecki@ibgw-leipzig.de

Claussen, Kai, DHI-WASY GmbH, Waltersdorferstr 105, 12526 Berlin, Tel.: 030-6799980, Fax: 030-67999899, k.claussen@dhi-wasy.de

Cyffka, Bernd, Univ.-Prof Dr., KU Eichstätt-Ingolstadt, Professur für Angewandte Physische Geographie, Leiter Aueninstitut Neuburg, Ostenstr. 18, 85072 Eichstätt, Tel.: 08421/93-1392, Fax: 08421/93-1787, Bernd.Cyffka@ku-eichstaett.de

Dietrich, Dr.-Ing. Otfried, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V. Müncheberg, Institut für Landschaftswasserhaushalt, Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, Tel.: 033432/82305, Fax.: 033432/82301, odietrich@zalf.de

Disse, Markus Univ.-Prof Dr.-Ing., Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen - Professur für Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz, Werner-Heisenberg-

Weg 39, 85577 Neubiberg, Tel. 089 – 6004 3491, Fax 089 – 6004 4642, Markus.Disse@unibw.de

Dobler, Christian, Mag., Institut für Geographie, Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck, Tel.: +43 (0)512 507 5423, Fax: +43 (0)512 507 2895, e-mail: christian.dobler@uibk.ac.at

Dockhorn, Thomas PD Dr.-Ing. habil., Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig, Pockelsstr. 2a, 38106 Braunschweig, Tel: 0531-391-7937, Fax: 0531-391-7947, t.dockhorn@tu-bs.de

Evers, Mariele, Prof. Dr.-Ing., Institut für Umweltstrategien, Leuphana Universität Lüneburg, Scharnhorststraße 1, 21335 Lüneburg, 04131-6772841, evers@uni.leuphana.de

Feldmann, Dipl.-Ing. Jan, smile consult GmbH, Vahrenwalder Straße 7, 30165 Hannover, Tel.: 0511 – 93 57 622, Fax 0511 – 93 57 629, e-mail: feldmann@smileconsult.de

Fleischhammel, Petra Dipl.-Ing., Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Hydrologie und Wasserwirtschaft, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus, Telefon +49-355-694338, Fax +49-355-694235, e-mail petra.fleischhammel@tu-cottbus.de

Fohrer, Prof. Dr. Nicola, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Ökologie-Zentrum, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, Olshausenstr. 75, 24118 Kiel, 0431 880 1276, 0431 880 4607, nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

Gauer, Dr. Jürgen, Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd Rheinland-Pfalz - Zentralstelle der Forstverwaltung- Außenstelle Forsteinrichtung Koblenz, Südallee 15-19, 56068 Koblenz

Giani, Luise, Apl.-Prof. Dr., Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, 26111 Oldenburg, Tel.: 0441-798-3335, Fax.: 0441-798-3769, Email: luise.giani@uni-oldenburg.de

Gocht, Martin, Dipl.-Ing. MBA, Technische Universität Braunschweig, „Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung für Hydrologie, Wasserwirtschaft, und Gewässerschutz, Beethovenstrasse 51a, D-38106 Braunschweig, 0531 3919356, m.gocht@tu-bs.de

Gretzschel, Manuela, Dr, KLIFF - Kaiserslautern Institute for Flood Management & River Engineering, Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft, Paul-Ehrlich-Straße 14, 67663 Kaiserslautern, Tel.: +49(0)631/205-3110, Fax: +49 (0)631/205-3904, gretzsch@hrk.uni-kl.de

Grigoryan, Dipl.-Umweltwiss. Gayane, Universität Trier Fachbereich VI – Geographie/Geowissenschaften, Behringstrasse, 54286 Trier, 0651-201 4556, 0651-201 3976, grigorya@uni-trier.de

Grünewald, Uwe Dr. rer. nat. habil., Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Hydrologie und Wasserwirtschaft, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus, Telefon +49-355-694233, Fax +49-355-694235, e-mail uwe.gruenewald@tu-cottbus.de

Hartmann, Andreas Dipl.-Ing., Stadtentwässerung Braunschweig, Steinweg 26, 38100 Braunschweig, Tel: 0531-38345-000, Fax: 0531-38345-001

Hinkelmann, Prof. Dr.-Ing., Reinhard, Technische Universität Berlin, Fachgebiet Wasserwirtschaft und Hydrosystemmodellierung, Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin, Tel.: 030 – 31472307, Fax 030 – 314 72430, e-mail: reinhard.hinkelmann@wahyd.tu-berlin.de

Hörmann, Dr. Georg, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Ökologie-Zentrum, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, Olshausenstr. 75, 24118 Kiel, 0431 880 1207, 0431 880 4607, ghoermann@hydrology.uni-kiel.de

Huber, Anton, Prof. Dr., Instituto de Geociencias, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Campus IslaTeja, Tel. (+56)63-22-1359, ahuber@uach.cl

Hung, Nguyen Nghia, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 5.4 – Hydrologie, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, 0331 288 1555, 0331 288 1570, hung@gfz-potsdam.de

Jakobs, Dipl.-Ing. Frauke, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Rennbahnallee 109A, 15366 Hoppegarten, Tel.: 03342 – 35 95 22, Fax 03342 – 35 95 29, e-mail: f.jakobs@sieker.de

Jüpner, Robert, Prof. Dr, KLIFF - Kaiserslautern Institute for Flood Management & River Engineering, Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft, Paul-Ehrlich-Straße 14, 67663 Kaiserslautern, Tel.: +49(0)631/205-3805, Fax: +49 (0)631/205-3904, juepner@rhrk.uni-kl.de

Kaden, Stefan, Prof. Dr., DHI-WASY GmbH, Waltersdorferstr 105, 12526 Berlin, Tel.: 030-6799980, Fax: 030-67999899, s.kaden@dhi-wasy.de

Kaltofen, Michael, Dr.-Ing., DHI-WASY GmbH, NL Dresden, Comeniusstr. 109, 01309 Dresden, 0351-31438311, M.Kaltofen@dhi-wasy.de

Keilholz, Patrick M. Eng., Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen - Professur für Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, Tel. 089 – 6004 3860, Fax 089 – 6004 4642, Patrick.Keilholz@unibw.de

Kirnbauer, Robert, Ass.Prof., Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien, Tel: +43-1-58801- 22320, Fax: +43-1-58801-22399, e-mail: kirnbauer@hydro.tuwien.ac.at

Klaassen, Kirsten, Dr., Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften, 26111 Oldenburg, Tel.: 0441-798-4683, Fax.: 0441-798-3769, Email: kirsten.klaassen@uni-oldenburg.de

Klein, Daniel Dipl.-Geoökol., Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig, Pockelsstr. 2a, 38106 Braunschweig, Tel: 0531-391-7942, Fax: 0531-391-7947, d.klein@tu-bs.de

Klenke, Thomas, Dr., Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Zentrum für Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung (COAST), 26111 Oldenburg, Tel.: 0441-798-4799, Fax.: 0441-798-4798, Email: thomas.klenke@uni-oldenburg.de

Köplin, Nina, Dipl. Geograph, Institute of Geography Hydrology Group Oeschger Centre for Climate Change Research University of Bern Hallerstrasse 12 CH-3012 Bern +41(0)316318550 nina.koepelin@giub.unibe.ch

Komma, Jürgen, DI, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien, Tel: +43-1-58801- 22316, Fax: +43-1-58801-22399, e-mail: komma@hydro.tuwien.ac.at

Krahe, Peter, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz, Tel.: ++49 (0261) 1306 5325, Fax: ++49 (0261) 1306 5234, e-mail: krahe@bafg.de

Lange, Carsten, Dipl.-Ing., Technische Universität Berlin, Fachgebiet Wasserwirtschaft und Hydrosystemmodellierung, Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin, Tel.: 030 – 31472312, Fax 030 – 314 72430, e-mail: carsten.lange@wahyd.tu-berlin.de

Lange, Leonie, Dipl.-Umweltwiss., Institut für Umweltstrategien, Leuphana Universität Lüneburg, Scharnhorststraße 1, 21335 Lüneburg, 04131-6772873, llange@leuphana.de

Lindenschmidt, Karl-Erich, Dr., Manitoba Water Stewardship, Surface Water Management, Box 14, 200 Saulteaux Crescent, Winnipeg, Manitoba, Canada, R3J 3W3, Tel.: ++1-204-945-7657, Fax: ++1-204-945-7419, e-mail: karl-erich.lindenschmidt@gov.mb.ca

Lüllwitz, Thomas, Dr., M.Sc., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz, 0261-1306-5879, luellwitz@bafg.de

Marengwa, Jeff, Dipl.-Ing. (FH), M.Sc., Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer, Sachsenkamp 1-3, 20097 Hamburg, Tel.: 040 4228262518, Fax:040 428262583, Jeff.Marengwa@lsbg.hamburg.de

Maßmann, Dipl.-Ing. Stefanie, smile consult GmbH, Vahrenwalder Straße 7, 30165 Hannover, Tel.: 0511 – 93 57 622, Fax 0511 – 93 57 629, e-mail: massmann@smileconsult.de

Meon, Günter, Prof. Dr.-Ing., Technische Universität Braunschweig, ,Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung für Hydrologie, Wasserwirtschaft, und Gewässerschutz, Beethovenstrasse 51a, D-38106 Braunschweig, 0531 3919350, g.meon@tu-bs.de

Merz, Bruno, Prof. Dr. rer. nat. habil Dr.-Ing., Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, Sektion 5.4 – Hydrologie, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Tel.: +49-331-288-1500, Fax: +49-331-288-1570, e-mail: bmerzqstat@gfz-potsdam.de

Merz, Ralf, PD Dipl.-Ing. Dr.techn., Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, Karlsplatz 13/222, A-1040 Wien, AUSTRIA, Tel: +43 1 58801 22312, Fax: +43 1 58801 22399, email: merz@hydro.tuwien.ac.at

Mey, Silke, Büro für Angewandte Hydrologie, Köberlesteig 6, 13156 Berlin, Tel: 03049913705, Fax 03049913709, silke.mey@bah-berlin.de

Müller, Dr. Mike, hydrocomputing UG (haftungsbeschränkt) & Co. KG, Zur Schule 20, 04158 Leipzig, Tel: 0341 260 3370, Fax: 0341 520 4495, mmueller@hydrocomputing.com

Müller, Uwe, Dr.- Ing., Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Abteilung Wasser, Wertstoffe; Zur Wetterwarte 11; 01109 Dresden; Tel.: 0351/89284000, Fax: 0351/89284099; Uwe.Mueller@smul.sachsen.de

Mohr, Christian, Dipl. Geograph, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Geoökologie, Abteilung für Hydrologie und Klimatologie, Universität Potsdam, Karl-Liebknecht-Strasse 24-25, 14476 Potsdam-Golm, Komplex II, Haus 1, Tel. (+49)331 977 2254, Fax. (+49)331 977 2092, cmohr@uni-potsdam.de

Morgenstern, Dr. Yvonne, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Wonnhaldestr.4, 79100 Freiburg i. Br., Tel. 0761 4018 376, yvonne.morgenstern@forst.bwl.de

Natkhin, Marco, Dipl.-Hydrol., Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V. Müncheberg, Institut für Landschaftswasserhaushalt, Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, Tel.: 033432/82350, Fax.: 033432/82301, marcom@zalf.de

Niederberger, Jörg, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft - Abteilung Forstökologie - Sachgebiet Klima und Wasserschutz, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising, Tel.: 08161-71-4940, Fax: 08161-71-4971, email: Joerg.Niederberger@lwf.bayern.de

Nilson, Enno Dr. rer. nat, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz, Tel.: ++49 (0261) 1306 5325, Fax: ++49 (0261) 1306 5280, e-mail: nilson@bafg.de

Om, Yunchol, Dipl.-Ing., Technische Universität Berlin, Fachgebiet Wasserwirtschaft und Hydrosystemmodellierung, Gustav-Meyer-Allee 25, 13355 Berlin, Tel.: 030 – 31472312, Fax 030 – 314 72430, e-mail: yunchol.om@wahyd.tu-berlin.de

Pfaff, Marcel, Technische Universität Dresden, Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, Sektion 5.4 – Hydrologie, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, e-mail: marcel.pfaff@gmx.eu

Pflügner, Dr. Walter, PlanEVAL, Nusselstrasse 2, D-81245 München, Tel. +49-172-8405364, Tel. 089-830508, Fax 089-82909077, info@planeval.de

Pfützner, Dr. Bernd, Büro für Angewandte Hydrologie, Köberlesteig 6, 13156 Berlin, Tel: 03049913702, Fax 03049913709, bah@bah-berlin.de

Pirkl, Herbert, Dr., TB für Geologie, Plenergasse 5/27, A-1180 Wien, e-mail: Herbert.Pirkl@a1.net

Pöhler, Dr. Hannaleena, UDATA – Umweltschutz und Datenanalyse, Carl-Schüller-Str. 30 1/3, 95444 Bayreuth, Tel.: 0921/78638572, Fax: 0921/78638577, email: poehler@udata.de

Puhmann, Heike, Dr., Institut für Hydrologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fahnenbergplatz, 79098 Freiburg, Tel. 0761 203 9277, heike.puhmann@hydrology.uni-freiburg.de

Rachimow, Claudia, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz, Tel.: ++49 (0261) 1306 5325, Fax: ++49 (0261) 1306 5972, e-mail: rachimow@bafg.de

Reiter, Philipp, Universität Trier Fachbereich VI – Geographie/Geowissenschaften, Behringstrasse, 54286 Trier

Rieger, Wolfgang, Dipl.-Ing., Institut für Wasserwesen, Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg, Tel. 08960042477, Fax 08960044642, wolfgang.rieger@unibw.de

Roers, Michael, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz, 0261-1306-5989, roers@bafg.de

Röttcher, Klaus Dr.-Ing, Roettcher Ingenieurconsult, Kunoldstraße 47a, 34131 Kassel, 0561-7661790, 0561-7661791, klaus@roettcher.de

Rogger, Magdalena, DI, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien, Tel: +43-1-58801-22327, Fax: +43-1-58801-22399, e-mail: rogger@hydro.tuwien.ac.at

Schädler, Bruno Dr. Institute of Geography Hydrology Group Oeschger Centre for Climate Change Research University of Bern Hallerstrasse 12 CH-3012 Bern bruno.schaedler@giub.unibe.ch

Schmalz, Dr. Britta, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Ökologie-Zentrum, Institut für Natur- und Ressourcenschutz, Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft, Olshausenstr. 75, 24118 Kiel, 0431 880 1238, 0431 880 4607, bschmalz@hydrology.uni-kiel.de

Schoenheinz, Dagmar Dr.-Ing., Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl Hydrologie und Wasserwirtschaft, Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus, Telefon +49-355-694236, Fax +49-355-694235, e-mail dagmar.schoenheinz@tu-cottbus.de

Scherzer, Dr. Jörg, UDATA – Umweltschutz und Datenanalyse, Hans-Geiger-Str. 18, 67434 Neustadt/Wstr., Tel.: 06321/998944, Fax: 06321/998947, email: scherzer@udata.de

Schroeter, Andreas, IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH, Niederlassung Halle/Merseburg, Passendorfer Weg 01, 60128 Halle (Saale), Tel: +49 0345520880, Fax +49 03455208821, aschroeter@ihu-gmbh.com

Schultze, Dr. Bernd, UDATA – Umweltschutz und Datenanalyse, Carl-Schüller-Str. 30 1/3, 95444 Bayreuth, Tel.: 0921/78638575, Fax: 0921/78638577, email: schultze@udata.de

Sellerhoff, Dr.-Ing. Frank, smile consult GmbH, Vahrenwalder Straße 7, 30165 Hannover, Tel.: 0511 – 93 57 620, Fax 0511 – 93 57 629, e-mail: sellerho@smileconsult.de

Sieker, Dr.-Ing. Heiko, Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Rennbahnallee 109A, 15366 Hoppegarten, Tel.: 03342 – 35 95 15, Fax 03342 – 35 95 29, e-mail: h.sieker@sieker.de

Steidl, Jörg, Dr.-Ing., Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V. Müncheberg, Institut für Landschaftswasserhaushalt, Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, Tel.: 033432/82362, Fax.: 033432/82301, jsteidl@zalf.de

Thoss, Heiko, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 5.4 – Hydrologie, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, 0331 288 1544, 0331 288 1570, thoss@gfz-potsdam.de

Viglione, Alberto, Dr. Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, Technische Universität Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien, Tel: +43-1-58801-22317, Fax: +43-1-58801-22399, e-mail: viglione@hydro.tuwien.ac.at

Viviroli, Daniel, Dr., Institute of Geography Hydrology Group Oeschger Centre for Climate Change Research University of Bern Hallerstrasse 12 CH-3012 Bern viviroli@giub.unibe.ch

Vorogushyn, Sergiy, Dr., Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, Sektion 5.4 – Hydrologie, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Tel.: +49-331-288-1519, Fax: +49-331-288-1570, e-mail: vorogus@gfz-potsdam.de

Weingartner, Rolf, Prof. Dr., Institute of Geography Hydrology Group Oeschger Centre for Climate Change Research University of Bern Hallerstrasse 12 CH-3012 Bern rolf.weingartner@giub.unibe.ch

Wenske, Dieter, IHU Gesellschaft für Ingenieur-, Hydro- und Umweltgeologie mbH, Büro Nordhausen am Harz, Am Sportplatz 01, 99734 Nordhausen, Tel: +49 0363189060, Fax +49 03631890629, dwenske@ihu-gmbh.com

Wilpert, Klaus-Hermann, v., Dr., Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Wonnhaldestr.4, 79100 Freiburg i. Br., Tel. 0761 4018 173, klaus.wilpert@forst.bwl.de

Schriftenreihe Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Bisher erschienene Hefte

- Heft 01.02 Wechselwirkungen zwischen Grundwasserleitern und Oberflächengewässern
Beiträge zum Tag der Hydrologie 2002 am 20./21. März 2002 in Suderburg
Herausgeber: Hartmut Wittenberg und Matthias Schöniger
210 Seiten, 63 Abbildungen, Format A4
ISBN: 3-936514-22-4 vergriffen
- Heft 02.02 Hochwassermanagement – Gefährdungspotenziale und Risiko der Flächennutzung
Beiträge zum Seminar am 7./8. November 2002 in Koblenz
Herausgeber: Hans-B. Kleeberg und Günter Meon
201 Seiten, 43 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-936514-26-7 vergriffen
Aktualisierte Neuauflage erschienen als Heft 02.03
Beiträge zum Seminar am 12./13. Juni 2003 in Weimar
Herausgeber: Hans-B. Kleeberg und Günter Meon
200 Seiten, 65 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-924063-58-3 vergriffen
- Heft 03.03 Numerische Simulationsmodelle für Fließgewässer
Beiträge zum Seminar am 12./13. Mai 2003 in Stein bei Nürnberg
Herausgeber: Siegfried Bloß und Hans-B. Kleeberg
185 Seiten, 32 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-924063-57-5 vergriffen
Aktualisierte Neuauflage erscheinen als Heft 03.05
Beiträge zum Seminar am 15. März 2005 in Dortmund
Herausgeber: Siegfried Bloß und Hans-B. Kleeberg
185 Seiten, 65 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-924063-57-5 vergriffen
- Heft 04.03 Klima – Wasser – Flussgebietsmanagement – im Lichte der Flut
Beiträge zum Tag der Hydrologie 2003 am 20./21. März 2003 in Freiburg i.Br.
Herausgeber: Hans-B. Kleeberg
Band1 Vorträge, 270 Seiten, 144 Abbildungen, Format A4
Band 2 Poster, 194 Seiten 105 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-924063-59-1 vergriffen
- Heft 05.04 Wasser- und Stofftransport in heterogenen Einzugsgebieten
Beiträge zum Tag der Hydrologie 2004 am 22./23. März 2004 in Potsdam
Herausgeber: Axel Bronstert, Annegret Thieken, Bruno Merz,
Michael Rode, Lucas Menzel
Band1 Vorträge, 221 Seiten, 88 Abbildungen, Format A4
Band 2 Poster, 315 Seiten, 144 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-937758-18-6 beide Bände zusammen 45 EUR
- Heft 06.04 Hochwassermanagement – Gefährdungspotenziale und Risiko der Flächennutzung
Neuauflage
Beiträge zum Seminar am 17./18. Juni 2004 in Münster
Herausgeber: Hans-B. Kleeberg und Günter Meon
172 Seiten, 61 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-937758-19-4 vergriffen

- Heft 07.04 Niedrigwassermanagement
Beiträge zum Seminar am 11./12. November 2004 in Koblenz
Herausgeber: Hans-B. Kleeberg und Gero Koehler
172 Seiten, 82 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-937758-47-X vergriffen
- Heft 08.05 Hochwasser-Gefahrenkarten
Teil 1: Erarbeitung und Nutzung von Hochwassergefahrenkarten
Beiträge zum Erfahrungsaustausch am 24. November 2004 in Erfurt
Teil 2: Zonierungssystem und Risikomodellierung in der Versicherungswirtschaft
Herausgeber: Hans-B. Kleeberg
140 Seiten, 34 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-937758-48-8 vergriffen
- Heft 03.05 Numerische Simulationsmodelle für Fließgewässer
Beiträge zum Seminar am 15. März 2005 in Dortmund
Aktualisierte Neuauflage von Heft 03.03
Herausgeber: Siegfried Bloß und Hans-B. Kleeberg
185 Seiten, 65 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-924063-57-5 vergriffen
- Heft 09.05 Niederschlag – Input für hydrologische Berechnungen
Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz
Herausgeber: Hans-B. Kleeberg
159 Seiten, 44 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-937758-67-4 vergriffen
- Heft 10.05 Entscheidungsunterstützung in der Wasserwirtschaft –
von der Theorie zum Anwendungsfall
Beiträge zum Tag der Hydrologie 2005 am 22./23. März 2005 in Aachen
Herausgeber: Heribert Nacken, Sabine Bartussek, Hani Sewilam
314 Seiten, 131 Abbildungen, 25 Tabellen, Format A4
ISBN 3-937758-68-2 42 EUR, CD 29 EUR
- Heft 11.05 Hochwasser – Vorsorge und Schutzkonzepte
Beiträge zum Seminar am 2./3. Juni 2005 in Braunschweig
Herausgeber: Hans-B. Kleeberg und Günter Meon
200 Seiten, 75 Abbildungen, Format A4
ISBN 3-937758-80-1 38 EUR, CD 29 EUR
- Heft 12.05 Akustische Doppler Geräte (ADCPs) in der Hydrometrie:
Möglichkeiten und Perspektiven einer innovativen Technik
Beiträge zum Seminar am 28./29. September 2005 in Koblenz
Herausgeber: Matthias Adler und Hans-B. Kleeberg
172 Seiten, 120 Abbildungen, 8 Tabellen, Format A4
ISBN 3-937758-90-9 38 EUR, CD 29 EUR
- Heft 13.05 Abflussbildung – Prozessbeschreibung und Fallbeispiele
Herausgeber: Axel Bronstert
Monographie, 2005
148 Seiten, 81 Abbildungen, 12 Tabellen, Format A4
ISBN 3-937758-91-7 38 EUR, CD 29 EUR

- Heft 14.06 Niederschlag – Input für hydrologische Berechnungen
Aktualisierte Neuauflage
Beiträge zum Seminar am 12./13. April 2005 in Koblenz
Herausgeber: Hans-B. Kleeberg
205 Seiten, Format A4
ISBN-10: 3-939057-30-4
ISBN-13: 978-3-939057-30-7 38 EUR, CD 29 EUR
- Heft 15.06 Risikomanagement extremer hydrologischer Ereignisse
Beiträge zum Tag der Hydrologie 2006 am 22./23. März 2006
an der Universität der Bundeswehr München
Herausgeber: Markus Disse, Karin Guckenberger, Sabine Pakosch,
Alpaslan Yörük, Astrid Zimmermann
Band 1 Vorträge 1, 278 Seiten
Band 2 Vorträge 2, 338 Seiten beide Vortragsbände zusammen 50 EUR
Band 3 Poster, 280 Seiten Posterband zusätzlich/alleine 15 EUR
ISBN-10: 3 939057-31-2
ISBN-13: 978-3-939057-31-4
- Heft 16.06 Niederschlag-Abfluss-Modellierung
Beiträge zum Workshop am 10./11. April 2006 in Trier
Herausgeber: Markus Casper und Marcus Herbst
195 Seiten, Format A4
ISBN-10: 3-939057-55-X
ISBN-13: 978-3-939057-55-0 45 EUR, CD 29 EUR
- Heft 17.06 Dezentraler Hochwasserschutz
Beiträge zum Seminar am 16./17. Oktober 2006 in Koblenz
Herausgeber: Klaus Röttcher, Gero Koehler, Hans-B. Kleeberg
188 Seiten, Format A4
ISBN-10: 3-939057-56-8
ISBN-13: 978-3-939057-56-7 45 EUR, CD 29 EUR
- Heft 18.06 Hochwasser – Vorsorge und Schutzkonzept
Beiträge zum Seminar am 6./7. November 2006 in Stein bei Nürnberg
Herausgeber: Hans-B. Kleeberg, Heribert Nacken
232 Seiten, Format A4
ISBN-10: 3-939057-57-6
ISBN-13: 978-3-939057-57-4 45 EUR, CD 29 EUR
- Heft 19.07 Dezentraler Hochwasserschutz
Beiträge zum Seminar am 4./5. Juni 2007 in Leipzig
Herausgeber: Klaus Röttcher, Gero Koehler, Hans-B. Kleeberg
196 Seiten, Format A4
ISBN-13: 978-3-940173-03-4 48 EUR, CD 29 EUR

- Heft 20.07 Einfluss von Bewirtschaftung und Klima auf Wasser- und Stoffhaushalt von Gewässern
Beiträge zum Tag der Hydrologie 2007 am 22./23. März 2007
an der Universität Rostock
Herausgeber: Konrad Miegel, Ellen-Rose Trübger, Hans-B. Kleeberg
Band 1 Vorträge, 276 Seiten
Band 2 Poster, 17 Seiten beide Bände zusammen 60 EUR, , CD 29 EUR
ISBN: 978-3-940173-04-1
- Heft 21.07 Verdunstung
Beiträge zum Seminar am 10./11. Oktober 2007 in Potsdam
Herausgeber: Konrad Miegel, Hans-B. Kleeberg
252 Seiten, Format A4
ISBN: 978-3-940173-05-8 48 EUR, CD 29 EUR
- Heft 22.07 EU-Hochwasserrichtlinie
Wohin geht die Reise beim Europäischen Hochwasserschutz
Beiträge zum Seminar am 19./10. November 2007 in Koblenz
Herausgeber: Heribert Nacken
126 Seiten, Format A4
ISBN: 978-3-940173-44-7 48 EUR, CD 29 EUR
- Heft 23.08 Hochwasser, Wassermangel, Gewässerverschmutzung
– Problemlösung mit modernen hydrologischen Methoden
Beiträge zum Tag der Hydrologie 2008 am 27./28. März 2008
an der Leibniz Universität Hannover
Herausgeber: Uwe Haberlandt, Bernd Riemeier,
Max Billib, Hans-Reinhard Verworn, Hans-B. Kleeberg
300 Seiten, Format A4, mit Poster-CD
ISBN: 978-3-940173-96-6 48 EUR, CD 29 EUR
- Heft 24.08 Klimawandel – Was kann die Wasserwirtschaft tun?
Beiträge zum Symposium am 24./25. Juni 2008 in Nürnberg
Herausgeber: Hans-B. Kleeberg
256 Seiten, Format A4
ISBN: 978-3-940173-97-3 48 EUR, CD 29 EUR
- Heft 25.09 EU-Hochwasserrichtlinie
In drei Schritten zur Umsetzung
Beiträge zum Seminar am 19. Februar 2009 in Magdeburg
Herausgeber: Heribert Nacken
126 Seiten, Format A4
ISBN: 978-3-941089-53-2 48 EUR, CD 29 EUR
- Heft 26.09 Hydrologische Systeme im Wandel
Beiträge zum Tag der Hydrologie 2009 am 26./27. März 2009
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Herausgeber: Nicola Fohrer, Britta Schmalz,
Georg Hörmann, Katrin Bieger
196 Seiten, Format A4
ISBN: 978-3-941089-54-9 48 EUR, CD 29 EUR

- Heft 27.10 Auen und Hochwasser
Beiträge zum Internationalen Symposium am 10./11. Februar 2010
in Ingolstadt
Herausgeber: Bernd Cyffka, Hans-B. Kleeberg
226 Seiten, Format A4
ISBN: 978-3-941897-08-3 50 EUR, CD 29 EUR
- Heft 28.10 Abflüsse aus extremen Niederschlägen
Beiträge zum 2. Trierer Workshop zur Niederschlag-Abfluss-Modellierung
am 14./15. September 2009 in Trier
Herausgeber: Markus Casper, Oliver Gronz
245 Seiten, Format A4
ISBN: 978-3-941897-22-9 50 EUR, CD 29 EUR
- Heft 29.10 Nachhaltige Wasserwirtschaft durch Integration von
Hydrologie, Hydraulik, Gewässerschutz und Ökonomie
Beiträge zum Tag der Hydrologie 2010 am 25./26. März 2010
an der Technische Universität Braunschweig
Herausgeber: Günter Meon
283Seiten, Format A4, mit Poster-CD
ISBN: 978-3-941897-49-6 50 EUR, CD 29 EUR

Mitglieder der Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften erhalten auf den Preis einen Nachlass von 20 %