

Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Hydrology and Water Resources Management



Entwicklung von Prozessgleichungen der Infiltration und des oberflächennahen Abflusses

Einfluss verschiedener Infiltrationsmodelle auf die Simulation extremer Ereignisse

Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Niedermooren

Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Die Zeitschrift Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (HyWa) ist eine deutschsprachige Fachzeitschrift, die Themen der Hydrologie und Wasserwirtschaft umfassend behandelt. Sie bietet eine Plattform zur Veröffentlichung aktueller Entwicklungen aus Wissenschaft und operationeller Anwendung. Das Spektrum der Fachbeiträge setzt sich aus folgenden Themenbereichen zusammen, die unter qualitativen, quantitativen, sozioökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten behandelt werden:

- Hydrologie
- Bewirtschaftung der Wasservorkommen
- Wasser- und Stoffflüsse, Gewässerschutz
- Binnen- und Küstengewässer
- Grundwasser

Zur Veröffentlichung werden nur fachlich fundierte, originäre Artikel zu aktuellen Themen zugelassen. Ein Redaktionsausschuss sowie assoziierte Editoren, bestehend aus Hochschulvertretern, Vertretern des Bundes und der Länder, gewährleisten, dass nur qualitativ hochwertige Fachbeiträge veröffentlicht werden (peer review). Die HyWa enthält außerdem einen nachrichtlichen Teil, der dem Austausch von Informationen aus Bund, Ländern und internationalen staatlichen und nicht-staatlichen Organisationen dient.

Editoren

Redaktionsausschuss:

Dr. Johannes Cullmann,
IHP/HWRP-Sekretariat, Koblenz

Prof. Dr.-Ing. Markus Disse,
Universität der Bundeswehr, Neubiberg

Frau Prof. Dr. Nicola Fohrer,
Universität Kiel

Prof. Dr. Uwe Grünewald,
Technische Universität Cottbus

MR Helmut Teltscher,
Thür. Ministerium für Landwirtschaft,
Naturschutz und Umwelt, Erfurt

Redaktion:

Gerhard Strigel, Leitung, v.i.S.d.P. • strigel@bafg.de
Hilde Hücking • huecking@bafg.de • Telefon: 0261/1306-5354

Übersetzungen: Bernd Uebelmann • uebelmann@bafg.de

Anschrift:

Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)
Am Mainzer Tor 1 • 56068 Koblenz • www.hywa-online.de

Verlagsrechte:

Die eingereichten Aufsätze und Kurzberichte müssen Originalarbeiten sein. Sie dürfen in der vorgelegten oder in ähnlicher Form weder an anderer Stelle eingereicht noch veröffentlicht sein. Ausnahmen in besonders gelagerten Fällen, z.B. Vorveröffentlichung in anderer Sprache, bedürfen vorheriger Absprache mit der Redaktionsleitung. Mit der Annahme des Manuskripts geht das Recht der Veröffentlichung einschließlich sonstiger Vervielfältigung auf den Herausgeber über.

Erscheinungsweise:

zweimonatlich im Abo, 34,- €/Jahr,
kündbar jeweils drei Monate vor Jahresende

Herausgeber:

BfG für Fachverwaltungen des Bundes und der Länder

Satz und Druck:

Druckpartner Moser, Rheinbach
ISSN 1439-1783

The journal Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (HyWa) (Hydrology and water resources management) is a German-language periodical which comprehensively reports on hydrological topics. It serves as a platform for the publication of the latest developments in science and operational application. The range of contributions relates to the following subjects that are treated from qualitative, quantitative and ecological aspects:

- hydrology
- water resources management
- water and material fluxes, water protection
- inland and coastal waters
- groundwater.

Only scientifically substantiated articles on current topics are selected for publication. An editing committee comprising representatives from universities, and from the Federal Republic and the Federal States guarantees that only high-quality contributions are published (peer review).

The HyWa also includes a news section for the exchange of information from the Federal Republic, the Federal States, and international governmental and non-governmental organisations.

Assoziierte Editoren

Prof. Dr. Günter Blöschl,
Technische Universität Wien

Dr. Gerhard Brahmmer,
Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden

Prof. Dr. Axel Bronstert
Universität Potsdam

Prof. Dr. Bernd Cyffka,
Universität Eichstätt-Ingolstadt, Eichstätt

Prof. Dr. Siegfried Demuth,
UNESCO Division of Water Science, Paris

Prof. Dr. -Ing. Uwe Haberlandt,
Universität Hannover

Dr. Fritz Kohmann,
Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Prof. Dr. Wolfram Mauser,
Universität München

Prof. Dr. Lucas Menzel,
Universität Heidelberg

Frau Prof. Dr. Elisabeth I. Meyer,
Universität Münster

Frau Dr. Heike Puhlmann,
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt, Freiburg

Prof. Dr. Gert Schmitz,
Technische Universität Dresden

Prof. Dr. Andreas Schumann,
Universität Bochum

Prof. Dr. Clemens Simmer,
Universität Bonn

Prof. Dr. Manfred Spreafico,
Universität Bern

Prof. Dr. Benedikt Toussaint,
Taunusstein

Prof. Dr. Stefan Uhlenbrook,
UNESCO-IHE Institute for Water Education und
Delft University of Technology, Delft

Prof. Dr. Markus Weiler,
Universität Freiburg

Prof. Dr. Rolf Weingartner,
Universität Bern

Inhalt | Contents

Fachartikel | Scientific reports

Phillip Kreye, Martin Gocht und Kristian Förster

Entwicklung von Prozessgleichungen der Infiltration und des oberflächennahen Abflusses für die Wasserhaushaltsmodellierung
Development of process descriptions of infiltration and near-surface runoff in water-balance modelling

268

Karl Ludwig, Greta Moretti und Kerstin Verzano

Einfluss verschiedener Infiltrationsmodelle auf die Simulation extremer Ereignisse in Quellgebieten
Effects of different infiltration models on the simulation of extreme events in headwater catchments

279

Peter Wattendorf, Jörg Niederberger, Otto Ehrmann und Werner Konold

Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Niedermooren in Baden-Württemberg
Consequences of climate change on the water balance of fen peatlands in Baden-Wurttemberg

293

Hydrologische Notizen | Hydrological notes

UN Wasserforum | UN Water forum

304

Tagungsbericht | Report on scientific event

306

Projektbericht | Project report

310

Entstehung und hydrologischer Verlauf des Hochwassers der Oder im Mai/Juni 2010 |
Floods in the Oder river in May/June 2010

315

60 Jahre Internationale Kommission zum Schutz des Rheins | 60 years International Commission
for the Protection of the Rhine

320

Aktuelles | Latest news

323

Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften | Association for Hydrological Sciences

326

Nachrichten | News

Personen | People

326

Neue Publikationen | New publications

327

Termine | Events

331

Die Fachzeitschrift Hydrologie und Wasserbewirtschaftung ist gelistet im:
Science Citation Index Expanded (SCIE), Journal Citation Reports/Science Edition und Scopus

Phillip Kreye, Martin Gocht und Kristian Förster

Entwicklung von Prozessgleichungen der Infiltration und des oberflächennahen Abflusses für die Wasserhaushaltsmodellierung¹

Development of process descriptions of infiltration and near-surface runoff in water-balance modelling

Das Problem physikalisch basierter Modellierung ist die Vielzahl der hierfür benötigten Parameter, deren willkürliche Schätzung für große Einzugsgebiete den physikalischen Ansatz in Frage stellt. Die von der Richardsgleichung abgeleitete Infiltrationsgleichung nach Philip bietet einen guten Kompromiss zwischen physikalischer Orientierung und Aufwand der Parametrisierung. Um die zeitliche Reaktion des Bodens auf den Bestandsniederschlag zu berücksichtigen, wird die Gleichung nach Philip mit dem Algorithmus von Peschke gekoppelt. Dadurch entsteht eine Beschreibung der vertikalen Infiltration, die einerseits physikalisch basiert ist, sich aber andererseits auch für mesoskalige Modellgebiete sinnvoll parametrisieren lässt. Die hier vorgestellten Testergebnisse des neuen Moduls zur Abflussbildung, implementiert im hydrologischen Modellsystem PANTA RHEI, sind vielversprechend. Infiltration und Abfluss auf verschiedenen Böden zeigen ein realistisches Verhalten: Auf feinkörnigem Substrat ist die Infiltration durch die niedrige gesättigte hydraulische Leitfähigkeit stark limitiert. Abflussbildung und Abfluss durch Infiltrationsüberschuss ist die Folge. Auf grobtexturierten Böden infiltriert der Niederschlag hingegen vollständig.

Schlagwörter: Abflussbildung, Infiltration, mesoskalige Wasserhaushaltsmodellierung, Philip-Gleichung

The main issue in physically based modelling is the multitude of parameters required, whose arbitrary estimation for large river basins challenges the physically based approach. Philip's infiltration equation, derived from Richard's equation, balances physically based approach and parameterisation requirements in an optimal way. The implementation of Philip's equation into Peschke's time-shift algorithm allows to take the time-dependent response of soil to canopy precipitation into account. This approach results in a description of infiltration that is both physically based and suitable for mesoscale parameterisation. The test results of the newly developed infiltration module, implemented in the hydrological modelling system PANTA RHEI, are promising: Fine-grained soils exhibit limited infiltration because their saturated hydraulic conductivity is low, and runoff forms from infiltration excess. Coarse-grained soils fully infiltrate canopy precipitation.

Keywords: Infiltration, mesoscale water-balance modeling, Philip's equation, runoff generation

1 Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Auswirkung von Klimaänderungen auf Wasserdargebot, Hochwasserrisiko und Gewässerbelastung in Niedersachsen“ (KLIFWA), welches sich in den Forschungsverbund für Klimafolgenforschung (KLIF) integriert, werden Wasserhaushaltssimulationen mit historischen und mit für die Zukunft projizierten klimatischen Randbedingungen durchgeführt. Die Wasserhaushaltssimulationen werden am physiographisch und klimatologisch für Niedersachsen repräsentativen Aller-Leine-Einzugsgebiet durchgeführt (HABERLANDT & MEON 2008).

Die Anwendung von dynamischen Wasserhaushalts- und Niederschlag-Abfluss-Modellen ist ein allgemein akzeptiertes Vorgehen für die Analyse von Klimafolgen bezüglich Hochwasser, Niedrigwasser, Grundwasserneubildung, Verdunstung und weiterer hydrologisch relevanter Prozesse (BRONSTERT et al. 2002).

In der hydrologischen Praxis werden im überwiegenden Maß Niederschlag-Abfluss-Modelle verwendet. Ziel dieser Modelle ist die ereignisbezogene Simulation von hydrologischen Teilaspekten, wie beispielsweise die Berechnung von Hochwasserabflüssen im Rahmen der Bemessungspraxis. Um Aussagen in der Klimafolgenforschung zu treffen, sind u.a. Kenntnisse des Wasserhaushalts über große Zeiträume notwendig. Mit Wasserhaushaltsmodellen ist eine kontinuierliche und prozessorientierte Simulation des kompletten Abflussgeschehens über längere Zeitspannen möglich. Zusätzlich lassen sich mit diesen Modellen auch Teilkomponenten des Wasserhaushaltes näher betrachten.

Das Problem physikalisch basierter Modellierung ist die Vielzahl der hierfür benötigten Parameter, deren willkürliche Schätzung für große Einzugsgebiete den physikalischen Ansatz in Frage stellt. Im Folgenden wird eine Beschreibung der vertikalen Infiltration, die einerseits physikalisch basiert ist, sich aber andererseits auch für mesoskalige Modellgebiete sinnvoll parametrisieren lässt, vorgestellt. Die Parametrisierung soll ohne Feldmessungen auskommen. Mit dem neuen Ansatz soll der Oberflächenabfluss durch Infiltrationsüberschuss und die Infiltration berechnet werden. Die eingehenden Größen müssen eine Parametrisierung durch vorliegende räumliche Datensätze wie beispielsweise Bodenkarte, DGM oder Landnutzung ermöglichen. Ein zusätzlicher Aspekt ist die Begrenzung des rechen-technischen Aufwands, um die Berechnung von 40-jährigen Langzeit-

¹ Für die Diplom-Arbeit „Entwicklung von Prozessgleichungen der Infiltration und des oberflächennahen Abflusses für die Wasserhaushaltsmodellierung“ am Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz wurde Herr Phillip Kreye mit dem Nachwuchspreis 2010 der Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften (FgHW) in der DWA ausgezeichnet.

kontinuen im Rahmen der Klimafolgenforschung zu ermöglichen.

Die verbesserten Ansätze zur Simulation der Abflussbildung werden derzeit als eigenes Modul in einen Wasserhaushaltsansatz des hydrologischen Modellsystems PANTA RHEI implementiert. Das neu konzipierte Modul beinhaltet im Wesentlichen die Prozesse der Infiltration und des Oberflächenabflusses sowie ein Bodenmodell mit Zwischenabfluss und Perkolation.

2 Modellsystem PANTA RHEI

PANTA RHEI folgt bezüglich Nutzerfreundlichkeit und Erweiterbarkeit den Grundsätzen aktueller Softwaredesigns (LIPPMAN et al. 2006). Es verfügt über eine graphische Benutzeroberfläche und über eine direkte Schnittstelle zu geographischen Informationssystemen. PANTA RHEI basiert auf einer seit 2005 vorangetriebenen Synergie zwischen den Modellen NAXOS und PRAEDICT von Dr. Riedel, Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig (RIEDEL 2004) sowie dem Modell HYDROCALC von Dr. Lange, Ingenieurbüro Prof. Hartung und Partner. Die zeitliche Diskretisierung ist in PANTA RHEI vom Anwender frei einstellbar, daher lassen sich sowohl Ereignissimulationen als auch Langzeit-Kontinuumsimulationen mit jeweils angepasster Zeitschrittweite durchführen. Die räumliche Diskretisierung des Modellgebietes wird durch Aufteilung in Teilgebiete erreicht. Diese werden in Flächen mit gleichen hydrologischen Eigenschaften (Hydrotope) untergliedert, die im Allgemeinen lageunabhängig und nicht zusammenhängend sind. Die Aufteilung der Hydrotope erfolgt u.a. in Abhängigkeit von den anstehenden Böden, der Landnutzung und von topographischen Eigenschaften. Der modulare Aufbau des Modellsystems PANTA RHEI erlaubt dem Anwender die Auswahl unterschiedlicher Berechnungsansätze für die einzelnen hydrologischen Prozesse. So lässt sich für die Verdunstung beispielsweise eine empirische Beziehung nach Haude oder eine physikalische Berechnung nach Penman-Monteith auswählen. Die Modellparameter werden von PANTA RHEI teilflächenweise behandelt. Sie werden automatisch generiert und müssen im Rahmen der Kalibrierung ggf. angepasst werden.

3 Methoden und Entwicklung

3.1 Konzeption des Infiltrationsmodells

Den in der Einleitung beschriebenen Anforderungen genügt die Infiltrationsgleichung nach PHILIP (1957a-e), die dieser ausgehend von der Richardsgleichung (RICHARDS 1931) Ende der fünfziger Jahre des 20. Jahrhunderts entwickelte. Ein Vorteil der Philip-Gleichung ist ihre niedrige Komplexität trotz physikalischer Ableitung. Diese ermöglicht die Approximation eingehender Größen durch räumliche Daten des Modellgebietes.

Die grundlegende Idee von Philip war eine Aufteilung der Infiltration in eine vom Matrix- und eine vom Gravitationspotential abhängige Komponente. Zu Beginn der Infiltration dominiert die erstgenannte, während mit zunehmender Infiltrationszeit die letztgenannte Komponente an Einfluss gewinnt. Die Unterteilung ist quantitativ stark abhängig von Anfangswassergehalt und Textur des Bodens. Durch Boltzmann-Transformation der Richardsgleichung ohne gravitative Komponente gelangte Philip zu einer gewöhnlichen Differentialgleichung und damit zu einer

Lösung für die horizontale Infiltration. Gemeinsam mit einem Korrekturterm für den Einfluss der Gravitation ist diese auch Bestandteil der Lösung für die vertikale Infiltration. Da dieser Korrekturterm sich nicht exakt bestimmen lässt, wird er angenähert, was einen weiteren Korrekturterm erfordert. Dies wiederholt sich, weshalb Philip die vertikale Infiltration durch eine Reihenentwicklung wiedergibt. Gleichung (1) zeigt die kumulative Form der eindimensionalen, vertikalen Infiltration nach Philip und Gleichung (2) deren Ableitung nach der Zeit, die Infiltrationsrate.

$$I(t) = St^{0,5} + At + \varepsilon(t) \quad (1)$$

$$i(t) = \frac{1}{2}St^{-0,5} + A + \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (2)$$

Mit:

$I(t)$	Kumulative Infiltration	L
$i(t)$	Infiltrationsrate	LT^{-1}
S	Sorptivität	$LT^{-0,5}$
A	Infiltration für $t \rightarrow \infty$	LT^{-1}
t	Zeit	T
$\varepsilon(t)$	Restglieder	L

Der Term A ist direkt proportional zu der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit, verknüpft durch einen Faktor (s . Gleichung 3). Die Grenzen des Faktors sind mit 0,2 bis 0,69 festgelegt (PHILIP 1987 in KUTILEK & NIELSEN 1994). Jedoch zeigten KUTILEK et al. (1988), dass diese Annahme nicht immer zutreffend ist. So soll g_T sowohl von der Zeit als auch vom Anfangswassergehalt abhängig sein. Wegen des hohen Abstraktionsgrades wird vereinfachend als untere Grenze für g_T 0,2 verwendet. Als obere Grenze wird 1 festgelegt, um einer Infiltration ohne die Restglieder der Reihenentwicklung für $t \rightarrow \infty$ gerecht zu werden. Die Variation für g_T innerhalb der Grenzen wird als Modellparameter zur Kalibrierung in PANTA RHEI genutzt.

$$A = g_T K_s \quad (3)$$

Mit:

g_T	Teilgebietsabhängiger Modellparameter (0.2 bis 1)	-
K_s	Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit	LT^{-1}

Die Sorptivität ist in physikalischer Interpretation die Menge an Wasser, die bei horizontaler Infiltration nach der Zeit $t = 1$ infiltriert ist. Sie lässt sich in Infiltrationsversuchen experimentell bestimmen. Da zum einen eine physikalische Vorstellung der Sorptivität existiert und zum anderen eine klare Messvorschrift zur experimentellen Bestimmung definierbar ist, kann die Sorptivität als physikalische Größe interpretiert werden. In der Literatur wird dies kontrovers diskutiert. Die meisten Autoren ordnen die Philip-Gleichung bzw. die Sorptivität den physikalisch basierten Ansätzen zu (z.B. KUTILEK & NIELSEN 1994, WARRICK 2003 oder MIGLIACCIO & SRIVASTAVA 2007). Zuweilen wird die Philip-Gleichung jedoch auf eine Stufe mit der rein empirischen Infiltrationsgleichung nach Horton (HORTON 1940 in JURY & HORTON 2004) gestellt (z.B. BUCHHOLZ 2000). An dieser Stelle wird von einer physikalischen Basis der Philip-Gleichung ausgegangen, da sie ein Derivat der Richardsgleichung ist und die einfließenden Größen physikalisch fassbar sind. Für eine umfassende Herleitung der Philip-Gleichung sei auf PHILIP (1957a-e) sowie auch auf KUTILEK & NIELSEN (1994) oder auf WARRICK (2003) verwiesen.

Die Sorptivität ist abhängig von der Bodenart und vom aktuellen Wassergehalt. Je größer der Wassergehalt, desto kleiner die Sorptivität. Bei voller Sättigung geht die Sorptivität gegen Null. Da wegen der Größe der Modellgebiete keine Feldmessungen vorgesehen sind, soll die Sorptivität aus vorhandenen Daten abgeschätzt werden. Aus den verschiedenen Ansätzen zur Berechnung der Sorptivität (z.B. PARLANGE 1975 oder GREEN & AMPT 1911 in WARRICK 2003), wurde der Ansatz von THONY et al. (1991) ausgewählt. Dieser geht von einer exponentiellen Beschreibung der Diffusivität aus (BRUTSAERT 1979) und ist in Gleichung (4) dargestellt.

$$S = \left(\frac{\varphi(\theta_{S,H} - \theta_{i,H})}{b_T} \right)^{0,5} \quad (4)$$

Mit:

S	Sorptivität	LT ^{-0,5}
φ	Matrix-Fluss-Potential	L ² T ⁻¹
θ _{s,H}	Hydrotopabhängiger volumetrischer Sättigungswassergehalt	-
θ _{i,H}	Hydrotopabhängiger vol. Wassergehalt zu Beginn des Ereignisses	-
b _T	Modellparameter (0,5 bis 0,25 Pi)	LT ⁻¹

Die Grenzen des Modellparameters b_T gehen auf WHITE (1987) zurück. b_T soll teilgebietsabhängig behandelt werden. Den Wassergehalt θ_{i,H} erhält man aus der abgeschlossenen Berechnung des letzten Zeitschritts, die übrigen Größen werden aus vorhandenen Bodendaten abgeleitet und berechnet. Der Sättigungswassergehalt, eine bodenspezifische Konstante, ist identisch mit der Porosität. Die Größen A, S, K_s und φ, welche für die Infiltration nach Philip verwendet werden, sind hydrotopabhängig. Zur besseren Übersicht sind diese hier jedoch nicht mit einem entsprechenden Subskript versehen. Das Matrix-Fluss-Potential φ ist definiert als Integral der hydraulischen Leitfähigkeitsfunktion über das Matrixpotential. Dies lässt sich zum Integral der Diffusivität über den Wassergehalt umstellen (KUTILEK & NIELSEN 1994):

$$\varphi = \int_{h_z}^{h_f} K(h) dh = \int_{\theta_z}^{\theta_0} D(\theta) d\theta \quad (5)$$

Mit:

h _z	Matrixpotential an der Oberfläche	L
h _f	Matrixpotential an der Sättigungsfront	L
K(h)	Hydraulische Leitfähigkeitsfunktion	LT ⁻¹
θ ₀	Vol. Wassergehalt hinter der Sättigungsfront	-
θ _z	Vol. Wassergehalt vor der Sättigungsfront	-
D(θ)	Diffusivität	L ² T ⁻¹

Das Integral über die Diffusivität lässt sich einfacher berechnen als das Integral über die Leitfähigkeit, da bei ersterer die Grenzen Wassergehalte sind und approximiert werden können. Für den Wassergehalt vor der Sättigungsfront wird der hydrotopabhängige Anfangswassergehalt des oberen Bodenspeichers und für den Wassergehalt hinter der Front der hydrotopabhängige Wassergehalt bei Sättigung eingesetzt. Die obere Grenze wird bei dieser einfachen Annahme i.d.R. überschätzt. Eine empirische Berechnung des Matrixpotentials (z.B. RAWLS et al. 1993) ist ebenfalls fehlerbehaftet und statisch. Die Betrachtung einer zeitlich dynamischen Infiltrationsfront ist für Simulationszeiträume

mit mehr als einem Ereignis kaum möglich, da die Front zwischen den Ereignissen jeweils nach oben gesetzt werden muss und die Redistribution des Wassers bodenspezifisch und unbekannt ist. Zur Zeit wird an dem Problem der oberen Integrationsgrenze gearbeitet, eine mögliche Verbesserung wird in Kapitel 5 angesprochen.

Die Diffusivität ist als Quotient der hydraulischen Leitfähigkeitsfunktion über der spezifischen Wasserkapazität definiert. Letztere berechnet sich als Ableitung der bodenspezifischen Retentionskurve.

In Modellen zur Simulation der Wasserbewegung in der ungesättigten Bodenzone hat die Beziehung nach VAN GENUCHTEN (1980) eine hohe Verbreitung erreicht. Diese wird auch hier zur Parametrisierung der benötigten bodenhydraulischen Funktionen verwendet.

Aus der Bodenübersichtskarte 1:50 000 (BÜK50) können Daten über die Korngrößenverteilung der anstehenden Böden im Modellgebiet abgeleitet werden. Mit diesen lassen sich in dem Programm ROSETTA LITE (Version von Juni 2003) die van Genuchten-Parameter und die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit ermitteln. ROSETTA, eine auf einem neuronalen Netz beruhende hierarchische Pedotransferfunktion, ist sowohl in die Software HYDRUS 1D implementiert als auch frei erhältlich (SCHAAP et al. 2001). HYDRUS 1D, ebenfalls frei erhältlich, ist ein bodenhydraulisches Modellsystem, das die Wasserdynamik im Boden eindimensional vertikal beschreibt. Es wurde in enger Kooperation mit van Genuchten entwickelt (SIMUNEK et al. 2008). Für europäische Böden existiert alternativ zu ROSETTA u.a. die Datenbank HYPRES (hydraulic properties of european soils) (SCHERZER & HANGEN 2004). ROSETTA wurde an der internationalen Datenbank UNSODA (unsaturated soil hydraulic database) geicht und hat insbesondere in der Bodenphysik eine hohe Akzeptanz erreicht.

Für die Anwendung in PANTA RHEI wird für jedes Niederschlagsereignis eine Neuberechnung des Matrix-Fluss-Potentials benötigt. Dieses ist als Integral der Diffusivität definiert (s. Gleichung 5), lässt sich jedoch nicht analytisch bestimmen. Es wäre möglich, im Preprocessing mit Hilfe von geeigneter numerischer Software das Integral der Diffusivität mit verschiedenen, diskreten Integrationsgrenzen zu berechnen und in einer Tabelle abzulegen, welche von PANTA RHEI für die Simulation eingelesen wird. Allerdings ist dies entweder wegen großer Abstände der Integrationsgrenzen ungenau oder wegen feiner Abstände extrem aufwändig. Als elegantere Lösung wurde stattdessen ein numerisches Integrationsverfahren nach Simpson (PAPULA 2001) gewählt. Dieses benötigt nur die wassergehaltsabhängige Funktion der Diffusivität. Das Verfahren nach Simpson passt die zu integrierende Funktion mit Parabeln durch beliebig viele Stützstellen an. Es wurde im Rahmen der Modellentwicklung modifiziert, um eine höhere Genauigkeit bei geringem Rechenaufwand zu erreichen: Die Funktion der Diffusivität nach dem Wassergehalt steigt exponentiell an, weshalb für Werte nahe Sättigung die tangentielle Steigung extrem groß wird. Aus diesem Grund liegt eine zwischen zwei Stützstellen angepasste Parabel immer zum größeren Teil oberhalb der Funktion. Abbildung 1 illustriert die Simpson-Integration für einen sandigen, einen schluffigen und

einen tonigen Boden, vereinfacht als Sand, Schluff und Ton bezeichnet, für unterschiedliche Anfangswassergehalte und Teilintervallanzahlen. Die Abszisse zeigt die Anzahl der Teilintervalle, die Ordinate den relativen Fehler. Dieser ist als Verhältnis des Integrationsergebnisses mit der auf der Abszisse angegebenen Teilintervallanzahl und einer Kontrollintegration mit 10 000 Teilintervallen definiert. Das Ergebnis der Kontrollintegration ist mit einer numerischen Integration in WOLFRAM MATHEMATICA identisch. Es stellen sich stets bodenspezifisch ähnliche Kurvenverläufe ein, das Integrationsergebnis nähert sich der Kontrollintegration asymptotisch von oben. Daraus wurde ein Korrekturfaktor so bestimmt, dass er einen Fehler von 20 % für dieselbe Teilintervallanzahl auf rund 1 % reduziert. Der relative Fehler für den sandigen Boden liegt nach Korrektur bei etwa 1,30 %, für den schluffigen Boden bei 0,36 % und für den tonigen Boden bei 0,12 %. Der Mittelwert des relativen Fehlers für typische im Modellgebiet Aller-Leine vorkommende Bodentypen liegt nach Korrektur bei 0,45 %, unkorrigiert lag dieser bei etwa 20 %.

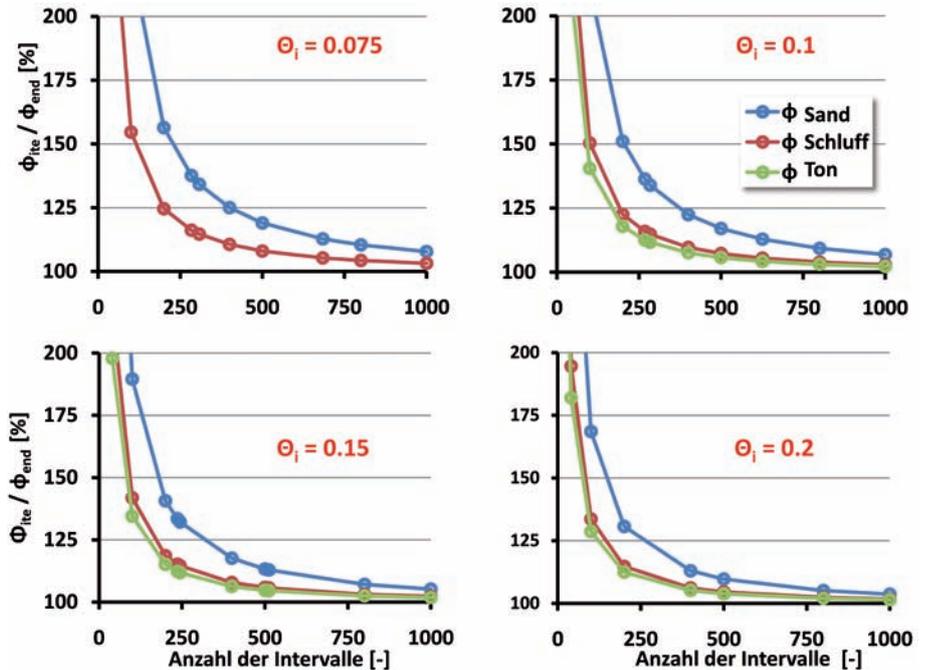


Abbildung 1
Verlauf des Quotienten aus approximiertem Matrix-Fluss-Potential ϕ_{itc} nach Simpson und mit 10 000 Teilintervallen berechneter Kontrollintegration ϕ_{end} für einen sandigen, schluffigen und tonigen Boden und die Wassergehalte 0,075; 0,1; 0,15 sowie 0,2.
As the number of intervals used for calculating the approximated matrix-flux potential increases, the relative error decreases. It is defined as approximated matrix flux potential ϕ_{itc} over a control integration with 10 000 intervals, ϕ_{end} . Examples are given for sand, silt, and clay and for the water contents 0.075, 0.1, 0.15 and 0.2. The Simpson method was used for the approximation.

Die erforderliche Teilintervallanzahl reduziert sich damit um eine Größenordnung, da die für einen Fehler von 20 % erforderliche Anzahl für die Berechnung ausreicht.

Die Abbildung 2 zeigt ein Ablaufdiagramm, welches die Vorgehensweise zur Berechnung aller Größen der Philip-Gleichung illustriert. Auf der rechten Seite der Abbildung ist die zeitliche Auflösung dargestellt. Die Sorptivität der Philip-Gleichung wird je Ereignis neu berechnet, was einerseits variable Wassergehalte des Bodenspeichers berücksichtigt und andererseits zu stetigen Funktionen führt. Die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit hingegen ist eine substratspezifische Konstante, ihr Modellparameter g_T wird pro Simulationslauf zu Beginn einmalig festgelegt. Daher bleibt A über den gesamten Zeitraum der Simulation konstant. Dies ist bodenphysikalisch nachvollziehbar, da sich im Gegensatz zur Endinfiltrationsrate nur die durch die Sorptivität der Philip-Gleichung gesteuerte Rate zu Beginn eines Ereignisses wassergehaltsabhängig verhält.

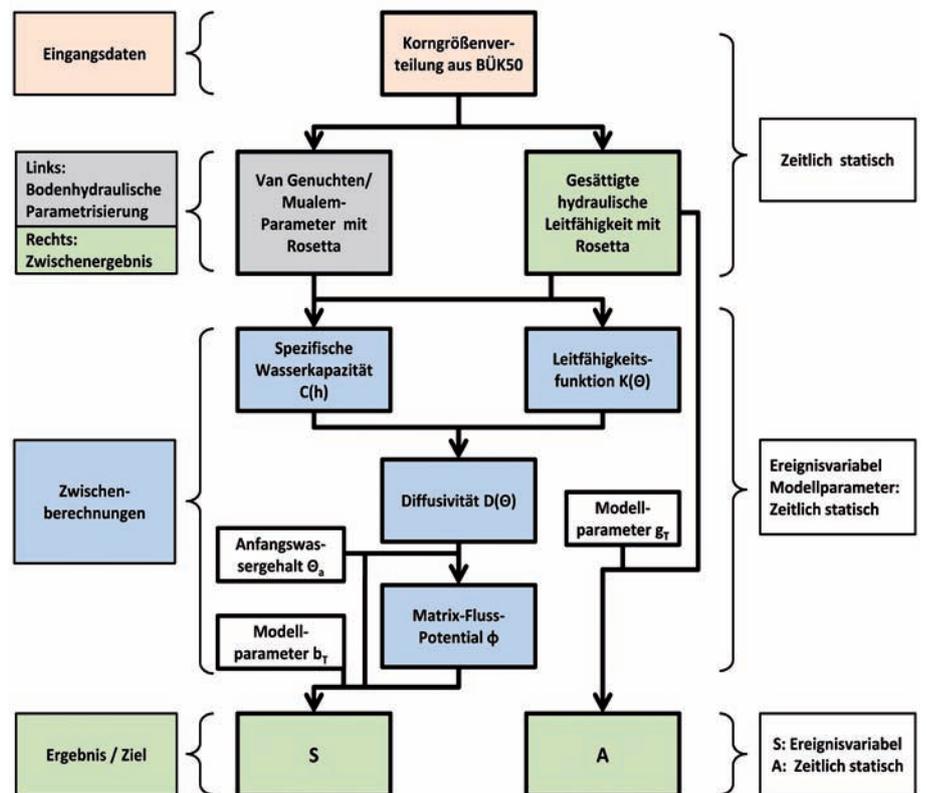


Abbildung 2
Berechnungsschema für A und S der Philip-Gleichung.
Flow chart for the calculation of sorptivity and the term A of Philip's equation.

Aus diesem Grund ist zur realistischen Beschreibung der Infiltration in einer Kontinuumsimulation der Bodenwassergehalt des aktuellen Zeitschritts von großer Bedeutung. Um den Bodenwassergehalt über Trocken- und Niederschlagsperioden hinweg darzustellen, wurde ein einfaches Bodenmodell mit einem oberflächennahen, kleinen und einem tieferen, großen Speicher implementiert. Der volumetrische Wassergehalt des oberen Speichers ist maßgebend für die Infiltration und soll entsprechend schnell reagieren. Aus dem oberen Speicher wird zusätzlich ein Zwischenabfluss abgeleitet. Der untere Bodenspeicher speist die Grundwasserneubildung und ist mit dem oberen durch die matrixpotential- bzw. wassergehaltsabhängige hydraulische Leitfähigkeitsfunktion gekoppelt, welche nach MUALEM (1976) berechnet und nach van Genuchten parametrisiert wird.

Zur Berücksichtigung von schwachen Niederschlägen innerhalb eines Ereignisses, die eine ungesättigte Phase der Infiltration bedingen, wird die Gleichung nach Philip mit dem Algorithmus nach PESCHKE (1981) gekoppelt.

Die grundlegende Idee von Peschke ist ein Volumenausgleich zwischen Niederschlag und Infiltration. Wenn die Niederschlagsintensität kleiner als die Infiltrationsrate ist, versickert das gesamte Wasser in den Boden. Hierbei wird die Infiltrationskapazität nicht voll ausgeschöpft (dies wäre der Fall, wenn die Regenintensität \geq der Infiltrationsrate ist). Wenn sich Intensität und Rate angleichen, erfolgt eine zeitliche Verschiebung zwischen Oberflächenabfluss und erneuter Infiltration.

Peschke argumentierte, dass ein Teil der Wassermenge, die in dieser ungesättigten Phase theoretisch hätte infiltrieren können, nachträglich infiltriert. Deshalb wird ein neuer, späterer Sättigungszeitpunkt $t_{s,1}$ berechnet, ab welchem Oberflächenabfluss entsteht. Die Philip-Gleichung $I_0(t)$ wird im Zeitbereich um den Wert $t_{s,1} - t_{0,1} = \Delta z_1$ verschoben, wobei $t_{0,1}$ einen Integrationszeitpunkt vor $t_{s,1}$ darstellt. Ohne eine Berücksichtigung der Zeitverschiebung wäre für einen gleichförmigen Blockregen der Zeitpunkt $t_{0,1}$ mit dem Zeitpunkt der Sättigung $t_{s,1}$ identisch. Bei einem ungleichförmigen Regenverlauf trifft dies nicht zu, da $t_{0,1}$ in diesem Fall einen abstrakten Integrationszeitpunkt darstellt, der aus den Bedingungen von Peschke hervorgeht. Peschke stellte zwei Bedingungen für die Zeitverschiebung auf. Zum einen soll ein integraler Ausgleich zwischen dem Niederschlag bis zum neuen Sättigungszeitpunkt $t_{s,1}$ und der Infiltration bis zum Integrationszeitpunkt $t_{0,1}$ erfolgen. Zum anderen soll der Funktionswert der Infiltration am Zeitpunkt $t_{0,1}$ dem des Niederschlags zum Zeitpunkt $t_{s,1}$ entsprechen. Die (Un)Gleichungen (6) zeigen die allgemeine Form dieser Bedingungen, die in der (Un) Gleichung (7) auf die Philip-Infiltration angewendet wurden. Beide gelten nur für eine ungesättigte Phase zu Beginn eines Ereignisses.

$$\Delta t \sum_{v=1}^m N_v > \int_0^{t_{0,1}} i(t) dt \text{ und } N_m = i(t_{0,1}) \tag{6}$$

$$\Rightarrow \Delta t \sum_{v=1}^m N_v > S \sqrt{\left(\frac{S}{2(N_m - A)}\right)^2} + A \left(\frac{S}{2(N_m - A)}\right)^2$$

$$\text{mit } t_{0,1} = \left(\frac{S}{2(N_m - A)}\right)^2 \tag{7}$$

Mit:

Δt	Zeitschrittlänge	T
N_v	Wert der jeweiligen Niederschlagsordinaten	L
$t_{0,1}$	Integrationszeitpunkt der Infiltrationsfunktion	T
m	Niederschlagsordinate, ab der Sättigung vorliegt	-
S	Sorptivität	$L^{T \cdot 0.5}$
A	Infiltration für $\rightarrow \infty$	$L^{T \cdot 1}$

Für eine ungesättigte Phase während eines Niederschlagsereignisses, in welcher der Niederschlag vollständig infiltriert, muss die erste zeitverschobene Funktion verwendet werden, um eine zweite Verschiebung zu berechnen. Die Bedingungen dafür formulieren sich analog zu Gleichung (7):

$$\Delta t \sum_{v=t_1}^n N_v > S \left(\left| \frac{S}{2(N_n - A)} \right| - \sqrt{t_1 - \Delta z_1} \right) + A \left(\left(\frac{S}{2(N_n - A)} \right)^2 + \Delta z_1 - t_1 \right) \tag{8}$$

$$\text{mit } t_{0,2} = \left(\frac{S}{2(N_n - A)} \right)^2 + \Delta z_1$$

Mit:

t_1	Startzeitpunkt der erneut ungesättigten Phase	T
Δz_1	Erste Zeitverschiebung	T
$t_{0,2}$	Zweiter Integrationszeitpunkt der Infiltrationsfunktion	T
n	Niederschlagsordinate, ab der erneut Sättigung vorliegt	-

Abbildung 3 veranschaulicht das Prinzip des Algorithmus nach Peschke für ein fiktives Niederschlagsereignis. Die Philip-Funktion $I_0(t)$ (für einen schluffigen Boden) wird nach der ungesättigten Phase zu Beginn des Ereignisses um den Betrag Δz_1 versetzt. Anschließend wird mit $I_1(t)$ weitergerechnet. Zur Zeit t_1 schwächt sich der Niederschlag ab und eine erneute ungesättigte Phase beginnt. Diese endet am zweiten Sättigungszeitpunkt $t_{s,2}$ und $I_1(t)$ wird um $\Delta z_2 = t_{s,2} - t_{0,2}$ verschoben. Anschließend wird mit $I_2(t)$ weitergerechnet.

Zur Berücksichtigung eines oberflächennahen Abflusses durch Sättigungsflächen wurde eine empirische Beziehung aufgestellt. Diese verwendet den aktuellen Wassergehalt des oberen Bodenspeichers sowie den topographischen Index TI_H aus dem TOPMODEL-Ansatz von BEVEN & KIRKBY (1979). Der Sättigungsflächenabfluss wird direkt vom aktuellen Bestandsniederschlag abgeleitet und ist im Modellablauf daher zwischen die Interzeption und die Infiltration nach Philip gesetzt. Der Bestandsniederschlag wird um den Sättigungsflächenabfluss verringert, der verbleibende Niederschlag bildet den Input der Infiltrationsberechnung. Der relative Sättigungsflächenabfluss ist in Gleichung (9) notiert. Der absolute Sättigungsflächenabfluss berechnet sich als Produkt aus dem relativen Sättigungsflächenabfluss und der Höhe der Niederschlagsordinate des aktuellen Zeitschritts.

$$Sq_{H,k}(\theta_{H,a,k-1}) = \left(\frac{\theta_{H,a,k-1} - \theta_{r,H}}{\theta_{s,H} - \theta_{r,H}} \right) \left(1 + \frac{4p_T}{TI_H + p_T} \right) = S_{e,H,a,k-1} \left(1 + \frac{4p_T}{TI_H + p_T} \right) \tag{9}$$

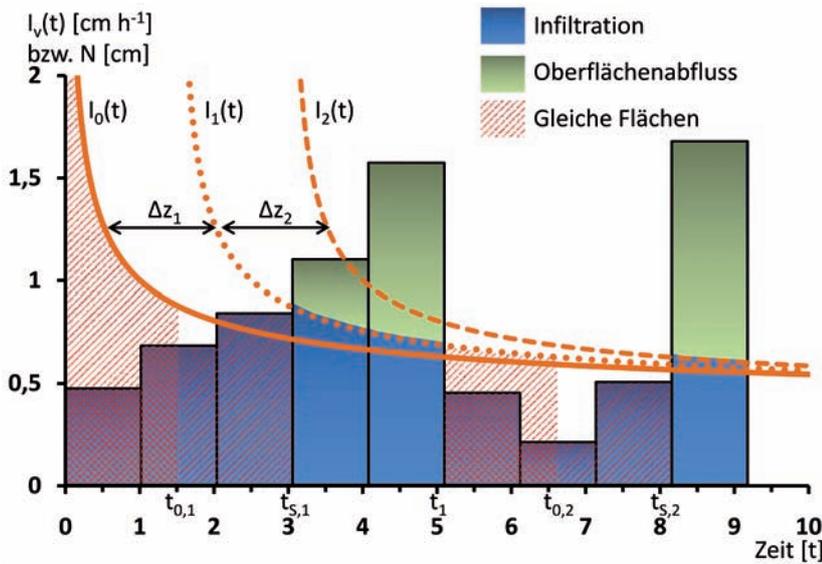


Abbildung 3

Beispiel für die Zeitverschiebung nach PESCHKE (1981), angewendet auf die Infiltrationsgleichung nach PHILIP (1957a-e) für einen schluffigen Boden. Erläuterungen zu den Symbolen befinden sich im Text.

An example of the PESCHKE (1981) time shift, used in combination with PHILIP's infiltration equation (1957a-e) for a silty soil (symbols are explained in the text).

- Aufbereitung und Disaggregation von Stationsdaten
- Schneeakkumulation und -schmelze
- Interzeption und Evapotranspiration
- Infiltration und Bodenwasser
- Abflusskonzentration
- Wellenablauf im Gewässernetz
- Spezielle Prozeduren für Bauwerke (Düker, Retentionsräume und Verzweigungen)

Die genannten Berechnungsprozeduren werden in dieser Reihenfolge in der Raumschleife hydrotopweise aufgerufen, welche wiederum in jedem Zeitschritt als Bestandteil der Zeitschleife durchlaufen wird. Die prozessorientierte Vertikalgliederung der Hydrotope sieht die Vorgabe der Schneeschmelze, des Bestandsniederschlages aus der Interzeptionsberechnung und der Evapotranspiration als Randbedingungen des Infiltrations- und Bodenmodells vor. Für jedes Hydrotop und jeden Zeitschritt liegen diese Werte beim Aufruf der neuen Prozedur vor. Die Berechnung der drei Abflusskomponenten Oberflächen-, Zwischen- und Grundwasserabfluss erfolgt in dem vorgestellten Infiltrations- und Bodenmodell gemäß

Mit:

$S_{q_{H,k}}$	Relativer, hydrotopabhängiger Sättigungsflächenabfluss in k	-
k	Zeitschritt	-
$\theta_{H,a,k-1}$	Hydrotopabhängiger vol. Wassergehalt im oberen Speicher in k-1	-
Tl_H	Hydrotopgemittelter topographische Index	-
p_T	Teilflächenabhängiger Modellparameter (5-30)	-
$\theta_{r,H}$	Hydrotopabhängiger volumetrischer Restwassergehalt	-
$S_{e,H,a,k-1}$	Hydrotopabh. effektive Sättigung des oberen Speichers zu k-1	-

den Erläuterungen aus Abschnitt 3.1. Anschließend erfolgt die Aggregation der hydrotopweise vorliegenden Abflusskomponenten auf die übergeordneten Teilflächen, da der Prozess der Abflusskonzentration mit Einzellinearspeichern teilflächenbezogen parametrisiert wird.

Die beschriebenen Schnittstellen zu den Prozessmodellen der Landoberfläche und der Abflusskonzentration entsprechen denen des vorhandenen, konzeptionellen Bodenmodells in PANTA RHEI. Somit lässt sich innerhalb eines Projektes die Prozessbeschreibung durch den Anwender umstellen, sofern alle erforderlichen Parameter für die Teilflächen bereitgestellt werden.

Weiterhin wird aus dem oberen Bodenspeicher ein Zwischenabfluss entnommen. Dieser wird empirisch bestimmt und richtet sich ebenfalls nach dem aktuellen volumetrischen Wassergehalt des oberen Speichers sowie der hydrotopgemittelten Geländeneigung, welche aus dem vorliegenden DGM5 bestimmt wird. Der absolute Zwischenabfluss wird durch Skalierung des in Gleichung (10) dargestellten relativen Zwischenabflusses mit der hydraulischen Leitfähigkeit sowie der Zeitschrittlänge berechnet.

$$I_{rq_{H,k}}(\theta_{H,a,k-1}) = \left(\frac{\beta_H}{200}\right)^{q_T} S_{e,H,a,k-1}^{(0,6)} \quad (10)$$

Mit:

$I_{rq_{H,k}}$	Relativer, hydrotopabhängiger Zwischenabfluss in k	-
β_H	Hydrotopgemittelte Geländeneigung	-
q_T	Teilflächenabhängiger Modellparameter (0,2-1)	-

3.2 Implementierung in PANTA RHEI

Der modulare Aufbau des in C++ programmierten hydrologischen Modells PANTA RHEI bedingt eine vollständige Austauschbarkeit von Berechnungsprozeduren der wesentlichen Prozesse des Wasserhaushalts von Einzugsgebieten:

Im Gegensatz zum konzeptionellen Ansatz wurde der Bodenspeicher in zwei Schichten aufgeteilt (s. Abschnitt 3.1). Dazu mussten weitere Felder zur Mitführung definiert werden. Es ist vorgesehen, die Berechnung der Transpiration in Abhängigkeit der Wurzellänge unter Berücksichtigung beider Bodenspeicher durchzuführen. In der aktuellen Implementierung ist die Verdunstung nur Senke des oberen Bodenspeichers. Weitere Entwicklungen werden daher auf eine engere Kopplung der Verdunstungs- und Bodenmodelle abzielen. Dafür müssen neue Schnittstellen zwischen den Teilmodellen entwickelt werden.

4 Ergebnisse

4.1 Sorptivität

Die Bestimmung der Sorptivität ist relativ aufwändig und fehleranfällig. Aus diesem Grund soll die Größenordnung der berechneten Werte überprüft werden. Da keine Feldmessungen im Modellgebiet durchgeführt wurden, kann keine direkte Validierung erfolgen. Es soll jedoch ein Abgleich mit Literaturwerten erfolgen. So führten ZADEH et al. (2007) Regressionen für die Philip-Gleichung an Infiltrationsmesswerten von neun verschiedenen Böden durch.

Die Messwerte wurden durch ein Doppelringinfiltrometer gewonnen, welches eine laterale Ausbreitung der Infiltrationsfront hemmt. Die Bandbreite der angepassten Werte der Sorptivität lagen zwischen $6 \text{ cm d}^{-0.5}$ für einen feiner texturierten Boden und $50 \text{ cm d}^{-0.5}$ für einen gröber texturierten Boden. Mit Gleichung (4) lassen sich Werte in derselben Größenordnung berechnen. So wurde mit dieser Gleichung die Bandbreite der Sorptivität von Böden, die im Modellgebiet vorkommenden, in Abhängigkeit vom Anfangswassergehalt (im Modell entspricht dies jeweils dem aktuellen Bodenwassergehalt zu Beginn eines Niederschlagsereignisses) berechnet und für drei Böden in Abbildung 4 visualisiert. Es wurden ein toniger und ein sandiger Boden für die Abgrenzung der Extrema sowie ein schluffiger Boden in Abbildung 4 eingetragen, welche bereits in Abbildung 1 verwendet wurden. Die verschiedenen Start- und Endpunkte der jeweiligen Böden sind durch die unterschiedlichen van Genuchten-Parameter (Θ_s und Θ_r) bedingt. So liegt der Restwassergehalt des sandigen Bodens bei etwa 0,05 und der Sättigungswassergehalt bei etwa 0,38. Für alle Böden geht die Sorptivität bei Sättigung gegen Null; je gröber die Textur, desto steiler der Abfall. Dies ist bodenphysikalisch nachvollziehbar: Bei einem gröber texturierten Boden liegt in der Regel eine bessere Sortierung vor, welche einen steilen Abfall der Retentions- und Leitfähigkeitskurve zur Folge hat. Bei einer guten Sortierung ent- bzw. bewässern viele Poren in einem engen Matrixpotentialbereich. Deren Auswirkung auf die Berechnung der Sorptivität ist durch das Matrix-Fluss-Potential gegeben.

4.2 Modell

Der vorgestellte Ansatz zur Modellierung der Abflussbildung ist in der aktuellen Version von PANTA RHEI verfügbar. In der derzeitigen Testphase wird der neue Ansatz auf ein fiktives Einzugsgebiet, welches aus einer Teilfläche mit einem Hydrotop besteht, angewendet. Der Bodentyp des Hydrotops lässt sich variieren, wodurch der neue Ansatz auf Plausibilität überprüft werden kann. Hierfür wurden dieselben Böden wie schon für Abbildung 1 und Abbildung 4 ausgewählt, um die Bandbreite plus einer durchschnittlichen Konfiguration abzudecken. Auch in den folgenden Grafiken sind diese Böden schlicht durch „Ton“, „Schluff“ und „Sand“ abgekürzt.

Abbildungen 5, 6 und 7 zeigen die mit dem in Abschnitt 3.1 vorgestellten Ansatz berechneten Simulationsergebnisse. Die verwendeten Abkürzungen in den Legenden sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

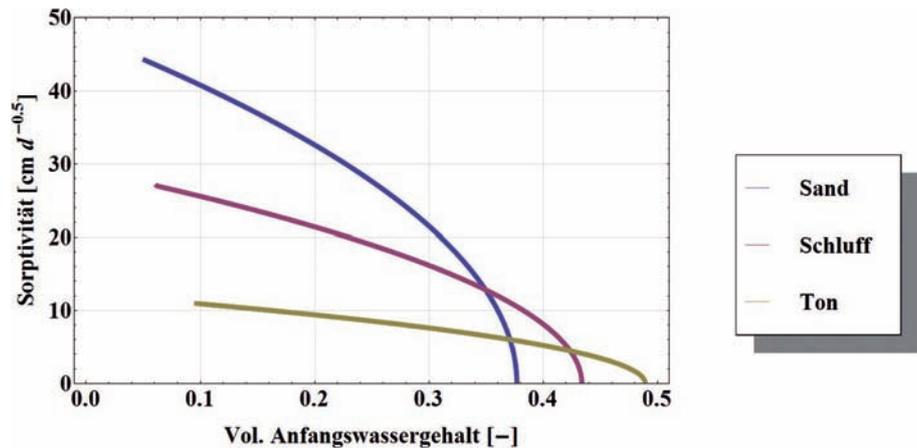


Abbildung 4

Einfluss des Anfangswassergehalts auf die Sorptivität eines tonigen, schluffigen bzw. sandigen Bodens. In der Legende sind diese Böden mit Ton, Schluff bzw. Sand abgekürzt.

The influence of the initial water content on the sorptivity of sandy, silty, and clayey soils, abbreviated as sand, silt, and clay in the legend.

In allen Simulationen wurde die effektive Sättigung beider Bodenspeicher zu Beginn auf 0,5 und die durchschnittliche Geländesteigung auf 2° gesetzt. Der topographische Index TI wurde für das Testgebiet auf 20 gesetzt. Ein TI von 20 ist typisch für flache Einzugsgebiete (mittlere Hangneigung unter 1 %) mit vorwiegend sandigen Böden. Weiterhin wurde in allen Simulationen mit Evapotranspiration gerechnet, um die Bilanzierung im oberen Bodenspeicher realistischer zu gestalten. Der Niederschlag ist rein fiktiv und wurde stark übertrieben, um in kurzer Simulationszeit eine möglichst hohe Infiltrations- und Abflussdynamik zu erreichen. Dies erleichtert die Plausibilitätskontrolle, da somit in kurzen Abständen alle Systemzustände erreicht werden und diese sehr übersichtlich in einem Outputfile festgehalten werden können.

Auf dem tonigen Boden (Abb. 5) infiltriert insgesamt die kleinste Wassermenge. Vor allem fällt auf, dass die Infiltration für die spä-

Tabelle 1
Zeichendefinitionen für Abbildungen 5, 6 und 7
Definition of symbols in Figures 5, 6, and 7

Symbol	Erläuterung
P	Bestandsniederschlag / canopy precipitation
P_{sat}	Input für Philip-Infiltration / input for the Philip infiltration
Inf_{phil}	Infiltration in den oberen Bodenspeicher durch die Philip-Gleichung / infiltration into the upper soil storage
Q_{phil}	Oberflächennaher Abfluss durch Infiltrationsüberschuss / near-surface runoff from infiltration excess
Q_{sur}	Gesamter oberflächennaher Abfluss ($Q_{phil} + Q_{sat}$) / total near-surface runoff
Q_{int}	Zwischenabfluss / interflow
Q_{gw}	Grundwasserabfluss / groundwater flow
Q_{tot}	Gesamtabfluss ($Q_{sur} + Q_{gw}$) / total runoff
Q_{sat}	Oberflächennaher Abfluss durch Sättigungsflächen ($P - P_{sat}$) / near-surface runoff from saturation excess
Θ_1	Volumetrischer Wassergehalt des oberen Bodenspeichers / water volume in the upper soil storage
Θ_2	Volumetrischer Wassergehalt des unteren Bodenspeichers / water volume in the lower soil storage

teren Ereignisse immer ein Plateau bildet. Dies liegt an dem geringen K_s -Wert des feinkörnigen Bodens, welcher die Infiltration limitiert. Nur zu Beginn der Simulation ist die Infiltrationsrate bei niedrigem Wassergehalt durch die Sorptivität etwas größer. Der Abfluss wird fast ausschließlich von Infiltrationsüberschuss gebildet, während der Sättigungsflächenabfluss erst bei den hohen Wassergehalten im letzten Ereignis eine Rolle spielt. Der Zwischenabfluss ist aufgrund der sehr niedrigen Leitfähigkeit nahezu Null und würde auch nur nahe Sättigung (oder bei extremen Gelände-steigungen) ansteigen. Der Wassergehalt im oberen Speicher steigt durch die Niederschlagsereignisse stark an und wird nur durch Evapotranspiration wieder reduziert. Die Perkolationsrate in den unteren Speicher ist durch die niedrige Leitfähigkeit stark gehemmt, weshalb θ_2 konstant bleibt.

Der schluffige Boden (Abb. 6) verhält sich auf den ersten Blick dem tonigen Boden ähnlich. Auch hier steigt der Wassergehalt des oberen Speichers relativ stark an, während der untere Bodenspeicher nahezu konstant bleibt. Die Infiltration wird für die späteren Ereignisse ebenfalls durch den K_s -Wert limitiert, was in diesem Fall aber an den fiktiven Extrem-Ereignissen liegt. In der Realität würde dieser Boden selten Sättigung erreichen. Der Sättigungsflächenabfluss ist für den schluffigen Boden größer als für den tonigen, obwohl die Wassergehalte des oberen Speichers in sehr ähnlichen Bereichen liegen. Hier ist es wichtig zu beachten, dass der Sättigungsflächenabfluss nicht mit dem volumetrischen Wassergehalt, sondern mit der effektiven Sättigung des Porenraums berechnet wird. Die Porosität ist für den tonigen Boden größer als für den schluffigen, weshalb sich in letzterem eine größere effektive Sättigung bei gleichem vol. Wassergehalt einstellt. Diese bedingt einen höheren Sättigungsflächenabfluss.

Auf dem sandigen Boden (Abb. 7) ist die Infiltration maximal, so dass sich kein Infiltrationsüberschussabfluss ergibt. Dies ist für einen solchen Boden, der eine sehr hohe gesättigte hydraulische Leitfähigkeit aufweist, plausibel. Die Bodenspeicher reagieren sehr dynamisch und laufen zu Beginn der Simulation aus, so dass ein Abfluss durch die Anfangsbedingung gebildet wird. Der Gesamtab-

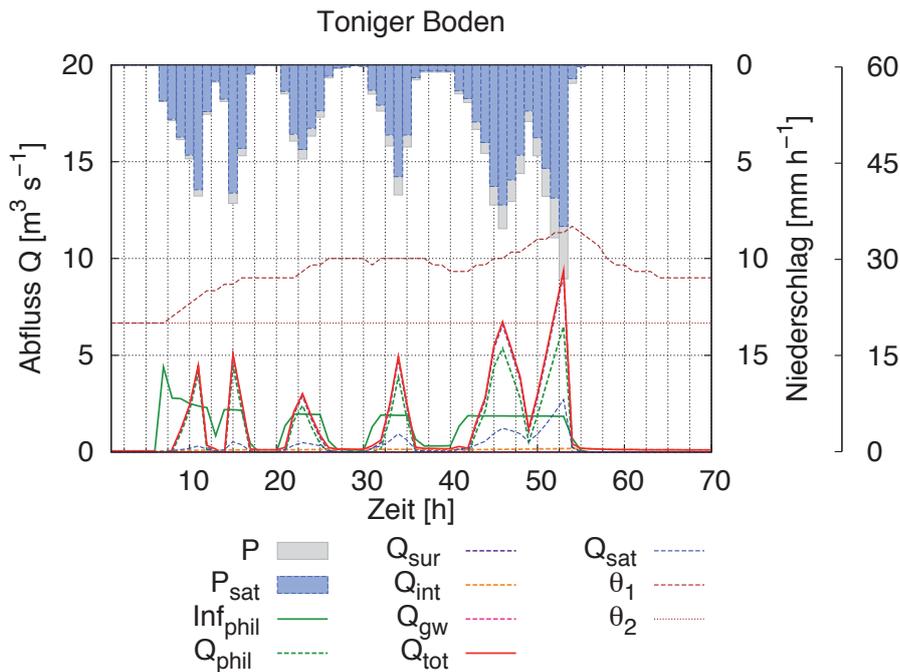


Abbildung 5

Modellergebnisse (des neuen Ansatzes, angewendet auf ein Testeinzugsgebiet mit einem Hydrotop) der Infiltration, des Abflusses und des Bodenwassergehaltes für einen tonigen Boden. Erläuterungen zur Legende befinden sich in Tabelle 1.

Development of infiltration, runoff, and water content over time for a clayey soil as modeled with the implemented procedure for a simple test case (one subcatchment with one HRU). Symbols are explained in Table 1.

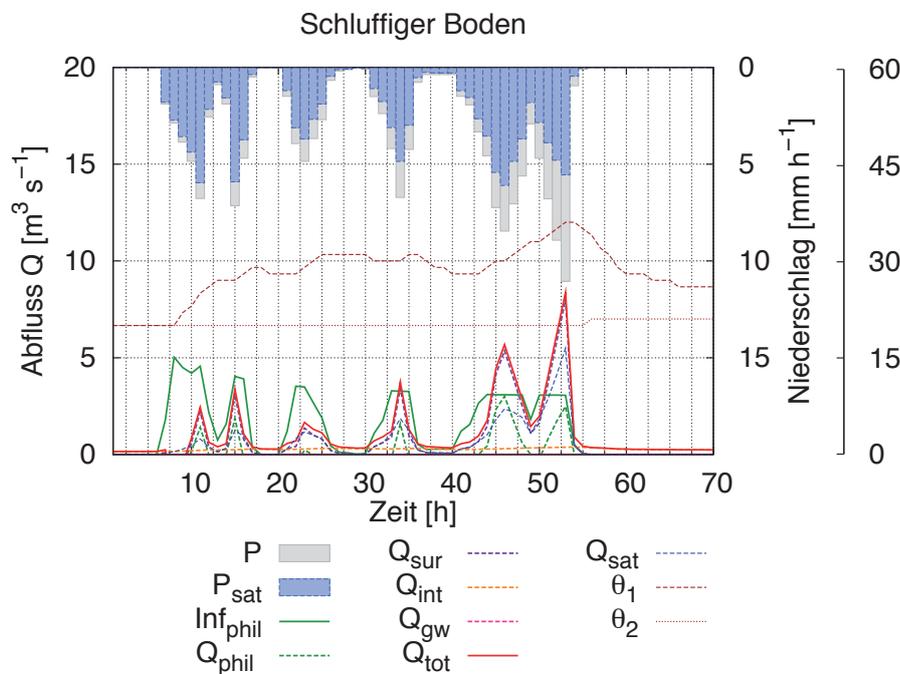


Abbildung 6

Modellergebnisse (des neuen Ansatzes, angewendet auf ein Testeinzugsgebiet mit einem Hydrotop) der Infiltration, des Abflusses und des Bodenwassergehaltes für einen schluffigen Boden. Erläuterungen zur Legende befinden sich in Tabelle 1.

Development of infiltration, runoff, and water content over time in a silty soil as modeled with the implemented procedure for a simple test case (one subcatchment with one HRU). Symbols are explained in Table 1.

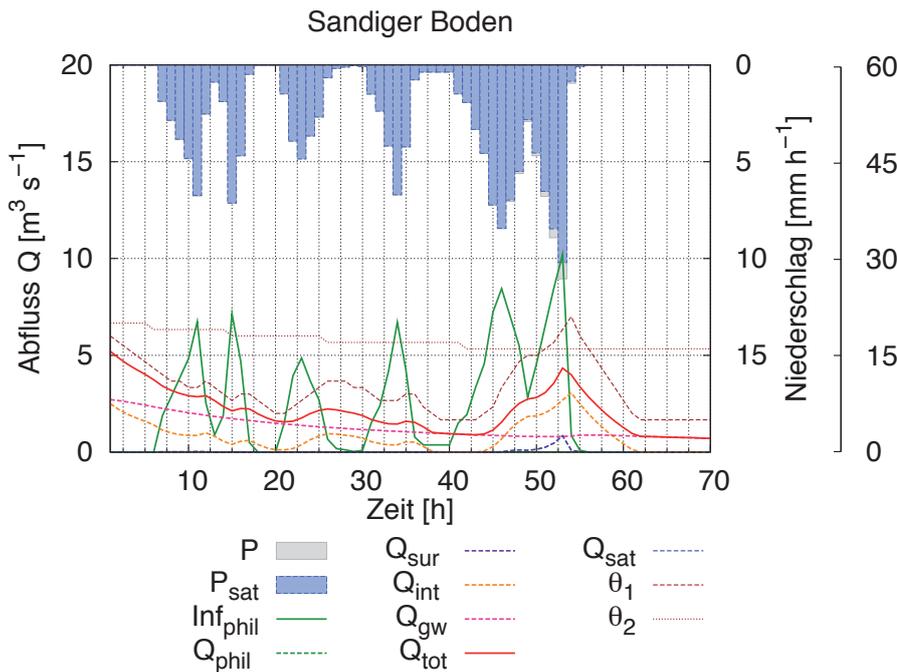


Abbildung 7
 Modellergebnisse (des neuen Ansatzes, angewendet auf ein Testeinzugsgebiet mit einem Hydrotop) der Infiltration, des Abflusses und des Bodenwassergehaltes für sandigen Boden. Erläuterungen zur Legende befinden sich in Tabelle 1.
Development of infiltration, runoff, and water content over time in a sandy soil as modeled with the implemented procedure for a simple test case (one subcatchment with one HRU). Symbols are explained in Table 1.

fluss wird fast ausschließlich durch Zwischen- und Grundwasserabfluss gebildet. Für den tonigen und den schluffigen Boden war die Simulationsdauer zu kurz, um Grundwasserabfluss zu produzieren. Im sandigen Boden hingegen entsteht durch die hohe Infiltration ein großer Bodenwasservorrat im oberen Speicher, welcher sich auf Zwischenabfluss, Perkolation in den unteren Speicher sowie Evapotranspiration aufteilt. Bei weniger extremen Ereignissen wird kaum Abfluss auf diesem Bodentyp gebildet, da durch Evapotranspiration wassergehaltsabhängiger Zwischenabfluss und Perkolation gehemmt werden.

5 Diskussion

Die hier vorgestellten ersten Testergebnisse des neuen Moduls zur Abflussbildung im hydrologischen Modell PANTA RHEI sind vielversprechend. Infiltration und Abfluss auf verschiedenen Böden reagieren in einem realistischen Rahmen: Auf feinkörnigem Substrat ist die Infiltration durch die niedrige gesättigte hydraulische Leitfähigkeit stark limitiert und es stellt sich Infiltrationsüberschussabfluss ein. Auf grobtexturierten Böden infiltriert der Niederschlag hingegen vollständig. Der Sättigungsflächenabfluss setzt erst bei hoher effektiver Sättigung ein und ist der Infiltration vorgeschaltet. Der empirische Zwischenabfluss setzt für hydraulisch gut leitende Böden ein, bei denen der Wassergehalt im oberen Speicher hoch ist. Der Einfluss des Gefälles wurde bisher nicht untersucht, eine Variation des Gefälles ist Gegenstand der nächsten Tests.

Zwischenabfluss und Sättigungsflächenabfluss müssen hinsichtlich ihrer Sensitivität an realen Einzugsgebieten plausibilisiert werden. Eine Option zur Modifikation wäre die Erweiterung des

Bodenmodells um einen Zwischenabflussspeicher, welcher entweder an den oberen oder zwischen den oberen und den unteren Bodenspeicher gekoppelt wird.

Im Rahmen der bisherigen Simulationen wurde festgestellt, dass effektive Sättigung als Anfangsfüllung der Bodenspeicher sehr unterschiedlich auf die verschiedenen Böden wirkt. Eine bodenphysikalisch sinnvollere Alternative wäre die Vorgabe eines Anfangsmatrixpotentials. Dies bedingt unterschiedliche Wasservolumina in den spezifischen Bodenspeichern, stellt aber die reale Wasserverfügbarkeit (z.B. für die Evapotranspiration und Perkolation) besser dar. Während ein Wassergehalt von beispielsweise 15 % in einem Sandboden Zwischenabfluss und Perkolation zur Folge hat, wären diese in einem Schluffboden schon sehr gehemmt, in einem Tonboden würde kaum gravitative Wasserbewegung stattfinden. Auch für die Vegetation führt ein Wassergehalt von 15 % zu unterschiedlichsten Folgen: Ein Großteil dieser Wassermenge wäre in einem Schluffboden pflanzenverfügbar, in einem Tonboden hingegen wäre die komplette Wassermenge so

stark gebunden, dass sie für Pflanzen unerreichbar ist. Eine einheitliche Vorgabe eines Anfangs-Matrixpotentials würde diese Probleme vermeiden.

Das in Kapitel 3.1 angesprochene Problem der oberen Grenze des Integrals der Diffusivität wird zur Zeit bearbeitet. Es ist angedacht, eine Iteration durchzuführen, in welcher der Niederschlag zuerst pauschal in zwei (z.B. gleichgroße) Teile aufgeteilt wird. Ein Teil infiltriert und erhöht damit den aktuellen Bodenwassergehalt, welcher dann als obere Integrationsgrenze verwendet wird. Anschließend wird die Infiltration wie in Kapitel 3 vorgestellt mit der Philip-Gleichung berechnet. Mit dem Ergebnis wird eine neue Bodenfeuchte berechnet und erneut die Infiltration bestimmt. Dies wird solange durchgeführt, bis ein Abbruchkriterium erfüllt ist (z.B. $Infiltration_n / Infiltration_{n-1} \approx 1$ und/oder max. 10 Iterationen). Es bleibt abzuwarten, ob sich diese Vorgehensweise bewährt und wie groß der Unterschied zu der Annahme mit Sättigung als oberer Integralgrenze ist. Alternativ wird nach einer anderen Gleichung zur Berechnung der Sorptivität gesucht oder die Überschätzung empirisch korrigiert.

Geplant ist weiterhin eine Erweiterung der Schnittstelle des neuen Bodenmoduls mit der Evapotranspiration. In der aktuellen Programmversion wird die Evapotranspiration ausschließlich aus dem oberen Bodenspeicher gespeist. Viele Pflanzen verfügen über tiefere Wurzeln, weshalb auch der untere Bodenspeicher mit einbezogen werden muss.

Conclusion

The first test results of the new PANTA RHEI runoff-formation module are promising. Modelled infiltration and runoff react in a reasonable way in different soils. Fine-grained substrate limits infiltration through its low hydraulic conductivity, and infiltration-excess runoff occurs. Precipitation fully infiltrates in coarse-grained soils. Runoff from saturated areas occurs only where the effective saturation is very high. Empirically estimated interflow occurs in soils with high hydraulic conductivity where the water content in the upper soil storage is high. The influence of slope has not yet been examined. Thus, a main topic of the next tests will be the introduction of variable slope.

Interflow and flow from saturated areas need verification as far as their sensitivity is concerned. Optional modifications include the extension of the soil model by an additional interflow storage, connected either to the upper storage or to both soil storages.

Simulation results show that using uniform effective saturation as initial condition for different soils leads to very high variability in the availability of water. From the point of view of soil physics, a meaningful alternative would be the introduction of a uniform initial matrix potential. This will lead to different water contents in the soil storages, but will give a better representation of the real water availability e.g. for evapotranspiration and percolation. A water content of 15 % leads to interflow and percolation in sandy soils, while these processes are inhibited in silty soils, and in clayey soils gravitation-driven processes hardly occur at this water content. Vegetation reacts in dramatically different ways to a 15 % water content in different soils. Most of the water would be available for plants on silty soils, clayey soils would retain all water, leaving nothing to the plants. A uniform initial matrix potential would avoid these problems.

A problem of the upper boundary of the integral over diffusivity is currently under consideration. An additional iteration could divide precipitation into two portions (of the same size). The first part could infiltrate and increase the present water content which would be used as upper boundary. The second part would be used to calculate the Philip-infiltration as introduced in Chapter 3. The result could be used to calculate a new water content for another estimation of infiltration. This procedure would be iterated until a convenient stop criterion is achieved. This could be the maximum number of iterations or a convergence criterion. It remains to be seen if this turns out to be an adequate procedure and how large the difference to the calculation with the water content at saturation as upper boundary will be. Alternatives include finding another equation for the calculation of sorptivity or the empirical correction of the currently overestimated upper boundary.

Next steps include the enhancement of the interface between the two-layer soil model and evapotranspiration. Currently, evapotranspiration is fed by the upper soil storage only, whereas many plants have deep roots, which suggests the inclusion of the lower soil storage as a water source for vegetations.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei der FgHW für die Auszeichnung mit dem Nachwuchspreis bedanken. Prof. Dr.-Ing. Günter Meon sei besonders gedankt für die Vergabe des anspruchsvollen Themas und die Freiräume bei der Lösungsfindung. Für programmtechnische Unterstützung und eine gute Arbeitsatmosphäre bedanke ich mich bei Dr.-Ing. Gerhard Riedel.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Geoökol. P. Kreye
Dipl.-Ing. M. Gocht MBA
Dipl.-Hydrol. K. Förster
TU Braunschweig, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz
Beethovenstraße 51a, 38106 Braunschweig
P.Kreye@tu-bs.de

Literaturverzeichnis

- BEVEN, K.J. & J.M. KIRKBY (1979): A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. – *Hydrological Sciences* 24, 43–69
- BRONSTERT, A., D. NIENHOFF & G. BÜRGER (2002): Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities. – *Hydrological Processes* 16, 509–529
- BRUTSAERT, W. (1979): Universal Constants for Scaling the Exponential Soil Water Diffusivity. – *Water Resources Research* 15, 481–483
- BUCHHOLZ, O. (2000): Hydrologische Modelle – Theorie der Modellbildung und Beschreibungssystematik. – Dissertation Technische Hochschule Aachen
- GREEN, W.H. & G.A. AMPT (1911): Studies on Soil Physics: Part I – The Flow of Air and Water through Soils. – *Journal of Agricultural Sciences* 4, 1–24
- HABERLANDT, U. & G. MEON (2008): Auswirkung von Klimaänderungen auf Wasserdargebot, Hochwasserrisiko und Gewässerbelastung in Niedersachsen (KLIFWA). – Projektantrag
- HORTON, R.E. (1940): An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. – *Soil Science Society of America Journal* 5, 399–417
- JURY, W. & R. HORTON (2004): *Soil Physics*. – John Wiley & Sons, Chichester
- KUTILEK, M., M. KREJCA, R. HAVERKAMP, L.P. RENDON & J.Y. PARLANGE (1988): On extrapolation of algebraic infiltration equations. – *Soil Technology* 1, 47–61
- KUTILEK, M. & D.R. NIELSON (1994): *Soil Hydrology*. – Catena Verlag, Reiskirchen
- LIPPMAN, S.B., J. LAJOIE & B.E. MOO (2006): *C++ Primer*. – Addison-Wesley-Verlag, München

- MIGLIACCIO, K.W. & P. SRIVASTAVA (2007): Hydrologic components of watershed-scale models. – Transactions of the Asabe 50, 1695–1703
- MUALEM, Y. (1976): A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. – Water Resources Research 12, 513–522
- PAPULA, L. (2001): Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, Bd 1. –Vieweg Verlag, Wiesbaden
- PARLANGE, J.Y. (1975): On Solving the Flow Equation in Unsaturated Soils by Optimization: Horizontal Infiltration. – Soil Science Society of America Journal 39, 415–418
- PESCHKE, G. (1981): Die Berechnung des Effektivniederschlags natürlicher Regen mit Hilfe einfacher Infiltrationsmodelle. – Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden 30, 165–170
- PHILIP, J.R. (1957a): The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. – Soil Science 83, 345–358
- PHILIP, J.R. (1957b): The theory of infiltration: 2. The profile at infinity. – Soil Science 83, 435–448
- PHILIP, J.R. (1957c): The theory of infiltration: 3. Moisture profiles and relation to experiment. – Soil Science 84, 163–178
- PHILIP, J.R. (1957d): The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. – Soil Science 84, 257–264
- PHILIP, J.R. (1957e): The theory of infiltration: 5. Influence of initial moisture content. – Soil Science 84, 329–339
- PHILIP, J.R. (1987): The infiltration joining problem. – Water Resources Research 23, 2239–2245
- RAWLS, W.J., L.R. AHUJA, D.L. BRAKENSIEK & A. SHIRMOHAMMADI (1993): Infiltration and soil water movement. – In: Maidment, D.R: (Ed.): Handbook of Hydrology. – McGraw-Hill, New York
- RICHARDS, A.L. (1931): Capillary conduction of liquids through porous media. – Physics and Chemistry of the Earth 1, 318–333
- RIEDEL, G. (2004): Ein hydrologisches Modell für tidebeeinflusste Flussgebiete. –Dissertation Technische Universität Braunschweig
- SCHAAP, M.G., J.F. LEIJ & M.Th. VAN GENUCHTEN (2001): ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. – Journal of Hydrology 251,163–176
- SCHERZER, J. & E. HANGEN (2004): Ermittlung von Pedotransferfunktionen zur rechnerischen Ableitung von Kennwerten des Bodenwasserhaushalts (FK, PWP, nFK, kapillarer Aufstieg). – UDATA Projekt
- SIMUMEK, J., M.Th. VAN GENUCHTEN & M. SEJNA (2008): Development and Applications of the HYDRUS and STANMOD Software Packages and Related Codes. – Vadose Zone Journal 7, 587–600
- THONY, J.L., G. VACHAUD, B.E. CLOTHIER & R. ANGULO-JARAMILLO (1991): Field measurement of the hydraulic properties of soil. – Soil Technology 4, 111–123
- VAN GENUCHTEN, M.Th. (1980): A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. – Soil Science Society of America Journal 44, 892–898
- WARRICK, A.W. (2003): Soil Water Dynamics. – Oxford University Press, Oxford
- WHITE, I. (1987): Comments on “Sorptivity Approximations” by Kutilek and Valentova. – Transport in Porous Media 2, 317–321
- ZADEH, K.S., A. SHIRMOHAMMADI, H.J. MONTAS & G. FELTON (2007): Evaluation of infiltration models in contaminated landscape. – Journal of Environmental Science and Health, Part A, 42, 983–988

Karl Ludwig, Greta Moretti und Kerstin Verzano

Einfluss verschiedener Infiltrationsmodelle auf die Simulation extremer Ereignisse in Quellgebieten

Effects of different infiltration models on the simulation of extreme events in headwater catchments

Im Forschungsprojekt „Operationelle Abfluss- und Hochwasservorhersage in Quellgebieten (OPAQUE)“ wurde ein erweitertes bodenfeuchteabhängiges Infiltrationsmodell des Wasserhaushaltsmodells LARSIM für vier Untersuchungsgebiete in Süddeutschland angewandt und mit Ergebnissen eines einfacheren, sättigungsabhängigen Infiltrationsmodell verglichen. Das erweiterte Infiltrationsmodell berücksichtigt den Horton'schen Abfluss und simuliert den Makroporenabfluss in bewaldeten und humiden Gebieten gut. Es wurde untersucht, inwieweit durch eine detailliertere Repräsentation des Bodenwassertransports in Quellgebieten bessere Vorhersagen extremer Hochwasserereignisse erzielt werden können. Dabei ergibt sich bei Hochwasser durch konvektive (Extrem-) Niederschläge mit dem erweiterten Infiltrationsmodell meist eine bessere Abflusssimulation. Bei Hochwassern durch langanhaltenden Advektivniederschlag ist der Einfluss des erweiterten Infiltrationsmodells gering. Es wurde eine Analyse durchgeführt, um besonders sensitive Parameter des erweiterten Infiltrationsmodells zu identifizieren. Zusätzliche Untersuchungen in anderen Einzugsgebieten sollten zur weiteren Überprüfung des Modellansatzes erfolgen.

Schlagwörter: Hochwasser, Horton'scher Infiltrationsansatz, Infiltrationsmodell, LARSIM

In a research project dealing with operational runoff and flood forecasting in headwater catchments (OPAQUE), a recently developed, extended soil-moisture-dependent infiltration model was tested in the physically based hydrological water-balance model LARSIM with four catchments in southern Germany. The extended infiltration model considers Horton's runoff and is well suitable to simulate macropore-runoff in humid and forested areas. It was tested whether the more complex infiltration approach allows better representations of extreme flood events in headwater catchment compared with results based on a simple soil-saturation-dependent infiltration model. The extended infiltration model leads in most cases to improved representations in case of floods produced by heavy convective rain. The improvement is marginal when floods are caused by advective rain. A sensitivity analysis was made with respect to important parameters of the extended infiltration approach. Further investigation of the extended approach for different areas is recommended.

Keywords: Floods, Horton's equation, infiltration model, LARSIM

1 Einleitung

Der Bodenspeicher hat einen entscheidenden Einfluss auf den Wasserhaushalt. Er speichert Wasser aus Regen bzw. Schneeschmelze und bewirkt die Aufteilung des Wassers in verschiedene Abflusskomponenten. Ein Teil des Bodenwassers evaporiert oder wird von Pflanzen aufgenommen. Somit hat der Boden eine entscheidende Rolle als Regel- und Verteilersystem bei der Abflussbildung (LEIBUNDGUT & UHLENBROOK 1997). Wegen der sehr unterschiedlichen Funktion der verschiedenen Abflusskomponenten ist eine korrekte Beschreibung der Bodenfeuchtedynamik in der hydrologischen Modellierung Voraussetzung für die realistische Simulation der Abflussbildung eines Einzugsgebietes.

Die verbesserte Modellierung der Abflussbildungsprozesse in kleinen Gebieten ist ein Ziel des BMBF-Forschungsprojekts „Operationelle Abfluss- und Hochwasservorhersage in Quellgebieten“ (OPAQUE). Im Rahmen von OPAQUE wurden neue Werkzeuge zur Vorhersage extremer Hochwasserereignisse für Quellgebiete entwickelt. Aufgrund der relativ geringen Größe (bis ca. 500 km²) und insbesondere bei hohem Geländegefälle reagieren diese Gebiete sehr schnell auf kleinräumige Niederschläge mit hoher Intensität. Neben dem Geländegefälle spielen die räumliche und zeitliche Verteilung des Niederschlagfeldes (ZEHE & BLÖSCHL 2004, HOHENRAINER 2010) und die räumliche Variabilität der Bodenfeuchte (BRONSTERT & BARDOSSY 1999) eine wesentliche Rolle.

Um die Repräsentation des Abflussbildungsprozesses zu verbessern, wurde für LARSIM bereits 2004 ein erweitertes Modell für die Abbildung des Infiltrationsprozesses entwickelt (LFU 2004). Ziel war, in kleineren Einzugsgebieten mit dominierender Horton'scher Abflussbildung (HORTON 1933) eine bessere Beschreibung extremer Ereignisse mit hoher Niederschlagsintensität zu erzielen.

Im Rahmen dieser Studie wird die Simulation von Hochwasserereignissen für vier süddeutsche Quellgebiete sowohl mit einem einfachen Infiltrationsmodellansatz als auch mit dem oben angesprochenen erweiterten Infiltrationsmodell untersucht.

Im Folgenden werden zunächst Untersuchungsgebiete und Datengrundlagen beschrieben (2.1 und 2.2). Danach folgt eine kurze Modellbeschreibung von LARSIM sowie eine Darstellung des einfachen und des erweiterten Infiltrationsmodells (2.3 bis 2.5). Zudem wird die Auswahl der Hochwasserereignisse erläutert und auf Kalibrierergebnisse an Pegeln eingegangen (2.6). In Abschnitt 3 werden die Simulationsergebnisse der Hochwasserereignisse mit den beiden Infiltrationsmodellen beschrieben und anhand gemessener Ganglinien validiert. Im Anschluss werden die Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse von Parametern des erweiterten Infiltrationsmodells beschrieben (4). Abschließend werden die Ergebnisse diskutiert (5) und zusammengefasst (6).

2 Daten und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Im Rahmen der vorgestellten Studie wurden folgende Quellgebiete in Baden-Württemberg und Bayern untersucht: Einzugsgebiet der Starzel bis Pegel Rangendingen (125 km²), Einzugsgebiet der Alb bis Pegel Ettlingen (150 km²), Einzugsgebiet der Oberen Donau bis Pegel Donaueschingen-HMO (525 km²) und das Einzugsgebiet der Oberen Iller bis Pegel Sonthofen (388 km²). Abbildung 1 stellt die Untersuchungsgebiete mit Topographie und Lage der ausgewählten Pegel dar und Tabelle 1 zeigt eine Übersicht ausgewählter Daten der Untersuchungsgebiete.

In den letzten 10 Jahren traten in einigen der untersuchten Gebiete mehrere extreme Ereignisse auf, die teilweise sogar HQ₁₀₀ überschritten. So auch an der Starzel, einem rechten Nebenfluss des Neckars in Baden-Württemberg, der durch die Schwäbische Alb fließt und ein Gesamteinzugsgebiet von 177 km² hat. Die Höhen im Einzugsgebiet variieren zwischen ca. 360 und 920 m ü. NN. Wald, Ackerfläche und Grünland stellen die Hauptlandnutzungsklassen dar. In mehreren Ortschaften, die die Starzel auf ihrem Lauf zum Neckar durchquert, entstanden durch das extreme Hochwasser im Juni 2008 materielle Schäden in Millionenhöhe und es kostete drei Menschen das Leben.

Die Alb entsteht im Nordschwarzwald, erreicht kurz vor Ettlingen die Oberrheinebene und hat dort ein Einzugsgebiet von 150 km² mit Geländehöhen zwischen ca. 105 und 940 m ü. NN. Knapp drei Viertel des Gebiets sind mit Nadel-, Laub- oder Mischwaldflä-

chen bedeckt. Die Donau entsteht durch Zusammenfluss von Breg und Brigach bei Donaueschingen. Das Gebiet erstreckt sich vom Schwarzwald bei ca. 1.100 m ü. NN bis zum Pegel Donaueschingen-HMO/Donau bei ca. 680 m ü. NN und umfasst eine Fläche von ca. 525 km². Die Einzugsgebietfläche ist zu 70 % mit Nadelwald und zu 26 % mit Grünland bedeckt. Das Einzugsgebiet der Oberen Iller weist am Pegel Sonthofen/Iller eine Fläche von 388 km² auf. Das Gebiet, dessen Geländehöhen zwischen ca. 730 und 2.200 m ü. NN variieren, ist größtenteils von Wald und Grünland bedeckt.

2.2 Datengrundlage

Für die untersuchten Gebiete und Ereigniszeiträume liegen Stundenwerte für Niederschlag, Luftdruck, Lufttemperatur, Taupunkttemperatur, Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung vor. Die Daten stammen unter anderem aus dem Verdichtungs- und dem Luftmessnetz des Landes Baden-Württemberg, dem Grundmessnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und dem Meteomedia-Messnetz. Die aufgeführten hydrometeorologischen Daten für die baden-württembergischen Einzugsgebiete wurden von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) zur Verfügung gestellt und sind vor ihrer Verwendung visuell auf ihre Plausibilität hin überprüft worden. Für die Starzel wurde zudem eine private Niederschlagsstation verwendet. Für die Obere Iller wurden vom Wasserwirtschaftsamt Kempten weitere Abfluss-, Niederschlags- und Klimadaten geliefert, die den Zeitraum bis 2007 abdecken. Es handelt sich um Stationen aus unterschiedlichen Messnetzen. Landnutzungsabhängige Parameter (Blattflächenindex, Albedo, effektive Bestandshöhen, Oberflächenwiderstand und Feldkapazität) wurden aus dem CORINE Datensatz (CLC 2000) abgeleitet.

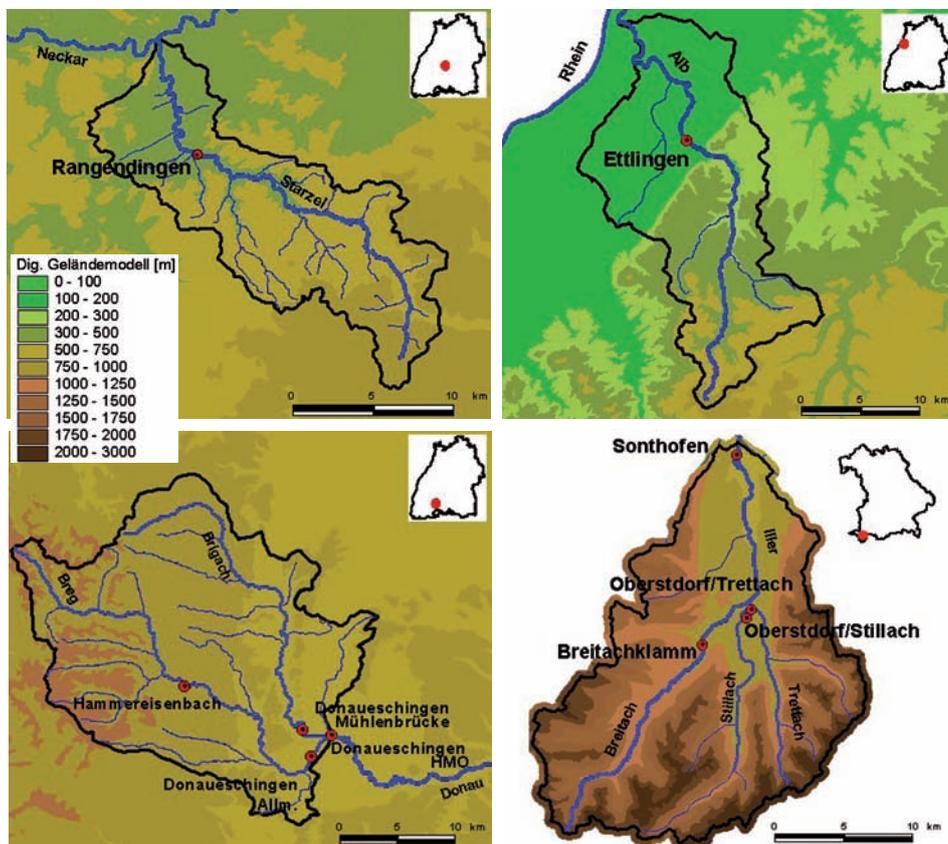


Abbildung 1
Untersuchungsgebiete mit Topographie und den ausgewählten Pegeln
Topography of the study areas and selected gauging stations

2.3 Das Modell LARSIM

Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model) ist eine Weiterentwicklung des Flussgebietsmodells FGMOD (LUDWIG 1982) und wird zur kontinuierlichen Simulation der Wasserbilanz in Einzugsgebieten mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen und Größenordnung eingesetzt (z.B. BREMICKER 1998, GATHENYA 1999, EBEL et al. 2000, RICHTER & LUDWIG 2003). Dabei wird es für zahlreiche Fragestellungen genutzt wie z.B. zur operationellen Hoch- und Niedrigwasservorhersage (BREMICKER et al. 2004, BREMICKER et al. 2006), zur Abschätzung möglicher Veränderungen der wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen infolge des Klimawandels (BARTELS et al. 2004, GERLINGER 2004) oder aufgrund von Landnutzungsänderungen (HAAG et al. 2005, 2006a). LARSIM ermöglicht eine prozess- und flächendetaillierte Simulation des terrestrischen Wasserkreislaufs in va-

Tabelle 1
Übersicht über die ausgewählten Untersuchungsgebiete und Pegel
List of study areas and gauging-station characteristics

Einzugsgebiet	Pegel	Fluss	Größe [km ²]	HQ ₁₀₀ [m ³ /s]	HQ _{max} [m ³ /s]	Datum HQ _{max}
Starzel	Rangendingen	Starzel	125	125,0	134,0	Juni 08
Alb	Ettlingen	Alb	150	97,1	98,0	Mrz. 02
Obere Donau	Hammereisenbach	Breg	158	161,7	109,0	Jan. 04
	Donaueschingen-Allmendshofen	Breg	290	218,2	136,0	Jan. 04
	Donaueschingen-Mühlenbrücke	Brigach	193	128,0	90,0	Dez. 01
	Donaueschingen-HMO	Donau	525	344,0	218,0	Jan. 04
Obere Iller	Breitachklamm	Breitach	117	170,0	264,0	Aug. 05
	Oberstdorf	Stillach	82	70,0	87,3	Mai 99
	Oberstdorf	Trettach	76	74,0	138,0	Aug. 05
	Sonthofen	Iller	388	380,0	536,0	Aug. 05

riabler zeitlicher und räumlicher Auflösung. Das für die vorliegende Studie verwendete Modell basiert auf einem Raster von 1 km² Auflösung. Detaillierte Angaben zur Funktionsweise des Modells finden sich in LUDWIG & BREMICKER (2006).

LARSIM basiert auf räumlich aufgelösten Systemdaten (Geländehöhe, Gefälle, Landnutzung, nutzbare Feldkapazität der Böden, Gerinnegeometrie etc.) und wird von interpolierten (inverse Distanzmethode) meteorologischen Eingangsdaten (Niederschlag, Lufttemperatur, Globalstrahlung, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Luftdruck) angetrieben. Beim Aufbau von LARSIM wird das jeweilige Flussgebiet in Teilgebiete aufgelöst. Die für den Modellantrieb in den einzelnen Teilgebieten verwendeten meteorologischen Größen (z.B. Gebietsniederschlag) werden aus den Messwerten der umliegenden Stationen mit Hilfe einfacher Regionalisierungsverfahren abgeleitet. Beim Niederschlag können optional systematische Messfehler korrigiert werden. Die Niederschläge der in dieser Studie verwendeten Stationen wurden mit dem Verfahren nach SEVRUK (1989) korrigiert. Zur Berücksichtigung subskaliger Prozesse sind die Teilgebiete nochmals in Landnutzungs-klassen unterteilt. Dabei wird individuell für jedes Teilgebiet jeder vorhandenen Landnutzungs-klassen eine nutzbare Feldkapazität zugeordnet, d.h. in verschiedenen Teilgebieten können für die gleichen Landnutzungsarten unterschiedliche nutzbare Feldkapazitäten vergeben werden. Unter Berücksichtigung landnutzungsspezifischer, jahreszeitlich variabler Systemdaten werden Schneeakkumulation und -ablation, Evapotranspiration (inkl. Interzeptionsverdunstung) und der Bodenwasserhaushalt subskalig berechnet. Demgegenüber werden die Abflusskonzentration über drei oder vier parallele Einzellinearspeicher sowie Translation und Retention im Gerinne mittels hydrologischer Verfahren oder unter Einsatz von aus hydrodynamischen Modellen ermittelten Volumen-Abfluss-Beziehungen teilgebietsspezifisch behandelt. Darüber hinaus können in LARSIM Rückhaltebecken, Talsperren sowie Ein- bzw. Überleitungen berücksichtigt werden.

2.4 Das Bodenspeichermodell mit vier Abflusskomponenten und einfachem Infiltrationsmodell

Der Niederschlag wird im Bodenspeicher in die Abflusskomponenten Direktabfluss, Interflow und Grundwasserabfluss aufgeteilt. Für die Simulation des Bodenspeichers wurde eine modifizierte Form

des Xinanjiang-Modells verwendet (ZHAO 1977, DÜMENIL & TODINI 1992 und DKRZ 1994), um die Entleerung des Bodenwasserspeichers besser zu berücksichtigen. Das Xinanjiang-Verfahren berücksichtigt in der verwendeten Version, dass der oberflächennah abfließende Anteil des auf den Boden fallenden Niederschlages (bzw. Wasser aus der Schneeschmelze) bei zunehmendem Anteil von wassergesättigten Böden im Einzugsgebiet sowie bei hohen Niederschlagsintensitäten steigt.

Ein Grundgedanke des Verfahrens ist die Annahme, dass aus der Integration der lokalen Bodenwasserspeicher über das betrachtete Einzugsgebiet eine Gesamtkapazität des Bodenwasserspeichers resultiert. Der Anteil der wassergesättigten Böden an der gesamten Bodenfläche

(s/S [%]) wird dabei als Funktion der mittleren Wassersättigung der Böden im Einzugsgebiet angesehen. Diese Beziehung wird als Bodenfeuchte-Sättigungsflächenfunktion (BSF) bezeichnet:

$$\frac{s}{S} = 1 - \left(1 - \frac{W_0}{W_m}\right)^b \quad (1)$$

W_0 [mm] ist die aktuelle Füllung des Bodenspeichers, W_m [mm] ist der maximale Wasserinhalt im gesamten Bodenspeicher und b [-] ist der Formparameter der BSF. Die detaillierte Beschreibung des Infiltrationsmodells findet sich in LUDWIG & BREMICKER (2006). Zunächst wird der Direktabfluss über die BSF ermittelt. Anschließend wird dieser mithilfe eines Schwellenwerts (A_2 [mm/h]) in zwei unterschiedlich schnell reagierende Gebietspeicher aufgeteilt: schnellen Direktabfluss (Oberflächenabfluss) und langsamen Direktabfluss (Makroporenfluss). Solange der Direktabfluss unterhalb des Schwellenwerts liegt, wird er vollständig in den langsamen Direktabflussspeicher abgeführt. Der Direktabflussanteil oberhalb des Schwellenwertes wird dem Speicher für schnellen Direktabfluss zugeführt. Damit nimmt der Anteil des schnellen Direktabflusses während des Anstiegs einer Hochwasserwelle zu und die Speicherkonstante des schnellen Direktabflussspeichers kann an den Hochwasserscheitel angepasst werden sowie die Speicherkonstante des langsamen Direktabflussspeichers an den abfallenden Ast der Welle. Das beschriebene Bodenkonzept eignet sich insbesondere für die Simulation der Abflussbildung von Sättigungsflächenabfluss. Im Fall von Einzugsgebieten mit vorwiegend Horton'scher Abflussbildung oder dem wichtigen Beitrag von präferentiellen Fließwegen bei der Abflussbildung bietet dieses Infiltrationsmodell von LARSIM jedoch lediglich eine vereinfachte Beschreibung der tatsächlichen, äußerst komplexen Vorgänge.

2.5 Das Bodenspeichermodell mit vier Abflusskomponenten und erweitertem Infiltrationsmodell

In LARSIM wurde ein erweitertes Infiltrationsmodell (LUDWIG & BREMICKER 2006) implementiert (Abb. 2) mit dem Ziel, extreme Ereignisse mit hoher Niederschlagsintensität durch Berücksichtigung der aktuellen Infiltrationskapazität besser beschreiben zu können.

Die aktuelle Infiltrationskapazität I [mm/d] wird für jedes Teilgebiet landnutzungsspezifisch in Analogie zum Horton'schen Infiltrationsmodell in Abhängigkeit von der aktuellen Füllung des Bodenspeichers ermittelt:

$$I = I_{\min} + (I_{\max} - I_{\min}) \cdot \exp\left(-b_{\text{inf}} \cdot \frac{W_0 - W_b}{W_m - W_b}\right) \quad (2)$$

I_{\min} [mm/d] ist die minimale Infiltrationskapazität, I_{\max} [mm/d] die maximale Infiltrationskapazität (bei $W_0 = W_m$), b_{inf} [-] der Formparameter der Infiltrationskurve, W_0 [mm] die aktuelle Füllung des Bodenspeichers (Beginn des Berechnungszeitschritts), W_m [mm] der maximale Wasserinhalt des Bodenspeichers und W_b [mm] der Schwellenwert für den nicht entwässerbaren Inhalt im Bodenspeicher.

Zunächst wird geprüft, ob das Wasserdargebot die Infiltrationskapazität I (mm/d) übersteigt. Der Infiltrationsüberschuss wird als Horton'scher Oberflächenabfluss zum Oberflächenabflussspeicher angeführt. Nach Abzug des Infiltrationsüberschusses wird über die BSF das Wasser zunächst aufgeteilt, und zwar in einen Abflussanteil, der den Bodenspeicher erreicht und dem langsamen Abfluss entspricht sowie einem Anteil schnellen Abflusses. Dieser schnelle Abfluss wird nochmals über den landnutzungsspezifischen Anteilsfaktor A_{OB} [-] aufgeteilt in einen schnellen unterirdischen Makroporenabfluss und einen Sättigungsflächenabfluss, der dem Oberflächenabflussspeicher zugeteilt wird. Die BSF reguliert im erweiterten Infiltrationsmodell die Abgabe eines mit zunehmender Sättigung des Bodens anwachsenden Anteils am Wasserdargebot über schnelle Fließwege.

Im Horton'schen Infiltrationsmodell (JURY et al. 1991) wird I [mm/d] als Funktion der Zeit bei Niederschlagsüberschuss ausgedrückt. I [mm/d] nimmt exponentiell ab und nähert sich asymptotisch einem minimalen Infiltrationswert an. Die von Horton beobachtete exponentielle Abnahme der Infiltrationskapazität tritt auch in Böden mit Makroporen auf.

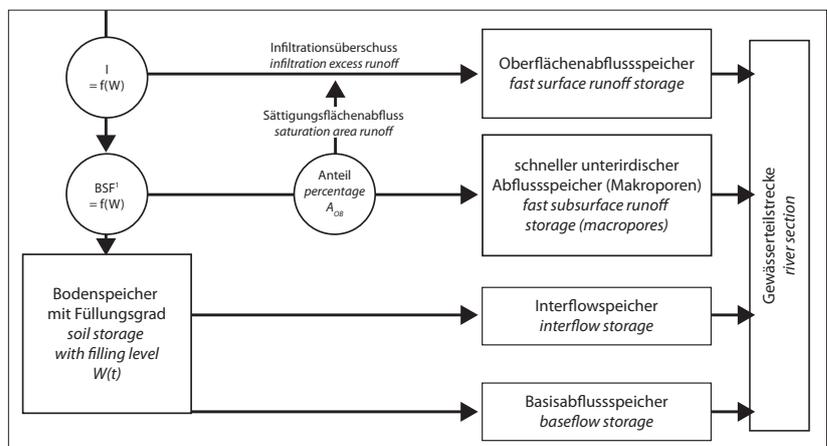
Im LARSIM-Infiltrationsmodell wird der Bodenspeicher als Bodensäule mit einem aus Messwerten abgeleiteten Volumen betrachtet. Anstelle der zeitlichen Betrachtung (im ursprünglichen Sinne des Horton-Ansatzes) bzw. einer Betrachtung der Feuchteverhältnisse nahe der Bodenoberfläche wird daher ersatzweise die relative Füllung des Bodenspeichers $(W_0 - W_b) / (W_m - W_b)$ herangezogen. Im Zusammenhang mit der hohen räumlichen Variabilität der oberflächennahen Bodenfeuchte, die insbesondere im Zusammenspiel mit Makroporen auftritt, erscheint dies als praktikable und zulässige Vereinfachung.

Wie Abbildung 3 verdeutlicht, nimmt die Infiltrationskapazität mit zunehmender relativer Füllung des Bodenspeichers exponentiell ab. Der Verlauf der Abnahme hängt dabei vom Formparameter b_{inf} [-] ab. Außerdem wird deutlich, dass beim vorliegenden Modell der Exponent minimal den Wert von $-b_{\text{inf}}$ [-] annehmen

kann, weshalb der untere Grenzwert der Infiltrationskapazität größer I_{\min} ist. Für b_{inf} [-] > 5 wird I_{\min} [mm/d] jedoch fast erreicht (Annäherung an 15 mm/h in Abb. 3).

2.6 Kalibrierung

Für jeden Pegelkontrollbereich der in Tabelle 1 aufgelisteten Pegel wurde die Kalibrierung der Gebietsparameter mit einfachem und erweitertem Infiltrationsmodell auf Basis von Stationsniederschlägen durchgeführt. Die Kalibrierung der Parameter des Basisabflusses und Interflows erfolgte über einen zusammenhängenden Zeitraum von ca. 10 Jahren (s. Tab. 2). Für die Kalibrierung unter Verwendung des erweiterten Infiltrationsmodells muss der Anteil an Oberflächenabfluss in Abhängigkeit von der Landnutzung festgelegt werden. Dazu wurde der Aufteilungsfaktor des Oberflächenabflusses (A_{OB} [-], s. Abb. 2) für alle Landnutzungsklassen auf 0,30 gesetzt. Für die Feuchtfächen wurde ein Wert von 1,0 angenommen.



¹Bodenfeuchtesättigungsfunktion soil moisture saturation function

Abbildung 2

Grundsätzliche Konzeption des erweiterten Infiltrationsmodells und der Abflusskonzentration (LUDWIG & BREMICKER 2006, verändert)

Basic concept of the extended infiltration model and the runoff concentration process

Für die Berechnung der aktuellen Infiltrationskapazität I [mm/d] werden landnutzungsspezifische Relativwerte für maximale und minimale Infiltrationsrate ($I_{\max, \text{rel}}$ [-] und $I_{\min, \text{rel}}$ [-]) verwendet, die zunächst aus der Literatur abgeschätzt wurden (z.B. JURY et al. 1991, GERLINGER 1997). Die landnutzungsspezifischen Werte für I_{\max} [mm/d] und I_{\min} [mm/d] ergeben sich aus der Multiplikation dieser Relativwerte mit dem Parameter Inf [mm/d], über den der starke Einfluss der Bodentextur pegelkontrollbereichsspezifisch einbezogen werden kann. b_{inf} [-] wurde gemäß den bestehenden Empfehlungen aus „numerischen Berechnungsversuchen“ auf einen konstanten Wert von 8,0 festgelegt (LFU 2004). Bei diesem Wert ergeben sich ähnliche Verläufe der Infiltration wie bei Berechnungen von GERLINGER (1997) sowie ZIMMERLING & SCHMIDT (2002). Die Bodeneigenschaften und Landnutzung aus diesen zwei Studien sind mit denen der Untersuchungsgebiete vergleichbar. In Tabelle 3 sind die durch die Kalibrierung ermittelten Werte für Inf [mm/d] und b_{inf} [-] für die untersuchten Pegel aufgelistet. Die Parameter Inf [mm/d] und b_{inf} [-] wurden anhand ausgewählter Hochwasserereignisse im Simulationszeitraum mit Wasserdargebotsnachführung angepasst. Bei dieser Methode wird der Modellinput (Regen und Schneeschmelzwasser) des je-

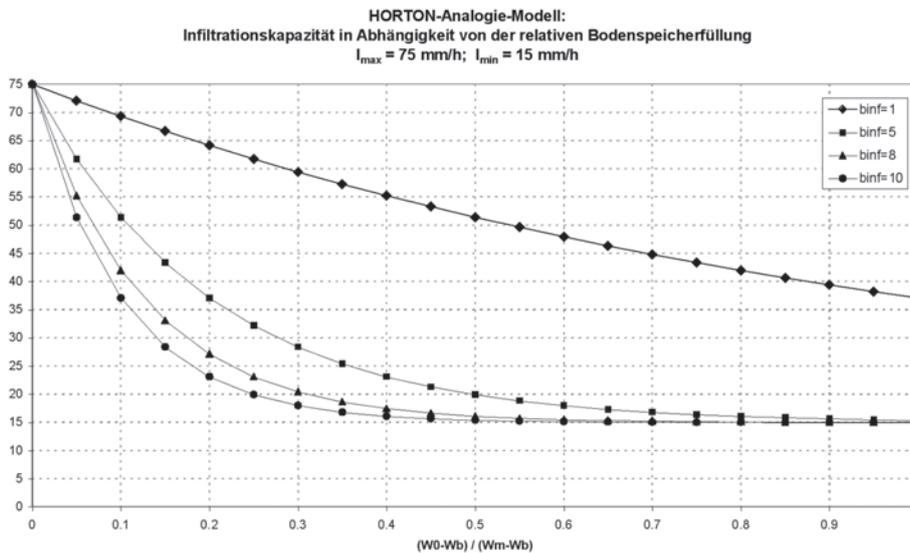


Abbildung 3
 Abhängigkeit der Infiltrationskapazität im erweiterten Infiltrationsmodell von der relativen Füllung des Bodenspeichers und vom Formparameter b_{inf} [-] (LUDWIG & BREMICKER 2006)
 Dependence of the infiltration capacity on the relative water content in the soil water storage and on the shape parameter b_{inf}

weiligen Einzelereignisses über einen Faktor innerhalb festgelegter Grenzen so angepasst, dass die Abweichung zwischen gemessenem und simuliertem Abflussvolumen während des Ereignisses minimiert wird. Dieses Vorgehen kompensiert Wasserdefizite bzw. -überschüsse, die z.B. durch nicht repräsentative Niederschlagsmessungen bzw. nicht repräsentative Daten oder ungenaue Wasserstands-Abfluss-Beziehungen bedingt sind. Bei Abweichungen kann durch die Nachführung geeigneter Modellgrößen sichergestellt werden, dass das Modell den Wasserhaushalt zum aktuellen Zeitpunkt möglichst gut repräsentiert und die Vorhersagequalität verbessert wird (HAAG et al. 2006b).

3 Ergebnisse

Im Fall des Starzel-Einzugsgebiets ergibt sich bei der Simulation des größten Hochwasserereignisses von Juni 2008 trotz Nachführung des Wasserdargebots eine deutliche Unterschätzung der Hochwasserwelle. Für die Starzel standen Radardaten zur Verfügung, die vom Institut für Geoökologie der Universität Potsdam nach dem „Merging-Verfahren“ an Stationsdaten angeeicht wurden. Beim Radar-„Merging“ handelt es sich um ein geostatistisches Verfahren zur Korrektur stündlicher, radarbasierter Niederschlagsmessungen durch bodengestützte Ombrometermessungen, bei dem das räumliche Muster des Radarbildes auf die interpolierten Stationsniederschläge übertragen wird (KNEIS

& HEISTERMANN 2009). Mit angeeichten Radardaten wurde die Hochwasserwelle im Juni 2008, im Gegensatz zu den Stationsniederschlägen, realistischer simuliert (HOHENRAINER 2010). Deswegen werden im Folgenden die Simulationsergebnisse für die Starzel, die auf angeeichten Radardaten basieren, dargestellt.

Für die Beurteilung der Simulationsqualität wurden drei Gütemaße berechnet und optimiert: das Bestimmtheitsmaß nach Bravais-Pearson (r^2), die Modelleffizienz (E_Q) und die Modelleffizienz für logarithmierte Abflusswerte (E_{lnQ}) nach NASH & SUTCLIFFE (1970). r^2 beschreibt den Anteil der durch eine Regression erklärten Streuung an der Gesamtstreuung durch einen Vergleich der gemessenen mit den berechneten Abflüssen. Bei E_Q wirken sich, im Gegensatz zum r^2 , auch über die Zeitreihe konstante Differenzen zwischen gemessenen und berechneten

Abflüssen auf das ermittelte Gütemaß aus. Bei der Berechnung von E_{lnQ} wurden durch die logarithmierten Abflussdaten Abweichungen im Niedrigwasserbereich stärker gewichtet als solche im Hochwasserbereich.

Die oben beschriebenen Gütemaße sind für ausgewählte Hochwasserereignisse in Tabelle 4 aufgelistet. Es handelt sich um Hochwasserereignisse, welche durch konvektive Niederschläge verursacht wurden, oder Hochwasserereignisse mit schnell ansteigenden Abflusskurven. Für die Simulation von solchen Ereignissen ist das erweiterte Infiltrationsmodell besonders geeignet.

Das extreme Hochwasserereignis vom Juni 2008 im Einzugsgebiet der Starzel ist sehr gut geeignet, um die Leistung des erweiterten Infiltrationsmodells zu überprüfen. Die Ergebnisse am Pegel Rangendingen/Starzel sind sehr unterschiedlich wie aus Abbildung 4 ersichtlich wird, die die Vergleichsberechnungen zwischen dem einfachen und erweiterten Infiltrationsmodell für die ausgewählten Ereignisse zeigt.

Das Hochwasser vom August 2002 (Abb. 4, links) wurde mit dem einfachen Infiltrationsmodell sehr gut abgebildet. Dagegen wird mit dem erweiterten Infiltrationsmodell der Anstieg der Welle für einen zu frühen Zeitpunkt berechnet und der Scheitelabfluss überschätzt. Der Spitzenabfluss der Welle im Juni 2008 (Abb. 4,

rechts) wurde mit dem erweiterten Infiltrationsmodell besser berechnet. Das Eintreffen des Abflussscheitels wurde, wie bei der Verwendung des einfachen Infiltrationsmodells, etwa eine Stunde zu früh simuliert. Der Spitzenwert im Juni 2007 wird mit erweitertem Infiltrationsmodell besser berechnet, wobei der gesamte Verlauf der Hochwasserwelle mit beiden Modellen nicht gut simuliert wurde. Hinsichtlich der Güte-

Tabelle 2 Untersuchte Zeiträume und simulierte Hochwasserereignisse Investigation periods and simulated flood events		
Einzugsgebiet	Untersuchter Zeitraum	Hochwasserereignisse
Starzel	01.1998 – 09.2008	08.2002, 06.2007, 06.2008
Alb	01.1999 – 03.2007	10.1998, 12.2001, 03.2002, 01.2004
Obere Donau	01.1998 – 12.2007	12.1999, 05.2000, 12.2001, 03.2002, 01.2004, 03.2006
Obere Iller	01.1998 – 12.2007	05.1999, 03.2002, 08.2002, 08.2005

Tabelle 3
Ermittelte Inf [mm/d] und b_{inf} [-] Werte für die untersuchten Pegel
Determined Inf [mm/d] and b_{inf} [-] values of the selected gauging stations

Pegel	Inf [mm/d]	b_{inf} [-]
Rangendingen/Starzel	700	8,0
Ettlingen/Alb	700	8,0
Hammereisenbach/Breg	600	8,0
Donaueschingen-Allmendshofen/Breg	800	8,0
Donaueschingen- Mühlenbrücke/Brigach	800	8,0
Donaueschingen-HMO/Donau	800	8,0
Breitachklamm/Breitach	500	8,0
Oberstdorf/Stillach	800	8,0
Oberstdorf/Trettach	400	8,0
Sonthofen/Iller	800	8,0

maße (s. Tab. 4) wurden mit dem erweiterten Infiltrationsmodell niedrigere Werte von E_Q und E_{inQ} erzielt als mit dem einfachen Infiltrationsmodell.

Abbildung 5 stellt die Vergleichsberechnungen mit dem einfachen und erweiterten Infiltrationsmodell für die zwei größten Hochwasserereignisse am Pegel Ettlingen/Alb dar. Beim Hochwasserereignis Oktober 1998 ergibt sich mit dem erweiterten Infiltrationsmodell zwar eine bessere Abschätzung der Höhe des Spitzenwerts im Vergleich zu der Simulation mit einfachem Infiltrationsmodell, aber der Zeitpunkt des Spitzenwerts wurde zu früh simuliert. Bei dem Hochwasserereignis März 2002 und den anderen nicht dargestellten und weniger relevanten Hochwasserereignissen bringt das erweiterte Infiltrationsmodell keine nennenswerte Verbesserung der Simulationsgüte.

In Abbildung 6 sind Hochwassersimulationen mit den zwei verschiedenen Bodenkonzeptionen an Pegeln der Oberen Donau dargestellt. Der Vergleich der Gütemaße in Tabelle 4 zeigt, dass die Simulationen bereits mit dem einfachen Infiltrationsmodell als gut bis sehr gut eingestuft werden können. Bei allen untersuchten Ereignissen und Pegeln bewirkt das erweiterte Infiltrationsmodell eine Erhöhung des Abflussscheitels, die jedoch unterschiedlich stark ausgeprägt ist und nicht immer zu einer verbesserten Wiedergabe der Hochwasserwelle führt. Eine exaktere Simulation des Spitzenwertes wird durch das erweiterte Infiltrationsmodell für die zwei großen Hochwasser im Dezember 2001 und im Januar 2004 an den Pegeln Donaueschingen-Mühlenbrücke/Brigach (Abb. 6e und 6f) und Donaueschingen-HMO/Donau (Abb. 6g und 6h) erzielt. An den Pegeln Hammereisenbach/Breg und Donaueschingen-Allmendshofen/Breg (Abb. 6a-6d) bewirkt das erweiterte Infiltrationsmodell teilweise sogar eine Verschlechterung der Abflusskurve durch

eine verstärkte Überschätzung der Hauptwelle (Abb. 6a und 6c) oder der vorlaufenden Welle (Abb. 6b und 6d).

Die Ergebnisse der Hochwassersimulationen an den vier betrachteten Pegeln des Illereinzugsgebiets sind in den Abbildungen 7a bis 7h dargestellt. Im Gegensatz zu den Ereignissen im Donaeinzugsgebiet führt das erweiterte Infiltrationsmodell im Illereinzugsgebiet verglichen mit dem einfachen Infiltrationsmodell zu niedrigeren Scheitelabflüssen (Abb. 7 a, b, e bis g) oder zu keinen nennenswerten Änderungen der Ganglinie (Abb. 7 c, d, h).

Aus der Simulation mit dem erweiterten Infiltrationsmodell ergibt sich am Pegel Breitachklamm/Breitach eine Verbesserung der berechneten Hochwasserwelle im Vergleich zu der Simulation mit dem einfachen Infiltrationsmodell (Abb. 7a und 7b). Vor allem beim Ereignis August 2002 wird der Zeitpunkt und die Höhe des Spitzenwerts sehr gut berechnet und der Anstieg des Asts besser abgebildet. Die Verbesserung der Simulation spiegelt sich auch in den Gütemaßen wieder (Tab. 4). Für die anderen drei Pegel an der Oberen Iller sind die Simulationen mit dem erweiterten Infiltrationsmodell insgesamt vergleichbar mit den Simulationsergebnissen, die auf dem einfachen Infiltrationsmodell beruhen. Am Pegel Oberstdorf/Trettach wurde der abfallende Ast der Hochwasserwelle tendenziell mit dem erweitertem Infiltrationsmodell schlechter berechnet, was zu einem niedrigeren E_{inQ} führt.

4 Sensitivitätsanalyse des erweiterten Infiltrationsmodells

Um die Sensitivität der Parameter b_{inf} [-], Inf [mm/d] und A_{OB} [-] des erweiterten Infiltrationsmodells zu testen, wurden für den Pegel Ettlingen/Alb die ermittelten Werte der Parameter aus Tabelle 2 variiert und entsprechende Hochwassersimulationen durchgeführt. Zunächst wurde der Einfluss des Parameters b_{inf} [-] auf die simulierte Abflussganglinie untersucht. In LFU (2004)

Tabelle 4
Ermittelte Gütemaße für ausgewählte Hochwasserereignisse und Pegel
Quality criteria determined for the selected flood events and stations

Pegel	Gütemaße HW-Ereignisse, Simulation mit einfachem Infiltrationsmodell			Gütemaße HW-Ereignisse, Simulation mit erweitertem Infiltrationsmodell			Niederschlag
	r^2	E_Q	E_{inQ}	r^2	E_Q	E_{inQ}	
Rangendingen/Starzel (HW Juni 2007)	0,69	0,69	0,87	0,73	0,60	0,64	konvektiv
Rangendingen/Starzel (HW Juni 2008)	0,90	0,90	0,92	0,95	0,94	0,82	konvektiv
Ettlingen/Alb (HW Okt. 1998)	0,92	0,92	0,90	0,96	0,96	0,94	advektiv
Donaueschingen-Mühlenbrücke/Brigach (HW Dez. 2001)	0,99	0,99	0,96	0,99	0,99	0,97	advektiv
Donaueschingen-HMO/Donau (HW Dez. 2001)	0,99	0,96	0,94	0,99	0,98	0,96	advektiv
Breitachklamm/Breitach (HW Aug. 2002)	0,95	0,84	0,86	0,97	0,92	0,81	advektiv
Sonthofen/Iller (HW Mai 1999)	0,95	0,92	0,93	0,97	0,95	0,95	advektiv

Rangendingen/Starzel

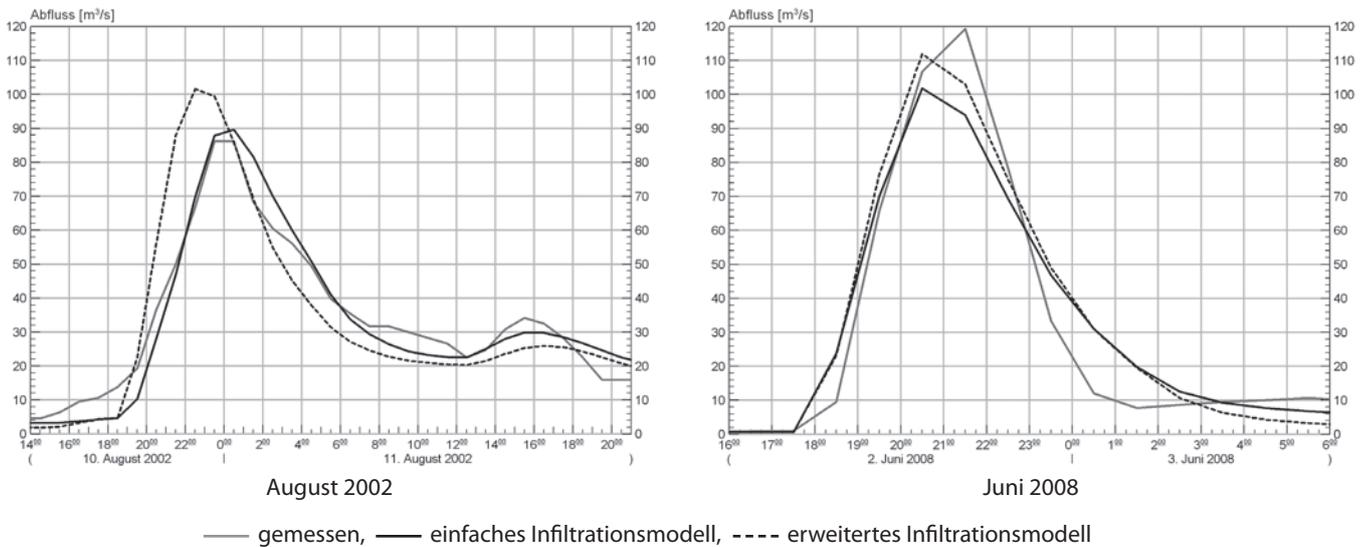


Abbildung 4

Hochwasserereignisse am Pegel Rangendingen/Starzel, Vergleich der Simulation mit einfachem und erweitertem Infiltrationsmodell
Flood events at Rangendingen/Starzel. Comparison of results based on the simple infiltration model and the extended one

Ettlingen/Alb

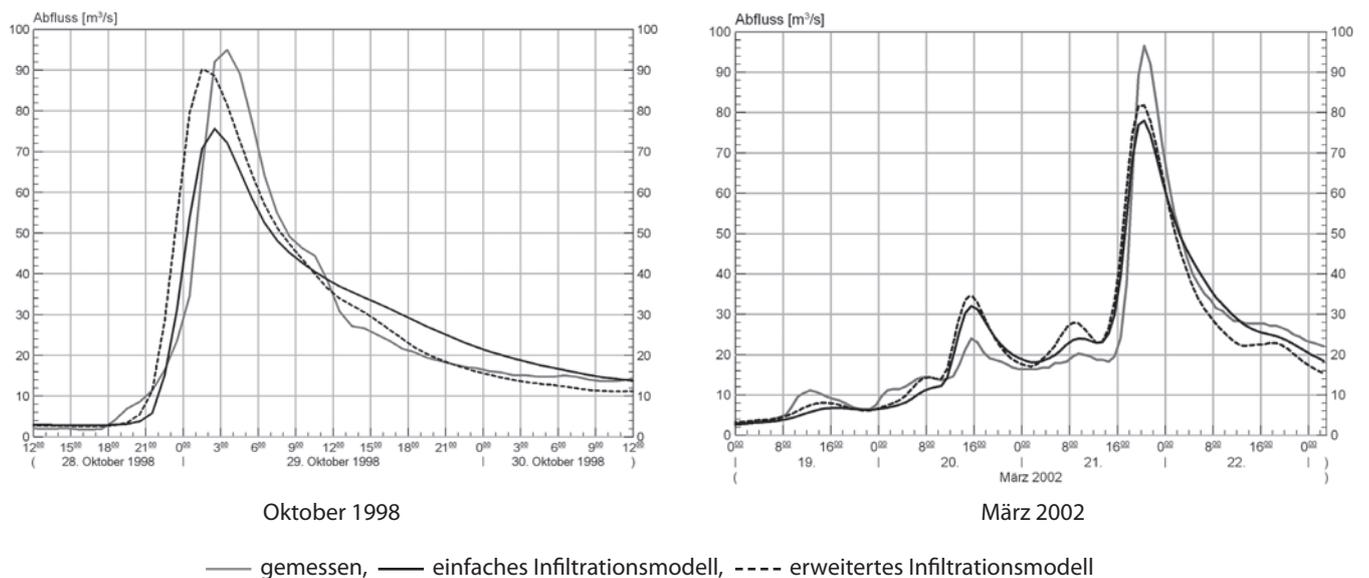


Abbildung 5

Hochwasserereignisse am Pegel Ettlingen/Alb, Vergleich der Simulation mit einfachem und erweitertem Infiltrationsmodell
Flood events at Ettlingen/Alb. Comparison of results based on the simple and the extended infiltration model

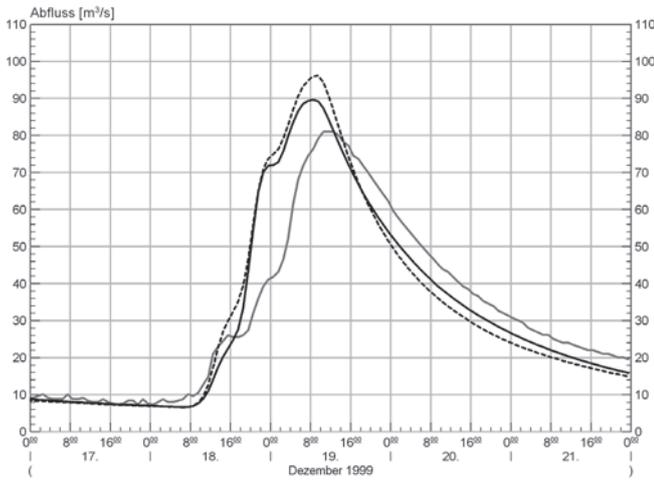
wird die Auswirkung unterschiedlicher Annahmen für den Formfaktor b_{inf} [-] auf den Verlauf der Infiltrationskapazität dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass sich der Kurvenverlauf der Infiltrationskapazität für Werte von b_{inf} [-] im Bereich von 5 bis 10 nur gering verändert, welches durch die Simulationen von Hochwasserereignissen bestätigt wird. Es wurde ebenfalls gezeigt, dass der Kurvenverlauf bei b_{inf} [-] < 5 unrealistisch wird.

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse in dieser Studie wurde b_{inf} [-] zwischen 6,0 und 10,0 variiert, Inf [mm/d] und A_{OB} [-] erhalten die

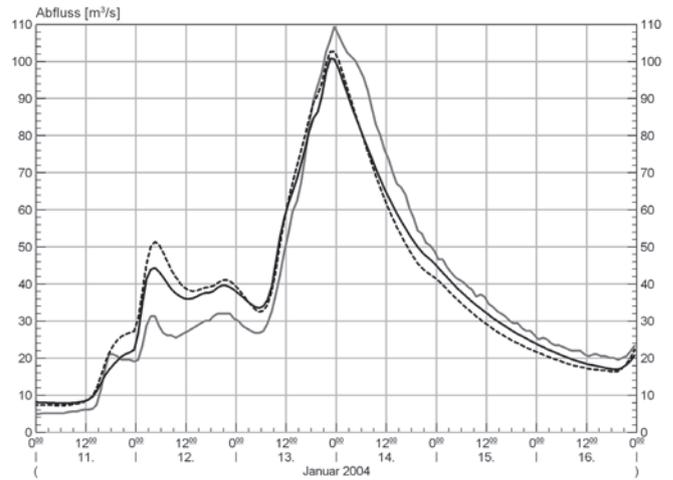
Werte aus der Kalibrierung. Aus der Abbildung 8, die Simulationsergebnisse der Hochwasser vom Oktober 1998 und März 2002 mit verschiedenen Werten von b_{inf} [-] darstellt, werden die Rückschlüsse aus LFU (2004) bestätigt: die Abflussganglinie reagiert wenig sensitiv auf Variationen von b_{inf} [-].

In weiteren Testläufen wurde Inf [mm/d], dessen Wert im Rahmen der Kalibrierung auf 700 mm/d festgelegt wurde, zwischen 500 mm/d und 900 mm/d variiert. In Abbildung 9 sind die Simulationsergebnisse für den Pegel Ettlingen/Alb für die Hochwas-

Hammereisenbach/Breg

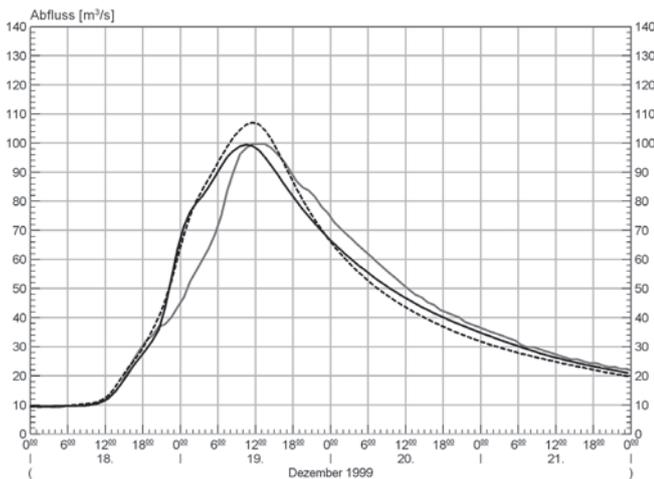


a (Dezember 1999)

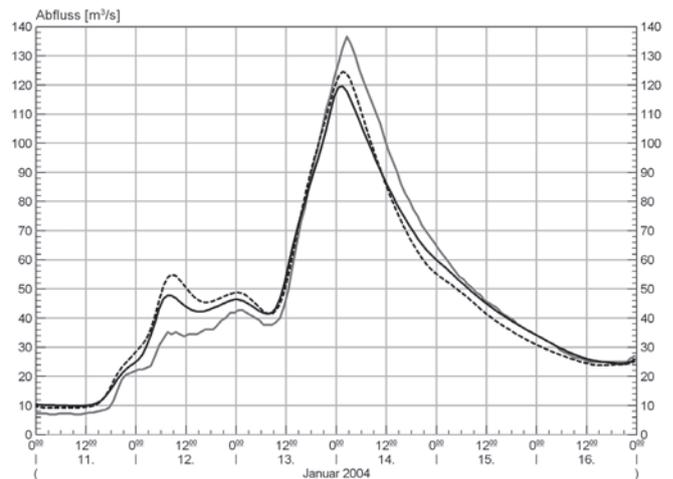


b (Januar 2004)

Donaueschingen-Allmendhofen/Berg

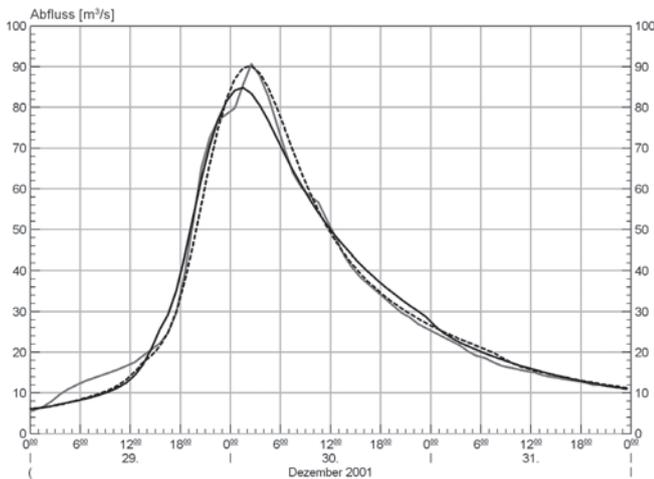


c (Dezember 1999)

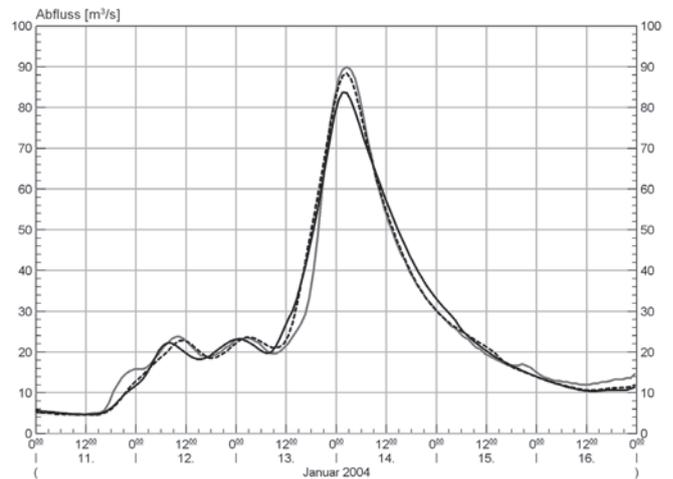


d (Januar 2004)

Donaueschingen-Mühlenbrücke/Brigach



e (Dezember 2001)



f (Januar 2004)

Donaueschingen-HMO/Donau

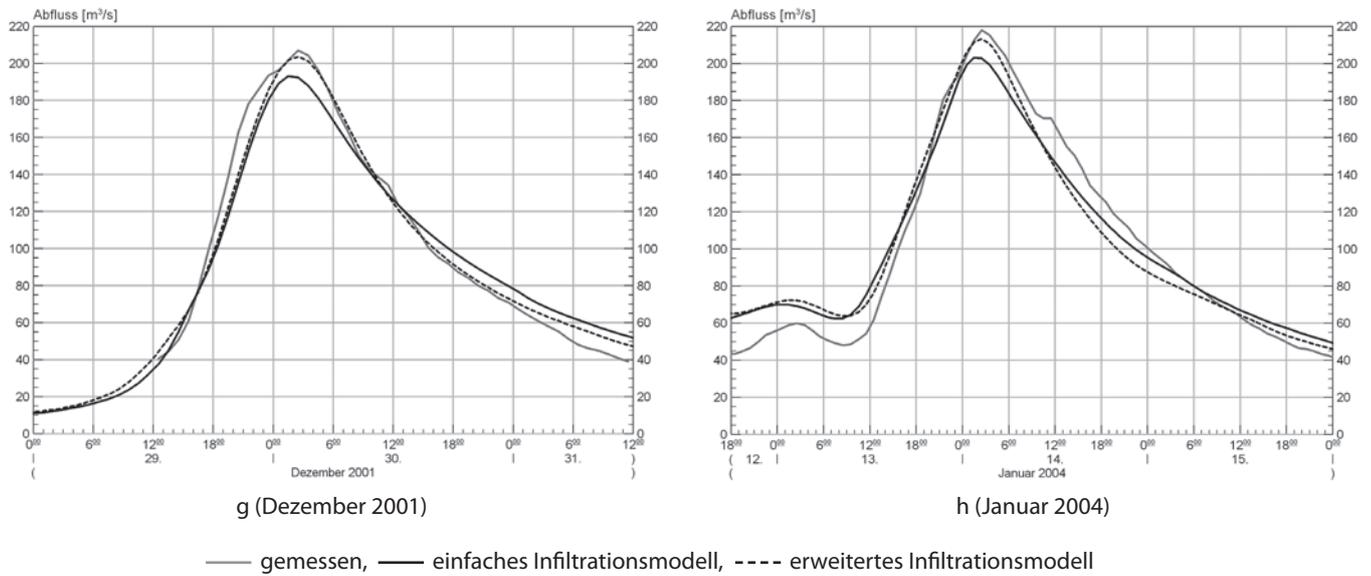


Abbildung 6
 Hochwasserereignisse an Pegeln der Oberen Donau. Vergleich der Simulation mit einfachem und erweitertem Infiltrationsmodell
Flood events at stations of the upper Danube. Comparison of results based on the simple infiltration model and the extended one

ser im Oktober 1998 und März 2002 abgebildet. Der Scheitelwert der simulierten Hochwasserwelle reagiert sensitiv auf Änderungen von I_{inf} [mm/d]. Ein Vergleich der Hochwasserereignisse 1998 und 2002 zeigt jedoch, dass der Einfluss der maximalen Infiltrationskapazität in großem Maße ereignisabhängig ist, da der gebildete Infiltrationsüberschuss auch von der Niederschlagsintensität abhängig ist.

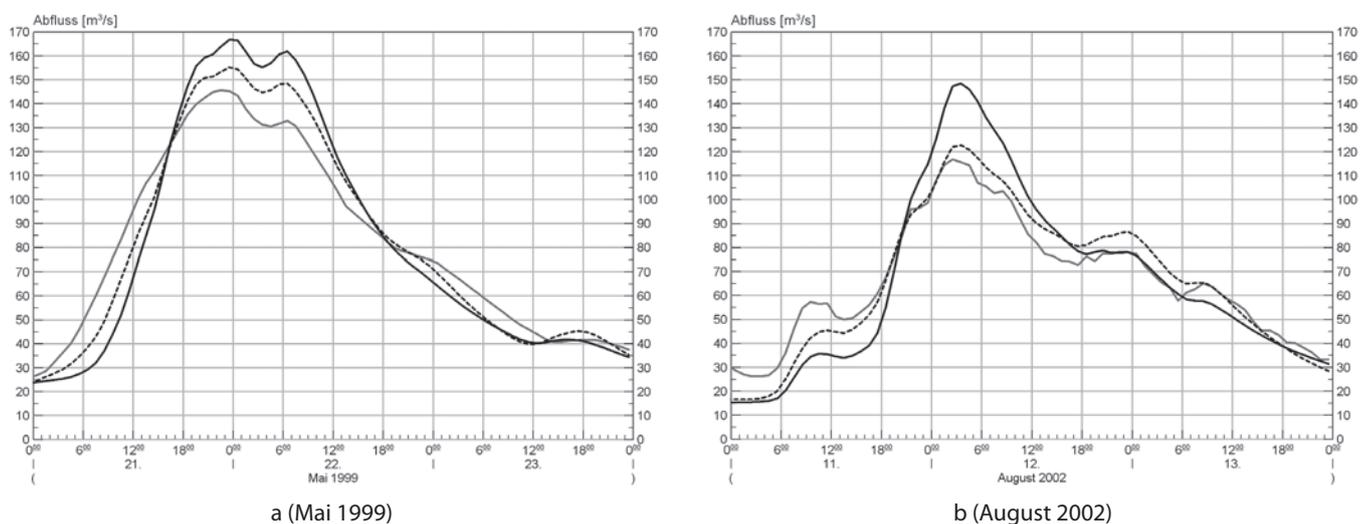
Abschließend wurde der landnutzungsspezifische Aufteilungsfaktor des Oberflächenabflusses A_{OB} [-] variiert. Dabei wurden Werte zwischen 0,0 und 0,5 (Eichwert 0,3) für alle Landnutzungs-klassen mit Ausnahme von Feuchtflächen und urbanen Gebieten angenommen. Für die Feuchtgebiete wurde der Wert auf 1,0 belassen, für die urbanen Gebiete wurde ein Wert von $A_{OB} = 0,0$ festgelegt. In Abbildung 10 sind die Ergebnisse der Simulationen

für die Varianten $A_{OB} = 0,0; 0,3$ und $0,5$ dargestellt. Die Randbedingungen für die Simulationen waren die Vorgaben für $I_{inf} = 700$ [mm/d] und $b_{inf} = 8$ [-]. Abbildung 10 zeigt, dass der simulierte Abfluss sehr sensitiv auf die Veränderung des Anteilsfaktors reagiert. Mit der Zunahme des Anteils an Oberflächenabfluss (Zunahme von A_{OB} [-]) reduziert sich die Konzentrationszeit und erhöht sich der Scheitelwert.

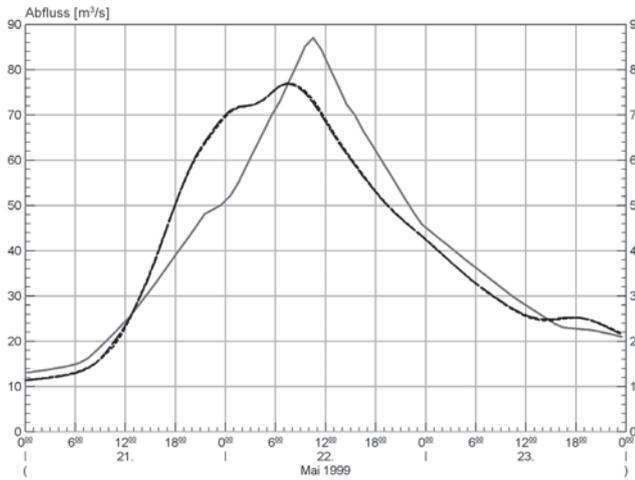
5 Diskussion

Es hat sich gezeigt, dass das erweiterte Infiltrationsmodell geeignet ist, um Hochwasserereignisse mit schnell ansteigenden Hochwasserwellen (Ettlingen 1998; Donaueschingen-Mühlenbrücke und Donaueschingen-HMO 2001, Sonthofen 1999) und durch konvektive Niederschläge verursachter Hochwasserereig-

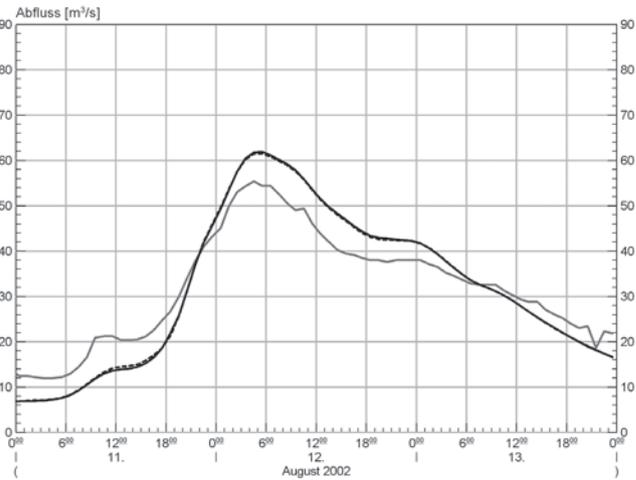
Breitachklamm/Breitach



Oberstdorf/Stillach

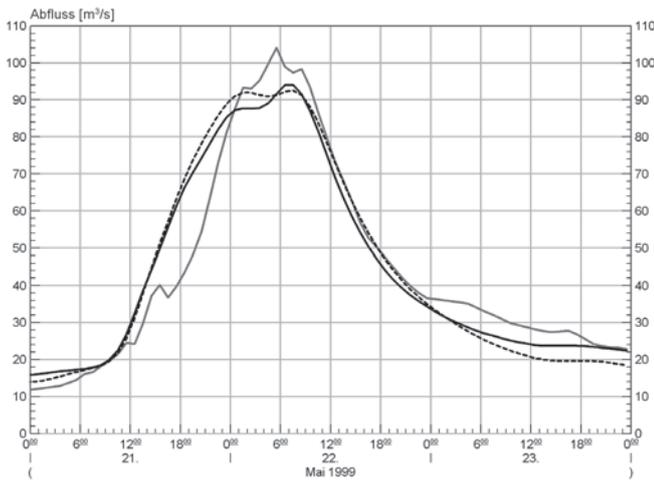


c (Mai 1999)

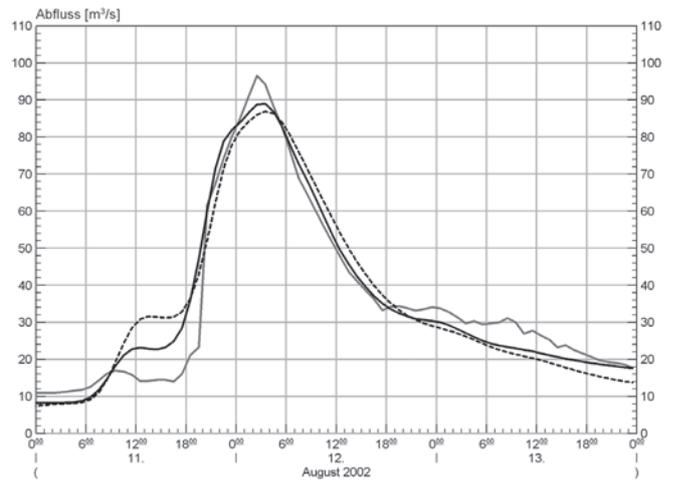


d (August 2002)

Oberstdorf/Trettach

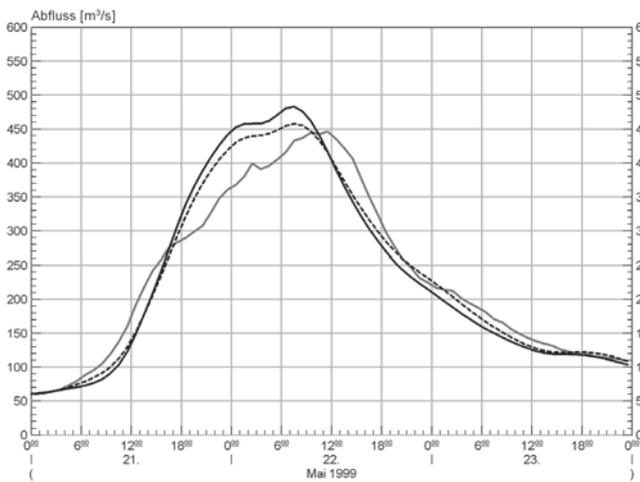


e (Mai 1999)

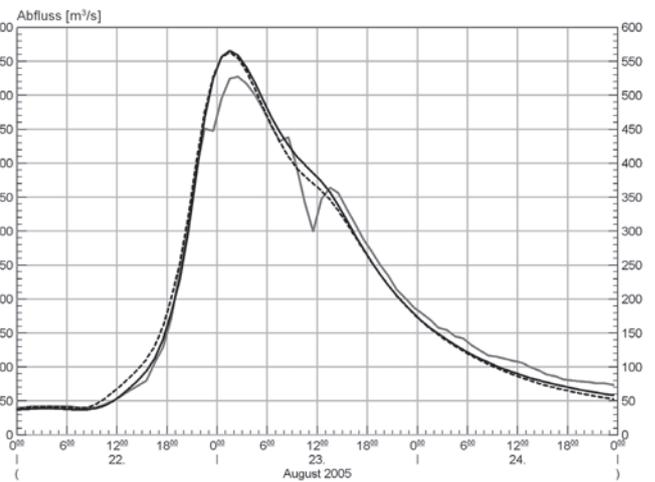


f (August 2002)

Sonthofen/Iller



g (Mai 1999)



h (August 2005)

— gemessen, — einfaches Infiltrationsmodell, ---- erweitertes Infiltrationsmodell

Abbildung 7

Vergleich der Simulationen mit einfachem und erweitertem Infiltrationsmodell
 Comparison of results based on the simple infiltration model and the extended one

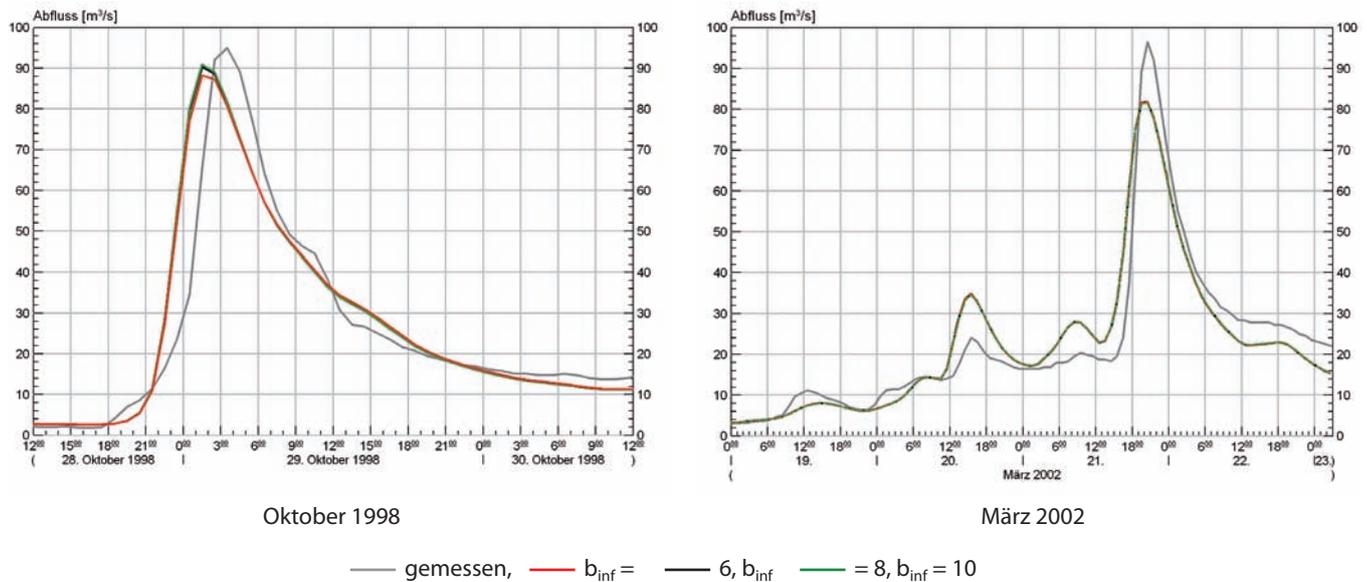


Abbildung 8
 Hochwasserereignisse am Pegel Ettlingen/Alb mit variiertem b_{inf} [-]
 Flood events at Ettlingen/Alb with varying values of b_{inf} [-]

nisse (Rangendingen 2007 und 2008) zu simulieren. Bei den meisten dieser Ereignisse erhöht sich der Abflussscheitel und in einigen Fällen steigt auch die Hochwasserwelle deutlich schneller an als bei der Verwendung des einfachen Infiltrationsmodells. Durch das erweiterte Infiltrationsmodell wird eine verbesserte Simulation des Spitzenabflusses erzielt (s. auch Tab. 4). Die bessere Repräsentation der Abflussspitze spiegelt sich nicht zwangsläufig in den Gütemaßen wieder, wenn die Hochwasserwelle im Anstieg oder Auslaufen schlechter simuliert wird.

Bei einigen Hochwasserereignissen wird die Hochwasserwelle durch das erweiterte Infiltrationsmodell jedoch auch schlechter simuliert als mit dem einfachen Modellansatz. In diesen Fällen entsteht durch das erweiterte Infiltrationsmodell eine deutliche

Überschätzung des mit dem einfachen Modell gut getroffenen (z.B. Rangendingen 2002) oder bereits überschätzten (Hammer-eisenbach 1999) Abflussscheitels.

Einige untersuchte Ereignisse wurden durch advective, langanhaltende Niederschläge ausgelöst. In diesen Fällen ist der schnell abfließende Oberflächenabfluss nicht dominierend und somit der Effekt des erweiterten Infiltrationsmodells auf die Abflussspitze marginal. Weitere Untersuchungen von durch konvektive Niederschläge verursachte Hochwasserereignisse in anderen Einzugsgebieten sollten daher zur weiteren Überprüfung des Modellansatzes herangezogen werden.

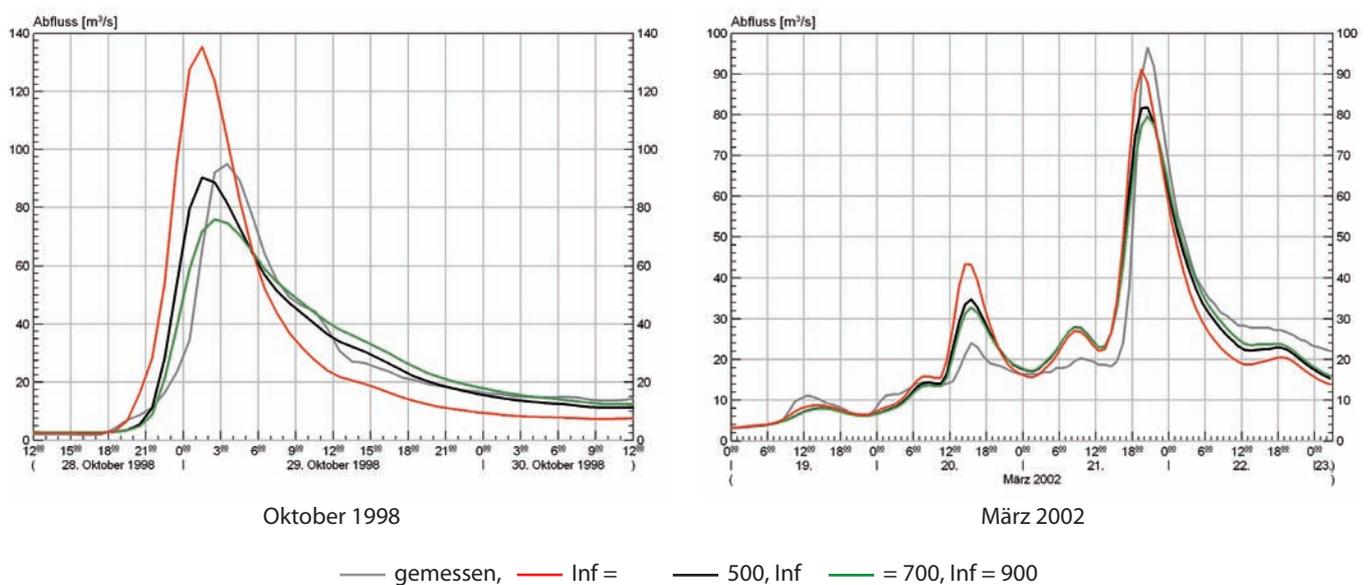


Abbildung 9
 Hochwasserereignisse am Pegel Ettlingen/Alb mit verschiedenen Werten für Inf [mm/d]
 Flood events at Ettlingen/Alb with varying values for Inf [mm/d]

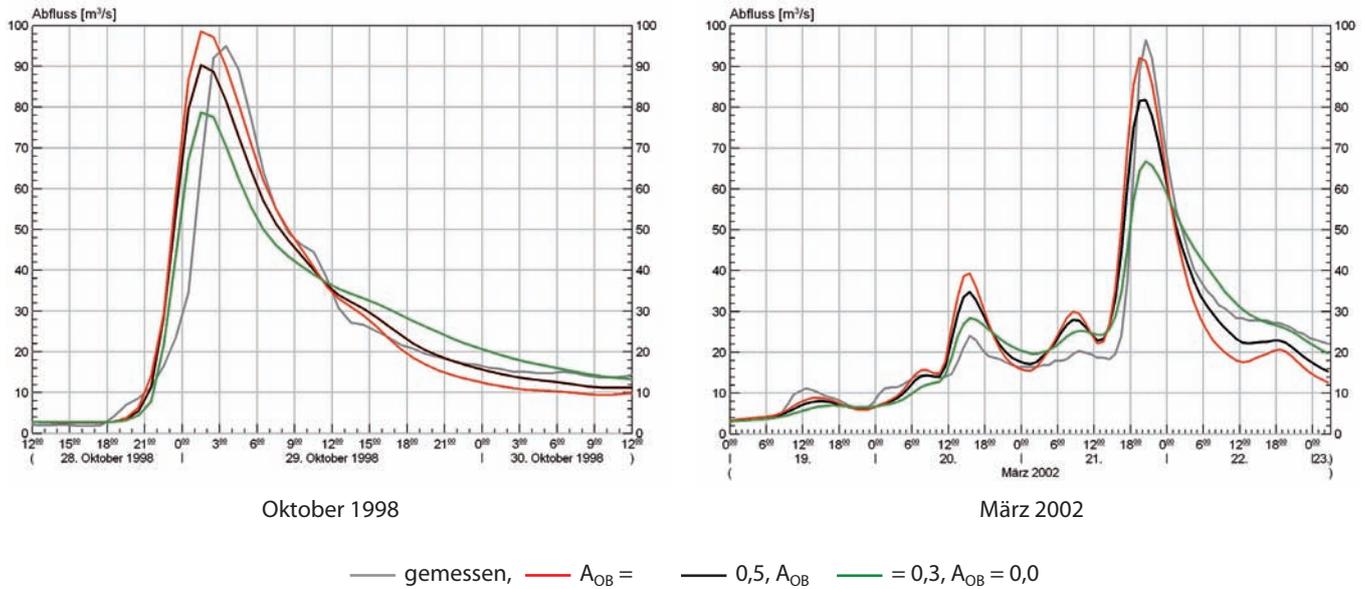


Abbildung 10
 Hochwasserereignisse am Pegel Ettlingen/Alb mit verschiedenen Werten von A_{OB} [-]
 Flood events at Ettlingen/Alb with varying values for A_{OB}

Durch die Sensitivitätsanalyse von für das erweiterte Infiltrationsmodell relevanten Parametern wurden Inf [mm/d] und A_{OB} [-] als besonders sensitive Parameter ermittelt. Auf diesen Parametern sollte folglich bei der Kalibrierung ein besonderes Augenmerk liegen. Der Formfaktor für die Infiltrationskurve (b_{inf} [-]) hat keinen relevanten Effekt auf die Abflusskurve der betrachteten Ereignisse am Pegel Ettlingen/Alb.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurden die Auswirkungen eines erweiterten Infiltrationsmodellansatzes des Wasserhaushaltsmodells LARSIM auf Hochwasserereignisse in vier süddeutschen Quellgebieten (Einzugsgebietsgröße zwischen 125 und 525 km²) untersucht. Das erweiterte Infiltrationsmodell basiert auf dem Horton'schen Infiltrationsmodell und wurde entwickelt, um die Entstehung durch hohe Niederschlagsintensität verursachter extremer Hochwasserereignisse mit LARSIM verbessert nachbilden zu können. Die Untersuchung hat gezeigt, dass bei solchen Ereignissen das erweiterte Infiltrationsmodell zumeist eine erhöhte Abflussspitze bewirkt, was häufig zu besseren Simulationsergebnissen führt. Bei einem Teil der untersuchten Ereignisse handelt es sich jedoch um advective, langanhaltende Niederschlagsereignisse, so dass die Modellkomponente des extrem schnell abfließenden Oberflächenabflusses nicht dominierend war. In diesen Fällen hatte das erweiterte Infiltrationsmodell nur einen geringfügigen Effekt auf die Abflusskurve. In einigen Fällen verschlechterte sich das Ergebnis sogar. Es wäre sinnvoll, zusätzliche Untersuchungen vor allem konvektiver Hochwasserereignisse in anderen Einzugsgebieten zur weiteren Überprüfung des Modellansatzes durchzuführen.

Summary

The effects of an extended infiltration modelling approach of the water balance model LARSIM regarding large floods in headwaters were investigated. The four study areas with catchment sizes between 125 and 525 km² are located in southern Germany. The extended soil module is based on Horton's infiltration equation and was developed to improve LARSIM's ability to simulate floods generated by high-intensity rainfall.

Severe flood events at different gauging stations were simulated twice with LARSIM: first by using the simple infiltration model and then again by using the extended infiltration model. It was proven that for the selected gauging stations and flood events, the application of the extended soil module leads to better representations of the peak flows of floods induced by high-intensity rainfall. Some of the selected flood events originated from prolonged advective precipitation. In these events, the fast surface runoff plays a minor role only and the effect of the extended infiltration model is negligible. The application of the extended infiltration model yielded even worse simulations of floods in a few cases, against the results based on the simple infiltration model. It would be reasonable to investigate additional heavy-rain-induced floods at different locations for further testing of the extended soil module.

Danksagung

Die vorliegende Studie entstand im Projekt OPAQUE, welches durch das BMBF im Rahmen der RIMAX-Initiative gefördert wurde. Für die zur Verfügung gestellten Daten danken wir der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) sowie dem Institut für Geoökologie der Universität Potsdam und dem Wasserwirtschaftsamt Kempten. Unser Dank gilt auch Dr. Manfred Bremicker von der LUBW für die konstruktiven Kommentare.

Anschrift der Verfasser:

Dr.-Ing. K. Ludwig
 Dr.-Ing. G. Moretti
 Dr. K. Verzano
 Dr.-Ing. Karl Ludwig Wasserwirtschaft-Wasserbau GmbH
 Herrenstrasse 14, 76133 Karlsruhe
 greta.moretti@ludwig-wawi.de

Literaturverzeichnis

- BARTELS, H., B. KATZENBERGER & H. WEBER (2004): Klimaveränderung und Wasserwirtschaft in Süddeutschland. – Wasserwirtschaft 94, H. 4, 15–19
- BREMICKER, M. (1998): Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser- und das Ostsee-Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells. – Dissertation an der Geowissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg
- BREMICKER, M., P. HOMAGK & K. LUDWIG (2004): Operationelle Niedrigwasservorhersage für das Neckareinzugsgebiet. – Wasserwirtschaft 94, H. 7/8, 40–46
- BREMICKER, M., P. HOMAGK & K. LUDWIG (2006): Hochwasserfrühwarnung und Hochwasservorhersage in Baden-Württemberg. – Wasserwirtschaft 96, H. 7/8, 46–50
- BRONSTERT, A. & A. BARDOSSY (1999): The role of spatial variability of soil moisture for modelling surface runoff generation at the small catchment scale. – Hydrology and Earth System Science 3 (4), 505–516
- CLC (2000): CORINE Land Cover, Umweltbundesamt, DLR-DFD 2004; www.corine.dfd.dlr.de
- DKRZ (1994): The ECHAM 3 Atmospheric General Circulation Model. – Deutsches Klimarechenzentrum, Technical Report No. 6, Revision 3, Hamburg, S. 79–82
- DÜMENIL, L. & E. TODINI (1992): A rainfall-runoff scheme for use in the Hamburg climate model. – Advances In Theoretical Hydrology, A tribute to James Dooge. – European Geophysical Society Series on Hydrological Sciences 1, 129–157
- EBEL, M., K. LUDWIG & K.-G. RICHTER (2000): Mesoskalige Modellierung des Wasserhaushaltes im Rheineinzugsgebiet mit LARSIM. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 44, H. 6, 308–312
- GATHENYA, M. (1999): Einsatz von Wasserhaushaltsmodellen zur Wasserbewirtschaftung am Beispiel des Thika-Chania-Gebietes in Kenya. – Dissertation, Universität Kaiserslautern
- GERLINGER, K. (1997): Erosionsprozesse auf Lößböden: Experimente und Modellierung. – Mitteilungen des Instituts für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe, Heft 194, Eigenverlag, Karlsruhe
- GERLINGER, K. (2004): Simulation des Wasserhaushalts im Neckareinzugsgebiet unter Verwendung regionaler Klimaszenarien. – In: 2. KLIWA-Symposium am 03. und 04.05.2004 in Würzburg, Fachvorträge, Hrsg. AK KLIWA, KLIWA-Berichte, Heft 4
- HAAG, I., K. GERLINGER & V. KOLOKOTRONIS (2005): Auswirkungen von Windwurfschäden auf Hochwasserabflüsse am Beispiel des Enz-Nagold-Gebietes. – Wasserwirtschaft 95, H. 10, 8–14
- HAAG, I., A. LUCE & K. GERLINGER (2006a): Effects of conservation tillage on storm flow: a model-based assessment for a meso-scale watershed in Germany. – IAHS-Publications 303, 342–350
- HAAG, I., A. LUCE & K. LUDWIG (2006b): Ein operationelles Vorhersagemodell für die Wassertemperatur im Neckar. – Wasserwirtschaft 96, H. 7/8, 45–51
- HOHENRAINER, J. (2010): Nachrechnung des Hochwasserereignisses vom Juni 2008 an der Starzel mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM – Proceedings 2. Trierer Workshop zur Niederschlag-Abfluss-Modellierung 14./15. September 2009, in press
- HORTON, R.E. (1933): The role of infiltration in the hydrological cycle. – Transactions of the American Geophysical Society 14, 446–460
- JURY, W.A., W.R. GARDNER & W.H. GARDNER (1991): Soil physics. – 5th Edition. – John Wiley, New York
- KNEIS, D. & M. HEISTERMANN (2009): Bewertung der Güte einer Radar-basierten Niederschlagsschätzung am Beispiel eines kleinen Einzugsgebiets. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 53, H. 3, 160–171
- LEIBUNDGUT, C. & S. UHLENBROOK (1997): Abflussbildung bei Hochwasser. – Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein, Bd. 5. Hrsg. vom Ministerium für Umwelt und Forsten, Rheinland-Pfalz
- LFU (2004): Analyse der Auswirkungen dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen mit hochauflösenden Wasserhaushaltsmodellen. – Untersuchung des Ingenieurbüros Dr. K. Ludwig, Karlsruhe, im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (unveröff.)
- LUDWIG, K. (1982): The program system FGMOD for calculation of runoff processes in river basins. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 23, 25–37
- LUDWIG, K. & M. BREMICKER (Hrsg.) (2006): The Water Balance Model LARSIM – Design, Content and Applications. – Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 22, Institut für Hydrologie der Universität Freiburg
- NASH, J.E. & J.V. SUTCLIFFE (1970): River flow forecasting through conceptual models. 1. A discussion of principles. – Journal of Hydrology 10, 282–290

- RICHTER, K.-G. & K. LUDWIG (2003): Analyse des Wasserkreislaufes für das BALTEX Einzugsgebiet unter gegenwärtigen und zukünftigen klimatologischen Bedingungen. – In: Klima, Wasser, Flussgebietsmanagement im Lichte der Flut, Hrsg. H. Kleeberg. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 4/2003, 27-34
- SEVRUK, B. (1989): Reliability of Precipitation Measurement. – In: Sevruk, B. (ed), Precipitation measurement, Workshop on Precipitation Measurement. WMO/IAHS/ETH, Zürich, 13–19
- ZEHE, E. & G.N. BLÖSCHL (2004): Predictability of hydrologic response at the plot and catchment scales: Role of initial condition. – Water Resour. Res. 40 (10), W10202, doi:10.1029/2003WR002869
- ZHAO, R.J. (1977): Flood forecasting method for humid regions of China. – East China Institute of Hydraulic Engineering, Nanjing, China
- ZIMMERLING, B. & W.A. SCHMIDT (2002): Vorbeugender Hochwasserschutz in landwirtschaftlich genutzten Gebieten. – In: Sieker, F., Endbericht, DBU Projekt AZ 15877, Osnabrück., S. 43–70

Peter Wattendorf, Jörg Niederberger, Otto Ehrmann und Werner Konold

Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt von Niedermooren in Baden-Württemberg

Consequences of climate change on the water balance of fen peatlands in Baden-Wuerttemberg

Bei der Betrachtung und Analyse von Auswirkungen des Klimawandels auf hydrologische Prozesse liegen die Schwerpunkte auf Projektionen und Prognosen zukünftigen Abflussgeschehens, potentieller Hochwassergefährdungen und Grundwasserneubildung. Im naturschutzfachlichen Bereich wurde bislang sowohl auf nationaler als auch regionaler Ebene meist auf der Basis von Temperaturänderungen versucht, Verschiebungen von Artarealen zu prognostizieren und daraus die zukünftige Vegetation sowie Extinktionsrisiken für Arten aufgrund ihrer Temperaturpräferenzen abzuleiten (CHMIELEWSKI et al. 2005, POMPE et al. 2009). Weit weniger Beachtung wird bisher dem Standort als Gefüge aller auf die Vegetation einwirkender abiotischer Faktoren geschenkt. Es muss aber davon ausgegangen werden, dass der Klimawandel neben der Erhöhung der Temperatur weitere Standortfaktoren verändert. Hier ist in erster Linie der Wasserhaushalt zu nennen (HERBST & HÖRMANN 1998). Niedermoore sind wie alle wasserbeeinflussten Biotope in ihrer Entstehung, Verbreitung, Ausprägung und ihrem ökologischen Wert eng an den regionalen oder lokalen Wasserhaushalt gebunden. Es wird deshalb angenommen, dass der Klimawandel diese Habitats und die in ihnen vorkommenden Artengemeinschaften tiefgreifend beeinflussen wird (IPCC 2001). Pflanzen der Feuchtgebiete sind aufgrund ihrer Anpasstheit an bestimmte Wasserhaushaltsregime unter der speziellen Faktorenkombination aus Temperatur, Niederschlag und Verdunstung besonders vulnerabel gegenüber Klimaänderungen (DAWSON et al. 2003). Mit Hilfe modellierter Wasserhaushaltsszenarien wird am Beispiel zweier Niedermoor-Naturschutzgebiete in Baden-Württemberg, dem „Erlenbruch Lichteler Landturm“ und dem „Birkenweiher“, gezeigt, wie sich Klimaänderungen auf Wasserhaushalt, Standorteigenschaften und Vegetation auswirken können.

Schlagwörter: Klimawandel, Niedermoor, Standorteigenschaften, Vulnerabilität, Wasserhaushalt

Considerations and analyses of the consequences of climate change on hydrological processes focus on projections and predictions of the future runoff behaviour, potential risk of flooding, and groundwater recharge. Nature conservationists have tried both at national and regional levels to predict – mainly from changes in air temperature – shifts in species ranges and derive the extinction risks of species from their temperature preferences (CHMIELEWSKI et al. 2005, POMPE et al. 2009). Much less attention was granted to the site as an aggregate of all abiotic factors influencing vegetation. However, it must be presumed that climate change will alter – next to temperature – other site factors as well; in the first instance the water balance at the site (HERBST & HÖRMANN 1998). Fens, like all other water-influenced biotopes, depend in their emergence, distribution, form, and their ecological valuation closely on the regional and local water balance. That is why one expects that climate change will profoundly influence these habitats and their species communities (IPCC 2001). Because of their adaptation to a certain water-balance regime under a specific combination of the factors „temperature“, „precipitation“, and „evaporation“, plants are particularly vulnerable by climate change (DAWSON et al. 2003). This paper uses modelled water-balance scenarios of two nature reserves in Baden-Wuerttemberg, the alder-carr „Erlenbruch Lichteler Landturm“ and the fen „Birkenweiher“ to examine how climate changes may affect the water balance, the site characteristics, and the vegetation.

Keywords: Climate change, fen, site characteristics, vulnerability, water balance

1 Ausgangslage

Aussagen über Einflüsse des Klimawandels auf den Bodenwasserhaushalt konkreter Standorte benötigen räumlich hoch aufgelöste Projektionen der zu erwartenden regionalen Klimaänderungen in Südwestdeutschland. Im Gemeinschaftsprojekt KLIWA der Länder Baden-Württemberg und Bayern sowie des DWD wurden Szenarien für regionale Klimaänderungen im Zeithorizont 2021 bis 2050 berechnet. Die statistisch-dynamische Modellierung nach der Meteo-Research-Methode (MR-Modell, ENKE & SPEKAT 1997) stellt plausible Ausgangswerte für regionalisierte Projektionen der Klimaveränderung zur Verfügung (KLIWA 2006). Der Regionalisierungsansatz basiert auf globalen ECHAM4-Modellierungen sowie dem hinsichtlich seiner Auswirkungen auf die prognostizierten globalen Lufttemperaturen im mittleren Bereich angesiedelten und von KLIWA (2006) für Europa als plausibel angesehenen SRES-Emissionsszenario B2 nach IPCC (2000).

Obwohl der Wasserhaushalt allgemein als wichtiger Standortfaktor angesehen wird, gibt es keine flächendeckenden Messwerte von Grundwasserständen und Bodenwassergehalten. Ökologische Untersuchungen sind meist auf kurze Zeiträume von wenigen Jahren beschränkt und messen selten mehr als den oberflächennahen Grundwasserstand. Deshalb fehlt es an langen Datenreihen, welche die ganze Bandbreite der Auswirkungen von Wetter und Witterung auf den Wasserhaushalt konkreter Standorte abbilden können, wie sie zum Beispiel die Jahre 2002 mit weit überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen und 2003 mit einem außergewöhnlichen trocken-warmen „Jahrhundertsommer“ repräsentieren. Die einzige praktikable Möglichkeit zur Betrachtung des Wasserhaushalts beliebiger Standorte über längere Zeiträume hinweg ist deshalb der Einsatz von Wasserhaushaltsmodellen. Modelle können nicht nur den Wasserhaushalt der Vergangenheit berechnen, sie ermöglichen darüber hinaus auch Projektionen in die Zukunft. Wasserhaushaltsmodelle können aber nicht mit Klimadaten oder Klimaprojektionen arbeiten, sondern es müssen zeitlich hoch aufgelöste Wetterdaten (Tageswerte) zur Verfügung stehen.

2 Untersuchungsgebiete

Die Wasserhaushaltsbetrachtungen der beiden Niedermoor-Naturschutzgebiete „Erlenbruch Lichteler Landturm“ im Tauberland und „Birkenweiher“ im Bodenseebecken (Abb. 1) wurden im Rahmen des Forschungsprogramms „Herausforderung Klimawandel“ des Landes Baden-Württemberg¹ realisiert. Im Teilprojekt „Auswirkungen des Klimawandels auf Biotope Baden-Württembergs“ wurden neben den beiden genannten Niedermooren zehn weitere nicht grundwasserbeeinflusste Biotope betrachtet, die für die jeweilige Region und das Land typisch und repräsentativ sind und besondere naturschutzfachliche oder landschaftspflegerische Werte beinhalten.

Für die Wasserhaushaltsmodellierung wurden Gebiete mit heute unterschiedlichem Klima ausgewählt, die nach den regionalisierten Projektionen (KLIWA 2006) außerdem unterschiedlich von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein sollen. Ein weiteres Auswahlkriterium für die beiden Niedermoor-Untersuchungsgebiete war ein möglichst naturnaher Wasserhaushalt mit einer überschaubaren Anzahl von Einflussfaktoren und Regulationsmechanismen, der Auswirkungen des Klimas weitgehend ungefiltert wiedergeben würde. Die Gebiete sollten deshalb beispielsweise nicht von Fließgewässern gespeist sein.

Das Naturschutzgebiet „Erlenbruchwald beim Lichteler Landturm“ liegt in Nordostwürttemberg (Abb. 1) wenige Kilometer südlich von Creglingen. Im Naturraum der südlichen Tauberplatten und der gesamten relativ niederschlagsarmen Hohenloher Ebene (s. Abb. 2 und 5) ist dieser Biototyp sehr selten (BAUR

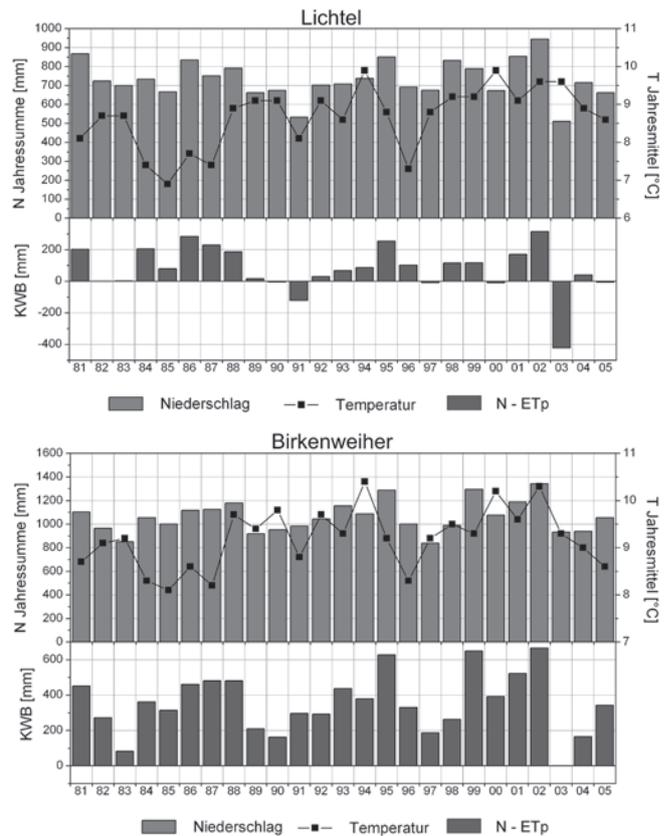


Abbildung 2 Niederschlag (Jahressummen), Temperatur (Jahresmittel) und klimatische Wasserbilanz (= Niederschlag - potentielle Evapotranspiration) der Untersuchungsgebiete Lichtel und Birkenweiher im Istzenario. Die Grafiken sind unterschiedlich skaliert. *Precipitation (annual sum), temperature (annual mean) and climatic water balance (= precipitation - potential evapotranspiration) in the investigation areas Lichtel and Birkenweiher, as-is scenario. (Graphs on different scales)*

1965). Dementsprechend groß ist die Bedeutung des Naturschutzgebietes, beispielsweise als vegetationsgeschichtliches Dokument (RP STUTTGART 2002).

Das Gebiet liegt auf einer mit Mischwald bestockten Anhöhe im Übergang zwischen Oberem Muschelkalk und Unterem Keuper auf circa 450 m Höhe. In einer von Tonschichten im Untergrund abgedichteten Doline staut sich lateral zuströmendes Wasser auf, so dass sich der nur 0,55 ha große Erlenbruch entwickeln konnte. Die Kuppenlage bedingt ein Einzugsgebiet von nur insgesamt 5,6 ha Größe, das damit absolut gesehen zwar sehr klein ist, aber die zehnfache Fläche des Erlenbruchs einnimmt (s. Abb. 6). Die Höhendifferenz im Einzugsgebiet beträgt weniger als 5 m. Pollenanalytische Untersuchungen der bis zu 1,7 m mächtigen Seggentorfschicht des Erlenbruchs belegen eine Entwicklungszeit von rund 8.000 Jahren mit sehr seltenen durchgängigen Pollenspektren (RP STUTTGART 2002). Die andauernd staunassen Verhältnisse verhindern, dass sich außer Erlen (*Alnus glutinosa*, *A. incana*) und Birken (*Betula pendula*, *B. pubescens*) andere Baumarten etablieren konnten (Abb. 3). Die Krautschicht besteht überwiegend aus Seggen (z.B. *Carex elongata*) und Torfmoosen, insgesamt ist der Biotop eher arm an Pflanzenarten.

Das Naturschutzgebiet „Birkenweiher“ liegt im Westallgäuer Hügelland zwischen Tettang und Laimnau auf ungefähr 510 m



Abbildung 1 Lage der Untersuchungsgebiete Erlenbruch Lichtel und Birkenweiher in Baden-Württemberg *Position of the investigation areas Erlenbruch Lichtel and Birkenweiher in Baden-Wuerttemberg*

1 <http://www.herausforderung-klimawandel-bw.de>

**Abbildung 3**

Naturschutzgebiet „Erlenbruchwald beim Lichteler Landturm“ im Juli 2007
Nature reserve „Alder carr forest at the Lichteler Landturm“ in July 2007

Meereshöhe und nimmt eine Fläche von 12,9 ha ein. Das teilweise als Streuwiese genutzte Niedermoor liegt als waldwiesenartige Insel in seinem vollständig bewaldeten Einzugsgebiet von 27,2 ha Größe. Ein Grabensystem durchzieht das Gelände und bündelt sich zu einem kleinen Bach, der den Birkenweiher zentral entwässert. Der Wasserhaushalt und die relative Nährstoffarmut des Gebiets bestimmen überwiegend die Ausprägung der Vegetationsdecke. Als floristische Besonderheiten sind Pflanzen der Niedermoore, Kleinseggenriede und Pfeifengras-Streuweisen hervorzuheben, beispielsweise Schwalbenwurz-Enzian (*Gentiana asclepiadea*), Echte Sumpfwurz (*Parnassia palustris*), Alpen-Wollgras (*Trichophorum alpinum*), Sumpf-Lappenfarn (*Thelypteris palustris*) sowie eine Reihe von Orchideenarten (KIEFER 2007). Das Niedermoor ist ein bedeutendes Habitat für seltene Schmetterlings- und Heuschreckenarten (RP TÜBINGEN 2006).

Das Gebiet unterliegt einem strengen Schutzregime einschließlich Betretungs- und Entwässerungsverbot und wird maschinell gepflegt. Die Pflege der ehemaligen Streuwiese orientiert sich an der Vegetation: Wo Neophyten wie Indisches Springkraut (*Impatiens glandulifera*) oder Goldrute (*Solidago gigantea*) aufkommen, wird früh gemäht, ansonsten spät im Jahr (RP TÜBINGEN 2006).

3 Vorgehensweise und Methoden

Grundlegende Idee der Untersuchung war es, den rezenten Wasserhaushalt der Gebiete als Istzustand exemplarisch einem Zukunftsszenario gegenüberzustellen, um klimawandelinduzierte Veränderungen beispielhaft zu quantifizieren. Da keine Messwerte zum Bodenwasserhaushalt der beiden Untersuchungsgebiete vorliegen, wurden sowohl der Istzustand als auch das Zukunftsszenario modelliert.

Als Grundlage für aussagekräftige Wasserhaushaltsmodellierungen wurden möglichst lange Wetterdatenreihen angesehen, um eine größtmögliche Bandbreite des Wettergeschehens abzubilden. Als Kompromiss zwischen Anspruch und Datenverfügbarkeit konnte der Zeitraum 1980 bis 2005 mit Wetterdaten folgender Untersuchungsgebiete nahe liegender DWD-Stationen abgedeckt werden: Für das Einzugsgebiet Lichtel (450 m ü. NN) standen Daten folgender Stationen zur Verfügung: Würzburg (268 m ü. NN, Globalstrahlung), Schrozberg-Spielbach (456 m ü.

**Abbildung 4**

Niedermoor-Naturschutzgebiet „Birkenweiher“ im Juli 2007
Nature reserve „Birkenweiher“ in July 2007

NN, Distanz 4 km, Niederschlag) und Rothenburg o.T. (412 m ü. NN, Lufttemperatur, relative Feuchte und Windgeschwindigkeit). Für das Gebiet Birkenweiher konnten Daten von Konstanz (443 m ü. NN, Globalstrahlung), Langenargen (399 m ü. NN, Distanz 7 km, Niederschlag) und Eriskirch-Mariabrunn (408 m ü. NN, Lufttemperatur, relative Feuchte und Windgeschwindigkeit)² verwendet werden. Auf Grund des im Vergleich zur geringen Größe der Einzugsgebiete großen Abstandes der Stationen wurde auf eine manuelle Korrektur der Niederschlags- und Klimadaten innerhalb der Einzugsgebiete verzichtet. Die Wetterdaten der DWD-Stationen wurden anhand des Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (WABOA 2007) auf ihre Aussagekraft für die Untersuchungsgebiete kontrolliert.

Vegetations- und Landnutzungsdaten der Einzugsgebiete wurden im Zuge von Begehungen erhoben. Die teilweise unpublizierten Bodendaten des Einzugsgebietes des NSG Birkenweiher wurden dankenswerterweise vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (RP Freiburg, Referat 93 Landesbodenkunde, Dr. Wolfgang Fleck) zur Verfügung gestellt. Flächendeckende Bodendaten des Einzugsgebietes des NSG Lichtel wurden im Sommer 2007 von der Arbeitsgruppe selbst erhoben.

Der Wasserhaushalt der Niedermoore und ihrer Einzugsgebiete wurde mit dem Modell WASim-ETH Version II mit angekoppeltem Multi-Layer-2D-Grundwassermodell berechnet. Dieses Modell kann mit frei wählbarer zeitlicher und räumlicher Auflösung alle Komponenten des Wasserhaushalts für eine konkrete Raumeinheit modellieren (SCHULLA 1997, SCHULLA 2006). Es benötigt als Eingangsdatensatz die Topographie zur Ermittlung der Fließwege sowie der Regionalisierung der meteorologischen Eingangsdaten und eventueller Strahlungs-, Niederschlags-, oder Temperaturkorrekturen. Als meteorologische Eingangsdaten wurden Tageswerte von Lufttemperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, relativer Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit herangezogen. Da die meteorologischen Eingangsdaten als Tageswerte zur Verfügung standen, wurde als Zeitschritt für die Modellierung ebenfalls ein Tag gewählt.

² Datenlücken wurden hier mit Werten der Station Sigmarszell-Zeisertsweiher (507 m ü. NN) ergänzt.

Die Modellierungen wurden mit dem auf der Richards-Gleichung basierendem WASim-Bodenmodul gerechnet. Es ermöglicht die Einbindung eines zweidimensionalen Grundwassermodells, in dem die Fließbewegungen der gesättigten Zone modelliert werden können (SCHULLA 2006). Das Modell berechnet die potentielle Evapotranspiration mit dem Penman-Monteith-Ansatz (MONTEITH 1975). Das Bodenmodul ermöglicht es, die reale Verdunstung (ETa) anhand der Saugspannung des Bodens gegenüber der potentiellen Verdunstung zu reduzieren. Neben einer Reduktion aufgrund zu geringer Bodenfeuchte wird auch der reduzierende Einfluss von zu hoher Bodenfeuchte durch anaerobe Verhältnisse – wichtig in Niedermooren – berücksichtigt. Über die Definition des Vegetationstyps gehen zusätzlich pflanzen-spezifische Grenzsugspannungen in die Berechnungen ein. Dies hat den Vorteil, dass die ETa realitätsnah sowohl von den Bodeneigenschaften als auch von der Art der Vegetation beeinflusst werden kann.

Aus einer Bodentabelle mit den Bodenarten des Einzugsgebietes und ihrer räumlichen Verteilung können dann gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) und van-Genuchten-Parameter abgeleitet werden (TEEPE et al. 2003, AG Boden 2005, SCHWÄRZEL et al. 2006). Für die Parametrisierung der Niedermoorflächen wurden die von WaSim-ETH bereitgestellten Standardwerte übernommen.

Weiterhin sind flächendeckende Landnutzungs- und Vegetationsdaten sowie ein digitales Geländemodell des Einzugsgebietes erforderlich. Da in Baden-Württemberg digitale Geländemodelle aus Airborne Laser Scanning-Daten in unterschiedlichen Rasterweiten ab 1 m zur Verfügung stehen, war es möglich, an der jeweiligen Fragestellung orientierte Auflösungen zu verwenden (SCHELLBERG et al. 2010): Im Wasserhaushaltsmodell WASim-ETH wurde ein Geländemodell mit 10 m Rasterweite verwendet, um den Umfang der Ausgabedaten überschaubar zu halten. Die Laserscanning-Bodenpunkte erzeugten in den bewaldeten Einzugsgebieten bei dieser Auflösung ein hinreichend genaues Höhenraster der Bodenoberfläche. Bei der Auswertung, beispielsweise zur grafischen Darstellung des Reliefs im Erlenbruch Lichtel selbst (s. Abb. 8), wurde jedoch ein detaillierteres Geländemodell mit Rasterweite von 1 m verwendet.

Die Wasserhaushaltsmodellierungen erfolgten in zwei Arbeitsschritten: Für den Istzustand oder das Nullszenario, im Folgenden Sz0 genannt, wurde der Wasserhaushalt von 1980/1981 bis 2005 modelliert³. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die klimatischen Bedingungen im Betrachtungszeitraum.

Tabelle 1
Regionalisierte Klimatrends für die Untersuchungsgebiete aus KLIWA (2006) und daraus ermittelte Korrekturfaktoren für die Berechnung der Tageswerte des Zukunftsszenarios; Sommer = Mai–Oktober, Winter = November–April
Trends of regional climatic change (KLIWA 2006) in the investigation areas and derivational factors to calculate daily meteorological data for the future scenario, summer = May–October, winter = November–April.

Gebiet Klimaänderung	Δ Niederschlag [%]		ΔTemperatur [°C]	
	Sommer	Winter	Sommer	Winter
Erlenbruch Lichtel				
regionale Projektion (KLIWA 2006)	-5 bis -10	+20 bis +30	+1,2 bis +1,3	+2,0 bis +2,5
Zukunftsszenario: Korrektur um	-7,5	+25	+1,3	+2,5
Niedermoor Birkenweiher				
regionale Projektion (KLIWA 2006)	-5 bis -10	+10 bis +20	+1,3 bis +1,4	+2,0 bis +2,5
Zukunftsszenario: Korrektur um	-7,5	+15	+1,4	+2,5

Zur Modellierung der Einflüsse eines veränderten Klimas auf den Wasserhaushalt wurden die Tageswerte von mittlerer Lufttemperatur, Niederschlag und relativer Luftfeuchte des Zeitraums 1980 bis 2005 der oben genannten DWD-Stationen um den Wert der regionalisierten Klimaprojektionen für Sommer- und Winterhalbjahr in KLIWA (2006) korrigiert (s. Tab. 1). Die korrigierten Tageswerte dienen als Eingangsdaten für die Modellierung des Zukunftsszenarios (Sz1) über 26 Jahre im Zeithorizont nach 2021. Boden- und Vegetationsdaten des Istzustandes blieben bei der Modellierung des Zukunftsszenarios unverändert.

Da die Naturschutzgebiete Lichtel und Birkenweiher nicht mit Pegeln ausgestattet sind, stehen keine Abflussdaten zur Modellvalidierung zur Verfügung. Es gibt jedoch Daten und Beobachtungen, die eine Plausibilitätskontrolle der Modellergebnisse ermöglichen. So wird im Niedermoor NSG Birkenweiher im Laufe des Jahres mit Maschinen der Bewuchs gemäht. Dazu muss der Wasserspiegel so weit absinken, dass die Niedermoorfläche ohne größere Bodenschäden befahrbar ist, nach BLANKENBURG et al. (2001) mindestens 25 bis 35 cm unter Flur. Andererseits dürfen in Niedermooren die Grundwasserstände nicht dauerhaft oberflächenfern sein. Langjährigen eigenen Beobachtungen zufolge trocknet der Erlenbruch des NSG Lichtel in durchschnittlichen und niederschlagsreichen Jahren im Sommer nicht vollständig aus. In niederschlagsarmen Jahren dagegen kann er über einige Wochen trocken fallen. 2003 war dies sogar für mehrere Monate der Fall. Weiterhin ist die Größenordnung der Abflüsse aus beiden Gebieten als Stichprobe durch Geländeerhebungen im Sommer 2007 bekannt.

Die Vorgehensweise der Modellierung geht methodisch in einigen Punkten absichtlich oder gezwungenermaßen unkonventionelle Wege, deren Ursachen und Beweggründe deshalb kurz diskutiert werden.

Eine Interpolation der Wetterdaten zur genauen Anpassung der Daten der DWD-Stationen an die Untersuchungsgebiete war nicht möglich, denn hierzu lagen keine langjährigen Vergleichswerte anderer Stationen vor. Es konnte lediglich der oben beschriebene Abgleich mit den Daten des WABOA durchgeführt werden. Innerhalb der Einzugsgebiete jedoch wurden Gradienten für Strahlung, Niederschlag und Temperatur aufgrund der Topografie modellintern berechnet (s.o.), allerdings ergeben sich

3 Für Birkenweiher liegen erst ab 1981 Wetterdaten vor. Ausgewertet wurden nur die Datenreihen von 1981 (Lichtel) bzw. 1982 (Birkenweiher) bis 2005, da das Modell eine Vorlaufphase zum Einstellen der Wasserhaushaltsbilanzen benötigt.

bei der geringen Flächengröße nur geringfügige Unterschiede. Die Genauigkeit der Ergebnisse der vergleichenden Betrachtung bleibt in jedem Fall davon unberührt, denn mögliche Abweichungen gehen in beide Szenarienrechnungen gleichermaßen ein, so dass die hier diskutierten Unterschiede unverändert bleiben.

Klimaprojektionen werden meist auf der Basis mehrerer SRES-Szenarien berechnet. Dies war in unserem Fall jedoch nicht möglich, da aus KLIWA (2006) nur regionalisierte Projektionen auf Grundlage des B2-Szenarios vorlagen. Es erscheint aber legitim, sich auf dieses als wahrscheinlich erachtete Emissionsszenario zu beschränken, zumal Unterschiede zwischen den SRES-Szenarien erst gegen Ende des Betrachtungszeitraumes 2021 bis 2050 wirklich zum Tragen kommen sollen.

Die Generierung von lokalen „zukünftigen Wetterdaten“ durch Zu- oder Abschläge auf reale Wetterdaten der Vergangenheit entspricht nicht der gängigen meteorologischen Praxis, Wetterdaten mit Klimamodellen zu simulieren. Zum Vergleich möglicher Auswirkungen auf reale Standortbedingungen wird der von uns gewählte Weg trotzdem für sinnvoller erachtet, um aus den regionalisierten Klimaprojektionen konkrete Wasserhaushaltssituationen (beispielsweise Trockenphasen) der Standorte entstehen zu lassen, die in der direkten Gegenüberstellung mit dem Istzustand die relativen Unterschiede (be)greifbar und quantifizierbar machen („was-wäre-wenn“). Die nach gängiger meteorologischer Methodik mit Hilfe von regionalisierten Klimamodellen (z.B. REMO) generierten Wetterdaten des 21. Jahrhunderts bieten diese Möglichkeit nicht. Hier müssten zum Vergleich sowohl die realen als auch die modellierten Wetterdaten statistisch aufgearbeitet, d.h. zu Klimadaten gemacht werden. Der konkrete Situationsbezug ginge dabei wieder verloren.

Von Nachteil kann aber die relative Statik des von uns angewendeten Verfahrens angesehen werden, denn bei der Berechnung der Wetterdaten für das Zukunftsszenario musste die Zunahme von Extremereignissen wie Trockenphasen oder Starkniederschlägen unberücksichtigt bleiben, da diese bislang nicht mit hinreichender Genauigkeit quantifiziert werden konnten. Weiterhin konnten nicht alle Wetterelemente bei der Generierung der Wetterdaten des Zukunftsszenarios berücksichtigt werden, denn es lagen zum Zeitpunkt der Modellierung keine KLIWA-Projektionen zur Windgeschwindigkeit und Globalstrahlung vor. Aus der Literatur geht jedoch hervor (z.B. UBA 2008), dass für die Windgeschwindigkeit im 21. Jahrhundert keine einheitlichen Trends erwartet werden und zudem die projizierten Änderungen sehr gering sind.

4 Ergebnisse

4.1 Auswirkungen des Klimawandels auf Niederschlag und Verdunstung

Niederschlag und Verdunstung sind die wichtigsten Steuergrößen des Wasserhaushalts. In Baden-Württemberg bestehen bezüglich der Niederschlagsmengen ausgeprägte regionale Unterschiede, auch in den beiden Untersuchungsgebieten unterscheiden sich die mittleren Jahresniederschläge deutlich (Abb. 2 und 5). So gehört der Nordosten Württembergs mit dem Erlenbruch Lichtel (s. Abb. 1) zu den eher niederschlagsarmen Gebieten des Landes, das Jahresmittel 1980–2005 betrug hier 732 mm. Im Gegensatz dazu ist das Alpenvorland von hohen Niederschlagsmengen geprägt. Für den Birkenweiher im Südosten des Landes war 1981–2005 (Sz0) ein mittlerer Jahresnieder-

schlag von 1.060 mm zu verzeichnen (Abb. 5). Im Zukunftsszenario Sz1 ergeben sich durch das oben beschriebene Berechnungsverfahren deutlich höhere mittlere Jahresniederschläge in Lichtel (791 mm) und geringfügig höhere im Birkenweiher (1.070 mm). Die mittlere Lufttemperatur betrug im Zeitraum 1980–2005 für den Erlenbruch Lichtel 8,6 °C und für das NSG Birkenweiher 9,2 °C. Im Zukunftsszenario betragen diese Werte für Lichtel 10,5 °C und für Birkenweiher 11,1 °C.

Die projizierten Veränderungen der Niederschlagsverteilung (KLIWA 2006) mit einer Verlagerung ins Winterhalbjahr (Tab. 1) führen in den Beispielgebieten zu unterschiedlichen Niederschlagsregimes im Zukunftsszenario (Abb. 5). Während in Lichtel 1980–2005 mit 53 % geringfügig höhere Anteile im Sommerhalbjahr (Winter 47 %) zu verzeichnen waren, kehrt sich das Verhältnis im Zukunftsszenario um: Im Mittel ergibt sich ein Überschuss an Winterniederschlägen (Sommer 45 %, Winter 55 %). Im Gebiet Birkenweiher sinkt der hohe Anteil des Sommerniederschlags von 62 % (Winter 38 %) auf 57 % (Winter 43 %) im Zukunftsszenario ab. In Birkenweiher steht demnach einerseits insgesamt mehr Wasser als in Lichtel zur Verfügung und zusätzlich ist die Verteilung wegen des Übergewichts der Sommerniederschläge günstiger für die kontinuierliche Wasserversorgung des Niedermoors. Für die Sommerhalbjahre des Zukunftsszenarios ergeben sich in Lichtel 357 mm und in Birkenweiher 612 mm durchschnittlicher Niederschlag.

Durch die Erhöhung der Lufttemperatur in Folge der Klimaerwärmung steigt auch die Verdunstung in beiden Einzugsgebieten an. In Lichtel bleibt aber sowohl im Istzustand als auch im Zukunftsszenario die reale Evapotranspiration ETa deutlich hinter der potentiellen Evapotranspiration ETp zurück. Der Gebietsniederschlag und der Bodengewässerspeicher können den Wasserbedarf bei ungehinderter Verdunstung vor allem im Sommer nicht decken. Die potentielle Verdunstung erreicht im Istzustand durchschnittlich 654 mm/a, die reale 606 mm/a. Der langjährige klimatische Wasserbilanzüberschuss, die Differenz aus Niederschlag und potentieller Verdunstung (s. auch Abb. 2), beträgt

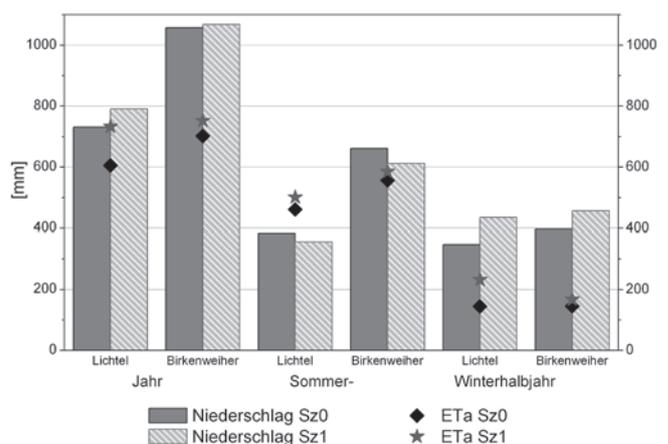


Abbildung 5

Mittlere Jahressummen von Niederschlag und realer Verdunstung (ETa) sowie Anteile von Sommer- und Winterniederschlag im Istzustand (Sz0) und im Zukunftsszenario (Sz1).

Mean annual sums of precipitation and actual evaporation (ETa) and portions of summer and winter precipitation at the as-is state (Sz0) and at the future scenario (Sz1).

bereits heute im Mittel nur 78 mm/a. Aus diesem Grund sind im Nordosten Württembergs Moore selten und das NSG Lichtel ist eine regionale Rarität. Im Zukunftsszenario ergeben sich durchschnittlich circa 790 mm Jahresniederschlag, die mittlere potentielle Verdunstung beträgt 920 mm/a, die reale Evapotranspiration 733 mm/a. Die Differenz zwischen realer und potentieller Verdunstung ist nach dieser Rechnung im Zukunftsszenario vergrößert, der Wasserhaushalt des NSG Lichtel demnach noch angespannter. Gegenüber dem heutigen geringen klimatischen Wasserbilanzüberschuss in Sz0 beträgt das Defizit in Sz1 -130 mm/a. Dies wäre eine völlig neue Situation in Baden-Württemberg, denn bisher kommen im langjährigen Mittel negative klimatische Wasserhaushaltsbilanzen im Land überhaupt nicht vor (WABOA 2007).

Im Gebiet Birkenweiher beträgt der mittlere klimatische Wasserbilanzüberschuss im Istzustand 349 mm/a und im Zukunftsszenario 304 mm/a. Auf Grund der sehr guten Wasserversorgung erreicht gegenwärtig die mittlere reale Evapotranspiration mit 702 mm/a 99 % der potentiellen Evapotranspiration (709 mm/a). Diese Relation bleibt auch im Zukunftsszenario erhalten, hier beträgt die mittlere reale Evapotranspiration 752 mm/a und die jährliche potentielle Evapotranspiration 763 mm. Weder für die potentielle noch für die reale Verdunstung des NSG Birkenweiher ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen Istzustand und Zukunftsszenario. Im Gegensatz dazu unterscheiden sich die Reihen des NSG Lichtel signifikant voneinander (Mann-Whitney U-Test: α 0,001).

4.2 Wasserhaushalt des NSG Erlenbruch Lichtel

Klassische Erlenbrüche finden sich in Mitteleuropa meist am Rand von Auen, in den Verlandungszonen von Stillgewässern und – wie im Beispiel des Erlenbruchs Lichtel – in stauwasserführenden Geländesenken. Hier bedingt lateral zuströmendes Grund- und Bodenwasser lang anhaltende stauwasserphasen. Schwankungen des Wasserspiegels betragen selten mehr als 1 m (ELLENBERG 1986). Nur wenige heimische Baumarten kommen mit diesen Standortbedingungen zurecht und auch die Schwarzerle bildet unter solchen suboptimalen Bedingungen nur lichte Bestände aus (WILMANN 1998).

Da Wasserüberstau das charakteristische Merkmal von Erlenbrüchen ist, konzentriert sich die folgende Wasserhaushaltsbetrachtung auf Stauhöhe und Überstaudauer im Erlenbruch Lichtel. Dieser Erlenbruch besitzt keinen natürlichen Abfluss. Die ursprünglich abflusslose und diffus entwässernde Senke wurde mit einem Entwässerungsgraben (großer Pfeil in Abb. 6) versehen, der die maximal mögliche Stauhöhe auf durchschnittlich 26 cm in der tiefsten Rasterzelle (10 x 10 m Größe) des Erlenbruchs begrenzt (Abb. 7 und 8). Der Erlenbruch gliedert sich morphologisch in eine flache Randzone und einen tieferen zentralen Teil. Gemittelt über die gesamte Fläche beträgt die maximal mögliche Stauhöhe 10,9 cm.

In Abbildung 7 ist der Jahresgang der Überstauhöhe am tiefsten Punkt des Erlenbruchs für den Istzustand und für das Zukunftsszenario dargestellt. Beide Kurven zeigen einen ausgeprägten Jahresgang mit charakteristischen sommerlichen Niedrigwasserständen, sie unterscheiden sich allerdings unter anderem in der Amplitude. Im Istzustand ist der Erlenbruch in Jahren mit zumindest durchschnittlichen Niederschlagsmengen (Abb. 2) im Winter zeitweise bis

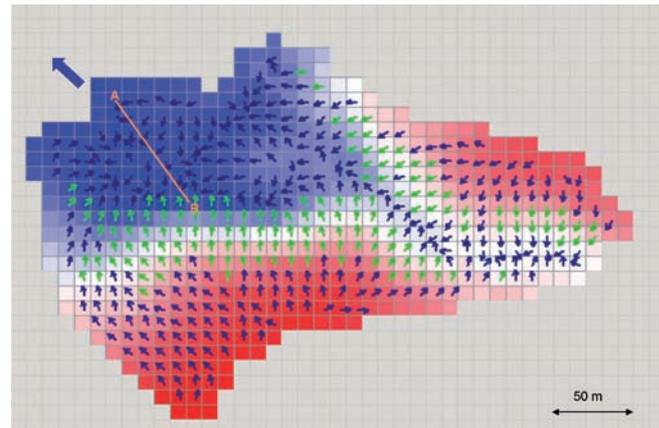


Abbildung 6

Erlenbruch Lichtel. Die Farben der Rasterzellen markieren die Geländehöhe (rot > weiß > hellblau > dunkelblau), die Pfeilrichtung gibt die Potentialrichtung zur nächsten Rasterzelle an; großer Pfeil: Entwässerungsgraben, Schnitt A-B: siehe Abbildung 8; Kartengrundlage: DGM © Landesvermessungsamt Baden-Württemberg (www.lv-bw.de), Az: 17005778

Alder carr forest Lichtel and its catchment: the colours of the grid cells indicate the terrain elevation (red > white > blue > dark blue), the arrow indicates the potential flow direction into the next grid cell; bold arrow: drainage ditch, terrain transect A-B: see Figure 8, map basis: DGM © Landesvermessungsamt Baden-Württemberg (www.lv-bw.de), Az: 17005778

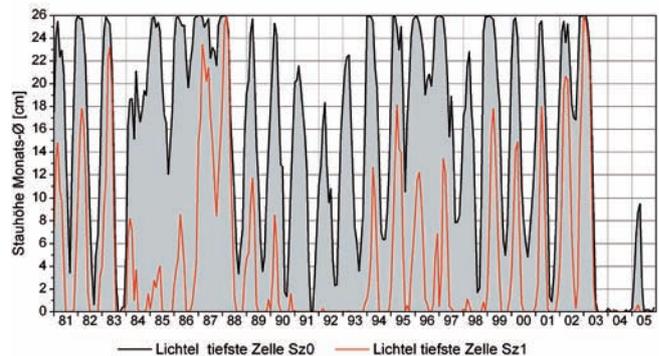


Abbildung 7

Monatsmittel der Stauhöhe in der tiefsten Rasterzelle des Erlenbruchs Lichtel im Istzustand 1981 bis 2005 (Sz0) und Zukunftsszenario Sz1; die Zeitreihen unterschieden sich signifikant (Signifikanzniveau α : 0,001, Mann-Whitney U-Test).

Mean monthly waterlogging level in the deepest grid cell in the alder carr forest for as-is state 1981 to 2005 (Sz0) and future scenario (Sz1); time series differ significantly (significance level α : 0.001, Mann-Whitney U-Test).

zur maximal möglichen Höhe überstaut. Unter anhaltend niederschlagsarmen Bedingungen kann kurzzeitig auch die tiefste Stelle des Erlenbruchs austrocknen. Mit Ausnahme der Jahre 2003 und 2004 lag bei solchen Witterungsereignissen die tiefste Rasterzelle und damit der gesamte Erlenbruch jedoch höchstens zwei Monate lang trocken. Dem Absinken des Wasserstandes im Sommer folgte im Istzustand regelmäßig der herbstliche Wiederanstieg mit winterlichem Überstau. Erst der „Jahrhundertssommer“ 2003 änderte dieses Regime, denn nach der vollständigen Austrocknung des Erlenbruchs im Juli 2003 reichten die Niederschläge des Jahres 2004 nicht aus, um den Wasserspeicher der Böden im Einzugsgebiet und im Erlenbruch wieder aufzufüllen.

Die höhere reale Evapotranspiration und verminderte Sommerniederschläge im Zukunftsszenario (Sz1) bewirken eine insgesamt stärkere Austrocknung des Erlenbruchs. Die maximale Einstauhöhe wird im Zukunftsszenario lediglich noch zwei Mal für nur kurze Zeit erreicht (Abb. 7). Die Einstauhöhe am tiefsten Punkt des Erlenbruchs und im Betrachtungszeitraum geht von 15,5 cm im Istzustand auf 4,5 cm im Zukunftsszenario zurück. Ein sommerlicher Überstau der gesamten Fläche findet im Zukunftsszenario nur noch in Ausnahmefällen statt. Während in der tiefsten Rasterzelle von 1981–2005 im Mittel aller Winterhalbjahre eine Stauhöhe von 18,9 cm zu verzeichnen war, wurden hier für das Zukunftsszenario nur noch 6,2 cm berechnet.

Das auf Grundlage des Digitalen Geländemodells in 1-m-Auflösung erstellte Höhenprofil durch den Erlenbruch zeigt, wie sich die im Zukunftsszenario berechnete Absenkung der mittleren Stauhöhe auf die überstaute Fläche auswirkt (Abb. 8). Während im langjährigen Mittel heute lediglich die höchsten Stellen des Erlenbruchs über dem Wasserspiegel liegen, ergibt sich im Zukunftsszenario nur noch ein Einstau der sehr tief gelegenen Stellen. Die maximal mögliche Wasserstandshöhe von durchschnittlich circa 26 cm in der tiefsten Rasterzelle, bei der fast die gesamte Fläche des Erlenbruchs überstaut ist, wird im Istzustand an über 900 Tagen erreicht, im Zukunftsszenario jedoch nur noch an 63 Tagen.

4.3 Wasserhaushalt des Niedermoors NSG Birkenweiher

In Abbildung 9 sind die Topografie sowie die auf Grund der Geländemorphologie auftretenden Potentiale der Abflussrichtung im Einzugsgebiet Birkenweiher dargestellt. Das flache, pfannenartige Relief des Niedermoors ist gut zu erkennen.

Die teilweise Entwässerung durch das Grabensystem lässt im NSG Birkenweiher keinen flächendeckenden und anhaltenden Überstau wie in Lichtel zu. Prägender Standortfaktor im Hinblick auf den Wasserhaushalt ist im Gebiet deshalb das Grundwasser. Abbildung 10 zeigt die Lage der wassergesättigten Bodenzone im Istzustand und im Zukunftsszenario gemittelt über die gesamte Niedermoorfläche des NSG Birkenweiher. Es ist in beiden Szenarien eine ausgeprägte jahreszeitliche Amplitude zu erkennen, regelmäßig

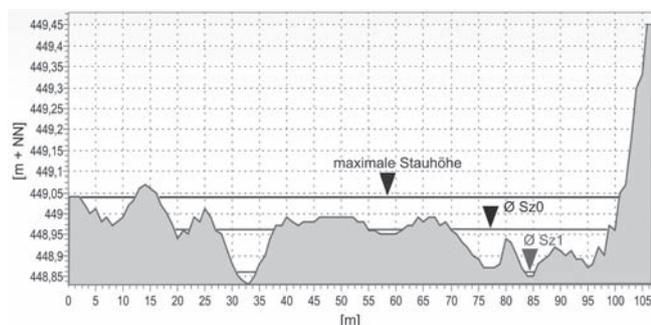


Abbildung 8

Höhenprofil des Erlenbruchs Lichtel (Schnitt A-B, siehe Abbildung 6) und maximale Einstauhöhe sowie Stauhöhen am tiefsten Punkt im Istzustand Sz0 und Zukunftsszenario Sz1

Topographic profile through the centre of the alder carr forest Lichtel (terrain transect A-B, see Figure 6) with maximum water storage level and waterlogging level of the lowest cell in the as-is scenario (Sz0) and in the future scenario (Sz1).

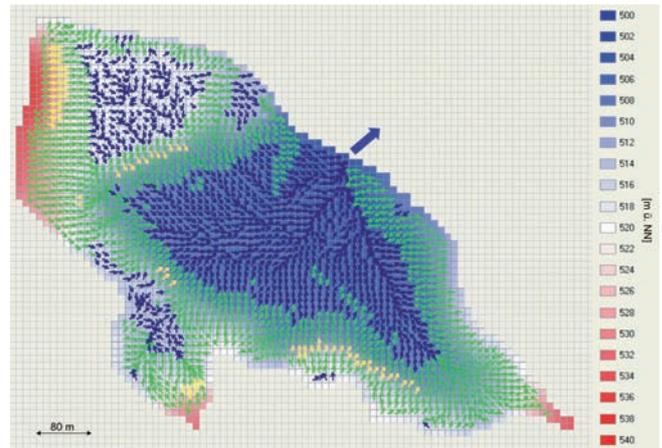


Abbildung 9

Niedermoor Birkenweiher. Die Farben der Rasterzellen markieren die Geländehöhe (rot > weiß > hellblau > dunkelblau), die Pfeilrichtung gibt die Potentialrichtung zur nächsten Rasterzelle an; großer Pfeil: Gebietsentwässerung; Kartengrundlage: DGM © Landesvermessungsamt Baden-Württemberg (www.lv-bw.de), Az: 17005778

Fen Birkenweiher; the colours of the grid cells indicate the terrain elevation (red > white > blue > dark blue), the arrow indicates the potential flow direction into the next grid cell; arrow colour indicates the flow velocity (yellow > light green > dark green > blue); bold arrow: drainage ditch; map basis: DGM © Landesvermessungsamt Baden-Württemberg (www.lv-bw.de), Az: 17005778

steigt das Grundwasserniveau im Winter fast bis zur Bodenoberfläche und fällt zum Sommer hin wieder ab. Im Istzustand bewegt sich der Flurabstand der gesättigten Bodenzone zwischen wenigen Zentimetern und -1,6 m Tiefe. In feuchten Jahren (Beispiel 1988) sinkt er auch im Sommer nur auf 40 cm unter Flur. Wie für ein Niedermoor zu erwarten ist, liegt der mittlere Grundwasserstand sehr hoch: Der mittlere Jahresdurchschnittswert für die gesamte Moorfläche beträgt im Istzustand -38 cm, im Sommerhalbjahr -57 cm und im Winter -18 cm. Im Zukunftsszenario erreicht die gesättigte Bodenzone nicht die Höhe des Istzustandes. Der höchste Grundwasserstand kommt nicht über -10 cm hinaus, der niedrigste Stand fällt bis auf -1,8 m. Der mittlere Grundwasserspiegel liegt mit -54 cm noch oberflächennah, aber 16 cm tiefer als im Istzustand. Die mittleren Grundwasserstände im Sommerhalbjahr fallen im Zukunftsszenario auf -76 cm, im Winterhalbjahr auf -32 cm. Abbildung 10 lässt auch erkennen, dass die Amplitude des Grundwassersgangs in beiden Szenarien ähnlich groß ist: Die Differenz zwischen höchstem und niedrigstem Grundwasserstand beträgt im Mittel 91 cm im Istzustand und 99 cm im Szenario 1. Der projizierte regionale Anstieg der winterlichen Niederschlagsmengen um 10–20 % kann im Zukunftsszenario in Jahren mit hohen Winterniederschlägen kurzzeitig zu einem höheren winterlichen Niveau der gesättigten Bodenzone als im Istzustand führen. Für die Vegetation wären solche geringfügig höheren Wasserstände allerdings ohne Bedeutung, denn sie erreichen oder überschreiten nicht die üblichen winterlichen Grundwasserstände anderer Jahre.

Auch die Häufigkeitsverteilung der Grundwasserstände im Sommerhalbjahr (Abb. 11) belegt eine Verlagerung um eine bis zwei Dezimeterstufen in die Tiefe: Im Istzustand sind sommerliche Grundwasserstände zwischen 40 cm und 60 cm am häufigsten, im Zukunftsszenario sind es die Stufen 60–70 cm und 100–120 cm. Wie bereits erwähnt, erreicht im Zukunftsszenario die wassergesättigte Bodenzone nicht mehr die Tiefenstufe bis

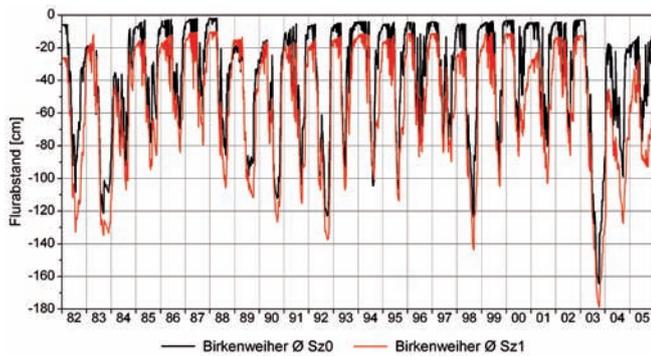


Abbildung 10
Mittlere Lage der wassergesättigten Bodenzone unter der Niedermoorfläche des Birkenweiher im Zeitraum 1982 bis 2005, rote Linie: Istzustand (Sz0), schwarze Linie: Zukunftsszenario (Sz1). Die Zeitreihen unterscheiden sich signifikant (α 0,001, nichtparametrischer Mann-Whitney-U-Test). Mean level of the saturated soil zone below the fen Birkenweiher from 1982 to 2005; red line: as-is state 1981 to 2005 (Sz0), black line: future scenario (Sz1); the time series differ significantly (significance level α 0.001, Mann-Whitney U-Test).

10 cm unter Flur. Eine anhaltende völlige Wassersättigung des Hauptwurzelraumes der Grünlandpflanzen würde in diesem Fall nicht mehr eintreten.

5 Konsequenzen für die Untersuchungsgebiete

Die Wasserhaushaltsmodellierungen weisen darauf hin, dass die bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts projizierten Klimaänderungen den Wasserhaushalt beider Untersuchungsgebiete beeinflussen würden. Allerdings zeigen sich deutliche regionale Unterschiede: So ist der einem trockeneren Klima unterworfenen Erlenbruch Lichtel stärker betroffen als das Niedermoor Birkenweiher. Die klimatische Situation im Voralpenland mit insgesamt hohen Niederschlagsmengen und hohem Wasserbilanzüberschuss wirkt den Verlusten durch die Temperaturerhöhung und der damit einhergehenden höheren Evapotranspiration dämpfend entgegen. Es ist anzunehmen, dass auch die Relation

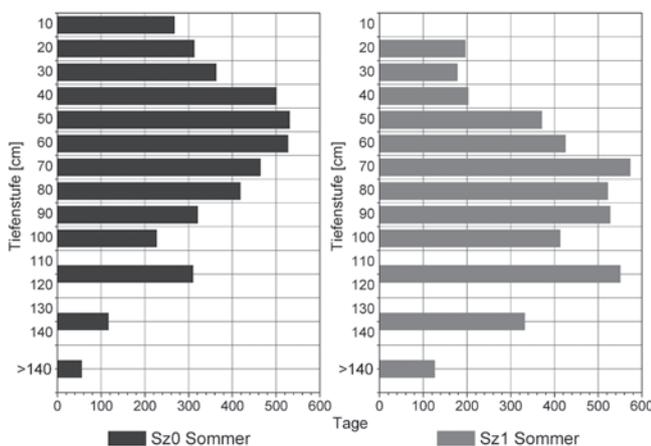


Abbildung 11
Häufigkeit des Grundwasserstandes in 10-cm-Stufen, gemittelt für das gesamte Niedermoor Birkenweiher während der Sommerhalbjahre 1982 bis 2005 im Istzustand Sz0 und im Zukunftsszenario Sz1
Frequency of groundwater levels in 10 cm steps, averaged over the whole fen Birkenweiher during the summer half-years 1982 to 2005 for the as-is state (Sz0) and the future scenario (Sz1)

der Flächengrößen von Feuchtgebiet gegenüber Einzugsgebiet die Sensibilität der Feuchtgebiete für Klimaänderungen beeinflusst. Während in Lichtel das Einzugsgebiet mehr als zehnfach größer ist als der Erlenbruch selbst, wird das Niedermoor Birkenweiher von einem nur gut doppelt so großen Einzugsgebiet gespeist. Diese weite Relation ist im relativ trockenen Klima der Hohenloher Ebene wohl eine der Voraussetzungen, überhaupt ein ausschließlich von Regen und oberflächennahem Grundwasser gespeistes Moor entstehen zu lassen. Auswirkungen des Klimas und des Klimawandels konzentrieren sich im Erlenbruch Lichtel deshalb aber auch weit stärker als im Niedermoor Birkenweiher.

Die im Zukunftsszenario berechnete mittlere Überstauhöhe im NSG Lichtel erreicht nur noch kleine, tief gelegene Flächen des Erlenbruchs. In einem solchen Fall ist auch die Wassersättigung der nicht überstauten Bereiche reduziert und im Sommer trockenet der Moorboden häufiger, länger und tiefer aus. Stärkere Austrocknung des Torfkörpers steigert die Mineralisierung der organischen Substanz und führt zu höheren Nährstoffumsätzen und Eutrophierung. In diesem Prozess wandelt sich das Moor von der Stoffsenke zur Stoffquelle (SUCCOW 2001), denn es werden nicht nur der zuvor gebundene Stickstoff und Phosphor freigesetzt, sondern verstärkt auch klimarelevante Gase wie Kohlendioxid und Lachgas (FREEMAN et al. 1993).

Eutrophierung und verstärkter Torfabbau verändern die Standortbedingungen eines Erlenbruchs gravierend, was nicht ohne Auswirkungen auf die Vegetation bleiben kann. Der Schwarzerle an Wuchskraft überlegene Baumarten mit geringerer Toleranz gegenüber Staunässe könnten sich zumindest in höher gelegenen Bereichen etablieren. Die autochthone Vegetation der Krautschicht des Erlenbruchs aus Seggen und Torfmoosen wäre mit wuchsstärkeren Konkurrenten konfrontiert und würde auf lange Sicht von aufkommendem Strauch- und Staudenbewuchs verdrängt. Zwar wären hiervon im Fall des Erlenbruchs Lichtel keine seltenen oder geschützten Pflanzenarten betroffen, aber der besondere Charakter des Biotops „Erlenbruch“ und ein wertvoller, in den Gäulandschaften der Hohenloher Ebene äußerst seltener Baustein der Biodiversität gingen verloren.

Im Fall des Erlenbruchs Lichtel können die tiefgreifenden Wasserhaushaltsänderungen eine intensive Torfmineralisation und zunehmende Bioturbation durch einwandernde und sich ausbreitende Bodenfauna (Regenwürmer) nach sich ziehen, welche die ursprüngliche Torflagerung weitgehend zerstören. Das Pollenarchiv und damit die Funktion des Moores als überregional bedeutendes repräsentatives landschafts- und waldgeschichtliches Dokument (RP STUTTGART 2002) gingen verloren. Dies wäre für die moorarme Region Nordwürttemberg und den angrenzenden bayerischen Raum ein unersetzlicher Verlust.

Wenngleich die Wasserhaushaltsmodellierung weniger gravierende Auswirkungen des Klimawandels im Einzugsgebiet des NSG Birkenweiher berechnete, so ist auch hier die Tendenz eindeutig: Im Zukunftsszenario ist es wärmer und trockener und die Grundwasserstände im Niedermoor liegen niedriger. Ein Absinken des Wasserspiegels kann starke Setzungen des Torfkörpers auslösen (WHITTINGTON & PRICE 2006). Da aber schon im Istzustand der Grundwassergang im Birkenweiher durch wiederkehrende sommerliche Tiefstände geprägt ist, sollten hierdurch keine gravieren-

den Auswirkungen auf das kleinräumige Relief der Moorbodenoberfläche ausgehen.

Bereits heute ist die Nasswiesenvegetation im Naturschutzgebiet Birkenweiher stellenweise von Austrocknung beeinträchtigt. Das Aufkommen hochwüchsiger nitrophytischer Stauden bereitet schon jetzt Probleme. Mit gezieltem Management wird seit Jahren versucht, diese Arten zurückzudrängen. Ein häufiger und länger anhaltend niedriger Grundwasserspiegel und die damit verbundenen geringeren Wassergehalte im Boden würden auch hier zu einer besseren Belüftung des Wurzelraums vor allem höher gelegener Stellen führen. Das hätte zur Folge, dass sich dort vermehrt auch nicht stauwassertolerante Arten ansiedeln könnten. Auch im Birkenweiher wäre dann mit zunehmender Mineralisation des Niedermoor torfs und Nährstofffreisetzung zu rechnen. Hiervon würden wiederum ubiquistische Hochstaudenarten stärker als die angestammte und schützenswerte Vegetation der Streuwiesen und Kleinseggenriede profitieren. Ein Wandel der Vegetation zu trockeneren Pfeifengraswiesen, nitrophytischen Staudenfluren und höherem Gehölzanteil ist bei stärkerer Austrocknung des Moores wahrscheinlich. Veränderungen des Wasserhaushalts, wie in unserem Zukunftsszenario berechnet, würden vermutlich das rezente, vom Relief geprägte Mosaik von Vegetationseinheiten weit stärker differenzieren. Größere Arealanteile von hochwüchsigen Staudenfluren und Gebüschern würden die derzeitige offene „Waldwiese“ fragmentieren, was sicher auch mit Auswirkungen auf die Fauna des Gebietes verbunden wäre. Da auch für das Zukunftsszenario ein deutlicher Wasserüberschuss im Birkenweiher berechnet wurde, kann hier der Austrocknung jedoch entgegengesteuert werden. Durch Änderungen an den Entwässerungseinrichtungen kann bei Bedarf mehr Wasser im Gebiet zurückgehalten werden, um die Grundwasserstände anzuheben und naturschutzfachlich unerwünschte Entwicklungen zu verhindern oder wenigstens abzumildern.

Die beiden Beispielfälle zeigen, dass nicht mit einheitlichen Reaktionen von Biotopen auf den Klimawandel gerechnet werden darf. Der Erlenbruch Lichtel würde in dem von uns modellierten Zukunftsszenario wohl keinen dauerhaften Bestand haben. Im Falle des Birkenweihers könnte mit einem angepassten Wasserhaushaltsmanagement unerwünschten Tendenzen begegnet werden und ein gegebenenfalls auf veränderte Bedingungen abgestimmtes Pflegeregime böte Chancen für den Erhalt der wertvollen Flora und Fauna.

6 Fazit

Die Wasserhaushaltsmodellierungen zweier Niedermoore in Baden-Württemberg haben ergeben, dass steigende Temperaturen, damit einhergehende höhere Verdunstung und ein verändertes Niederschlagsregime zu tendenziell trockeneren Standortbedingungen führen würden. Bei der Analyse von Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation muss deshalb der Wasserhaushalt als wichtiger Standortfaktor berücksichtigt werden. Hierbei zeigten sich im Einzelfall deutliche Unterschiede auf Grund des regional differenzierten Klimas und der Auswirkungen des Klimawandels. Die Ergebnisse der großmaßstäblichen Wasserhaushaltsmodellierungen zeigen aber sehr deutlich, dass darüber hinaus erhebliche Unterschiede abhängig von den jeweiligen lokalen Gegebenheiten bestehen. Topografie, Relief, Größe des Einzugsgebiets und weitere Faktoren können

differenzierend auf die vom Klimawandel induzierten Prozesse wirken.

Der Wasserhaushalt der meisten Feuchtgebiete, auch der Naturschutzgebiete, ist heute einer Regulation unterworfen, die in vielen Fällen der Austrocknung der Gebiete Vorschub leistet und damit die Auswirkungen des Klimawandels verschärfen kann. Die Regulation des Wasserhaushalts wird daher zukünftig den veränderten Klimabedingungen Rechnung tragen müssen. Der Rückbau von unregulierten Entwässerungseinrichtungen und eine angepasste Regulierung mit höherem Wasserrückhalt in den Feuchtgebieten sollte aber Chancen eröffnen, zumindest in naher Zukunft und im Einzelfall negativen Einflüssen entgegenzusteuern.

7 Zusammenfassung

Am Beispiel von zwei Niedermooren in Baden-Württemberg werden Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt grundwasserbeeinflusster Biotope untersucht. Mit Hilfe von Wasserhaushaltsmodellierungen eines Ist-szenarios mit realen Wetterdaten über 26 Jahre und eines Zukunftsszenarios mit hypothetischen, auf Grundlage regionalisierter Klimawandelprognosen generierter Wetterdaten wird dem rezenten Wasserhaushalt der Jahre 1980-2005 ein Wasserhaushalt unter dem Einfluss höherer Lufttemperatur und eines veränderten Niederschlagsregimes gegenübergestellt. Auf diese Weise sollen mögliche Auswirkungen des Klimawandels für konkrete Wasserhaushalts-situationen quantifiziert werden.

Die Wasserhaushaltsmodellierungen ergeben eine stärkere Austrocknung der Gebiete im Zukunftsszenario, obwohl die jährlichen Niederschlagsmengen zunehmen: Überstauhöhe und Grundwasserstände in den Niedermooren sinken meist ab. Vor allem für die Sommermonate ergeben sich für die Zukunftsszenarien länger anhaltende Phasen niedrigerer Wasserstände, bedingt durch höhere Verdunstung und Verlagerung von Niederschlag in den Winter. Besonders stark und nachteilig wirken sich die berechneten Klimaänderungen auf das Niedermoor in einer Region mit bereits heute geringem Überschuss in der klimatischen Wasserbilanz und mit einem im Verhältnis zur eigenen Größe ausgedehntem Einzugsgebiet aus.

Die häufigere, tiefere Austrocknung und Belüftung der Moorböden kann zu verstärkter Mineralisation führen. Hierdurch werden Nährstoffe und Kohlendioxid freigesetzt, Wasser- und Nährstoffhaushalt verändern sich. Die an rezente Bedingungen angepasste Niedermoorvegetation wird damit zunehmend der Konkurrenz wuchskräftigerer Arten ausgesetzt. Die Mineralisierung des Niedermoor torfs kann zur Vernichtung ungestörter Pollenlagerstätten und damit wichtiger landschaftsgeschichtlicher Archive führen.

Die Anpassung der Regulierung des Wasserhaushalts der Feuchtgebiete kann im Einzelfall die Chance bieten, den Tendenzen des Klimawandels entgegenzusteuern.

Summary

Using the examples of two fens in Baden-Wuerttemberg, the consequences of climate change on the water balance of groundwater-influenced biotopes were examined. Water-balance modelling performed with an as-is scenario based on real

weather data of a 26-year period and a future scenario with hypothetical weather data based on regionalised climate-change forecasts which are projected into the future, allows to make a quantitative analysis of the present and future water balances.

The results of this water-balance modelling runs indicate more dryness of the catchments in the future scenario. Although the amount of precipitation will increase in total, the waterlogging and groundwater levels will decrease in most cases. Longer lasting periods with low water levels will occur especially during the summer months. The cause of this is the higher evaporation and the shifting of precipitation into the winter months. Particularly strong and adverse consequences of climate change are expected for groundwater-influenced biotopes in regions with already little surplus in the climatic water balance and also for wetland habitats fed from catchments that are disproportionately vast.

More frequent and deeper drying plus aeration can lead to intensified mineralisation of peat soils. Consequently, nutrients and carbon dioxide will be released, resulting in changes in the water and nutrient balances. Fen vegetation that is adapted to the present conditions will have to compete with species of more vigorous growth. Mineralisation of fen peat could lead to the destruction of undisturbed pollen depots and thus threaten the important role of fens as historical landscape archives.

Controlled adaptation of the water balances of wetland areas could be an option in single cases to counteract the trends of climate change.

Anschrift der Verfasser:

Dr. P. Wattendorf
 Dipl.-Hydrol. J. Niederberger
 Dr. O. Ehrmann
 Prof. Dr. W. Konold
 Institut für Landespflege
 Tennenbacher Str. 4, 79106 Freiburg
 peter.wattendorf@landespflege.uni-freiburg.de

Literaturverzeichnis

AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. – Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden, 5. Auflage, Stuttgart, 438 S.

BAUR, K. (1965): Erläuterungen zur vegetationskundlichen Karte 1:25.000, Blatt 6526 Creglingen, Stuttgart, 12–13

BLANKENBURG, J., H.H. HENNINGS & W. SCHMIDT (2001): Bodenphysikalische Eigenschaften und Wiedervernässung. – In: KRATZ, R. & J. PFADENHAUER (Hrsg.): Ökosystemmanagement für Niedermoore. Strategien und Verfahren zur Renaturierung. – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 81–91

CHMIELEWSKI, F.M., A. MÜLLER & W. KÜCHLER (2005): Possible impacts of climatic change on natural vegetation of Saxony (Germany). – Int. J. Biometeorol. 50, 96–104

DAWSON, T.P., P.M. BERRY & E. KAMPA (2003): Climate change impacts on freshwater wetland habitats. – J. Nat. Conserv. 11, 25–30

ELLENBERG, H. (1986): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 989 S.

ENKE, W. & A. SPEKAT (1997): Downscaling climate model outputs into local and regional weather elements by classification and regression. – Climate Research 8, 195–207

FREEMAN, C., M.A. LOCK & B. REYNOLDS (1993): Fluxes of CO₂ and N₂O from a Welsh peatland following simulation of water table draw-down: potential feedback to climate change. – Biogeochemistry 19(1), 51–60

HERBST, M. & G. HÖRMANN (1998): Predicting effects of temperature increase on the water balance of beech forest - an application of the KAUSHA Model. – Climatic Change 40, 683–698

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000): Emission Scenarios, A Special Report of IPCC Working Group III, Summary for Policymakers, 20 Sp.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): Impacts, Adaptation & Vulnerability, Contribution of the Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Hrsg.: J.J. MCCARTHY, O.F. CANZIANI, N.A. LEARY, D.J. DOKKEN & K.S. WHITE, Cambridge, 1000 S.

KIEFER, C. (2007): Artenliste NSG Birkenweiher Mai 2007. – Schriftliche Mitteilung, Landratsamt Bodenseekreis, Umweltschutzamt

KLIWA (2006): Regionale Klimaszenarien für Süddeutschland, Abschätzungen der Auswirkungen auf den Wasserhaushalt; herausgegeben von Arbeitskreis KLIWA (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW, Bayerisches Landesamt für Umwelt BfLU und Deutscher Wetterdienst DWD), KLIWA-Berichte Heft 9, 100 S.

MONTEITH, J.L. (1975): Vegetation And The Atmosphere; Vol. 1: Principles. – Academic Press, London, 278 S.

POMPE, S., S. BERGER, G.-R. WALTHER, F. BADECK, J. HANSPACH, S. SATTLER, S. KLOTZ & I. KÜHN (2009): Mögliche Konsequenzen des Klimawandels für Pflanzenareale in Deutschland. – Natur und Landschaft 84/1, 2–7

RP STUTTGART (REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART) (Hrsg.) (2002): Die Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Stuttgart, Ostfildern, 640 S.

RP TÜBINGEN (REGIERUNGSPRÄSIDIUM TÜBINGEN) (Hrsg.) (2006): Die Naturschutzgebiete im Regierungsbezirk Tübingen, Ostfildern, 599 S.

SHELLBERG, S., B. SITTLER, S. HERING, P. WATTENDORF & W. KONOLD (2010): Airborne Laser Scanning in der Kulturlandschaftsforschung. – Natur und Landschaft 85, H. 5, 199–205

SCHULLA, J. (1997): Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. – Züricher Geographische Schriften, H. 69, 161 S.

- SCHULLA, J. (2006): Model Description WaSiM-ETH. – ETH-Zürich, 181 S.
- SCHWÄRZEL, K., J. ŠIMŮNEK, M.TH. VAN GENUCHTEN & G. WES-
SOLEK (2006): Measurement and modelling of soil-water dy-
namics and evapotranspiration of drained peatland soils. – J.
Plant Nutr. Soil Sci. 169, 762–774
- SUCCOW, M. (2001): Genese, Vorkommen und Zustand der Nie-
dermoore Mitteleuropas. – In: KRATZ, R. & J. PFADENHAUER
(Hrsg.): Ökosystemmanagement für Niedermoore. – Verlag
Eugen Ulmer, Stuttgart, 13–19
- TEEPE, R., H. DILLING & F. BEESE (2003): Estimation water reten-
tion curves of forest soil texture and bulk density. – Journal
of Plant Nutrition and Soil Science 166, 111–119
- UBA (UMWELTBUNDESAMT) (Hrsg.) (2008): Klimaauswirkungen
und Anpassung in Deutschland, Abschlussbericht zum UFO-
PLAN-Vorhaben 20441138. – Dessau-Roßlau, 154 S.
- WABOA (2007): Wasser- und Boden Atlas Baden-Württemberg.
– Herausgegeben von Umweltministerium Baden-Württem-
berg und Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Natur-
schutz Baden-Württemberg, 3. Auflage
- WHITTINGTON, P.N. & J.S. PRICE (2006): The effects of water tab-
le draw-down (as a surrogate for climate change) on the hy-
drology of a fen peatland, Canada. – Hydrol. Process. 20,
3589–3600
- WILMANNNS, O. (1998): Ökologische Pflanzensoziologie. – Verlag
Quelle & Meyer, Heidelberg & Wiesbaden, 405 S.

UN Wasserforum

19. Sitzung des Zwischenstaatlichen Rates für das Internationale Hydrologische Programm (IHP) der UNESCO

19th Session of the Intergovernmental Council of the International Hydrological Programme (IHP) of UNESCO

Vom 5.–9. Juli 2010 fand in Paris die 19. Sitzung des Zwischenstaatlichen Rates für das Internationale Hydrologische Programm (IHP) der UNESCO statt. Seine wichtigsten Aufgaben sind die Planung der jeweils 6 Jahre dauernden Phasenprogramme und deren Umsetzung und Durchführung.

35 der 36 Mitgliedsländer des Zwischenstaatlichen Rates, Beobachter von 40 weiteren Staaten, Vertreter von UN-Sonderorganisationen sowie von nichtstaatlichen internationalen Organisationen nahmen an der Veranstaltung teil.

Die neue Beigeordnete Generaldirektorin für Naturwissenschaften, Frau Gretchen Kalonji (USA), unterstrich in ihrer Eröffnungsansprache, dass die Stärke des IHP in seiner interdisziplinären Natur liege und in seiner Fähigkeit, die Balance zwischen Grundsatzforschung, praktischer Anwendung und politischer Hilfestellung zu wahren. Sie betonte weiterhin die immer wichtiger werdende Rolle der UNESCO Kategorie-II-Zentren, die neue innovative Forschungsfelder für die UNESCO erschließen. Die Aktivitäten zu grenzüberschreitenden Gewässern und Grundwasservorkommen stellte sie als einen wesentlichen Beitrag des IHP zu einer friedlichen Zusammenarbeit, einem der grundlegenden Prinzipien der UNESCO, heraus.

Als neuer Vorsitzender des Zwischenstaatlichen Rates wurde Herr Soontak Lee (Südkorea) gewählt. Bei der Wahl der Stellvertreter erhielten die Herren Matthew C. Larsen (USA), Jovan Despotovic (Serbien), Polioptro F. Martinez-Austria (Mexiko) und Juma C. Omondi (Kenia) jeweils die Mehrheit der Stimmen. Diese fünf Personen bilden mit dem ehemaligen Vorsitzenden des Zwischenstaatlichen Rates, Herrn Abdin Salih (Sudan), das neue Bureau des IHP. Das Büro überwacht die Durchführung des IHP zwischen den alle zwei Jahre stattfindenden Sitzungen des Zwischenstaatlichen Rates.

Ein wichtiges Thema der Sitzung waren die Kategorie-II-Zentren unter der Schirmherrschaft der UNESCO. Die Generalkonferenz der UNESCO hat auf ihrer letzten Sitzung der Einrichtung von sechs weiteren Zentren zugestimmt. Es sind dies:

- HidroEx – International Centre for Education, Capacity Building and Applied Research in Water (Brasilien)
- Centre for the Sustainable Management of Water Resources in the Caribbean Island States (Dominikanische Republik)
- International Centre for Integrated Water Resources Management (ICIWaRM) (USA)
- International Centre of Water Resources and Global Change (Deutschland)
- International Centre on Coastal Ecohydrology (Portugal)
- Asia Pacific Centre for Ecohydrology (APCE) (Indonesien).

Die Zentren in Brasilien, der Dominikanischen Republik und den USA sind inzwischen durch die Unterschriften der jeweiligen

Gaststaaten und der UNESCO rechtskräftig eingerichtet worden. Deutschland unterrichtete den Rat über die Fortschritte bei der Einrichtung des "International Centre of Water Resources and Global Change" in Koblenz.

Die Errichtung von vier weiteren Kategorie-II-Zentren wurde vorgeschlagen. Es handelt sich um:

- Regional Groundwater Training and Research Centre (Kenia)
- African Center for Global Change and Water Resources (Südafrika)
- Regional Centre for Capacity Development and Research in Water Harvesting (Sudan)
- Regional Centre for Integrated River Basin Management (RC-IRBM) (Nigeria).

Der Rat begrüßte die Einrichtung dieser Zentren, insbesondere weil dadurch die Wasserforschung und die Ausbildungsmöglichkeiten in Afrika verbessert werden können.

Der Koordinator des UN World Water Assessment Programme (WWAP) unterrichtet den Rat, dass mit der Vorbereitung des 4. Weltwasserberichtes begonnen worden ist. Der erste Teil wird den augenblicklichen Stand der Wasserressourcen und ihrer Nutzung beschreiben und mögliche Zukunftsszenarien entwickeln. Der zweite Teil wird unter dem Thema „Managing water under uncertainty and risk“ stehen. Der dritte Teil wird eine Fortschreibung der Daten und Indikatoren der bisherigen Berichte sein. Der 4. Weltwasserbericht soll im März 2012 vorgelegt werden.

Der Vertreter der Global Environment Facility (GEF) berichtet, dass der Rat des GEF beschlossen hat, das IHP als GEF-Agentur anzuerkennen. Somit wird es in Zukunft einfacher sein, finanzielle Unterstützung für IHP-Projekte von GEF zu erhalten.

Ein zentraler Punkt der Beratungen in Paris war die Vorstellung eines Konzeptpapiers für die VIII. Phase des IHP (2014–2019). Eine Arbeitsgruppe unter der Leitung des Direktors des „European Regional Centre for Ecohydrology“ in Lodz, Polen, Herrn M. Zalewski, hat einen ersten Entwurf mit möglichen Themenschwerpunkten vorgelegt.

Ausgangspunkt ist die Wasserknappheit. Sie kann in natürlicher Umgebung wie z.B. in ariden Gebieten auftreten, sie kann das Ergebnis von erhöhtem Wasserbedarf sein wie in urbanen Regionen oder sie entsteht auf indirektem Weg durch die zunehmende Verschlechterung der Wasserqualität.

Die Arbeitsgruppe schlägt vier mögliche Hauptthemenbereiche vor:

- Wasserbedingte Katastrophen und hydrologischer Wandel
Water-related disasters and hydrological change
- Wasser und Siedlungen der Zukunft
Water and human settlements of the future
- Grundwasser in einer sich ändernden Umwelt
Groundwater in a changing environment
- Ökohydrologie und nachhaltige Techniken
Ecohydrology, engineering harmony for a sustainable world.

Weiter werden vier Querschnittsthemen identifiziert:

- Integrierte Wasserbewirtschaftung angepasst an den globalen Wandel
IWRM in adapting to global changes
- Grenzüberschreitende oder gemeinsame Gewässersysteme
Transboundary or shared waters
- Soziale Dimension von „governance“-Strukturen und -Prozessen
Human dimension and governance
- Aus- und Fortbildung
Water education.

Der Konzeptvorschlag liegt den Mitgliedstaaten zur Diskussion vor: <http://unesdoc.unesco.org/images/0018/001883/188342E.pdf>
Der Zwischenstaatliche Rat weist ausdrücklich darauf hin, dass auch andere Schwerpunkte und Gewichtungen als die durch die Arbeitsgruppe vorgestellten eingebracht werden können.

Das IHP/HWRP-Sekretariat fordert auf diesem Weg die nationale hydrologische Gemeinschaft auf, Vorschläge, Anregungen und Ergänzungen zum Konzept der VII. Phase des IHP der UNESCO an das IHP/HWRP-Sekretariat (conde@bafg.de) in Koblenz zu senden.

U. Schröder, IHP/HWRP-Sekretariat, Koblenz

Perspektiven hydrologischer Forschung in kleinen Einzugsgebieten

Perspectives of hydrology in small basins

Bereits in der International Hydrological Decade (IHD, 1965–1974) regte die UNESCO an, kleine hydrologische Untersuchungsgebiete einzurichten. Die UNESCO wollte u.a. mit dieser Initiative, die im International Hydrological Programme (IHP) fortgeführt wurde, die Erforschung der globalen Wasservorkommen vorantreiben. Voraussetzung war die vertiefte Kenntnis hydrologischer Prozesse. In klar definierten kleinen Einzugsgebieten lassen sich mit entsprechend genauen Messeinrichtungen die komplexen physikalischen, chemischen und biologischen Abläufe erfassen. Fragestellungen für Untersuchungen sind: Änderungen der Landnutzung und des Klimas, interdisziplinäre Untersuchungen, Studien zu Unsicherheiten, Erprobung neuer Messtechniken sowie Entwicklung und Validierung von Modellen. Möglichst lange Datensätze guter Qualität mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bilden hierfür die Grundlage.

FRIEND (Flow Regimes from International Experimental and Network Data) ist ein internationales Forschungsprogramm im Rahmen von IHP. Ziel von FRIEND ist die Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Variabilität hydrologischer Größen im europäischen Maßstab und entsprechenden außereuropäischen Regionen. Ursprünglich auf Nordeuropa bezogen, hat FRIEND sich zu einem weltweiten Netzwerk von ähnlich strukturierten Projekten entwickelt. Heute sind ungefähr 75 Länder in verschiedenen Regionen der Erde beteiligt. Auch im Rahmen von FRIEND werden unter anderen Themenkomplexen verschiedene Aspekte der Abflussbildung in kleinen Einzugsgebieten untersucht. Die einzelnen Forschergruppen sind aktiv in den Bereichen Abflussbildung und Niederschlag-Abfluss-Modellierung, Abschätzung des Einflusses von Vegetation und Landnutzungsänderungen auf das hydrologische Regime, vergleichende Analyse von

hydrologischen Prozessen und Wasserchemie in kleinen landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten sowie Bodenwasser und Schneehydrologie.

Nach Herausgabe der sogenannten Braunschweig Declaration zu Einrichtung und Betrieb hydrologischer Versuchsgebiete hat die nationale IHP-Arbeitsgruppe in Heft 10 der IHP/HWRP-Berichte die Ergebnisse der Diskussionen in den Arbeitsgruppen des internationalen Workshops „Status and Perspectives of Hydrology in Small Basins, Goslar Hahnenklee, 2009“ aufgearbeitet und veröffentlicht. Fragestellungen für die Arbeitsgruppen waren:

- Welche Ergebnisse werden von der Forschung in kleinen Einzugsgebieten erwartet?
- Welcher Beitrag zu Monitoring, physikalischen Prozessen und Stoffströmen, zu Wasserbilanzen und globaler Erwärmung kann geleistet werden?
- Inwieweit kann zur IAHS-Initiative Prediction in Ungauged Basins (PUB) substantiell zugearbeitet werden und vice versa?
- Brauchen wir Forschungsergebnisse aus kleinen hydrologischen Untersuchungsgebieten für die Weiterentwicklung hydrologischer Modellrechnungen?

Weiter enthält die Publikation eine standardisierte Kurzbeschreibung kleiner hydrologischer Untersuchungsgebiete in folgenden Ländern: Österreich, China, Tschechien, Frankreich, Deutschland, Irak, Italien, Luxemburg, Mongolei, Neuseeland, Norwegen, Polen, Rumänien, Russland, Slowakei, Spanien, Schweiz und Ukraine. Die Zusammenstellung soll einerseits über die bestehenden Untersuchungsprogramme und methodischen Ansätze informieren, aber auch interessierten Fachkollegen die Möglichkeit zu interdisziplinärer Zusammenarbeit in diesen Einzugsgebieten erleichtern.

Heft 10 der IHP/HWRP-Berichte (in Englisch) kann beim IHP/HWRP-Sekretariat in Koblenz (Tel. 0261/1306 5435, conde@bafg.de) angefordert werden.

G. Strigel, IHP/HWRP-Sekretariat, Koblenz

UN-Vollversammlung erklärt Zugang zu sauberem Wasser und Abwasserentsorgung zu Menschenrecht

General Assembly declares access to clean water and sanitation is a human right

Sicheres und sauberes Trinkwasser sowie eine funktionierende Abwasserentsorgung sind ein Menschenrecht, das unabdingbar ist, um das Leben und alle anderen Menschenrechte genießen zu können, erklärte die UN-Vollversammlung am 28. Juli 2010. Gleichzeitig äußerte sie ihre Besorgnis darüber, dass weltweit nahezu 900 Millionen Menschen nach wie vor keinen Zugang zu sauberem Wasser haben. 122 Länder stimmten für die Resolution, Gegenstimmen gab es keine, jedoch 41 Stimmenthaltungen.

Die UN-Vollversammlung, der 192 Mitglieder angehören, ersuchte außerdem die UN-Mitgliedstaaten sowie internationale Organisationen, finanzielle Mittel, entsprechende Technik und andere Ressourcen bereitzustellen, um ärmeren Ländern bei den Bemühungen zur Versorgung aller Menschen mit sauberem, bezahlbarem Trinkwasser und adäquater Abwasserentsorgung zu unterstützen.

Es wurde festgestellt, dass ein Menschenrecht auf Wasser noch nicht vollständig anerkannt sei, obwohl in zahlreichen internationalen Dokumenten darauf Bezug genommen werde. Der mangelnde Zugang zu Wasser führe jährlich zu mehr Todesfällen bei Kindern als AIDS, Malaria und Masern zusammengenommen, während die unzureichende sanitäre Versorgung 2,6 Milliarden Menschen oder 40 % der Bevölkerung betrifft. Das bevorstehende Gipfeltreffen zur Überprüfung der Fortschritte bei der Umsetzung der UN Millennium-Entwicklungsziele (MDGs) muss ein klares Signal setzen, dass Wasserversorgung und Abwasserentsorgung Menschenrechte sind und das Recht auf Trinkwasser und sanitäre Entsorgung eine zentrale Rolle im Leben von Menschen einnimmt. Studien zufolge sterben Jahr für Jahr etwa 1,5 Millionen Kinder im Alter unter fünf Jahren infolge von Krankheiten, die durch unzureichende Wasserver- und -entsorgung verursacht werden.

Die am 28. Juli 2010 verabschiedete Resolution begrüßt ferner den Antrag des UN-Menschenrechtsrats auf einen jährlichen Bericht von Catarina de Albuquerque, der unabhängigen Expertin der UN zum Thema der menschenrechtlichen Verpflichtungen bezogen auf Zugang zu sicherem Trinkwasser und Sanitärversorgung. Der Bericht von Frau de Albuquerque konzentriert sich auf die größten Herausforderungen bei der Umsetzung des Rechts auf sauberes Trinkwasser und Abwasserentsorgung sowie auf die Fortschritte hinsichtlich der relevanten MDGs.

Die MDGs wurden von den Vereinten Nationen zur Reduzierung der sozialen und ökonomischen Missstände formuliert, die alle bis 2015 umgesetzt werden sollen. Sie beinhalten auch das Ziel, mindestens der Hälfte der Menschen, die derzeit nicht über sauberes Trinkwasser oder eine Abwasserentsorgung verfügen, einen Zugang zu Trinkwasser und Sanitärversorgung zu ermöglichen.

(aus: UN General Assembly GA/10967 vom 28. Juli 2010, in Englisch)

Tagungsbericht

Konferenz „Neue Initiativen in der Wasserforschung“ 1st Water Research Horizon Conference „New Initiatives in Water Research 2010“

Die Herausforderung

Ein Blick auf die Wasserforschungslandschaft in Deutschland zeigt, dass die Forschungs-Community hohe Kompetenzen aufweist und auch finanziell gut ausgestattet ist. Das zeigt sich an der tragenden Rolle Deutschlands unter anderem bei der Entwicklung neuer Qualitätsstandards, innovativer Technologien, moderner Modellierungssoftware und Wassermanagementkonzepten. Ein zweiter Blick jedoch offenbart, dass die Kompetenzen stark fragmentiert sind und die entwickelten Lösungen disziplinär geprägt sind. Gründe dafür sind, dass das Fördersystem sehr heterogen ist; die Universitäten sind länderfinanziert, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen aus Bund und Ländern gemischt finanziert. Zudem gibt es ein vielschichtiges Gefüge von Drittmittel-finanzierten Projekten, dem es zum Teil an langfristiger Perspektive und Abstimmung fehlt. So sammelt sich in den verschiedenen Forschungseinrichtungen – allein in Deutschland sind das über 500 Institute an mehr als 100 Institutionen – wichtiges und gutes, aber teilweise bruchstückhaftes Wissen an, bei dem die Potentiale einer strategischen Integration nicht genutzt werden.

Diese heterogene Forschungslandschaft steht einem sich immer schneller wandelnden, komplex vernetzten Umweltsystem gegenüber: Der globale demografische, wirtschaftliche und klimatische Wandel sowie der einhergehende Landnutzungswandel haben Auswirkungen auf die Verfügbarkeit, Verteilung und Qualität unserer Wasserressourcen. Diese Auswirkungen interagieren miteinander und haben Rückkopplungen auf alle Systeme wie Ökologie, Lebensmittelproduktion, Energieversorgung und vieles andere. Um diese Interaktionen und Rückkopplungen innerhalb des Gesamtsystems zu verstehen, sind keine sektoralen Lösungen gefragt, die aus Entwicklungen einzelner Diszipli-

nen hervorgehen. Es ist eine gemeinsame Anstrengung der Wasserforschungs-Community erforderlich, die über institutionelle Grenzen hinweg nachhaltige und sichtbare Ergebnisse schafft.

1st Water Research Horizon Conference

Vor diesem Hintergrund organisierte das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ – am 13. und 14. Juli 2010 die 1st Water Research Horizon Conference in Berlin. Die Konferenz fand unter Beteiligung und mit Unterstützung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), des Bundesministeriums für Umwelt, Reaktorsicherheit und Naturschutz (BMU) sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) statt. Eine Reihe führender internationaler Wissenschaftler sowie nationale Experten der Wasserforschung präsentierten ihre Sicht zu einigen der wichtigsten Herausforderungen an die Wasserforschung.

Inhalt der Konferenz war die Diskussion des sogenannten „White Papers“, einer Zusammenstellung von prioritären Forschungsthemen der Wasserforschung für die kommenden Jahre. Diese Forschungsthemen wurden durch ein Vorbereitungskomitee mit Mitgliedern aus den drei genannten Förderinstitutionen, Vertretern der verschiedenen wasserrelevanten Forschungsgemeinschaften und -gremien (¹FgHW, FHDGG, IAH, NKGCF, DFG-KOWA, IWRM-Net, IHP, UNU-EHS, GLOWA, HGF, WGL etc.) und einschlägig ausgewiesenen Fachbehörden und Ressortforschungsein-

1 FgHW – Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften; FHDGG – Fachsektion Hydrogeologie in der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften; IAH – International Association of Hydrogeologists; NKGCF – Nationales Komitee für Global Change Forschung; DFG-KOWA – Senatskommission für Wasserforschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft; IWRM-Net – Regional and national research programmes network on Integrated Water Resource Management; IHP – International Hydrological Programme; UNU-EHS – United Nations University Institute for Environment and Human Security; GLOWA – Global Change and the Hydrological Cycle; HGF – Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren; WGL – Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz

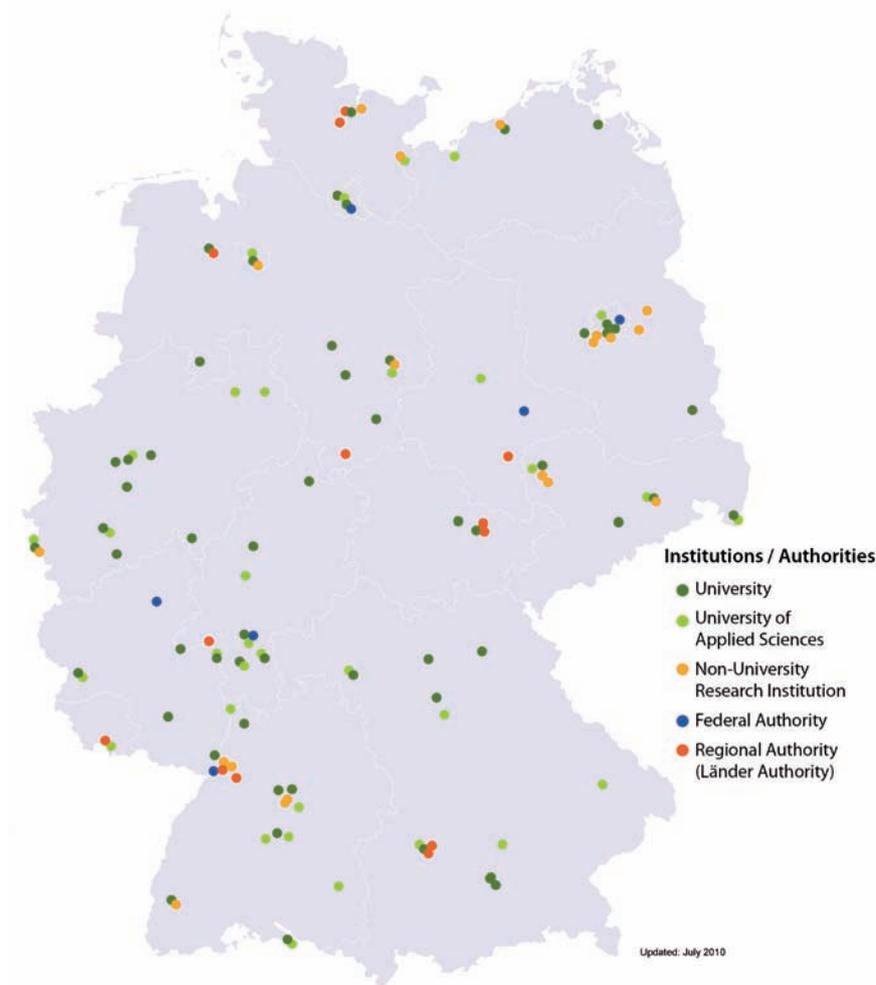


Abbildung 1
Verteilung der verschiedenen Wasser-Forschungseinrichtungen in Deutschland

richtungen (²UBA, BfG, BGR) ausgewählt und zur Diskussion vorgeschlagen. Die Beteiligung von über 200 Teilnehmern aus allen Bereichen der Wasserforschungs-Community zeigte, dass die Frage der Positionierung und inhaltlichen Strukturierung bei den Betroffenen ein wichtiges Thema auf der Agenda ist. Schon seit mehr als 10 Jahren ist die disziplinäre Fragmentierung und fehlende Abstimmung der Wasserforschungsgemeinschaft ein Thema der Diskussionen der Senatskommission Wasserforschung der DFG (DFG-KOWA). Diese Diskussionen haben gezeigt, dass ein fokussierter strategischer Prozess notwendig ist, um in der Abstimmung hinsichtlich gemeinsamer Ziele und der Bündelung der Kompetenzen in der Wasserforschung zu einem Ergebnis zu gelangen.

Die Water Science Alliance

Mit dem Mandat des Senats der Helmholtz-Gemeinschaft hat das UFZ 2009 damit begonnen, ein Konzept zur Stärkung und besseren Positionierung der Wasserforschung auch im internationalen Raum zu entwickeln, die sogenannte „Water Science Alliance“. Durch die Definition übergreifender Themenbereiche

gemeinsam mit den Akteuren der Wasserforschungslandschaft wird ein abgestimmter Rahmen geschaffen, in dem die komplexen Fragen der Wasserforschung bearbeitet werden sollen. Ziel ist es, die wichtigsten Kompetenzträger zu den verschiedenen Themenbereichen anschließend in sogenannten „Thematischen Clustern“ zusammenzubringen. Der Fokus innerhalb der Thematischen Cluster soll auf der gezielten Bearbeitung der Lücken und Schnittstellen zwischen den Kompetenzen der einzelnen Wissensträger liegen, wodurch Synergien geschaffen und die Themenbereiche gestärkt werden. Die Forschungsziele und übergreifenden Forschungsfragen des White Papers gehen als „Statement aus der Wissenschaft an die Politik“, so dass diese von der Politik und den Projektfinanzierern aufgegriffen und in der langfristigen Forschungsprogrammatik platziert werden können. Entsprechende Ausschreibungen auf nationaler sowie europäischer Ebene sollen im Wettbewerbsverfahren das Einwerben der nötigen Projektmittel ermöglichen.

Die Helmholtz-Gemeinschaft sieht sich hierbei als strategischer Partner der Universitäten. Aus der Komplementarität der Forschungseinrichtungen (Großforschungseinrichtungen und Universitäten) ergeben sich – neben der inhaltlichen Verknüpfung der Kompetenzen – Synergien aus der gemeinsamen Nutzung von Infrastrukturen, Observatorien und Großgeräten sowie der gemeinsamen Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Da innerhalb der Water Science Alliance anwendungsorientierte, konkrete Ergebnisse erzielt werden sollen, müssen sowohl die Forschungsförderer (DFG, BMBF und BMU) als auch Partner aus der Wirtschaft und den Fachbehörden von Beginn an in die Diskussionen und die Bildung der Thematischen Cluster einbezogen werden.

Die Rolle des UFZ

Ziel des UFZ als größter nationaler Einrichtung zur integrierten Umweltforschung ist es, die verschiedenen Disziplinen von der Landnutzungs- und Biodiversitätsforschung über die Chemikalien- und Toxikologieforschung bis hin zur Wasserforschung zusammenzuführen. Die Palette reicht dabei von methodischen und technologischen Entwicklungen bis hin zu Politik- und Managementfragen. Dabei spielt das Wasser in diesen Bereichen eine wesentliche Rolle. Für das UFZ ist die Wasserforschung ein bindendes Glied zwischen den Disziplinen. In der Kooperation innerhalb der Thematischen Cluster bringt das UFZ als Großforschungseinrichtung in der Helmholtz-Gemeinschaft Erfahrungen in der Organisation von Agendaprozessen mit und kann koordinierende Aufgaben übernehmen. Zudem können durch die Großforschungseinrichtungen Geräte und Forschungsplattformen

² UBA – Umweltbundesamt; BfG – Bundesanstalt für Gewässerkunde; BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

men für die gemeinsame Bearbeitung der Forschungsfragen zur Verfügung gestellt werden. Auf der einen Seite ist das UFZ also eine Art Plattform und „Facilitator“, auf der anderen Seite betreibt es aber auch selbst Forschung in verschiedenen Bereichen und wird sich an der Bearbeitung der Themen der Water Science Alliance beteiligen.

Das White Paper: prioritäre Forschungsthemen

Die sechs diskutierten und priorisierten Forschungsbereiche der Water Science Alliance sind sehr breit angelegt und umfassen ein großes Spektrum der interdisziplinären Wasserforschung. Um zu den jeweils aktuellen Herausforderungen im Wasserbereich adäquate Lösungen entwickeln zu können, müssen sich die priorisierten Forschungsthemen dynamisch weiterentwickeln.

Die aktuellen Herausforderungen werden in den folgenden 6 Forschungsbereichen gesehen:

1. „New Challenges Emerging from Global and Climate Change: Food and Water, Mega-Urbanisation, Risk and Vulnerability“. Dieser Bereich deckt die Herausforderungen ab, die durch globale Trends wie den ökonomischen, demografischen und klimatischen sowie den Landnutzungswandel hervorgerufen werden. Dazu gehört die Herausforderung, die wachsende Weltbevölkerung mit ausreichend Nahrung zu versorgen, insbesondere in Regionen mit Wasserknappheitsproblemen. Dabei müssen der „virtuelle Wasserhandel“ und das Management von „grünem und blauem Wasser“ in den Prognosen und Bewirtschaftungsplänen berücksichtigt werden („grünes Wasser“: Wasser, welches in Böden und Pflanzen gespeichert wird und dem Pflanzenwachstum dient; „blaues Wasser“: Wasser in Flüssen, Seen und Grundwasserspeichern, welches mit herkömmlichen Methoden bewirtschaftet wird). Zudem geht es um die Frage, wie Wasser in den wachsenden Städten der Schwellen- und Entwicklungsländer, den Megacities und Mega-Agglomerationen nachhaltig bewirtschaftet werden kann. Welche Technologien und Infrastrukturen sind für solche Stadtstrukturen sinnvoll? Wie kann mit dem globalen Phänomen der „informellen Siedlungen“ oder „Slums“ umgegangen werden, in denen Wasser- und Sanitärinfrastrukturen meist fehlen? Muss das urbane System als „urbaner Metabolismus“ betrachtet werden und wie funktioniert dieser? Und schließlich beinhaltet dieser Forschungsbereich die Themen Risiko und Vulnerabilität, die sich vorrangig mit den wasserbezogenen Extremereignissen Überschwemmungen und Dürren befassen.
2. „Managing Water Beyond IWRM: Target Setting, Instrument Choice and Governance“. Der zweite Forschungsbereich betrachtet die Frage, ob unsere bisherigen Konzepte und Ergebnisse aus dem Integrierten Wasserressourcen-Management (IWRM) ausreichend sind, um zu einem nachhaltigen und integrierten Umgang mit unseren Wasserressourcen zu gelangen. Welches sind effektive und effiziente Instrumente, um die ökologischen und sozio-ökonomischen Ziele des IWRM zu erreichen? Wie sind Wasserqualitätsziele zu definieren? Wie können der Zustand und die Funktionen der aquatischen Ökosysteme in ihrem Gesamtkontext bewertet und deren Dynamik erfasst werden? Wie sehen adäquate Governance-Strukturen aus und welche institutionellen Bedingungen müssen gegeben sein, um die definierten Instrumente zu implementieren? Welche innovativen politischen Instrumente stehen zur Verfügung, die definierten Ziele zu erreichen? Wie können Wasserverbrauch und -nachfrage gesteuert werden?
3. „Managing Solute Fluxes at Catchment Scale – Safeguarding Our Health and the Environment“. Forschungsbereich 3 greift die Frage der Wasserqualität mit Blick auf anthropogen verursachte Verschmutzungen auf. Welches sind, aus der Unmenge der emittierten Schadstoffe und deren Metaboliten, die relevanten Schadstoffe, die es näher zu untersuchen gilt? Wie verhalten sich diese Schadstoffe im Wasserkreislauf auf der Ebene von Einzugsgebieten? Wie ist die Persistenz und Bioverfügbarkeit dieser Stoffe zu bewerten? Wie reagieren unsere Ökosysteme auf das Zusammenwirken multipler Stressoren? Welche Rolle spielen die Böden in diesem Kontext und welche Risiken bestehen für Grund- und Oberflächenwässer? Wie sieht das entsprechende Management aus? Welches sind die Risiken für Mensch und Umwelt? Welche Rolle spielen urbane Gebiete für die Wasserqualität im Flusseinzugsgebietsmanagement? Wie können die Dynamik des Landnutzungswandels und die Rolle der urbanen Gebiete in unseren hydrologischen Modellen adäquat widergespiegelt werden?
4. „Observation, Exploration and Data Assimilation for Water Research“. Unsere Prognosen des Wasserkreislaufs in die Zukunft, der Folgen des erwarteten Klimawandels auf die Wasserressourcen und regionalen Prozesse sowie die Folgen des stattfindenden Landnutzungswandels sind noch wenig aussagefähig. Was fehlt sind integrierte, langfristige Beobachtungen, die es erlauben, Aussagen über Rückkopplungen und Wechselwirkungen der verschiedenen Kompartimente und ablaufenden Prozesse zu treffen. Wie kann integrierte Umweltobservation betrieben werden, die hydrologische, biogeochemische, physikalische und ökologische Prozesse miteinander in Beziehung setzen und Aussagen über die Dynamik in die Zukunft erlauben? Wie können die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Reaktionen und Abläufen erfasst, die Lücken zwischen den unterschiedlichen Skalen geschlossen und wie kann der Komplexität des Gesamtsystems Rechnung getragen werden? Wie sehen ein entsprechendes Datenmanagement und die Datenprozessierung aus, die von der Messung zur Modellierung, von der Information zu neuem Wissen führen?
5. „A Community Effort Towards Model Development and Data Integration for Water Science“. Entsprechend der integrierten Betrachtung des Gesamtsystems „Wasser“ bei der Erfassung der relevanten Parameter und der Berücksichtigung der unterschiedlichen Skalen, auf denen die Prozesse ablaufen, müssen auch unsere Modelle der Komplexität des Systems gerecht werden. Die aktuelle Situation, in der wir für die Darstellung einzelner Prozesse, Kompartimente und Skalen jeweils ein eigenes Modell parat haben, kann für eine integrierte Systembetrachtung nicht die richtige Lösung sein. In dieser Session plädierten die Teilnehmer für eine gemeinsame Initiative zur integrierten Entwicklung hydrologischer Modelle. Damit sollen Modelle geschaffen werden, die die Abläufe und Problemstellungen der Realität besser nachbilden können und zu realitätsnäheren Prognosen gelangen. Innerhalb dieses Themenbereichs sollen auch Aspekte wie der Umgang mit knapper Datenverfügbarkeit, der Quantifizierung von Unsicherheiten und die Datenintegration behandelt werden. Zudem soll eine breit angelegte „Benchmarking-Initiative“ dazu beitragen, mithilfe eines Vergleichs verschiedener Modellsysteme, die in realen Einzugsgebieten (Intensiv-Messstandorte) getestet werden, eine grundlegende Verbesserung des Systemverständnis

ses zu erreichen. Damit soll die Basis für eine gemeinsame Modellentwicklung geschaffen werden, die auf internationaler Ebene stattfinden soll.

6. „Water Scarcity: New Perspectives for a Circum-Mediterranean Research Initiative“. Der sechste der vorgeschlagenen Themenbereiche fasst eine konkrete Region ins Auge, deren zukünftige Wasserprobleme uns in Europa maßgeblich betreffen werden. Beim Thema Wasserknappheit schlägt das „White Paper“ eine Initiative im Circum-Mediterranen Raum vor. Die Frage, wie in einer teilweise dicht bevölkerten, wirtschaftlich hoch entwickelten, touristisch stark geprägten Region, aus der auch ein Großteil unserer frischen Lebensmittel (Obst und Gemüse) stammt, nachhaltig mit den Wasserressourcen umzugehen ist, erfordert zunächst die genaueste Kenntnis der vorhandenen Ressourcen und deren natürlicher Erneuerung. Es geht um die Entwicklung und den Einsatz adäquater Technologien und angepasster Konzepte eines IWRM in einer Region, die kaum Wasser zur Verfügung hat und in der gängige Methoden der Wasserbewirtschaftung nicht praktikabel sind (z.B. Abwasserentsorgung durch Einsatz großer Frischwassermengen u.a.). Die vorgeschlagene Initiative erkennt den Zusammenhang an, dass Probleme, die durch die zunehmende Wasserknappheit im mediterranen Raum hervorgerufen werden, nicht nur die mediterranen Länder betreffen, sondern auch direkt mit unserer Lebensqualität in Deutschland verbunden sind. Zudem sieht dieser Themenbereich Potential in der Verbindung von der Produktion solarthermischer Energie und einem nachhaltigen Wassermanagement.

Ziele und der weitere Prozess

Neben der Bearbeitung der genannten wissenschaftlichen, interdisziplinären Herausforderungen ist ein zentrales Ziel der Water Science Alliance die Förderung von wissenschaftlichem Nachwuchs, der in der Lage ist, die hochkomplexen Umweltsysteme zu verstehen und damit umzugehen. Denn die Zahl der Studenten im Bereich Wasserforschung hat in den letzten Jahren deutlich abgenommen, obwohl dringender denn je kluge Köpfe gebraucht werden, die mit den Möglichkeiten der heutigen und der nächsten Generation neue Ansätze finden, um die bevorstehenden Probleme zu lösen.

Auch die internationale Kooperation ist ein wichtiges Standbein der Water Science Alliance, denn Deutschland kann sich nicht losgelöst von der internationalen Forschungs-Community sehen. Auch heute schon stehen die deutschen Forschergruppen

mit sehr guten Forschungseinrichtungen im internationalen Raum in vielfältigem Kontakt. Damit wird nicht zuletzt der Tatsache Rechnung getragen, dass die Herausforderungen im Wasserbereich auch globaler Natur sind und die deutsche Wasser-Community auch manche nationalen Themen nicht alleine lösen können. Weitere, intensive Kooperationen werden daher auf europäischer Ebene, z.B. durch gemeinsame EU-Programme, aber auch durch bilaterale Kooperationen ins internationale Ausland angestrebt. Die Einbeziehung der Entwicklungen in der internationalen Forschungs-Community während der Konferenz erfolgte auch dadurch, dass hochqualifizierte, international anerkannte Spitzenforscher aus den verschiedenen Themenbereichen mit Vorträgen auftraten. Diese stehen der weiteren Entwicklung der Water Science Alliance auch zukünftig als „Scientific Advisory Committee“ unter der Leitung von Prof. Dr. Alexander Zehnder (ehem. ETH-Ratspräsident) beratend zur Seite.

Die Diskussionen und Beiträge der nationalen und internationalen Experten haben neue Impulse für das „White Paper“ gebracht, welches nun nochmals überarbeitet wird. Bereits im Herbst soll eine abgestimmte Version vorliegen, die dann den potentiellen Projektfinanzierern zugeschickt wird. Voraussichtlich wird es bald darauf Ausschreibungen zu den Themenbereichen geben und mit dem Start erster Projekte wird im ersten Halbjahr 2011 gerechnet.

Die 1st Water Research Horizon Conference „New Initiatives in Water Research 2010“ war der Startschuss für einen Dialog der Wasserforschungs-Community zu den großen Herausforderungen und wichtigsten Fragestellungen der Wasserforschung. Die Organisatoren planen die Fortführung dieses Dialogs in einer jährlich stattfindenden Konferenzreihe. Somit soll die 2. Water Research Horizon Conference im zweiten Halbjahr 2011 stattfinden.

Weitere Informationen zur Konferenz sowie das „White Paper“ mit den 6 prioritären Forschungsbereichen zum Herunterladen finden Sie unter www.water-research-horizon.ufz.de

Anschrift der Verfasserin:

Dr. Elisabeth Krüger
 – Koordination Wasserforschung –
 Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
 Permoserstr. 15, 04318 Leipzig
elisabeth.krueger@ufz.de

Projektbericht

Geschiebelieferung alpiner Wildbachsysteme bei Großereignissen – Ereignisanalysen und Entwicklung eines Abschätzverfahrens

Bed load delivery of alpine mountain torrent systems – Event analyses and development of a bed load assessment tool

1 Einleitung

Murgänge und Hochwasser mit Geschiebetrieb verursachen auf Schwemmkegeln steiler Wildbäche immer wieder große Sachschäden (Abb. 1), in seltenen Fällen leider auch Verletzte oder Todesopfer. Effektive und effiziente Maßnahmen zur Verringerung der von Wildbächen ausgehenden Risiken basieren auf einer umfassenden Gefahrenbeurteilung. Fachleute sind in ihrer täglichen Arbeit dabei immer wieder mit der Herausforderung konfrontiert, quantitative Abschätzungen potenzieller Geschiebefrachten zu erstellen. Der Geschiebehaushalt in Wildbachsystemen ist durch seine Vielfalt an relevanten Einflussfaktoren aber sehr komplex und die ablaufenden Prozesse sind bisher nicht im Detail verstanden. Messreihen zu Geschiebefrachten, aus denen Erfahrungswerte abgeleitet werden könnten, befinden sich erst im Aufbau. Abschätzungen von Geschiebefrachten gestalten sich deshalb schwierig. Heute stehen verschiedene Schätzverfahren zur Verfügung, einige vereinfachen das komplexe Prozessgefüge aber zu stark und sind dadurch zu ungenau, andere Methoden sind sehr detailliert und benötigen viel Zeit. Allen gemeinsam ist, dass nur die wenigsten auf Basis umfassender Ereignisanalysen entwickelt worden sind. Bei der Anwendung mehrerer Schätzmethoden an einem Wildbach treten meist extreme Streuungen der Ergebnisse auf, was die Unsicherheiten im Umgang mit Geschiebeabschätzungen verdeutlicht.

2 Projekt

Das hier vorgestellte Projekt „Geschiebelieferung alpiner Wildbachsysteme bei Großereignissen“ wurde zwischen 2004 und 2009 im Rahmen einer Dissertation am Geographischen Institut der Universität Bern durchgeführt. Finanziert wurde das Projekt in der Schweiz vom Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Hydrologie, und vom Geographischen Institut der Universität Bern (GIUB).



Abbildung 1
Murgangablagerungen auf dem Schwemmkegel des Schwendibachs, Grindelwald, Schweiz, 22. August 2005

3 Zielsetzung

Im Forschungsprojekt wurden zwei Ziele angestrebt: Durch die detaillierte Analyse von 58 in den Schweizer Alpen abgelaufenen Großereignissen wurde als erstes Ziel ein Beitrag zu einem besseren Prozessverständnis des Geschiebehaushalts steiler Wildbacheinzugsgebiete geleistet. Diese gewonnenen Erkenntnisse bildeten die Grundlage für das zweite Ziel, die Entwicklung eines neuen Geschiebeabschätzverfahrens für die Praxis.

4 Methodik

Die Datengrundlage der Arbeit bilden umfassende qualitative und quantitative Geschiebeanalysen von 58 Großereignissen in Wildbächen des Schweizer Alpenraums (Abb. 3, Analysegebiete rot). Unter einem Großereignis wird ein Ereignis mit einer Wiederkehrperiode ≥ 100 Jahre verstanden. Die analysierten Großereignisse sind während der letzten 25 Jahren abgelaufen. Die Dokumentation der Ereignisse, welche während der Projektzeit stattgefunden haben, wurde von der Autorin erstellt. Bei den vorher abgelaufenen Ereignissen konnte auf bestehende detaillierte Ereignisdokumentationen des Bundes, der Kantone oder von privaten Büros zurückgegriffen werden.

Das Gerinnesystem jedes Einzugsgebiets wurde in homogene Gerinneabschnitte (inkl. angrenzende Hänge) aufgeteilt, so dass als Grundlage 352 Gerinneabschnitte vorlagen. Pro Gerinneabschnitt wurden einerseits Daten zum Großereignis zusammengetragen (z.B. Mobilisierungs- und Transportprozesse im Hang und Gerinne, Erosionsleistungen, Ablagerungskubaturen, Geschiebebilanzen etc.), andererseits die naturräumlichen Bedingungen in diesen Gerinneabschnitten erhoben (z.B. Sohlgefälle, Lockermaterial etc.) (Abb. 2).

Anhand dieser Datengrundlagen erfolgte die Datenanalyse. Dabei wurde untersucht, wo und unter welchen naturräumlichen Bedingungen während der Großereignisse welche Prozesse in welchem Ausmaß abgelaufen sind. Das Ziel war, relevante Einflussfaktoren zu identifizieren und deren Wirkung auf die Geschiebeprozesse zu quantifizieren.

Daraus erfolgte anschließend die Umsetzung in die Praxis, d.h. die Entwicklung eines Geschiebeabschätzverfahrens. Um die Stärken und Schwächen zu analysieren sowie den Anwendungsbereich einzugrenzen, wurde das Abschätzverfahren anschließend in den Validierungsgebieten (Abb. 3, blau) getestet. Dies erfolgte einerseits anhand von 20 weiteren abgelaufenen Großereignissen, andererseits an 23 Geschiebeabschätzungen, welche im Rahmen der Erstellung von Gefahrenkarten durchgeführt worden waren.

5 Maßgebende Einflussfaktoren auf die Geschiebemobilisierung in einem Gerinneabschnitt

Die Datenanalysen haben gezeigt, dass bei Großereignissen die ablaufenden Geschiebeprozesse in den einzelnen homogenen Gerinneabschnitten eines Wildbachsystems räumlich und funktional stark verflochten und zusammenhängend sind. Wenn die Prozesse, die sich in einem einzelnen Gerinneabschnitt abspie-

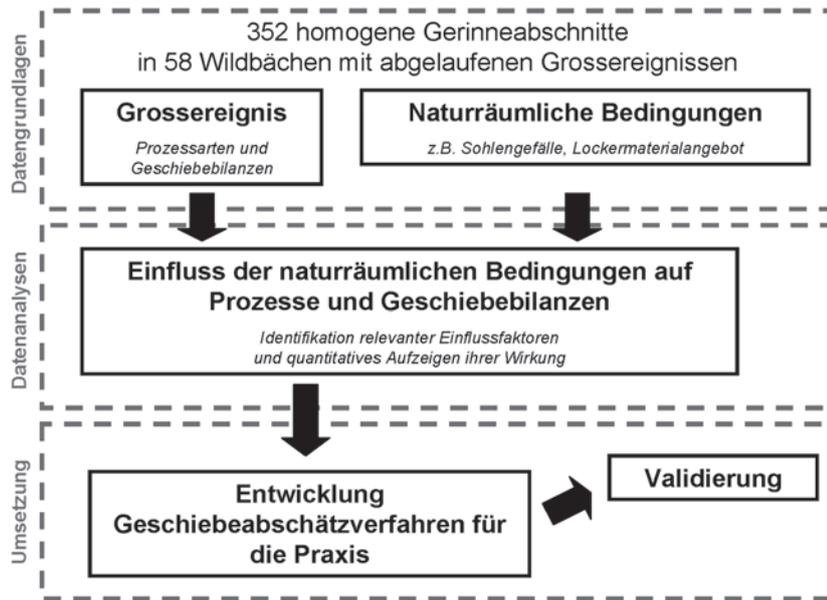


Abbildung 2
Vorgehensweise und Methodik

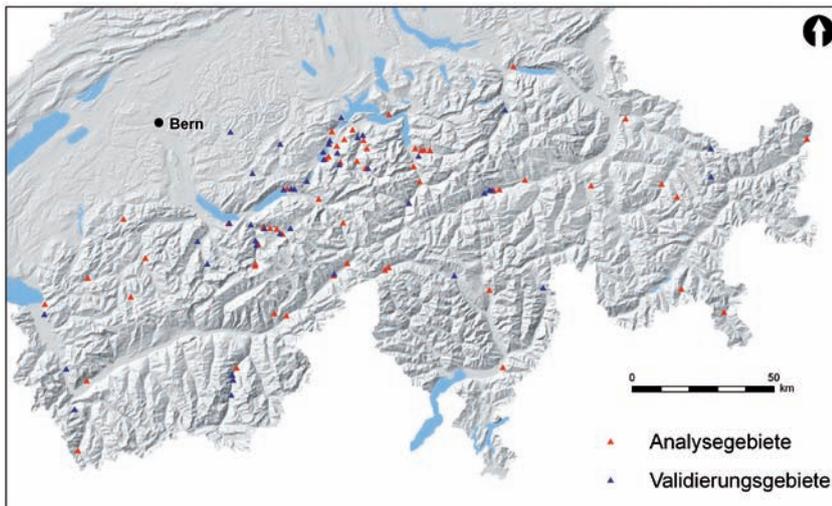


Abbildung 3
Lage der Analysegebiete (rot) und Validierungsgebiete (blau)

len, vernetzt und in ihrer Komplexität umfassend verstanden und beurteilt werden sollen, müssen deshalb verschiedene Blickwinkel und damit verknüpfte Einflussfaktoren im Gesamtsystem berücksichtigt werden. Es konnten drei Gruppen relevanter Einflussfaktoren unterschieden werden (Tab. 1).

Erstens entscheiden die sog. „lokalen Standortfaktoren“ im zu beurteilenden Gerinneabschnitt über zu erwartende Geschiebeprozesse. Dabei haben im Gerinne insbesondere die Einflussfaktoren Gerinnegefälle, Lockermaterial- und Abflussangebot einen maßgebenden Einfluss.

Zweitens kann die Geschiebemobilisierung im betreffenden Gerinneabschnitt aber auch durch erosionsfördernde oder erosionshemmende Einflussfaktoren aus oberhalb liegenden Gerinneabschnitten, den „Bedingungen oberhalb“, beeinflusst werden. Wenn sich beispielsweise oberhalb des betrachteten Gerinneabschnitts

steile, felsige Abschnitte befinden, in denen freie Transportkapazität herrscht, so führt dies zu hohen Abflussgeschwindigkeiten und somit zu vermehrter Erosionskraft. Diese kann dann im betrachteten Gerinneabschnitt zu verstärkter Erosionstendenz führen. Erosionshemmend im Gerinneabschnitt wirkt dagegen z.B. eine starke Verflachung gegenüber dem direkt oberhalb liegenden Abschnitt.

Drittens kann es zu sog. „Negativfaktoren“ kommen. Negativfaktoren wirken als Schwellenprozesse im gesamten Wildbachsystem. Negativfaktoren stellen spezielle Konstellationen oder Prozesse dar, die in der Regel zur Auslösung von besonders großen und zerstörerischen Murgängen führen. Sie können sowohl in den Gerinneabschnitten, in denen sie ihren Ursprung haben, als auch in unterhalb liegenden Gerinneabschnitten zu extremen Erosionsleistungen führen. Die mobilisierten Geschiebefrachten können durch Überschreiten eines Schwellenwertes im System um ein Vielfaches erhöht werden. Aus den Ereignisanalysen konnten verschiedene sog. „Geschiebe beeinflussende“ und sog. „Abfluss beeinflussende“ Negativfaktoren definiert werden (Tab. 1).

Entscheidend für Art und Ausmaß der ablaufenden Geschiebeprozesse in einem zu beurteilenden Gerinneabschnitt ist nun das kombinierte Wirken aller Einflussfaktoren der drei verschiedenen Gruppen. Jeder Gerinneabschnitt erfährt dabei eine einmalige Einflussfaktorenkombination und ist somit als Individuum zu betrachten.

Dabei können sich die verschiedenen Einflussfaktoren gegenseitig

- verstärken: Die Erosionsleistung durch einen Murgang in einem Gerinneabschnitt mit großem Gefälle im Lockermaterial (lokale Standortfaktoren) wird beispielsweise durch eine erhöhte Geschwindigkeit aufgrund felsiger steiler Bedingungen in den oberhalb liegenden Gerinneabschnitten (Bedingungen oberhalb) intensiviert.
- konkurrieren: Erfolgt beispielsweise eine Flutwelle durch den Ausbruch einer Wassertasche in einem Gletscher (Negativfaktor), wird deren Erosionskraft unter Umständen durch das geringe Gerinnegefälle im sehr flachen Gletschervorfeld (lokaler Standortfaktor) abgeschwächt.
- unterbinden: Beispielsweise kann ein an sich sehr Energie reicher und zerstörerischer Murgang, welcher aus einem oberen Gerinneabschnitt kommt (Bedingungen oberhalb), nicht erodierend wirken, wenn die Sohle im betrachteten Gerinneabschnitt aus anstehendem Fels besteht (lokaler Standortfaktor).

Durch die in Tabelle 1 genannten Beispiele wird das komplexe Zusammenspiel der Einflussfaktoren ersichtlich. Dabei wird ebenfalls deutlich, dass die Einflussfaktoren je nach Kombination ein anderes Gewicht haben.

Tabelle 1 Maßgebende Einflussfaktoren auf die Geschiebeprozesse in einem Gerinneabschnitt	
Einflussfaktor-Gruppe	Maßgebende Einflussfaktoren
 <p>Lokale Standortfaktoren Einflussfaktoren im Gerinneabschnitt selber</p>	<p>Einflussfaktoren im Gerinne</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sohlengefälle • Lockermaterialangebot • Abflussangebot <p>Einflussfaktoren im Hang</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hangneigung • Lockermaterial und dessen Eigenschaften • Bodenbedeckung
 <p>Bedingungen oberhalb Beeinflussung durch oberhalb liegende Gerinneabschnitte</p>	<p>Erosionsfördernde Einflussfaktoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Murgangbildung in oberhalb liegenden Gerinneabschnitten → erhöhte Erosionskraft im betrachteten Gerinneabschnitt • Einmündung von größeren Seitengerinnen unmittelbar vor dem zu beurteilenden Gerinneabschnitt → erhöhter Abfluss, resp. Erosionskraft im zu beurteilenden Gerinneabschnitt • felsige, glatte und steile Bedingungen in oberhalb liegenden Gerinneabschnitten → erhöhte Geschwindigkeit resp. Erosionskraft im betrachteten Gerinneabschnitt <p>Erosionshemmende Einflussfaktoren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verflachung zwischen dem oberhalb liegenden Gerinneabschnitt und dem betrachteten Gerinneabschnitt → Ablagerungstendenz • Großer Geschiebeeintrag aus Hängen in oberhalb liegenden Gerinneabschnitten → ausgelastete Transportkapazität und somit wenig freie Kapazität für Erosion im betrachteten Gerinneabschnitt
 <p>Negativfaktoren Überschreiten von Schwellenwerten im Gesamtsystem durch speziellen Prozess oder Konstellation.</p>	<p>Abfluss beeinflussende Negativfaktoren: Räumlich/zeitlich stark konzentrierter Extremabfluss, z.B. durch Ausbruch einer Flutwelle, Durchbruch einer Verklausung, konzentrierter Austritt von Klufwasser oder einer Vereinigung mehrerer Seitengerinne mit ähnlicher Einzugsgebietsfläche und -form an einer Stelle</p> <p>Geschiebe beeinflussende Negativfaktoren: Mobilisierung einer extremen Geschiebekubatur auf kleinem Raum in Hang oder Gerinne aufgrund eines Stauhorizonts im Untergrund und einer wasserübersättigten, mächtigen Lockermaterialauflage, z.B. spontaner Abgang einer Großrutschung, Ausräumung eines steilen, mit Lockermaterial aufgefüllten Felscouloirs oder Murganganriss in einer steilen Bastionsmoräne oder in Permafrost-Auftauschicht</p>

Bei der Entwicklung des Geschiebeabschätzverfahrens wurden diese komplexen Zusammenhänge berücksichtigt. Anhand der umfassenden Analysen abgelaufener Großereignisse wurden verschiedene Schwellenwerte und Grenzwerte definiert. Sie indizieren das mögliche Ausmaß bestimmter Prozesse, welche bei bestimmten Einflussfaktor-Kombinationen möglich sind. Diese Schwellenwerte bildeten somit die Kalibrierungsbasis für das neu entwickelte Geschiebeabschätzverfahren.

6 Anwendungsbereich des Geschiebeabschätzverfahrens

Mit dem neu entwickelten Geschiebeabschätzverfahren können Geschiebebilanzen in Gerinneabschnitten sowie die gesamte Geschiebefracht am Kegelhal von steilen Wildbächen in Abhängigkeit von unterschiedlichen, eigens definierten Szenarien für Großereignisse (Wiederkehrperiode ≥ 100 Jahre) abgeschätzt werden.

Das Verfahren kann eingesetzt werden in voralpinen und alpinen Wildbachsystemen mit einer Einzugsgebietsfläche $< 10 \text{ km}^2$ und einem mittleren Gerinnegefälle von $> 10 \%$.

Die Zielgruppe für die Anwendung des Geschiebeabschätzverfahrens sind erfahrene Expertinnen und Experten aus der Praxis, die in ihrer täglichen Arbeit mit Geschiebeabschätzungen in Wildbachsystemen konfrontiert sind und somit bereits ein gutes Prozessverständnis mitbringen.

7 Arbeitsschritte im Geschiebeabschätzverfahren

In Abbildung 4 ist das Ablaufschema des Geschiebeabschätzverfahrens dargestellt.

In einem ersten Schritt erfolgt die Grundlagenbeschaffung. Die benötigten Inputparameter werden digital und zusätzlich auch aus Felderhebungen zusammengetragen. Danach gilt es, die geschieberelevanten Gerinneabschnitte zu definieren und abzugrenzen. Anschließend werden pro Gerinneabschnitt die erforderlichen Inputparameter extrahiert. Für diese beiden Arbeitsschritte kann ein GIS eingesetzt werden. Nun erfolgt für den Anwender die Aufgabe, mögliche Ereignisszenarien rein qualitativ zu definieren. Diese werden anschließend pro Gerinneabschnitt mit Hilfe von zwei verknüpften Beurteilungsinstrumenten, der „Hang-Beurteilungsmatrix“ für die Hangprozesse und

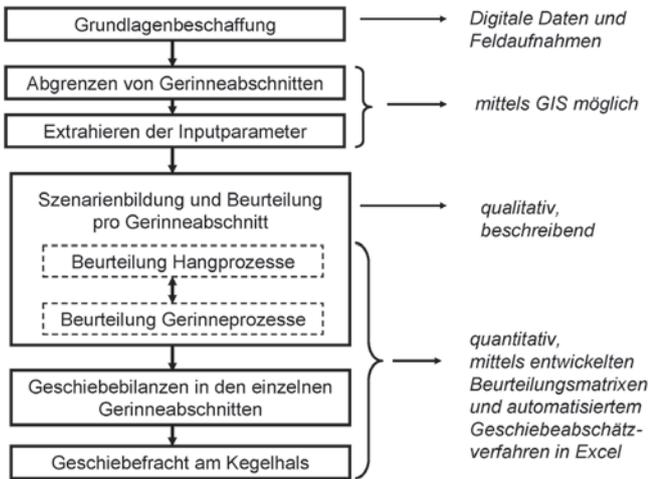


Abbildung 4
Ablaufschema des Geschiebsabschätzverfahrens

der „Gerinne-Beurteilungsmatrix“ für die Gerinneprozesse bewertet. Daraus erfolgt eine quantitative Abschätzung der Geschiebebilanz pro Gerinneabschnitt. Zum Schluss werden die Geschiebebilanzen aller Gerinneabschnitte bis zum Kegelhals aufsummiert und man erhält den Gesamtschätzwert der Geschiebefracht.

Eine detaillierte Beschreibung des konkreten Vorgehens bei der Gesamtbeurteilung kann in der Originalarbeit (Link zum Download am Ende des Projektberichts) nachgelesen werden. Ein kleiner Teilschnitt des Abschätzverfahrens, die Beurteilung der Gerinneprozesse mittels der Gerinne-Beurteilungsmatrix, wird in dieser Arbeit vorgestellt.

8 Gerinne-Beurteilungsmatrix

Die Beurteilung der Gerinneprozesse erfolgt pro Gerinneabschnitt. Dabei wird aufgrund des definierten Szenarios für jeden Gerinneabschnitt das erodierte oder abgelagerte Geschiebevo-

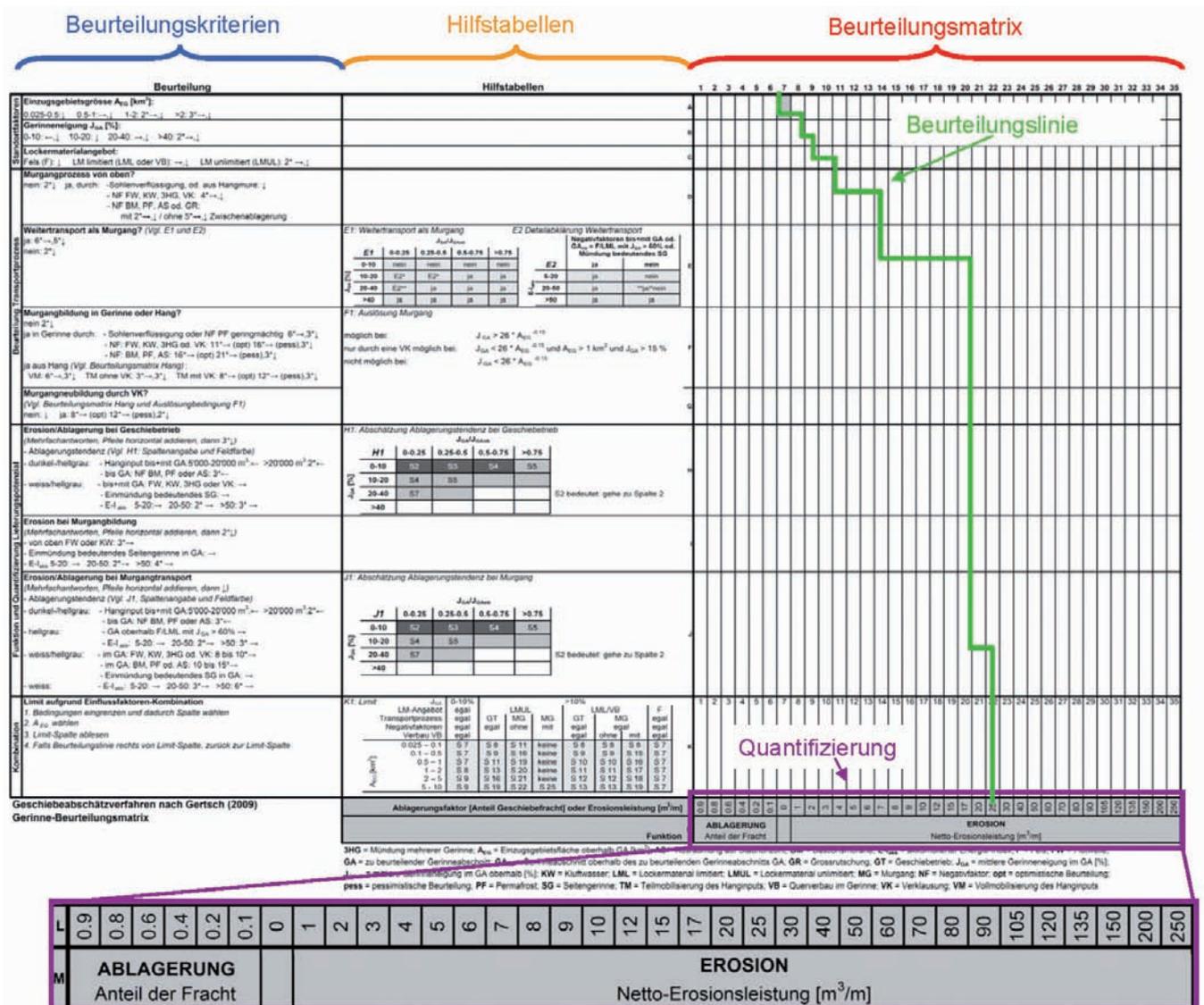


Abbildung 5
Übersicht Gerinne-Beurteilungsmatrix

lumen aus der Gerinnesohle in m³ abgeschätzt. Diese Schätzung erfolgt mittels der sog. Gerinne-Beurteilungsmatrix (Abb. 5).

Die Gerinne-Beurteilungsmatrix ist vertikal in drei Teile gegliedert:

Der linke Teil stellt die Beurteilung dar, die aus mehreren Zeilen für Beurteilungskriterien besteht. Aus diesen werden pro Gerinneabschnitt je nach Bedingungen und Szenario einzelne Zeilen bearbeitet (Abb. 5, blau). Die Basis für die Entwicklung und Eichung dieser Beurteilung bildeten die Ereignisanalysen der 58 Großereignisse und die Untersuchungen zu den maßgebenden Einflussfaktoren und deren Kombination in den 352 analysierten Gerinneabschnitten.

Der mittlere Teil beinhaltet Hilfstabellen, welche für die Entscheidungsfindung bei der Beurteilung im linken Teil benötigt werden (Abb. 5, orange).

Der rechte Teil besteht aus der Beurteilungsmatrix (Abb. 5, rot), wobei die Beurteilung nach unten mittels einer Beurteilungslinie (Abb. 5, grün) graphisch dargestellt wird. Je nach Resultat pro Beurteilungskriterium verschiebt sich die Beurteilungslinie dabei in der Matrix nach rechts oder links. Als Ergebnis erfolgt aufgrund der Lage des Endpunkts der Beurteilungslinie eine Quantifizierung (Abb. 5, violett) der erwarteten Erosionsleistung, resp. des Ablagerungsanteils im Gerinneabschnitt. Je weiter rechts sich der Endpunkt der Beurteilungslinie auf der Beurteilungsmatrix nach Abschluss der gesamten Beurteilung befindet, umso größer ist die Erosionsleistung im Gerinneabschnitt. Liegt die Beurteilungslinie am Schluss weit links, erfolgt im Gerinneabschnitt eine Ablagerung und der Ablagerungsfaktor wird angegeben.

Für jeden Gerinneabschnitt im Wildbachsystem wird nun eine Beurteilung vorgenommen und mit einer separaten Beurteilungslinie dargestellt. Dabei erfolgt die Beurteilung räumlich vernetzt, d.h. die Beurteilung der oberhalb liegenden Gerinneabschnitte beeinflusst die Beurteilung der unterhalb liegenden Gerinneabschnitte. Die erhaltenen Erosionsleistungen pro Gerinneabschnitt können nun mit der Länge der Abschnitte multipliziert werden. Unter Berücksichtigung des Hanginputs, welcher mit der hier nicht vorgestellten Hang-Beurteilungsmatrix berechnet wird, kann nun die gesamte Geschiebebilanz im Gerinneabschnitt bestimmt werden.

9 Automatisierung

Die Arbeitsschritte zur quantitativen Beurteilung der Szenarien mit Hilfe der Beurteilungsmatrizes für den Hanginput und die Gerinneprozesse sowie die Verknüpfung zur Geschiebebilanz pro Gerinneabschnitt und zur Geschiebefracht am Kegelhals wurden mittels einer einfachen Programmierung in Microsoft Excel automatisiert. Dies ermöglicht eine rasche, nachvollziehbare und größtenteils automatisierte Anwendung.

Dabei können die benötigten Angaben pro Gerinneabschnitt in einer Eingabemaske eingefügt werden. Die Beurteilung der Hang- und Gerinneprozesse erfolgt mittels einer interaktiven Matrix, in der die benötigten Hilfstabellen im Hintergrund implementiert sind und direkt als Entscheidungsgrundlage vorliegen. Die Beurteilungsmatrizes mit den Beurteilungslinien für Hang und Gerinne werden im Hintergrund automatisch in je einer Grafik dargestellt. Die Beurteilungen pro Gerinneabschnitt und die Gesamtfracht am Kegelhals werden zum Schluss tabellarisch dargestellt.

10 Spezielle Merkmale des Geschiebeabschätzverfahrens

Im Vergleich zu bestehenden Geschiebeabschätzverfahren weist das vorliegende Verfahren folgende Merkmale und Stärken auf:

- Das Geschiebeabschätzverfahren schließt eine methodische Lücke bei den bestehenden Verfahren, da es sich auf Großereignisse konzentriert, also Ereignisse mit einer Wiederkehrperiode ≥ 100 Jahre.
- Das hier vorgestellte Geschiebeabschätzverfahren wurde an 58 real in der Natur abgelaufenen Großereignissen kalibriert und an 20 weiteren Ereignissen und 23 Abschätzungen validiert. Es ist somit wissenschaftlich fundiert entwickelt und getestet.
- Der systembasierte Ansatz beim Geschiebeabschätzverfahren mit der sowohl räumlich als auch funktional vernetzten Einbeziehung der relevanten Einflussfaktor-Kombinationen ist mit Blick auf bestehende Verfahren neu. Durch das vernetzte und „in Zusammenhängen denkende“ Vorgehen wird der Komplexität von Wildbachsystemen und der Individualität von einzelnen Gerinneabschnitten Rechnung getragen.
- Mittels des Geschiebeabschätzverfahrens können pro Wildbach verschiedene Ereignisszenarien durchgerechnet werden. Dies entspricht dem heutigen Standard einer Wildbach-Gefahrenbeurteilung.
- Das vorgestellte Geschiebeabschätzverfahren ist sehr stark prozessorientiert. Dank der großen Anzahl analysierter Großereignisse konnten insbesondere zum Transportprozess Murgang neue Prozessmechanismen (Negativfaktoren) definiert und einbezogen werden.
- Das Geschiebeabschätzverfahren kann in zwei unterschiedlichen Bearbeitungstiefen durchgeführt werden. Je nach Fragestellung, verfügbarem Zeitbudget und benötigter Aussagegenauigkeit kann das abgekürzte, jedoch ungenauere „Schreibtisch-basierte“ Verfahren angewendet werden, bei dem die Datenbasis rein aus digitalen Grundlagendaten besteht. Sind genauere Aussagen erforderlich, empfiehlt sich die Anwendung des „Feld-ergänzten“ Verfahrens, bei dem zusätzliche Geländeaufnahmen erfolgen und in die Abschätzung einbezogen werden.

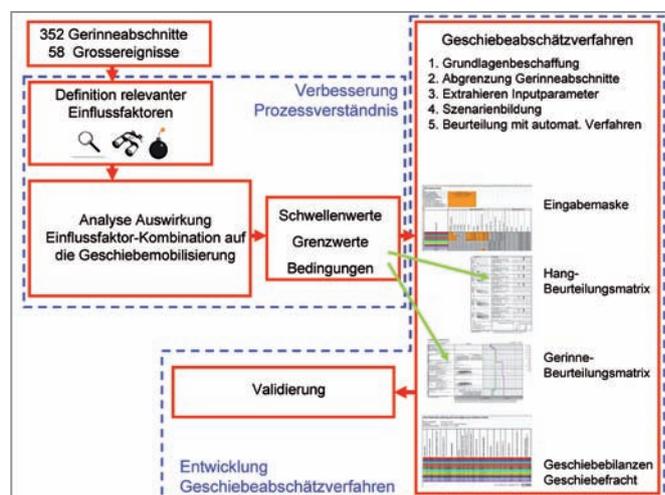


Abbildung 6

Zusammenfassende Übersicht der Arbeitsschritte und Ergebnisse

- Die Anwendung des Geschiebeabschätzverfahrens ist unabhängig von einer Software-Verfügbarkeit. So können die Abfragen für die benötigten Inputparameter mit oder ohne GIS erfolgen. Das automatisierte Geschiebeabschätzverfahren wird als einfache Excel-Arbeitstabelle zur Verfügung gestellt und ist somit für alle Expertinnen und Experten anwendbar, die über genügend Erfahrung und Prozessverständnis hinsichtlich des Geschiebehaushalts in Wildbachsystemen verfügen.

11 Zusammenfassung

Abbildung 6 gibt einen Überblick über die im Projekt ausgeführten Arbeitsschritte und Ergebnisse.

Ausgehend von detaillierten Analysen von 58 abgelaufenen Großereignissen in 58 verschiedenen Wildbächen bzw. von 352 homogenen Gerinneabschnitten konnten relevante Einflussfaktoren für die maßgebenden Geschiebeprozesse definiert werden. Sie können in drei Gruppen eingeteilt werden. Es zeigte sich, dass die Kombination der verschiedenen Einflussfaktoren eine wesentliche Rolle spielt. Diese wurden bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Geschiebemobilisierung in einzelnen Gerinneabschnitten analysiert. Dabei wurden Schwellenwerte, Grenzwerte und Bedingungen definiert, unter welcher Einflussfaktor-Kombination welche Prozesse in welchem Ausmaß möglich sind. Daraus wurde anschließend ein neues Geschiebeabschätz-

verfahren entwickelt, das in mehreren Teilschritten durchgeführt wird. Kernstück des Abschätzverfahrens sind die Hang- und die Gerinne-Beurteilungsmatrix, mit deren Hilfe qualitativ vordefinierte Ereignisszenarien quantitativ beurteilt werden können. Das Ergebnis sind Geschiebebilanzen in den einzelnen Gerinneabschnitten und letztendlich Angaben zur Geschiebe-fracht am Kegelhals. Das Abschätzverfahren wurde an einer großen Anzahl weiterer Großereignisse und Geschiebeabschätzungen validiert. Dadurch konnten Stärken und Schwächen des Verfahrens transparent gemacht und der Anwendungsbereich eingegrenzt werden.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Eva Gertsch
belop gmbh, Ingenieure und Naturgefahrenfachleute
Tulpenweg 2, CH-6060 Sarnen
gertsch@belop.ch

Prof. Dr. Hans Kienholz
Prof. Dr. sc. Techn. Manfred Spreafico
Geographisches Institut Universität Bern
Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern

Die komplette Dissertation (in Deutsch) kann gratis herunter geladen werden unter: http://www.zb.unibe.ch/download/eldiss/09gertsch_e.pdf

Entstehung und hydrologischer Verlauf des Hochwassers der Oder im Mai/Juni 2010

Floods in the Oder river in May/June 2010

Starkniederschläge in weiten Gebieten zwischen der Adria und Polen, deren Schwerpunkt im Zeitraum vom 16. bis 19. Mai 2010 in den Westbeskiden an der Grenze zwischen Polen und Tschechien, also über den oberen Einzugsgebieten von Oder und

Weichsel lag, führten in beiden Flüssen zu extremen Hochwasserwellen. Derartige Vb-Wetterlagen führen in Mitteleuropa immer wieder zu schweren, oft katastrophalen Hochwassern. So im Juli 1997 an der Oder, im Mai 1999 an der Donau, im Juli 2001 an der Weichsel oder im August 2002 an der Elbe.

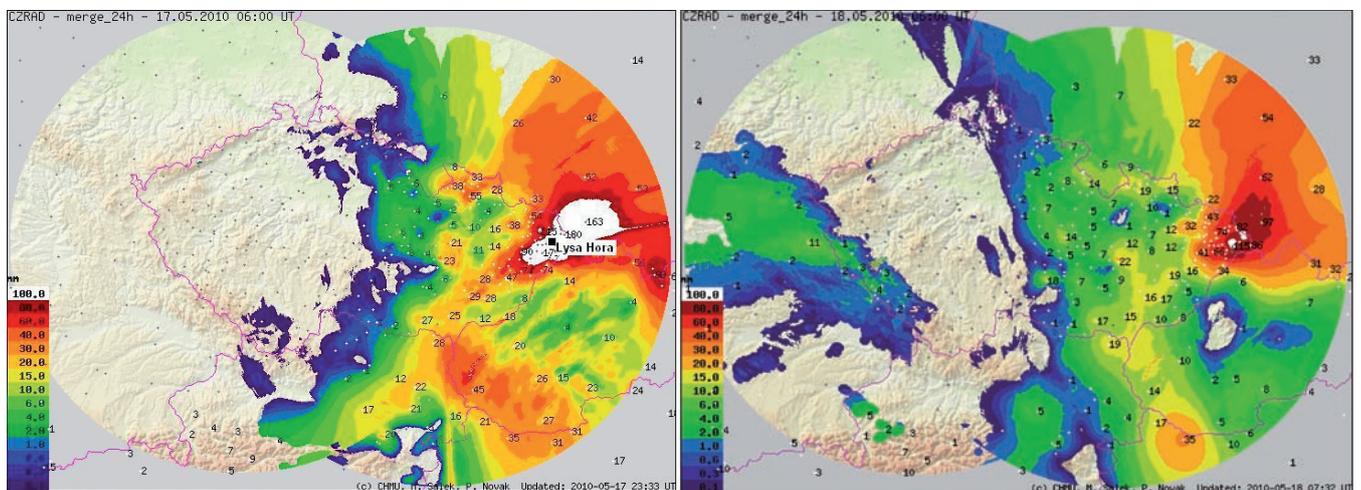


Abbildung 1

24-Stunden-Summen des Niederschlags für den 17.5.2010 (links) und 18.5.2010 (rechts) jeweils 6 Uhr, Station Lysa Hora (JONOV et al. 2010)

Tabelle 1

Scheitelabflüsse im tschechischen Oder-Einzugsgebiet 1997 und 2010 (JONOV et al. 2010 und DUBICKI et al. 1999)

Fluss (Einmündung)	Pegel (A _{E0} in km ²)	Scheitelabflüsse HQ [m ³ /s]		Wiederkehrintervall HQ 2010 [a]
		Juli 1997	17./18. Mai 2010	
Lubina (rechts)	Petrvald (165)	246	232	50 – 100
Oder	Svinov (1.615)	688	404	20 – 50
Oppa (links)	Dehylov (2.039)	744	132	1 – 2
Ostrawitz (rechts)	Ostrava (821)	898	780	20 – 50
Oder	Bohumin (4.665)	2.160	1.067	10 – 20
Olsa (rechts)	Vernovice (1.071)	673	1.030	>100

Tabelle 2

Scheitelabflüsse der ersten und zweiten Hochwasserwelle im tschechischen Oder-Einzugsgebiet im Mai/Juni 2010 (JONOV et al. 2010 und DUBICKI et al. 1999)

Fluss	Pegel	Scheitelabflüsse HQ [m ³ /s]	
		17./18. Mai 2010	2./3. Juni 2010
Lubina	Petrvald	232	71
Oder	Svinov	404	219
Oppa	Dehylov	132	231
Ostrawitz	Ostrava	780	238
Oder	Bohumin	1.067	517
Olsa	Vernovice	1.030	356

An der Station Lysa Hora (Kahlkopf) im Einzugsgebiet der Ostrawitz fielen in den sechs Tagen vom 15. bis 20. Mai 363 mm Niederschlag (Abb. 1). Im Zeitraum vom 30. Mai bis 3. Juni waren es dann nochmals 132 mm. An der Station Nydek (Niedek) im Einzugsgebiet der Olsa fielen in den selben Zeiträumen 356 und 107 mm Regen (JONOV et al. 2010).

Im Unterschied zum Hochwasser 1997 war die Oppa an dem jüngsten Hochwasser nicht beteiligt. Auch die Oder selbst hatte bis zur Mündung der Oppa nur rund 60 % des Scheitelabflusses von 1997. Dafür erbrachte die an der tschechisch-polnischen Grenze einmündende Olsa einen über 50 % höheren Scheitelabfluss als beim Ereignis 1997 (Tab. 1).

Bei dem Ereignis im Mai/Juni 2010 waren entsprechend der Niederschlagsverteilung insbesondere folgende Hochwasserentstehungsgebiete beteiligt (Abb. 2):

- die Quellzuflüsse der Oder aus den südöstlichen Sudeten und westlichen Beskiden mit Ostrawitz und vor allem der Olsa
- die rechtsseitigen Flachlandzuflüsse wie Klodnitz, Malapane, Stober, Ohle, Lohe, Weiße, Bartsch sowie die in den Unterlauf der Oder einmündende Warthe

Erneute Niederschläge im Zeitraum vom 30. Mai bis 3. Juni 2010 führten zu einem direkt anschließenden zweiten Hochwasserereignis, bei dem nun auch die Zuflüsse aus den mittleren und nördlichen Sudeten betroffen waren.

Wasserstände der Hauptwelle

Der Scheitel der Oder benötigte vom ersten polnischen überregionalen Meldepegel Miedonia (Oderfurt) bis zum Eintreffen am ersten brandenburgischen Pegel in Ratzdorf 9 Tage und bis in den Raum Schwedt 14 Tage, was etwa dem durchschnittlichen Laufzeitverhalten bei großen Oder-Hochwassern entspricht.

Die Entwicklung der abfließenden Hochwasserwelle war geprägt durch großflächige Überschwemmungen, Deichbrüche – insbesondere



Abbildung 2
Odereinzugsgebiet mit überregionalen Meldepegeln

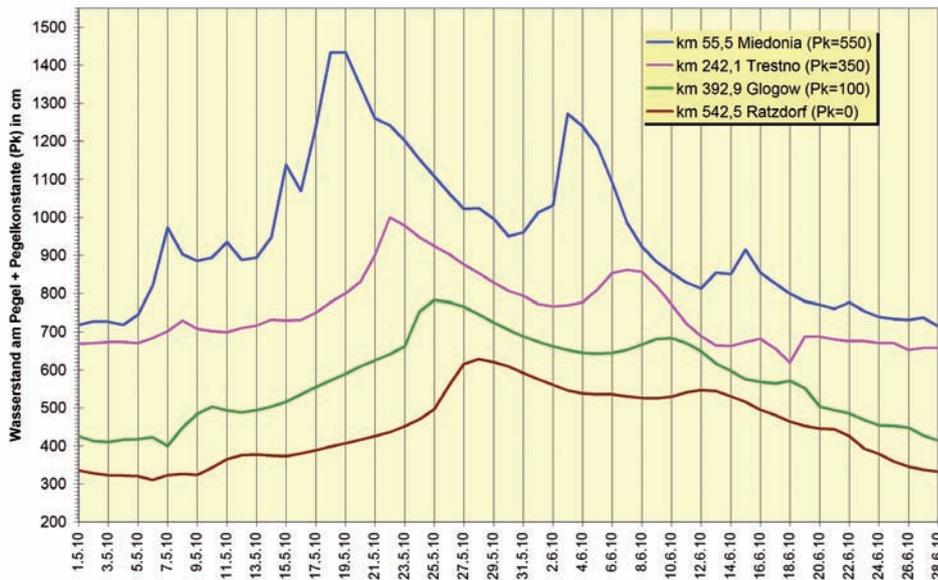


Abbildung 3
Ausgewählte Wasserstandsganglinien der Oder Mai/Juni 2010; vorläufige 8 Uhr- bzw. 6 Uhr Terminwerte, Datenquelle: MGW Wroclaw bzw. WSA Eberswalde

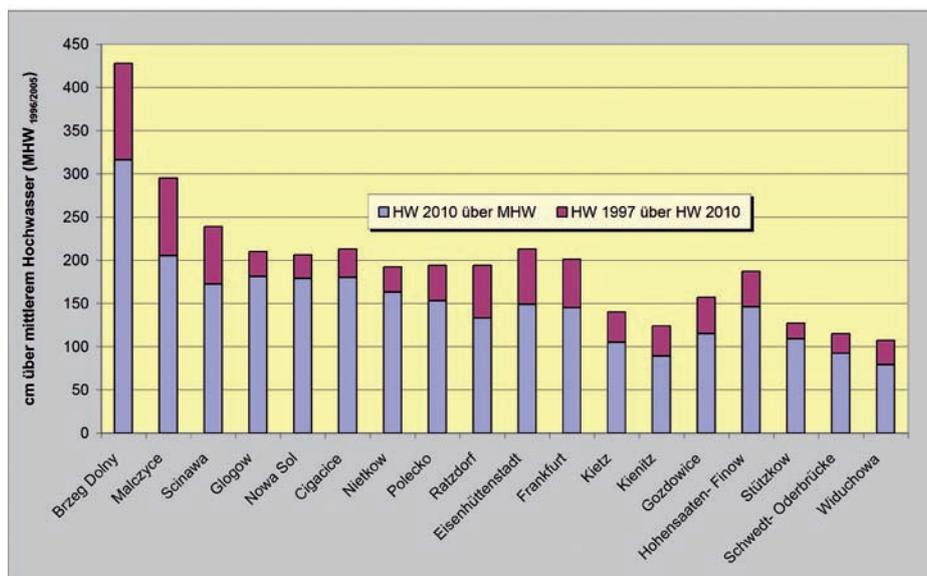


Abbildung 4
Scheitelwasserstände der Hochwasser 1997 und 2010 an den Oder-Pegeln unterhalb Wroclaw (Breslau) bezogen auf das mittlere Hochwasser (MHW) der Reihe 1996/2005

auf der Flussstrecke oberhalb von Wroclaw (Breslau) – Polderflutungen, Speicherregulierungen und den starken Einfluss der Hochwasser führenden rechtsseitigen Flachlandzuflüsse. Dies führte zu Laufzeitverzögerungen und einer Verformung des Scheitels (Abb. 3) und wirkte sich erschwerend auf die polnischen und deutschen Vorhersagen aus.

Am polnischen Pegel Miedonia (Oderfurt) wurde am 18.5.2010 ein Scheitelwasserstand von 884 cm erreicht, der um 1,61 m unter dem Höchstwert vom Hochwasser 1997 (LUA 1998) lag und nach polnischen Angaben der zweithöchste Hochwasserscheitel ist, der dort seit 1947 gemessen wurde. Die Unterschreitung der Scheitelwerte des Hochwassers 1997 setzte sich auch im weiteren Verlauf der Oder fort (Abb. 4).

Auch in der Warthe, dem größten Nebenfluss der Oder, entwickelte sich im Gegensatz zu 1997 ein eigenständiges Hochwasser, das insbesondere im Mittellauf das größte seit 1979 und 1982 war. Dadurch, dass der Hochwasserscheitel der Warthe erst nach Durchlauf des Hochwasserscheitels der Oder den Mündungsbereich erreichte, kam es in der Oder zwar zu keiner Extremsituation, aber zu einer anhaltend hohen Wasserführung unterhalb der Warthemündung.

Vom Oderhaff her gab es während der Hochwassersituation keine Windrückstauerscheinungen, die zu einer Verschärfung der Situation geführt hätten.

Wasserstände der Nachwelle

Am Pegel Miedonia (Oderfurt) wurde der Scheitel der Nachwelle am 3.6.2010 mit einem Wasserstand von 724 cm und damit um 1,60 m unter dem der vorhergehenden Hauptwelle registriert. Im weiteren Verlauf verschärfte sich die Situation im Raum Ujście Nysy (Neißemündung) bis Wroclaw (Breslau) und hier insbesondere im Raum Olawa (Ohlau), dort blieb der Hochwasserstand nur 46 cm unter dem der vorhergehenden Hauptwelle. Da die Hochwasserwellen der Mittelgebirgszuflüsse Katzbach, Bober und Lausitzer Neiße sowie der Warthe die Oder bereits vor dem Eintreffen des zweiten Oderschreitels erreichten, führte das zu einer Verflachung der Nachwelle in der Oder. Die Höchstwasserstände der Nachwelle blieben im Grenzoderabschnitt von Ratzdorf bis Frankfurt (Oder) rund 85 bis 105 cm und von Kietz bis Widuchowa (Marienhof) sowie in der Westoder 40 bis 60 cm unter den Scheitelwerten der vorangegangenen Hauptwelle.

Abbildung 5 zeigt die Ganglinien des Wasserstands ausgewählter deutscher Pegel in Bezug zu den Alarmstufenrichtwerten.

Abflüsse

Vor dem Beginn des Niederschlagsereignisses bewegten sich die Abflüsse im Grenzoderabschnitt am Pegel Eisenhüttenstadt 52 % und am Pegel Hohensaaten-Finow 38 % über den mehrjährigen (Jahresreihe 1921/2009, ohne 1945) mittleren Abflüssen (MQ) des Abflussjahres. Die Scheitelabflüsse (HQ) und Abflusspenden (Hq) im Vergleich zum Hochwasser 1997 sind in Tabelle 3 aufgeführt.

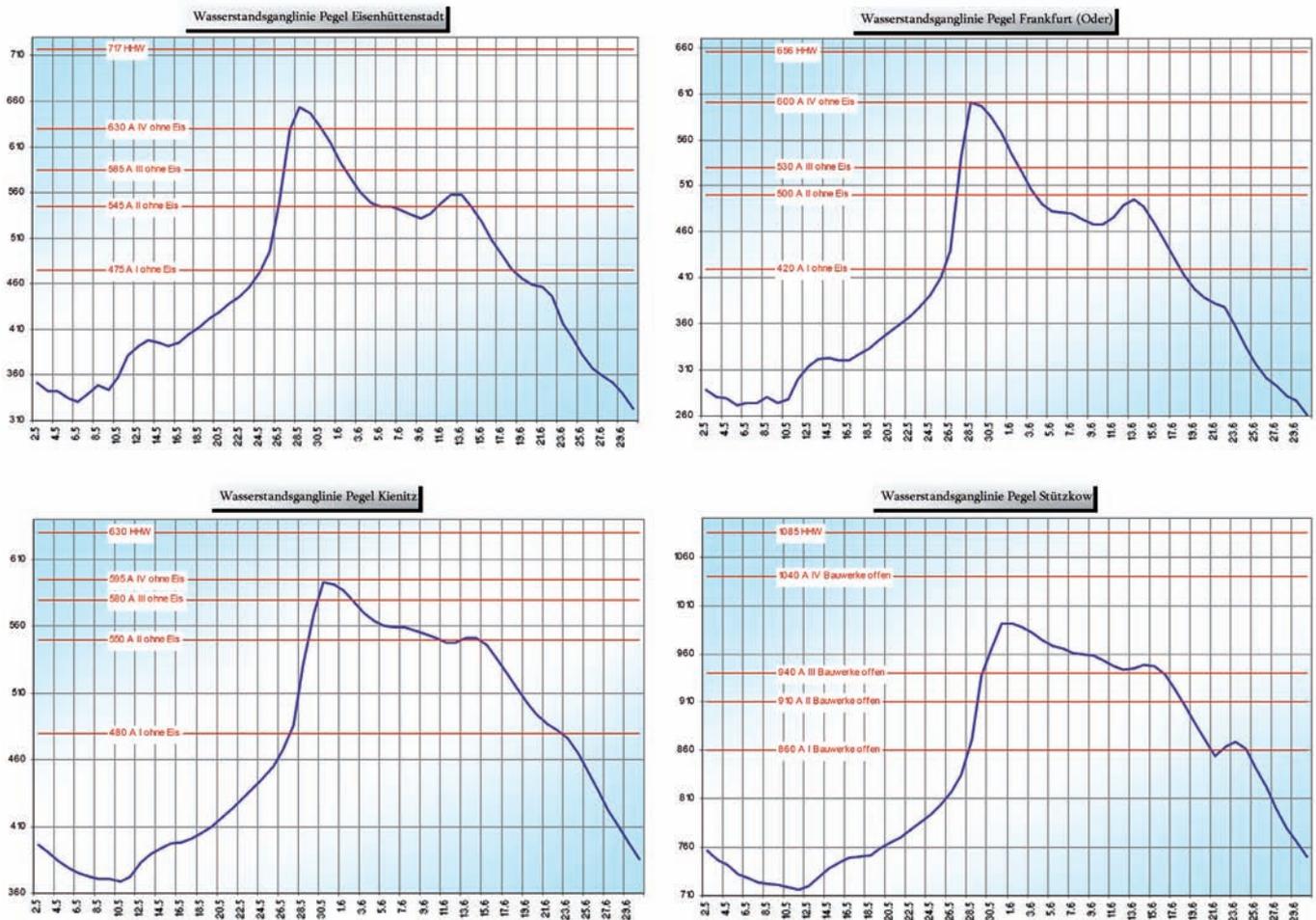


Abbildung 5 Wasserstandsganglinien ausgewählter deutscher Pegel (vorläufige 6 Uhr-Terminwerte, Datenquelle: WSA Eberswalde und LUGV Brandenburg)

Tabelle 3

Scheitelabflüsse und Abflussspenden der Hochwasser von Juli/August 1997 und Mai/Juni 2010

Pegel Gewässer	Juli/August 1997			Mai/Juni 2010		
	HQ 1997 [m ³ /s]	Hq 1997 [l/s km ²]	am	HQ 2010 ^{*)} [m ³ /s]	Hq 2010 ^{*)} [l/s km ²]	am
Eisenhüttenstadt Oder	2.530	48,6	24.7.1997	1.960	37,7	28.5.2010
Hohensaaten-Finow Oder	2.610	23,8	31.7.1997	2.240	20,4	31.5.2010
Gorzów (Landsberg) Warthe	452	8,6	8.–10.8.1997	719	13,7	6.6.2010

*) vorläufige Werte

In Hohensaaten-Finow wird bei der Betrachtung der Abflussspenden der Einfluss des Flachlandzuflusses Warthe deutlich. Oder und Warthe weisen am Zusammenfluss ein vergleichbar großes Einzugsgebiet auf, die Abflussspenden der Oder sind bis dahin jedoch durch den Mittelgebirgsanteil entsprechend höher. Im Mai/Juni 2010 hatte die Warthe einen wesentlich höheren Anteil am Hochwasserabflussgeschehen als bei dem Hochwasser 1997.

Abflussfülle

Abbildung 6 zeigt den Gang und die Fülle des deutschen Abflusspegels Hohensaaten-Finow an der Grenzoder für das Hochwasserereignis 2010. Die Abflussfülle ist auf drei charakteristische Basisabflüsse bezogen, um eine Vergleichbarkeit mit unterschiedlichen Auswertungen der Hochwasser anderer Flüsse (z.B. KOLL & WIEMANN 2002 oder BELZ et al. 2006) zu ermöglichen. Der Bezug auf Beginn und Ende des Ereignisses gibt einen Eindruck vom abzuführenden Abflussvolumen des Hochwassers. „Ende“ bezieht sich hier auf das Wiedererreichen des Ausgangswasserstandes zu Beginn des Ereignisses und nicht

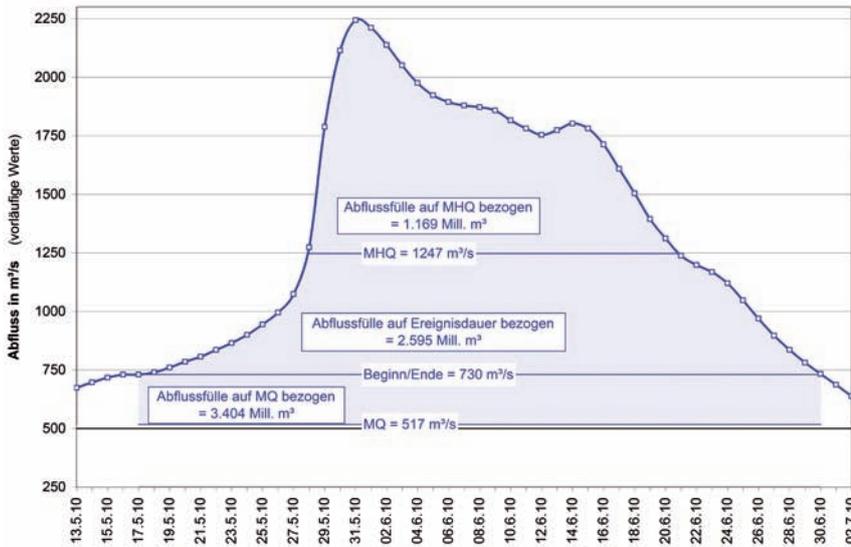


Abbildung 6
Abflussganglinie Pegel Hohensaaten-Finow

auf das Ende des Ereignisses, das sich bei einer Ganglinienseparation ergeben würde.

In Tabelle 4 sind die Abflussfüllen der Hochwasser 2010, 1997 und 1977 aufgeführt. Das Hochwasser in 2010 ist mit dem vom Sommer 1977 (NAUMANN et al. 1978) vergleichbar. Das Hochwasser von 1997 hatte eine fast doppelt so große Fülle.

Das Hochwasser vom Mai/Juni 2010 dauerte in Hohensaaten – bezogen auf MHQ – 24 Tage; bezogen auf Beginn und Ende des Ereignisses (Tab. 4) dauerte es 44 Tage.

Hochwasserwahrscheinlichkeiten der Wasserstände

Für das Hochwasser vom Mai/Juni 2010 wurden die Hochwasserwahrscheinlichkeiten für die Pegel Eisenhüttenstadt und Kienitz für die Jahresreihen 1901/2009 und die Wahrscheinlichkeiten für den Pegel Stützkow für die Jahresreihe 1951/2009 berechnet und die Wiederkehrintervalle der Scheitelwasserstände der höchsten

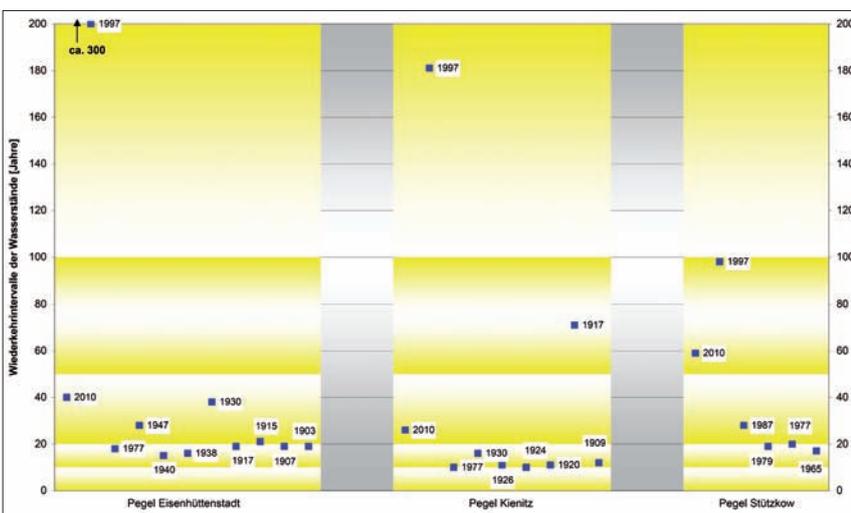


Abbildung 7
Eintrittswahrscheinlichkeiten der höchsten ungehemmten Hochwasser an den Pegeln Eisenhüttenstadt, Kienitz (jeweils ab 1901) und Stützkow (ab 1951)

ungehemmten (d.h. nicht durch Vereisungserscheinungen beeinflussten) Sommerhochwasser in ihrer Jährlichkeit bestimmt.

Zur Berücksichtigung der Besonderheit am Pegel Stützkow wurden jeweils die Höchstwasserstände bei geöffneten Bauwerken berücksichtigt. Das im Mai/Juni des Jahres 2010 abgelaufene Hochwasserereignis hat statistisch gesehen im Bereich des Pegels Stützkow ein Wiederkehrintervall von ca. 60 Jahren (Abb. 7).

Zusammenfassung

Die für den Monat Mai außergewöhnlich intensiven Niederschläge über den Beskiden (an der Station Lysa Hora etwa das Doppelte des bisherigen Maximums der Monatssummen der letzten 50 Jahre) führten an der oberen Oder am ersten polnischen überregionalen Meldepegel Miedonia zu einem Hochwasserscheitel, der zwar um 1,61 m unter dem Höchstwert vom Sommer 1997 liegt, jedoch der zweithöchste Wasserstand ist, der seit 1947 dort gemessen wurde. Auch in der Warthe, dem größten Nebenfluss der Oder, entwickelte sich im Gegensatz zu 1997 ein eigenständiges Hochwasser, das insbesondere im Mittellauf das größte seit 1979 und 1982 war. Dadurch, dass der Hochwasserscheitel der Warthe erst nach Durchlauf des Hochwasserscheitels der Oder den Mündungsbereich erreichte, kam es in der Oder zwar zu keiner Situationsverschärfung, aber zu einer anhaltend hohen Wasserführung unterhalb der Warthemündung. Unterhalb von Frankfurt (Oder) wurden an den Pegeln Kietz, Stützkow und Schwedt-Oderbrücke die zweithöchsten ungehemmten bisher registrierten Wasserstände erreicht. Im deutsch-polnischen Grenzoderabschnitt betrug die Scheitelabflüsse oberhalb der Warthemündung 77 % und unterhalb der Warthemündung 86 % der Scheitelabflüsse des Sommerhochwassers von 1997. In Bezug auf die Abflussfülle unterhalb der Warthemündung ist das Oder-Hochwasser von Mai/Juni 2010 mit dem vom August/September 1977 vergleichbar. Dagegen war die Abflussfülle des Hochwassers vom Sommer 1997 fast doppelt so groß wie in 2010. Das Hochwasser von Mai/Juni 2010 hatte, bezogen auf die Wasserstände an der Grenzoder, eine Eintrittswahrscheinlichkeit von etwa 25 bis 60 Jahren. Die im Juni 2010 anschließende Nachwelle erreichte die Scheitelwasserstände der Hauptwelle nicht.

Anschrift der Verfasser:
Dipl.-Ing. Eberhard Schmidt
Dipl.-Ing. Barbara Stein
Dipl.-Ing. Matthias Hummel
Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg Regionalbereich Ost, Hochwassermeldezentrums Frankfurt (Oder)
Müllroser Chaussee 50, 15236 Frankfurt (Oder)
hwmzfm@LUGV.Brandenburg.de

Tabelle 4
Abflussfüllen der drei bedeutendsten Oder-Hochwasser der letzten 40 Jahre

Hochwasser der Oder	Hochwasser-Abflussfülle [in Mrd. m ³]		
	Ereignis Beginn/Ende	bezogen auf:	
		MQ 1921/2009 (ohne 1945)	MHQ 1921/2009 (ohne 1945)
Mai/Juni 2010*: Eisenhüttenstadt Hohensaaten-Finow	1,9 2,6	2,4 3,4	0,6 1,2
Juli/August 1997: Eisenhüttenstadt Hohensaaten-Finow	4,6 5,0	4,1 4,2	2,1 1,9
August/Sept. 1977: Eisenhüttenstadt Hohensaaten-Finow	2,8 2,8	2,6 2,7	0,4 0,3

* - Ergebnisse zum Hochwasser Mai/Juni 2010 sind vorläufige Werte

Literaturverzeichnis

BELZ, J.U., P. BUREK, H. MATTHÄUS, B. RUDOLF, S. VOLLMER & W. WIECHMANN (2006):
Das Hochwasser der Elbe im Frühjahr 2006. – BfG-Bericht 1514, Koblenz

BGBI. II (1994): Gesetz zu dem Vertrag vom 19. Mai 1992 zwischen der Bundesrepublik Deutschland und der Republik Polen über die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft an den Grenzgewässern vom 6. Januar 1994 (BGBI. II, S. 59-66)

BISSOLLI, M., K. FRIEDRICH, J. RAPP & M. ZIESE (2010):
Hochwasser im östlichen Mitteleuropa im Mai 2010. – DWD

DUBICKI, A., H. SLOTA & J. ZIELINSKI (1999): Dorzecze Odry.
Monografia powodzi lipiec 1997. (Einzugsgebiet der Oder. Monografie des Hochwassers 1997). – IMGW Warszawa; ISBN 83-85176-64-0

KAHNT, D., E. SCHMIDT, M. HUMMEL & B. STEIN (2001): Entstehung und Verlauf des Oderhochwassers im Sommer 2001. – Fachbeiträge des Landesumweltamtes Brandenburg Nr. 66, Frankfurt (Oder)

KOLL, CH. & O. WIEMANN (2002): Das Elbehochwasser im Sommer 2002. – Fachbeiträge des Landesumweltamtes Brandenburg Nr. 73, Potsdam

JONOV, M., S. MADERICOVA, T. ŘEHANEK, R. VOLNY & I. WINKLER (2010): Hydrometeorologická zpráva o povodni ve dnech 16.-21. května 2010 a 2.-6. června 2010 v povodí Odry, Bečvy a horní Moravy. (Hydrometeorologischer Bericht über die Hochwasserereignisse an der Oder, der Betschwa und der oberen March im Zeitraum vom 16.-21. Mai 2010 und 2.-6. Juni 2010). – CHMU Ostrava

LUA (1998): Das Sommerhochwasser an der Oder 1997. – Studien und Tagungsberichte Bd. 16, Potsdam; ISSN 0948-0838

NAUMANN, A., H. SUJATA, & U. SEEGER, U. (1978): Sommerhochwasser der Oder 1977. – In: Wasserwirtschaft-Wassertechnik 28, H. 2, S. 51–56

60 Jahre Internationale Kommission zum Schutz des Rheins

Der Lachs als Symbol für die gelungene Rheinsanierung

Salmon symbolises successful Rhine restoration

Der Rheinstrom mit seinem fast 200.000 km² großen Einzugsgebiet ist einer der bedeutendsten Flüsse Europas und verbindet als einziger die Alpen mit der Nordsee. In den neun Staaten seines Einzugsgebiets leben rund 58 Millionen Menschen.

Am 11. Juli 1950 fand in Basel auf Initiative der Niederländer die erste Sitzung der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins gegen Verunreinigung (IKSR) statt. Nach dem 2. Weltkrieg suchten die Niederländer wegen der immer schlechter werdenden Wasserqualität des Rheins das Gespräch mit den Staaten am Oberlauf und fanden bei den Schweizern Gehör. Seit 60 Jahren

sorgen sich nunmehr die Schweiz, Frankreich, Deutschland, Luxemburg und die Niederlande gemeinsam um den Gewässerschutz am Rhein und haben 1963 die „Vereinbarung über die internationale Kommission zum Schutz des Rheins gegen Verunreinigung“, das sog. Berner Übereinkommen, unterzeichnet. 1976 trat die Europäische Wirtschaftsgemeinschaft der IKSR über ein Zusatzprotokoll bei. Ein aktualisiertes Berner Übereinkommen zum Schutz des Rheins, das neben der Wasserqualität auch ökologische Aspekte, Hochwasser- und Grundwasser Aspekte einbezieht, wurde im April 1999 unterzeichnet.

In der IKSR arbeiten wasserwirtschaftliche Experten/innen der Vertragsparteien der IKSR und seit 2000 Vertreter/innen aller Staaten im Rheineinzugsgebiet zusammen. Da nicht alle im Rheineinzugsgebiet liegenden Staaten Mitglied der IKSR sind, ist

für die koordinierte Umsetzung von EG-Richtlinien ein Koordinierungskomitee Rhein gebildet worden, in dem neben den IKS-R-Staaten auch Italien, Österreich, Liechtenstein und Belgien/Region Wallonien gleichberechtigt vertreten sind.

Die Basis der praktischen Zusammenarbeit bilden etwa ein Dutzend Arbeits-, Projekt- und Expertengruppen, die unterschiedliche Sachthemen erörtern, Maßnahmen vorschlagen oder spezifische Fachaufträge erledigen (Abb. 1). Die Strategiegruppe stimmt alle Arbeiten zwischen den Arbeitsgruppen ab und bereitet die Beschlüsse der Plenarsitzung bzw. des Koordinierungskomitees Rhein vor, dem alle Staaten im Rheineinzugsgebiet angehören. Den internationalen Beratungsgruppen stehen weitgehend national tätige Gremien zur Seite.

Zu Beginn der Aktivitäten der IKS-R wurde zunächst zwischen 1950–1970 ein gemeinsames Rheinüberwachungsnetz von der Schweiz bis in die Niederlande aufgebaut. Zum Zeitpunkt der stärksten Rheinverschmutzung erteilte die erste Rhein-Ministerkonferenz der IKS-R 1972 den Auftrag, drei völkerrechtliche Übereinkommen vorzubereiten, und zwar zur Verringerung der chemischen Schadstoffbelastung des Rheins, zur Reduzierung der Chloridbelastung des Rheins und über die Wärmebelastung des Rheins. Das Chemie- und das Chloridübereinkommen wurden 1976 unterzeichnet. Die Vertragsparteien verpflichteten sich über das Chemieübereinkommen, Messstationen zu betreiben, Messprogramme durchzuführen und ein Warn- und Alarmsystem einzurichten. Über das Chloridübereinkommen sollte der aus den elsässischen Kaliminen stammende hohe Salzgehalt des Rheins soweit verringert werden, dass an der deutsch-niederländischen Grenze eine Konzentration von 200 Milligramm pro Liter nicht überschritten wird. Ein Wärmeübereinkommen wurde in den 1970er und 1980er Jahren zwar vorbereitet, jedoch nicht unterzeichnet. Die Verbesserung der Wasserqualität des Rheins machte in der Folge – bedingt durch Bau und Erweiterung von Kläranlagen in einigen Rheinanliegerstaaten – langsam Fortschritte.

Das Jahr 1986 brachte – neben dem Tschernobyl-Störfall – auch den Wendepunkt für den Rhein und die IKS-R. Mit dem Löschwasser

aus der Bekämpfung eines Lagerhallenbrandes der Firma Sandoz in Schweizerhalle bei Basel gelangten am 1. November 1986 etwa 20 t Insektizide, Fungizide und Herbizide in den Rhein. Diese akute Vergiftung führte zu einem massiven Fischsterben über Hunderte von Kilometern, wovon insbesondere Aale betroffen waren. Im Nahbereich der Löschwassereinleitung starb die komplette Wasserlebewelt. Die Trinkwasserentnahme aus Rhein nahen Trinkwasserbrunnen und aus dem Rhein wurde bis in die Niederlande eingestellt. Die belasteten Sedimente im Unfallnahbereich mussten vollständig entfernt werden. Die Bevölkerung reagierte mit Menschenketten auf allen Rheinbrücken und zeigte so der Politik, dass rasches umweltpolitisches Handeln erforderlich war.

Aus heutiger Sicht kann festgestellt werden: Der Sandoz-Brandunfall hat viel bewegt und einen deutlichen Paradigmenwechsel in der westeuropäischen Wasserwirtschaft eingeleitet. Dreimal innerhalb von elf Monaten trafen sich die für den Schutz des Rheins zuständigen Minister der Schweiz, Frankreichs, Deutschlands, Luxemburgs, der Niederlande sowie der zuständige Kommissar der EG, um am 1. Oktober 1987 ein ehrgeiziges Sanierungsprojekt für den Rhein auf den Weg zu bringen, das erstmals ökologische Vorgaben für einen großen Strom beinhaltete. Laut „Aktionsprogramm Rhein“, genannt „Lachs 2000“, sollten im Jahr 2000 nicht nur wieder Lachse im Rhein schwimmen. Insbesondere sollte die Schadstoffbelastung des Rheinwassers so massiv zurückgedrängt werden, dass die Trinkwassergewinnung aus Rheinwasser gewährleistet werden konnte und die Verlagerung von Baggergut kein Umweltproblem mehr darstellte.

Am Rhein wurden mit der Umsetzung des Aktionsprogramms Rhein bis dato nicht vorstellbare, große Erfolge erzielt. Die konkreten Reduzierungsziele (50 bzw. 70 %) für Schadstoffeinleitungen in den Rhein im Zeitraum 1985–1995 wurden mehr als erfüllt. Bereits früher und mit weit höheren Prozentsätzen als vorgesehen wurden die Schadstoffeinleitungen für etwa 50 Stoffe aus Industrie und Kommunen massiv zurückgedrängt oder waren im Jahr 2000 nicht mehr nachweisbar. Mit der Abnahme der Schadstoffe stieg der Sauerstoffgehalt des Rheinwassers und die Wasserfauna und -flora erholten sich zusehends. Für die Wiederansiedlung früher vorhandener Arten wie z.B. des ab 1950 verschollenen Lachses waren und sind weitere Maßnahmen erforderlich, wie die Wiederherstellung der Durchgängigkeit. Zudem spielt die Erhöhung der Strukturvielfalt der Gewässersohle, der Gewässerufer und ufernahen Auenbereiche eine große Rolle, da diese eine höhere Artenvielfalt hervorruft.

Und wie sieht es heute mit dem Symbol für die Rheinsanierung, dem Lachs, aus? Bis Ende 2009 sind mehr als 5.600 erwachsene Lachse nachweislich in das Rheinsystem (Abb. 2) zurückgekehrt, um sich in ihren „Heimatbächen“ zu vermehren. Ihre wirkliche Zahl liegt wesentlich höher, da nicht alle bei ihrer Rückreise in die Heimatflüsse und -bäche durch Kontrollen erfasst werden. Die vielen Maßnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit in Rheinzufüssen und am Rhein hatten Erfolg: Mitte 2000 wurde am

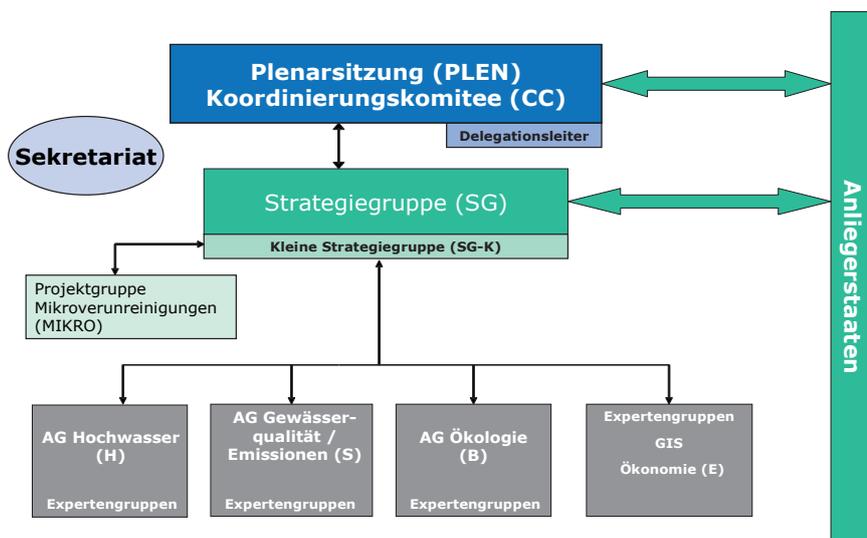


Abbildung 1
Organigramm der IKS-R (2010)

5.638 nachgewiesene Lachse im Rhein seit 1990

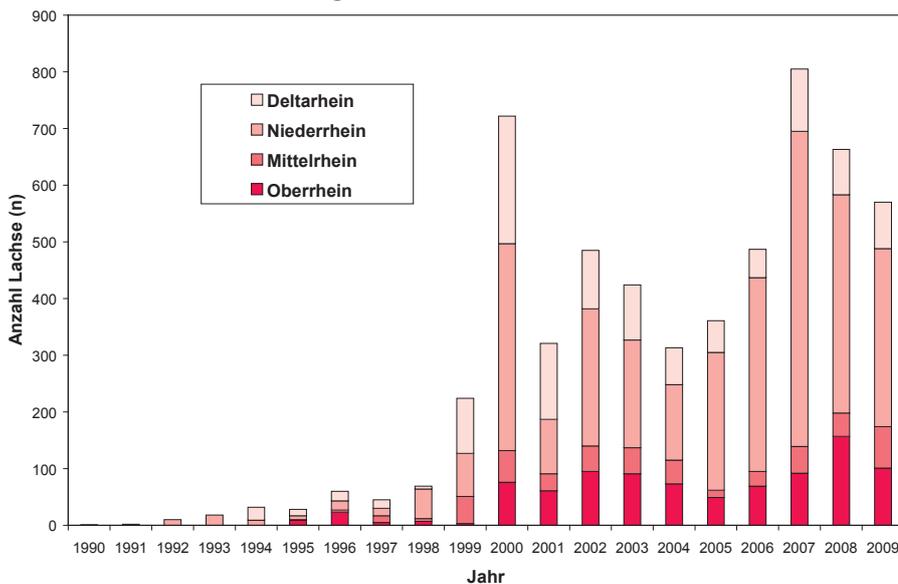


Abbildung 2

Zunahme der Lachsrückkehrer seit Programmstart. Quelle: IKSR

Stauwehr Iffezheim der erste große Fischpass im Oberrhein, im April 2006 der zweite am Stauwehr Gambenheim in Betrieb genommen. Weitere erforderliche Fischpässe am Oberrhein und entsprechende Aktivitäten in geeigneten Rheinzufüssen werden im Rahmen der Umsetzung des Bewirtschaftungsplans Rhein gemäß Wasserrahmenrichtlinie in den kommenden 10–15 Jahren verwirklicht, so dass die Lachse auch die Zuflüsse im Raum Basel wieder besiedeln können.

Die großen Rheinhochwässer 1993 und 1995 zeigten mit der Evakuierung von mehr als 200.000 Menschen und einigen Millionen Tieren in den Niederlanden, dass auch Hochwasser niemals an von Menschen gezogenen Grenzen halt macht und die Einbeziehung des gesamten Rheineinzugsgebietes geradezu herausfordert. Das Weihnachtshochwasser 1993 hatte den Deichen am Niederrhein und im Deltagebiet bereits stark zugesetzt und diese so stark durchfeuchtet, so dass knapp 13 Monate später im Januar 1995 die Furcht vor Deichbrüchen groß war. Die Politik handelte wiederum unmittelbar. Die IKSR, die Mosel-Saar-Kommissionen und die Maaskommission erhielten in der Erklärung der EU-Umweltminister von Arles (04.2.1995) den Auftrag, konkrete Aktionspläne zum Hochwasser aufzustellen. Die positiven Erfahrungen mit der Umsetzung des „politisch beschlossenen“

Künftige Schwerpunktbereiche der IKSR:

1. Wiederherstellung der biologischen Durchgängigkeit und Erhöhung der Habitatvielfalt, d.h. der Sohlen-, Ufer- und Auenstrukturen
2. Weitere Verbesserung der Wasserqualität, wobei auch Arzneimittelrückstände, hormonell wirkende Substanzen etc. berücksichtigt werden
3. Weitere Verbesserung des Hochwasserschutzes und der Hochwasservorsorge
4. Ausarbeitung von Anpassungsstrategien an die Effekte der Klimaänderung (Wasserhaushalt, Wassertemperatur).

Aktionsprogramms Rhein sprachen für sich. Im Januar 1998 beschloss die 12. Rheinministerkonferenz in Rotterdam die rasche Umsetzung des Aktionsplans Hochwasser bis 2020, deren Kosten seinerzeit auf 12,3 Milliarden Euro geschätzt wurden.

Im Januar 2001 hat die Rheinministerkonferenz die Umsetzung des „Programms zur nachhaltigen Entwicklung des Rheins – Rhein 2020“ beschlossen.

Die internationalen Gewässerschutzaktivitäten der IKSR, insbesondere die Entwicklung und erfolgreiche Umsetzung des Aktionsprogramms Rhein (1987–2000) sowie des Aktionsplans Hochwasser (1995–2020), beeinflussten die wasserwirtschaftlichen Diskussionen auf europäischer Ebene deutlich und gaben ihnen eine bestimmte Richtung vor.

Ende 2000 ist die EG-Wasserrahmenrichtlinie in den EU-Mitgliedstaaten in Kraft getreten, Ende 2007 die EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie. Diese fordern grenzüberschreitende Koordination der aufzustellenden Bewirtschaftungspläne auf Flusseinzugsgebietsebene. Die für die Umsetzung der beiden Richtlinien erforderliche Koordinierung erfolgt seit 2001 in der IKSR bzw. im Koordinierungskomitee Rhein; das dazu notwendige Datenmanagement für das gesamte Rheineinzugsgebiet läuft über das bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) angesiedelte Internetportal WasserBLICK. Die Schweiz als IKSR- und Nicht-EU-Mitglied unterstützt die EU-Staaten bei der Koordinierung im Rheineinzugsgebiet auf der Grundlage ihrer nationalen Gesetzgebung.

Die Ziele und Maßnahmen des IKSR-Programms „Rhein 2020“ sowie die koordinierte Umsetzung der beiden Richtlinien bauen in hervorragender Weise aufeinander auf und ergänzen sich in wesentlichen Aspekten. Ziel der bisherigen und künftigen IKSR-Aktivitäten ist es, eine nachhaltige Entwicklung des Rheinökosystems, d.h. eine Balance zwischen Schutz und Nutzung, zu erreichen.

Am 30. Juni 2010 hat die IKSR mit einem Festkolloquium ihre erfolgreiche grenzüberschreitende Zusammenarbeit für den Schutz des Rheins und ihr 60jähriges Bestehen im Kurfürstlichen Schloss zu Mainz gefeiert.

Weitere Informationen zur IKSR unter www.iksr.org.

Anschrift der Verfasserin:

Dr. Anne Schulte-Wülwer-Leidig
Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR)
Stellvertretende Geschäftsführerin
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15, 56068 Koblenz
anne.schultewl@iksr.de

Aktuelles

Fachtagung Operationelle Hydrologische Vorhersagen in der Schweiz

Im Juni 2010 wurde an der Universität Bern von der schweizerischen Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie und der Schweizerischen Hydrologischen Kommission in Zusammenarbeit mit dem Geographischen Institut der Universität Bern und dem Bundesamt für Umwelt die internationale Tagung „Operationelle Hydrologische Vorhersagen“ organisiert. Ziel der Veranstaltung war der Austausch von Erfahrungen beim Modelleinsatz und Aufzeigen der Ansätze zur Verbesserung der Modelle. In den letzten Jahren konnte die Vorhersage von Hochwassern in vieler Hinsicht verbessert werden: Genauere Wetterprognosen, differenzierte hydrologische Modelle und eine bessere Kommunikation zwischen den Beteiligten tragen dazu bei, Krisensituationen künftig besser zu meistern. Dennoch besteht, von den wissenschaftlichen Grundlagen bis hin zur Prävention, in vielen Bereichen Handlungsbedarf. So z.B. bei der Zusammenarbeit über Landesgrenzen hinaus, beim Datenaustausch, bei der Hochwasserwarnung und der Entscheidungsfindung auf Grund einer Hochwasservorhersage sowie in kleinen Einzugsgebieten mit schnellen Reaktionszeiten.

Detaillierte Unterlagen zur Tagung finden sich auf der Website der Hydrologischen Kommission: http://chy.scnatweb.ch/d/Aktuell/Veranstaltungen/vergangene_Veranstaltungen.php

(aus: *Mitteilung Schweizerische Hydrologische Kommission vom 6. Juli 2010*)

El Niño beeinflusst Strömungspumpe in der Antarktis

Im antarktischen Weddell-See sinken großen Mengen Wasser von der Meeresoberfläche in die Tiefe ab und treiben damit das globale Band der Meeresströmungen an. Meeresforscher aus Kiel und aus den USA konnten jetzt anhand einer Langzeitmessung nachweisen, dass der Strömungsmotor dort starken Schwankungen unterliegt, die eng mit Wetter- und Klimaphänomenen zusammenhängen. Die entsprechende Studie ist in der Fachzeitschrift *Nature Geoscience* veröffentlicht (A seasonal cycle in the export of bottom water from the Weddell Sea, Arnold L. Gordon, Bruce Huber, Darren McKee & Martin Visbeck, *Nature Geoscience*, published online: 18 July 2010).

Die Zahlen sind gewaltig. Wenn der Golfstrom die Floridastraße durchströmt, transportiert er 1,3 Milliarden Megawatt an Wärmeenergie. Und auf der Höhe von New York bewegt er rund 150 mal mehr Wasser als alle Flüsse der Welt zusammen. Dabei ist der sogenannte Golfstrom nur einer von vielen Abschnitten eines Strömungssystems, das alle Weltmeere umfasst und unser Klima reguliert. Dieses globale Förderband bleibt in Bewegung, weil an mehreren Stellen des Weltmeers (Grönlandsee, Labradorsee im Atlantik sowie Weddell- und Ross-See nahe der Antarktis) kaltes, dichtes, salzhaltiges Wasser von der Meeresoberfläche auf den Meeresgrund sinkt. Dort fließt es als Bodenwasser weiter in Richtung Tropen, an der Oberfläche strömt wärmeres Wasser nach. Einer dieser zentralen Orte, an denen das globale Förderband angetrieben wird, ist das antarktische Weddell-See. Wis-

senschaftler des Lamont-Doherty Earth Observatory (LDEO) der Columbia University (New York, USA) sowie des Kieler Leibniz-Instituts für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR) haben nun mit einer Langzeitbeobachtung herausgefunden, dass es dort starke jahreszeitliche, aber auch mehrjährige Schwankungen in der natürlichen Strömungspumpe gibt. Sie hängen unter anderem mit den Windverhältnissen in der Antarktis zusammen und sind so auch an großräumige Klimaschwankungen wie das El Niño-Phänomen gekoppelt.

Für ihre Studie konnten die Ozeanographen aus Kiel und New York auf zwei Messstationen südöstlich der South Orkney Islands zurückgreifen, die kontinuierlich zwischen 1999 und 2007 Strömungsgeschwindigkeiten, Temperaturen und Salzgehalt des Bodenwassers am Ausgang des Weddell-Meers aufgezeichnet haben.

Neben dem Weddell-See haben die Kieler Forscher noch eine weitere Schlüssel-Stelle im weltweiten Strömungsband im Blick: Die Labradorsee zwischen der gleichnamigen kanadischen Halbinsel und Grönland. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung finanzierten Projekts „Nordatlantik“ hat das IFM-GEOMAR auch am Ausgang der Labradorsee am Meeresboden mehrere Langzeitobservatorien verankert, die dort seit 1997 wichtige ozeanographische Daten aufzeichnen.

(aus: *Pressemitteilung Leibniz-Institut für Meereswissenschaften vom 23. Juli 2010*)

Wie bewegen sich Bakterien vertikal zwischen den Wasserschichten eines Gewässers?

Bakterien, so klein sie auch sind, bilden die Hauptlebensform biologischer Vielfalt. In Gewässern nehmen sie wichtige Funktionen ein und tragen wesentlich zum Stoffumsatz und daher zur Selbstreinigung von Seen bei. Doch wie bewegen sich die Winzlinge zwischen Wasserschichten, die für sie alleine unüberwindbar sind? Forscher des Leibniz-Institutes für Gewässerökologie und Binnenfischerei haben in Kooperation mit Kollegen vom Virginia Institute of Marine Science eine Studie in der Ausgabe vom 29. Juni in *PNAS* (Vol. 107: 26: 11959–11964) veröffentlicht, in der sie ihre „Förderband-Hypothese“ belegen: Bakterien benutzen kleine Wassertiere (Zooplankton) aktiv als Transportgelegenheit, um in Wasserschichten zu gelangen, die für sie alleine unerreichbar sind.

Tiefe Seen weisen meist Zonen mit unterschiedlichen Lebensbedingungen auf. So finden sich nahe der Wasseroberfläche Bereiche mit erhöhten Konzentrationen von Sauerstoff und organischem Material (beispielsweise von Algen), während in der Tiefe anorganische Nährstoffe in höherer Konzentration vorliegen. Die meisten größeren Lebewesen im Gewässer können sich je nach ihren Bedürfnissen in der Wassersäule bewegen, nicht so Kleinlebewesen, z.B. Bakterien. Für Mikroorganismen sind viele Grenzschichten im Gewässer, die sich beispielsweise entlang von Temperatur- oder Salzgradienten bzw. von chemischen Gradienten ausbilden, ohne fremde Hilfe unüberwindbar.

Forscher der Arbeitsgruppe von Hans-Peter Grossart vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei haben in so genannten Migrationssäulen untersucht, wie Gewässerbakterien durch – für sie alleine unüberwindbare – Grenzsichten gelangen können, indem sie Wasserflohkrebse (*Daphnia magna*) aktiv als Transportmittel nutzen.

Die Forscher isolierten drei unterschiedliche Bakterienarten aus dem Stechlinsee, markierten sie mittels grün fluoreszierendem Protein (GFP) und gaben sie entweder in die obere oder in die untere Wasserschicht. Die Wasserflöhe fungierten als effektives Transportmittel. Die Ergebnisse zeigen, dass Bakterien sich aktiv durch das Aufspringen auf Wasserflöhe transportieren lassen. Dabei wechseln täglich bis zu einem Prozent der Bakterien die Wasserschicht. Die Wissenschaftler konnten zudem zeigen, dass sich die Zusammensetzung der auf Wasserflöhen angehefteten Bakteriengemeinschaften entsprechend ihrer Tag- und Nachtwanderung deutlich voneinander unterscheidet. Im Nehmitzsee in Brandenburg konnte die „Förderband-Hypothese“ auch im Freiland belegt werden. Der erhöhte Austausch von Bakterien auf lange Distanz durch ihr aktives Anheften an verschiedene größere und wandernde Wasserorganismen hat weitreichende ökologische wie evolutionäre Konsequenzen.

(aus: Pressemitteilung Pressestelle des Forschungsverbundes Berlin e.V. vom 29. Juli 2010)

125 Jahre Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

Im Jahr 2010 wird die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) 125 Jahre alt. 1885, bei der Gründung der damaligen „Centralanstalt für das forstliche Versuchswesen“ in Zürich standen Forstschutz, Waldbewirtschaftung und Hydrologie im Zentrum. Zu dieser Zeit waren viele Wälder stark übernutzt und fehlende Schutzwälder führten zu Hochwassern. 1936, beim Bau des ersten Schneelabors des WSL-Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SFL) auf dem Weissfluhjoch oberhalb von Davos, ging es um die Erforschung der Schneemetamorphose und die Entstehung von Lawinen. Seit 1989 bilden die beiden Institute zusammen ein modernes Umweltforschungsinstitut. Die WSL hat heute fünf Standorte und forscht an über 6.000 Versuchsflächen und Stichprobenpunkten. Wie die ETHs Zürich und Lausanne ist sie Teil des ETH-Bereichs.

Die WSL befasst sich mit der Nutzung und Gestaltung sowie dem Schutz von naturnahen und urbanen Lebensräumen. Sie erarbeitet Beiträge und Lösungen, damit der Mensch Landschaften und Wälder verantwortungsvoll nutzen und mit Naturgefahren, wie sie insbesondere in Gebirgsländern auftreten, umsichtig umgehen kann. Eine der Forschungseinheiten ist „Gebirghydrologie und Wildbäche“.

Die Forschungseinheit untersucht hydrologische Prozesse in vorwiegend gebirgigen und teilweise bewaldeten Einzugsgebieten. Sie geht der Entstehung und Ausbreitung von ober- und unterirdischen Abflüssen (inkl. Auswirkungen auf Schneeschmelze und Vegetation) sowie Oberflächenerosion, flachen Erdbeben, Sedimenttransporten und Schwemmholz nach. Sie führt Experimente und Langzeitmessungen durch, welche die

Grundlage bilden für die Entwicklung von Simulationsmodellen und Maßnahmen zur Gefahrenbeurteilung. Die Einheit beurteilt Schäden und Schaden bringende Prozesse häufiger sowie extremer Naturereignisse. Deren Daten sind notwendige Eingangsgrößen für ein risikobasiertes, nachhaltiges Management von Naturgefahren.

Weitere Information auch zu den fachlichen Jubiläumsveranstaltungen unter www.wsl.ch.

(aus: Pressemitteilung Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft vom 2. September 2010)

Neue Erkenntnisse zur Thematik „Der Wald als Klimaregulator“

In der freien Natur spielen sich hydrologische Prozesse ab, die unterschiedliche Auswirkungen auf Klimafaktoren haben. Bisher ging man davon aus, dass geschlossene Waldgebiete in heißen Sommern ausschließlich eine kühlende Wirkung hätten. Nun aber ist festgestellt worden, dass Wälder zunächst einmal zur atmosphärischen Aufwärmung beitragen. Im Gegensatz zu Wiesenflächen geben sie das gespeicherte Bodenwasser nur allmählich ab, tragen also nur wenig zu einem Abkühlen der Umgebung bei. Graslandschaften unterliegen anderen Aspekten und verdunsten relativ rasch das gespeicherte Wasser. Damit kühlen sie zu Beginn einer Hitzeperiode anfangs sehr stark, sind dann aber rasch ausgetrocknet und können den hohen Temperaturen nichts mehr entgegensetzen. Diese Regulierung funktioniert in Wäldern mit einer langfristigeren Strategie. Während Wiesen- und Ackerflächen sehr rasch austrocknen, geben Waldgebiete die Feuchtigkeit nur sparsam ab. Die Wissenschaftler haben herausgefunden, dass die Regelung der Spaltöffnungen von Wäldern dazu beiträgt, sich auf eine drohende Trockenheit besser einzustellen. Langfristig gesehen tragen Wälder in Hitzejahren also wesentlich mehr und vor allem kontinuierlicher zum Befeuchten und Abkühlen der Umgebung bei.

Diese Erkenntnisse einer internationalen Forschergruppe, die mit Partnern aus Belgien, Frankreich, Italien, den Niederlanden, der Schweiz und Deutschland, Professor Christian Bernhofer sowie Dr. Thomas Grünwald von der TU Dresden an Messstationen im Tharandter Wald gemeinsam gewonnen wurden, sind unter dem Titel „Contrasting response of European forest and grassland energy exchange to heatwaves“ (Adriaan J. Teuling et al. 2010) in der September-Ausgabe der *nature geoscience* detailliert dargestellt.

Download des Artikels unter: www.nature.com/ngeo/journal/vaop/ncurrent/index.html

(aus: Pressemitteilung Technische Universität Dresden vom 8. September 2010)

Baden-Württemberg

Land Baden-Württemberg und Kommunen vereinbaren noch engere Kooperation beim Hochwasserschutz

Das Land und die Kommunen wollen bei der Hochwasservorsorge künftig noch enger zusammenarbeiten. Die kommunalen Landesverbände haben dazu mit dem Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr und dem Innenministerium Baden-Württemberg eine Kooperationsvereinbarung unterzeichnet: Kernstück ist die gemeinsame Einführung eines rechnergestützten Flutinformations- und -warnsystems (FLIWAS). Als eine Folge des Klimawandels steigen in Zukunft die Hochwassergefahren. Es ist zu erwarten, dass gerade kleine und mittlere Hochwasserereignisse um rund 20 Prozent zunehmen werden. Im Schulterschluss wollen Land und Kommunen deshalb die Hochwasservorsorge weiter verbessern. Über das Frühwarnsystem sollten möglichst frühzeitig notwendige Vorkehrungen getroffen werden können, um Hochwassergefahren und drohende Schäden zu mindern.

Ziel ist der Aufbau einer landesweiten Dateninfrastruktur, um optimierte Grundlagen für ein vernetztes Krisenmanagement zu schaffen. Über FLIWAS erhalten auch die Städte und Gemeinden direkten Zugang zu den beim Land vorliegenden Informationen über örtliche Überflutungsgebiete und konkrete Hochwasserrisiken. Durch besondere Funktionen wie Alarmketten, Lagedarstellungen und modellhafte Szenarien unterstützt FLIWAS die Ausführung der Pläne in Übungen wie auch im Ernstfall.

Die örtlichen Informationen könnten von den staatlichen Behörden auf allen Ebenen, somit auch von den Landratsämtern und Regierungspräsidien, genutzt und durch eigene Planungen ergänzt werden. Durch strukturierte Zusammenführung all dieser Informationen in FLIWAS entsteht eine vernetzte und umfassende Informationsinfrastruktur. „Auf dieser Grundlage können regionale oder großräumige Abwehrmaßnahmen gezielter vorbereitet und im Ernstfall auf einer weitaus besseren Informationsgrundlage als wir sie heute haben ausgeführt werden. FLIWAS ist damit auch für die Einsatzkräfte vor Ort ein wichtiges Hilfsmittel“, so Innenminister Rech.

FLIWAS wurde nach vergangenen großen Hochwasserereignissen seit 2004 in einer Kooperation des Landes Baden-Württemberg

mit der Stadt Köln und Stellen in den Niederlanden mit Unterstützung der EU-Kommission unter anderem von einem Heidelberger Softwarehaus entwickelt und sukzessive in Baden-Württemberg eingeführt. Die Kooperationsvereinbarung bildet die Rechtsgrundlage für den landesweiten Aufbau des Systems.

(aus: Pressemitteilung Innenministerium Baden-Württemberg und Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr Baden-Württemberg vom 9. Juli 2010)

Niedersachsen

Flussgebietsgemeinschaft Weser

„Datenverfügbarkeit und Transparenz sind zwei Schlagwörter, an denen sich modernes wasserwirtschaftliches Handeln heutzutage messen lassen muss. Die Öffentlichkeit soll in die Überlegungen zur nachhaltigen Nutzung der Ressource Wasser einbezogen werden. Dies sind Anforderungen, die auch Europa in der EG-Wasserrahmenrichtlinie aufgegriffen hat“, so der Leiter der Geschäftsstelle der Flussgebietsgemeinschaft Weser, Dipl.-Ing. Simon Henneberg. Die Flussgebietsgemeinschaft Weser (die Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder Bayern, Bremen, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen-Anhalt und Thüringen) hat sich zum Ziel gesetzt, ihre Internetseiten weiter in dieser Hinsicht zu verbessern und nun eine Möglichkeit geschaffen, sich auch über die Gewässer vor Ort zu informieren.

Unter www.fgg-weser.de/wrrl_umsetzung.html ist der aktuelle Stand der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie verständlich dargestellt. Zusätzliche Hintergrundinformationen ergänzen das bestehende Angebot für die gesamte Flussgebietseinheit aus einer Hand. Interaktive Kartendarstellungen erlauben, sich u.a. über den Zustand der Oberflächengewässer, des Grundwassers und der Badestellen an jedem beliebigen Ort in der Flussgebietsgemeinschaft Weser zu informieren.

Flussgebietsmanagement ist eigentlich nicht Neues, aber es wird heute ganz anders gelebt als noch vor 20 Jahren. Nur gemeinsam kann beim Schutz der Ressource Wasser mehr Nachhaltigkeit geschaffen werden. Die Flussgebietsgemeinschaft konzipiert dabei den Rahmen für die wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen, der vor Ort mit konkreten Maßnahmen ausgefüllt wird.

(aus: Mitteilung Geschäftsstelle der Flussgebietsgemeinschaft Weser vom 19. Juli 2010)

Fachgemeinschaft in der DWA Hydrologische Wissenschaften

Seminar Schadensanalysen und Projektbewertungen im Hochwasserrisikomanagement

Der Vollzug der EU-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (EU-HWRMRL) bindet derzeit in den Verwaltungen und bei Büros, die mit Zuarbeiten betraut sind, erhebliche Ressourcen.

Jedes Jahr sind in Deutschland hunderte von konkreten Projekten in der Planungsphase. Aus den HWRM-Plänen werden sich viele weitere Maßnahmen und Einzelprojekte entwickeln. Ziel dabei muss sein, für jede Problemlage die jeweils insgesamt beste Lösung zu finden. Das verlangt umfassende Projektbewertungen. Diese sind der Schlüssel, um die Planungs- und Entscheidungsvorbereitungsprozesse fundiert und rational zu gestalten.

Die Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften (FgHW), DWA und BWK haben zum Seminar „Schadensanalysen und Projektbewertungen im Hochwasserrisikomanagement“ am

21. September in Hannover eingeladen und die heute verfügbaren Vorgehensweisen vorgetragen. Anhand von aktuellen Beispielen wurde herausgearbeitet, welche Schadensanalysen wann für welche Arbeiten in einem solchen Bewertungsprozess genutzt werden können und wie sie zu verarbeiten sind.

Tag der Hydrologie 2011

Der nächste Tag der Hydrologie findet am 24. und 25. März 2011 in Wien statt. Veranstalter sind die Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften zusammen mit der Abteilung Ingenieurhydrologie am Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie der Technischen Universität Wien (Prof. Dr. Blöschl).

Weitere Information zur Fachgemeinschaft finden Sie auf der Webseite der FgHW unter www.fghw.de

Personen

In Memoriam Professor Dr. Igor A. Shiklomanov

Der international bekannte Hydrologe und Wasserwirtschaftler Prof. Dr. Igor A. Shiklomanov starb nach kurzem Leiden am 22. August 2010 im Alter von 71 Jahren in St. Petersburg. Als Mitglied der russischen Delegation nahm er im Juli 2010 noch an der 19. Sitzung des Zwischenstaatlichen Rates für das IHP teil und hat sich dort sehr aktiv beteiligt. Mit ihm hat die Hydrologie und die Wasserwirtschaft eine international herausragende Persönlichkeit verloren.

Prof. Shiklomanov wurde am 28. Februar 1939 in der Tver Region/Russland geboren. Er studierte am Leningrader Hydrometeorologischen Institut. Dort schloss er sein Studium im Jahr 1961 als Engineering Hydrologist ab. Am gleichen Institut promovierte er 1977 zum Doktor der Geografischen Wissenschaften auf dem Gebiet der Hydrologie und der Wasserwirtschaft, wo er im Jahr 1985 zum Professor ernannt wurde. Von 1972 bis 1981 war er dort stellvertretender Leiter für den Bereich der Wissenschaften und ab 1981 Direktor des Institutes. Dieses Amt hatte er bis zu seinem Tod inne. Im Jahr 1991 wurde er korrespondierendes Mitglied der Russischen Akademie für Naturwissenschaften auf dem Gebiet der Hydrologischen Wissenschaften und der Wasserwirtschaft.

Prof. Shiklomanovs wissenschaftliche Arbeitsgebiete waren:

- Entwicklung von Methoden, Bewertung und Prognostizierung anthropogener Einwirkungen auf die Wasserführung der Flüsse und der Wasservorräte einschließlich der Untersuchung der Veränderungen der Abflüsse und die Verbesserung der Messtechnik für die Lösung wasserrelevanter Probleme.

- Ermittlung des Volumens und der Verteilung der globalen Wasservorräte.
- Untersuchung der Dynamik, Prognose und Bewirtschaftung der Wasservorräte, der Wassernutzung sowie der regionalen und globalen Verfügbarkeit des Wassers.
- Hydrologische und ökologische Untersuchungen der Wasser Systeme.
- Detaillierte Untersuchungen anthropogen bedingter Auswirkungen der globalen Klimaänderungen auf den Wasserkreislauf, die Wasserwirtschaft und die Wasserbewirtschaftung einschließlich der Entwicklung notwendiger Anpassungsmaßnahmen.

Mit seinen Erfahrungen konnte er Wesentliches zur Ermittlung der weltweit verteilten Wasservorräte, deren Verfügbarkeit, Nutzung, Entwicklung, Veränderung, Erfassung u.a. beitragen. Er war der führende Wissenschaftler für die Sammlung und Analyse globaler Wasser relevanter Daten. Seine erste diesbezügliche Publikation zu diesem Thema erschien bereits 1978:

Kalinin, G.P. and I.A. Shiklomanov: „Exploitation of the Earth's water resources“, veröffentlicht in der Epoche machende UNESCO-IHP Publikation „World Water Balance and Water Resources of the Earth“ (IHP Studies and Reports in Hydrology. No 25).

Diese Arbeit wird heute noch genutzt. Seine Beiträge zur Erfassung der Wasservorräte wurden im Rahmen der vierten Phase des International Hydrological Programme (IHP) 1990–1996 aufgegriffen und bildeten einen Schwerpunkt im IHP. Er verfasste u.a. mit seinen Mitarbeitern die Berichte „Assessment of the Impact of Climate Variability and Change on Hydrological Character-

ristics“ und „World Water Resources at the Beginning of the 21st Century“. Dabei handelt es sich um bedeutende wissenschaftliche Publikationen, die um die Jahrtausendwende die Grundlage für die künftige Planung der Wasserpolitik der UN-Organisationen und zahlreicher nicht-staatlicher Organisationen bildeten.

Prof. Shiklomanov war Leiter oder Mitglied in zahlreichen Komitees, wissenschaftlichen Beiräten und anderen Gremien. Seit 1990 war er stellvertretender Vorsitzender des Russischen Nationalkomitees für das IHP der UNESCO. In den Jahren 1992 bis 1994 hatte er den Vorsitz des Intergovernmental Council für das IHP inne. Seit 1992 war er aktives Mitglied im Scientific Steering Committee for GEWEX-WCRP und zugleich führender Autor des IPCC-WG2 Third Assessment Report 1998–2000. Von 2000 bis 2004 leitete er die Arbeitsgruppe „Water Resources“ der Commission for Hydrology der WMO und von 1999 bis 2003 als Vize-Präsident die International Commission on Surface Water der IAHS. Viele Jahre hat er für die Commission for Hydrology der WMO und als Vorsitzender der Arbeitsgruppe Hydrology der Regional

Association II (Asien) hervorragende Beiträge geleistet. Damit hat er auch das Hydrology and Water Resources Programm (HWRP) der WMO beachtlich unterstützt. Unvergessen waren seine Beiträge als Hauptautor des 3. Assessment Report 1998–2000 der IPCC Working Group II. Im Jahr 2007 richtete er das unter der Schirmherrschaft der WMO stehende internationale Datenzentrum Hydrology of Lakes and Reservoirs (HYDROLARE) in St. Petersburg ein.

In Anerkennung seiner Leistungen für die Hydrologie und seiner bedeutenden wissenschaftlichen Beiträge wurde er mit dem von der IAHS gemeinsam mit UNESCO und WMO vergebenen International Hydrology Prize geehrt.

Professor Shiklomanov wird der Gemeinschaft der Hydrologen fehlen.

Prof. Dr. Hans-Jürgen Liebscher, Vallendar

Neue Publikationen

Abschlussbericht des AGRUM Weser Projekts – Sonderheft 336 der Fachzeitschrift Landbauforschung

Das länderübergreifende Forschungsprojekt AGRUM Weser (Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie) untersuchte das gesamte Einzugsgebiet der Weser mithilfe eines Modellverbundes aus einem agrarökonomischen und zwei hydrologischen Modellen. Dadurch ist es erstmals möglich geworden, die Wechselbeziehungen zwischen landwirtschaftlichen Einträgen in die Gewässer und ihren Pfadabhängigkeiten sowie die Wirkung und Kosten von möglichen Maßnahmen im landwirtschaftlichen Gewässerschutz umfassend abzubilden und eine verbesserte Berechnung zu Umsetzungsmöglichkeiten der EG-Wasserrahmenrichtlinie vorzunehmen.

Um die Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie bis 2015 zu erfüllen, schlugen die Wissenschaftler des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) in Braunschweig in der Studie eine erste Maßnahmenkombination für die Landwirtschaft vor, die sich auf rund 1,3 Millionen Hektar bezieht und insgesamt über 100 Millionen Euro pro Jahr kosten würde. Dabei wurden die Maßnahmen Zwischenfruchtanbau, keine Ausbringung von Wirtschaftsdünger nach der Ernte, grundwasserschonende Ausbringungstechnik von Gülle und Festmist, Extensivierung von Grünland, Förderung von Extensivkulturen, Reduzierung der Mineräldüngung bei Getreide sowie der Anbau von Winterrüben in Betracht gezogen. In rund 7 Prozent der Regionen konnte jedoch auch mit diesen Maßnahmen die Zielsetzung nicht erreicht werden, sodass weitere landwirtschaftliche oder wasserwirtschaftliche Maßnahmen notwendig sind.

Die Ergebnisse basieren auf einer dreijährigen Zusammenarbeit der Wissenschaftler des vTI, des Forschungszentrums Jülich (FZJ) und des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfi-

scherei (IGB) sowie Diskussionen mit Experten aus den Landesministerien der beteiligten Bundesländer und der Flussgemeinschaft Weser. Der Abschlussbericht des AGRUM Weser Projekts wurde als Sonderheft 336 der Fachzeitschrift Landbauforschung veröffentlicht und kann ab sofort von den Internetseiten des Johann Heinrich von Thünen-Instituts als PDF heruntergeladen werden: www.vti.bund.de/de/institute/lr/publikationen/lbf/lbf_sh336_de.pdf (40MB)

(aus: Pressemitteilung Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei)

Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft

Hrsg. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, und Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV), Wien 2010, 204 S.

Die international durchgeführten Klimastudien, die in den IPCC-Publikationen dokumentiert sind, geben ein globales Bild, lassen aber nur indirekte Schlussfolgerungen für Österreich zu, da die räumliche Auflösung dieser Modelle der komplexen Topografie des Alpenraumes nur sehr bedingt gerecht wird. In der Schweiz und der Bundesrepublik Deutschland wurden bereits vor Jahren nationale Klimafolgenforschungsprogramme durchgeführt, die als wichtige Informationsquelle auch für Österreich herangezogen werden können, die aber nicht direkt auf Österreich übertragbar sind. Für Österreich liegen zwar etliche einzelne Arbeiten zu Klimaänderungen und deren Folgewirkungen vor, aber es bestand kein kohärentes Bild über mögliche Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft.

Aus diesem Grunde richtete der ÖWAV im Juli 2007 eine Arbeitsgruppe mit der Zielsetzung ein, die möglichen Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Wasserwirtschaft in Österreich

in interdisziplinärer Weise zusammenzustellen und in ihrer Aussagekraft zur beurteilen. Die Thematik betrifft sowohl die zu erwartenden Veränderungen in den Klimavariablen wie Niederschlag und Temperatur als auch die Folgewirkungen für glaziologische und hydrologische Prozesse, die dann auf die wasserwirtschaftlichen Nutzungsansprüche und die Umwelt wirken. Es wurden daher auch die Bereiche Wasserversorgung, Energiewirtschaft, Land- und Forstwirtschaft sowie Auswirkungen auf die Hydrobiologie und die semi-aquatische Flora in Form von Referaten behandelt. Ergänzend wurden Experten aus den Nachbarländern eingeladen.

Aus dem Inhalt: Mögliche Klimafolgen für die Wasserwirtschaft in Österreich (Reinhard Böhm, Reinhold Godina, Hans-Peter Nachtnebel und Otto Pirker); Auswirkungen von möglichen Klimaänderungen auf die Hydrologie und Wasserwirtschaft in einigen österreichischen Regionen (Hans-Peter Nachtnebel); Klimamodelle, Klimaszenarien und ihre Bedeutung für Österreich (Andreas Gobiet und Heimo Truhetz); Trends in hydrologischen Variablen und in der Wasserbilanz Österreichs (Josef Fürst, Harald Kling, Hans-Peter Nachtnebel und Thomas Hörhan); Klimawandel und sozioökonomische Veränderungen – Herausforderungen des Umgangs mit Naturgefahren in Berggebieten (Sven Fuchs); Klimawandel und Gletscherschwund (Michael Kuhn); Klimatische Entwicklungen und deren Auswirkungen auf die Wasserversorgung in der Oststeiermark (Andreas Dalla-Via)

(aus: Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft)

Neue Wege der Gewässerunterhaltung – Pflege und Entwicklung von Fließgewässern (Merkblatt DWA-M 610)

Hrsg. DWA, Hennef 2010, 237 S., 98,- €
(Fördernde DWA-Mitglieder: 78,40 €)
ISBN 978-3-941897

Das Merkblatt DWA-M 610 fasst den aktuellen Stand einer ökologischen, an den Zielen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie orientierten Gewässerpflege und Gewässerentwicklung zusammen, ohne die Intention zu haben, die umfangreichen Veröffentlichungen zur technischen Umsetzung der Unterhaltungsmaßnahmen zu ersetzen.

Dabei werden folgende Aspekte veranschaulicht:

- Ziele und Rahmenbedingungen der Gewässerunterhaltung
- Ökologische Maßnahmen und Maßnahmenherleitung
- Instrumente und Werkzeuge
- Öffentlichkeitsarbeit und Fortbildung
- Beispiele aus der Praxis

Das Merkblatt umfasst insgesamt 421 Seiten, wovon 273 Seiten in gedruckter Form vorliegen; Informationen zur Öffentlichkeitsbeteiligung sowie Praxisbeispiele sind auf der beiliegenden CD-ROM enthalten. Abgerundet wird das Merkblatt durch eine auf der CD-ROM enthaltene Powerpoint-Präsentation. Hiermit wird den Unterhaltungspflichtigen eine Fortbildungs-Foliensammlung an die Hand gegeben, mit deren Hilfe Schulungen zur Gewässerunterhaltung durchgeführt werden können.

(aus: DWA-Mitteilung vom 16. Juli 2010)

Altgewässer – Ökologie, Sanierung und Neuanlage (Merkblatt DWA-M 607)

Hrsg. DWA, Hennef 2010, 83 S., 62,- €
(Fördernde DWA-Mitglieder: 49,60 €)
ISBN 978-3-941897

Im Merkblatt werden die ökologischen Charakteristiken von Altgewässern, deren Entstehung, Entwicklung und Bedeutung für Natur und Landschaft sowie ihre Gefährdungen und Beeinträchtigungen durch Nutzungen beschrieben. Eine kurze Wertung mit Folgerungen leitet über zu Empfehlungen für die Sanierung, Neuanlage und den Schutz der Altgewässer. Diskussionsbeispiele bilden den Abschluss.

(aus: DWA-Mitteilung vom 16. Juli 2010)

Abflüsse aus extremen Niederschlägen – Ergebnisse einer Bestandsaufnahme: Hochwasserereignisse und Modellsätze zu ihrer Abbildung

Hrsg. DWA, Hennef 2010, 38 S., 38,- €
(Fördernde DWA-Mitglieder: 30,40 €)
ISBN 978-3-941897-30-4

Für die wasserwirtschaftliche Planung und Steuerung werden belastbare Daten, Szenarien und Modelle zur Bewertung der Extremwerte des Niederschlag-Abfluss-Geschehens auf der Ebene von Einzugsgebieten benötigt, die die Abschätzung extremer Abflüsse möglich machen. Diese Daten bilden eine wesentliche Grundlage für wasserwirtschaftliche Entscheidungen von zum Teil großer Tragweite.

Ein Großteil der den Abfluss prägenden Parameter ist durch ein hoch dynamisches Verhalten charakterisiert. Für die Ermittlung extremer Abflüsse aus extremen Niederschlägen (jeweils Wiederkehrintervalle über 100 Jahre) fehlt Wissen über die Verbindung extremer Niederschlagsdargebote mit realistischen Abfluss-Szenarien.

In dem vorliegenden Themenband werden auf der Basis einer umfassenden Befragung einschlägig tätiger Institutionen in Deutschland, Österreich und der Schweiz praxisnahe Lösungsansätze für Bemessungsfragen in extremen Abflussbereichen zusammengestellt.

Das vorliegende Umfrageergebnis gibt einen Überblick über die Modellvielfalt mit ihren unterschiedlichen Einsatzgebieten, wobei die jeweilige Modelltechnik kurz dargestellt wird.

(aus: Mitteilung DWA vom 7. September 2010)

Wasserpolitik – Zur politischen Theorie, Praxis und Kritik globaler Governance

Petra Dobner
Suhrkamp Verlag, Berlin 2010; 400 S.
ISBN 978-3-518-29558-8 (suhrkamp taschenbuch wissenschaft 1958)

Das Buch macht die komplexen Dimensionen der globalen Wasserkrise sichtbar und verfolgt die Entwicklung von der öffentlichen Daseinsfürsorge zu Strukturen globaler Governance – eine Entwicklung, die eng mit theoretischen Auffassungen über die Bedeutung der Allmende, die beste Art der Gemeinwohlsicherung und die Möglichkeiten politischer Steuerung verknüpft ist. Die empirische Untersuchung der Strukturen des globalen Was-

serpolitiknetzwerkes macht dabei exemplarisch deutlich, dass es gute effizienz- und demokratietheoretische Gründe gibt, den generellen Vertrauensvorsprung für globale Governance einer kritischen Überprüfung zu unterziehen.

(aus: *Suhrkamp Verlagsinformation*, www.suhrkamp.de)

Hochwasserrisikomanagement. Theorie und Praxis

Verlag Vieweg + Teubner, Wiesbaden 2010. 440 S., 242 Abb. u. 40 Tab., 59,95 €

ISBN 978-3-8348-1247-6

Das Lehrbuch soll zur Verbesserung der konzeptionellen Umsetzung der Hochwasservorbeugung und zur Wirksamkeit praktischen Handelns im integrierten Hochwasserrisikomanagement beitragen. Anhand praktischer Beispiele wird gezeigt, dass bei vorausschauendem Handeln viele unnötige Hochwasserschäden verhindert werden können und gleichzeitig ein Beitrag zur Umsetzung der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie geleistet wird.

Hauptkapitel sind: Integriertes Hochwasserrisikomanagement – EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie – Wasserwirtschaftliche Ausgangslage – Hochwasserereignis 2002 – Risikomanagement während des Ereignisses – Schäden und Sofortmaßnahmen – Hochwassernachsorge und Wiederaufbau – Hochwasservorbeugung – Fachliche Umsetzung der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie

(aus: *Mitteilung Verlag Vieweg und Teubner*, www.viewegteubner.de, vom 3. August 2010)

Grundwasser-Überwachungsprogramm: Ergebnisse der Beprobung 2009.

Stand: Juli 2010. Kurzbericht. Hrsg. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe 2010. 88 S. (Grundwasserschutz 41)

Der alljährlich erscheinende Bericht „Grundwasserüberwachungsprogramm: Ergebnisse der Beprobung“ dokumentiert, beschreibt und bewertet den landesweiten Grundwasserzustand für die Grundwasservorräte und die Grundwasserbeschaffenheit.

Bei der Grundwassermenge stützt sich der Bericht auf die Daten von rund 360 Trendmessstellen. Die landesweite Grundwasserbeschaffenheit für natürliche und grundwasserfremde Stoffe wird anhand der Analysendaten von 1.917 Messstellen beschrieben. Die Untersuchungskosten für diese Messstellen trägt das Land. Darüber hinaus stellte die Wasserversorgungswirtschaft Baden-Württembergs im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung aus dem Jahre 2003 Nitratdaten von weiteren 1.587 Messstellen und Pflanzenschutzmitteldaten von 1.523 Messstellen zur Verfügung.

Im Jahr 2009 lag der Schwerpunkt auf der Untersuchung von Pflanzenschutzmitteln und deren Abbauprodukten. Die Nitratproblematik wird umfassend dargestellt, insbesondere auch in Zusammenhang mit der SchALVO (Schutzgebiets- und Ausgleichsverordnung). Ferner wird über Untersuchungen auf organische Spurenstoffe wie LHKW (leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe), BTEX-Aromaten und die Benzinzusatzstoffe MTBE und ETBE berichtet.

Die Ergebnisse sind in Statistiktabellen, Grafiken und thematischen Karten dargestellt und bewertet. Die Belastungsschwerpunkte und Einflussfaktoren werden diskutiert.

Kostenloser Download unter www.lubw.de, Navigationspunkte: Service, Publikationen, Wasser, Grundwasser.

(aus: *Mitteilung LUBW vom August 2010*)

Broschüre zum Klimawandel in Baden-Württemberg

Bereits 1999 startete Baden-Württemberg gemeinsam mit Bayern und dem Deutschen Wetterdienst das Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLIWA). KLIWA soll für den Zeithorizont 2021 bis 2050 die möglichen Auswirkungen der Klimaveränderung auf den regionalen Wasserhaushalt abschätzen, um Anpassungsmaßnahmen für die Wasserwirtschaft entwickeln zu können. 2001 folgte das Projekt „Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung“ (KLARA), in dem Bereiche außerhalb der Wasserwirtschaft betrachtet wurden. Darauf aufbauend begann 2006 das Forschungsprogramm „Herausforderung Klimawandel Baden-Württemberg“, das im März dieses Jahres ausgelaufen ist. Im 2006 veröffentlichten Klimaatlas Baden-Württemberg werden das Klima und die Klimaentwicklung für den Dreißigjahreszeitraum von 1971 bis 2000 beschrieben.

Warme und trockene Sommer, niederschlagsreiche Winter mit Hochwassergefahren sowie Extremwetterereignisse

In Stuttgart erhöhte sich die Zahl der Sommertage beispielsweise von 25 (1953) auf 45 (2009), während die Eistage im gleichen Zeitraum von 25 auf nur noch 15 zurückgingen. Karlsruhe hat schon jetzt circa 60 Sommertage, bis Mitte des Jahrhunderts kann man von 15–20 zusätzlichen Sommertagen ausgehen.

Die Gesamtniederschläge werden sich künftig voraussichtlich kaum ändern, wohl aber die Verteilung der Niederschlagsmengen innerhalb des Jahres.

Bislang haben die Höchstniederschlagsmengen im Winter um bis zu 35 Prozent zugenommen, ebenso die Zahl der Hochwasserereignisse in den letzten 30 Jahren. Auch ist mit einer größeren Hochwassergefahr zu rechnen, ein Jahrhundert-Hochwasser am Neckar könnte bis zum Jahr 2050 15 Prozent mehr Wasser führen als bisher. Die Sommer werden hingegen tendenziell trockener. Dagegen besteht eine größere Wahrscheinlichkeit für häufigere und intensivere Starkniederschläge, die zu Hochwasser, Hangrutschen und Erosionen führen können. Insgesamt ist damit zu rechnen, dass die Extreme in Baden-Württemberg zunehmen.

Zudem sind seit den 1980er Jahren die Zahl der Hageltage von etwa zehn Tagen pro Jahr auf nun 30 bis 40 Tage pro Jahr gestiegen. Fast 40 Prozent der durch Naturereignisse im Land verursachten Schäden wurden von Hagel verursacht. Auch in Zukunft ist mit Stürmen wie „Lothar“ zu rechnen. Eine nur zehn Prozent höhere Windgeschwindigkeit wird zu einer Verdreifachung der Schäden führen, wie die Forschungsergebnisse zeigen.

Klimawandel bietet auch Chancen

Während sich in der Landwirtschaft der Ackerbau relativ rasch durch eine neue Sortenwahl auf Klimaänderungen einstellen kann, muss im Obstbau und beim Forst die Sortenwahl auf die zukünftige Entwicklung vorausschauend abgestellt werden. In Landwirtschaft und Weinbau kann der Klimawandel auch Chancen bieten. So könnten bessere Anbaubedingungen für anspruchsvollere Rebsorten dem Weinbau positive Entwicklungsmöglichkeiten eröffnen. Auch der Sommertourismus kann von der Zunahme der Bade- und Wandertage profitieren. Touristen könnten die ersten Badetage zukünftig 14 bis 21 Tage früher im Jahr genießen oder den Badeurlaub drei bis vier Wochen nach hinten verschieben. Schlechter sind dagegen die Aussichten für Wintersportler. In den Gipfellagen des Schwarzwaldes wird mit 25 bis 44 Prozent weniger Schneetagen bis zur Mitte dieses Jahrhunderts gerechnet.

Die Broschüre kann über die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, Internet: www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/67972) bezogen werden.

(aus: *Pressemitteilung Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg vom 16. August 2010*)

Ökonomische Bewertung naturverträglicher Hochwasservorsorge an der Elbe

Bei traditionellen Kosten-Nutzen-Analysen schneiden Hochwasserschutzmaßnahmen, die auch dem Naturschutz zugute kommen, vergleichsweise schlecht ab, denn die Analysen betrachten nur die Hochwasser senkende Wirkung. Mit der vorliegenden Studie wurde eine Methodik erarbeitet, die auch die Wirkung der Auen als Lebensraum für Pflanzen und Tiere, als Erholungsraum für die Menschen und als Filter für Schadstoffe und damit zusätzlich den ökonomischen Nutzen von verschiedenen Ökosystemfunktionen quantitativ erfasst.

Die Wissenschaftler wählten einen ökonomischen Ansatz, um das Nutzen-Kosten-Verhältnis naturverträglicher Maßnahmen an der Elbe einschätzen zu können. Ein Wert über 1 bescheinigt dabei einen volkswirtschaftlichen Mehrwert. Die umfangreichste der untersuchten Deichrückverlegungsvarianten, bei der rund 35.000 Hektar Überflutungsflächen an der Elbe zurück gewonnen werden, erreicht einen positiven Wert von 3,1. Ein solches Programm würde durchschnittliche jährliche Kosten von 18 Millionen Euro verursachen. Der ermittelte Nutzen beläuft sich auf das Dreifache und setzt sich unter anderem aus den vermiedenen Hochwasserschäden von im Durchschnitt 6 Millionen Euro pro Jahr und den eingesparten Kosten durch eine Verkürzung der zu unterhaltenden Deichlinie von 5 Millionen Euro pro Jahr zusammen. Hinzu kommen die Einsparungen für ansonsten an anderer Stelle erforderliche Maßnahmen zur Minderung der Nährstofffracht der Elbe (z. B. durch Nutzungseinschränkungen in der Landwirtschaft oder Steigerung der Reinigungsleistung von Kläranlagen), die zur Erreichung der festgelegten Ziele der Wasserrahmenrichtlinie erforderlich sind, in Höhe von 16 Millionen Euro pro Jahr. Ferner wurde die Wertschätzung der Bevölkerung für den Erhalt von natürlichen Auenlandschaften, die mittels der Zahlungsbereitschaft erfasst wurde, mit einem jährlichen Wert von 30 Millionen Euro berücksichtigt.

Die Resultate der Kosten-Nutzen-Analyse zeigen deutlich: Betrachtet man nur die Hochwasserschutzwirkung, würden naturverträgliche Deichrückverlegungen ein negatives Nutzen-Kosten-Verhältnis aufweisen. Berücksichtigen Entscheidungsträger auch den zusätzlichen Nutzen, der sich aus der Naturschutz- und Gewässerschutzwirkung von Deichrückverlegungen ergibt, ist mit einem positiven Nutzen-Kosten-Verhältnis zu rechnen. Deichrückverlegungen sind dann nicht nur naturschutzfachlich, sondern auch volkswirtschaftlich sinnvoll. Es ist davon auszugehen, dass eine begrenzte Zahl technischer Schutzmaßnahmen mit starker Hochwasserschutzwirkung an ausgewählten Stellen kombiniert mit großflächigen Auenreaktivierungen mit ihren vielfältigen ökologischen Vorteilen zu einem besonders wirkungsvollen und ökonomisch effizienten Schutzprogramm führen. Mit der Wiederherstellung von naturnahen Auen kann somit in Deutschland ein effizienter Beitrag zur Umsetzung der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt geleistet werden.

Mit der Studie verdeutlicht das Bundesamt für Naturschutz (BfN) in einem konkreten Anwendungsfall den ökonomischen Wert von Naturschutz. Das Untersuchungsergebnis unterstreicht dabei auch die zentrale Aussage des TEEB-Berichtes (The Economics of Ecosystems and Biodiversity), dass sich Naturschutz volkswirtschaftlich lohnt. Das internationale Forschungsprojekt ermittelte, dass die Schutzgebiete der Erde jährlich Ökosystemdienstleistungen im Wert von 4,4–5,2 Bio. USD erbringen, wohingegen jährlich nur Investitionen in Höhe von etwa 45 Mrd. USD für den Erhalt der Ökosysteme notwendig wären. Der Forderung des TEEB-Berichtes, dass Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen in Zukunft deshalb bei allen relevanten Entscheidungen systematisch in Kosten-Nutzen-Analysen einbezogen werden müssen, kommt das BfN mit der Studie „Ökonomische Bewertung naturverträglicher Hochwasservorsorge an der Elbe und ihren Nebenflüssen“ entgegen. (Weitere Informationen zu TEEB abrufbar unter www.teebweb.org)

Die Studie kann bezogen werden bei: BfN-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag Münster, www.lv-h.de/bfn.

(aus: *Pressemitteilung Bundesamt für Naturschutz vom 18. August 2010*)

Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft

Das Kooperationsvorhaben „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLIWA) der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz und des Deutschen Wetterdienstes befasst sich seit 10 Jahren länderübergreifend mit den Herausforderungen durch den Klimawandel hinsichtlich Wasserbewirtschaftung und Konsequenzen für Hochwasserschutz und Wasserversorgung. Der Tagungsband enthält zu den sechs Themenschwerpunkten die Langfassungen der Vorträge des KLIWA Symposiums „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ im Dezember 2009. Auch Erkenntnisse aus vergleichbaren Vorhaben anderer Institutionen und Länder werden in der Publikation vorgestellt.

Die KLIWA-Publikation kann bestellt werden unter www.kliwa.de.

(aus: *Mitteilung Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz vom 20. August 2010*)

Termine

Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium 2010

7. Oktober 2010 in Darmstadt

Information: www.wasserbau.tu-darmstadt.de

Risiko und Sicherheit in der Wasserwirtschaft

19. Oktober 2010 in Neubiberg

Information: www.unibw.de/ifw/Institut/Veranstaltungen

Forschung für nachhaltige Entwicklungen – International

7. BMBF-Forum für Nachhaltigkeit

2.–4. November 2010 in Berlin

In rund 20 Sessions diskutieren die internationalen Teilnehmerinnen und Teilnehmer Projekte, Ideen und Herangehensweisen zur nachhaltigen Entwicklung. Es werden Best-Practice-Beispiele vorgestellt, neue Lösungen erkundet und die internationale Vernetzung der Forschungsgemeinschaft vorangetrieben. Schwerpunkte des diesjährigen Forums – an denen sich die Sessions orientieren – sind die Themen:

Internationale Zusammenarbeit

Klima und Energie

Wasser und Ressourcen

Information: www.fona.de/forum-2010/programm

Neobiota – Auswirkungen auf heimische Fließgewässer

4. November 2010 in St. Pölten, Österreich

Information: www.oewav.de

IWRM – Integrated Water Resources Management 2010

24./25. November 2010 in Karlsruhe

Information: www.iwrm-karlsruhe.com

The Global Dimensions of Change in River Basins

6.–8. Dezember 2010 in Bonn

Information: www.gwsp.org/66.html

41. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen (IWASA)

11./12. Januar 2011 in Aachen

Information: www.iww.rwth-aachen.de

24th European Regional Conference on Groundwater Management

14.–16. März 2011 in Orléans, Frankreich

Information: www.groundwater-2011.net

Status and Future of the World's Large Rivers

11.–14. April 2011 in Wien

Information: <http://worldslargerivers.boku.ac.at/wlr/>

Weather Radar and Hydrology

18.–21. April 2011 in Exeter, United Kingdom

Information: www.wrah2011.org/

Cities of the Future: Sustainable Urban Planning and Water Management

22.–25. Mai 2011 in Stockholm

Information: www.cof2011stockholm.org

Erläuterung zur Titelseite

Basisstation des hydrologischen Untersuchungsgebietes Schäferbach

Im Einzugsgebiet der oberen Selke im Harz wurden im Rahmen der Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) der UNESCO ab 1968 ein landwirtschaftlich genutztes Kleineinzugsgebiet (Schäferbachtal, $AE = 1,44 \text{ km}^2$) und ein bewaldetes Gebiet (Waldbachtal, $AE = 0,44 \text{ km}^2$) als Versuchsgebiete ausgerüstet. Beide Täler werden durch unterirdische Sperrmauern abgeschlossen, so dass der Gebietsabfluss über Messwehre erfasst werden kann. Zur Registrierung der Grundwasserstände dienen 78 Grundwasserbeobachtungsrohre, die in Querprofilen bzw. an repräsentativen Standorten angeordnet sind. Der Niederschlag wird durch Regenschreiber in den Einzugsgebieten sowie durch Regenmesser in Normalaufstellung und in Bodenniveau ermittelt. Die Wasseräquivalente fester Niederschläge werden an mehreren Standorten mit unterschiedlicher Vegetationsbedeckung und Exposition am Boden erfasst. Eine Klimastation für die Messung der meteorologischen Standarddaten liegt im Einzugsgebiet des Schäferbachtals.

Ziele der hydrologischen Untersuchungsgebiete sind:

- Erfassung des Einflusses von Landnutzungsänderungen und Interaktionen, insbesondere im System Boden-Pflanze-Atmosphäre und Oberflächenwasser-Grundwasser
- Ermittlung von Bilanzen und räumlichen und zeitlichen Mustern von Energie- und Stoffflüssen im System Boden-Pflanze-Atmosphäre
- Bereitstellung qualitativ hochwertiger Daten für die Validierung von Modellkonzepten (z.B. inverse Modellierung, sto-



Basismessstation des hydrologischen Untersuchungsgebietes Schäferbach

Foto: H. John, Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Wasser- und Kreislaufwirtschaft

chastische Ansätze zur Datenzusammenführung) und up-scaling-Theorien zur Schätzung effektiver Parameter, Flüsse und Zustandsvariablen auf verschiedenen Skalen.

Betreiber der hydrologischen Untersuchungsgebiete ist der Fachbereich Wasser- und Kreislaufwirtschaft der Hochschule Magdeburg-Stendal.

Frido Reinstorf; Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Wasser- und Kreislaufwirtschaft