

Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Hydrology and Water Resources Management



Berechnung des Flurabstandes des oberflächennahen Grundwassers der Waldfläche Brandenburgs

Tritiumbilanzierung und Speicherermittlung im Wesergebiet unter Verwendung des hydrologischen Modellsystems WaSiM-ETH

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 Brahmer,
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

Stephan Hannappel und Winfried Riek

Berechnung des Flurabstandes des oberflächennahen Grundwassers der Waldfläche Brandenburgs für hydrologisch typische Zeiträume
Computation of the depth to shallow groundwater tables in the forest areas of Brandenburg for typical hydrological periods

4

Peter Hoffmann, Paul Königer, Franz-Josef Kern, Jörg Schulla, Christian Leibundgut, Peter Krahe und Werner Speer

Tritiumbilanzierung und Speicherermittlung im Wesergebiet unter Verwendung des hydrologischen Modellsystems WaSiM-ETH im Vergleich mit früheren Arbeiten
Studies on tritium balances and storage behaviour in the Weser river basin using the WaSiM-ETH model system in comparison with earlier approaches

16

Hydrologische Notizen | Hydrological notes

UN Wasserforum | UN Water forum

30

Tagungsberichte | Reports on scientific events

34

Projektbericht | Project report

42

Aktuelles | Latest news

43

Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften | Association for Hydrological Sciences

47

Nachrichten | News

Personen | People

48

Neue Publikationen | New publications

49

Termine | Events

51

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

Stephan Hannappel und Winfried Riek

Berechnung des Flurabstandes des oberflächennahen Grundwassers der Waldfläche Brandenburgs für hydrologisch typische Zeiträume

Computation of the depth to shallow groundwater tables in the forest areas of Brandenburg for typical hydrological periods

Für die Waldfläche Brandenburgs wurde innerhalb von Gebieten mit ungespanntem und oberflächennahem Grundwasser der Flurabstand als Differenz der Grundwasserdruckfläche zur Geländeoberfläche berechnet. Besondere Aufmerksamkeit wurde der digitalen Aufbereitung der Datenbasis gewidmet, um die Arbeiten fachlich nachvollziehbar und für spätere Zeitpunkte mit verbesserten oder aktualisierten Datengrundlagen reproduzierbar zu gestalten. Die Grundwasserflurabstände wurden für vier hydrologisch typische Zeiträume berechnet, an denen in der Vergangenheit in Brandenburg jeweils Hoch- bzw. Niedrigwasserverhältnisse bestanden. Neben terminbezogen gemessenen Grundwasserständen und Pegelständen der oberirdischen Gewässer wurden in großem Umfang auch weitere Wasserstände in die Bearbeitung integriert, die auf die gesuchten Zeiträume mittels eines statistischen Verfahrens transformiert wurden. Die Ergebnisse fließen in ein Verbundvorhaben am Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde ein, wo sie der Bearbeitung forstökologischer und waldbaulicher Fragestellungen dienen sollen.

Schlagwörter: Geländehöhenmodell, Geostatistik, gespanntes Grundwasser, Grundwasserflurabstand, Regionalisierung, Waldfläche

The depth to shallow groundwater tables in the forest areas of the state of Brandenburg was computed within areas of unconfined groundwater as the difference between the groundwater level and the ground-surface level. Special attention had been dedicated to the digital processing of the data in order to make the investigations technically comprehensible and reproducible for future uses with better or updated data. The depth to the groundwater table was computed in four typical hydrologic reference periods when flood or low water had prevailed. In addition to fixed-day measurements of groundwater and surface water levels, other water-level data were also integrated in the analysis and were related to the reference periods by statistical methods. The results are used in an interdisciplinary project of the Eberswalde Forestry Competence Centre, where they are used to solve forest-ecological and silvicultural problems.

Keywords: Depth to groundwater table, digital elevation model, forest area, geostatistics, groundwater tension, regionalisation

1 Einleitung

Ziel der Untersuchungen war es, die Grundwasserflurabstände des oberflächennahen und ungespannten Grundwassers in Brandenburg für die forstlich genutzten Flächen unter Berücksichtigung klimatischer Einflüsse zu ermitteln, um damit forstökologische Fragestellungen zukünftig optimal bearbeiten zu können. Für die gesamte Landesfläche Brandenburgs wurde davon ausgegangen, dass das oberflächennahe Grundwasser innerhalb der Lockergesteine des nordostdeutschen Tieflandes hydraulisch großräumig verbunden ist.

Die Arbeiten wurden im Auftrag des Landeskompetenzzentrums Forst Eberswalde durchgeführt, wo entsprechende Angaben für die Wasserhaushaltsmodellierung und Neuordnung der Forstlichen Wuchsgebiete Brandenburgs benötigt werden. Sie sind dort eingebunden in das Projekt „Regionalisierung standortsbezogener Kennwerte unter besonderer Berücksichtigung von Klimaszenarien zur Ableitung dynamischer Wuchsräume“ (RIEK 2010).

Die Kenntnis der Grundwasserflurabstände ist forstökologisch von großer Bedeutung. Sie ermöglicht z.B. eine Einschätzung, an welchen Standorten das Grundwasser Einfluss auf das Wachstum und die Vitalität der Bestände hat. Dieser Einfluss hängt von der artspezifischen Durchwurzelungstiefe der Vegetation und vom kapillaren Aufstiegsvermögen als Funktion der physikalischen Bodeneigenschaften und somit maßgeblich von der Bodenart ab

(RIEK 2001). Der sog. Grenzflurabstand, bei dem Grundwasser – je nach Baumart – für die Pflanze nutzbar ist, kann bis zu vier Meter betragen. Vor allem in Feuchtbiotopen ist die Vegetation in ihrem Wasserbedarf auf die kontinuierliche und weitgehend gleich bleibende Nachlieferung aus dem Grundwasser angewiesen. Der Terminbezug ist bei der Ermittlung des Flurabstandes ebenso wie bei der Bestimmung der Grundwasseroberfläche eine unverzichtbare Größe, da das Grundwasser in Brandenburg klimatisch bedingt saisonal um mehrere Dezimeter bis Meter schwanken kann.

Zum Verständnis und zur Einordnung der Arbeiten innerhalb des norddeutschen Lockergesteinsgebietes wird darauf verwiesen, dass der Flurabstand des Grundwassers nach DIN 4049 der lotrechte Höhenunterschied zwischen der Geländeoberkante und der Grundwasseroberfläche des obersten Grundwasserleiters ist. Wird der Grundwasserleiter von schlecht durchlässigen, bindigen Schichten (Grundwasserhemmern wie z.B. Geschiebemergel) derart überlagert, dass das Grundwasser nicht so hoch ansteigen kann, wie es seinem hydrostatischen Druck entspricht, liegt gespanntes Grundwasser vor. Hier ist der Grundwasserflurabstand (im Folgenden vereinfacht: Flurabstand) der lotrechte Höhenunterschied zwischen der Geländeoberkante und der Unterkante des grundwasserhemmenden Geschiebemergels, der den Grundwasserleiter überlagert (HANNAPPEL & LIMBERG 2007). Diese Gebiete wurden von der Bearbeitung ausgenommen (s. Kap. 3), da die bedeckten und gespannten Grundwasserleiter nicht zur Wasserversorgung der Bäume beitragen können.

2 Bezugsflächen zur Bestimmung des Grundwasserflurabstandes

2.1 Waldfläche

In Brandenburg sind derzeit etwa 37 % der 29.640 km² Landesfläche mit Wald bedeckt. Diese insgesamt bearbeitete, etwa 10.917 km² große Waldfläche ist in sehr unregelmäßigen Clustern und mit einer großen räumlichen Heterogenität über die gesamte Landesfläche verteilt (s. Abb. 3). Die Berechnung der Flurabstände für die Waldfläche erfolgte rasterpunktbezogen. Hierzu wurden diejenigen Punkte im 100 x 100 m-Raster ermittelt, für welche auf der Forstgrundkarte der Landesforstverwaltung Holzbodenfläche ausgewiesen ist. Die kartografische Darstellung in Abbildung 3 basiert auf diesem Raster aller im Wald liegenden Punkte. Nicht alle waldbedeckten Einzelflächen sind in der Karte aufgrund der komprimierten Darstellung erkennbar. Umgekehrt erscheinen viele der grün dargestellten Waldflächen als zusammenhängende Areale, obwohl sie in der Natur von mehr oder weniger großen Nichtholzbodenflächen umgeben sind.

2.2 Geländeoberfläche

Als digitales Geländehöhenmodell wurde das im Auftrag des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR) Brandenburg optimierte DGM 25 der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg verwendet (SCILANDS 2007). Der Abstand der Gitterpunkte beträgt hier 25 m. Das DGM 25 wurde durch Digitalisierung von Höhenlinien, markanten Höhenpunkten, Uferlinien und Böschungen sowie durch photogrammetrische Stereoauswertung von Luftbildern erstellt. Ziel der Optimierung des DGM 25 war es, den Qualitätsanforderungen einer bodenkundlich orientierten Reliefanalyse gerecht zu werden. Wegen der relativ geringen Informationsdichte der ursprünglichen Höhendaten wurden viele real vorhandene Reliefdetails nicht abgebildet. Hier wurde das DGM 25 durch ein DGM aus Laserhöhenmessungen ersetzt. Diese weisen die höchste Qualität auf. Die in den übrigen Gebieten vorhandenen Probleme (Rundung der Höhenwerte auf 0,1 m, Pseudoterrassen, Dreiecksfazetten, anthropogene Reliefformen usw.) wurden zumeist beseitigt. Abbildung 1 zeigt in Form einer Übersichtskarte die Höhenwerte, die als Eingangsdaten zur Ermittlung des Flurabstandes verwendet wurden. Deutlich erkennbar sind die ausgeprägten Niederungsgebiete im Osten des Landes (Oderbruch, Berliner Urstromtal) mit Höhen von 30 m ü. NN und weniger sowie morphologische Höhenzüge im Südwesten, z.B. Hoher Fläming, Lausitzer Grenzwall.

Die Höhengenaugkeit des DGM 25 liegt unterhalb von -1 bis 3 Meter. Die größeren Ungenauigkeiten liegen im Bereich hügeligen Reliefs vor, in denen fast immer auch höhere Flurabstände des Grundwassers zu erwarten sind. In den Niederungen hingegen mit oberflächennah anstehendem Grundwasserstand ist die Höhengenaugkeit des DGM 25 besser. Die Genauigkeit des DGM bestimmt maßgebend die Qualität des zu berechnenden Flurabstandes, da die Geländemorphologie deutlich kleinräumigeren Schwankungen ausgesetzt ist als die Grundwasserdruckfläche.

2.3 Gebiete mit gespanntem oberflächennahem Grundwasser

Die flächendeckende digitale Ermittlung von Gebieten mit gespanntem Grundwasser in Brandenburg war notwendig, da diese Information nicht vorlag. Die derzeit von der Landesgeologie durchgeführte und digital verfügbare hydrogeologische Kartie-

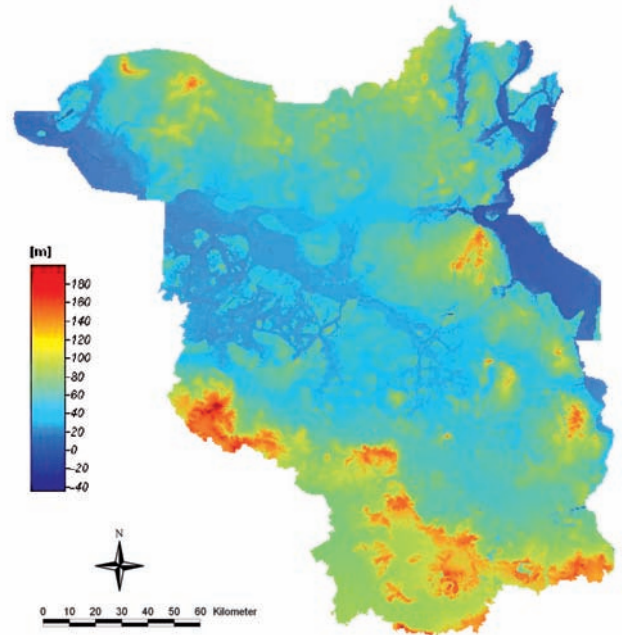


Abbildung 1
Übersichtskarte des Geländehöhenmodells DGM 25 in Brandenburg
Survey map of the digital elevation model DGM 25 of Brandenburg

rung im Maßstab 1:50 000 (LBGR 2009) enthält diese Informationen zwar, ist aber aktuell nur für etwa die Hälfte der Landesfläche abgeschlossen.

Ersatzweise wurden daher digital verfügbare und vom LBGR übergebene Daten der „Karte der Grundwassergefährdung“ (VOIGT 1987) herangezogen. Als gespannt ausgewählte wurden zunächst alle in dieser Karte dargestellten Flächen mit Ausnahme der dunkelgrün markierten Einheit. Dies geschah, um in diesen Bereichen mit geringen Flurabständen die aktuell ermittelten Informationen berücksichtigen zu können. In allen übrigen Gebieten kann mit großer Wahrscheinlichkeit von gespanntem flurfernem Grundwasser unter Deckschichten ausgegangen werden, so dass dort die in Grundwassermessstellen gemessenen Wasserstände nicht repräsentativ für den Flurabstand sind.

Vielmehr können dort Daten aus der Forstlichen Standortskarte wertvolle Informationen zu ggf. saisonal pflanzenverfügbarem Schichtenwasser liefern. Ergänzt wurden die in Abbildung 2 dokumentierten Informationen um Daten der aktuellen geologischen Übersichtskarte im Maßstab 1:300 000 (LGRB 1997), und zwar vor allem in den sog. Stauchungsgebieten. Das sind Stauchendmoränenbereiche, die anhand der geologischen Kartierung der vergangenen Jahre erkannt wurden.

Abbildung 2 zeigt das resultierende Bild der rot schraffierten Gebiete mit gespanntem Grundwasser zusammen mit den Waldflächen (grün), die im Vergleich zur Gesamtfläche des Landes Brandenburg leicht unterrepräsentiert gespannte Gebiete aufweisen, z.B. in der intensiv landwirtschaftlich genutzten Uckermark im Nordosten des Landes mit vorwiegender Grundmoränenbildung an der Erdoberfläche. Insgesamt ergibt sich eine Fläche von 11.302 km² mit gespanntem Grundwasser, das sind 38 % der Landesfläche und 31 % der gesamten Waldfläche. Es verbleiben also 69 % der Waldfläche für die rasterpunktbezogene Berechnung des Flurabstandes.

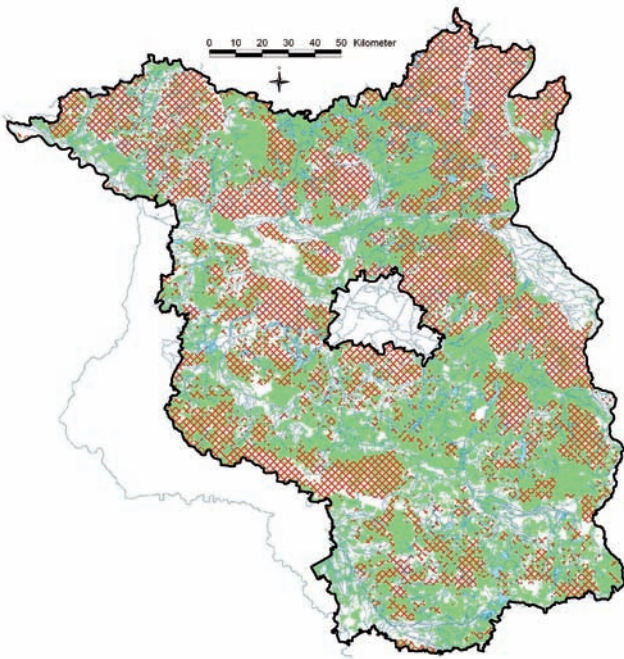


Abbildung 2

Gebiete mit gespanntem Grundwasser (rot schraffiert) innerhalb und außerhalb der Waldflächen

Areas with confined groundwater within and outside of forest areas

3 Datenbasis und Methodik zur Ermittlung des Flurabstandes

3.1 Terminbezogen gemessene Wasserstände des Grundwassers und von oberirdischen Gewässern

Wichtigste Datenbasis zunächst zur Konstruktion der Grundwassergleichen waren die Grundwassermessstellen des Landesumweltamtes (LUA), da nicht nur einmalige, sondern turnusmäßig aus z.T. sehr langen Zeiträumen erhobene Messwerte vorliegen. Hierdurch steigt die Plausibilität der Messwerte im Vergleich zu Einzelmessungen, wenn auch die z.T. technologisch bedingten Nachteile der Verwendung von älteren Grundwasserständen in Kauf genommen werden müssen.

Mit den Daten kann außerdem eine Abschätzung langfristig wirksamer Trends der Grundwasserstände vorgenommen werden (s. Kap. 3.3). Zudem liegen fast immer relativ zuverlässige Stammdaten vor, die eine Selektion aufgrund der Tiefe des Filterausbaus ermöglichen. Alle Messwerte von Messstellen, die tiefer als 50 Meter unter GOK verfiltert sind, wurden verworfen. Insgesamt sind es ca. 4.900 über das ganze Land verteilte Messstellen (s. Abb. 3). Etwa 2.500 davon werden noch aktuell gemessen. Die Messwerte der übrigen ca. 2.400 sog. Archivmessstellen wurden gleichberechtigt für die Bearbeitung herangezogen. Hier musste eine Transformation der terminbezogenen vorliegenden Messwerte auf die gewünschten Stichzeiträume, für die der Flurabstand bestimmt werden sollte, durchgeführt werden (s. Kap. 3.3). Ohne diese Transformation wäre die Datengrundlage für die geostatistische Regionalisierung wesentlich geringer ausgefallen.

Die Datenbasis beinhaltet außerdem Messwerte aus unterschiedlichen Tiefen des betreffenden Grundwasserleiters am Standort, also einem sog. Mehrfachausbau. An diesen etwa 300

Standorten wurde immer der Messwert übernommen, der sich auf die oberste Filterstrecke bezieht. Bedeutung hat dies vor allem bei einem heterogenen Untergrundaufbau mit Wechsellaagerungen von rolligen und bindigen Schichten. Aber auch bei mächtigen und relativ homogenen Grundwasserleitern wurden jeweils die Messwerte verwendet, die sich auf die oberste Filterstrecke beziehen.

Wasserstände oberirdischer Gewässer wurden ebenso genutzt. Die Voraussetzung zur Berücksichtigung der Pegelmesswerte für die Ermittlung des Flurabstandes ist der hydraulische Kontakt – ob influent oder effluent – an der Uferlinie, also dem Kontaktsaum zwischen Grundwasser und den oberirdischen Gewässern. Dieser ist bei ungespanntem Grundwasser für den oberen Grundwasserleiterkomplex in Brandenburg (MANHENKE et al. 1995) immer gegeben. Nur in Gebieten mit gespanntem Grundwasser fließen die oberirdischen Gewässer ohne hydraulischen Kontakt zum Grundwasser auf den bindigen Substraten.

Vom LUA wurden die Stamm- und Messdaten der Pegel an den oberirdischen Gewässern digital zur Verfügung gestellt. Die Wasserstände von 428 regelmäßig beobachteten Pegeln gingen in die Auswertung ein. Im Falle von Mehrfachmessungen an einem Standort (Ober- bzw. Unterpegel) wurden die Mittelwerte berechnet. Die Bedeutung der Pegelmesswerte liegt vor allem in ihrer Verwendbarkeit zur Transformation der nicht terminbezogenen Wasserstände aus topografischen Karten (s. Kap. 3.2).

3.2 Ergänzende stützstellenbezogene Informationen

Ergänzend zu den terminbezogen gemessenen Wasserständen der oberirdischen Gewässer wurden vor dem Hintergrund ihrer räumlichen Bedeutung für die anschließende Regionalisierung mit geostatistischen Werkzeugen Wasserstände, die aus der to-

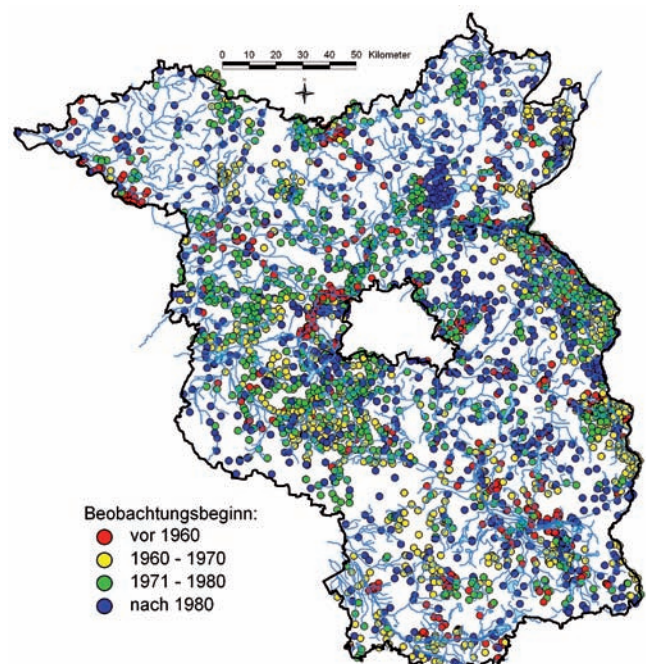


Abbildung 3

Beobachtungsbeginn für die Grundwassermessstellen des LUA Brandenburg

Beginning of measurements at the monitoring stations of LUA Brandenburg

pografischen Karte im Maßstab 1:10 000 (TK 10) abgeleitet wurden, verwendet. Das sind langfristige Mittelwasserstände, die dementsprechend transformiert werden mussten (s. Kap. 3.3).

Abbildung 4 zeigt einen Ausschnitt mit ausschließlich digitalisierten Gewässerhöhenpunkten, der mehrere Abschnitte von in- in- einander mündenden oberirdischen Gewässern enthält. Erkennbar ist, dass auch Punkte in die Nähe kleinerer Standgewässer aus der TK 10 gesetzt werden konnten. Alle Gewässerhöhenpunkte wurden auf ihre hydraulische Plausibilität und Verwendbarkeit im regionalen Zusammenhang mit benachbarten Grundwasserstandsdaten bzw. Grundwassergleichenlinien geprüft.

Zusätzlich wurden weitere Informationen zur Ermittlung der Grundwassergleichen bei verschiedenen Institutionen mit einbezogen (s. Übersicht in Kap. 4.1):

- terminbezogen gemessene Grundwasserstände von Messstellen der Senatsverwaltung in Berlin zur Stützung des Berechnungsergebnisses an der Landesgrenze zu Berlin
- terminbezogen gemessene Grundwasserstände von Messstellen des LUA im hydraulischen Einzugsbereich der Absenkungen in Folge des Braunkohlebergbaus in der Lausitz
- terminbezogen gemessene und transformierte Grundwasserstände von Messstellen einzelner Wasserversorgungsunternehmen in Brandenburg
- terminbezogen gemessene und transformierte Grundwasserstände von Messstellen im Zusammenhang mit Trinkwasserschutzzonen-Bemessungen
- terminbezogen gemessene und transformierte Grundwasserstände von Messstellen innerhalb des Biosphärenreservates Schorfheide
- terminbezogen gemessene und transformierte Grundwasserstände im Zusammenhang mit der Erstellung von Grundwassergleichenplänen in Teilbereichen des Landes
- Stützstellen, die aus einem landesweit, aber nicht stichtagsbezogen vorliegendem Grundwassergleichenplan des LBGR abgegriffen und lokal mit stichtagsbezogen in der Nähe vorliegenden Messwerten transformiert wurden.

3.3 Hydrologisch typische Zeiträume und Transformation von Messwerten

Die für die klimatischen Einflüsse typischen Zeiträume mit hydrologisch signifikant unterschiedlichem Verhalten wurden anhand einer statistischen Analyse auf Basis von Messreihen langjährig beobachteter Grundwassermessstellen ermittelt. Ausgewählt werden sollten zur Abdeckung der interannuellen (gesamtzeitraumbezogenen) bzw. intraannuellen (innerjährlichen) Schwankungsbreiten jeweils Trocken- und Feuchtzeiträume mit zu erwartenden minimalen bzw. maximalen Flurabständen. Darauf aufbauend wurden die sog. Stichzeiträume zur Ermittlung des Flurabstandes festgelegt.

Datenbasis hierfür waren die Zeitreihen der gemessenen Grundwasserstände der LUA-Messstellen, da zu ihnen aus einem z.T. sehr langen Zeitraum Messwerte vorliegen (s. Abb. 4). Um die in den verschiedenen Regionen und Höhenlagen des Landes gemessenen Grundwasserstände untereinander vergleichen und in Beziehung setzen zu können, war es notwendig, eine höhenunabhängige Standardisierung der Messwerte vorzunehmen. Erst mit diesen Werten kann das Ziel der Identifizierung von hydrologisch und klimatisch typischen Hoch- und Niedrigwasserzeiträumen erreicht werden.

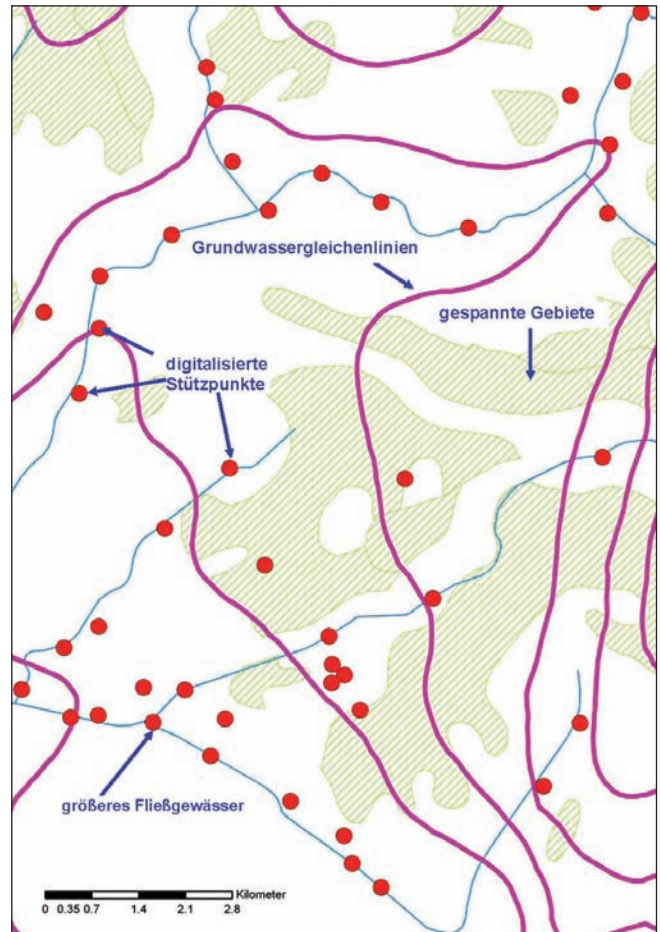


Abbildung 4

Schematische Darstellung der Digitalisierung von Stützstellen an oberirdischen Gewässern

Scheme of the digitized surface-water interpolation points

Dies erfolgte methodisch durch die doppelte Mittelwertbildung. Dazu wurde für jede Messstelle – unabhängig von der Länge der Messreihe – der arithmetische Mittelwert des Grundwasserstandes im absoluten Höhensystem (m ü. NN) ermittelt. Danach wurden von diesem Mittelwert die terminbezogen vorliegenden Messwerte subtrahiert. Abschließend werden alle in der Zeitreihe vorkommenden Tages- bzw. Terminwerte – also mindestens der 1., 8., 15. und 22. Tag des Monats – messstellenbezogen mit den Abweichungsbeträgen belegt und pro Termin von allen Messstellen der Mittelwert der Abweichungen ermittelt. Dieser gibt Auskunft darüber, wie sich die Grundwasserstände langfristig entwickelt haben.

Zur Festlegung der gesuchten Zeiträume wurden die Abweichungsbeträge von 759 Messstellen mit kompletten Messwerten von 1960 bis 2008 herangezogen. Abbildung 5 zeigt im zeitlichen Verlauf dazu die mittlere Ganglinie (blaue Kurve) sowie den linearen, statistisch allerdings nicht signifikanten, regional für Brandenburg typischen Trend (rote Linie) mit den hieraus abgeleiteten vier Zeiträumen. Tabelle 1 dokumentiert dazu die nach Niederung mit zumeist unbedeckten und Hochfläche mit zumeist bedeckten Grundwasserleitern differenzierten sowie die gesamten absoluten Abweichungsbeträge.

Im April 1970 lagen die Grundwasserstände 0,63 Meter oberhalb des langjährigen Mittels, die Unterschiede zwischen Niederun-

Tabelle 1

Abweichungen der typischen Stichzeiträume für Hoch- und Niedrigwasser
Deviations during the typical reference periods for flood and low water

Monatsbezogener Zeitraum	Klimatische bzw. hydrologische Charakteristik	Abweichungsbetrag Niederung	Abweichungsbetrag Hochfläche	Abweichungsbetrag gesamt
April 1970	Interannuelles Hochwasser	0,55 m	0,66 m	0,63 m
Oktober 2006	Interannuelles Niedrigwasser	-0,32 m	-0,42 m	-0,39 m
April 2008	Intraannuelles Hochwasser	0,30 m	0,10 m	0,16 m
Oktober 2008	Intraannuelles Niedrigwasser	-0,20 m	-0,26 m	-0,24 m

gen und Hochflächen sind im Vergleich dazu gering ausgeprägt. Die Festlegung dieses sehr lange zurück liegenden Zeitraumes als typisch für interannuelle (oder absolute) Grundwasserhöchststände führt zu dem Nachteil, dass der Anteil der zu diesem Zeitraum tatsächlich gemessenen Messwerte relativ gering und dementsprechend der Anteil der zu transformierenden Messwerte relativ hoch ist. Das führt zu Unsicherheiten, die jedoch aufgrund der Bedeutung der absoluten Grundwasserhöchststände für den Flurabstand mit entsprechend niedrigen Werten in Kauf genommen wurden.

Für die übrigen drei ermittelten Stichzeiträume gelten diese Nachteile nicht, da sie alle relativ aktuell und damit gut mit real gemessenen Wasserständen belegt sind. Im Oktober 2006 liegen die Grundwasserstände 0,39 Meter unterhalb des langjährigen Mittels, im Hochflächenbereich ist diese Differenz noch etwas deutli-

cher ausgeprägt. Die beiden aktuellen Zeiträume zur Untersuchung der intraannuellen Unterschiede (April und Oktober 2008) zeigen eine Schwankungsamplitude von durchschnittlich 0,40 Meter, das Hochwasser ist im April in den Niederungen deutlicher ausgeprägt als im Bereich der Hochflächen.

Die in Tabelle 1 für die vier Stichzeiträume dokumentierten Werte wurden als Korrekturfaktoren (Zu- bzw. Abschläge) zur hydrogeologisch – je nach Lage der Messstellen in den Niederungen oder auf den Hochflächen – differenzierten Transformation von Messwerten des Grundwasserstandes herangezogen, die zu jedem anderen Zeitpunkt zwischen 1970 und 2008 vorlagen. Hierdurch konnte eine methodisch akzeptable und erhebliche Erweiterung der Datenbasis in den nicht beobachteten Gebieten erreicht werden.

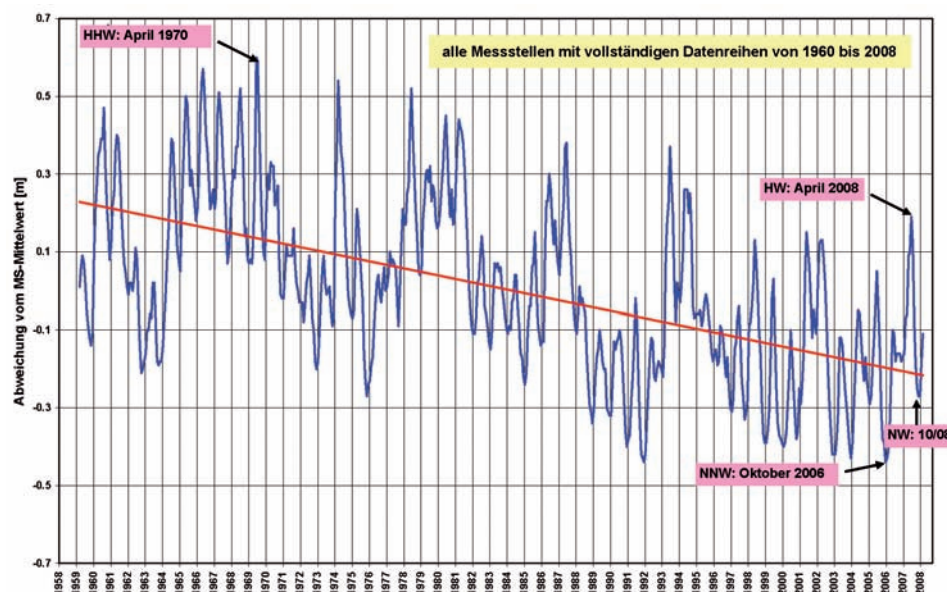


Abbildung 5

Identifizierung der typischen Stichzeiträume für Hoch- und Niedrigwasser
Identification of the typical reference periods for flood and low water

Tabelle 2

Abweichungen der Stichzeiträume für die Korrektur der Stützstellen an den oberirdischen Gewässern (m)
Deviations during the typical reference periods for the calibration of the surface-water interpolation points (m)

	April 1970	Oktober 2006	April 2008	Oktober 2008
	(m)			
Mittlere Abweichung auf Basis von 17 Einzugsgebieten	0,40	-0,14	0,14	-0,07

Wasserstände oberirdischer Gewässer, die nicht stichzeitraumbezogen vorlagen, mussten ebenfalls anhand von Korrekturfaktoren umgerechnet werden. Das betraf in umfangreichem Maß vor allem die aus der TK 10 abgegriffenen und als Mittelwasser interpretierten Stützstellen. Anhand der Ganglinienanalyse der vom LUA gemessenen Pegel wurden – analog zum Vorgehen im Grundwasser – mit der doppelten Mittelwertbildung die Abweichungsbeträge ermittelt und mit diesen die nicht terminbezogen vorliegenden Stützstellen transformiert. Tabelle 2 dokumentiert die mittleren Abweichungsbeträge auf der Basis von 17 Einzugsgebieten oberirdischer Gewässer.

Erkennbar ist auch hier die hydrologische Charakteristik der Hoch- und Niedrigwasserzeiträume mit jeweils positiven Zuschlägen bzw. negativen Abschlägen auf die nicht terminbezogen vorliegenden Stützstellen. Die Intensität der Abweichungen ist zumeist geringer ausgeprägt als im Grundwasser, was aufgrund der weit verbreiteten Stauhaltungen der Gewässer in Brandenburg plausibel erscheint.

4 Regionalisierung der Grundwasserstände

4.1 Punktbezogene Aggregation der Datenbasis

Tabelle 3 zeigt für die vier ausgewählten Zeitpunkte, wie viele punktbezogene Grundwasserstände jeweils in die geostatistische Berechnung eingingen.

Abbildung 6 zeigt für Oktober 2006 die regionale Verteilung. Insgesamt konnten zwischen 15.733 und 16.609 punktbezogene Stützstellen für die Regionalisierung verwendet werden.

Die Karte zeigt sehr deutlich die großen regionalen Unterschiede in der Verteilung der Punkte. Die durchschnittliche Datendichte liegt auf die gesamte Landesfläche bezogen für eine Stützstelle bei etwa 1,8 km². Die größte Datengrundlage bilden die transformierten Wasserstände oberirdischer Gewässer. Da diese ausnahmslos in Gebieten mit ungespanntem Grundwasser abgegriffen worden waren, zeigt sich entsprechend in den Karten innerhalb der Gebiete mit gespanntem Grundwasser eine erkennbar geringere punktbezogene Datenbasis. Dort wurden fast ausnahmslos Grundwasserstände von Messstellen des LUA (terminbezogen oder korrigiert) verwendet, um die Grundwassergleichen vor allem in den Randbereichen der Gebiete mit ungespanntem Grundwasser zu stützen.

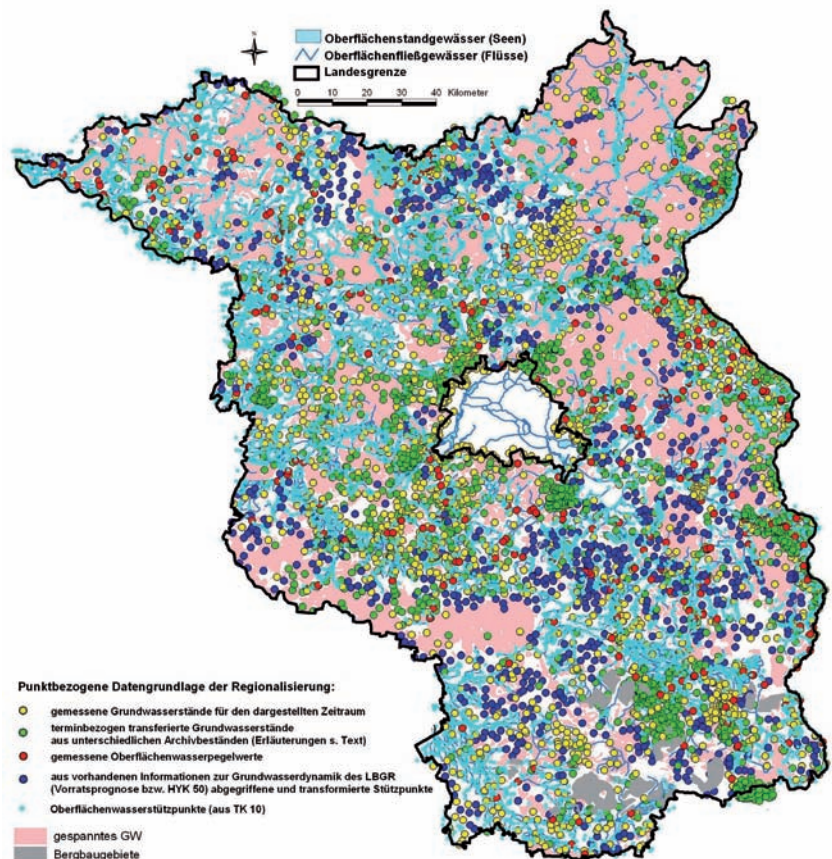


Abbildung 6

Aggregierte Punktdatenbasis zur Regionalisierung der Grundwasserstände im Oktober 2006
Aggregated point-database for the regionalization of groundwater levels in October 2006

Tabelle 3

Anzahl der verwendeten Stützstellen pro Datenherkunft und Zeitraum zur Berechnung der Grundwasserstände für die vier hydrologisch typischen Zeiträume

Number of interpolation points per data source and reference period used for the computation of the groundwater isohypses at the four typical hydrologic periods

Datenquellen bzw. -herkunft	April 1970	Oktober 2006	April 2008	Oktober 2008
Grundwassermessstellen LUA mit Stichzeitraumbezug	953	1.872	1.784	1.686
Grundwassermessstellen LUA ohne Stichzeitraumbezug	2.275	1.320	1.401	1.521
Oberflächenwasserpegel LUA mit Stichzeitraumbezug	112	371	356	364
Oberflächenwasserpegel Schorfheide mit Stichzeitraumbezug	--	9	10	9
aus der HYK 50 abgegriffene und korrigierte Stützstellen	1.160	1.039	1.166	1.004
Grundwasserstände aus TWSZ-Gutachten ohne Stichzeitraumbezug	--	704	710	714
Grundwassermessstellen Senat Berlin mit Stichzeitraumbezug	116	197	213	211
Grundwasserstände Kreis Oberhavel ohne Stichzeitraumbezug	71	75	71	72
Grundwasserstände Nieplitz-EZG ohne Stichzeitraumbezug	92	91	92	93
Grundwasserstände WW Briesen mit Stichzeitraumbezug	--	62	62	62
Grundwasserstände Schorfheide mit Stichzeitraumbezug	16*	40	40	41
Grundwasserstände Bergbaubereich mit Stichzeitraumbezug	--	37	37	40
aus TK 10 abgegriffene Stützstellen oberirdischer Gewässer	11.170	10.666	10.680	10.682
Summe punktbezogene Datengrundlagen	15.965	16.483	16.622	16.499

* für den Zeitraum April 1970 wurden die Schorfheide-Grundwasserstände transferiert

Die in Tabelle 3 erkennbaren Unterschiede zwischen den vier Zeitpunkten ergeben sich durch die Besonderheiten der vier Zeiträume. Vor allem für April 1970 lagen deutlich weniger gemessene Grundwasserstände und Pegelwerte der Messstellen des LUA und von Dritten (z.B. aus den Schutzzonenberechnungen) vor. Dementsprechend wurden mehr Wasserstände mithilfe der Normganglinien angepasst.

Innerhalb der Gebiete mit ungespanntem Grundwasser wurden die zusätzlich digitalisierten Punkte außerhalb der Waldflächen in z.T. geringerer Dichte als im Wald gesetzt. Dies gleicht sich jedoch z.B. im Oderbruch im Osten – als einem der größten zusammenhängenden waldfreien Bereiche – durch die hier in großer räumlicher Dichte vorliegenden Messstellen wieder aus. Auch in der Umgebung der Bergbauggebiete im Süden des Landes liegen deutlich weniger Punkte als im Landesdurchschnitt vor.

4.2 Primärstatistik der punktbezogenen Datenbasis zur Ermittlung des Grundwasserflurabstandes

Die in Kap. 4.1 beschriebenen punktbezogenen Daten zu den Wasserständen bilden die Ausgangsdatenbasis für die Regionalisierung, also die Übertragung der Informationen vom Punkt in die Fläche bzw. von den irregulär und zufällig verteilten Stützstellen in das regulär berechnete Raster im gewünschten Gitterabstand. In Tabelle 4 sind pro Zeitraum ausgewählte primärstatistische Parameter dazu aufgeführt.

Tabelle 1 dokumentierte die anhand der Analyse der langjährigen Ganglinien ermittelten Abweichungsbeträge vom langjährigen Mittelwert der Normganglinie für die vier Zeitpunkte, diese lagen zwischen -0,39 m (Oktober 2006) und +0,63 m (April 1970). Anhand der Median- bzw. Mittelwerte (Tab. 4 fett markiert) sind diese Unterschiede auch in der punktbezogenen Datengrundlage nachvollziehbar. Die Mittelwerte liegen zu allen Zeitpunkten um etwa 3

bis 4 m höher als die Mediane. Im April 1970 liegen die Grundwasserstände am höchsten, die Unterschiede zu den anderen Zeitpunkten sind jedoch im Vergleich zu den o.g. Differenzen etwas geringer ausgeprägt. Das hat seine Ursachen in der starken Dominanz der Stützstellen mit den Wasserständen oberirdischer Gewässer in Gebieten mit ungespanntem Grundwasser. Diese wurden nicht mit den anhand der Normganglinie ermittelten grundwasserbezogenen Korrekturfaktoren, sondern mit den nicht so stark abweichenden pegelbezogenen Faktoren innerhalb der Einzugsgebiete der oberirdischen Gewässer jeweils auf die gesuchten Stichzeiträume transformiert. Die dadurch insgesamt geringer ausgeprägten Schwankungen haben ihre hydrologische Berechtigung, da auch das Grundwasser in den Niederungen mit hydraulischer Anbindung an die oberirdischen Gewässer zwar kurzfristig nach Hochwasserereignissen intensiver, aber in Bezug auf die Gesamtamplitude weniger stark schwankt. Zudem sind viele oberirdische Gewässer staureguliert, wodurch die Schwankungsamplituden ebenfalls künstlich herabgesetzt und gegenüber den Neubildungsgebieten des Grundwassers in Richtung der unterirdischen Wasserscheiden minimiert werden. Die stichzeitraumbezogenen Datengrundlagen können also als robust im Ergebnis der Datenrecherche, -aufbereitung und -aggregation und als geeignet für die Zwecke der Regionalisierung bezeichnet werden.

4.3 Variogrammanalyse für die vier ausgewählten Zeiträume

Mit den punktbezogenen Daten zu den Grundwasserständen der vier Zeitpunkte wurde jeweils eine möglichst optimale Anpassung der Variogramme ermittelt. Für alle vier Zeitpunkte wurde das lineare Modell ohne Berücksichtigung eines Nugget-Effekts verwendet, da hiermit die beste Anpassung der Mess- an die Schätzwerte erreicht werden konnte. Das lineare Modell steigt ohne Abflachung linear an und erreicht keinen Sill. Es ist ein Sonderfall des Power-Modells mit einem Exponenten $p = 1$.

Bei Exponenten $p > 1$ steigt das Variogramm zunächst flacher an, bei $p < 1$ steigt es nahe dem Ursprung steil an und flacht zunehmend ab, ohne jedoch einen Sill zu erreichen. Durch Anpassung der Modellkurven an die Variogrammfunktionen wurden Parameter für eine optimal angepasste Interpolation im Vergleich zur Standardeinstellung (Steigung = 1, Anisotropie = 1) mit dem Kriging-Verfahren gewonnen. Dieses Verfahren basiert auf der Bildung gewichteter Mittelwerte von Variablen (SCHAFMEISTER 1999).

Die anhand der Variogrammanalyse ermittelten geostatistischen Parameter enthält Tabelle 5 zusammen mit den generell für alle vier Zeitpunkte gültigen Parametern der Schätzung, z.B. den vorgegebenen Koordinateneckpunkten und den Rasterweiten der Schätzung. Der Parameter Suchellipse Radius wurde im Ergebnis verschiedener Variantenberechnungen mit der einheitlichen Einstellung von 50 km für alle vier Zeiträume festgelegt. Wichtigstes Kriterium waren die Standardabweichungen als Maß für die Unsicherheiten der Schätzung (s. Kap. 4.4).

Tabelle 4

Statistische Parameter zur Beschreibung der Ausgangsdaten der stützstellenbezogenen Grundwasserstandrohrspiegelhöhen pro Stichzeitraum
Statistical parameters for the description of the database at the beginning of the computation of groundwater isohypses per reference period

Primärstatistischer Parameter	April 1970	Oktober 2006	April 2008	Oktober 2008
Anzahl Stützstellen	15.965	16.483	16.622	16.499
Minimum (m ü. NN)	-2,1	-2,6	-2,1	-2,5
5-Perzentil (m ü. NN)	8,2	8,1	8,6	8,1
10-Perzentil (m ü. NN)	19,0	19,1	19,9	19,3
25-Perzentil (m ü. NN)	30,0	29,4	29,9	29,6
Median (m ü. NN)	41,4	40,8	41,0	40,9
Mittelwert (m ü. NN)	45,2	44,7	45,1	44,9
75-Perzentil (m ü. NN)	57,3	56,9	57,1	57,0
90-Perzentil (m ü. NN)	80,4	79,4	79,8	79,7
95-Perzentil (m ü. NN)	91,0	90,2	90,8	90,5
Maximum (m ü. NN)	136,1	135,5	135,8	135,5
Standardabweichung (m)	23,3	23,2	23,1	23,2
Varianz (m)	544,4	536,9	534,6	538,7
Schiefte	0,68	0,68	0,68	0,68
Spannweite (m)	138,2	138,1	137,9	138,0

Tabelle 5 Geostatistische Parameter pro Stichzeitraum für die Regionalisierung der Grundwasserstände <i>Geostatistical parameters per reference period for the regionalization of groundwater levels</i>				
Geostatistische Parameter	April 1970	Oktober 2006	April 2008	Oktober 2008
Z (GWStand) Minimum [m]	-1,93	-2,59	-2,07	-2,43
Z (GWStand) Median [m]	47,66	46,86	47,38	46,95
Z (GWStand) Mittelwert [m]	52,31	51,31	51,83	51,44
Z (GWStand) Maximum [m]	136,04	135,44	135,77	135,47
Z (GWStand) Standardabweichung	25,01	24,76	24,77	24,79
Z (GWStand) Varianz [m]	625,29	612,98	613,37	614,56
Z (GWStand) Spannweite [m]	137,98	138,03	137,84	137,90
Z (GWStand) Interquartil-Spannweite	32,91	32,48	32,41	32,45

Der Gitterabstand betrug einheitlich 100 m (s. Kap. 2.1). Hieraus resultieren 5.596.275 Einzelpunkte innerhalb eines Rechtecks um die Landesfläche, für die zunächst die Schätzung mit den Vario-grammeinstellungen erfolgt. Anschließend wurde ein sog. Blank durchgeführt, so dass zunächst noch 2.963.118 Einzelpunkte innerhalb der gesamten Landesfläche übrig bleiben. Im Ergebnis des nachfolgenden Blanks auf die Gebiete mit ungespanntem Grundwasser im Wald verbleiben dann noch 748.875 Einzelpunkte.

4.4 Ermittlung der Standardabweichungen der Schätzung

Für Oktober 2006 wurden exemplarisch Berechnungen mit unterschiedlichen Radien der Suchellipsen bzw. Reichweiten durchgeführt. Je größer dieser Parameter, desto mehr – allerdings auch weiter entfernt liegende – Stützstellen gehen in die Ermittlung des Schätzwertes am Standort ein. Bei einem Radius von z.B. 12 km können Stützstellen in maximal 12 km Entfernung zum zu schätzenden Punkt für die Berechnung berücksichtigt werden, bei einem Radius von 50 km entsprechend auch noch die weiter entfernt liegenden. Vor allem in Gebieten mit einer geringen Datenbelegung könnte dies von Vorteil sein, abzuwägen wäre dieser aber mit dem Nachteil der ggf. größeren Unsicherheiten. Zur Ermittlung der mit dem Regionalisierungsprozess verbundenen Unsicherheiten der Schätzung wurden die entsprechenden Standardabweichungen exemplarisch für Oktober 2006 ermittelt. Diese für die gesamte Landesfläche berechneten Werte reichen von 0,11 bis 7,4 m, der Mittelwert liegt bei 2,71 m. Dieser Wert beinhaltet jedoch auch alle Landesteile mit gespanntem Grundwasser, in denen die Unsicherheiten aufgrund der schlechten Datenbelegung besonders hoch sind, genauso wie die Bereiche an den Rändern zu Nachbarländern aufgrund des Fehlens von Werten jenseits der Landesgrenze (z.B. in Polen).

Abbildung 7 zeigt einen Detailausschnitt zusammen mit den berechneten Grundwassergleichen aus dem Dahme-Seengebiet. Erkennbar ist, dass die Standardabweichungen dort besonders niedrig sind, wo die Stützstellen der Berechnung liegen. Zwischen die-

sen Stützstellen steigen die Werte sofort an, es besteht also der zu erwartende enge Zusammenhang zwischen der Dichte der Datenbasis und der Qualität des Schätzergebnisses. Standardabweichungen zwischen 3 und 4 m (gelbe Flächen in Abb. 8) sind in vielen Gebieten ohne Stützstellen erkennbar, während nahe der Stützstellen zumeist Werte von weniger als 1 m erreicht werden. In Gebieten mit gespanntem Grundwasser steigen die Standardabweichungen stark an, weshalb den berechneten Grundwassergleichen eine große Unsicherheit beigemessen werden muss.

4.5 Landesweite Berechnung der Grundwasserdruckflächen für die vier Zeiträume

Im Ergebnis der iterativ – jeweils mit einer im Ergebnis von Plausibilitätsprüfungen optimierten Datenbasis – durchgeführten Berechnungsläufe mit dem sog. Punktkriging-Verfahren für die vier Zeiträume standen die Rasterdaten zu den Grundwasserdruckflächen digital zur Verfügung. Nach dem sog. Blanken, also dem Wegschneiden der berechneten Daten außerhalb der Landesgrenzen von Brandenburg, handelt es sich um die o.g. 2.963.118 Einzelpunkte in 2.407 Reihen und 2.325 Spalten. Die Informationen liegen für die gesamte Landesfläche vor, also auch für die nicht bewaldeten Flächen und die Landesteile mit gespanntem Grundwasser.

Als wichtiges Werkzeug der Plausibilitätsprüfung nach Abschluss der jeweils etwa sechs- bis achtfach durchgeführten iterativen

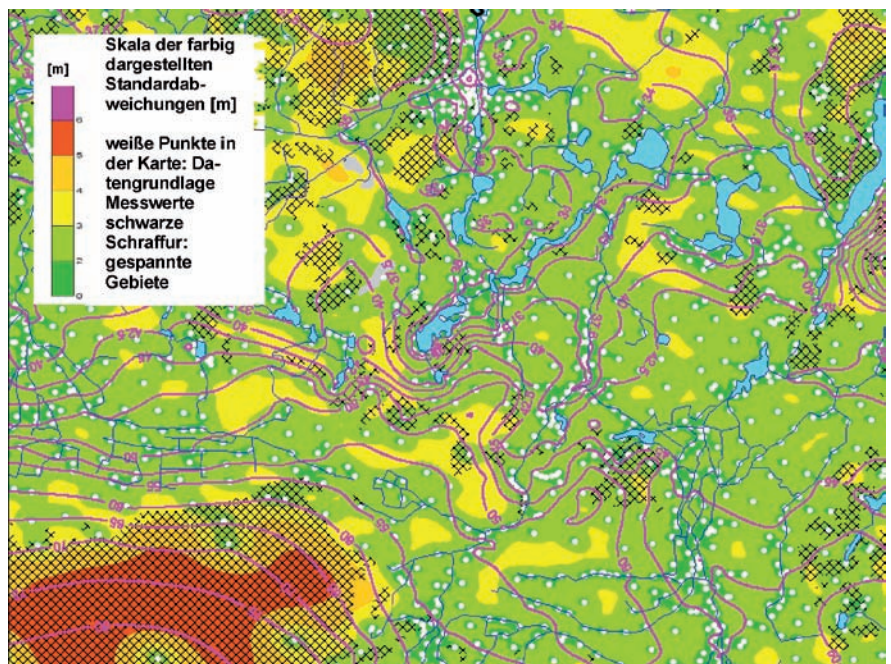
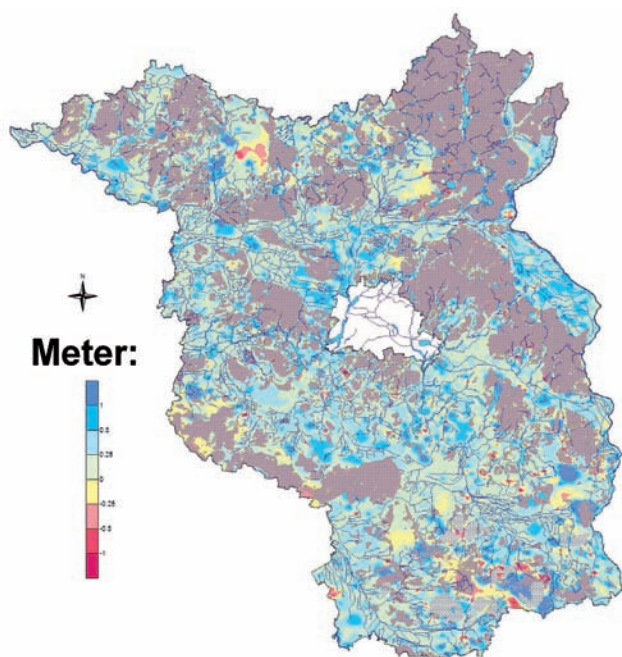


Abbildung 7

Standardabweichungen der Berechnung im Dahme-Seengebiet im Oktober 2006 zusammen mit den berechneten Grundwassergleichen
Standard deviations of the computation in the Dahme lake district in October 2006 along with the computed groundwater isohypsies

**Abbildung 8**

Differenzen der berechneten Grundwassergleichen in den Bereichen des Landes mit ungespanntem Grundwasser zwischen April 2008 und Oktober 2008 (braune Schraffur: gespannte Gebiete, graue Schraffur: Aufschüttungen in der Umgebung der Tagebaubereiche)
Differences of the computed groundwater isohypses in the unconfined groundwater areas in Brandenburg between April and October 2008

Kriging-Berechnungen wurden die zeitraumbezogenen Grids der Grundwassergleichen digital miteinander verschnitten und so die rasterpunktbezogenen Differenzen zwischen jeweils zwei Zeiträumen ermittelt. Dies hat sich als ein sehr brauchbares Werkzeug zur Kontrolle der ebenfalls iterativ vorgenommenen Modifizierung der Datengrundlage (Aussonderung bzw. Hinzufügung von Stützstellen) bewährt, um keine Verzerrungen der Ergebnisse zwischen den Zeiträumen zu generieren.

Abbildung 8 zeigt die Differenzen zwischen April und Oktober 2008, also den innerjährlichen Vergleich. Die stützstellenbezogene Differenz lag hier bei nur 20 cm. Mit Ausnahme einiger Bereiche im Süden des Landes, in der Umgebung der Bergbaufaufschüttungen, sind fast nur höhere Grundwasserdruckflächen im April 2008 erkennbar. Zumeist reichen diese jedoch nicht mehr als 1 m über diejenigen vom Oktober 2008 hinaus.

Bei in der Karte hellgelb erkennbaren Gebieten (z.B. in der Schorfheide und in der Wittstocker Heide) liegen die Grundwasserstände im Oktober 2008 im Vergleich zu April 2008 zumeist nur sehr geringfügig höher (meist wenige Zentimeter). Die dazu durchgeführte Prüfung ergab, dass es sich dabei um tatsächlich gemessene Grundwasserstände handelt. Das sind also Bereiche, in denen lokal andere hydrologische Zustände zu den ausgewählten Zeitpunkten auftraten als im Landesdurchschnitt.

Um die Berechnungsergebnisse einer systematischen Prüfung zu unterziehen, wurden nur für die Gitterpunkte in den Waldflächen mit ungespanntem Grundwasser ausgewählte statistische Parameter auf Grundlage der zu allen Kombinationen möglichen Differenzen berechnet (s. Tab. 6).

Vor allem bei den Median- und arithmetischen Mittelwerten sind die anhand der Kartendarstellungen beschriebenen Zusammenhänge auch bei den statistischen Parametern erkennbar. Zudem bestehen enge Zusammenhänge zu den statistischen Parametern der Grundwasserhöhen in den stützstellenbezogenen Ausgangsdaten. Die größten Unterschiede sind anhand der Differenzen zwischen den beiden interannuellen Hoch- bzw. Niedrigwasserzeiträumen April 1970 und Oktober 2006 mit 0,99 m bzw. 0,76 m erkennbar. Der Medianwert passt hier besser zu den entsprechenden Werten der Ausgangsdaten, der Mittelwert ist durch Ausreißer nach oben beeinflusst. Die geringsten Unterschiede bestehen zwischen den beiden Herbstzeitpunkten 2006 und 2008. Auch die Spannweiten der sechs aufgeführten Kombinationen untereinander zeigen anhand der Unterschiede (z.B. beim Median von 0,64 m und beim Mittelwert von 0,87 m) an, dass es durch den geostatistischen Regionalisierungsprozess zu keiner systematischen Verfälschung der berechneten Grundwasserhöhen im Vergleich zu den Ausgangsdaten gekommen ist.

5 Ermittlung des Grundwasserflurabstandes für hydrologisch typische Zeiträume

5.1 Berechnung und Plausibilitätsprüfung

Der Flurabstand des Grundwassers wurde durch den digitalen Verschnitt der Grundwasserdruckflächen mit dem Geländehöhenmodell ermittelt. Dies geschah durch einfache Subtraktion: Geländehöhe minus Grundwasserdruckfläche. Der so berechnete Flurabstand wurde den Rasterpunkten im 100 m-Abstand als neue Information zu den vier Zeitpunkten hinzugefügt.

Die wesentliche Prüfung der berechneten Daten wurde bereits anhand der Untersuchung der Unterschiede der Grundwasserdruckflächen zwischen den Stichzeiträumen erläutert. Es wurde

Tabelle 6

Statistische Parameter der Differenzen der Grundwasserdruckhöhen zwischen den Stichzeiträumen für die Rasterpunkte (m)
Statistical parameters of the differences of groundwater levels between the reference periods at the interpolation points (m)

Zeitraum	MIN	25-P.	Median	MW	75-P.	MAX	Std.-Abw	Varianz
April 1970 minus April 2008	-17,32	0,15	0,36	0,57	0,58	26,82	1,33	1,80
April 1970 minus Oktober 2008	-18,12	0,38	0,64	0,87	0,93	26,29	1,42	2,02
April 1970 minus Oktober 2006	-21,59	0,49	0,76	0,99	1,08	24,82	1,44	2,07
April 2008 minus Oktober 2008	-13,47	0,09	0,20	0,30	0,37	17,41	0,58	0,33
April 2008 minus Oktober 2006	-19,96	0,17	0,32	0,42	0,53	17,54	0,72	0,52
Oktober 08 minus Oktober 2006	-20,91	0,04	0,16	0,12	0,19	13,49	0,54	0,29

im Rahmen der iterativen stützstellenbezogenen Bearbeitung darauf geachtet, dass die Ergebnisdaten in möglichst geringem Umfang einen Grundwasserstand über Flur, also negative Flurabstände, beinhalten. Komplett vermeiden lässt sich dies aufgrund der zur Verfügung stehenden Datenbasis sowie der zumeist ungleich höheren regionalen Auflösung des DGM 25 nicht. Vor allem in Gebieten mit kleinräumigen Senken, in der Nähe oberirdischer Gewässer, in tief in das Gelände eingeschnittenen Tälern oder in der Umgebung der Quellbereiche von oberirdischen Gewässern (z.B. in moorigen Senken) enthalten die Ergebnisdaten diese negativen Flurabstände. Ursache dafür ist, dass nicht ausreichend Stützstellen – entweder gemessene bzw. transformierbare Grundwasserstände oder aus der TK 10 abgreifbare Pegelstände der oberirdischen Gewässer – zur Verfügung standen. Es wurde besonders darauf geachtet, dass diese Gebiete nicht außerhalb der o.g. Bereiche auftreten.

5.2 Darstellung des Flurabstandes in klimatisch unterschiedlichen Zeiträumen

Abbildung 9 zeigt die Flurabstände in den bewaldeten Gebieten des Landes im April 1970.

Summarisch mit einer einheitlichen Farbe (hellgelb) belegt wurden Flächen mit einem Flurabstand von mehr als 6 m unter Gelände, da diese keine forstökologische Bedeutung haben. Auf die Gebiete mit mehr als 4 m Flurabstand trifft dies in hohem Maß auch zu, da hier von allenfalls sehr geringen kapillaren Aufstiegsraten in den effektiven Wurzelraum der Waldbestände ausgegangen werden muss. Daher wurden diese Flächen mit einer nur schwachen Farbsättigung ähnlich dargestellt. Es sind die großen Sandergebiete des Landes sowie oft auch Hochflächenränder mit zumeist sehr tief liegendem Grundwasser. Geringere Flurabstände als 4 m zeigen sich hingegen vor allem an den Rändern der Niederungen zu den Hochflächenbereichen und nur sehr untergeordnet als lokale Senken innerhalb der Sander. Auch in Flugsand- bzw. Dünengebieten können diese charakteristischen Flurabstände vorliegen. Gebiete mit Flurabständen von weniger als 2 m haben zumeist einen erkennbaren räumlichen Bezug zu oberirdischen Gewässern, hydrogeologisch sind das Entlastungsgebiete, in denen im Jahresdurchschnitt die Verdunstung die Grundwasserneubildungsrate übersteigt und daher ein aufsteigender hydraulischer Gradient vorliegt. Flurabstände von weniger als 1 m zeigen den unmittelbaren Einfluss des Grundwassers in der oberen Bodenzone an. Vor allem im April 1970 sind diese Gebiete aufgrund des Grundwasserhochstandes weit verbreitet. Das ist für den Hochwasserzeitraum plausibel, aber auch für andere Zeitpunkte wurde dies ermittelt.

Abbildung 10 zeigt die Flurabstandsklassen für den Niedrigwasserzeitraum Oktober 2006. Unterschiede zum Hochwasserzeitraum April 1970 zeigen sich im Vergleich aufgrund der Skalierung nur im Detail. In der südlichen Schorfheide (NE) sind z.B. Flächen mit hohen Flurabständen (> 6 m) deutlich größer. Auf andere Sandergebiete trifft dies nicht zu, da hier die Flurabstände

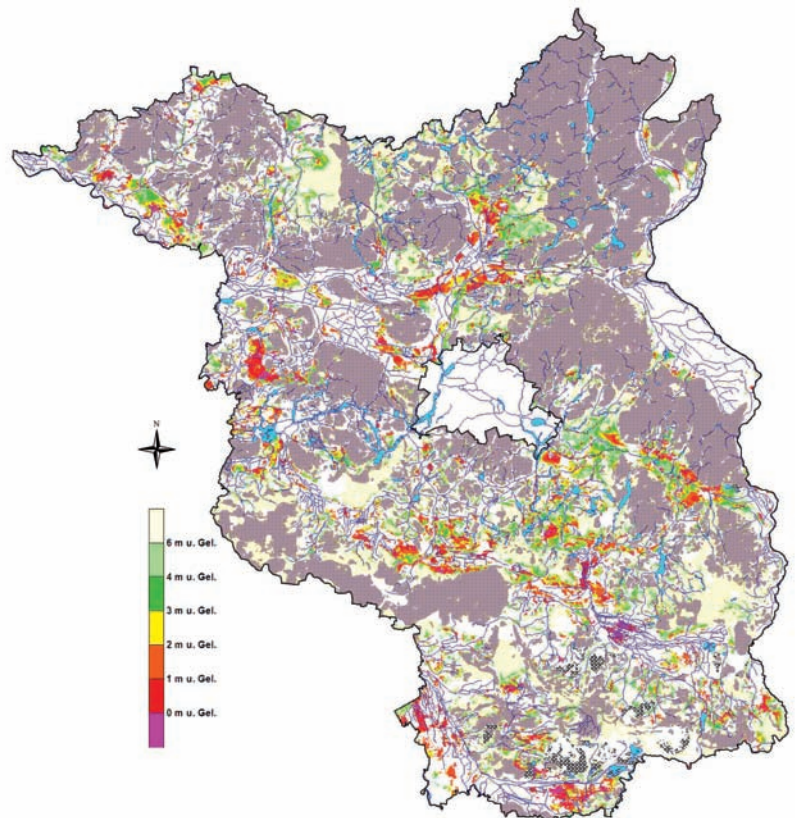


Abbildung 9

Flurabstand des ungespannten Grundwassers in Waldgebieten im April 1970 (braune Schraffur: gespannte Gebiete, graue Schraffur: Aufschüttungen in der Umgebung der Tagebaue)

Depth to unconfined groundwater tables under forest areas in April 1970

de großflächig deutlich mehr als 6 m betragen und somit auch in Zeiten mit Grundwasserhochständen nicht unter diesen Wert fallen.

5.3 Grundwasserflurabstandsklassen im Vergleich der Stichzeiträume

Tabelle 7 zeigt die aufsummierten prozentualen Flächenanteile bei aufsteigenden Flurabstandsklassen, also jeweils niedrigeren Grundwasserständen. In der Intervallklasse > 6 m sind alle höheren Werte zusammengefasst. Die in den Waldflächen über ungespanntem Grundwasser ermittelten Anteile wurden auf die gesamte Waldfläche hochgerechnet.

Die charakteristischen hydrologischen Zusammenhänge der vier typischen Zeiträume sind auch in dieser Zusammenstellung sehr gut erkennbar. Die beiden intraannuellen Zeiträume ordnen sich jeweils zwischen die interannuellen Zeiträume mit den größeren Spannweiten des Grundwasserstandes ein.

Im April 1970, dem Zeitpunkt mit den deutlich höchsten Grundwasserständen, haben 8,3 % aller Standorte im Wald einen Flurabstand von weniger als 1 m. Das ist mehr als doppelt so viel wie im Oktober 2006 (3,6 %), dem Zeitpunkt mit den niedrigsten Grundwasserständen innerhalb des untersuchten Zeitraums. Bei den aufsummierten Flächenanteilen für die Klasse < 2 m mindert sich dieses Verhältnis bereits ab, hier betragen die Anteile 17,4 % im April 1970 und 11,0 % im Oktober 2006. Bei den Klassen < 3 m

Tabelle 7

Prozentuale Flächenanteile von Flurabstandsintervallklassen pro Zeitraum an der gesamten Waldfläche

Percentages of forest areas of the depth-to-groundwater-table interval classes per reference period

Prozentuale Anteile an der gesamten Waldfläche	April 1970	Oktober 2006	April 2008	Oktober 2008
< 1 m Flurabstand	8,3	3,6	5,8	4,2
< 2 m (aufsummiert)	17,4	11,0	14,6	11,9
< 3 m (aufsummiert)	25,3	19,7	22,8	20,5
< 4 m (aufsummiert)	31,2	26,6	29,1	27,3
< 5 m (aufsummiert)	35,8	31,9	33,8	32,5
< 6 m (aufsummiert)	39,7	36,0	37,7	36,6
> 6 m Flurabstand	60,3	64,0	62,3	63,4

6 Zusammenfassung

Ziel war die Berechnung des Flurabstandes des oberflächennahen Grundwassers aller forstlich genutzten Flächen in Brandenburg für bestimmte Stichzeiträume, sog. stichzeitraumbezogene Termine. Die Bearbeitung war in das Vorhaben zur „Regionalisierung standortsbezogener Kennwerte unter besonderer Berücksichtigung von Klimaszenarien zur Ableitung dynamischer Wuchsräume“ am Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde eingebunden (RIEK 2010).

Der Flurabstand wurde mit einer Rasterweite von 100 x 100 m ermittelt. Um die digitale Reproduzierbarkeit gewährleisten zu können, wurden Daten aller verfügbaren Grundwassermessstellen und Pegel an oberirdischen Gewässern des hydrologischen Messdienstes des LUA verwendet. Auf oberirdische Gewässer bezogene Daten wurden durch Hilfsstützstellen ergänzt. Die Datenbasis wurde mit Archivdaten von aktuell durch das LUA nicht mehr beobachteten Grundwassermessstellen anhand von statistisch begründeten Analogieschlüssen ergänzt. Des Weiteren wurden Grundwasserinformationen aus den Beständen des LBGR mit in die Auswertung einbezogen.

Die Ausgrenzung der Flurabstände ist nur in Gebieten mit ungespanntem Grundwasser forstökologisch sinnvoll. Daher wurden diese Gebiete landesweit ausgewiesen. Für die räumliche Interpolation der Grundwasserstände mit Hilfe von geostatistischen Verfahren wurden zunächst alle verfügbaren Grundwasserdaten – auch außerhalb der Waldflächen – herangezogen und die Grundwassergleichen stichzeitraumbezogen berechnet. Danach wurden die Flurabstände anhand des Verschnittes der Grundwassergleichen mit der Geländeoberfläche des digitalen Geländehöhenmodells ermittelt. Abschließend wurden diese auf die Waldflächen ausgeschnitten und die Flächenanteile innerhalb bestimmter Flurabstandsklassen errechnet.

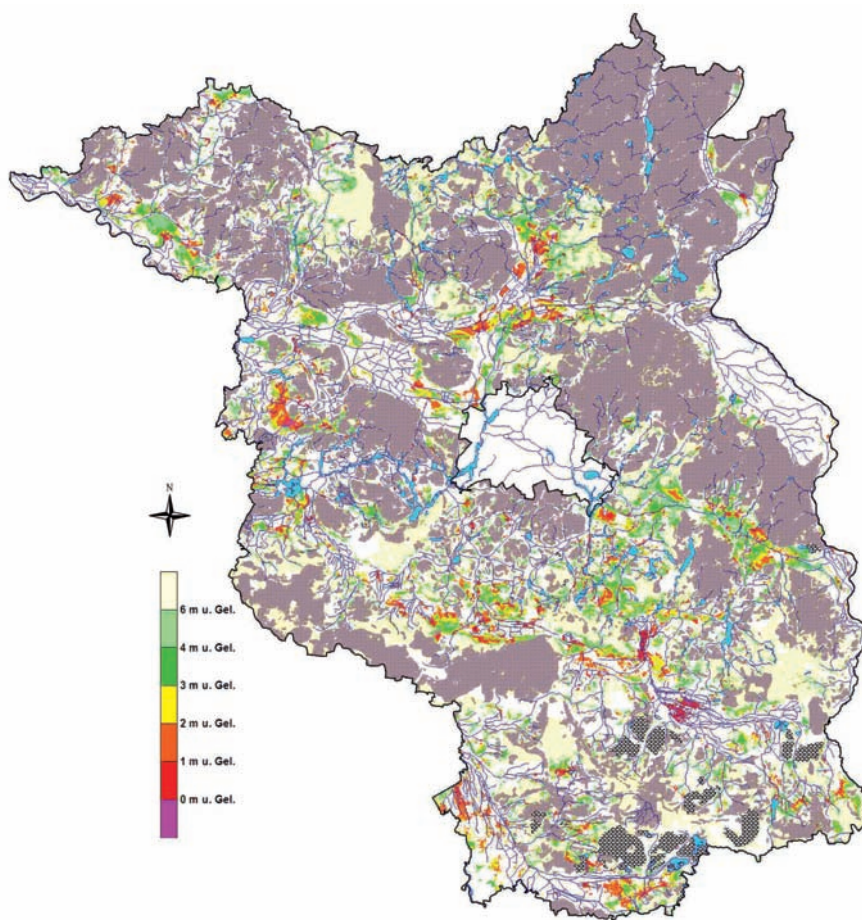


Abbildung 10

Flurabstand des ungespannten Grundwassers in Waldgebieten im Oktober 2006 (braune Schraffur: gespannte Gebiete, graue Schraffur: Aufschüttungen in der Umgebung der Tagebaue)

Depth to unconfined groundwater tables under forest areas in October 2006

bis < 6 m liegen die Flächenanteile aller vier Zeiträume relativ nahe beieinander, das sind die intermediären Flurabstandsklassen mit jeweils wechselnden Flächenanteilen pro Zeitraum und Teufenhorizont. Erst ab der Klasse > 6 m, also den höheren Flurabständen mit für die Bäume eindeutig nicht mehr erreichbarem Grundwasser, kehren sich die Flächenanteile eindeutig um: hier erreicht der Oktober 2006 die größten und der April 1970 die niedrigsten Anteile.

Summary

Aim of the investigation was to compute the depth to shallow groundwater tables within all forest areas in the state of Brandenburg during special reference periods. The analysis was integrated into the interdisciplinary project "Regionalization of site properties to identify dynamic growth zones considering climate scenarios" funded by the Eberswalde Forestry Competence Centre.

The depth to groundwater tables was computed with a grid-node distance of 100 metres. To ensure the digital reproducibility, data of all available groundwater measurement points and surface-water gauges of the monitoring network of the Land Agency for the Environment and Agriculture (LUA) Brandenburg were considered. Surface-water data were completed by interpolation points. The data-base was supplemented with archive data from groundwater measurement points that are not observed by LUA any more. These data were transferred to the reference periods by statistical methods. Moreover, data from the Geological Survey of Brandenburg (LBGR) were integrated into the analysis.

The computation of the depth to the groundwater table is reasonable only in areas with unconfined groundwater. Therefore these areas were identified at the beginning of the study. For the spatial interpolation of groundwater levels with geostatistical methods, all available groundwater data – also those outside the forest areas – were integrated in the analysis to compute the groundwater isohypses for the reference periods. Subsequently, the depth to the groundwater table was computed by the subtraction of the groundwater-level data from digital elevation model data. Finally, the data of forest areas were extracted and the percentages of forest areas of the depth interval classes per reference period were identified.

Anschriften der Verfasser:

Dr. S. Hannappel
HYDOR Consult GmbH
Am Borsigturm 40, 13507 Berlin
hannappel@hydor.de

Prof. Dr.-Ing. W. Riek
Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH) und
Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde
Alfred-Möller-Str.1, 16225 Eberswalde

Literaturverzeichnis

- HANNAPPEL, S. & A. LIMBERG (2007): Ermittlung des Flurabstands des oberflächennahen Grundwassers Mai 2006 in Berlin. – Brandenburger Geowissenschaftliche Beiträge 1, 65–74
- LBGR (2009): HYK 50 – Hydrogeologische Karte des Landes Brandenburg 1:50.000. – Hrsg. Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Cottbus
- LGRB (1997): Geologische Übersichtskarte des Landes Brandenburg 1:300.000. – Hrsg. Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow
- MANHENKE, V., M. HANNEMANN & B. RECHLIN (1995): Gliederung und Bezeichnung der Grundwasserleiterkomplexe im Lockergestein des Landes Brandenburg. – Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge 1, S. 12
- RIEK, W. (2001): Auswirkungen von Grundwasserabsenkungen auf das Zuwachsverhalten der Kiefer. – Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie 35 (4), 207–210
- RIEK, W. (2010): Regionale und standortsbezogene Unterschiede zu den Auswirkungen des Klimawandels. – Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Bd. 44, S. 38–48. Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft Brandenburg; Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (Hrsg.) (im Druck)
- SCHAFMEISTER, M.-T. (1999): Geostatistik für die hydrogeologische Praxis. – Springer-Verlag, Berlin
- SCILANDS (2007): Qualität des DGM 25 von Brandenburg und durchgeführte Qualitätsverbesserungen. – Expertise im Auftrag des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, Göttingen (unveröff.)
- VOIGT, H.-J. (1987): Hydrogeologisches Kartenwerk der Deutschen Demokratischen Republik, Nutzerrichtlinie für die Karte der Grundwassergefährdung. – Hrsg. Zentrales Geologisches Institut, Berlin, 16 S.

Peter Hoffmann, Paul Königer, Franz-Josef Kern, Jörg Schulla, Christian Leibundgut, Peter Krahe und Werner Speer

Tritiumbilanzierung und Speicherermittlung im Wesergebiet unter Verwendung des hydrologischen Modellsystems WaSiM-ETH im Vergleich mit früheren Arbeiten

Studies on tritium balances and storage behaviour in the Weser river basin using the WaSiM-ETH model system in comparison with earlier approaches

Das radioaktive Wasserstoffisotop Tritium (^3H) entsteht auf natürliche Weise in der oberen Atmosphäre und wird über den Niederschlag in den hydrologischen Kreislauf eingeführt. Seit den 1950er Jahren gelangt zudem anthropogen produziertes Tritium durch oberirdische Nuklearwaffentests, Emissionen aus Kernkraftanlagen und Industriebetrieben in den Wasserkreislauf. Tritium verhält sich identisch zum Wasserstoffisotop ^1H , wodurch es sich als nahezu idealer Tracer für Untersuchungen von Fließ- und Speicherprozessen eignet. Die hier vorgestellten Untersuchungen und Ergebnisse zur Tritiummodellierung bauen auf früheren Arbeiten im Wesergebiet auf. Durch die Verwendung der Ergebnisse flächendifferenzierter Wasserhaushaltsmodelle (WaSiM-ETH, TAC^D) wird das Tritiumbilanzmodell TRIBIL mit detaillierten, qualitativ besseren Eingangsdaten versorgt. In diesem Zusammenhang erfolgen eine Separation der Abflusskomponenten sowie eine Analyse der Wasserbilanz- und Speichergrößen. Die verbesserte Datengrundlage und die Kombination der Modelle erlauben eine sicherere Abschätzung der Tritiumbilanz. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Kopplung von Wasserhaushalts- und Tritiumbilanzmodell bessere Modellanpassungen der Tritiumkonzentrationen im Oberflächenwasser des Wesergebietes erreicht werden. Dadurch können die Gebietsspeicher und die Abflusskomponenten im Wesergebiet schärfer gefasst werden.

Schlagwörter: Separation von Abflusskomponenten, Tritium, Tritiumbilanz, Wasserhaushaltsmodell, Weser

The radioactive hydrogen isotope tritium (^3H) occurs naturally in the upper atmosphere and is introduced into the hydrologic cycle through precipitation. Since the 1950s, anthropogenic tritium has been additionally introduced into the water cycle through nuclear weapons testing, nuclear power plants and industrial plant emissions. Tritium shows identical behaviour like the hydrogen isotope ^1H , so that it is an almost ideal tracer to examine flow and retention processes. The presented investigations and results are based on earlier work in the Weser catchment. By using results of distributed water-balance models (TAC^D, WaSiM-ETH), the tritium balance model TRIBIL can be provided with more detailed data of better quality. In this context, a separation of runoff components as well as an analysis of the water balance and storage systems is conducted. The improved data basis and the combination of models allow a reliable estimation of the tritium balance. The results show that coupling tritium balance models with water balance models achieves a better model adaption of the tritium concentrations in surface waters. Thus, the catchment retention and the runoff components of the Weser river basin can be estimated more reliably.

Keywords: River Weser, runoff separation, tritium, tritium balance, water balance modelling

1 Einleitung

Das radioaktive Wasserstoffisotop Tritium (^3H) wird auf natürlichem Weg in der Stratosphäre durch die Interaktion von kosmischer Strahlung mit Stickstoff- und Sauerstoffmolekülen gebildet (KAUFMAN & LIBBY 1954, LAL & PETERS 1962). Die Halbwertszeit von Tritium beträgt 12,3 Jahre. Oberirdische Nuklearwaffentests haben ab den 1950er Jahren dazu beigetragen, dass die Tritiumkonzentration in der Atmosphäre um ein Vielfaches angestiegen ist. Seit dem 1963 international vereinbarten Stopp der oberirdischen Kernwaffenversuche nimmt die Tritiumkonzentration kontinuierlich ab und hat in den letzten Jahren ungefähr wieder den Zustand vor 1952 erreicht. Punktuell wird anthropogen hergestelltes Tritium aber weiterhin in hydrologische Systeme eingetragen, zum Beispiel über die Abluft oder das direkte Einleiten von Abwässern aus kerntechnischen Anlagen, Krankenhäusern oder Tritium emittierenden Industriebetrieben. Da Tritium (^3H) chemisch identisch mit dem Wasserstoffisotop (^1H) in das Wassermolekül eingebaut wird, eignet es sich als nahezu idealer Tracer besonders für hydrologische Systembetrachtungen.

In Deutschland wurden Tritiumkonzentrationen für das Rheingebiet (WEISS & ROETHER 1975) und in kleinen Einzugsgebieten, zum Beispiel der Eifel (KRAUSE 1980 a, b), modelliert. Tritiumbilanzen bieten die Möglichkeit, Wasserbilanz- und Niederschlags-Abflussmodelle mit einer unabhängigen Größe zu verifizieren. Die Einbindung von Tritium in die hydrologische Modellierung ist von besonderem Interesse, da durch die naturbedingte großflächige Markierung mit diesem konservativen Tracer eine Identifizierung von Prozessen wie Abflussbildung und Retention im Untergrund möglich wird. Hierdurch können Stofftransport- und hydrologische Modelle besonders für die Makroskala weiterentwickelt werden.

Die hier verwendeten Ansätze zur Tritiumbilanzierung großer Einzugsgebiete gehen auf Modellvorstellungen von ESSER (1980) zurück. Sie wurden von KRAUSE (1988, 1989 a, b) auf das Einzugsgebiet der Ems angewandt und methodisch von KÖNIGER (2004) und KÖNIGER et al. (2005) weiterentwickelt. In diesen Arbeiten wurde mit dem auf LINUX basierten Modell TRIBIL eine Tritiumbilanz für das Einzugsgebiet der Weser aufgestellt.

Hierfür wurde in acht Teilgebieten für den Zeitraum 1950 bis 1999 auf Monatsbasis der Tritiumein- und -austrag bilanziert. Diese Untersuchungen wurden mit dem Wasserhaushaltsmodell TAC^D vertieft (UHLENBROOK et al. 2004, KÖNIGER et al. 2008). Mit Hilfe von TAC^D wurden Abflusskomponenten aufgetrennt und TRIBIL als Eingangsdaten zur Verfügung gestellt. Dadurch sollte die hydrologische Interpretierbarkeit der TRIBIL-Resultate verbessert werden. Die Kopplung von Wasserhaushaltsmodellierung und Tritiumbilanzierung brachte Verbesserungen in der Modellgüte, jedoch blieb der konzeptionelle Modellcharakter bestehen.

Die hier vorgestellten Untersuchungen bauen auf den Ergebnissen von TRIBIL und TRIBIL-TAC^D auf. Mit Hilfe des physikalisch basierten Wasserhaushaltsmodells WaSiM-ETH (SCHULLA 1998, SCHULLA & JASPER 2007) wird eine detaillierte Wasserhaushaltsmodellierung des Weser-Gebietes durchgeführt und der Modellierungszeitraum bis 2005 erweitert. Zuvor werden mit dem konzeptionellen Modell DIFGA2000 (SCHWARZE et al. 1989, SCHWARZE et al. 1999), das vergleichsweise einfach anwendbar ist, Abflusskomponenten als unabhängige, erste Näherung für die ausgewiesenen Teilgebiete des Wesergebietes ermittelt. Die Modellergebnisse aus WaSiM-ETH wie Abfluss(-komponenten), Verdunstung und Schneespeicherung werden als Eingangsdaten für das Bilanzmodell TRIBIL verwendet. Hierdurch sollen die Qualität der Eingangsdaten erhöht sowie die ermittelten Abflusskomponenten über die aufgestellte Tritiumbilanz validiert werden. Die Modularität, die physikalisch basierte Modellarchitektur und die Möglichkeit, das Modell in einer vergleichsweise hohen räumlichen Auflösung zu betreiben, waren Gründe für die Wahl des Modells WaSiM-ETH. Es wird ein Vergleich der Kopplung von WaSiM-ETH und TAC^D mit TRIBIL (im Folgenden als TRIBIL-WaSiM bzw. TRIBIL-TAC^D bezeichnet) vorgenommen, anschließend werden die Modellergebnisse auf den Einfluss der Abflusskomponenten und der Gebietsspeicher analysiert.

2 Untersuchungsgebiet, Eingangsdaten und Beschreibung der verwendeten Modelle

2.1 Einzugsgebietsbeschreibung

Die Weser entsteht durch die Vereinigung der Mittelgebirgsflüsse Fulda (6.945 km²) und Werra (5.491 km²) in Hannoversch Münden. Das Wesereinzugsgebiet entwässert insgesamt eine Fläche von rund 46.300 km², wovon ca. 8.000 km² tidebeeinflusst sind. Mit einer Nord-Süd-Ausdehnung von knapp 400 km reicht das Einzugsgebiet vom hessisch-thüringischen Mittelgebirgsraum im Süden bis zur Nordseeküste.

Das Gebiet gliedert sich in zwei Hauptzonen. Die Nordhälfte ist geprägt durch periglaziale Lockersedimente des Norddeutschen Tieflandes. Hier dominiert ein schwaches Relief mit vereinzelten Erhebungen höher als 100 m. In der Südhälfte schließt sich die Mittelgebirgszone mit Weser- und Leinebergland an. Die südlichen Wasserscheiden bilden das Rothaargebirge im Westen, Vogelsberg und Rhön im Süden und Thüringer Wald und Harz im Osten. Der Brocken ist mit 1.142 m ü. NN die höchste Erhebung im gesamten Einzugsgebiet.

Hydrologisch lassen sich fünf Teilgebiete untergliedern: Die Region der Quellflüsse Fulda und Werra. Hier ist die Eder als wichtiger Zufluss der Fulda zu erwähnen, in deren Gebiet sich die Eder-

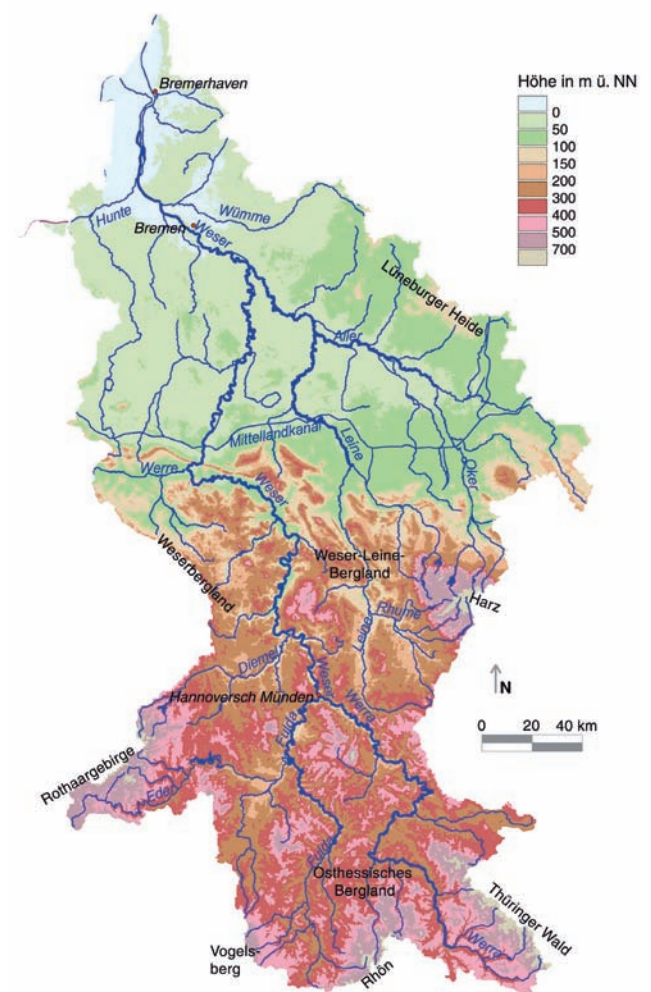


Abbildung 1
Orohydrographie des Weser-Einzugsgebietes
Orohydrography of the Weser catchment

talsperre, die größte Talsperre im Weser-Einzugsgebiet, befindet. Es schließt sich das Gebiet der Oberweser an, welches bis zur Porta Westfalica reicht und das Weserbergland durchfließt. Bedeutendster Zufluss ist die Diemel. Diese Regionen werden durch ein pluvio-nivales Abflussregime der Mittelgebirge dominiert. Die Mittelweser beginnt mit der Überquerung des Mittellandkanals bei Minden und reicht bis kurz vor Bremen. Hier nimmt die Weser mit der Aller ihren wasserreichsten Zufluss auf. In dieser Region herrscht ein pluvio-nivales Abflussregime des Tieflandes vor, welches sich mit den Regimen der Quellflüsse überlagert. Der Abschnitt der Unterweser von Bremen bis Bremerhaven ist durch Flachlandabflussregimes und Gezeitenbeeinflussung geprägt. Die durch die Hydrometeorologie und den Untergrund geprägten Abflussregime sind beispielsweise im Hydrologischen Atlas von Deutschland (BMU 2003) anhand repräsentativer Referenzpegel illustriert. Den nördlichsten Teil markiert die Außenweser, das in Südost-Nordwest-Richtung verlaufende Ästuar der Weser im Wattenmeer der Nordsee.

2.2 Eingangsdaten

Für die Wasserhaushaltsmodellierung mit WaSiM-ETH werden meteorologische Zeitreihen von ca. 120 Stationen in Tagesauflösung verwendet. Hierzu gehören Sonnenscheindauer, Windge-

Tabelle 1

Vergleich der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen (mm/a) (1950–1999), die als Eingangsdaten für die Modellierung mit WaSiM-ETH (REGNIE) und TRIBIL bzw. TRIBIL-TAC^D verwendet werden.

Comparison of the mean annual precipitation (mm) data (1950–1999) used as input values for the modelling runs with WaSiM-ETH (REGNIE) and TRIBIL, TRIBIL-TAC^D runs, resp.

Teilgebiet	TRIBIL-WaSiM (REGNIE) (mm/a)	TRIBIL, TRIBIL-TAC ^D (Sammelgebietsverfahren) (mm/a)	Differenz (mm/a)
FULDA	812	779	33
WERRA	891	759	132
WESER1	840	776	64
WESER2	851	783	68
WESER3	819	767	52
ALLER	780	724	56
WESER4	815	751	64
WESER5	811	751	60

schwindigkeit, Luftfeuchte, Temperatur. Die Klimadaten werden im Preprocessing einer Höhenregression unterzogen. Der Niederschlag steht in Form von nicht korrigierten, täglichen REGNIE-Rasterdatensätzen (REGionalisierung von NIEderschlagshöhen, DIETZER 2000) des Deutschen Wetterdienstes flächendeckend in einer Auflösung von 1 x 1 km zur Verfügung. Die Niederschlagskorrektur wird mit monatlichen N-Korrekturwerten auf Basis des Hydrologischen Atlas von Deutschland (BMU 2003) flächendeckend einheitlich durchgeführt. Die Niederschlags-, Standorts-, Gewässer- und Einzugsgebietsdaten werden im GIS einheitlich als 1- bzw. 2-km-Rasterdaten aufbereitet. Für den Abfluss wird auf tägliche Durchflussdaten der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) von ca. 60 Pegeln zurückgegriffen.

Tabelle 2

Messstationen von Tritium im Niederschlag (GNIP) und Erfassungszeiträume

Tritium measuring stations and observed time spans

Station	Zeitraum verfügbarer Daten
Wasserkuppe Bad-Salzuflen Braunschweig Würzburg Berlin Cuxhaven	Dez 1977 – Okt 2005
Groningen	Jan 1970 – Nov 1996
Hof	Jun 1962 – Dez 1976 u. Dez 1982 – Okt 2005
Koblenz	Aug 1973 – Okt 2005
Köln	Dez 1959 – Dez 1968
Ottawa	Aug 1953 – Dez 1963
Wien	Feb 1961 – Dez 1979
Stuttgart	Feb 1961 – Dez 1967 u. Jul 1970 – Dez 1979

In Tabelle 1 sind die langjährigen Gebietsniederschlagshöhen (1950–1999) dargestellt. Die REGNIE-Niederschlagshöhen (TRIBIL-WaSiM) weisen teilweise deutlich höhere Werte auf als die Gebietsniederschläge nach dem Sammelgebietsverfahren (DEISENHOFER et al. 1982, TRIBIL u. TRIBIL-TAC^D). Der Grund liegt in den unterschiedlichen Regionalisierungsansätzen und der erfolgten Niederschlagskorrektur.

Für die Tritiummodellierung werden Tritiumkonzentrationen im Niederschlag (Bq/l), im Oberflächenabfluss (Bq/l) und Tritiumfrachten aus Emissionen von Kernkraftwerken (GBq) benötigt. Tritiumkonzentrationen im Niederschlag werden an 10 westeuropäischen Stationen erfasst (s. Tab. 2), die sich aufgrund der relativ geringen Entfernungen dem Wesergebiet zuordnen lassen.

Die verwendeten monatlichen Messwerte entstammen überwiegend aus Mischproben von DWD-Stationen. Die Tritiumkonzentration wird an der BfG bestimmt und in der GNIP-Datenbank (Global Network of Isotopes in Precipitation) veröffentlicht (IAEA/WMO 2004). Abbildung 2 zeigt die monatliche Tritiumkonzentration im Niederschlag für das Einzugsgebiet der Werra.

Um die Datenbasis zu verbreitern, werden mittels einer Regressionsanalyse Daten der Stationen Ottawa, Wien und Stuttgart verwendet, um die Zeitreihen bis ins Jahr 1950 rückwärtig zu ergänzen. Die Zeitreihen der Stationen Bad Salzuflen, Koblenz, Wasserkuppe, Braunschweig, Berlin, Cuxhaven, Würzburg werden arithmetisch gemittelt und eine Regressionsfunktion ermittelt, mit welcher die Zeitreihen der Stationen Ottawa, Wien und Stuttgart umgerechnet wurden. In den dargestellten normierten Konzentrationsverläufen ist ein deutlicher Jahresgang zu erkennen. Die Werte steigen im Frühjahr an, erreichen im Frühsommer ihr Maximum und fallen bis zum Ende des Herbstes wieder ab. Grund ist die unterschiedlich starke Durchmischung der Atmosphäre in den verschiedenen Jahreszeiten. Der vertikale Luftmassenaustausch in den mittleren Breiten ist im Spätwinter und Frühling am größten, so dass ein vermehrter Tritiumeintrag aus höheren Schichten erfolgt (GAT et al. 2001). Durch Wiederverdunsten von gefallenem flüssigem und festem Niederschlag wird dieses Frühlingsmaximum in den Sommer verschoben (EHALT et al. 1977). Mit zurückgehenden Temperaturen im Herbst und Winter verschwindet dieser Effekt und die Tritiumkonzentration nimmt wieder ab. Neben dem beschriebenen saisonalen Effekt, der die stärkste Auswirkung zeigt, sind weitere Effekte untergeordnet vorhanden. Durch den Kontinentaleffekt treten mit wachsendem Abstand von der Küste höhere Tritiumkonzentrationen auf. Durch die ungleiche Verteilung der Kontinente sind die Tritiumkonzentrationen der Südhemisphäre deutlich niedriger als die der Nordhemisphäre. Diese räumlichen Effekte sind von nachrangiger Bedeutung in den durchgeführten Untersuchungen, welche sich allein auf das Weser-Gebiet beschränken.

Tritium im Oberflächenwasser wird im Wesergebiet an 8 Messstellen erfasst. Aufgrund der Verteilung der Messstellen wird das Gesamtgebiet in acht Teileinzugsgebiete unterteilt (FULDA, WERRA, ALLER, WESER1 bis WERRA5, vgl. Abb. 3). Die Messreihen

sind unterschiedlich lang, wobei die längste Reihe bis ins Jahr 1963 zurückreicht.

Vergleicht man die Ganglinien der Tritiumkonzentration im Oberflächenwasser und im Niederschlag, fallen Konzentrationsspitzen ab Ende der 1980er Jahre im Oberflächenwasser auf (vgl. Abb. 4).

Diese werden durch Tritiumemissionen aus Kernkraftwerken entlang der Weser ausgelöst. Für die Tritiumfrachten aus den Abwässern der drei anliegenden Kernkraftwerke (KKW) Würsgassen, Grohnde und Unterweser stehen bis 1999 monatliche Daten der Betreiber zur Verfügung. Von 2000 bis 2005 sind nur noch Quartalssummen verfügbar. Das KKW Würsgassen (Emissionsdaten seit 1972, im Rückbau seit 1997), das KKW Grohnde (am Netz seit 1984) und das KKW Unterweser (am Netz seit 1978) geben intermittierend Tritium in den Vorfluter ab, wodurch es zu unregelmäßigen Konzentrationsspitzen in den Messwerten kommt.

Neben den hydrologischen, meteorologischen und den Tritium-Messreihen können Zeitreihen für wasserwirtschaftliche Überleitungen aus und in andere TRIBIL-Teilgebiete als Abflusshöhen (mm/Mon) berücksichtigt werden, welche in die Wasserbilanzgleichung von TRIBIL eingehen. Für diese Größen liegen für jedes TRIBIL-Teilgebiet Zeitreihen von 1951 bis 1999 vor. Aktuelle Daten für die Jahre 2000 bis 2005 sind nicht verfügbar. Behelfsweise werden die langjährigen Monatsmittel (1951–1999) verwendet.

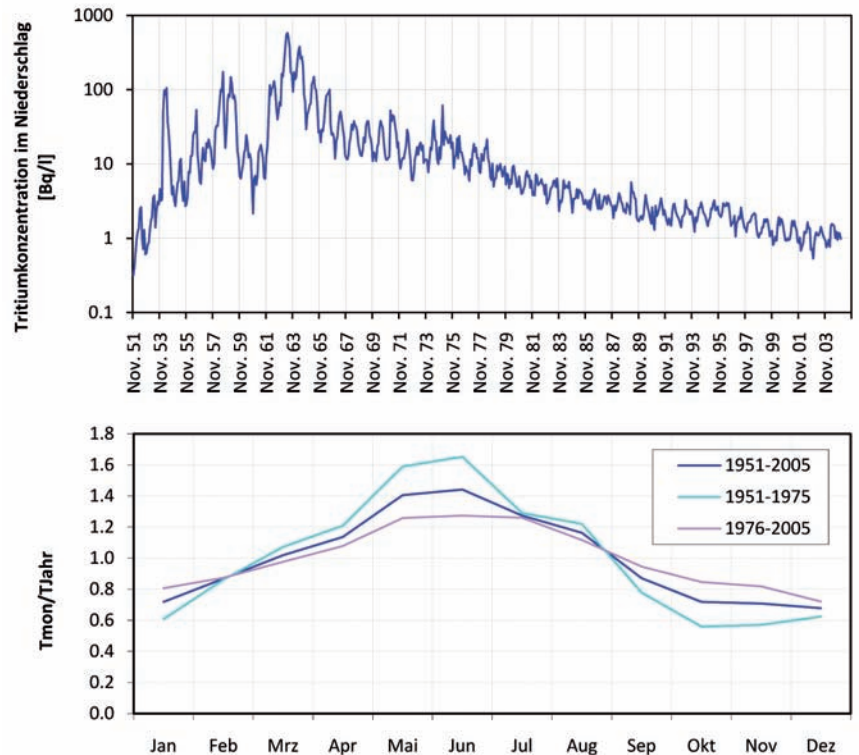


Abbildung 2

Aus GNIP-Stationsdaten (IAEA/WMO 2004) erstellte Tritiumkonzentration im Niederschlag des WERRA-Teileinzugsgebiets: a) Monatswerte von 1951 bis 2005; b) Quotient aus mittleren monatlichen und jährlichen Tritiumkonzentrationen im Niederschlag

Tritium in the precipitation in the WERRA catchment derived from GNIP data (IAEA/WMO 2004): a) monthly values from 1951 to 2005; b) quotient from mean monthly and yearly tritium concentrations in precipitation

2.3 Beschreibung der angewendeten Modelle

2.3.1 Hydrologisches Modellsystem WaSiM-ETH

Die Wasserhaushaltsmodellierung des Wesereinzugsgebietes erfolgt mit dem deterministischen, flächendifferenzierten, hydrologischen Standort- und Einzugsgebietsmodell WaSiM-ETH (SCHULLA 1998). Die räumliche Darstellung des Gebietes wird auf Rasterbasis mit einer Auflösung von 2 x 2 km realisiert. Hierdurch reduzieren sich die Rechenzeiten auf ein Viertel bei vergleichbaren Modellgüten des 1 km-Modells. Die zeitliche Auflösung beträgt einen Tag. Durch die Verwendung der REGNIE-Datensätze, die rasterbasiert sind und einen Datensatz pro Tag enthalten, entfällt die räumliche Interpolation und höhenabhängige Regression des Niederschlags. Die Eingangsparameter Temperatur ($^{\circ}\text{C}$), Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe (m s^{-1}) und relative Luftfeuchte (%) werden konventionell über Stationsdaten eingelesen und, soweit signifikant, mit einer anteiligen Höhenregression regionalisiert, die Interpolation der Stationsdaten erfolgt über

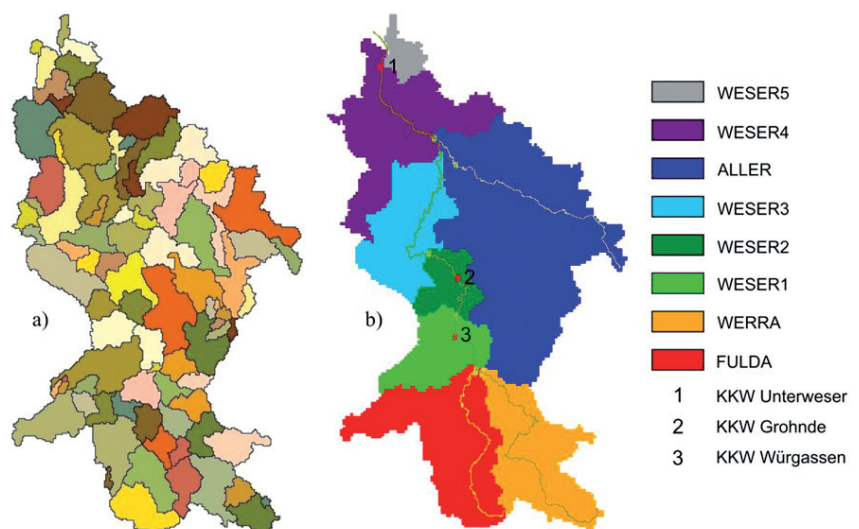


Abbildung 3

a) Topologie der WaSiM-ETH Teilgebiete; b) TRIBIL-Teilgebiete und Lage der Kernkraftwerke im Untersuchungsgebiet

a) Topology of the WaSiM-ETH sub-catchments; b) TRIBIL sub-catchments and location of nuclear power plants in the study area

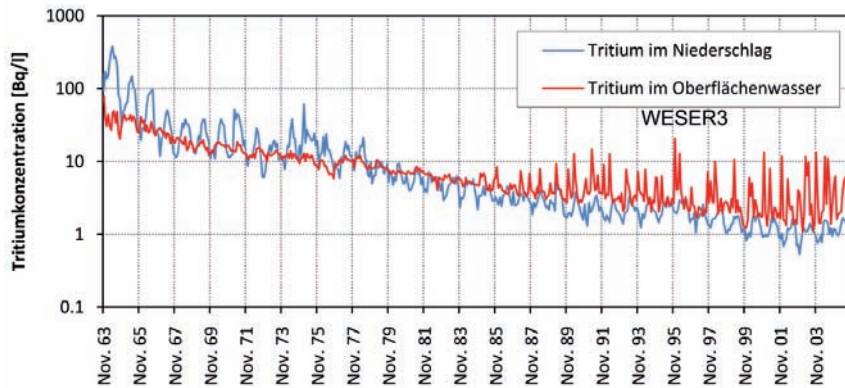


Abbildung 4

Ganglinien der Tritiumkonzentrationen im Niederschlag und im Oberflächenwasser für das Gebiet WESER3 (Station Langwedel) für den Zeitraum von 1963 bis 2005

Tritium concentrations in precipitation and surface water in WESER3 sub-catchment (station Langwedel) in the time period from 1963 to 2005

die „Inverse Distant Weighting“-Methode. Die Globalstrahlung ($W\ m^{-2}$) wird über die relative Sonnenscheindauer abhängig von Standortfaktoren wie Exposition und Hangneigung berechnet. Das Verdunstungsmodul ermittelt die aktuelle Evapotranspiration nach Penman-Monteith. Dazu werden zwölf relevante CORINE2000-Landnutzungsklassen (CLC 2000) über pflanzenspezifische Widerstände und Blattflächenindizes parametrisiert. Als Schneemodell kommt ein Temperatur-Index-Verfahren zum Einsatz.

Der Wassertransport im Boden wird über die eindimensional vertikale Richards-Gleichung modelliert. Das in WaSiM-ETH integrierte Grundwassermodell kommt aus Gründen der Anwendungscomplexität bei mangelnder Datenverfügbarkeit nicht zum Einsatz. Es berechnet den Wasserfluss zwischen Bodenmodul und Grundwasserleiter auf Basis einer 2D-Strömungsgleichung. Dabei können mehrere Schichten parametrisiert werden, welche über einen Leakage-Ansatz interagieren. So kann z.B. auch In- und Exfiltration aus dem Grundwasser in den Vorfluter stattfinden.

Der Gesamtabfluss wird aus drei verschiedenen Komponenten gebildet. Der Direktabfluss (schnelle, oberirdische Komponente) ist das Ergebnis des Infiltrations- und Sättigungsüberschusses und wird im Bodenmodell mit Hilfe des Richards-Ansatzes berechnet. Der Zwischenabfluss (schnelle, unterirdische Komponente) wird im Bodenmodell über einen 1D-Bodenwassertransport gebildet. Der sensitive Kalibrierparameter „drainage density“ (dd) bestimmt wesentlich die Aufteilung der Abflusskomponenten und kann mit der Gewässernetzdichte in Beziehung gesetzt werden. Der Basisabfluss (langsame unterirdische Komponente) wird schließlich über ein Auslaufmodell auf Linearspeicherbasis berechnet. Die Abflusskonzentration ergibt sich aus der Superposition der drei Komponenten; das Wasser wird über eine Einzellinearspeicher-kaskade unter Berücksichtigung der Flächenlaufzeiten zum Gerinne transportiert. Das Routing leitet den gebildeten Abfluss über einen kinematischen Wellenansatz durch das Gerinnenetz zum Gebietsauslass.

Zum besseren Verständnis werden die oben verwendeten Fachbegriffe Direktabfluss, Zwischenabfluss und Basisabfluss im Verlauf des Artikels bei den folgenden Modellbeschreibungen und

Auswertungen beibehalten. Auf Modellunterschiede wird dabei speziell hingewiesen, um die verschiedenen Konzepte klar trennen zu können.

2.3.2 Tracer Aided Catchment Model – Distributed (TAC^D)

TAC^D ist die Weiterentwicklung des semidistribuierten, konzeptionellen Modells TAC (UHLENBROOK 1999, UHLENBROOK & LEIBUNDGUT 2002) und beinhaltet die flächendifferenzierte Betrachtung des Untersuchungsgebietes auf der Basis von Rasterzellen der Größe $2 \times 2\ km$. Wesentliche Bestandteile sind das Schnee- und Bodenmodul, welche direkt dem HBV-Modell entnommen sind (BERGSTRÖM 1976). Das Abflussbildungsmodul basiert auf langjährigen tracer-gestützten Feldforschungen. Als Eingangsdaten werden Zeitreihen für Niederschlag, Lufttemperatur und potentieller

Verdunstung benötigt. Die aktuelle Verdunstung wird aus der potentiellen Verdunstung nach Penman über eine Reduktionsfunktion in Abhängigkeit von den vorhandenen Bodenwasservorräten berechnet.

Der Abflussbildung liegt eine Raumgliederung aufgrund dominierender Abflussbildungsprozesse zugrunde, die speziell für das Wesergebiet parametrisiert wurde. Eine Fläche einheitlichen Abflussbildungstyps kann dabei bis auf die Größe einer einzelnen Rasterzelle untergliedert werden. In TAC^D werden mehrere Abflusskomponenten unterschieden. Diese hängen von der jeweiligen Parametrisierung und der Anzahl der verwendeten Einzellinearspeicher ab. KÖNIGER et. al. (2008) weisen für das Wesergebiet drei Abflusskomponenten aus: Den Direktabfluss aus urbanen Gebieten, offenen Wasserflächen und Feuchtgebieten, einen schnellen Grundwasserabfluss aus dem oberen Grundwasserspeicher und einen langsamen Grundwasserabfluss aus dem unteren Grundwasserspeicher, wobei die unterirdischen Komponenten nochmals in eine mobile und immobile Komponente unterteilt sind. Der Wasserfluss ist auf die Richtung des stärksten Oberflächengefälles festgelegt. Die Speicher- und Auslaufprozesse innerhalb der Zellen sind durch Speicherkaskaden konzeptionalisiert, was im Vergleich mit der Bodenwasserbewegung in WaSiM-ETH (Richards-Gleichung) den wohl größten Unterschied in der Modellarchitektur darstellt.

2.3.3 Tritiumbilanzmodell (TRIBIL)

Das TRitium-BILanzmodell TRIBIL (KRAUSE 1989 a, b, KÖNIGER et al. 2005, 2008) stellt auf Monats- und Teilgebietsbasis Tritiumeinträge aus Niederschlag und Emissionen von kerntechnischen Anlagen einem Austrag über Verdunstung, Abfluss und radioaktiven Zerfall gegenüber. Die Bilanzierung erfolgt über die Aufteilung des Niederschlages in einen Verdunstungsanteil (Evaporation und Transpiration), den Direktabfluss (h_{AO}), sowie eine schnelle (Zwischenabfluss) und eine träge Grundwasserkomponente (Basisabfluss). Zwischenabfluss und Basisabfluss ergeben zusammen den unterirdischen Abfluss (h_{AU}). Die Wasserhaushaltsgrößen werden als Eingangszeitreihen vorgegeben, wodurch keine modellinterne Wasserhaushaltsbilanzierung gerechnet wird. Es muss daher sicher gestellt werden, dass die Wasserbilanz geschlossen ist.

In Abhängigkeit der Aufenthaltszeiten findet bei den einzelnen Komponenten ein Tritiumverlust durch radioaktiven Zerfall statt. Im Vorfluter mischen sich die Anteile aus den Abflusskomponenten und die Beiträge aus den Kernkraftwerken werden aufgeschlagen.

Die Tritiumbilanzierung der gesättigten Bodenzone erfolgt in vier unterschiedlichen Grundwasserspeichern. Zuvor wird die Passage des Sickerwassers durch die ungesättigte Bodenzone pauschal auf eine Dauer von 6 Monaten festgelegt. Abbildung 5 zeigt die Modellarchitektur von TRIBIL.

2.3.4 Abflusskomponentenseparation (DIFGA2000)

DIFGA steht für Differenzenganglinienanalyse und wurde an der Technischen Universität Dresden entwickelt (SCHWARZE et al. 1989, 1999). Es ist ein Programm zur Separation von Abflussganglinien, deren Verhalten über zwei Einzellinearspeicher beschrieben wird, welche über ein Lithofazies-Konzept in drei Abflusskomponenten aufgetrennt werden. Die zeitlichen Rückgangskonstanten des langsamen Grundwasserabflusses (QG2), des schnellen Grundwasserabflusses (QG1) und des Direktabflusses (QD) werden iterativ ermittelt und als Monats-, Halbjahres- und Jahreswerte ausgegeben. Die tiefe Grundwasserzone wird durch QG2 abgebildet. Der obere Bereich der Bodenzone wird durch QG1 entwässert, der konzeptionell dem Interflow entspricht. Der Direktabfluss entstammt versiegelten Flächen und gewässernahen Gebieten, auf welchen der gefallene Niederschlag schnell oberirdisch in den Vorfluter fließt. Somit sind die hier ausgewiesenen Abflusskomponenten konzeptionell weitgehend identisch mit den Komponenten Basisabfluss, Zwischenabfluss und Direktabfluss, wie sie für TRIBIL, TAC^D und auch in WaSiM-ETH unterschieden und ausgewiesen werden.

3 Ergebnisse

3.1 Ganglinienseparation mit DIFGA2000 und Wasserhaushaltsmodellierung mit WaSiM-ETH

Mit DIFGA2000 werden für den Zeitraum 1995 bis 2005 mittlere Anteile der Abflusskomponenten berechnet. Die Ergebnisse dienen als Anhaltspunkte für die Verteilung der Abflusskomponenten bei der Kalibrierung von WaSiM-ETH, insbesondere für die Kalibrierung des Parameters der Entwässerungsdichte (vgl. Modellbeschreibung). Für die Wasserhaushaltsmodellierung mit WaSiM-ETH werden für das Weser-Gebiet 92 Teileinzugsgebiete ausgewiesen. Die Kalibrierung (Zeitraum 1990 bis 2000) erfolgt anhand unterschiedlicher Zielgrößen und wird mit den Gütemaßen Bestimmtheitsmaß (R^2) und (log.) Modelleffizienz (E) bezogen auf die gemessenen Durchflüsse an ca. 60 Pegeln quantifiziert. Es wird aufgrund der Fülle an Teileinzugsgebieten und unterschiedlicher Abflussregimes beginnend bei den Kopfgebieten hin zum Gebietsauslass vorgegangen. In Tabelle 3 sind die Modellgüten und Anteile der Abflusskomponenten für die Kalibrierung und Validierung ausgewählter Pegel dargestellt.

In der Kalibrierung werden für die TRIBIL-relevanten Pegel gute bis sehr gute Modellgüten erreicht. Die Bestimmtheitsmaße (R^2) liegen zwischen 0,87 und 0,95, die Nash-Sutcliffe-Effizienzen (E) zwischen 0,80 und 0,90. Die Unterschiede in den Anteilen der Abflusskomponenten zwischen WaSiM-ETH und DIFGA2000 sind mit einer maximalen Abweichung von 7 % relativ gering. Für die Validierung (Zeitraum 1981 bis 1990) zeigen sich Modellgüten mit Nash-Sutcliffe-Werten zwischen 0,84 und 0,90, auch die Bestimmtheitsmaße sind mit 0,85 bis 0,91 nahezu im selben Bereich wie bei der Kalibrierung. Im Fulda-Gebiet verschieben sich die Abflusskomponenten leicht

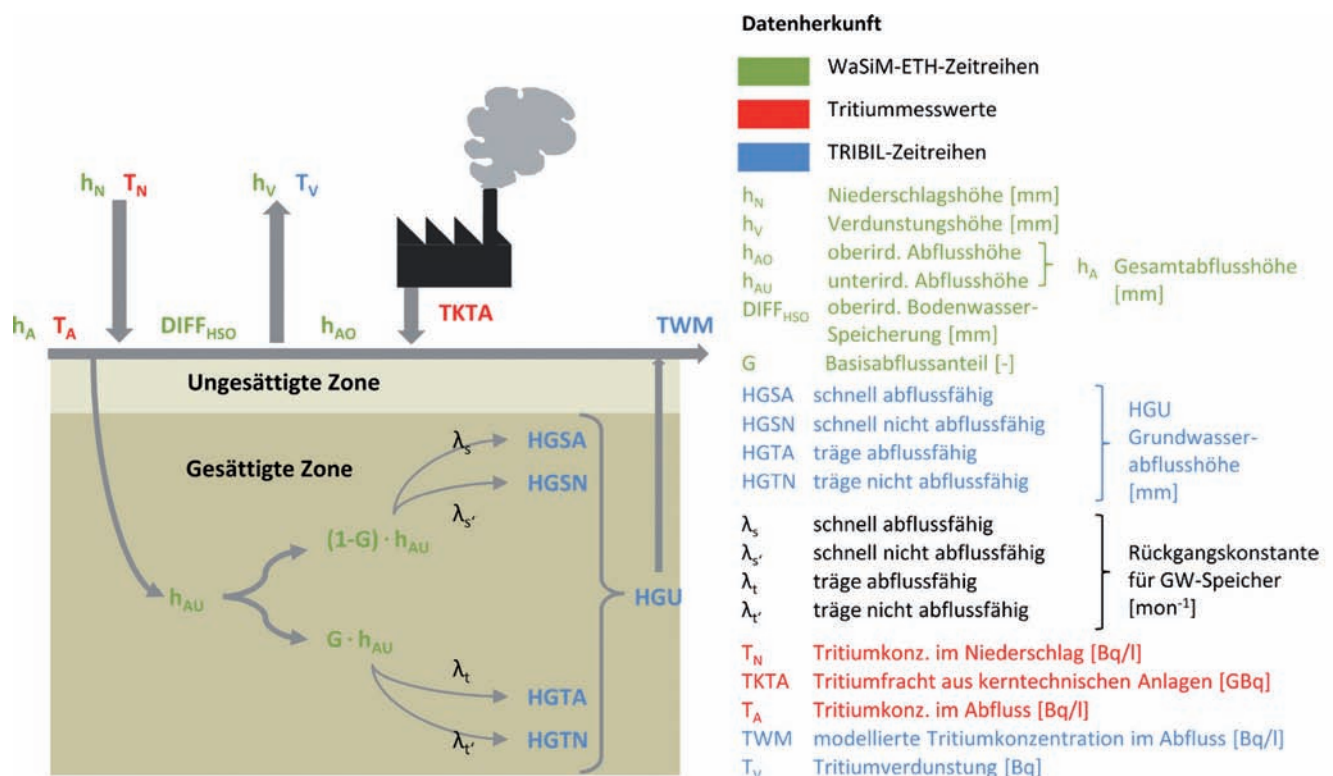


Abbildung 5

Schematische Darstellung der Komponenten des Modells TRIBIL-WaSiM (verändert nach KRAUSE 1988; KÖNIGER 2004) und ihre Datenherkunft
 Sketch of the model components of TRIBIL-WaSiM (modified after KRAUSE 1988; KÖNIGER 2004) and the origin of the data

Tabelle 3

Ergebnisse der Kalibrierung und Validierung von WaSiM-ETH für ausgewählte Pegel und Anteile der Abflusskomponenten (%) in DIFGA2000 und WaSiM-ETH

Results of calibration and validation runs of selected gauges for WaSiM-ETH and comparison of runoff components (%) with DIFGA2000 and WaSiM-ETH

Pegel	Intschede (WESER3)	Letzter Heller (WERRA)	Guntershausen (FULDA)	Rethem (ALLER)
Modellgüte				
$Q_{\text{gem}} - Q_{\text{ber}}$ (mm) (Kalibrierung)	-10	-39	-31	-2
$Q_{\text{gem}} - Q_{\text{ber}}$ (mm) (Validierung)	1	-10	-22	22
E (Kalibrierung)	0,90	0,80	0,89	0,83
E (Validierung)	0,90	0,84	0,89	0,85
R^2 (Kalibrierung)	0,93	0,89	0,91	0,87
R^2 (Validierung)	0,92	0,85	0,91	0,88
Abflusskomponenten				
Basisabfluss (Kalibrierung)	43,3	38,7	30,3	45,8
Basisabfluss (Validierung)	47,3	38,6	27,2	47,0
Basisabfluss (DIFGA)	40,0	31,6	33,9	39,8
Zwischenabfluss (Kalibrierung)	47,1	50,7	50,3	46,4
Zwischenabfluss (Validierung)	48,6	50,7	49,3	46,0
Zwischenabfluss (DIFGA)	51,0	57,3	50,5	49,6
Direktabfluss (Kalibrierung)	9,6	10,7	19,4	7,8
Direktabfluss (Validierung)	4,1	10,8	23,5	7,1
Direktabfluss (DIFGA)	9,0	11,1	15,6	10,6

hin zum Direktabfluss; Pegel Intschede (WESER3 und ALLER) zeigt ein erhöhtes Basisabflussniveau, was auf Kosten des Direktabflusses geht. Die restlichen Gebiete verhalten sich nahezu unverändert.

3.2 Tritiummodellierung mit TRIBIL

Die Tritiummodellierung erfolgt auf Monatsbasis. Aufgrund der Datenlage ist die mesoskalige Gebietsaufteilung unter WaSiM-ETH für die Validierung der Tritiummodellierung über die Tritiumkonzentrationen im Oberflächengewässer zu fein. Daher werden die Tageswerte der 92 WaSiM-Gebiete zu monatlichen Werten der acht großräumigen TRIBIL-Teilgebiete flächengewichtet aggregiert. Bei der Aufbereitung der WaSiM-Ergebnisse für TRIBIL ergeben sich für einige Eingangsgrößen deutliche Unterschiede im Vergleich zu den früheren Zeitreihen, was an zwei Beispielen gezeigt werden soll.

3.2.1 Oberirdische Bodenwasserspeicherung

Die oberirdische Bodenwasserspeicherung (HSO) entspricht dem Wasseräquivalent des an der Bodenoberfläche in Form von Schnee gespeichertem festen Niederschlag. Der Speicher wird bei Schneefall gefüllt und durch Abschmelzen der Schneedecke geleert. In Abbildung 6 sind die langjährigen monatlichen Mittelwerte für den Zeitraum 1951–1999 dargestellt.

Die monatliche oberirdische Bodenwasserspeicherung ergibt sich für TRIBIL aus der Differenz der Mittelwerte der Schneehöhe am letzten Tag des betrachteten Monats und des ersten Tages des Folgemonats. Die Zu- und Abnahme wird in TRIBIL durch konzeptionelle Annahmen in Abhängigkeit von der Lufttemperatur, der aktuellen Verdunstung und des Niederschlags beschrieben. Die TRIBIL-Zeitreihe besitzt einen ausgeprägten Jahresgang. Die Werte fallen im Sommer in den negativen Bereich und suggerieren eine kontinuierliche Zehrung des oberirdischen Bodenwasserspeichers, ausgelöst durch die aktuelle Verdunstung (s. Abb. 6). Durch die Annahmen, dass bei einer Lufttemperatur größer 0 °C und einer Schneedecke kleiner 0,25 cm die oberirdische Bodenwasserspeicherung auf 0 mm fällt, wird der große Einfluss der aktuellen Verdunstung im Sommer entfernt.

Die Zeitreihe für TRIBIL-WaSiM basiert auf dem im Schneemodul von WaSiM-ETH täglich berechneten Wasseräquivalent der Schneedecke, welches dann zu Monatswerten aggregiert wird. Im Winter findet eine Akkumulation des oberirdischen Bodenwasserspeichers statt. Im Frühling wird der oberirdische Speicher aufgrund des Abschmelzens der Schneedecke komplett entleert. Die Zehrung der Schneedecke dauert bis in den Mai hinein mit einer Höhe von 2 mm/Mon im Flachland und bis zu

6 mm/Mon im Mittelgebirge. Solche Werte werden selbst in den Hochlagen von Mittelgebirgen als eher selten erachtet. Aufgrund fehlender Messdaten und angesichts der geringen Relevanz für die Wasserbilanz wird diesem Aspekt hier jedoch nicht weiter nachgegangen. Im Sommer und Frühherbst findet weder Akkumulation noch Zehrung des Speichers statt, da hier die Niederschläge komplett als Regen fallen.

3.2.2 Abflusskomponenten

Die Aufteilung der Abflussanteile in Direktabfluss (Oberflächenabfluss), Zwischenabfluss (schnell, unterirdisch) und Basisabfluss (langsam, unterirdisch) ist direkt aus WaSiM-ETH übernommen. Demgegenüber wird die Zeitreihe des Basisabflusses bei der alleinigen TRIBIL-Modellierung nach dem modifizierten Wundt-Kille-Verfahren (DEMUTH 1993) und für TRIBIL-TAC^D durch die Anwendung der Speicherkaskaden ermittelt. Die ermittelten Zeitreihen gehen dann als Anteil des Basisabflusses am Gesamtabfluss in das Modell TRIBIL ein.

In Abbildung 7 sind die Abflusshöhen für den Zeitraum 1989–1999 dargestellt. Die oberirdische Abflusshöhe (h_{Ao}) entspricht hierbei dem Direktabfluss, während die unterirdische Abflusshöhe (h_{Au}) den Interflow und den Basisabfluss in sich vereint. Betrachtet man h_{Ao} fällt auf, dass die TRIBIL-WaSiM-Ganglinie im Sommerhalbjahr sehr oft auf null zurückgeht, wogegen die Zeitreihen von TRIBIL und TRIBIL-TAC^D nicht auf null zurückgehen. Grund hierfür sind die unterschiedlichen Ansätze der Abflusskomponentenseparation und die zeitliche Auflösung. So werden z.B. mit dem modifizierten Wundt-Kille-Verfahren auf Monatsbasis (TRIBIL) langsamere unterirdische Komponenten aus dem Direktabfluss nicht völlig eliminiert, wodurch eine klare konzeptionelle Trennung nicht möglich ist. In Tabelle 4 sind die langjährigen Mittelwerte der oberirdischen und unterirdischen Abflusshöhe dargestellt. Hier wird der Unterschied zwischen TRIBIL und WaSiM-ETH besonders deutlich. Der Anteil von h_{Ao} am Gesamtabfluss h_A beträgt bei WaSiM-ETH knapp 20 %, während h_{Ao} bei TRIBIL 50 % vom Gesamtabfluss ausmacht. Auch bei TRIBIL-TAC^D ist das Verhältnis von unterirdischem zu oberirdischem Abfluss recht ausgeglichen.

3.3 Modellkalibrierung TRIBIL-WaSiM

Eine durchgeführte Sensitivitätsanalyse weist folgende TRIBIL-Parameter als besonders sensitiv aus:

- Rückgangskonstante für den schnellen, abflussfähigen Grundwasserabfluss (λ_s)
- Rückgangskonstante für den trägen, abflussfähigen Grundwasserabfluss (λ_t)

Die Parameter beschreiben Auslaufkonstanten (Mon^{-1}), welche aus den langjährigen Monatsmitteln für MNQ (λ_s) und NQ (λ_t) ermittelt werden.

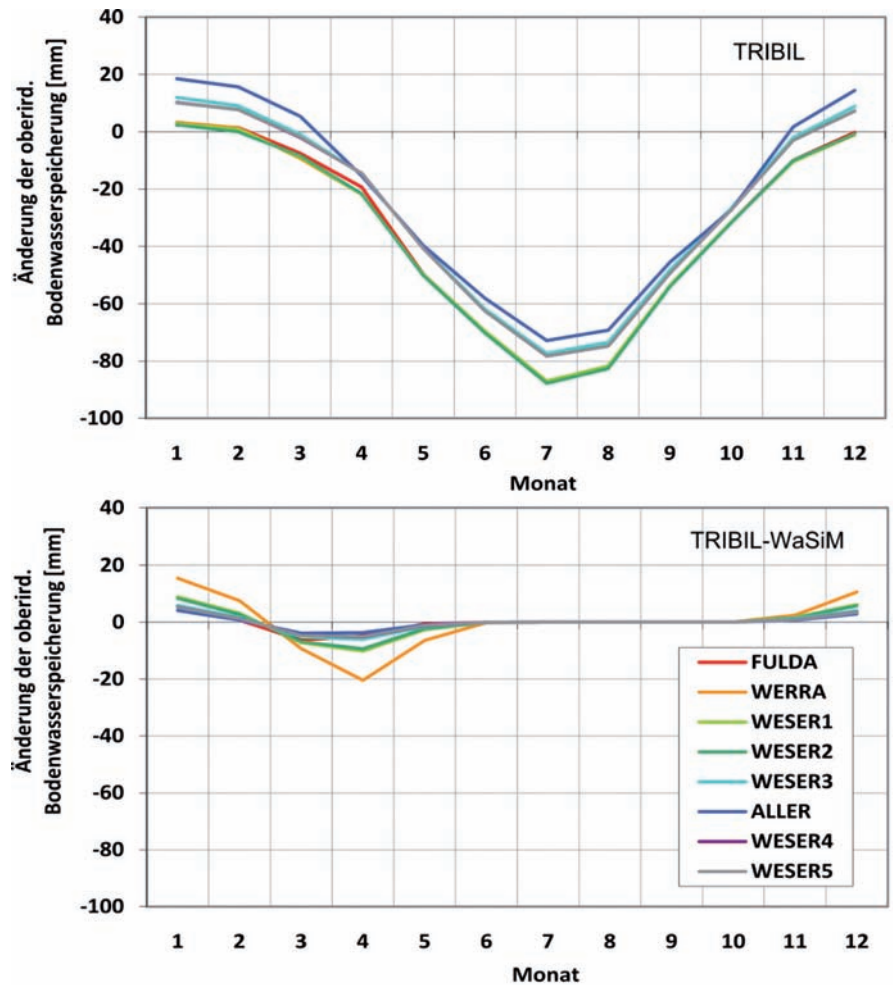


Abbildung 6

Langjährige mittlere monatliche Änderung der oberirdischen Bodenwasserspeicherung (mm/Mon) (Diff_HSO) für a) TRIBIL und b) TRIBIL-WaSiM

Long-term mean monthly change (mm/Mon) in above-ground surface water storage (DIFF_HSO) for a) the TRIBIL and b) the TRIBIL-WaSiM model

Ausgehend von der Verfügbarkeit der Vergleichsdaten erstreckt sich der Kalibrierzeitraum von 1978 bis 1999. Die Kalibrierung des Modells TRIBIL erfolgt an den gemessenen Zeitreihen des Tritiumgehaltes im Oberflächenwasser der acht TRIBIL-Teilgebiete. Als Gütekriterien dienen das Bestimmtheitsmaß (R^2) und die mittlere absolute Abweichung (A). In Tabelle 5 sind diese zusammen mit den Ergebnissen aus TRIBIL und TRIBIL-TAC^D dargestellt.

Vier von acht Gebieten (FULDA, WERRA, WESER1 und ALLER) zeigen höhere oder gleiche Bestimmtheitsmaße für TRIBIL-WaSiM. Etwas geringere Werte für R^2 als mit den beiden anderen Modellvarianten ergeben sich für WESER2, WESER3, WESER4 und WESER5. Die mittlere absolute Abweichung liegt im Oberlauf bei -0,03 (FULDA) bzw. -0,18 (WERRA), im Unterlauf (ALLER, WESER4 und WESER5) sind die Abweichungen geringer. Negativ auf die Modellgüte bei WESER1, 2, 3 u. 4 wirkt sich die Beeinflussung der Messwerte durch die Abwässer der Kernkraftwerke aus. Im Unterlauf ist zusätzlich mit einer Beeinflussung durch Gezeitenströmung zu rechnen. Im Vergleich zu TRIBIL-TAC^D hat sich die mittlere absolute Abweichung in nahezu allen Gebieten verringert.

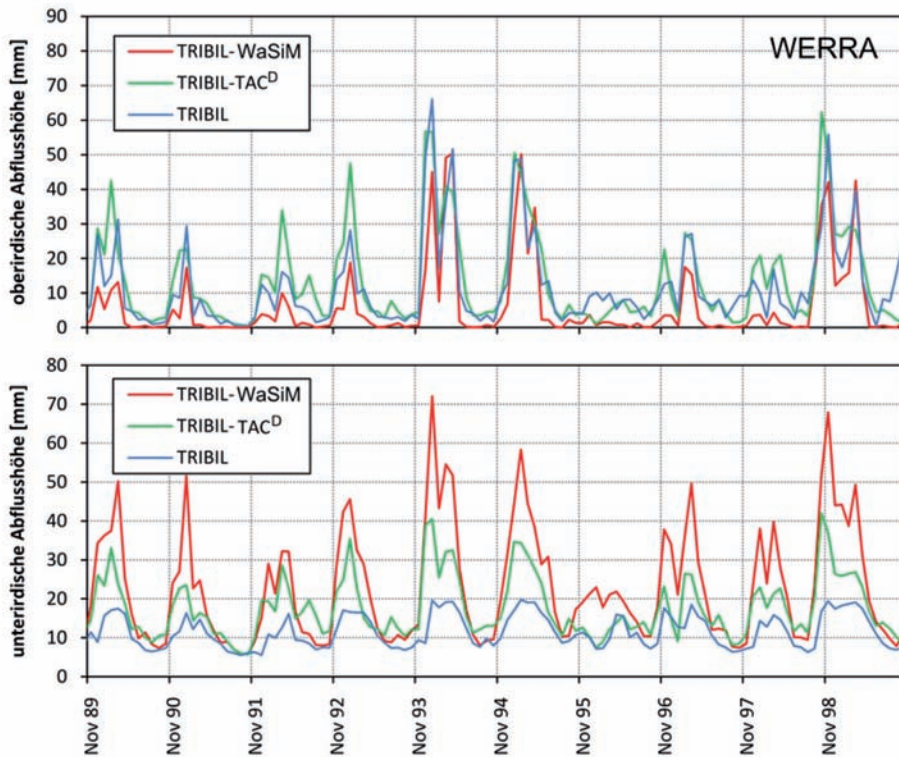


Abbildung 7

Oberirdische und unterirdische monatliche Abflusshöhen im WERRA-Teileinzugsgebiet im Zeitraum November 1989 bis November 1999

Monthly direct and subsurface flows of the WERRA sub-catchment between November 1989 and November 1999

Tabelle 4

Mittlere monatliche Abflusshöhen h_A und zugehörige mittlere monatliche ober- und unterirdische Abflusshöhen h_{Ao} und h_{Au} für das WERRA-Teilgebiet (1951–1999) in mm/Mon
Flow depths h_A and associated above-ground and sub-surface flow depths in the WERRA-subcatchment (1951–1999) in mm/Mon

Abfluss [mm/Mon]	h_A	h_{Ao}	h_{Au}
TRIBIL	24,8	12,5	12,3
TRIBIL-TAC ^D	29,7	12,8	16,9
TRIBIL-WaSiM	28,8	5,2	23,6

klären, wodurch es besonders bei hohen Ausgangskonzentrationen im Niederschlag zu starken Schwankungen in den modellierten Tritiumkonzentrationen kommen kann.

Für den Zeitraum 1963–1978 sind Unterschiede in der Modellgüte sehr gut visuell zu beurteilen, da aufgrund der Kernwaffentests höhere Tritiumkonzentrationen vorhanden sind und damit auch größere saisonale Schwankungen und Amplituden auftreten. In Abbildung 10 sind die Ergebnisse der Validierung für das Gebiet WESER3 dargestellt.

Die Ganglinie von TRIBIL-WaSiM zeigt die geringste Abweichung von den gemessenen Werten. Besonders ist dies für den

Angaben über Tritiumemissionen aus den Kernkraftwerken liegen nur auf Quartalsbasis vor und müssen für die Bilanzierung in Monatswerte disaggregiert werden. Die Quartalsummen werden dabei auf die gemessenen Konzentrationsspitzen im Oberflächenwasser im entsprechenden Zeitraum aufgeschlagen. Dadurch kann die Modelleffizienz für die Teilgebiete WESER4 und WESER5 nochmals gesteigert werden (Abb. 8).

3.4 Modellvalidierung TRIBIL-WaSiM

Um für die Validierung eine hinreichend lange Zeitspanne zu erhalten, werden die Messreihen der TRIBIL-Teilgebiete mit Messwerten der Reihe WESER3 bis 1963 rückwärtig ergänzt. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass der Jahresgang und die Höhe der Tritiumkonzentration in den einzelnen Gebieten in derselben Größenordnung liegen. Diese Annahme wird durch die Ähnlichkeit der Tritiummesswerte ab dem Jahr 1973 gestützt. So zeigt sich, dass die gemessenen Konzentrationen im Oberflächenwasser in der Validierperiode 1963–1978 durch TRIBIL und TRIBIL-TAC^D teilweise deutlich überschätzt werden (vgl. Abb. 9). Dies ist durch den relativ großen Wertebereich der sensitiven Kalibrierparameter λ_s und λ_t zu erklären,

Tabelle 5

Kalibrierung: Bestimmtheitsmaß R^2 (-) und mittlere absolute Abweichung A (Bq/l) der Kalibrierung (1978 – 1999) für TRIBIL-WaSiM und im Vergleich dazu von TRIBIL (*) und TRIBIL-TAC^D (**)

Calibration results as R^2 (-) and mean absolute deviation A (Bq/l) of TRIBIL-WaSiM and TRIBIL (*) and TRIBIL-TAC^D (**) for comparison

	FULDA	WERRA	WESER1	WESER2	WESER3	ALLER	WESER4	WESER5	Mittel
R^2	0,91	0,93	0,89	0,78	0,76	0,91	0,49	0,46	0,77
R^2 (*)	0,86	0,87	0,86	0,83	0,86	0,81	0,43	0,43	0,74
R^2 (**)	0,88	0,93	0,87	0,79	0,78	0,90	0,52	0,48	0,77
A	-0,03	-0,18	-0,24	-0,13	-0,26	-0,09	0,24	0,02	-0,08
A (*)	0,16	0,07	-0,04	-0,01	-0,25	-0,13	0,73	0,63	0,14
A (**)	-1,10	-0,60	-0,54	-0,62	-0,26	-0,14	-0,61	-0,40	-0,53

TRIBIL-WaSiM; * TRIBIL; ** TRIBIL-TAC^D

Zeitraum von 1963 bis 1971 zu sehen. Während TRIBIL die Maximalwerte deutlich überschätzt, nähert sich TRIBIL-TAC^D den gemessenen Werten besser an. Allerdings ist hier die Saisonalität nicht so deutlich ausgeprägt wie bei TRIBIL-WaSiM. In Tabelle 6 sind die Gütemaße für die verschiedenen Modellierungen aufgezeigt.

Mit fallenden Tritiumkonzentrationen ab Ende der 60er Jahre werden die Unterschiede zwischen den einzelnen Modellen geringer. Ab Ende der 70er Jahre sind sie nahezu identisch. Die Bestimmtheitsmaße liegen zwischen 0,68 und 0,76, wobei die höchsten Modellgüten im Bereich der Mittel- und Unterweser zu finden sind. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass es im betrachteten Zeitraum noch keine Emissionen aus Kernkraftwerken gibt. Die Unterschiede in der Methodik zwischen TRIBIL, TRIBIL-TAC^D und TRIBIL-WaSiM und folglich in den Modellergebnissen werden nicht nur in den Gütemaßen deutlich, sondern auch in der mittleren Gesamtverweilzeit (T) des Grundwassers. Die Gesamtverweilzeit wird nach der Validierung des Modells für die Teilgebiete berechnet und ist in Tabelle 7 zusammengefasst.

Die ermittelten Verweilzeiten für das Grundwasser liegen für TRIBIL-WaSiM im Mittel bei 20 Jahren, für TRIBIL-TAC^D bei 20 bis 50 Jahren und für TRIBIL bei 40 bis 90 Jahren.

4 Diskussion

Die durchgeführte Ganglinienseparation mit DIFGA2000 ergibt für jeden Pegel eine von der Modellierung mit WaSiM-ETH unabhängige Ausweisung mittlerer Abflusskomponenten. Die Daten werden als eine erste Annäherung für die Verteilung der Abflusskomponenten gesehen, da die Unterschiede zwischen den konzeptionellen (DIFGA2000) und prozessorientierten (WaSiM-ETH) Ansätzen einen direkten Vergleich nicht zulassen. Die Modellierung mit WaSiM-ETH weist jedoch mit vergleichbaren Anteilen bei den Abflusskomponenten die besten Ergebnisse auf, weshalb sie letztlich direkt für die Tritiumbilanzierung verwendet werden.

Die Klimadaten aus früheren Arbeiten (KÖNIGER 2004) sind für die Teilgebiete nur eingeschränkt räumlich repräsentativ, was

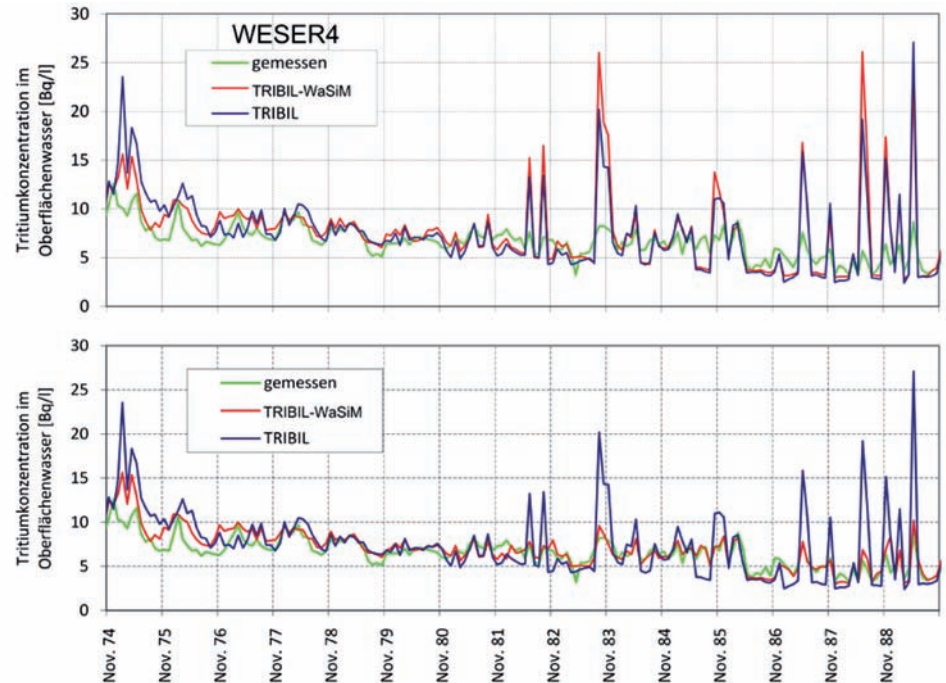


Abbildung 8

Gemessene und modellierte monatliche Tritiumkonzentrationen im Oberflächenwasser für das Teileinzugsgebiet WESER4 im Zeitraum November 1974 bis November 1989 a) vor der Rückkalibrierung und b) nach Rückkalibrierung

Measured and simulated monthly tritium concentrations in surface water of the WESER4 sub-catchment between November 1974 and November 1989 a) before recalibration and b) after recalibration

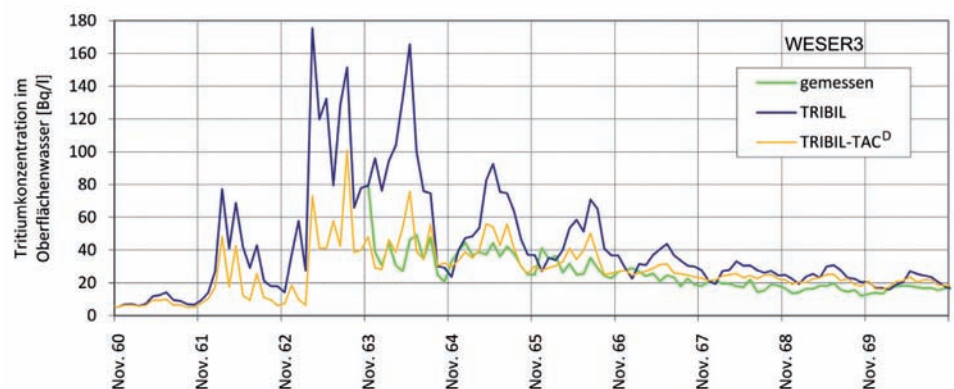
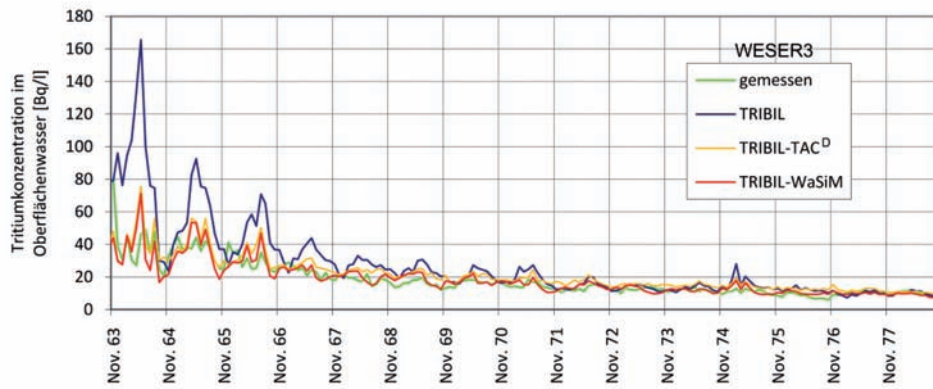


Abbildung 9

Gemessene monatliche Tritiumkonzentrationen und Modellergebnisse früherer Untersuchungen im Teileinzugsgebiet WESER3 für den Zeitraum November 1960 bis November 1970

Measured monthly tritium concentrations and model results of earlier work of the WESER3 sub-catchment in the time period from November 1960 to November 1970

ebenfalls als Nachteil zu bewerten ist. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der Gebietsgrößen, welche in der Makroskala angesiedelt sind. Damit einher geht eine starke Generalisierung der Eingangsdaten. Diesem Umstand wird durch die Verwendung der korrigierten REGNIE-Rasterdaten sowie der höhenabhängigen Regression der Stationsdaten und der gebietsgewichteten Mittelung entgegengewirkt. Es stellt sich als Nachteil heraus, dass in TRIBIL keine interne Wasserbilanz berechnet wird. Somit ergibt sich das Problem, dass bei unterschiedlichen Datenquellen und zeitlichen Auflösungen der hydrometeorologischen

**Abbildung 10**

Monatliche Tritiumkonzentration im Oberflächenwasser im Teileinzugsgebiet WESER3 für den Zeitraum November 1963 bis November 1978

Monthly tritium concentrations in the surface water of the WESER3 sub-catchment in the time period from November 1963 to November 1978

Daten eine externe Qualitätssicherung stattfinden muss. Eine feinere Gebietsgliederung und kürzere Zeitschritte sind mit den vorhandenen Datengrundlagen aus WaSiM-ETH möglich, die monatliche Auflösung der Tritiummessdaten limitiert jedoch die Möglichkeiten einer weiter differenzierten, räumlichen und zeitlichen Betrachtung.

Das Regime der Tritiumkonzentration im Oberflächenwasser wird zusätzlich vom Abflussregime eines Fließgewässers beeinflusst. Im Wesereinzugsgebiet treten neben Mittelgebirgs- und

Flachlandregimes auch Übergangs- und Mischregimes auf, was sich auf die Tritiumkonzentrationen und die Modellgüte auswirkt. Die Messreihe Langwedel (WESER3) ist durch ein Übergangsregime geprägt. Im Oberlauf (WERRA, WESER1, WESER2), der durch ein typisches Mittelgebirgsregime gekennzeichnet ist, zeigt sich eine geringere Modellgüte. Dies könnte durch die grobe zeitliche Auflösung der Modellierung bedingt sein, welche die hydrologischen Prozesse im Mittelgebirge nicht ausreichend abbilden vermag. Das Fulda-Gebiet bildet da eine Ausnahme. Durch die Talsperrenbewirtschaftung an der Edertalsperre und die damit verbundene Niedrigwasseraufhöhung kommt es zu einer anthropogenen Veränderung des Abflussregimes in Richtung eines Flachlandregimes. Die Gebiete WESER4 und WESER5 sind durch Flachlandregimes gekennzeichnet. Deshalb zeigt sich hier eine Modellgüte im Bereich von WESER3. In den küstennahen Gebieten kann sich Gezeiteneinfluss bemerkbar machen, so dass bei Flut Wasser aufgestaut oder Meerwasser flussaufwärts verfrachtet werden kann, wodurch die Tritiummesswerte beeinflusst (KÖNIGER 2004) werden.

Tabelle 6

Validierung: Modellgüte R^2 (-) und mittlere absolute Abweichung A (Bq/l) für den Zeitraum 1963 bis 1978 (regionale Übertragung)
Model performance R^2 (-) and mean absolute deviation A (Bq/l) in the time period from 1963 to 1978 (regional transfer)

	FULDA	WERRA	WESER1	WESER2	WESER3	ALLER	WESER4	WESER5	Mittel
R^2	0,74	0,68	0,70	0,69	0,75	0,74	0,76	0,76	0,73
R^2 (*)	0,64	0,63	0,62	0,64	0,65	0,60	0,65	0,64	0,63
R^2 (**)	0,77	0,74	0,75	0,73	0,77	0,73	0,77	0,75	0,75
A	-2,24	-2,61	0,15	0,89	-0,29	-1,21	-0,67	-0,62	-0,82
A (*)	-18,16	-19,68	-18,07	-18,01	-8,87	-25,00	-8,65	-8,89	-15,66
A (**)	-2,96	-2,75	-0,68	-0,14	-3,42	-3,13	-2,96	-2,89	-2,37

TRIBIL-WaSiM; * TRIBIL; ** TRIBIL-TAC^D

Tabelle 7

Langjährige mittlere Abflusshöhen h_A (mm/a) und Gesamtverweilzeit T (a) des Grundwassers im System Weser (TRIBIL-WaSiM) verglichen mit anderen Flusssystemen (nach KRAUSE 1988)

Mean annual flow depths h_A (mm/a) and mean retention time T (a) of groundwater in the Weser system (TRIBIL-WaSiM) and in other river catchments (after KRAUSE 1988)

	FULDA	WERRA	WESER1	WESER2	WESER3	ALLER	WESER4	WESER5	Rheine	Geeste	Emden
h_A	279	344	300	308	270	225	264	263	307	295	286
h_A *	298	297	285	304	270	229	246	248			
h_A **	297	296	285	309	274	233	249	252			
T	20	15	26	20	19	19	19	21	12	10	13
T *	41	62	45	43	91	92	92	93			
T **	19	16	14	14	50	37	48	48			

TRIBIL-WaSiM; * TRIBIL; ** TRIBIL-TAC^D

Die gemessenen Tritiumkonzentrationen reichen lediglich (mit Ausnahme von Langwedel, WESER3) bis Ende der 1970er Jahre zurück. Zu diesem Zeitpunkt sind die Tritiumkonzentrationen in Niederschlag und Abfluss als Folge des Stopps der Kernwaffentests bereits stark zurückgegangen. Die großen Konzentrationschwankungen in den 1960er und 1970er Jahren wären für eine Kalibrierung besser geeignet, sind aber im Oberflächenwasser nur durch wenige Messungen belegt. Durch die Übertragung der Tritium-Messwerte von WESER3 auf die restlichen Gebiete für die Periode 1963 bis 1978 ergibt sich eine zusätzliche Möglichkeit, die Modellergebnisse auf Plausibilität zu prüfen, wobei die regionale Übertragung der Messwerte aus dem Flachland (Langwedel, WESER3) in das Mittelgebirge (FULDA, WERRA) auf Grund der beschriebenen Effekte (Höheneffekt, Breiteneffekt) mit Vorsicht zu betrachten ist.

Als Folge der eingeschränkten Kalibrierperiode kann mit unterschiedlichen Parameter-Sets für λ_s und λ_t eine vergleichbare Modellgüte erreicht werden. Die modellierten Spitzenkonzentrationen im rückverlängerten Zeitraum können dabei jedoch deutlich voneinander abweichen, sowohl im betrachteten Gebiet wie auch in den Teilgebieten untereinander. Die geeigneten Parameterspannweiten für λ_s und λ_t erlauben Werte, die in frühen Perioden (vor 1978) zeitweilig zu starken Oszillationen und negativen Tritiumkonzentrationen führen können, obwohl die Modellgüte innerhalb der Kalibrierphase zufriedenstellend sein kann. Die regionale Übertragung der Reihe von Langwedel (WESER3) ermöglicht es, die Modellergebnisse von 1963 bis 1978 direkt in die Modellierung der Gebiete mit einzubeziehen. Die so erhaltenen Ergebnisse von TRIBIL-WaSiM können die modellierten Spitzenkonzentrationen aus früheren TRIBIL-Modellierungen nicht bestätigen, d.h. bei besserer Modellgüte reduzieren sich die modellierten Spitzenkonzentrationen deutlich.

Die Unterschiede in den Verweilzeiten sind hauptsächlich durch die veränderten Anteile der Abflusskomponenten in den einzelnen Modellierungen begründet, was an den verschiedenen Ansätzen zur Abflusskomponententrennung (konzeptionell vs. physikalisch basiert) und deren zeitlicher Auflösung liegt. Für TRIBIL-WaSiM zeigen sich höhere Werte im unterirdischen Abfluss, wodurch sich die resultierenden Verweilzeiten verkürzen. Beim Vergleich wird deutlich, dass diese eher mit den Ergebnissen von KRAUSE (1988, 1989a, 1989b) im Emsgebiet korrelieren als mit den Ergebnissen aus TRIBIL. Es sei hier erwähnt, dass bei verwendetem Grundwassermodul, abhängig von der Parametrisierung in WaSiM-ETH, auch längere Verweilzeiten auftreten können.

5 Schlussfolgerung und Ausblick

Mithilfe des Modells TRIBIL und den flächendifferenzierten Wasserhaushaltsmodellen TAC^D und WaSiM-ETH wurden für das Wesereinzugsgebiet Tritiummodellierungen durchgeführt. Ziel war unter anderem, den konzeptionellen Ansatz von TRIBIL und TRIBIL-TAC^D durch physikalisch interpretierbare Daten zu ersetzen.

Die tritiumgestützten Wasserhaushaltsmodellierungen mit TRIBIL, TRIBIL-TAC^D und TRIBIL-WaSiM zeigen bisweilen sehr unterschiedliche Modellergebnisse, besonders in Hinblick auf die Verteilung der Abflusskomponenten sowie der daraus resultierenden Gesamtverweilzeit T des Grundwassers im System.

Zudem wurden für TRIBIL die Niederschlagsdaten der Messstationen arithmetisch gemittelt, während diese dann für TRIBIL-TAC^D wieder disaggregiert wurden. Für TRIBIL-WaSiM liegen dagegen detaillierte REGNIE-Rasterdaten vor, welche flächengewichtet für die Tritiumbilanzierung aufbereitet wurden. Weiterhin werden die Abflusskomponenten und die aktuelle Verdunstung direkt aus der WaSiM-Modellierung übernommen, wodurch die räumliche Repräsentativität erhöht und methodisch abgesichert wird.

Die Arbeit zeigt, dass die isotopehydrologische Modellierung stark von der Güte der Eingangsdaten abhängig ist. Die Kalibrierung des Modells TRIBIL ist als generell weich zu charakterisieren, da eine höhere Eingangsdatendichte und -auflösung, besonders im Bereich der Tritiummessreihen und der wasserwirtschaftlichen Einflüsse (z.B. Speicherseen, Niedrigwasseraufhöhung, Wasserentnahmen und -umleitungen etc.), durchaus zu veränderten Modellergebnissen führen kann. Die ausgewiesenen Abflusskomponenten wie auch die meteorologischen Größen stützen methodisch die vorliegende Parametrisierung. Gleichzeitig erschweren mangelnde Vergleichsdaten (Tritiummesswerte vor 1978) eine effektive Kalibrierung und Validierung der Modelle für längere Zeiträume, die für die Gütebewertung sehr wichtig wären. Vor diesem Hintergrund ist die gebietsweise Verbesserung der Modellgüte von TRIBIL-WaSiM gegenüber TRIBIL und TRIBIL-TAC^D bedeutend. Die Einbindung des Wasserhaushaltsmodells WaSiM-ETH stellt einen erheblichen Fortschritt in der Parametrisierung des Bilanzmodells TRIBIL dar, auch wenn dies die Datenvalidität stärker als die Fortschritte im Ergebnis betrifft. Für zukünftige Untersuchungen wäre die Betrachtung von Einzugsgebieten mit einer höheren Datendichte interessant. Während Einzugsgebietsmodelle wie WaSiM-ETH in der Lage sind, prozessorientiert mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung zu rechnen, schränkt die monatliche Auflösung des Modells TRIBIL und die mangelnde Verfügbarkeit von Tritiumreihen in höherer zeitlicher Auflösung das Erklärungspotential der Modellierung ein. WaSiM-ETH verfügt über ein Stofftransportmodul, welches direkt an die Wasserhaushaltsmodellierung gekoppelt ist und das Verhalten mehrerer Tracer unabhängig voneinander simulieren kann. Damit könnte der Stofftransport räumlich und zeitlich höher aufgelöst modelliert werden und z.B. auch Isotopenfraktionierung berücksichtigt werden. Erste Versuche dazu zeigen vielversprechende Ergebnisse, allerdings besteht für den Tritiumtransport modelltechnisch noch Entwicklungsbedarf.

Conclusions and outlook

Tritium concentrations in the Weser river basin were modelled by means of the model TRIBIL and the differentiated water-balance models TAC^D and WaSiM-ETH. One of the aims of this effort was to substitute the conceptual approach of TRIBIL and TRIBIL-TAC^D by data that can be interpreted physically.

The tritium-based modelling efforts with TRIBIL, TRIBIL-TAC^D and TRIBIL-WaSiM sometimes deviate widely in their outputs, particularly with view to the distribution of runoff components and the resulting overall residence time T of groundwater in the system.

Another point is the fact that precipitation data from the stations were arithmetically averaged for use in TRIBIL, while they were

disaggregated again for TRIBIL-TAC^D. In the case of TRIBIL-WaSiM, however, detailed REGNIE grid data are available, that were area-weighted for tritium balancing. Moreover, the runoff components and actual evapotranspiration data were taken directly from WaSiM modelling, so that the spatial representativity was increased and methodologically substantiated.

The study shows that isotope-hydrological modelling strongly depends on the quality of the input data. The calibration of the TRIBIL model has to be characterized generally as „unsharp“, because higher density and resolution of input data, especially those of tritium time series and influences of water-management (e.g. storage reservoirs, low-flow compensation, water abstraction and diversion) may lead to other modelling outputs. The selected runoff components as well as the meteorological parameters support the parameterization methodologically. At the same time lacking comparative data (tritium measurements before 1978) make it difficult to calibrate and validate the models effectively for longer periods, what would be highly relevant for quality assessments. Against this backdrop it is important that the modelling quality of TRIBIL-WaSiM was improved on an area-by-area basis against TRIBIL and TRIBIL-TAC^D. The integration of the water-balance model WaSiM-ETH constitutes a significant advance in the parameterization of the balance model TRIBIL, even if this applies more to data validity than to improvements in the outputs. In future studies it would be interesting to consider catchments where data are available in higher density. While catchment models such as WaSiM-ETH are able to perform process-oriented calculations in high spatial and temporal resolutions, the monthly resolutions of the models TRIBIL and the lacking availability of tritium time series in higher temporal resolution restrict the explanatory power of the modelling. WaSiM-ETH has a mass-transport module that is directly coupled with the water-balance modelling and can simulate the behaviour of several tracers independently from each other. Thus, mass transport can be modelled in higher spatial and temporal resolutions and can consider, for instance, also isotope fractioning. First attempts in this regard yielded promising results, although there remains a need for further modelling techniques for the tritium transport.

Danksagung

Folgenden Institutionen sei für die freundliche Unterstützung und erfolgreiche Zusammenarbeit herzlich gedankt: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und Deutscher Wetterdienst (DWD). Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) finanziert und im Projektverbund von GIT HydroS Consult GmbH, Institut für Hydrologie (IHF) und Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) erarbeitet.

Anschriften der Verfasser:

Dipl.-Hydrol. P. Hoffmann
Helmholtz-Zentrum München, Institut für Bodenökologie
Ingolstädter Landstraße 1, 85764 Neuherberg
peter.hoffmann@helmholtz-muenchen.de

Dipl.-Geogr./Hydrol. F.-J. Kern
GIT HydroS Consult GmbH
Bertoldstraße 61, 79098 Freiburg i. Br.

Dr. P. Königer
LIAG Leibniz Institut für Angewandte Geophysik, Geozentrum
Hannover
Stilleweg 2, 30655 Hannover

Dr. J. Schulla
Regensdorferstrasse 162, 8049 Zürich, Schweiz

Prof. em. Ch. Leibundgut
IHF Institut für Hydrologie der Universität Freiburg
Fahnenbergplatz, 79098 Freiburg i.Br.

Dipl.-Met. P. Krahe
Dr. W. Speer
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz

Literaturverzeichnis

- BERGSTRÖM, S. (1976): Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. – SMHI Report RHO7, Norrköping, Sweden, 134 S.
- BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT) (2003): Hydrologischer Atlas von Deutschland (HAD), 3. Lieferung. – Bonn, 240 S.
- CLC (2000): CORINE Land Cover 2000. – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, http://www.corine.dfd.dlr.de/projektinfo_de.html
- DEISENHOFER, H.E., H. KRUMM & H. WOLLKOPF (1982): Berechnung von monatlichen Gebietsniederschlagshöhen mit dem Sammelgebietsverfahren am Beispiel des Iller-Einzugsgebietes. – Zentralamt des DWD – Abt. Klimatologie, Offenbach, 20 S. und Anhang
- DEMUTH, S. (1993): Untersuchungen zum Niedrigwasser in West-Europa. – Freiburger Schriften zur Hydrologie 1, 205 S.
- DIETZER, B. (2000): Berechnung von Gebietsniederschlagshöhen nach dem Verfahren REGNIE. – Deutscher Wetterdienst – Hydrometeorologie, Offenbach
- EHHALT, D., U. SCHMIDT & L. HEIDT (1977): Vertical profiles and transport of HTO in the troposphere. – J. Geophys. Res. 82(37): 5907–5911
- ESSER, N. (1980): Bombentritium Zeitverhalten seit 1963 im Abfluss mitteleuropäischer Flüsse und kleiner hydrologischer Systeme. – Dissertation Universität Heidelberg
- GAT, J.R., W.G. MOOK & H.A.J. MEIJER (2001): Atmospheric Water. – In: W.G. MOOK (Ed.): Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle: Principles and Applications, Volume II, UNESCO/IAEA. – IHP Publications, Paris/Vienna, 117 p.
- IAEA/WMO (2004): Global network of isotopes in precipitation. The GNIP database. <http://isohis.iaea.org>

- KAUFMAN, S. & W.F. LIBBY (1954): The natural distribution of tritium. – *Physical Reviews* 93(6): 1337–1344
- KÖNIGER, P. (2004): Hydrometeorologisch gestützte Tritiumbilanz des Wesergebietes im Zeitraum 1950–1999 Abschlussbericht. – F&E-Projekt Nr. 2.8 Tritiumbilanz deutscher Stromgebiete
- KÖNIGER, P., S. WITTMANN, W.J. KRAUSE & CH. LEIBUNDGUT (2005): Tritium based water balance modelling in a macro-scale catchment. – *Hydrological Processes* 19: 3313–3320
- KÖNIGER, P., M. SCHWIENTEK, S. UHLENBROOK, CH. LEIBUNDGUT & W. J. KRAUSE (2008): Tritium balance in macro-scale river basins analysed through distributed hydrological modelling. – *Hydrological Processes* 22 (5): 567–576
- KRAUSE, W.J. (1980a): Tritium-Bilanzierung kleiner Einzugsgebiete in der Eifel, Teil 1 – Wasserbilanz. – *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 24, H. 1, 2–14
- KRAUSE, W.J. (1980b): Tritium-Bilanzierung kleiner Einzugsgebiete in der Eifel, Teil 2 – Tritium-Bilanz. – *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 24, H. 2, 42–52
- KRAUSE, W.J. (1988): Die Wasser- und Tritiumbilanz des Emsgebietes im Zeitraum 1951 bis 1983. – BfG Bericht-0413, 156 S.
- KRAUSE, W.J. (1989a): Tritiumbilanz des Emsgebietes (1951–1983), Teil I: Wasserbilanz. – *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 32, H. 1 / 2, 13–17
- KRAUSE, W.J. (1989b): Tritiumbilanz des Emsgebietes (1951–1983), Teil II: Tritiumbilanz. – *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 32, H. 3, 67–79
- LAL, D. & B. PETERS (1962): Cosmic ray produced isotopes and their application to problems in geo-physics. – *Elementary Particle and Cosmic Ray Physics* 6: 1–74
- SCHULLA, J. (1998): Hydrologische Modellierung von Flussgebieten zur Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen. – Diss. 12018, ETH Zürich, 161 S.
- SCHULLA, J. & K. JASPER (2007): Model Description WaSiM-ETH, http://www.wasim.ch/products/wasim_description.htm
- SCHWARZE, R., U. GRÜNEWALD, A. BECKER & W. FRÖHLICH (1989): Computer-aided analysis of flow recessions and coupled basin water balance investigations. – IAHS Publ. No. 187, Wallingford UK, 75–83
- SCHWARZE, R., W. DRÖGE & K. OPPERDEN (1999): Regionalisierung von Abflusskomponenten, Umsatzräumen und Verweilzeiten für kleine Mittelgebirgseinzugsgebiete. – In: KLEEBERG, H.-B., W. MAUSER, G. PESCHKE & U. STREIT (Eds.): *Hydrologie und Regionalisierung*. – Wiley-VCH, Weinheim, 345–369
- UHLENBROOK, S. (1999): Untersuchung und Modellierung der Abflussbildung in einem mesoskaligen Einzugsgebiet. – *Freiburger Schriften zur Hydrologie* 10, 218 S.
- UHLENBROOK, S. & CH. LEIBUNDGUT (2002): Process-oriented catchment modeling and multiple-response validation. – *Hydrological Processes* 16, 423–440
- UHLENBROOK, S., S. ROSER & N. TILCH (2004): Hydrological process representation at the meso-scale: the potential of a distributed, conceptual catchment model. – *Journal of Hydrology* 291: 278–296
- WEISS, W. & W. ROETHER (1975): Tritium runoff of the Rhine River 1961–1973. – *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 19, H. 1, 1–5

UN Wasserforum

6. Welt-FRIEND-Konferenz „Globaler Wandel: Risiken und Bedrohungen für die Wasserressourcen“

6th World FRIEND Conference „Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources“

FRIEND (Flow Regimes from International Experimental and Network Data) ist ein Beitrag zum International Hydrology Programme (IHP) der UNESCO. Nach dem Start im Jahr 1985 in Europa bestehen heute acht regionale FRIEND-Gruppen, die auf allen Kontinenten vertreten sind (Abb. 1).

Wissenschaftler aus 162 Ländern bearbeiten folgende Themen: Niedrigwasser, Hochwasser, Dürren, Abflussregime, Niederschlag-Abfluss-Modellierung, Abflussbildungsprozesse, Sedimenttransport, Schnee und Eis, Ökohydrologie, Wasserbewirtschaftung, Klimaänderungen und Landnutzungsänderungen. Die Aus- und Weiterbildung hat sich zu einem immer bedeutenderen Teil der FRIEND-Projekte entwickelt.

Die 6. Welt-FRIEND-Konferenz mit dem Thema „Globaler Wandel: Risiken und Bedrohungen für die Wasserressourcen“ wurde vom 25. bis 29. November 2010 in Fes, Marokko, ausgetragen. Sie stand unter der Schirmherrschaft von König Mohammed VI. Ausgerichtet wurde die Konferenz von der Mediterranean-FRIEND-Gruppe mit personeller und finanzieller Unterstützung durch das deutsche IHP/HWRP-Sekretariat. Mehr als 150 Teilnehmer aus 36 Ländern kamen in der ältesten der vier marokkanischen Königsstädte zusammen. Fes beherbergt die im Jahre 859 gestiftete Qarawiyn-Universität, die als älteste islamische Universität und als weltweit älteste, kontinuierlich genutzte Bil-

dungseinrichtung gilt. Seit 1975 besteht zudem die Universität Sidi Mohamed Ben Abdellah in Fes.

In 76 Vorträgen und 74 Posterbeiträgen wurden die fünf Hauptthemenbereiche hydrologische Gefährdungen, Anpassungsstrategien, anthropogener Druck auf begrenzte Wasserressourcen, Umweltinformationen und Monitoringsysteme sowie großräumige hydroklimatische Variabilität und deren Auswirkungen behandelt.

Eingeleitet wurde die Konferenz durch einen Vortrag zum 25-jährigen Bestehen des FRIEND-Projektes. Neben der historischen zeitlichen und räumlichen Entwicklung wurden auch die wichtigsten wissenschaftlichen Aktivitäten der verschiedenen FRIEND-Gruppen vorgestellt. Durch die dezentrale Organisation können die einzelnen FRIEND-Gruppen sehr schnell auf neue regionale Herausforderungen reagieren. Dabei profitieren die Gruppen auch von der guten Vernetzung untereinander und mit anderen nationalen und internationalen Institutionen.

Die fünf Themenbereiche wurden in Parallelsitzungen behandelt. Mit 23 Vorträgen und 21 Postern war das Thema „Hydrologische Gefährdungen“ am stärksten vertreten. Die vorgestellten Fallbeispiele befassten sich in der Mehrzahl mit europäischen, mediterranen und afrikanischen Regionen. Sie zeigten ein breites Spektrum der Gefährdungen für urbane, ländliche und Gebirgsregionen sowohl für das Grundwasser als auch für die Wasserbewirtschaftung, hervorgerufen durch Hochwasser, Sturzfluten, Dürren, Erosion, Eis und Schnee. Aus Deutschland berichtete Tobias Törnros, Heidelberg, über „Precipitation trends and

suitable drought index in the arid/semi-arid south eastern Mediterranean region“. Diese Studie wurde im Rahmen des vom BMBF geförderten GLOWA-Jordan-Projektes erstellt. Kerstin Stahl trug die Ergebnisse einer Untersuchung innerhalb des europäischen WATCH-Projektes zu „CM simulated and observed hydrological drought: a comparison of the 1976 and 2003 events in Europe“ vor.

Die Thematik „Anpassungsstrategien“ wurde in jeweils zwölf Vorträgen und Postern vorgestellt. Die meisten Beiträge befassten sich mit Anpassungsstrategien im Hinblick auf Wasserknappheit. Afrikanische Beispiele standen im Vordergrund. Es wurden sowohl technische Lösungen z.B. zur Grundwasseranreicherung durch kleine Dämme und Terrassierungen in Mauretanien, Änderungen der Talsperrenbewirtschaftung in der Slowakei als auch Partizipationsmodelle zur Einbeziehung der lokal Betroffenen in Süd-

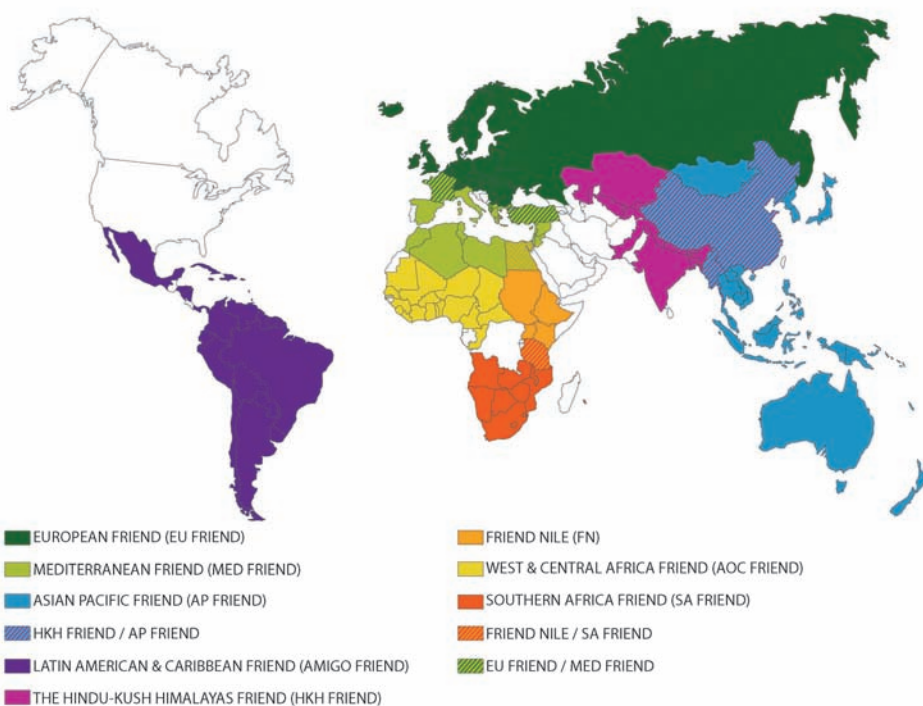


Abbildung 1
FRIEND-Projekte weltweit

afrika vorgestellt. Von deutscher Seite berichtete Hagen Koch, Potsdam, über „Effects of global change and adaptation options for water resources management in the Czech part of the river Elbe basin“ als Teil des GLOWA-Elbe-Projektes. Henning Meesenburg, Göttingen, unterrichtete die Teilnehmer über „Long-term discharge and evapotranspiration of a forested catchment in the Harz Mountains, Germany: Evaluation of silvicultural adaptation strategies to climate change“ und Manuela Nied, Potsdam, über „Modelling vulnerability of streamflow allocations in International River Basins with open-source gridded climate input“.

Der Themenbereich „Anthropogener Druck auf begrenzte Wasserressourcen“ bestand aus 14 Vorträgen und zwölf Postern. Die Mehrzahl der Beiträge behandelte die Beeinträchtigung der Grundwasservorräte infolge von Überexploration und Verschmutzung. Einige Vorträge stellten Modellierungsansätze vor, so z.B. zur Verbindung von ökologischen Indikatoren mit statistischen Niedrigwasserdeskriptoren zur Abschätzung der im Jahresverlauf verfügbaren Abflussvolumen. Matthias Kändler, Zittau, präsentierte ein Poster zu „Particle bound transport of chemicals in a small stream“ und Bärbel Thiemeyer, Braunschweig, eines zu „Hydrological modelling as a basis for the assessment of greenhouse gas emissions from organic soils in Germany“.

Das Thema „Umweltinformationen und Monitoringsysteme“ umfasste elf Vorträge und 17 Poster. Es wurde das Datenmanagement von der Messwerterfassung über die Validierung und Archivierung bis zur Datenweitergabe am Beispiel des Vereinigten Königreiches gezeigt, die von der WMO im Rahmen des WHYCOS-Projektes eingerichteten Beobachtungsnetze von Volta- und Karibik-HYCOS vorgestellt, die Nutzung von Multimediaangeboten zur Verbreitung von hydrologischen Informationen im Einzugsgebiet des Volta präsentiert und auf die Notwendigkeit der langfristigen Sicherung hydrologischer Daten eindringlich hingewiesen.

Das Themengebiet „Großräumige hydroklimatische Variabilität und deren Auswirkungen“ war mit 19 Vorträgen und zwölf Postern gut vertreten. Einige Beiträge betrachteten die Auswirkungen von Klimaszenarien auf die Wasserressourcen einzelner Einzugsgebiete in Europa (z.B. Main, Donau) und Afrika (z.B. Niger, Tschadsee). Andere beschäftigten sich mit Abhängigkeiten des hydrologischen Regimes von Großwetterlagen oder von der North Atlantic Oscillation (NAO). Maxime Souvignet, Leipzig, verknüpfte in seinem Vortrag „Recent hydro-climatic trends in the arid northern-central Chile: assessing climate variability for policy makers“ aktuelle Klimatrends mit Hilfestellungen für Entscheidungsträger. Andreas Bauwe, Rostock, stellte ein Poster zu „Regional climate change and expected nutrient emissions to the Baltic Sea“ vor.

Eingebettet in die Konferenz war eine Exkursion zur zweiten marokkanischen Königstadt Meknes und zur römischen Ruinenstadt Volubilis.

Die gut erhaltene Ruinenstadt verdeutlichte den Exkursionsteilnehmern den hohen technischen Stand der Wassernutzung im römischen Reich vor 2000 Jahren. Zur Wasserversorgung diente ein Gebirgsbach entspringend im nahe gelegenen Jebel Zerhoun. Die Brunnen, die öffentlichen und privaten Thermen als



Abbildung 2
Römischer „Gully“ in der Ruinenstadt Volubilis

auch die Toilettenanlagen sind noch gut zu erkennen. Die Abwässer wurden in der „Cloaca“ gesammelt und abgeführt. Davon getrennt wurde das Regenwasser in unterirdischen Kanälen abgeleitet. Einen ebenso praktischen wie künstlerisch gestalteten Einlauf zeigt Abbildung 2.

Die Beiträge zur Konferenz sind in der Schriftenreihe der IAHS als Red Book (SERVAT et al. 2010) veröffentlicht. Die nächste World-FRIEND-Konferenz wird im Jahr 2014 in Asien ausgetragen werden.

Zur Konferenz wurde den Teilnehmern auch der Bericht „FRIEND – a global perspective 2006–2010“ (HUANG & DEMUTH 2010) vorgelegt. Der Bericht enthält die Projektaktivitäten aller FRIEND-Gruppen einschließlich der zukünftigen Arbeitsziele. Ein ausführlicher Anhang umfasst u.a. Listen aller teilnehmenden Wissenschaftler und deren Publikationen zu den FRIEND-Projekten. Der Bericht kann kostenfrei über das IHP/HWRP-Sekretariat bezogen werden.

Die Ergebnisse der Konferenz und die Publikationen sollen für Wissenschaftler aus Deutschland auch Anreiz zur Mitarbeit an den Projekten der FRIEND-Gruppe Nordeuropa sein. Es wird die Möglichkeit zur Teilnahme am internationalen wissenschaftlichen Austausch sowie am Aus- und Weiterbildungsprogramm, die gemeinsame Bearbeitung von Projekten und der Zugriff auf das European Water Archive angeboten. Nähere Informationen zu EURO-FRIEND sind zu finden unter <http://euro-friend.bafg.de> und <http://ihp.bafg.de>. Weitere Auskünfte erteilt auch das IHP/HWRP-Sekretariat in Koblenz (e-mail: schroeder@bafg.de).

Literatur

SERVAT, E., S. DEMUTH, A. DEZETTER & T. DANIELL (eds) (2010): Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources. – Proceedings of the sixth FRIEND World Conference. – IAHS Press, Wallingford, UK

HUANG, Y. & S. DEMUTH (eds.) (2010): FRIEND – a global perspective 2006– 2010. – Koblenz, Germany
U. Schröder, IHP/HWRP-Sekretariat, Koblenz

Summer School „Field methods and eco-hydrological models for integrated water management in rural areas“ an der Universität Kiel

Summer School on Field methods and eco-hydrological models for integrated water management in rural areas at the University of Kiel

Die Fachabteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft des Ökologie-Zentrums der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bietet eine sog. „serielle Summer School“ zum Thema „Field methods and eco-hydrological models for integrated water management in rural areas“ an. Der gesamte Block besteht aus drei Kursen, die von 2008–2010 durchgeführt wurden. Im ersten Teil stand die Wassermenge im Mittelpunkt, 2009 die Wasserqualität. In der Summer School 2010 wurde die integrative Bewertung und das integrierte Management von Wassereinzugsgebieten vorgestellt.

Die Teilnehmerzahl in den Kursen ist auf 20 begrenzt, von denen mindestens 12 aus den sog. BRIC Ländern (Brasilien, Russland, Indien, China) kommen müssen. Voraussetzung für die Bewerbung war mindestens ein Bachelor-Abschluss, nach oben waren keine Grenzen gesetzt, d.h. auch Post-Docs konnten teilnehmen. Die Bewerber mussten jedoch durch Studium, Abschlussarbeiten und Publikationen ihre Kompetenz und ihr Interesse am jeweiligen Schwerpunktthema gezeigt haben sowie GIS- und PC-Grundkenntnisse mitbringen. Die Fachabteilung bemühte sich bei der Auswahl um eine möglichst breite fachliche und regionale Mischung. So sind in den letzten drei Jahren Teilnehmer aus 16 Ländern und aus folgenden Fachbereichen nach Kiel gekommen: Landwirtschaft, Geographie, Biologie/Limnologie, Meteorologie, Geologie und Wasserbau. Die Dozenten kamen aus den Niederlanden, China, Brasilien, Argentinien, Bulgarien, vom Senckenberg Institut in Gelnhausen sowie aus den Behörden und Hochschulen Schleswig-Holsteins.

Alle Kurse sind didaktisch gleich aufgebaut und bestehen aus Vorlesungen, praktischen Übungen im PC-Labor und 3–4 Exkursionen. Der Anteil der theoretischen Vorlesungen wurde auf das wesentliche beschränkt und bewusst gering gehalten, da die Ausbildung in vielen BRIC Ländern ohnehin schon sehr theorie-lastig ist. Auf praktische Übungen im Gelände und im Labor wurde ebenfalls verzichtet – bei den höchst unterschiedlichen Qualifikationen der Teilnehmer war dies im Rahmen des gegebenen Zeitrahmens schlicht nicht durchführbar. Der praktische Teil umfasste deshalb hauptsächlich die Arbeit mit hydrologischen Datensätzen aus der operationellen Anwendung und vorbereiteten Modellszenarien. Die Exkursionen führten in diesem Jahr zu einer Kläranlage, in das Einzugsgebiet der Kielstau bei Flensburg und in die historische Altstadt von Lübeck. Eingerahmt wird jeder Kurs von den Vorträgen der Teilnehmer selbst: am ersten Tag stellen sich die Teilnehmer vor, am letzten Tag werden die Ergebnisse einer kleinen, 3-tägigen Simulationsstudie oder eine Projektskizze vorgestellt, in der die Teilnehmer ihr neu erworbenes Wissen zeigen mussten.

Die Kurse werden im Rahmen des Programms „Studieren und Forschen für Nachhaltigkeit“ vom DAAD/BMBF gefördert und vom International Hydrological Programme (IHP) der UNESCO unterstützt. Die Teilnehmer bekommen den Flug und die Aufenthaltskosten in Deutschland erstattet. Die Unterkunft wurde zentral vom Veranstalter zur Verfügung gestellt.

Im Vergleich zu den Jahren vorher war das Thema in diesem Jahr weniger präzise definiert: während sich alle Hydrologen unter Wassermenge und -qualität etwas vorstellen können, wird eine Definition des „integrierten Managements“ schwierig zu finden sein. Es wurde daher versucht, eher in die Breite als in die Tiefe zu gehen. Dies hatte auch ganz praktische Gründe: die zur Arbeit mit biologischen Indikatoren notwendige Artenkenntnis lässt sich nicht in wenigen Tagen vermitteln. Erschwerend kam hinzu, dass an den sozio-ökonomischen Schnittstellen zur integrierten Bewertung selbst die damit befassten Wissenschaftler noch keine gemeinsame Linie gefunden haben, z.B. hinsichtlich der ökonomischen Bewertung von Maßnahmen – hier gibt es sehr unterschiedliche Ansätze, die von Prof. Rehdanz vom Kieler Institut für Weltwirtschaft dargestellt wurden. Ganz besonders gilt dies jedoch für die Arbeit mit ökologischen Indikatoren und für die – von politischer Seite immer wieder geforderte – Bewertung von Struktur und Funktion von Ökosystemen („Ecosystem functions“). Prof. Müller und Dr. Burkhard vom Ökologiezentrum der Kieler Universität nutzten zwei laufende Forschungsprojekte zur integrierten Bewertung, um Methoden und Ergebnisse darzustellen und gingen auch auf mögliche Probleme im Zusammenhang mit öko-hydrologischen Projekten ein. Die Abschlussdiskussion zeigte deutlich, dass die Übertragung der Methoden zur integrierten Bewertung von hydrologischen Projekten in Länder mit völlig anderen sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen die Forschung wohl noch einige Zeit beschäftigen wird.

G. Hörmann, Universität Kiel

3. Afrikanische Wasserwoche

3rd African Water Week

Dem African Ministers' Council on Water (AMCOW) gehören alle 53 afrikanischen Minister an, die für Wasserressourcen zuständig sind. AMCOW wurde 2002 im nigerianischen Abuja unter dem Vorsitz von Herrn Shagari, Minister für Wasserressourcen der Bundesrepublik Nigeria, gegründet. Ziel von AMCOW ist die Bereitstellung von Information für die Bewirtschaftung der Wasserressourcen zugunsten einer nachhaltigen sozialen und ökonomischen Entwicklung und Erhaltung der afrikanischen Ökosysteme sowie die Stärkung der zwischenstaatlichen Zusammenarbeit. Zielgruppe sind politische Entscheidungsträger.

Die African Water Week findet jährlich statt, erstmalig 2008 in Tunesien. Die zweite African Water Week wurde in Verbindung mit der 7. Sitzung des AMCOW 2009 in Johannesburg, Südafrika, ausgetragen. Der Veranstaltungsort der 3. African Water Week vom 22.–26. November 2010, an der 800 Experten aus der ganzen Welt teilnahmen, war das UN Conference Centre in Addis Abeba, Äthiopien. Zielsetzung der African Water Week ist, festzulegen, wie die von der „African Water Vision and Framework for Action 2025“ geplanten Ziele sowie die UN-Millennium-Entwicklungsziele in Bezug auf Wasser und Abwasser umgesetzt werden können.

Das Thema der 3. African Water Week lautete „Implementing the Africa Water Vision (2025) and Meeting the United Nations Millennium Development Goal Target: Challenges and Opportunities in Water and Sanitation“. In einzelnen Arbeitssitzungen wurden folgende Themenbereiche behandelt:

- Finanzierung von Investitionen im Bereich Wasser zugunsten von Wachstum und Entwicklung – Afrikanische Entwicklungsbank (AfDB)
- Wasser und Urbanisierung – UN Habitat
- Herausforderungen in den Bereichen Wasser, Klima und Entwicklung – Globale Wasserpartnerschaft (GWP)
- Institutionelle Entwicklung, Aus- und Weiterbildung – UN Water Africa

Kernaussagen der Eröffnungssitzung

Auf der Eröffnungssitzung forderte der Präsident der demokratischen Bundesrepublik Äthiopien, Herr Girma Woldegiorgis, eine maßvolle Nutzung der afrikanischen Wasserressourcen, die durch eine kompetente politische Führung und adäquate Richtlinien erreicht werden könne. Ebenso verlangte er ernsthafte Anstrengungen für den afrikanischen Kontinent, um die UN-Millennium-Entwicklungsziele zu erreichen und die Entwicklungsdefizite zu beseitigen. Der Präsident betonte, dass eine geeignete Bewirtschaftung der afrikanischen Wasserressourcen durch Förderung der Zusammenarbeit, Sicherheit, sozio-ökonomischer Entwicklung und der Bereitstellung einer adäquaten Wasserversorgung erreicht werden könnte. Er fügte hinzu: „Wir müssen uns anstrengen und unsere verfügbaren Ressourcen maßvoll nutzen, um die seit langer Zeit bestehende Armut auszumerzen. Wir müssen nicht nur importierte Vorgehensweisen nutzen, sondern auch eigene Methoden zur Lösung unserer Probleme entwickeln“.

Der äthiopische Minister für Wasser und Energie, Alemayehu Tegen, betonte, dass die afrikanischen Regierungen Investitionen in Wasser Priorität einräumen sollten, wenn sie Herausforderungen wie die Versorgung der Bevölkerung mit sauberem Wasser bewältigen wollen. Für das Erreichen der UN-Millenniumsziele bis 2015 ist eine immense jährliche Investition erforderlich, die 4 bis 5 mal höher ist als die gegenwärtig investierte Summe. Der Minister führte fort, dass die Erhöhung der Investitionen in vielen afrikanischen Ländern problematisch sei. Die vorhandenen Geldmittel seien unzureichend und die potentiellen Finanzierungsquellen werden nicht ausreichend genutzt. Der Minister fügte hinzu: „Daher braucht Afrika engagierte politische Entscheidungsträger und Partnerschaften mit Geldgebern, um sich diesen Herausforderungen zu stellen“. Die gegenwärtige Wassersituation in Afrika sei prekär sowohl hinsichtlich der Trinkwasserversorgung als auch der Abwasserentsorgung. Der Klimawandel verschärfe diese Situation. Er erwähnte jedoch auch, dass Äthiopien bei der Erschließung seiner Wasserressourcen mit der Einführung eines fünfjährigen Entwicklungsplans auf gutem Weg sei.

Die Botschaft der Präsidentin von AMCOW verdeutlichte nochmals die gegenwärtige Situation: schätzungsweise 340 Millionen Afrikaner verfügen immer noch nicht über einen Zugang zu sauberem Wasser. Strategische Partnerschaften sind nötig, um die Länder Afrikas bei der Erfüllung der UN-Millennium-Entwicklungsziele für Wasser und Abwasser bis zum Ablauf der Frist im Jahr 2015 zu unterstützen.

Themenbereiche der Fachsitzungen

Viele Fallstudien und wissenschaftliche Abhandlungen wurden von Fachleuten im Rahmen der Thematik „Herausforderungen in den Bereichen Wasser, Klima und Entwicklung“ präsentiert. Es wurde gezeigt, dass ein Anstieg des realen BIP in Höhe von 3,4 %

pro Jahr von 1996 bis 2001 auf 5,2 % pro Jahr im Zeitraum 2002–2008 im subsaharischen Afrika möglich war. Ungeachtet der Tatsache, dass Afrika über ergiebige Bodenschätze verfügt, bringen die wachsende Wirtschaft und Bevölkerung neue Probleme mit sich. Der Klimawandel wird gravierende Folgen in Afrika in Form von anhaltender Dürre, Überschwemmungen und klimabedingten Krankheiten haben. Diese Extremwetterereignisse nehmen an Häufigkeit und räumlicher Ausdehnung zu und führen zu Hungersnöten und flächendeckendem Rückgang des BIP sowie der sozio-ökonomischen Entwicklung. Es wurde hervorgehoben, dass die Anpassung an das Klima im Hinblick auf die Förderung der nationalen Entwicklung intensiviert werden muss. Insbesondere müssen Wassersicherheit und Klimawandel in nationale Entwicklungsplanungen eingebunden werden. Es wurde betont, dass ein integrierter Ansatz bei der Wasserbewirtschaftung die Schlüsselfunktion einnimmt.

Grundwasser ist eine wichtige Ressource und hat das Potential, entscheidend zur wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung Afrikas beizutragen. Experten teilten ihre Sorge mit, dass die Beobachtung und Evaluierung der Folgen der Klimaschwankungen und des Klimawandels das Grundwasser oftmals nicht mit einbezieht. Dies ist besonders problematisch in Entwicklungsländern, in denen die Wasserversorgung von Millionen Menschen vom Grundwasser abhängt. Prof. Yongxin Xu von der University of Western Cape und Inhaber des UNESCO-Chair für Grundwasser betonte, dass afrikanische Entscheidungsträger das Thema Grundwasser in die nationalen und regionalen Entwicklungspläne mit einbeziehen sollten. Netzwerke wie die Africa Groundwater Commission sollten hierfür genutzt werden. Es wird erwartet, dass der Klimawandel und das hohe Bevölkerungswachstum Afrikas die Abhängigkeit vom Grundwasser verstärken wird. Die bestehenden Top-Down-Methoden bei der Bewirtschaftung von Wasser und Land sind nicht mehr angebracht. Daher ist es erforderlich, die Erschließung von Land- und Wasserressourcen mit anderen Sektoren zu vernetzen und die Betroffenen in die Entwicklungsprozesse mit einzubeziehen.

Der Africa Water Atlas, erstellt von einem Team unter Führung des United Nations Environment Programme (UNEP) im Auftrag der AMCOW, wurde im November 2010 veröffentlicht und auf der Konferenz vorgestellt. Unter anderem zeigt der Atlas zahlreiche „vorher/nachher“ Bilder von Gewässern, die verfügbare Wassermenge pro Kopf in den einzelnen Regionen Afrikas und illustriert Land für Land die Anstrengungen des Kontinents zur Erreichung der UN-Millennium-Entwicklungsziele.

Laut der Momentaufnahme des WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP) zu Wasser und Abwasser in Afrika ist der Kontinent nicht auf dem richtigen Weg zur Erreichung der UN-Millennium-Entwicklungsziele für Trinkwasser und Abwasser. Die Länder-Analyse belegt, dass sich 20 Länder auf dem Weg zur Erreichung der Entwicklungsziele für Trinkwasser und nur 9 von 53 Ländern sich auf einem adäquaten Weg zur Erfüllung der Entwicklungsziele im Abwasserbereich befinden. Die Lage erfordert mehr gemeinsame Anstrengungen und konzertierte Aktionen von Regierungen und Regionalbehörden.

Deutschland hat seit 2003 ca. 90–100 Millionen Euro pro Jahr in die bilaterale Finanzierung für den Wassersektor im subsahari-

schen Afrika investiert. Hanno Spitzer von der Afrikaabteilung des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) zufolge wird Deutschland in Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission weiterhin die Kommission der Afrikanischen Union und AMCOW bei der Entwicklung von Strategien zur Erreichung der UN-Millenniumsziele unterstützen.

Das Deutsche IHP/HWRP-Sekretariat erarbeitet in Zusammenarbeit mit Experten aus Äthiopien und Deutschland mehrere E-Learning Module zu Integrated Water Resources Management (IWRM). Diese Module sollen interessierten Hochschulen in Ostafrika sowie der UNESCO für die Aus- und Fortbildung zur Verfügung gestellt werden.

A. Saliha, IHP/HWRP-Sekretariat, Koblenz

Tagungsberichte

IWRM Konferenz Karlsruhe 2010

IWRM Conference Karlsruhe 2010

Motivation zur IWRM Karlsruhe

Eine zuverlässige Wasserversorgung ist die Grundlage jeglicher Zivilisation. Für derzeit etwa 1,1 Mrd. Menschen – knapp ein Sechstel der Weltbevölkerung – ist unzureichender Zugang zu Trinkwasser Bestandteil des täglichen Kampfes ums Überleben. Neben den Methoden und Technologien zur Erschließung und Behandlung von Wasserressourcen für zahlreiche unterschiedliche Arten der Wassernutzung hat sich seit einigen Jahren zunehmend das Wassermanagement als unverzichtbare Vorgehensweise zur Beherrschung von Wasserknappheit etabliert. Die global unübersehbaren Grenzen der Wasserressourcen für Landwirtschaft, Industrie und Menschen erfordern heute eine erweiterte Sicht des Wasserressourcenmanagements: Es geht um die Bewältigung des optimalen Abgleichens der verfügbaren Wasserressourcen mit dem Bedarf der unterschiedlichen Wassernutzer in Echtzeit und unter Beachtung von energetischen und logistischen Rahmenbedingungen.

Die heute technologisch bereitstellbare Vielfalt von Wasserqualitäten, z.B. von optisch sauber bis keimfrei, und der Aufwand zu ihrer Bereitstellung sind wesentliche Optimierungskategorien. Dieser Aufwand ist nicht zuletzt durch den erforderlichen Energieeinsatz für die Erzeugung, die Aufbereitung und die Verteilung von Wasser bestimmt. Die Echtzeitanforderungen resultieren aus der notwendigen Nutzung von zunehmend kurzfristig auftretendem Wasserdargebot (Starkregen, Überschwemmungen) und aus der erforderlichen mittelfristigen Bereitstellung von Speicherräumen und Netzkapazitäten. Wassermanagement als vormals vorwiegend lang- bzw. mittelfristige Planungsaufgabe ist damit deutlich erweitert um eine auch kurzfristig wirkende optimierende Steuerungsaufgabe, welche die Vielfalt der Wassernutzung und der dazu gehörigen Wasserqualitäten in integrierter Weise berücksichtigt. Wir sprechen damit zu Recht vom Integrierten Wasserressourcenmanagement, kurz vom IWRM, als der aktuellen Herausforderung.

Inhalt und Durchführung der IWRM Karlsruhe 2010

Der Kongress mit Ausstellung „IWRM Karlsruhe 2010“ als erste Veranstaltung einer geplanten zweijährigen Folge hat sich explizit diesem integrierten Managementansatz gewidmet. Veranstalter waren das Fraunhofer Institut für Optronik, Systemtech-

nik und Bildauswertung (FhG-IOSB) und die Messe Karlsruhe (KMK). Die Gestaltung des Kongresses wurde intensiv unterstützt durch einen Kongressbeirat mit 16 Mitgliedern aus Wissenschaft, Behörden und Industrie, die im Kongressband genannt sind (Hartwig Steusloff (Ed.): IWRM Karlsruhe 2010 Congress Proceedings; KIT Scientific Publishing Karlsruhe 2010; ISBN 978-3-86644-545-1). Die Organisation der Veranstaltung lag in Händen der Karlsruhe Messe- und Kongress-GmbH (KMK).

Der Erfolg dieser ersten Veranstaltung lässt sich zunächst in einigen Zahlen ausdrücken: Aus über 150 Antworten auf den Call for Papers konnten die Veranstalter ein zweitägiges Programm mit 60 Beiträgen in drei parallelen Sitzungsreihen sowie eine Posterausstellung mit mehr als 60 Beiträgen zusammenstellen. Die Autoren kamen aus ca. 20 Ländern weltweit. Die Ausstellung, parallel zu Kongress und Posterpräsentation, umfasste 26 Firmen, Institutionen und Organisationen. In die Ausstellung integriert war ein halbtägiges Business Forum mit Präsentationen zu marktorientierten Konzepten und Produkten. Dieses umfangreiche Angebot wurde von insgesamt mehr als 400 internationalen Besuchern aus mehr als 20 Ländern intensiv genutzt.

Im Beirat wurde eine inhaltliche Strukturierung der IWRM Karlsruhe 2010 entwickelt, die dem Anspruch des Kongresses hinsichtlich integrativer Ressourcenoptimierung entspricht. Diese Strukturierung war Grundlage für fünfzehn thematisch differenzierte Vortragssitzungen:

- 1.1 Water Utilization
- 1.2 Water Harvesting
- 1.3 Modeling of Water Resources
- 2.1 Water Resources Management and Treatment
- 2.2 Waste Water Reuse
- 2.3 Decision Support Strategies
- 3.1 Water Quality Management
- 3.2 Groundwater Recharge
- 3.3 Water Distribution Management
- 4.1 Water Protection
- 4.2 Irrigation, Salination, Erosion
- 4.3 Flood Water Management
- 5.1 Water, Energy, Food
- 5.2 Capacity Building
- 5.3 Climate Change

Trotz dieses umfangreichen thematischen Rahmens stellte sich schon bei der IWRM Karlsruhe 2010 heraus, dass manche Themenfelder nicht ausreichend repräsentiert waren. Als Beispiele

seien genannt die insbesondere für die Wasserspeicherung und -verteilung wichtige Thematik des Sediment-Managements; Fragen der Wasserhaltung im Boden; sozio-ökonomische und sozio-ökologische Fragestellungen. Diese Themenfelder wird der Beirat für die inhaltliche Strukturierung der IWRM Karlsruhe 2012 angemessen berücksichtigen. Es sei betont, dass die IWRM Karlsruhe als technisch-wissenschaftliche Veranstaltung konzipiert ist, bei der die Lösung von Wassermanagementproblemen methodisch und exemplarisch im Vordergrund steht. Sozio-ökonomische Probleme sollen daher eher in Übersichtsform und in Keynote-Vorträgen behandelt werden, wie dies auch schon bei der IWRM Karlsruhe 2010, z.B. beim Themenfeld "Capacity Development", der Fall war.

Die Vorträge des Kongresses der IWRM Karlsruhe 2010 wiesen bei aller thematischen Breite und Differenzierung regionale Schwerpunkte auf, von denen zwei in diesem Bericht exemplarisch vertieft werden sollen. Regionale Schwerpunkte waren insbesondere natürliche Trockenregionen in Afrika und Vorderasien sowie Karstregionen in Südostasien. Diese nachstehenden detaillierteren Berichte zeigen, welche methodische Vielfalt die Vorgehensweisen zu IWRM in Abhängigkeit von den regionalen Gegebenheiten zulassen. In Klammern sind Namen von entsprechenden Autoren der einzelnen Fachsitzungen genannt.

Die Keynote-Vorträge

Die vier Keynote-Vorträge der IWRM Karlsruhe 2010 behandelten Themen des integrierten Wasserressourcenmanagements aus systemisch-wissenschaftlicher, sozio-ökonomischer und wirtschaftlicher Sicht.

Stephen Foster (World Bank Groundwater Management Advisory Team, London) stellte unter dem Titel „IWRM – Getting the Groundwater into the Process“ die Notwendigkeit und die zu beachtenden Rahmenbedingungen einer verstärkten Nutzung des Grundwassers für die Bereitstellung zusätzlicher Wasserressourcen dar. Er wies darauf hin, dass die Nutzung von Grundwasser eng mit agrarpolitischen und siedlungspolitischen Entscheidungen verknüpft ist und dass ohne eine integrierte Sichtweise und ohne integriertes Vorgehen die Nachhaltigkeit der Grundwasserressourcen gefährdet ist.

Reza Ardakanian (UN-Universität Bonn) wies in seinem Keynote-Vortrag mit dem Titel „How to Develop Capacity for IWRM: Examples from UNW-DPC“ auf die zunehmende Bedeutung von IWRM für die Bewältigung der globalen Wasserknappheit hin. Die Erfahrungen aus dem UNW-DPC-Programm (United Nations Water Decade Programme on Capacity Development) zeigen, dass ohne ein vertieftes Problembewusstsein und ohne eine vertiefte Kenntnis der IWRM-Methoden auf individueller und institutioneller Ebene ein wirkungsvoller Einsatz dieser Methoden nicht möglich ist.

Franz Nestmann (Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik; Karlsruher Institut für Technologie, KIT) zeigte in seinem Keynote-Vortrag mit dem Titel „The Scientific and Practice-oriented Focus of IWRM“ Stand und Zukunft dieses Gebietes aus wissenschaftlicher Sicht auf (dieser Vortrag ist im Kongressband nicht enthalten). Er wies auf drei Szenarien hin, die hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die

Stabilität unseres Lebensraumes von grundlegender Bedeutung sind: Klimawandel, Bevölkerungsentwicklung und Energieversorgung.

Diese sind allesamt mit dem Wasserkreislauf und dem Wasserhaushalt gekoppelt, weswegen der nachhaltige Umgang mit den Wasserressourcen einen entscheidenden Einfluss auf die vorgenannten Szenarien hat. Bis zur Mitte unseres Jahrhunderts werden laut WHO ca. 60 % aller Menschen in Verhältnissen ohne sichere Wasserversorgung und Abwasserentsorgung leben. Nach Angaben der Deutschen Stiftung Weltbevölkerung (DSW) sind dann ca. 10 % der Weltbevölkerung (ca. 800 Mio) von akutem Mangel an Trinkwasser bedroht. Für die Energieversorgung trifft dies in ähnlicher Weise zu. Darüber hinaus belasten klimabedingte Katastrophen den Lebensraum besonders dadurch, dass ihre Extremereignisse zunehmen und die Spreizung der Ereignisse größer wird. Die Prognosen, Einschätzungen und Folgen solcher Vorgänge verschlechtern sich in gleicher Weise, was wiederum den Umgang mit den Wasser- und Energieressourcen erschwert.

Hinzu kommt, dass im Rahmen des derzeit ablaufenden enormen wirtschaftlichen Wachstums einiger Entwicklungs- und Schwellenländern nur wenig und oft gar keine Rücksicht auf die genannten Vorgänge genommen wird. Die künftige Verbundforschung sollte sich daher auf Themenstellungen ausrichten, welche die Ressourcennutzung den Umwelt- und Lebensraumbedingungen in bestmöglicher Weise anpassen. Hierzu gehören u.a. folgende Themenstellungen:

- Koppelung und Steuerung des IWRM mit Fernerkundungsdaten
- Langzeitvorhersage der Morphodynamik von Fließgewässern aufgrund von anthropogenen Einflüssen wie beispielsweise der Stauregelung und der Wasserentnahme für Bewässerung
- Energieerzeugung und Speicherung mittels Wasserkraft und deren Wechselwirkung mit anderen Energieträgern und der Ökologie.

Stefan Kraus (Siemens AG, Erlangen) beschwor unter dem Titel „Taking Care of the World's Water“ Aspekte der Wasser-Wiederverwendung, der Wasserentsalzung, des Wassertransportes und des so genannten „non-revenue water“, also der Wasserverluste auf dem Weg zum Verbraucher. Er wies darauf hin, dass sehr viele Technologien zur effizienten Wasserbehandlung und -nutzung bereits industriell verfügbar sind, dass deren Einsatz aber wirksamer Managementmethoden bedarf, um das notwendige Optimum von technischer Effektivität, Energieeffizienz und Kosten zu erreichen. Am Schluss seines Vortrages verwies er auf die UN-Millennium Goals für 2015 und stellte fest, dass der Einsatz der vorhandenen Technologien unter einem integrierten Wassermanagement die Wasserverfügbarkeit für zukünftige Generationen sicherstellen könne.

Integriertes Wasserressourcen Management für die natürlichen Trockengebiete der Erde (Nordafrika, Naher und Mittlerer Osten, Persien, Zentralasien, Trockengebiete Australiens, Südafrikas und Südamerikas)

Der Karlsruher IWRM Kongress verfolgte mit seinem Leitthema nachdrücklich das von den Vereinten Nationen vorgegebene

Ziel, allen Menschen einen Zugang zu sauberen Trinkwasser zu sichern. Durch eine nachhaltige Bewirtschaftung der miteinander in Wechselwirkung stehenden Wasservorkommen soll nicht nur die Wasserversorgung und die sanitäre Grundversorgung gewährleistet, sondern auch die soziale und wirtschaftliche Entwicklung gefördert werden. Da die Verfügbarkeit von Wasser aber nicht nur eine Frage der Menge, sondern auch der Güte ist, kommt es dazu, dass selbst in relativ wasserreichen Gebieten mitunter Defizite an qualitativ geeignetem Wasser nicht nur die hygienischen, sondern auch die wirtschaftlichen Bedingungen extrem einschränken. Erst recht gilt dies für die natürlichen Trockengebiete der Erde, in denen durch natürliche klimatische Bedingungen ein extremer Wassermangel herrscht. Derartige semi-aride bis aride Gebiete finden sich sowohl auf der Nord- als auch Südhalbkugel in großer zonaler Verbreitung. Um dort die wenigen verfügbaren Wasserressourcen sinnvoll zu bewirtschaften, bedarf es besonders ausgefeilter Management-Konzepte und -Technologien. Es ist daher bezeichnend, dass gerade aus den Ländern Nordafrikas, des Nahen und Mittleren Ostens, aus Persien, aus Zentralasien, aber auch aus den Trockengebieten Australiens, Südafrikas und Südamerikas Vertreter am Karlsruher IWRM-Kongress teilgenommen haben. Rund 50 % der Vorträge und Poster befassten sich mehr oder minder direkt mit den Wasserproblemen und deren Lösung in diesen Trockengebieten.

Man mag sich fragen, ob dies in Anbetracht der geringen für die Neubildung der globalen Wasservorräte maßgeblichen Niederschlagsmengen oder im Hinblick auf die in diesen Gebieten zu vermutende geringe Bevölkerung im Vergleich zu anderen Regionen tatsächlich von großer Bedeutung ist. Der rasante globale Bevölkerungszuwachs führt jedoch dazu, dass sich die Besiedlung auch immer stärker in den Trockengebieten ausdehnt und zum Teil durch wirtschaftliche Entwicklungen, man denke hier nur an die Golfregion im Mittleren Osten, zum Teil explosionsartig wächst und dort urbane Gebiete mit Millionen von Einwohnern entstanden sind. Der steigende Wasserbedarf resultiert dabei nicht nur aus der Bereitstellung von Wasser für Kommunen und Industrie, sondern vor allem für die Produktion von Lebensmitteln. In den semiariden Gebieten mit traditionell verwurzelter Landwirtschaft nimmt diese meist noch über die Hälfte bis zu Zweidrittel der zur Verfügung stehenden Wasserressourcen in Anspruch.

Gezielt wurden daher in den Vorträgen des Karlsruher IWRM Kongresses zu Trockengebieten zunächst Fragen nach der Erfassung, Bewertung und Erschließung der verfügbaren Ressourcen angesprochen, so etwa im Keynote-Referat von S. Foster, im Hinblick auf die Langzeitverfügbarkeit von F. Frimmel, unter dem Aspekt des Datenmanagements von J. Tränckner und B. Monnikhoff oder unter dem regionalen Gesichtspunkt von R. Nobrega und T. Linz in deren Beiträgen aus Brasilien bzw. Namibia. Auf der Basis von naturwissenschaftlichen, ingenieurtechnischen sowie sozio-ökonomischen Untersuchungen wurden weiterführend Konzepte zu einer effizienteren Nutzung der knappen Wasserressourcen sowie zur Implementierung effektiverer Lösungsstrategien und Managementwerkzeuge entwickelt, vorgestellt und diskutiert. Schwerpunkte bildeten die Wasserressourcenmodellierung (C. Bonzi, J. Grundmann), die Adaption bestehender und die Entwicklung neuer technischer Lösungen zur Erfassung unkonventioneller Wasserressourcen wie Brack- (Abb. 1) und Abwässer (Abb. 2) (G. Oron, W. Korthals, M. Birkle) sowie die Modellansätze zu Entscheidungshilfen für optimierte Nutzungs- und Verteilungsstrategien (J. Benshabat, K.-U. Rudolph, J. Onigkeit).

Klar kristallisiert sich heraus, dass zunächst die in einer Region verfügbaren Ressourcen unter Einschluss der unkonventionellen Wasservorkommen einer optimalen Nutzung zugeführt werden müssen, was besonders für semi-aride Gebiete mit ihren saisonalen Niederschlägen gilt, während dort erst als zweiter Schritt, für extrem aride Gebiete aber generell, die Fremdwasser-Versorgung (in der Regel die Meerwasserentsalzung) als letzter Ausweg zur Beseitigung des Wassermangels verbleibt.

In der Umsetzung der Lösungsvorschläge werden große Erwartungen in das Konzept des „Integrated Water Resources Management (IWRM)“ gesetzt, das bereits 1992 mit den Dublin-Prinzipien der UNO und der Agenda 21 international als Leitbild zur Minderung des Wassermangels verankert wurde (S. Foster, F. Nestmann). Beispielhaft sei nachfolgend auf das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) initiierte und finanzierte IWRM Programm mit dem SMART-Projekt am Unteren Jordan Fluss als Pilotstudie für aride Trockengebiete hingewiesen. Das Projektkonsortium mit über 60 Teilnehmern vor allem aus den Nahostländern nutzte den Karlsruher IWRM Kongress nicht



Abbildung 1

Links: Ein Feshka, Brackwasser-Quelle am NW-Rand des Toten Meeres; rechts: Undichte Tiefbohrung mit überflur-gespanntem Brackwasseraustritt, Ostrand des Jordantales südlich von Kafrein, Jordanien. Brackwasservorkommen wurden in der Vergangenheit kaum genutzt, können aber heute durch Umkehrosmose-Verfahren kostengünstig aufbereitet werden (Fotos: Hötzl).

**Abbildung 2**

Die Nutzung aufbereiteter Abwässer in der Landwirtschaft stellt Süßwasserressourcen für die Trinkwasserversorgung frei. Die Bilder zeigen links die mit Unterstützung der deutschen Industrie erstellte Demonstrations- und Versuchsanlage „Fuheis“ für dezentrale Abwasseraufbereitung mit 5 unterschiedlichen Aufbereitungsverfahren, NE von Amman, Jordanien. Das rechte Bild zeigt die zugehörige Musterbewässerungsanlage (Fotos: Hötzl).

nur zu einem wissenschaftlichen Koordinationstreffen, sondern auch um Ergebnisse aus den ersten Forschungsjahren mit 12 Vorträgen sowie mehreren Postern einem breiten internationalen Auditorium vorzustellen und mit diesem neue Lösungsansätze zu diskutieren.

IWRM Projekt SMART

Bezugnehmend auf die UN-Millenniumsziele und die UN-Dekade „Water for Life“ fördert das BMBF das internationale Forschungsprojekt „Sustainable Management of Available Water Resources with Innovative Technologies“ (SMART) im Einzugsgebiet des Unteren Jordan Flusses. Es wird unter der wissenschaftlichen Leitung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) gemeinsam mit deutschen, israelischen, palästinensischen und jordanischen Partnern mit Hilfe einer multilateralen, interdisziplinären Forschungsgruppe aus Wissenschaft, Industrie, lokalen Fachbehörden und Nichtregierungsorganisationen sowie externen Experten durchgeführt.

Das hier verfolgte Konzept des integrierten Wasserressourcenmanagements versucht konsequent, multi-disziplinäre Informationen immer früher in einen auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Entscheidungsprozess einzubinden. Die Integration findet auf räumlicher Ebene (mit dem Flusseinzugsgebiet als bevorzugter Planungseinheit anstelle von Verwaltungsbezirken) als auch zwischen ingenieursorientierten, naturwissenschaftlichen und sozio-ökonomischen Betrachtungen statt. Die SMART-Strategie zur Entwicklung eines IWRM basiert auf den drei Säulen der

1. Quantifizierung der Wasserressourcen: Welche Ressourcen sind noch verfügbar, wie können diese bewirtschaftet werden und welche Gefährdungspotentiale bestehen in der Zukunft?
2. Entwicklung neuer technischer Lösungen: Steigerung der Effizienz in der Nutzung der vorhandenen Wässer hoher Qualität, verstärkte Heranziehung von Wässern minderer Qualität durch Einsatz neuer Technologien.
3. Implementierung: Umsetzung der zweckorientierten Lösungsstrategien durch großmaßstäblichen Einsatz neuer Technologien und Anwendung neuer Managementverfahren.

Leitender Zielgedanke von SMART ist die Einbeziehung aller Wasservorkommen des Untersuchungsraumes als verwertbare Ressourcen, einschließlich der bisher von einer Nutzung weitgehend ausgeschlossenen Abwässer, Salz- und Brackwässer (Abb. 1 und 2) sowie der saisonalen oder episodischen Flutwässer (Abb. 3). Dies erfordert einen umfassenden und integrierten Management- und Nutzungsansatz. Dazu bedarf es der Erkundung und Bewertung dieser Wasservorkommen (J. Hasan, W. Alkhoury), die bisher für eine Nutzung aus qualitativen Gründen oder aufgrund fehlender Speichermöglichkeiten nicht in Frage kamen. In Abhängigkeit von der weiteren Verwendung und den lokalen Gegebenheiten sollen hierfür geeignete Aufbereitungstechniken identifiziert sowie Lösungsmöglichkeiten zur Zwischenspeicherung entwickelt werden. Schwerpunkte bilden die Forcierung dezentraler Abwasseraufbereitungen und die Verwendung der recycelten Abwässer in der Landwirtschaft (A. Thiem) sowie die künftige Nutzung von Brackwässern. Besonderes Gewicht wird, unter dem Gesichtspunkt der meist nur saisonalen Niederschlagsaktivität, der künstlichen Speicherung von Flutwässern im Untergrund, zum Teil aber auch von recycelten Abwässern, gewidmet, um damit Verdunstungsverluste

**Abbildung 3**

Speicherung von episodischen Niederschlagsabflüssen in einem Wadi am Ostrand der Negev Wüste südlich des Toten Meeres, Israel. Die oberflächliche Speicherung ist jedoch mit hohen Verdunstungsverlusten verbunden, so dass man bestrebt ist, künftig diese Wassermengen durch künstliche Grundwasseranreicherung längerfristig zu sichern (Foto: J. Guttman 2010).

zu vermeiden. Diesem Thema war eine spezielle Session der Konferenz mit Beiträgen von E. Salama, G. Hahn und J. Gutman et al. aus dem SMART-Projekt gewidmet. Grundwasserleiter sind in den meisten semi-ariden Gebieten des Mittelmeerraumes und der arabischen Halbinsel die bedeutendsten Wasserspeicher und damit die wichtigste Grundlage für die Wasserversorgung. Deren Überbeanspruchung und qualitative Veränderung verschärft die für semi-aride Gebiete typischen Probleme. Salzwasser-Intrusionen und anthropogene Kontaminationen sind die Hauptfaktoren für die Qualitätsbeeinträchtigung der ohnehin schon knappen Wasserressourcen; daher gilt dem künftigen Schutz dieser Vorkommen (J. Hasan, A. Thiem) besondere Beachtung. Eine Verschlechterung der Situation ist durch die prognostizierte Klimaerwärmung und durch den damit verbundenen Rückgang der Grundwasserneubildung zu erwarten.

Die Umsetzung der erarbeiteten Konzepte für das Integrierte Wasserressourcen Management soll durch nutzerfreundliche Entscheidungshilfesysteme gestützt werden. In Absprache mit den lokalen Stakeholdern wird derzeit eine eigene, innovative Softwareentwicklung vorangetrieben, die auf den Grundsätzen des kollaborativen Wissensmanagements und der Semantic Web Technology basiert. Beispiel hierfür ist das von J. Benschabat für eine Teilregion beim Karlsruher IWRM Kongress vorgestellte Verfahren, basierend auf multikriteriellen Entscheidungsprozessen sowie der Analytischen-Hierarchischen-Prozess-Methode, um verschiedene Implementations-Szenarien vergleichen zu können. Die Arbeiten in der Region werden durch ein breites Capacity-Development-Programm unterstützt (Abb. 4).

Bewirtschaftung von Wasserressourcen unter Berücksichtigung extremer klimatischer und hydrogeologischer Randbedingungen – Interdisziplinäre Forschungsaktivitäten in Karstregionen Südasiens

Trotz großer internationaler Anstrengungen ist die Wasserversorgung in den Entwicklungsländern nach wie vor versorgungstechnisch, ökologisch und ökonomisch zumeist mangelhaft. Die Verein-

ten Nationen (UN) sehen daher großen Handlungsbedarf zur Verbesserung zumindest der Trinkwassersituation. Insbesondere extreme klimatische und hydrogeologische Gegebenheiten (Franz Nestmann) beeinflussen die Verfügbarkeit und Vulnerabilität der Wasserressourcen und verlangen angepasste, innovative Ansätze zur Gewinnung, Förderung und Verteilung der Wasserressourcen. Im gesamtheitlichen Kontext sind neben der Erschließung der Wasservorkommen auch die Aspekte der Wasseraufbereitung und der Abwasserentsorgung (Kerstin Matthies) zu betrachten.

Wesentliche Voraussetzungen für die nachhaltige Wirksamkeit von Maßnahmen sind die Bereitstellung einfach handhabbarer und dennoch (energie-)effizienter Technologien bzw. Konzepte. Technische Entwicklungen und deren Implementierung müssen hierbei durch einen umfassenden „Know-how“-Transfer („Capacity Development“) sowie die Schaffung entsprechender institutioneller Managementstrukturen und -strategien begleitet werden (R. Ardakanian).

Im Mittelpunkt der IWRM-Projekte steht die Frage, inwieweit angepasste Wasser- und Umwelttechnologien im Zusammenwirken mit entsprechendem Wissenstransfer einen maßgebenden und nachhaltigen Beitrag zur Etablierung eines IWRM in den jeweiligen Modellregionen leisten können. Die verschiedenen Projekte fokussieren vor dem Hintergrund der naturräumlichen, ökologischen und sozio-ökonomischen Randbedingungen unterschiedliche Schwerpunktprobleme und Lösungskonzepte.

Einer dieser Forschungsverbünde beschäftigt sich beispielsweise unter Federführung des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) in Zusammenarbeit mit Industriepartnern mit der Entwicklung und Implementierung von Konzepten und Technologien für ein adaptives Wasserressourcenmanagement in Karstgebieten Südasiens (Stefan Stauder). Hier ist die Wasserproblematik besonders gravierend. Durch die Bedingungen des Karsts mit relativ weiten Lösungshohlräumen wird ein hoher Anteil des Niederschlags rasch von der Oberfläche in den Karstkörper infiltriert. Ein Großteil der im Karst vorhandenen Wasserressourcen ist

deshalb in unterirdischen Grundwasserleitern mit stark schwankenden Abflüssen gespeichert. Aufgrund fehlender Speichermöglichkeiten auf der Oberfläche und der nur schwer zugänglichen Grundwasserleiter existieren gravierende Versorgungsengpässe, die in tropischen Klimazonen während ausgeprägter Trockenzeiten Existenz bedrohend sein können. So sind die i.d.R. sehr tief liegenden Wasservorkommen wenn überhaupt nur mit immensem energetischem Aufwand zu erschließen (Philipp Klingel) und zu verteilen (große Förderhöhen und Transportdistanzen). Hinzu kommt durch die günstigen Infiltrationsbedingungen eine hohe Vulnerabilität der Wasserres-



Abbildung 4

Wichtiger Bestandteil des IWRM in Entwicklungsländern ist die Bewusstseinsbildung für die Bedeutung des Wassers und der Aufbau von fachlichen und institutionellen Kapazitäten für den Bereich Wasser. Im Rahmen des SMART-Projektes werden von der Grundschule (rechts: Übungsprogramme zur Wasseraufbereitung) über die fachliche Lehre (links: Ausbildungskurs an der Abwasseraufbereitungsanlage Fuheis) bis hin zur wissenschaftlichen Weiterbildung Aufbauhilfen zur Verfügung gestellt (Fotos: M. v. Afferden).



sources gegenüber Kontaminationen durch z.B. die Landwirtschaft. Für die auf Karstgrundwasserleiter angewiesene Wasserversorgung sind daher innovative und angepasste Strategien bzw. Technologien zur

- Erschließung der Wasserressourcen,
- Wassergewinnung / Wasserförderung,
- Wasserverteilung / Wassernutzung sowie
- Schutz der vulnerablen Wasserressourcen

existentiell.

Im Rahmen des Verbundprojektes wurde weltweit erstmalig in einer entlegenen Karstregion auf Java ein unterirdisches Höhlenkraftwerk realisiert, welches mittels regenerativer Energieerzeugung genügend Karstgrundwasser fördert, um auch während der Trockenzeit über 70.000 Menschen mit Wasser zu versorgen. Neben weiterführenden Methoden nachhaltiger Fördertechnologie und Speicherbewirtschaftung konzentrieren sich die F&E-Arbeiten mittlerweile schwerpunktmäßig auch auf Simulationswerkzeuge zur energie- bzw. kostenoptimierten Planung und Rehabilitation von Wasserversorgungsnetzen, (dezentrale) Wasseraufbereitungs- und Abwasserentsorgungstechnologien sowie GIS-gestützte Managementstrategien.

Die Ergebnisse und Erfahrungen können als Basis für grundlegende und weiterführende Forschungsarbeiten mit globaler Relevanz genutzt werden: Ca. 20 % der Weltbevölkerung lebt auf Karbonatgestein, über ein Viertel der Menschheit ist von der Trinkwasserversorgung aus Karstgrundwasserleitern abhängig. Insbesondere wurden Adaptions- und Multiplikationsmöglichkeiten auf weitere Karstregionen weltweit diskutiert. Hierbei wurde u.a. Bezug genommen auf erste Ergebnisse eines anlaufenden Vorhabens im Geopark Dong Van Karst Plateau an der chinesischen Grenze im Norden Vietnams.

Schlussbemerkung

Der Erfolg der IWRM Karlsruhe 2010 hat die Veranstalter bewogen, mit der Vorbereitung der Folgeveranstaltung im Jahre 2012 zu beginnen. Die Veranstalter freuen sich auf Kommentare und Anregungen für die Gestaltung der IWRM Karlsruhe 2012 sowohl in thematischer Hinsicht wie auch zu Struktur und Organisation von Kongress und Ausstellung. Kooperationspartner, die das Grundkonzept der IWRM Karlsruhe (s. „Motivation“) unterstützen, sind willkommen. Es bleibt das Ziel auch der IWRM Karlsruhe 2012, eine Plattform bereitzustellen für den internationalen Informationsaustausch und für die Knüpfung von globalen Partnerschaften auf dem Gebiet des effektiven und optimalen Managements der weltweit knappen und kostbaren Ressource „Wasser“.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. Heinz Hötzel
Institut für Angewandte Geowissenschaften,
Abteilung Hydrogeologie
Karlsruher Institut für Technologie KIT

Prof. Dr. Franz Nestmann
Institut für Wasser und Gewässerentwicklung,
Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik
Karlsruher Institut für Technologie KIT

Dr. Peter Oberle
Institut für Wasser und Gewässerentwicklung,
Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik
Karlsruher Institut für Technologie KIT

Prof. Dr. Hartwig Steusloff
Fraunhofer Institut für Optronik,
Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
Fraunhoferstraße 1, 76131 Karlsruhe
hartwig.steusloff@iosb.fraunhofer.de

14. Workshop zur Großskaligen Hydrologischen Modellierung – Flussgebietsmodellierung und Flussgebietsmanagement im Kontext des Globalen Wandels

Large scale hydrological modelling – River Basin Modelling and Management under Global Change Conditions

Der 14. Workshop „Großskalige Hydrologische Modellierung“ fand vom 3.–5. November 2010 in der Evangelischen Akademie in Tutzing bei München statt. Das Fachtreffen wurde vom Institut für Wasserwesen, Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz der Universität der Bundeswehr in München, dem Fachgebiet Hydrologie und Flussgebietsmanagement der Technischen Universität München und dem Department für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) ausgerichtet. Die Tagungsreihe hat sich seit 1997 im deutschsprachigen Raum zu einer festen Größe in den hydrologischen Fachveranstaltungen entwickelt. Sie diente auch im Jahr 2010 insbesondere dem wissenschaftlichen Nachwuchs als Forum zur Präsentation und Diskussion der eigenen innovativen Arbeiten und leistete damit einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung neuer Ansätze in diesem dynamischen Forschungsfeld.

Der diesjährige Workshop stand unter dem Motto „Flussgebietsmodellierung und -Management im Kontext des Globalen Wandels“ und widmete sich in guter Tradition dieser Veranstaltungsreihe der intensiven Erörterung aktueller Entwicklungen und neuer Erkenntnisse im Bereich der hydrologischen Modellierung. Vor dem Hintergrund der disziplinären Vielfalt wurde der Workshop in drei Kernbereiche der hydrologischen Forschung und Modellentwicklung gegliedert:

1. Hydrologische Projektionen und Unsicherheiten
2. Risikomanagement hydrologischer Extreme
3. Skalenübergreifende Prozessmodellierung

Zu Beginn der jeweiligen Session wurde ein eingeladener Einführungsvortrag als Diskussionsgrundlage vorangestellt. Insgesamt 21 Fachreferate und 11 Posterbeiträge vertieften die jeweilige Thematik.

In seiner Eröffnungsrede sprach Prof. Dr. R. Ludwig von der Verantwortung und der wachsenden Bedeutung der hydrologischen Umweltwissenschaften gegenüber der Gesellschaft und der Erhaltung der damit verbundenen natürlichen Systeme. Er gab einen kurzen Überblick über laufende Projekte zum Thema Flussgebietsmanagement und Klimawandel am Department für Geographie der LMU München. Innerhalb der praxisnahen Forschungsprojekte Québec-Bavarian International Collaboration on Climate Change (Q-BIC³) und Climate Induced Changes on

the Hydrology of Mediterranean Basins (CLIMB) werden durch integrierte Monitoring- und Modellierungsmethoden die Unsicherheiten innerhalb der hydrologischen Prozesskette (Abb. 1) identifiziert und reduziert sowie potentielle Risiken quantifiziert.

Einführend zur Thematik der Tagung erklärte Prof. Ludwig, dass der globale Wandel als Summe der Veränderungen globalen Ausmaßes, die durch die Wechselwirkung menschlichen Handelns mit Prozessen in der natürlichen Umwelt hervorgerufen werden, verstanden werden kann. Die Anomalien betreffen nahezu alle Lebensbereiche und erfordern gerade im Hinblick auf das Management der Ressource Wasser ein fundiertes Verständnis der komplexen Systemzusammenhänge. Die Frage nach einer möglichen zukünftigen Entwicklung der Mensch-Umwelt-Systeme stellt vor allem die hydrologischen Modellierer vor große Herausforderungen, weil die Unterstützung von zukunftsweisenden Entscheidungen in Politik, Verwaltung und Industrie sowie die Entwicklung von Anpassungsstrategien an veränderte Rand- und Extrembedingungen immer stärker in das Kompetenzfeld der Wasserwissenschaften rückt.

Hydrologische Projektionen und Unsicherheiten

Den ersten Themenblock eröffnete Prof. Dr. Harald Kunstmann (Institute for Meteorology and Climate Research IMK-IFU, Karlsruhe Institute of Technology KIT und Lehrstuhlhaber Regionales Klima und Hydrologie an der Universität Augsburg) mit seinem Vortrag zum Einsatz von skalen- und kompartimentübergreifenden gekoppelten Modellsystemen zur hoch aufgelösten Quantifizierung des Wasserhaushalts und zur Entscheidungsunterstützung. Er berichtete darüber, dass noch immer große Unsicherheiten in der hydrologischen Impaktanalyse existieren. Seine Untersuchungen im Alpenraum haben aufgezeigt, dass gerade die Abbildung des flächendifferenzierten Niederschlags, als die bestimmende Eingangsgröße in die hydrologischen Modelle, mit den größten Unsicherheiten behaftet ist. Eine Korrektur ist seiner Meinung nach durch geeignete Bias-Korrekturverfahren und weitere „lokale Verfeinerungen“ zwingend notwendig.

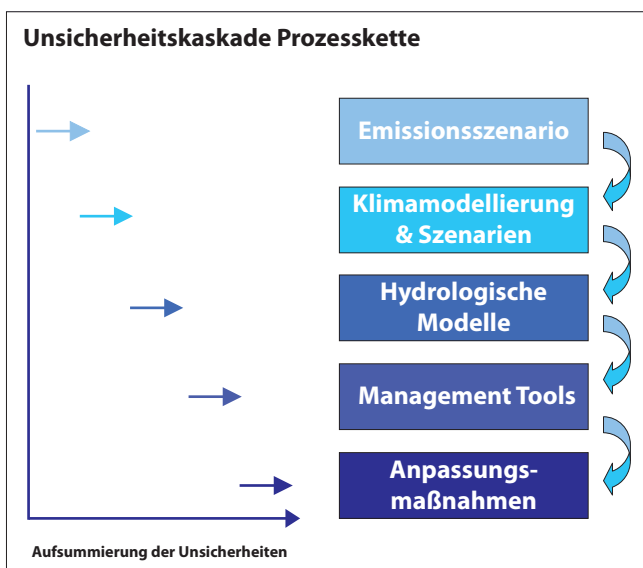


Abbildung 1
Unsicherheitskaskade

Die weiteren Beiträge zu diesem Themenschwerpunkt beschäftigten sich mit der Bandbreite unterschiedlicher Methoden zur Bewertung von Klimamodelldaten in Bayern, der Analyse von Unsicherheiten und Modellsensitivität in Einzugsgebieten Chinas, Tibets, Kanadas, Deutschlands und der Schweiz. Die Verwendung hydrologischer Modellensembles für ein verbessertes (Prozess-) Verständnis der wasserwirtschaftlichen Klimafolgen wurde am Beispiel des oberen Isar Einzugsgebiets vorgestellt.

Risikomanagement hydrologischer Extreme

Die zweite Session beschäftigte sich mit dem „Risikomanagement hydrologischer Extreme“ und wurde von Gabriele Merz, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Leiterin des Referats „Umsetzung der EU-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie“, eröffnet. Ihr Vortrag stellte wasserwirtschaftliche Instrumente und Maßnahmen zum Management von Extremereignissen vor. Verschiedene Ausprägungen hydrologischer Extreme wie Flusshochwasser, Sturzfluten oder Niedrigwasser wurden beispielhaft erläutert und das Schadenspotential für die Gesellschaft erörtert. Die Umsetzung der Richtlinie sieht vor, nach der Erstellung von Hochwassergefahrenkarten Ziele zur Verringerung von Hochwasserschäden zu definieren und für jedes Flussgebiet koordinierte Pläne zum Hochwasserrisiko-Management zu entwerfen. Die Strategie des Bayerischen Landesamtes beinhaltet Maßnahmen zum technischen Wasserrückhalt wie Deichrückverlegung, gesteuerte Flutpolder oder Optimierung der Steuerung von Talsperren zur Hochwasservorsorge, die Festlegung von Überschwemmungs- und Vorranggebieten sowie Maßnahmen zum Wasserrückhalt in der Fläche, z.B. durch dezentrale Kleinerückhalte und natürliche Retention oder Renaturierung von Gewässern. Die Aufgabe der Wasserwirtschaft ist es dabei, die Grundlagen für ein robustes Wassermanagement zu schaffen und über entsprechende Gefahren z.B. mit dem Hochwassernachrichtendienst zu informieren. Hochwasserrisiko-Management beinhaltet aber auch die Verzahnung von verschiedenen Akteuren auf politischer und administrativer Ebene und ist somit als eine gemeinsame Aufgabe aller Beteiligten zu sehen.

In den folgenden Beiträgen wurden vor allem Ergebnisse der Hochwassermodellierung vorgestellt. Trendanalysen von extremen hydrologischen Ereignissen an Abflusspegeln in Thüringen zeigen die regionalen Auswirkungen des anthropogen bedingten Klimawandels. Verschiedene Methoden statistischer Bias-Korrekturen von globalen Klimaprojektionen wurden in der Modellierung von makroskaligen Einzugsgebieten europaweit verglichen. Die Beiträge veranschaulichten, dass es große Spannweiten der relativen Änderungen in der Betrachtung von Hochwasserkennwerten zwischen den verwendeten Klimamodellen gibt. Für die Region Tirol in Österreich wurde der Einfluss der Schneedecke auf die Entstehung von extremen Hochwässern in vergletscherten Einzugsgebieten untersucht. Es wurden verschiedene Zustände der Schneebedeckung und die statistische Verteilung von Starkregen im Modell analysiert, um die maßgebende Kombination für Hochwasserabflüsse ableiten zu können. Verschiedene Kalibrierungsstrategien konzeptioneller Modelle wurden für Einzugsgebiete im Aller-Leine-Gebiet vorgestellt. Es konnten sowohl Ergebnisse unterschiedlicher räumlicher Regionalisierungsmethoden als auch Optimierungsalgorithmen präsentiert werden. Es hat sich gezeigt, dass je nach Kalibrierungsstrategie ein anderer Optimierungsalgorithmus

vorteilhaft sein kann. Zur Entwicklung von Managementstrategien für die Reduktion von Nährstoffbelastungen in Fließgewässern soll für Schleswig-Holstein eine bestmögliche Kombination von landwirtschaftlicher Praxis und technischen Maßnahmen ermittelt werden. Als Abschluss der Session wurden noch Aspekte zur hydrologischen Gefährdungsabschätzung aus der Sicht eines Rückversicherers vorgestellt. Um Risiken bzw. Überschwemmungsgebiete zu ermitteln, gibt es für Versicherungsgesellschaften die Möglichkeit, komplexe Niederschlag-Abfluss-Modelle oder statistische Analysen auf Basis von Abflussdaten durchzuführen.

Skalenübergreifende Prozessmodellierung

Eine sehr anschauliche Einführung in den dritten Themenschwerpunkt „Skalenübergreifende Prozessmodellierung“ wurde von Prof. Dr. Günter Blöschl, Leiter der Abteilung Ingenieurhydrologie der TU Wien, präsentiert. Mit bezeichnenden Beispielen verdeutlichte er die Notwendigkeit von Alternativen zur bisherigen Betrachtungsweise der Unsicherheitsproblematik in der hydrologischen Modellierung bzw. Wasserwirtschaft. Vor allem die Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Klima, Wetter und Hydrologie müssten seiner Meinung nach besser untersucht und verstanden werden. Dazu bedarf es interdisziplinärer Forschung, da die Verbindung der Hintergründe der einzelnen Fachdisziplinen für alle wesentlichen Fortschritte in den Geowissenschaften notwendig ist. Er weist darauf hin, dass Unsicherheiten vielmehr aus der natürlichen Variabilität heraus entstehen können als aus noch nicht implementierten Komponenten in immer komplexere Modellsysteme. Professor Blöschl fordert die Vermeidung exzessiver Modellkomplexitäten und empfiehlt die Anwendung von holistischen Modellen in großem Maßstab und effizientem Prozessverständnis.

In weiteren Beiträgen wurden zunächst Modellanwendungen und -entwicklungen für verschiedene Komponenten des hydrologischen Kreislaufs auf unterschiedlichen räumlichen Skalen vorgestellt. Im Vordergrund standen dabei Fragen nach der Regionalisierbarkeit von einzelnen Prozessparametern und nach den Auswirkungen subskaliger Heterogenitäten auf das hydrologische Prozessgeschehen. Des Weiteren wurden Konzepte vorgestellt und diskutiert, die subskaligen Heterogenitäten effektiv in größerskalige bzw. skalenübergreifende Modellkonzepte abzubilden. Dazu wurden auch die Quantifizierbarkeit von Unsi-

cherheiten in Bezug auf Eingangs- und Kalibrierdaten sowie verwendeter Parameter und Modellstrukturen aufgegriffen.

Fazit und Ausblick

Die Beiträge des Workshops verdeutlichten, dass die interdisziplinäre Forschungsarbeit im Bereich der hydrologischen Impaktanalyse weiter ausgebaut werden konnte. Die detaillierte Betrachtung komplexer Modellketten demonstrierte eindrücklich die Bandbreiten von Klimamodelldaten und der daraus resultierenden Hydrographen, Wasserhaushaltsgrößen und hydrologischen Indikatoren. Es ist demnach weiterhin erforderlich, sinnvolle und robuste Anpassungsoptionen an den Klimawandel zu entwickeln. Der Erfolg dafür ist in erheblichem Maße von der Identifikation und Quantifizierung der Unsicherheiten in Bezug auf Szenarien des Klimawandels, der Projektionen durch globale und regionale Klimamodelle sowie der nachgeschalteten oder gekoppelten hydrologischen Modelle abhängig. Es sollte aber auch über Alternativen nachgedacht werden, die Problematik der Unsicherheiten zu lösen. Ein weiteres Ziel ist die Definition einer Bemessungsgrundlage zum Verständnis der erforderlichen Komplexität prognosefähiger Modellansätze. Um die wissenschaftliche Diskussion hierüber fortzusetzen, wurde auf den Tag der Hydrologie in Wien mit dem Thema „Hydrologie & Wasserwirtschaft – Von der Theorie zur Praxis“ am 24./25. März 2011 und auf die internationale Konferenz „Managing Alpine Future II“ vom 21.–23. März 2011 hingewiesen.

Der 15. Workshop „Großskalige hydrologische Modellierung“ wird am 24./25. November 2011 von der Universität Innsbruck in Zusammenarbeit mit der alpS GmbH ausgerichtet.

Anschriften der Verfasser

Dipl.-Geogr. Sascha Berger
Prof. Dr. Ralf Ludwig
Ludwig-Maximilians-Universität München,
Department für Geographie
Luisenstraße 37, 80333 München
sascha.berger@lmu.de

Dipl.-Hydr. Florian Winter
Universität der Bundeswehr München, Institut für Wasserwesen
Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg

Projektbericht

Digitales Geländemodell des Gewässerbetts für den Niederrhein

Digital terrain model of the Lower Rhine river bed

Ziel des Pilotprojekts „Digitales Geländemodell des Gewässerbetts für den Niederrhein“ war, den 229 km langen Flussabschnitt zwischen Bonn und Emmerich in kurzer Zeit lückenlos mit hoher Punktdichte zu vermessen. Die Aufnahme erfolgte mit Messschiffen, die mit Fächerloten ausgerüstet waren. Aus den willkürlich verteilten Daten wurde ein regelmäßiges flächendeckendes Digitales Geländemodell der Sohle (DGM-S) mit hoher und homogener Genauigkeit berechnet, das es in dieser Form bisher nicht gab. Das DGM-S dient beispielsweise als Geobasisdatensatz für das Forschungsprojekt KLIWAS, in dem unter anderem Zukunftsszenarien für Sedimenttransportraten und Flussbettentwicklung entwickelt werden. In der praktischen Arbeit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV), wie z.B. der dynamischen Stabilisierung der Gewässersohle durch Baggerungen oder Geschiebezugaben, wird der Datensatz ebenfalls angewendet.

Die WSV führt die Vermessung der Gewässersohle meist nur in bestimmten Flussabschnitten durch, z.B. um die Fahrwassertiefe

zur Verkehrssicherung zu bestimmen. Diese Gewässervermessungen finden vorwiegend in dem für die Schifffahrt wichtigen Fahrwasser statt. Vermessungen der flachen Randbereiche und des angrenzenden Geländes gibt es dagegen kaum. Diese Daten werden jedoch benötigt z.B. für Bauwerkskataster und -planungen, Querprofile, Orthofotos, digitale Bundeswasserstraßenkarten sowie hydronumerische Modellierungen. In der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) sind dies numerische morphologische Modelle, Modelle zur Hochwasservorhersage sowie Modelle zur Wasserspiegellagenberechnung.

Im Auftrag des WSA Duisburg hat die BfG den Niederrhein zwischen Stromkilometer 638 und 867 mittels Fächerlot flächendeckend vermessen – und zwar den gesamten wasserführenden Bereich der Fahrrinne und der Wasserwechselzone. Voraussetzung für die Fächerlotmessungen ist ein geeigneter Wasserstand. Ist dieser hoch, arbeiten die Fächerlot-Messsysteme wirtschaftlicher. Gleichzeitig treten aber vermehrt Sohländerungen infolge des höheren Geschiebetransports ein, so dass hier ein Kompromiss gefunden werden musste. Die Messungen erfolgten daher im Fahrwasser im Bereich AMW -0,5 bis +1,0 m (AMW = Ausbaumittelwasserstand) und in der Wasserwechselzone zwischen AMW +2,0 m und Hochwassermark II.

Das Ergebnis ist eine flächenhafte großräumige Momentaufnahme des Fahrwassers in bisher nicht dagewesener Qualität (Auflösung des DGM-S 0,5 m).

Die Vermessung der ca. 58 km langen Abschnitte des Fahrwassers (4 Streckenlose) dauerte 16 bis 20 Tage, was einer Leistung von ca. 2,9 bis 3,6 Stromkilometern pro Tag entspricht. Die Aufnahme der Wasserwechselzonen war wasserstandsbedingt zunächst nur an 7 Tagen möglich, in denen ca. 75 % erfasst werden konnten. Nachdem im November 2010 der erforderliche Wasserstand wieder erreicht wurde, konnten die restlichen 25 % innerhalb weniger Tage gemessen werden. Da die Messungen im Fahrwasser innerhalb des geforderten kurzen Zeitraums durchgeführt werden konnten, sind in der Fläche betrachtet keine größeren morphologischen Veränderungen eingetreten, so dass die Einzelmodelle später zu einem homogenen Gesamtmodell zusammengefügt werden konnten.

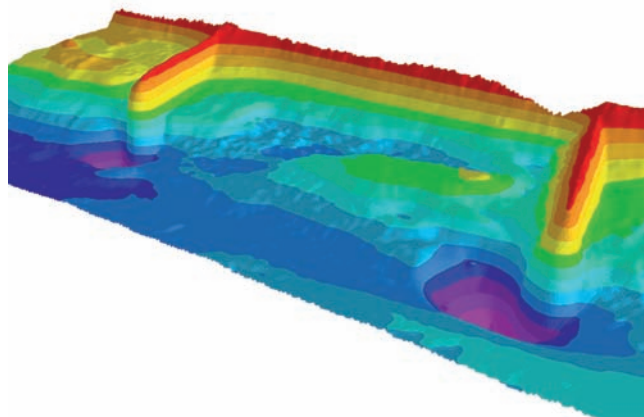


Abbildung 1
3D-Darstellung einer Buhne (Modellauflösung 0,5 m)

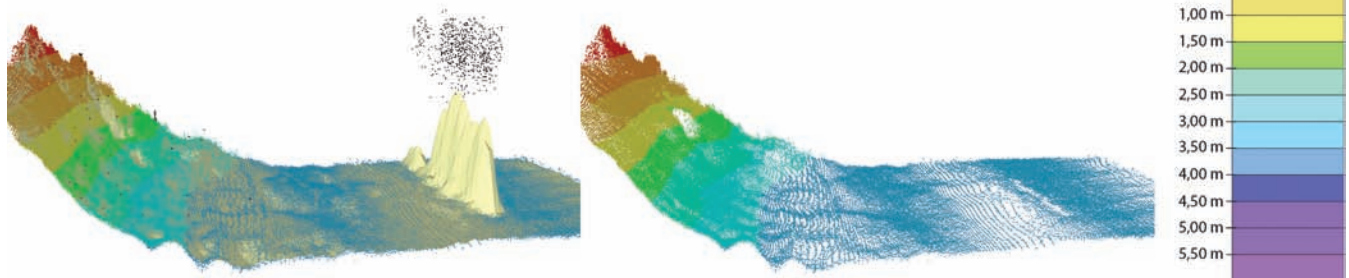
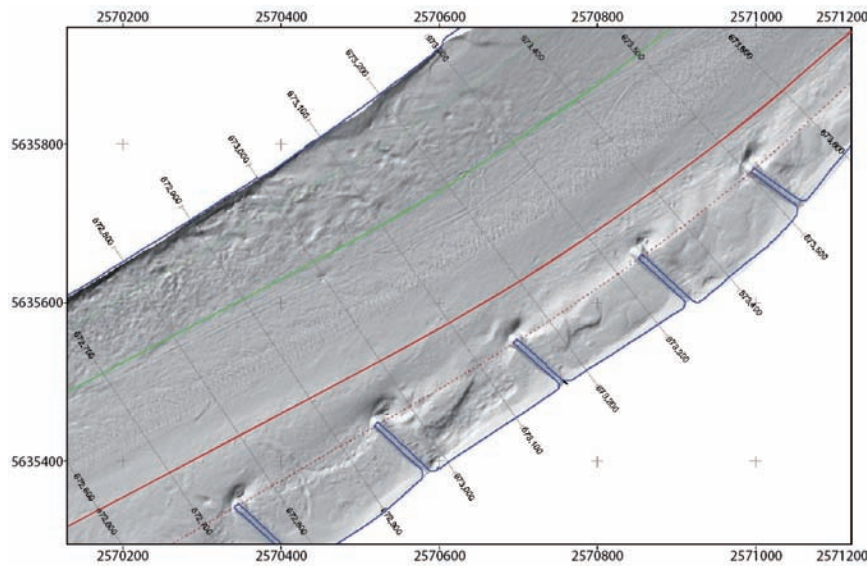


Abbildung 2
Flussquerschnitt von ca. 50 m Länge vor (links) und nach der Fehlerkorrektur (rechts)

**Abbildung 3**

Schummerungsdarstellung des DGM-Sohle, Auflösung 0,5 x 0,5 m, Maßstab 1:3.000, Bezugshorizont: gleichwertiger Wasserstand. Die Fahrrinne befindet sich zwischen der grünen und der roten Linie.

Eine einheitliche Genauigkeit ist insbesondere bei mehreren Ausführenden nur zu erreichen, wenn systematische Fehler konsequent aufgedeckt und korrigiert werden. Außerdem musste nachgewiesen werden, ob die Genauigkeitsanforderungen erfüllt wurden. Dazu wurde vorab ein Qualitätssicherungskonzept entwickelt, das beispielsweise Maßnahmen zur Kalibrierung der Vermessungssysteme, Nachweis der Genauigkeit auf Prüfeinrichtungen und in Überlappungsbereichen, Kontrollmessungen durch unabhängige Dritte usw. umfasste.

Alle Daten wurden mit standardisierten Verfahren (angewandtes Qualitätsmanagement in der Gewässervermessung „aQua“ in

Anlehnung an ISO 9000ff.) mit der BfG-eigenen Software HyDAP (Hydrographische Datenauswertung und Präsentation) geprüft sowie die Ergebnisse der Qualitätssicherungsmaßnahmen dokumentiert.

In der Software HyDAP wurden beispielsweise Algorithmen zur automatischen Plausibilisierung und Ausreißerbeseitigung realisiert. Diese Funktionen haben zuverlässig Fehler und Artefakte (s. linkes Bild in Abb. 2) aufgedeckt, so dass die Daten bereinigt werden konnten.

Außerdem wurden die Übergangsbereiche zwischen den Streckenlosen mit ca. 500 m Überlappung vermessen. An dieser Stelle konnte die Übereinstimmung mit Differenzmodellen geprüft, aber auch durch Anbringen der Kalibrierwerte die Genauigkeit insgesamt verbessert werden.

Nach Abschluss der Prüfungen und Korrekturen steht fest, dass die geforderte Unsicherheit der Modellhöhen von ca. 4 cm bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % für jedes Messgebiet erreicht bzw. deutlich unterschritten wird.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Harry Wirth
Dipl.-Ing. Thomas Brüggemann
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz
wirth@bafg.de

Aktuelles

Muster und Strukturen in Boden-Pflanzen-Atmosphären-Systemen

Der Transregio Sonderforschungsbereich 32 (TR 32) wird verlängert. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) wird den TR 32 mit dem Titel „Muster und Strukturen in Boden-Pflanzen-Atmosphären-Systemen: Erfassung, Modellierung und Datenassimilation“ in den nächsten vier Jahren mit rund 10 Millionen Euro fördern. Der TR 32 läuft bereits erfolgreich seit 2007, sein Ziel ist die Erforschung der komplexen Austauschprozesse zwischen Boden, Pflanzen und Atmosphäre. Dabei stehen der Austausch von Wasser und Kohlendioxid im Mittelpunkt der Untersuchungen. Da die Austauschprozesse sowohl zeitlich als auch räumlich sehr variabel sind, stellt die Vorhersage des Systemverhaltens eine große Herausforderung dar. Die Ergebnisse der Grundlagenforschung sollen einen Beitrag dazu leisten, den globalen Klimawandel besser zu verstehen und konkret die Wetter-

prognosen zu verbessern. Beteiligt an dem interdisziplinären Projekt sind Wissenschaftler aus Agrar-, Geo- und Materialwissenschaften. An dem TR sind die Universitäten Aachen, Bonn und Köln sowie das Forschungszentrum Jülich (FZJ) beteiligt.

Weitere Information unter <http://tr32.uni-koeln.de>

(aus: Pressemitteilung Universität Köln vom 23. November 2010)

Plan Hochwasservorsorge Dresden

Das Hochwasserereignis vom August 2002 hatte in einem bislang nicht bekannten Ausmaß die große Verletzlichkeit der Landeshauptstadt Dresden bei annähernd zeitgleichem Hochwasser der unterschiedlichen Gewässersysteme gezeigt und schonungslos Defizite in der Hochwasservorsorge und Hochwasserabwehr als auch in der Verwaltungsorganisation offenbart. Hochwasserer-

eignisse katastrophalen Ausmaßes waren nicht mehr im Bewusstsein der Menschen.

Der neue, strategische Ansatz der Landeshauptstadt Dresden für die Verbesserung der Hochwasservorsorge ist, die Gefährdungen durch das gesamte Gewässersystem einschließlich der Kanalisation gemeinsam zu betrachten und in Bezug zu den betroffenen Stadtteilgebieten mit ihren besonderen Charakteristika, den sogenannten Betrachtungsgebieten Hochwasservorsorge (BG), zu setzen. Damit werden die Möglichkeiten und Restriktionen stadträumlicher Entwicklung in das Zentrum der Verbesserung der Hochwasservorsorge gerückt.

Der Plan Hochwasservorsorge Dresden (PHD) zeigt, dass seit 2002 viele Maßnahmen zur Verbesserung des vorsorgenden Hochwasserschutzes realisiert wurden bzw. zur Zeit realisiert werden. Der Schutz vor Hochwasser konnte für ganze Stadtgebiete erheblich verbessert werden. Für Siedlungsgebiete mit zusammenhängender Bebauung, Industrie oder Gewerbe sowie für die städtebaulichen Entwicklungsbereiche werden – mit wenigen Ausnahmen – die darüber hinaus zukünftig noch erforderlichen Maßnahmen aufgezeigt, mit denen ein Schutz vor 100-jährlichen Hochwasserereignissen aus den Oberflächengewässern sichergestellt werden kann. Es verbleiben aber auch langfristig Bereiche mit Schutzgraden kleiner HQ100.

Der PHD kann unter www.dresden.de/PHD abgerufen werden.
(aus: Mitteilung Umweltamt der Landeshauptstadt Dresden vom 25. November 2010)

Weltwassertag 22. März 2011: Wasser für urbane Räume

Etwa 3,3 Milliarden Menschen leben derzeit in urbanen Räumen, Anzahl und Raumbedarf wachsen ständig. Dabei beläuft sich die Zunahme der Slumgebiete in und am Rande der Städte auf 38 % des Wachstums. Die Anpassung der erforderlichen Infrastruktur für die Wasserver- und -entsorgung kann bei einer derartigen Bevölkerungszunahme meist nicht adäquat und zeitnah erfolgen. Dadurch wird die Versorgungssituation in urbanen Gebieten Ursache für soziale Brennpunkte. Der Weltwassertag 2011 widmet sich dieser Problematik. Die Auswirkungen auf die urbanen Wassersysteme infolge von Bevölkerungszunahme, Industrialisierung, Unsicherheiten durch klimatische Veränderungen und extreme Naturereignisse aber auch Lösungsansätze sollen der Öffentlichkeit aufgezeigt werden.

(aus: www.unwater.org/worldwaterday)

Projekt zu IWRM im Iran

Die wasserwirtschaftlichen Herausforderungen im Iran sind enorm. Der Zayandeh Rud, wichtigster Fluss im Zentraliran, versorgt gut 4,5 Millionen Einwohner mit Wasser. In seinem Einzugsgebiet zeigen sich beispielhaft die zunehmenden Nutzungskonkurrenzen zwischen Landwirtschaft, Industrie und wachsenden Städten und die dadurch verursachten Probleme. Unter der Leitung des inter 3 Instituts für Ressourcenmanagement erarbeitet ein Konsortium aus Wissenschaftlern und Unternehmen bis 2013 ein umsetzbares Konzept für ein integriertes Wasserressourcen-Management. In dem vom Bundesministe-

rium für Bildung und Forschung geförderten Projekt werden für die iranische Wasserwirtschaft gezielt Technologien und erforderliches Managementwissen für eine nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung entwickelt und zur Verfügung gestellt. Projektpartner sind inter 3, Institut für Ressourcenmanagement, Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE), DHI-WASY, Institut für Umwelttechnik und Management an der Universität Witten/Herdecke, p2m berlin, Passavant Roediger und German Water Partnership.

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung einer nachhaltigen Wasserwirtschaft in dem von Wassermangel stark betroffenen Gebiet. Neben dem Transfer moderner Technologien zielt der IWRM-Prozess auf die Entwicklung eines wasserwirtschaftlichen Entscheidungshilfesystems, das neben Umweltfaktoren auch sozio-ökonomische Faktoren einbezieht. Das Projekt gliedert sich in drei Phasen. Zunächst wird die aktuelle wasserwirtschaftliche Situation im Einzugsgebiet des Zayandeh Rud unter technischen, organisatorischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten analysiert. Darauf aufbauend werden dann Management-Tools zur Bewirtschaftung der Wasserressourcen entwickelt, die die Entscheidungsträger im Iran in die Lage versetzen, konkrete Ziel- und Aktionspläne für eine nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung zu entwickeln. Die zweite Projektphase ist ab 2013 geplant. Dabei sollen verstärkt die langfristigen Wechselwirkungen zwischen Grundwassernutzung, Gewässergüte und Klimawandel in die Untersuchungen einbezogen werden. Für die dritte Projektphase ist ein Ergebnistransfer in den zentralasiatischen Raum vorgesehen.

In der jetzt startenden ersten Projektphase wird das Entscheidungshilfesystem aufgebaut. Es besteht aus zwei Wasserbewirtschaftungstools: eines zur quantitativen Simulation der Wasserressourcen und ein zweites, das die sozio-ökonomischen Einflussfaktoren berücksichtigt. Mit dem Entscheidungssystem lassen sich Alternativen aufzeigen und die Reichweite von Entscheidungen abschätzen. Zugrunde gelegt wird die Betrachtung von Landwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft, Industrie, Tourismus und Natur (und damit der verschiedenen Wassernutzungen in der Region). Die Ergebnisse des Wasserressourcentools und der Sektormodule werden über Wissenslandkarten zu einem einheitlichen Entscheidungssystem zusammengeführt. Sie ermöglichen eine umfassende Herangehensweise, in die die erforderlichen Managementprozesse wie Organisationsentwicklung, Capacity Development, Kommunikation und Projektmanagement integriert werden. Die Kosten für die erste Projektphase sind mit rund drei Millionen Euro veranschlagt.

Das Forschungsvorhaben wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Fördermaßnahme „Integriertes Wasserressourcen-Management einschließlich des notwendigen Technologie- und Know-how-Transfers“ gefördert. Projektträger ist das Karlsruher Institut für Technologie. Im Iran unterstützt das dortige Energieministerium das Projekt und hat die Wasserbehörde Isfahan als iranischen Kooperationspartner eingesetzt.

Nähere Informationen unter www.iwrm-isfahan.com
(aus: Pressemitteilung inter 3 Institut für Ressourcenmanagement, Berlin, vom 1. Dezember 2010)

Vorkoster in der Wasserleitung

Trinkwasser ist eines der am strengsten überwachten Lebensmittel. Dennoch ist auch das Versorgungsnetz nicht gegen Unfälle, Verschleiß oder gezielte Anschläge gefeit. Ein minuten-schnelles Warnsystem für Gifte und andere gesundheitsschädliche Stoffe im Wasser könnte künftig sofort Alarm schlagen, wenn Gefahr droht. Trinkwasser soll farblos sein, kühl, geruchlos und geschmacklich einwandfrei. Es darf keine Krankheitserreger enthalten und die Gesundheit nicht schädigen. Trinkwasser wird deshalb in regelmäßigen Abständen einer Reihe von Screenings unterzogen. Ergänzend zu diesen Tests entsteht derzeit im Projekt AquaBioTox ein System für eine ständige Trinkwasserüberwachung in Echtzeit.

Derzeit beschränken sich die in der Trinkwasserverordnung vorgeschriebenen Untersuchungen auf Stichproben, die oft erst nach Stunden Ergebnisse liefern und stets auf bestimmte Substanzen zugeschnitten sind. Herzstück des AquaBioTox-Systems ist hingegen ein Bio-Sensor, der auf ein breites Spektrum potenziell gefährlicher Substanzen reagiert und bereits nach wenigen Minuten anspricht. Er arbeitet nach dem Vorkoster-Prinzip: Von der Hauptleitung wird etwas Trinkwasser in einer abzweigenden Fallstrecke durch den Sensor geleitet, der zwei verschiedene Bakterienstämme sowie Säugetierzellen enthält. Während die mikroskopisch kleinen Bakterien durch ihre große Oberfläche einen raschen Stoffaustausch gewährleisten und innerhalb von Minuten auf toxische Substanzen reagieren, sichern die Säugetierzellen durch ihre Verwandtschaft zum menschlichen Organismus das Ergebnis ab und erweitern gleichzeitig das Reaktionsspektrum.

Die Mikroorganismen im Sensor wurden so verändert, dass sie ein rot fluoreszierendes Protein erzeugen. Kommen sie mit toxischen Stoffen in Berührung, verändert sich die Fluoreszenz. Ein am Karlsruher Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB) entwickeltes, hochsensitives Kamerasystem mit Auswerteeinheit registriert selbst kleinste Veränderungen der Fluoreszenz und bewertet diese automatisch. Um den Bio-Sensor dauerhaft betreiben zu können, müssen optimale Lebensbedingungen für die Mikroorganismen sichergestellt werden. Die Wissenschaftler vom IOSB haben dafür ein System entwickelt, das automatisch wichtige Parameter wie Temperatur und Nährstoffzufuhr überwacht und regelt. Weiterer Bestandteil des Aqua-Bio-Tox-Systems ist ein Daphnien-Toximeter – die Wasserflöhe reagieren besonders sensibel auf Nervengifte. Das Monitoringsystem wird derzeit in einer stillgelegten Leitungsstrecke auf dem Gelände der Berliner Wasserbetriebe getestet. Ziel ist es, das System so klein und kostengünstig zu machen, dass sich ein miteinander kommunizierendes Netzwerk aus Sensoreinheiten an sensiblen Stellen über das Trinkwassernetz verteilt installieren lässt.

Weitere Informationen unter www.fraunhofer.de
(aus: Pressemitteilung Fraunhofer-Gesellschaft vom 1. Dezember 2010)

Rückgang der Küstenfeuchtgebiete im 21. Jahrhundert ?

Weltweit könnten viele Küstenfeuchtgebiete, darunter auch einige an der Atlantikküste der USA, empfindlicher als gedacht auf Klimawandel und ansteigenden Meeresspiegel reagieren. Wis-

senschaftler des US Geological Survey (USGS) haben die Voraussetzungen, unter denen Küstenfeuchtgebiete ein Ansteigen der Meeresspiegel überstehen könnten, ermittelt.

Wird ein Szenario mit rapidem Anstieg der Meeresspiegel zugrunde gelegt, werden die meisten Küstenfeuchtgebiete gegen Ende des 21. Jahrhunderts verschwunden sein. Das Szenario mit langsamem Anstieg der Meeresspiegel zeigt, dass Feuchtgebiete mit geringer Sedimentierungsrate und geringem Tidenhub gefährdet sind. Feuchtgebiete mit hoher Sedimentierungsrate haben dagegen bessere Überlebenschancen.

Einige Küstenfeuchtgebiete an der Ostküste der USA verfügen nur über begrenzte Sedimentierungsraten und werden wahrscheinlich im Verlauf dieses Jahrhunderts verschwinden. Zu den gefährdeten Gebieten an der Ostküste zählen das Plum Island Estuary (das größte Ästuar in Neuengland) und die Küstenfeuchtgebiete des Albemarle-Pamlico Sound in North Carolina (das zweitgrößte Ästuar in den USA).

Im Projekt wurden die Sedimenthöhen und der Tidenhub bestimmt, die Küstenfeuchtgebiete benötigen, um den Meeresspiegelanstieg zu überdauern. Wenn Wasser ein Feuchtgebiet flutet, werden Sedimente von oberstromigen Gebieten in die Feuchtgebiete eingetragen und führen zu einer Erhöhung dieses Gebietes. Auch hoher Tidenhub ermöglicht eine stärkere Sedimentzufuhr und damit Höhenzuwachs des Gebietes.

Küstenfeuchtgebiete schützen Küsten, Bevölkerung und Infrastruktur, sind Lebensraum für zahlreiche Meerestiere, die auch gewerblich genutzt werden können, verfügen über eine hohe Selbstreinigungsfähigkeit und fungieren als Habitat für Zugvogelpopulationen. Diese Ressourcen und Funktionen werden durch einen Meeresspiegelanstieg gefährdet.

Originaltitel:

Kirwan, M.L., G.R. Guntenspergen, A. D'Alpaos, J.T. Morris, S.M. Mudd and S. Temmerman (2010): Limits on the adaptability of coastal marshes to rising sea level. – *Geophys. Res. Lett.*, 37, L23401, doi:10.1029/2010GL045489

Der 2. Februar ist der World Wetlands Day. Der World Wetlands Day soll u.a. auf die Bedeutung der Feuchtgebiete für den Wasserhaushalt, Küstenschutz und die Artenvielfalt hinweisen. Er steht 2011 unter dem Thema Wetlands and Forests.

Weitere Information unter www.ramsar.org
(aus: Pressemitteilung U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey und Ramsar-Webseite vom 1. Dezember 2010)

1.620 Meter langer Eiskern aus der Antarktis untersucht

Aus bisherigen Untersuchungen grönländischer und antarktischer Eiskerne ist bekannt, dass sich der Süden während einer Kaltphase im Norden erwärmt hat, während der nachfolgende rapide Temperaturanstieg auf der Nordhalbkugel immer mit dem Beginn der Abkühlung im Süden einsetzte. Dieses Phänomen, das als „bipolare Wippe“ bezeichnet wird, haben Wissenschaftler jetzt erstmals für das Ende der letzten Eiszeit nachgewiesen. Im Zeitraum von 16.000 bis 14.500 Jahren vor heute zei-

gen sich zudem in der Antarktis deutliche Unterschiede im Verlauf der Temperaturschwankungen zwischen dem indisch-pazifischen und dem atlantischen Sektor. Diese Schwankungen sind von einem verlangsamten Anstieg des Kohlendioxidgehalts in der Atmosphäre und einer leichten Abkühlung auf Grönland begleitet. Das Verständnis und die Simulation der „bipolaren Wippe“ sowie des klimatischen Verlaufs in den der Antarktis vorgelagerten Meeresgebieten und ihr Wechselspiel mit den Kohlenstoffkreisläufen ist gerade für die Modellierung des Erd- und Klimasystems von großer Wichtigkeit.

Der neue 1.620 Meter lange Eiskern, der im Rahmen des Talos Dome Ice Core Projects (TALDICE) im Rossmeeresektor der Antarktis gebohrt wurde, eignet sich für die Untersuchungen besonders gut, da er eine ungestörte Klimazeitreihe der vergangenen 250.000 Jahre bietet. Es ist die bisher längste Zeitreihe aus einem küstennahen Gebiet der Antarktis. Der Eiskern erlaubt die atmosphärischen und klimatischen Veränderungen der Vergangenheit mit einer so hohen zeitlichen Auflösung zu beschreiben, wie sie bislang bei keinem Kern der Ostantarktis möglich gewesen ist.

Die Studie, die am 5. Dezember 2010 vorab auf der Internetseite von Nature Geoscience veröffentlicht wurde, fasst die Arbeit der Wissenschaftler, die in TALDICE kooperiert haben, zusammen. Beteiligt waren Institute aus fünf europäischen Ländern: Italien, Frankreich, Deutschland, Schweiz und Großbritannien.

Originaltitel:

Expression of the bipolar see-saw in Antarctic climate records during the last deglaciation

B. Stenni, D. Buiron, M. Frezzotti, S. Albani, C. Barbante, E. Bard, J. M. Barnola, M. Baroni, M. Baumgartner, M. Bonazza, E. Capron, E. Castellano, J. Chappellaz, B. Delmonte, S. Falourd, L. Genoni, P. Lacumin, J. Jouzel, S. Kipfstuhl, A. Landais, B. Lemieux-Dudon, V. Maggi, V. Masson-Delmotte, C. Mazzola, B. Minster, M. Montagnat, R. Mulvaney, B. Narcisi, H. Oerter, F. Parrenin, J. R. Petit, C. Ritz, C. Scarchilli, A. Schilt, S. Schüpbach, J. Schwander, E. Selmo, M. Severi, T. F. Stocker & R. Udisti

Published online: 5 December 2010 | doi:10.1038/ngeo1026: www.nature.com.

Mehr Informationen zum Talos Dome Ice Core Project unter www.taldice.org

(aus: Pressemitteilung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung vom 5. Dezember 2010)

Welternährung und Wasserressourcen: eine agrarhydrologische Perspektive

Systemansätze zur Bilanzierung des Wasserbedarfs in der Nahrungsmittelproduktion sind die Water Footprint-Methodik, das Life Cycle Assessment und das Konzept der Livestock Water Productivity. In Abhängigkeit von den unterschiedlichen Berechnungsmethoden, natürlichen Produktionsbedingungen und Produktionsverfahren unterliegen die Angaben zum Wasserbedarf landwirtschaftlicher Produkte einer großen Schwankungsbreite. Während eine Vielzahl von Maßnahmen für die Verbesserung der Wassereffizienz in der Landwirtschaft bekannt sind, ist deren Quantifizierung und die Untersuchung ihrer Wechselwirkungen bis jetzt nicht erfolgt.

Ziel von AgroHyd ist eine Verbesserung der existierenden Bilanzierungs- und Bewertungsmethodik im agrarwissenschaftlichen Kontext. Basierend auf den gängigen Standards sollen Maßnahmen, die der Erhöhung der Wassereffizienz in Pflanzenproduktion und Tierhaltung dienen, analysiert und quantifiziert werden. Die Ergebnisse werden in ein Modellierungssystem eingebunden, das die Wasserflüsse in landwirtschaftlichen Betriebssystemen zur Lebensmittelerzeugung abbildet und auch die Bodenwasserbildung berücksichtigt. Damit wird auch die Berechnung des Wasserbedarfs verschiedener Ernährungsweisen möglich.

Das Projekt „Welternährung und Wasserressourcen: eine agrarhydrologische Perspektive (AgroHyd)“ wird durch die Leibniz-Gemeinschaft im Rahmen der Initiative „Pakt für Forschung und Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung mit 750 Tausend Euro gefördert.

Weitere Informationen unter www.atb-potsdam.de/agrohyd

(aus: Pressemitteilung Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. vom 9. Dezember 2010)

Klimaforum 2010: Wasser und Klima – die Zukunft der Planung

Das Projekt Technologietransfer Wasser (TTW) am Bayerischen Landesamt für Umwelt veranstaltete am 1. Dezember 2010 in München das Klimaforum 2010 mit über 150 Teilnehmer aus Wissenschaft, öffentlichen Einrichtungen und Wirtschaft.

In ihrer Eröffnungsrede unterstrich Umweltstaatssekretärin Melanie Huml die Aktualität des Themenkomplexes Klimaschutz und Klimawandel für die bayerische Umweltpolitik. Sie referierte über die Anstrengungen der Bayerischen Staatsregierung zur Verminderung von Treibhausgasemissionen, Anpassungsstrategien Bayerns an den Klimawandel und aktuelle Forschungsvorhaben. Die für die Gesellschaft gravierendsten direkten und indirekten Auswirkungen des Klimawandels werden im Wassersektor erwartet. Lokale und globale Maßnahmen zu Vorsorge und Anpassung sind daher erforderlich. Der Schlüssel für eine nachhaltige Lösung ist dabei in der zukunftsfähigen, integrierten Bewirtschaftung der Ressource Wasser zu sehen.

In dem einleitenden Themenblock stellte Prof. Dr.-Ing. Martin Faulstich, Vorsitzender des Sachverständigenrates für Umweltfragen, anhand aktueller Materialien und Daten mögliche klimatische Veränderungen und die Herausforderungen für Wissenschaft und Politik dar. In Anbetracht der Emissionsproblematik und in Zusammenhang mit der begrenzten Reichweite fossiler Energieträger plädierte er für den 100 %igen Ersatz fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien bis 2050. Ein solches Ziel ist zu erreichen, jedoch fordert der Umbau der Energieversorgung eine allgemeine Akzeptanz, die nur durch die Einbeziehung aller gesellschaftlichen Gruppen in die dafür notwendigen Entscheidungsprozesse erzielt werden kann.

Der Leiter der Abteilung Wasserwirtschaft im Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Ministerialdirigent Dr.-Ing. Martin Grambow, stellte die Prinzipien des Integrierten Wasserressourcenmanagements (IWRM) vor und diskutierte deren Beitrag im Umgang mit den Folgen des Klimawandels im globa-

len Kontext. Grundlage einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Ressource Wasser muss die integrierte Betrachtung und Verknüpfung von Ökologie, Ökonomie, Gesellschaft und kulturellen Gegebenheiten sein.

Weitere Vorträge zu regionalen Ausprägungen des Klimawandels in Bayern (Herr Dr. Altmayer) und dem Mittelmeerraum (Herr Prof. Dr. Ludwig), zu wirtschaftlichen Aspekten in Folge des Klimawandels sowie zur Bedeutung für die Entwicklungszusammenarbeit im Wassersektor (Herr Dr. Klinger) zeichnen ein umfassendes Bild über die Auswirkungen des Klimawandels.

Der zweite Themenblock widmete sich den möglichen Anpassungsstrategien an den Klimawandel im raumbezogenen Planungsrecht (Prof. Dr. Janssen) und bei internationalen, wasserbezogenen Planungen (Herr Dr.-Ing. Gramel). Dabei wurde die Notwendigkeit von politischen Entscheidungen trotz der gegebenen Unsicherheiten (Eingangsdaten, Klimaprojektionen) ebenso erörtert (Prof. Dr. Disse), wie die sich abzeichnenden Marktchancen für die bayerische Wirtschaft (Herr Dr.-Ing. Steger, Herr Hoke).

Konkrete Lösungsansätze in der wasserwirtschaftlichen Planung zur Reaktion auf den Klimawandel waren Gegenstand des dritten Themenblocks. Hier wurden beispielhaft Konzepte für die Kläranlage der Zukunft (Herr Englmann), Maßnahmen zur Einbeziehung des Schutzgutes Klima in die Umweltplanung der Landeshauptstadt München (Herr Fuchs) sowie Grundzüge einer nachhaltigen wasserwirtschaftlichen Planung und Handlungsoptionen in internationalen wasserbezogenen Projekten (Herr Dr.-Ing. Obermann) vorgestellt.

Die Vorträge der Veranstaltung stehen im Internet unter nachfolgendem Link zum Download zur Verfügung: <http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/ttw/rueckblick/index.htm>
Michael Belau, Wasserwirtschaftsamt Hof; Uwe Furnier, Dr. Michael Joneck, Matthias Worst TTW, Bayerisches Landesamt für Umwelt

Naturkatastrophen-Bilanz 2010

Große Katastrophen haben 2010 zu erheblichen Schäden und außergewöhnlich vielen Todesopfern geführt. Geprägt wird die Naturkatastrophen-Bilanz des vergangenen Jahres von einer Häufung schwerer Erdbeben, wie sie in den letzten Jahrzehnten nur selten zu beobachten war.

Insgesamt wurden im vergangenen Jahr 950 Naturkatastrophen verzeichnet, neun Zehntel davon waren wetterbedingte Ereignisse wie Stürme, Unwetter oder Überschwemmungen. Damit war 2010 das Jahr mit der zweithöchsten Zahl an Naturkatastrophen seit 1980. Die Anzahl übertraf auch deutlich den Durchschnitt der vergangenen zehn Jahre von jährlich 785 Ereignissen. Die gesamtwirtschaftlichen Schäden betragen rund 130 Mrd. US\$, davon waren etwa 37 Mrd. US\$ versichert. Damit gehörte das Jahr zu den sechs schadenintensivsten Jahren für die Versicherungswirtschaft seit 1980. Die gesamtwirtschaftlichen Schäden lagen etwas über dem hohen Durchschnittsniveau der vergangenen zehn Jahre.

Weitere Information unter www.munichre.com.

(aus: Pressemitteilung der Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft vom 3. Januar 2011)

Fachgemeinschaft in der DWA Hydrologische Wissenschaften

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

Die Vorträge zum Tag der Hydrologie 2010 an der TU Braunschweig sind in der Schriftenreihe der FgHW als Heft 29.10 veröffentlicht worden. Hauptthemen waren:

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

Die Basisfunktion der hydrologischen Faktoren erfordert eine enge Verbindung von Hydrologie, Ökologie, Wasserwirtschaft und Ökonomie. Mit der Thematik sollte vom sektoralen Ansatz unter Einbeziehung der Nachbardisziplinen eine komplexe Betrachtungsweise gefördert werden. Dieser Ansatz findet sich auch in den aktuellen Richtlinien der Europäischen Union, der EG-Hochwasserrisikorichtlinie und der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Die Publikation der FgHW will hierzu einen Beitrag leisten. Heft 29.10 der FgHW-Schriftenreihe kann bei der DWA als Heft (50 €) oder als digitale Fassung (29 €) unter www.dwa.de/shop bestellt werden.

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

Personen

Professor Dr.-Ing. Erik Pasche

1955 – 2010

Der renommierte Wissenschaftler Professor Dr.-Ing. Erik Pasche an TU Hamburg-Harburg (TUHH) ist unerwartet gestorben. Mit Prof. Pasche verliert die TUHH einen überaus engagierten Hochschullehrer, der sich in der Forschung auf dem Gebiet der Hydrodynamik große Verdienste erwarb. Prof. Pasche hat sich beispielgebend in der Lehre für seine Studierenden eingesetzt und um die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses verdient gemacht.

Prof. Dr.-Ing. Erik Pasche genoss in Fachkreisen große Anerkennung und fand mit seinen Forschungen im Hochwasser-Risikomanagement sowie zu den Folgen des Klimawandels europaweit auch mediale Beachtung. 1998 folgte der promovierte Bauingenieur einem Ruf als Professor für Wasserbau an die TUHH. Zu seinen aktuellen Forschungsvorhaben gehörte unter anderem „Klimazug-Nord“ (Anpassungsstrategien zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg), dessen wissenschaftlicher Koordinator er war. Im Mittelpunkt dieses aus 25 Institutionen bestehenden BMBF-Verbundprojektes steht die Entwicklung von Maßnahmen gegen die Folgen des Klimawandels. Engagiert wie in der Forschung zeigte sich Erik Pasche auch in der Lehre. Als Sprecher der Studiendekane begleitete der Hochschullehrer das dritthöchste Amt an der TUHH.

Prof. Pasche hatte eine Gastprofessur an der UNESCO-IHE Universität in Delft. Er war Vorstandsmitglied der Hafentechnischen Gesellschaft sowie Leiter mehrerer Arbeitsgruppen im Bundesverband der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Als Vize-Chairman und deutscher Vertreter der so genannten COST-Initiative C22, Urban Flood Management, engagierte sich der Wahlhamburger international für den Klimaschutz.

Prof. Pasche hat an der RWTH Aachen studiert und wurde dort „mit Auszeichnung“ promoviert. Für seine Dissertation über „Turbulenzmechanismen in naturnahen Fließgewässern und ihre mathematische Modellierung“ erhielt er 1984 die Borchers-Plakette für herausragende Forschung der RWTH Aachen. Anschließend forschte er als Stipendiat der NATO an der University of California, Davis. Vor seiner Rufannahme an die TUHH war der gebürtige Dresdner Mitgesellschafter eines Ingenieurbüros in Koblenz, die Björnson Beratende Ingenieure GmbH, für die er als wissenschaftlicher Berater arbeitete. 2007/2008 wurde Prof. Dr.-Ing. Pasche als Visiting Fellow an der Royal Academy for Engineering University in London ausgezeichnet.

(aus: Pressemitteilung Technische Universität Hamburg-Harburg vom 1. Dezember 2010)

Professor Jaromir Němec

1926 – 2010

Professor Němec gilt als der Vater der operationellen Hydrologie in der World Meteorological Organization (WMO). Die Förderung der operationellen Hydrologie war ihm ein großes Anliegen und er verschaffte der Hydrologie einen gebührenden Platz in den Aufgabenfeldern der WMO.

Im November 1926 wurde er in Prag, in der damaligen Tschechoslowakei, geboren. Er studierte an der Tschechischen Technischen Universität, wo er 1955 einen Abschluss als Bauingenieur erwarb. Im August 1965 begann er seine berufliche Laufbahn bei der WMO als Chef der Hydrometeorologischen Abteilung. 1976 wurde er zum ersten Direktor der Abteilung „Hydrology and Water Resources“ (HWR) ernannt. 22 Jahre engagierte er sich sehr aktiv für die hydrologischen Programme der WMO. Er verstand es bestens, seine Mitarbeiter so zu motivieren, dass weltweit gute Erfolge erzielt werden konnten. 1987 schied Prof. Němec aus der WMO aus und arbeitete noch 2 Jahre lang für die Food and Agriculture Organization (FAO).

Während seiner Zeit bei den UN Organisationen WMO und FAO verwirklichte er eine Reihe von Großprojekten im Bereich technische Zusammenarbeit. Es ist unmöglich, alle seiner Errungenschaften aufzuzählen, zu den wichtigsten gehören jedoch: die Einrichtung der HWR-Abteilung bei der WMO, die Initiierung des Hydrological Operational Multipurpose Subprogramme (HOMS) für einen weltweiten Technologietransfer in der Hydrologie sowie zahlreiche Programme für die Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern. 1967 gelang es ihm, alle Nil-Anrainerstaaten erstmalig an einen Tisch zu bringen. Im Rahmen des Hydrometeorologischen Monitoringprojektes für die Äquatorialseen (HYDROMET SURVEY Projekt) wurde der Weg für die Nile Basin Initiative vorbereitet, einer Initiative, die heute von der Weltbank geführt wird. Er war auch die treibende Kraft bei ähnlichen Projekten in Asien, Mittelamerika, und Afrika sowie Begründer des ersten WMO-Fortbildungskurses zur operationellen Hydrologie in Afrika.

Auch im Ruhestand war er noch viele Jahre lang als technischer Berater und Dozent in Europa und den USA tätig und blieb mit dem HWR-Programm durch seine Teilnahme als Vertreter der Tschechischen Republik an den Beratungen des WMO Executive Council und der WMO Commission for Hydrology eng verbunden.

In Anerkennung seiner Leistungen für die Hydrologie wurde Professor Jaromir Němec 1988 der International Hydrology Prize verliehen, eine gemeinsame Auszeichnung der International Association of Hydrological Sciences (IAHS), der WMO und der UNESCO.

Professor Němec starb im Alter von 84 Jahren nach einem erfüllten Leben, das der Hydrologie gewidmet war.

(aus: Webseite HWRP der WMO (www.wmo.int), Dezember 2010; Deutsche Übersetzung: IHP/HWRP-Sekretariat, Koblenz)

Neue Publikationen

Africa Water Atlas

UNEP. Division of Early Warning and Assessment (DEWA). United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi, Kenya 2010. 326 p., 150,- US \$
ISBN 978-92-807-3110-1
Stock Number: DEW/1313/NA

This atlas is a visual account of Africa's endowment and use of water resources, revealed through 224 maps and 104 satellite images as well as some 500 graphics and hundreds of compelling photos. However, the atlas is more than just a collection of static maps and images accompanied by informative facts and figures: its visual elements illustrate a succinct narrative, describing and analysing Africa's water issues and exemplifying them through the judicious use of case studies. It gathers information about water in Africa and its role in the economy and development, health, food security, transboundary cooperation, capacity building and environmental change into one comprehensive and accessible volume. UNEP undertook the production of this atlas at the request of the African Ministers' Council on Water (AMCOW) and in cooperation with the African Union, European Union, U.S. Department of State, United States Geological Survey and other collaborators.

Chapter 1: Water resources

The first chapter provides the geographical foundations of water quantity, quality and distribution across Africa's diverse regions.

Chapter 2: Transboundary water resources

Chapter two focuses on water at the scale of major watersheds and groundwater basins that cross national boundaries. Africa's 63 international river basins cover about 64 % of the continent's land area and contain 93 % of its total surface water resources. They are also home to some 77 % of the population. Chapter two provides in-depth profiles of 13 major transboundary surface-water and 5 shared groundwater basins, illustrated with satellite images, maps and pictures.

Chapter 3: Water challenges and opportunities

Chapter three examines nine challenges and opportunities facing Africa as it strives to improve the quantity, quality and use of its water resources. Each of the nine issues is presented by discussing the challenge, the situation, the constraints and the opportunities.

1. MDG water-provision target of reducing by half the proportion of the population without sustainable access to drinking water by 2015
2. Improving access to clean water
3. Potential conflicts on transboundary water resources
4. Water scarcity challenges
5. Hydroelectricity
6. Providing enough water
7. Land degradation and water pollution
8. Climate change and climate variability
9. Economic water scarcity and lack of institutional, financial and human capacities for managing water.

Chapter 4: Water profile of each country

The final chapter is a country-by-country look at water availability and withdrawals, irrigation and water use by sector.

Der Africa Water Atlas kann auf der UNEP-Internetseite als pdf-Datei heruntergeladen werden: www.unep.org, Navigationspunkt Publications.

(aus: www.unep.org)

High Mountain Glaciers and Climate Change – Challenges to Human Livelihoods and Adaptation

Kaltenborn, B.P., C. Nellesmann, I.I. Vistnes (Eds)
United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, 2010.
ISBN 978-82-7701-087-8

Melting glaciers could, in some places and perhaps in a matter of a few decades, cause a reduction in water availability in dry areas, such as in Central Asia and parts of the Andes. In dry regions of Central Asia, Chile, Argentina and Peru, where there is little rainfall and precipitation, receding glaciers will have much more impact on the seasonal water availability than in Europe or in parts of Asia, where monsoon rains play a much more prominent role in the water cycle.

The report says that many glaciers may take centuries to fully disappear but underlines that many low-lying, smaller glaciers, which are often crucial water sources in drylands are melting much faster. Most glaciers have been shrinking since the end of the Little Ice Age around 150 years ago. However, since the beginning of the 1980s the rate of ice loss has increased substantially in many regions, concurrent with an increase in global mean air temperatures. As glaciers melt, lakes held back by walls of mud, soil and stones can form, holding back sometimes millions of tonnes of water which can put at risk villagers and infrastructure, such as power plants.

In the last 40 years, Glacial Lake Outburst Floods (GLOFs) have been increasing, not only in China, Nepal and Bhutan, but also more recently in Patagonia and the Andes. Five major GLOFs took place in April, October and December 2008 and again in March and September 2009 in the Northern Patagonia Icefield in Chile.

Boosting adaptation, including reducing the risk to people, livestock and infrastructure will be increasingly important in a climate-constrained world. In respect to melting glaciers and the formation of glacial lakes, siphoning off the water from such lakes is one adaptive action.

The report also calls for more investment in glacial research and monitoring. Studying and modeling the runoff from glaciers and rivers and analyzing future variability linked with climate change is complex but necessary.

Der Bericht „High Mountain Glaciers and Climate Change – Challenges to Human Livelihoods and Adaptation“ kann als PDF-Version heruntergeladen werden unter www.unep.org oder unter www.grida.no/publications/high-mountain-glaciers.

(aus: Pressemitteilung United Nations Environment Programme (UNEP) vom 7. Dezember 2010)

Schäden an Wasserbauten

DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Beuth Verlag, Berlin-Wien-Zürich 2010. 96 S., 32,- €

ISBN 978-3-410-20541-8

Es werden die Ursachen von Überschwemmungsschäden sowie vorbeugende Maßnahmen und praktikable Lösungen zu deren Beseitigung aufgezeigt.

Anhand konkreter Beispiele und Gerichtsurteile werden Fälle geschildert, in denen durch falsche Nutzung von Überschwemmungsgebieten, durch ihre nicht sinnvolle Begrenzung, durch fehlerhafte Ausbildung von Flutmulden oder durch einen unzureichenden Schutz für tiefe, bewohnte Gebiete teils erhebliche Überschwemmungsschäden zu verzeichnen waren. Betrachtet werden zugleich Bauwerkserhaltungs- und Betriebsmängel, Unterdimensionierungen von Anlagen, ungeeignete Konstruktionen sowie die Wahl von falschen Bauverfahren.

(aus: Mitteilung Beuth Verlag vom November 2010)

Hydrometrie. Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen

Prof. Dr. Gerd Morgenschweis

Springer Verlag, Berlin 2010. 582 S., 149,95 €

ISBN-13: 978-3642053894

Das Buch umfasst den Stand der Technik in der Wasserstands- und Durchflussmessung einschließlich verbundener Themen wie Messnetze und Datenfernübertragung. In deutscher Sprache gibt es kein vergleichbares Werk, das die Thematik nur annähernd so vollständig behandelt. Die Hydrometrie hat sich in den letzten 20 Jahren rasant entwickelt und viele leistungsfähige Geräte und Verfahren hervorgebracht, die jeweils ihre Einsatzdomänen und -grenzen haben. Um beim Aufbau- und Betrieb von Pegeln die richtige Wahl zu treffen, bedarf es sowohl theoretischer Grundkenntnisse über die physikalischen Prinzipien der Geräte als auch praktischer Erfahrungen bei ihrem Einsatz. Beides, Theorie und Praxis, wird von Gerd Morgenschweis in seinem klar strukturierten Fachbuch auf mehr als 500 Seiten verständlich und anschaulich beschrieben. Kein Wunder – der Autor war 28 Jahre lang als Hydrologe beim Ruhrverband für die Steuerung des größten deutschen Talsperrensystems verantwortlich und lehrt seit 1992 an der Bergischen Universität Wuppertal. Diesen beruflichen Hintergrund merkt man seinem Buch auf erfreuliche Weise an.

Es ist in neun große Abschnitte unterteilt:

- Aufgaben und Bedeutung der Hydrometrie
- Grundbegriffe
- Messung des Wasserstands
- Messung des Durchflusses
- Kontinuierliche Erfassung des Durchflusses
- Datenerfassung und -fernübertragung
- Primärstatistische Auswertung von Wasserstands- und Durchflussdaten
- Messnetze zur Durchflusserfassung
- Organisation von hydrologischen Messdiensten

So vielfältig wie die Messbedingungen in der Natur sind auch die jeweils geeigneten Messtechniken zur Erfassung von Wasserstand und Durchfluss. Morgenschweis beschreibt sie alle – alte und neueste Technik, Standard- und Spezialverfahren. Bei der

Wasserstandsmessung reicht die Palette von der Pegellatte bis zur geführten Mikrowelle, bei der Durchflussmessung vom Gefäß bis zu Ultraschall- und Radarverfahren. Insgesamt dürften es zwei bis drei Dutzend Geräte und Methoden sein, die dargestellt werden. Damit der Leser nicht den Überblick verliert, gibt es zur Wasserstands- und Durchflussmessung jeweils ein Kapitel mit dem Thema „Zusammenfassende Wertung und Kriterien zur Auswahl von Methoden“. Außerdem findet sich am Ende fast jeder einzelnen Gerätebeschreibung ein Absatz, der die Vor- und Nachteile sowie den Einsatzschwerpunkt kurz und prägnant herausstellt. Viele praktische Beispiele aus aller Welt helfen dem Leser, für eigene Messaufgaben analoge Lösungen zu finden.

Am Ende der Hauptkapitel gibt es neben den üblichen Literaturangaben eine umfangreiche Liste zu Firmen und Produkten. Hilfreich sind auch Hinweise auf etablierte Softwareprodukte, z.B. das Programm AGILA der Bundesanstalt für Gewässerkunde zur Auswertung von ADCP Messungen.

Da die Datenfernübertragung heute Bestandteil eines Messnetzes ist, wird der Stand der modernen Informations- und Kommunikationstechnik in einem eigenen Kapitel aufgezeigt. Themen, die in den letzten Jahren Beachtung gefunden haben, wie Unsicherheit und Verfügbarkeit von Daten, Redundanz und Messnetzoptimierung, werden angesprochen. Um Enttäuschungen vorzubeugen sei angemerkt, dass Durchflussmessungen an der Küste und in Tideflüssen nicht behandelt werden.

Gerd Morgenschweis hat ein in der deutschsprachigen Fachwelt lange vermisstes Buch geschrieben, das Studenten, Ingenieuren und Messtechnikern einen guten Überblick und viele praktische Hilfen auf dem Gebiet der Wasserstands- und Durchflussmessung gibt.

Matthias Adler, Koblenz

Empfehlungen für die Wiederherstellung der linearen Durchgängigkeit bei Fließgewässern im Rahmen der Gewässerunterhaltung

Die Broschüre informiert über die rechtliche, wasserwirtschaftliche, naturschutzfachliche und ökologische Bedeutung der linearen Durchgängigkeit an Bächen und Flüssen. An Hand von umgesetzten Beispielprojekten werden dem Unterhaltungspflichtigen Möglichkeiten aufgezeigt, um die anspruchsvolle Aufgabe gemäß EG-Wasserrahmenrichtlinie und Wasserhaushaltsgesetz zu erfüllen.

(aus: Pressemitteilung Gemeinnützige Fortbildungsgesellschaft für Wasserwirtschaft und Landschaftsentwicklung der DWA vom Dezember 2010)

Audit Hochwasser – wie gut sind wir vorbereitet (Merkblatt DWA-M 551)

Hrsg. DWA, Hennef 2010, 36 S., 38,- €

(Fördernde DWA-Mitglieder: 30,40 €)

ISBN 978-3-941897-63-2

In der Öffentlichkeit werden seit einigen Jahren vermehrt die Möglichkeiten und Grenzen der Abwehr von Hochwassergefahren und der Beherrschung von Hochwasserschäden diskutiert. Dabei treten neben den Risiken von Hochwasser entlang großer und mittlerer Gewässerläufe Gefahren durch Sturzfluten infolge

von örtlich eng begrenzten, extremen Niederschlagsereignissen verstärkt ins Bewusstsein. Ab einer bestimmten Dimension können auch Sturzfluten technisch nicht beherrscht werden. Nach den langjährigen Erfahrungen der Deutschen Versicherer resultieren mehr als die Hälfte der regulierten Schäden aus derartigen lokal begrenzten Extremereignissen.

Unter den Fachleuten besteht Einvernehmen, dass neben dem Ausbau technischer Schutzbauten allen geeigneten Strategien der ergänzenden Hochwasservorsorge durch Kontrolle und Minderung von Schadenspotenzialen eine immer größere Bedeutung zukommt. Vor diesem Hintergrund verfolgt die DWA das Projekt von vereinheitlichten Audits zur Hochwasservorsorge für

Kommunen mit dem Ziel, den Status der ergänzenden nicht-baulichen Hochwasservorsorge analysierend zu bewerten. Damit soll den Beteiligten die Möglichkeit gegeben werden, sich über den Ist-Zustand Rechenschaft abzulegen und gegebenenfalls Entscheidungen zur Verbesserung der Hochwasservorsorge abzuleiten.

Das Merkblatt DWA-M 551 stellt die fachliche Grundlage für die Audits dar und ist eine Informationsquelle für die in der Hochwasservorsorge tätigen Fachleute in Landesbehörden, Kommunen, Büros und Versicherer.

(aus: DWA-Mitteilung vom 4. Januar 2011)

Termine

The Age of Uncertainty: Climate change, water systems and social development

16.–18. Februar 2011 in Bergen, Norwegen

Information: <http://floodsordroughts.b.uib.no>

WHG 2010: Das neue Wasserhaushaltsgesetz

17. Februar 2011 in Darmstadt

Information: www.umweltakademie-fresenius.de

River Corridor Restoration Conference 2011

13.–18. März 2011 in Ascona, Schweiz

Information: www.eawag.ch/rcrc11

Status and Future of the World's Large Rivers

International Conference

11.–14. April 2011 in Wien, Österreich

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

Weather Radar and Hydrology

International Symposium

18.–21. April 2011 in Exeter, Großbritannien

Information: www.wrah2011.org

Coastal Processes 2011

Second International Conference on Physical Coastal Processes, Management and Engineering

27.–29. April 2011 in Neapel, Italien

Information: www.wessex.ac.uk

Veranstaltungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde

April – November 2011

- 7th International SedNet conference „Sediments and Biodiversity: bridging the gap between science and policy“; 6.–9. April in Venedig
- 20. Chemisches Kolloquium „Schadstoffdynamik in Flussgebieten“; 19./20. September in Koblenz
- Kolloquium „Partikuläre Stoffströme in Flusseinzugsgebieten“; 20./21. September in Koblenz
- Kolloquium „Überregionale Wasserbewirtschaftung – Entwicklung und Einsatz von Informationssystemen und Modellen“; 12./13. Oktober in Hannover
- 2. Statuskonferenz für das Forschungsprogramm KLIWAS; 25./26. Oktober in Berlin
- 14. Gewässermorphologisches Kolloquium „Sedimenthaushalt von Wasserstraßen vor dem Hintergrund klimatischer Änderungen“; 9./10. November in Koblenz
- Internationales Kolloquium „Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbegebiet“; 21./22. November in Dresden

Information: www.bafg.de

Water Resources Management 2011

6th International Conference on Sustainable Water Resources Management

23.–25. Mai 2011 in Riverside, USA

Information: www.wessex.ac.uk

Management of Water in a Changing World: Lessons Learnt and Innovative Perspectives

Internationale Konferenz

12.–13. Oktober 2011 in Dresden

Information: www.bmbf.iwrm2011.de

Erläuterung zur Titelseite

Pegelstation des hydrologischen Untersuchungsgebietes Brugga

Der amtliche Pegel Oberried des mesoskaligen Einzugsgebiets der Brugga (40 km²) im Südschwarzwald wird seit 1934 betrieben. Zusätzlich ist im Gebiet seit 1954 ein amtlicher Pegel am Auslass des Teileinzugsgebiet St. Wilhelmer Talbach (15 km²) installiert. Das Einzugsgebiet der Brugga weist montanen Charakter auf, mit dem Feldberg als höchstem Punkt (1.496 m NN) und dem Pegel Oberried als tiefstem Punkt (434 m NN) und lässt sich in Hochflächen (20 %), Hangbereiche (75 %) und Talbereiche (5 %) gliedern. Es ist dünn besiedelt (2 % Siedlungsflächen) und zu 75 % bewaldet. Die restlichen 23 % sind Grünland. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt 1.730 mm, die mittlere Jahrestemperatur 7,7 °C und der mittlere Abfluss 1,5 m³/s. Für die Zeitreihe 1961–1990 beträgt der mittlere Hochwasserabfluss 16,18 m³/s und der mittlere Niedrigwasserabfluss 0,35 m³/s (HHQ 33,6 m³/s am 23.11.1944 und NNQ 0,19 m³/s am 3.9.1964).

Meteorologische Parameter wie Temperatur, Luftfeuchte, Strahlung, Wind und Niederschlag werden vom Institut für Hydrologie der Universität Freiburg seit 1994 gemessen. Der Niederschlag wird mittels N-Wippe sowie Totalisator erfasst. Weiter misst das Institut Quellschüttungen, Wassertemperaturen, elektrische Leitfähigkeiten, pH, ¹⁸O (in Abfluss und in Niederschlag), Deuterium (in Niederschlag), Haptionen und Silikat. Zusätzlich werden im Einzugsgebiet eine Klimahauptstation sowie drei Niederschlagsstationen vom DWD und eine meteorologische Station vom Umweltbundesamt betrieben.



Pegel Oberried im hydrologischen Untersuchungsgebiet Brugga

Foto: Institut für Hydrologie der Universität Freiburg

Ziel der Messungen im hydrologischen Untersuchungsgebiet ist die Bereitstellung langjähriger Datensätze zur Verbesserung des hydrologischen Prozessverständnisses auf verschiedenen Skalen mit den Schwerpunkten Modellentwicklung, Modellvalidierung, Abflussbildungsprozesse und Isotopenhydrologie.

Die hydrologischen Messungen werden vom Institut für Hydrologie der Universität Freiburg durchgeführt.

H. Leistert, Institut für Hydrologie der Universität Freiburg